

ВПЛИВ ПЕРЕДПОСІВНОГО УФ-ОПРОМІНЕННЯ НАСІННЯ НА ЕНЕРГІЮ ПРОРОСТАННЯ ТА СХОЖІСТЬ РІПАКУ

Семенов А. О., Кожушко Г. М., Сахно Т. В.

1. Вступ

Ріпак – стратегічно важлива культура, оскільки займає важливе місце у продовольчих та енергетичних балансах держави. Ріпакова олія завдяки унікальним біологічним властивостям знаходить широке застосування не тільки в харчовій промисловості, а в багатьох галузях економіки [1–3].

Важливе значення ріпак має як цінна культура для вирощування зеленого корму для сільськогосподарських тварин. Заорювання зеленої маси в якості сидерального добрива порівнюється до внесення 15–30 т на 1 га гною. Вирощування ріпаку сприяє покращенню балансу гуму у сівозміні з більшістю зернових. Як попередник ріпак дає змогу зменшити витрати на обробіток ґрунту і засоби захисту рослин. Ріпак має велике значення як медонос – квітки ріпаку є привабливі та легкі для збору нектару, його цвітіння триває від 25 до 30 днів. Це забезпечує великі збори меду – до 90 кг на гектар, а інколи і значно більші.

Збільшення кількості та якості продукції рослинництва – головна задача у розвитку сільськогосподарського комплексу. Центральна ланка в вирішенні цієї проблеми – насінництво. Насіння, носій біологічних властивостей, у вирішальній мірі визначає якість і кількість одержуваного врожаю. Вчені та фахівці сільського господарства постійно вдосконалюють і розробляють нові агрозаходи і технічні засоби для передпосівної стимуляції насіння, щоб поліпшити їх посівні якості [4–6]. Забезпечення високої врожайності культури при оптимальних затратах та високоякісних показниках насіння, а також освоєння технологій отримання нових видів ріпакової продукції – важливі завдання агропромислового комплексу на найближчу перспективу.

Одним з ефективних способів підвищення якості посівного матеріалу є вплив на насіння фізичними факторами: обігрів [7], вплив іонізуючих гамма-променів [8]. В сільськогосподарській практиці використовують різноманітні прийоми передпосівної обробки насіння – електричні [9] і магнітні поля [10] та електромагнітні випромінювання [11]. В [12] досліджено вплив ступеня нерівномірності нагрівання насіння ріпаку в електромагнітному полі надвисокої частоти на їх енергію проростання і схожість.

Передпосівна обробка насіння з використанням електрофізичних методів розглянута в роботах [13, 14]. Ще в середині 80-х років для передпосівної обробки насінного матеріалу застосовували газові неонові і гелієві лазери. Опромінення насіння ячменю червоним світлом довжиною хвилі 754 нм викликає зростання продуктивної куцуватості на 37,2 % і довжини стебла на 7 см [15]. Величина енергії опромінення і час обробки насіння різні для кожної культури, тому вибір режиму обробки вимагає диференційованого підходу [16].

Великий інтерес для стимулювання зростання та підвищення стійкості рослин до зовнішніх чинників і збільшення врожайності сільськогосподарських

культур викликає застосування УФ-опромінення [17, 18]. Дослідження впливу передпосівного опромінення насіння рослин ультрафіолетовим випроміненням на їх зростання, продуктивність, зараження грибовими та іншими захворюваннями розпочато давно, але ця проблема вивчена ще не досить ґрунтовно, тому дослідження в даному напрямку є актуальними.

В передпосівній обробці насінневого матеріалу сільськогосподарських культур УФ-опромінення на біологічні процеси впливає двояко: відзначається збільшення або зменшення енергії проростання, здатності до проростання та схожості насіння.

Актуальним є дослідження впливу ультрафіолетового опромінювання на насіння різних культур в передпосівній обробці, в тому числі і ріпаку.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є насіння озимого ріпаку врожаю 2017 р. Ріпак серед олійних культур родини капустяних займає перше місце за вмістом олії, а також є цінною культурою для виготовлення біопалива.

Одним з найбільш проблемних місць сільськогосподарського комплексу є збільшення кількості та якості насінневого матеріалу. Насінню ріпаку необхідно в середньому від 3 до 10 днів для проростання, і в цей час воно особливо чутливе до патогенних мікроорганізмів, що є збудниками інфекцій та захворювань.

Великий інтерес для підвищення стійкості насіння до зовнішніх чинників та стимулювання зростання і збільшення врожайності викликає обробка насіння сільськогосподарських культур ультрафіолетовим випроміненням. Це дає змогу зменшити використання фунгіцидів або взагалі відмовитися від них.

3. Мета та задачі дослідження

Мета роботи – дослідження передпосівного впливу ультрафіолетового (УФ) опромінення насіння ріпаку на біологічні процеси (енергія проростання, схожість та зростання) в лабораторних та в польових умовах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Опромінити насіння ріпаку УФ-випроміненням в області С штучними джерелами світла.
2. Визначити необхідну дозу передпосівної обробки насіння ріпаку УФ-опроміненням за показниками: енергія проростання та схожість насіння.
3. Провести розрахунок енергії проростання та схожості насіння ріпаку. Порівняти отримані результати для опромінених зразків з контрольними зразками.
4. Провести порівняльні дослідження біомаси рослин через 10 днів та висоти рослин через 12, 25 днів зростання в польових умовах для контрольних зразків з опроміненими зразками насіння ріпаку.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Схожість є основним показником якості насіння [18]. Для цього посівний матеріал піддають різним засобам впливу, де провідна роль належить енергії, що активізує проростання насіння і посилює життєдіяльність зародка на початковому етапі [19].

Як показав аналіз літературних джерел існуючих методів електромагнітної дії на насіння перед посівом, УФ-опромінення представляє найбільший інтерес [20–22]. Обробка передпосівного матеріалу бактерицидним УФ-випромінюванням в області С не тільки збільшує енергію проростання та схожість насіння [23], а й знезаражує його [19].

В роботі [23] відзначається позитивний вплив передпосівної обробки насіння УФ-випромінюванням: підвищується енергія проростання та польова схожість насіння, що забезпечує стійкі врожаї декоративних культур. В роботах [24, 25] показано, що опромінення УФ-С насіння пшениці стимулювало його проростання. Але, незважаючи на ці дослідження питання щодо визначення раціонального діапазону ультрафіолетової дії в різних енергетичних областях та доз опромінення, різних культур, в тому числі ріпаку, продовжує залишатися не визначеним.

Передпосівне УФ-опромінення насіння створює комплекс ефектів – підвищення енергії проростання та схожості [26, 27]. А також є стимулятором ростових процесів, підвищує стресостійкість рослин [22] та знезаражує насіння від хвороботворних мікроорганізмів [24]. Це дозволяє зменшувати застосування отрутохімікатів, знижує концентрацію отрутохімікатів в ґрунті і підвищує якість продукції рослинництва та її врожайність [28].

Таким чином, результати аналізу дають можливість стверджувати, що найбільш важливий ефект, який створює УФ-опромінення при передпосівній обробці – це підвищення енергії проростання та схожості насіння [26, 27, 29].

5. Методи дослідження

Енергію проростання та схожість насіння ріпаку проводили в лабораторних умовах за методиками згідно з [30]. Порівнювали ці показники для насіння опроміненого різними дозами УФ-С з контрольними зразками (без опромінення). Під енергією проростання розуміють відсоткову кількість пророслого насіння за 72 години, а схожістю насіння – відсоткову кількість пророслого насіння ріпаку за 7 діб.

Проби для проведення дослідження відбирали із партії ріпаку відповідно до вимог [30].

Попередньо отримані проби насіння ріпаку були перевірені на вміст протеїну CP4 EPSPS, наявність якого вказує на генну модифікацію сорту ріпаку. Для перевірки використовували тест-набір AgraStrip RUR-HS фірми ROMER Labs (Австрія) [31]. Аналіз здійснено відповідно до стандарту Асоціації торгівлі зерном і кормами GAFTA 124 [32].

Для проведення дослідів було відраховано 200 насінин для контрольного зразку та по 200 зернин для опромінення різними дозами УФ-С.

Насіння розкладались на кількох шарах зволоженого фільтрувального паперу в чашках Петрі і витримувались в термостаті за температури 7 ± 2 °C протягом 1 доби. Далі охолоджені зразки (крім контрольних) опромінювали УФ-С дозами 10 Дж/м², 20 Дж/м², 50 Дж/м², 80 Дж/м², 100 Дж/м², 120 Дж/м² та 200 Дж/м².

Для опромінення застосовували УФ лампу низького тиску типу ZW20D15W (Китай) потужністю 20 Вт [33]. Відстань від лампи до зразків насіння становила 0,25 м. Вимірювання дози УФ-С випромінювання здійснювали за допомогою радіометра «Тензор-31» (Україна) з використанням методики [34].

Опромінені і контрольні зразки насіння пророщували в чашках Петрі за температури повітря 24 ± 2 °С. Перше обліковування проростків насіння (енергія проростання) проводили через 3 доби, а відсоток схожості – через 7 діб.

6. Результати дослідження

В лабораторних умовах проведено дослідження по вирощуванню рослин після УФ-опромінення дозою 120 Дж/м^2 в спеціальному ґрунті – субстрат «універсальний» [35], що включає всі необхідні макро- і мікроелементи. Температура повітря в приміщенні підтримували в межах $24\text{--}26$ °С при відносній вологості повітря $60\text{--}75$ %. Цикл зростання до контрольного вимірювання склав 10 діб.

Крім лабораторних досліджень проводились польові дослідження схожості цієї ж партії ріпаку та його зростання в перші дні розвитку в умовах відкритого ґрунту. Схожість опроміненого насіння дозою 120 Дж/м^2 і біомасу наземної частини порівнювали з контрольним неопроміненим зразком.

Результати дослідження наведені на рис. 1 та зведені в табл. 1, 2.

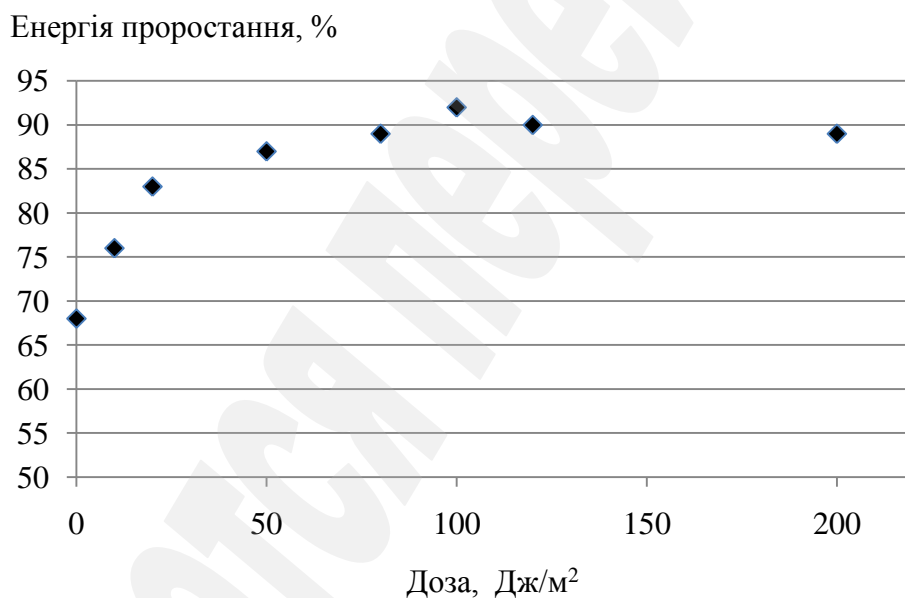


Рис. 1. Енергія проростання насіння ріпаку після опромінення

Таблиця 1

Енергія проростання опроміненого та контрольного зразків насіння

Характеристика зразка	Енергія проростання насіння в кожній пробі із 100 зерен, %			
	1. Контрольний зразок	26	24	32
2. Зразок опромінений дозою 120 Дж/м^2	48	42	52	46

Результати аналізу проби насіння ріпаку, відповідно до [32], показали відсутність протеїну CP4 EPSPS, що вказує на сорт ріпаку, який не є генномодифікованим.

Результати дослідження енергії проростання насіння ріпаку в залежності від дози УФ-С опромінення (рис. 1) показують, що при дозах більших 80--

100 Дж/м² енергія проростання збільшується в порівнянні з контрольним зразком на 20÷26 %, а схожість – на 16 %. При цьому середня біомаса рослин із опроміненого насіння за 10 днів зростання збільшується в порівнянні з контрольним зразком на 18,3 % (табл. 2).

Таблиця 2

Середня кількість біомаси рослин ріпаку після 10 діб зростання при різних дозах УФ-опромінення

Зразок	Доза опромінення, Дж/м ²	Кількість біомаси, %
Контрольний	–	100
Опромінений	50	111,1
	120	118,3
	240	2

При польових дослідженнях схожість насіння ріпаку після опромінення дозою УФ-С 120 Дж/м² в порівнянні з контрольним зразком збільшилась на 16 % і стала 89 %. Середня висота рослин з опроміненого насіння на 12 день зростання перевищувала контрольні зразки на 7 %, а на 25 день – на 5 %. Причому розмах у висоті наземної частини рослин з опроміненого насіння на 12 день становив 13 % (при 29 % для контрольного зразка), а на 25 день відповідно 8 % і 16 %.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Проведені дослідження показали, що УФ-опромінення при дозах 80–120 Дж/м² позитивно впливає на найважливіші показники насіннєвого матеріалу: схожість та енергію проростання, оскільки збільшення цих величин складає 16–20 %.

В польових умовах відмічається позитивний ефект УФ-дії на розвиток наземної частини, оскільки опромінене насіння швидше проростає. І в подальшому при його зростанні через 10 днів і через 25 днів середнє значення довжини наземної частини рослин перевищує висоту контрольних неопромінених зразків на 5–7 %.

Ефективність ультрафіолетового опромінення насіння в порівнянні з іншими методами стимуляції ростових процесів полягає в низьких енергозатратах: витрати на електричну енергію склали 0,0005 кВт на 1 кг насіннєвого матеріалу. Час обробки зразків дорівнює 60 с при опроміненні дозою 120 Дж/м².

Вартість дослідної установки для проведення робіт склала 35,5 дол. При проектуванні установки враховані сучасні технічні рішення при розробці подібних пристроїв:

- електрична схема з електронною пусковою апаратурою;
- безозонова ультрафіолетова лампа з високим ККД в УФ-області – 30 % від номінальної потужності. Лампи такого типу успішно використовуються для бактерицидного знезараження питної води [36] та повітря [37].

Передпосівна обробка насіння УФ-С може знайти практичне використання при вирощуванні рослин без використання хімічних препаратів, стимуляторів росту. Це перспективний напрямок в галузі сільського господарства, оскільки

дає можливість зменшити кількість фунгіцидів в передпосівній обробці або взагалі відмовитися від них.

Weaknesses. Однією з негативних сторін передпосівного УФ-опромінювання насінневого матеріалу є те, що потрібно враховувати вимоги безпеки: захист від попадання прямих та відбитих ультрафіолетових променів на персонал та оточуючих.

Opportunities. В подальшому планується провести дослідження по опроміненню насіння ріпаку УФ-випромінюванням в інших енергетичних областях В і А. Це дасть можливість порівняти параметри зростання рослин в різних областях ультрафіолетового спектру і провезти розрахунки необхідних витрат в кожному експерименті.

Threats. Необхідні додаткові витрати на передпосівну стимуляцію рослин УФ-опроміненням, але вони компенсуються за рахунок збільшення врожайності та зменшення кількості хімічних препаратів, що використовуються в передпосівній обробці.

8. Висновки

1. Для передпосівного опромінення насіння ріпаку використані ультрафіолетові лампи низького тиску з діапазоном УФ-випромінювання 200–280 нм.

2. Насіння ріпаку опромінювали дозами 10 Дж/м², 20 Дж/м², 50 Дж/м², 80 Дж/м², 100 Дж/м², 120 Дж/м² та 200 Дж/м². Встановлено, що при дозах УФ-випромінювання 80–120 Дж/м² відсоток пророслого насіння (енергія проростання) збільшився на 5–15 % в порівнянні із зразками насіння, опроміненими меншими або більшими дозами.

3. Результати розрахунків енергії проростання та схожості насіння ріпаку показали, що при дозах 80–120 Дж/м² енергія проростання збільшується більше ніж на 20 %, а схожість на 16 % в порівнянні з контрольними зразками.

4. При визначенні біомаси рослин встановлено, що її кількість на 10 день зростання більше на 18 % для опромінених зразків в порівнянні з контрольними зразками, а висота рослин на 12 день та 25 день зростання більша на 5 і 7 %, відповідно.

Література

1. Kiver V. Kh., Amroziak Yu. V., Maslikova K. P. Ripak u Pivnichnomu Stepu Ukrainy: znachennia, spektr vykorystannia ta perspektyvy vyrobnytstva // Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomia. Spetsvypusk. 2006. Vol. 1, Issue 4. P. 101–105.

2. Tokarchuk D. M. The modern state, efficiency and prospects of rape production in the european union and in Ukraine // Ahrosvit. 2015. Issue 13. P. 19–23.

3. Dankevych Ye. M. Perspektyvy rozvytku mizhhaluzevoi intehratsii u haluzi ripakivnytstva // Stalyi rozvytok ekonomiky. 2013. Issue 4. P. 296–299.

4. Shapar L. V. Nasinnieva produktyvnist sortiv ripaku ozymoho zalezho vid strokiv sivby ta norm vysivu v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy: PhD thesis. Kherson, 2017. 219 p.

5. Harbar L. A., Antal T. V., Romanov S. M. Osoblyvosti formuvannia produktyvnosti posiviv ripaku yarohto za vplyvu norm vysivu ta udobrennia // Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii. 2016. Issue 4. P. 24–26.

6. Lavrynenko Yu. O., Vlashchuk A. M., Shapar L. V. Vplyv struktumykh pokaznykiv na urozhainist nasinnia ripaku ozymoho zalezho vid strokiv sivby ta norm vysivu v Pivdennomu Stepu

Ukrainy // Naukovi dopovidi Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. 2016. Issue 5. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2016_5_16 (Last accessed: 12.05.2018)

7. Logachev A. V., Zapletina A. V., Bastron A. V. Study of the effect of presowing treatment of seeds of green crops of uhf energy in the laboratory germination // Vestnik KrasGAU. 2017. Issue 1. P. 77–85.

8. Effects of Gamma Irradiation on Agromorphological Characteristics of Okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench.) / Asare A. T. et. al. // Advances in Agriculture. 2017. Vol. 2017. P. 1–7. doi: <http://doi.org/10.1155/2017/2385106>

9. Bereka O. M. Obrobka nasinnia silskohospodarskykh kultur v sylnomu elektrychnomu poli. Kyiv: TsP «KOMPRYNT», 2011. 335 p.

10. Shherbakov K. N. Stimulyatsiya rostovykh protsessov rasteniy nizkoenergeticheskim magnitnym polem // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2002. Issue 7. P. 26–29.

11. Petrovskiy O. M. Vyznachennia naibilsh prydatnoho diapazonu elektromahnitnoho vyprominiuvannia dlia predposivnoi obrobky nasinnia // Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii. 2011. Issue 1. P. 163–165.

12. Isaev A. V., Bastron A. V., Meshheriyakov A. V. Effektivnye rezhimy predposevnoy obrabotki semyan rapsa v elektromagnitnom pole sverkhvysokoy chastoty: monograph. Krasnoyarsk: Krasnoyarskiy GAU, 2017. 146 p.

13. Chervinskyi L. S., Romanenko O. I. Elektrofizychni metody predposivnoi obrobky nasinnia // Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK. 2013. Issue 184 (1). P. 137–144.

14. Cherviyakov A. V., Kurzenkov S. V., Tsirkunov A. S. Analiz sposobov predposevnoy obrabotki semyan elektrofizicheskimi faktorami // Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokho-zyaystvennogo naznacheniya. 2015. Issue 1 (14). P. 183–188.

15. Dudin G. P. Mutagennoe deystvie izlucheniya geliy-neonovogo lazera na yarovoy yachmen' // Genetika. 1983. Issue 10. P. 1694–1696.

16. Romanenko O. I., Chervinskyi L. S. Rezultaty poshukovykh doslidzhen kombinovanoho oprominiuvannia nasinnia // Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK. 2012. Issue 174 (2). P. 206–209.

17. Semenov A. O., Kozhushko H. M., Sakhno T. V. Vplyv predposadkovoho UF-oprominennia na rozvytok i produktyvnist kartopli // Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarynoi akademii. 2018. Issue 1 (88). P. 18–23.

18. Semenov A. O., Kozhushko H. M., Sakhno T. V. Analiz roli UF-vyprominiuvannia na rozvytok i produktyvnist riznykh kultur // Svitlotekhnika ta elektroenerhetyka. 2017. Issue 2. P. 3–16.

19. The effect of gamma, Uv and microwave radiation on potato tubers / Tykhonov A. V. et. al. // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii. 2016. Issue 11 (1). URL: <http://technology.snauka.ru/2016/11/11072> (Last accessed: 15.12.2017)

20. Safaralikhonov A. B., Khudoerbekov F. N. The influence of the replant Uv-irradiation seeds of wheat for its further growth and transpiration intensity of leaves // Dokl. Akademii nauk respubl. Tadzhikistan. 2016. Vol. 59. Issue 7-8. P. 344–348.

21. Subramamon D. Effect of gamma radiation on the germination and seedling growth in French bean and Lima bean // Sei. and Cult. 1981. Vol. 47. P. 107–108.

22. Jakubowski T., Pytlowski T. Impact of UV-C radiation on the infestation degree of the stored potato tubers with *rhizoctonia solani* kuhn // AIP Conference Proceedings Agricultural engineering. 2015. Vol. 2 (154). P. 35–43. doi: <http://doi.org/10.14654/ir.2015.154.119>
23. Kondrat'eva N. P., Krasnolutskaia M. G., Bol'shin R. G. UF svetodiodnaya obluchatel'naya ustanovka dlya obrabotki semyan pered posevom // Agrotekhnika i energoobespechenie. 2016. Vol. 1, Issue 4 (13). P. 22–31.
24. Rogozhin V. V., Kurilyuk T. T. Vliyanie malykh doz ul'trafiioletovogo oblucheniya semyan na sostoyanie antioksidantnoy sistemy, prorastayushhikh zeren pshenitsy // Izvestiya TSKHA. 1999. Issue 3. P. 105–124.
25. Savel'ev V. A. Obrabotka semyan pshenitsy ul'trafiioletovymi luchami // Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 1990. Issue 3. P. 133–135.
26. Moderate UV-A supplementation benefits tomato seed and seedling invigoration: a contribution to the use of UV in seed technology / Mariz-Ponte N. et. al. // Scientia Horticulturae. 2018. Vol. 235. P. 357–366. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.025>
27. Rogozhin V. V., Kurilyuk T. T. Vliyanie ul'trafiioletovogo oblucheniya semyan na protsessy perekisnogo okisleniya lipidov v prorostkakh pshenitsy // Izvestiya TSKHA. 1997. Issue 3. P. 116–131.
28. Rupiasih N. N., Vidyasagar P. B. Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content chlorophyll of wheat seedlings // AIP Conference Proceedings AIP Conference Proceeding. 2016. Vol. 1719, Issue 1. P. 030035. doi: <http://doi.org/10.1063/1.4943730>
29. Romanenko O. I., Chervinskyi L. S. Metodyka rozrakhunku dozy ultrafiioletovoho oprominennia nasinnia ohirka v ustanovtsi transporternoho typu // Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu. 2013. Vol. 4, Issue 13. P. 84–89.
30. DSTU-4138-2002. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2003. 173 p.
31. Bystrye i nadezhnye test-nabory dlya vyyavleniya GMO // Romer Labs. URL: <https://www.romerlabs.com/ru/produkty/test-nabory/gmo> (Last accessed: 21.02.2018)
32. Sampling Rules N.124. Rules for sampling, Analysis instructions, Methods of analysis and certification: (Incorporating the Methods of Analysis Form No. 130). Gafta (The Grain And Feed Trade Association 9 Lincoln's Inn Fields). London: WC2A 3BP, 2012. 18 p.
33. Semenov A. O., Kozhushko G. M., Balja L. V. Non-ozone germicidal lamps for units of photochemical and photobiological action // Technological audit and production reserves. 2015. Vol. 4, Issue 1 (24). P. 4–7. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.46953>
34. MVU 11-038-2007. Dzherela ultrafiioletovoho vyprominiuvannia: metodyka vykonannia vymiriuvan parametriv ultrafiioletovoho vyprominiuvannia. Kharkiv: NNTs «Instytut metrolohii, 2007. 33 p.
35. Torfiani substraty. URL: http://kardash.com.ua/produkty_ua_universal.htm (Last accessed: 13.12.2017)
36. Semenov A. A., Kozhushko G. M., Sakhno T. V. Device for germicidal disinfection of drinking water by using ultraviolet radiation // Vestnyk Karahandynskoho unyversyteta. Seryia «Fyzyka». 2016. Issue 1 (81). P. 77–80.
37. Semenov A. O., Kozhushko H. M. Device for germicidal air disinfection by ultraviolet radiation // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Vol. 3, Issue 10 (69). P. 13–17. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24822>