

УДК 582.998.1(477.8):581.162.3

DOI <https://doi.org/10.33989/2025.11.2.352457>

І. Г. Власов

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300, Україна

illavlasov322@gmail.com, illavlasov73@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3193-357X>

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИЛКУ *ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD. НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ПОДІЛЛЯ

Проведено комплексне дослідження якості пилку рідкісного виду **Echinops exaltatus** Schrad., занесеного до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», у природних умовах Західного Поділля (Хмельницька область, Україна). Зразки пилкових зерен зібрано під час піку цвітіння в лучно-степових біотопах із добре дренованими ґрунтами та помірним антропогенним впливом. Метою було оцінити репродуктивний потенціал виду через аналіз фертильності та життєздатності пилку, що є ключовими індикаторами стабільності популяцій. Для оцінки застосовано два методи: йодний, який виявляє полісахариди в клітинній стінці пилкових зерен, та метод прижиттєвих барвників, що базується на вибірковій поглинальній здатності протоплазми живих клітин. Йодний метод показав високий середній рівень фертильності (85,53%, діапазон 66,67–100%), тоді як метод прижиттєвих барвників засвідчив нижчу життєздатність (65,75%, діапазон 31,25–100%). Значна варіабельність між полями зору вказує на вплив мікроекологічних чинників (вологість, температура, поживні речовини) та можливі відмінності у зрілості пилку. Морфологічний аналіз підтвердив, що пилкові зерна є ізополярними, великими (51–100 мкм), пролатної форми, з трикутним контуром у полярній проекції та борознопоровими апертурами. Скульптура екзени розгалужено-стовпчикова, з вираженими шипами та мікроретикульованою підкладкою, що забезпечує адгезію до комах-запилювачів і механічний захист. Статистична обробка (середнє значення, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, дисперсія) показала стабільність фертильності ($CV < 20\%$) та вищу неоднорідність життєздатності ($CV \approx 30\%$), що може свідчити про вплив стресових факторів, таких як кліматичні зміни чи антропогенний тиск. Результати підкреслюють значний репродуктивний потенціал виду, що є важливим для його збереження в умовах фрагментації біотопів та кліматичних трансформацій. Дослідження сприяє моніторингу популяцій **E. exaltatus**, оцінці загроз їхньому існуванню та розробці стратегій охорони. Отримані дані можуть бути основою для подальшого вивчення впливу абіотичних і антропогенних факторів на репродуктивну біологію виду, а також для вдосконалення методів оцінки якості пилку, що враховують морфологічні та фізіологічні аспекти. Результати мають значення для збереження біорізноманіття регіональної флори та підтримки ентомофільного запилення в лучно-степових екосистемах

Ключові слова: **Echinops exaltatus**, пилкові зерна, пилко, фертильність, життєздатність.

Вступ. *Echinops exaltatus* – гемікриптофіт, багаторічна трав'яниста рослина родини *Asteraceae*. Представник європейсько-середземноморської флори на північно-східній межі диз'юнктивного ареалу. Природний ареал виду охоплює Східну та Південно-Східну Європу, крім того, він натуралізований у ряді країн Центральної та Північної Європи, зокрема в Австрії, Німеччині та Данії. За межами Євразії *E. exaltatus* відомий як інтродукований та здичавілий вид у Північній Америці – у Канаді та США. В Україні рослина занесена до «Червоної книги України» (2009) з природоохоронним статусом «неоцінений», що обумовлює необхідність моніторингу стану її популяцій і вивчення факторів, які впливають на їхню стабільність (Дідух (Ред.), 2009; Єрмоленко, Тарасов, & Мельник, 2012).

Вид має значну екологічну пластичність і належить до групи світлолюбних рослин, що переважно трапляються на відкритих ділянках із добре дренованими ґрунтами. Завдяки здатності адаптуватися до різноманітних кліматичних режимів та стійкості до антропогенного впливу, *E. exaltatus* відіграє помітну роль у формуванні та підтриманні структури природних фітоценозів (Scoggan, 1978-1979; Парпан, & Дмитраш-Вацеба, 2016).

У природних біотопах цей вид виконує важливі екосистемні функції, будучи стабільним компонентом лучно-степових біоценозів, сприяючи збереженню біорізноманіття та створенню умов для існування інших представників флори й фауни. Інтенсивне та тривале цвітіння забезпечує *E. exaltatus* значний внесок у підтримання ентомофільного запилення, залучаючи широкий спектр комах-запилювачів, зокрема диких бджіл, денних і нічних лускокрилих, а також інших представників ентомофауни. Це, у свою чергу, сприяє підтриманню стабільності трофічних зв'язків і функціональній цілісності екосистем, у яких цей вид зростає (Pignatti, 2017).

Актуальність досліджень. Майже усі відомі популяції є малочисельними, представлені поодинокими особинами або нечисельними популяційними локусами. Оцінка якості пилку *Echinops exaltatus* є визначальним елементом комплексного вивчення його репродуктивного потенціалу, який безпосередньо корелює з успішністю ентомофільного запилення, насінневою продуктивністю та здатністю підтримувати стабільність популяцій у різноманітних екологічних умовах. Поглиблений аналіз морфологічних параметрів пилкових зерен, а також визначення їхньої життєздатності та фертильності, дає можливість об'єктивно оцінити ефективність генеративного розмноження, що виступає одним із ключових індикаторів адаптивного потенціалу виду.

В умовах сучасних кліматичних трансформацій, які проявляються у підвищенні середньорічних температур, зміні режиму опадів та зростанні частоти та інтенсивності посушливих періодів, дослідження життєздатності пилку набуває особливого значення. Порушення гідротермічного балансу може негативно впливати на формування генеративних органів та процеси запилення, що, своєю чергою, зумовлює зниження репродуктивної успішності. Одночасно підвищення рівня антропогенного навантаження, зокрема внаслідок урбанізації, фрагментації природних біотопів, забруднення атмосферного повітря та ґрунтів, може призводити до деградації якості пилку та зниження його функціональної активності.

Комплексна оцінка життєздатності пилку *E. exaltatus* дозволяє не лише визначити поточний стан та стабільність популяцій у межах Західного Поділля, але й ідентифікувати потенційні ризики для збереження цього рідкісного виду, занесеного до Червоної книги України.

Отримані дані можуть стати науковим підґрунтям для подальших досліджень впливу абіотичних та антропогенних чинників на репродуктивну біологію виду, а також для розроблення ефективних стратегій охорони рідкісних та цінних компонентів регіональної флори.

Матеріали та методи дослідження. Об'єктом дослідження виступали зразки пилкових зерен *Echinops exaltatus*, зібрані під час експедиційних досліджень у природних умовах в період піку цвітіння у межах території Західного Поділля (Хмельницька область, Україна), зокрема в Сатанівському лісництві, на поляні біля річки Збруч, поблизу селища Сатанів у межах Національного природного парку «Подільські Товтри». Місце відбору характеризувалося типовими для виду лучно-степовими умовами з помірним рівнем антропогенного

впливу та добре дренованими ґрунтами. Відбір зразків здійснювався у репрезентативних частинах суцвіть з урахуванням фаз онтогенезу квіток, що дозволяло забезпечити достовірність оцінки фертильності та життєздатності пилку. Опис морфологічних характеристик пилкових зерен ґрунтувався на узагальненні даних спеціалізованих літературних джерел та результатів власних спостережень із застосуванням світлової мікроскопії.

Для визначення фертильності пилку застосовували йодний метод (Алексеева, 2012), що базується на взаємодії йоду з полісахаридами клітинної стінки пилкових зерен, внаслідок чого життєздатні та зрілі зерна набували темно-бурого або насичено-фіолетового відтінку, тоді як нежиттєздатні залишалися світлими або слабо забарвленими. Метод дозволяє визначити ступінь зрілості та функціональної активності пилку. Для визначення життєздатності пилку використовувався метод прижиттєвих барвників (за В. Н. Юрцевим), що базується на наявності активної вибіркової поглинальної здатності у протоплазми живих клітин і відсутності її у протоплазмі нежиттєздатного пилку. Це забезпечувало диференціацію функціонально активних та дегенеративних пилкових зерен з високою точністю (Алексеева, 2012). Для проведення аналізу використовувався світловий мікроскоп Olympus CX21 з об'єктивами 10× та 40× (збільшення 100× та 400×).

Для методу прижиттєвих барвників готували два типи розчинів: 1) розчин хімічно чистого еритрозину (або метиленового синього) з концентрацією 1:5000 на базі дистильованої води; 2) фосфатний буферний розчин Серенсена з рН 7,17 (для отримання 10 мл буферного розчину використовувалися 7 мл 1/15М розчину $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, до якого додавалися 3 мл 1/15М розчину KH_2PO_4). Процедура аналізу: на предметне скло наносили краплю свіжоприготованого фосфатного буферу, додавали трохи пилку та ретельно перемішували за допомогою палички; до суміші додавали краплю розчину еритрозину (або метиленового синього) та повторно перемішували; через 2–5 хвилин препарат накривали покривним склом; у інтервалі від 5 до 15–20 хвилин під мікроскопом проводили підрахунок забарвлених (нежиттєздатних) і незабарвлених (життєздатних) пилкових зерен. Для йодного методу готували розчин за рецептом Грама: 2 г йодиду калію розчиняли у 5 мл дистильованої води з нагріванням, додавали 1 г металевого йоду, об'єм доводили до 300 мл, а розчин зберігали у скляній ємності з помаранчевого скла. Процедура аналізу: розкриття зрілих пиляків двома голками на предметному склі, обробка препарату йодним розчином, видалення зайвих тканин та накривання покривним склом; під мікроскопом визначали фертильні пилкові зерна (темно-фіолетове або майже чорне забарвлення завдяки крохмалю) та стерильні (незабарвлені або з залишковою кількістю крохмалю).

Підрахунок результатів здійснювали у 30 випадково вибраних полях зору для кожного зразка при збільшенні мікроскопу 10×10, при цьому враховували не менше 300 пилкових зерен на зразок. Паралельно фіксували екологічні характеристики місця збору, включаючи тип ґрунту, вологість, температурний режим та ступінь антропогенного впливу. Отримані дані обробляли методами описової статистики (Приседський, 1999) з розрахунком середніх значень та стандартних відхилень, що забезпечувало об'єктивність оцінки та можливість подальшого порівняння з аналогічними дослідженнями в інших регіонах ареалу виду.

Результати та їх обговорення. Детальне регіональне дослідження *E. exaltatus* для України здійснили В. І. Парпан та І. І. Дмитраш-Вацеба, які проаналізували поширення та стан популяцій у Південному Опіллі. Автори виявили дванадцять нових локалітетів виду, уточнили північно-східну межу ареалу й охарактеризували біотопи виду (узлісся, чагарникові угруповання, карстові воронки), відзначивши високу щільність і варіабельність розмірів популяцій. Робота підсилила охоронну аргументацію для виду у національному контексті та показала, що дрібномасштабні середовищні градієнти суттєво впливають на структуру популяцій (Парпан, & Дмитраш-Вацеба, 2016).

Г. Гальбріттер здійснив детальний опис пилкових зерен виду, які характеризуються надзвичайно товстою екзиною (до 18 мкм), яка складається із стовпчикової етекзини та ендекзини, показано відмінності вигляду свіжих, регідратованих і висушених зерен, а також

морфологію апертур і поверхні екзини у SEM. Ці дані є еталонними для ідентифікації виду на рівні пилку та для порівняльної паліноморфології в межах роду (Halbritter, 2000).

На рівні філогенії роду проведено дослідження міжнародними колективами з Ірану, Іспанії та Італії. Дослідження групи науковців (Montazerolghaem, Susanna, Calleja, Mozaffarian, & Rahiminejad, 2017) на матеріалі іранського центру різноманіття, з використанням cpDNA та ITS-послідовності, підтвердило парафілію секції *Echinops*, незалежний статус секції *Phaeochaete*, змодельовало часові рамки дивергенції (переважно плейстоцен-пліоцен) та показало, що сучасна різноманітність роду формувалась у Ірано-Туранському та Східносередземноморському регіонах. Хоча робота не фокусувалася винятково на *E. exaltatus*, вона забезпечує еволюційний та біогеографічний каркас для інтерпретації внутрішньородових зв'язків і походження лінії, до якої належить досліджуваний вид. Узагальнені результати підтверджені також ширшою молекулярною реконструкцією роду (Sánchez-Jiménez, Mozaffarian, & Susanna, 2010), що охоплює більшість секцій *Echinops* і використовує маркери ITS та trnL-trnF.

У європейському флористичному огляді «Distributions of vascular plants in the Czech Republic» наведені біогеографічні дані, що *E. exaltatus* є автохтонним у західній Україні, Молдові, Румунії та пн.-центральних Балканах, із заходу сягає лише найсхідніших частин Центральної Європи, тоді як у решті регіонів трапляється здичавіло або як культивований. Такі огляди корисні для розрізнення природного та вторинного ареалів у Центральній Європі (Kaplan, Danihelka, Chrtek, & Zázvorka, 2018).

Джерела довідкового типу, що синтезують відомості про екологію та поширення виду, включають міжнародний CABI Compendium та британський BSBI Plant Atlas 2020. CABI узагальнює поширення, біологію та еколого-ценотичні риси *E. exaltatus*, у тому числі натуралізацію за межами природного ареалу, тоді як BSBI фіксує історію культивування і спорадичні випадки здичавіння у Великій Британії, підтверджуючи статус виду як рідкісного адвентиву в цій країні. Ці джерела важливі для зіставлення локальних даних з глобальними тенденціями.

У підсумку, сукупність українських даних про структуру популяцій і локалітети, еталонних паліноморфологічних характеристик з PalDat та міжнародних молекулярно-філогенетичних реконструкцій дозволяє проаналізувати загальну картину біології та біогеографії *Echinops exaltatus*.

Пилкові зерна досліджуваного виду представлені окремими монадами; за розмірною класифікацією належать до великих (переважно в інтервалі 51–100 мкм). Зерна є ізополлярними, із відношенням P/E, що відповідає пролатному типу (витягнуті у полярному напрямку). У полярній проекції контур трикутний із дещо закругленими кутами, що є характерною діагностичною ознакою для роду. Сухий пилкок характеризується візуально «втягнутими» (зануреними) апертурами (Halbritter, 2006) (рис. 1).

Апертури борозноповорі: на зерні наявні три борозни, розташовані в одній площині, що забезпечує типову для складноцвітих конфігурацію зон проростання пилкової трубки. Кожна борозна поєднує борозну і пору, при цьому під світловим і сканувальним мікроскопами добре простежуються лінії апертур і їхній зв'язок із скульптурними елементами екзини (Reitsma, 1969; Faegri, & Iversen, 1989) (рис. 1).

Скульптура екзини розгалужено-стовпчикова: поверхня вкрита вираженими шипами, між якими формується дрібна сітчаста (мікроретикульована) підкладка. Така комбінація над- і субскульптурних елементів є діагностично важливою ознакою для роду *Echinops* і добре ідентифікується під SEM (рис. 1). Візерунок екзини сприяє адгезії пилку до покриттів запилювачів і водночас забезпечує механічний захист стінки (Halbritter et al, 2018; Punt, Noen, Blackmore, Nilsson, & Thomas, 2007). Сукупність паліноморфологічних ознак є достатньо стабільною і придатною для надійної діагностики виду на палінологічному рівні та порівняльних досліджень у межах роду *Echinops*.

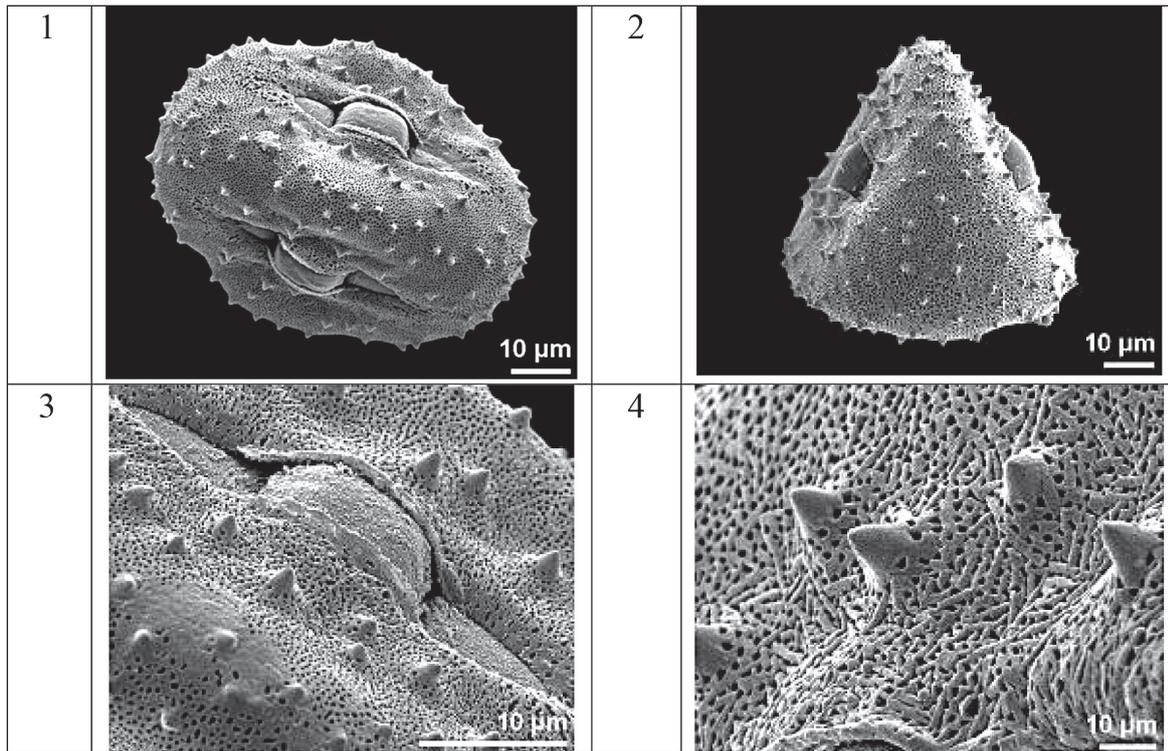


Рис. 1. Пилкові зерна *Echinops exaltatus* Schrad., СЕМ (за Halbritter H, 2016):
1 – вид з екватору, 2 – вид з полюса, 3 – поверхня апертури, 4 – поверхня екзину.

Результати досліджень запліднюючої здатності показали високий рівень фертильності пилкових зерен *Echinops exaltatus*. Середній відсоток фертильних зерен склав 85.53%, що свідчить про значний репродуктивний потенціал виду та сприятливі умови розвитку генеративних структур. Частка стерильних зерен була відносно незначною, а рівень деформації не перевищував критичних меж, що додатково підтверджує стабільність генеративного процесу (рис. 2, 4).

При застосуванні йодного методу пилкові зерна, що містили крохмаль, набували темно-синього або бурого забарвлення, що є підтвердженням їхньої фертильності. Це пояснюється реакцією йоду з полісахаридами, які є основним енергетичним субстратом для проростання пилкової трубки. Натомість стерильні пилкові зерна залишалися нефарбованими або набували світло-коричневого відтінку, що вказує на відсутність запасів крохмалю та порушення процесів дозрівання. У деформованих пилкових зернах спостерігалася нерівномірна структура оболонки та відсутність однорідного забарвлення, що може свідчити про порушення розвитку на певних етапах формування пилку (рис. 2).

Оцінка життєздатності пилкових зерен за допомогою методу прижиттєвих барвників (Алексеева, 2012) засвідчила дещо нижчі показники порівняно з результатами запліднюючої здатності. Середній рівень життєздатності пилку склав 65.75%, що може свідчити про вплив стресових факторів на фізіологічну активність генеративних структур. Значна варі-



Рис. 2. Фертильність та стерильність пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad.:
А – фертильні, Б – стерильні, В – фертильні і стерильні. Збільшення мікроскопу $\times 100$.

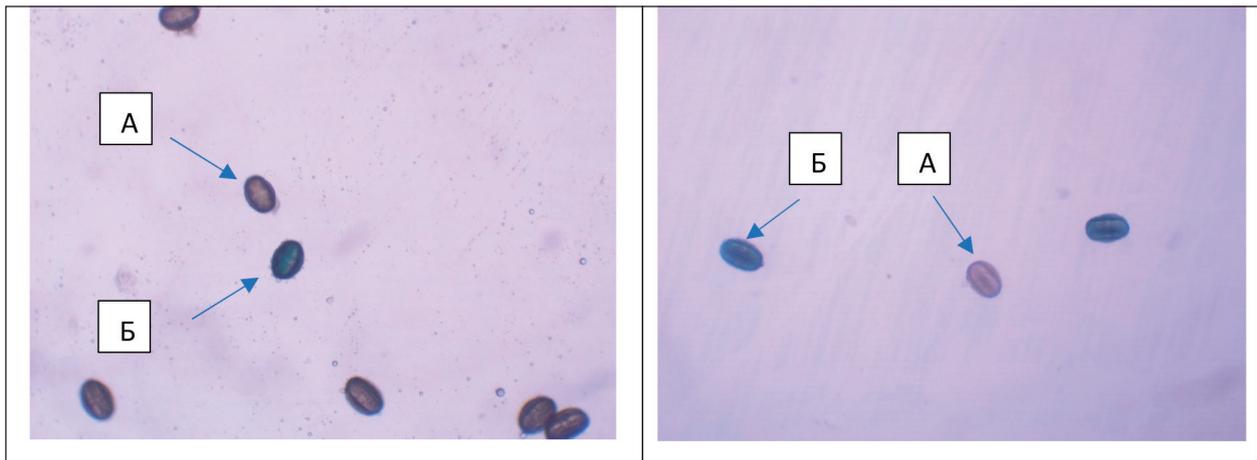


Рис. 3. Життєздатність пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad.:
А – життєздатне, Б – нежиттєздатне. Збільшення мікроскопа $\times 100$.

абельність результатів між полями зору вказує на можливе розходження у рівні зрілості окремих пилкових зерен.

Під час проведення дослідження життєздатності за допомогою прижиттєвих барвників життєздатні пилкові зерна залишалися незабарвленими або слабо забарвленими, що вказує на вибіркочу здатність оболонки клітини. Нежиттєздатні пилкові зерна забарвлювалися у синій або блакитний колір, що свідчить про пошкодження мембран і втрату функціональності. Інтенсивність забарвлення залежала від ступеня деградації оболонки – більш яскравий відтінок свідчив про повне руйнування мембранних структур (рис. 3).

Зважаючи на те, що *Echinops exaltatus* занесений до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», отримані дані мають важливе значення для моніторингу його популяцій та оцінки загроз, що можуть впливати на його відтворення в природних умовах. Достатні показники фертильності пилкових зерен свідчать про стабільність генеративних процесів, що є позитивним фактором для збереження цього рідкісного виду. Водночас дещо знижена життєздатність може вказувати на потенційний вплив зовнішніх стресових чинників, таких як кліматичні зміни, деградація місць зростання, антропогенний пресинг тощо (рис. 4).

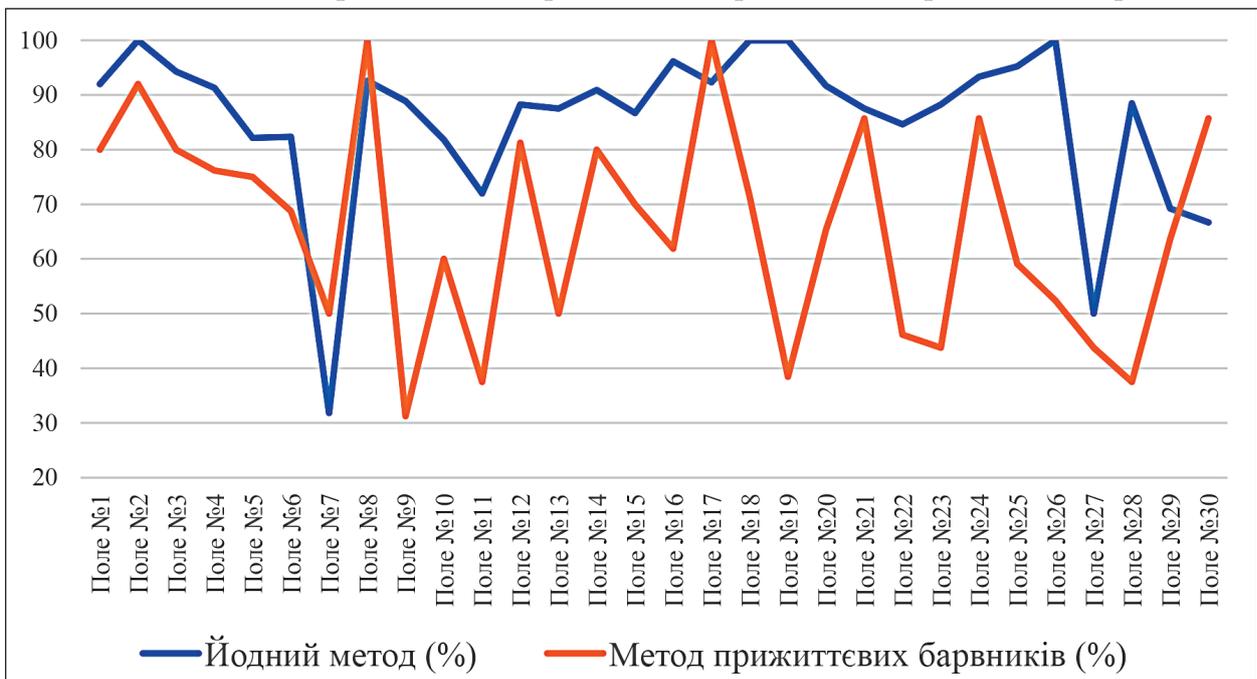


Рис. 4. Співвідношення показників фертильності та життєздатності пилкових зерен *Echinops exaltatus* Schrad. (%).

При проведенні статистичної обробки отриманих даних було визначено наступні параметри: середнє значення (X), середньоквадратичне відхилення (S), коефіцієнт варіації (V), дисперсія (S^2) (табл. 1).

Аналіз запліднюючої здатності свідчить про високу фертильність пилку з відносно помірною мінливістю між полями зору. Значення $CV < 20\%$ вказує на відносно стабільний рівень фертильності. Натомість аналіз життєздатності показав значно нижчі показники. Коефіцієнт варіації значно вищий (CV майже 30%), що вказує на суттєву неоднорідність у життєздатності пилкових зерен.

Таблиця 1

**Морфометричні показники фертильності і життєздатності пилку
Echinops exaltatus Schrad.**

Фертильність				Життєздатність			
Середнє значення	Середньокв. відхилення	Коефіцієнт варіації	Дисперсія	Середнє значення	Середньокв. відхилення	Коефіцієнт варіації	Дисперсія
X	S	V	S^2	X	S	V	S^2
85,53 %	14,91	17,44 %	222,46	65,75 %	19,47	29,61 %	378,92

Отже, вид *Echinops exaltatus* характеризується високою фертильністю пилку (понад 85%), проте реальна життєздатність зерен є значно нижчою ($65\text{--}66\%$). Це може свідчити про те, що частина пилкових зерен, хоч і формально є фертильними (мають запас поживних речовин), проте не здатні до нормального функціонування в процесі запилення та запліднення. Виявлена варіабельність життєздатності пилку може бути пов'язана з еколого-біологічними факторами та рівнем антропогенного навантаження. Подальші дослідження необхідні для детального аналізу впливу цих чинників на відтворювану здатність *Echinops exaltatus*, що сприятиме розробці ефективних заходів його охорони та збереження природних популяцій.

Висновки. Результати проведеного дослідження свідчать про достатній рівень фертильності пилкових зерен *Echinops exaltatus*, що підтверджує репродуктивний потенціал цього виду в умовах НПП «Подільські Товтри» Західного Поділля. Загалом генеративні процеси в популяціях виду є стабільними, що є важливим чинником для його збереження. Незначна частка стерильних та деформованих пилкових зерен вказує на стійкість морфогенезу репродуктивних структур.

Оцінка життєздатності пилку засвідчила нижчі показники порівняно з рівнем фертильності, що може свідчити про вплив екологічних стрес-факторів на фізіологічний стан пилку. Виявлена варіабельність показників життєздатності може бути пов'язана з локальними відмінностями мікроекологічних умов, зокрема рівнем вологості, доступністю поживних речовин та антропогенним впливом.

Зважаючи на те, що *Echinops exaltatus* занесений до Червоної книги України зі статусом «неоцінений», отримані результати є важливими для оцінки стану його популяцій та потенційних загроз їхньому існуванню. Висока фертильність пилкових зерен підтверджує стабільність генеративних процесів, що є позитивним фактором для підтримання виду в природних умовах. Водночас знижена життєздатність частини пилкових зерен може сигналізувати про негативний вплив змін клімату, деградацію природних біотопів та підвищення антропогенного навантаження. Подальші дослідження необхідні для оцінки динаміки відтворення популяцій *E. exaltatus*, що сприятиме розробці ефективних заходів його охорони та збереження у природних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Алексеева Т. Г. Визначення життєздатності пилюк та зародкового мішка: методичні вказівки до великого спеціального практикуму / Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. Одеса : Вид-во Одеського нац. ун-ту, 2012. 18 с.
- Єрмоленко В. М., Тарасов В. В., Мельник В. І. Судинні рослини України. Атлас-довідник. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 452 с.
- Парпан В. І., Дмитраш-Вацеба І. І. Поширення та стан популяцій *Echinops exaltatus* у Південному Опіллі. *Український ботанічний журнал*. 2016. Т. 73, № 5. С. 483–492.
- Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк : Кассіопея, 1999. — 210 с.
- Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я. П. Дідуха. 3-тє вид., перероб. і доп. Київ : Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
- Echinops exaltatus* Schrad. *Invasive Species Compendium* / CAB International. Wallingford, UK, 2020. URL: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/20393>.
- Echinops exaltatus* Schrad. *Plant Atlas 2020* / Botanical Society of Britain and Ireland. URL: <https://www.bsbi.org/plant-atlas-2020>.
- Faegri K., Iversen J. *Textbook of Pollen Analysis*. 4th ed. Chichester : John Wiley & Sons, 1989. 328 p.
- Glossary of Pollen and Spore Terminology / W. Punt, P. P. Hoen, S. Blackmore, S. Nilsson, A. Le Thomas. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2007. Vol. 143, № 1/2. P. 1–81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.
- Halbritter H. *Echinops exaltatus* – palynological data. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. 2006. URL: https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter H. *Echinops exaltatus* Schrad. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. 2000. URL: https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Illustrated Pollen Terminology / H. Halbritter, S. Ulrich, F. Grímsson, M. Weber, R. Zetter, M. Hesse, R. Buchner, M. Svojtka, A. Frosch-Radivo. 2nd ed. Vienna : Springer, 2018. 483 p.
- Kaplan Z., Danihelka J., Chrtek J., Zázvorka J. Distributions of vascular plants in the Czech Republic. Part 4. *Preslia*. 2018. Vol. 90. P. 425–531.
- Montazerolghaem S., Susanna A., Calleja J. A., Mozaffarian V., Rahiminejad, M. R. Molecular systematics and phylogeography of the genus *Echinops* (Compositae, Cardueae–Echinopsinae): focus on the Iranian centre of diversification. *Phytotaxa*. 2017. Vol. 297, № 2. P. 101–128. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.297.2.1>.
- NatureServe Explorer: An online encyclopedia of life. Arlington, Virginia, 2025. URL: <https://explorer.natureserve.org>.
- Pignatti S. *Flora d'Italia*. 2nd ed. Bologna : Edagricole, 2018. Vol. 3. 1312 p.
- Reitsma Tj. Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1969. Vol. 9, № 3/4. P. 175–202. DOI: [10.1016/0034-6667\(69\)90003-7](https://doi.org/10.1016/0034-6667(69)90003-7).
- Sánchez-Jiménez I., Mozaffarian V., Susanna A. Molecular systematics of *Echinops* L. (Asteraceae, Cynareae): a phylogenetic approach. *Plant Systematics and Evolution*. 2010. 289, № 1/2. P. 55–70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0330-0>.
- Scoggan H. J. *The Flora of Canada*. Ottawa : National Museums of Canada, 1978–1979. Vol. 1–4.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF *ECHINOPS EXALTATUS* SCHRAD. POLLEN IN THE TERRITORY OF WESTERN PODILLIA

Vlasov I.

Kamianets-Podilskyi National University named after Ivan Ohienko

A comprehensive study of pollen quality of the rare species Echinops exaltatus Schrad., listed in the Red Book of Ukraine with the status “unvalued”, was conducted under natural conditions in Western Podillia (Khmelnitsky Region, Ukraine). Pollen grain samples were collected during peak flowering in meadow-steppe biotopes with well-drained soils and moderate anthropogenic impact. The aim was to assess the reproductive potential of the species by analysing pollen fertility and viability, which are key indicators of population stability. Two methods were used for the assessment: the iodine method, which detects polysaccharides in the pollen grain cell wall, and the vital dye method, based on the selective absorption capacity of living cell protoplasm. The iodine method showed a high average fertility rate (85.53%, range 66.67–100%), while the vital dye method indicated lower viability (65.75%, range 31.25–100%). Significant variability between fields of view suggests the influence of microecological factors (humidity, temperature, nutrients) and potential differences in pollen maturity. Morphological analysis confirmed that pollen grains are isopolar, large (51–100 μm), prolate by shape, with a triangular outline in polar view and furrowed apertures. The exine sculpture is branched-columnar, with pronounced spines and a micro-reticulated substrate, which provides adhesion to pollinating insects and mechanical protection. Statistical analysis (mean, standard deviation, coefficient of variation, dispersion) revealed stable fertility (CV < 20%) and higher heterogeneity in viability (CV ≈ 30%), potentially indicating the impact of stress factors such as climate change or anthropogenic pressure. The results highlight the species’ significant reproductive potential, which is important for its conservation in habitat fragmentation and climate change. The study contributes to monitoring E. exaltatus populations, assessing threats to their existence, and developing conservation strategies. The data obtained can serve as a basis for further study of the impact of abiotic and anthropogenic factors on the reproductive biology of the species, as well as for refining pollen quality assessment methods that

account for both morphological and physiological aspects. The results are important for preserving the biodiversity of regional flora and supporting entomophilous pollination in meadow-steppe ecosystems.

Keywords: *Echinops exaltatus*, pollen grains, pollen, fertility, viability.

REFERENCES

- Aliexsieieva, T. H. (2012). *Vyznachennia zhyttiezdatnosti pylku ta zarodkovoho mishka: metodychni vkazivky do velykoho spetsialnoho praktykumu* [Determination of pollen viability and embryo sac: methodological guidelines for a large special workshop] / Odes. nats. un-t im. I. I. Mechnykova. Odesa: Vyd-vo Odeskoho nats. un-tu [in Ukrainian].
- Didukh, Ya. P. (Ed.). (2009). *Chervona knyha Ukrainy. Roslynnnyi svit* [Red Book of Ukraine. Flora] (3 rd. ed., revised and supplemented). Kyiv: Hlobalkonsaltnyh [in Ukrainian].
- Echinops exaltatus* Schrad (2020). *Invasive Species Compendium* / CAB International. Wallingford, UK. Retrieved from <https://www.cabi.org/isc/datasheet/20393>.
- Echinops exaltatus* Schrad (2020). *Plant Atlas 2020* / Botanical Society of Britain and Ireland. URL: <https://www.bsbi.org/plant-atlas-2020>.
- Faegri, K., & Iversen, J. (1989). *Textbook of Pollen Analysis*. 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Halbritter, H. (2000). *Echinops exaltatus* Schrad. *PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. Retrieved from https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter, H. (2006). *Echinops exaltatus – palynological data. PalDat – A Palynological Database* / University of Vienna. Retrieved from https://www.paldat.org/pub/Echinops_exaltatus/300792.
- Halbritter, H., Ulrich, S., Grímsson, F., Weber, M., Zetter, R., Hesse, M. ... Frosch-Radivo, A. (2018). *Illustrated Pollen Terminology* (2nd ed.). Vienna: Springer.
- Kaplan, Z., Danihelka, J., Chrtek, J., & Zázvorka, J. (2018). Distributions of vascular plants in the Czech Republic. Part 4. *Preslia*, 90, 425-531.
- Montazerolghaem, S., Susanna, A., Calleja, J. A., Mozaffarian, V., & Rahiminejad, M. R. (2017). Molecular systematics and phylogeography of the genus *Echinops* (Compositae, Cardueae–Echinopsinae): focus on the Iranian centre of diversification. *Phytotaxa*, 297 (2), 101-128. DOI: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.297.2.1>.
- NatureServe Explorer: An online encyclopedia of life* (2025). Arlington, Virginia, Retrieved from <https://explorer.natureserve.org>.
- Parpan, V. I., & Dmytrash-Vatseba, I. I. (2016). *Poshyrennia ta stan populatsii Echinops exaltatus u Pivdennomu Opilli* [Distribution and Status of *Echinops exaltatus* Populations in Southern Opillia]. *Ukrainskyi botanichnyi zhurnal* [Ukrainian Botanical Journal], 73 (5), 483-492 [in Ukrainian].
- Pignatti, S. (2018). *Flora d'Italia* (2nd ed) (Vol. 3). Bologna: Edagricole
- Prysedskyi, Yu. H. (1999). *Statystychna obrobka rezultativ biolohichnykh eksperymentiv* [tatistical processing of biological experiment results]. Donetsk: Kassyoepia [in Ukrainian].
- Punt, W., Hoen, P. P., Blackmore, S., Nilsson, S., & Thomas, A. Le. (2007). Glossary of Pollen and Spore Terminology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 143 (1-2), 1-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.06.008>.
- Reitsma, Tj. (1969). Size modification of recent pollen grains under different treatments. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 9 (3-4), 175-202. DOI: 10.1016/0034-6667(69)90003-7.
- Sánchez-Jiménez, I., Mozaffarian, V., & Susanna, A. (2010). Molecular systematics of *Echinops* L. (Asteraceae, Cynareae): a phylogenetic approach. *Plant Systematics and Evolution*, 289 (1-2), 55-70. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00606-010-0330-0>.
- Scoggan, H. J. (1978–1979). *The Flora of Canada* (Vol. 1-4). Ottawa: National Museums of Canada.
- Yermolenko, V. M., Tarasov, V. V., & Melnyk, V. I. (2012). *Sudynni roslyny Ukrainy. Atlas-dovidnyk* [Vascular plants of Ukraine. Atlas-reference book]. Kyiv: Fitosotsiotsentr [in Ukrainian].

Одержано 05.09.2025 р.

Прийнято до друку 15.12.2025 р.