



УДК 581.142 : 581.143 : 577.175.1

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОРОСТАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВНИХ
РЕЧОВИН НАСІННЯ КУКУРУДЗИ ПІД ВПЛИВОМ ГІБЕРЕЛІНУ ТА
РЕТАРДАНТУ ЗА УМОВ ФОТО- ТА СКОТОМОРФОГЕНЕЗУ**

Попроцька І.В., к.б.н., доцент
Кур'ята В. Г., д.б.н., професор
Франко А.В. лаборант кафедри біології
e-mail: irinka-2005@ukr.net

Вивчено вплив фітогормону гібереліну та антигіберелінового препарату ретарданту тебуконазолу на проростання насіння кукурудзи на світлі (фотоморфогенез) і в темряві (скотоморфогенез). Встановлено, що за дії гібереліну відбувалося більш інтенсивне стимулювання росту надземної частини та кореневої системи проростків кукурудзи у порівнянні з контролем, окрім того, більш швидким цей процес був в темряві. Застосування тебуконазолу суттєво блокувало процес проростання як на світлі, так і в темряві. Коефіцієнт використання запасних речовин за дії гібереліну був максимальним, а за дії ретарданту – мінімальним, як за умов ското-, так і фотоморфогенезу. Встановлено, що при проростанні насіння кукурудзи в першу чергу йде використання крохмалю, а білкові сполуки використовуються на більш пізніх етапах проростання. Аналогічна тенденція відмічалася і для використання резервних форм фосфору та калію.

Ключові слова: донорно-акцепторна система – гібереліни – ретарданти – проростання насіння – кукурудза – дія світла

The effect of the phytohormone gibberellin and the anti-gibberellin preparation tebuconazole on the germination of maize seeds in light (photomorphogenesis) and in the dark (scotomorphogenesis) was studied. It was found that under the action of gibberellin, there was a more intense stimulation of growth of the aboveground part and the root system of maize seedlings in comparison with the control, moreover, the process was faster in the dark. The use of tebuconazole significantly blocked the germination process, both in light and in the dark. The coefficient of use of spare substances under the action of gibberellin was the maximal, and under the action of the retardant - the minimal, both under conditions of scoto- and photomorphogenesis. It has been established that when germinating maize seeds, the starch is used first and the protein compounds are used in the later stages of germination. A similar trend was observed for the use of reserve forms of phosphorus and potassium.

Keywords: source-sink system - gibberellins - retardants - seed germination – maize – action of light

Вступ Процес проростання насіння розглядають в межах концепції донорно-акцепторних відносин («source–sink»). Закономірності функціонування донорно – акцепторної системи найбільш повно вивчалися при дослідженнях співвідношення інтенсивності росту (основний акцептор) і фотосинтезу (донор асимілятів). Разом з тим, питання регуляції системи “депо асимілятів–ріст”, проміжного депонування асимілятів, особливостей використання запасних речовин насінини на потреби проростка недостатньо висвітлені в літературних джерелах [10, 11].

Проростання насіння, в якого основною резервною речовиною є крохмаль, супроводжується синтезом *de novo* і виділенням зародком в ендосперм α -амілази під



дією гібереліну, що викликає розщеплення крохмалю в крохмальних зернах. Застосування екзогенного гібереліну також призводить до посилення цих процесів і стимуляції росту проростка [30]. Застосування екзогенного гібереліну при проростанні насіння дає можливість штучно змінювати напруженість донорно - акцепторних відносин в рослині в результаті посилення інтенсивності росту проростка [12,13,15]. Для блокування фізіологічної дії гіберелінів широко використовуються синтетичні препарати – ретарданти, які за механізмом дії є антигіберелінами та здатні до регуляції швидкості росту, морфогенезу, формування фотосинтетичного апарату, виходу рослин зі стану спокою, що має велике значення у продукційному процесі різноманітних сільськогосподарських культур [9, 29, 42, 46]. Ретарданти широко застосовуються в сучасному рослинництві та є екологічно безпечними [40, 41, 48]. Під впливом ретардантів, що належать до різних класів, було встановлено підвищення продуктивності цукрових буряків [58], картоплі [22], томатів [6,7,8,21,23,49]. Збільшення врожайності та підвищення якісних характеристик олії насіння під дією регуляторів росту спостерігали у льону [32, 33, 34, 36, 45], сої [3, 4, 47, 51], маку олійного [16,17,18, 52, 53], ріпаку [50], соняшнику [24, 25, 26]. Ретарданти здатні блокувати або синтез гібереліну, або утворення гормон-рецепторного комплексу, внаслідок чого уповільнюється інтенсивність лінійного росту рослин [13]. Разом з тим, практично відсутні дані в літературі про дослідження впливу гібереліну та антигіберелінових препаратів - ретардантів на особливості проростання насіння та бульб.

Вивчення проростання насіння під дією гібереліну та ретардантів як чинників, що мають протилежну дію на ріст та відповідно здатні змінювати атрагувальну ємність акцептора, є важливим теоретичним аспектом дослідження функціонування системи “депо асимілятів–ріст” [19].

Світло, як один з ключових факторів середовища, не тільки забезпечує процес автотрофного живлення, але і через систему фоторецепторів вмикає програму фотоморфогенезу [37]. Це забезпечує деетиоляцію, диференціювання хлоропластів, формування листкових пластинок і як наслідок – перехід до автотрофного живлення. Початкові етапи фотоморфогенезу супроводжуються також активними метаболічними змінами, фітохромною модифікацією гормонального статусу проростків [2, 44, 54]. Встановлено, що світло може модифікувати ріст і морфогенез рослин через систему фітогормонів, змінювати інтенсивність дії гормонів і активувати утворення природних інгібіторів. Світло змінює програму розвитку рослин – скотоморфогенез (ріст в темряві) і фотоморфогенез (ріст на світлі) характеризуються відмінностями у швидкості і тривалості росту окремих органів проростка. Ці зміни реалізуються через перебудову гормонального комплексу. Рослини, які проростають в повній темряві, розвиваються за програмою скотоморфогенезу: в них видовжується епикотиль і гіпокотиль, утворюється гіпокотильна петля, жовтіють сім'ядолі і гофровані перші листки [1]. На світлі



вмикається програма фотоморфогенезу: гіпокотиль і епикотиль вкорочуються, гіпокотильна петля повністю розправляється, відбувається позеленіння сім'ядолі і первинних листків, листкові пластинки розправляються і розширюються. В темряві рослини формують слаборозвинені провідні структури. Ці процеси приводять до суттєвих змін атрагувального потенціалу органів і швидкості відтоку асимілятів з сім'ядолей та інших органів запасу. Відомо, що фітогормони включені в систему трансдукції світлового сигналу [59], за дії світла змінюється метаболізм і чутливість рослин до гіберелінів [60]. Таким чином, світло є потужним чинником, який через перебудову гормонального комплексу, і в тому числі через синтез гіберелінів, суттєво впливає на систему «депо асимілятів–ріст» на ранніх етапах розвитку рослини. При цьому слід відмітити, що практично відсутні роботи, в яких вивчалися б особливості ското- і фотоморфогенезу за умов дії антигіберелінових препаратів – ретардантів [20, 55].

В зв'язку з цим, метою роботи було встановити вплив гібереліну та ретарданту на функціонування системи «депо асимілятів – ріст» в період проростання насіння кукурудзи за умов фото- і скотоморфогенезу.

Об'єкти і методи досліджень. Роботу проведено з насінням гібриду кукурудзи Достаток 300 МВ, оригінатор - Інститут фізіології рослин і генетики НАН України (м. Київ). В роботі були використані наступні препарати.

Гіберелова кислота - біла кристалічна речовина з молекулярною масою 346,2 Д з молекулярною формулою $C_{19}H_{22}O_6$. Температура плавлення $227^{\circ}C$. Речовина погано розчинна у воді і добре розчинна в органічних розчинниках. Гіберелова кислота є малотоксичною сполукою і належить до 3 класу токсичності. LD_{50} для щурів 15630 мг/кг. Не проявляє канцерогенних, бластомогенних, шкіряно-резорбтивних та ембріотоксичних властивостей. Залишковий вміст препарату не нормовано, оскільки у рослин він присутній як природний метаболіт. Препарат нетоксичний для бджіл та інших комах, малотоксичний для риби.

В якості ретарданту використано препарат тебуконазол. Тебуконазол ($C_{16}H_{22}ClN_3O$)-(RS)-1р-хлорфеніл-4,4-диметил-3-(1Н-1,2,4-триазол-1-іл-метил) пентан-3-іл являє собою безкольорову речовину, добре розчиняється в органічних розчинниках, погано у воді. Молекулярна маса-308,7 Д, температура плавлення $104,7^{\circ}C$, LD_{50} для білих пацюків становить 1700 мг/кг, препарат малотоксичний.

Насіння кукурудзи замочували по варіантах досліду у водних розчинах гіберелової кислоти (150 мг/л) та тебуконазолу (0,06%) протягом доби, а потім висаджували у вологий пісок. Контрольний варіант замочували у дистильованій воді. Насіння пророщували в темряві і на світлі при $20^{\circ}C$.

На 12–ту добу проростання встановлювали коефіцієнт використання резервних речовин насіння як відношення сумарної сухої маси проростку до маси сухої речовини усієї рослини. В сім'ядолях визначали вміст цукрів і крохмалю - йодометричним методом, вміст фосфору - за утворенням фосфорно-молібденового комплексу, калію – полум'яно-фотометричним методом, загального азоту - методом



Кельдаля [14, 43]. Аналітична повторність досліджень п'ятикратна. Результати досліджень обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. У таблицях і рисунках наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки.

Результати досліджень. Значення процесів тимчасового депонування асимілятів (вуглеводів) у функціонуванні донорно-акцепторної системи рослин вивчено переважно при аналізі співвідношення фотосинтезу (джерело) і росту (стік) асимілятів [5, 61]. Разом з тим, утилізація резервних речовин з запасливих тканин насіння на потреби онтогенезу в гетеротрофну фазу росту, участь світла та роль гормональної системи в регуляторних процесах в системі «резервні сполуки – ріст» залишається маловивченою [31, 38]. На нашу думку, важливими є дані про особливості реутилізації не лише вуглеводів, але й інших основних речовин запасу, зокрема білків насіння рослин за умов фото- і скотоморфогенезу [39, 56].

Отримані результати свідчать, що процес проростання насіння кукурудзи на світлі і в темряві за дії гібереліну та ретарданту тебуконазолу за умов фото- і скотоморфогенезу супроводжувався суттєвими змінами розвитку рослин. За дії гібереліну відмічалось більш інтенсивне стимулювання росту надземної частини та кореневої системи проростка, ніж у контролі, причому процес посилювався в темряві. Застосування антигіберелінового препарату тебуконазолу суттєво блокувало процес проростання як на світлі, так і в темряві (Таблиця 1).

Таблиця 1. Вплив гібереліну і тебуконазолу на проростання насіння кукурудзи сорту Достаток 300 МВ за умов фото- і скотоморфогенезу

Показник	Контроль		Гіберелова кислота, 150 мг/л		Тебуконазол, 0,06%	
	світло	темрява	світло	темрява	світло	темрява
Довжина надземної частини, см	3,0 ±0,05	6,0 ± 0,18	4,0±0,11*	15,1±0,34*	1,0±0,04*	1,4±0,07*
Довжина кореневої системи, см	5,1±0,15	7,9±0,18	4,8±0,14	12,1±0,21*	1,8±0,05*	4,3±0,12*

Примітка: *- різниця достовірна при $P \leq 0,05$

Морфологічні зміни проростків за варіантами дослідження визначалися різним ступенем використання резервних речовин насінини в період проростання – коефіцієнт використання запасних речовин за дії тебуконазолу був мінімальним як на світлі, так і в темряві. Стимулююча дія гібереліну на проростання за умов скотоморфогенезу характеризувалася більш високим значенням цього показника. Оскільки під дією гібереліну посилювався ріст і процеси морфогенезу проростків у порівнянні з дією ретарданту, важливо проаналізувати відтік резервного крохмалю з насінини в акцепторну зону (проросток) по варіантах дослідження в зв'язку з



формуванням різного запиту на резервні метаболіти. Аналіз отриманих результатів свідчить, що більш високе значення коефіцієнта використання резервних речовин в темряві та за дії гібереліну визначається більш інтенсивним гідролізом резервного полісахариду – його вміст в цих варіантах суттєво зменшувався. Проростання насіння, в якого основною резервною речовиною є крохмаль, супроводжується синтезом *de novo* і виділенням зародком в ендосперм амілази під дією гібереліну, що в свою чергу призводить до розщеплення крохмалю крохмальних зерен [57]. Обробка екзогенним гібереліном також посилює ці процеси і стимулює ріст проростка. Застосування ретардантів, які є антагоністами гібереліну, дозволяє зменшити запит на асиміляти внаслідок блокування синтезу гіберелінів, активності амілазного комплексу та зниження активності функціонування меристем. Внаслідок цього тебуконазол мінімально впливав на зміни вмісту крохмалю в пророслому насінні кукурудзи як на світлі, так і в темряві. Це добре узгоджується з найменшими значеннями коефіцієнту використання резервних речовин та найнижчими темпами росту проростків у цих варіантах (Таблиця 2).

Таблиця 2. Особливості використання резервних речовин насіння кукурудзи сорту Достаток 300 МВ за умов фото- і скотоморфогенезу під дією гібереліну і тебуконазолу

Показник	Контроль		ГК ₃ , 150 мг/л		Тебуконазол, 0,06%	
	світло	темрява	світло	темрява	світло	темрява
Коефіцієнт використання резервних речовин (%)	12±0,5	20±0,9	14±0,4*	25±0,8*	6±0,3*	7±0,2 *
Вміст крохмалю, % маси сухої речовини	59,92±0,02	55,1±0,03*	52,03±0,02*	49,02±0,04*	58,1±0,05*	58,2±0,04*
Вміст загального азоту, % маси сухої речовини	1,4±0,02	1,3±0,01	1,2±0,03*	1,7±0,02*	1,4±0,03	1,4±0,02*
Вміст фосфору, г/кг маси сухої речовини	3,8±0,01	3,3±0,01	3,6±0,04*	4,0±0,04*	3,5±0,05*	3,7±0,02*
Вміст калію, г/кг маси сухої речовини	1,6±0,04	1,2±0,01	1,5±0,02	1,9±0,03*	1,5±0,01	1,6±0,03*

Примітка: *- різниця достовірна при $P \leq 0,05$

В літературі відсутні дані про перерозподіл елементів мінерального живлення між насінною і проростком у період проростання за дії гібереліну і ретардантів при проростанні на світлі і в темряві. Оскільки цілісність рослинного організму базується на взаємодії органів і активному обміні органічних і мінеральних речовин між ними, а суть змін характеру донорно-акцепторних відносин полягає у перерозподілі потоків асимілятів між органами рослин, для розробки заходів екзогенної регуляції онтогенезу необхідно мати чітке уявлення про динаміку накопичення і перерозподілу мінеральних речовин в рослині. Аналіз вмісту загального азоту в насінні пророслого насіння свідчить, що за умов фото- і скотоморфогенезу відмінності були мінімальними (Таблиця 2). При цьому застосування гібереліну і ретарданту сприяло підвищенню вмісту азоту в темряві проти варіанту із світлом. На нашу думку, це чітко пояснюється особливостями



біорозбавлення: більш ефективно використання основної резервної речовини - крохмалю призводило до зростання відносного вмісту азоту. Це також свідчить про те, що в першу чергу йде використання крохмалю, а білкові сполуки використовуються на більш пізніх етапах проростання. Аналогічна тенденція відмічалася і для використання резервних форм фосфору та калію: у контрольному варіанті відбувалася більш інтенсивна утилізація мінеральних елементів насіння в темряві, а у дослідних варіантах вміст фосфору був більш високим в темряві.

Отже, за умов скотоморфогенезу рістстимулююча дія гібереліну суттєво посилювалася. Антигіберелінова дія тебуконазолу призводила до суттєвого гальмування проростання та використання резервних сполук насіння кукурудзи як на світлі, так і в темряві. Це свідчить про ключову роль гібереліну в процесах проростання насіння, яке містить в якості резервної речовини крохмаль.

Література:

1. Боднар О.О. Вплив хлормекватхлориду на проростання та використання резервних речовин насіння гарбуза в умовах фото- та скотоморфогенезу / О.О. Боднар, І. В. Попроцька // Актуальні питання географічних і біологічних наук: основні наукові проблеми та перспективи дослідження. Збірник наукових праць ВДПУ [відп. ред. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2019. – Вип. 17 (22). – С. 74-76.
2. Головацкая И. Ф. Динамика роста растений и содержание эндогенных фитогормонов в процессе скотоморфогенеза фасоли / И. Ф. Головацкая, Р. А. Карначук // Физиология растений. – 2007. – 54, № 3. – С. 461–468.
3. Голунова Л. А. Дія хлормекватхлориду на продуктивність та якість насіння *Glycine max L.* / Л. А. Голунова // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені В. Гнатюка. Серія: Біологія. – Тернопіль, 2015. – №1. (62) – 206 с. – С. 66-71.
4. Голунова Л. А. Регуляція продукційного процесу і симбіотичної азотфіксації сої за допомогою ретардантів / Л. А. Голунова, В. Г. Кур'ята. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – 142 с.
5. Киризий Д. А. Фотосинтез. Т. 2. Ассимиляция CO₂ и механизмы ее регуляции / Д. А. Киризий, О. О. Стасик, Г. А. Прядкина, Т. М. Шадчина. – Киев: Логос. – 2014. – 478 с.
6. Кравець О. О. Особливості анатомічної будови стебла томатів сорту Солероссо за дії фолікуру / О. О. Кравець, В. Г. Кур'ята // Materiály XIII Mezinárodní vědecko - praktická konference, «Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2017». – 2017. – 8. – С. 15-18.
7. Кравець О. О. Фізіологічні основи застосування гібереліну та ретардантів різних типів у рослинництві / О. О. Кравець, В. Г. Кур'ята // Сучасні проблеми біологічної науки та методика її викладання у закладах вищої освіти: збірник наукових праць звітної наукової конференції викладачів за 2017-2018 н.р. – Вінниця, 2018. – 314 с. – С. 262-286.
8. Кур'ята В. Г. Регуляція морфогенезу, перерозподілу асимілятів, азотовмісних сполук та продуктивності томатів за дії гібереліну й ретарданту фолікуру / В. Г. Кур'ята, О. О. Кравець // Физиология растений и генетика. – 2018. – Т. 50 № 2. – С. 95-104.
9. Кур'ята, В. Г. / Фізіолого - біохімічні основи застосування ретардантів в рослинництві / В. Г. Кур'ята, І. В. Попроцька. – Вінниця: ТОВ «Твори», 2019. – 98с.
10. Кур'ята І. В. Особливості використання резервних ліпідів у проростаючому насінні соняшника *HELIANTHUS ANNUUS L.* за дії гібереліну і ретардантів / І. В. Кур'ята, Д. А. Кірізій // Физиология и биохимия культурных растений. – 2007. – Т.39, №2. – С. 114–121.
11. Кур'ята І. В. Дія гібереліну і паклобутразолу на гістогенез і депонування вторинного крохмалю в паростках картоплі при виході бульб зі стану спокою / І. В. Кур'ята, Д. А. Кірізій // Физиология и биохимия культурных растений. – 2007. – Т.39, №4. – С. 343–352. Кур'ята І. В. Вплив гібереліну та хлормекватхлориду на особливості проростання насіння гарбуза (*CUCURBITA PEPO L.*) / І. В. Кур'ята, Д. А. Кірізій // Регуляція росту і розвитку рослин: фізіолого-біохімічні і генетичні аспекти: матеріали міжнар. наук. конф., 13–15 жовтня, 2008 р. – Харків, 2008. – С. 139–140.
12. Кур'ята І. В. Регуляція у рослин донорно-акцепторних відносин в системі «депо асимілятів–ріст» у процесі проростання / І. В. Кур'ята // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук: 03.00.12 – фізіологія рослин. – Київ, 2011. – 23 с.
13. Методы биохимического исследования растений / [А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др.]; под



- ред. А. И. Ермакова. – [3-е изд., перераб., доп.]. – Л. : Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 430 с.
14. Петух А.О. Особливості проростання та використання резервних сполук насіння гарбуза під впливом гібереліну та світла / А.О. Петух, І. В. Попроцька // Актуальні питання географічних і біологічних наук : основні наукові проблеми та перспективи дослідження. Збірник наукових праць ВДПУ [відп. ред. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2019. – Вип. 17 (22). – С. 69-71.
 15. Поливаний С.В. Фізіологічні основи застосування модифікаторів гормонального комплексу для регуляції продукційного процесу маку олійного / С.В. Поливаний, В.Г. Кур'ята. –Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – 140 с.
 16. Поливаний С.В. Вплив суміші регуляторів росту на якість продукції маку олійного / С.В. Поливаний, В.Г. Кур'ята // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 3. – С. 37-41.
 17. Поливаний С. В. Регуляція продукційного процесу *Rapaver somniferum* за дії ретардантів / С. В. Поливаний, Д. В. Суховій // Актуальні проблеми сучасної біології та методики її викладання :Зб. наук. праць звітної наукової конференції викладачів за 2017-2018 н.р. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2018. – С. 23-43.
 18. Попроцька І. В. Регуляція донорно-акцепторних відносин у рослин в системі «депо асиміліатів – ріст» у процесі проростання / І. В. Попроцька. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – 122 с.
 19. Попроцька І. В. Особливості ското- і фотоморфогенезу паростків топінамбура за дії антигіберелінових препаратів / І. В. Попроцька, О. В. Сумленний // Актуальні питання географічних, хімічних і біологічних наук : основні наукові проблеми та перспективи дослідження : збірник наукових праць ВДПУ; [відп. ред.. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2013. – Вип. 10 (15). – С. 138-139.
 20. Рогач В.В. Динаміка накопичення і перерозподілу різних форм вуглеводів в органах рослин томатів за дії регуляторів росту / В. В. Рогач, В. Г. Кур'ята, О. І. Буйна, О. В. Буйний // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету. Серія : Біологія. – 2017. – № 3 (70). – С. 174-179.
 21. Рогач В.В. Дія ретардантів на морфофізіологічні показники, продуктивність та період спокою картоплі / В. В. Рогач, І. В. Попроцька, Т. І. Рогач, В. Г. Кур'ята // Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2015. – № 1. – С. 51-54.
 22. Рогач В.В. Динаміка накопичення та перерозподілу різних форм вуглеводів та азоту в органах рослин томатів за дії ретардантів / В.В. Рогач, О.О. Кравець, О.І. Буйна, В.Г. Кур'ята // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. – 2018. – Т. 9 (2). – С. 293-299.
 23. Рогач Т. І. Фізіологічні основи регуляції морфогенезу та продуктивності соняшнику за допомогою хлормекватхлориду і трептолему : монографія / Т. І. Рогач, В. Г. Кур'ята. – Вінниця: ТВОРИ, 2018. – 139 с.
 24. Рогач Т. І. Зміни у хімічному складі насіння та якості олії соняшнику за дії хлормекватхлориду / Рогач Т. І., Кур'ята В. Г. // Регуляція росту і розвитку рослин: фізіолого-біохімічні та генетичні аспекти: Матеріали міжнар. наук. конф. (Харків, Україна, жовтень, 13-15, 2008 р.). – Харків, 2008. – С. 149-150.
 25. Рогач Т. І. Накопичення та перерозподіл вуглеводів і азотовмісних сполук між органами рослин соняшника в онтогенезі за дії хлормекватхлориду / Т. І. Рогач, В. Г. Кур'ята // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія : Сільськогосподарські науки. – Вінниця, 2011. – Вип. 8 (48). – С. 49-54.
 26. Ткачук О. О. Вплив гетероауксину на енергію проростання та ріст пшениці / О. О. Ткачук, О. А. Шевчук, О.О. Ходаніцька // Актуальні питання географічних і біологічних наук: основні наукові проблеми та перспективи досліджень / збірник наукових праць ВДПУ. – Вінниця, 2019. – Вип. 17 (22). – С. 67-69.
 27. Ткачук О. О. Утворення крохмалю у рослинах картоплі за дії ретардантів / О. О. Ткачук, О.А. Шевчук // Стратегії інноваційного розвитку природничих дисциплін: досвід, проблеми та перспективи: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Кропивницький, 22 березня 2018 р.)/гол. ред.. колегії НА Калініченко; ЦДПУ.–Кропивницький, 2018. – С.97-99.
 28. Ткачук О.О. Дія ретардантів на трофічне забезпечення процесів росту і розвитку рослин / О. О. Ткачук // Сучасні проблеми біологічної науки та методика її викладання у закладах вищої освіти. - Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2018. – С.72-86.
 29. Ткачук О.О. Перспективи використання регуляторів росту рослин стимулюючої дії / О. О. Ткачук, О. А. Шевчук // Актуальні питання географічних, біологічних та хімічних наук: основні наукові проблеми та перспективи дослідження / Збірник наукових праць ВДПУ. – Вінниця, – 2018. – С. 46-48.
 30. Франко А. В. Дія гібереліну та тебуконазолу на процес проростання та використання резервних речовин насіння кукурудзи / А. В. Франко, І. В. Попроцька // Актуальні питання географічних, хімічних і біологічних наук : основні наукові проблеми та перспективи дослідження. Збірник наукових праць ВДПУ [відп. ред. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2018. – Вип. 16 (21). – С. 52-54
 31. Ходаніцька О.О. Використання рістрегулюючих сполук з метою покращення продуктивності льону



- олійного / О.О.Ходаницька, Р.В.Грабовий // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Proceedings of academic science – 2018, August 30 - September 7, 2018 : Sheffield. Science and education LTD. – С. 6-9.
32. Ходаницька О.О. Врожайність льону олійного при застосуванні регуляторів росту з різним напрямком дії / О.О.Ходаницька // Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Wykształcenie i nauka bez granicy - 2018», Volume 12 Przemysł: Nauka i studia. – С. 3-7.
 33. Ходаницька О.О. Врожайність льону олійного при застосуванні регуляторів росту з різним напрямком дії / О.О.Ходаницька // Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Wykształcenie i nauka bez granicy - 2018», Volume 12 Przemysł: Nauka i studia. – С. 3-7
 34. Ходаницька О.О. Вплив агростимуліну на процеси проростання насіння сочевиці / О.О. Ходаницька, О.О, Ткачук, О.А. Шевчук // Актуальні питання географічних і біологічних наук: основні наукові проблеми та перспективи досліджень. Зб. наук. праць ВДПУ. – Вінниця. – 2019. – Вип. 17 (22). – С. 63-65.
 35. Ходаницька Е. А. Влияние хлормекватхлорида на формирование фотосинтетического аппарата и продуктивность растений льна / Е. А. Ходаницькая, В. Г. Курьята // ScienceRise: Biological Science ». – 2018 – №6 (15). – С. 18-23.
 36. Цыганкова В. А. Генетический и эпигенетический контроль роста и развития растений. Гены фотоморфогенеза и регуляция их экспрессии светом. / В. А. Цыганкова, Л. А. Галкина, Л. И. Мусатенко, К. М. Сытник // Biopolym.Cell. – 2004. – 20(6). – С.451–471.
 37. Шаповал Я. Ю. Особливості проростання насіння квасолі за дії гібереліну та тебуконазолу / Я. Ю. Шаповал, І. В. Попроцька // Актуальні питання географічних, хімічних і біологічних наук : основні наукові проблеми та перспективи дослідження. Збірник наукових праць ВДПУ [відп. ред. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2018. – Вип. 16(21). – С. 61-63.
 38. Шаповал Я. Ю. Вплив гібереліну на вміст азоту, фосфору та калію в проростаючому насінні квасолі в умовах фото- та скотоморфогенезу / Я. Ю. Шаповал, І. В. Попроцька // Актуальні питання географічних, хімічних і біологічних наук : основні наукові проблеми та перспективи дослідження. Збірник наукових праць ВДПУ [відп. ред. А. В. Гудзевич]. – Вінниця, 2018. – Вип. 16 (21). – С.69-71.
 39. Шевчук О. А. Перспективи застосування синтетичних регуляторів росту інгібіторного типу у рослинництві та їх екологічна безпека / О. А. Шевчук, Л. А. Голунова, О. О. Ткачук, В. В. Шевчук, С. Д. Криклива // Корми і кормовиробництво : Міжвідомчий тематичний науковий збірник. – 84. – Вінниця. – 2017. – С. 86-90.
 40. Шевчук О.А. Морфо-біологічні особливості культури *Phaseolus vulgaris* L. за дії регуляторів росту рослин / О.А. Шевчук, О.О. Ткачук, О.О. Ходаницька та ін. // Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2019. – №1. – С. 3-8.
 41. Шевчук О.А. Морфогенез проростків і посівні характеристики насіння бобів кормових за використання ретардантів / О.А. Шевчук, О.О. Ходаницька, О.О. Ткачук, В.І. Вергеліс // Вісник Уманського національного університету садівництва. – 2019. – №2. – С. 49-53.
 42. AOAC. Official Methods of Analysis of Association of Analytical Chemist International 18th ed. Rev. 3.2010 / Asso. of Analytical Chemist.// Gaithersburg, Maryland, USA. – 2010.
 43. De Wit M. Photomorphogenesis and Photoreceptors / M. De Wit, R. Pierik // Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications. – 2016. – 42. – P. 171–186.
 44. Khodanitska O. O. Effect of treptolem on morphogenesis and productivity of linseed plants / O. O. Khodanitska, V.G. Kuryata, O.A. Shevchuk, O.O. Tkachuk, I.V. Poprotska // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. –9 (2). – P.119-126.
 45. Kumar S. Paclobutrazol treatment as a potential strategy for higher seed and oil yield in field-grown *Camelina sativa* L./ S. Kumar, S. Ghatty, J. Satyanarayana [etc.] // Crantz. BMC Research Notes – 2012. – №5. – P. 137.
 46. Kuryata, V. G. Symbiotic nitrogen fixation of soybean-rhizobium complexes and productivity of soybean culture as affected by the retardant chlormequat chloride / V. G. Kuryata, L. A. Golunova, I. V. Poprotska, O. O. Khodanitska // Ukrainian Journal of Ecology. – 2019. – 9(2). – P.5-13.
 47. Kuryata V. G. Effect of retardant folicur on morphogenesis, photosynthetic apparatus and productivity of tomatoes / V. G. Kuryata, O. O. Kravets // Acta carpathica 29-30. – Rzeszow, 2018. – P. 79-87.
 48. Kuryata V. G. Features of morphogenesis and functioning of donor-acceptor system under actions of gibberellin and retardants treatments on tomato plants / V. G. Kuryata, O. O. Kravets // The Potential of Modern Science. Volume 1. – London, 2019. – 198 p. – P. 114-129.
 49. Kuryata V.G. Influence of chlormequat chloride on morphogenesis, formation of donor-acceptor system and production process of oil crops/ V.G. Kuryata, S.V. Polyvanyi, T. I. Rogach, O. O. Khodanitska, V. V. Rogach // The Potential of Modern Science, volume 1. – London.: Scienccee Publishing. 2019. – 130-156
 50. Kuryata V.G. Peculiarities of the formation and functioning of soybean-rhizobial complexes and the productivity



- of soybean culture under the influence of retardant of paclobutrazol / V.G. Kuryata, L.A. Golunova // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2018. – 8(3). – P. 98-105.
51. Kuryata V.G. Formation and functioning of source-sink relation system of oil poppy plants under treptolem treatment towards crop productivity / V.G. Kuryata, S.V. Polyvanyi // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2018. – 8(1). – P. 11-20.
 52. Kuryata V.G. Morphogenesis and the effectiveness of the production process of oil poppy under the complex action of retardant chlormequat chloride and growth stimulant treptolem / V.G. Kuryata, S.V. Polyvanyi, O.A. Shevchuk, O.O. Tkachuk // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2019. – 9 (1). – P. 127-134.
 53. Kutschera U. Seedling development in buckwheat and the discovery of the photomorphogenic shade-avoidance response / U. Kutschera, W. R. Briggs // *Plant biology*. – 2013. – 15(6). – P. 931–940.
 54. Poprotska I. V. The influence of light on the germination process and use of the reserve substances of seeds under the action of antigibberellic agents / I. V. Poprotska // *Proceedings of the 1st European Conference on Biology and Medical Sciences*. Premier Publishing s.r.o. – Vienna, 2017. – Pp. 58-63.
 55. Poprotska I. Effect of gibberellin and retardants on the germination of seeds with different types of reserve substances under the conditions of skoto-and photomorphogenesis / I. Poprotska, V. Kuryata, O. Khodanitska, S. Polyvanyi, L. Golunova, Y. Prysedsy // *Biologija*. – 2019. – 65(4). – P. 296–307.
 56. Rademacher W. Chemical regulators of gibberellin status and their application in plant production / W. Rademacher // *Annual Plant Reviews*. – 2016. – 49. – P.359–403.
 57. Shevchuk O.A. Features of leaf photosynthetic apparatus of sugar beet under retardants treatment / O.A. Shevchuk, O.O. Tkachuk, V.G. Kuryata, O.O. Khodanitska, S.V. Polyvanyi // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2019. – 9 (1). – P. 115-120.
 58. VanHook A. M. Rapidly inhibiting ethylene signaling with light / A. M. VanHook // *Science Signaling*. – 2016. – 9(458). – P.294.
 59. Wu S.-H. Gene expression regulation in photomorphogenesis from the perspective of the central dogma / S.-H. Wu // *Annual Review of Plant Biology*. – 2014. – 65. – P. 311–333.
 60. Yu S.M. Source–Sink Communication: Regulated by Hormone, Nutrient, and Stress Cross-Signaling / S.M. Yu, Sh.F. Lo, T. D. Ho // *Trends in plant science*. – 2015. – 20(12). – P. 844–857.