



POSSIBILITY OF REPRODUCTION OF *LINUM USITATISSIMUM* L. FROM SEEDS WITH LOW GERMINATION AND VIABILITY *IN VITRO* CONDITIONS

Mishchenko Serhii*, Kryvosheeva Larysa

Institute of Bast Crops of NAAS of Ukraine, Hlukhiv, Ukraine

Received: 28. 1. 2019

Revised: 14. 10. 2019

Published: 30. 11. 2019

The development of a method for the reproduction of flax (*Linum usitatissimum* L.) from seeds of low germination and viability was the goal of our research. To prevent damage to the seed embryo and weak seedlings for sterilization of the seeds aqueous NaOCl solution at a reduced concentration (1.5%) and a reduced exposure (10 minutes) was applied. The effect of a combination of various combinations of phytohormones and other biologically active substances on the germination of flax seed was established. Cultivation of seeds in the Murashige and Skoog medium with macro elements and microelements in the full dose which includes 2.5 mg/L glycine, 0.2 mg/L thiamine, 1.0 mg/L pyridoxine, 5.0 mg/L ascorbic acid, 0.2 mg/L kinetin (KIN), 0.2 mg/L gibberellic acid (GA₃), 4.0 mg/L succinic acid, 12.5 g/L sucrose and does not contain nicotinic acid increases the seeds germination to 10.0–25.0%. In this case, the explants were cultivated for 2–3 days at a temperature of 19–21 °C and further at a temperature of 22–24 °C. The White medium which contains 0.1 mg/L of 1-naphthylacetic acid (NAA) and 12.5 g/L of sucrose was used for microclonal propagation of the generated shoots. The proposed method provides the obtaining of valuable flax seed breeding material from the seed of low germination and viability, a high coefficient of its reproduction, which accelerates the breeding process.

Keywords: flax, seeds, germination, reproduction, *in vitro*

Вступ

Льон звичайний (*Linum usitatissimum* L.) є важливою сільськогосподарською культурою комплексного використання. Здебільшого його вирощують для отримання натурального волокна, що може використовуватися у текстильній промисловості, насіння, харчової або технічної олії. Не зважаючи на те, що льон культивують декілька тисячоліть, він і сьогодні залишається предметом численних наукових досліджень, присвячених філогенезу і таксономії (Optasiuk and Shevera, 2011; Zelentsov et al., 2016), селекції (Lohinov, 2007; Kryvosheeva, 2017), технології вирощування (Shuvar, 2015; Vyshnivska et al., 2017), біотехнології (Polyakov, 2000; Evtimova et al., 2005; Millam et al., 2005; Burbulis and Blinstrubiene, 2011) тощо.

*Corresponding author: Mishchenko Serhii, Institute of Bast Crops of NAAS of Ukraine, Tereshchenkiv, 45, Hlukhiv, Sumy region, 41400, Ukraine
✉ serhii-mishchenko@ukr.net

За умови зберігання у звичайних умовах складських чи лабораторних приміщень насіння льону здатне до проростання протягом 8–10 років. Розмноження зразків колекції льону здійснюється також через декілька років і в незначних обсягах, тому воно часто характеризується низькою життєздатністю і, за потреби, не може у достатній мірі забезпечити відтворення селекційного матеріалу. Крім того, льон має низький коефіцієнт розмноження насіння. Таким чином, актуальним є розробка способу розмноження рослин льону з насіння з низькою схожістю та життєздатністю в умовах *in vitro* для збереження цінних генотипів в сільськогосподарській біотехнології і селекції.

Відомим є спосіб розмноження рослин міскантусу з низькою схожістю та життєздатністю (Hontarenko and Lashuk, 2015), який включає використання як експлантів насіння міскантусу, застосування гіпохлориту натрію (NaOCl) для стерилізації насіння, висаджування його на агаризоване живильне середовище з макро- і мікроелементами та додаванням регуляторів росту у певних концентраціях, отримання калусів у культурі *in vitro*, культивування калусів та регенерацію з них мікророслин. Також відомим є спосіб відновлення схожості насіння перцю (Ivchenko, 2016), в основу якого покладено пророщування насіння в умовах *in vitro* на середовищі Мурасіге і Скуга, модифікованому гібереловою кислотою (ГК₃) (0,1 мг/л) і кінетином (КІН) (3 мг/л), та на середовищі Мурасіге і Скуга, модифікованому бурштиною кислотою (БК) (3 мг/л). Установлено, що культивування на живильних середовищах дозволяє вивести зі стану органічного спокою від 5 до 100 % насінин дикорослих видів томата, які зберігалися у неконтрольованих умовах протягом тривалого часу (до 15-ти років) (Shabetia et al., 2014; Miroshnychenko, 2016). Серед луб'яних культур подібний спосіб відновлення схожості насіння запропонований для конопель, у яких воно здатне до проростання не більше 3–4 років, та має значні межі варіювання енергії проростання і схожості: розмах варіації становить від 1 до 68 (Mishchenko, 2013). Виявлено, що додавання до середовища Мурасіге і Скуга 0,4 мг/л ГК₃ і 4,0 мг/л БК підвищує схожість насіння на 7,5–24,0 % (Mishchenko and Laiko, 2017; Mishchenko, 2018).

Мета і завдання дослідження – розробити спосіб розмноження льону звичайного з насіння з низькою схожістю та життєздатністю *in vitro* та підвищити коефіцієнт розмноження шляхом висаджування насіння на живильне агаризоване середовище певного складу (який би не викликав активного калусоутворення чи пригнічення проростків) з подальшим мікроклональним розмноженням отриманих пагонів.

Матеріали та методи

Рослинний матеріал

У дослідженнях, проведених у 2019 р., використані колекційні зразки льону звичайного UF0402071 Есмань (країна походження – Україна) і UF0402132 Elise (країна походження – Нідерланди) урожаю 2012, 2014 і 2017 рр.

Особливості культивування *in vitro*

Насіння стерилізували водним розчином гіпохлориту натрію (NaOCl) у концентрації 1,5, 3,0 і 6,0% з експозицією 10, 15 і 20 хв. Тричі промивали стерильною дистильованою водою і висаджували на агаризоване живильне середовище. За основу було взяте середовище Мурасіге і Скуга (MS) (Murashige and Skoog, 1962), яке доповнювали фітогормонами, регуляторами росту та вітамінами у різних поєднаннях і концентраціях, зокрема досліджено наступні варіанти: 1) ГК₃ 0,1 мг/л, КІН 0,1 мг/л; 2) ГК₃ 0,1 мг/л, БК 2,0 мг/л; 3) БК 2,0 мг/л; 4) ГК₃ 0,2 мг/л, КІН 0,2 мг/л; 5) ГК₃ 0,2 мг/л, БК 4,0 мг/л; 6) БК 4,0 мг/л; 7) ГК₃ 0,4 мг/л, КІН 0,4 мг/л; 8) ГК₃ 0,4 мг/л, БК 4,0 мг/л; 9) ГК₃ 0,2 мг/л, КІН 0,2 мг/л, БК 4,0 мг/л; 10) ббензиламінопурин (БАП) 0,2 мг/л, БК 2,0 мг/л; 11) індол-3-оцтова кислота (ІОК) 0,6 мг/л, БК 2,0 мг/л; 12) контроль – безгормональне середовище. У базовому середовищі було збільшено на чверть концентрацію гліцину (2,5 мг/л) та вдвічі збільшено вміст тіаміну (0,2 мг/л) і піридоксину (1,0 мг/л), додано 5,0 мг/л аскорбінової кислоти, 12,5 г/л сахарози. Модифіковане середовище не містило нікотинової кислоти. Експланти культивували 2–3 доби при температурі 19–21 °С і надалі при температурі 22–24 °С, фотоперіоді 16 год і відносній вологості повітря 60–80 %. Мікроклональне розмноження проводили при досягненні пагонами висоти 10–15 см. Для мікроклонального розмноження використовували середовище White (1943), Murashige and Skoog (1962), Gamborg and Eveleigh (1968).

Морфометричний та статистичний аналіз

Схожість насіння визначали на 10-ту добу, вимірювання мікроклонів проводили на 35 ту добу від початку культивування. Статистичну обробку експериментальних даних проведено за параметрами варіаційної статистики та *t*-критерієм Стьюдента (Dospikhov, 1973).

Результати та їх обговорення

Розроблений спосіб розмноження рослин льону звичайного з насіння з низькою схожістю та життєздатністю включає використання як експлантів насіння, застосування гіпохлориту натрію для його стерилізації, висаджування насіння на агаризоване живильне середовище, мікроклональне розмноження утворених пагонів *in vitro*.

Насіння льону стерилізують водним розчином гіпохлориту натрію (NaOCl). Використання даного стерилізуючого агента у зниженій концентрації до 1,5 % і за зменшеної експозиції до 10 хв, триразове промивання стерильною дистильованою водою запобігають ушкодженню зародка насінини, утворенню слабких проростків льону та появи видимих мутацій. За таких умов вихід стерильних експлантів становить 97,5–100,0 %.

Потім простерилізоване насіння висаджують на живильне середовище Мурасіге і Скуга з макро- і мікроелементами у повній дозі, до складу якого входить 2,5 мг/л гліцину, 0,2 мг/л тіаміну, 1,0 мг/л піридоксину, 5,0 мг/л аскорбінової кислоти,

0,2 мг/л КІН, 0,2 мг/л ГК₃, 4,0 мг/л БК, 12,5 г/л сахарози і яке не містить нікотинової кислоти, культивують 2–3 доби при температурі 19–21 °С і надалі при температурі 22–24 °С, фотоперіоді 16 год і відносній вологості повітря 60–80 %. Було використано різні поєднання і концентрації фізіологічно активних речовин для підвищення (відновлення) схожості, однак вищезазначене виявилось найбільш ефективним (Таблиця 1).

Таблиця 1 Схожість насіння льону в залежності від умов культивування
Table 1 Seed germination of flax depending on conditions of cultivation

Варіант	Схожість насіння залежно від року урожаю (%)					
	UF0402071 Есмань			UF0402132 Elise		
	2012 р.	2014 р.	2017 р.	2012 р.	2014 р.	2017 р.
Лабораторна схожість	11,25	63,75	80,00	10,00	60,00	78,75
MS безгормональне	15,00	68,75	80,00	11,25	65,00	78,75
MS + ГК ₃ 0,1 мг/л, КІН 0,1 мг/л	20,00	70,00	85,00	15,00	70,00	80,00
MS + ГК ₃ 0,1 мг/л, БК 2,0 мг/л	16,25	70,00	80,00	15,00	66,25	80,00
MS + БК 2,0 мг/л	15,00	70,00	81,25	15,00	65,00	80,00
MS + ГК ₃ 0,2 мг/л, КІН 0,2 мг/л	25,00	76,25	90,00	20,00	70,00	85,00
MS + ГК ₃ 0,2 мг/л, БК 4,0 мг/л	25,00	70,00	86,25	16,25	70,00	85,00
MS + БК 4,0 мг/л	18,25	70,00	85,00	15,00	65,00	77,50
MS + ГК ₃ 0,4 мг/л, КІН 0,4 мг/л	30,00	76,25	91,25	25,00	75,00	90,00
MS + ГК ₃ 0,4 мг/л, БК 4,0 мг/л	26,25	75,00	95,00	25,00	70,00	85,00
MS + ГК ₃ 0,2 мг/л, КІН 0,2 мг/л, БК 4,0 мг/л	36,25	80,00	100,0	30,00	80,00	95,00
MS + БАП 0,2 мг/л, БК 2,0 мг/л	10,00	65,00	75,00	5,00	61,25	76,25
MS + ІОК 0,6 мг/л, БК 2,0 мг/л	10,00	68,75	87,50	10,00	65,00	80,00

Слід зазначити, що амінокислотний та вітамінний склад забезпечують оптимізацію біохімічних процесів у пагоні. Підвищена концентрація аскорбінової кислоти до 5,0 мг/л, яка є антиоксидантом, попереджує утворення фенольних сполук, що спричиняють пригнічення росту і розвитку або ж ведуть до загибелі експлантів. Цитокинін КІН, ГК₃ та БК саме у концентраціях 0,2, 0,2 і 4,0 мг/л відповідно ініціюють та стимулюють поділ клітин у зародку насінини, ріст сім'ядоль, зародкових стебельця і корінця за одночасної збереженості генетичної автентичності зразка,

що встановлено експериментально, дозволяють призупиняти дію накопиченого в тканинах зиготичних зародків насінини в процесі зберігання природного інгібітора росту – абсцизової кислоти (АК). Таким чином, зазначені регулятори росту впливають на регуляторні механізми, пов'язані з порушенням органічного спокою зрілих зародків льону.

Змінна температура культивування, дещо знижена на початку пророщування насіння і підвищена через 2–3 доби, підвищує інтенсивність ростових процесів. Вищезазначені умови дозволяють отримати на 10,0–25,0 % більше проростків порівняно з лабораторною схожістю, тобто розроблений спосіб підтверджує свою ефективність.

Після того, як пагони досягнуть довжини 10–15 см, проводять мікроклональне розмноження (Рисунок 1).

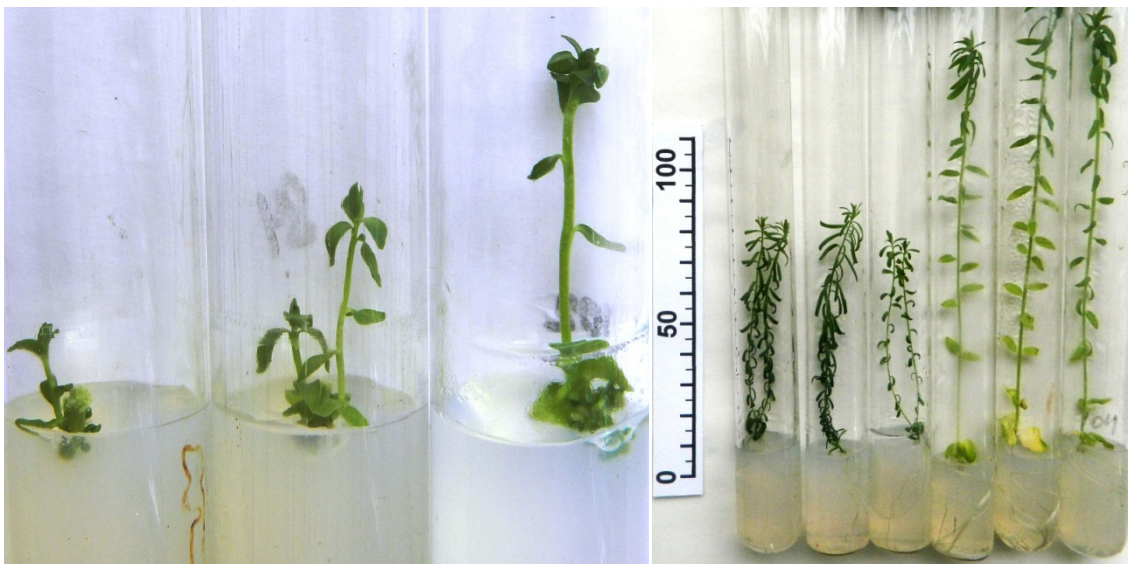


Рисунок 1 Ріст мікроклонів льону *in vitro*

Figure 1 Growth of microclone flax *in vitro*

Верхівкові (апикальні) і бічні (латеральні) бруньки або живці з меристемами пересаджують на живильне середовище Уайта, до складу якого входить 0,1 мг/л 1нафтилоцтової кислоти (НОК) і 12,5 г/л сахарози, що дозволяє отримувати з 1-го проростка в середньому 15–25 мікроклонів з високою частотою ризогенезу (близько 85 %). Якщо генотип є чутливим до індукції ризогенезу, то додавання НОК є необов'язковим, також можливим є використання живильних середовищ Мурасіге і Скуга, Гамборга і Евелега. Пагони, що досягли 7–10 см, адаптують *in vivo*.

Мікроклональне розмноження отриманих в результаті дії екзогенних регуляторів росту пагонів на штучному живильному середовищі за наявності вітамінного комплексу дозволяє отримувати з 1-го пагона в середньому 16–21 мікроклонів. Включення у середовище КІН, ГК₃ і БК у певних концентраціях сприяє на достовірному

рівні збільшенню висоти рослин як у зразка UF0402071 Есмань (13,37 см для без гормонального середовища і 14,60 см для середовища з регуляторами росту), так і UF0402132 Elise (11,98 см, порівняно з 14,03 см), а також кількості мікроклонів, отриманих з одного пагона (16,2 і 21,1, 15,6 і 20,3 відповідно), без зміни генетичної автентичності (Таблиця 2).

Таблиця 2 Залежність ознак висоти пагонів та кількості мікроклонів з одного пагона від умов культивування (зразок UF0402071 Есмань – чисельник, зразок UF0402132 Elise – знаменник)

Table 2 Dependence of the signs of the shoots height and the number of microclones from one shoot from the cultivation conditions (sample UF0402071 Есмань – numerator, sample UF0402132 Elise – denominator)

Статистичний показник	Варіант		tф
	MS безгормональне	MS + ГК ₃ 0,2 мг/л, КІН 0,2 мг/л, БК 4,0 мг/л	
Висота пагонів (см)			
Середнє арифметичне та похибка вибіркової середньої	13,37 ± 0,318	14,60 ± 0,168	3,42
	11,98 ± 0,685	14,03 ± 0,168	2,91
Коефіцієнт варіації (%)	10,6	5,1	
	25,6	5,4	
Розмах варіації ($x_{\max} - x_{\min}$)	5,0	1,3	
	10,4	2,5	
Середньоквадратичне стандартне відхилення	1,142	0,751	
	3,062	0,753	
Кількість мікроклонів з одного пагона (шт.)			
Середнє арифметичне та похибка вибіркової середньої	16,2 ± 0,559	21,1 ± 0,761	5,19
	15,6 ± 0,456	20,3 ± 0,665	5,83
Коефіцієнт варіації (%)	15,5	16,1	
	13,1	14,6	
Розмах варіації ($x_{\max} - x_{\min}$)	10	14	
	9	12	
Середньоквадратичне стандартне відхилення	2,498	3,401	
	2,038	2,975	

Примітка: $t_{0,05} = 2,01$; $t_{0,01} = 2,68$; $t_{0,001} = 3,50$

Як і коноплі посівні (Mishchenko and Laiko, 2017; Mishchenko, 2018), льон звичайний є досить чутливим до наявності в середовищі фітогормонів екзогенного походження, використання порівняно високих концентрацій КІН (3 мг/л), що запропоновано для відновлення схожості перцю (Ivchenko, 2016), веде до інтенсивного утворення калусних тканин, нездатних до органогенезу (формування пагонів). Виявилось, що концентрації 0,2 мг/л у комплексі з іншими біологічно активними речовинами (ГК₃ і БК) вже достатньо для підвищення схожості насіння. Спосіб розмноження рослин міскантусу з насіння з низькою схожістю та життєздатністю, який включає використання як експлантів насіння міскантусу, отримання калусів у культурі *in vitro*,

культивування калусів та регенерацію з них мікророслин (Hontarenko and Lashuk, 2015), не доцільно застосовувати щодо досліджуваного нами виду, оскільки льон звичайний досить чутливий до культури *in vitro*, що може викликати появу різного роду змінених ознак і нових форм (Kubrak and Shapturenko, 2013).

Культивування соматичних тканинних структур і регенерація з них рослин дозволяє отримувати генетично змінені рослини-регенеранти, які можуть суттєво відрізнятися генотипічно і фенотипічно від своїх вихідних форм. Саме проходження клітинами стадії калусогенезу веде до появи різного роду змін в генотипі, а рівень соматональної мінливості залежить від різних факторів, зокрема вихідного матеріалу, умов культивування *in vitro* складу живильних середовищ, наявності екзогенних регуляторів росту тощо. Таким чином, можна втратити генетичну автентичність зразків льону. Корисним даний метод буде для створення нового селекційного матеріалу.

Висновки

Запропонований спосіб забезпечує отримання цінного селекційного матеріалу льону звичайного з насіння з низькою схожістю та життєздатністю, високий коефіцієнт його розмноження, що прискорює селекційний процес.

Подяка

Автори висловлюють щирю подяку доктору сільськогосподарських наук Ірині Лайко за сприяння у проведенні досліджень.

Література

- BURBULIS, N., BLINSTRUBIENE, A. 2011. Genotypic and exogenous factors affecting linseed (*Linum usitatissimum* L.) anther culture. In *Journal of Food, Agriculture and Environment*, vol. 9(3–4), p. 364–367. <http://doi.org/10.1234/4.2011.2285>
- DOSPEKHOV, B.A. 1973. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. 3-e izd. Moskva : Kolos. 336 p. [In Russian].
- EVTIMOVA, M., VLAHOVA, M., ATANASSOV, A. 2005. Flax improvement by biotechnology means. In *Journal of Natural Fibers*, vol. 2(2), p. 17–34. http://doi.org/10.1300/J395v02n02_02
- GAMBORG, O.L., EVELEIGH, D.E. 1968. Culture methods and detection of glucanases in suspension cultures of wheat and barley. In *Canadian Journal of Biochemistry*, vol. 46(5), p. 417–421. <http://doi.org/10.1139/o68063>
- HONTARENKO, S.M., LASHUK, S.O. 2015. *Sposib rozmnozhenia roslyn miskantusu z nyzkoju skhozhistiu ta zhyttiezdatnistiu* [The method of propagation of miskanthus plants with a low germination and viability] : patent 97957 UA [In Ukrainian].
- IVCHENKO, T.V. 2016. *Naukove obgruntuvannia efektyvnosti metodiv biotekhnologii v selektsii ta nasinnytstvi ovochevykh roslyn rodyn Solanaceae Gals., Alliaceae L., Asteraceae Dumort., Apiaceae Lindl., Cucurbitaceae Juss.* [Scientific substantiation of the effectiveness of biotechnology methods in the breeding and seed production of vegetable plants of Solanaceae Gals., Alliaceae L., Asteraceae Dumort., Apiaceae Lindl., Cucurbitaceae Juss. family] : dissertation theses. Kharkiv, p. 11 [In Ukrainian].
- KRYVOSHEIEVA, L.M. 2017. *Vykhidnyi material lonu-dovhuntsia v selektsii na yakist volokna* [The flax raw material in breeding for quality fiber]. In *Bast and Technical Crops*, vol. 5, p. 114–119 [In Ukrainian].
-

- KUBRAK, S.V., SHAPTURENKO, M.N. 2013. Izmenchivost' l'na-dolguntsa (*Linum usitatissimum*) v kul'ture *in vitro* kak istochnik polucheniya novykh selektsionnykh form [Variability of flax (*Linum usitatissimum*) *in vitro* culture as a source of new breeding forms]. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus*. Series of Biological Sciences, vol. 2, p. 36–40 [In Russian].
- LOHINOV, M.I. 2007. Etapy rozvytku ta pidsumky selektsii lonu-dovhuntsia v Ukraini [Stages of development and results of flax breeding in Ukraine]. In *Proceedings of the Instytute of Bast Crops of UAAS*, vol. 4, p. 64–69 [In Ukrainian].
- MILLAM, S., OBERT, B., PRETOVA, A. 2005. Plant cell and biotechnology studies in *Linum usitatissimum* – a review. In *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, vol. 82(1), p. 93–103. <http://doi.org/10.1007/s112400046961-6>
- MIROSHNYCHENKO, T.M. 2016. *Vykhidnyi material dlia selektsii tomata, stvorenyi z vykorystanniam kultury klityn i tkany in vitro* [The raw material for breeding tomato, created using *in vitro* cultures of cells and tissues] : dissertation theses. Kharkiv, p. 11 [In Ukrainian].
- MISHCHENKO, S. V. 2013. Zalezhnist skhozhosti nasinnia samozapylenykh linii konopel vid pokolinnia i tryvalosti zberihannia [Dependence of seeds germination of hemp inbred lines on generation and duration of storage]. In *Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy*, vol. 2, c. 36–39. <http://doi.org/10.31210/visnyk2013.02.08> [In Ukrainian].
- MISHCHENKO, S.V., LAIKO I.M. 2017. *Sposib rozmnozhenia roslyn konopel z nasinnia z nyzkoiu skhozhistiu ta zhyttiezdatnistiu* [The method of hemp plant propagation from seeds with low germination and viability] : patent 120489 UA [In Ukrainian].
- MISHCHENKO, S.V. 2018. Efektyvnist rozmnozhenia *Cannabis sativa* L. z nasinnia z nyzkoiu skhozhistiu ta zhyttiezdatnistiu v umovakh *in vitro* [Effectiveness reproduction of *Cannabis sativa* L. from seeds with low germination and viability *in vitro* conditions]. In *Taurian Scientific Bulletin*, vol. 100(2), p. 3–8 [In Ukrainian].
- MURASHIGE, T., SKOOG, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. In *Physiologia Plantarum*, vol. 15(3), p. 473–497. <http://doi.org/10.1111/j.13993054.1962.tb08052.x>
- OPTASIUK, O.M., SHEVERA, M.V. 2011. *Rid Linum L. u flori Ukrainy* [The genus *Linum* L. in the flora of Ukraine]. Kyiv : Alterpres. 276 p. ISBN 978966542-496-3 [In Ukrainian].
- POLYAKOV, A.V. 2000. *Biotekhnologiya v selektsii l'na* [Biotechnology in flax breeding]. Tver' : Format. 180 p. ISBN 978-5902946-15-1 [In Russian].
- SHABETIA, O.M. et al. 2014. *Zberezhennia nasinnia paslonovykh kultur u stani zhyttiezdatnosti ta henetychnoi avtentychnosti* [Saving seeds Solanaceae crops in the state of viability and genetic authenticity]. Kharkiv : s.n. 24 p [In Ukrainian].
- SHUVAR, A.M. 2015. Zalezhnist produktyvnosti lonu-dovhuntsia vid zastosuvannia mikrobynykh preparativ za umov orhanichnoho vyrobnytstva [The dependence of the flax productivity on the use of microbial preparations in organic production conditions]. In *Bast and Technical Crops*, vol. 4, p. 85–91 [In Ukrainian].
- VYSHNIVSKA, Yu.S., DROZD, O.M., LISOVYI, O.B. 2017. Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia na shchilnist posivu, urozhainist nasinnia i volokna lonu-dovhuntsia [Influence of the elements of cultivation technology on the density of sowing, seed and fiber yield of flax]. In *Bast and Technical Crops*, vol. 5, p. 157–162 [In Ukrainian].
- WHITE, P. R. 1943. *A handbook of plant tissue culture*. Lancaster : The Jaques Cattell Press. 277 p.
- ZELENTSOV, S.V. et al. 2016. Sovremennye predstavleniya o filogeneze i taksonomii roda *Linum* L. i l'na obyknovennogo (*Linum usitatissimum* L.) [Modern understanding of the phylogeny and taxonomy of genus *Linum* L. and flax (*Linum usitatissimum* L.)]. In *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of All-Russia Research Institute of Oil Crops*, vol. 1, p. 106–121 [In Russian].