

ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАЛЬЦІЄВОГО ЖИВЛЕННЯ РОСЛИН

Петро ВАЙДА¹, Віра БЕЛЧГАЗІ¹, Михайло ВАКЕРИЧ^{1,2}, Ярослава ГАСИНЕЦЬ¹, Тетяна ГЕДЗУР¹

У роботі розглянуто вплив іонів кальцію на ростові процеси рослин огірків сорту Конкурент, ріст зернівок та меристем рослин озимої пшениці сорту Іллічівка. Встановлено, що полив рослин огірків сорту Конкурент водопровідною водою з попередньо осадженими у ній іонами Ca^{+2} 0,1% розчином оксалатної кислоти зумовлювало більш інтенсивний ріст рослин порівняно з контрольними, які поливали звичайною водопровідною водою з наявним у ній природним вмістом кальцію. Гальмування процесу надходження іонів Ca^{+2} в рослини озимої пшениці сорту Іллічівка на початку формування зернівок, що досягалося шляхом оприскування посівів 0,1% розчином сірчаноокислового калію (K_2SO_4), сприяло зменшенню кількості поглинутого кальцію, оскільки частина його осаджувалася аніоном SO_4 . При цьому у дослідному варіанті (з оприскуванням розчином K_2SO_4) маса 1000 зерен була майже на 3 грами більша за масу 1000 зерен у контрольному варіанті (без оприскування K_2SO_4). Пригнічуючий вплив іонів Ca^{+2} на ріст меристем озимої пшениці сорту Іллічівка у період осінньої вегетації рослин зумовлювали шляхом оприскування посівів 0,1% розчином гашеного вапна, що містив іони Ca^{+2} . У результаті це сприяло кращому загартуванню і незначному пошкодженню рослин під час перезимівлі внаслідок підвищення їх зимо- і морозостійкості.

Ключові слова: кальцій, пшениця, зернівка, ріст, загартування, кальцеофіли, кальцефоби.

¹Кафедра генетики, фізіології рослин і мікробіології, Ужгородський національний університет, вул. А. Волошина, 32, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: kaf-genetics@uzhnu.edu.ua

²Закарпатський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, Слов'янська наб., 25, Ужгород, 88000, Україна; e-mail: mykhailo.vakerich@uzhnu.edu.ua

Physiological features of calcium nutrition of plants. Vaida P.¹, Belchhazi V.¹, Vakerych M.^{1,2}, Hasynets Ya.¹, Hedzur T.¹

The paper presented the results of research on influence of calcium ions on the growth processes of cucumber plants of the Konkurent sort, on the growth of grains and meristems of winter wheat plants of the Illichivka sort. It was established that watering the cucumber plants of the Competitor sort with tap water pre-precipitated with Ca^{+2} by 0.1% oxalic acid solution led to more intense plant growth compared to the control plants that were watered with ordinary tap water with a natural calcium content. Inhibition of the process of Ca^{+2} ions entering Illichivka winter wheat plants at the beginning of grain formation, which was achieved by spraying the crops with a 0.1% solution of potassium sulfate (K_2SO_4), contributed to a decrease in the amount of absorbed calcium, as part of it was precipitated by the SO_4 anion. At the same time, in the experimental version (with spraying with K_2SO_4 solution), the weight of 1000 grains was almost 3 grams greater than the weight of 1000 grains in the control version (without spraying with K_2SO_4). The depressing effect of Ca^{+2} ions on the growth of meristems of winter wheat of the Illichivka variety during the autumn vegetation period was determined by spraying crops with a 0.1% solution of slaked lime containing Ca^{+2} ions. As a result, this contributed to better hardening and minor damage to plants during overwintering, as a result of increasing their winter and frost resistance.

Key words: calcium, wheat, grain, growth, hardening, calciophiles, calciophobes.

¹Department of Genetics, Plant Physiology and Microbiology, Uzhhorod National University, 32, A. Voloshyna str., Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: kaf-genetics@uzhnu.edu.ua

²Transcarpathian scientific research expert and forensic center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Slovianska nab., 25, Uzhhorod, 88000, Ukraine; e-mail: mykhailo.vakerich@uzhnu.edu.ua

Вступ

Кальцій – важливий елемент мінерального живлення рослин і ефективний регулятор метаболічних процесів у всіх клітинах, де існують системи, які реагують на невеликі зміни

його концентрації. Основні внутрішньоклітинні мішені для іонів кальцію – різноманітні кальцій-зв'язуючі білки, одні з яких змінюють свою активність (Lewit-Bentley, Rety 2000), а інші опосередковують ефект цього катіона на

різноманітні клітинні мішені (Roberts, Harmon 1992).

Вміст іонізованого кальцію у цитоплазмі рослинних клітин низький і становить від 100 до 200 нМ (Schwartau et al. 2014). Показано, що підвищення цитозольного вмісту кальцію діє як сигнал, що викликає зміни фізіологічних та біохімічних процесів у клітинах рослин (Vodeneev et al. 2007).

На концентрацію кальцію у клітинах впливає кислотність, яка підвищується у разі зниження рівня рН (Pandey et al. 2000; Webb et al. 1996).

Рослини реагують на кальцій по-різному. Зокрема, кальцефіли потребують для свого росту і розвитку підвищених доз кальцію, а кальцефоби обмежуються незначними його кількостями. Однак за мікроконцентрацій він позитивно впливає на кальцефобні рослини, зокрема іонний баланс клітин, функціонування деяких ферментів, біохімічні процеси, структуру клітинних мембран.

Кальцій є антагоністом багатьох катіонів, чим зумовлює фізіологічну зрівноваженість клітинного соку рослин та нормальний фізіологічний стан біоколоїдів цитоплазми. Він бере участь

у стабілізації мембранних структур, особливо мітохондрій. Водночас надлишок кальцію у тканинах кальцефобних рослин негативно позначається на їх структурно-функціональній організації.

Кальцій – один з основних мінеральних елементів у більшості ґрунтів. Про це свідчать дані щодо вмісту кальцію та інших елементів мінерального живлення у таких широко розповсюджених ґрунтах, як пилуватий суглинок (табл. 1).

З наведеної таблиці видно, що кальцій за кількістю переважає всі інші елементи мінерального живлення. Однак оскільки сполуки кальцію слаботорозчинні, то внаслідок цього у ґрунтового розчині його концентрація може бути не надто високою порівняно з іншими мінеральними елементами (табл. 1) (Pasichnyk et al. 2011). Встановлено, що вміст кальцію в рослинах у перерахунку на масу сухої речовини нижчий, ніж азоту і калію, але завжди вищий за вміст фосфору (табл. 2) (Shvartau et al. 2018; Belitser et al. 1983).

Таблиця 1. Вміст мінеральних елементів у пилуватому суглинку
Table 1. The content of mineral elements in dusty loam

Елемент	Загальна кількість мінеральних елементів у 0–20 см шарі ґрунту, кг/га	Концентрація елементів у ґрунтового розчині, мг/л
Нітроген	200	60
Фосфор	100	0,8
Калій	400	14
Кальцій	6000	60
Магній	1500	40
Сірка	100	26

Таблиця 2. Вміст макро- і мікроелементів у рослинах та лишайниках (мг/кг маси сухої речовини)
Table 2. The content of macro- and microelements in plants and lichens (mg/kg of dry matter mass)

Рос-лини	N	P	K	Na	Ca	Mg	Si	S	Cl	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo	Co
Лишай-ники	8470	770	3330	815	3600	820	3770	870	100	1050	89	40,0	8,4	4,0	0,39	0,48
Мохи	8380	935	3900	930	6200	1550	4700	950	1840	2160	223	44,2	7,1	13,8	0,96	1,03
Злаки	15990	2040	18100	1720	3650	1630	10930	1700	3920	720	49	20,6	5,4	6,8	0,91	0,27
Бобові	33560	3520	21930	2750	13860	2870	4460	1610	3840	700	50	25,8	7,6	22,3	1,32	0,33

Ми вже згадували, що серед рослин є кальцефіли, які потребують для свого росту і розвитку підвищеного вмісту кальцію в ґрунті, і кальцефоби, що обмежуються меншими його концентраціями. При цьому велика кількість кальцію шкідливо впливає на їхню життєдіяльність.

До кальцефілів належать бобові, до кальцефобів – лишайники (табл. 2).

Ці відмінності суто фізіологічні, оскільки за анатомо-морфологічними ознаками кальцефоби і кальцефіли не відрізняються.

Інтенсивність поглинання кальцію залежить від фази розвитку рослин. Як правило, молоді рослини поглинають мінеральні елементи, в тому числі кальцій, набагато інтенсивніше, ніж старші за віком, що підтверджується даними таблиці 3 (Shvartau et al. 2018).

Встановлено, що поглинутий коренями кальцій накопичується переважно у молодих частинах рослин, зокрема верхніх листках, верхівках стебел тощо, тобто у клітинах, що мають особливості меристеми, в тому числі й у самій меристемі за її наявності.

У водній культурі всі рослини потребують для свого розвитку внесення в поживний розчин достатньої кількості іонів кальцію. Виявлено, що інтенсивність поглинання кальцію рослинами з водного розчину різко відрізняється від його поглинання з ґрунту чи піску. При цьому встановлено, що поглинання кальцію з водних розчинів менш інтенсивне.

У деяких рослин відзначено гальмування поглинання кальцію з ґрунтового розчину, внаслідок чого спостерігається накопичення його сполук на поверхні коренів.

Реакція рослин на поглинання кальцію тісно пов'язана з рівнем рН, оскільки різні види рослин неоднаково реагують на концентрацію іонів водню у середовищі.

Зважаючи на викладене, метою нашої роботи було вивчення впливу іонів Ca^{+2} на ростові процеси рослин огірків сорту Конкурент, ріст зернівок та меристем озимої пшениці сорту Іллічівка.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

1. Вивчити вплив обмеженого надходження іонів Ca^{+2} на ріст рослин огірків сорту Конкурент.

2. Дослідити вплив гальмування процесу поглинання іонів Ca^{+2} рослинами озимої пшениці сорту Іллічівка на ріст зернівок пшениці.

3. З'ясувати, як стимуляція поглинання рослинами озимої пшениці сорту Іллічівка надлишкових кількостей іонів Ca^{+2} в осінній період впливає на загартування рослин та підвищення їх морозо- і зимостійкості.

Матеріал та методики

Експериментальні дослідження проводили у вегетаційних і польових умовах. У вегетаційному досліді вивчали вплив іонів кальцію на ростові процеси рослин огірків сорту Конкурент. Рослини вирощували у піщаній культурі в посудинах Варбурга місткістю 10 кг. Після появи сходів дослідні рослини поливали водопровідною водою з попередньо осадженими у ній іонами Ca^{+2} 0,1% розчином оксалатної кислоти. Водночас контрольні рослини поливали звичайною водопровідною водою з наявним у ній природним вмістом іонів Ca^{+2} . Вміст вологи у піску витримували на рівні 60% ПВ.

У польових умовах досліджували вплив обмеженого надходження іонів Ca^{+2} на ріст зернівок озимої пшениці сорту Іллічівка. З цієї метою на початку формування зернівок рослини озимої пшениці на площі 10 м² обприскували 0,1% розчином K_2SO_4 .

Таблиця 3. Інтенсивність поглинання поживних елементів рослинами кукурудзи різного віку, вирощуваної у польових умовах

Table 3. Intensity of absorption of nutrients by corn plants of different ages grown in the field

Вік рослин, дні	Інтенсивність поглинання, мкмоль				
	N	P	K	Ca	Mg
20	226,9	11,3	52,9	14,4	13,8
30	32,4	0,9	12,4	5,2	0,61
40	18,5	0,86	8,00	0,56	0,90
50	11,2	0,66	4,75	0,37	0,78
60	5,7	0,37	1,63	0,20	0,56
70	1,2	0,17	0,15	0,047	0,28
80	0,46	0,08	0,06	0,060	0,19
90	2,0	0,10	0,37	0,063	0,17
100	4,2	0,23	0,16	0,075	0,29

У результаті до ростучих зернівок (аналог меристем) надходили тільки незначні кількості іонів кальцію, оскільки суттєва частина їх осаджувалася аніоном SO_4 .

Гальмуючий вплив надлишкових кількостей іонів Ca^{+2} на ріст меристем у процесі осіннього загартування рослин озимої пшениці сорту Іллічівка вивчали у польових умовах.

Для цього рослини озимої пшениці наприкінці жовтня – на початку листопада на площі 10 м^2 обприскували $0,1\%$ розчином гашеного вапна, що містив іони Ca^{+2} , які, накопичуючись, гальмували ріст меристем стебел та корінців рослин пшениці.

Такий захід поряд з низькими позитивними температурами та відповідним спектром сонячного випромінювання стимулював вхід меристем стебел і корінців у стан спокою, що сприяло кращому їх загартуванню.

У процесі експериментальних досліджень використовували інструментальні вимірювання та фенологічні спостереження.

Повторність біологічних дослідів – 3-кратна, аналітичних – 6–8-кратна.

Результати

У результаті проведених нами експериментальних досліджень спостерігали різну інтенсивність росту рослин огірків сорту Конкурент. При цьому контрольні рослини місячного віку, що поливалися водопровідною водою з природним вмістом іонів Ca^{+2} , досягали висоти у середньому 70 см , водночас дослідні рослини, які поливалися водою з попередньо осадженими у ній іонами Ca^{+2} , – 110 см . Відповідно, й урожай огірків був вищий у дослідному варіанті порівняно з контролем.

Таким чином, обмежене поглинання іонів кальцію рослинами огірків позитивно впливало на ростові процеси і, відповідно, на врожайність огірків.

Обмежене поглинання іонів кальцію рослинами озимої пшениці сорту Іллічівка внаслідок обприскування посівів $0,1\%$ розчином сірчаноокислого калію на початку формування зернівок зумовлювало стимуляцію росту

зернівок. При цьому у контрольному варіанті (без обприскування розчином K_2SO_4) маса 1000 зернівок становила у середньому $37,5 \text{ г}$, а в дослідному – $40,2 \text{ г}$.

У третьому експерименті вивчали пригнічуючий вплив надлишкової кількості іонів Ca^{+2} на ріст меристем у процесі осіннього загартування рослин озимої пшениці сорту Іллічівка. Відомо, що зимостійкість озимої пшениці прямо пов'язана з гальмуванням росту меристем у період загартування рослин в осінній період (кінець жовтня – початок листопада у середній кліматичній зоні України). Процес загартування, як відомо, стимулюється низькими позитивними температурами і відповідним спектром сонячного випромінювання. Ми спробували використати ще й додатковий чинник, що стимулює вхід меристем стебел і корінців пшениці у стан спокою. Таким чинником стало обприскування посівів пшениці наприкінці жовтня розчином $0,1\%$ гашеного вапна, що містив іони кальцію, які, нагромаджуючись, гальмували ріст меристем.

З'ясувалося, що рослини озимої пшениці, які обприскували $0,1\%$ розчином гашеного вапна, навесні виявилися менш пошкодженими порівняно з контролем у результаті кращого їх загартування і, як наслідок, підвищення їх зимо- і морозостійкості.

Висновки

Обмежене надходження іонів кальцію до рослин огірків сорту Конкурент стимулювало їх ріст, що супроводжувалося збільшенням величини врожаю огірків.

Гальмування процесу поглинання іонів кальцію рослинами озимої пшениці сорту Іллічівка в період формування зернівок стимулювало ріст зернівок, що зумовлювало збільшення маси 1000 зерен майже на 3 грами порівняно з контролем.

Стимуляція поглинання іонів кальцію рослинами озимої пшениці сорту Іллічівка в осінній період гальмувало ріст меристем, що сприяло кращому загартуванню рослин і незначному їх пошкодженню під час перезимівлі.

BELITSER, N.V., ZOALISHVILI, I.V., SYTNIANSKAYA, N.P. (1983) Ca-binding sites and Ca-ATPase activity in barley tip cells. *Protoplasma*, 115(2-3), 222–227.
LEWIT-BENTLEY, A., RETY, S. (2000) EF-рука kaltsii-zviazuiuchykh bilkiv. *Current Opinion in Structural Biology*, 10, 637–643.

PANDEY, S., TIWARI, S.B., UPADHYAYA, K.C., SOPORY, S.K. (2000) Calcium signaling: Linking environmental signals to cellular functions. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 19, 291–318.
PASICHNYK, H.I., MAYOROVA, O.Yu., VOYTIUK, V.B., HRYTSAK, L.R., MELNYK, V.M.,

- DROBYK, N.M. (2011) Vmist deiakyykh makro- i mikroelementiv u gruntakh ta roslynakh *Gentiana lutea* L. z dvokh chornohirskykh populiatsii Ukrainiyskykh Karpat. Scientific Bulletin of the Uzhhorod University, Series Biology, 30, 183–187 (in Ukrainian).
- ROBERTS, D.M., HARMON, A.C. (1992) Calcium-modulated proteins: Targets of intracellular calcium signals in higher plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 43, 697–725.
- SHVARTAU, V.V., MYKHALSKA, L.M., MAKOVEICHUK, T.I. (2018) Vmist mikroelementiv u roslynakh ozymoi pshenytsi za diii retardantiv. Fiziologhiia rastenij i hetetika, 50(6), 474–482 (in Ukrainian).
- SCHWARTAU, V.V., VIRYCH, P.A., MAKOVEYCHUK, T.I., ARTEMENKO, A.U. (2014) Kaltsiy v rastitelnykh kletkakh [Calcium in Plant Cells]. Visnyk Dnipropetrovskoho universitetu. Seria Biologhiia, ekolohia, 22(1), 19–32 (in Ukrainian).
- VODENEEV, V., PYATYGIN, S., OPRITOV, V.A. (2007) Reversible change of extracellular pH at the generation of mechanoinduced electrical reaction in a stem of *Cucurbita pepo*. Plant Signaling & Behavior, 4, 267–268.
- WEBB, A.A.R., MCAINSH, M.R., TAYLOR, J.E., HETHERINGTON, A.M. (1996) Calcium ions as intracellular second messengers in higher plants. Advances in Botanical Research, 22, 45–96.