

УДК 573.174. 578.22. 615.32

Ризогенез індау посівного (*Eruca sativa* Mill.) і дворятника тонколистого [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.]

 В. І. Войтовська¹,  Т. А. Небикова²,  А. І. Бойко³

¹Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: vvojtovska6@gmail.com

²Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, вул. Садова, 2, м. Умань, 20300, Україна

³Український інститут експертизи сортів рослин, вул. Генерала Родимцева, 15, м. Київ, 03041, Україна

Мета. Установити ефективність застосування рістрегулювальних речовин за різних їх концентрацій для стимуляції ризогенезу індау посівного (*E. sativa*) і дворятника тонколистого (*D. tenuifolia*). **Методи.** Експериментальні дослідження проводили в лабораторії біотехнології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2020–2022 рр. У дослідженнях використовували різні сорти індау посівного ('Знахар', 'Либідь', 'Злат', 'Сільветта') і дворятника тонколистого ('Людмила'). У культуру *in vitro* вводили насіння, попередньо визначивши його якісні показники. Стерилізували розчином Білизни, 35 % та етанолу. Стерильні проростки досліджуваних культур переносили на середовище Мурасіге – Скуга (MS) із бензиламінопурином (БА) для розмноження. У живильне середовище за прописом MS для вивчення ризогенезу додатково додавали нафтилоцтову (НОК), індоліл-3-оцтову (ІОК), індоліл-3-масляну (ІМК) і гіберелінову (ГК) кислоти в різних концентраціях. **Результати.** За введення у живильне середовище ІМК (0,8 мг/л) та ГК не залежно від концентрацій було отримано найдовшу кореневу систему в усіх досліджуваних варіантах. Досліджувана модифікація дала змогу отримати на 9-ту добу культивування довжину кореневої системи від 7 до 64 см, а на 14-ту – від 10 до 70 см. Установлено, що на 14-ту добу культивування довжина кореневої системи в досліджуваних культур за концентрації ГК понад 1,0 мг/л відбувалось не тільки витягування коренів та їх побуріння, але й формування коренів до 70 см. За введення ІМК у живильне середовище із ГК вже на 9-ту добу культивування на усіх варіантах було відзначено негативні наслідки, а саме витягування міжвузлів і центрального кореня. На 14-ту добу в усіх варіантах відбувалась вітрифікація пагонів та істотне подовження коренів, як центрального, так і бічних. Центральний корінь досягав завдовжки до 70 см, що під час адаптації не доцільно. Результати досліджень вказують, що на 21-шу добу найдовшу кореневу систему отримано в індау посівного 'Злат' – 12 см (0,1 мг/л ГК) і 42 см (1,5 мг/л ГК), найменшу – у дворятника тонколистого 'Людмила' – 6 см (0,1 мг/л ГК) і 21 см (1,5 мг/л ГК). Варто зазначити, що в сорту 'Злат' на 21 добу культивування, порівняно із 14-ю, довжина за концентрації 0,1 мг/л збільшилась лише на 3 см, а в сорту 'Людмила' – на 2 см. З огляду на це, проводити культивування до 21 доби є недоцільним. Найменші показники довжини кореневої системи було отримано за використання ІОК і ГК: ризогенез відбувався повільніше, ніж у попередніх дослідах, і на 14-ту добу довжина кореневої системи становила від 3 до 20 см. **Висновки.** Найдовшу кореневу систему в усіх досліджуваних варіантах відзначено в сорту 'Злат', найменшу – у 'Людмила'. Найоптимальнішими концентраціями НОК + ІОК + ГК для культивування досліджуваних сортів індау посівного та дворятника тонколистого є 0,3 та 0,5 мг/л.

Ключові слова: укорінення; ауксини; цитокініни; гібереліни; концентрація.

Вступ

В Україні індау посівний (*Eruca sativa* Mill.) і дворятник тонколистий [*Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC.] відносять до малопоширених зеленних рослин. Ці культури відносно недавно почали вирощувати, а дворятник тонколистий і досі відноситься до малопоширених рослин, хоча за кордоном його використовують і продають як листову салатну культуру під торговою назвою рукола дика [1–3].

Оскільки ці культури відносно нові для нашої країни, то майже не вивчено біологічні особливості, технологію вирощування та біотехнологічні питання щодо індау посівного і дворядника тонколистого. Здебільшого ці культури вирощуються з насіння, що поставляється з-за кордону. Для отримання їх ризогенезу були вивчені та взяті за основу дослідження багатьох інших рослин. Зокрема, низький відсоток ризогенезу та утворення додаткових коренів є основною перешкодою для мікророзмноження та традиційного розмноження.

Для отримання вкорінення потрібно у живильні середовища додатково додавати та збалансовувати вміст гормонів, ауксинів і цитокінів. Відкриття ризогенної дії ауксину відбулось ще близько 70 років тому. Однак останні дослідження можуть призвести до нових процедур укорінення. Застосування нових синтетичних речовин може бути ефективним на культурах, які важко вкорінювати. Крім того, адаптуючи умови під час фази розмноження, можна отримати пагони з підвищеною здатністю до вкорінення. Ці умови включають подовження стебел (через етіоляцію або двошарову культуру) і повторну субкультивацію (омолодження, тобто перехід від імаго до молоді). Доцільно відмітити, що під час культури тканин також відбувається дозрівання рослини (перехід від ювенільного до дорослого). Уже встановлено, що умови під час укорінення *in vitro* мають істотний вплив на продуктивність після перенесення *ex vitro*. Зокрема, накопичення етилену під час укорінення *in vitro* може мати руйнівний ефект [4].

Як зазначає Івченко [5], для перцю солодкого в штучних умовах найбільш невивченим та недосконалим є етап укорінення. За його даними можна відмітити, що за використання поживного складу модифікованого 0,5 мг/л ІОК отримано 61,9 % укорінених експлантів, а найменшу кількість отримано з додаванням 0,5 мг/л НОК – 8,1 %. Окрім того, автор відмічає і низьку адаптивну здатність регенерантів культури. Згідно з модифікаціями було отримано й висоту рослин – 8,53 та 2,82 см відповідно.

Дані свідчать, що за використання фітогормонів ауксинового типу ІВА і NAA можливо отримати укорінення мікроживців шовковиці білої. Відмічено, що було отримано ризогенез на рівні 68,0–94,0 % – у клонів Ма3 і 64,0–90,0 % – у клонів Ма50. Однак, поживні середовища, які були використані за прописом MS із ІВА, не були доцільними, адже на них відбувався калюсогенез із корінням. Живильні середовища із модифікаціями NAA давали можливість отримати ріст основного кореня без бічних корінців. Надалі за використанні 0,5 мг/л ІВА і 1,0 мг/л NAA було отримано найвищий відсоток укорінення пагонів [6].

Авторами встановлено, що не залежно від використання різних експлантів рослин трояської популяції було отримано укорінення за додаванні у середовище 1 мг/л ТДЗ і 0,01 мг/л НОК. Ризогенез із кореневих частин становив 76,9 %, СКР – 2,3 корінь/експл., а зі стеблових ВР – 8,3 %; СКР – 2,0 пагін/експл. Проте, найвищий відсоток було отримано за використання у живильному середовищі 5–10 мг/л ТДЗ і 1 мг/л НОК та із досліджуваних експлантів отримано укорінення – 100 %, показник СКР та 4,1–6,6 корінь/експл. [7].

Доцільно відмітити, що у цикорію салатного в культурі *in vitro* ризогенез варіював від 33,6 до 88,7 %. При цьому найвищий відсоток отримано у клонів за використання живильного середовища MS2 з модифікацією ІМК у концентрації 0,5 мг/л, що забезпечило кількість коренів 8,1 шт. Збільшення концентрації до 1 мг/л навпаки негативно позначилось не лише на укоріненні, але й на кількості бічних коренів. Поєднання обох речовин ІОК і НОК не залежно від концентрацій дало змогу отримати також ще й зниження кількості вкорінених експлантів. Автори пояснюють це синергізмом дії ІОК і НОК [8].

Іноземними науковцями було розроблено та дібрано технологію укорінення мікроживців *Morus alba* L. у культурі *in vitro*. У своїх дослідженнях вони обрали верхівкові та бічні бруньки. Після достатньої кількості пагони 2–3 см висаджували на живильне середовище MS, модифіковане 0,1 мг/л NAA, і через 4 тижні було отримано укорінені рослини. Дібраний склад для *M. alba* дав змогу забезпечити укорінення на рівні 80 %. Після висаджування у відкритий ґрунт було отримано 90 % адаптованих рослин [9].

Дані із отримання ризогенезу у Mysore-5 та *Helianthus annuus* дозволяють вказати, що найоптимальнішим було використання живильного середовища за прописом MS із модифікаціями 1,0 мг/л NAA або 0,5 мг/л ІВА. Кількість пагонів, які укорінилися, досягала 80 і 96,0 % [10, 11].

Установлено, що детермінантами укорінення хости 'Патріот' і 'Паульс Глорі' забезпечували багато чинників. Для відбору експлантів спочатку вирощували рослини-донори із яких відбирали експланти. Фотоперіод під час регенерації рослин з експлантів становив 16 годин. Пагони

висаджували на живильне середовище з модифікаціями індолілолійної кислоти в концентраціях 1–4 мг/л, що забезпечувала укорінення рослин до 76 %. Однак, як зазначають автори, доцільно використовувати збіднене за мінеральною основою середовище та додавати додатково активоване (1,5 г/л) або деревне (2,5 г/л) вугілля. Така модифікація дає змогу зменшити не тільки концентрації мінеральних речовин, але й здешевити собівартість середовища в цілому та отримати укорінені рослини [12].

Вдалим для укорінення науковці вважають використання живильного середовища за прописом QL (Quoirin, Leroivgre) з модифікацією 4,0 мг/л НОК, 2,0–2,5 г/л активованого вугілля. Крім того, вони вказують на доцільність збільшення температурного режиму під час культивування матеріалу із 24 до 32 °С. У цих дослідженнях під час адаптації використовували вермикуліт, що дало змогу запобігти загниванню кореневої системи [13].

Дослідження ризогенезу *Siratia grosvenorii* доводять, що найкращим було живильне середовище за прописом Мурасіге і Скуга з додаванням нафталінооцтової кислоти (NAA). До цього середовища були введені різні її концентрації і найоптимальнішою вказано 0,1 мг/л NAA. Крім того, кількість вуглеводного живлення була збільшена до 30 г/л. Досліджена модифікація забезпечила найвищий відсоток укорінених рослин та приживлення під час адаптації [14].

У дослідженнях ризогенезу у *Stevia rebaudiana* Bertoni були отримані результати із 70 % укорінених рослин. Як експланти обрали верхівки пагона, вузли та листя і ввели їх у штучні умови. Після регенерації і отримання достатньої кількості пагонів їх висаджували на живильне середовище за прописом Мурасіге та Скуга (MS) із модифікаціями 6-бензиладеніну (BA; 8,87 мкМ) та індол-3-оцтової кислоти (5,71 мкМ). Це поєднання дозволило отримати до 70 % укоріненого матеріалу [15].

Доведено, що для отримання ризогенезу доцільно використовувати не тільки ауксини, але і гібереліни, адже між ними є тісний взаємозв'язок. Вони разом впливають на розтягання клітинної стінки, осмотичний тиск клітинного соку, що дає змогу поліпшити пластичність клітинної мембрани, також стимулюють біосинтез різних компонентів клітинної стінки. За використання екзогенних гіберелінів та ауксинів у різних концентраціях і співвідношеннях у культурі *in vitro*, можна не тільки підвищити інтенсивність ризогенезу, але й пришвидшити його [16].

Як вказує Л. О. Рябовол [17], додавання у різних концентраціях гіберелінової кислоти позитивно впливало на ризогенез жита озимого. Зокрема, використання живильного середовища за прописом Мурасіге і Скуга з модифікацією гіберелінової кислоти – 0,5 мг/л забезпечувало інтенсивне формування коренів та їхнє галузження. Крім того, уже на 15-ту добу довжина всіх досліджуваних матеріалів становила від $26,7 \pm 0,4$ до $44,2 \pm 0,7$ мм. Тобто, введення гіберелінової кислоти у концентрації 0,5 мг/л дозволило пришвидшити ризогенез жита озимого, але збільшення концентрації до 1,0–1,5 мг/л було негативним та зумовлювало подовження коренів, витягування листків і міжвузлів, а також спостерігалось зниження інтенсивності кущення.

За даними О. А. Манько і М. В. Небікова [18], у буряків цукрових на 15-ту добу було отримано ризогенез до 50 % на живильному середовищі Гамборга і Евелега з додаванням НОК 1,5 мг/л, і це було найкращим результатом, а найнижчий показник відзначено за введення 2,0 мг/л НОК – лише 28 % укорінених пагонів. На 30-ту добу за модифікаціями із НОК, а саме за використання 0,5 мг/л, дали змогу отримати 47 % ризогенезу, а в разі збільшення до 1,5 мг/л – лише 36 % рослин буряків цукрових.

Попередніми нашими дослідженнями [19] було встановлено, що в культурі *in vitro* найдовші корені в індау були сформовані за використання живильного середовища за прописом Мурасіге і Скуга з модифікацією індоліл-3-масляної кислоти лише у двох сортів, а саме: 'Знахар' (18 і 24 см) та 'Либідь' (16 і 22 см). Найкращого результату було досягнуто за концентрації речовин 0,8 мг/л, коли довжина пагонів досліджуваних сортів становила: ІОК – 10 і 8 см, НОК – 15 і 13 см, ІМК – 18 і 16 см відповідно на 24-ту добу культивування. Проте враховуючи, що ризогенез складний етап та надалі впливає на відсоток приживлюваності культури і безпосередньо кожний сорт реагує на модифікації у живильному середовищі, нами було вивчено це питання докладніше.

Мета досліджень – установити вплив рістрегулювальних речовин та їх концентрацій для стимуляції ризогенезу індау посівного (*E. sativa*) і дворядника тонколистого (*D. tenuifolia*).

Матеріали та методика досліджень

Експериментальні дослідження проводили в лабораторії біотехнології Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН упродовж 2020–2022 рр. У дослідженнях

використовували різні сорти індау посівного (*E. sativa*) – ‘Знахар’, ‘Либідь’, ‘Злат’, ‘Сільветта’ і дворятника тонколистого (*D. tenuifolia*) ‘Людмила’.

Сорт ‘Знахар’. Створений на дослідній станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН України. Належить до виду індау посівний, зареєстрований у Державному Реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, з 2008 р. Ранньостиглий: від появи сходів до отримання товарної продукції проходить 27 діб. Урожайність – 25,9 т/га, що на декілька тонн перевищує сорти-аналоги. ‘Знахар’ відзначається низьким рівнем накопичення нітратів.

Сорт ‘Либідь’. Включений до Держреєстру у 2014 р. Заявник – ТОВ «НК ЕЛІТ». Метод створення – перехресне запилення. Квітка: забарвлення на початку цвітіння – білувате, стручок: довжина носика – середній, за довжиною (від плодоніжки до основи носика) – середній, час початку цвітіння – середній. Товарна врожайність – 25 т/га, період від повних сходів до збирання врожаю – 25 діб.

Сорт ‘Злат’. Створений на дослідній станції «Маяк» Інституту овочівництва і баштанництва НААН України методом індивідуально-родинного добору зі зразка, що має відмітну морфологічну ознаку «жовте забарвлення жилок на пелюстках». Стручок за довжиною – середній: 1,8–2,2 см, товщиною 0,5 см. Стручків на одній рослині – 350–500 шт. Насінин у стручку – 18–20 шт. Висота насінневої рослини – 95 см. Сорт ранньостиглий, від масових сходів до товарної стиглості – 23 доби, вегетаційний період – 95 діб. Загальна врожайність зелені становить 27,2 т/га. Маса однієї розетки листків – 14,2 г. Має подовжений період товарної придатності – до 16 діб. Дегустаційна оцінка – 5,0 балів (листки соковиті, ніжні).

Сорт ‘Сільветта’. Ранньостиглий вузьколистий сорт італійської селекції. Період від сходів до початку збирання листя – 20–25 діб. Листя довгасте, гладке, сильно зубчасте, з приємним ароматом і гоструватим смаком. Вирощується у відкритому ґрунті, під плівковими укриттями та на підвіконнях у контейнерах. Зелень видаляють до початку цвітіння. За регулярного поливу листя стає ніжнішим і менше гірчить.

Дворятник тонколистий ‘Людмила’. Сорт створений в Уманському національному університеті садівництва. Ранньостиглий, від сходів до товарної стиглості – 20–25 діб. Призначений для вирощування як у відкритому, так і закритому ґрунті. Стебло гіллясте. Листки вузько-ланцетні, виямчасто-зубчасті або перистороздільні, зазвичай із виямчасто-зубчастими частками; верхні листки лінійні і майже цілокраї. Діаметр розетки – 15–18 см, висота – 18–20 см. Особливістю є те, що він може відростати після зрізування й давати повторні врожаї зелені.

Перед введення матеріалу було забезпечено стерильність та витримано умови щодо виконання лабораторних робіт згідно з методичними рекомендаціями [20–23].

У культуру *in vitro* вводили насіння, попередньо визначивши його якісні показники. Вихідний матеріал промивали у розчині мила і декілька разів у дистильованій воді. Стерилізацію забезпечила комбінація із розчину Білизни, 35 % та етанолу. У дослідних варіантів використовували тверде живильне середовище за прописом Мурасіге і Скуга (MS) із вмістом 7,5 г/л агар-агару. Для введення вихідного матеріалу використовували тверде живильне середовище із половинним вмістом мікроелементів та без гормонів. Надалі стерильні проростки досліджуваних культур переносили на середовище MS із БА для розмноження. У живильне середовище за прописом MS для вивчення ризогенезу додатково додавали нафтилоцтову (НОК), індоліл-3-оцтову (ІОК), індоліл-3-масляну (ІМК) і гіберелінову (ГК) кислоти в різних концентраціях – від 0,1 до 1,5 мг/л.

Автоклавування середовищ проводили у автоклавній кімнаті за температурного режиму 120 °С і тиску 1,2 кгс/см² упродовж 25 хв з попереднім доведенням рН до 5,8. Укорінені рослини індау посівного та дворятника тонколистого вирощували у культуральній кімнаті за температури 25 ± 1 °С, відносної вологості 65–70 % та фотоперіоду 16/8 год.

Результати досліджень

У попередніх дослідженнях ризогенезу індау посівного доцільно відзначити концентрації ІОК, НОК, ІМК – 0,8 мг/л, що було взято нами та введено додатково різні концентрації ГК і визначено на 14-ту та 21-шу добу довжину кореневої системи.

Установлено, що за введення в живильне середовище 0,8 мг/л ІМК та ГК, незалежно від концентрацій останньої, було отримано найдовшу кореневу систему в усіх досліджуваних варіантах. Досліджувана модифікація дозволила отримати довжину кореневої системи від 7 до 64 см уже на 9-ту добу. А на 14-ту добу культивування довжина варіювала від 10 до 70 см. Найдовшу кореневу систему відзначено у сорту індау посівного ‘Злат’.

У варіантах з концентрацією гіберелінової кислоти 0,1 і 0,3 мг/л довжина кореневої системи у сортів індау посівного становила від 10 до 20 см, а у дворядника тонколистого – 7–10 см. Зі збільшенням концентрації ГК до 0,5 мг/л в усіх варіантах відзначено подовження кореневої системи, зокрема до 29 см у сорту 'Злат'. Найменшу кореневу систему визначено в сорту 'Людмила'.

За концентрації гіберелінової кислоти понад 1,0 мг/л довжина кореневої системи на 9-ту добу культивування становила від 22 до 64 см. Поєднання концентрацій ІМК і ГКЗ – 0,8 мг/л дає змогу відмітити таку довжину в досліджуваних сортів: 'Злат' – 38 см, 'Знахар' – 37, 'Либідь' і 'Сільветта' – 25, 'Людмила' – 18 см.

На 14-ту добу у сортів індау посівного за всіх концентрації коренева система набувала більш темного забарвлення порівняно із культивуванням на 9-ту добу.

За концентрації 0,1 мг/л істотного збільшення кореневої системи не відбувалось і за сортами вона варіювала від 10 до 16 см. У разі введення в середовище 0,3 мг/л ГК цей показник зростав до 36 см. За концентрації ГК 0,5 мг/л найбільший показник відзначено в сорту 'Злат' (48 см), а найменший – у 'Людмила' (21 см). Зі збільшенням концентрації ГК до 0,8 мг/л довжина кореневої системи становила понад 50 см.

На 14-ту добу корені досліджуваних культур за концентрації понад 1,0 мг/л не тільки витягувались та буріли, але й досягали завдовжки до 70 см.

За введення ІМК у живильне середовище із ГК уже на 9-ту добу культивування в усіх варіантах було відмічено негативні наслідки, а саме витягування міжвузлів і центрального кореня, а на 14-ту – відбувалась вітрифікація пагонів та істотне подовження коренів, як центрального, так і бічних. Центральний корінь досягав завдовжки до 70 см, що під час адаптації не доцільно, оскільки найоптимальнішою довжиною кореневої системи вважається 5–12 см. У процесі ризогенезу надзвичайно важливим є не тільки довжина кореневої системи, речовини, які її стимулюють, але й доба, на яку відбувається укорінення: усі ці фактори надалі істотно впливають на адаптаційні показники досліджуваних культур (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив ІМК і концентрацій гіберелінової кислоти на довжину кореневої системи сортів індау посівного та дворядника тонколистого, см

Сорти	Концентрація гіберелінової кислоти, мг/л						
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Довжина кореневої системи на 9-ту добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
'Знахар'	12	18	25	37	43	48	56
'Либідь'	10	15	23	25	33	40	46
'Злат'	15	20	29	38	47	55	64
'Сільветта'	10	15	20	25	31	38	44
дворядник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
'Людмила'	7	10	14	18	22	25	29
НІР _{0,05}	0,2	0,5	0,4	0,7	0,9	0,7	1,0
Довжина кореневої системи на 14-ту добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
'Знахар'	16	25	35	44	55	59	66
'Либідь'	13	22	27	38	48	53	58
'Злат'	23	36	48	58	63	68	70
'Сільветта'	17	23	29	34	39	45	49
дворядник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
'Людмила'	10	15	21	26	29	33	38
НІР _{0,05}	0,4	0,6	0,4	0,6	0,7	1,2	1,0

Отже, для індау посівного і дворядника тонколистого не доцільно використовувати на етапі ризогенезу ІМК та ГКЗ.

Найоптимальніша за довжиною коренева система було отримана за використання 0,8 мг/л НОК та концентрації гіберелінової кислоти від 0,3 до 0,8 мг/л. Досліджувані варіанти дають отримати у культур довжину від 4 до 15 см.

На 14-ту добу культивування сорт дворядника тонколистого 'Людмила' формував найменшу в досліді кореневу систему – від 4 до 18 см. Водночас найбільшим цей показник був у сорту 'Злат' – від 12 до 42 см.

У варіантах з 0,1 і 0,3 мг/л ГК на 14-ту добу культивування довжина кореневої системи у сортів була в межах 4–10 см. У разі збільшення концентрації до 0,5 мг/л показник становив 6–12 см, а за 0,8 мг/л – 8–15 см. Водночас недоцільно вводити у живильне середовища ГК понад 1,0 мг/л, адже в такій концентрації вона сприяє отриманню кореневої системи досліджуваних сортів завдовжки понад 20 см.

На 21-шу добу найдовшу кореневу систему відзначено в сорту ‘Злат’ – 12 см (0,1 мг/л ГК) і 42 см (1,5 мг/л ГК), найкоротшу – у дворятника тонколистого ‘Людмила’ – 6 см (0,1 мг/л ГК) і 21 см (1,5 мг/л ГК). Доцільно зазначити, що в сорту ‘Злат’ на 21-шу добу культивування, порівняно із 14-ю, довжина коренів за концентрації ГК 0,1 мг/л збільшилась лише на 3 см, а в сорту ‘Людмила’ – на 2 см. Зважаючи на це, вважаємо, що проводити культивування до 21-ї доби недоцільно (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив НОК і концентрацій гіберелінової кислоти на довжину кореневої системи сортів індау посівного та дворятника тонколистого, см

Сорти	Концентрація гіберелінової кислоти, мг/л						
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Довжина кореневої системи на 14-ту добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
‘Знахар’	7	8	10	12	17	26	33
‘Либідь’	5	6	8	10	13	22	26
‘Злат’	9	10	12	15	22	29	39
‘Сільветта’	7	9	10	12	16	24	30
дворятник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
‘Людмила’	4	5	6	8	10	14	18
НІР _{0,05}	0,4	0,7	0,3	0,2	0,9	0,6	0,8
Довжина кореневої системи на 21-шу добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
‘Знахар’	10	13	15	23	27	29	35
‘Либідь’	8	10	13	20	25	27	33
‘Злат’	12	15	18	26	29	35	42
‘Сільветта’	10	15	19	23	28	34	26
дворятник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
‘Людмила’	6	8	10	12	16	18	21
НІР _{0,05}	0,2	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,3

Окрім того, за поєднання НОК і ГК відбувається не тільки формування центрального кореня, а й потужних бічних корінців – від 5 до 10 шт. Загальний вигляд пагонів істотно не змінюється, відсутня вітрифікація і витягування міжвузлів.

Найменші показники довжини кореневої системи було отримано у варіантах з ІОК і ГК, де ризогенез відбувався повільніше, ніж у попередніх дослідах, і на 14-ту добу корені досягали завдовжки від 3 до 20 см.

Найменші показники кореневої системи як індау посівного (до 7 см), так і дворятника тонколистого (3 см) відзначено за концентрації ГК 0,1 мг/л. Збільшення до 0,3 мг/л забезпечувало незначне збільшення – до 9 см. У варіантах 0,5 і 0,8 мг/л у сорту ‘Злат’ довжина коренів становила 9 і 10 см, ‘Знахар’ – 9 см; ‘Либідь’ – 7 і 8 см, ‘Сільветта’ – 6 і 8 см, ‘Людмила’ – 5 см відповідно. Збільшення концентрації ГК до 1 мг/л коренева система досягала 10–13 см, як виняток лише сорт ‘Людмила’ – 7 см. Модифікації із ГК 1,2 і 1,5 мг/л забезпечували такі показники: ‘Злат’ – 15 і 20 см, ‘Знахар’ – 14 і 18 см, ‘Либідь’ – 12 і 14 см, ‘Сільветта’ – 13 і 17 см та ‘Людмила’ – 9 і 12 см.

Обліки на 21-шу добу вказують, що ризогенез у сортів найнижчим був у сорту ‘Людмила’ – 5 та 18 см залежно від концентрацій ГК. Найвищі ж показники отримано в сорту ‘Злат’ – від 8 до 25 см. У сорту ‘Знахар’ за варіантами від 8 до 22 см, ‘Либідь’ і ‘Сільветта’ – 7 і 8 см до 20 см.

Доцільно вказати, що в як в індау посівного, так і дворятника тонколистого незалежно від концентрацій гіберелінової кислоти було відмічено затримку ризогенезу. Коренева система за модифікації ІОК і ГК була мичкувата, без чітко вираженого центрального кореня і кількість бічних становила до 5 шт. Окрім того, за використання ІОК та ГК в усіх варіантах у рослин індау посівного і дворятника тонколистого було відзначено утворення біля пагонів калусу (табл. 3).

У дослідженнях вивчено поєднання НОК, ІОК та ГК у різних концентраціях. Установлено, що найоптимальнішими концентраціями були 0,3 та 0,5 мг/л НОК + ІОК + ГКЗ. Зокрема, у варіанті з

0,3 мг/л у сорту 'Злат' коренева система становила 12 см, 'Знахар' – 10, 'Либідь' – 8, 'Сільветта' – 10, 'Людмила' – 6 см. У разі збільшення концентрації до 0,5 мг/л показники ще більше зростали: 'Злат' – 16 см, 'Знахар' – 12, 'Либідь' – 10, 'Сільветта' – 13, 'Людмила' – 8 см.

Таблиця 3

Вплив ІОК і концентрацій гіберелінової кислоти на довжину кореневої системи сортів індау посівного та дворядника тонколистого, см

Сорти	Концентрації гіберелінової кислоти, мг/л						
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
Довжина кореневої системи на 14-ту добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
'Знахар'	5	7	9	9	11	14	18
'Либідь'	5	6	7	8	10	12	14
'Злат'	7	7	9	10	13	15	20
'Сільветта'	4	5	6	8	10	13	17
дворядник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
'Людмила'	3	4	5	5	7	9	12
НР _{0,05}	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,3	0,2
Довжина кореневої системи на 21-шу добу							
індау посівний (<i>E. sativa</i>)							
'Знахар'	8	10	13	15	17	19	22
'Либідь'	7	9	11	13	15	18	20
'Злат'	9	10	14	17	19	22	25
'Сільветта'	8	9	11	15	17	19	20
дворядник тонколистий (<i>D. tenuifolia</i>)							
'Людмила'	5	7	9	12	14	16	18
НР _{0,05}	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3

Також варто відзначити, що за таких концентрацій і поєднань НОК + ІОК + ГК – 0,3 та 0,5 мг/л вдалось отримати не тільки оптимальну кореневу систему із добре вираженим центральним коренем і достатньою кількістю бічних корінців, але й на 14-ту добу культивування отримати якісну кореневу систему (рис.).

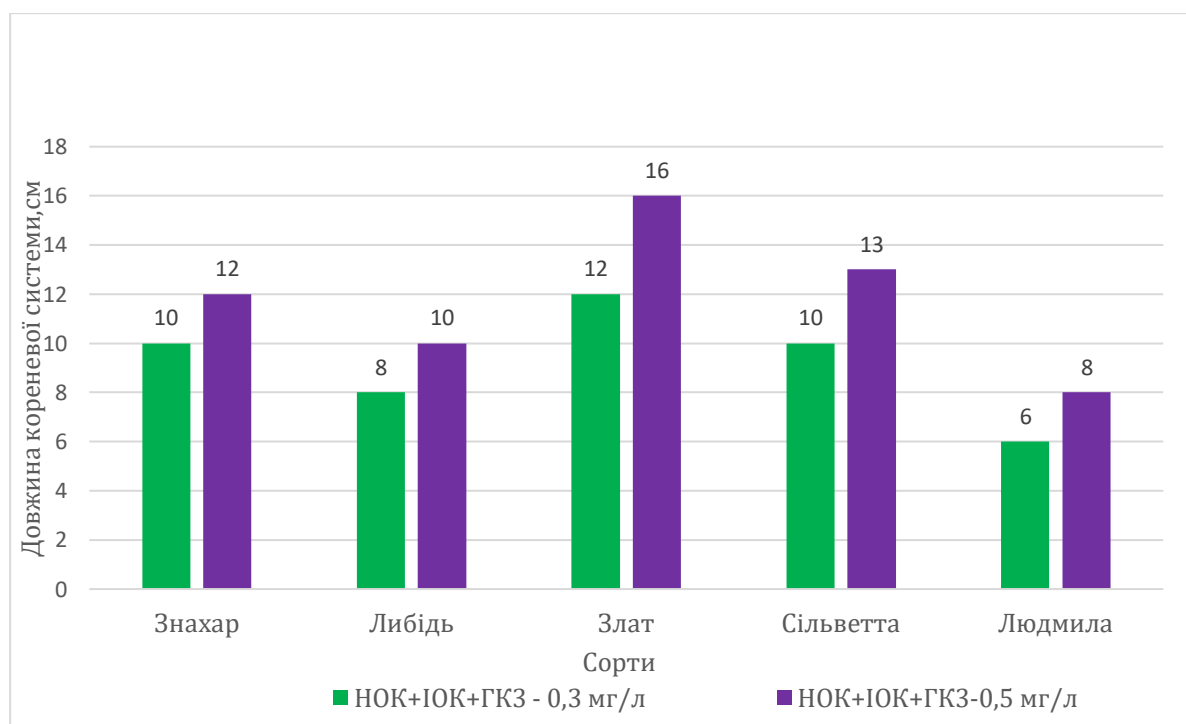


Рис. Довжина кореневої системи індау посівного і дворядника тонколистого на 14-ту добу культивування, см

Усі сорти індау посівного переважали за довжиною кореневої системи сорт дворядника тонколистого на обох досліджуваних варіантах.

Висновки

Найдовшу кореневу систему в усіх досліджуваних варіантах відзначено у сорту індау посівного 'Злат', а найменшу – у сорту дворядника тонколистого 'Людмила'.

За використання в живильному середовищі ІМК та ГК отримано довжину кореневої системи від 7 до 64 см уже на 9-ту добу культивування, а на 14-ту – від 10 до 70 см.

Найменші показники довжини кореневої системи було отримано за використання ІОК і ГК і ризогенез відбувався повільніше, ніж у попередніх дослідах, та на 14-ту добу показники становили від 3 до 20 см.

Найоптимальнішими концентраціями НОК + ІОК + ГК були 0,3 та 0,5 мг/л.

Використана література

- Хареба О. В., Позняк О. В. Індау посівний і дворядник тонколистий: перспективи дослідження і освоєння в Україні. *Овочівництво і баштанництво*. 2015. Вип. 61. С. 311–319.
- Loedolf B., Brooks J., Stander M. et al. High light bio-fortification stimulates de novo synthesis of resveratrol in *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket) micro-greens. *Functional Foods in Health and Disease*. 2017. Vol. 7, Iss. 11. P. 859–872. doi: 10.31989/ffhd.v7i11.380
- Сорока Л. В. Ефективність сортів руколи посівної в Лісостепу України. *Збірник наукових праць УНУС*. 2017. Т. 91, Ч. 1. С. 195–202.
- De Klerk G.-J. Rooting of microcuttings: theory and practice. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 2002. Vol. 38, Iss. 5. P. 415–422. doi: 10.1079/IVP2002335
- Івченко Т. В., Гарт О. Ю. Регенераційний потенціал експлантатів перцю солодкого (*Capsicum annuum* L.). *Овочівництво і баштанництво*. 2012. Вип. 58. С. 173–180.
- Гречаник Р. М., Гузь М. М., Олексійченко Н. О. Особливості ризогенезу *in vitro* і адаптації *ex vitro* регенерантів шовковиці білої (*Morus alba* L.). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.2. С. 9–15.
- Конвалюк І. І., Кравець Н. Б., Дробик Н. М. та ін. Прямий органогенез *in vitro* тирличу жовтого (*Gentiana lutea* L.). *Biotechnology*. 2010. Vol. 3, № 5. С. 66–73.
- Лук'янець О. Д. Ефективність мікроклонального розмноження цикорію салатного ендивій та ескаріол. *Таврійський науковий вісник*. 2019. № 107. С. 109–116. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.14
- Anis M. Faisal M., Singh S. K. Micropropagation of mulberry (*Morus alba* L.) through *in vitro* culture of shoot tip and nodal explants. *Plant Tissue Culture*. 2003. Vol. 13, Iss. 1. P. 47–51.
- Elavazhagan T., Jayakumar S., Chitravadivu C., Balakrishnan V. *In vitro* culture and cytological studies on *Helianthus annuus* L. *Botany Research International*. 2009. Vol. 2, Iss. 4. P. 258–262.
- Balakrishnan V., Ram Latha M., Ravindran K. C., Robinson Philip J. Clonal propagation of *Morus alba* L. through nodal and axillary bud explants. *Botany Research International*. 2009. Vol. 2, Iss. 1. P. 42–49.
- Стадник А. П., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В. Екологічні особливості трофічної та гормональної детермінації ризогенезу *in vitro* регенерантів хости. *Агроекологічний журнал*. 2014. № 3. С. 75–81.
- Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Мацкевич О. В. Ризогенез павловнії *in vitro*. *Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту. Інноваційні технології в агрономії, агрохімії та екології. Землеустрій та кадастри у сучасних умовах: проблеми та вирішення*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Біла Церква, 27–28 вересня 2018 р.). Біла Церква, 2018. С. 19–20.
- Yan H., Liang C., Yang L., Li Y. *In vitro* and *ex vitro* rooting of *Siratia grosvenorii*, a traditional medicinal plant. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2009. Vol. 32, Iss. 1. P. 115–120. doi: 10.1007/s11738-009-0386-0
- Sivaram L., Mukundan U. *In vitro* culture studies on *Stevia rebaudiana*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2003. Vol. 39, Iss. 5. P. 520–523. doi: 10.1079/IVP2003438
- Barfield G. D., Robinson S. I., Shields R. O. Plant regeneration from protoplasts of long term haploid suspension culture of *N. plunibagimfo*. *Plant Cell Reports*. 1985. Vol. 4, Iss. 2. P. 104–107. doi: 10.1007/BF00269218
- Рябовол Я. С., Рябовол Л. О. Регуляторна модифікація живильного середовища для ризогенезу рослин жита озимого в культурі *in vitro*. *Вісник УНУС*. 2017. № 2. С. 64–66.
- Манько О. А., Небіков М. В. Вплив нафтилоцтової кислоти (НОК) на коренеутворення у рослин цукрових буряків у культурі *in vitro*. *Наукові праці Інституту цукрових буряків*. 2000. Вип. 3. С. 110–113.
- Войтовська В. І., Заболотна А. В., Кецкало В. В., Ковтунюк З. І. Клональне мікророзмноження індау посівного. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 1. doi: 10.47414/na.11.1.2023.277429
- Рябовол Л. О. Стерилізація рослинного матеріалу при введенні в культуру *in vitro*. Техніка введення експланту на живильне середовище. Методичні рекомендації для проведення лабораторно-практичних занять з «Біотехнології». Умань: УДАА, 2001. 14 с.

21. Андреева В. В., Бортник Т. П., Рыбак Ю. Л., Шепелюк М. О. Біотехнологія: методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Луцьк, 2022. 47 с.
22. Трофимчук І. М., Пліута Н. В., Логвиненко І. П. Біотехнологія з основами екології. Київ : Кондор, 2019. 304 с.
23. Дубровна О. В., Моргун Б. В., Бавол А. В. Біотехнології пшениці: клітинна селекція та генетична інженерія. Київ : Логос, 2014. 375 с.

References

1. Khareba, O. V., & Poznyak, O. V. (2015). Indus sowing and *Diplotaxis tenuifolia* L.: prospects and development studies in Ukraine. *Vegetables and Melon Growing*, 61, 311–319. [In Ukrainian]
2. Loedolff, B., Brooks, J., Stander, M., Peters, S., & Kossmann, J. (2017). High light bio-fortification stimulates de novo synthesis of resveratrol in *Diplotaxis tenuifolia* (wild rocket) micro-greens. *Functional Foods in Health and Disease*, 7(11), 859–872. doi: 10.31989/ffhd.v7i11.380
3. Soroka, L. V. (2017). Efficiency of varieties of arugula in the Forest in Ukraine. *Collection of Scientific Papers of Uman National University of Horticulture*, 91(1), 195–202. [In Ukrainian]
4. Klerk, G.-J. (2002). Rooting of microcuttings: Theory and practice. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 38(5), 415–422. doi: 10.1079/ivp2002335
5. Ivchenko, T. V., & Gart, O. Yu. (2012). Regeneration potential of seedling explants of pepper (*Sapsicum annum* L.). *Vegetables and Melon Growing*, 58, 173–180. [In Ukrainian]
6. Hrechanyk, R. M., Huz, M. M., & Oleksiichenko, N. O. (2012). Features of in vitro rhizogenesis and ex vitro adaptation of regenerants of white mulberry (*Morus alba* L.). *Scientific bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22.2, 9–15. [In Ukrainian]
7. Konvalyuk, I. I., Kravets, N. B., Drobyk, N. M., Melnyk, V. M., & Kunakh, V. A. (2010). Direct organogenesis in vitro of *Gentiana lutea* L. *Biotechnology*, 3(5), 66–73. [In Ukrainian]
8. Lukianets, O. D. (2019). Efficiency of the microcontraction of cycoria of salad endivia and escariol. *Taurian Scientific Herald*, 107, 109–116. doi: 10.32851/2226-0099.2019.107.14
9. Anis, M. Faisal, M., & Singh, S. K. (2023). Micropropagation of mulberry (*Morus alba* L.) through in vitro culture of shoot tip and nodal explants. *Plant Tissue Culture*, 13(1), 47–51.
10. Elavazhagan, T., Jayakumar, S., Chitravadivu, C., & Balakrishnan, V. (2009). In vitro culture and cytological studies on *Helianthus annuus* L. *Botany Research International*, 2(4), 258–262.
11. Balakrishnan, V., Ram Latha, M., Ravindran, K. C., Robinson Philip, J. (2009). Clonal propagation of *Morus alba* L. through nodal and axillary bud explants. *Botany Research International*, 2(1), 42–49.
12. Stadnyk, A. P., Filipova, L. M., & Matskevych, V. V. (2014). Ecological features of trophic and hormonal determination of rhizogenesis in vitro of hosta regenerants. *Agroecological Journal*, 3, 75–81. [In Ukrainian]
13. Filipova, L. M., Matskevych, V. V., & Matskevych, O. V. (2018). Rhizogenesis of paulownia in vitro. In *Agrarian education and science: achievements, role, growth factors. Innovative technologies in agronomy, agrochemistry and ecology. Land management and cadastres in modern conditions: problems and solutions: materials of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 19–20). Bila Tserkva: N. p. [In Ukrainian]
14. Yan, H., Liang, C., Yang, L., & Li, Y. (2009). In vitro and ex vitro rooting of *Siratia grosvenorii*, a traditional medicinal plant. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(1), 115–120. doi: 10.1007/s11738-009-0386-0
15. Sivaram, L., & Mukundan, U. (2003). In vitro culture studies on *Stevia rebaudiana*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 39(5), 520–523. doi: 10.1079/IVP2003438
16. Barfield, G. D., Robinson, S. I., & Shields, R. O. (1985). Plant regeneration from protoplasts of long term haploid suspension culture of *N. plunibagimfo*. *Plant Cell Reports*, 4(2), 104–107. doi: 10.1007/BF00269218
17. Riabovol, Ya. S., & Riabovol, L. O. (2017). Regulatory modification of the living environment for risgenesis of plants of winter rye in culture in vitro. *Bulletin of Unan National University of Horticulture*, 2, 64–66. [In Ukrainian]
18. Manko, O. A., & Nebykov, M. V. (2000). The effect of naphthylacetic acid (NOC) on root formation in sugar beet plants in vitro culture. *Scientific Papers of the Institute of Sugar Beet*, 3, 110–113. [In Ukrainian]
19. Voitovska, V. V., Zabolotna, A. V., Ketskalo V. V., & Kovtuniuk Z. I. (2023). Clonal micropropagation of rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Advanced Agritechnologies*, 11(1). doi: 10.47414/na.11.1.2023.277429 [In Ukrainian]
20. Riabovol, L. O. (2001). Sterilization of plant material when introduced into culture in vitro. *The technique of introducing an explant into a nutrient medium. Methodological recommendations for conducting laboratory-practical classes in "Biotechnology"*. Uman: UDAA. [In Ukrainian]
21. Andreieva, V. V., Bortnik, T. P., Rybak, Y. L., & Shepeliuk, M. O. (2022). *Biotechnology: methodological recommendations for performing laboratory work*. Lutsk: N.p. [In Ukrainian]
22. Trofymchuk, I. M., Pliuta, N. V., & Lohvynenko, I. P. (2019). *Biotechnology with the basics of ecology*. Kyiv: Condor. [In Ukrainian]
23. Dubrovna, O. V., Morgun, B. V., & Baval, A. V. (2014). *Wheat biotechnology: cell selection and genetic engineering*. Kyiv: Logos. [In Ukrainian]

UDC 631.1.633.6

Voitovska, V. I.¹, Nebykova, T. A.², & Boiko, A. I.³ (2023). Rhizogenesis of rocket (*Eruca sativa* Mill.) and wall-rocket *Diplotaxis tenuifolia* (L.) DC. *Advanced Agritechnologies*, 11(2). <https://doi.org/10.47414/na.11.2.2023.285870> [In Ukrainian]

¹*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine, e-mail: vvojtovska6@gmail.com*

²*Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University, 2 Sadova St., Uman, Cherkasy region, 20300, Ukraine*

³*Ukrainian Institute for Plant Variety Examination, 15 Henerala Rodymtseva St., Kyiv, 03041, Ukraine*

Purpose. To test the efficiency of the plant growth regulating substances at different concentrations for stimulating the rhizogenesis of rocket (*E. sativa*) and wall-rocket (*D. tenuifolia*). **Methods.** The experiment was carried out at the Biotechnology Laboratory of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of the National Academy of Agrarian Sciences in 2020–2022. Rocket varieties ‘Znaha’, ‘Lybid’, ‘Zlat’, ‘Silveta’ and wall-rocket variety ‘Liudmyla’ were used in the study. Seeds were examined for their quality indicators, sterilized with a solution of 35% laundry detergent and ethanol and seeded *in vitro*. Sterile seedlings were transferred to the Murashige-Skoog (MS) medium supplemented with benzylaminopurine (BAP) for propagation. Naphthylacetic acid (NAA), indolyl-3-acetic acid (IAA), indolyl-3-butyric acid (IBA) and gibberellic acid (GA) were added to the nutrient medium according to the MS prescription in different concentrations. **Results.** The introduction of IBA (0.8 mg/l) and GA into the nutrient medium, regardless of the concentration, resulted in the longest root system in all treatments. The studied modification made it possible to obtain root length on the 9th day of cultivation from 7 to 64 cm and on the 14th day from 10 to 70 cm. On the 14th day of cultivation, in the plants grown under the concentration of GA > 1.0 mg/l, the root not only the elongated and browned, but reached 70 cm in length. For the introduction of IBA into the medium previously supplemented with GA, on the 9th day of cultivation, negative effect was noted in all treatments, namely the elongation of internodes and central root. On the 14th day, vitrification of shoots and significant elongation of both central and lateral roots occurred in all treatments. The central root reached 70 cm in length, which is not advisable during the adaptation period. The results of the experiment indicate that on the 21st day, the longest root system (12 cm and 42 cm) was obtained in the rocket variety ‘Zlat’ (0.1 mg/l GA and 1.5 mg/l GA, respectively) and the shortest root length (6 cm and 21 cm) in the wall-rocket variety ‘Liudmyla’ (0.1 mg/l GA and 1.5 mg/l GA, respectively). Importantly, the root length of ‘Zlat’ variety on the 21st day of cultivation, compared to the 14th day, at a concentration of 0.1 mg/l increased by only 3 cm, while in the ‘Liudmyla’ variety by 2 cm. Considering this, it is impractical to carry out cultivation up to 21 days. The lowest root length was obtained with the use of IBA and GA: rhizogenesis occurred more slowly than in previous treatments, and on the 14th day the root length was in the range from 3 to 20 cm. **Conclusions.** The longest root system in all studied treatments was obtained in variety ‘Zlat’, while shortest in ‘Liudmyla’. The optimal concentrations of NAA + IBA + GA for the cultivation of the studied rocket and wall-rocket varieties are 0.3 and 0.5 mg/l.

Keywords: *rooting; auxins; cytokinins; concentration; gibberellins.*

Надійшла / Received 24.07.2023

Погоджено до друку / Accepted 11.08.2023