
BIOLOGICAL BASIS OF INDUSTRIAL HEMP BREEDING IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Mishchenko Serhii

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-714-7-13>

INTRODUCTION

The global agricultural sector's shift towards sustainable development, renewable energy and “green” chemistry has led to a large-scale renaissance of industrial (non-psychotropic) hemp (*Cannabis sativa* L.). As a waste-free crop with high carbon sequestration potential, hemp is a source of high-quality fiber, vegetable protein, valuable oil and specific cannabinoid compounds of a non-psychotropic profile. The high potential for biological productivity combined with low requirements for the use of pesticides and chemical fertilizers makes this crop an important element of environmentally safe agricultural production.

The concept of sustainable development involves a harmonious combination of economic efficiency, environmental safety and social responsibility. Industrial hemp fully meets these principles thanks to its high biomass productivity, phytoremediation ability, low need for pesticides and versatility of product use¹.

The modern agricultural sector requires the creation of hemp varieties with pre-programmed biological properties by combining classical breeding and innovative genomic technologies.

The rapid development of molecular biology has opened up new opportunities for improving the breeding of industrial hemp. Unlike traditional methods based on phenotypic selection, modern biotechnology allows assessing the genotype of a plant regardless of growing conditions and stage of development².

One of the most promising areas is the use of molecular markers. The use of SSR, AFLP, ISSR, and SNP markers has made it possible to assess the level of genetic polymorphism of world cannabis collections,

¹ Amaducci S., Scordia D., Liu F. H., Zhang Q., Guo H., Testa G., Cosentino S. L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 68. P. 2–16. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.06.041

² Kovalchuk I., Pellino M., Rigault P. et al. The genomics of *Cannabis* and its close relatives. *Annual Review of Plant Biology*. 2020. Vol. 71. P. 713–739. DOI: 10.1146/annurev-arplant-081519-040203

establish the degree of relatedness between varieties, and identify sources of valuable traits³.

Special attention is paid to the genes of cannabinoid biosynthesis. After genome sequencing, it became possible to create markers closely linked to the CBDAS and THCAS genes, which significantly increased the efficiency of early selection of breeding material⁴.

The use of biotechnological methods in hemp breeding is becoming widespread⁵.

A promising direction is the use of genomic sequencing and transcriptomic analysis. The study of gene expression allows us to establish the mechanisms of resistance to abiotic stresses, growth regulation, cannabinoid accumulation and development of fibrous tissues. At the same time, the use of genetic editing methods (CRISPR/Cas9) in hemp breeding is still at an early stage. The main limitations remain insufficiently developed transformation systems and the complexity of plant regeneration after genome editing.

The success of creating modern high-yielding varieties is based on a deep understanding of the fundamental biological mechanisms of genetic determination of sex and stabilization of the sexual structure of monoecious hemp populations^{6, 7, 8}, the patterns of inheritance of the chemical chemotype and strict control of cannabinoid biosynthesis (with the prevention of exceeding the THC threshold^{9, 10, 11}, the architectonics of fibrous structures, improving the

³ Sawler J., Stout J. M., Gardner K. M. et al. The genetic structure of marijuana and hemp. PLoS ONE. 2015. Vol. 10. Iss. 8. Art. 0133292. DOI: 10.1371/journal.pone.0133292

⁴ Lavery K. U., Stout J. M., Sullivan M. J. et al. A physical and genetic map of *Cannabis sativa* identifies extensive rearrangements at the THC/CBD acid synthase loci. Genome Research. 2019. Vol. 29. Iss. 1. P. 146–156. DOI: 10.1101/gr.242594.118

⁵ Hesami M., Pepe M., Alizadeh M., Rakei A., Baiton A., Jones A. M. P. Recent advances in cannabis biotechnology. *Industrial Crops and Products*. 2020. Vol. 158. Art. 113026. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113026

⁶ Міщенко С. В. Генетичні детермінанти появи плоскості у статевій структурі популяцій однодомних конопель та основні шляхи її подолання. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5 (10). С. 76–90.

⁷ Міщенко С. В., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Ткаченко С. М. Генетичний контроль ознак однодомності *Cannabis sativa* L. у процесі інбридингу. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2022. Вип. 124. С. 85–91. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.124.12

⁸ Вировець В. Г., Лайко І. М., Кириченко Г. І. та ін. Ренесанс посівних конопель як результат успішної селекції. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 20. С. 368–372. DOI: 10.7124/FEEO.v20.796

⁹ Кириченко Г. І., Лайко І. М., Міщенко С. В. Аналіз колекційних зразків *Cannabis sativa* L. за вмістом канабіноїдних сполук і хемотипом. *Генетичні ресурси рослин*. 2019. № 25. С. 115–128. DOI: 10.36814/pgr.2019.25.09.

¹⁰ Міщенко С. В., Лайко І. М. Успадкування ознак вмісту канабіноїдних сполук гібридами промислових конопель та теорія її генетичної детермінації. *Achievements of Ukraine and the EU in Ecology, Biology, Chemistry, Geography and Agricultural Sciences* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2021. Vol. 2. P. 410–427. DOI: 10.30525/978-9934-26-086-5-32

¹¹ Mishchenko S. V. Phenotypic expression of cannabinoid presence and content upon self-pollination and directional selection in monoecious hemp. *Plant Breeding and Seed Production*. 2020. Vol. 118. P. 58–73. DOI: 10.30835/2413-7510.2020.222333

technological quality of bast fiber and bioenergetic value^{12, 13, 14, 15}, increasing plant tolerance to abiotic and biotic stresses under conditions of global climate change^{16, 17}.

This section of the monograph presents key points of the biological foundations of industrial hemp breeding, a number of fundamental genetic and breeding tasks that have been developed by the author over the last decade at the Institute of Bast Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine.

1. Genetic and selection control of sexual structure and heterosis

Modern monoecious hemp is characterized by sexual polymorphism – a transitional series of sexual types with masculinized and feminized habit and different ratios of male and female flowers in the inflorescence. The sex of hemp is a complex genetically (sex chromosome and autosome factors act) and epigenetically regulated system. The main problem of breeding monoecious industrial hemp remains genetic instability based on sex and population splitting with the emergence of an undesirable plane (male plants) and a gradual reversal to the evolutionarily formed dioeciousness.

Recently, many studies have been directed at the application of inbreeding methods, the creation of valuable self-pollinated lines on this basis, and the assessment of their combining ability in the topcross system, which allows for significant stabilization of the monoecious trait^{18, 19}. The use of self-pollination

¹² Міщенко С. В., Кмець І. Л. Мінливість анатомічної будови волокнистих структур на поперечному зрізі стебла різних зразків конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 112. С. 82–93. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.120425

¹³ Mishchenko S. Change of cells and layers sizes of hemp (*Cannabis sativa* L.) bast fibers in the synthetic breeding process. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. № 3. P. 255–264. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.255-264

¹⁴ Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лайко І. М. Новий сорт промислових конопель «Артеміда» універсального напрямку господарського використання з підвищеним умістом олії та поліпшеною якістю волокна. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17. № 1. С. 43–50. DOI: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228208

¹⁵ Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. та ін. Перспективні культури для біоенергетики України. *Аерарні інновації*. 2022. № 11. С. 5–15. DOI: 10.32848/agra.innov.2022.11.1

¹⁶ Міщенко С. В. Кліматично орієнтована селекція промислових конопель. *Climate-Smart Agriculture: Science and Practice* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 455–488. DOI: 10.30525/978-9934-26-389-7-22

¹⁷ Міщенко С. В. Генетичні, селекційні та біотехнологічні аспекти толерантності промислових конопель до абіотичних стресів. *Biological Sciences and Education in the Context of European Integration* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2024. P. 133–165. DOI: 10.30525/978-9934-26-443-6-7

¹⁸ Міщенко С. В. Ефекти загальної та варіанси специфічної комбінаційної здатності самозапиленних ліній і сортів конопель у системі топкросів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 62–67. DOI: 10.7124/FEEO.v21.808

¹⁹ Mishchenko S. V., Kabanets V. M., Kyrychenko H. I., Marchenko T. Y., Laiko H. M. Combinational ability of varieties and self-pollinated lines of industrial hemp for seed and oil use in the topcross system. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Vol. 21. Iss. 1. P. 39–45. DOI: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327500

(incrossing) allows for the elimination of undesirable recessive alleles and the consolidation of valuable economic traits^{20, 21}. Studies of inbreeding systems have shown that despite inbreeding depression for individual morphological traits, the creation of self-pollinated lines is a reliable tool for constructing synthetic populations and interlineage hybrids^{22, 23}. Assessment of the general (GCA) and specific (SCA) combining ability of self-pollinated lines and varieties in the topcross system showed the presence of a high heterosis effect in seed yield, oil yield and total biomass. Interlineal and linear-varietal hybrids demonstrate clear stability in seed and fiber productivity^{24, 25}.

In this case, one should take into account the epigenetic factor (in particular, the photoperiodic response), which is capable of modifying the manifestation of sex even in same-sex hybrids, but this requires strict selection control over phenotypic expression^{26, 27}.

The use of chemical gametocides and simultaneous antioxidant plant protection makes it possible to regulate male sterility, facilitating the production of interline and intervarietal hybrids with a high heterosis effect in terms of stem, fiber, seed yield, and oil content^{28, 29} (Fig. 1).

²⁰ Мигаль М. Д., Міщенко С. В., Лайко І. М. Інцухт і гетерозис конопель : монографія. Суми : ФОП Щербина І. В., 2020. 146 с.

²¹ Міщенко С. В., Кабанець В. М., Кириченко Г. І., Марченко Т. Ю., Мачульський Г. М. Особливості прояву ознак одностатевих конопель у процесі інбридингу та його використання в селекції. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2025. Т. 37. С. 29–34. DOI: 10.7124/FEE0.v37.1742

²² Mishchenko S. Comparative characteristics of line-variety and intervarietal hemp (*Cannabis sativa* L.) hybrids by productivity. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2017. № 1. P. 324–327. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.324-327

²³ Міщенко С. В., Лайко І. М. Можливості використання самозапильних ліній для створення синтетичних популяцій конопель. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 38–46. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).38-46

²⁴ Mishchenko S. Comparative characteristics of line-variety and intervarietal hemp (*Cannabis sativa* L.) hybrids by productivity. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2017. № 1. P. 324–327. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.324-327

²⁵ Міщенко С. В., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Ткаченко С. М. Рівень прояву та усадкування селекційних ознак у міжлінійних гібридів конопель насінневого та волокнистого напрямів використання. *Таврійський науковий вісник*. Серія «Сільськогосподарські науки». 2022. Вип. 125. С. 84–90. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.125.12

²⁶ Міщенко С. В. Епігенетично детермінована зміна статі у одностатевих гібридів конопель під впливом фотоперіоду. *Селекція і насінництво*. 2018. Вип. 113. С. 102–110. DOI: 10.30835/2413-7510.2018.134364

²⁷ Міщенко С. В. Статева структура конвергентних гібридів конопель. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 93–103. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-93-103

²⁸ Міщенко С. В., Лайко І. М. Вплив гаметоцидів на формування чоловічої стерильності та селекційних ознак одностатевих конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 111. С. 88–97. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.104890

²⁹ Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. Антиоксидантний захист *Cannabis sativa* L. від токсичної дії хімічних гаметоцидів. *Таврійський науковий вісник*. Серія «Сільськогосподарські науки». 2026. Вип. 149. Ч. 2. С. 36–42. DOI: 10.32782/2226-0099.2026.149.2.5

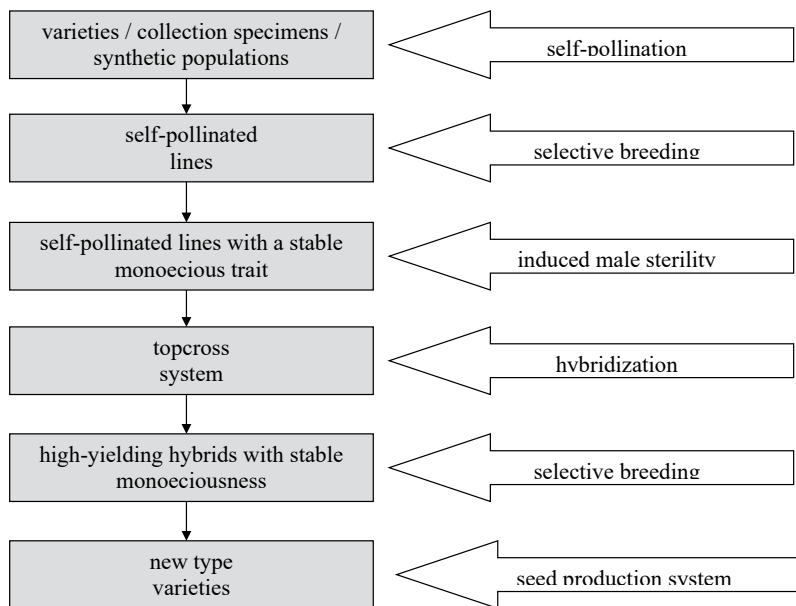


Fig. 1. Principle genetic and breeding model of stabilization of monoeciousness and implementation of heterosis in *Cannabis sativa* L. populations

The use of ascorbic acid and Si compounds between treatments with chemical gametocides contributed to the reduction of their suppressive effect, which was manifested in an increase in the number of formed seeds on mother plants by 17–21% and an increase in the yield of hybrid plants in the phase of biological ripeness by 5–11%. Their action is aimed at protecting the generative sphere of cannabis plants and supporting general metabolism under stressful conditions. The antioxidants used did not affect the level of male sterility, the stability of monoeciousness, the absence of tetrahydrocannabinol and the ratio of non-psychoactive cannabinoids, which confirms the safety of their use in terms of preserving the genetic characteristics of the original breeding material.

2. Genetic and biochemical foundations of breeding for cannabinoid profiles and other biochemical traits

Modern industrial hemp breeding imposes strict requirements on the content of psychotropic tetrahydrocannabinol (according to current Ukrainian legislation, it should not exceed 0.2%). At the same time, there is a growing

demand for varieties with high accumulation of non-psychotropic cannabinoids – cannabidiol (CBD) and cannabigerol (CBG)^{30, 31}.

The development of varieties with a high content of non-narcotic cannabinoids (CBD and CBG) against the background of the absence of Δ^9 -THC is a priority of the breeding direction. It allows obtaining high-value medical and cosmetic raw materials without the risk of improper use of crops.

The expression of the trait of cannabinoid content depends on cytoplasmic factors (to a large extent, high content is transmitted through the maternal line), i.e. they are inherited according to the nuclear-cytoplasmic type. The implementation of the genetic program in the phenotype regarding the synthesis of cannabinoids depends on environmental factors (air temperature, relative humidity, soil moisture and composition, mineral and organic nutrition regime, daylight hours, etc.).

The multi-vector nature of the dominance of the trait of high cannabinoid content (from positive overdominance to negative overdominance) and the continuous, quantitative variability of the trait of cannabinoid compounds content may hypothetically indicate the presence of polygenes that determine its manifestation and act by the type of cumulative polymerization. Despite the fact that the ratio of THC: CBD phenotype is consistent with a simple model of codominant alleles at one locus, it can be assumed that many linked loci for these genes are involved.

Among the common cannabinoids, CBD and THC are strongly correlated, with CBG being the least correlated with other compounds. The level of accumulation of some minor cannabinoids depends on the influence of many genetic and external factors, and different partial and multiple correlations have been established between them: CBDV is most closely related to CBD, CBN is related to THC, and the content of CBG has an impact on the formation of CBD and, especially, THC. It has been hypothesized that the CBG synthase gene is not located in an independent locus, in this case, a more complex genetic mechanism of cannabinoid synthesis determination operates, and the CBG synthase gene, for example, has several linked loci, in particular with the genes of CBDC synthase and, especially, THC synthase³².

³⁰ Міщенко С. В., Лайко І. М. Накопичення канабідіолу в онтогенезі рослин технічних (промислових) конопель. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14. № 4. С. 390–399. DOI: 10.21498/2518-1017.14.4.2018.151902

³¹ Mishchenko S. V., Laiko I. M., Kyrychenko H. I. Breeding of industrial hemp with a high content of cannabigerol by the case of 'Vik 2020' cultivar. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Vol. 17. № 2. P. 105–112. DOI: 10.21498/2518-1017.17.2.2021.236514

³² Міщенко С. В., Лайко І. М. Успадкування ознаки вмісту канабіноїдних сполук гібридами промислових конопель та теорія її генетичної детермінації. *Achievements of Ukraine and the EU in Ecology, Biology, Chemistry, Geography and Agricultural Sciences* : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2021. Vol. 2. P. 410–427. DOI: 10.30525/978-9934-26-086-5-32

Exogenous factors and growth regulators can modify the quantitative content of cannabinoids, but the qualitative chemotype remains a stable genetic marker³³. In plants of variety USO 31, ascorbic acid as an antioxidant, auxins and GA₃ significantly reduced the content of cannabinoids, whereas nicotinic acid and cytokinins increased it. As a result of triple exposure to nicotinic acid and BAP, changes in the descendants persisted and epigenetic effects were manifested. An additional method to increase the level of non-psychotropic cannabinoids may be treatment of vegetative plants with cytokinin BAP, which, in contrast to high concentrations of nicotinic acid, significantly increased the content of CBD and, to a lesser extent, THC. Such selection traits as stem total length, mass and fiber content, seed productivity and sex underwent the biggest changes. Different genotypes of hemp may have different reactions to phytohormones and their concentrations, which should be established in each case.

Analysis of the accumulation of cannabinoids in ontogenesis indicates the dependence of their biosynthetic activity not only on genetic factors, but also on the stage of growth and development and the anatomical functioning of glandular hairs (or trichomes)³⁴, which should be taken into account in the breeding process.

The biological basis for the selection of drug-free varieties is the study of allelic polymorphism of the cannabidiolic acid synthase (CBDAS) and tetrahydrocannabinolic acid synthase (THCAS) genes and other synthases^{35, 36}.

The final methodological scheme for creating genetically stable breeding material for industrial hemp for medicinal use is as follows (Fig. 2).

In parallel with its cannabinoid profile, hemp is valued as an important oilseed crop. The seeds contain up to 30–35% oil with an ideal ratio of omega-3 to omega-6 polyunsaturated fatty acids for human nutrition. The presence of significant intrapopulation variability allows selection for increased oil content in hemp seeds, an increase in the proportion

³³ Mishchenko S. V., Laiko I. M., Tkachenko S. M., Lavrynenko Y. O., Marchenko T. Y., Piliarska O. O. The influence of exogenous growth regulators on the cannabinoid content and the main selection traits of hemp (*Cannabis sativa* L. SSP. *sativa*). *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*. 2022. Vol. 67. № 3. P. 237–251. DOI: 10.2298/JAS2203237M

³⁴ Мигаль М. Д., Кмець І. Л., Міщенко С. В. Особливості функціонування секреторних структур конопель, пов'язаних з виділенням канабіноїдів. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5 (10). С. 91–101.

³⁵ De Meijer E. P. M., Bagatta M., Carboni A., Crucitti P., Moliterni V. M. C., Ranalli P., Mandolino G. The inheritance of chemical phenotype in *Cannabis sativa* L. *Genetics*. 2003. Vol. 163. № 1. P. 335–346. DOI: 10.1093/genetics/163.1.335

³⁶ Weiblen G. D., Wenger J. P., Craft K. J., ElSohly M. A., Mehmedic Z., Treiber E. L., Marks M. D. Gene duplication and divergence affecting drug content in *Cannabis sativa*. *New Phytologist*. 2015. Vol. 208. № 4. P. 1241–1250. DOI: 10.1111/nph.13562

of a particular polyunsaturated fatty acid, and an optimized Omega-3: Omega-6 ratio^{37, 38}.

**3. Anatomical and morphological differentiation of fiber
and *in vitro* technology**

The basis of hemp breeding for fiber is the stem architecture and the ratio between primary and secondary bast fibers. Primary fibers are characterized by a high cellulose content and low lignin levels, which makes them an ideal raw material for the textile industry, while secondary fibers are shorter and more woody. The fiber: wood ratio is closely related to the length of the plant's growing season. Selection of late-maturing or day-neutral genotypes allows for a longer vegetative phase, which significantly increases bast fiber yield and overall carbon sequestration.

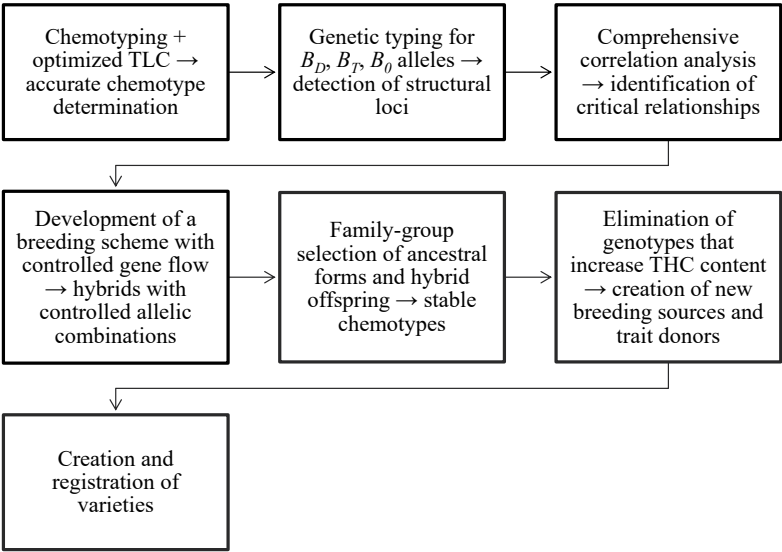


Fig. 2. Methodological scheme for creating genetically stable breeding material of industrial hemp for medicinal use

³⁷ Вировець В. Г., Лайко І. М., Кириченко Г. І. та ін. Збільшення вмісту олії як невідкладне завдання селекції конопель. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2018. Т. 23. С. 40–45. DOI: 10.7124/FEEO.v23.987

³⁸ Laiko I. M., Kobyzeva L. N., Mishchenko S. V., Kyrychenko H. I. Intra-population variability of oil content and fatty acid composition in modern hemp cultivars. *Plant Breeding and Seed Production*. 2022. Vol. 121. P. 20–27. DOI: 10.30835/2413-7510.2022.260990

The quality of bast fibers is determined by the structure of the elementary bast fiber cells (cell shape, number of layers of secondary sheaths, canal structure, etc.), primary and secondary bundles in the stem^{39, 40}. The selection process is aimed at increasing the size of bast cells and optimizing their location in the stem⁴¹.

An equally important element is the use of ionic forms of silicon, which stimulate the formation of elementary fibrous cells, strengthening the cell wall and increasing the technological properties of the raw material⁴².

Under the influence of Silicon in hemp varieties of different economic uses, the thickness of the layer of bast fibers on the cross-section of the stem, the size of the cells of elementary bast fibers and the thickness of their secondary membranes increased. The thickness of the fiber layer increased mainly due to the secondary fiber, i.e. Silicon activates the activity of the secondary forming tissue – cambium. The size of the cells increased due to the reduction of the channel and the thickening of the secondary membranes. An increase in the proportion of cells of isodiametric and oval shape with a convex contour and cells with a small channel was found, which indicates a structural reorganization of the fiber. To increase the content of total fiber in the stems, Si treatment is advisable to carry out during the period of intensive accumulation of secondary fiber, and to obtain higher-quality fiber – during the period of intensive accumulation of primary fiber.

To accelerate the breeding process, biotechnological methods have also been developed, including modification of nutrient media^{43, 44, 45},

³⁹ Міщенко С. В., Кмець І. Л. Мінливість анатомічної будови волокнистих структур на поперечному зрізі стебла різних зразків конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 112. С. 82–93. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.120425.

⁴⁰ Лайко І. М., Міщенко С. В. Селекційні особливості прояву ознак волокнистості конопель. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2024. Т. 35. С. 29–34. DOI: 10.7124/FEEO.v34.1654

⁴¹ Mishchenko S. Change of cells and layers sizes of hemp (*Cannabis sativa* L.) bast fibers in the synthetic breeding process. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. № 3. P. 255–264. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.255-264

⁴² Mishchenko S. V., Lavrynenko Y. O., Marchenko, T. Y., Kyrychenko H. I. The influence of ionic form of silicon on the formation of elementary fiber cells in *Cannabis sativa* L. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2026. Vol. 2. Iss. 1. P. 4–10. DOI: 10.21498/2518-1017.22.1.2026.357577

⁴³ Міщенко С. В. Ефективність розмноження *Cannabis sativa* L. з насіння з низькою схожістю та життєздатністю в умовах *in vitro*. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 100. Т. 2. С. 3–8.

⁴⁴ Міщенко С. В. Модифікація живильного середовища для культивування неспихотропних конопель (*Cannabis sativa* L.) середньоєвропейського еколого-географічного типу *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7 (12). С. 15–23. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).15-23

⁴⁵ Міщенко С. В. Методичні аспекти культивування конопель посівних *in vitro*: огляд. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2025. Т. 37. С. 173–178. DOI: 10.7124/FEEO.v37.1767

use of exogenous growth regulators^{46, 47, 48}, and induction of polyploidy⁴⁹ (Fig. 3).

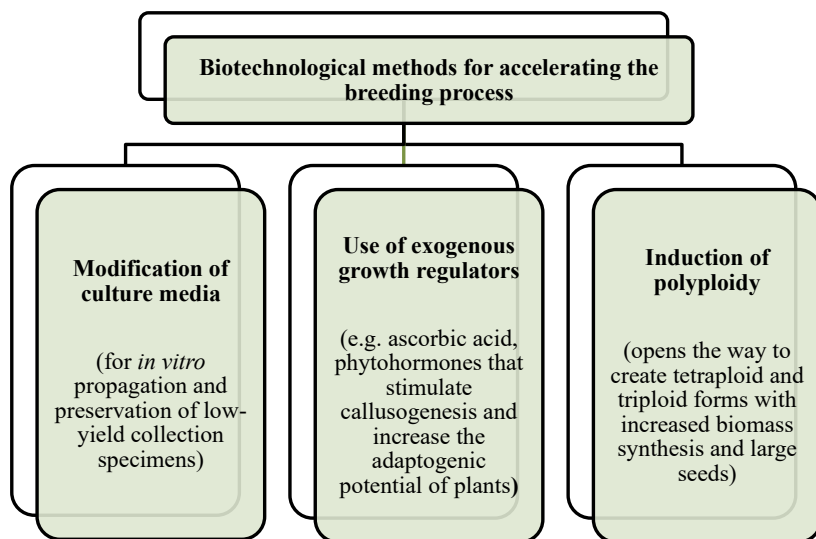


Fig. 3. Biotechnological methods involved in the breeding process with industrial hemp

4. Climate-oriented breeding of industrial hemp

In the context of global climate change, sustainable agricultural development requires the creation of varieties with high tolerance to adverse factors (drought,

⁴⁶ Міщенко С. В. Індукція калусогенезу в технічних (промислових) конопель в умовах *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 21–28. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).21-28

⁴⁷ Міщенко С. В. Вплив аскорбінової кислоти екзогенного походження на *Cannabis sativa* L. в умовах *in vitro* та *in vivo*. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2019. Вип. 26. С. 67–74.

⁴⁸ Mishchenko S. V., Laiko I. M., Tkachenko S. M., Lavrynenko Y. O., Marchenko T. Y. Piliarska O. O. The influence of exogenous growth regulators on the cannabinoid content and the main selection traits of hemp (*Cannabis sativa* L. SSP. *sativa*). *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*. 2022. Vol. 67. № 3. P. 237–251. DOI: 10.2298/JAS2203237M

⁴⁹ Міщенко С. В. Штучно індукована поліплоїдія у промислових конопель. *Modern Aspects of Natural Science Research in the Context of Sustainable Development of Society* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 2–27. DOI: 10.30525/978-9934-26-395-8-1

salinity, heavy metals, etc.)^{50, 51, 52}. Foreign studies indicate that hemp can be used for phytoremediation of contaminated soils, in particular with heavy metals^{53, 54}.

Selection of genotypes with a developed root system increases the efficiency of nitrogen and phosphorus assimilation, which allows minimizing the use of mineral fertilizers and significantly reduces the carbon footprint when growing this crop.

The approaches developed in recent years at the Institute of Bast Crops of the NAAS include:

1. Salt stress testing.

In vitro modeling of salinity allows for early screening of genotypes for salt tolerance^{55, 56}.

Overcoming abiotic stresses, in particular salt, in agricultural crops can be done in various ways (methods), the leading place among which is occupied by genetic selection. The resistance of plants to adverse environmental factors is genetically determined and manifests itself at different levels of life organization, in particular at the cellular and tissue levels. This makes it possible to use biotechnological methods to select tolerant (resistant) genotypes while reducing material costs in a relatively short period. In the developed method for *in vitro* selection of cannabis genotypes tolerant to salt stress, which includes cultivation of explants under conditions of stress factor directed against normal development and survival of unstable forms, selection of individual genotypes is carried out at the level of somaclones regenerated from calluses with the addition to the nutrient medium, depending on the type of salinity, of 0.25% NaCl or 0.75% MgCl₂ · 6H₂O for chloride salinity, 0.5% MgSO₄ · 7H₂O or 1.0% Na₂SO₄ for sulfate salinity, 0.15% Na₂CO₃ or 0.30% NaHCO₃ for carbonate

⁵⁰ Міщенко С. В. Кліматично орієнтована селекція промислових конопель. *Climate-Smart Agriculture: Science and Practice* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 455–488. DOI: 10.30525/978-9934-26-389-7-22

⁵¹ Міщенко С. В. Генетичні, селекційні та біотехнологічні аспекти толерантності промислових конопель до абіотичних стресів. *Biological Sciences and Education in the Context of European Integration* : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2024. P. 133–165. DOI: 10.30525/978-9934-26-443-6-7

⁵² Кабанець В. М., Михальська Л. М., Швартау В. В. та ін. Фітомеліоративні властивості рослин *Cannabis sativa* L. залежно від сортових особливостей культури. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Vol. 13. № 4. P. 423–428. DOI: 10.21498/2518-1017.13.4.2017.117752

⁵³ Linger P., Müssig J., Fischer H., Kobert J. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*. 2002. Vol. 16. № 1. P. 33–42. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00005-5

⁵⁴ Placido D. F., Lee C. C. Potential of industrial hemp for phytoremediation of heavy metals. *Plants*. 2022. Vol. 11. Iss. 5. Art. 595. DOI: 10.3390/plants11050595

⁵⁵ Міщенко С. В. Подолання сольового стресу *Cannabis sativa* L.: генетико-селекційний аспект. *Зрошуване землеробство*. 2024. Вип. 81. С. 44–49. DOI: 10.32848/0135-2369.2024.81.7

⁵⁶ Міщенко С. В. Схожість насіння *Cannabis sativa* L. за штучно змодельованого сольового стресу в культурі *in vitro*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2024. Т. 34. С. 193–198. DOI: 10.7124/FEEO.v34.1639

salinity. The use of the new method allows obtaining tolerant (resistant) to salt stress hemp starting material and accelerating the selection process.

2. Gametophytic selection for heat tolerance.

The dependence of thermotolerance of hybrids on genotype has been established, which allows for the formation of adaptive breeding programs⁵⁷.

The degree of heat resistance of industrial hemp hybrids depended on the genotypic characteristics of the parental forms. The effectiveness of the gametophytic selection method of heat-resistant hemp genotypes was confirmed, according to which the cultivation of mother plants and their pollination is carried out under fabric-film insulators under conditions of elevated air temperature of 40–50°C (selection of female gametes), chemical sterilization of male flowers – by double treatment with a 2.0% suspension of dibutyl phthalate in the BBCH 15 and BBCH 61 phases, pollination – with heated pollen at a temperature of 50–60 °C and exposure for 30–60 min (selection of male gametes), selection of resistant genotypes at the level of the seed embryo to elevated temperature – by warming the seeds at a temperature of 50 °C and exposure for 15–30 min, individual selection in hybrid generations – by a complex of valuable economic traits.

3. Ecological plasticity and phytoremediation.

The study of the soil microbiome during long-term cultivation of hemp monoculture proves the possibility of preserving soil biodiversity under optimal fertilization and agricultural techniques systems^{58, 59}.

CONCLUSIONS

A generalization of the methodological principles of industrial hemp breeding shows that the combination of a scientifically based seed production system aimed at preventing cross-pollination of different varieties and generations, mechanical removal of male plants (flathead) and reducing the frequency of mutation of monoecious alleles in the flathead allele, classical selection and hybridization for combining ability, genetic control of cannabinoids and biotechnological methods ensures the creation of high-yielding varieties with a minimal environmental footprint for bioenergy and industry.

⁵⁷ Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Марченко Т. Ю., Кривенко А. І., Пілярська О. О. Залежність жаростійкості гібридів промислових конопель від генотипу. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 167–172. DOI: 10.32848/agrar.innov.2024.23.25

⁵⁸ Мигаль М. Д., Лайко І. М., Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лайко Г. М., Бірюкова Т. С. Умови розвитку бур'янів, шкідників і хвороб у посіві монокультури конопель у залежності від удобрення. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 66–80. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).66-80

⁵⁹ Klishchova Z., de Abreu C. G., Laiko H., Primakov O., Mishchenko S., Dias E. S., Kyrylenko S., Pyro V. S. Soil microbiota of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) grown in a long-term monoculture. *Biotechnology for Environment*. 2026. Vol. 3. Article 11. DOI: 10.1186/s44314-026-00045-w

SUMMARY

This section of the monograph presents the key points of the biological foundations of industrial hemp breeding, a number of fundamental genetic and breeding tasks that have been developed in the last decade at the Institute of Bast Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. A generalization of the methodological principles of industrial hemp breeding shows that the combination of a scientifically sound seed production system aimed at preventing cross-pollination of different varieties and generations, mechanical removal of male plants (flat plants) and reducing the frequency of mutation of monoecious alleles in the flat plant allele, classical selection and hybridization for combining ability, genetic control of cannabinoids and biotechnological methods ensures the creation of high-yielding varieties.

Bibliography

1. Amaducci S., Scordia D., Liu F. H., Zhang Q., Guo H., Testa G., Cosentino S. L. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 68. P. 2–16. DOI: 10.1016/j.indcrop.2014.06.041
2. Kovalchuk I., Pellino M., Rigault P. et al. The genomics of *Cannabis* and its close relatives. *Annual Review of Plant Biology*. 2020. Vol. 71. P. 713–739. DOI: 10.1146/annurev-arplant-081519-040203
3. Sawler J., Stout J. M., Gardner K. M. et al. The genetic structure of marijuana and hemp. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10. Iss. 8. Art. 0133292. DOI: 10.1371/journal.pone.0133292
4. Lavery K. U., Stout J. M., Sullivan M. J. et al. A physical and genetic map of *Cannabis sativa* identifies extensive rearrangements at the THC/CBD acid synthase loci. *Genome Research*. 2019. Vol. 29. Iss. 1. P. 146–156. DOI: 10.1101/gr.242594.118
5. Hesami M., Pepe M., Alizadeh M., Rakei A., Baiton A., Jones A. M. P. Recent advances in cannabis biotechnology. *Industrial Crops and Products*. Vol. 158. 2020. Art. 113026. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113026
6. Міщенко С. В. Генетичні детермінанти появи плосконі у статевій структурі популяцій однодомних конопель та основні шляхи її подолання. *Луб'яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5 (10). С. 76–90.
7. Міщенко С. В., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Ткаченко С. М. Генетичний контроль ознаки однодомності *Cannabis sativa* L. в процесі інбридингу. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2022. Вип. 124. С. 85–91. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.124.12

8. Вировець В. Г., Лайко І. М., Кириченко Г. І. та ін. Ренесанс посівних конопель як результат успішної селекції. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 20. С. 368–372. DOI: 10.7124/FEEEO.v20.796
9. Кириченко Г. І., Лайко І. М., Міщенко С. В. Аналіз колекційних зразків *Cannabis sativa* L. за вмістом канабіноїдних сполук і хемотипом. *Генетичні ресурси рослин*. 2019. № 25. С. 115–128. DOI: 10.36814/pgr.2019.25.09
10. Міщенко С. В., Лайко І. М. Успадкування ознаки вмісту канабіноїдних сполук гібридами промислових конопель та теорія її генетичної детермінації. *Achievements of Ukraine and the EU in Ecology, Biology, Chemistry, Geography and Agricultural Sciences : Collective monograph*. Riga : Baltija Publishing, 2021. Vol. 2. P. 410–427. DOI: 10.30525/978-9934-26-086-5-32
11. Mishchenko S. V. Phenotypic expression of cannabinoid presence and content upon self-pollination and directional selection in monoecious hemp. *Plant Breeding and Seed Production*. 2020. Vol. 118. P. 58–73. DOI: 10.30835/2413-7510.2020.222333
12. Міщенко С. В., Кмець І. Л. Мінливість анатомічної будови волокнистих структур на поперечному зрізі стебла різних зразків конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 112. С. 82–93. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.120425
13. Mishchenko S. Change of cells and layers sizes of hemp (*Cannabis sativa* L.) bast fibers in the synthetic breeding process. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. № 3. P. 255–264. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.255-264
14. Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лайко І. М. Новий сорт промислових конопель «Артеміда» універсального напрямку господарського використання з підвищеним умістом олії та поліпшеною якістю волокна. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17. № 1. С. 43–50. DOI: 10.21498/2518-1017.17.1.2021.228208
15. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. та ін. Перспективні культури для біоенергетики України. *Аграрні інновації*. 2022. № 11. С. 5–15. DOI: 10.32848/agrar.innov.2022.11.1
16. Міщенко С. В. Кліматично орієнтована селекція промислових конопель. *Climate-Smart Agriculture: Science and Practice : Scientific monograph*. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 455–488. DOI: 10.30525/978-9934-26-389-7-22
17. Міщенко С. В. Генетичні, селекційні та біотехнологічні аспекти толерантності промислових конопель до абіотичних стресів. *Biological Sciences and Education in the Context of European Integration :*

Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2024. P. 133–165. DOI: 10.30525/978-9934-26-443-6-7

18. Міщенко С. В. Ефекти загальної та варіанси специфічної комбінаційної здатності самозапиленних ліній і сортів конопель у системі топкросів. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2017. Т. 21. С. 62–67. DOI: 10.7124/FEEO.v21.808

19. Mishchenko S. V., Kabanets V. M., Kyrychenko H. I., Marchenko T. Y., Laiko H. M. Combinational ability of varieties and self-pollinated lines of industrial hemp for seed and oil use in the topcross system. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2025. Vol. 21. Iss. 1. P. 39–45. DOI: 10.21498/2518-1017.21.1.2025.327500

20. Мигаль М. Д., Міщенко С. В., Лайко І. М. Інцухт і гетерозис конопель : монографія. Суми : ФОП Щербина І. В., 2020. 146 с.

21. Міщенко С. В., Кабанець В. М., Кириченко Г. І., Марченко Т. Ю., Мачульський Г. М. Особливості прояву ознак однодомних конопель в процесі інбридингу та його використання в селекції. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2025. Т. 37. С. 29–34. DOI: 10.7124/FEEO.v37.1742

22. Mishchenko S. Comparative characteristics of line-variety and intervarietal hemp (*Cannabis sativa* L.) hybrids by productivity. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2017. № 1. P. 324–327. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2017.2585-8246.324-327

23. Міщенко С. В., Лайко І. М. Можливості використання самозапиленних ліній для створення синтетичних популяцій конопель. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 38–46. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).38-46

24. Міщенко С. В., Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Ткаченко С. М. Рівень прояву та успадкування селекційних ознак у міжлінійних гібридів конопель насінневого та волокнистого напрямів використання. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2022. Вип. 125. С. 84–90. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.125.12

25. Міщенко С. В. Епігенетично детермінована зміна статі у одностатевих гібридів конопель під впливом фотоперіоду. *Селекція і насінництво*. 2018. Вип. 113. С. 102–110. DOI: 10.30835/2413-7510.2018.134364

26. Міщенко С. В. Статева структура конвергентних гібридів конопель. *Агробіологія*. 2021. № 1. С. 93–103. DOI: 10.33245/2310-9270-2021-163-1-93-103

27. Міщенко С. В., Лайко І. М. Вплив гаметоцидів на формування чоловічої стерильності та селекційних ознак однодомних конопель. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 111. С. 88–97. DOI: 10.30835/2413-7510.2017.104890

28. Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю. Антиоксидантний захист *Cannabis sativa* L. від токсичної дії хімічних гаметоцидів. *Таврійський науковий вісник. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2026. Вип. 149, Ч. 2. С. 36–42. DOI: 10.32782/2226-0099.2026.149.2.5
29. Міщенко С. В., Лайко І. М. Накопичення канабідіолу в онтогенезі рослин технічних (промислових) конопель. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14. № 4. С. 390–399. DOI: 10.21498/2518-1017.14.4.2018.151902
30. Mishchenko S. V., Laiko I. M., Kyrychenko H. I. Breeding of industrial hemp with a high content of cannabigerol by the case of “Vik 2020” cultivar. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Vol. 17. № 2. P. 105–112. DOI: 10.21498/2518-1017.17.2.2021.236514
31. Mishchenko S. V., Laiko I. M., Tkachenko S. M., Lavrynenko Y. O., Marchenko T. Y., Piliarska O. O. The influence of exogenous growth regulators on the cannabinoid content and the main selection traits of hemp (*Cannabis sativa* L. SSP. *sativa*). *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*. 2022. Vol. 67. № 3. P. 237–251. DOI: 10.2298/JAS2203237M
32. Мигаль М. Д., Кмець І. Л., Міщенко С. В. Особливості функціонування секреторних структур конопель, пов’язаних з виділенням канабіноїдів. *Луб’яні та технічні культури*. 2017. Вип. 5 (10). С. 91–101.
33. De Meijer E. P. M., Bagatta M., Carboni A., Crucitti P., Moliterni V. M. C., Ranalli P., Mandolino G. The inheritance of chemical phenotype in *Cannabis sativa* L. *Genetics*. 2003. Vol. 163. № 1. P. 335–346. DOI: 10.1093/genetics/163.1.335
34. Weiblen G. D., Wenger J. P., Craft K. J., ElSohly M. A., Mehmedic Z., Treiber E. L., Marks M. D. Gene duplication and divergence affecting drug content in *Cannabis sativa*. *New Phytologist*. 2015. Vol. 208. № 4. P. 1241–1250. DOI: 10.1111/nph.13562
35. Вировець В. Г., Лайко І. М., Кириченко Г. І. та ін. Збільшення вмісту олії як невідкладне завдання селекції конопель. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2018. Т. 23. С. 40–45. DOI: 10.7124/FEEO.v23.987
36. Laiko I. M., Kobzyeva L. N., Mishchenko S. V., Kyrychenko H. I. Intra-population variability of oil content and fatty acid composition in modern hemp cultivars. *Plant Breeding and Seed Production*. 2022. Vol. 121. P. 20–27. DOI: 10.30835/2413-7510.2022.260990
37. Лайко І. М., Міщенко С. В. Селекційні особливості прояву ознак волокнистості конопель. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2024. Т. 35. С. 29–34. DOI: 10.7124/FEEO.v34.1654

38. Mishchenko S. V., Lavrynenko Y. O., Marchenko, T. Y., Kyrychenko H. I. The influence of ionic form of silicon on the formation of elementary fiber cells in *Cannabis sativa* L. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2026. Vol. 22. Iss. 1. P. 4–10. DOI: 10.21498/2518-1017.22.1.2026.357577
39. Міщенко С. В. Ефективність розмноження *Cannabis sativa* L. з насіння з низькою схожістю та життєздатністю в умовах *in vitro*. *Таврійський науковий вісник*. 2018. Вип. 100. Т. 2. С. 3–8.
40. Міщенко С. В. Модифікація живильного середовища для культивування непсихотропних конопель (*Cannabis sativa* L.) середньоевропейського еколого-географічного типу *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2019. Вип. 7 (12). С. 15–23. DOI: 10.48096/btc.2019.7(12).15-23
41. Міщенко С. В. Методичні аспекти культивування конопель посівних *in vitro* : огляд. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2025. Т. 37. С. 173–178. DOI: 10.7124/FEEO.v37.1767
42. Міщенко С. В. Індукція калусогенезу в технічних (промислових) конопель в умовах *in vitro*. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 21–28. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).21-28
43. Міщенко С. В. Вплив аскорбінової кислоти екзогенного походження на *Cannabis sativa* L. в умовах *in vitro* та *in vivo*. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2019. Вип. 26. С. 67–74.
44. Міщенко С. В. Штучно індукована поліплоїдія у промислових конопель. *Modern Aspects of Natural Science Research in the Context of Sustainable Development of Society : Scientific monograph*. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 2–27. DOI: 10.30525/978-9934-26-395-8-1
45. Кабанець В. М., Михальська Л. М., Швартау В. В. та ін. Фітомеліоративні властивості рослин *Cannabis sativa* L. залежно від сортових особливостей культури. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Vol. 13. № 4. P. 423–428. DOI: 10.21498/2518-1017.13.4.2017.117752
46. Linger P., Müssig J., Fischer H., Kobert J. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*. 2002. Vol. 16. № 1. P. 33–42. DOI: 10.1016/S0926-6690(02)00005-5
47. Placido D. F., Lee C. C. Potential of industrial hemp for phytoremediation of heavy metals. *Plants*. 2022. Vol. 11. Iss. 5. Art. 595. DOI: 10.3390/plants11050595
48. Міщенко С. В. Подолання сольового стресу *Cannabis sativa* L.: генетико-селекційний аспект. *Зрошуване землеробство*. 2024. Вип. 81. С. 44–49. DOI: 10.32848/0135-2369.2024.81.7

49. Міщенко С. В. Схожість насіння *Cannabis sativa* L. за штучно змодельованого сольового стресу в культурі *in vitro*. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2024. Т. 34. С. 193–198. DOI: 10.7124/FEEEO.v34.1639

50. Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Марченко Т. Ю., Кривенко А. І., Пілярська О. О. Залежність жаростійкості гібридів промислових конопель від генотипу. *Аграрні інновації*. 2024. № 23. С. 167–172. DOI: 10.32848/ agrar.innov.2024.23.25

51. Мигаль М. Д., Лайко І. М., Міщенко С. В., Кириченко Г. І., Лайко Г. М., Бірюкова Т. С. Умови розвитку бур'янів, шкідників і хвороб у посіві монокультури конопель у залежності від удобрення. *Луб'яні та технічні культури*. 2018. Вип. 6 (11). С. 66–80. DOI: 10.48096/btc.2018.6(11).66-80

52. Klishchova Z., de Abreu C. G., Laiko H., Primakov O., Mishchenko S., Dias E. S., Kyrylenko S., Pylro V. S. Soil microbiota of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) grown in a long-term monoculture. *Biotechnology for Environment*. 2026. Vol. 3. Article 11. <https://doi.org/10.1186/s44314-026-00045-w>

Information about the author:

Mishchenko Serhii,

Doctor of Agricultural Sciences,

Associate Professor at the Department of Biology,

Human Health and Teaching Methods

Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University

24, Kyivska Street, Hlukhiv, Ukraine;

Chief Researcher at the Department of Hemp Breeding and Seed Growing

Institute of Bast Crops of the National Academy

of Agrarian Sciences of Ukraine

45, Tereshchenkov Street, Hlukhiv, Ukraine