

# BIOLOGICAL SCIENCES

## USE OF IVIN, METHYUR, KAMETHUR AND MICROFERTILIZERS TO IMPROVE THE GROWTH OF OILSEED FLAX (*LINUM USITATISSIMUM* L.)

Tsygankova V.A.,  
Andreev A.M.,  
Andrusevich Ya.V.,  
Kopich V.M.,  
Klyuchko S.V.,  
Pilyo S.G.,  
Brovarets V.S.

*Department for Chemistry of Bioactive Nitrogen-Containing Heterocyclic Compounds, V.P. Kukhar Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, 1, Academician Kukhar str., 02094, Kyiv-94, Ukraine*

## ВИКОРИСТАННЯ ІВІНУ, МЕТІУРУ, КАМЕТУРУ ТА МІКРОДОБРІВ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ РОСТУ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО (*LINUM USITATISSIMUM* L.)

Циганкова В.А.  
Андрєєв А.М.  
Андрусевич Я.В.  
Копіч В.М.  
Ключко С.В.  
Пільо С.Г.  
Броварець В.С.

*Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України, відділ №2 хімії біоактивних азотомісних гетероциклічних основ, вул. Академіка Кухаря, 1, м. Київ-94, 02094, Україна*

### Abstract

The article is devoted to the development of new environmentally friendly growth regulators of an important technical crop – oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.) of the cultivar Iceberg based on synthetic compounds, derivatives of N-oxide-2,6-dimethylpyridine (Ivin), 6-methyl-2-mercapto-4-hydroxypyrimidine sodium and potassium salts (Methyur and Kamethur). The effect of synthetic plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur used separately or in complex with microfertilizers Rostok Extra and Radix Tim forte+ on the growth of oilseed flax of the cultivar Iceberg during the vegetative period was investigated. The stimulatory effect of synthetic plant growth regulators and microfertilizers on improving the growth indicators of oilseed flax of the cultivar Iceberg under the conditions of their separate use or complex use was established. The activity of the synthetic plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur under the conditions of their separate use or complex use with microfertilizers was similar to or exceeded the activity of the phytohormone auxin IAA (1H-indole-3-acetic acid). The highest values of average length of shoots (cm) and average length of roots (cm) of oilseed flax of the cultivar Iceberg were obtained under conditions of separate use of synthetic plant growth regulators Methyur and Kamethur, or microfertilizers Rostok Extra and Radix Tim forte+, as well as under conditions of complex use of synthetic plant growth regulators with microfertilizers: Ivin+Radix Tim forte+, Methyur+Rostok Extra, Methyur + Radix Tim forte+, Kamethur+Rostok Extra, Kamethur+ Radix Tim forte+.

### Анотація

Стаття присвячена розробці нових екологічно безпечних регуляторів росту важливої технічної культури – льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) сорту Айсберг на основі синтетичних сполук, похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої та калієвої солей (Метіур і Каметур). Досліджено вплив синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру, застосованих окремо або в комбінації з мікродобривами Росток Екстра та Radix Tim forte+ на ріст льону олійного сорту Айсберг протягом періоду вегетації. Встановлено стимулюючий вплив синтетичних регуляторів росту рослин та мікродобрив на поліпшення ростових показників льону олійного сорту Айсберг за умов їх окремого застосування або в комплексі. Активність синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру за умов їх окремого або комплексного застосування із мікродобривами була подібною, або перевищувала активність фітогормону ауксину ІОК (1H-індол-3-оцтова кислота). Найвищі показники середньої довжини пагонів (см) та середньої довжини коренів (см) льону олійного сорту Айсберг отримані за умов окремого застосування регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру, або мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+, а також за умов комплексного застосування синтетичних регуляторів

росту рослин із мікродобривами: Івін+Radix Tim forte+, Metiyp+Росток Екстра, Metiyp+ Radix Tim forte+, Каметур+Росток Екстра, Каметур+ Radix Tim forte+.

**Keywords:** oilseed flax (*Linum usitatissimum* L.), Ivin, Methyur, Kamethur, Rostok Extra, Radix Tim forte+.

**Ключові слова:** льон олійний (*Linum usitatissimum* L.), Івін, Метіур, Каметур, Росток Екстра, Radix Tim forte+.

**Вступ.** Льон олійний (*Linum usitatissimum* L.) є важливою технічною культурою [1 - 5]. Насіння льону за основним складом містить близько 41 - 49 % жиру, 20 - 31% білка, 28 % харчового волокна, 7,7 % вологи і 3,4 % золи, а також різноманітні біоактивні сполуки, до яких належать ціаногенні глікози, фітинову кислоту, фенольні сполуки, інгібітор трипсину, лінатин, лігнани (фітоестрогени), мінерали, вітаміни, кадмій, селен і цикло-ліпопептиди (ЦЛ) [2, 3, 5]. Основними складовими білкових компонентів насіння льону є амінокислоти, такі як аргінін, аспарагінова кислота та глутамінова кислота [2, 3, 5].

Олія насіння льону використовується в фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловостях як джерело омега-3 жирної кислоти – альфа-ліноленової кислоти (ALA), на частку якої припадає понад 50 % загального вмісту жирних кислот олії [1 - 5]. Основними компонентами олії насіння льону є триацилгліцериди, які містять суміш ненасичених та насичених жирних кислот: ліноленову (52 %), лінолеву (17 %), олеїнову (20 %), пальмітинову (6 %) та стеаринову (4 %) кислоти, міnorні ліпіди та жиророзчинні сполуки, які включають: моноацилгліцериди, діацилгліцериди, токоферолі, стерини, стеринові ефіри, фосфоліпіди, воски, вільні жирні кислоти (ВЖК), каротиноїди, хлорофіл та інші сполуки [3, 5]. Насьогодні олія насіння льону широко використовується в клінічній практиці для профілактики і лікування серцево-судинних захворювань, оскільки має антиоксидантну дію і знижує загальний рівень холестерину, тригліцеридів (ТГ) і холестерин ліпопротеїдів низької щільності (ХС-ЛПНЩ) без значного зниження холестерин ліпопротеїдів високої щільності (ХС-ЛПВЩ) в плазмі крові [1 - 5]. Крім того, олія насіння льону володіє ще одним корисним ефектом, обумовленим наявністю компонента альфа-ліноленової кислоти (ALA), яка бере участь у біосинтезі гормоноподібних ейкозаноїдів, що регулюють запалення і імунну функцію у вищих тварин [3, 5]. Широке використання дієтичного харчування, доповненого олією насіння льону, запобігає різним захворюванням, таким як рак, артрит, атеросклероз, діабет, депресія, хвороби серця, гіпертонія, порушення пам'яті, збільшення ваги, алергії, ниркові розлади та вовчаковий нефрит, запальні захворювання [1, 5, 6].

Олію насіння льону використовують також як сировину у інших галузях: у лакофарбовій промисловості для виготовлення натуральної оліфи, лаків, емалей та фарб, електротехнічній, автомобільній, суднобудівній промисловостях, а також у миловарінні. Шрот насіння льону олійного, який містить близько 35 - 40 % білка та 3 - 4 % жиру, застосовується як корм для тварин [1].

Льняне волокно, що складає до 70 % стебла, є одним із самих міцних рослинних волокон. Рівень полімеризації целюлози льняного волокна у 2 - 3 рази вищий, ніж у бавовни, тому воно більш міцне до розриву, більш стійке до впливу світла та високих температур [1, 2, 7]. Льняне волокно високо гігроскопічне, а також має електропровідність, яка майже на 20 % вища, ніж у бавовни. Завдяки цим властивостям льняне волокно застосовується в текстильній промисловості для виробництва грубих тканин і шпагату, в медичній промисловості для виготовлення біорозкладних біокомпозитів як нових медичних полімерів, будівельній, автомобільній та інш. промисловостях для виготовлення екологічно чистих біокомпозиційних матеріалів [1, 2, 7]. Після вилучення луб'яного волокна зі стебла льону, 80 % волокна, що залишилось, використовується як сировина для отримання целюлози для виробництва паперу [1].

Поліпшення росту та підвищення врожайності важливої технічної культури – льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) при зменшенні використання екологічно токсичних пестицидів є актуальним завданням сучасного сільського господарства. Площа вирощування цієї культури по всьому світу становить 6 млн га, середня світова урожайність становить 5 - 6 ц/га, а в Україні сягає більше 10 ц/га. Мінеральні добрива, до складу яких входять макроеlementи (N, P, K), використовуються при вирощуванні льону для підтримки рівня родючості ґрунту [4].

В останні роки значна увага приділяється розробці нових екологічно чистих регуляторів росту рослин льону на основі синтетичних низькомолекулярних гетероциклічних сполук, похідних піридину, піримідину, піразолу та ізофлавоноїдів [5]. В Інституті біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України розроблено нові ефективні та екологічно безпечні регулятори росту рослин на основі синтетичних сполук, похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіридину натрієвої та калієвої солей (Метіур і Каметур). У проведених нами раніше дослідженнях встановлено, що застосування синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру окремо або в комплексі з мікродобривами Росток Екстра виробництва ТОВ «Український Аграрний Ресурс» та Radix Tim forte+ виробництва компанії «Forcgor», Іспанія, покращує ріст зернових, зернобобових і технічних культур, підвищує їх урожайність та адаптивні властивості до стресових факторів [8 - 12]. Завдяки використанню регуляторів росту рослин на основі синтетичних сполук, похідних піридину та піримідину та їх комплексів з мікродобривами можна буде поліпшити ріст та розвиток

рослин, підвищити їх урожайність, зменшити використання екологічно токсичних пестицидів для захисту рослин та покращити екологічний стан усієї системи землеробства.

Грунтуючись на даних проведених раніше досліджень, метою даної роботи є вивчення впливу синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру, застосованих окремо або в комбінації з мікродобривами Росток Екстра та Radix Tim forte+ на ріст рослин льону олійного (*Linum*

*usitatissimum* L.) сорту *Айсберг* протягом періоду вегетації у лабораторних умовах.

**Матеріали та методи.** Хімічні формули та відносні молекулярні маси регуляторів росту рослин, створених на основі похідних N-оксид-2,6-диметилпіридину (Івін), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину натрієвої солі (Метіур), 6-метил-2-меркапто-4-гідроксипіримідину калієвої солі (Каметур) представлено на рис. 1.

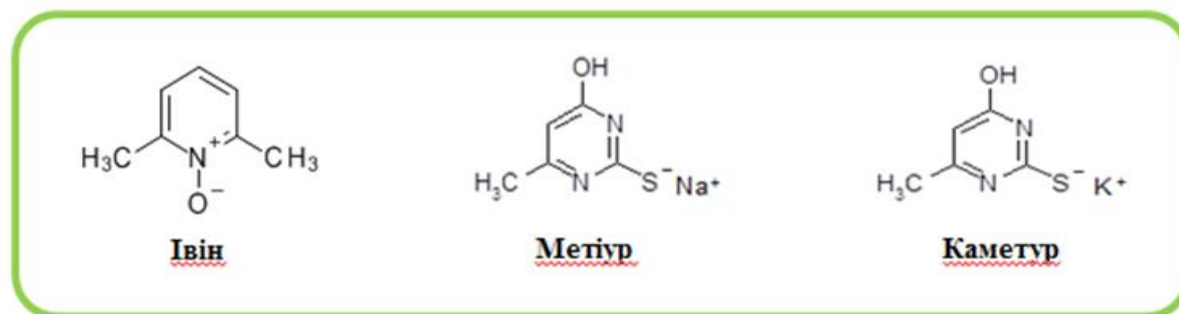


Рисунок 1. Хімічні формули та відносні молекулярні маси регуляторів росту рослин Івіну (ММ=125,17), Метіуру (ММ=165,17) та Каметуру (ММ=181,28)

Склади мікродобрив Росток Екстра виробництва ТОВ «Український Аграрний Ресурс», Radix Tim forte+ виробництва компанії «Forcgor», Іспанія, та рекомендації щодо їх практичного застосування наведені в нашій раніше опублікованій роботі [10].

Проводили вивчення регуляторного впливу синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру та мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+ на ріст рослин льону олійного сорту *Айсберг* протягом періоду вегетації у лабораторних умовах. Рістрегулюючи активність синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру, Каметуру та мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+ порівнювали з активністю фітогормону ауксину ІОК (1Н-індол-3-оцтова кислота), ММ=175,19.

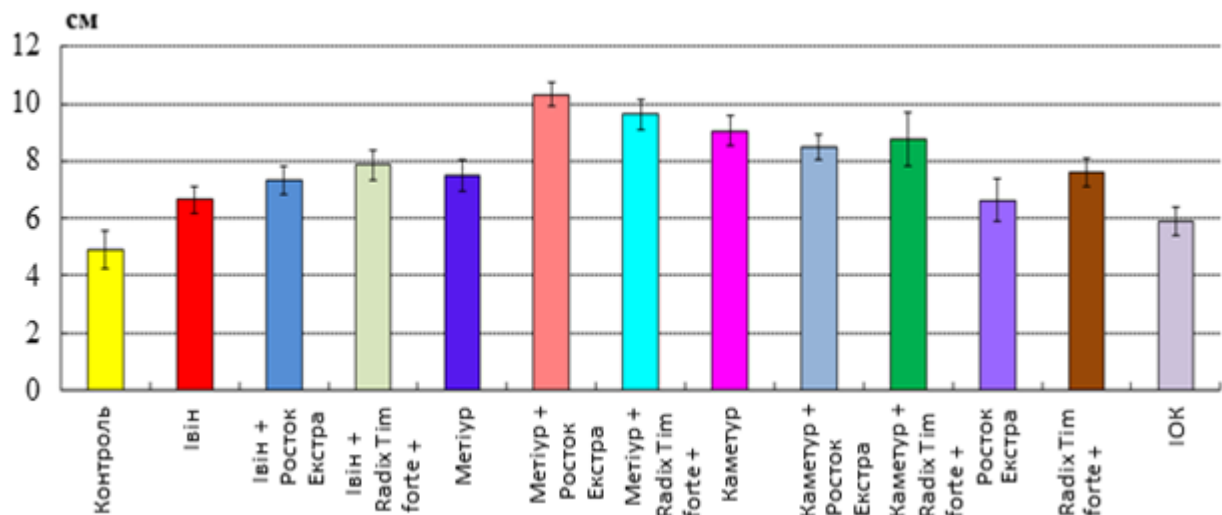
З цієї метою насіння льону олійного сорту *Айсберг* обробляли розчинами регуляторів росту рослин: Івіном, Метіуrom, Каметуrom (концентрація розчину  $10^{-7}$ М), або розчинами мікродобрив: Росток Екстра (концентрація розчину 100 мл на 1 л води) та Radix Tim forte+ (концентрація розчину 50 мл на 1 л води), або комплексами регуляторів росту рослин з мікродобривами, використаних у зазначених концентраціях, або ауксином ІОК (концентрація розчину  $10^{-7}$ М) (дослід). Контрольне насіння льону олійного сорту *Айсберг* було оброблене дистильованою водою. Насіння пророщували в термостаті за температури 20-22°C протягом 48 год. Надалі рослини льону олійного сорту *Айсберг* вирощували в кліматичній камері зі світлотемновим

режимом 16/8 годин, температурою 20-22°C, освітленістю 3000 лк, вологістю повітря 60-80 % протягом 3 тижнів.

Параметри росту рослин льону олійного сорту *Айсберг* (середня довжина пагонів і коренів (см)) вимірювали за методикою, наведеною в посібнику [13]. Статистичну обробку даних дослідів, проведених у трьох повторностях, проводили за дисперсійним критерієм Стюдента з рівнем значущості  $P \leq 0,05$ ; значення є середніми  $\pm$  SD.

**Результати та обговорення.** Проведені дослідження показали вплив синтетичних регуляторів росту рослин та мікродобрив на поліпшення ростових показників рослин льону олійного сорту *Айсберг* (середня довжина пагонів і коренів (см)) за умов їх окремого застосування або в комплексі.

Підвищення показнику середньої довжини пагонів (см) рослин льону олійного сорту *Айсберг* відбувалось як при окремому застосуванні синтетичних регуляторів росту рослин: Івіну – на 35,57 %, Метіуру – на 53,06%, Каметуру – на 84,95 %, а також мікродобрив: Росток Екстра – на 35,21 %, Radix Tim forte+ – на 55,11 %, так і при комплексному застосуванні регуляторів росту із мікродобривами: Івін+ Radix Tim forte+ – на 60,35 %, Метіур+Radix Tim forte+ – на 96,43 %, Метіур+Росток Екстра – на 110,88 %, Каметур+Radix Tim forte+ – на 78,57 %, Каметур+Росток Екстра – на 73,47 %, відповідно, порівняно до контрольних рослин (рис. 2).

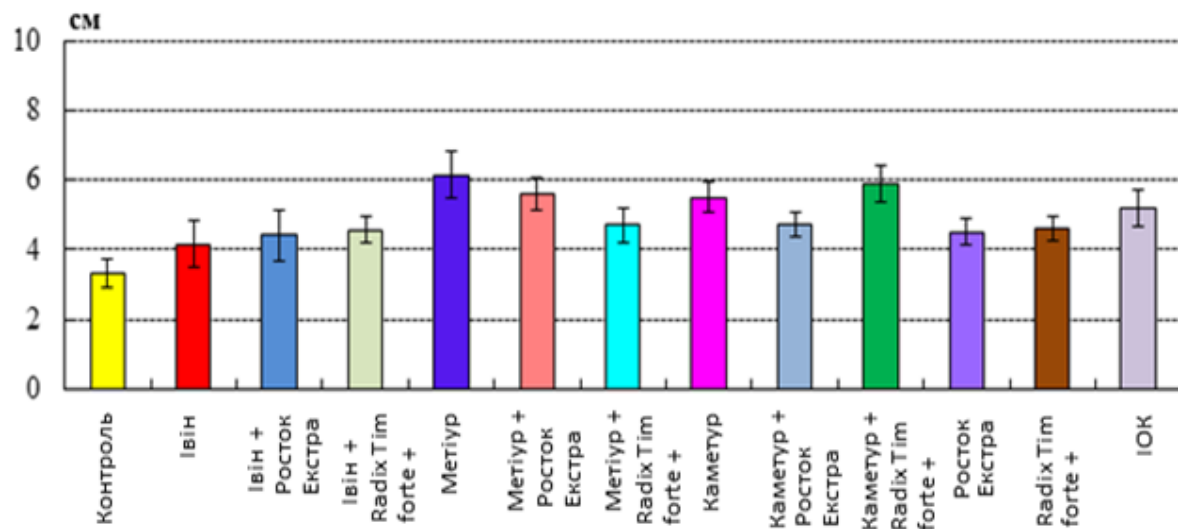


**Рисунок 2.** Вплив синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру, мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+, а також ауксину ІОК на показник середньої довжини пагонів (см) 3-тижневих рослин льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) сорту Айсберг, порівняно до контрольних рослин.

Під впливом ауксину ІОК також спостерігалось підвищення показнику середньої довжини пагонів (см) рослин льону олійного сорту Айсберг на 20,18 %, порівняно до контрольних рослин (рис. 2).

Підвищення показнику середньої довжини коренів (см) рослин льону олійного сорту Айсберг відбувалось як при окремому застосуванні синтетичних регуляторів росту рослин: Івіну – на 24,29 %, Метіуру – на 84,29 %, Каметуру – на 65,19 %, а також мікродобрив: Radix Tim forte+ – на 38,75 % та

Росток Екстра – на 35,24 %, так і при комплексному застосуванні регуляторів росту із мікродобривами: Івін+Radix Tim forte+ – на 37,14 %, Івін+Росток Екстра – на 32,5 %, Метіур++Radix Tim forte+ – на 41,18 %, Метіур+ Росток Екстра – на 68,31 %, Камetur+ Radix Tim forte+ – на 76,67 %, Камetur+ Росток Екстра – на 41,43 %, відповідно, порівняно до контрольних рослин (рис. 3).



**Рисунок 3.**

Вплив синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру і Каметуру, мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+, а також ауксину ІОК на показник середньої довжини коренів (см) 3-тижневих рослин льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) сорту Айсберг, порівняно до контрольних рослин.

Під впливом ауксину ІОК також спостерігалось підвищення показнику середньої довжини пагонів (см) рослин льону олійного сорту Айсберг на 55,45 %, порівняно до контрольних рослин (рис. 3).

Отримані результати свідчать, що синергічна дія синтетичних регуляторів росту рослин та мікродобрив на поліпшення росту та розвитку пагонів та

кореневої системи рослин льону олійного сорту Айсберг обумовлений їх ауксин-подібним впливом на активацію процесів подовження, ділення та диференціації клітин рослин, формування та росту тканин та органів рослин, а також покращення процесів метаболізму у клітинах рослин [14]. Слід зазначити, що синергічна дія синтетичних регуляторів росту рослин і мікродобрив зумовлена їх складом.

Регулятор росту рослин Івін містить макроелемент азот; Каметур містить макроелементи азот, калій і сірку, необхідні для росту та обміну речовин у клітинах рослин [10, 12]. Регулятор росту рослин Метіур містить макроелементи азот, сірку та натрій, які сприяють росту рослин та їх адаптації до соляного та осмотичного стресу [10, 12]. Мікродобрива Росток Екстра та Radix Tim forte+ містять такі макро- та мікроелементи, як азот, фосфор, калій, магній, сірка, марганець, бор, цинк, залізо, мідь, вільні амінокислоти, гумінові речовини, які покращують ріст та обмін речовин у клітинах рослин [10, 12].

**Висновки.** Підсумовуючи отримані дані, можна зробити висновок, що синтетичні регулятори росту рослин Івін, Метіур, Каметур та мікродобрива Росток Екстра виробництва ТОВ «Український Аграрний Ресурс» та Radix Tim forte+ виробництва компанії «Forcrop», Іспанія, за умов їх застосування окремо або в комплексі, виявляють стимулюючу активність на ріст та розвиток рослин льону олійного сорту Айсберг протягом періоду вегетації.

Встановлено, що найвищі показники середньої довжини пагонів (см) та середньої довжини коренів (см) рослин льону *олійного сорту Айсберг* отримані за умов окремого застосування регуляторів росту рослин Метіуру та Каметуру, або мікродобрив Росток Екстра та Radix Tim forte+, а також за умов комплексного застосування синтетичних регуляторів росту із мікродобривами: Івін+Radix Tim forte+, Метіур+Росток Екстра, Метіур+ Radix Tim forte+, Каметур+Росток Екстра, Каметур+ Radix Tim forte+.

Активність синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру та Каметуру за умов їх окремого або комплексного застосування із мікродобривами, була подібною, або перевищувала активність фітогормону ауксину ІОК (1Н-індол-3-оцтова кислота).

Запропоновано застосування синтетичних синтетичних регуляторів росту рослин Івіну, Метіуру, Каметуру та мікродобрив Росток Екстра виробництва ТОВ «Український Аграрний Ресурс» та Radix Tim forte+ виробництва компанії «Forcrop», Іспанія, за умов їх окремого або комплексного застосування для поліпшення росту та розвитку рослин льону олійного (*Linum usitatissimum* L.) сорту Айсберг протягом періоду вегетації.

### References

1. Jhala A.J., Hall L.M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current Uses and Future Applications. Australian Journal of basic and Applied Sciences. 2010. 4(9): 4304-4312.
2. Czemplik M., Boba A., Kostyn K., Kulma A., Mituła A., Skórkowska-Telichowska K. Flax Engineering for Biomedical Application. Chapter 17. In: Biomedical Engineering, Trends, Research and Technologies. 2011. 407 – 434. DOI: 10.5772/13570
3. Shim Y.Y., Gui B., Arnison P.G., Wang Y., Reaney M.J.T. Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: A review. Trends in Food Science & Technology. 2014. 38(1): 5-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.011>
4. Andruszczak S., Gawlik-Dziki U., Kraska P., Kwiecińska-Poppe E., Różyło K., Palys E. Yield and quality traits of two linseed (*Linum usitatissimum* L.) cultivars as affected by some agronomic factors. Plant Soil Environ. 2015. 61(6): 247-252. DOI: 10.17221/120/2015-PSE
5. Tsygankova V.A., Bayer O.O., Andrusovich Ya.V., Galkin A.P., Brovarets V.S., Yemets A.I., Blume Ya.B. Screening of five and six-membered nitrogen-containing heterocyclic compounds as new effective stimulants of *Linum usitatissimum* L. organogenesis in vitro. Int. J. Med. Biotechnol. Genetics. 2016. S2:001.1 - 9. doi: [dx.doi.org/10.19070/2379-1020-SI02001](https://doi.org/10.19070/2379-1020-SI02001)
6. Imran M., Ahmad N., Anjum F.M., Khan M.K., Mushtaq Z., Nadeem M. and Hussain S. Potential protective properties of flax lignan secoisolariciresinol diglucoside. Nutr J. 2015. 14:71. <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0059-3>
7. Dissanayake N., Summerscales J., Grove S., Singh M.M. Life cycle assessment of flax fiber for the reinforcement of composites. Journal of Biobased Materials and Bioenergy. 2009. 3(3): 245-248. DOI: 10.1166/jbmb.2009.1029
8. Pidlisnyuk V., Mamirova A., Newton R.A., Stefanovska T., Zhukov O., Tsygankova V., and Shapoval P. The role of plant growth regulators in *Miscanthus × giganteus* utilisation on soils contaminated with trace elements. Agronomy. 2022. 12(12): 2999. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122999>.
9. Tsygankova V. A., Voloshchuk I. V., Klyuchko S. V., Pilyo S. G., Brovarets V. S., Kovalenko O. A. The effect of pyrimidine and pyridine derivatives on the growth and productivity of sorghum. International Journal of Botany Studies. 2022. Vol. 7, N 5. P. 19 – 31. <https://www.botanyjournals.com/archives/2022/vol7/issue5/7-4-28>
10. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusovich Ya.V., Pilyo S.G., Klyuchko S.V., Brovarets V.S. Use Of Synthetic Plant Growth Regulators In Combination With Fertilizers to Improve Wheat Growth. Int J Med Biotechnol Genetics. 2023. S1:02:002: 9-14. URL: <http://scidoc.org/IJMBGS1V2.php>
11. Tsygankova V.A., Voloshchuk I.V., Kopich V.M., Pilyo S.G., Klyuchko S. V., Brovarets V.S. Studying the effect of plant growth regulators Ivin, Methyur and Kamethur on growth and productivity of sunflower. Journal of Advances in Agriculture. 2023. 14: 17 – 24. DOI: <https://doi.org/10.24297/jaa.v14i.9453>
12. Tsygankova V.A., Andreev A.M., Andrusovich Ya.V., Pilyo S.G., Brovarets V.S. Effect of plant growth regulators and fertilizers on the vegetative growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.). The scientific heritage. 2023. 116(116): 3 – 9. DOI: 10.5281/zenodo.8129039. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8129039>
13. Voytsehovska, O.V., Kapustyan, A.V., Kosik, O.I., Musienko, M.M., Olkhovich, O.P., Panyuta, O.O., Parshikova, T.V., Glorious, P.S. 2010. Plant physiology: praktykum. Parshikova T.V. (Ed). Lutsk: Teren, 420 p.
14. Quint M., Gray W.M. Auxin signaling. Curr Opin Plant Biol. 2006. 9(5): 448 - 453. DOI: 10.1016/j.pbi.2006.07.006