

УДК 581.1:633.15:631.53.027.2

Вплив розчинів солей цинку на утворення хлорофілу та закладання насіння у гібридів кукурудзи

М.Д. Тафій, В.І. Ніколайчук, В.Й. Белчгазі

Ужгородський національний університет, Ужгород, Україна

Оцінено вплив солей цинку різних концентрацій на перебіг фізіолого-біохімічних процесів і розвиток дев'яти досліджуваних гібридів кукурудзи. Проаналізовано вплив розчинів нітрату цинку на фізіолого-біохімічні реакції в різних гібридах кукурудзи. Досліджено вплив 0,01% та 0,02% водних розчинів нітрату цинку на вміст хлорофілу та число насіння в качані у різних гібридів кукурудзи. За результатами дослідів у чашках Петрі, пророщування насіння у 0,01% та 0,02% розчинах нітрату цинку стимулювало синтез хлорофілу в листках усіх досліджуваних гібридів. Це стимулює ріст рослин. Кількість хлорофілу оброблених гібридів зростала, порівняно з контрольним зразком. Зокрема, гібрид Достаток 300 МВ виявив збільшення вмісту хлорофілу на 0,17 мг у пророщених на 0,02% розчині нітрату цинку порівняно з контролем і на 0,7 мг більше пророщених на 0,01% відповідно. Застосування розчинів як листового добрива на критичних для кукурудзи стадіях росту збільшує кількість насіння, діаметр і довжину качана у гібридах усіх груп стиглості, порівняно з контролем. Нестача цинку негативно позначається на утворенні насіння. Згідно з польовими дослідями, за листового підживлення 0,01% розчином нітрату цинку продуктивність досліджуваних гібридів зростає. Спостерігаємо збільшення кількості насіння, діаметра та довжини качанів, маси 1 000 зернин у гібридах більшості груп стиглості порівняно з контрольною ділянкою. Згідно з польовими дослідями, за підживлення нітратом цинку 0,01% та 0,02% продуктивність досліджуваних гібридів значно зростає. Підживлення цинковими добривами добре позначається на поліпшенні продуктивності більшості досліджуваних гібридів. У гібриду Євраліс кількість зерен у качані збільшилась порівняно з контролем на 30%. Маса 1 000 насіння у його рослин, які були підживлені 0,01% водним розчином нітрату цинку, була на 16% вищою, а у рослин гібридів ДКС 1, ДКС 2, ДКС 3, ДКС 4, ДКС 5, ДКС 6, 230 СВ та 300 МВ на 4, 17, 13, 28, 14, 7, 23 та 25%, порівняно з контролем.

Ключові слова: *Zea mays*; нітрат цинку; стимуляція росту; пігменти; продуктивність

Effect of zinc salt solutions on the development of chlorophyll and formation of seeds of maize hybrids

M.D. Tafij, V.I. Nikolaichuk, V.J. Belchhazi

Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine

Zinc as an element is considered as one of the most limiting nutrients for crop production, mainly for cereals in the arid areas of the world. The article explores the impact of zinc salts at different concentrations on the course of physiological biochemical processes, germination and development of nine investigated hybrids of maize. In particular, we investigate how zinc nitrate solutions influence physiological biochemical processes of different maize hybrids. It is established that high concentration of zinc salt solution can arrest or inhibit processes of plants growth, exerting an effect typical of heavy metals. The influence of 0.01% and 0.02% of zinc nitrate aqueous solution on the content of chlorophyll and number of seeds on the stalks of different corn hybrids was studied. The results of experiments in which germinating seeds were placed in Petri dishes containing 0.01% and 0.02% nitrate zinc solutions showed that zinc in these quantities stimulates the synthesis of chlorophyll in the leaves in all studied hybrids, thereby stimulating plant growth. Thereafter, low concentrations of salt solutions of the same element stimulated all development processes. Zinc enters the active enzyme centers and participates directly in chlorophyll synthesis. The spray of solutions as foliar fertilizers at critical stages of corn growth increases the number of seeds, the diameter and length of stalk in the early ripening hybrids group, compared with the control. It was shown that lack of zinc affects the formation of seeds. The results of the field experiments showed that corn foliar feeding with 0.01% sodium nitrate increased productivity of the studied hybrids. Symptoms of zinc deficiency develop throughout the whole plant or are localized on the old lower leaves. At first, brownish grey

and purple-coloured spots appear on the leaves of the lower and middle layers and then spread over the rest of the plant. The tissue of the areas like these simply dies off. Zinc deficiency had a negative effect on seeds production. From the results of experiments it follows that there are fluctuation of chlorophyll in maize hybrids when germinated in 0.01% and 0.02% salts solutions of zinc nitrate, and that the resistance of the plants to fungus and bacterial infections is strengthened when their seeds are previously treated with nitric acid zinc at 0.01% concentration.

Keywords: *Zea mays*; zinc nitrate; stimulation of growth; pigments; productivity

Вступ

В Україні кукурудза – найважливіша кормова культура, дуже вигідна у виробництві. Особливо за умов впровадження нових гібридів і агротехнологій. Вплив правильного вибору гібриду на урожайність культури сягає 50%, агротехнологічних заходів – 30%, кліматичних умов – 20% (Grzebisz, 2008; Mehdi et al., 2012). Однак в Україні урожайність кукурудзи порівняно з країнами Європи та Америки нижча: потенційна врожайність гібридів кукурудзи реалізується в середньому на 40–45%, а в окремі роки навіть до 34–36%. Тому тільки за умов правильного підбору гібридів, використання якісного насіння та відповідного технологічного супроводу в основних зонах вирощування кукурудзи в Україні можна одержати 8–10 т/га зерна і більше з вологістю 18–25%. Нині конкурентоспроможність вітчизняних гібридів кукурудзи значно зросла завдяки успіхам українських селекціонерів, яким вдалося підвищити потенціал її урожайності (12–15 т/га), забезпечити стійкість до стресових умов і хвороб, вирішити проблему зниження вологості зерна під час збирання (Diter, 2012).

Роль мікроелементів у мінеральному живленні рослин як складової ферментативних систем – біокатализаторів важко переоцінити. Цинк – основний мікроелемент для кукурудзи (Andeyev et al., 2009). У метаболізмі рослин він виконує важливі функції: входить до складу ензимів, є катализатором багатьох ферментних систем, бере участь у вуглеводневому та білковому обміні, впливає на розвиток насіння та фотосинтез (Kots and Peterson, 2005; Genc et al., 2006.; Vlasenko et al., 2006; Mousavi et al., 2007; Grzebisz, 2008; Khan et al., 2008; Ciganda et al., 2009; Efe and Yarpuz, 2011), бере участь в утворенні хлорофілу та визначає стійкість зв'язку хлорофілу з білком, запобігаючи передчасному його розпаду, впливає на процеси фосфорилування (Banziger and Long, 2000). Ефект цинку на ріст рослин здійснюється через контроль синтезу триптофану, який є попередником ауксину. Нестача цинку знижує продуктивність та якість врожаю, знижується накопичення цукрів, збільшується кількість органічних кислот, порушується синтез білка; при цьому зростає вміст небілкових сполук азоту – амідів і амінокислот; дефіцит цинку знижує поглинання амонійного азоту (Pardo et al., 2006). Він – складова багатьох ферментів, виконує важливу роль в окисно-відновних реакціях, бере участь у регулюванні утворення АТФ. Zn підвищує посухо- та жаростійкість рослин, визначає їх стійкість до збудників грибкових і бактеріальних хвороб. За нестачі цинку порушується проникність мембран, рослини дають низький урожай, а за гострої нестачі – гинуть. За поступового зростання концентрації іонів цинку у середовищі вирощування спостерігається поява ознак пригнічення рослин: гальмування ростових процесів, хлороз і некрози листків, відмирання коренів (Hall and Williams, 2003; Hural'chuk, 2006), відбуваються зміни фотосинтетичного апарату кукурудзи, зменшення вмісту основних пігментів фотосинтезу –

хлорофілів (Maksymiec et al., 1992; Tarcevskej, 1993; Prasad and Strzalka, 1999). Зниження концентрації хлорофілу в листках може служити індикатором забруднення довкілля (Kosakiv's'ka, 2003; Hural'chuk, 2006). Мета наших досліджень – виявити, як різні концентрації цього металу впливають на вміст пігментів, ріст і продуктивність рослин гібридів кукурудзи різних груп стиглості.

Матеріал і методи досліджень

Об'єкт досліджень – дев'ять гібридів кукурудзи, що відрізняються за серією ознак: ДКС 1 – ФАО 430, середньопізній гібрид, тип зерна зубоподібний, висока посухостійкість, холодостійкість та стійкість до сажкових хвороб, фузаріозу стебла та качанів, висока стійкість до вилягання; ДКС 2 – ФАО 390, середньостиглий гібрид, тип зерна зубоподібний, висока посухостійкість, холодостійкість та стійкість до шкідників; ДКС 3 – ФАО 370, середньостиглий гібрид, тип зерна зубоподібний, стійкий до вилягання; ДКС 4 – ФАО 250, середньоранній, висока пластичність, посухостійкість та холодостійкість; ДКС 5 – ФАО 270, середньоранній гібрид, тип зерна зубоподібний, холодостійкий, посухостійкий, стійкий до сажкових хвороб, фузаріозу та вилягання; ДКС 6 – гібрид середньоранній, стійкий до сажкових хвороб та вилягання; Євраліс – середньоранній, стійкий до шкідників та вилягання, холодостійкий, посухостійкий; гібрид Достаток 300 МВ – середньостиглий, ФАО 300, зерно зубоподібне, стійкий до вилягання, вегетаційний період 125 діб; Переяславський 230 СВ – ФАО 230, середньоранній, вегетаційний період 120 діб, зерно кремнисто-зубовидне.

Для виявлення впливу цинку обрано різні варіанти досліджень. Рослини пророщували на фільтр-папері Whatman № 2, змоченому 10 мл 0,01% або 0,02% водними розчинами $Zn(NO_3)_2$ (ч. д. а.). Для кожного гібриду закладено по 25 насінин у чашки Петрі. Рослини вирощували за температури 20 °С, відносної вологості повітря 80% та освітлення лампами денного світла (16 годин протягом доби). У контролі замість розчинів $Zn(NO_3)_2$ використовували для обробки дистильовану воду. Повторність кожного варіанта чашок – триразова. Достовірність результатів дослідів перевірена статистично.

Дослідження в польових умовах проводили для оцінювання впливу розчинів $Zn(NO_3)_2$ як фоліарного добрива, що поліпшує ріст і розвиток гібридів. Площа кожної ділянки – 100 м². Посів проводили на дернові ґрунти з оптимальним водно-повітряним режимом. Перед закладанням польового дослідів визначено рН кожної ділянки, оскільки кукурудза не переносить кислотних, перезвожених і засолених ґрунтів. За результатами дослідження ґрунту дослідних ділянок активна кислотність рН (H₂O) – 6,4, обмінна рН (KCl) – 6,5, гідролітична кислотність – 2,6 мг-екв./100 г.

У польових дослідів закладено три дослідні ділянки. На першій посіви гібридів обробляли в періоди 3–5 лист-

ків та 7–9 листків 0,01% розчином $Zn(NO_3)_2$, на другій – 0,02% розчином $Zn(NO_3)_2$. У контролі рослини обприскували дистильованою водою. Ділянки мали просторову ізоляцію, що запобігала випадковому занесенню розчинів (за умов обприскування) вітром на експериментальні ділянки. У рослин на дослідних ділянках визначали кількість зерен, довжину та діаметр качанів рослин досліджуваних гібридів, які обробляли 0,01% розчином нітрату цинку. Урожайність визначали методом підрахунку та зважування з кожної ділянки окремо.

Для визначення суми хлорофілу проводили екстракцію пігментів спиртовим розчинником. Кількість хлорофілу в листі визначали фотоелектрокалориметрично (Nikolaichuk et al., 2012). Результати досліджень обробляли статистично за допомогою комп'ютерної програми Statistica 6.0. Для порівняння вибірок застосовано однофакторний дисперсійний аналіз, при цьому розбіжності між значеннями характеристик вважали достовірними за $P < 0,05$. У таблиці та на діаграмах наведено середні арифметичні значення та їх стандартні похибки (SE).

Результати та їх обговорення

Кількість хлорофілу оброблених гібридів зростала порівняно з контрольним зразком (рис. 1). Зокрема, гібрид Достаток 300 МВ виявив збільшення вмісту хлорофілу на 0,17 мг у пророщених на 0,02% розчині нітрату цинку, порівняно з контролем, і на 0,7 мг більше пророщених на 0,01%. Гібрид ДКС 4 – на 0,24 мг збільшив вміст хлорофілу у пророщених рослин на 0,01% розчині та на 0,01 мг – на 0,02%. Ці дані узгоджуються зі збільшенням вмісту хлорофілу за впливу цинку, виявленого Gitelson and Merzlyak (1997). Цинк також впливає на кількість пігментів, що беруть участь у всіх фізіологічних процесах рослини (Genc et al., 2006).

Гібрид Переяславський 230 СВ, пророщений на 0,02% розчині, показав кращі результати порівняно з контролем на 0,5 мг. Гібрид ДКС 1, пророщений на 0,01% розчині нітрату цинку, збільшив на 0,45 мг показники вмісту хлорофілу (рис. 1). Гібрид ДКС 2 підвищив вміст головного фотосинтетичного пігменту на 0,10 та 0,02 мг за умов пророщення на 0,01% та 0,02% розчині, відповідно. У гібриді ДКС 3 збільшився вміст хлорофілу на 0,02 мг порівняно з контролем (рис. 2).

У проростках гібриду ДКС 5, вирощених на 0,01% розчині, вміст хлорофілу збільшився на 0,09 мг, а в рослинах, пророщених на 0,02% розчині – на 0,06 мг (рис. 3). Відповідно, в рослинах гібридів ДКС 6 та Євраліс реєстрували збільшення показників на 0,52 та 0,77 мг порівняно з контролем. На основі отриманих результатів можемо стверджувати, що гібриди, пророщені у 0,01% та 0,02% розчинах нітрату цинку, накопичують більше хлорофілу порівняно з контролем. За позакореневого підживлення дев'ять досліджуваних гібридів кукурудзи 0,01% та 0,02% розчином нітрату цинку вміст хлорофілу також збільшився порівняно з рослинами в контролі (рис. 3). Наші дослідження узгоджуються з працею Potarzycki (2010), в якій показано, що підживлення рослин нітратом цинку дозволяє зменшувати кількість азотних добрив, внесених у ґрунт. У гібриду Євраліс спостерігали збільшення кількості насінин у середньому на 60

порівняно з контролем. У гібриду Достаток 300 МВ поліпшення продуктивності не виявили (можливо, для гібриду з ФАО 300 тип клімату та ґрунту не був оптимальним, оскільки він добре росте у степовій та лісостеповій зонах). Виділяють групи стиглості гібридів кукурудзи, що різняться залежно від кліматичних умов (табл. 1). У Німеччині, наприклад, розрізняють чотири групи стиглості, в Росії – шість, в Україні – п'ять (Diter, 2012).

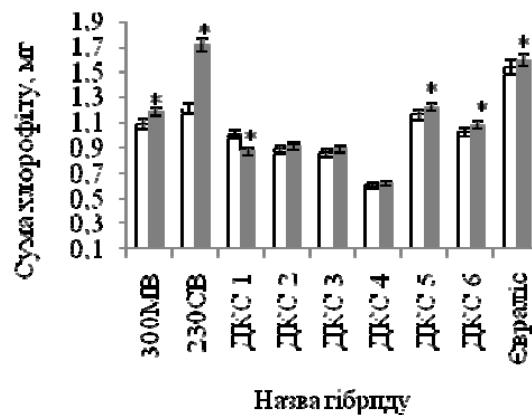


Рис. 1. Вміст суми хлорофілу досліджуваних гібридів: білі стовпчики – контроль, сірі – пророщені на 0,01% водному розчині $Zn(NO_3)_2$; * – $P < 0,05$ порівняно з контролем; $n = 3$; вертикальною лінією позначено SE

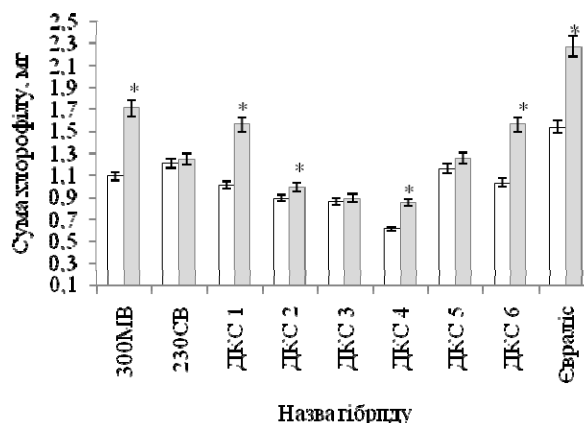


Рис. 2. Вміст суми хлорофілів досліджуваних гібридів: білі ствпчики – контроль, сірі – пророщені на 0,02% водному розчині $Zn(NO_3)_2$; * – $P < 0,05$ порівняно з контролем; $n = 3$; вертикальною лінією позначено SE

У гібридів ДКС 1 (ФАО 430) середньопізньої групи стиглості та середньостиглому ДКС 2, незначне поліпшення результатів закладання зерен та росту рослин (табл. 2). Натомість ранньостиглий ДКС 5 (ФАО 270) не збільшив ці показники порівняно з контролем.

Маючи тривалий вегетаційний період, кукурудза засвоює поживні речовини до початку воскової стиглості зерна й утворює багато вегетативної маси. У рослин гібридів, які підживлювалися розчинами нітрату цинку слабких концентрацій, спостерігається поліпшення міцності стебла, кольору (у підживлених гібридів він більш насичений), кількості та ваги зерен у качані, а також довжини та діаметра качана. У гібриду Переяславський 230 СВ середньоранньої групи стиглості (ФАО 230) спостерігали збільшення кількості насінин (табл. 2). У контролі отримали 29–31 зернину в ряді, качан довжиною в середньому 178–180 мм. Це пов'язано з тим, що проростання насіння,

обробленого цинком, включає ініціацію низки метаболічних процесів і супроводжується підвищенням активності дихання тканин (Aref, 2012; Vuchanan et al., 2015).

В оброблених рослин було у середньому 33–35 зернин у ряді, 470 – у качані. Ефект цинку, який застосовували методом обприскування листків, полягав у збільшенні

закладання зерен, розмірів качана та висоти оброблених рослин. Зокрема, рослини середньостиглого гібриду Євраліс, вирощені за підживлення 0,02% водним розчином нітрату цинку, дали приріст кількості насінин на 24% (табл. 2). Наші дані узгоджуються з результатами Khan et al. (2005) та Grzebisz (2008).

Таблиця 1

Розподіл гібридів по групах стиглості в Україні (за Diter, 2012)

Вимоги до температурного режиму	Група стиглості				
	ранньостиглі	середньоранні	середньостиглі	середньопізні	пізньостиглі
Сума активних температур, °С	2200	2400	2600	2800	3000
Сума ефективних температур, °С	900–1000	1100	1150	1200	1300
у тому числі від сходів до викидання волоті	400	450	500	550	600
від викидання волоті до воскової стиглості	400	450	500	550	600
Вегетаційний період, дб	90–105	105–115	115–120	120–130	135–140
Кількість листя, штук	12–14	14–16	17–18	19–20	21–23
Число FAO	100–200	201–300	301–400	401–500	501–600

Таблиця 2

Характеристика качанів кукурудзи різних груп стиглості, підживлених водними розчинами нітрату цинку (n = 100, SE)

Назва гібридів	Група стиглості	Варіанти досліду	Кількість зернин у качані	Висота кріплення, см	Довжина качана, см	Діаметр качана, см
ДКС 1	середньопізня	контроль	583 ± 8,6	100,6 ± 3,3	20,6 ± 1,1	4,8 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	702 ± 7,4*	102,4 ± 3,5	25,4 ± 1,3*	5,1 ± 0,2*
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	710 ± 12,7*	115,1 ± 4,3*	27,2 ± 1,3*	5,5 ± 0,4*
ДКС 2	середньостигла	контроль	582 ± 7,8	83,2 ± 2,8	18,9 ± 0,9	4,6 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	600 ± 9,4	99,7 ± 3,2*	25,1 ± 1,4*	5,6 ± 0,4*
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	615 ± 10,2*	95,2 ± 2,1*	22,5 ± 1,9*	5,3 ± 0,3
ДКС 3	середньостигла	контроль	604 ± 5,9	91,4 ± 1,7	19,3 ± 1,2	4,9 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	625 ± 7,8*	115,9 ± 3,4*	20,7 ± 1,3	5,8 ± 0,6*
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	630 ± 8,3*	107,7 ± 1,9*	27,3 ± 1,9*	5,3 ± 0,4
ДКС 4	середньорання	контроль	598 ± 3,8	100,5 ± 1,2	21,4 ± 1,1	4,1 ± 0,1
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	620 ± 7,9*	113,9 ± 1,8*	30,1 ± 1,9*	4,6 ± 0,3
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	632 ± 8,6*	108,6 ± 4,7*	26,2 ± 0,5	5,5 ± 0,3*
ДКС 5	ранньостигла	контроль	470 ± 3,8	98,4 ± 1,3	22,8 ± 1,2	3,9 ± 0,1
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	490 ± 5,7*	104,1 ± 1,5	24,6 ± 1,6*	4,3 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	482 ± 4,2*	110,2 ± 1,6*	28,4 ± 1,7*	4,7 ± 0,3*
ДКС 6	середньорання	контроль	400 ± 3,4	96,7 ± 1,2	18,3 ± 1,4	3,9 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	418 ± 5,6*	105,8 ± 1,7	25,7 ± 1,9*	4,2 ± 0,3
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	425 ± 7,1*	113,6 ± 1,9*	27,3 ± 1,3	4,8 ± 0,4*
230 СВ	середньорання	контроль	470 ± 6,4	85,3 ± 0,9	17,2 ± 0,7	3,2 ± 0,1
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	485 ± 7,7*	93,5 ± 1,1*	19,1 ± 0,9	3,5 ± 0,1
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	482 ± 6,3	90,4 ± 0,9	21,8 ± 1,4*	3,9 ± 0,2*
300 МВ	середньостигла	контроль	355 ± 3,2	75,7 ± 0,5	14,6 ± 1,3	3,5 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	369 ± 4,7*	87,8 ± 0,7*	18,2 ± 1,5*	4,1 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	365 ± 4,6	85,2 ± 0,9	17,8 ± 0,8	4,6 ± 0,3*
Євраліс	середньорання	контроль	334 ± 4,1	80,4 ± 0,8	16,1 ± 0,7	4,2 ± 0,2
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,01%	380 ± 5,8	108,5 ± 1,7*	23,9 ± 1,4*	4,9 ± 0,3
		Zn(NO ₃) ₂ , 0,02%	395 ± 8,1*	105,3 ± 1,6	20,4 ± 1,3	5,3 ± 0,4*

Примітка: * – різниця порівняно з контролем достовірна за P < 0,05.

На основі отриманих результатів можемо стверджувати, що підживлення цинковими добривами добре позначається на продуктивності більшості досліджуваних гібридів. Зокрема, у гібриду Євраліс реєстрували збільшення кількості зернин у качані на 30% порівняно з контролем. Маса 1 000 насінин у його рослин, які були підживлені 0,01% водним розчином нітрату цинку, була на 16% вищою, а у рослин гібридів ДКС 1, ДКС 2, ДКС 3, ДКС 4, ДКС 5, ДКС 6, 230 СВ та 300 МВ на 4, 17, 13, 28, 14, 7, 23 та 25% вищою порівняно з контролем (рис. 4). На дослідній ділянці у гібридів Євраліс та гібридів групи ДКС

різної стиглості спостерігали збільшення кількості зернин у середньому в 95% випадків. Спостерігали також приріст ваги врожаю. Найвищу врожайність генетично закладено у середньопізніх та пізньостиглих гібридів. Проте для нашого регіону найкращі результати показують середньоранні та ранньостиглі гібриди. Наприклад, середньостиглий гібрид ДКС 2 за позакореневого підживлення нітратом цинку 0,02% дає приріст ваги 1 000 насінин на 23% (рис. 4). Це пов'язано з ґрунтово-кліматичними особливостями Закарпаття (пізньостиглі гібриди в нас не дозрівають).

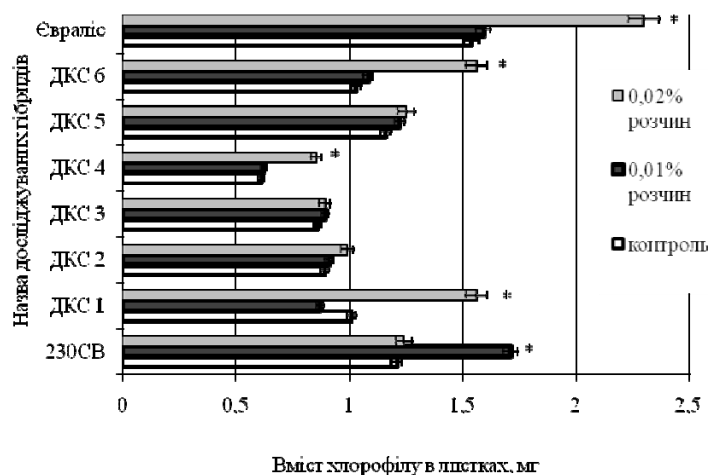


Рис. 3. Вміст хлорофілу в листках гібридів, пророщених на розчині нітрату цинку 0,01% та 0,02% концентрації та в контролі: * – $P < 0,05$ порівняно з контролем; $n = 3$; вертикальною лінією позначено SE

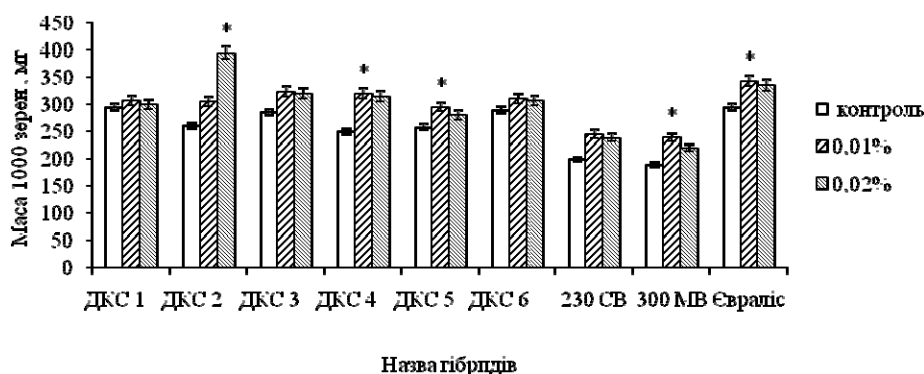


Рис. 4. Маса 1 000 зернин гібридів із ділянок, підживлених водними розчинами $Zn(NO_3)_2$ 0,01% та 0,02% концентрації та в контролі: * – $P < 0,05$ порівняно з контролем; $n = 3$; вертикальною лінією позначено SE

Нестача цинку спричинює зменшення продуктивності та якості врожаю. Оптимальне підживлення цинком дає збільшення врожаїв (Mousavi et al., 2007; Efe and Yagruz, 2011; Yanfang et al., 2014). На основі досліджень можемо рекомендувати господарствам застосовувати водні розчини 0,01% та 0,02% нітрату цинку для передпосівного замочування та як фоліарні добрива для поліпшення продуктивності кукурудзи.

Висновки

За позакореневого підживлення дев'яти досліджуваних гібридів кукурудзи 0,01% та 0,02% розчином нітрату цинку вміст хлорофілу збільшився порівняно з контролем. Замочування насіння розчином нітрату цинку включає ініціацію низки метаболічних процесів у рослин. Тому підживлення цинковими добривами добре позначається на продуктивності більшості взятих гібридів. На основі досліджень можемо рекомендувати господарствам застосовувати водні розчини 0,01% та 0,02% нітрату цинку для передпосівного замочування та як фоліарні добрива для поліпшення продуктивності кукурудзи.

Бібліографічні посилання

Allen, J.F., Forsberg, J., 2001. Molecular recognition in thylakoid structure and function. *Trends Plant Sci.* 6, 317–326.

Andeyev, I.O., Spiridonova, K.V., Maydanyuk, D.M., Kunakh, V.A., 2009. Henetychni efekty kul'tyvuvannya *in vitro* tkanyn kukurudzy [Genetic effects of tissue culture on maize]. *Fiziologiya i Biokhimiya Kul'turnykh Roslyn* 41(6), 487–495.

Aref, F., 2012. Effect of different zinc and boron application methods on leaf nitrogen, phosphorus and potassium concentrations in maize grown on zinc and boron deficient calcareous soils. *J. Soil Nature* 6(1), 1–10.

Baker, A.J.M., 1981. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutr.* 3, 643–654.

Banziger, M., Long, J., 2000. The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant-breeding. *Food Nutr. Bull.* 21, 397–400.

Becker, W.M., 1986. *The world of the cell.* Benjamin/Cummings, Menlo Park, CA.

Bessonova, V.P., 1992. Vliyanie tzhzhelyh metallov na antioksidantnuju sistemu kletok list'ev chiny dushistoj [Influence of heavy metals on antioxidant system of leaves cells of *Lathyrus odoratus* L.]. *Fiziologiya i Biohimija Kul'turnykh Rastenij* 24(2), 147–151 (in Russian).

Bessonova, V.P., 1999. Citofiziologicheskie jeffekty vozdejstviya tzhzhelyh metallov na rost i razvitie rastenij [Cytophysiological effects of heavy metals on the growth and development of plants]. ZDU, Zaporozh'e (in Russian).

Bessonova, V.P., 2006. *Praktykum z fiziologiji roslyn* [Practical work on plant physiology]. Svidler, Dnipropetrovsk (in Ukrainian).

Bessonova, V.P., 2006. Vliyanie tzhzhelyh metallov na fotosintez rastenij [Influence of heavy metals on the photosynthesis of plants]. DDAU, Dnipropetrovsk (in Russian).

Booch, F., Kupefer, G., Dockter, K., Kubauch, W., 1990. Shape of the red edge as vitality indicator for plants. *Int. J. Remote Sens.* 11, 1741–1753.

- Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L., 2015. Biochemistry and molecular biology of plants. Wiley, Oxford.
- Chandler, R.E., Scott, E.M., 2011. Statistical methods for trend detection and analysis in the environmental sciences (statistics in practice). John Wiley and Sons, New York.
- Chen, X.P., Cui, Z.L., Vitousek, P.M., Cassman, K.G., Matson, P.A., Bai, J.S., Meng, Q.F., Hou, P., Yue, S.C., Römheld, V., Zhang, F.S., 2011. Integrated soil-crop system management for food security. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 108, 6399–6404.
- Ciganda, V., Gitelson, A.A., Schepers, J.S., 2009. Non-destructive determination of corn leaf canopy chlorophyll content. J. Plant Physiol. 166, 157–167.
- Diter, S., 2012. Kukurudza. Vy'roshuvannya, zberigannya ta vy'kory'stannya [Corn. Growing, harvesting, storage and use] Knyga. Kyiv (in Ukrainian).
- Dobermann, A., Cassman, K.G., 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. Plant Soil 247, 153–175.
- Eshhenko, V.O., Kopitka, P.G., Oprishko, V.P., Kostogriz, P.V., 2005. Osnovi naukovih doslidzhen' v agronomiji [Basic research in agronomy]. Dija, Kyiv (in Ukrainian).
- Fageria, N.K., Barbosa, M.P., Santos, A.B., 2008. Growth and zinc uptake and use efficiency in food crops. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 39, 2258–2269.
- Feil, B., Moser, S.B., Jampatong, S., Stamp, P., 2005. Mineral composition of the grains of tropical maize varieties as affected by pre-anthesis drought and rate of nitrogen fertilization. Crop Sci. 45, 516–523.
- Gitelson, A.A., Merzlyak, M.N., 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant leaves. Int. J. Remote Sens. 18, 2691–2697.
- Grzebisz, W., 2008. Effect of zinc foliar application at an early stage of maize growth on patterns of nutrients and dry matter accumulation by the canopy. Part 2. Nitrogen uptake and dry matter accumulation patterns. J. Elementol. 13, 17–39.
- Hall, J.L., Williams, L.E., 2003. Transition metal transporters in plants. J. Exp. Bot. 393, 2601–2613.
- Hrozdinskij, D.M., 2013. Adaptivna strategija fiziologichnih procesiv roslin [Adaptive strategy physiological processes of plants]. Naukova Dumka, Kyiv (in Ukrainian).
- Hural'chuk, Z.Z., 2006. Fitotoksychnist' vazhkykh metaliv ta stiykist' roslin do yikh diy [Phytotoxicity of heavy metals and plant resistance to their action]. Logos, Kyiv (in Ukrainian).
- Jakubekova, M., Pretova, A., Obert, B., 2011. Somatic embryogenesis and plant regeneration from immature embryo induced callus of maize (*Zea mays* L.). J. Microbiol. Biotechnol. Food Sci. 1(4), 478–487.
- Khan, M.A., Abid, M., Hussain, N., Massood, M.U., 2005. Effect of phosphorous levels on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) cultivars under saline conditions. Int. J. Agric. Biol. 3, 511–514.
- Khan, M.A., Fuller, M.P., Baluch, F.S., 2008. Effect of soil applied zinc sulphate on wheat (*Triticum aestivum* L.) grown on a calcareous soil in Pakistan. Cereal Res. Commun. 36, 571–582.
- Kosakivs'ka, I.V., 2003. Fiziologo-biochimichni osnovy adaptaciji roslin do stresiv [Physiological and biochemical bases of plant adaptation to stress]. Stal, Kyiv (in Ukrainian).
- Kots, S.J., Peterson, N.V., 2005. Mineralni elementy i dobrovva v zhyvlenni roslin [Mineral elements and fertilizers in plant nutrition]. Logos, Kyiv (in Ukrainian).
- Mehdi, S.S., Husain, B., Singh, L., 2012. Influence of seed rate, nitrogen and zinc on fodder maize (*Zea mays*) in temperate conditions of western Himalayas. Indian J. Agron. 57(1), 85–88.
- Mel'nychuk, D., Hofman, D., Horodn'oho, M., 2004. Yakist' gruntu ta suchasni stratehiyi udobrennya [Soil quality and modern strategies of fertilization]. Aristey, Kyiv (in Ukrainian).
- Mitchell, C.D., Fretz, T.A., 1977. Cadmium and zinc toxicity in white pine, red malp and norway spruce. Soc. Hort. Sci. 102, 25–42.
- Mousavi, S.R., Galavi, M., Ahmadvand, G., 2007. Effect of zinc and manganese foliar application on yield, quality and enrichment on potato (*Solanum tuberosum* L.). Asian J. Plant Sci. 6, 1256–1260.
- Musienko, M.M., 2005. Fiziologija roslin [Plant Physiology]. Libid', Kyiv (in Ukrainian).
- Nelson, N., Ben-Shem, A., 2004. The complex architecture of oxygenic photosynthesis. Nat. Rev. Mol. Cell Biol. 5, 971–982.
- Nikolaychuk, V.I., Belchgazi, V.J., Vakerych, M.M., Kolesnic, A.V., Kichko, K.M., 2012. Fiziologija roslin. Malyy practicum [Plant Physiology. Small Workshop]. Hoverla, Uzhgorod (in Ukrainian).
- Nolan, A.L., Zhang, M.J., McLaughlin, H.J., 2005. Prediction of zinc, cadmium, lead, and copper availability to wheat in contaminated soils using chemical speciation, diffusive gradients in thin films, extraction, and isotopic dilution techniques. Environ. Qual. 34, 496–507.
- Nuss, E.T., Tanumihardjo, S.A., 2010. Maize: A paramount staple crop in the context of global nutrition. Compr. Rev. Food Sci. F 9(4), 417–436.
- Pardo, J.M., Cubero, B., Leidi, E.O., Quintero, F.J., 2006. Alkali cation exchangers: Roles in cellular homeostasis and stress tolerance. J. Exp. Bot. 57, 1181–1199.
- Piekielek, W.P., Fox, R.H., 1992. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress N requirements for maize. Agron. J. 84, 59–65.
- Potarzycki, J., 2010. The impact of fertilization systems on zinc management by grain maize. Fertilizers Fertilization 39, 78–89.
- Schepers, J.S., Blackmer, T.M., Francis, D.D., 1992. Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions: Using chlorophyll meters. In: Bock, B.R., Kelley, K.R. (eds.) Predicting N fertilizer needs for corn in humid regions. Bull. Y-226. National Fertilizer and Environmental Research Center; Muscle Shoals, AL, USA. P. 105–114.
- Setiyono, T.D., Walters, D.T., Cassman, K.G., Witt, C., Dobermann, A., 2010. Estimating maize nutrient uptake requirements. Field Crops Res. 118, 158–168.
- Shiferaw, B., Prasanna, B., Hellin, J., Bänziger, M., 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. Food Sec. 3, 307–327.
- Tarcevs'kij, I.A., 1993. Katabolizm i stres u roslin [Catabolism and stress in plants]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Thomas, J.R., Gausman, H.W., 1977. Leaf reflectance versus leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. Agron. 69, 799–802.
- Vlasenko, M.J., Vemiljanova-Zernova, L.D., Mackevich, V.V., 2006. Fiziologija roslin z osnovami biotekhnologiji [Plant physiology basics of biotechnology]. Bila Tcerkva (in Ukrainian).
- Xue, Y., Yue, S., Zhang, W., Liu, D., Cui, Z., Chen, X., Ye, Y., Zou, C., 2014. Zinc, iron, manganese and copper uptake requirement in response to nitrogen supply and the increased grain yield of summer maize. PLoS ONE 9(4), e93895.

Надійшла до редколегії 29.07.2016