



ШВАРТАУ

Віктор Валентинович — член-кореспондент НАН України, завідувач відділу фізіології живлення рослин Інституту фізіології рослин і генетики НАН України

БІОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОДОВОЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ

За матеріалами доповіді на засіданні Президії
НАН України 7 лютого 2024 року

На виконання завдання із забезпечення продовольчої безпеки України в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України сформовано цілісну систему нарощування продуктивності озимої пшениці та інших сільсько-господарських культур. Високий потенціал продуктивності вітчизняних сортів озимої пшениці реалізується з одночасним зменшенням витрат на вирощування та зниженням викидів парникових газів. Ці рішення становлять основу розвитку рослинництва України як у воєнний час, так і в період повоєнної відбудови, і мають важливе значення для забезпечення продовольчого достатку держави та збереження ролі України як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

Ключові слова: механізми формування продуктивності, продовольча безпека, пшениця, захист та живлення рослин, ефективність використання азоту, резистентність.

Рослинництво в Україні є однією з найважливіших галузей економіки, яка забезпечує значну частку надходжень до держбюджету. У рейтингу глобального індексу продовольчої безпеки за 2020 р. Україна досягла високих показників, посівши 54-те місце серед 200 країн¹, а темпи зростання індексу були найвищими у світі: +11 позицій за рік. За оцінками експертів ООН², війна в Україні зумовила світову продовольчу кризу, яка може тривати роками [1]. Через воєнні дії Україна зазнає катастрофічних втрат людських і матеріальних ресурсів, руйнувань виробничої бази, а посівні площі вже скоротилися більш як на 2 млн га. Ситуація значно погіршилася після руйнування греблі Каховської ГЕС, оскільки весь південь України залишився без зрошення. Реакцією на всі ці виклики став

¹ Global Food Security Index, GFSI. https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index/resources/Regional_Report_Europe_Final_21_Jan_2021.pdf

² War in Ukraine Drives Global Food Crisis. WFP. Rome, Italy, 2022. <https://fscluster.org/sites/default/files/wfp-0000140700.pdf>

Указ Президента України № 681/2023, яким було введено в дію рішення Ради національної безпеки і оборони України від 9 жовтня 2023 р. «Про стан забезпечення продовольчої безпеки». Впродовж двох років війни програма Grain From Ukraine («Зерно з України») стала важливою гуманітарною місією і значно сприяла наповненню державного бюджету, а зерновий коридор, відкритий Україною в Чорному морі, вкотре засвідчив роль України як одного з гарантів продовольчої безпеки у світі.

Як зазначає академік НАН України В.В. Моргун, проблема забезпечення людства продуктами харчування має глобальний характер, а її вирішення — це питання не лише економіки, а й великої політики. Варто наголосити, що хліб — це не просто продукт харчування, це національна безпека і стабільність держави. Сільськогосподарське виробництво в Україні може стати одним з основних локомотивів розвитку економіки як під час війни, так і в період повоєнної відбудови. Нові сорти та родючі чорноземи сприятимуть поверненню нашої державі слави світової житниці, адже наразі Україна, яка займає всього 0,4 % суші планети, забезпечує 10 % світового експорту зерна.

Негативним чинником, який останнім часом істотно впливає на рівень продуктивності рослин, є глобальні зміни клімату, що можуть перетворити окремі регіони на зони, непридатні не лише для виробництва зерна, а й для будь-якої аграрної діяльності. Недаремно ООН визначила газ, нафту, воду і продовольство критичними чинниками розвитку цивілізації в XXI ст. На думку провідних генетиків, селекціонерів, фізіологів рослин та біотехнологів, одним із головних факторів виживання людства є збільшення врожайності сільськогосподарських культур, зокрема пшениці. Важливою складовою новітніх систем живлення та захисту посівів стає істотне скорочення викидів парникових газів у технологіях вирощування пшениці та інших сільськогосподарських культур [2–6].

За період незалежності України Інститут фізіології рослин і генетики НАН України зробив значний внесок у забезпечення продоволь-

чої безпеки для сталого розвитку держави. Сорти озимої пшениці та гібриди кукурудзи селекції Інституту займають в Україні та за її межами значні посівні площі й мають великі обсяги продажу насіння. Щороку площа посівів озимої пшениці сортів Інституту становить близько 2,0 млн га, а валове виробництво зерна перевищує 8,0 млн т, що є вагомим внеском у вирішення проблеми продовольчої безпеки. У 2022 р. Інститут виграв тендер Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО) на постачання озимої пшениці високих репродукцій для вітчизняних виробників зерна [5, 6].

При Інституті фізіології рослин і генетики НАН України створено мережу базових насінницьких господарств, яка постійно розширюється, щороку до неї додаються нові учасники з різних агрокліматичних зон України. Діяльність цієї мережі має важливе господарське значення, оскільки її основною метою є вирощування високоякісного насіння і впровадження у сільськогосподарське виробництво країни нових високопродуктивних сортів озимої пшениці та гібридів кукурудзи, новітніх комплексних мінеральних добрив, бактеріальних добрив, бакових сумішей гербіцидів та агротехнологій, розробником яких є Інститут.

Рівень життя в Україні значною мірою залежить від успішності рослинництва, що ґрунтується на впровадженні інноваційних сортів та гібридів, а також технологій живлення і захисту, які дозволяють реалізувати генетичний потенціал сортів. Однак на сьогодні проблемою номер один у рослинництві України є тотальний дефіцит людських та матеріальних ресурсів і очевидна нестача часу для прийняття важених рішень.

Безумовно, головною рушійною силою підвищення продуктивності є забезпечення посівів азотом [7]. За даними ФАО, у 2023 р. у світі вироблено 110 млн т азотних добрив, причому 60 % з них призначено для внесення під зернову групу. Проте ефективність використання азоту становить лише 34 %.

Слід зазначити, що високі рівні надходження мінерального азоту з добрив перевищують

можливості фітоценозів щодо його асиміляції, що призводить до руйнування органічної складової ґрунтів та зростання обсягів викидів парникових газів. Адже відомо, що закис азоту (N_2O) як парниковий газ приблизно в 300 разів небезпечніший, ніж CO_2 .

Зважаючи на це, перспективними рішеннями для підвищення ефективності використання азоту є позиціонування зон його внесення та розподілення на дози, врахування ролі фосфору та редокс-мікроелементів, застосування інноваційних біотехнологій живлення, належний контроль за поширенням хвороб та бур'янів, вжиття заходів проти вилягання посівів, використання в агротехніці цифрових технологій та сучасних розробок.

Для досягнення високих рівнів ефективності використання азоту фізіологічно обґрунтованим є внесення амонію у формі безводного аміаку [8] або аміачної води на глибину 12–20 см у шар ґрунту, де волога зберігається впродовж тривалого часу (рис. 1). Внесення амонію на цю глибину формує розгалужену у вологому шарі кореневу систему, а також стійкий до посухи, більш зимостійкий і резистентний до вилягання посів озимини.

У класичному розумінні основ живлення рослин ефективність використання азоту залежить від присутності фосфору. Проте стрімке зменшення запасів фосфоритів у світі та зростання цін на фосфорні добрива призвели до значного скорочення обсягів внесення фосфорних добрив в Україні. Вітчизняні ж фосфорні добрива хоча й дешевші, але мають досить низьку якість. Крім того, застосування фосфорних добрив спричиняє негативні екологічні наслідки, зокрема неконтрольований ріст фітопланктону та ціанобактерій у водоймах.

Можливим вирішенням проблеми нестачі фосфору є біотехнології, пов'язані зі створенням рослин, здатних метаболізувати фосфіт у фосфат [9–11]. Фосфіт є відходом у багатьох галузях промисловості, і на сьогодні накопичено великі його запаси. Однак рослини, на відміну від мікроорганізмів, не здатні засвоювати фосфіт. Тому перспективним є створення ліній



Рис. 1. Внесення безводного аміаку восени перед посівом озимої пшениці сорту Смуглянка підвищує врожайність та ефективність використання азоту. Черкаська область, 2010–2021 рр. Врожай за внесення аміачної селітри (N_{135}) становив 74,6 ц/га, ефективність використання N – 43 %; врожай за внесення безводного аміаку (N_{100}) перед посівом – 83,5 ц/га, ефективність використання N – 61 %.

рослин із генами, що кодуєть фосфітоксидоредуктазу. Такі лінії зможуть отримувати фосфор із фосфітних добрив і, відповідно, будуть конкурентоспроможними в агроценозах.

Для створення трансгенних ліній рослин ми залучали вектор із геном *ptxD* від ґрунтової бактерії *Pseudomonas stutzeri*, який кодує фермент фосфітоксидоредуктазу, здатний перетворювати фосфіти на фосфати. У співпраці з фахівцями Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України ми здійснюємо *Agrobacterium*-опосередковану генетичну трансформацію і проводимо дослідження фосфітметаболізуючих ліній культурних рослин. При цьому фосфіти у складі добрив засвою-



а



б

Рис. 2. Синергічні композиції фунгіцидів з мікроелементами від початку вегетації ефективно захищають посіви озимої пшениці від ураження шкочинними хворобами: *а* – посіви, оброблені композицією фунгіцидів з магнієм та редокс-мікроелементами (Cu, Zn, Mn) у Дослідному сільськогосподарському виробництві Інституту фізіології рослин і генетики НАН України в Київській області; *б* – загиблі від ураження фузаріозними кореневими гнилями посіви озимої пшениці в Сумській області

ються майже на 100 %. Важливо, що фосфіт у дозах 5–20 кг/га не лише формує достатню кількість фосфору в культурах, а й позитивно впливає на гербіцидну, фунгіцидну і частково росторегулюючу активність рослин, а отже, ця розробка відповідає вимогам Європейського зеленого курсу та принципам Паризької угоди, тобто сприяє побудові кліматично нейтральної економіки.

Гранульованим азотним добривом номер один є карбамід – 46 % діючої речовини. Проте в агрофітоценозах уреазна активність і фоторозклад нівелюють його переваги. Для ви-

рішення цієї проблеми на підприємствах АТ «Дніпроазот» виготовили карбамід із захисним одно- або двошаровим покриттям карбамідоформальдегідною смолою. В наших досліджах на посівах у Вінницькій області в разі внесення карбаміду з подвійним покриттям в умовах дефіциту вологи було отримано суттєві прибавки врожаю. Підвищення ефективності використання азоту з карбаміду дозволяє поліпшити азотне живлення сільськогосподарських культур на Півдні та в центральній частині України, тобто в регіонах, де друге внесення азоту є не ефективним через нестачу вологи. Застосування карбаміду дозволяє також скоротити викиди парникових газів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур [7].

Доведено, що ефективність використання азоту підвищується завдяки позакореновому внесенню редокс-мікроелементів (Cu, Zn, Mn). У разі внесення цих мікроелементів зростає величина пулів асимілятів для перерозподілу в генеративний орган зі стебла, що сприяє підвищенню продуктивності посівів пшениці. Зокрема, під дією міді істотно потовщуються стебла та зростає ефективність використання азоту. При цьому підвищується рівень контролю за поширенням грибів-сапрофітів, мікотоксинпродуцентів, які спричиняють ураження рослин альтернаріозами й фузаріозами [7].

Загалом останніми роками в агровиробництві спостерігається поширення ураження культурних рослин високошкодочинними хворобами, такими як сажкові захворювання, альтернаріози, фузаріози, збудники яких є мікотоксинпродуцентами. Це вже стає проблемою майже для всіх регіонів. Скорочення обробітку ґрунту з метою економії пально-мастильних матеріалів лише сприяє поширенню хвороб рослин.

В Інституті фізіології рослин і генетики НАН України створено композиції для протруєння насіння на основі фунгіцидів – інгібіторів сукцинатдегідрогенази, фенілпіролів і азолів з магнієм і редокс-мікроелементами, що забезпечує оптимальний розвиток кореневої системи пшениці та високі рівні захисту від шкочинних хвороб [12] (рис. 2).

За допомогою позакореневого внесення фунгіцидів — інгібіторів сукцинатдегідрогенази з азолами та стробілуринами в композиціях із магнієм та редокс-мікроелементами вдалося досягти належного контролю фузаріозів, септоріозів та інших плямистостей, офіобольозу, борошнистої роси тощо. При цьому зберігалася фотосинтетична активність у прапорцевому листку та в під'ярусах (це явище називають «ефект парасольки», коли верхній ярус/прапорцевий листок захищає нижчі) з відповідним подовженням вегетації, що підвищує рівні використання елементів живлення та продуктивність рослин [13].

Відомо, що неконтрольоване поширення бур'янів значно знижує валові збори зерна. На Європейському конгресі гербологів ми презентували дані мас-спектрометрії, які свідчать, що бур'яни поглинають елементи живлення в рази швидше та більше, ніж рослини пшениці [14]. Тому важливо забезпечувати контроль бур'янів від початку вегетації до жнив. У Дослідному сільськогосподарському виробництві ІФРГ НАН України (рис. 3) та в кількох українських агрохолдингах було показано, що застосування розроблених в Інституті композицій на основі інгібітора синтезу каротиноїдів дифлуфенікану дозволяє досягти належного контролю бур'янів і одночасно забезпечити високу ефективність використання азоту.

Серйозною проблемою для рослинництва є домінування тотожних за сайтом дії гербіцидів — інгібіторів ацетолактатсинтази (АЛС) та АЛС-резистентність у бур'янів. Найбільш шкочинними є види АЛС-резистентних плоскухи, щириці, лободи. В Інституті вперше ідентифіковано мультирезистентну (до гербіцидів двох різних механізмів дії) амброзію, яка в 2023 р. ушкоджувала посіви соняшнику на Півдні та в центральній частині України (див. табл.) [15–17].

Ідентифікація високошкодочинних крос-та мультирезистентних біотипів бур'янів у південній та центральній частинах «зернового поясу» України свідчить про недостатню ефективність контролю бур'янів у разі застосування гербіцидів з одним механізмом дії,



Рис. 3. Композиції гербіцидів з інгібітором синтезу каротиноїдів дифлуфеніканом, внесені восени, забезпечують належний контроль бур'янів і високі рівні ефективності використання азоту від початку вегетації до жнив озимої пшениці, ДСВ ІФРГ НАН України, 2022 р.

Ідентифіковані у рослинництві України резистентні до дії гербіцидів біотиби бур'янів (International Herbicide-Resistant Weed Database, 2023)

Рік виявлення	Види бур'янів	Встановлено резистентність до дії гербіцидів
2017	Плоскуха звичайна	Крос-резистентність до похідних інгібіторів ацетолактатсинтази
2020	Щириця загнута	Крос-резистентність до похідних інгібіторів ацетолактатсинтази
2022	Лобода біла	Крос-резистентність до похідних інгібіторів ацетолактатсинтази
2023	Амброзія полинолиста	Мультирезистентність до похідних інгібіторів ацетолактатсинтази та протопорфіриногеноксидази

що потребує ґрунтового перегляду в державі принципів формування сівозмін і контролю бур'янів для підтримання високих рівнів рентабельності та продуктивності агрофітоценозів. Ця проблема є нагальною щодо збереження потенціалу України як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.



a



б

Рис. 4. Внесення фунгіциду рано навесні є важливим для контролю прикореневої гнилі та ламкості стебел і протидіє вилягання посівів. ДСВ ІФРГ НАН України, 2023 р.: *a* – посіви із застосуванням фунгіциду; *б* – без застосування фунгіциду

Рішенням проблеми контролю бур'янів є впровадження композицій з різними механізмами дії та розроблення систем управління біоценозами з використанням цифрових технологій, штучних нейронних мереж та штучного інтелекту [18]. Ще не так давно здавалося, що цей напрям стосується далекого майбутнього, але вже сьогодні з'являються можливості для його реалізації найближчим часом.

Ефективному використанню азоту сприяють також заходи з протидії вилягання посівів.

Науковці Інституту вперше показали, що зміни концентрації внутрішньоклітинного кальцію можуть бути первинним механізмом дії ретардантів [19]. В Інституті розроблено ме-



a



б

Рис. 5. Вплив синергічної композиції сульфату амонію з ретардантом прогексадіоном-Са на вилягання посівів високоврожайних сортів озимої пшениці, Хмельницька область, 2020 р.: *a* – посіви із застосуванням композиції; *б* – без застосування композиції

тоди контролю прикореневої гнилі рослин пшениці (рис. 4) та композиції ретардантів сучасного класу циклогексадіонів із пулами амонію для підвищення ефективності контролю за виляганням посівів озимої пшениці, які тепер широко використовують в агровиробництві (рис. 5) [20].

Для регулювання агрофітоценозів розроблено і впроваджено цифрові технології моніторингу стану посівів пшениці та її попередників у сівозмінах, зокрема технологію експрес-ідентифікації потреб рослин в елементах живлення, а також прогнозу розвитку хвороб рослин. Тривають дослідження з розроблення методу ідентифікації рослин бур'янів у посівах



Рис. 6. Сорт Городниця у ДСВ ІФРГ НАН України (Київська область) у 2023 р. забезпечив отримання врожаю 134,8 ц/га за середнього врожаю в Україні 22,21 ц/га. Світло-жовтий колір посіву перед жнивими свідчить про відсутність ураження рослин збудниками хвороб мікотоксинпродуцентами *Alternaria spp.* та ін.

культурних рослин для скорочення обсягів застосування пестицидів [18].

Розглянуті вище механізми підвищення ефективності використання азоту та інших ресурсів було розроблено й апробовано на сортах пшениці селекції школи академіка Володимира Васильовича Моргуна. Зокрема, останніми роками в реалізації генетичного потенціалу цих сортів досягнуто таких результатів:

- 2021 р. — інноваційні сорти озимої пшениці Софія Київська, Городниця та Київська 19 сформували врожаї від 110 до 136 ц/га за середнього врожаю в Україні 31,37 ц/га;
- 2022 р. — сорти Київська 19, Софія Київська та Городниця сформували врожаї від 107 до 117 ц/га за середнього врожаю в Україні 19,91 ц/га;
- 2023 р. — сорт Городниця (рис. 6) сформував урожай 134,8 ц/га, Софія Київська — 144,1 ц/га, сорт високоякісної пшениці Здоба Київська — 106,5 ц/га, сорт Київська 19 — 132,3 ц/га за середнього врожаю в Україні 22,21 ц/га.

Важливим питанням є також вибір попередників озимої пшениці у сівозмінах. У рамках

міжнародного (13 країн-учасниць) проекту International Boron Fertilizer Project (2018—2022), в якому брав участь Інститут фізіології рослин і генетики НАН України, визначено новітні шляхи забезпечення борзалежних культур (ріпак, соняшник, соя, цукровий буряк тощо) бором від початку вегетації. Отримані результати дають змогу на 2—5 ц/га підвищити продуктивність соняшнику за відсутності потреби в багаторазових обприскуваннях цим елементом впродовж вегетації [21].

У 2022 р. у співпраці з колегами з Великої Британії і США розпочалися важливі роботи з визначення елементного та ізотопного складу зерна для ідентифікації регіонів вирощування з метою запобігання крадіжкам зерна з України та формування цивілізованого ринку збіжжя у світі.

Розроблені в Інституті технології, які забезпечують нарощування продуктивності пшениці за дефіциту ресурсів, впроваджено на площі 570 тис. га у провідних агропідприємствах, розташованих у Київській, Черкаській, Вінницькій, Полтавській та інших областях України.

Зазначені вище розробки відзначено Державною премією України в галузі науки і техніки та премією імені М.Г. Холодного НАН України. Їх впровадження забезпечило отримання додаткової продукції вартістю понад 1 млрд грн.

Щороку Інститут представляє результати своїх досліджень на конференціях «День поля», вітчизняних та міжнародних симпозиумах, що сприяє розширенню сфери впровадження цих розробок в агровиробництво, формуванню основ сталого розвитку України, виконанню зобов'язань нашої держави в рамках Паризької угоди та Європейського зеленого курсу щодо побудови кліматично нейтральної економіки.

Отже, дослідження, проведені в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України, дозволили побудувати цілісну систему формування продуктивності озимої пшениці та інших сільськогосподарських культур в умовах дефіциту ресурсів. Розподілені по ключових

фазах розвитку (від сходів до жнив) системи живлення та захисту є надійним підґрунтям для досягнення високої продуктивності посівів. Важливо, що при цьому високий потенціал продуктивності вітчизняних сортів озимої пшениці реалізується за скорочених витрат на вирощування (зокрема, завдяки ефективному використанню азоту) та істотного зменшення викидів парникових газів.

Ці рішення становлять основу розвитку рослинництва України як під час війни, так і в період повоєнної відбудови, і мають важливе значення для забезпечення продовольчого достатку держави та збереження ролі України як одного з гарантів продовольчої безпеки світу.

Автор висловлює глибоку подяку академіку НАН України Володимиру Васильовичу Моргуну за незмінну підтримку та допомогу в роботі, а також українським і закордонним колегам за активну і плідну співпрацю.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Ben Hassen T., El Bilali H. Impacts of the Russia-Ukraine War on Global Food Security: Towards More Sustainable and Resilient Food Systems? *Foods*. 2022. **11**(15): 2301. <https://doi.org/10.3390/foods11152301>
2. Morgun V.V. Contribution of genetics and plant breeding to the food security of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2016. (5): 20–23.
[Моргун В.В. Внесок генетики і селекції рослин у забезпечення продовольчої безпеки України. *Вісник НАН України*. 2016. № 5. С. 20–23.]
3. Morgun V.V., Rybalka O.I. Strategy of cereals genetic improvement aimed at food safety, health promotion and industry needs. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2017. (3): 54. <https://doi.org/10.15407/visn2017.03.054>
[Моргун В.В., Рибалка О.І. Стратегія генетичного поліпшення зернових злаків з метою забезпечення продовольчої безпеки, лікувально-профілактичного харчування та потреб переробної промисловості. *Вісник НАН України*. 2017. № 3. С. 55–66.]
4. Morgun V.V. Scientific research to ensure the country's bread abundance: Report on the occasion of awarding of V.I. Vernadsky Gold Medal of NAS of Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2018. (5): 82–86.
[Моргун В.В. Науковий пошук задля забезпечення хлібного достатку країни: Доповідь з нагоди вручення Золотої медалі ім. В.І. Вернадського НАН України. *Вісник НАН України*. 2018. № 5. С. 82–86.]
5. Morgun V.V., Schwartau V.V., Konovalov D.V., Mikhalska L.M., Skripiev V.O. *Klub 100 tsentneriv. Suchasni sorty ta systemy zhyvolennia i zakhystu pshenytsi ozymoї*. Kyiv, 2022 (in Ukrainian).
[Моргун В.В., Швартау В.В., Коновалов Д.В., Михальська Л.М., Скрипльов В.О. *Клуб 100 центнерів. Сучасні сорти та системи живлення і захисту пшениці озимої*. Київ: Вістка, 2022.]
6. Morgun V.V., Schwartau V.V. Khlіbnyi dostatok krainy – vahomyi arhument nashoi Peremohy. *Propozytsiia*. 2022. (07-08) (in Ukrainian).
[Моргун В.В., Швартау В.В. Хлібний достаток країни – вагомий аргумент нашої Перемоги. *Пропозиція*. 2022. № 7-8.]
7. Schwartau V.V., Mykhalska L.M., Zozulia O.L., Dubrovin V.V. *Efektivnist vykorystannia azotu u posivakh pshenytsi*. Kyiv, 2023 (in Ukrainian).

- [Швартау В.В., Михальська Л.М., Зозуля О.Л., Дубровін В.В. *Ефективність використання азоту у посівах пшениці*. Київ: Вістка, 2023.]
8. Miroshnuchenko M.M., Hladkikh Ye.Yu., Revtye A.V., Halushka S.V., Mykhal'ska L.M., Schwartau V.V. Use of anhydrous ammonia in improving the nitrogen utilization efficiency in winter wheat plantings. *Agricultural Science and Practice*. 2014. **1**(3): 8–14. <https://doi.org/10.15407/agrisp1.03.008>
 9. López-Arredondo D., Herrera-Estrella L. Engineering phosphorus metabolism in plants to produce a dual fertilization and weed control system. *Nat. Biotechnol.* 2012. **30**: 889–893. <https://doi.org/10.1038/nbt.2346>
 10. González-Morales S.I., Pacheco-Gutiérrez N.B., Ramírez-Rodríguez C.A., Brito-Bello A.A., Estrella-Hernández P., Herrera-Estrella L., López-Arredondo D.L. Metabolic engineering of phosphite metabolism in *Synechococcus elongatus* PCC 7942 as an effective measure to control biological contaminants in outdoor raceway ponds. *Biotechnol. Biofuels*. 2020. **13**: 119. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01759-z>
 11. Grabchuk S.M., Mykhalska L.M., Schwartau V.V. Ways to improve the efficiency of phosphorus nutrition in plants. *Fiziol. Rast. Genet.* 2017. **49**(6): 482–494. <https://doi.org/10.15407/frg2017.06.482>
 12. Mykhalska L.M., Schwartau V.V., Makoveychuk T.I., Zozulya O.L. Influence of inorganic ions and seed treatment compositions on development of winter wheat seedlings. *Fiziol. Rast. Genet.* 2021. **53**(6): 523–531. <https://doi.org/10.15407/frg2021.06.523>
[Михальська Л.М., Швартау В.В., Маковейчук Т.І., Зозуля О.Л. Вплив композицій неорганічних іонів та протруювача насіння на розвиток проростків пшениці озимої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 6. С. 523–531.]
 13. Mykhalska L.M., Zozulya O.L., Schwartau V.V. Features of the interaction of succinate dehydrogenase inhibitors with microelements to increase the winter wheat productivity. *Fiziol. Rast. Genet.* 2022. **54**(4): 351–364. <https://doi.org/10.15407/frg2022.04.351>
[Михальська Л.М., Зозуля О.Л., Швартау В.В. Особливості взаємодії інгібіторів сукцинатдегідрогенази з мікроелементами для підвищення продуктивності пшениці озимої. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. Т. 54, № 4. С. 351–364.]
 14. Ivaschenko O.O., Mykhalska L.M., Schwartau V.V. Accumulation of nutrients by weeds and winter wheat plants. In: Proc. 16th European Weed Research Society (EWRS) Symposium (24–27 June 2013, Samsun, Turkey). P. 75.
 15. Schwartau V., Mykhalska L. Herbicide-resistant weed biotypes in Ukraine. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2022. (6): 85–94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2022.06.085>
[Швартау В.В., Михальська Л.М. Ідентифікація резистентних до дії гербіцидів біотипів бур'янів в Україні. *Доповіди НАН України*. 2022. № 6. С. 85–94.]
 16. Mykhalska L.M., Schwartau V.V. Identification of acetolactate synthase resistant *Amaranthus retroflexus* in Ukraine. *Regulatory Mechanisms in Biosystem.* 2022. **13**(3): 231–240. <https://doi.org/10.15421/022230>
 17. Schwartau V.V., Mykhalska L.M., Makoveychuk T.I., Tretiakov V.O. Identification of a herbicide-resistant biotype of *Echinochloa crus-galli* in Ukraine. *Biosystems Diversity.* 2023. **31**(3): 297–304. <https://doi.org/10.15421/012334>
 18. Zozulya O.L., Schwartau V.V., Mykhalska L.M. et al. *Suchasni metody tsyvrovoho monitoringhu v roslynnytstvi* [Modern methods of digital monitoring in crop production]. Kyiv, 2023 (in Ukrainian).
[Зозуля О.Л., Швартау В.В., Михальська Л.М., Ковель О.Л., Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є., Домрачев В.М., Тменова Н.П. *Сучасні методи цифрового моніторингу в рослинництві*. Київ: Від А до Я, 2023.]
 19. Schwartau V.V., Virych P.A., Makoveychuk T.I., Artemenko A.Y. Calcium in plant cells. *Biosystems Diversity.* 2014. **22**(1): 19–32. <https://doi.org/10.15421/01142201>
[Швартау В.В., Вирыч П.А., Маковейчук Т.І., Артеменко А.Ю. Кальцій в растительных клетках. *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Біологія. Екологія*. 2014. Т. 22, № 1. С. 19–32.]
 20. Mykhalska L.M., Makoveychuk T.I., Tretiakov V.O., Schwartau V.V. The influence of sulfate ammonium on the retardant activity of trinexapacetyl on wheat. *Fiziol. Rast. Genet.* 2023. **55**(4): 355–367. <https://doi.org/10.15407/frg2023.04.355>
[Михальська Л.М., Маковейчук Т.І., Третьяков В.О., Швартау В.В. Вплив амонію сульфату на ретардантну активність тринексапакетилу на пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2023. Т. 55, № 4. С. 355–367.]
 21. Morgun V.V., Sakhmak I., Schwartau V.V., Mykhalska L.M. Physiological peculiarities of sunflower boron nutrition. *Fiziol. Rast. Genet.* 2020. **52**(3): 187–195. <https://doi.org/10.15407/frg2020.03.187>

Victor V. Schwartau

Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7402-5559>

BIOLOGICAL FACTORS AFFECTING FOOD SECURITY IN UKRAINE

According to the materials of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, February 7, 2024

To ensure Ukraine's food security, an integrated system for increasing the productivity of winter wheat and other crops has been created in the face of resource shortages. The high productivity potential of local winter wheat varieties will be realized by reducing cultivation costs and greenhouse gas emissions in farming technologies. These solutions are the basis for the development of crop production in Ukraine during the war and post-war reconstruction, and are of paramount importance for ensuring the country's food security and maintaining Ukraine's role as one of the guarantors of global food security.

Keywords: productivity mechanisms, food security, wheat, plant protection and nutrition, nitrogen use efficiency, resistance.

Cite this article: Schwartau V.V. Biological factors affecting food security in Ukraine. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2024. (4): 15–24. <https://doi.org/10.15407/visn2024.04.015>