

УДК 633.63.631.531.12

Теоретичні та практичні основи застосування БПЛА на селекційно-насінницьких посівах буряків цукрових

О. І. Присяжнюк* , М. О. Черняк, О. В. Балагура

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: ollpris@gmail.com

Мета. Установити теоретичні та практичні основи застосування БПЛА на селекційно-насінницьких посівах буряків цукрових в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Польові дослідження проводили в умовах ДП ДГ «Шевченківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Денихівка Білоцерківський р-н Київська обл.) упродовж 2021–2022 рр. **Результати.** Установлену високу ефективність проведення додаткового запилення насінників буряків цукрових гібрида 'Шевченківський' за допомогою дрона DJI Agras T20. Під час руху дрона по заданій траєкторії над насінниками буряків цукрових створювані гвинтами його двигунів вертикальні потоки повітря струшують із квітконосних пагонів пилок, захоплюють його та переносять з однієї рослини на іншу. Таким чином, поряд з вільним (природним), здійснюється ще й додаткове запилення насінників культури. Додаткове запилення проводять у період масового цвітіння насінників у ранкові години (з 9 до 11), що характеризується виділенням великої кількості пилку. Висока продуктивність дрона DJI Agras T20 дає змогу проводити цей захід багаторазово, що значно підвищує ефективність додаткового запилення. У середньому за два роки в ДП ДГ «Шевченківське» за проведення дворазового додаткового запилення (перше – на початку, друге – за масового цвітіння насінників) урожайність насіння підвищилася на 0,40 т/га, а його схожість – на 9 % порівняно з варіантом без додаткового запилення. **Висновки.** Ефективність зав'язування насіння буряків цукрових та, зрештою, і його врожайність значною мірою залежать від пилкоутворювальної здатності насінників та повноти перезапилення. Тому, за вирощування гібридного насіння необхідно проводити додаткове запилення, що дає змогу збільшити в пилковій хмарі над ділянкою гібридизації в першому рядку (відстань 1,4 м) кількість пилкових зерен у 2,12 раза, у четвертому (3,5 м) – в 1,97, у восьмому – в 1,64 раза порівняно з варіантом без додаткового запилення. Установлено, що в біологічному відношенні найефективнішим періодом проведення одноразового додаткового запилення є період цвітіння 40–50 % насінників порівняно із цвітінням 20–30 і 60–70 %. Водночас найбільшу різницю як щодо врожайності, так і якості насіння між контролем та варіантами досліду з додатковим запиленням отримано, коли його проводили тричі: перше – за цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 % і третє – за цвітіння 60–70 % насінників. Отже, застосування дрона DJI Agras T20 для проведення додаткового запилення насінників буряків цукрових гібрида 'Шевченківський' виявилось ефективним агротехнічним заходом підвищення врожайності насіння та поліпшення його якості.

Ключові слова: DJI Agras T20; додаткове запилення насінників; різноякісність насіння; урожайність і якість насіння.

Вступ

Буряки цукрові належать до перехреснозапильних культур, що в природних умовах запилюється за допомогою вітру та комах. Під час впливу повітряних потоків значна кількість пилку не бере участі в запиленні, багато його осідає на листках або розноситься горизонтальними й вертикальними потоками повітря на велику відстань від плантації, що також зменшує ймовірність перезапилення. Додаткове запилення усуває ці недоліки, оскільки при цьому більша частина пилку перебуває в зоні розташування квіток і бере участь у процесі запилення й запліднення [1–4].

Присяжнюк О. І., Черняк М. О., Балагура О. В. Теоретичні та практичні основи застосування БПЛА на селекційно-насінницьких посівах буряків цукрових. *Новітні агротехнології*. 2022. Т. 10, № 3.
<https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270502>

<http://jna.bio.gov.ua>

Вивчення впливу додаткового запилення насінників буряків цукрових на врожайність і якість насіння почали проводити ще в 50-х рр. минулого століття. Зокрема, В. П. Зосимович установив, що в разі запилення надлишком пилку удвічі збільшується відсоток зав'язування насіння в клубочках, різко поліпшується енергія й схожість насіння, причому дворазове додаткове запилення дає більший приріст урожайності порівняно з одноразовим [5].

Безпілотники в сучасній агрономічній практиці застосовуються для спостережень за вирощуванням сільськогосподарських культур, обробляння посівів пестицидами, внесення добрив тощо. Дрони можна швидко застосовувати, ними доволі ефективно реагувати та маневрувати, передаючи при цьому зображення з високою роздільною здатністю та забезпечуючи можливість отримання високоточних даних позиціонування, можливість розширення додатків різних пристроїв для необхідних нам завдань. А тому їх роль у сільськогосподарській практиці щорічно тільки зростатиме [6, 7].

Застосування БПЛА для контролювання стану посівів має очевидні переваги, оскільки дрон за допомогою датчиків оцінює значний масив поля, де вирощуються рослини, за показниками поглинання та відображення світла певної довжини хвилі, формуючи кольорове контрастне зображення, яке візуально відображає проблемну ділянку. Зображення, створені на основі цих даних, включають карту NDVI (нормалізований індекс різниці рослинності), яка отримується завдяки розрахунку співвідношення різниці між ближнім інфрачервоним і видимим випромінюванням дають змогу розрізнити до певної міри стан посівів, оскільки пошкоджені або зневоднені рослини по-іншому відбивають світло [6, 8, 9].

Згідно з останніми дослідженнями, спектральні дані можуть показати зокрема й пошкодження посівів культурних рослин пестицидами, а також визначити стійкі до дії застосованих гербіцидів бур'яни. Дослідження, виконані у посівах пшениці в умовах Онтаріо (Канада) за допомогою дрона, показали зокрема, що на карті з NDVI можна визначити ділянки заражені нематодами [10–12].

Дані, отримані Schmale в умовах Технічного університету Вірджинії, свідчують, що за допомогою застосування дронів можна виявляти такі патогени, як повітряні спори *Fusarium graminearum*. Якщо в регіоні спостерігається спалах хвороб злаків, то аналіз проб повітря може допомогти фермерам підготуватися до вчасного та ефективного захисту посівів [6, 7].

Також перспективним напрямом використання дронів є запилення сільськогосподарських культур. Адже серед понад 350 000 видів квіткових рослин [13], різні види дуже унікальним чином взаємодіють із переносниками пилку. Ба більше, лише частина комах є насправді ефективними запилювачами [14], що в сучасних умовах пестицидного тиску на комах спричиняє низьку ефективність запилення та, як наслідок, й урожайність культур [8, 10, 15, 16].

Сьогодні дрони широко використовуються в посівах таких культур, як соняшник (*Helianthus annuus*), а от застосування їх для запилення або додаткового запилення культур із більш складним доступом до квіток наражається на критику. Тому що спроба замінити наявні способи запилення сільськогосподарських культур флотом роботів є економічно нежиттєздатною: навіть якщо технологія справлятиметься із завданням, вартість, імовірно, буде надзвичайно високою. А за невелику частку вартості роботизованого запилення можна активніше втілювати рішення для захисту середовищ існування запилювачів, зменшення загроз для них та сприяння розвитку міст і ландшафтів, сприятливих для біорізноманіття [9, 17, 18, 19].

Однак розробляння таких технологій для цільових ніш, наприклад, для виробництва гібридного насіння безнектарних культур, як-от томат (*Lycopersicon esculentum*) або салат (*Lactuca sativa*), наразі є доволі актуальним питанням [20].

Також актуальним є додаткове перехресне запилення культур, що зазвичай запилюються потоками вітру або ж води. У такому разі дрони можуть поліпшити наявний стан запилення рослин без зміни крихкого балансу біорізноманіття запилювачів. Адже чужорідні інвазивні види спричиняють локальне / регіональне вимирання, порушують мережі взаємодії видів [21]. Запровадження роботизованих машин-запилювачів для розповсюдження пилку порушить крихкий баланс видів, які вже знаходяться в сільськогосподарських і природних екосистемах і залежать від них [0].

Інформація про проведення додаткового запилення таких культур, як буряки цукрові за допомогою дронів відсутня [22]. Хоча практика застосування різноманітних механічних струшувачів пилку досить докладно вивчена й застосовується в насінницьких господарствах.

Мета досліджень – установити теоретичні та практичні основи застосування БПЛА на селекційно-насінницьких посівах буряків цукрових в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методика досліджень

Дослідження виконували впродовж 2021–2022 рр. у ДП ДГ «Шевченківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Денихівка Білоцерківський (Тетіївський) р-н Київська обл.).

У господарстві переважають потужні, мало- та середньогумусні чорноземи легкосуглинкового гранулометричного складу зі вмістом гумусу 3,5–5,5, іноді – до 7 %. Для цих ґрунтів є характерною висока насиченість обмінним кальцієм (10–85 %) і близька до нейтральної реакція рН суспензії (6,1–6,6). Гідролітична кислотність орного шару – 2,6–3,5 мг-екв, сума ввібраних основ – 22–30 мг-екв на 100 г ґрунту. В орному шарі міститься 100–120 мг рухомого фосфору, 70–130 калію і 80–90 мг легкогідролізованого азоту на один кілограм ґрунту. Загальна шпаруватість ґрунтів є досить високою (50–60 %) й обумовлена добре розвиненою макроструктурою в шарах Н і Н_р, а нижче – мікроструктурою. Унаслідок наявності карбонатів кальцію та магнію в материнській породі, слабого промивання атмосферними опадами та високого ступеня насиченості основами, ці ґрунти характеризуються добрими водно-фізичними властивостями та здатні накопичувати досить значну кількість продуктивної вологи.

Погодні умови протягом років досліджень за температурним режимом і опадами мали певні відхилення від середніх багаторічних, що дало змогу повніше встановити вплив досліджуваних чинників на ріст, розвиток і продуктивність буряків другого років життя.

Варіанти досліду передбачали різні комбінації вирощування насінників буряків цукрових:

- без додаткового запилення;
- додаткове запилення під час цвітіння 20–30 % насінників;
- додаткове запилення під час цвітіння 40–50 % насінників;
- додаткове запилення під час цвітіння 60–70 % насінників;
- перше додаткове запилення під час цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 % насінників;
- перше додаткове запилення під час цвітіння 40–50 %, друге – 60–70 % насінників;
- перше додаткове запилення під час цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 % насінників, третє – 60–70 % насінників.

Площа посівної ділянки становила 201,6 м², облікової – 150 м². Повторність – чотириразова. Висівали компоненти схрещування гібрида буряків цукрових 'Шевченківський'.

Для проведення додаткового запилення насінників буряків цукрових використовували дрон DJI Agras T20 (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вигляд дрону DJI Agras T20 із комплектом обладнання для внесення пестицидів, акумуляторними батареями і генератором

Він зазвичай використовується для оброблення посівів сільськогосподарських культур, адже оснащений вісьмома форсунками і насосом продуктивністю 6 л/хв, а також двоканальним

електромагнітним витратоміром, що забезпечує ідентичність розпилення з кожного сопла. Форма форсунок, що розроблена з урахуванням вітрового поля від пропелерів, робить краплі однорідними, а їхню хмару – щільною. Завдяки цьому реагент легко покриває листя рослин з обох боків.

DJI Agras T20 оснащений усепрямованим радаром, який може визначати будь-які перешкоди завтовшки від 1 см на відстані від 15 см, та на роботу якого не впливають світло й пил. Також дрон оснащений системою моніторингу зображення в реальному часі й двома світлодіодними прожекторами. Складна модульна конструкція дає змогу зручно перевозити DJI Agras T20 до місця робіт. Основний блок дрона має ступінь захисту за стандартом IP 67, а решта вузлів пилонепроникні, водостійкі та не бояться корозії.

У стандартній комплектації DJI Agras T20 має модуль RTK, що забезпечує точність позиціонування до сантиметрів і запобігає повторному проходженню дрона над уже обробленими ділянками.

Дослідження проводили згідно із загальновизнаними методиками дослідної справи. Упродовж вегетаційного періоду відмічали фази розвитку культури, тривалість міжфазних періодів, динаміку цвітіння компонентів схрещування та досягання гібридного насіння.

Спостереження за фіксацією пилку проводили на ділянці розміром 10 × 10 см, розміщеній на поверхні ґрунту, за схеми вирощування компонентів насінників 16 : 4.

Результати досліджень

У результаті вивчення агротехнічного заходу – додаткового запилення насінників буряків цукрових за допомогою застосування дрона DJI Agras T20 в умовах ДП ДГ «Шевченківське» було встановлено його високу ефективність. Під час руху дрона по заданій траєкторії над насінниками створювані гвинтами його двигунів вертикальні потоки повітря струшують із квітконосних пагонів пилок, захоплюють його та переносять з однієї рослини на іншу (рис. 2).



Рис. 2. Візуалізація потоків повітря створюваних гвинтами дрона DJI Agras T20

Таким чином, поряд з вільним (природним), здійснюється додаткове запилення (далі – ДЗ) насінників цукрових буряків. ДЗ проводять у період масового цвітіння насінників у ранкові години (з 9 до 11), це період інтенсивного цвітіння з виділенням великої кількості пилку.

Висока продуктивність дрона DJI Agras T20 дає змогу проводити цей захід багаторазово, що значно підвищує ефективність ДЗ. У середньому за два роки в ДП ДГ «Шевченківське» за проведення дворазового додаткового запилення (перше – на початку, друге – за масового цвітіння) урожайність насіння підвищилася на 0,40 т/га, його схожість – на 9 % порівняно з варіантом без додаткового запилення (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив додаткового одноразового запилення на врожайність і якість насіння буряків цукрових (2021 р.)

Варіант	Урожайність насіння, т/га	Схожість насіння, %	Маса 1000 плодів, г	Плодів фракції ... мм, %			
				3,0–3,5	3,5–4,5	4,5–5,5	> 5,5
Без додаткового запилення	1,09	81	12,8	16	60	17	7
З додатковим запиленням	1,49	90	13,6	7	65	23	5
НІР _{0,05}	0,10	2	0,3	1	3	2	1

Суттєво ліпші показники врожайності та якості насіння отримано за умови проведення кількарізного додаткового запилення насінників буряків цукрових. Зокрема, за триразового додаткового запилення врожайність насіння та його схожість перевищували показники контрольного варіанта відповідно на 0,58 т/га та 10 % (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив строків і кратності додаткового запилення насінників буряків цукрових на врожайність і якість насіння (середнє за 2021–2022 рр.)

№ п/п	Варіант	Урожайність насіння, т/га	Схожість насіння, %	Маса 1000 плодів, г	Плодів фракції ... мм, %			
					3,0–3,5	3,5–4,5	4,5–5,5	> 5,5
1	Без додаткового запилення	1,53	87	12,5	10,4	57,6	23,1	8,9
2	Додаткове запилення під час цвітіння 20–30 % насінників	1,71	92	13,0	11,3	56,4	23,3	9
3	Додаткове запилення під час цвітіння 40–50 % насінників	1,78	93	13,6	9,5	56,6	23,1	10,8
4	Додаткове запилення під час цвітіння 60–70 % насінників	1,74	93	13,2	10	55,1	24,8	10,1
5	Перше додаткове запилення під час цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 % насінників	1,95	89	13,7	11,2	56,6	22,1	10,1
6	Перше додаткове запилення під час цвітіння 40–50 %, друге – 60–70 % насінників	2,03	94	13,6	10,1	55,7	24,3	9,9
7	Перше додаткове запилення під час цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 %, третє – 60–70 % насінників	2,11	97	14,3	10,2	55,2	23,3	11,3
	НІР _{0,05}	0,14	1,1	0,3	0,12	0,23	0,14	0,1

Слід зазначити, що в біологічному значенні найефективнішим ДЗ є під час цвітіння 40–50 % насінників порівняно з 20–30 і 60–70 %. Загалом же найвищі показники врожайності (2,11 т/га) і схожості (97 %) насіння отримано у варіанті, де ДЗ проводили тричі: перше під час цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 %, третє – 60–70 % насінників.

У всіх варіантах, де проводили додаткове запилення, схожість насіння була значно вищою, ніж на контролі, а серед насіння переважала фракція 4,5–5,5 мм. Найменшу масу 1000 плодів також отримано в контрольному варіанті – без ДЗ. Тобто, додаткове запилення сприяє не тільки підвищенню врожайності та якості насіння, але й впливає на його різноякісність.

Насіннева продуктивність залежить також і від пилкоутворювальної здатності рослин, повноти перезапилення, ступеня запліднення, розвитку зародка і власне насіння, що зрештою визначає зав'язуваність і схожість. Тобто, зав'язуваність і схожість насіння є похідними вибіркового запліднення. Останнє своєю чергою здійснюється в разі потрапляння великої кількості пилку на приймочку маточки.

Спостереження за фіксацією пилку на ділянці розміром 10 × 10 см, розміщеній на поверхні ґрунту, показали, що за додаткового запилення на першому рядку ділянки гібридизації кількість пилкових зерен збільшилась у 2,12 раза, у четвертому – в 1,97 і у восьмому – в 1,64 раза порівняно з варіантом без застосування ДЗ (табл. 3).

**Кількість пилових зерен залежно від додаткового запилення, шт./10 см²
(середнє за 2021–2022 рр.)**

Відстань		Без додаткового запилення	З додатковим запиленням
рядки	м		
1-й	1,4	58	123
4-й	2,7	30	59
8-й	3,3	14	23
НІР _{0,05}		4	6

Отже, розподілення «пилової хмари» над ділянкою (полем) гібридизації у разі додаткового запилення відбувається рівномірніше.

Висновки

Ефективність зав'язування насіння буряків цукрових та, зрештою, і його врожайність значною мірою залежать від пилоутворювальної здатності насінників та повноти перезапилення. Тому, за вирощування гібридного насіння необхідно проводити додаткове запилення, що дає змогу збільшити в пиловій хмарі над ділянкою гібридизації в першому рядку (відстань 1,4 м) кількість пилових зерен у 2,12 раза, у четвертому (3,5 м) – в 1,97, у восьмому – в 1,64 раза порівняно з варіантом без додаткового запилення.

Установлено, що в біологічному відношенні найефективнішим періодом проведення одноразового додаткового запилення є період цвітіння 40–50 % насінників порівняно із цвітінням 20–30 і 60–70 %. Водночас найбільшу різницю як щодо врожайності, так і якості насіння між контролем та варіантами досліду з додатковим запиленням отримано, коли його проводили тричі: перше – за цвітіння 20–30 %, друге – 40–50 % і третє – за цвітіння 60–70 % насінників.

Отже, застосування дрона DJI Agras T20 для проведення додаткового запилення насінників буряків цукрових гібрида 'Шевченківський' виявилось ефективним агротехнічним заходом підвищення врожайності насіння та поліпшення його якості.

Використана література

1. Cresswell J. E. Manipulation of female architecture in flowers reveals a narrow optimum for pollen deposition. *Ecology*. 2000. Vol. 81, Iss. 11. P. 3244–3249. doi: 10.2307/177415
2. Daly H. E., Farley J. *Ecological Economics: Principles and Applications*. 2nd ed. Washington : Island Press, 2010. 484 p.
3. Díaz S., Demissew S., Joly C. et al. The IPBES conceptual framework – connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2015. Vol. 14. P. 1–16. doi: 10.1016/j.cosust.2014.11.002
4. Балагура О. В. Різноманітність насіння цукрових буряків залежно від генотипу та умов вирощування. *Цукрові буряки*. 2014. № 1. С. 10–11.
5. Балан В. М., Балагура О. В., Присяжнюк О. І. Продуктивність цукрових буряків залежно від генотипу. *Новітні агротехнології*. 2015. № 1. doi: 10.21498/na.1(3).2015.118742
6. Xianping W. Advantages of UAV flying defense operations and techniques during operation Qiao. *Science and Technology Economics Guide*. 2018. Vol. 26, Iss. 4. P. 57–58.
7. Aizen M. A., Harder L. D. Expanding the limits of the pollen-limitation concept: effects of pollen quantity and quality. *Ecology*. 2007. Vol. 88, Iss. 2. P. 271–281. doi: 10.1890/06-1017
8. Martins K. T., Gonzalez A., Lechowicz M. J. Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2015. Vol. 200. P. 12–20. doi: 10.1016/j.agee.2014.10.018
9. Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V., Ngo H. T. et al. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*. 2016. Vol. 540. P. 220–229. doi: 10.1038/nature20588
10. Albrecht M., Schmid B., Hautier Y., Müller C. B. Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2012. Vol. 279, Iss. 1748. P. 4845–4852. doi: 10.1098/rspb.2012.1621
11. Arts K., van der Wal R., Adams W. M. Digital technology and the conservation of nature. *Ambio*. 2015. Vol. 44. P. 661–673. doi: 10.1007/s13280-015-0705-1
12. Benyus J. M. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York, NY : Perennial, 2018. 308 p.

13. Ollerton J., Winfree R., Tarrant S. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 2011. Vol. 120. P. 321–326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
14. King C., Ballantyne B., Willmer P. G. Why flower visitation is a poor proxy for pollination: measuring single-visit pollen deposition, with implications for pollination networks and conservation. *Methods in Ecology and Evolution*. 2013. Vol. 4, Iss. 9. P. 811–818. doi: 10.1111/2041-210X.12074
15. Fründ J., Dormann C. F., Holzschuh A., Tschamntke T. Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology*. 2013. Vol. 94, Iss. 9. P. 2042–2054. doi: 10.1890/12-1620.1
16. Garibaldi L. A., Steffan-Dewenter I., Winfree R. et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey-bee abundance. *Science*. 2013. Vol. 339, Iss. 6127. P. 1608–1611. doi: 10.1126/science.1230200
17. Dicks L. V., Viana B., Bommarco R. et al. Ten policies for pollinators. *Science*. 2016. Vol. 354, Iss. 6315. P. 975–976. doi: 10.1126/science.aai9226
18. Garibaldi L. A., Carvalheiro L., Vaissière B. E. et al. Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*. 2016. Vol. 351, Iss. 6271. P. 388–391. doi: 10.1126/science.aac7287
19. The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production / S. G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo (Eds.). Bonn, Germany : IPBES, 2016. 552 p. doi: 10.5281/zenodo.3402856
20. Liu L.-W., Wang Y., Gong Y.-Q. et al. Assessment of genetic purity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) hybrid using molecular markers. *Scientia Horticulturae*. 2017. Vol. 115. P. 7–12. doi: 10.1016/j.scienta.2007.07.013
21. Geslin B., Gauzens B., Baude M. et al. Massively introduced managed species and their consequences for plant-pollinator interactions. In networks of invasion: empirical evidence and case studies. *Advances in Ecological Research*. 2017. Vol. 57. P. 147–199. doi: 10.1016/bs.aecr.2016.10.007
22. Knapp J. L., Bartlett L. J., Osborne J. L. Re-evaluating strategies for pollinator-dependent crops: how useful is parthenocarpy? *Journal of Applied Ecology*. 2016. Vol. 54, Iss. 4. P. 1171–1179. doi: 10.1111/1365-2664.12813

References

1. Cresswell, J. E. (2000). Manipulation of female architecture in flowers reveals a narrow optimum for pollen deposition. *Ecology*, 81(11), 3244–3249. doi: 10.2307/177415
2. Daly, H. E., & Farley, J. (2010). *Ecological Economics: Principles and Applications* (2nd ed.). Washington: Island Press.
3. Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., ... Zlatanova, D. (2015). The IPBES conceptual framework – connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. doi: 10.1016/j.cosust.2014.11.002
4. Balahura, O. V. (2014). The diversity of sugar beet seeds depending on the genotype and growing conditions. *Sugar Beet*, 1, 10–11. [In Ukrainian]
5. Balan, V. M., Balahura, O. V., & Prysiazhniuk, O. I. (2015). Productivity depending on sugar beet genotypes. *Advanced Agritechnologies*, 1. doi: 10.21498/na.1(3).2015.118742 [In Ukrainian]
6. Xianping, W. (2018). Advantages of UAV flying defense operations and techniques during operation Qiao. *Science and Technology Economics Guide*, 26(4), 57–58.
7. Aizen, M. A., & Harder, L. D. (2007). Expanding the limits of the pollen-limitation concept: effects of pollen quantity and quality. *Ecology*, 88(2), 271–281. doi: 10.1890/06-1017
8. Martins, K. T., Gonzalez, A., & Lechowicz, M. J. (2015). Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 12–20. doi: 10.1016/j.agee.2014.10.018
9. Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., ... Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540, 220–229. doi: 10.1038/nature20588
10. Albrecht, M., Schmid, B., Hautier, Y., & Müller, C. B. (2012). Diverse pollinator communities enhance plant reproductive success. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1748), 4845–4852. doi: 10.1098/rspb.2012.1621
11. Arts, K., van der Wal, R., & Adams, W. M. (2015). Digital technology and the conservation of nature. *Ambio*, 44, 661–673. doi: 10.1007/s13280-015-0705-1
12. Benyus, J. M. (2002). *Biomimicry: innovation inspired by nature*. New York, NY: Perennial.
13. Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, 321–326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x
14. King, C., Ballantyne, B., & Willmer, P. G. (2013). Why flower visitation is a poor proxy for pollination: measuring single-visit pollen deposition, with implications for pollination networks and conservation. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(9), 811–818. doi: 10.1111/2041-210X.12074

15. Fründ, J., Dormann, C. F., Holzschuh, A., & Tscharntke, T. (2013). Bee diversity effects on pollination depend on functional complementarity and niche shifts. *Ecology*, 94(9), 2042–2054. doi: 10.1890/12-1620.1
16. Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey-bee abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611. doi: 10.1126/science.1230200
17. Dicks, L. V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M. del C., Cunningham, S. A., ... Potts, S. G. (2016). Ten policies for pollinators. *Science*, 354(6315), 975–976. doi: 10.1126/science.aai9226
18. Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M., ... Zhang, H. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271), 388–391. doi: 10.1126/science.aac7287
19. Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Ngo, H. T. (Eds.). (2016). *The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production*. Bonn, Germany: IPBES. doi: 10.5281/zenodo.3402856
20. Liu, L.-W., Wang, Y., Gong, Y.-Q., Zhao, T.-M., Liu, G., Li, X.-Y., & Yu, F.-M. (2007). Assessment of genetic purity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) hybrid using molecular markers. *Scientia Horticulturae*, 115, 7–12. doi: 10.1016/j.scienta.2007.07.013
21. Geslin, B., Gauzens, B., Baude, M., Dajoz, I., Fontaine, C., Henry, M., ... Vereecken, N. J. (2017). Massively introduced managed species and their consequences for plant–pollinator interactions. In networks of invasion: empirical evidence and case studies. *Advances in Ecological Research*, 57, 147–199. doi: 10.1016/bs.aecr.2016.10.007
22. Knapp, J. L., Bartlett, L. J., & Osborne, J. L. (2016). Re-evaluating strategies for pollinator-dependent crops: how useful is parthenocarpy? *Journal of Applied Ecology*, 54(4), 1171–1179. doi: 10.1111/1365-2664.12813

UDC 633.63.631.531.12

Prisyazhniuk, O. I.*, Cherniak, M. O., & Balahura, O. V. (2022). Theoretical and practical basics of UAV application in the sugar beet seed production. *Advanced Agritechnologies*, 10(3). <https://doi.org/10.47414/na.10.3.2022.270502> [In Ukrainian]

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: ollpris@gmail.com

Purpose. To establish the theoretical and practical ground for the application of UAVs in the production of sugar beet seeds in the Right Bank Forest Steppe of Ukraine. **Methods.** A field experiment was conducted on the Shevchenkivske Experimental Farm of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Denykhivka, Bila Tserkva district, Kyiv region) in 2021–2022. **Results.** The high efficiency of additional pollination of the seed plants of the sugar beet hybrid 'Shevchenkivskiy' with the use of DJI Agras T20 drone was proved. During the movement of the drone along a given trajectory over the seed plants of sugar beets, the vertical air currents created by the propellers shake off the pollen of flower-bearing shoots, capture it and transfer it from one plant to another. Thus, along with open (natural) pollination, additional pollination of the seed plants is occurred. Additional pollination was performed in the period of mass flowering of seeds in the morning hours (from 9 to 11) – a time when a large amount of pollen is released. The high performance of the DJI Agras T20 drone allows for performing additional pollination many times, which significantly increases its efficiency. On average, over two years, double additional pollination (performed at the beginning of flowering and in the stage of mass flowering of the seed plants) ensured a 0.40 t/ha seed yield increase and a 9% seed germination increase compared to the conventional seed production practice. **Conclusions.** The effectiveness of setting sugar beet seeds and, consequently, seed yield largely depends on the pollen-forming ability of the seed plants and the fullness of the pollination. Therefore, in the cultivation of hybrid seeds, it is necessary to carry out additional pollination, which increases the number of pollen grains in the pollen cloud above the field as follows: 2.12 times in the 1st row (distance 1.4 m), 1.97 times in the 4th row (3.5 m), and 1.64 times in the 8th row, compared to the control. It was found that from a biological perspective, the most favourable period for single additional pollination is the period when 40–50% of the seed plants are open, compared to 20–30% and 60–70%. At the same time, the highest increase in seed yield and quality was ensured with three additional pollinations: the first when 20–30% of flowers are opened, the second when 40–50% and the third when 60–70%. Therefore, the use of the DJI Agras T20 drone for additional pollination of the seed plants of sugar beet hybrid 'Shevchenkivskiy' appeared an effective agrotechnical practice for increasing seed yield and quality.

Keywords: DJI Agras T20; additional pollination of seed plants; seed quality variability; seed yield and quality.

Надійшла / Received 14.11.2022
Погоджено до друку / Accepted 29.11.2022