



AGRICULTURAL RESEARCH: INNOVATIONS IN PLANT PRODUCTION AND MINING, CURRENT STATE OF ECOLOGY, RESEARCH IN THE FIELD OF AGROENGINEERING

Collective monograph

ISBN 979-8-90214-593-6

DOI 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1

BOSTON(USA)-2026

ISBN – 979-8-90214-593-6

DOI – 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1

*Agricultural research: innovations in
plant production and mining, current state
of ecology, research in the field of
agroengineering*

Collective monograph

Boston 2026

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data

ISBN – 979-8-90214-593-6

DOI – 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1

Authors – Solarov O., Reznichenko V., Birets S., Kolomiets L., Kornicheva H., Tunik T., Вінюков О., Ліхушина Г., Бондарева О., Скнипа Н., Крижанівський В., Юхименко П., Мікуліна М., Поливаний А., Mylyanuch A., Vuchkevych I., Kurka M., Fediuk T., Савчук І., Ковальова С., Тимошенко З., Рубан І.

REVIEWER

Ivan Katerynychuk – Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Worker of Education of Ukraine, Laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Professor of the Department of Telecommunication and Information Systems of Bohdan Khmelnytskyi National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine.

Kostiantyn Dolia – Doctor of Engineering, Department of automobile and transport infrastructure, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”.

Published by Primedia eLaunch

<https://primediaelaunch.com/>

Text Copyright © 2026 by the International Science Group(isg-konf.com) and authors.

Illustrations © 2026 by the International Science Group and authors.

Cover design: International Science Group(isg-konf.com). ©

Cover art: International Science Group(isg-konf.com). ©

All rights reserved. Printed in the United States of America. No part of this publication may be reproduced, distributed, or transmitted, in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. The content and reliability of the articles are the responsibility of the authors. When using and borrowing materials reference to the publication is required.

Collection of scientific articles published is the scientific and practical publication, which contains scientific articles of students, graduate students, Candidates and Doctors of Sciences, research workers and practitioners from Europe and Ukraine. The articles contain the study, reflecting the processes and changes in the structure of modern science.

The recommended citation for this publication is:

Agricultural research: innovations in plant production and mining, current state of ecology, research in the field of agroengineering: collective monograph / Solarov O. – etc. – International Science Group. – Boston : Primedia eLaunch, 2026. 157 p. Available at : DOI – 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1

TABLE OF CONTENTS

1.	AGRICULTURAL ENGINEERING	
1.1	Solarov O. ¹ DETERMINANT PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AFFECTING AGRICULTURAL CROP YIELD ¹ Laboratory of Mechanical and Chemical Impact in Agrotechnologies, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine	6
1.1.1	DETERMINANT PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL THAT AFFECT CROP YIELD	9
1.1.2	COMPARISON OF THEORIES OF INTERACTION OF WHEELS WITH SOIL	14
1.1.3	PATTERNS OF SOIL DEFORMATION UNDER DIFFERENT TYPES OF SOIL MOVERS	16
1.1.4	PATTERNS OF SOIL DEFORMATION UNDER DIFFERENT TYPES OF SOIL MOVERS	18
1.1.5	PATTERNS OF SOIL DEFORMATION UNDER THE STUBBLE SURFACE	21
2.	AGRONOMY	
2.1	Reznichenko V. ¹ , Birets S. ² , Kolomiets L. ³ , Kornicheva H. ¹ , Tunik T. ³ ALLELOPATHIC EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF GRAIN AND OIL CROPS ON THE SOWING PROPERTIES OF WHEAT GRAIN ¹ Department of Geoponics, Central Ukrainian National Technical University, Ukraine ² Municipal Institution Mykhailivsky Lyceum of Oleksandrivka Village Council, Kropyvnytskyi District, Kirovohrad Region, Ukraine ³ Department of Ecology, Environmental Protection and Healthy Lifestyle, Central Ukrainian National Technical University, Ukraine	28
2.1.1	ALLELOPATHY AS A PROMISING AREA OF RESEARCH IN ORGANIC FARMING	29
2.1.1.1	THE CONCEPT OF ALLELOPATHY AND THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE THEORY	29
2.1.1.2	TYPES AND PRINCIPLE OF ACTION OF ALLELOPATHY IN AGROECOSYSTEMS	31
2.1.1.3	CURRENT STATUS OF THE STUDY OF THE ALLELOPATHIC EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS ON THE ONTOGENESIS OF AGRICULTURAL CROPS	34
2.1.2	PLACE AND CONDITIONS OF RESEARCH	36
2.1.3	RESEARCH RESULTS AND THEIR ANALYSIS	38

2.1.3.1.1	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF CEREAL CROPS ON THE GERMINATION ENERGY OF WHEAT SEEDS	38
2.1.3.1.2	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF OILSEEDS ON THE GERMINATION ENERGY OF WHEAT SEEDS	40
2.1.3.1.3	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF GRAIN CROPS ON THE AVERAGE ROOT LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	43
2.1.3.1.4	EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF OILSEEDS ON THE AVERAGE ROOT LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	46
2.1.3.1.5	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF CEREAL CROPS ON THE AVERAGE SHOOT LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	48
2.1.3.1.6	EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF OILSEEDS ON THE AVERAGE SHOOT LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	50
2.1.3.1.7	EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF CEREAL CROPS ON THE TOTAL LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	52
2.1.3.1.8	EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF OILSEEDS ON THE TOTAL LENGTH OF WHEAT SEEDLINGS	54
2.1.3.1.9	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF GRAIN CROPS ON THE RATIO OF THE ABOVE-GROUND AND UNDERGROUND PARTS OF THE WHEAT PLANT	56
2.1.3.1.10	THE EFFECT OF AQUEOUS EXTRACTS OF OILSEED CROPS ON THE RATIO OF ABOVEGROUND AND UNDERGROUND PARTS OF THE PLANT	58
2.1.3.1.11	DETERMINATION OF THE ALLELOPATHIC ACTIVITY INDEX OF AQUEOUS EXTRACTS OF GRAIN AND OIL SEEDS	60
2.2	Вінюков О. ¹ , Ліхушина Г. ¹ , Бондарева О. ¹ , Скнипа Н. ¹ АГРОБІОЛОГІЧНІ ЗАХОДИ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ЕКОЛОГІЧНО ЗБАЛАНСОВАНОГО ЗЕРНОВИРОБНИЦТВА В ПІВДЕННО-СХІДНОМУ ПРОМИСЛОВОМУ РЕГІОНІ ¹ Донецька державна сільськогосподарська дослідна станція НААН, Покровськ, Україна	66
2.3	Крижанівський В. ¹ , Юхименко П. ² АГРОТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ВИРОЩУВАННЯ СОЧЕВИЦІ В ЛІСОСТЕПУ ¹ Кафедра генетики, селекції рослин та біотехнології, Уманський національний університет ² ПСП «Колос», смт. Теплик	85
2.4	Мікуліна М. ¹ , Поливаний А. ¹ ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ З УРАХУВАННЯМ АГРОНОМІЧНИХ ТА АГРОІНЖЕНЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЕКОНОМІЧНИХ ЧИННИКІВ ¹ Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна	106

2.4.1	ГЕНЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОРТІВ КАРТОПЛІ ТА ЙОГО ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ	109
2.4.2	АГРОНОМІЧНІ ОСНОВИ РЕАЛІЗАЦІЇ ГЕНЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ	110
2.4.3	АГРОІНЖЕНЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОЩУВАННІ КАРТОПЛІ	111
2.4.4	ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ	112
2.4.5	ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА КАРТОПЛІ	112
2.4.6	ВПЛИВ ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНИХ УМОВ НА РЕАЛІЗАЦІЮ ГЕНЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОРТІВ КАРТОПЛІ	113
2.4.7	ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИРОБНИЦТВІ КАРТОПЛІ	113
2.4.8	ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КАРТОПЛЯРСТВА	114
2.4.9	СТРАТЕГІЧНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ КАРТОПЛЯРСТВА В УКРАЇНІ	115
2.4.10	ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ КАРТОПЛІ	116
2.4.11	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ	116
3.	LIVESTOCK	
3.1	Mylyanych A. ¹ , Buchkevych I. ¹ , Kurka M. ¹ , Fediuk T. ¹ MASTITIS IN DAIRY CATTLE: IMPACT ON MILK COMPOSITION AND TRENDS IN THE VETERINARY PHARMACEUTICAL MARKET ¹ Institute of Chemistry and Chemical Technologies, Lviv Polytechnic National University	120
3.2	Савчук І. ¹ , Ковальова С. ² , Тимошенко З. ¹ , Рубан І. ¹ ПРОДУКТИВНІСТЬ СВИНЕЙ ТА ЯКІСТЬ ЇХ ПРОДУКЦІЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОТИПОВИХ РАЦІОНІВ У ЗОНІ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ¹ Інститут сільського господарства Полісся НААН України ² Державний університет «Житомирська Політехніка»	134
3.2.1	ПРОДУКТИВНІ І ЗАБІЙНІ ЯКОСТІ СВИНЕЙ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОГО СКЛАДУ ЗЕРНОСУМІШЕЙ	136
3.2.2	НАКОПИЧЕННЯ ¹³⁷ CS, РВ І СД У М'ЯЗОВІЙ ТКАНИНІ І ПЕЧІНЦІ СВИНЕЙ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОТИПОВИХ РАЦІОНІВ	141
	REFERENCES	147

SECTION 1. AGRICULTURAL ENGINEERING

DOI: 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1.1.1

1.1 Determinant physical properties of soil affecting agricultural crop yield

Introduction

The development of modern agricultural production takes place in conditions of increasing intensification of technological processes, increasing the power and mass of machine-tractor units (MTU), as well as increasing the volume of mechanized transport and technological operations. On the one hand, this significantly increases labor productivity, leads to a reduction in the time of field work and a reduction in resource costs, and on the other hand, it causes a significant increase in the load on the soil environment. Under these conditions, the potential of the fertile layer of the soil is significantly deteriorating, which in turn leads to a decrease in the yield of agricultural crops. In such conditions, the issue of preserving soil physical properties and preventing its excessive compaction becomes particularly relevant.

Soil is a complex multiphase system consisting of solid, liquid, and gaseous phases. The key function of the fertile soil layer is to provide plants with nutrients, water and air, i.e. ensuring the productivity of agroecosystems. Its physical state determines the conditions of water, air and thermal regimes, the intensity of biochemical processes, the formation and development of the root system of plants. Soil density is one of the key indicators of soil quality, which allows prediction of the growth and development trends of agricultural crops. Deviation from the optimum density leads to more complicated use of moisture and nutrients.

The most common negative factor of the impact of modern agricultural production on the soil is its compaction due to the action of wheeled and tracked drives of machine-tractor units. In the process of rather intensive work on the field of agricultural machinery and multiple passes of machines, zones of local and deep compaction are formed. The soil in these zones has a changed structure, with a significantly smaller number of macropores and worse aeration conditions. The layer

in the plough pan zone has the greatest negative consequences of excessive soil compaction, which often cannot be loosened by traditional methods of mechanical cultivation and significant compaction can persist for several years.

Intensive soil compaction by the wheels of machinery operating in the field leads to a complication of the development of the root system, limiting the ability to absorb nutrients and moisture. In such conditions, even with sufficient supply of nutrients and moisture to the fertile soil layer, plants are not able to fully realize their biological potential. As a result, we have a decrease in yield, deterioration in the quality of agricultural products and an increase in energy costs per unit of yield.

Soil compaction has a complex and multifactorial effect on agroecosystem productivity of agrocenoses is complex and multifactorial. The reaction of different crops to changes in soil density is quite different. First of all, it depends on the biological characteristics of plants, the type of root system, the soil texture of the soil, the amount of moisture in the pores and climatic conditions. The most resistant to changes in soil density are grain crops, this is explained primarily by the type of plant root system. Row crops have a more pronounced impact of compaction on plant growth and development. But it should be remembered that exceeding critical density values leads to significant crop losses for all crop groups.

The scientific research of recent decades analyzed by us pays considerable attention to the study of the stress-strain state of the soil under the action of external loads. A number of analytical and semi-empirical models have been proposed that describe the interaction of the wheel of the machine-tractor unit with the soil surface and the distribution of emerging stresses in the soil massif. Most of these models are based on simplified assumptions regarding the homogeneity of the soil and loading conditions, the dynamic coefficient and other external factors are not taken into account. In the field conditions of operation of agricultural machinery, the soil is characterized by spatial and temporal variability of properties, which complicates the accurate prediction of compaction processes.

Recently, numerical modeling methods, in particular the finite element method (FEM) and the discrete element method (DEM), have become the most widespread.

These methods allow taking into account nonlinear soil properties, complex geometric contact conditions, and various loading modes. The use of these approaches encourages the use of new opportunities for quantitative assessment of the influence of the parameters of the MTU wheels, the mass of the operating equipment, and the modes of their operation on the stress-strain state of the soil. However, theoretical studies using numerical modeling require experimental confirmation and coordination with agronomic indicators, primarily crop yield.

Despite the significant volume of scientific publications analyzed by us, the problem of comprehensive assessment of the impact of excessive soil compaction on crop productivity remains insufficiently studied. Most of the conducted studies focus either on the wheeling aspects of the interaction of machinery with the soil, or on the agronomic consequences of changing its physical properties. A more substantiated and appropriate combination of these approaches is needed. As a result, there are no universal recommendations for representatives of the agricultural business regarding permissible loads and equipment parameters, taking into account specific soil and climatic conditions, crop structure and crop type.

In connection with the above, the need for a systematic study of the processes of formation of the stressed-deformed state of the soil under the action of mobile energy means and the establishment of quantitative relationships between soil density, its porosity and crop yield becomes particularly urgent. This approach will allow substantiating wheeling and agrotechnical measures, the main task of which will be to reduce the negative impact of technology on the soil environment and increase the efficiency of land resource use.

Thus, this section of the monograph is devoted to the study of existing technologies and methods of soil cultivation and their impact on crop yields. The presented materials are intended to form a scientifically sound basis for further research on improving the designs and operating modes of agricultural machinery, as well as for the development of resource-saving and soil-protective technologies of agriculture.

This work was carried out as part of the state-funded research project «Improving soil fertility by reducing the impact of external mechanical and chemical

factors during the cultivation of agricultural crops» №0126U000479. This section is aimed at summarizing modern scientific approaches and forming a theoretical basis for further experimental and computational studies related to assessing the impact of mobile energy resources on the physical properties of soil and crop productivity.

1.1.1. Determinant physical properties of soil that affect crop yield

Soil is a complex, multiphase natural system in its structure. The conditions for the growth and development of agricultural crops are primarily determined by the physical properties of the soil, the available amount of moisture and air in the pores, and the amount of nutrients. The formation of modern agrocenoses primarily depends on the combination of physical parameters of the soil and the environment, which change under the influence of natural and anthropogenic factors. An important element of influence is also the wheels of the equipment working in the field, the weight of which is constantly increasing with the development of technologies. Intensification of cultivation requires the use of various chemicals, which in turn has a dual effect. First of all, this makes it possible to accelerate the growth and development of plants, but on the other hand it has a direct impact on the composition of the fertile soil layer.

The basic physical characteristic of soil is the grain size distribution, which determines the ratio of particles of different sizes and significantly affects the accumulation of moisture, air and thermal properties. Resistance to mechanical load also depends to a greater extent on the grain size distribution. Soils that have a light mechanical composition in their structure are characterized by high water permeability and aeration, but also accumulate less moisture and are less resistant to compaction. Soils that are heavy in grain size distribution, on the contrary, are more prone to excessive compaction, deterioration of gas exchange and have a clearly pronounced plough pan, which negatively affects the development of the plant root system.

An important characteristic is also the bulk density of the soil, which shows the degree of its compaction. The values of the bulk density depend on the biological characteristics of the crops grown and the type of soil itself. An increase in the bulk density negatively affects the porosity of the soil, the deterioration of the accumulation of air and moisture and the increase in the mechanical resistance to the growth and

development of the root system of the crop. Even with a small increase in the bulk density, we can have a significant decrease in yield, especially for vegetables and crops with a fairly pronounced root system.

Soil porosity is one of the main indicators of agrophysical condition. The total number of pores in the soil determines the ability to accumulate and release air and moisture and creates favorable conditions for microbiological processes. In the presence of large macropores, the soil is more conducive to drainage, and an excess of micropores leads to moisture retention and insufficient oxygen in the arable layer.

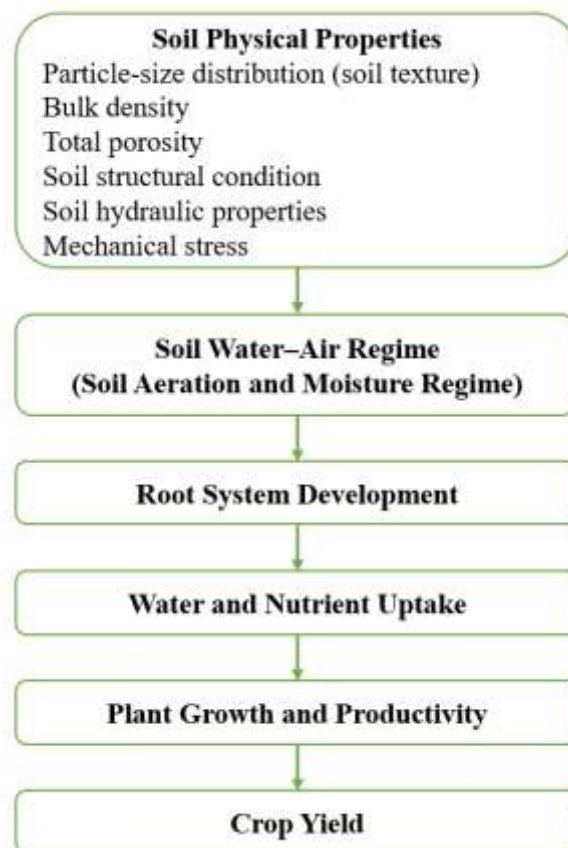


Figure 1. Scheme of the influence of physical properties of soil on the formation of crop yields

Image source: created by the author

Moisture plays a crucial role in the cultivation of any agricultural crops and its amount allows plants to obtain the maximum amount of nutrients found in the soil Figure 1. The amount of moisture in the soil depends not only on natural phenomena and the amount of precipitation, but also on the ability of the soil to accumulate, retain

and evenly distribute moisture. Mechanical loads are most often the factor that leads to a decrease in the ability to retain moisture and increases surface runoff [10, 11].

The structural state of the soil is the main factor in the processes of degradation. Soils that have a well-defined aggregate structure optimally combine water and air permeability, have high biological activity and resistance to compaction. Structural damage caused by intensive work of heavy agricultural machinery, or excessive use of various chemicals reduces the intensity of accumulation and use of moisture and nutrients by agricultural plants Figure 2.

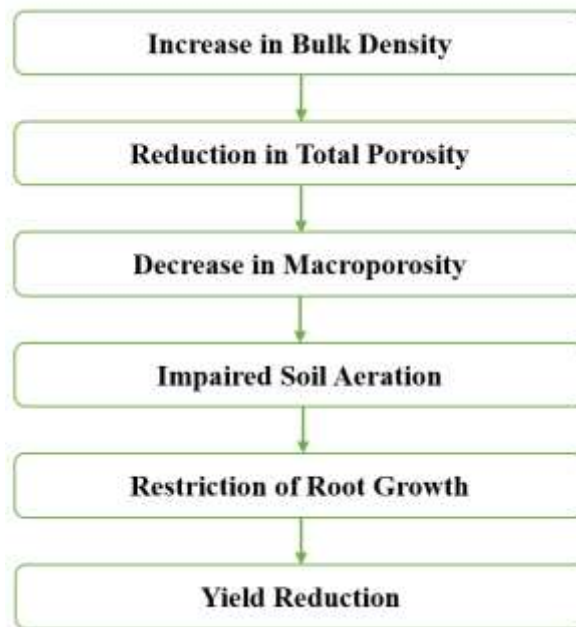


Figure 2. The influence of soil bulk density on its porosity and root system development

Image source: created by the author

The mechanical resistance of the soil has a significant impact on the growth and development of plants and increases intensively during compaction. Figure 3 shows a diagram of the change in the physical state of the soil under the influence of mechanical loading. Table 1 shows the impact of changes in physical properties on the yield of agricultural crops.

Therefore, the physical properties of the topsoil form the basis for realizing the potential of crop yields. Changes in physical properties from mechanical and chemical

factors require scientific approaches to studying the impact of loading and the implementation of modern agricultural technologies [9].

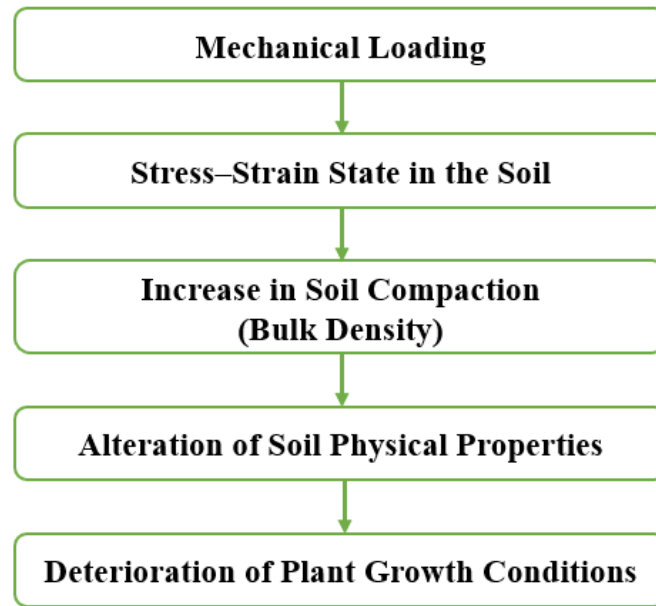


Figure 3. Scheme of changes in the physical state of soil under the influence of mechanical loading

Image source: created by the author

Table 1

The influence of physical soil properties on crop yields

Physical property	Optimal values	Negative deviations	Impact on plants	Consequences for yield
Soil texture	Medium, light loamy	Too light/heavy	Violation of water and air exchange	Uneven development
Bulk density, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1.1–1.3	>1.35	Root growth complications	Yield reduction
Total porosity, %	50–60	<45	Oxygen deficiency	Growth suppression
Humidity, % RH	60–80	<50 or >90	Plant stress	Loss of productivity
Mechanical resistance, MPa	<2.0	>3.0	Root system limitations	Biomass reduction

At the current stage of development of agricultural sciences, the physical properties of soils are universal determinants of the productivity of agrocenoses, however, their influence on and assessment methods differ significantly in different countries depending on climatic, technological and economic conditions. In countries where significant attention is paid to the scientific development of agriculture, their own approaches to determining and studying the influence of key physical parameters of the soil have developed, which encourages comparison of research at the international level [9].

In the USA, the Soil Quality Indicators system, which was created within the framework of the USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS) program, is of great importance. With the help of this system, it is possible to evaluate soils according to physical, chemical and biological parameters. Physical characteristics, such as bulk density, porosity and water-air regime, are considered as indicators of the general condition of the soil and can predict the potential productivity of agricultural crops. Bulk density in this case is used as one of the key parameters for assessing the soil's resistance to compaction and its ability to support the development of the root system of the crop [2].

In the European Union, scientists are paying considerable attention to the development of methods for standard soil sampling and laboratory analysis, the purpose of which is to integrate soil condition data from different regions into a single database. The Netherlands and Germany widely use protocols for field and laboratory measurements of porosity and moisture content and describe the water status of the soil in local climate conditions. Such approaches are more relevant in regions with a humid climate where the accumulation of moisture in the soil is key for the stable growth and development of agricultural crops [9].

In Australia, agricultural lands are deficient in soil moisture, and a series of Plant Available Water (PAW) models have been developed to simulate water balance taking into account soil physical properties. These models can be used to predict potential crop yields in arid climates [12].

In Canada, scientists have devoted considerable attention to long-term field studies of changes in soil physical properties under different tillage practices and for a wide variety of crops. The results of such studies have become the basis for predicting long-term changes in soil porosity, density, and moisture saturation [1].

The above-listed international approaches to research and practice confirm that, regardless of the climatic zone, there is a universal requirement to integrate physical soil parameters into models that describe crop productivity. However, the available soil productivity assessment methodologies, indicators and threshold values differ significantly depending on agro-climatic conditions and tillage technologies.

1.1.2. Comparison of theories of interaction of wheels with soil

The interaction of the wheel with the soil is a rather complex process that requires constant research and study of modern technologies to minimize the negative impact on the arable layer. First of all, it is a rather complex physical and mechanical process that determines not only the traction properties of the machine but also the degree of soil deformation. Theoretical approaches to this process have been formed over a considerable period of time and are based on the application of the classical theory of elasticity in the study of the stress-strain state of the soil. These theoretical approaches allow for a fairly wide study and description of the process of soil compaction, deformation during interaction with wheels and tracks of working equipment [9]. A comparison of the main theoretical approaches to modeling the interaction of wheels with the soil is shown in Table 2.

Often in modern scientific studies of the stress-strain state of the soil, empirical-analytical research models are used, which combine experimental data with analytical dependencies. In such models, the interaction of the wheel or caterpillar with the soil is described through generalized parameters, including: deformation modulus, adhesion coefficient, specific pressure on the soil. The main feature of the use of such models is their practical application in wheeling calculations. The disadvantages of such models include the fact that the dynamic nature of the loads and the heterogeneity of the soil layer are often not taken into account [13].

Further studies of the theory of elasticity are associated with the use of contact-mechanical models, in which the contact zone between the wheel or caterpillar and the soil is analyzed. Within the framework of these studies, the distribution of stresses, the shape of the contact spot, and the nature of deformations that propagate in the soil thickness are considered. With the help of these models, it is possible to estimate local stresses and changes in soil density.

Modern approaches to modeling wheel contact with the soil surface are based on numerical methods, namely: the finite element method and discrete element method. In this case, we have the opportunity to take into account nonlinear soil properties, variable moisture content, soil non-uniformity and the dynamic mode of vehicle movement. Such models are the most informative in studying the stress-strain state, but require significant mathematical calculations and detailed experimental studies [9].

Table 2

Comparison of the main theoretical approaches to modeling the interaction of wheels with the soil

Approach	Level of detail	Taking into account heterogeneity	Practicality
Analytical	Low	No	High
Empirical	Average	Part	High
FEM/DEM	High	Yes	Medium

A comparative analysis of existing approaches to research shows that each of the approaches has a place to be used, but cannot fully describe all aspects of the interaction of the wheel with the soil. Analytical models, which in this case are classical, give a general idea of the regularities of the process, empirical models are convenient in practical application, numerical ones reflect the real operating conditions of the equipment in the most detail. The choice of one or another method of theoretical research should be based on the task, the level of detail and the availability of experimental data.

Today, for a more detailed study of reducing the negative impact of motors on soil compaction, scientists are combining various theoretical approaches to obtain complex models capable of predicting changes in soil physical properties and their impact on crop yields.

1.1.3. Patterns of soil deformation under different types of soil movers

The soil in the process of interaction with the wheels of machine-tractor units is most often considered as a complex multiphase system, the mechanical processes in which are determined by the combination of solid mineral particles, organic component, soil moisture and air [9]. All these components significantly affect the formation of emerging stresses and deformations in the soil layer under the action of external loads, taking into account the heterogeneity of its structure, spatial anisotropy and nonlinear nature of the deformation response. It is precisely because of its multicomponent nature that the soil makes it impossible to use simplified models of a solid elastic body without taking into account significant errors in the studies of compaction processes.

The mineral base of the soil forms a spatial framework structure, on which the main applied mechanical loads act. Organic matter in the middle of the soil acts as a binding element, reducing mechanical degradation, while contact interactions between individual particles and aggregates determine the resistance of the soil to compression, shear and fracture. With an increase in the amount of organic matter, the elasticity of the soil increases, however, under excessive and intense loads, even structurally stable soils have irreversible deformations [7].

It is known that the presence of soil moisture significantly changes the mechanism of stress transmission in the soil. Moisture, which fills the space in macro- and micropores, reduces friction between soil particles, promotes their sliding and redistribution of contact stresses. At high moisture saturation, the soil passes from a brittle to a plastic or viscoplastic deformation mode, even at a fairly low load. In world practice, moisture is one of the key factors that affects the development of harmful compaction [14].

In [9] it is described that during the action of the load caused by the wheels of machine-tractor units, a complex spatial stress field is formed in the soil massif, which consists of horizontal, vertical and shear stresses. The maximum stress indices are recorded in the zone of direct contact of the wheel with the surface and with increasing depth or distance from the contact area they decrease. However, in field conditions this process is of a pronounced nonlinear nature, since the soil quickly loses its elastic properties and enters the stage of plastic deformation with the formation of a section where stresses are concentrated. Figure 4 shows the main forces applied to the wheel during vehicle movement and the distribution of the resulting stresses.



Figure 4. Main parameters in the study of the stress-strain state and the direction of deformations

Image source: created by the author

By its nature, the interaction of the wheel with the soil is short-term, but with intensive loading. During the passage of the machine-tractor unit across the field, there is a rapid application and removal of force, which causes deformation and creep, stress relaxation and accumulation of residual deformations. But when growing crops, the soil is subjected to intense repeated impact, as a result of which even minor initial deformations gradually turn into stable soil compaction [9].

Deformations that occur in the soil layer form zones where the aggregate structure changes significantly, the number of macro and micro pores decreases, and the function of moisture and air accumulation deteriorates [9]. With increasing depth of investigation, stresses are transmitted in the form of compressive waves that can cause a significant change in density even at relatively small contact loads, when the total mass of the machine exceeds critical values. It is these processes that underlie the formation of a plough pan, which is practically not amenable to natural restoration.

Thus, considering the interaction of the drives of machine-tractor units with the soil environment, we have a complex multifactorial problem with a pronounced physical and mechanical process, which is determined by the properties of the soil, load parameters, structural features of the drives and the intensity of movement of the equipment. With a comprehensive consideration of these patterns, it is possible to develop environmentally safe, energy-efficient and resource-saving technologies for soil cultivation, focused on preserving its fertility.

1.1.4. Patterns of soil deformation under different types of soil movers

The types of agricultural machinery wheels are one of the main factors that shape the nature, intensity and spatial structure of the mechanical impact on the soil environment. It is thanks to the wheels that the load from the mass of the machine-tractor unit, traction and braking forces, as well as dynamic vibrations are transmitted to the soil, causing complex processes of deformation, compaction and change in the soil profile after intensive impact. During soil cultivation, the choice of the type of wheel is most often associated not only with the technical and economic performance of the machines, but also with the environmental impact on the soil environment.

The most common in modern agricultural wheeling are pneumatically driven (wheeled) vehicles used in tractors, combines, self-propelled sprayers and other vehicles. The interaction of a pneumatic wheel with the soil is significantly different from a rigid wheel due to the pneumatic tire. The deformation of the tire under intense load provides significantly lower peak stress values due to the increase in the contact patch area and the redistribution of pressure within this zone [6].

To reduce the vertical load, agricultural machinery often reduces the pressure in pneumatic drives, which leads to an increase in the contact patch between the wheel and the soil. Thus, the stresses that arise in the soil layer are significantly reduced, reducing the compacting effect of the drive on the soil surface. But the fact of reducing the pressure in pneumatic drives is limited in the conditions of increasing the mass of high-performance machines, the weight of which often exceeds 15-20 tons. This is explained primarily by safety factors and design features, since an irreversible process of pressure loss in the middle of the pneumatic tire may occur, which can lead to an accident or make it impossible to use the equipment. In the soil layer, which is located under the plough pan at a depth of 0.3 – 0.6 m, stresses are formed that can significantly exceed the plastic limit of the soil, especially at high humidity.

Deep compaction, which not only compacts the fertile soil layer but also forms a plough pan, is one of the biggest problems of modern agriculture. The main difference between compaction of the surface soil layer and compaction within the plough pan is that the latter are irreversible. Studies by scientists conducted in the European Union, Canada and the USA [15] indicate that such compacted soil layers persist for decades, limiting the development of the plant root system, reducing water permeability and soil aeration.

The intensity of soil cultivation during the cultivation of agricultural crops also has a significant impact on the intensification of soil compaction. The impact of the repetition of passes of wheeled machines and the use of technological tracks deserves special attention [8]. On the one hand, this allows for a more rational use of the width of the agricultural machine, but in turn we have areas of soil (tracks) where water permeability and air saturation will be significantly complicated. Even at relatively low loads, multiple passes along the same track lead to the accumulation of residual deformations and an excessively compacted area of soil [8]. In this case, the soil enters a state of secondary compaction, which is characterized by increased stiffness and reduced ability to restore the structure. It is this mechanism that explains the significant negative impact of transport operations during harvest periods.

Tracked vehicles, which are used mainly on heavy tractors and specialized equipment, have a much larger area of contact with the soil compared to wheeled systems. This in turn allows you to significantly reduce the maximum vertical stresses in the upper fertile layer and reduce the risk of surface compaction. It is during periods when the field area has excessive moisture that the use of tracked vehicles makes it possible to perform various agricultural operations.

At the same time, the use of crawler wheels most often occurs on equipment with a fairly large weight, which causes horizontal shear deformations when moving with an energy-intensive agricultural machine, which are concentrated in the upper parts of the soil. During curvilinear movement, during turns, acceleration and braking, these deformations reach maximum values, causing destruction of the aggregate structure and intensive mixing of the soil mass [5].

The greatest negative impact of tracked vehicles occurs precisely when the soil is excessively moist. At this time, the soil is in a plastic or viscoplastic state. Shear stresses in this state exceed the soil's resistance to shear, thus smearing its surface structure, reducing macropores and reducing resistance to water and wind erosion. Field studies show that after the passage of tracked vehicles over areas of soil with excessive moisture, the restoration of the structure can take several growing seasons.

The most promising direction of development of the world agricultural wheeling is the use of combined drives [16]. Most often, combined drives can be found on combines where the load distribution on the tracks is maximum. The use of combined drives allows to increase the traction force, reduce the negative impact on the soil surface and increase the maneuverability of the vehicle. Theoretically, such systems allow to optimize the load distribution as much as possible depending on the operating conditions.

However, the mechanisms of interaction of combined wheels with the soil are complex and depend on many factors. Uneven load distribution between wheels and tracks, various types of deformation of contact elements and complex kinematics of movement complicate the theoretical formation of generalized patterns. Available field experimental studies do not always provide an opportunity to analyze and compare the

results obtained. This is explained in turn by the fact that the studies are conducted in different soil and climatic conditions.

World scientific publications indicate the lack of unambiguous conclusions regarding the long-term use of combined drives and their impact on the fertile soil layer. Some researchers note a decrease in surface compaction, others point to the formation of local stress concentration zones and a clearly pronounced plough pan. This proves the need to continue comprehensive research that combines field experiments, laboratory tests and numerical modeling.

Therefore, the type of drive of a mobile agricultural machine determines not only the magnitude of the contact pressure, but also the nature of the spatial distribution of stresses and deformations in the soil profile. Wheeled, tracked and combined drives have fundamentally different mechanisms of influence, each of which is accompanied by specific risks of soil degradation. Awareness of these patterns is a scientific basis for substantiating the rational choice of drives and the development of soil-saving technologies in modern agricultural production.

1.1.5. Patterns of soil deformation under the stubble surface

The stubble surface of the soil is one of the key features of modern soil conservation systems of agriculture, which have become widespread in the conditions of intensification of agricultural production and increasing requirements for the ecological sustainability of agroecosystems. In modern technologies that are effectively used, including such as: technologies of minimum, zero and strip cultivation, the number of agricultural operations has significantly decreased [16]. Stubble and post-harvest residues in these technologies remain on the field surface for a long time, creating specific conditions for the interaction of agricultural machinery wheels with the soil environment. Under these conditions, not only the agrophysical state of the upper soil layer changes, but also the mechanisms of load transfer in the zone of contact of the wheel with the soil change. The nature of the formation of the stress-strain state and the long-term consequences of the mechanical impact of machines also differ significantly from traditional research.

Stubble, as the top layer, is a complex organic-mechanical soil layer consisting of plant residues of various origins, sizes and degrees of grinding. When studying the influence of drivers on the surface of a field covered with stubble, it is important to take into account the spatial arrangement of the studied layer, the orientation of the stems, the density of laying and the degree of moistening. These factors in experimental research will significantly affect the studied indicators and mechanical properties of the field surface. If we compare the soil layer covered with stubble and the open or mechanically treated surface, then the first studied object has pronounced elastic-viscous characteristics, which allows it to partially absorb the load energy and reduce the intensity of peak contact stresses.

During the contact of the MTU wheel with the stubble surface, a complex process occurs, which is accompanied by multi-stage deformation. Plant residues covering the soil surface act as a damper, which allows reducing the spread of the compaction effect in the soil layer [9]. The second stage is the loads that are transmitted to the upper organic-mineral layer of the soil, where mainly elastic and elastic-plastic deformations are realized. Only after partial compaction of this layer does a significant part of the load begin to be transmitted to the deeper horizons of the soil profile.

The effectiveness of the stubble layer as a protective element depends significantly on its thickness and uniformity. The graph in Fig. 5 shows the results of field studies of changes in relative stresses in the soil with and without stubble. With a uniform distribution of plant residues and their sufficient quantity, stubble is able to reduce the maximum vertical stresses in the upper soil layer by 15–30%. However, under conditions of uneven cover or its partial destruction, this effect quickly decreases. Moreover, in the case of significant loads, stubble can be completely compacted or pressed into the soil, which leads to a sharp increase in stresses in the subsoil horizon.

A complex multilayer system is formed under the stubble surface, in which the upper organo-mineral horizon is characterized by increased porosity, a significant number of macropores and pronounced structural heterogeneity [17]. It is this horizon that plays the role of the primary barrier to mechanical loads. However, its ability to

absorb deformation is limited and depends on the previous state of compaction, moisture content and structural stability of the aggregates.

One of the fundamental laws of soil deformation under the stubble surface is the transformation of the distribution of vertical stresses in the soil profile. In the surface layers, stubble reduces the peak values of stresses, but at the same time contributes to their deeper penetration. As a result, zones of increased stresses are formed at depths of 0.25–0.50 m, which under certain conditions may exceed the plasticity limit of the soil.

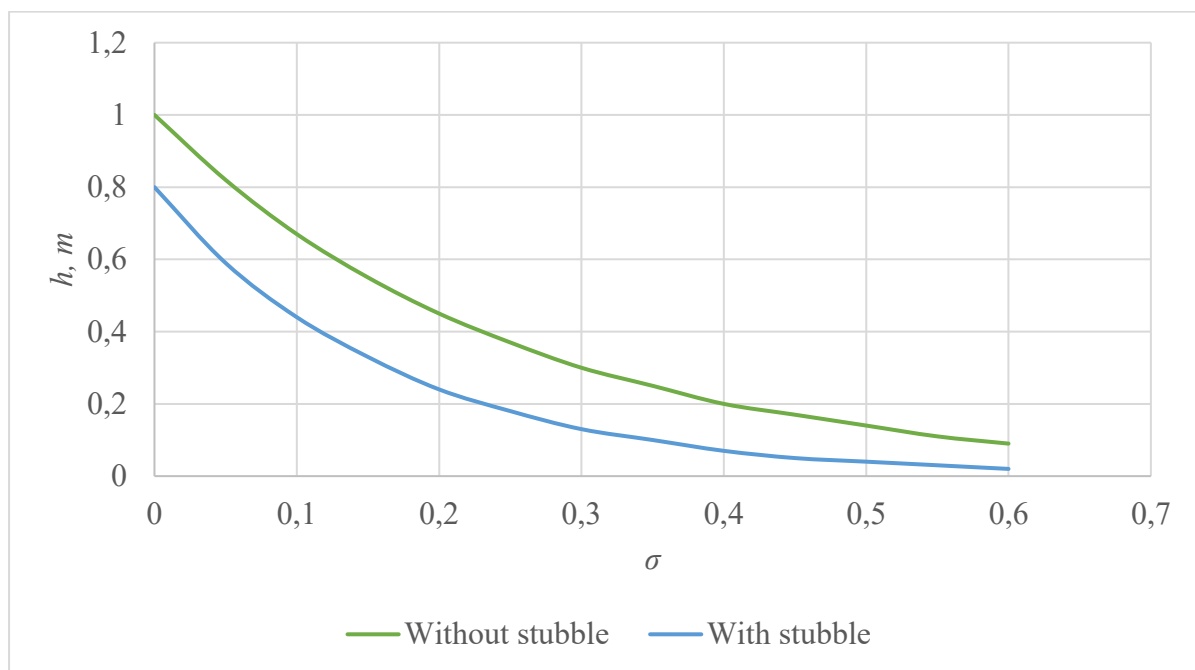


Figure 5. Change in the arising relative stresses in the experimental soil area with and without stubble

Image source: created by the author

This phenomenon is of particular importance for chernozem and loamy soils, where plastic deformation is accompanied by persistent compaction and destruction of pore space. Under such conditions, a hidden deep compaction is formed, which is not visible on the field surface, but significantly limits water permeability, gas exchange and the development of the root system of agricultural crops.

Reversible deformations associated with the elastic properties of the soil structure and plant residues prevail. With increasing load or the number of passes of

the equipment, the soil passes into a plastic or viscoplastic state, which is accompanied by the accumulation of residual deformations.

Repeated application of load results in the secondary compaction effect, which is characterized by a gradual increase in soil density without significant changes in the surface appearance. This process is typical of minimum and zero tillage systems, where stubble is retained for many years.

Horizontal and shear deformations under the stubble surface have their own patterns. Plant residues change the friction conditions between the motor and the soil, reducing the coefficient of adhesion. This affects the mechanism of transmission of traction forces and leads to a redistribution of shear stresses. In the surface layer, shear deformations may decrease, but in the subsurface horizons they become local and concentrated along the trajectories of the motor.

Deformation processes under the stubble surface are especially dangerous at high soil moisture. Stubble reduces the intensity of evaporation and contributes to the accumulation of moisture, which maintains the soil in a plastic state for a long time. Under such conditions, even relatively small loads can cause significant residual deformations that accumulate with each pass of the equipment.

In zero- and minimum-tillage systems, stubble is often combined with increased density of the arable layer, formed as a result of many years of absence of intensive mechanical loosening. Under such conditions, the upper horizon has a limited ability to additional compaction, and the main part of the deformations is localized in the subsoil layer. This creates the prerequisites for the formation of stable compacted horizons, which significantly reduce the efficiency of soil moisture and nutrient use.

The dynamic nature of the load from mobile machinery on the stubble surface also plays an important role. Fluctuations in the mass of the machine, micro-unevenness of the field surface and the elastic properties of plant residues cause the emergence of impulse loads. These loads are cyclic in nature and contribute to the development of fatigue processes in the soil structure, which over time reduces its resistance to deformation even under constant operating conditions.

An important regularity is the spatiotemporal heterogeneity of compaction under the stubble surface. Unlike traditionally cultivated soil, where compaction is relatively uniform, alternating zones of increased and decreased density are formed in stubble systems. This is due to the uneven distribution of plant residues, local differences in moisture and the specifics of the movement of machinery.

From an agroecological point of view, stubble serves a dual function. On the one hand, it protects the soil from water and wind erosion, stabilizes the temperature regime and contributes to the preservation of organic matter. On the other hand, with irrational use of technology, stubble can mask the development of deep compaction, making it difficult to detect and eliminate it.

Thus, the patterns of soil deformation under the stubble surface are determined by the complex interaction of the physical and mechanical properties of the soil, the characteristics of plant residues, the parameters of the wheels and the operating modes of mobile agricultural machinery. A deep understanding of these processes is a necessary scientific prerequisite for substantiating technological solutions aimed at preserving soil fertility and increasing the sustainability of agricultural systems.

CONCLUSIONS

Our analysis of modern scientific sources and experimental studies shows that the intensification of the use of energy-intensive vehicles in agriculture is one of the key factors influencing the physical properties of the soil. It has been established that the use of technological tracks and repeated passes of equipment lead to a gradual increase in the volumetric mass of soil in the arable layer by $0.03 - 0.10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, which corresponds to an increase in density by $3 - 8\%$, while in the plough pan zone this indicator can reach $0.08 - 0.15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ and sometimes with excessive moisture and $5 - 12\%$ of the initial values. Such an impact leads to changes in the soil that are long-term in nature and can persist for several years.

It has been established that the increase in soil density is accompanied by a decrease in its total porosity and a violation of the optimal ratio between macro- and micropores. With an increase in density from $1.10 - 1.15 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ to $1.30 - 1.35 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, the total porosity decreases from $52 - 55\%$ to $44 - 47\%$, and the proportion of

macropores (with a diameter of more than 0.1 mm) is reduced by 10 – 18%. This leads to a significant deterioration in the aeration regime, a decrease in the intensity of gas exchange and the accumulation of carbon dioxide in the root-containing layer.

The analysis showed that that soil compaction negatively affects its water-physical properties. In particular, the filtration coefficient in a compacted state decreases by 1.5 – 2.3 times, and the rate of water absorption by the soil decreases by 30 – 50%. This affects the formation of surface runoff, increases the risk of erosion processes and uneven moisture distribution in the root zone, which is most dangerous under conditions of unstable moisture.

During the analysis of the stress-strain state of the soil, it was determined that the maximum vertical stresses arise in the contact zone of the wheel with the surface and reach 120 – 180 kPa for wheeled units of medium power and 80 – 140 kPa for tracked wheels. During the study of deeper soil layers, it was determined that the formation of compacted layers in the form of a plough pan begins to form at a depth of 0.25 – 0.40 m. These layers are characterized by increased resistance to root penetration (up to 2.5 – 3.5 MPa) and significantly affect the growth and development of agricultural crops.

The degree of negative impact, namely soil compaction, significantly depends on the biological characteristics of agricultural crops. For grain crops (winter wheat, barley, oats), an increase in the density of the arable layer from 1.15 to 1.30 g·cm⁻³ causes a decrease in yield by 5 – 11%, while when growing corn or sunflower, yield losses can reach 9 – 17%. In the case of a further increase in density to 1.35 – 1.40 g·cm⁻³, yield losses of up to 20 – 25% are possible, especially under conditions of insufficient moisture in the arable soil layer.

In different phases of development, agricultural plants react differently to changes in soil density. During the early phases of growth and development, this effect is felt by the plant most, since the main root formation occurs. At densities above 1.30 g·cm⁻³, a reduction in root length by 15 – 30% is observed, which affects the area of the absorbing surface and reduces the amount of moisture absorbed by the plant. As a

result, we have significantly lower plant productivity during the most active growth phase.

It has been proven that a number of wheeling and agrotechnically justified measures are used to reduce the impact of the wheels of working machinery on compaction and plant growth and development. The most common are reducing the number of passes of machinery, using twin and built-up wheels, using tires with reduced specific pressure, optimizing the air pressure in tires, using equipment with crawler wheels. All these measures provide a decrease in density by $0.03 - 0.10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, an increase in total porosity by $4 - 8\%$ and an increase in yield by up to 15% .

The obtained results of the analysis of literature data confirm the effectiveness of integrating wheeling methods of load analysis with agronomic assessment of their consequences. Numerical modeling methods (FEM, DEM) allow predicting the spatial distribution of stresses and soil deformation with an accuracy of $\pm 10 - 15\%$, which is sufficient for practical application in the design and operation of agricultural machinery.

The results summarized in the section can be used as a scientific and methodological basis for developing recommendations for selecting the parameters of machine-tractor units, improving soil cultivation technologies, and forming resource-saving agricultural systems focused on preserving soil fertility and stably obtaining high yields.

Further research should be directed at clarifying the maximum permissible density values for different types of soils and crops, as well as at deepening the numerical modeling of compaction processes, taking into account dynamic loads, real operating conditions of equipment, and changes in soil moisture during the growing season.

SECTION 2. AGRONOMY

DOI: 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1.2.1

2.1 Allelopathic effect of aqueous extracts of grain and oil crops on the sowing properties of wheat grain

In current conditions, when agriculture is too intensively introducing new principles of greening agricultural technologies, the study of mechanisms capable of regulating the productivity of agrocenoses is becoming increasingly relevant. One of the leading factors in interspecific plant interactions in crops is allelopathy, a form of biochemical interaction that occurs through the release of physiologically active compounds into the environment that can alter the growth and metabolic processes of other species. Allelochemicals have different chemical natures (phenolic compounds, organic acids, flavonoids, terpenoids and other secondary metabolites) and can enter the soil through root exudates, along with post-harvest residues or during the mineralisation of plant biomass, forming a specific biochemical regime of the soil environment. Due to the fact that these compounds are capable of accumulating in the soil, this leads to fundamental changes in its microbiological activity and physiological and biochemical indicators.

Grain and oil seeds have their own agronomic characteristics and act as active modifiers of the environment, so this must be taken into account in crop rotation. Due to the fact that the root system of these plants can cause significant changes in soil enzymatic activity and composition, and even disrupt the activity of microorganisms in the soil, biogeochemical cycles may be disrupted, resulting in an insufficient amount of chemical elements necessary for plant mineral nutrition. As a result, the germination and development of the next crop may be disrupted.

Wheat is the best indicator for studying agroecosystems, as it is quite sensitive to changes in the allelopathic impact.

The influence of predecessors reveals itself primarily in the early stages of organogenesis — during seed swelling, germination, and the formation of the primary root system, reserve substances are mobilised and the prerequisites for future

productivity are laid. Therefore, even minimal changes in the chemical composition of the soil resulting from the accumulation of allelochemicals can determine plant development and affect its adaptation.

Therefore, the research of the allelopathic effect of aqueous extracts of grain and oil crops on the sowing properties of wheat grain is a relevant and scientifically sound area of study aimed at improving the stability and efficiency of agroecosystems.

2.1.1. Allelopathy as a promising area of research in organic farming

2.1.1.1 The concept of allelopathy and the history of the development of the theory

The growing demand for food necessitates an increase in the volume of agricultural production using traditional farming methods, which leads to increased use of natural and energy resources. It is important to note that traditional farming is based on the use of mineral macro- and microfertilisers, pesticides and herbicides, which are the leading cause of soil and environmental degradation, soil depletion, its sterilisation, increased water and wind erosion, compaction, changes in climatic conditions and various types of drought [18].

Growing concern about the environmental impact of agricultural activities has led to the development of alternative farming systems, including organic farming.

Organic farming is seen as an environmentally friendly system of agricultural production that aims to combine high productivity of agroecosystems with minimising negative impacts on the environment and preserving soil fertility for future generations. Key tasks include maintaining the balanced functioning of the interconnected elements of the agrocenosis, namely the soil environment, vegetation cover, fauna and humans, which constitute a single global biological system [19].

The organic farming system involves the creation of sustainable, self-regulating agroecosystems with long-term productivity, as close to natural as possible, requiring minimal human intervention.

In practice, organic farming excludes the use of synthetic fertilisers, chemical plant protection products, growth regulators and other potentially hazardous

substances. Soil nutrient management is carried out mainly by biological methods, in particular by increasing the proportion of legumes in crop rotations, using plant residues, green manure crops and organic materials [20].

One of the aspects that ensure ecological balance in organic agricultural systems is allelopathic interaction between plants. Allelopathic interactions are realised through the release of biologically active substances and determine the direction of plant community formation, with the regulation of segetal and ruderal vegetation, early ontogenesis of crops and the functional state of soil microbiota [21].

The use of allelopathic plant resources in crop rotation is considered an innovative direction in the biologisation of agricultural technologies in organic farming [22].

The founders of the doctrine of allelopathy are considered to include the Austrian ecologist Hans Molisch, who in 1937 introduced the term “allelopathy” (from Greek *allelon*, “mutually,” and *pathos*, “suffering”) to denote interactions of plants via the release of chemical substances. However, a coherent scientific theory of allelopathy as a form of chemical interaction between plants through root exudates and physiologically active substances was formulated by the Ukrainian academician Andriy Mykhailovych Hrodzynskyi. His work laid the methodological and conceptual foundations for the study of this phenomenon. He substantiated the concepts of “allelopathic activity,” “tolerance,” and “intolerance” of plants, and also developed the concept of the circulation of biologically active metabolites in phytocenoses [23].

Along with A.M. Hrodzynskyi, other prominent Ukrainian researchers were also active in this area. In particular, H. Bohdanov, who studied the nature of plant defense reactions and the mechanisms of their chemical interaction. E.A. Holovko, a microbiologist and ecologist, studied the role of microorganisms in allelopathy processes, while agrobiologist S.L. Horobets focused on studying the empirical and methodological aspects of chemical interaction of cultivated plants in agrophytocenoses.

As a result of the creative collaboration of scientists, a theory of the allelopathic interaction model was developed, standardized approaches to studying the

phenomenon of "soil exhaustion" during cultivation of various crops were proposed, and the role of phytotoxic substances in the processes of inhibiting or stimulating plant growth was determined. These results are of great practical importance, in particular for optimizing crop rotations and increasing the productivity of agroecosystems.

Publications from this period were among the first systematic scientific works devoted to the study of allelopathic interactions in agroecosystems, initiating the further development of this study in Ukraine and creating a scientific foundation for modern agronomic and ecological research [24].

Modern research by L.D. Yurchak, who focused on the ecological aspects of the chemical interaction of plants, also remains relevant. The researcher substantiated agroecological principles of alternative methods of soil cultivation and identified a key role of microorganisms in the occurrence of soil fatigue in various crop rotations of agricultural crops. This direction is especially significant at the current stage of development of agricultural science, because its implementation contributes to increasing soil fertility and increasing productivity of agroecosystems [25].

Today, the phenomenon of allelopathy is studied both in Ukraine and in Japan, India, the USA and European countries, which allows using various approaches to form a sustainable ecological agriculture [26].

2.1.1.2. Types and principle of action of allelopathy in agroecosystems

In agroecosystems, allelopathy is characterized as an important mechanism of biochemical interaction of plants, which is carried out by releasing physiologically active compounds into the soil and air environment and determines the formation of phytocenotic organization of crops, contributes to the organization of the level of competitiveness of crops, affects the dynamics of segetal and ruderal vegetation and regulates the production process. In accordance with modern ecologically oriented agriculture and greening of agricultural production, the consideration of allelopathic effects acquires particular importance, which will contribute to the organization of correct crop rotations and reducing the risks of anthropogenic load on agricultural landscapes.

The study of allelopathy as a biological phenomenon has allowed identifying its main types, as well as their effect in agroecosystems, clarifying their agronomic significance and possibilities of application in organic farming (Fig. 1.1)

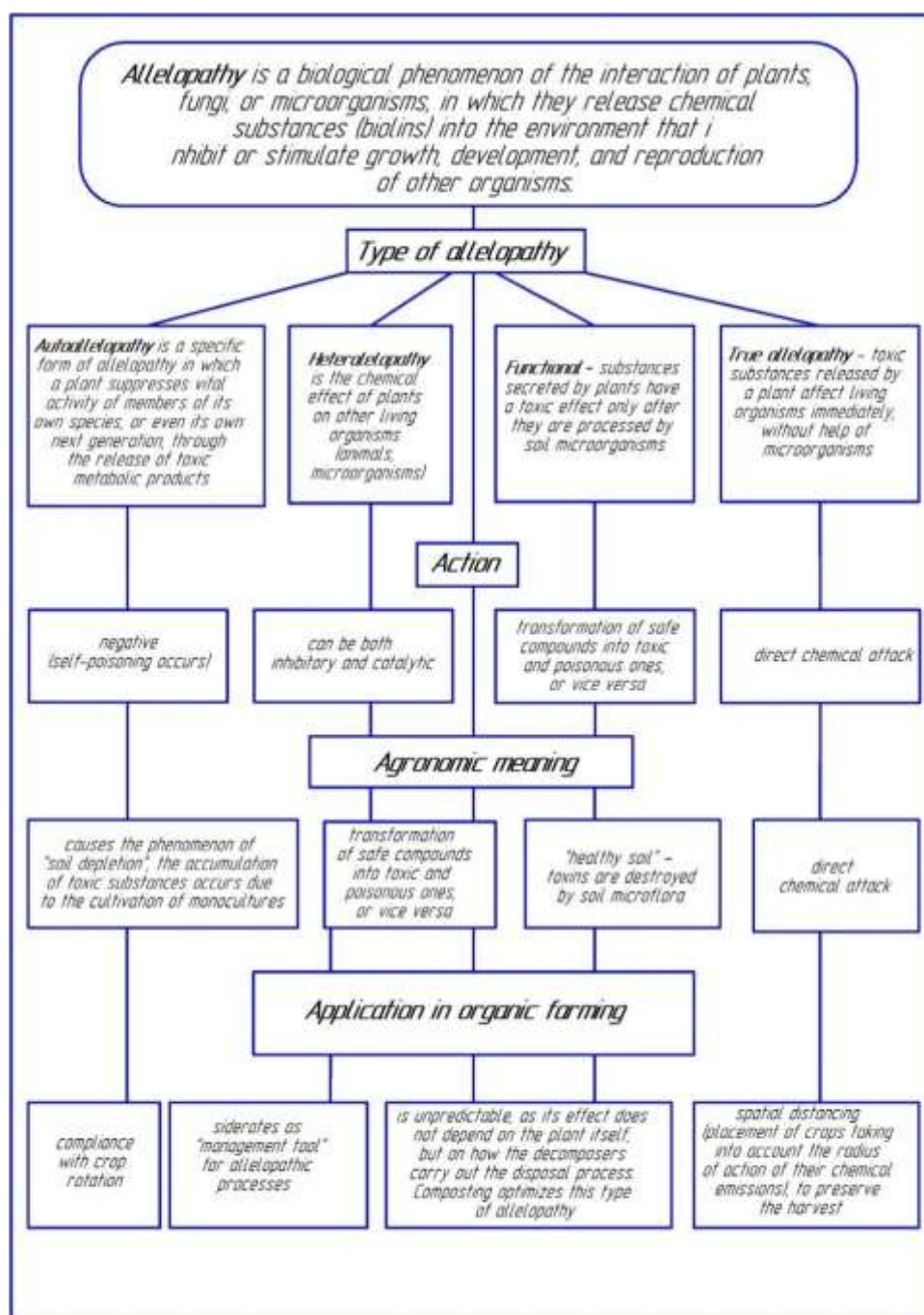


Figure 1.1. Diagram of allelopathy types and their effects, significance and application in agroecosystems

Source of the figure: author's development

In the studies of L.D. Yurchak, the main allelopathic soil regimes in agroecosystems were formed. On the basis of these studies, it was proven that the

allelopathic soil regime is formed under the influence of the products of plant and micro-organisms' vital activity, and the phenomenon of soil saturation was substantiated (Fig. 1.2) [27].

The result of the interaction of plants, microorganisms and physico-chemical properties of soil environment allows the formation of an allelopathic soil regime in an agroecosystem. This process is based on the receipt, accumulation and transformation of allelochemical compounds formed in the ontogenesis of cultivated and wild plants, as well as during the decomposition of post-harvest residues.

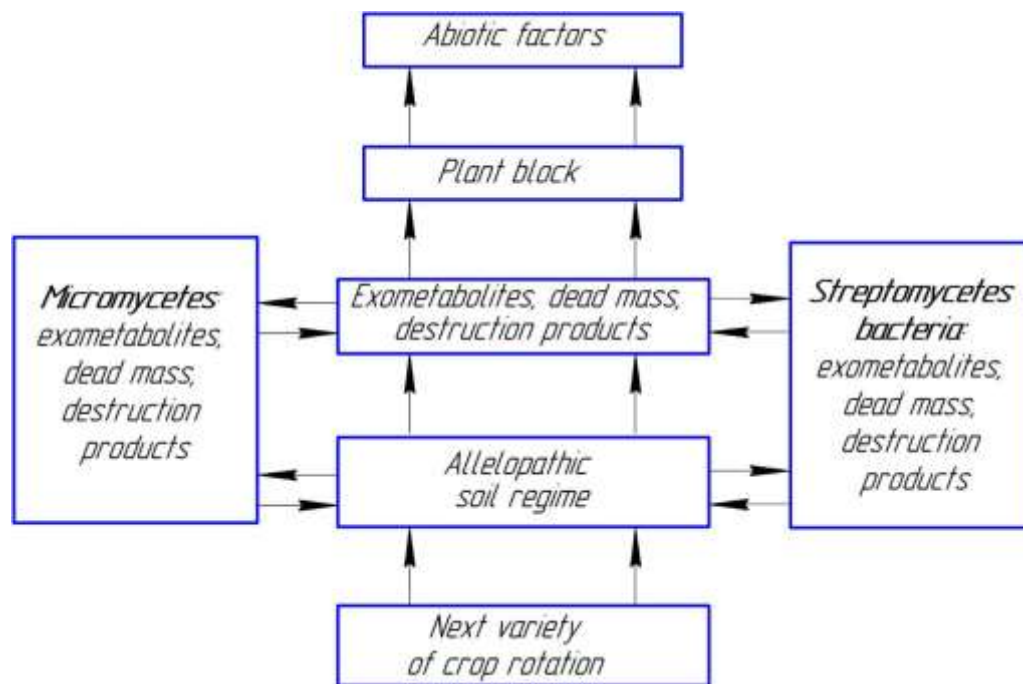


Figure 1.2. Scheme of formation of allelopathic soil regime in an agroecosystem

Source of the figure: L.D. Yurchak, 2005

At the first stage, allelochemicals are synthesized in plant tissues and released through the root system. Volatile compounds also spread through aboveground organs and are washed away from the assimilation surface by precipitation, while in the soil, allelochemicals undergo microbiological transformation, are absorbed by soil colloids, or are mineralized, which determines the prolongation of their biological action.

Agrotechnical factors have a significant impact on the organization of the allelopathic regime. First of all, the structure of crop rotation, the species composition

of the agrophytocenosis, the system of soil cultivation, fertilization and hydrothermal conditions play a significant role.

Taking into account the complex action of these components, either a restraining or stimulating allelopathic background is formed in the soil, on the basis of which it is possible to determine how the growth process will proceed, and how the competitive interaction between the components of crops will occur and determine the overall productivity of agrocenoses.

2.1.1.3. Current status of the study of the allelopathic effect of aqueous extracts on the ontogenesis of agricultural crops

The applied value of the allelopathic effect of aqueous extracts, within organic farming, provides the possibility of using it to manage the growth processes of cultivated plants, control segetal and ruderal vegetation, and also contributes to the optimization of crop rotation without the use of chemicals.

The process of allelopathic influence in agroecosystems is carried out by releasing biologically active compounds into the environment, such as phenolic acids, flavonoids, terpenoids, and others, which contribute to the modification of cell division, photosynthesis, provide hormonal regulation, and carry out regulatory processes that are localized in the biological membranes of recipient plant cells [28].

Aqueous extracts are used to simulate the natural process of allelochemical compounds entering the soil and it has been established that their action can have an inhibitory and catalytic effect on plant ontogenesis, especially at the initial stages of growth and development, which especially depends on the concentration of the extract and the morphological organs of the plants from which the extract is made [29-31].

M. M. Korkhova and V. H. Mykolaychuk, in their studies, proved that the allelopathic activity of water-soluble exudates of rhizosphere soil and water extracts of vegetative organs of winter wheat plants, such varieties as Shchedrivka Kyivska, Vidrada and MIP Assol, Koshova and Harantiya Odeska, contributed to the slowdown in the germination of watercress seeds (variant Koshova and Harantiya Odeska). As for other variants, a neutral effect was found [32].

In the studies of Professor Novytska N. V., the allelopathic effect of oilseeds on

the germination of soybean seeds was established. It was recorded that it showed high allelopathic activity in oilseed plantations and stimulated the germination and growth of soybean seedlings, only oilseed radish acted as an inhibitor in the study [33].

H. M. Hospodarenko, conducted a study on the allelopathic effect of sideral crops on winter wheat, and found that aqueous extracts of sideral crops had an inhibitory effect on the germination energy of the seeds of the studied crop [34].

S.E. Okrushko, also drew attention to how the germination of wheat seeds was affected by the use of aqueous extracts from creeping wheatgrass in different concentrations. It was found that the aqueous extract from wheatgrass had an inhibitory effect on wheat plants, and taking into account the increase in the concentration of the extracts, an increase in the slowdown of growth processes was observed [35].

Analyzing the research of Lyubych V.V., it was found that the sowing properties of wheat had an allelopathic effect of aqueous solutions of plant residues of agricultural crops. It was found that soybeans and sunflowers showed the highest allelopathic effect [36].

A. I. Lyubchenko and colleagues found that aqueous extracts of different concentrations made on the basis of the residues of ryegrass had an allelopathic effect on the germination of agricultural crops, such as soft winter wheat, corn, spring barley. As a result of the research, it was found that a concentration of 1:100 stimulates the germination of wheat, while an increase in the concentration negatively affected the studied factors in crops [37].

As a result of the processed scientific sources, it can be concluded that the study of the phenomenon of allelopathy is a promising trend, due to which it is possible to reduce anthropogenic pressure on agroecosystems, and taking into account the allelopathic interaction between crops, especially in organic farming. Using allelochemicals based on aqueous extracts, they can both inhibit and stimulate germination and initial growth of crops depending on the concentration, plant species and source of the extract. Also, during the work it was found that the study of the impact of aqueous extracts of oilseed and grain crops on the sowing quality of wheat is insufficiently studied and requires further research.

2.1.2. Place and conditions of research

Laboratory studies to determine the allelopathic effect of aqueous extracts of grain and oilseed crops on the sowing properties of wheat grain were conducted in the laboratory of Central Ukrainian National Technical University at the of the Department of Ecology, Environmental Protection, and Healthy Lifestyle in 2025, according to the following scheme (Table 2.1):

Table 2.1

Experimental scheme

Recipient plant	Donor plant	Concentrations of aqueous extracts	
Wheat	Oil crops		
	distilled water	control	control
	sunflower	1:10	1:20
	flax	1:10	1:20
	rapeseed	1:10	1:20
	Grain crops		
	distilled water	control	control
	barley	1:10	1:20
	sorghum	1:10	1:20
	corn	1:10	1:20

The allelopathic activity of the effect of aqueous extracts of grain and oil seeds was determined by direct biotesting according to the method of A. M. Hrodzinskyi [38].

The sowing properties of wheat were studied in accordance with DSTU 4138–2002 [39].

The following varieties and hybrids of agricultural crops were studied in the study (Table 2.2.).

Table 2.2.

Varieties and hybrids studied in the experiment

Variety	Name of variety or hybrid	Year of registration	Originator	Direction of use	Recommended growing area	Weight of 1000 seeds
Oilseeds						
Sunflower <i>Helianthus annuus</i>	NK Brio	2003	Company Syngenta Seeds (Syngenta AG)	Oleic	Forest-steppe. Polissya. Steppe.	65 g
Flax <i>Linum Usitatissimum</i>	Reliable	2007	Institute of Bast Crops of the NAAS of Ukraine	Oleic	Forest-steppe and Steppe of Ukraine	6,5-7,5 g
Rapeseed <i>Brassica napus L.</i>	Atlant	2001	Institute of Oilseeds of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine	Oleic	Forest-steppe and Steppe of Ukraine	4,8-5,2 g
Grain crops						
Barley Hordeum vulgare	Nutans	2010	V. Ya. Yuriev Institute of Plant Breeding of the NAAS of Ukraine	grain/universal	Forest-steppe and Steppe of Ukraine	46-51 g
Sorghum <i>Sorghum bicolor</i>	Nutritop Star	2017	Advanta Seed International	growing for silage and green mass	Forest-steppe and Steppe of Ukraine	26-35 g
Corn <i>Zea mays</i>	Blackrock / DKC4367	2017	Corteva Agriscience / Dekalb	grain	Polissya. Forest-steppe and Steppe of Ukraine	320-340 g
Wheat <i>Triticum aestivum</i>	Stromboli	2019	KWS SAAT SE & Co. KGaA - German selection company	grain/baking	Polissya. Forest-steppe and Steppe of Ukraine	45-50 g

The method of bioassay tests according to A. M. Hrodzinskyi provided for the determination of the allelopathic effect of aqueous extracts of grain and oilseed crops.

2.1.3. Research results and their analysis

2.1.3.1. The effect of aqueous extracts of cereal crops on the germination energy of wheat seeds

Seed germination energy is an important physiological and biochemical indicator, because it reflects the sensitivity at the initial stages of plant ontogenesis to the action of allelochemicals.

In our studies, we established how aqueous extracts from grain crops at different concentrations affected the germination energy of wheat (Fig. 3.1 and Fig. 3.2).

The study of the allelopathic effect of grain crops at the concentration of 1:10 is shown in Fig. 3.1

The highest germination energy was recorded in the control variants - 94.00%, which allows concluding that there is no allelopathic effect, and reflects the normal course of physiological processes.

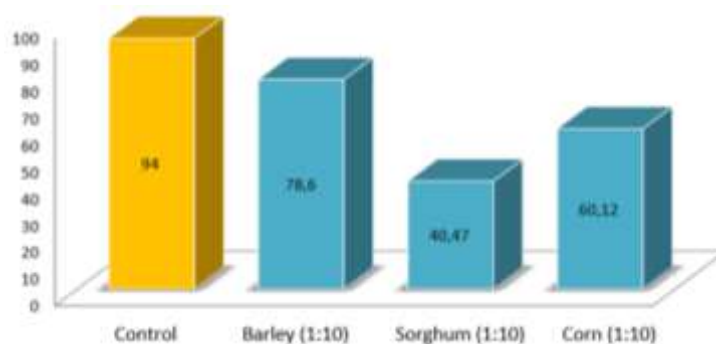


Figure 3.1 Seed germination energy (%) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

As the results of our research showed, when studying the extracts of water extracts of grain crops at the concentration of 1:10, an inhibitory effect was observed.

In the variant with sorghum extract, germination energy was recorded within 40.47%, compared to the control, the indicator calculated in the experiment decreased by more than half and, accordingly, was lower by 53.53%, which indicates a high content of allelopathic substances.

When studying the extract of aqueous corn extract at the same concentration, we found that it had a moderate allelopathic effect on germination energy, and was within 60.12%, which was 33.88% lower than the control, and 19.65% higher than the sorghum variant.

When studying the allelopathic effect of barley extract, the lowest level of inhibitory effect was found, namely 78.6%, which was 19.4% lower than the control, while compared to sorghum extracts, the indicator was 38.13% higher and 18.48% higher than the corn extract variants.

The results obtained in our studies confirm the presence of allelochemicals that are capable of inhibiting the growth and development of wheat plants at the initial stages of ontogenesis. Therefore, according to the strength of allelopathic activity, the studied extracts of cereal crops at the concentration of 1:10 can be arranged in the following sequence: sorghum > corn > barley.

Also, in our studies, we paid attention to how the concentration of 1:20 of aqueous extracts of the studied grain crops affected the germination energy of wheat (Fig. 3.2).

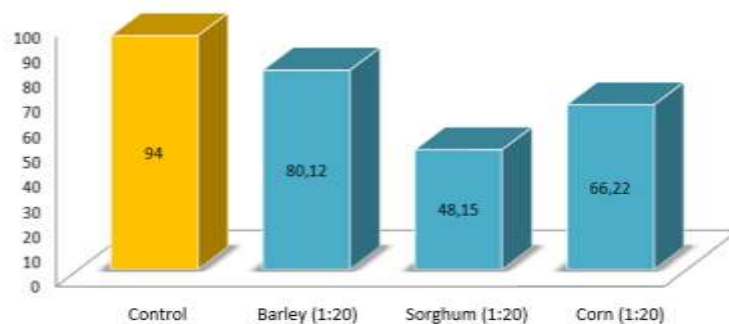


Figure 3.2. Seed germination energy (%) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

At reduced concentrations, the experimental extracts continued to exhibit allelopathic effects, but they were less noticeable compared to the previous concentration level.

Analyzing the data, it was found that the germination energy in the control was 94.0%, while the barley extract provided 80.12%, which was 13.88% lower than the control.

In the corn extract, the wheat germination energy decreased to 66.22%, which was 27.78% (control) and 13.90% (barley extract) lower than the previous options, respectively.

The lowest germination energy was recorded in the variant where aqueous sorghum extract was used, which was 48.15%, and was the lowest in comparison to other variants of the experiment with the concentration of 1:20.

Analyzing the obtained data, we found that the germination energy of wheat depended on the concentration of the aqueous extract, and provided a better allelopathic effect at the concentration of 1:20 compared to the concentration of 1:10 of the aqueous extracts of grains studied in the experiment. As the results of the experiment showed, the maximum germination energy of wheat was in the control variants – 94.0%, while the use of aqueous extracts of cereals, namely corn, sorghum and barley, had an inhibitory effect on the germination energy of wheat. Thus, sorghum extract at the concentration of 1:20 provided germination energy within 48.15%, which in turn has 7.68% better results than sorghum extract 1:10, while using corn extract at the concentration of 1:20 provided germination energy within 66.22%, and barley extract, at the same solution concentration, was 80.12%, which contributed to the improvement of indicators by 6.1% and 1.52%, respectively [40].

2.1.3.1.2. The effect of aqueous extracts of oilseeds on the germination energy of wheat seeds

Oilseed crops are one of the most common crops in our region, so in our study, we established the allelopathic effect of aqueous extracts of sunflower, rapeseed and flax, at the concentration of 1:10 to 1:20, on the germination energy of wheat. As our studies have shown, the control variants provided, on average, the germination energy of wheat, within 94% (Fig. 3.3).

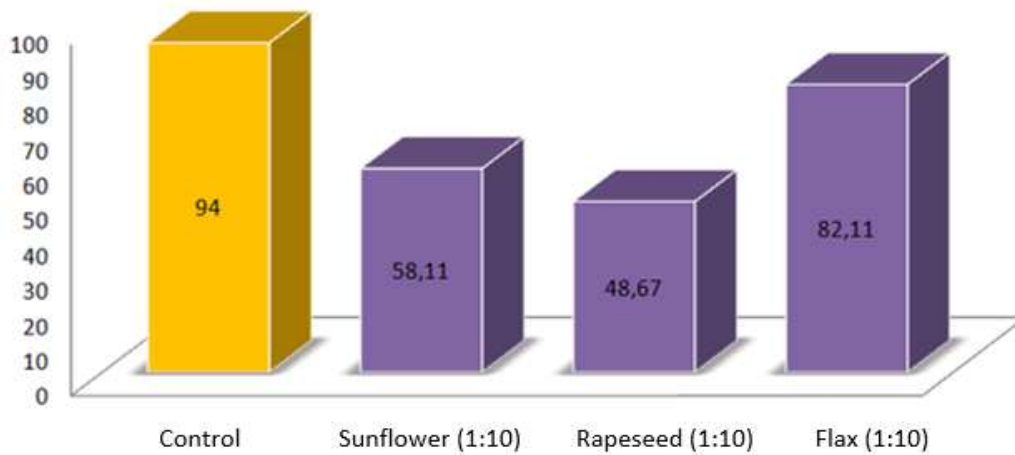


Figure 3.3. Seed germination energy (%) under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:10.

Analyzing the results obtained, we can state that aqueous extracts of oilseeds also have an inhibitory effect on the energy of seed germination. Compared with the control variant, the greatest inhibitory effect is exerted by the aqueous extract of rapeseed 48.67%, which in turn is 45.33% worse than the control. Moderate allelopathic effect is expressed in sunflower (1:10) – 58.11% and in flax extract (1:10) – 82.11%.

Our studies have shown that at the concentration of 1:20, aqueous extracts of oilseeds also showed an allelopathic effect, although it was somewhat lower compared to the previous concentration of 1:10 (Fig. 3.4).

It was found that the most noticeable inhibitory effect, as at the concentration of (1:10), was had by rapeseed extract (1:20), which provided germination energy of 50.44%, but relative to the control, the indicator studied in the experiment was 43.56% lower.

As our studies showed, the germination energy of wheat in the variants using aqueous extracts from sunflower and flax was within 60.54% and 86.24%, respectively, and was also lower than the control variants by 33.46% (sunflower) and 7.76% (flax).

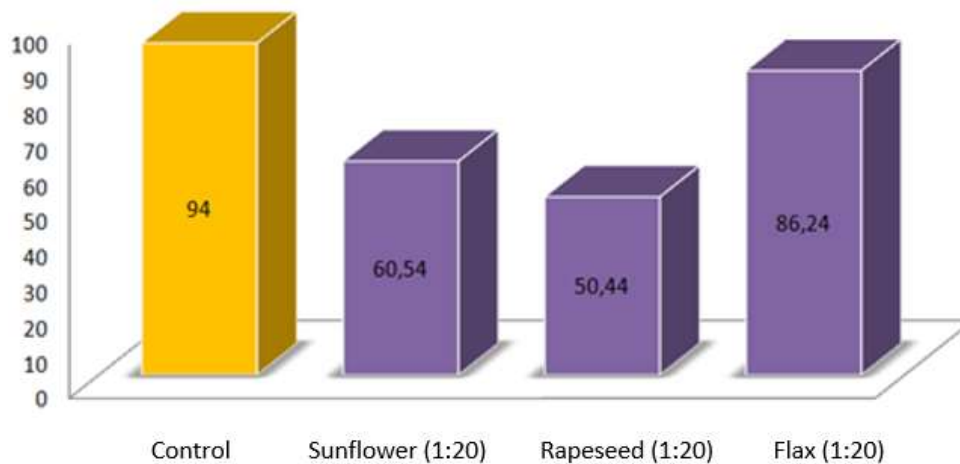


Figure 3.4. Seed germination energy (%) under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:20.

The results of aqueous extracts of sunflower (1:20) – 60.54% and flax extract (1:20) – 86.24%, also improved their results by 2.43% and 4.13%, respectively.

Thus, as a result of the conducted study, the allelopathic effect of aqueous extracts of oilseeds on the germination energy of wheat was established. It is important to note that an inhibitory effect was detected when using aqueous extracts of oilseeds at both concentrations studied in the experiment. The maximum inhibitory effect was recorded for an aqueous extract of rapeseed at the concentration of 1:10, which was 48.67%, and at the concentration of 1:20 the allelopathic effect decreased, which allowed to increase the germination energy by 1.77%. A similar trend was observed when studying two other extracts from sunflower and flax at both concentrations. After analyzing the data obtained, it can be concluded that rapeseed had the maximum allelopathic effect on the germination energy of wheat, while sunflower can be placed in the lowest inhibitory effect, and flax in the last place.

The conducted study showed that both grain and oilseed crops, which were selected for analysis, exhibit a pronounced allelopathic effect on seed germination energy. In all studied extracts, we obtained results lower than the control. Among grain crops, the leader in allelopathic effect is sorghum, and among oilseed crops, rapeseed, and their level of inhibition is quite similar, sorghum (1:10) – 40.7%, while in rapeseed (1:10) – 48.67%, which indicates a high potential of both crops to release toxic

compounds.

Analyzing the results of the study, it was found that grains have higher indicators of allelopathic activity, from maximum in sorghum to moderately detected in barley, while oilseeds are more stable in the manifestation of allelopathic activity, especially rapeseed and sunflower.

Also, on the manifestations of allelopathic influence, a small concentration of extracts, with a decrease from 1:10 to 1:20, a weakening of the inhibition effect is observed.

Based on the obtained research data, it can be stated that oilseed crops are not inferior in allelopathic activity to grain crops, and in some cases even exhibit a greater inhibitory effect. The implementation of the obtained results into agricultural practice will allow the producer to form correct crop rotations, which in turn will make it possible to prevent undesirable allelopathic interactions in agrophytocenoses.

2.1.3.1.3. The effect of aqueous extracts of grain crops on the average root length of wheat seedlings

One of the important stages of the study is precisely the verification of the allelopathic effect on the development of the root of another plant, because this system in the plant develops one of the first, therefore, to a greater extent, it comes into contact with allelochemicals of the soil, which can both stimulate and inhibit the intensity of root growth.

In our studies, we established how aqueous extracts of grain crops affected the growth of the root system (Fig. 3.5. and Fig. 3.6.)

The study of the allelopathic effect of grain crops at the concentration of 1:10 on root growth is shown in Fig. 3.5.

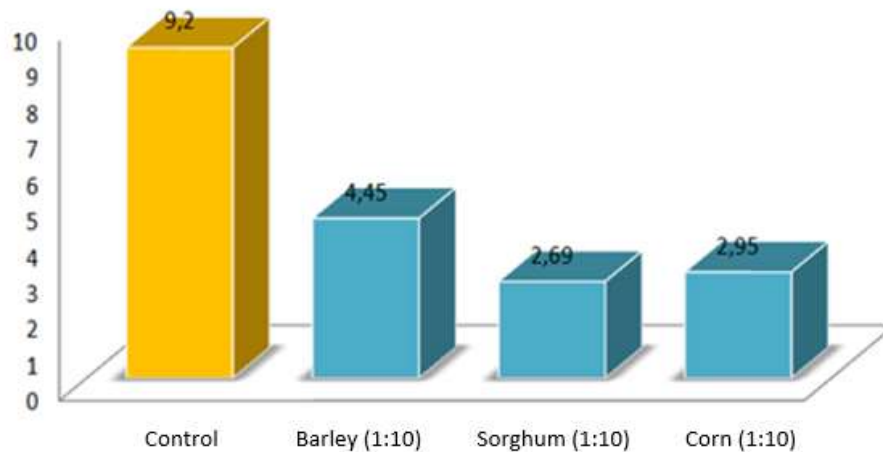


Figure 3.5. Average root length (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

When analyzing the root length, it was recorded that the control had the largest average length of 9.20 cm, which indicates the absence of allelopathic influence, and confirms the normal physiological development of the root.

Analyzing the results of our research, when studying the extracts of water extracts of grain crops at the concentration of 1:10, an inhibitory effect is observed.

The sorghum extract variant has the strongest inhibitory effect, as the average root length in the experiment is 2.69 cm, compared to the control variant, the result of 6.51 cm showed worse results. This indicates a high content of allelopathic substances that inhibit the development of the root of the recipient plant.

Analyzing the results of the aqueous extract of corn, at the same concentration, showed that the average root length is 2.95 cm, which is 6.25 cm less compared to the control, and in relation to the results of the sorghum variants, the indicator was only 0.26 cm higher. That is, the aqueous extract of sorghum and corn at this concentration have quite similar results.

The lowest level of inhibitory effect was found in barley extract, the average root length was 4.45 cm, which in turn was 4.75 cm less than in the control variant, while in comparison with sorghum extracts the indicator was higher by 1.76 cm and by 1.5 cm compared to the variants with corn extract.

Similar studies were conducted with aqueous extracts of the studied grain crops

at the concentration of 1:20 (Fig. 3.6)

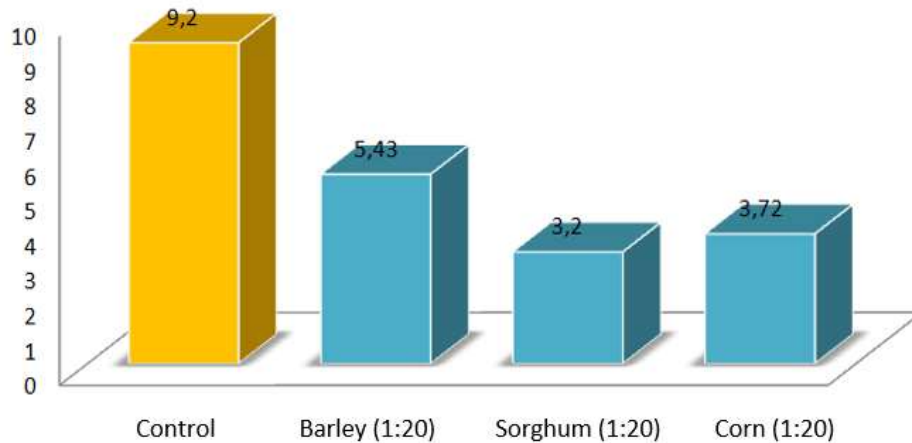


Figure 3.6. Average root length (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

At the concentration of extracts of 1:20, the inhibitory effect is different (weakened), but the results obtained are worse compared to the control variant. The strongest inhibitory effect is exerted by sorghum extract, the average root length is 3.20 cm, which is 6 cm worse than in the control.

Analyzing the results of the aqueous extract of corn, at the same concentration, showed that the average root length was 3.72 cm, which is 5.48 cm less compared to the control, and in relation to the results of the sorghum variants, the indicator was only 0.52 cm higher.

The lowest level of inhibitory effect was found in barley extract, the average root length was 5.43 cm, which is 3.77 cm less than in the control variant, while in comparison with sorghum extracts the indicator was higher by 2.23 cm and by 1.71 cm compared to the variants with corn extract.

According to the results obtained, we can conclude that the control variant has the best results, which indicates the absence of allelochemicals. The strongest effect on the development of the root system of the recipient plant has an aqueous extract of sorghum, where the greatest root inhibition was detected, both at the concentration of 1:10 and 1:20. A fairly similar inhibitory effect is also observed for the corn extract, while the barley extract showed the least inhibitory effect (sorghum > corn > barley).

2.1.3.1.4. Effect of aqueous extracts of oilseeds on the average root length of wheat seedlings

As the results of our research showed, when studying the extracts of water extracts of oilseeds at the concentration of 1:10, an inhibitory effect was also observed.

The study of the allelopathic effect of oilseeds at the concentration of 1:10 on root growth is shown in Fig. 3.7.

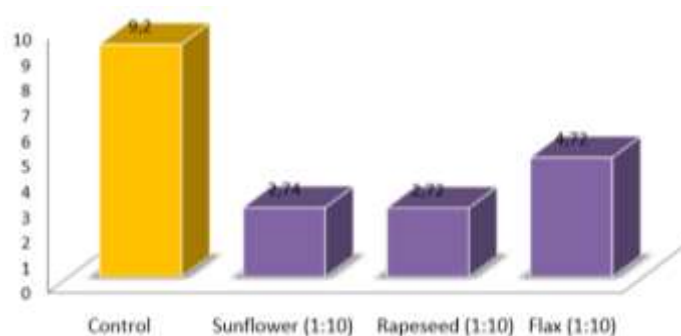


Figure 3.7. Average root length (cm) under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:10.

Analyzing the data obtained, we found that rapeseed has the greatest inhibitory effect among oilseed crops, since the average root length in the experiment is 2.72 cm, compared to the control variant, the result showed worse results by 6.48 cm. This indicates a high content of allelopathic substances that inhibit the development of the root of the recipient plant.

Analyzing the results of the aqueous extract of sunflower, at the same concentration, showed that the average root length is 2.74 cm, which is 6.46 cm less compared to the control, and in relation to the results of the rapeseed variants, the indicator was only 0.02 cm higher. That is, the aqueous extract of rapeseed and sunflower at this concentration has almost identical results.

The lowest level of inhibitory effect was found in flax extract, the average root length was 4.72 cm, which in turn was 4.48 cm less than in the control variant, while in comparison with rapeseed extracts the indicator was higher by 2 cm and by 1.98 cm compared to the variants with sunflower extract.

Similar studies were conducted with aqueous extracts of the studied oilseeds at the concentration of 1:20 (Fig. 3.8)

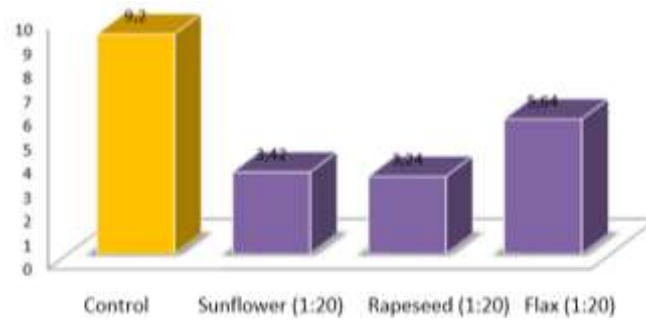


Figure 3.8. Average root length (cm) under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:20.

The greatest inhibitory effect among oilseed crops at this concentration is rapeseed. The average root length in the experiment is 3.24 cm, compared to the control variant, the result of 5.96 cm showed worse results, which indicates a high content of allelopathic substances that inhibit the development of the root of the recipient plant.

Analyzing the results of the aqueous extract of sunflower, at the same concentration, showed that the average root length is 3.42 cm, which is 5.78 cm less compared to the control, and in relation to the results of the rapeseed variants, the indicator was only 0.18 cm higher. That is, the aqueous extract of rapeseed and sunflower at this concentration has similar results.

The lowest level of inhibitory effect was found in flax extract, the average root length was 5.64 cm, which in turn was 3.56 cm less than in the control variant, while in comparison with rapeseed extracts the indicator was higher by 2.42 cm and by 2.22 cm compared to the variants with sunflower extract.

Our results indicate that aqueous extracts of both grain and oilseed crops have a distinct allelopathic effect on the growth of the root of the recipient plant. In all variants of the experiment, the root length was less than in the control variant (9.20 cm), which once again proves the suppressive effect.

The studies show a clear relationship between the results of root system growth and the concentration of aqueous extracts: at the concentration of 1:10, the allelopathic effect was more pronounced than at the concentration of 1:20. The inhibitory effect is weakened, but still remains significant.

Among grain crops, the level of inhibition is distributed as follows: sorghum >

corn > barley, and among oilseed crops – rapeseed \geq sunflower > flax.

Comparing the results between grain and oilseed crops, we can note that in each of them there is an internal differentiation in the strength of the effect, but there are practically no fundamental differences between the groups. With the greatest allelopathic effect are sorghum and rapeseed, they have almost the same indicators, similarly for crops that have the lowest level of inhibition (barley and flax).

2.1.3.1.5. The effect of aqueous extracts of cereal crops on the average shoot length of wheat seedlings

Another important indicator of allelopathic action is the determination of the length of a sprout, because the allelopathic effect can lead to significant changes in the development of the plant, its morphology and competitiveness in the ecosystem. It was determined as the average of the lengths of the sprouts that sprouted in this version of the experiment.

In our studies, we established how aqueous extracts of cereal crops at different concentrations affect the length of the sprout shoot (Fig. 3.9 and Fig. 3.10).

The study of the allelopathic effect of grain crops at the concentration of 1:10 is shown in Fig. 3.9.

When analyzing the length of the seedling shoot, it was recorded that the control had the largest average length of 9.70 cm, which indicates the absence of allelopathic effect and confirms the normal physiological development of the root.

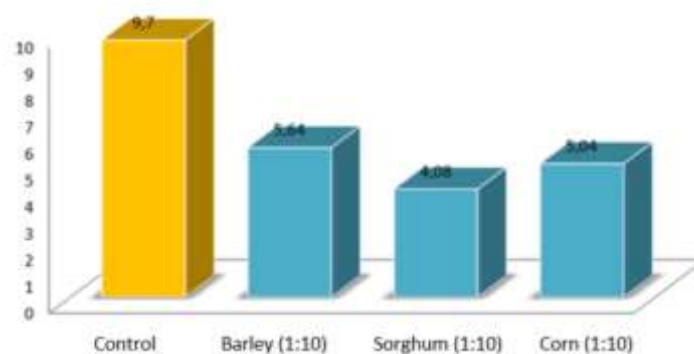


Figure 3.9. Average length of seedling shoot (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

Analyzing the results of our research, when studying the extracts of water extracts of grain crops at the concentration of 1:10, an inhibitory effect is observed.

The strongest inhibitory effect is the sorghum extract variant, because the average shoot length in the experiment is 4.08 cm, compared to the control variant, the result of 5.62 cm showed worse results. This indicates a high content of allelopathic substances that inhibit the development of the shoot of the recipient plant.

The results of the aqueous extract of corn, at the same concentration, showed that the average length of the shoots is 5.04 cm, which is 4.46 cm less compared to the control, and in relation to the results of the sorghum variants, the indicator was only 0.96 cm higher. That is, the aqueous extract of sorghum and corn at this concentration have quite close results.

The lowest level of inhibitory effect was found in barley extract, the average shoot length was 5.64 cm, which is 4.06 cm less than in the control variant, while in comparison with sorghum extracts the indicator was higher by 1.56 cm and by 0.40 cm compared to the variants with corn extract.

The results obtained in our studies confirm the presence of allelochemicals that are capable of inhibiting the growth and development of wheat at the initial stages of ontogenesis. Therefore, according to the strength of allelopathic activity, the studied extracts of cereal crops at the concentration of 1:10 can be arranged in the following sequence: sorghum > corn > barley.

Also, in our studies, we paid attention to how the concentration of 1:20 aqueous extracts of the studied grain crops affected the average shoot length (Fig. 3.10).

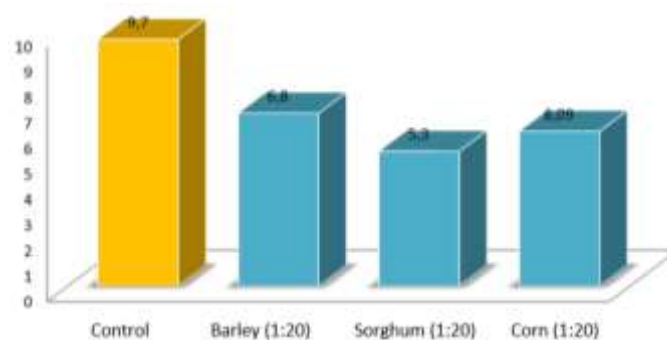


Figure 3.10. Average seedling shoot length (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

At the concentration of extracts of 1:20, the inhibitory effect is different (weakened), but the results obtained are worse compared to the control variant. The strongest inhibitory effect is achieved by sorghum extract, the average shoot length is 5.30 cm, which is 4.4 cm worse than in the control.

Analyzing the results of the aqueous extract of corn, at the same concentration, showed that the average length of the shoots is 6.09 cm, which is 3.61 cm less compared to the control, and in relation to the results of the sorghum variants, the indicator was only 0.79 cm higher.

The lowest level of inhibitory effect was found in barley extract, the average shoot length was 6.80 cm, which is 2.9 cm less than in the control variant, while in comparison with sorghum extracts the indicator was higher by 1.5 cm and by 0.71 cm compared to the variants with corn extract.

Analyzing the obtained data, we found that the germination energy of wheat depended on the concentration of the aqueous extract, and provided a better allelopathic effect at the concentration of 1:20 compared to the concentration of 1:10 of the aqueous extracts of the grain crops studied in the experiment. As the results of the experiment showed, the largest average shoot length was in the control variants – 9.70 cm, while the use of aqueous extracts of cereal crops, namely sorghum, corn and barley, had an inhibitory effect on the development of the seedling shoot. Thus, sorghum extract at the concentration of 1:20 has an average seedling length of 5.30 cm, which in turn has 1.22 cm better results than sorghum extract 1:10, while using corn extract at the concentration of 1:20 the average seedling length was 6.09 cm, and barley extract at the same solution concentration was 6.80 cm, which contributed to the improvement of indicators by 1.05 cm and 1.16 cm, respectively.

2.1.3.1.6. Effect of aqueous extracts of oilseeds on the average shoot length of wheat seedlings

During the study, we established the allelopathic effect of aqueous extracts of sunflower, rapeseed, and flax, at concentrations of 1:10 to 1:20, on the average shoot length of wheat seedlings.

As our studies showed, the control variants showed an average seedling shoot length within 9.70 cm (Fig. 3.11)

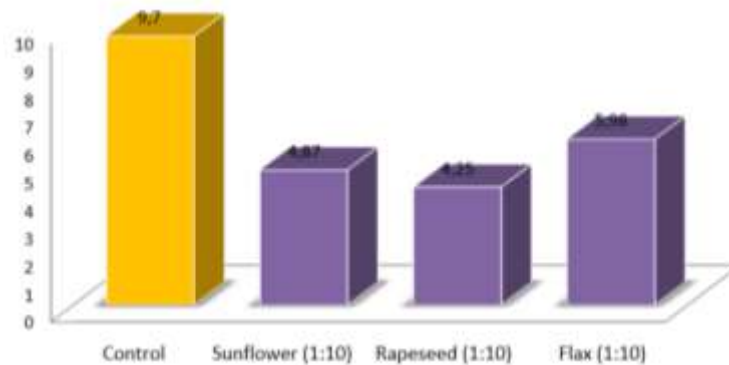


Figure 3.11. Average length of seedling shoot (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

Analyzing the results obtained, we can state that aqueous extracts of oilseeds also have an inhibitory effect on the length of the seedling shoot. Compared to the control variant, the greatest inhibitory effect is exerted by the aqueous extract of rapeseed 4.25 cm, which in turn is 5.45 cm worse than the control. A moderate allelopathic effect is expressed in sunflower (1:10) – 4.87 cm and in flax extract (1:10) – 5.98 cm.

Our studies showed that at the concentration of 1:20, aqueous extracts of oilseeds also showed an allelopathic effect, although it was somewhat lower compared to the previous concentration of 1:10 (Fig. 3.12).

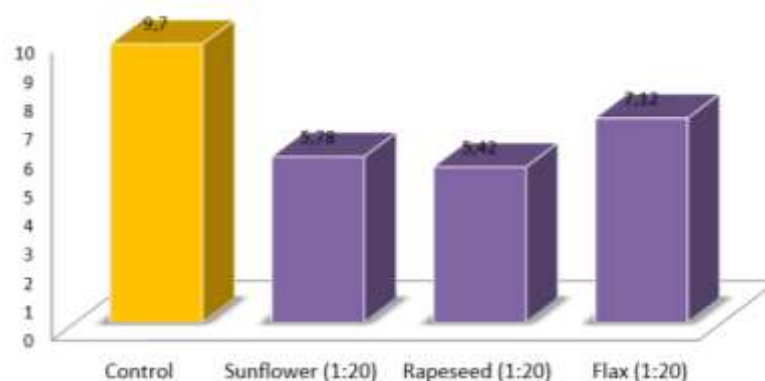


Figure 3.12. Average seedling shoot length (cm) under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

It was found that the most pronounced inhibitory effect, as at the concentration (1:10), was had by rapeseed extract (1:20) – 5.42 cm, but relative to the control, the indicator studied in the experiment was 4.28 cm lower.

As our research showed, the average length of wheat seedlings in the variants where aqueous extracts of sunflower and flax were used was 5.78 cm and 7.12 cm, respectively, which in turn was less than the control variants by 3.92 cm (sunflower) and 2.58 cm (flax).

The results of aqueous extracts of sunflower (1:20) - 5.78 cm and flax extract (1:20) – 7.12 also improved their results by 0.91 cm and 1.14 cm, respectively.

After analyzing the obtained data, we can conclude that rapeseed had the maximum allelopathic effect on the germination energy of wheat, while sunflower can be placed in the lowest inhibitory effect, and flax in last place.

The conducted study showed that both grain and oilseed crops selected for analysis exhibit a pronounced allelopathic effect on the development of shoot length. Compared to the control, all studied extracts have lower results. The leader among grain crops in terms of allelopathic effect is sorghum, and among oilseed crops – rapeseed.

2.1.3.1.7. Effect of aqueous extracts of cereal crops on the total length of wheat seedlings

Determining the total length of seedlings, root and shoot, is one of the key indicators in the analysis of allelopathic influence. After all, it is this characteristic that reflects the overall success of germination and initial development of the plant. This information immediately combines data on the growth and development of the root system, which in turn is responsible for the absorption of water and nutrients, and the shoot, which provides photosynthesis processes. In our studies, we established how aqueous extracts from cereal crops at different concentrations affected the total length of the test crop seedling (Fig. 3.13 and Fig. 3.14).

The study of the allelopathic influence of cereal crops at the concentration of 1:10 is shown in Fig. 3.13.

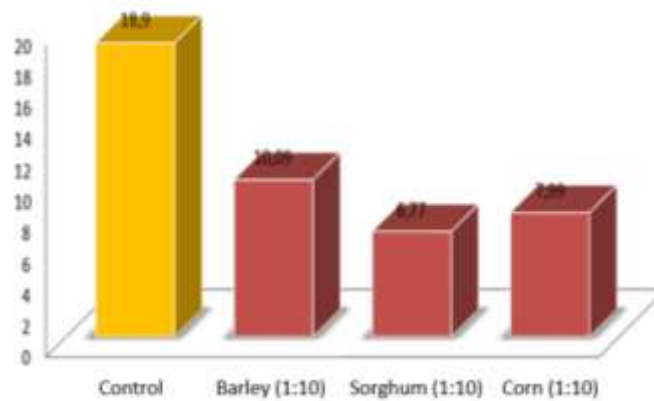


Figure 3.13. Total length of test crop seedlings (cm) exposed to aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

The control variants recorded the largest total seedling length – 18.90 cm, which allows concluding that there is no allelopathic effect and reflects the normal course of physiological processes. As the results of our research showed, when studying the extracts of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10, an inhibitory effect was observed.

In the variant with sorghum extract, it was determined that the total length of the seedling is 6.77 cm. Compared to the control, the indicator determined in the experiment has a difference of 12.13 cm. This result is more than twice as bad, which indicates a high content of allelochemicals.

When studying the aqueous extract of corn at the same concentration, we found that the total length of the seedling was 7.99 cm. Compared to the control, these results are 10.91 cm smaller, and compared to the sorghum variant, this indicator was 1.22 cm better.

When studying the allelopathic effect of barley extract, the lowest level of inhibitory effect was found, the total length of the seedling was 10.09 cm, which was 8.81 cm worse than in the control, 3.32 cm better than in comparison with sorghum extract and 2.10 cm better than in corn extract.

Also, in our studies, we paid attention to how the concentration of 1:20 aqueous extracts of the studied grain crops affected the total length of the seedling (Fig. 3.14).

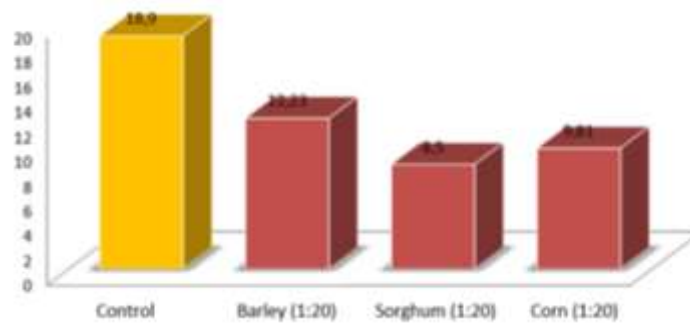


Figure 3.14. Total length of test crop seedlings (cm) exposed to aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

At reduced concentrations, the experimental extracts continued to exhibit allelopathic effects, but they were less noticeable than at the previous concentration level.

Analyzing the data, it was found that the total length of the control was 18.90 cm, while the barley extract was 12.23 cm, which is 6.67 cm lower.

On the corn extract, the total seedling length is 9.81 cm, which was lower than the previous variants by 9.09 cm (control) and 2.42 cm (barley extract), respectively. The worst results of the total seedling length were found on the variant where the aqueous sorghum extract was used, the results of which are 8.50 cm, which is 10.40 cm less than in the control variant.

As the results of the experiment showed, the largest total seedling length was found in the control variants – 18.90 cm. The use of aqueous extracts of grain crops, which were used in the studies, has an inhibitory effect. The total length of wheat seedlings on sorghum extract at the concentration of 1:20 is 8.50 cm, which in turn is 1.77 cm better than sorghum extract 1:10. At the concentration of 1:20, corn extract showed results within 9.81 cm, which is 1.82 cm better than at the concentration of 1:10. Barley extract improved the results by 2.24 cm.

2.1.3.1.8. Effect of aqueous extracts of oilseeds on the total length of wheat seedlings

As the results of our research showed, when studying the extracts of water extracts of oilseeds at the concentration of 1:10, an inhibitory effect was also observed.

The study of the allelopathic effect of oilseeds at the concentration of 1:10 on the total length of the seedling is shown in Fig. 3.15.

Analyzing the results obtained, we can state that water extracts of oilseeds also have an inhibitory effect on the energy of seed germination.

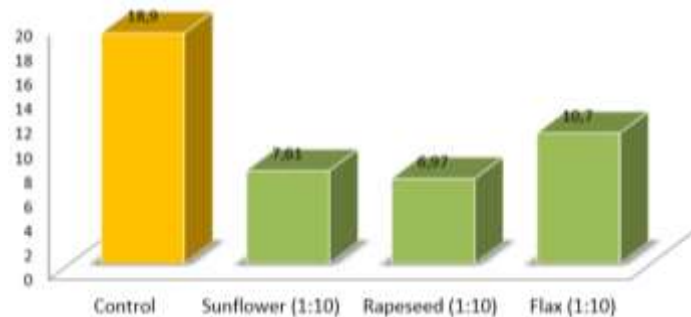


Figure 3.15. Total length of test crop seedlings (cm) exposed to aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:10.

Compared to the control variant, the greatest inhibitory effect is exerted by the aqueous extract of rapeseed, because compared to the control it has worse results by 11.93 cm, sunflower extract has 11.29 cm, and flax extract has 8.20 cm worse indicators than the control variant.

Our studies have shown that at the concentration of 1:20, aqueous extracts of oilseeds also showed an allelopathic effect, although it was somewhat lower compared to the previous concentration of 1:10 (Fig. 3.16.)

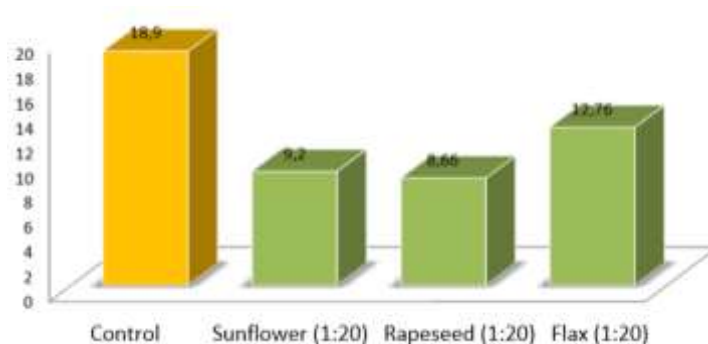


Figure 3.16. Total length of test crop seedlings (cm) exposed to aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:20.

It was found that the most pronounced inhibitory effect, both at the concentration of (1:10) and at the concentration of (1:20), was had by rapeseed extract, the total length

of the seedling was 8.66 cm, but compared to the control, the result is worse by 10.24 cm. The results of the total length of the seedling where aqueous extracts of sunflower and flax were used were within 9.20 cm and 12.76 cm, which is less than in the control variant by 9.70 cm (sunflower) and by 6.14 cm (flax).

The results of aqueous extracts of oil plants at the concentration of 1:20 improved by 1.69 cm (rapeseed), by 1.59 cm (sunflower) and by 2.06 cm (flax).

Analyzing the results obtained, we found that both grain and oilseed crops at different concentrations exhibit an inhibitory effect on the growth of the test culture. The strongest inhibition was observed under the action of sorghum extract at the concentration of 1:10, because the total length of the seedling was actually more than twice as small (6.67 cm). The inhibitory effect of corn and barley extracts was less evident, at the concentration of 1:10, their results were 7.99 cm and 10.09 cm. Among oilseed crops, rapeseed and sunflower exhibited the greatest allelopathic effect, at the concentration of 1:10, their results were within 7.61 cm and 6.97 cm, respectively. Reducing the concentration of extracts contributed to the weakening of the allelopathic effect in all studied variants, but the indicators remained lower than in the control.

Therefore, we can state that grain and oilseed crops are characterized by different levels of allelopathic activity, which affects plant growth in different ways, and the intensity of inhibition itself depends on both the type of donor plant and the concentration of the extract.

2.1.3.1.9. The effect of aqueous extracts of grain crops on the ratio of the above-ground and underground parts of the wheat plant

This criterion is very important, because the ratio of the aboveground and underground parts is the main indicator of the plant's adaptation to the environment. Moreover, there are two options for the development of events. In the first case, with a low ratio, the root system develops better in the seeds of the plant, such plants may be more resistant to drought. In the other option, with a high ratio of results, the plants will have a more powerful shoot, this will give them an advantage in the competition for light. Allelopathic properties can disrupt this balance, which in turn can reduce the competitiveness of plants and their ability to survive.

In our studies, we determined how the ratio of the aboveground/underground part of the plant was affected by aqueous extracts from grain crops at different concentrations (Fig. 3.17 and Fig. 3.18).

The study of the allelopathic effect of grain crops at the concentration of 1:10 is shown in Fig. 3.17

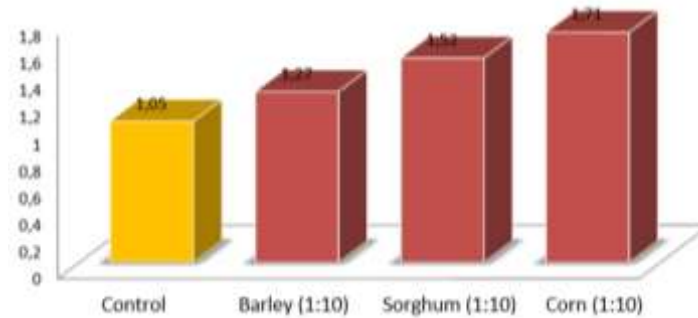


Figure 3.17. The ratio of the aboveground/underground part of the plant under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:10.

The control variants recorded the ratio of 1.05:1, which indicates a practically uniform development of the aboveground and underground parts with a minimal predominance of the first part. These results indicate the absence of any suppressive factors and demonstrate the harmonious growth of the recipient plant.

Analyzing the dynamics, we observe a consistent increase in the coefficient compared to the control. The change relative to the control in barley is 0.22, in sorghum – 0.47, in corn – 0.66. The increase in the coefficient indicates that the development of the plant occurs unevenly, the aboveground part is relatively larger than the underground, therefore, a shift in the growth balance is observed.

Also, in our studies, we paid attention to how the concentration of 1:20 aqueous extracts of the studied grain crops affected the ratio of the aboveground/underground part of the plant (Fig. 3.18).

Analyzing the results, we see an increase in the coefficient compared to the control variant. The greatest allelopathic effect is observed in sorghum – 1.66, the results of corn are quite similar – 1.64. The weakest allelopathic effect is in barley – 1.25.

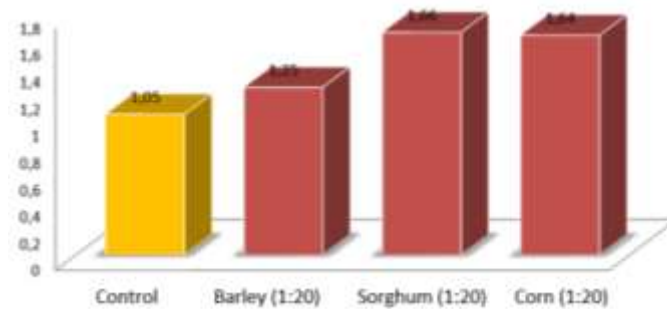


Figure 3.18. The ratio of the aboveground/underground part of the plant under the influence of aqueous extracts of grain crops at the concentration of 1:20.

Comparing the results of two different concentrations, it was found that in barley and corn extracts, the allelopathic effect also decreases with decreasing concentration: barley (1.27 - 1.25), and corn (1.71 - 1.64).

The results of sorghum extract at reduced concentrations, on the contrary, showed a stronger allelopathic effect (1:10 – 1.52, and at 1:20 – 1.66, respectively). Such a phenomenon is often observed in the study of allelopathy, it can be explained by a nonlinear (hormesis) effect, when a high concentration causes strong inhibition, and at a lower concentration there is a selective effect (for example, a stronger inhibition of the root during normal shoot development). That is, at the concentration of 1:10, both parts are inhibited, and at 1:20, mainly the root system.

2.1.3.1.10. The effect of aqueous extracts of oilseed crops on the ratio of aboveground and underground parts of the plant

In our studies, we established how the ratio of the aboveground/underground part of the plant was affected by aqueous extracts from oilseed crops at different concentrations (Fig. 3.19 and Fig. 3.20).

The study of the allelopathic effect of oilseed crops at the concentration of 1:10 is shown in Fig. 3.19.

Analyzing the results, we see an increase in the coefficient in all extracts compared to the control variant. The greatest allelopathic effect is observed in sunflower – 1.78, the smallest in sorghum – 1.56.

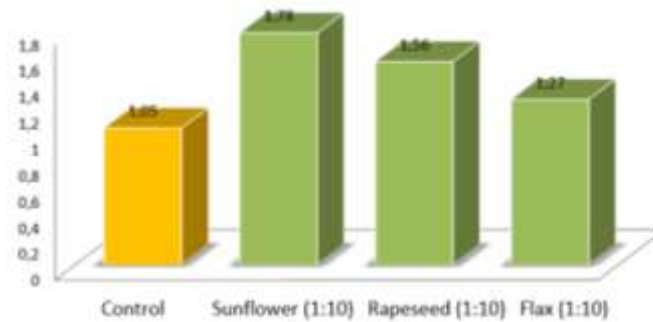


Figure 3.19. The ratio of the aboveground/underground part of the plant under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:10.

The weakest allelopathic effect is expressed in flax – 1.27. The increase in the coefficient indicates that the development of the plant occurs unevenly, the aboveground part is relatively larger than the underground part, therefore, a shift in the growth balance is observed.

Also, in our studies, we paid attention to how the concentration of 1:20 aqueous extracts of the studied oilseed crops affected the ratio of the aboveground/underground part of the plant (Fig. 3.20).

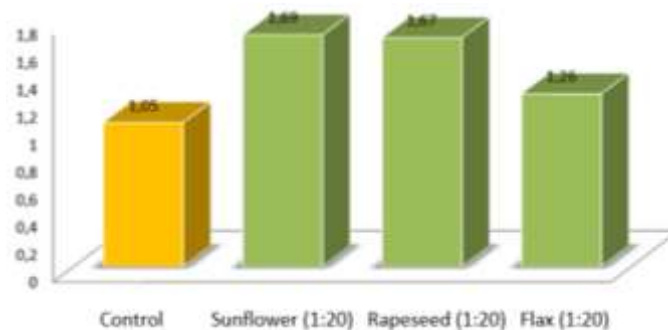


Figure 3.20. The ratio of the aboveground/underground part of the plant under the influence of aqueous extracts of oilseeds at the concentration of 1:20.

Analyzing the results, we see an increase in the coefficient compared to the control variant. The greatest allelopathic effect is observed in sunflower – 1.69, the results of rapeseed are quite similar – 1.64. The weakest allelopathic effect is observed in flax – 1.26.

Comparing the results of two different concentrations, we found that in sunflower and flax extract, the allelopathic effect also decreases with decreasing

concentration: sunflower (1.78 – 1.69), and flax (1.27 – 1.26). But in rapeseed extract, we observe a nonlinear (hormesis) effect. At the concentration of 1:10 – 1.56, and at 1:20 – 1.67. We observe a selective effect on the development of the aboveground/underground part of the plant.

The results of our study of the ratio of the aboveground/underground part of the plant showed that grain and oilseed crops affect the development of seedlings and disrupt the natural balance of growth processes. In the control variant, the ratio is close to 1:1 (1.05:1), which in turn indicates that development occurs harmoniously without the action of allelopathic factors.

Aqueous extracts of grain and oilseed crops significantly changed the morpho-physiological balance of the recipient plant growth. The main effect is on the inhibition of the development of the root system, which in turn reduces the adaptive potential of the plant.

In sorghum and rapeseed extracts, a nonlinear (hormesis) effect was found, which indicates a complex mechanism of action of allelochemicals and shows the importance of taking into account concentration when assessing the allelopathicity of crops. At the concentration of 1:10, sorghum and rapeseed had indicators within 1.52 and 1.56, while at a reduced concentration, the indicators increased to 1.66 (sorghum) and 1.67 (rapeseed).

According to this criterion, it was oilseed crops that showed a higher intensity of allelopathic influence than grains. This information has important practical significance in crop rotation planning and agroecological forecasting.

2.1.3.1.11. Determination of the allelopathic activity index of aqueous extracts of grain and oil seeds

An important indicator of interspecific plant interactions is the allelopathic activity index (IAA), which allows quantitatively assessing the degree of inhibitory or stimulating effect of aqueous extracts on the growth of the root and shoot of the test culture. Negative values of the index indicate inhibition of growth processes, and the larger the negative value, the stronger the inhibitory effect.

By performing a statistical analysis of the results, we were able to estimate how

much (%) the root or aerial part of the plant is able to stimulate or, conversely, inhibit the growth and development of the test culture, compared to the control variant. The results of the IAA are shown in Fig. 3.21. and in Table 3.1.

Having obtained real numerical values, we observe a negative value of IAA, which in turn indicates the inhibitory effect of all the studied extracts. Comparing the results of the root and shoot, we see that the root is more sensitive, its values are more stably negative. With a decrease in the concentration of extracts, the inhibitory effect decreases noticeably.

As can be seen from the data in the Figure, the average and strong degree of inhibition prevails in most extracts.

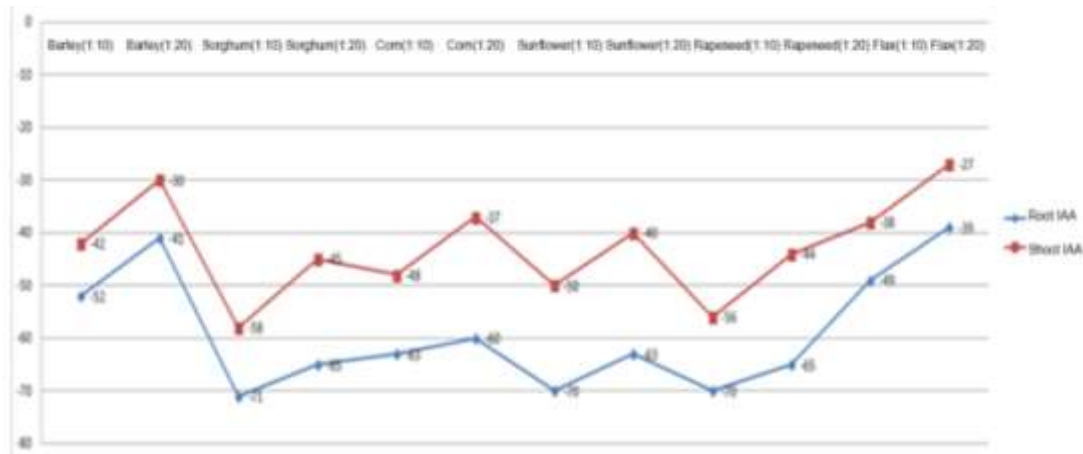


Figure 3.21. Index of allelopathic activity of aqueous extracts of grain and oil seeds

A weak degree of inhibition was recorded in isolated cases in extracts with the concentration of 1:20 when determining shoot IAA, among grains in barley (-30), among oilseeds in flax (-27).

Table 3.1.

Index of allelopathic activity of the effect of aqueous extracts of grain and oil seeds
on the root and shoot of wheat grain

Donor plant	IAA (root)	Degree of inhibition	IAA (shoot)	Degree of inhibition
Barley (1:10)	-52	Average inhibition	-42	Average inhibition
Barley (1:20)	-41	Average inhibition	-30	Mild inhibition
Sorghum (1:10)	-71	Strong inhibition	-58	Average inhibition
Sorghum (1:20)	-65	Strong inhibition	-45	Average inhibition
Corn (1:10)	-63	Strong inhibition	-48	Average inhibition
Corn (1:20)	-60	Average inhibition	-37	Average inhibition
Sunflower (1:10)	-70	Strong inhibition	-50	Average inhibition
Sunflower (1:20)	-63	Strong inhibition	-40	Average inhibition
Rapeseed (1:10)	-70	Strong inhibition	-56	Average inhibition
Rapeseed (1:20)	-65	Strong inhibition	-44	Average inhibition
Flax (1:10)	-49	Average inhibition	-38	Average inhibition
Flax (1:20)	-39	Average inhibition	-27	Mild inhibition

The highest level of allelopathic activity among grains at both concentrations is observed in sorghum. Even at the concentration of 1:20, its inhibition is strongly expressed, the root IAA is (-65), and the shoot IAA is (-45).

Corn extract shows a strongly noticeable allelopathic effect only at the concentration of 1:10, and is manifested in the effect on the root, the IAA of which is (-63). But with a decrease in concentration, we observe a clear weakening of the effect, the IAA of the root is (-60), and the IAA of the shoot is (-37).

Oilseed crops also show a more distinct inhibitory effect on the development of the root system. Sunflower and rapeseed extracts at the concentration of 1:10 show strong root inhibition, their results are (-70). With a decrease in concentration, the inhibitory effect is somewhat weakened, but remains strong (-63) in sunflower and (-65) in rapeseed. However, the degree of shoot inhibition at both the concentration of 1:10 and the concentration of 1:20 remains at an average level of inhibition.

Flax has the lowest level of allelopathic activity among oilseeds. Even at the concentration of 1:10, it shows a medium level of inhibition (-49) in the root and (-38) in the shoot.

After analyzing the results, we can state that all the selected crops show inhibitory allelopathic activity (all values are negative). The root system was more

sensitive to the action of allelochemicals than the shoot. At concentrations of 1:10 and 1:20, the average root inhibition was observed in barley extract (-52) and (-41) among grains, and in flax (-49) and (-39) among oilseeds. In other extracts, the allelopathic effect was strongly noticeable.

Regarding the results of the shoot IAA, the results are better than those of the root, which indicates a lower allelopathic effect. A weak degree of inhibition was found in barley extract at the concentration of 1:20 (-30) and in flax at a similar concentration (-27). The strongest effect on the shoot among grains was exerted by sorghum extract at the concentration of 1:10, its IAA is (-58), and among oilseeds at the concentration of 1:10 rapeseed (-56).

Therefore, the results obtained really confirm the significant role of allelochemicals in the formation of phytocenotic interactions and can be taken into account when planning crop rotations and selecting predecessors in organic agroecosystems.

Conclusions

As a result of the conducted research on the allelopathic effect of aqueous extracts of grain and oil seeds on the sowing properties of wheat, the following was established:

1. Analyzing scientific sources, it was found that such a phenomenon as allelopathy is one of the most important biological mechanisms of plant interaction in ecosystems and agroecosystems. Grain and oil crops have a unique ability to secrete allelochemicals (phenolic acids, flavonoids, terpenoids, etc.), which are able to influence the growth and development of the recipient plant. It was found that in modern conditions of organic farming, the problem of the influence of aqueous extracts of grain and oil crops remains insufficiently studied and requires further research.

2. *An experimental research scheme using the biotesting method was developed and substantiated. The feasibility of using aqueous extracts of seeds of grain (sorghum, corn, barley) and oilseed (rapeseed, sunflower, flax) crops with concentrations of 1:10 and 1:20 was substantiated. Due to this method, it became possible to carry out a*

comprehensive assessment of seed germination energy, laboratory germination, morphometric indicators and calculate the allelopathic activity index.

3. *It was found that the aqueous extracts considered in the studies had an inhibitory effect on the germination energy of wheat seeds. Compared to the control variant, where the germination energy was 94.0%, the highest allelopathic effect was recorded among grains in sorghum within the limits of 40.47% at the concentration of 1:10 and 48.15% at 1:20, while among the studied oilseed crops, the maximum inhibition of the recipient plant was recorded in the aqueous extract of rapeseed, namely 48.67% at the concentration of 1:10 and 50.44% at 1:20.*

4. As the results of the studies showed, laboratory seed germination at different concentrations had different results and depended on the factors studied. Thus, when the concentration was reduced from 1:10 to 1:20, the inhibitory effect was partially weakened. Analysis of the obtained research data allows stating that under the influence of aqueous extracts, laboratory germination decreased, which confirms the phytotoxic effect on wheat seeds at the early stages of ontogenesis.

5. Analyzing the influence of allelopathic factors on the morpho-physiological indicators of wheat seedlings, it was found that the greatest suppression of the root system was provided by the aqueous extract of sorghum (among grains) and rapeseed (among oilseeds). Thus, it was found that in the variants where the aqueous extract of sorghum was studied, at the concentration of 1:10, the root length decreased more than three times compared to the control. The same trend was observed in relation to the length of the shoot and the total length of the seedlings. It is important to note that in comparison to the control, in all other variants of the experiment the studied indicators were lower, which indicates an obvious inhibitory effect of allelochemicals.

6. When calculating the allelopathic activity index, we confirmed the inhibitory nature of the studied aqueous extracts. Thus, when comparing the results of the study of the root and shoot, it was found that the root is more sensitive, its values are more stably negative. With a decrease in the concentration of extracts, the inhibitory effect decreases noticeably. The highest level of inhibition among grains was observed in the aqueous extract of sorghum, and among oilseeds – in rapeseed. As a result of the

studies, the dependence of the strength of the allelopathic effect on the concentration of the extract was established.

7. It was determined that under the influence of aqueous extracts of grain and oil crops, a destruction of the morphogenetic balance of growth processes (the ratio of the aboveground/underground part) was observed. The destruction of such balance may be associated with allelopathic stress that the plant receives in field conditions.

Based on the obtained research results, we can state that aqueous extracts of grain and oil seeds had a significant effect on the sowing properties of wheat seeds, but differ somewhat in the level of allelopathic activity. The most obvious inhibitory potential was found in sorghum and rapeseed, the lowest in barley and flax. The results of the work have practical significance for the preliminary assessment of possible allelopathic interactions among crops, which is important when planning crop rotation, in particular in the organic farming system. The obtained data characterize the potential allelopathic activity of crops in laboratory conditions and require further verification taking into account agroecological factors and an agroecological passport.

2.2 Агробіологічні заходи для ефективного екологічно збалансованого зерновиробництва в Південно-Східному промисловому регіоні

Збільшення і стабілізація виробництва зерна є важливими завданнями агропромислового комплексу України [41, 42]. Ефективність рослинництва великою мірою залежить від ґрунтових та кліматичних умов, оскільки вони мають значний вплив на врожайність та якість вирощуваних культур. Кліматичні умови визначають терміни посіву та збирання урожаю, що веде до значних коливань у виробництві зерна [43, 44]. Зміна клімату, погіршення екологічної ситуації зумовлює необхідність визначення можливості протистояти цим явищам, в тому числі і за рахунок біологізації технології вирощування. Все це створює передумови успішного використання ґрунтово-кліматичних ресурсів регіону і формування значного рівня урожаю з високими показниками якості зерна. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом розробки нових та удосконалення існуючих елементів технологій вирощування зернових культур, в тому числі й за рахунок застосування біологічних препаратів [45-49].

Погодні умови, які склалися під час проведення досліджень, були сприятливими для розвитку вегетативної частини зернових культур, таких як пшениця озима та ячмінь ярий, що сприяло їхньому успішному росту та розвитку. Використання різних фонів живлення та фізіологічно активних препаратів створювало додаткові умови для ефективного проходження перших етапів органогенезу рослинами.

Для Донецької області проблема забруднення навколишнього середовища стоїть надзвичайно гостро. За даними екологів у 2018 році спостерігалось збільшення викидів і утворення відходів по відношенню до 2014 року, що пов'язане з нарощуванням потужності промислових підприємств та переходом з газу на вугілля. У районах промислових комплексів ґрунт у значній мірі забруднюється продуктами згорання палива, зола якого практично містить усі техногенні метали. Проведення антитерористичної операції на Сході країни також завдало значних збитків найбільшому національному багатству країни –

грунтам [50, 51]. Порушення екологічної рівноваги в природі впливає на такі важливі складові агроєкосистеми, як ґрунт і рослина. З огляду на це розробка заходів, спрямованих на отримання високоякісної сільськогосподарської продукції, яка відповідає санітарно-гігієнічним і екологічним нормам, в умовах всезростаючого техногенного пресингу на навколишнє середовище має велике практичне значення для АПК Донецького регіону. Тобто останнім часом проблема вирощування екологічно безпечної сільськогосподарської рослинної продукції разом з підвищенням врожайності набула значної актуальності. Її вирішення сприятиме зростанню рівня здоров'я населення та якості життя в цілому і тому має суттєвий соціальний ефект.

Важливого значення набуває широке використання агентів біологічного впливу, що передбачає застосування ефективних та екологічно-безпечних стимуляторів росту, мікродобрив та мікробіологічних препаратів, які здатні регулювати процеси життєдіяльності рослин та ґрунтової мікрофлори, спрямовані мобілізувати потенційні можливості, закладені у геномі природою і селекцією [52-55].

В ґрунтово-кліматичних умовах східної частини Північного Степу України досліджено вплив агробіологічних заходів на урожайність зернових колосових культур в умовах техногенного навантаження. Використання мікробіологічного препарату Байкал для обробки насіння пшениці озимої з подальшою обробкою по зеленому листу у фазі кущіння Екостимулом забезпечило найбільшу висоту рослин пшениці (15,1 см) та підвищився рівень цукру (32,8 %). Це ж поєднання препаратів зумовило у варіанті на органічному фоні живлення (біогумус 1000 кг/га) сукупну дію факторів на формування рослинами пшениці озимої біометричних показників впродовж осінньої вегетації: кількість пагонів – 1,8 шт./рослину, кількість вузлових коренів – 2,7 шт./рослину, вміст цукрів – 29,5 %.

При порівнянні фонів живлення було встановлено, що мінеральний фон сприяв збільшенню кількості накопичених цукрів в середньому на 2,2 % порівняно з органічним. Незалежно від фонів живлення, найбільший вміст цукрів у рослинах пшениці озимої забезпечили варіанти з використанням препаратів

Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння) – 33,0 %, та Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння) – 29,5 %.

За морфологічним розвитком рослин пшениці озимої після відновлення вегетації найбільше відрізнялися рослини на варіанті, де проводилась інокуляції зерна баковою сумішшю Мікрогуміну та Байкалу на мінеральному фоні живлення ($N_{30}P_{30}$): висота рослин – 55,2 см, коефіцієнт стеблостою – 2,4, кількість вузлових коренів на рослину – 3,8 штук.

Остаточний вплив варіантів на формування біометричних показників рослин пшениці озимої визначався у фазі повної стиглості. В досліді на фоні мінерального живлення варіанти, на яких використовували обробку насіння мікробіологічним препаратом Мікрогумін у поєднанні з препаратами Байкал, Біоритм та Екостимул, сприяли формуванню найбільшого габітусу рослин порівняно з контрольним варіантом (86,0 см), забезпечивши прибавку росту не менше 4-5 см. Подібного результату було досягнуто при одноразовому використанні препарату Байкал на початку фази кущіння.

На органічному фоні живлення максимальне значення висоти рослин пшениці озимої відмічене у варіанті за використання препарату Мікрогумін у поєднанні з препаратом Екостимул – 89 см.

При порівнянні впливу фонів живлення на ефективність препаратів, що вивчались, простежується закономірність більшого розкриття впливу фізіологічно активних речовин за органічного фону живлення. Збільшення габітусу рослин за використання варіантів, що вивчались, порівняно з контролем було більшим саме на органічному фоні живлення, хоча в цілому рослини на мінеральному фоні живлення були вищими.

Порівняння фонів між собою демонструє перевагу мінерального фону при формуванні рослинами пшениці озимої біометричних показників.

Невід'ємною частиною сучасного технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур є використання біостимуляторів різного походження, які підвищують ефективність використання добрив, покращуючи умови живлення рослин та їх продуктивність. Застосування таких препаратів

значно скорочує обсяги внесення мінеральних добрив, що суттєво знижує забруднення навколишнього середовища.

Впровадження системи застосування регуляторів росту у технологію вирощування зернових культур сприяє оптимізації використання елементів живлення протягом вегетації. Це досягається за рахунок активізації адаптивних властивостей рослин, особливо у критичні фази їх розвитку. Фізіологічно активні речовини, які містяться у регуляторах росту, сприяють посиленню роботи кореневої системи та підвищенню вмісту мікроелементів, що, в свою чергу, дозволяє рослинам формувати елементи з підвищеними показниками якості та кількості врожаю.

Запропоновані елементи технології вирощування зернових культур суттєво вплинули на показники структури урожайності (табл. 1).

Таблиця 1.

Показники структури врожаю пшениці озимої сорту Перемога, 2021–2025 рр.

Варіант досліджу	Довжина колосу, см	Кількість зерна в колосі, шт	Маса зерна в колосі, г	Маса 1000 зерен, г
1	2	3	4	5
N ₃₀ P ₃₀				
Контроль	7,0	30,0	1,1	44,1
Мікрогумін (обробка насіння)	7,7	31,0	1,2	55,6
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	7,1	28,0	1,1	61,4
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	7,2	31,0	1,2	44,4
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	7,2	33,0	1,4	66,1
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	8,1	34,0	1,4	55,9
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	7,6	30,0	1,2	43,6
Байкал (фаза кущіння)	7,5	35,0	1,2	59,4
Біоритм (фаза кущіння)	7,5	28,0	1,1	52,7
Екостимул (фаза кущіння)	7,9	34,0	1,3	44,9
Біогумус - 1000 кг/га				
Контроль	6,5	21,0	1,0	40,2
Мікрогумін (обробка насіння)	7,3	25,0	1,1	49,3
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	6,9	30,0	1,3	50,2

Продовження таблиці 1.

1	2	3	4	5
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	6,6	22,0	1,1	43,5
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	6,7	26,0	1,1	48,6
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	7,5	27,0	1,1	49,2
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	7,7	28,0	1,1	46,2
Байкал (фаза кущіння)	8,1	36,0	1,4	57,9
Біоритм (фаза кущіння)	7,5	28,0	1,2	48,4
Екостимул (фаза кущіння)	7,8	30,0	1,2	51,8
НІР _{0,5} (препарат)	0,04	0,51	0,01	0,29
НІР _{0,5} (фон живлення)	0,02	0,23	0,003	0,13
НІР _{0,5} (сукупна дія фону живлення та препарату)	0,05	0,73	0,01	0,41

Найкращі показники структури колосу пшениці озимої на органічному фоні живлення (біогумус 1000 кг/га) були при обприскуванні посівів препаратом Байкал у фазі кущіння: довжина колосу – 8,1 см, кількість зерен у колосі – 36,0 шт., маса зерна з колоса – 1,4 г, маса 1000 зерен – 50,3 г.

Найбільша кількість зерен у колосі, не залежно від фону живлення, була при обприскуванні посівів у фазу кущіння препаратом Байкал – 35-36 шт. Достовірно велику кількість зерен в колосі забезпечили також застосування на мінеральному фоні живлення препаратів Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння) та Екостимул (фаза кущіння) – 34 шт.

За ознакою маси зерна з колосу не спостерігалось суттєвої різниці за цим показником в залежності від фону живлення. Маса зерна з колосу на всіх варіантах (мінеральний фон живлення) перевищувала контроль окрім варіанту, де проводилось обприскування посівів на початку фази кущіння препаратом Біоритм та інокуляція Мікрогуміном з подальшою обробкою у фазі кущіння Байкалом. Найбільша маса зерна з колосу (1,4 г) була сформована при обробці насіння препаратом Мікрогумін у поєднанні з обприскуванням посівів на початку фази кущіння препаратом Екостимул а також при обробці насіння препаратом Байкал у поєднанні з обприскуванням посівів на початку фази кущіння

препаратом Біоритм.

На органічному фоні цей показник на всіх варіантах перевищував контрольний, але найбільшим він був при обприскуванні посівів на початку фази кушіння препаратом Байкал – 1,4 г та обробка зерна сумішшю препаратів Мікрогумін та Байкал – 1,3 г.

Маса 1000 зерен за мінерального фону найбільшою була при сумісному використанні обробки насіння препаратом Мікрогумін та обприскуванні посівів на початку фази кушіння препаратом Екостимул, прибавка порівняно з контролем становила 22,0 г. За органічного фону живлення найбільша маса 1000 зерен відмічена при обприскуванні у фазу кущення Байкалом – 57,9 г, що перевищило контрольний варіант на 17,7 г.

Урожайність пшениці озимої залежно від варіантів досліду була наступною (табл. 2). На мінеральному фоні живлення, забезпечивши прибавку 0,9 т/га або +25,0 %, кращим виявився варіант із застосування Мікрогуміну для обробки насіння з подальшим обприскуванням Біоритмом у фазу кущення т з урожайністю 4,5 т/га.

Таблиця 2.

Урожайність зерна пшениці озимої сорту Перемога, 2021–2025 рр.

Варіант досліду	Урожайність, т/га	Прибавка, сер.	
		т/га	%
1	2	3	4
N ₃₀ P ₃₀			
Контроль	3,6		
Мікрогумін (обробка насіння)	3,6	0,0	0,0
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,7	0,1	2,8
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння)	4,5	0,8	22,9
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння)	4,0	0,4	11,0
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння)	4,1	0,5	12,8
2Б3а4йкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння)	4,0	0,3	9,2
Байкал (фаза кушіння)	3,7	0,0	0,9
Біоритм (фаза кушіння)	3,6	0,0	-0,9
Екостимул (фаза кушіння)	3,6	0,0	-0,9

Продовження таблиці 2.

1	2	3	4
Біогумус - 1000 кг/га			
Контроль	3,1		
Мікрогумін (обробка насіння)	3,1	0,0	-1,1
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,2	0,1	2,2
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,4	0,3	8,6
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,5	0,4	12,9
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	3,3	0,2	5,4
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,2	0,1	4,3
Байкал (фаза кущіння)	3,0	-0,1	-2,2
Біоритм (фаза кущіння)	3,1	0,0	-1,1
Екостимул (фаза кущіння)	2,9	-0,2	-6,5
НІР _{0,5} (препарат)	0,24		
НІР _{0,5} (фон живлення)	0,11		
НІР _{0,5} (сукупна дія фону живлення та препарату)	0,34		

Найгіршими виявилися варіанти, де проводилось лише обприскування посівів у фазу кущіння без використання інокулянтів.

Органічний фон живлення продемонстрував подібну залежність, як і мінеральний. Достовірно кращими варіантами були застосування Байкалу під час обробки зерна та Біоритму для обробки у фазу кущіння з урожайністю 3,3 т/га або 6,5 % більше за контрольний варіант, Мікрогуміну для обробки насіння та Біоритму для обприскування посівів у фазу кущіння з урожайністю 3,4 т/га або +9,7 % до контролю та Мікрогуміну для обробки насіння та Екостимулу для обприскування посівів у фазу кущіння з урожайністю 3,5 т/га або +12,9 % до контролю.

Спостереження за ростом та розвитком рослин ячменю ярого наприкінці кущіння виявили значущої відмінності впливу фонів живлення на формування досліджуваних біометричних показників. Так, рослини мінерального фону були вищими за рослини органічного в середньому на 5,1 см.

За показником висоти рослин виділено варіант Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння), в якому на обох фонах живлення відмічене максимальне

значення висоти рослин ячменю наприкінці фази кущення – 35,3 см (мінеральне живлення) та 31,1 см (органічне живлення). В межах допустимої похибки виділені й інші варіанти високорослості ячменю: Мікрогумін + Байкал (обробка насіння), Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння), Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння), Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння) 34,9-35,2 см на мінеральному фоні живлення та 30,0-30,1 см на органічному фоні живлення.

Найвищим коефіцієнт кушіння (1,9) на мінеральному фоні живлення був за використання препарату Мікрогумін для обробки насіння, а також сумісне використання препаратів Мікрогумін та Байкал для обробки насіння. Використання регуляторів росту для обприскування посівів на початку фази кушіння істотно не вплинули на формування додаткових пагонів рослинами.

Більш суттєвий вплив на цей показник продемонстрували фоні живлення. Різниця між мінеральним та органічним фонами на контрольних варіантах дорівнювала 0,2 пагони на одній рослині на користь мінерального.

Наприкінці фази кушіння рослин ячменю ярого виявили відмінності впливу фонів живлення на формування біометричних показників. Так, рослини на мінеральному фоні живлення були вищими за рослини на органічному фоні у середньому на 5,1 см.

У фазі повної стиглості на мінеральному фоні живлення, не залежно від варіанту, рослини ячменю ярого відзначились надмірним розвитком габітусу. Порівняно з органічним фоном рослини були вищими в середньому на 8 см. Найбільший габітус рослин забезпечували наступні варіанти використання препаратів: обробка насіння Мікрогуміном, поєднання Мікрогуміну та Байкалу при обробці зерна, обробка зерна Мікрогуміном з подальшою обробкою по зеленому листу у фазу кущення Екостимулом.

Органічний фон сприяв формуванню найбільшого габітусу при сумісному використанні обробки насіння Байкалом та обприскування посівів на початку фази кушіння препаратом Екостимулом (прибавка порівняно з контролем – 5 см). Також відмічене в межах допустимої похибки високий показник висоти рослин

(62,7 см) у варіанті обробки посіву у фазу кущення Байкалом.

На мінеральному фоні живлення найвищі коефіцієнти загального кушіння були на варіантах з обробкою насіння Мікрогуміном та обробкою посіву у фазу кущення Байкалом (1,9). Кращі коефіцієнти продуктивного кушіння (1,7-1,8) були отримані на варіантах: Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння) та Байкал (фаза кушіння).

За органічного фону живлення суттєва відмінність показника коефіцієнту загального кущення була при обробці насіння Мікрогуміном (1,6). За показником коефіцієнта продуктивного кущення всі варіанти застосування препаратів забезпечили рівень 1,2-1,3.

За ознаками загального та продуктивного стеблостою на одиницю площі на мінеральному фоні живлення виявлено найвищі показники у варіанті із застосуванням препарату Байкал у фазу кушіння – 763 шт./м² та 710 шт./м² відповідно. Також чисельний загальний стеблостій спостерігався на варіанті із обробкою зерна Мікрогуміном – 763 шт./м².

Органічний фон живлення по своєму розкривав властивості препаратів, що вивчались. Так, найвищі показники загального та продуктивного стеблостою з одиниці площі відмічено у наступних варіантах застосування препаратів: Мікрогумін (обробка насіння) – 644 шт./м² загального стеблостою; Мікрогумін + Байкал (обробка насіння), Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння), Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння) та Байкал (фаза кушіння) – 518 шт./м² продуктивного стеблостою.

Фони живлення дещо по різному впливали на ефективність запропонованих варіантів формувати показники структури врожаю ячменю ярого (табл. 3). Так, на мінеральному фоні живлення найбільша довжина колосу була при інокуляції насіння препаратом Мікрогумін – 4,3 см. Дещо поступався йому (на 0,1 см) варіант із сумісною обробкою насіння Мікрогуміном та Байкалом.

Таблиця 3.

Показники структури врожаю ячменю ярого сорту Бравий, 2021–2025 рр.

Варіант дослід	Довжина колосу, см	Кількість зерна в колосі, шт.	Маса зерна в колосі, г	Маса 1000 зерен, г
N ₃₀ P ₃₀				
Контроль	3,9	10,4	0,40	37,7
Мікрогумін (обробка насіння)	4,3	10,6	0,56	46,1
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,2	10,9	0,49	42,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,1	11,0	0,42	37,7
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,0	10,7	0,42	35,7
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,0	10,6	0,42	38,2
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,1	10,9	0,49	41,9
Байкал (фаза кущіння)	3,8	10,2	0,42	38,8
Біоритм (фаза кущіння)	4,1	10,9	0,49	39,5
Екостимул (фаза кущіння)	4,0	10,4	0,42	37,8
Біогумус - 1000 кг/га				
Контроль	3,8	10,0	0,39	36,1
Мікрогумін (обробка насіння)	4,0	10,1	0,49	41,4
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	4,1	10,9	0,42	37,3
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,2	11,0	0,49	38,8
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,3	11,2	0,49	39,2
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	4,0	10,4	0,49	40,5
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	4,1	11,1	0,42	36,1
Байкал (фаза кущіння)	4,1	10,8	0,42	35,3
Біоритм (фаза кущіння)	4,4	11,2	0,42	35,7
Екостимул (фаза кущіння)	4,4	11,4	0,42	36,5
НІР _{0,5} (препарат)	0,12	0,23	0,007	0,89
НІР _{0,5} (фон живлення)	0,05	0,10	0,003	0,40
НІР _{0,5} (сукупна дія фону живлення та препарату)	0,17	0,32	0,010	1,26

Показник маси зерна з колосу на мінеральному фоні у всіх варіантах дослідів в межах допустимого відхилення був на рівні контрольного варіанту – 0,40 г, окрім варіанту із застосуванням Мікрогуміном в якості інокулянту зерна – 0,56 г. На органічному фоні живлення найбільшу масу зерен з колосу забезпечили такі варіанти використання препаратів: Мікрогумін для обробки зерна,

Мікрогумін як інокулянт в поєднанні з подальшим обприскуванням по листу у фазу кущення Біоритмом, Мікрогумін як інокулянт в поєднанні з подальшим обприскуванням по листу у фазу кущення Екостимулом та обробка зерна Байкалом з наступною обробкою посіву у фазу кущення Біоритмом. Всі ці варіанти забезпечили 0,49 г зерна з одного колосу.

Найбільшу масу 1000 насінин ячменю виявлено за умов застосування Мікрогуміну як інокулянту не залежно від форм живлення – 41,4-46,1 г. Окремо у дослідях на мінеральному фоні живлення велику масу 1000 насінин відмічено у варіантах застосування Мікрогуміну для обробки зерна з наступним обприскуванням Байкалом посіву у фазу кущення – 42,0 г та використання Байкалу як інокулянту з обробкою посіву у фазу кущення Екостимулом – 41,9 г. На органічному фоні живлення також за даним показниками виділено варіант із застосуванням Байкалу в якості інокулянту з подальшою обробкою Біоритмом посіву у фазі кущення – 40,5 г.

Найбільш істотний прояв ефективності запропонованих варіантів відбився на врожайності зерна ячменю ярого (табл. 4).

Таблиця 4.

Урожайність зерна ячменю ярого сорту Бравий, 2021–2025 рр.

Варіант досліджу	Урожайність, т/га	Прибавка	
		т/га	%
1	2	3	4
N ₃₀ P ₃₀			
Контроль	3,3		
Мікрогумін (обробка насіння)	3,3	0,0	0,0
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	3,6	0,3	9,1
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння)	3,2	-0,1	-3,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння)	2,8	-0,5	-15,2
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кушіння)	2,9	-0,4	-12,1
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кушіння)	3,5	0,2	6,1
Байкал (фаза кушіння)	3,1	-0,2	-6,1
Біоритм (фаза кушіння)	3,3	0,0	0,0
Екостимул (фаза кушіння)	2,8	-0,5	-15,2
Біогумус - 1000 кг/га			
Контроль	2,5		
Мікрогумін (обробка насіння)	2,5	0,0	0,0

Продовження таблиці 4.

1	2	3	4
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	2,7	0,2	8,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	2,9	0,4	16,0
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	3,0	0,5	20,0
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	2,9	0,4	16,0
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	2,8	0,3	12,0
Байкал (фаза кущіння)	2,6	0,1	4,0
Біоритм (фаза кущіння)	2,7	0,2	8,0
Екостимул (фаза кущіння)	2,6	0,1	4,0
НІР _{0,5} (препарат)	0,15		
НІР _{0,5} (фон живлення)	0,07		
НІР _{0,5} (сукупна дія фону живлення та препарату)	0,21		

На мінеральному фоні живлення найвищий показник продуктивності рослин забезпечив варіант з інокуляцією насіння сумішшю препаратів Мікрогумін та Байкал – 3,6 т/га (прибавка склала 0,3 т/га або 9,1 % до контролю). Також виділено варіант з достовірно високим урожаєм – 3,5 т/га (прибавка склала 0,2 т/га або 6,1 % до контролю), який передбачає інокуляцію зерна ячменю Байкалом з подальшою обробкою посівів у фазу кущення Екостимулом.

Варіант із застосуванням інокуляції зерна ячменю Мікрогуміном та варіант обробки посівів Біоритмом у фазі кущіння виділилися варіант забезпечили середню врожайність за період досліджень на рівні контрольного варіанту – 3,3 т/га. Середній показник урожайності інших варіантів застосування препаратів на фоні мінерального живлення відмічено нижче рівня контрольного варіанту.

На органічному фоні живлення найвища середня врожайність зерна була отримана при інокуляції насіння препаратом Мікрогумін та обприскуванні посівів препаратом Екостимул – 3,0 т/га (прибавка склала 0,5 т/га або 20,0 % до контролю). Також виділено варіанти з достовірно високим урожаєм – 2,9 т/га (прибавка склала 0,4 т/га або 16,0 % до контролю): Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння) та Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння).

Порівняння двох фонів живлення демонструє перевагу мінерального фону, який забезпечив зростання рівня врожайності порівняно з органічним.

Важливе значення в агротехніці вирощування зернових колосових культур має не тільки урожайність зерна, але і його якість (табл. 5).

Таблиця 5.

Показники якості зерна пшениці озимої сорту Перемога, 2021-2025 рр.

Варіант досліджу	Натура зерна, г/л	Вміст білку в зерні, %	Вміст клейковини в зерні, %
Мінеральний фон живлення (N₃₀P₃₀)			
Контроль	782,2	16,00	35,1
Мікрогумін (обробка насіння)	785,1	16,30	36,4
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	785,3	16,10	36,2
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	788,0	16,00	36,7
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	787,2	15,90	36,3
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	788,0	16,20	36,5
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	786,3	16,00	36,3
Байкал (фаза кущіння)	785,1	16,00	36,2
Біоритм (фаза кущіння)	787,0	16,00	36,2
Екостимул (фаза кущіння)	787,1	15,90	36,3
Середнє	786,1	16,04	36,2
Органічний фон живлення – (Біогумус - 1000 кг/га)			
Контроль	785,1	15,90	34,6
Мікрогумін (обробка насіння)	790,0	15,90	35,1
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	792,1	15,80	35,3
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	795,4	16,00	35,8
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	794,2	16,10	35,6
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	790,1	16,00	36,0
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	789,5	16,00	35,8
Байкал (фаза кущіння)	788,2	15,90	35,5
Біоритм (фаза кущіння)	790,6	16,00	35,7
Екостимул (фаза кущіння)	789,2	16,00	35,5
Середнє	790,4	15,96	35,5
НІР ₀₅ (препарат)	1,65	0,17	0,22
НІР ₀₅ (фон живлення)	0,74	0,08	0,10
НІР ₀₅ (сукупна дія)	2,33	0,24	0,31

При застосуванні мінерального фону живлення натура зерна знижувалась порівняно з натурою отриманою на органічному фоні. Це пояснюється тим, що

за осінньо-весняний період органічні добрива мали більше часу для мінералізації за рахунок роботи ґрунтової мікрофлори.

Найвищі показники натур (788,0 г/л) зерна на мінеральному фоні живлення мали при використанні препарату Мікрогумін (1,0 кг/т) для інокуляції насіння разом з препаратом Біоритм (1,5 л/га) для обприскування посівів у фазі кушіння, а також інокуляція насіння Байкалом (2,0 л/т) та обприскування посівів Біоритмом (1,5 л/га). Прибавка порівняно з контролем склала 5,8 г/л.

За органічного фону живлення найвищу натуру зерна було сформовано рослинами пшениці озимої при інокуляції насіння Мікрогуміном (1 кг/т) та обприскування посівів у фазі кушіння Біоритмом (1,5 л/га) – 795,4 г/л, це на 10,3 г/л перевищує контроль.

Вміст білка у зерні пшениці озимої сорту Перемога, незалежно від фону живлення та застосування регуляторів росту, в середньому був на рівні 16,0 %.

Використання інокуляції насіння та обприскування посівів за різних фонів живлення сприяло підвищенню вмісту клейковини у зерні пшениці озимої. Так, за мінерального фону живлення, цей показник збільшувався порівняно з контролем з 1,1 % до 1,6 %, залежно від варіанту застосування регуляторів росту.

За органічного фону живлення, відсоток клейковини у пшениці озимої збільшувався з 0,5 (інокуляція насіння Мікрогуміном) до 1,4 % (інокуляція насіння Байкалом + обприскування посівів Біоритмом).

За показником індексу деформації клейковини (ІДК), який вказує на хлібопекарську якість борошна, незалежно від фону живлення майже у всіх варіантах відмічено оптимальні значення ІДК – 70–85 о. п. У середньому рівень ІДК вищим за мінерального фону живлення. У варіанті інокуляції насіння пшениці озимої Байкалом з подальшим обприскуванням посіву у фазі кушіння Біоритмом значення ІДК становило 90 о. п.

У середньому вищі показники натур зерна ячменю ярого отримано на мінеральному фоні живлення. На контролі отримано у середньому 654,2 г/л, що на 33,4 г/л перевищило контроль на органічному фоні (табл. 6).

Таблиця 6.

Показники якості зерна ячменю ярого сорту Бравий, 2021-2025 рр.

Варіант досліджу	Натура зерна, г/л	Вміст білку в зерні, %
Мінеральний фон живлення (N ₃₀ P ₃₀)		
Контроль	654,2	10,91
Мікрогумін (обробка насіння)	657,2	11,35
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	658,0	11,47
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	657,9	11,53
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	656,3	11,47
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	657,0	11,53
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	657,4	11,16
Байкал (фаза кущіння)	655,2	11,22
Біоритм (фаза кущіння)	655,5	11,41
Екостимул (фаза кущіння)	655,0	11,22
Середнє	656,4	11,33
Органічний фон живлення (Біогумус – 1000 кг/га)		
Контроль	620,8	10,29
Мікрогумін (обробка насіння)	624,3	10,91
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	622,9	11,04
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	623,9	10,66
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	622,3	10,85
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	620,5	10,42
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	628,6	10,54
Байкал (фаза кущіння)	623,5	10,48
Біоритм (фаза кущіння)	622,6	11,04
Екостимул (фаза кущіння)	623,9	10,97
Середнє	623,3	10,72
НІР ₀₅ (препарат)	0,83	0,084
НІР ₀₅ (фон живлення)	0,37	0,038
НІР ₀₅ (сукупна дія)	1,17	0,119

Найвищі показники натури зерна, залежно від фонів живлення, були отримані за сукупного використання препарату Мікрогумін для інокуляції насіння та препарату Байкал для обприскування у фазі кущіння – 658,0 г/л (мінеральний фон живлення) та при інокуляції насіння препаратом Байкал сумісно з обприскуванням посівів у фазі кущіння препаратом Екостимул – 628,6 г/л (органічний фон живлення).

Аналіз показників натури зерна за фонами живлення дозволяє зробити висновок, що за мінерального фону найбільший вплив мало застосовування інокуляції насіння біопрепаратами. У той же час, ця закономірність не

простежувалася за органічного фону живлення, де зміна величини показника натури зерна було у межах похибки дослідів. Тобто, мінеральний фон живлення мав більш істотний вплив на показник натури зерна ячменю ярого.

У досліді з мінеральним фоном живлення при інокуляції насіння Мікрогуміном з наступним обприскуванням посіву Біоритмом та при інокуляції насіння Байкалом з наступним обприскуванням рослин Біоритмом отримано найвищий вміст білка – 11,53 %. На органічному фоні відмічено високий рівень білка (11,04 при інокуляції баковою сумішшю Мікрогуміну і Байкалу та окремо обприскування посіву у фазі кушіння препаратом Біоритм.

Використання регуляторів росту сприяє підвищенню економічної ефективності виробництва. Це зумовлено зменшенням витрат на мінеральні добрива та зменшенням пестицидного навантаження, оскільки знижується необхідність в застосуванні великих доз різних агрохімікатів. Такий підхід сприяє біологізації сільськогосподарського виробництва, тобто переходу до більш природних та екологічно безпечних методів ведення господарства. Застосування регуляторів росту є важливим етапом у вдосконаленні сучасних агротехнологій та підвищенні стійкості та продуктивності сільськогосподарських культур.

Економічна ефективність виробництва зернових культур в наших дослідженнях зумовлена впливом застосування регуляторів росту за різними фонами живлення (табл. 7). На фоні мінерального живлення ($N_{30}P_{30}$) найвища рентабельність була отримана при інокуляції насіння Мікрогуміном (1,0 кг/т) з наступним обприскуванням рослин у фазі кушіння Біоритмом (1,5 л/га) – 66,7 %, за урожайності 4,5 т/га. Чистий прибуток склав 9000,00 грн/га. Виробничі витрати – 13500 грн/га. На органічному фоні живлення (біогумус – 1000 кг/га) найбільша рентабельність була при застосуванні препаратів для інокуляції насіння Мікрогуміном (1,0 кг/т) з наступним обприскуванням Екостимулом у фазі кушіння, яка склала 31,1 %, за урожайності 3,5 т/га. Прибуток становив 4150 грн/га, що на 53,9 % менше ніж на фоні $N_{30}P_{30}$.

Таблиця 7.

Економічна ефективність вирощування пшениці озимої, 2021–2025 рр.

Варіант досліджу	Виробничі витрати, грн/га	Собів-сть 1 т зерна, грн	Чистий дохід, грн/га	Рентабельність, %
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀				
Контроль	13300	3730	18080	34,9
Мікрогумін (обробка насіння)	13400	3722	18000	34,3
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	13450	3635	18500	37,5
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13500	3000	22500	66,7
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13550	3388	20000	47,6
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13450	3280	20500	52,4
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13500	3375	20000	48,1
Байкал (фаза кущіння)	13450	3635	18500	37,5
Біоритм (фаза кущіння)	13450	3736	18000	33,8
Екостимул (фаза кущіння)	13450	3736	18000	33,8
max	13550	3736	20500	52,4
\bar{x}	13450	3524	19208	42,7
min	13300	3280	18000	33,8
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га				
Контроль	13200	4275	15580	18,0
Мікрогумін (обробка насіння)	13220	4265	15500	17,2
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	13280	4150	16000	20,5
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13350	3926	17000	27,3
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13350	3814	17500	31,1
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13280	4024	16500	24,2
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13280	4150	16000	20,5
Байкал (фаза кущіння)	13280	4427	15000	13,0
Біоритм (фаза кущіння)	13280	4284	15500	16,7
Екостимул (фаза кущіння)	13280	4579	14500	9,2
max	13350	4579	17500	31,1
\bar{x}	13280	4189	15908	19,8
min	13200	3814	14500	9,2

Підвищення рентабельності виробництва залежить від собівартості і ціни на продукцію. Чим краща якість, тим вища ціна реалізації, сума прибутку і рівень рентабельності, а отже і вища ефективність виробництва. Для розрахунку

основних показників ефективності вирощування ячменю ярого були використані прайс-листи на матеріали і продукцію, дані польового дослідження, технологічна карта (табл. 8).

Таблиця 8.

Економічна ефективність вирощування ячменю ярого, 2021–2025 рр.

Варіант дослідження	Виробничі витрати, грн/га	Собів-сть 1 т зерна, грн	Чистий дохід, грн/га	Рентабельність, %
Фон живлення N ₃₀ P ₃₀				
Контроль	13350	4072	16550	23,2
Мікрогумін (обробка насіння)	13400	4061	16500	23,1
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	13450	3736	18000	33,8
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13500	4219	16000	18,5
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13550	4839	14000	3,3
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13450	4638	14500	7,8
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13500	3857	17500	29,6
Байкал (фаза кущіння)	13450	4339	15500	15,2
Біоритм (фаза кущіння)	13450	4076	16500	22,7
Екостимул (фаза кущіння)	13450	4804	14000	4,1
max	13550	4839	18000	29,6
\bar{x}	13455	4264	15905	18,1
min	13350	3736	14000	3,3
Фон живлення Біогумус – 1000 кг/га				
Контроль	13180	5302	12550	-5,4
Мікрогумін (обробка насіння)	13220	5288	12500	-5,4
Мікрогумін + Байкал (обробка насіння)	13280	4919	13500	1,7
Мікрогумін (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13350	4603	14500	8,6
Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13350	4450	15000	12,4
Байкал (обробка насіння) + Біоритм (фаза кущіння)	13280	4579	14500	9,2
Байкал (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння)	13280	4743	14000	5,4
Байкал (фаза кущіння)	13280	5108	13000	-2,1
Біоритм (фаза кущіння)	13280	4919	13500	1,7
Екостимул (фаза кущіння)	13280	5108	13000	-2,1
max	13350	5302	15000	12,4
\bar{x}	13278	4902	13605	2,4
min	13180	4450	12500	-5,4

На фоні живлення Біогумус-1000 кг/га найбільша рентабельність була при використанні препаратів Мікрогумін (обробка насіння) + Екостимул (фаза кущіння), яка склала 12,4%, при урожайності 3,0 т/га. Прибуток був 1650 грн/га, що на 63,7% менший ніж при використанні фону живлення $N_{30}P_{30}$.

Розрахунок економічної доцільності використання запропонованих елементів технології вирощування зернових культур продемонстрував значну ефективність використання фонів живлення та препаратів, що вивчались.

В цілому можна зробити висновок, що запропоновані елементи сприяють доброму розвитку рослин протягом вегетації, формують високий рівень врожаю, і як наслідок, підвищують рівень рентабельності виробництва зерна пшениці озимої у недостатньо сприятливих умовах східної частини Північного Степу.

2.3 Агротехнічні заходи вирощування сочевиці в Лісостепу

Вибір поля має вирішальне значення у вирощуванні сочевиці. Поле, де планується сівба, повинне бути ретельно підготовлене. В першу чергу, воно має бути добре вирівняне, так як на нерівній і грудкуватій поверхні збирання сильно ускладнюється через малу висоту рослин і, відповідно, низьку висоту зрізу при збиранні. Також поле повинне бути чисте від бур'янів, особливо дводольних і багаторічних, тому що сочевиця характеризується слабким ростом, особливо на початку вегетації, і не конкурує з ними, а арсенал гербіцидів (проти дводольних бур'янів), які можна застосувати на сочевиці, досить обмежений. Наприклад, з такими бур'янами, як осот польовий та гірчак рожевий слабо конкурують майже всі сільськогосподарські культури, особливо сочевиця. Серед існуючих гербіцидів, які можна застосувати на сочевиці, жоден не може контролювати ці бур'яни. Тому, дуже важливо боротися з багаторічними бур'янами завчасно, в попередні роки. Ефективна боротьба з бур'янами на сочевиці – довготривала стратегія, впродовж всього періоду ротації сівозміни. Небажано сіяти сочевицю в знижених місцях рельєфу та на полях, схильних до запливання. Варто пам'ятати, що сочевиця не переносить засоленних ґрунтів. Оптимальною для неї є нейтральна реакція ґрунтового розчину. Найкращими попередниками для сочевиці є зернові культури. В свою чергу, сочевиця є відмінним попередником для більшості сільськогосподарських культур. Урожайність пшениці озимої після сочевиці така ж як і після чорного пару, а в деяких випадках навіть перевищує її. Сочевиця рано звільняє поле, а тому створює сприятливі умови для підготовки ґрунту і накопичення вологи в ньому. Для запобігання розповсюдження хвороб не бажано сіяти сочевицю та інші бобові культури на одному й тому ж полі частіше, ніж один раз на чотири роки.

Обробіток ґрунту.

Традиційний обробіток ґрунту під сочевицю – звичайний для ранніх ярих культур: одне-два дискування попередника, глибока оранка, вирівнювання зябу

з осені й ранньовесняне закриття вологи. Дуже важливо відразу ж після збирання попередника задискувати стерню. Цей захід сприяє збереженню вологи, знищенню бур'янів і створює сприятливі провокаційні умови для проростання насіння бур'янів. При значній кількості багаторічних кореневищних бур'янів поле два-три рази дискують по різних діагоналях з розривом 10-15 діб. Через два-три тижні після останнього дискування здійснюють зяблеву оранку на глибину 20-22 см. Оскільки сочевиця досить низькоросла культура, потрібно велику увагу приділити вирівнюванню поля. Це значно полегшить потім її збирання, а втрати врожаю будуть суттєво меншими. Так як сочевицю висівають рано навесні і часу для вирівнювання зябу мало, то цей захід бажано виконати восени. Можна також вирощувати сочевицю і по no-till технології. Дослідження, проведені в Канаді, показали, що сочевиця добре розвивається по стерні попередньої культури. Залишки стерні допомагають зберегти вологу в ґрунті, а також стерня сприяє меншому виляганню сочевиці та порівняно вищому прикріпленню перших бобів на стеблі.

Удобрення.

На сочевиці, як і на інших культурах, при застосуванні добрив потрібно, в першу чергу, користуватися результатами агрохімічного аналізу ґрунту на вміст доступних елементів живлення. Проте, слід мати на увазі, що сочевиця слабо реагує на застосування добрив. При високому вмісті азоту в ґрунті азотфіксація не відбувається, а при значній кількості доступної вологи надлишковий азот сприяє сильному росту вегетативної маси, а кількість бобів та насіння при цьому буває незначною.

Азот. Для формування врожаю 2 т/га зерна сочевиці потрібно в середньому 100 кг азоту. При нормальній азотфіксації сочевиця може забезпечити до 50-80% своєї потреби в азоті за рахунок фіксації азоту бульбочковими бактеріями, а решту вона бере з ґрунту. Проте, якщо вміст азоту в ґрунті менше 17кг/га, початковий ріст рослин буде повільним, у рослин відмічається жовте забарвлення листків протягом певного періоду часу із-за нестачі азоту. Тому при сівбі на таких полях бажано вносити до 20 кг/га азоту. Хоча стартова доза азоту

на початковій стадії розвитку рослин сприятиме їх кращому росту, істотної прибавки врожаю можна й не отримати. Тому, вирішуючи вносити чи не вносити азотне добриво, потрібно взяти до уваги наступні «за» і «проти»:

- на полях, де сочевиця вирощується вперше, а також у посушливих регіонах, надлишковий азот не сприятиме надмірному розвитку вегетативної маси у рослин. Тому азотні добрива будуть корисними переважно на бідних на азот ґрунтах;

- так як сочевиця має досить короткий вегетаційний період, то посіви з потужною вегетативною масою, що формуються завдяки внесеному азоту, не завжди спроможні в стислі строки реалізувати генетично обумовлений потенціал врожаю насіння;

- низькі температури повітря, посушливі умови чи надлишкова кількість вологи гальмують азотфіксацію;

- внесення азоту більше ніж 30 кг/га суттєво стримує азотфіксацію;

- стартова доза азоту сприяє кращому розвитку вегетативної маси, проте, за вологої погоди це може бути причиною більш сильного ураження хворобами, тому що у густій масі, яка погано провітрюється, створюються сприятливі умови для розвитку інфекції;

- завдяки інтенсивнішому росту рослин і, відповідно, більшій їх висоті на початковій стадії розвитку, нижні боби будуть прикріплені вище, що, в певній мірі, може полегшити збирання врожаю.

Фосфор – важливий елемент живлення для сочевиці, хоча вона потребує відносно невелику його кількість. Для формування врожаю насіння 2 т/га сочевиці потрібно 20 кг фосфору. Фосфор сприяє кращому розвитку кореневої системи, а, відповідно, і кращому загальному розвитку рослин. Також він відіграє важливу роль в азотфіксації та сприяє швидшому і більш дружньому дозріванню рослин і насіння. Тому, якщо результати аналізу ґрунту вказують на недостатню кількість фосфору в ґрунті, потрібно вносити фосфорні добрива.

Максимальна безпечна доза фосфатів, яку можна вносити одночасно з висівом насінням – 16,8 кг/га P_2O_5 . Дозу добрив, що будуть розміщуватися поряд з насінням, потрібно зменшувати при сівбі в недостатньо вологий ґрунт. Для мінімізації токсичного ефекту можна збільшувати дозу внесення фосфору під культуру, яка висівалася в попередній рік, або вносити його з осені. Якщо вміст фосфору в ґрунті високий, завдяки достатньому його внесенню в попередні роки, застосування грибкового інокулянту, який підвищує доступність фосфору в ґрунті, може стати альтернативою внесенню стартової дози фосфорних добрив.

Калій зазвичай міститься в достатній кількості в більшості ґрунтів. Проте, насамперед, потрібно керуватися результатами агрохімічного аналізу ґрунту щодо вмісту цього елемента. Близько 85 кг/га K_2O потрібно для формування 2т/га урожаю насіння сочевиці. Якщо вміст цього елемента в ґрунті недостатній, принаймні мінімальна кількість калію повинна бути внесена при сівбі разом з насінням. Проте, слід мати на увазі, що добрива можуть бути токсичними для сходів. Тому кількість внесеного калію та фосфору не повинні перевищувати максимальної безпечної дози для фосфору.

Сірка також потрібна в досить значній кількості для розвитку сочевиці. Так, для формування врожаю насіння сочевиці 2 т/га потрібно 9-11 кг/га сірки. Якщо результати агрохімічного аналізу ґрунту вказують на нестачу цього елемента, потрібно застосовувати мінеральні добрива, зокрема, сульфат амонію, який містить сірку в доступній для рослин формі. Дефіцит мікроелементів на сочевиці зустрічається досить рідко.

Посівний матеріал.

До Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні у 2021 р., внесено 4 сорти сочевиці, а саме – Лінза, Луганчанка, Любава і Світанок. Сорт сочевиці Лінза, створений на Красноградській дослідній станції ДУ Інститут сільського господарства степової зони, рекомендований для вирощування в Степу України. Сорт середньостиглий, вегетаційний період 65-75 діб. Рослини куцистої компактної форми, прямостоячі, висотою 54-55 см. Насіння плоске, світло-зелене, однотонне, стійке до побуріння. Маса 1000

насінин 58-70 г. Смакові якості відмінні. Вміст білка в насінні 27%. Середня урожайність насіння 1,8 т/га. Використання якісного посівного матеріалу є важливим кроком до отримання дружних і швидких сходів, а в результаті – й вагомого врожаю з підвищеними показниками якості.

Використовуючи якісне насіння є всі передумови отримати:

- підвищену стійкість сходів до хвороб;
- більш швидкі і дружні сходи;
- підвищену стійкість посівів до стресових чинників зовнішнього середовища, зокрема, негативного впливу високих і низьких температур;
- коренева система рослин розвиватиметься швидше, в результаті чого ефективніше будуть використовуватися волога і поживні речовини ґрунту;
- загальна стійкість посіву до хвороб і шкідників буде вищою;
- посіви будуть однорідними, а дозрівання – більш дружним, що значно полегшить збирання;
- урожай буде більшим, а насіння – високоякісним.

Для сівби потрібно використовувати насіння схожістю не менше 85%. Застосування деяких пестицидів перед збиранням, зокрема, гліфосатовмісних, може впливати на проростання насіння. Тому, сочевицю з полів, на яких в якості десиканта застосовувався гліфосат, не слід використовувати на насіння. Зараження насіння збудниками хвороб повинно бути якомога меншим. Ураження аскохітозом (*Ascochyta lentil*) допускається не більше 5%, якщо воно близьке до цього значення, то потрібно проводити обробку насіння відповідними фунгіцидами. Більшість сортів сочевиці містять в насінневій оболонці танін, який має фунгіцидні властивості, тому обробка проти гнилі проростків (*Pythium species*) рекомендується лише для небуріючих сортів. Зараження насіння ботритініозом (*Botrytis fabae*) і склеротиніозом (*Sclerotinia sclerotiorum*) допускається не більше 5%. Не більше 5% допускається також зараження фузаріозом (*Fusarium Oxysporum*). В сумі зараження насіння збудниками хвороб

допускається не більше 10%.

Підготовка насіння.

Обробка насіння сочевиці фунгіцидами проти грибкових хвороб в більшості випадків не проводиться. Проте, наступні причини можуть спонукати до її проведення:

— скорочення ротації сівозміни;

— дуже ранні строки сівби;

— значна кількість у ґрунті рослинних решток попередньої культури за мінімального обробітку може бути причиною більш тривалого його прогрівання.

Для запобігання розвитку грибних захворювань, які передаються з насіннєвим матеріалом, за два-три тижні до сівби насіння слід протруїти препаратами: вітавакс 200 ФФ (2,5 л/т), ламардор FS 400 (0,15-0,20 л/т) або максим XL 035 FS (1,0 л/т) одночасно з інокуляцією насіння бульбочковими бактеріями. Обробка насіння інокулянтom – бульбочковими бактеріями (*Rhizobium leguminosarum*) може забезпечити потребу рослин в азоті на 80% через фіксацію атмосферного азоту. Крім того, за обробки насіння бульбочковими бактеріями рослини є більш стійкими до посухи та мають вищий вміст азоту, а відповідно й білка в зерні. Ризобіум – маломобільний, тому інокулянт повинен бути розміщений близько до насінини для найкращого розвитку бульбочок. Для інокуляції насіння сочевиці можна використовувати ризобіум такий же, як для гороху та бобів. Бактерії ризобіум (як на насінні, так і в упаковці) гинуть при дії таких екстремальних чинників зовнішнього середовища, як високі температури, сухий вітер, прямі сонячні промені. Тому, до використання інокулянт потрібно зберігати в прохолодному і темному місці; використаний він повинен бути до закінчення строку придатності. Обробляти насіння бульбочковими бактеріями потрібно безпосередньо в день сівби або за добу. Після обробки посівного матеріалу інокулянтom насіння потрібно висіяти у вологий ґрунт, по можливості швидше. Бульбочкові бактерії на насінні, яке попало у сухий ґрунт, загинуть. Бульбочкові бактерії чутливі до

гранульованих форм добрив. Тому бажане розміщення добрив при сівбі нижче або поряд з насінням, а не безпосередньо біля нього. Не допустимо змішувати інокулянт з добривами. Бульбочкові бактерії чутливі до більшості фунгіцидів, які застосовуються для протруювання насіння. Тому, перед застосуванням потрібно зверитися з інструкцією до препаратів для визначення їх сумісності. Інокулянт бульбочкових бактерій може пропонуватися в різних формах: рідкий, порошкоподібний, гранульований. Рідка форма препарату містить залишки культурального середовища, метаболіти бактерій і 7-10 млрд живих організмів у 1 мл. Гектарна норма складає 100 мл. Строк збереження препарату при температурі 4-15 °С не перевищує одного місяця. Перед використанням рідкої форми препарат розводять водою у 10 разів і він створює стійку суспензію, яка зручна у використанні, особливо для механізованої обробки насіння, так як добре утримується на його поверхні, більш рівномірно покриває насіння, і тому легше контролювати його норму витрати. Проте, він більш чутливий до пошкодження внаслідок дії зовнішнього середовища, ніж інші форми. Рекомендований період обробки насіння перед сівбою для рідкого інокулянту обмежений до 24 годин. При застосуванні сівалок з подачею насіння до висіваючих апаратів повітрям, швидкість вітру повинна бути мінімальною для зменшення десикації бактерій. При сівбі в сухий ґрунт або в ґрунт, на якому дуже давно вирощувалися бобові культури, потрібно вдвічі збільшувати норму інокулянту. За оптимальних умов рідка форма працює найкраще. Порошкоподібні форми більш стійкі до десикації, мають більшу тривалість життя. Проте, вони також потребують тих самих пересторог при застосуванні, як і рідкий інокулянт. Сипуча торф'яна форма традиційно називається ризоторфіном і являє собою зволожену сипучу масу темного або бурого кольору, яка містить не менше 2,5 млрд бульбочкових бактерій в 1 г, які розмножені у стерильному торфі з добавками поживних інгредієнтів і крейди для нейтралізації кислотності. Маса гектарної дози ризоторфіну 200 г. Гарантований строк зберігання при температурі 4-15 °С складає 6-9 місяців. Сипуча вермикулітна форма має вид зволоженої маси сірого або сіро-жовтого кольору, у 1 г якої міститься 1,5-2,0 млрд бульбочкових

бактерій. Строк зберігання препарату 2 місяці, маса гектарної дози – 200 г. Торфяна і вермикулітна форми ризобіуму при змішуванні з водою (200 г на 1 л) створюють нестійку суспензію, яка швидко розшаровується, тому перед застосуванням її потрібно ретельно розмішати. Для кращого затримання частин торфу або вермикуліту на поверхні насіння до водної суспензії препарату додають прилипачі (концентрат барди, патоку, клейстер, латекс, молочні відвійки або гнійну рідину). Не можна використовувати силікатний клей, оскільки він токсичний для бульбочкових бактерій із-за сильної лужної реакції розчину. Гранульовані форми дорожчі (поки що їх пропонують лише закордонні фірми), але вони значно легші в застосуванні та більш стійкі до негативної дії факторів зовнішнього середовища. Їх можна вносити або в перемішку з насінням або як гранульовані добрива, висіваючи в рядок з насінням. Хоча гранульовані форми значно простіші в застосуванні, проте, при їх внесенні потрібні деякі перестороги. Зокрема, ємність, куди вони будуть засипатися, повинна бути сухою, наповнювати її слід не більше половини для запобігання злежування. Ящик для насіння потрібно спорожнювати кожну ніч. Особливо уважно потрібно контролювати рівномірність висипання у вологі дні. Загалом, всі форми ризобіуму при правильному застосуванні і за сприятливих умов зовнішнього середовища працюють добре. Проте, за несприятливих умов (обробка насіння фунгіцидами, низький рН ґрунтового середовища, холодний ґрунт, сухий ґрунт, затримка з висівом обробленого насіння), найбільш ефективними будуть гранульовані, порошкоподібні, рідкі форми. Ефективність інокуляції можна перевірити шляхом викопування рослин через три-чотири тижні після появи сходів, обережно обтрусити з коренів ґрунт або промити їх.

При застосуванні рідких чи порошкоподібних форм бульбочки будуть розміщені ближче до центрального кореня, при застосуванні гранульованих препаратів – більше на бокових корінцях. Якщо при розрізі бульбочок пополам вони будуть червоного або рожевого кольору, значить проходить фіксація азоту, а якщо вони зеленого або кремового кольору, значить фіксація азоту не відбувається. Інокулянти для фосфору мають у своєму складі гриб *Penicillium*

bilali. Цей інокулянт покращує розчинність фосфатів і, відповідно, доступність їх рослинам. Гриб створює колонії навколо кореневої системи рослин і в результаті виділення органічних кислот підвищує розчинність фосфатів ґрунту або фосфорних добрив. Одна гектарна доза цього препарату може замінити 11 кг/га P_2O_5 . Краще його застосовувати разом із внесенням фосфорних добрив. Даний препарат сумісний з азотфіксуючими бактеріями.

Сівба.

Норма висіву схожого насіння становить 1,8-2,0 млн/га, щоб до збирання густина стояння рослин становила 140-160 рослин на квадратний метр при ширині міжрядь 15 см. Проте, це досить орієнтовне значення. Збільшувати або зменшувати норму висіву потрібно за таких умов:

- залежно від сортових особливостей;
 - залежно від того, яким чином планується боротися з бур'янами;
 - на забур'янених полях для підвищення конкурентоспроможності рослин з бур'янами;
 - густіші посіви краще відростають після внесення гербіцидів, адже повністю нетоксичних післясходових гербіцидів для сочевиці немає;
 - збільшувати норму висіву потрібно при сівбі за несприятливих умов: недостатньо зволожений або погано підготовлений ґрунт;
 - загущення посівів особливо небезпечно за наявності надлишкової вологи в ґрунті, так як сприяє більш інтенсивному розповсюдженню хвороб.
- Норму висіву насіння визначають шляхом додавання до оптимальної густоти стояння рослин перед збиранням відсотку загибелі рослин та з урахуванням схожості насіння. Випадіння рослин сочевиці за вегетацію в середньому коливається від 10 до 30%, залежно від гідротермічних умов весняно-літнього періоду. Так, при схожості насіння 95% та при загибелі рослин 15%, виживаність рослин буде складати 80%. Відповідно норму висіву потрібно збільшувати на 20%. У ваговому еквіваленті норма висіву насіння може коливатися від 50 для

дрібнонасінних до 150 кг на гектар для крупнонасінних сортів.

Способи сівби. Сіють сочевицю суцільним способом, ширина міжрядь може коливатися від 10 до 22 см; загалом вона не здійснює значного впливу на урожай; при ширшому міжрядді потрібно просто сіяти більшу кількість насіння в рядку, щоб зберігати оптимальну густоту стояння рослин на одиниці площі. При вузькіших міжряддях рослини сочевиці є більш конкурентоспроможними до бур'янів, тому що в такому випадку вегетативна маса культурних рослин скоріше закриває ґрунт. При цьому також зменшуються втрати вологи з міжрядь через випаровування. Внаслідок більш рівномірного розподілення по площі рослини ефективніше використовують ґрунтову вологу на початковій стадії розвитку. У вологозабезпечених регіонах при ширших міжряддях рослини не так густо покривають ґрунт, тому, внаслідок кращого провітрювання, зменшується ризик розповсюдження хвороб. Глибина загортання насіння і строки сівби. Сіяти сочевицю потрібно рано, як тільки ґрунт на глибині заробки насіння прогріється до 5°C. Рослини сочевиці можуть витримувати короткочасне зниження температури повітря до -5...-6°C. Тому весняні заморозки їй не страшні. При ранніх строках сівби рослини більш ефективно використають осінньо-зимові запаси вологи, що накопичилися в ґрунті, а також, в певній мірі, уникають негативної дії посухи та високих температур, які трапляються влітку. Ранні посіви менше пошкоджуються шкідниками і можуть сприяти більш інтенсивному росту рослин до початку цвітіння, а, відповідно, і вищому прикріпленню бобів, що полегшує збирання врожаю. Оптимальні строки сівби сочевиці в північному Степу та Лісостепу звичайно припадають на період з 5 до 25 квітня. Оптимальна глибина загортання насіння сочевиці при сівбі становить 4-6 см, проте, якщо ґрунт пересох, то її можна збільшувати і до 10 см, головне, щоб насіння потрапило у вологий ґрунт. Якщо ґрунт перезволожений, глибину загортання потрібно зменшувати. Крупнонасінневі сорти більш толерантні до глибокої заробки. Крім того, слід мати на увазі, якщо для боротьби з бур'янами планується використання гербіциду зенкор, глибина загортання повинна бути не меншою 5 см. Для сівби сочевиці можна використовувати звичайні зернові

сівалки. Після сівби бажано провести коткування ґрунту, особливо в посушливих регіонах – це покращить контакт насіння з ґрунтом і сприятиме більш дружній появі сходів.

ДОГЛЯД ЗА ПОСІВАМИ:

Боротьба з бур'янами.

Сочевиця слабо конкурує з бур'янами, а також відзначається високою чутливістю до більшості гербіцидів, тому оптимальним є проведення боротьби з бур'янами в попередні роки, протягом ротації всієї сівозміни. Так, після збирання попередньої культури, при підготовці поля, можна внести гліфосат, як більш дешевшу альтернативу 2,4-Д. Якщо поле сильно забур'янене, а сівбу можна дещо відкласти, гліфосат можна застосувати і за 2-3 тижні до сівби. Арсенал гербіцидів, які можна використовувати на посівах сочевиці для боротьби з дводольними бур'янами, досить обмежений. Єдиний гербіцид, який рекомендований виробником для застосування на сочевиці в Україні – гезагард (прометрин). Проте, існує також ряд гербіцидів, які в Україні не зареєстровані для застосування на сочевиці, але їх успішно використовують для боротьби з бур'янами на цій культурі в інших країнах. Ці препарати можна розподілити на 2 групи: досходові і післясходові.

Досходові гербіциди.

Стомп (пендиметалін): 3-6 л/га, рекомендований для застосування на сочевиці в США, Австралії, Індії і Туреччині. Одним із його переваг є мала рухливість у ґрунті, відповідно і невеликий ризик внаслідок промивання гербіциду в нижні шари ґрунту під час сильних дощів. Проте, він мало ефективний проти злакових бур'янів. Залежно від інтенсивності забур'янення, існує висока вірогідність внесення страхового гербіциду після сходів сочевиці. Не рекомендується вносити велику дозу, коли планується сівба пшениці озимої менш ніж через 6 місяців після внесення гербіциду.

Гезагард (прометрин) застосовується в суміші з гербіцидом дуал Голд (S-метолахлор). Дана суміш в дозі 3л/га гезагарду і 1,6 л/га дуал Голду досить ефективно захищає сочевицю від бур'янів. Проте, можлива післядія на пшеницю

озиму.

Післясходові гербіциди.

Пульсар (імазамокс): 0,5-0,7 л/га, рекомендований для застосування на сочевиці в США, Австралії та Канаді. Даний гербіцид є в певній мірі токсичним і для сочевиці навіть при внесенні меншої дози від рекомендованої для інших зернобобових. Особливо сильно токсичність проявляється за посушливих умов, при зменшенні ж дози гербіциду знижується і ефективність боротьби з бур'янами. Зенкор (метрибузин): 0,6 л/га, рекомендований для використання на сочевиці в США, Австралії, Канаді й Туреччині; застосовується одразу після появи сходів. Найкращий ефект досягається, коли сочевиця знаходиться у фазі від двох до п'яти вузлів, а бур'яни невеликі. Можливе застосування даного гербіциду у дві фази: 2/3 повної дози при першому внесенні і через 7-10 діб повторне внесення 1/2 повної дози. Проте, цей гербіцид малоефективний проти злакових бур'янів. Крім того, він дуже рухливий в ґрунті, особливо після сильних дощів. Тому, якщо планується застосовувати цей гербіцид, сіяти сочевицю треба не мілкіше ніж 5 см. Не можна застосовувати зенкор на ґрунтах з низьким вмістом органічної речовини (менше 5%).

Для боротьби зі злаковими бур'янами можна застосовувати більшість протизлакових гербіцидів, які є в Реєстрі (селект, тарга Супер, пантера та ін.), згідно регламентів їх застосування. Боротьбу з бур'янами потрібно розпочинати за можливості раніше, так як сочевиця слабоконкурентна проти бур'янів, і, внаслідок їх дії, суттєво знижує урожай. Боротися з бур'янами на сочевиці доцільно до фази цвітіння. Бур'яни, які з'являються коли сочевиця знаходиться в фазі цвітіння, суттєво на урожай не впливають. Сочевиця дуже чутлива до гербіцидів, якими обробляють інші культури, тому перед внесенням гербіциду на сочевиці потрібно ретельно промивати ємність для робочого розчину. Також потрібно обережно вносити гербіциди на полях, які знаходяться поряд із сочевицею. Краще не проводити внесення при сильному вітрі в сторону поля з сочевицею. Так як бур'яни на сочевиці можуть бути причиною суттєвого зниження урожаю, варто уважно поставитися до налаштування оприскувача.

Слід пересвідчитися, чи відповідна для застосовуваного препарату кількість робочого розчину попадає на площу, чи форсунки оприскувача у справному стані, чи швидкість руху агрегату забезпечує необхідне покриття площі робочим розчином. Альтернативою хімічному захисту рослин від бур'янів є боронування легкими та середніми боронами до сходів та після появи сходів сочевиці, поки рослини не досягли висоти 10 см. Найбільш ефективним є боронування, коли бур'яни знаходяться у фазі ниточки. Боронування потрібно проводити в жаркі сонячні дні, коли ґрунт сухий, а рослини дещо прив'ялі.

Боротьба з хворобами та шкідниками.

Хвороби можуть бути причиною серйозного зниження врожаю сочевиці та його якості. Найбільш ефективним способом боротьби з ними є дотримання правильного чергування культур у сівозміні. Можна боротися також хімічними засобами, але вони є ефективними на ранніх стадіях прояву хвороби, або застосовані профілактично. Складність полягає в тому, що ранні симптоми деяких хвороб, які спричиняються грибами, досить важко відрізнити один від одного. Умови навколишнього середовища та гербіциди можуть спричинити такі ж пошкодження рослин, як і хвороби, викликані грибами, тому провести їх ідентифікацію досить складно. Основні хвороби, які проявляються на сочевиці, можна поділити на дві групи: ґрунтові патогени (фузаріоз та ін.) та хвороби вегетативної маси (аскохітоз, антракноз, склеротиніоз). Ботритиніоз – можна віднести до обох груп. Огляд посівів сочевиці на наявність хвороб слід починати приблизно на стадії 10 вузлів. В першу чергу, потрібно звернути особливу увагу на поля з більшим ризиком розповсюдження хвороб: площі, засіяні зараженим насінням; поля, на яких недавно вирощувалися бобові або чутливі до цих хвороб культури; площі, засіяні сприйнятливим до хвороб сортом, які межують з полями, на яких може бути заражена стерня; зріджені або загущені посіви. Огляд потрібно проводити частіше, коли складаються вологі погодні умови з частими дощами. Перевірку потрібно проводити мінімум у п'яти місцях поля. Якщо поле велике, тоді кількість місць огляду треба збільшити. Рухатися під час обстеження потрібно у вигляді букви М, щоб покрити більшу частину поля. Ранні симптоми,

зазвичай, можна помітити у нижньому ярусі посіву сочевиці. Уважно дивитися на нижні листки та стебла (можна використовувати збільшувальне скло). Бажано помічати місця пошкодження прапорцями – це дасть можливість більш ефективно контролювати розповсюдження хвороби або визначати ефективність проведених фунгіцидних обробіток. Чим раніше буде виявлена хвороба, тим більш ефективною буде боротьба з нею. Правильно проведений огляд посівів краще допоможе вибрати необхідний фунгіцид. В той же час хімічні, механічні пошкодження, нестача поживних речовин, пошкодження шкідниками і ґрунтовими патогенами можуть бути помилково прийняті за листові хвороби. Неправильне та невчасне застосування фунгіцидів, або коли для цього немає особливої необхідності, є причиною значних економічних втрат та однією з причин розвитку резистентності до них у грибів. Бажано по можливості дотримуватися фітосанітарної чистоти поля. Перед тим, як заходити на поле, потрібно одягати чисте взуття, не можна переносити хворі рослини з одного поля на інше. Застосування сучасних фунгіцидів з різним спектром дії та використання нових препаративних форм фунгіцидів сприятиме більш ефективному захисту рослин від патогенів та зменшуватиме ризик виникнення резистентності до них. Насіннєві гнилі, фузаріоз, випрівання, чорна ніжка, коренева гниль спричиняються грибами, які знаходяться в ґрунті, і можуть пошкоджувати проростки сочевиці. Зокрема, вони викликаються такими видами грибів: ризоктоніоз (*Rhizoctonia*), пітіум (*Pythium*), фузаріум (*Fusarium*), ботритиніоз (*Botrytis*). Дані види патогенів наявні в ґрунтах майже по всій території України і можуть інфікувати і уражувати рослини впродовж тривалого періоду вегетації (від проростання до цвітіння). Симптоми можуть бути такими: неодночасні сходи, загнивання коренів, карликовість, пожовтіння, відмирання стебел. За нормальних умов ці хвороби проявляються на окремих рослинах і рідко спричиняють економічно відчутні втрати. Викликати суттєве зменшення врожаю вони можуть за стресових умов, таких як посуха, пошкодження рослин гербіцидами тощо. До основних методів боротьби з ґрунтовими патогенами належать: використання для сівби високоякісного, не зараженого хворобами

насіння; дотримання сівозмін, в яких зернобобові культури висіваються на одному й тому ж полі не частіше, ніж раз у 4 роки. Проте, багато з цих патогенів можуть виживати в ґрунті як сапрофіти, навіть за відсутності чутливого господаря. Тому, якщо існує висока вірогідність інфікування внаслідок несприятливих умов під час сівби, чи високого інфекційного фону, потрібно обов'язково протруювати насіння. Для цього можна використовувати протруювачі насіння: вітавакс 200 ФФ (2,5 л/т), ламардор 400 FS (0,15-0,2 л/т), максим 025 FS (1,0 л/т) або інші, які є в Реєстрі, згідно регламентів їх застосування.

Аскохітоз і антракноз є серйозними грибними захворюваннями вегетативної маси сочевиці, які можуть поширюватися як з хворим насіннєвим матеріалом, так і з рослинними рештками, що залишаються в полі. Уражуються зазвичай листки, стебла, боби і насіння. Захворювання проявляється у вигляді темно-коричневих, або сірих плям з чорною облямівкою, які часто мають дрібні чорні плодові тіла (ецидії) в центрі. Прохолодна, дощова погода сприяє інфікуванню рослин і поширенню хвороби. Найбільш шкодочинною вона є для бобів і насіння, які дозрівають. Дуже пошкоджене насіння втрачає товарний вигляд, а, відповідно, і товарну цінність. Спори перезимовують на рослинних рештках, тому для зменшення поширення хвороб не слід сіяти сочевицю після сочевиці. Не бажано також скорочувати ротацію полів у сівозмінах. Більшість сучасних сортів сочевиці характеризуються певним рівнем стійкості до аскохітозу. Проте, якщо не дотримуватися елементарних профілактичних заходів, існує висока ймовірність виникнення рас грибів, які подолають резистентність до них. Якщо виникає підвищений ризик інфікування внаслідок високого інфекційного фону на полі, чи зараженості насіння, то потрібно обов'язково протруювати насіння. Для цього можна використовувати препарати з діючими речовинами: карбендазим, беноміл, карбатін, іподіон, тіобендазол, металаксил та інші. Для сівби можна використовувати насіння при зараженості аскохітозом не більше 10%. При виявленні хвороби в полі, на початкових її стадіях, потрібно обробляти посіви фунгіцидами. Для цього можна

застосовувати фунгіциди групи стробірулінів, які мають в своєму складі діючу речовину типу азоксистробін, демоксистробін, піраклостробін. Але існують дані про виникнення резистентності у гриба до цих препаратів, тому за умов виробничої необхідності проведення повторних обробок посівів, потрібно застосовувати фунгіциди інших хімічних груп (каптафол, хлороталоніл, метирам, фольпет). Зазвичай однієї, вчасно проведеної обробки достатньо для захисту сочевиці від хвороб, проте, коли погода сприятлива для розповсюдження інфекції, а сорт, чутливий до неї, то до трьох обробітків потрібно буде зробити для захисту посіву.

Ботритініоз або сіра гниль, як уже згадувалося вище, може діяти як ґрунтовий патоген, а також спричиняти гниття стебел і бобів під час цвітіння та наливання бобів. Цей гриб поліфаг і його інокулюм присутній в ґрунтовому середовищі більшості полів. Але проблемною ця хвороба стає на загущених посівах, які схильні до вилягання, за прохолодної і вологої погоди. Симптоми проявляються наступним чином: листки в'януть і опадають, боби не наливаються, інфіковані місця стають сірими або коричневими. При комбайнуванні ділянок, уражених хворобою, хмари сірих спор можуть здійматися в повітря і спричиняти проблеми з диханням. Ботритініоз майже завжди зустрічається разом із склеротиніозом (білою гниллю).

Склеротиніоз проявляється на посівах сочевиці, що дозріває, за вологої погоди, яка провокує надмірний ріст вегетативної маси і вилягання рослин. Високий ризик ураження сочевиці цією хворобою буде тоді, коли вона вирощується в сівозміні з іншими культурами, чутливими до цієї хвороби, такими як ріпак, гірчиця, соняшник, горох. Всі частини рослин (листки, боби, стебла, квітки) можуть бути ураженими хворобою. Рослини, старше шести тижнів, більш сприйнятливі до ураження хворобою. Хоча інфікування склеротиніозом зазвичай трапляється на пізніх стадіях розвитку рослин, вона може викликати відчутні економічні втрати, особливо, внаслідок погіршення якості насіння. Шкідниками сочевиця пошкоджується в незначній мірі. Проте, в окремі, сприятливі для їх розмноження роки, вони можуть викликати суттєві

пошкодження. До основних шкідників сочевиці належать: бульбочкові довгоносики, попелиці, вогнівки, трав'яні клопи, совки, трипси, коники. Найбільшу шкоду посівам сочевиці останніми роками наносять попелиці. Люцернова (*Aphis craccivora*) і горохова (*Acyrtosiphon pisum*) – одні із основних шкідників сочевиці. Зустрічаються повсюдно. *Aphis craccivora* – це дрібні, до 2 мм в довжину, м'якотілі, чорного кольору організми. *Acyrtosiphon pisum* дещо більші, до 3-4 мм в довжину, зеленого кольору з довгими ніжками. Протягом літа живуть, розмножуючись асексуальним способом. Крилаті жіночі особини разносяться вітром, відтворюються шляхом партеногенезу, утворюючи живородні колонії безкрилих жіночих форм, які пізніше можуть перетворюватися в крилаті форми для розповсюдження з перенаселених колоній та загиблих рослин. Попелиці живляться, висмоктуючи сік із молодих паростків, листків, суцвіть та бобів. Для сочевиці більш шкідливою є *Aphis craccivora*. За сприятливих умов їх колонії поширюються дуже швидко. На пошкоджених посівах вони виділяються у вигляді плям більш насиченого темно-зеленого кольору, в яких рослини менше розвинені. Хоча попелиці мають досить багато природних ворогів, у випадку їх значного розповсюдження, потрібно проводити хімічний захист рослин. Економічний поріг шкодочинності для попелиці: 30-40 особин на один помах ентомологічним сачком (38 см в діаметрі), коли мало природних ворогів, і кількість попелиць не зменшується протягом двох наступних діб. Обробку зазвичай проводять при 50% цвітінні рослин. Одного обприскування в більшості випадків достатньо. Але, якщо заселення спостерігається знову, то до початку дозрівання бобів потрібно провести ще одне обприскування інсектицидом.

Збирання врожаю.

За вчасного проведення сівби більшість сортів сочевиці досягають стиглості через 85 діб після появи сходів. Орієнтовно це припадає на другу половину липня або початок серпня. Рослини сочевиці характеризуються індетермінантним типом росту і, за сприятливих погодних умов, при достатній кількості вологи в ґрунті, боби в нижніх ярусах можуть бути уже стиглими, а на

верхніх ярусах продовжуватиметься цвітіння і зав'язування бобів. За таких умов подальший ріст і розвиток рослин припиняють шляхом скошування або хімічною десикацією. Як скошування, так і десикацію, проводять при дозріванні приблизно 70% бобів на рослині. Якщо це зробити раніше, то значна кількість насіння не налеться і буде щуплим. При затримці зі скошуванням або десикацією можливі значні втрати за рахунок розтріскування і висипання насіння з бобів на нижніх ярусах. Як скошування, так і хімічна десикація, мають свої певні переваги. За оптимальних погодних умов скошування дає можливість отримати насіння більш високої якості, так як у валках воно менше піддається дії сонячних променів і зберігає рівномірний зелений колір. Проте, за несприятливих погодних умов, внаслідок випадання дощів, можуть бути значні втрати із-за довшого висихання рослин у валках, проростання насіння, яке лежить ближче до землі, обсипання, зараження насіння грибними хворобами, особливо сапрофітними. Застосування хімічної десикації дозволяє швидше висушити рослини, зменшити втрати за рахунок розтріскування бобів під час дощів. Посіви, на яких була застосована хімічна десикація, посухають скоріше після дощу, на них спостерігається менше розповсюдження хвороб. Як хімічні десиканти можна застосовувати реглон (дикват), а також гліфосат. Але останній знижує репродуктивні властивості насіння, тому його небажано застосовувати на насінневих посівах. Крім того, в деяких країнах, які імпортують сочевицю, існують жорсткі обмеження щодо мінімально допустимого вмісту в насінні залишків гліфосату. Після проведення скошування або хімічної десикації сочевиця висихає і стає придатною до обмолоту впродовж 4-7 діб, залежно від погодних умов та стану посівів. Обмолот потрібно розпочинати, коли насіння досягло вологості 14-16%, тому що при пересиханні відбуваються значні втрати, внаслідок його пошкодження при обмолоті та за рахунок розтріскування бобів.

Крім того, при затримці зі збиранням і пересиханні насіння з 14% до 8% втрати з вологою у масі для урожаю в 500 т будуть еквівалентні 32 т і збільшуватимуть суму непродуктивних втрат. Сочевиця – низькоросла культура, тому висота зрізу повинна бути малою, якомога ближче до землі. Рослини

сочевиці мають слабке стебло і схильні до вилягання, тому може бути необхідним застосування спеціальних пристроїв для підйому стебел. Скошування не бажано проводити в жаркі години дня, так як втрати врожаю при цьому сильно зростають. В порівнянні з пшеницею, сочевиця вимолочується легше і сама по собі вона досить крихка, особливо при малій вологості. Тому швидкість обертання барабана має бути меншою, ніж для пшениці (табл. 1-3).

Таблиця 1.

Діаметр барабана або ротора і швидкість їх обертів при обмолоті сочевиці

Діаметр барабана або ротора, мм	Швидкість обертів за хвилину
400	570
500	460
600	380
700	320
800	290

Таблиця 2.

Діаметр барабана або ротора деяких марок комбайнів

Виробник	Модель	Діаметр барабана або ротора, мм
Case IH	1688	760
Claas	116CS	450
Deutz Fahr	M36	600
Gleaner	R70/72	635
John Deere	9600	660
Massey Ferguson	860	560

Таблиця 3.

Основні налаштування комбайна при обмолоті сочевиці

Показник	Зелена сочевиця	Дрібнонасінна червона сочевиця
Швидкість обертів мотовила	дещо більша, ніж швидкість руху комбайна	дещо більша, ніж швидкість руху комбайна
Швидкість обертів барабана	див. табл. 1	див. табл. 1
Зазор між декою і барабаном (вхід-вихід)	20-10 мм	20-13 мм
Сила вітру вентилятора	60-75%	70-85%
Верхнє решето	10-20 мм	13-25 мм
Нижнє решето	5-10 мм	8-16 мм

Післязбиральна доробка та зберігання насіння.

Зберігання за вологості 14% вважається оптимальним для зеленої крупнонасінної сочевиці. При цьому забезпечується максимально тривалий термін зберігання та мінімальне пошкодження насіння при роботі з ним. Для червоної сочевиці покупці віддають перевагу вологості 13%, так як при такій вологості вона краще піддається переробці. Тому насіння сочевиці, яке надходить від комбайна, якщо воно має вищу вологість, необхідно відразу очистити і просушити до стандартної вологості. Очищення сочевиці можна проводити на машинах ОВП- 20А, ЗАВ-40, ОСМ-3У, ОС-4,5А. Для підготовки малих партій насіння застосовують насіннеочисні агрегати «Петкус». У процесі висушування вологого насіння важливо слідкувати за температурою теплоносія і терміном обробки. За вологості насіння 16-19% температура теплоносія не повинна перевищувати 40°C. За один пропуск не слід знижувати вологість насіння більше ніж на 4%, оскільки це призводить до розтріскування насінневої оболонки. Найкращим є висушування насіння на відкритому повітрі

під навісами. Насіння розсипають тонким шаром і перелопачують. За кожного перелопачування втрачається від 0,5 до 1,5% вологи. Але потрібно уважно слідкувати, щоб ворох сочевиці не піддавався дії прямих сонячних променів, тому що під їх дією насіння буріє і втрачає товарний вигляд. Очищене і висушене насіння зберігають у мішках за висоти штабеля не більше 2,5 м або насипом до 1,5 м.

2.4 Ефективність використання генетичного потенціалу сортів картоплі з урахуванням агрономічних та агроінженерних технологій і економічних чинників

Постановка проблеми.

Сучасний розвиток аграрного сектору України характеризується необхідністю підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції, зокрема картоплі, яка є однією з основних продовольчих культур. Незважаючи на значні досягнення селекції, сучасні сорти картоплі мають високий генетичний потенціал продуктивності, який у виробничих умовах часто реалізується лише частково. Це зумовлено низкою факторів, серед яких недостатній рівень впровадження інноваційних агрономічних технологій, обмежене використання сучасних агроінженерних засобів, а також економічні труднощі, що впливають на ефективність господарської діяльності.

У багатьох господарствах технології вирощування картоплі не відповідають сучасним науковим вимогам, що призводить до зниження врожайності, підвищення витрат виробництва та зменшення рентабельності галузі.

Значною проблемою залишається недостатній рівень механізації окремих технологічних операцій, нераціональне використання матеріально-технічних ресурсів, а також обмежене застосування технологій точного землеробства.

Важливим чинником підвищення продуктивності картоплі є оптимальне поєднання генетичного потенціалу сортів із сучасними агрономічними та агроінженерними технологіями вирощування. Разом із тим економічна ефективність виробництва значною мірою залежить від раціональної організації виробничих процесів, оптимізації витрат та впровадження інноваційних технологічних рішень.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває дослідження ефективності використання генетичного потенціалу сортів картоплі з урахуванням агрономічних, агроінженерних та економічних чинників, що дозволить

визначити напрями підвищення продуктивності культури та забезпечити сталий розвиток картоплярства в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика ефективного використання генетичного потенціалу сортів картоплі, а також підвищення економічної ефективності її виробництва широко висвітлюється у працях вітчизняних і зарубіжних науковців. Дослідження охоплюють агрономічні, агроінженерні та економічні аспекти розвитку картоплярства.

Значний внесок у розвиток наукових основ картоплярства зробив А. А. Бондарчук, який у праці *«Картоплярство в Україні»* розглядає біологічні особливості культури, генетичний потенціал сучасних сортів, а також технологічні умови формування високої врожайності. Автор підкреслює, що реалізація потенційної продуктивності сортів значною мірою залежить від системи удобрення, агротехніки та якості насіннєвого матеріалу.

Агрономічні аспекти формування врожайності картоплі висвітлені у працях В. В. Кириченка та С. І. Мельника, які розглядають особливості системи вирощування культури, роль ґрунтово-кліматичних умов, системи удобрення та захисту рослин. Зокрема, дослідження свідчать, що ефективне поєднання агротехнічних прийомів із використанням сучасних сортів є важливою передумовою підвищення продуктивності картоплі.

Технологічні аспекти механізації та технічного забезпечення рослинництва детально розглядає В. В. Дерев'янку у праці *«Агроінженерія в рослинництві»*. Автор зазначає, що застосування сучасної техніки, автоматизованих систем керування та технологій точного землеробства сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню втрат урожаю та оптимізації використання матеріально-технічних ресурсів.

Економічні аспекти функціонування аграрного виробництва досліджували А. Д. Поливаний та М. О. Мікуліна. У своїх роботах вони аналізують питання економічної ефективності аграрних підприємств, формування собівартості продукції, рентабельності виробництва та підвищення конкурентоспроможності

аграрного сектору. Науковці підкреслюють, що ефективність виробництва сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від рівня технологічного забезпечення, організації виробництва та ефективного використання ресурсів.

Важливі результати отримані також у міжнародних дослідженнях. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), картопля вирощується більш ніж у 150 країнах світу і є однією з провідних продовольчих культур. Світове виробництво картоплі становить сотні мільйонів тонн, що підтверджує її важливу роль у глобальній продовольчій системі. При цьому значний потенціал підвищення врожайності культури пов'язаний із використанням високопродуктивних сортів та впровадженням сучасних технологій вирощування.

Дослідження International Potato Center (CIP) також свідчать про наявність значного розриву між потенційною та фактичною врожайністю картоплі, що зумовлено недостатнім рівнем технологічного забезпечення та агрономічного менеджменту. Потенційна врожайність сучасних сортів може значно перевищувати фактичні показники, що підтверджує необхідність удосконалення систем вирощування та управління виробничими процесами.

Отже, аналіз наукових праць свідчить, що питання ефективного використання генетичного потенціалу сортів картоплі залишається актуальним і потребує подальших досліджень. Особливо важливим є комплексне поєднання агрономічних, агроінженерних та економічних підходів до підвищення ефективності виробництва картоплі, що дозволить забезпечити стабільне зростання продуктивності галузі.

Картопля є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі та відіграє значну роль у забезпеченні продовольчої безпеки населення. В Україні вона посідає провідне місце серед продовольчих культур завдяки високій харчовій цінності, універсальності використання та значному економічному потенціалу.

Сучасний розвиток картоплярства ґрунтується на поєднанні досягнень агрономії, агроінженерії, генетики та економіки. Саме комплексне застосування цих наук дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал сортів картоплі та забезпечити високу економічну ефективність виробництва.

Генетичний потенціал сучасних сортів картоплі може забезпечувати врожайність на рівні 40–60 т/га і більше. Однак у практичному виробництві цей потенціал реалізується лише частково. Основними причинами є недосконалість агротехнологій, недостатній рівень технічного забезпечення, а також економічні обмеження господарств.

Важливу роль у підвищенні продуктивності картоплі відіграють агрономічні заходи, які включають раціональну систему удобрення, оптимальні строки садіння, правильний вибір попередників, ефективний захист рослин від хвороб і шкідників, а також застосування сучасних сортів із високим генетичним потенціалом.

Не менш важливими є агроінженерні технології, що забезпечують механізацію виробничих процесів, підвищення продуктивності праці та зниження витрат ресурсів.

З економічної точки зору ефективність виробництва картоплі визначається рівнем витрат, урожайністю культури, якістю продукції та конкурентоспроможністю на ринку.

Метою монографії є дослідження ефективності використання генетичного потенціалу сортів картоплі з урахуванням агрономічних та агроінженерних технологій і економічних чинників.

2.4.1. Генетичний потенціал сортів картоплі та його значення для підвищення продуктивності

Генетичний потенціал сортів картоплі визначається сукупністю спадкових ознак, що забезпечують здатність рослин формувати високий урожай за сприятливих умов вирощування.

Сучасні сорти картоплі характеризуються високою врожайністю, стійкістю до хвороб, адаптивністю до різних кліматичних умов та високою якістю продукції.

Основними характеристиками генетичного потенціалу є:

- потенційна врожайність;
- стійкість до хвороб і шкідників;
- адаптивність до кліматичних умов;
- якість бульб;
- лежкість і транспортабельність.

Завдяки селекційним досягненням створено значну кількість сортів картоплі, що відрізняються за строками дозрівання, врожайністю та господарськими властивостями.

Однак реалізація генетичного потенціалу значною мірою залежить від умов вирощування, рівня агротехніки та технологічного забезпечення виробництва.

2.4.2. Агрономічні основи реалізації генетичного потенціалу сортів картоплі

Агрономічні технології є одним із ключових чинників формування високої врожайності картоплі. Навіть найпродуктивніші сорти не можуть повністю реалізувати свій генетичний потенціал без застосування науково обґрунтованої системи вирощування.

До основних агрономічних факторів, що впливають на продуктивність картоплі, належать:

- родючість ґрунту;
- система удобрення;
- попередники у сівозміні;
- строки та густина садіння;
- система захисту рослин;
- умови зволоження.

Важливим агрономічним прийомом є правильний підбір попередників у сівозміні. Найкращими попередниками для картоплі є зернові культури, зернобобові та багаторічні трави. Вони сприяють покращенню структури ґрунту та зменшують поширення хвороб і шкідників.

Не менш важливим є раціональне застосування мінеральних і органічних добрив. Картопля характеризується високою потребою в поживних речовинах, особливо в азоті, фосфорі та калії. Оптимальне співвідношення елементів живлення забезпечує активний розвиток рослин і формування високого врожаю.

Значний вплив на реалізацію генетичного потенціалу сортів має система захисту рослин.

Основними шкідливими організмами, що знижують врожайність картоплі, є фітофтороз, альтернаріоз, колорадський жук та інші шкідники.

Використання інтегрованих систем захисту рослин дозволяє зменшити втрати врожаю та забезпечити стабільність виробництва.

Таким чином, агрономічні технології є основою ефективного використання генетичного потенціалу сортів картоплі.

2.4.3. Агроінженерні технології у вирощуванні картоплі

Агроінженерні технології забезпечують технічну реалізацію агрономічних заходів та сприяють підвищенню продуктивності праці у сільському господарстві.

Сучасне картоплярство характеризується високим рівнем механізації виробничих процесів. Для виконання технологічних операцій використовуються спеціалізовані машини та обладнання.

Основними агроінженерними засобами у виробництві картоплі є:

- картоплесаджалки;
- культиватори для міжрядного обробітку;
- обприскувачі;
- картоплезбиральні комбайни;
- сортувальні лінії.

Застосування сучасної техніки дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити витрати ручної праці та підвищити ефективність виробництва.

Важливим напрямом розвитку агроінженерії є впровадження технологій точного землеробства. Вони базуються на використанні супутникових систем навігації, цифрових карт полів, автоматизованих систем управління технікою та інших інноваційних рішень.

2.4.4. Економічна ефективність використання генетичного потенціалу сортів картоплі

Економічна ефективність виробництва картоплі є важливим показником результативності господарської діяльності. Вона визначається співвідношенням між витратами на виробництво продукції та отриманими результатами.

Основними економічними показниками ефективності вирощування картоплі є:

- собівартість продукції;
- урожайність;
- прибуток;
- рівень рентабельності.

Підвищення врожайності культури завдяки використанню високопродуктивних сортів та сучасних технологій дозволяє значно підвищити економічну ефективність виробництва.

2.4.5. Перспективи підвищення ефективності виробництва картоплі

Основними напрямками розвитку картоплярства є:

- впровадження нових високопродуктивних сортів;
- використання сучасних агротехнологій;
- застосування точного землеробства;
- модернізація машинно-тракторного парку;
- підвищення рівня механізації виробництва.

Комплексне поєднання агрономічних, агроінженерних та економічних заходів дозволить значно підвищити ефективність виробництва картоплі.

2.4.6. Вплив ґрунтового-кліматичних умов на реалізацію генетичного потенціалу сортів картоплі

Реалізація генетичного потенціалу сортів картоплі значною мірою залежить від ґрунтового-кліматичних умов вирощування. Картопля належить до культур, які чутливо реагують на зміну температурного режиму, вологості ґрунту та забезпеченість поживними речовинами.

Найбільш сприятливими для вирощування картоплі є легкі та середні суглинкові ґрунти з високим вмістом органічної речовини та добрим водно-повітряним режимом. Оптимальна кислотність ґрунту для культури становить рН 5,5–6,5. На важких глинистих ґрунтах або надмірно перезволожених ділянках формування врожаю значно знижується.

Кліматичні фактори також відіграють важливу роль у формуванні врожайності. Оптимальна температура для росту картоплі становить 16–22 °С. За підвищення температури понад 25 °С процес бульбоутворення уповільнюється, що негативно впливає на продуктивність культури.

Важливим фактором є водний режим ґрунту. Картопля потребує достатнього зволоження протягом усього періоду вегетації, особливо під час формування бульб. Недостатня кількість опадів або тривалі посухи можуть призвести до значного зниження врожайності.

З огляду на кліматичні зміни особливо актуальним є впровадження адаптивних технологій вирощування картоплі, які передбачають використання стійких сортів, оптимізацію системи зрошення та удосконалення агротехнічних прийомів.

2.4.7. Інноваційні технології у виробництві картоплі

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва важливого значення набуває впровадження інноваційних технологій, які сприяють підвищенню ефективності використання ресурсів і реалізації генетичного потенціалу сортів.

Одним із перспективних напрямів є використання технологій точного землеробства. Вони передбачають застосування систем GPS-навігації,

дистанційного моніторингу стану посівів, автоматизованого керування технікою та використання цифрових карт полів.

Використання таких технологій дозволяє:

- оптимізувати норми внесення добрив;
- підвищити ефективність захисту рослин;
- зменшити витрати пального;
- підвищити врожайність культур.

Важливим напрямом інноваційного розвитку є також використання сучасних систем зберігання картоплі. Сучасні картоплесховища обладнуються системами вентиляції, контролю температури та вологості, що дозволяє значно зменшити втрати продукції під час зберігання.

Крім того, активно розвиваються біотехнологічні методи підвищення продуктивності картоплі, які передбачають використання високоякісного насіннєвого матеріалу, отриманого методом мікроклонального розмноження.

Таким чином, інноваційні технології відіграють важливу роль у підвищенні ефективності виробництва картоплі та забезпеченні стабільності аграрного виробництва.

2.4.8. Організаційно-економічні механізми підвищення ефективності картоплярства

Ефективність виробництва картоплі значною мірою залежить від організації виробничих процесів на аграрних підприємствах. Раціональне використання ресурсів, оптимізація структури посівних площ та впровадження сучасних технологій є важливими чинниками підвищення конкурентоспроможності галузі.

Одним із важливих напрямів розвитку картоплярства є спеціалізація виробництва. Спеціалізовані господарства мають можливість ефективніше використовувати техніку, впроваджувати інноваційні технології та забезпечувати стабільну якість продукції.

Важливим фактором є також розвиток кооперації між виробниками картоплі, що дозволяє об'єднувати ресурси для придбання сучасної техніки, організації зберігання та реалізації продукції.

Економічна ефективність виробництва значною мірою залежить від рівня державної підтримки аграрного сектору, розвитку інфраструктури ринку та впровадження інноваційних технологій.

У сучасних умовах важливим завданням є формування ефективних механізмів управління виробництвом, що забезпечують раціональне використання ресурсів та підвищення рентабельності виробництва.

2.4.9. Стратегічні напрями розвитку картоплярства в Україні

Подальший розвиток картоплярства в Україні пов'язаний із впровадженням інноваційних технологій, підвищенням рівня механізації виробництва та удосконаленням системи управління аграрними підприємствами.

Основними стратегічними напрямками розвитку галузі є:

- створення та впровадження нових високопродуктивних сортів картоплі;
- підвищення рівня технологічного забезпечення виробництва;
- розвиток насінництва картоплі;
- модернізація машинно-тракторного парку;
- впровадження технологій точного землеробства;
- розвиток інфраструктури зберігання та переробки продукції.

Важливим фактором підвищення ефективності галузі є інтеграція науки та виробництва. Співпраця наукових установ, аграрних університетів та сільськогосподарських підприємств сприятиме впровадженню нових технологій і підвищенню продуктивності картоплярства.

У перспективі розвиток галузі має бути спрямований на підвищення конкурентоспроможності української продукції на внутрішньому та міжнародному ринках.

2.4.10. Оцінка ефективності використання ресурсів при вирощуванні картоплі

Раціональне використання ресурсів є важливим фактором підвищення ефективності виробництва картоплі. Основними ресурсами, що використовуються у процесі вирощування культури, є земельні, трудові, матеріальні та технічні ресурси.

Ефективність використання земельних ресурсів визначається рівнем урожайності культури. Підвищення родючості ґрунтів, застосування сучасних агротехнологій та використання високопродуктивних сортів дозволяють значно підвищити врожайність картоплі.

Трудові ресурси відіграють важливу роль у забезпеченні якісного виконання технологічних операцій. Використання сучасної техніки та автоматизованих систем керування виробництвом сприяє підвищенню продуктивності праці та зменшенню витрат робочого часу.

Матеріальні ресурси включають насіннєвий матеріал, добрива, засоби захисту рослин, паливно-мастильні матеріали та інші витрати. Оптимізація використання цих ресурсів є важливою умовою зниження собівартості продукції.

Таким чином, підвищення ефективності використання ресурсів сприяє збільшенню прибутковості виробництва картоплі.

2.4.11. Економічне обґрунтування технологій вирощування картоплі

Економічна ефективність вирощування картоплі значною мірою залежить від рівня технологічного забезпечення виробництва. Використання сучасних агрономічних та агроінженерних технологій дозволяє підвищити врожайність культури та знизити витрати на виробництво.

Одним із основних економічних показників є собівартість продукції. Вона формується під впливом витрат на насіннєвий матеріал, добрива, засоби захисту рослин, паливно-мастильні матеріали, оплату праці та амортизацію техніки.

Збільшення врожайності картоплі за рахунок використання високопродуктивних сортів і сучасних технологій дозволяє знизити собівартість продукції та підвищити рентабельність виробництва.

Моделювання економічної ефективності вирощування картоплі.

Для оцінки ефективності виробництва картоплі застосовують економічні розрахунки, які дозволяють визначити рівень витрат, доходів та прибутковості виробництва.

Основними показниками економічної ефективності є:

- урожайність культури;
- собівартість продукції;
- валовий дохід;
- прибуток;
- рівень рентабельності.

Моделювання економічної ефективності дозволяє прогнозувати результати виробництва за різних технологічних умов.

Перспективи розвитку картоплярства.

Картоплярство є однією з провідних галузей рослинництва, яка має значний потенціал розвитку. Зростання попиту на продукцію картоплярства стимулює впровадження нових технологій та розширення виробництва.

Перспективними напрямками розвитку галузі є:

- селекція нових високопродуктивних сортів;
- використання сучасних агротехнологій;
- автоматизація виробничих процесів;
- удосконалення систем зберігання продукції;
- розвиток переробної промисловості.

Особливе значення має інтеграція агрономічних, інженерних та економічних підходів до вирощування картоплі.

Комплексне застосування сучасних технологій дозволить підвищити продуктивність культури, знизити витрати виробництва та забезпечити стабільний розвиток галузі.

У перспективі розвиток картоплярства буде пов'язаний із впровадженням інноваційних технологій, цифровізації сільського господарства та

використанням високопродуктивних сортів із підвищеним генетичним потенціалом урожайності.

Висновки:

1. Генетичний потенціал сортів картоплі є основою формування високої врожайності культури.

2. Реалізація цього потенціалу значною мірою залежить від рівня агрономічного забезпечення виробництва.

3. Використання сучасних агроінженерних технологій сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню витрат ресурсів.

4. Економічна ефективність виробництва картоплі визначається рівнем урожайності, собівартістю продукції та рентабельністю виробництва.

5. Комплексне використання сучасних сортів, агрономічних технологій та агроінженерних рішень забезпечує підвищення ефективності картоплярства.

Проведене дослідження дозволило узагальнити теоретичні та практичні аспекти ефективного використання генетичного потенціалу сортів картоплі з урахуванням агрономічних, агроінженерних та економічних чинників.

Встановлено, що генетичний потенціал сучасних сортів картоплі є важливим фактором формування високої врожайності та якості продукції.

Селекційні досягнення дозволяють створювати сорти з високою продуктивністю, стійкістю до хвороб і несприятливих умов середовища. Проте ефективність реалізації цього потенціалу значною мірою залежить від умов вирощування та рівня технологічного забезпечення виробництва.

Доведено, що агрономічні технології, зокрема раціональна система сівозмін, оптимальна система удобрення, використання якісного насінневого матеріалу та ефективний захист рослин від хвороб і шкідників, є основою формування стабільної врожайності картоплі.

Правильне поєднання агротехнічних прийомів дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал сортів.

Важливу роль у підвищенні ефективності виробництва картоплі відіграють агроінженерні технології, які забезпечують механізацію та автоматизацію виробничих процесів.

Використання сучасної сільськогосподарської техніки, впровадження елементів точного землеробства та модернізація машинно-тракторного парку сприяють підвищенню продуктивності праці та зниженню витрат ресурсів.

Економічна ефективність вирощування картоплі визначається співвідношенням витрат на виробництво та отриманими результатами. Застосування сучасних сортів, інноваційних технологій вирощування та ефективна організація виробництва сприяють підвищенню рентабельності галузі та зміцненню конкурентоспроможності аграрних підприємств.

Отже, комплексне поєднання генетичних, агрономічних, агроінженерних та економічних факторів є основою підвищення ефективності виробництва картоплі.

Подальший розвиток картоплярства має бути спрямований на впровадження інноваційних технологій, удосконалення системи управління аграрним виробництвом та підвищення рівня технологічного забезпечення господарств.

SECTION 3. LIVESTOCK

DOI: 10.46299/ISG.2026.MONO.AGRO.1.3.1

3.1 Mastitis in dairy cattle: impact on milk composition and trends in the veterinary pharmaceutical market

Milk from cows is one of the most important food products for humans and the primary raw material for the dairy industry and cheese production. Its production is of strategic importance for the agricultural sector, as it provides the population with high-quality food products and forms a significant share of Ukraine's export potential. The development of the dairy sector directly depends on cow productivity, the stability of milk yields, and the quality of raw milk [84].

One of the most widespread and economically significant diseases in dairy farming is mastitis, an inflammatory lesion of the mammary gland in cows. This disease negatively affects not only the volume of milk yield but also significantly alters the qualitative composition of milk. According to research data, each case of clinical mastitis reduces the annual milk yield by 400–700 kg of milk per cow, while in chronic forms the losses may reach up to 60% of productivity [85]. In addition to economic losses, mastitis leads to deterioration of the technological properties of milk, a decrease in its nutritional value, and reduced suitability for processing [86].

Special attention in mastitis research is paid to changes in the enzymatic composition of milk. Under normal conditions, milk enzymes—catalase, peroxidase, alkaline phosphatase, lipase, proteases, and reductases—perform important functions: they regulate oxidation–reduction processes, ensure the stability of the protein–fat complex, and participate in the ripening of cheeses and fermented dairy products [87]. They are indicators of the physiological state of the animal and determine the technological suitability of raw milk.

In mastitis, a significant increase in the activity of many enzymes occurs, including plasmin, lipase, and proteases, as well as an increase in the level of alkaline phosphatase. This leads to the hydrolysis of casein, the formation of free fatty acids, the appearance of a bitter taste, and a decrease in the cheese-making suitability of milk.

At the same time, a decrease in lactoperoxidase activity reduces the natural antimicrobial action of milk [85, 86]. Thus, enzymatic imbalance in mastitis has serious consequences for the quality and safety of dairy products, emphasizing the importance of timely diagnosis and prevention of this disease.

As noted in the introduction, mastitis is one of the most widespread and economically significant diseases in dairy farming, leading to decreased productivity and deterioration in the quality of raw milk. This inflammatory lesion of the bovine mammary gland is characterized by disruption of the structural integrity of udder tissues, reduced functional activity of the secretory epithelium, and changes in the physicochemical properties of milk [84]. The importance of this problem is emphasized by the fact that mastitis is responsible for more than half of the cases of culling high-producing cows on farms in Europe and North America [88].

Clinically, mastitis manifests in various forms. The subclinical course often remains unnoticed but is accompanied by an increased number of somatic cells in milk and a decrease in its technological suitability. Clinical mastitis is characterized by swelling and tenderness of the udder, changes in the consistency and color of milk, and productivity losses reaching 30–50%. Chronic mastitis has a prolonged course, leading to atrophy of the secretory epithelium and replacement of functional tissue with connective tissue, which causes an irreversible decline in productivity of up to 60% [85]. Table 1 shows the effect of mastitis on milk yield depending on the form of the disease [85].

Table 1.

Effect of mastitis on milk yield depending on the form of the disease

Form of mastitis	Decrease in milk yield
Subclinical	5-15%
Clinical	30-50%
Chronic	Up to 60 % (often irreversible)

According to research data, each case of clinical mastitis reduces the annual milk yield by 400–700 kg per cow [85].

Risk factors for the development of mastitis include teat microtraumas, violations of milking hygiene, milk stasis, as well as a reduction in general and local immune responsiveness [86]. The influence of housing and feeding conditions is also important: deficiencies in microelements and vitamins, excessive humidity in barns, and non-compliance with milking technology significantly increase the risk of the disease [88]. Therefore, timely diagnosis and prevention are critically important for maintaining milk yield and quality.

The etiology of mastitis is multifactorial, but pathogenic microorganisms, which penetrate the mammary gland through the teat canal, play a key role. The most common causative agents are Gram-positive bacteria, among which *Streptococcus agalactiae* and *Streptococcus uberis* are the leading causes of subclinical and chronic forms of mastitis. These pathogens can persist in udder tissues for prolonged periods, causing gradual reductions in productivity and changes in milk composition [85]. Particularly dangerous is *Staphylococcus aureus*, which, due to biofilm formation, exhibits high resistance to antibiotics and can cause relapses even after treatment [89]. *Staphylococcus epidermidis* and other coagulase-negative staphylococci are usually associated with milder forms of the disease, yet their role in deteriorating milk quality is also significant [87].

Among Gram-negative bacteria, the most prevalent are *Escherichia coli*, *Enterobacter spp.*, *Pseudomonas spp.*, and *Klebsiella spp.*. They can cause acute clinical forms of mastitis, accompanied by a sharp increase in the cow's body temperature, intoxication, and significant reductions in productivity. Mastitis caused by *E. coli* is particularly dangerous, as it can lead to toxic reactions and rapid deterioration of the animal's condition [86]. *Pseudomonas spp.* are noted for their high antibiotic resistance, making eradication in the herd challenging [89]. *Klebsiella spp.* are often associated with mastitis in farms with insufficient hygiene levels, as this pathogen spreads through a contaminated environment [90].

The pathogenicity mechanism of these microorganisms is associated with their ability to adhere to the epithelial cells of alveoli and milk ducts. After attachment, they produce toxins and enzymes that damage udder cells, trigger an inflammatory response, and increase vascular permeability. This leads to massive migration of neutrophils and macrophages to the infection site, causing a sharp increase in the number of somatic cells in milk [86, 87]. While leukocytes perform a protective function, they simultaneously damage the secretory cells, directly affecting the synthesis of proteins, fats, and lactose.

An important aspect is the ability of certain pathogens to form biofilms, which protect them from antibiotics and the immune system. This is particularly characteristic of *Staphylococcus aureus*, explaining its chronic course and frequent relapses [89]. Biofilms create a microenvironment where bacteria can survive for extended periods, reducing the effectiveness of standard therapeutic regimens. Therefore, current research pays significant attention to the development of new methods to combat biofilms, including the use of antimicrobial peptides and phage therapy [91].

Thus, mastitis-causing microorganisms exhibit considerable diversity and complex pathogenic mechanisms. Their activity not only initiates the inflammatory process in the mammary gland but also leads to profound changes in milk composition, which is critical for the dairy industry and food safety.

It is also important to note the antibiotic resistance of *Staphylococcus aureus*, which complicates therapy and necessitates the search for alternative treatment strategies [89].

Thus, bovine mastitis is a complex multifactorial disease that encompasses infectious, immunological, and technological aspects. Its prevention and treatment require a comprehensive approach, including veterinary control, adherence to sanitary and hygienic standards, optimization of cow housing conditions, and the use of modern pharmaceutical preparations. This approach helps reduce economic losses and ensures the production of high-quality dairy products.

The pathogenesis of mastitis is a complex multifactorial process that involves the action of pathogenic microorganisms, the immune system response, and changes

in mammary gland tissues. At the initial stage of the disease, bacteria adhere to the epithelial cells of alveoli and milk ducts, after which they begin producing toxins and enzymes that damage udder cells. This triggers a local inflammatory response, accompanied by increased vascular permeability and the leakage of plasma proteins into the intercellular space [85, 86].

In response to pathogen invasion, the innate immune system is activated. Neutrophils, macrophages, and lymphocytes intensively migrate to the site of inflammation, resulting in a sharp increase in somatic cell count in milk. Neutrophils serve as the first line of defense: they phagocytose bacteria and release reactive oxygen species, but simultaneously damage alveolar secretory cells, directly reducing the synthesis of proteins, fats, and lactose [87]. Macrophages act as regulators of inflammation, producing cytokines that coordinate the immune response.

The cytokine profile in mastitis includes elevated levels of interleukins (IL-1 β , IL-6, IL-8), tumor necrosis factor α (TNF- α), and chemokines that stimulate leukocyte migration into udder tissues [92]. These inflammatory mediators not only activate immune cells but also contribute to epithelial destruction and the development of edema. Prostaglandins produced during the inflammatory process enhance vascular permeability and pain, which are characteristic clinical signs of mastitis [93].

A prolonged inflammatory process leads to atrophy of the secretory epithelium and replacement of functional tissue with connective tissue. This results in a persistent decline in productivity even after clinical recovery of the animal. In chronic mastitis, these changes are often irreversible, explaining the long-term economic losses in dairy production [88].

Recent studies also highlight the role of rumen dysbiosis in the development of mastitis, where disturbances in the gut microbiota lead to systemic alterations in immune responses and increased susceptibility of the mammary gland to infections [86]. This opens new perspectives for prevention, particularly through microbiota modulation using probiotics and functional feed additives [94].

Thus, the pathogenesis of mastitis involves the interaction of infectious agents, the immune system, and tissue alterations, leading to complex disturbances in the

mammary gland and milk composition. Understanding these mechanisms is key to developing effective prevention and treatment strategies aimed not only at pathogen elimination but also at regulating immune responses and maintaining udder functional activity.

Bovine mastitis is accompanied by a significant reduction in milk productivity and profound disturbances in the biochemical and enzymatic composition of milk. As mentioned above, each case of clinical mastitis reduces the annual milk yield by 400–700 kg per cow, while in chronic forms, losses may reach 60% and often have an irreversible character [85]. Current research confirms that mastitis has cumulative and long-lasting effects: even after animal recovery, reductions in milk yield and lactose content are observed, indicating persistent impairments in mammary gland functional activity [95].

Changes in milk composition during mastitis affect the protein, fat, and carbohydrate fractions. As shown in Table 2, protein content decreases from 3.2–3.4% under normal conditions to 2.6–3%, and casein from 2.5–2.7% to 1.8–2.2%. Lactose, which is the primary energy source for lactic acid bacteria, declines from 4.6–4.8% to 3.5–4%, negatively impacting fermentation processes and cheese-making suitability [95]. Fat content also decreases from 3.6–4% to 3–3.5%, reducing its nutritional value [84, 85].

Changes in the enzymatic composition of milk are of particular importance. In mastitis, there is a sharp increase in plasmin activity (from 0.3–0.5 U/mL to 1.5–2 U/mL), leading to intensive hydrolysis of casein and deterioration of cheese structure. Plasminogen increases almost twofold, indicating activation of proteolytic processes. Alkaline phosphatase rises from 40–70 U/mL to 150–300 U/mL, serving as a marker of mammary gland cell damage. Lipase increases from 1.5–2 U/mL to 4–6 U/mL, causing hydrolysis of milk fat and the development of a rancid taste. At the same time, lactoperoxidase activity decreases from 30–35 U/mL to 15–20 U/mL, reducing the natural antimicrobial properties of milk [85, 87, 96]. Table 2 [84, 85, 95] presents a comparative characterization of the enzymatic composition of two milk samples (from

a healthy cow and a mastitic cow), as well as other key characteristics by which they differ.

Table 2.

Comparative characteristics of milk composition from a healthy cow and a cow with mastitis

Measured parameter	Milk from a healthy cow	Milk from a cow with mastitis
Protein, %	3,2-3,4	2,6-3
Casein, %	2,5-2,7	1,8-2,2
Lactose, %	4,6-4,8	3,5-4
Fat, %	3,6-4	3-3,5
pH	6,6-6,8	6,9-7,3
Plasmin, U/mL	0,3-0,5	1,5-2
Plasminogen, U/mL	8-10	15-25
Alkaline phosphatase, U/mL	40-70	150-300
Lactoperoxidase, U/mL	30-35	15-20
Lipase, U/mL	1,5-2	4-6
Total somatic cell count, $\times 10^3/\text{mL}$	<100-200	300-5000

Thus, mastitis is accompanied not only by a reduction in milk productivity but also by profound disturbances in the enzymatic composition of milk. The increase in proteolytic enzyme activity by 3–8 times leads to casein degradation, deterioration of the technological properties of milk, and a decrease in its nutritional value. This renders milk from affected cows unsuitable for the production of high-quality dairy products and underscores the necessity of timely diagnosis, prevention, and treatment of mastitis [95-98].

The treatment of mastitis in cows is a complex, multi-component process that cannot be reduced solely to intramammary antibiotic infusions. Modern practice in

Ukraine and Europe is gradually shifting from a narrow approach to comprehensive therapy that considers disease pathogenesis, microbial resistance, the animal's immune status, and the economic aspects of production.

Antibiotic therapy remains the primary treatment for bovine mastitis in Ukraine and determines the effectiveness of combating both acute and chronic forms of the disease. The use of pharmaceutical preparations is regulated by the State Register of Medicines of the Ministry of Health of Ukraine, the Compendium reference, and pharmacy platforms such as Tabletki.ua, which allows for standardized treatment and assessment of the economic accessibility of different drugs [99-102].

As of 2025–2026, the Ukrainian market has 18 commercial antibiotic formulations from six major manufacturers. A Ukrainian intramammary product, «Mastitsid», contains amoxicillin combined with an anti-inflammatory component; the average price on Tabletki.ua is 45–60 UAH per dose. An injectable enrofloxacin 10% in 100 mL vials is priced between 350–400 UAH. A French product, «Mastifort», is based on cephalexin in capsule-syringe form, with an average price of 80–120 UAH per syringe. A British product, «Mastiprim» (trimethoprim + sulfadiazine), is used for mixed infections, costing 70–90 UAH per syringe, as well as «Flunixin-Vet» as an anti-inflammatory adjunct.

American intramammary preparations based on cloxacillin are traditionally used for chronic staphylococcal mastitis; the retail price of these drugs is 100–150 UAH per dose. A systemic «Amoxicillin LA» in a long-acting formulation costs 500–600 UAH per 100 mL vial. A Slovenian enrofloxacin injectable solution is priced at 350–450 UAH per 100 mL vial. Finally, a German third-generation cephalosporin, «Cefquinome», is used for severe mastitis cases; its price is significantly higher – 900–1200 UAH per 100 mL vial – reflecting high efficacy against resistant strains.

Intramammary formulations (syringes and capsules) account for 11 commercial products, approximately 60% of the market, while systemic injectable preparations represent 7 products, or about 40%. Ukrainian drugs occupy the lower-cost segment (up to 400 UAH per treatment course), whereas imported drugs belong to the premium segment (up to 1200 UAH per vial). The choice of antibiotic therapy largely depends

on the size of the farm. In small private farms (10–30 cows), preference is given to inexpensive Ukrainian drugs, as the cost of treating one cow averages 400–600 UAH, which is acceptable for limited budgets. On medium-sized farms (100–300 cows), combined schemes are used, where intramammary preparations of Ukrainian origin are combined with imported systemic antibiotics, reducing the risk of relapses; the cost of treatment reaches 700–900 UAH per cow. In large industrial complexes (500–2000 cows), expensive imported drugs are more commonly used, including «Mastifort», «Amoxicillin LA», and «Cefquinome», as the economic losses from mastitis on such a scale significantly exceed the treatment costs; therapy can cost 1000–1500 UAH per cow, compensated by maintaining milk yield and quality. Thus, the structure of the antibiotic market for mastitis treatment in Ukraine not only reflects the diversity of drugs but also correlates closely with farm size: from low-cost local solutions for small farms to expensive imported schemes for large industrial complexes.

Antibiotic therapy remains the basic treatment method; however, its effectiveness is significantly reduced due to the spread of antibiotic resistance, especially in infections caused by *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas spp.* Therefore, modern treatment protocols combine systemic antibiotics (amoxicillin, enrofloxacin, cephalosporins) with anti-inflammatory agents (flunixin meglumine, ketoprofen), which not only combat infection but also reduce clinical signs of inflammation, pain, and intoxication.

An important approach is the use of combination drugs that provide both antibacterial and anti-inflammatory effects. This allows for shorter treatment duration, fewer injections, and reduced stress for the animal. In Ukraine, antibiotic therapy for bovine mastitis is gradually complemented by the use of anti-inflammatory and combination drugs, which help control infection while mitigating inflammation, pain, and intoxication. Non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) are most commonly used, such as flunixin meglumine and ketoprofen. The Ukrainian market offers «Flunixin-Vet» in injectable form; its average price is 250–350 UAH per 50 mL vial. Ketoprofen is available from several manufacturers and costs approximately 200–300 UAH per 100 mL vial. These drugs are used as adjunct therapy to antibiotics,

especially in cases of acute clinical mastitis, when rapid reduction of inflammation and alleviation of animal suffering is crucial.

A separate group consists of combination drugs that provide both antibacterial and anti-inflammatory effects. These drugs help reduce the duration of treatment, decrease the number of injections, and minimize stress for the animal. An example is the Ukrainian intramammary product «Mastycid», which contains amoxicillin in combination with clobutinol, providing both antibacterial and anti-inflammatory action. The average price of this product is 45–60 UAH per intramammary syringe, making it accessible for widespread use even on small farms. Similar combination products are gradually gaining popularity in large dairy complexes, where the economic efficiency of treatment is critical: reducing the number of procedures lowers labor costs and decreases stress for the animals.

Sulfonamide drugs also deserve special attention. Historically, they were among the first treatments for mastitis and still retain their significance in veterinary practice. The most common example is the British intramammary product «Mastiprim», which combines trimethoprim and sulfadiazine; it is administered as intramammary syringes, with an average price of 70–90 UAH. Such combinations effectively combat mixed infections, especially when the pathogens are streptococci and Gram-negative bacteria. Injectable forms of sulfonamides combined with trimethoprim are also available in Ukraine, priced at 300–400 UAH per 100 mL vial. On medium and large farms, these drugs are used as an alternative to expensive cephalosporins, particularly when it is necessary to reduce treatment costs without compromising efficacy.

Modern mastitis treatment protocols also pay increasing attention to alternative methods, gradually integrated as a supplement to classical antibiotic therapy. One of the most promising approaches is the use of bacteriophages, which show high activity against antibiotic-resistant *Staphylococcus aureus* strains. In Ukraine, research and trials of intramammary phage preparations are already underway, particularly within projects based at veterinary research institutions, and initial results indicate a reduction in relapse rates and shorter treatment duration. The cost of experimental phage drugs is currently significantly higher than conventional antibiotics (approximately 1500–

2000 UAH per course), but their use could become economically advantageous on large farms where resistance issues are most critical.

Another approach involves antimicrobial peptides, which have a broad spectrum of activity and can disrupt biofilms formed by pathogens in udder tissues. Studies show that peptides may be effective against *Pseudomonas spp.* and *Klebsiella spp.*, which often exhibit natural resistance to classical antibiotics. Although commercial forms of such drugs are not yet registered in Ukraine, pilot batches already exist in the EU and the USA, with treatment course costs estimated at 2000–2500 UAH.

Phytopreparations also play an important role in the prevention and adjunctive treatment of mastitis. Extracts of garlic, echinacea, and turmeric have pronounced immunomodulatory effects, stimulate nonspecific resistance of the organism, and reduce the risk of recurrent infections. Ukrainian veterinary supplements already offer phytocomplexes in the form of powders and solutions for feed additives, with an average price of 150–250 UAH per package, making them accessible for regular use on small and medium farms.

Recent studies also emphasize the importance of a systemic approach: mastitis has a cumulative and long-lasting effect on milk yield and composition, particularly lactose content [95]. This means that even after clinical recovery, functional impairments remain, affecting productivity. Therefore, treatment should focus not only on pathogen elimination but also on supporting udder tissue recovery and normalizing metabolism. In this context, alternative methods—bacteriophages, antimicrobial peptides, and phytopreparations—can become an important supplement to antibiotics, especially in large dairy complexes where economic losses from mastitis amount to hundreds of thousands of UAH per year.

Thus, it can confidently be stated that modern mastitis treatment practices in Ukraine are gradually moving beyond traditional antibiotic therapy and acquiring a comprehensive nature. At the same time, this allows for a complete picture of the current state of mastitis management in dairy cows in Ukraine and the prospects for the development of the domestic pharmaceutical market.

Antibiotic therapy remains the primary method of treatment; however, its effectiveness is decreasing due to the spread of antibiotic resistance, especially in infections caused by *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas* spp.. As of 2025–2026, 18 commercial antibiotic formulations from six major manufacturers are registered on the Ukrainian market. Intramammary forms (Ukrainian «Mastitsid», French «Mastifort», British «Mastiprime») account for approximately 60% of the market, while systemic injectable drugs (U.S. «Amoxicillin LA», Slovenian enrofloxacin, German cephalosporins) make up 40%. The price range varies from 45–60 UAH for a Ukrainian intramammary syringe to 900–1200 UAH for imported systemic cephalosporins. This creates a two-tier market: affordable drugs for small and medium farms and expensive imported products for large dairy complexes.

Anti-inflammatory drugs have become an important addition, such as flunixin meglumine (U.K. «Flunixin-Vet», 250–350 UAH per 50 ml vial) and ketoprofen (Slovenian, Ukrainian, 200–300 UAH per 100 ml vial). Their use helps reduce clinical signs of inflammation, pain, and intoxication, which is especially important in acute forms of mastitis. A separate group includes combined drugs that provide both antibacterial and anti-inflammatory effects. «Mastitsid» (amoxicillin + clobutinol) is an example of this approach, providing both pathogen elimination and reduction of the inflammatory response. Such products are gradually gaining popularity in large farms, where reducing the number of procedures decreases labor costs and lowers stress for the animals.

Sulfonamide drugs, such as «Mastiprime» (trimethoprim + sulfadiazine), remain an important tool in the treatment of mixed infections. Their price is 70–90 UAH per intramammary syringe, making them accessible for medium and large farms as an alternative to expensive cephalosporins. Injectable sulfonamide forms in combination with trimethoprim (Ukrainian) cost 300–400 UAH per 100 ml vial and are used in cases of systemic infections.

Alternative treatment methods are gradually being integrated into practice. Bacteriophages («Phagomast») show promising results against antibiotic-resistant strains of *Staphylococcus aureus*, although their cost is currently significantly higher

(1500–2000 UAH per treatment course). Antimicrobial peptides, which can disrupt biofilms and act against *Pseudomonas spp.* and *Klebsiella spp.*, are still under investigation but may become an important supplement to classical treatment regimens. Phytopreparations («Phytomast», complexes based on extracts of garlic, echinacea, and turmeric) are already available on the market as feed additives, with a price of 150–250 UAH per package, making them suitable for preventive use in small and medium farms.

The economic aspect remains crucial: treatment costs for mastitis account for up to 20–30% of all veterinary expenses in dairy farms. In small private farms (10–30 cows), the average cost of treating one cow is 400–600 UAH; in medium-sized farms (100–300 cows) – 700–900 UAH; and in large industrial complexes (500–2000 cows) – 1000–1500 UAH. This highlights the importance of effective and sustainable strategies that consider not only pathogen elimination but also support the recovery of udder tissues and normalization of metabolism.

In summary, mastitis treatment in Ukraine is gradually transforming from classical antibiotic therapy to complex regimens that include anti-inflammatory drugs, combined agents, immunomodulators, and alternative methods, combined with the implementation of HACCP systems to ensure the safety of dairy products.

The development of the veterinary and pharmaceutical market in Ukraine for mastitis treatment in cows has several strategic directions. First, Ukrainian manufacturers have the potential to expand the range of intramammary and combined drugs, which will reduce dependence on imports and ensure accessibility of treatment for small and medium-sized farms. This primarily involves expanding the assortment of domestic products, especially intramammary and combined forms, which can provide affordable treatment for small and medium farms. Today, Ukrainian manufacturers are actively working on creating new drugs that combine antibacterial and anti-inflammatory effects, as well as phytocomplexes for the prevention of recurrences.

Second, integration with European standards and compliance with HACCP requirements stimulates the search for alternative treatment methods that reduce

antibiotic load. This includes bacteriophages, antimicrobial peptides, and plant extracts with immunomodulatory effects. Their use allows not only to combat resistant strains but also to ensure that products meet international safety requirements, opening prospects for the export of Ukrainian milk and dairy products.

Third, the growth of large dairy complexes with more than 1,000 cows creates demand for more expensive and innovative drugs. This opens opportunities for joint projects with European and American companies, as well as for localizing the production of modern agents in Ukraine. In the future, this may lead to the formation of a mixed market: cheaper domestic drugs will cover the mass segment, while innovative products will target the premium segment, aimed at large farms and export.

Thus, the future of mastitis treatment in Ukraine lies in combining classical antibiotics with new drugs and methods that meet modern requirements and European trends. This will ensure a comprehensive approach to animal health, reduce economic losses for farms, and simultaneously increase the competitiveness of the Ukrainian dairy industry in the international market.

3.2 Продуктивність свиней та якість їх продукції за використання різнотипових раціонів у зоні техногенного навантаження

Вступ.

Внаслідок аварії на Чорнобильській атомній електростанції велика кількість земель українського Полісся піддалися забрудненню радіоактивними речовинами – ^{137}Cs , ^{90}Sr тощо. Їх надходження до організму тварин з кормами раціонів вимагає за виробництва тваринницької продукції застосування технологій, що дають змогу виробляти екологічно безпечні і якісні продукти харчування для населення, що проживає в даних регіонах [103, 104]. Зниження впливу наслідків чорнобильської аварії на сільськогосподарську сферу, а саме на продукцію рослинництва, продукцію лісового походження та продукцію тваринництва, що виробляється на забруднених землях, є основною задачею суспільства для отримання безпечної сировини та продуктів харчування [105, 106]. Тому одним із пріоритетних завдань сучасної радіоекологічної науки є систематичний контроль забруднення рослинницької і тваринницької продукції ^{137}Cs і ^{90}Sr та вивчення особливостей міграції цих радіонуклідів у сільськогосподарські екосистеми [107, 108].

Значною проблемою поліського регіону є забруднення території солями важких металів, такими як Pb, Cd, Cu, Zn [109]. Ці важкі метали та їх похідні у високих концентраціях є токсичними і завдають шкоди здоров'ю, продуктивності тварин та якісним показникам продукції тваринництва [110, 111]. Джерелами забруднення навколишнього середовища важкими металами є переважно промисловість, термічна та хімічна переробка корисних копалин, спалювання вугілля, газів і рідкого палива, комунальне господарство (сміттєзвалища, стічні води), а також сільське господарство, що використовує ненормоване використання мінеральних добрив, засобів захисту рослин [112, 113].

За даними вітчизняних авторів [114], у комплексі пропонованих прийомів ведуче місце відводиться біологічно повноцінній годівлі тварин. Раціони годівлі сільськогосподарських тварин повинні бути розраховані таким чином, щоб рівень і концентрація енергії, протеїну, інших поживних і біологічно активних речовин, а також співвідношення між ними в складі кормових раціонів відповідали деталізованим нормам годівлі. Як значне завищення, так і значне заниження хоча б по одному показнику поживності призводить до розбалансування раціонів, зниження продуктивності та збільшення витрат кормів на виробництво одиниці продукції.

Оптимізовані раціони годівлі тварин сприяють посиленню метаболічних процесів у організмі, підвищують використання поживних речовин кормів, що значно покращує біологічну повноцінність м'яса за рахунок збільшення вмісту в продукції жиру та білку [115, 116].

Важливу роль у зменшенні надходження шкідливих речовин до організму сільськогосподарських тварин, а також у підвищенні їхньої стійкості проти іонізуючих випромінювань, відіграють мікроелементи [117, 118]. Особливо це стосується регіонів Полісся, ґрунти яких, а отже, і корми, бідні не лише на основні макроелементи, а й на більшість біологічно важливих мікроелементів, таких як Йод, Фтор, Цинк, Кобальт, Манган, Купрум, Селен [119, 120]. Збагачення раціону тварин солями вказаних елементів є важливим заходом у системі ведення тваринництва на забруднених радіонуклідами територіях [121, 122].

У практиці годівлі тварин для покриття дефіциту окремих вітамінів, мінеральних елементів у раціонах використовують різні білково-вітамінно-мінеральні добавки (БВМД). Вони створюють необхідні умови для нормального функціонування ферментів і гормонів, підтриманню кислотно-лужної рівноваги і осмотичного тиску на необхідному рівні [123, 124]. Тому, збагачення зерноsumішей і комбикормів мінерально-вітамінними добавками та іншими біологічно-активними речовинами, може істотно вплинути на підвищення конверсії поживних речовин корму і сприятиме росту продуктивності тварин та

зниженню накопичення радіонуклідів і важких металів у продукції тваринництва в зоні радіоактивного забруднення.

Мета досліджень – встановити ефективність використання різних доз БВМД з люпином за виробництва свинини в зоні Полісся України, впливу кормових факторів на продуктивність молодняку свиней і його фізіологічний стан та накопичення ^{137}Cs і важких металів у м'язовій тканині.

3.2.1. Продуктивні і забійні якості свиней за використання різного складу зерноsumішей

У комплексі пропонованих контрзаходів щодо зниження накопичення ^{137}Cs і важких металів у тваринницькій продукції найбільш перспективними та економічно вигідними є виробництво і згодовування тваринам «чистих» кормів, природних мінералів-сорбентів та їх сумішок і балансування раціонів годівлі за життєво-необхідними елементами живлення.

Виходячи з цього, метою наших досліджень було вивчення ефективності використання різних доз білково-вітамінно-мінеральної добавки та люпину у складі зерноsumішей місцевого виробництва за виробництві свинини в зоні Полісся України, впливу досліджуваних факторів на продуктивність молодняку свиней та зниження концентрації ^{137}Cs і важких металів у продукції.

Згідно зі схемою досліду, в порівняльній період тварини усіх піддослідних груп отримували зерноsumіш №1, яка складалася з концентрованих кормів місцевого виробництва, вирощених в III зоні радіоактивного забруднення, з добавкою білково-вітамінно-мінеральної добавки (БВМД). Різниця в годівлі піддослідних свиней в основний період досліджень полягала в тому, що тварини I (контрольної) групи отримували корми раціону як і в порівняльній період експерименту. Водночас підсвинкам II (дослідної) групи 5 % БВМД (за масою) в складі раціону замінювали на 5 % дерті люпину, а ровесникам III (дослідної) згодовували дерть пшеничну (80 % за масою), дерть люпинову (10 % за масою) та 10 % БВМД.

Тому склад зерноsumішей для відгодівлі піддослідних тварин був різним (% за масою): I група: пшениця - 90, БВМД - 10; II група: пшениця - 90, люпин - 5, БВМД - 5; III група: пшениця - 80, люпин - 10, БВМД - 10.

У середньому за добу піддослідний молодняк споживав дещо різну кількість зерноsumіші – 2,32-2,43 кг. Тому і поживність 1 кг корму для підсвинків була неоднаковою – 24,7-26,3 МДж обмінної енергії та 1988-2088 г сухої речовини. За період вирощування молодняку свиней концентрація енергії в 1 кг сухої речовини раціону становила 12,4-12,7 МДж обмінної енергії.

Ефективність годівлі тварин залежить як від фізіологічного стану, так і від збалансованого за поживними та біологічно-активними речовинами раціону. Основними показниками, які характеризують продуктивність та ріст молодих тварин, є прирости їх живої маси. Результати проведених досліджень показали, що за однакових умов годівлі та утримання тварин на відгодівлі, підсвинки залежно від виду зерноsumіші, який вони споживали, мали різну живу масу по закінченню експерименту (табл. 1).

Таблиця 1

Показники продуктивності піддослідного молодняку свиней (n=10; M ± m)

Показник	Група		
	I - контрольна	II - дослідна	III - дослідна
Тривалість досліду, діб	124	124	124
Жива маса, кг: початок досліду	37,8 ± 1,4	37,7 ± 2,2	37,7 ± 1,1
закінчення досліду	114,2 ± 5,3	111,0 ± 5,5	113,0 ± 3,8
Приріст живої маси:			
абсолютний, кг	76,4 ± 5,1	73,3 ± 3,6	75,3 ± 4,2
середньодобовий, г	616 ± 41	591 ± 29	607 ± 34
+ або – до контролю:			
г	-	-25	-9
%	-	-4,1	-1,5
Витрати обмінної енергії на 1 кг приросту живої маси, МДж	40,1	44,5	43,3
+або – до контролю:			
МДж	-	+4,4	+3,2
%	-	+11,0	+8,0

Середньодобовий приріст живої маси тварин усіх піддослідних груп за період проведення досліджень коливався в межах від 591 г до 616 г. Найвища інтенсивність росту відмічена у молодняку свиней I (контрольної) групи – 616 г. За цим показником підсвинки цієї групи переважали ровесників із II та III (дослідних) груп на 9-25 г, або на 1,5-4,1 % за невірогідної різниці ($P < 0,95$).

За витратами обмінної енергії на 1 кг приросту живої маси тварини дослідних груп також поступалися перед молодняком з контрольної групи на 3,2-4,4 МДж обмінної енергії (на 8,0 -11,0 %). Витрати перетравного протеїну на 1 кг приросту живої маси коливалися в межах 450-544 г і були більшими на 10,2-20,9 % у підсвинків II та III (дослідних) груп, ніж у контролі.

Виходячи з вищевикладеного аналізу, можна зробити висновок про те, що заміна в складі зерносуміші 5-10 % (за масою) дерті пшениці і БВМД на таку ж кількість дерті люпину за відгодівлі молодняку свиней у поліській зоні України негативно позначається на їх продуктивних якостях та конверсії корму.

З метою порівняльної оцінки м'ясної продуктивності, в кількісному та якісному відношенні, після проведення науково-господарського досліду, було здійснено контрольний забій піддослідних тварин по 3 голови з кожної групи. Наразі для забою були відібрані підсвинки з середньою для відповідної піддослідної групи живою масою. Забійні показники молодняку свиней мали певні міжгрупові відмінності (табл. 2).

Таблиця 2
Забійні якості піддослідних свиней (n=3; $M \pm m$)

Показник	Група		
	I - контрольна	II - дослідна	III - дослідна
Передзабійна жива маса, кг	118,7 ± 3,72	112,7 ± 5,60	115,3 ± 4,63
Маса парної туші, кг	80,3 ± 4,40	79,5 ± 6,52	78,9 ± 7,32
Вихід парної туші, %	67,6	70,5	68,4
Маса внутрішнього жиру, кг	2,34 ± 0,41	2,50 ± 0,32	2,49 ± 0,45
Вихід жиру, %	1,97	2,22	2,16
Маса, кг: голови	7,51 ± 0,42	7,03 ± 0,39	7,29 ± 0,19
ніжок	1,48 ± 0,02	1,36 ± 0,10	1,33 ± 0,05
Забійна маса, кг	91,63±4,98	90,39±7,16	90,01±7,81
Забійний вихід, %	77,2±1,81	80,2±2,64	78,1±4,22

Так, жива маса тварин I (контрольної) групи перед забоем склала 118,7 кг, а в II та III (дослідних) групах становила 112,7-115,3 кг, або була меншою за контрольні показники на 3,4-6,0 кг (на 2,9-5,1 %). Встановлена несуттєва міжгрупова різниця за масою туші та забійною масою молодняка свиней. Ці показники у підсвинків I (контрольної) групи були тенденційно більшими на 0,8-1,4 кг (на 1,0-1,8 %) та 1,24-1,62 кг (на 1,4-1,8 %) відповідно, ніж у II та III (дослідних) групах.

Водночас спостерігається тенденція до зростання забійного виходу в підсвинків дослідних груп, яким згодовували зерноsumіші №2 і №3. Цей показник у них був більшим порівняно з ровесниками, яким вводили до складу зерноsumіші тільки дерть пшениці і БВМД, на 0,9-3,0 % абс.

Порівняльний аналіз хімічного складу найдовшого м'язу спини відгодівельних свиней показав, що у підсвинків, яким згодовували в складі раціону зерноsumіш №1 (пшениця + БВМД), концентрація у м'ясі сухої речовини та жиру була найбільшою і переважала аналогічні показники ровесників дослідних груп на 0,28-0,42 % та 0,39-0,70 % абс. відповідно (табл. 3). Водночас найбільшим умістом протеїну та золи в м'язовій тканині характеризуються тварини II групи, які споживали зерноsumіш №2 (дерть пшенична – 90 %, БВМД – 5 %, дерть люпинова – 5 %) – 22,83 % та 1,11 % відповідно, що більше за показники ровесників I та III груп на 0,12-0,27 % та 0,01-0,05 % абс.

Таблиця 3.

Хімічний склад найдовшого м'язу спини свиней, % в натуральній речовині

Група	Показник			
	суха речовина	протеїн	жир	зола
I – контрольна	28,01 ± 0,80	22,56 ± 0,86	4,35 ± 1,36	1,10 ± 0,04
II – дослідна	27,59 ± 0,80	22,83 ± 0,24	3,65 ± 0,63	1,11 ± 0,03
III – дослідна	27,73 ± 1,12	22,71 ± 0,13	3,96 ± 1,24	1,06 ± 0,01

Дещо інші закономірності встановлені в хімічному складу печінки (табл. 4). Так, у цьому органі молодняку свиней II та III (дослідних) груп уміст сухої речовини та протеїну був більшим на 1,36-1,40% та 1,11-1,57% абс. відповідно, ніж у ровесників I (контрольної) групи. Найбільше жиру містилося в печінці підсвинків II групи (3,36 %), тоді як золи – однакова кількість у тварин усіх піддослідних груп (1,42 %).

Таблиця 4

Хімічний склад печінки молодняку свиней, % в натуральній речовині

Група	Показник			
	суха речовина	протеїн	жир	зола
I – контрольна	30,82 ± 0,89	26,29 ± 0,92	3,11 ± 0,05	1,42 ± 0,06
II – дослідна	32,18 ± 0,92	27,40 ± 1,11	3,36 ± 0,16	1,42 ± 0,03
III – дослідна	32,22 ± 0,31	27,86 ± 0,35	2,94 ± 0,29	1,42 ± 0,04

Різний хімічний склад найдовшого м'язу спини та печінки молодняку свиней контрольної та дослідних груп несуттєво вплинув на енергетичність (калорійність) продукції свинарства. Так, енергетична цінність 1 кг м'язової тканини піддослідних тварин коливалася в межах 5,34-5,57 МДж. Цей показник у найдовшому м'язі спини був найвищим у підсвинків I (контрольної) групи – 5,57 МДж/кг, порівняно з аналогами II та III (дослідних) груп перевага склала 0,23 МДж/кг (4,3 %) та 0,13 МДж/кг (2,4 %) відповідно.

Енергетична цінність 1 кг печінки молодняку свиней порівняно з найдовшим м'язом спини дещо більша – 5,73-5,93 МДж (на 2,9-11,0 %). У тварин дослідних груп цей показник становив 5,84-5,93 МДж/кг, перевага відносно контролю склала 0,11- 0,20 МДж/кг, або була більшою на 1,9-3,5 %.

Виходячи з отриманих результатів досліджень, можна констатувати, що використання для відгодівлі свиней зерноsumішей різного складу суттєвого впливу на хімічний склад найдовшого м'язу спини і печінки та їх енергетичну цінність не мало.

3.2.2. Накопичення ^{137}Cs , Pb і Cd у м'язовій тканині і печінці свиней за використання різнотипових раціонів

В умовах сучасного техногенного забруднення навколишнього середовища екологічні проблеми, підвищення якості тваринницької продукції та її харчової безпеки набувають виключної актуальності.

Питома активність ^{137}Cs у кормах раціонів коливалася в широких межах – від 70,2 Бк/добу до 116,9 Бк/добу і була більшою на 27,9-66,5 % у III (дослідній) групі, ніж у I та II групах (табл. 5). Це пов'язано зі споживанням піддослідним поголів'ям свиней зерноsumішей різного складу. Ймовірно, накопичення радіонукліду в люпині порівняно з пшеницею було значно більшим.

Таблиця 5

Питома активність ^{137}Cs в кормах раціону та продуктах забою свиней (n=3; $M \pm m$)

Група	Уміст ^{137}Cs			
	середньодобовий раціон, Бк	продукція, Бк/кг	± до контрольної групи	
			Бк/кг	%
Найдовший м'яз спини				
I – контрольна	91,4	30,9 ± 4,1	-	-
II – дослідна	70,2	30,5 ± 3,5	-0,4	-1,3
III – дослідна	116,9	36,7 ± 5,9	+5,8	+18,8
Печінка				
I – контрольна	91,4	37,3 ± 1,7	-	-
II – дослідна	70,2	35,3 ± 2,1	-2,0	-5,4
III – дослідна	116,9	35,2 ± 4,7	-2,1	-5,6

За результатами досліджень встановлено несуттєву міжгрупову різницю за вмістом ^{137}Cs в найдовшому м'язі спини і печінці піддослідного молодняка свиней. Питома активність ^{137}Cs в найдовшому м'язі спини тварин коливалася по групах у межах 30,5 – 36,7 Бк/кг і не перевищувала допустимих рівнів (ДР-2006 = 200 Бк/кг). Водночас, при заміні у складі зерноsumіші 10 % (за масою) дерті пшеничної на аналогічну кількість дерті люпину (III дослідна група),

концентрація радіоцезію в м'язовій тканині відносно контролю підвищується на 5,8 Бк/кг, або на 18,8 % ($P < 0,95$).

Дещо інша закономірність спостерігалася за накопиченням ^{137}Cs в печінці піддослідного молодняка свиней – цей показник у тварин дослідних груп виявився меншим на 5,4-5,6 %, ніж у контролі.

Параметром, який характеризує забруднення продукції тваринництва радіонуклідами залежно від їх надходження до організму тварин з кормами, є кратність накопичення. Це відношення вмісту нукліду в органі, тканині чи організмі в цілому до вмісту у добовому раціоні. У наших дослідженнях кратність накопичення ^{137}Cs в найдовшій м'яз спини складала 0,314-0,434 і була більшою на 28,4-38,2 % у молодняка свиней, які отримували зерноsumіш №2, порівняно з використанням зерноsumішей №1 і №3. Кратність накопичення ^{137}Cs в печінці піддослідних тварин варіювала у межах 0,301-0,503 і виявилася на 23,3-67,7 % більшою у підсвинків II (дослідної) групи порівняно з I та III групами.

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що введення до складу зерноsumіші по 5 % (за масою) дерті люпину і БВМД за відгодівлі молодняка свиней у зоні Полісся України призводить до більшого накопичення радіонукліду в їхній продукції.

Згідно повідомлень авторів [125], особливу небезпеку для сільськогосподарських тварин і людей становлять важкі метали високої токсичності – Pb, Cd, Hg, As, Se, F, Zn. Водночас, за даними експертів ВООЗ та інших міжнародних організацій, одним з глобальних і небезпечних забруднювачів довкілля є Pb. Цей метал має достатньо великі обсяги виробництва та широку сферу застосування, що зумовлює його надходження і поширення в різні об'єкти навколишнього природного середовища. Здатність до кумуляції в органах і тканинах, висока біологічна активність Pb створюють реальну загрозу для здоров'я людини і тварин. За його концентрації в крові 200-400 мкг/л у людей можуть настати ознаки отруєння [126].

Експериментальні дослідження показали, що в організм піддослідних свиней із кормовими раціонами надходила значна кількість Pb, добове

споживання якого молодняком свиней коливалося від 3,32 до 4,59 мг і було більшим на 22,9-38,2 % у дослідних групах, ніж у контролі (табл. 6).

Відповідно до прийнятих Державних санітарних правил і норм України [127], гранично допустимий рівень (ГДК) свинцю в м'ясі становить 0,10 мг/кг, у печінці та нирках – 0,5 мг/кг. Результати обстежень показали, що накопичення Рb у найдовшому м'язі спини було більшим за ГДК у свиней усіх груп в 1,46-6,18 рази. Водночас концентрація цього важкого металу в м'язовій тканині тварин II і III (дослідних) груп, які споживали зерноsumіш з люпином, відносно ровесників I групи підвищилася на 70,5-423,3 % ($P>0,95-0,99$).

Таблиця 6

Уміст Рb у кормових раціонах і продуктах забою свиней

Група	Концентрація Рb				Коефіцієнт переходу, %
	середньо-добовий раціон, мг	продукція, мг/кг	± до контролю		
			мг/кг	%	
Найдовший м'яз спини					
I – контрольна	3,32	0,146±0,022	-	-	4,40
II – дослідна	4,08	0,249±0,024*	+0,103	+70,5	6,10
III – дослідна	4,59	0,618±0,058**	+0,472	+423,3	13,46
ГДК	-	0,10	-	-	-
Печінка					
I – контрольна	3,32	0,451±0,043	-	-	13,58
II – дослідна	4,08	0,718±0,063*	+0,267	+159,2	17,60
III – дослідна	4,59	1,311±0,089**	+0,860	+290,7	28,56
ГДК	-	0,50	-	-	-

Примітка. * - $P>0,95$; ** $P>0,99$.

Вміст свинцю в печінці молодняку свиней II та III (дослідних) груп виявився також більшим за гранично допустимий рівень у 1,44-2,62 рази. До того ж згодовування підсвинкам дослідних груп у складі зерноsumішей №2 і №3 люпину порівняно з контролем призвело до збільшення вмісту Рb у печінці на 159,2-290,7 % ($P>0,95-0,99$).

Щодо переходу Плюмбуму із кормів раціону в продукти забою молодняку свиней, то слід зауважити, що цей показник у тварин I (контрольної) групі виявився набагато нижчим, ніж у II та III (дослідних) групах.

Кількість Cd, що надходила до організму піддослідного молодняку свиней великої білої породи за його відгодівлі різними варіантами зерноsumішей, була значно нижчою, ніж Pb, що становило 0,061-0,097 мг/добу (табл. 7).

Таблиця 7

Уміст Cd у кормових раціонах і продуктах забою свиней

Група	Концентрація Cd				Коефіцієнт переходу, %
	середньо-добовий раціон, мг	продукція, мг/кг	± до контрольної групи		
			мг/кг	%	
Найдовший м'яз спини					
I – контрольна	0,097	0,025±0,001	-	-	25,77
II – дослідна	0,061	0,026±0,001	+0,001	+4,0	42,62
III – дослідна	0,083	0,025±0,002	-	-	30,12
ГДК	-	0,05	-	-	-
Печінка					
I – контрольна	0,097	0,052±0,002	-	-	53,61
II – дослідна	0,061	0,059±0,006	+0,007	+13,5	96,72
III – дослідна	0,083	0,053±0,009	+0,001	+1,9	63,85
ГДК	-	0,50	-	-	-

За результатами досліджень можна констатувати, що концентрація Cd у м'язовій тканині піддослідних свиней варіювала у незначному діапазоні значень – 0,025-0,026 мг/кг і не перевищувала гранично допустиму концентрацію.

Найбільша кількість Cd нагромаджується в печінці піддослідних тварин – 0,052-0,059 мг/кг. Натомість найменша кількість Cd містилася у печінці підсвинків I групи (0,052 мг/кг), яких відгодовували зерноsumішшю №1 (90 % пшениці + 10 % БВМД за масою).

Коефіцієнти переходу Кадмію у свинину (найдовший м'яз) та печінку були доволі високими – 25,77-42,62 та 53,61-96,72 % відповідно. За введення до складу зерноsumіші різних доз дерті люпину і БВМД перехід Cd у найдовший м'яз спини

тварин дослідних груп підвищувався на 4,35-16,85 % абс. порівняно з контролем. Найменшим коефіцієнтом переходу Кадмію у печінку відрізняється молодняк I (контрольної) групи, а найбільшим – II (дослідної) групи.

Отже, використання для відгодівлі молодняку свиней у III зоні радіоактивного забруднення зерноsumішей №2 і №3 негативно вплинуло на екологічну якість продукції, підвищуючи вміст і перехід важких металів у найдовший м'яз спини та печінку.

Висновки:

Використання для відгодівлі молодняку свиней зерноsumішей №2 (пшениця – 90 %, люпин – 5 %, БВМД – 5 %) і №3 (пшениця – 80 %, люпин – 10 %, БВМД – 10 %) відносно зерноsumіші №1 (пшениця – 90 %, БВМД – 10 %) негативно позначається на їх продуктивних якостях, знижуючи середньодобові прирости живої маси тварин на 1,5-4,1 % та збільшуючи витрати обмінної енергії на одиницю приросту на 8,0-11,0 %.

Заміна в складі зерноsumіші 5-10 % (за масою) дерті пшениці і БВМД на таку ж саму кількість дерті люпину за відгодівлі молодняку свиней у поліській зоні України суттєвого впливу на забійні показники тварин, хімічний склад найдовшого м'язу спини і печінки та їх енергетичну цінність не мала.

Питома активність ^{137}Cs в найдовшому м'язі спини тварин коливалася по групах у межах 30,5 – 36,7 Бк/кг і не перевищувала допустимих рівнів (ДР-2006 = 200 Бк/кг). Водночас, при заміні у складі зерноsumіші 10 % (за масою) дерті пшеничної на аналогічну кількість дерті люпину (III дослідна група), концентрація радіоцезію в м'язовій тканині відносно контролю підвищується на 5,8 Бк/кг, або на 18,8 % ($P < 0,95$).

Результати обстежень показали, що накопичення Рb у найдовшому м'язі спини було більшим за ГДК у свиней усіх груп в 1,46-6,18 рази, у печінці тварин II та III груп - у 1,44-2,62 рази. Наразі концентрація цього важкого металу в м'язовій тканині та печінці тварин II і III (дослідних) груп, які споживали зерноsumіш з люпином, відносно ровесників I групи підвищилася на 70,5-423,3 % та 159,2-290,7 % відповідно ($P > 0,95-0,99$).

За введення до складу зерноsumіші різних доз дерті люпину і БВМД перехід Cd у найдовший м'яз спини і печінку тварин дослідних груп підвищувався на 4,35-16,85 % абс. і 10,24-43,11 % абс. порівняно з контролем.

REFERENCES

1. Angers, D.A., & Caron, J. (1998). Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks. *Soil & Tillage Research*, 42(1–2), 55–72.
2. Arshad, M.A., & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153–160.
3. Bouma, J. (1989). Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science*, 9, 177–213.
4. Natural Resources Conservation Service. (2001). *Soil quality indicators: Physical properties*. US Department of Agriculture.
5. Dovzhyk M. Determination of the trajectory of curvilinear motion of front steering wheels driven tractor / Tatyanchenko B., Solarov A., Sirenko J., Roubík H. // *Scientia agriculturae bohemia* , 50, 2019 (2): 127–134. <https://doi.org/10.2478/sab-2019-0018>
6. Melnyk V. I. Kinematic mismatch and dynamic unevenness of loading of paired tractor wheels / V. I. Melnyk, M. Ya. Dovzhik, B. Ya. Tatyanchenko , O. O. Solarev // *Environmental Wheeling* . - 2015. - No. 1. - P. 90-95. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2015_1_18
7. Hutsol O. P. Physical equation deformation soil with significant manifestation viscoplastic properties / O. P. Hutsol, V. P. Kovbasa, V. P. Kurka // *Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine*. –2011. – Issue. 166. – Part 2. – P. 141-153.
8. Directed by V. Kolijna technology agriculture / Volodymyr Nadykto // *The Ukrainian Farmer*. – 2011. – No. 1. – P. 22-23.
9. Solarov, O., Dovzhyk, M., Kalnahus, O., Rudenko, V., Tatsenko , O., Roubík, H. (2023): Stress Distribution and Soil Compaction Changes under the Agricultural Tires. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 54, 30-39. DOI: 10.7160/sab.2023.540104
10. AgroPortal.ua. (2024, April 19). Soil sampling for chemical analysis: basic rules and methods. <https://agroportal.ua/news/ukraina/vidbir-prob-gruntu-dlya-himichnogo-analizu-osnovni-pravila-ta-metodi>
11. International Organization for Standardization. (2017). ISO 18400-102:2017: Soil quality – Sampling – Part 102: Selection and application of sampling techniques (International Standard). <https://www.iso.org/standard/62843.html>
12. McNamee, E., Nocco, M., & Radatz, AM (2025, November). Diving deep into plant available water. *Agriculture Water Quality*, Division of Extension, University of Wisconsin–Madison. <https://agwater.extension.wisc.edu/articles/diving-deep-into-plant-available-water/>

13. Nawaz, MF, Bourrié, G. & Trolard, F. Soil compaction impact and modeling. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 291–309 (2013). <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0071-8>
14. Uvarenko, K. Yu. (2021). The influence of structural density and humidity soil on productivity intensive and semi-intensive varieties barley Spring. *Bulletin of Agricultural Science*, (1), 81–86. https://agrovisnyk.com/index.php/agrovisnyk/article/view/2021_01_10
15. AgroBlog. (2021). Modern – rubber tracks on powerful tractors and combines. <https://agroblog.com.ua/post/suchasni-gumovi-gusenici-na-potuzhnih-traktorah-ta-kombajnah>
16. SuperAgronom.com. (2021, August 31). No-till and verty -till – as in Agrofort are testing on both technologies in their fields. <https://superagronom.com/blog/849-no-till-ta-verty-till--yak-v- agrofort - testuyut-na-svoyih-polyah-obidvi-tehnologiyi>
17. Wang, N., & Zhang, T. (2024). Soil pore structure and its research methods: A review. *Soil and Water Research*, 19(1), 1-24. doi: 10.17221/64/2023-SWR.
18. Біологізація землеробства в Україні: реалії та перспективи. науково-виробниче видання [В. В. Іванишин, М. В. Роїк, І. А. Шувар, Л. В. Центилю, В. М. Сендецький, О. М. Бунчак, Н. М. Колісник та ін.]; за аг. ред.. В. В. Іванишина та І. А. Шувара. – ІваноФранківськ : Симфонія форте, 2016. 284 с.
19. Резніченко В.П., Коломієць Л.В., Стефанюк С.В. Органічне сільське господарство: виклики та перспективи розвитку. *Аграрні інновації*. 2024. No 23. С. 134-140.
20. Резніченко В.П., Коломієць Л.В., Тунік Т.М. Екологічні аспекти харчування: стійке, біодинамічне та органічне сільське господарство. *Аграрні інновації*. 2023. N 21. С. 81-87.
21. Заїменко Н.В., Павлюченко Н.А., Елланська Н.Е., Харитоновна І.П. Вплив посухи на алелопатичні, біохімічні, мікробіологічні властивості системи рослини-грунт-мікроорганізми. *Вісник Харківського нац. Ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Серія: біологія*. 2014. Вип. 20 (100). С. 1–9.
22. Ткачук О.П., Шкатула Ю.М., Тітаренко О.М. Сільськогосподарська екологія: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 542 с
23. Юрчак Е., 2018. Історія алелопатії: минуле й сьогодення. *Світогляд*. 2(70). С. 16-20.
24. Кучерявий О.В. Становлення та розвиток алелопатії в Україні: сільськогосподарський аспект. Дис. на здоб. наук. ступ. к. істор. наук. Переяслав, 2020. 246 с.
25. Вергунов В.А., Юрчак Е.В. Становлення та розвиток екологічних аспектів хімічної взаємодії рослин в Україні. *Агроекологічний журнал*. No.4. 2017. С 123-130

26. Левчик Н.Я., Гнатюк А.М, Любінська А.В., Горбенко Н.Є. Алелопатична активність *trifolium repens* l. Та *t. Rubens* l. (fabaceae) в умовах Національного ботанічного саду імені М. Гришка НАН України. Науковий вісник НЛТУ України, 2021.Т.31, №1. С. 20-25.
27. Юрчак Л.Д. Алелопатія в агробіогеоценозах ароматичних рослин. К.: б.в., 2005. 250 с.
28. Гнатюк Н.О. Механізми прояву алелопатичної взаємодії рослин. Таврійський науковий вісник № 131. 2023. С. 345-351.
29. Сторожик, Л. І., & Михайловин, Ю. М. Хімічний складник та алелопатична дія метаболітів, продукованих амброзією полинолістою (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Новітні агротехнології, 2024. 12(3). <https://doi.org/10.47414/na.12.3.2024.317152>
30. Tkachova Ye. S., Fedorchuk M. I., Kovalenko O. A. The allelopathic activity of water-soluble biologically active substances from *Hyssopus officinalis* L. and their effect on root growth of *Lepidium sativum* L. // Journal of Organic and Pharmaceutical Chemistry. 2022 , 20 , 44-50.
31. Morozova T. V., Mudrak O. V., Mudrak G. V. Evaluation of allelopathic and phytotoxic effects of water extracts of *Ambrosia artemisiifolia* L. // Agroecological journal. No. 3. 2025. 84-98.
32. Korhova M., Mykolaichuk M. Allelopathic activity of water extracts of winter wheat varieties on weed germination Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science. Vol. 25, No. 3. 46-53.
33. Новицька Н.В., Доктор Н.М., Євтушенко Є.А. Алелопатична активність насіння олійних культур. Селекція, генетика, сортовипробування агротехнології культурних рослин: виклики та перспективи. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів. С. 43-44
34. Господаренко Г.М., Лисянський О.Л. Алелопатичний вплив сидеральних культур на пшеницю озиму. Вісник ЖНАЕУ. № 2 (50), т. 1 2015. С. 190-198.
35. Окрушко С.Є. Вплив водних витяжок *ELYTRIGIA REPENS* L. на проростання насіння пшениці. Сільське господарство та лісівництво. Захист рослин. №27. 2022. С. 93-109.
36. Господаренко Г. М., ЛЮБИЧ В. В. Алелопатія рослинних решток на посівні властивості зерна пшениці м'якої озимої. Збірник наукових праць Уманського національного університету. Випуск 98 Частина 1. 2021. С 246-254.
37. Любченко А. І., Любченко І. О., Рябовол Я. С., Рябовол Л. О., Сержук О. П. Алелопатичний вплив рослинних решток рижю посівного на культуру проростків зернових культур. Збірник наукових праць Уманського національного університету. Випуск 106. Частина 1. 2025. С 379-387.

38. Гродзінський А. М. Основи хімічної взаємодії рослин. К. : Наук. думка, 1973. 205 с.
39. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості ДСТУ 4138-2002. Київ Держспоживстандарт України 2003. URL https://fitolab-ck.dpss.gov.ua/wp-content/uploads/2024/01/dstu-4138_2002.pdf
40. Резніченко В.П., Бірець С. С., Савченко А. С. Алелопатичний вплив водних екстрактів зернових культур на енергію проростання пшениці. LATEST TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC INVENTIONS: MODERN CHALLENGES AND PROBLEMS Abstracts of VIII International Scientific and Practical Conference Bilbao, Spain (February 23-25, 2026). pp. 18-22 URL: <https://eu-conf.com/en/events/latest-technologies-and-scientific-inventions-modern-challenges-and-problems/>
41. Нетіс І. Т. Пшениця озима на півдні України: монографія. Херсон: Олдіплюс, 2011. 460 с.
42. Манько К. М., Музафаров Н. М. Ячмінь ярий: сучасні технології вирощування. Агробізнес сьогодні. 2012. № 9. С. 33–37.
43. Ліпінського В. М., Дячука В. А., Бабіченко В. М. Клімат України. Київ : Раєвського, 2003. 344 с.
44. Gorash O., Klymyshena R., Khomina V., Vilchynska L. Ecological and biological conformity of conditions of the brewing barley cultivation zone. Ukrainian Journal of Ecology. 2020. № 10 (1). P. 246–253. https://doi.org/10.15421/2020_39.
45. Пивовар П. В., Данкевич В. Є. Сучасний стан та перспективи запровадження екологічно безпечних технологій землеробства. Органічне виробництво і продовольча безпека. Житомир, 2017. С. 116–120.
46. Жемела Г. П., Писаренко П. В. Удосконалення технології вирощування екологічно чистого і якісного зерна озимої пшениці. Збірник наукових праць Уманського держ. агр. ун-ту (Спец. випуск. «Біологічні науки і проблеми рослинництва»). 2003. С. 702–707.
47. Panfilova A., Korkhova M., Gamayunova V., Fedorchuk M., Drobitko A., Nikonchuk N., Kovalenko O. Formation of photosynthetic and grain yield of spring barley (*Hordeumvulgare* L.) depend on varietal characteristics and plant growth regulators. Agronomy Research. 2019. Vol. 17 (2). P. 608–620.
DOI: 10.15159/AR.19.099.
48. Panfilova A., Korkhova M. et al. Formation of photosynthetic and grain yield of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on varietal characteristics and optimization of nutrition. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2019. Vol. 10 (2). P. 78–85. DOI: 10.33887/rjpbcs.
49. Лопушняк В. І., Вислободська М. М. Продуктивність ярого ячменю залежно від рівня удобрення ґрунтів. Хімія. Агрономія. 2010. № 7. С. 48–51.

50. Степаненко І. Агросектор України зазнав понад 74 млрд євро збитків через війну та втратив 20% угідь.

URL: <https://agroweek.com/agroekonomika/agrosektor-ukrayiny-zaznav-ponad-mlrd>

51. Вінюков О. О., Коноваленко Л. І., Бондарева О. Б. Вплив добрив на вміст важких металів у ґрунті та їх накопичення рослинами ячменю ярого. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2016. № 10. С. 129–133.

52. Ліхушина Г. А., Скнипа Н. Л. Вплив стимуляторів росту рослин та фонів живлення на формування біометричних показників пшениці озимої в умовах східної частини Північного Степу України. Зернові культури. 2024. Т. 8. № 1. С. 92–100. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0316>.

53. Шевченко М. С. та ін. Вплив елементів біологізації на продуктивність сівозмін та родючість ґрунту в Степу. Бюлетень сільського господарства НААН України. 2016. № 11. С. 88–96.

54. Вінюков О. О., Чугрій Г. А., Поплевко В. І., Шульц П., Скнипа Н. Л. Вплив мікробіологічних препаратів на фізіологічні процеси формування зернової продуктивності пшениці озимої. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2022. № 2. С. 11–20. doi: 10.31210/visnyk2022.02.01

55. Власюк О. С. Вплив удобрення на ефективність обробки мікробними препаратами насіння та посівів ячменю ярого. Зернові культури. Т. 4. № 1. 2020. С. 80–86. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0109>

56. Бабич А. О. Світові земельні, продовольчі і кормові культури : монографія. Київ : Аграр. наука, 1996. 570 с.

57. Бабич А. О., Бабич–Побережна А. А. Світові ресурси рослинного білка. Селекція і насінництво. 2018. Вип. 96. С. 215–222.

58. Бугай С. М. Рослинництво : посібник. Київ. 1968. 412 с.

59. Будрин П. В. Бобові зернові рослини. Вид. 2-е, К. 2017. 64 с.

60. Бурикiна С. І., Кривенко А. І., Таранюк Г. Б. Вплив рідких органо-мінеральних і мікродобрив на структуру урожаю сочевиці в умовах Степу Причорноморського. Таврійський науковий вісник. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 118. С. 38–46.

61. Бушулян О. В., Січкара В. І. Нут: генетика, селекція, насінництво, технологія вирощування: Монографія. Одеса, 2019. 249 с.

62. Горобчук А. Прибуткові бобові культури: нут. Агробізнес Сьогодні. <https://agro-business.com.ua/agro/idei-trendy/item/12273-prybutkovi-bobovi-kultury-nut.html>

63. Ермантраут Е. Р., Присяжнюк О. І., Шевченко І. Л. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica – 6. Методичні вказівки. Київ, 2017. 55 с.
64. Зважене рішення – гарантований результат. Каталог добрив компанії «Лібра-Агро». 2018. 95 с.
65. Зінченко О. І. Рослинництво : підручник. Вид. 3-є, допов. і перероб. Умань, 2016. 612 с.
66. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво : підручник / за ред. О. І. Зінченка. Київ : Аграрна освіта, 2021. 591 с.
67. Інтенсифікація польового кормовиробництва / Проскура І. П., Бабич А. І., Квітко Г. П. та ін.; за ред. Проскури І. П. Київ : Урожай, 1985. 168 с.
68. Кернасюк Ю. Перспективна сочевиця: Технологія вирощування сочевиці в Україні. Агробізнес сьогодні. №14. 2018. С. 33–41.
69. Кияк Г. С. Рослинництво. Київ : Вища школа, 1971. 450 с.
70. Лень О. І., Олєпир Р. В., Єремко Л. С. Вплив способів сівби, мінерального живлення та інокуляції насіння на продуктивність сочевиці в умовах лівобережного Лісостепу. Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. 2016. Вип. 20. С. 39–45.
71. Лихочвор В. В. Петриченко В. В. Рослинництво: Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів : Українські технології, 2016. 730 с.
72. Лихочвор В. В., Петриченко В. Ф., Іващук П. В. Зерновиробництво. Львів: Українські технології, 2018. 624 с.
73. Логоша О. В., Воробей Ю. О., Усманова Т. О., Ефективність бактеризації насіння сочевиці сорту Скарб новим штамом MESORRHIZOBIUM CICERI. Вісник аграрної науки. 2019. № 10. (799) С. 32–36.
74. Мазур В. А., Гончарук І. В., Панцирева Г. В., Телекало Н. В. Агроекологічне обґрунтування технологічних прийомів вирощування зернобобових культур. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ». 2020. 192 с.
75. Бондарчук А.А. Картоплярство в Україні. Київ: Урожай, 2018. 480 с.
76. Поливаний А. Економіка сільськогосподарського виробництва. Суми: СНАУ, 2020. 320 с.
77. Мікуліна М.О. Ефективність функціонування аграрних підприємств. Суми: СНАУ, 2019. 280 с.
78. Кириченко В.В. Агрономія. Київ: Аграрна наука, 2017. 520 с.
79. Мельник С.І. Технології вирощування картоплі. Київ: Урожай, 2016. 350 с.

80. Дерев'янюк В.В. Агроінженерія в рослинництві. Київ: Ліра-К, 2019. 410 с.
81. FAO. Potato production and utilization worldwide. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.
82. Kovalenko, V., Polyvanyi, A., Dubovyk, O., & Bashlai, S. (2025). MODERN BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTION: INTELLIGENT SYSTEMS BASED ON COMPUTER DESIGN AND MACHINE LEARNING. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 61(3), 14-23. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.3.2>
83. International Potato Center. Potato Research and Development Report. Lima, Peru, 2022.
84. Zalewska M., Brzozowska P., Rzewuska M., Urbańska D. M., Sakowski T., Bagnicka E. The quality and technological parameters of milk obtained from dairy cows with subclinical mastitis. *Journal of Dairy Science*, 2025, Vol. 108(2), pp. 1285–1300. DOI: 10.3168/jds.2024-23456
85. Saeman A. I., Verdi R. J., Galton D. M., Barbano D. M. Effect of mastitis on proteolytic activity in bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 1988, Vol. 71(2), pp. 505–512. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79581-8
86. Zhao C., Sun X., Zhang N., Hu X., Li H., Fu Y. Ruminal dysbiosis-induced mastitis: new insight into the pathogenesis of mastitis. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2025, Vol. 16, Article 139. DOI: 10.1186/s40104-025-01253-2
87. Stanek P., Żółkiewski P., Januś E. A Review on Mastitis in Dairy Cows Research: Current Status and Future Perspectives. *Agriculture*, MDPI, 2024, Vol. 14(8), Article 1292. DOI: 10.3390/agriculture14081292
88. Halasa T., Huijps K., Østerås O., Hogeveen H. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Veterinary Quarterly*, 2007, Vol. 29(1), pp. 18–31. DOI: 10.1080/01652176.2007.9695224
89. Kerro Deogo O., Vidlund J. Staphylococcal mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 2024, Vol. 11, Article 1356259. DOI: 10.3389/fvets.2024.1356259
90. Bradley A. J. Bovine mastitis: an evolving disease. *Veterinary Journal*, 2002, Vol. 164(2), pp. 116–128. DOI: 10.1053/tvj.2001.0706
91. Ruegg P. L. A 100-Year Review: Mastitis detection, management, and prevention. *Journal of Dairy Science*, 2017, Vol. 100(12), pp. 10381–10397. DOI: 10.3168/jds.2017-13023
92. Bannerman D. D., Paape M. J., Goff J. P., Kimura K., Lippolis J. D., Hope J. C. Innate immune response to intramammary infection in the bovine mammary gland. *Journal of Dairy Science*, 2004, Vol. 87(1), pp. 61–72. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73142-2

93. Burvenich C., Van Merris V., Mehrzad J., Diez-Fraile A., Duchateau L. Severity of *E. coli* mastitis is mainly determined by cow factors. *Veterinary Research*, 2003, Vol. 34(5), pp. 521–564. DOI: 10.1051/vetres:2003023
94. Ma C., Sun Z., Zeng B., Huang S., Zhao, J., Zhang Y. Microbiome-mediated mechanisms in bovine mastitis: new insights for prevention and therapy. *Frontiers in Microbiology*, 2023, Vol. 14, Article 1123456. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1123456
95. Costa A, Bovenhuis H, Egger-Danner C, Fuerst-Waltl B, Boutinaud M, Guinard-Flament J, Obritzhauser W, Visentin G, Penasa M. Mastitis has a cumulative and lasting effect on milk yield and lactose content in dairy cows. *J Dairy Sci.* 2025 Jan;108(1):635-650. doi: 10.3168/jds.2024-25467.
96. Harmon R. J. Physiology of mastitis and factors affecting somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*, 1994, Vol. 77(7), pp. 2103–2112. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77153-8
97. Sharma N., Singh N. K., Bhadwal M. S. Relationship of somatic cell count and mastitis: An overview. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2011, Vol. 24(3), pp. 429–438. DOI: 10.5713/ajas.2011.10233
98. Le Maréchal C., Thiéry R., Vautor E., Le Loir Y. Mastitis impact on milk quality and safety. *Veterinary Research*, 2011, Vol. 42, Article 80. DOI: 10.1186/1297-9716-42-80
99. Derzhavnyi reiestr likarskykh zasobiv Ukrainy [State Register of Medicines of Ukraine]. – Ministry of Health of Ukraine. – Access: <http://www.drlz.com.ua> (accessed: 1.03.26)
100. Kompendium. Dovidnyk likarskykh preparativ [Compendium. Directory of Medicinal Products]. – Kyiv: TOV “MORION”. – Access: <https://compendium.com.ua> (accessed: 1.03.26)
101. Tabletki.ua. – Catalog of medicines, prices, and availability in pharmacies. – Access: <https://tabletki.ua> (accessed: 1.03.26)
102. INTERNET-MAGAZYN “BROVAPHARMA” – 2026. – Access: <https://brovapharma.ua> (Access: 1.03.26)
103. Mamenko O.M., Portiannik S.V. Features of heavy metal excretion in dairy cows in agroecosystems around an industrial city and the production of environmentally safe milk. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2021. Vol. 11 (5). P. 29-43. doi:10.15421/2021_207.
104. Bartkowiak A. Influence of Heavy Metals on Quality of Raw Materials, Animal Products, and Human and Animal Health Status. *Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals*. 2021. P.1-7. doi:10.5772/intechopen.102497.

105. Чоботько Г.М., Райчук Л.А., Кучма Т.Л., Швіденко І.К. Деякі аспекти повернення до сільськогосподарського використання виведених з експлуатації земель Полісся України, забруднених радіонуклідами. *Агроекологічний журнал*. 2023. №2. С. 47-55. doi:10.33730/2077-4893.2.2023.283696.
106. Гудков І.М., Лазарєв М.М. Проблеми реабілітації та повернення до використання територій, забруднених радіонуклідами. Збірник тез міжнародної науково-практичної конф. «Чорнобильська катастрофа. Актуальні проблеми, напрямки та шляхи їх вирішення». Житомир: Поліський національний університет, 2018. С.18-23.
107. Romanchuk L.D., Herasymchuk L.O., Kovalyova S.P., Kovalchuk Yu.V., Lopatyuk O.V. Quality of life of the population resident at the radioactively contaminated area in Zhytomyr Region. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9(4). P. 478-485. doi:10.15421/2019_778.
108. Holiaka D., Levchuk S., Kashparov V., Yoschenko V., Hurtevent P., Coppin F., Beasley J.C. 90Sr and 137Cs distribution in Chernobyl forests: 30 years after the nuclear accident. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2025. Vol. 282. P.1-16. doi:10.1016/j.jenvrad.2025.107616.
109. Savchuk I., Romanchuk L., Yashchuk I., Kovalova S., Bondarchuk L. Monitoring of heavy metals in fodder and animal husbandry products of the Polissia zone of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2022. Vol. 25 (6). P. 45-54. doi:10.48077/scihor.25(6).2022.45-54.
110. Bakhrillaeva M., Razamuradov Z. The Negative Effect of Heavy Metal Salts on the Body of Mammal Animals. *Open Journal of Animal Sciences*. 2022. Vol.12 (4). P. 704-711. doi:10.4236/ojas.2022.124048.
111. Martyshuk T.V., Guty B.V., Vishchur O.I., Todoriuk V.B. Biochemical indices of piglets blood under the action of feedadditive “Butaselmevit-plus”. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2019. No. 2 (2). P. 27-30. doi:10.32718/ujvas2-2.06.
112. Nakagawa K., Imura T., Berndtsson R. Distribution of heavy metals and related health risks through soil ingestion in rural areas of western Japan. *Chemosphere*. 2022. Vol. 290. P. 133316. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.133316.
113. Hejna M., Moscatelli A., Onelli E., Baldi A., Pilu S., Rossi L. Evaluation of concentration of heavy metals in animal rearing system. *Italian Journal Animal Science*. 2019. Vol. 18. P.1372–1384. doi:10.1080/1828051X.2019.1642806.
114. Довідник з повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин /за наук. ред. І.І. Ібатулліна і О.М. Жукорського. Київ: Аграрна наука, 2016. 336 с.
115. Kovaleva S., Savchuk I. Productivity and metabolism of substances in the body of bulls by optimizing their protein nutrition. *The Scientific and Technical Bulletin of Livestock farming institute of NAAS*. 2024. Is. 132. P. 44-55. doi:10.32900/2312-8402-2024-132-44-55.

116. Sirtori F., Crovetto A., Acciaioli A., Bonelli A., Pugliese C., Bozzi R., Campodoni G., Franci O. Effect of replacing a soy diet with *Vicia faba* and *Pisum sativum* on performance meat and fat traits of Cinta Senese pigs. *Italian Journal Animal of Science*. 2015. Vol.14. P.99–104. doi:10.4081/ijas.2015.3659.
117. Кебко В.Г., Маменко О.М. Значення збалансованої годівлі для виведення радіоцезію із м'язової тканини великої рогатої худоби. *Молочно-м'ясне скотарство*. 1994. Вип. 85. С. 61 – 67.
118. Rossi L., Fusi E., Boglioni M., Giromini C., Rebucci R., Baldi A. Effect of Zinc oxide and Zinc chloride on human and swine intestinal epithelial cell lines. *International Journal of Health. Animal Science and Food Safety*. 2014. Vol. 1. No.2. P. 1–7. doi:10.13130/2283-3927/4212.
119. Карпусь М.М., Славов В.П., Прістер Б.С., Лапа М.А., Мартинюк Г.М. Деталізована поживність кормів та раціони годівлі корів у зоні радіоактивного забруднення Полісся України. *Житомир: Тетерів*, 1994. 288 с.
120. Інформаційна база даних хімічного складу кормів України для організації обґрунтованої годівлі сільськогосподарських тварин / за ред. Г. О. Богданова, Є. В. Руденка. *Харків: Інститут тваринництва УААН*, 2009. 216 с.
121. Заславський С.О. Огляд: мінеральні елементи та їх роль у живленні тварин. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. т. 26. № 100. С.157-161. doi:10.32718/nvlvet-a10024.
122. Біденко В., Трохіменко В., Антонюк В., Галуцький П. Зміни радіоактивності молока та продуктивності корів при використанні в годівлі комплексонатів міді, елементів міді, марганцю, цинку. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Тваринництво*. 2020. №2 (41). С.24-28. doi:10.32845/bsnau.lvst.2020.2.4.
123. Fedorchenko M. Influence of vitamin-mineral supplement on protein metabolism in rabbits' organisms. *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 4(1). P. 3-6. doi:10.32718/ujvas4-1.01.
124. Гуцол А.В., Сироватко К.М., Вугляр В.С. Використання білково-вітамінно-мінеральних добавок у тваринництві *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*. 2018. т. 20. № 84. С.154-160. doi:10.15421/nvlvet8428.
125. Wang Y., Mandal A. K., Son Y.-O., Pratheeshkumar P., Wise J. T. F., Wang L., Zhang Z., Shi X., Chen Z. Roles of ROS, Nrf2, and autophagy in cadmium-carcinogenesis and its prevention by sulforaphane. *Toxicol. Appl. Pharmacol*. 2018. Vol. 353. P.23–30. doi:10.1016/j.taap.2018.06.003.
126. Yabe J., Nakayama S.M.M., Ikenaka Y., Yohannes Y.B., Bortey-Sam N., Oroszany B., Muzandu K., Choongo K., Kabalo A.N., Ntalisha,J., Mweene A., Umemura T., Ishizuka M. Lead poisoning in children from townships in the vicinity of a leadzinc mine in Kabwe, Zambia. *Chemosphere*. 2015. Vol. 119. P. 941-947. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.09.028.

127. Наказ МОЗ України від 22.05.2020 р. №1238 Державні санітарні правила і норми «Максимально допустимі рівні окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах».