

<https://doi.org/10.15407/frg2019.05.425>

УДК 581.1

ВПЛИВ СЕДАКСАНУ НА СТАН АНТИОКСИДАНТНОЇ ТА ОСМОПРОТЕКТОРНОЇ СИСТЕМ ПРОРОСТКІВ КУКУРУДЗИ ЗА УМОВ СОЛЬОВОГО СТРЕСУ

М.А. ШКЛЯРЕВСЬКИЙ¹, Т.О. ЯСТРЕБ¹, М.В. ШВИДЕНКО¹, Г.А. ЛУГОВА¹,
Ю.В. КАРПЕЦЬ¹, Ю.Є. КОЛУПАЄВ^{1,2}

¹Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва

62483 Харків, п/в Докучаєвське-2

e-mail: plant_biology@ukr.net

²Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

61022 Харків, майдан Свободи, 4

Фунгіцид седаксан (суміш *транс*- і *цис*-ізомерів N-[2-(1,1'-біциклопропіл)-2-іл-феніл]-3-(дифторометил)-1-метил-1-Н-піразол-4-карбоксаміду), що належить до інгібіторів сукцинатдегідрогенази, спричинює в рослин широкий спектр фізіологічних реакцій, пов'язаних зі змінами балансу та експресії великої кількості генів. Досліджували вплив цього фунгіциду на стійкість проростків кукурудзи (*Zea mays* L.) гібридів Аріосо і Ротанго до сольового стресу (пророщування насіння на 100 мМ розчині NaCl). Гібрид Ротанго вирізнявся вищою солестійкістю порівняно з гібридом Аріосо, що виявлялось у меншому пригніченні росту пагонів і коренів за умов сольового стресу. Праймінг насіння седаксаном у концентрації 0,1 мг/мл істотно зм'якшував негативний вплив сольового стресу на лінійний ріст і накопичення біомаси проростків. При цьому обробка седаксаном проростків гібрида Аріосо за сольового стресу посилювала ріст як пагонів, так і коренів, а гібрида Ротанго — лише пагонів. Для гібрида Ротанго за стресових умов були характерні вищі значення активності супероксиддисмутази (СОД) і гваяколпероксидази у пагонах порівняно з такими у гібрида Аріосо. Під впливом седаксану за дії сольового стресу в гібрида Аріосо підвищувалася активність СОД. Активність інших антиоксидантних ферментів (каталази, гваяколпероксидази) у варіантах з праймінгом насіння седаксаном в обох гібридів майже не змінювалася. За обробки седаксаном насіння обох гібридів істотно посилювалось накопичення проліну, простежувалась тенденція до підвищення вмісту цукрів і антоціанів за впливу NaCl. Дія седаксану також усувала спричинюване сольовим стресом підвищення вмісту пероксиду водню у пагонах проростків обох генотипів. Зроблено висновок, що однією з причин підвищення солестійкості кукурудзи за дії седаксану може бути посилення накопичення низькомолекулярних антиоксидантів і осмолітів.

Ключові слова: *Zea mays* L., седаксан, сольовий стрес, стійкість, активні форми кисню, антиоксидантна система, осмопротекторна система.

Седаксан (суміш *транс*- і *цис*-ізомерів N-[2-(1,1'-біциклопропіл)-2-іл-феніл]-3-(дифторометил)-1-метил-1-Н-піразол-4-карбоксаміду) —

синтетична речовина з фунгіцидними властивостями контактної дії [1]. Припускають, що основний механізм дії седаксану як фунгіциду пов'язаний з високоспецифічним інгібуванням сукцинатдегідрогенази (СДГ) грибів і пригніченням енергетичного метаболізму [2, 3]. Водночас показано, що седаксан здатний і до інгібування активності СДГ рослин, яка, ймовірно, має певну гомологічність будови з ідентичним ферментом грибів [1].

Останнім часом отримано відомості про значний внесок СДГ (комплексу II мітохондрій) в утворення активних форм кисню (АФК) в рослинних клітинах [4]. У рослин арабідопсису точкова мутація за геном, що кодує одну із субодиниць СДГ, спричинювала зниження активності ферменту та одночасне зменшення вмісту АФК у клітинах [4, 5]. Показано, що за обробки насіння пшениці седаксаном пригнічувалась активність СДГ і знижувався вміст пероксиду водню в клітинах коренів [6]. За умов осмотичного стресу в проростках, вирощених із насіння, обробленого седаксаном, вміст продукту пероксидного окиснення ліпідів малонового діальдегіду був нижчим порівняно з таким у необроблених [6].

Водночас фізіологічна активність седаксану щодо рослин, ймовірно, пов'язана не лише зі змінами активності СДГ. Встановлено зміну експресії сотень генів у листках, коренях і проростаючому насінні пшениці під впливом седаксану [7]. Зокрема показано посилення експресії гена глутатіон-S-трансферази та інших генів, причетних до метаболізму глутатіону. Також встановлено пригнічення експресії генів ферментів, що беруть участь у синтезі жасмонової кислоти, етилену та АБК [7]. На проростках кукурудзи показано, що седаксан виявляє помітні ауксино- і гібереліноподібні ефекти [8]. Під його впливом збільшувались довжина і площа поверхні коренів. У проростках також виявлено підвищення активності глутамінсинтази за дії седаксану, що, на думку авторів, могло сприяти накопиченню білка [8]. Крім того, виявлено активацію фенілпропаноїдного метаболізму. В експериментах із дорослими рослинами пшениці встановлено, що седаксан підвищував ефективність функціонування фотосистеми II за умов посухи [7]. Отже, його можна розглядати як речовину з широким спектром фізіологічної, зокрема стрес-протекторної, активності.

Однак стрес-протекторну дію седаксану досліджено поки що лише в поодиноких роботах. Зокрема, досі не вивчені його ефекти за умов сольового стресу. Відомо, що осмотичний стрес у рослин у відповідь на підвищення концентрації солей у зовнішньому середовищі розвивається досить швидко і призводить до зниження продигової провідності, обмеження надходження води і CO_2 , пригнічення росту [9]. Друга фаза негативного впливу солей зумовлена накопиченням іонів у клітинах рослин та їх токсичною дією [10, 11]. Важливою складовою негативних вторинних ефектів сольового стресу є посилення утворення АФК у рослин і пов'язані з цим пошкодження біомакромолекул (ефекти вторинного окиснювального стресу). За сольового стресу зміни рН цитоплазми активують одну з найнебезпечніших реакцій неферментативного утворення АФК — реакцію Фентона [12], що відбувається за участю пероксиду водню і металів

зі змінним ступенем окиснення (іонів заліза і міді) та призводить до утворення вкрай агресивного гідроксильного радикала.

У зв'язку цим метою нашої роботи було вивчення впливу седаксану на ріст проростків кукурудзи двох генотипів і стан їхніх антиоксидантної та осмопротекторної систем за дії сольового стресу.

Методика

У роботі використано гібриди кукурудзи (*Zea mays* L.) компанії Syngenta Аріоссо і Ротанго. Насіння поверхнево знезаражували інкубацією у 6 %-му розчині пероксиду водню протягом 30 хв. Після цього його ретельно промивали дистильованою водою.

Частину насіння перед пророщуванням інкубували протягом 1 год у розчині седаксану концентрацією 0,1 мг/мл і підсушували на фільтрувальному папері. Оптимальну концентрацію седаксану, що спричинювала посилення росту проростків за умов сольового стресу, обрано за результатами попередніх дослідів.

Насіння протягом чотирьох діб пророщували в термостаті за температури $26,0 \pm 0,1$ °С на дистильованій воді (контроль) або 100 мМ розчині хлориду натрію. Через 4 доби визначали довжину пагонів і найбільших коренів, а також масу пагонів і кореневої системи.

Активність антиоксидантних ферментів — супероксиддисмутази (СОД, КФ 1.15.1.1), каталази (КФ 1.11.1.6) і гваяколпероксидази (КФ 1.11.1.7) — визначали у пагонах проростків за методиками, описаними раніше [13]. Наважки пагонів гомогенізували на холоді в 0,15 М К₂Na-фосфатному буфері (рН 7,6) із додаванням ЕДТА (0,1 мМ) та дитіотрейтолу (1 мМ). Для аналізу використовували надосадову рідину після центрифугування гомогенату за 8000 g упродовж 15 хв за температури, не вищої від 4 °С. Активність СОД визначали за рН реакційної суміші 7,6 із використанням методу, що ґрунтується на здатності ферменту конкурувати з нітросинім тетразолієм за супероксидні аніони, які утворюються внаслідок аеробної взаємодії НАДН і феназинметосульфату. Активність каталази визначали за кількістю розкладеного за одиницю часу пероксиду водню. Активність гваяколпероксидази аналізували, використавши як донор водню гваякол, як субстрат — пероксид водню.

Для визначення вмісту антоціанів наважку рослинного матеріалу гомогенізували в 1 %-му розчині НСІ у метанолі [14]. Після центрифугування гомогенату за 8000 g протягом 15 хв визначали світлопоглинання надосадової рідини при 530 нм.

Вміст проліну аналізували за методом, описаним у роботі [15]. Сумарну кількість цукрів у рослинному матеріалі визначали з використанням антронового реактиву [16].

Пероксид водню екстрагували з розтертих на льоду пагонів 5 %-м розчином трихлороцтової кислоти, проби центрифугували за 8000 g протягом 10 хв за 4 °С і в надосадовій рідині визначали його вміст феротіоціанатним методом з використанням солі Мора і тіоціанату амонію [17].

Експерименти проводили у триразовому біологічному повторенні та відтворювали незалежно тричі. На рисунках і в таблиці на-

ведено середні значення та їх стандартні похибки. Достовірність відмінностей між варіантами оцінювали за критерієм Стьюдента. Крім випадків, зазначених окремо, обговорено відмінності, достовірні за $p \leq 0,05$.

Результати та обговорення

Гібриди кукурудзи, використані для досліджень, істотно відрізнялися за солестійкістю. Так, пророщування насіння гібрида Аріосо за наявності 100 мМ NaCl пригнічувало ріст пагонів приблизно на 65 % (таблиця). Ще помітніше гальмувався ріст коренів. У гібрида Ротанго ріст пагонів і накопичення біомаси коренів пригнічувались на 46 %, при цьому довжина найбільшого кореня зменшувалася лише на 18 % (див. таблицю).

Обробка насіння седаксаном концентрацією 0,1 мг/мл вірогідно зм'якшувала негативний вплив сольового стресу на лінійний ріст і накопичення біомаси пагонів обох досліджуваних гібридів кукурудзи (див. таблицю). Під впливом седаксану за умов сольового стресу також помітно посилювалися лінійний ріст і накопичення біомаси коренів у нестійкого гібрида Аріосо, водночас у солестійкого гібрида Ротанго такий ефект не виявлявся.

Активність СОД за контрольних умов була вищою у гібрида Ротанго (рис. 1, а). Під впливом сольового стресу вона знижувалася в обох гібридів, але у стійкого гібрида Ротанго такий ефект був менш помітним. Обробка седаксаном сприяла збереженню близької до контролю активності ферменту в несолестійкого гібрида Аріосо, проте не впливала на цей показник у стійкішого генотипу Ротанго (див. рис. 1, а).

Морфометричні показники проростків кукурудзи за дії сольового стресу і седаксану

Варіант	Довжина пагона, мм	Довжина кореня, мм	Маса пагона, мг	Маса кореня, мг
Аріосо				
Контроль	41,8±1,6	80,0±2,2	136,0±3,0	129,0±2,2
NaCl 100 мМ	14,5±1,1 (34,7)*	23,2±0,8 (29,0)	50,7±1,3 (37,3)	26,4±1,8 (20,5)
NaCl 100 мМ + + седаксан 0,1 мг/мл	23,6±1,4 (56,5)	33,0±1,3 (41,3)	61,5±2,5 (45,2)	53,1±1,4 (41,2)
Ротанго				
Контроль	41,0±1,5	78,8±1,6	111,0±2,5	89,5±2,5
NaCl 100 мМ	22,2±1,2 (54,1)	56,6±1,8 (71,8)	60,1±1,7 (54,1)	48,1±1,7 (54,0)
NaCl (100 мМ) + + седаксан 0,1 мг/мл	28,2±1,6 (68,3)	56,4±1,9 (71,6)	70,3±1,9 (63,4)	48,2±1,6 (53,6)

*У дужках наведено величини у відсотках відносно контролю.

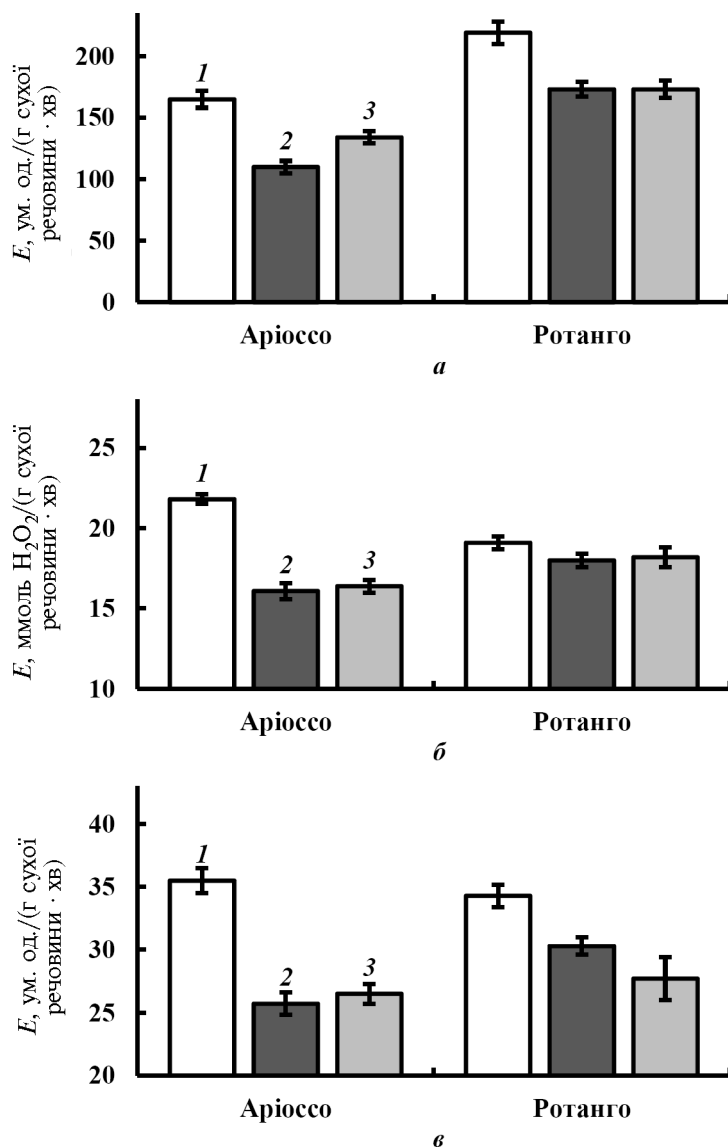


Рис. 1. Активність супероксиддисмутази (а), каталази (б) і гваяколпероксидази (в) у проростках кукурудзи за дії сольового стресу та седаксану. Тут і на рис. 2, 3:

1 — контроль; 2 — NaCl, 100 мМ; 3 — NaCl, 100 мМ + седаксан, 0,1 мг/мл

Активність каталази під впливом сольового стресу знижувалась у нестійкого гібрида Аріосо і майже не змінювалась у Ротанго (див. рис. 1, б). Обробка седаксаном істотно не впливала на активність цього ферменту в обох гібридів.

Активність гваяколпероксидази, як і двох інших антиоксидантних ферментів, під впливом сольового стресу істотно знижувалась у гібрида Аріосо, у Ротанго — незначно (див. рис. 1, в). Обробка седаксаном істотно не впливала на активність ферменту в обох досліджуваних генотипів.

Вміст проліну в пагонах обох гібридів за фізіологічно нормальних умов істотно не відрізнявся (рис. 2, а). Під впливом 100 мМ NaCl

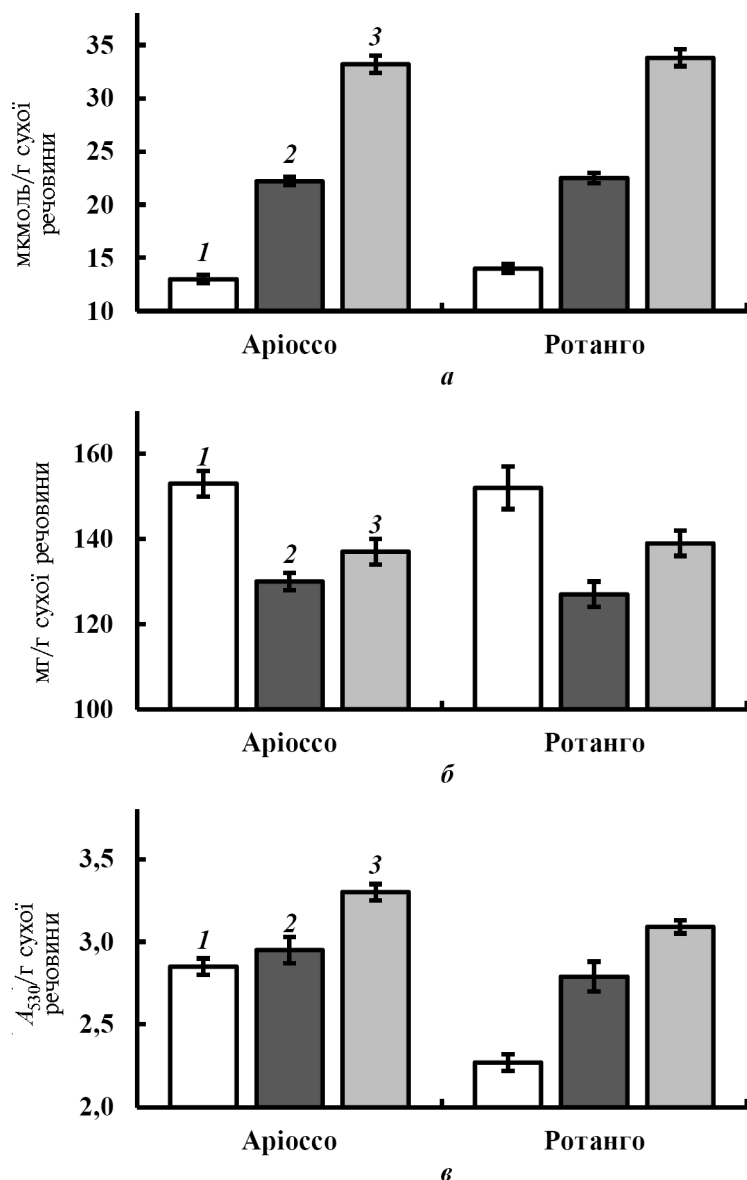


Рис. 2. Вміст проліну (а), цукрів (б) і антоціанів (в) у проростках кукурудзи за дії сольового стресу та седаксану

його кількість у проростків обох генотипів зростала приблизно в 1,7 раз за у розрахунку на масу сухої речовини. Обробка седаксаном спричинювала істотне збільшення вмісту проліну в рослинах обох генотипів.

Кількість цукрів у проростках обох гібридів за звичайних умов істотно не відрізнялася (див. рис. 2, б). Під впливом стресу вона зменшувалась. При цьому у варіантах з обробкою насіння седаксаном вміст цукрів за сольового стресу був дещо більшим (ефект достовірний за $p \leq 0,1$).

Вміст антоціанів у контрольному варіанті був дещо вищим у гібрида Аріосо (див. рис. 2, в). Під впливом сольового стресу він

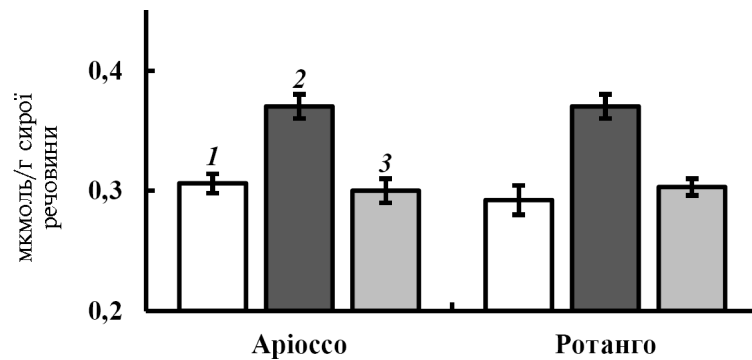


Рис. 3. Вміст перексиду водню у проростках кукурудзи за дії сольового стресу та седаксану

зростає у гібрида Ротанго і не змінювався в Аріоссо. Обробка седаксаном за стресових умов викликала невелике, але достовірне підвищення вмісту антоціанів у пагонах проростків обох генотипів.

Отже, в цілому можна констатувати посилення функціонування антиоксидантної та осмопротекторної систем проростків кукурудзи за обробки насіння седаксаном. Вона зокрема зумовлювала підвищення активності СОД за стресових умов у нестійкого гібрида Аріоссо (див. рис. 1, *a*), істотне посилення накопичення проліну в проростках обох гібридів за сольового стресу, а також сприяла деякому зростанню вмісту цукрів і антоціанів (див. рис. 2).

Ймовірно, такі ефекти запобігали спричинюваному сольовим стресом окиснювальному стресу. Під впливом NaCl вміст перексиду водню в пагонах проростків кукурудзи зростає, а обробка седаксаном знімає такий ефект стресу в обох гібридів (рис. 3).

Зменшення під дією седаксану стрес-індукованого накопичення перексиду водню у проростках може бути пов'язане не лише з посиленням роботи антиоксидантної системи, а й з пригніченням ферментних систем, що генерують АФК. Зокрема, такий ефект може бути наслідком інгібування седаксаном СДГ. Як уже зазначалося, цей фермент нині вважають одним із генераторів АФК у мітохондріях [4]. Раніше ми показали інгібування СДГ під впливом седаксану в проростках пшениці [6]. Також обробка седаксаном зумовлювала зменшення прояву окиснювального стресу в проростків пшениці за дії осмотичного стресу, спричинюваного ПЕГ 6000. Примітно, що такі самі ефекти чинив і інший інгібітор СДГ — малонат [6].

Водночас пригнічення СДГ варто розглядати лише як один з можливих механізмів протекторної дії седаксану. Разом з ним ймовірною причиною зменшення прояву окиснювального стресу може бути посилення функціонування окремих складових антиоксидантної системи. В роботі ми вперше встановили ефект істотного накопичення проліну під впливом седаксану в проростках кукурудзи за умов сольового стресу (див. рис. 2, *a*). Як відомо, пролін крім функції сумісного осмоліту відіграє роль антиоксиданта [18]. Його також розглядають як низькомолекулярний шаперон [19], що може брати участь у підтриманні нативної структури ферментів, у тому числі ан-

тиоксидантних. Пряма антиоксидантна дія проліну може бути зумовлена його здатністю інактивувати гідроксильний радикал. Відповідно до моделі, запропонованої авторами праці [20], молекула проліну по черзі зв'язує два гідроксильні радикали і при цьому перетворюється на Δ^1 -піролін-5-карбонову кислоту, яка за участю НАДФН і Δ^1 -піролін-5-карбоксилатредуктази відновлюється до проліну. У зв'язку з неможливістю знешкодження гідроксильного радикала ферментативними антиоксидантами такий механізм може мати велике значення для захисту клітин від пошкоджень вільними радикалами.

Іншою складовою захисної дії седаксану може бути посилення під його прямим чи опосередкованим впливом фенілпропаноїдного метаболізму [8]. В експериментах ми показали підвищення під його впливом вмісту антоціанів (див. рис. 2, в), які є однією з груп численних продуктів цього метаболічного шляху. Відомо, що антоціани разом з іншими флавоноїдними сполуками вирізняються потужною антиоксидантною дією. Крім здатності безпосередньо реагувати з АФК вони можуть чинити і непрямий антиоксидантний вплив, пов'язаний з утворенням комплексів з іонами металів зі змінною валентністю, чим запобігають неферментативному утворенню АФК [21, 22].

Загалом про вплив седаксану на редокс-метаболізм проростків кукурудзи за умов сольового стресу свідчить відсутність ефекту підвищення вмісту пероксиду водню за сольового стресу в проростках, вирощених із насіння, обробленого цим препаратом. Безумовно, для з'ясування механізму такого впливу необхідні детальніші дослідження як антиоксидантної системи, так і системи генерування АФК, зокрема в мітохондріях. Водночас не виключено, що зміни окремих показників редокс-метаболізму під впливом седаксану зумовлені його непрямыми ефектами. Як уже зазначалось, у рослин пшениці під впливом седаксану зафіксовано зміну експресії сотень генів, причетних не лише до редокс-гомеостазу, а й до процесів гормональної регуляції [7]. Такі зміни можуть істотно впливати на ріст рослин за нормальних і стресових умов. Зважаючи на це, седаксан можна розглядати як ще один штучний інструмент впливу на регуляторні системи рослин.

REFERENCES

1. Zeun, R., Scalliet, G. & Oostendorp, M. (2013). Biological activity of sedaxane — a novel broad-spectrum fungicide for seed treatment. *Pest. Manag. Sci.*, 69, pp. 527-534. <https://doi.org/10.1002/ps.3405>
2. Rheinheimer, J. (2012). Succinate dehydrogenase inhibitors. *Modern Crop Protection Compounds*. Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2, pp. 627-639.
3. Jeschke, P. (2016). Progress of modern agricultural chemistry and future prospects. *Pest. Manag. Sci.*, 72, pp. 433-455. <https://doi.org/10.1002/ps.4190>
4. Huang, S. & Millar, A.H. (2013). Succinate dehydrogenase: the complex roles of a simple enzyme. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 16(3), pp. 344-349. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.02.007>
5. Gleason, C., Huang, S., Thatcher, L., Foley, R.C., Anderson, C.R., Carroll, A.J., Millar, A.H., & Singh, K.B. (2011). Mitochondrial complex II has a key role in mito-

- chondrial-derived reactive oxygen species influence on plant stress gene regulation and defense. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108, pp. 10768-10773. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016060108>
6. Kolupaev, Yu.E., Karpets, Yu.V., Yastreb, T.O. & Firsova, E.N. (2017). Protective effect of inhibitors of succinate dehydrogenase on wheat seedlings during osmotic stress. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 53(3), pp. 353-358. <https://doi.org/10.1134/S0003683817030097> [in Russian].
 7. Ajigboye, O.O., Lu, C., Murchie, E.H., Schlatter, C., Swart, G. & Ray, R.V. (2017). Altered gene expression by sedaxane increases PSII efficiency, photosynthesis and growth and improves tolerance to drought in wheat seedlings. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 137, pp. 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2016.09.008>.
 8. Dal Cortivo, C., Conselvan, G.B., Carletti, P., Barion, G., Sella, L. & Vamerali, T. (2017). Biostimulant effects of seed-applied sedaxane fungicide: morphological and physiological changes in maize seedlings. *Front. Plant Sci.*, 8: 2072. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02072>
 9. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*, 25, pp. 239-250. <https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>
 10. Isayenkov, S.V. (2012). Physiological and molecular aspects of salt stress in plants. *Cytol. Genet.*, 46, pp. 302-318. <https://doi.org/10.3103/S0095452712050040> [in Russian].
 11. Rozentsvet, O.A., Nesterov, V.N. & Bogdanova, E.S. (2017). Structural, physiological, and biochemical aspects of salinity tolerance of halophytes. *Rus. J. Plant Physiol.*, 64(4), pp. 464-477. <https://doi.org/10.1134/S1021443717040112> [in Russian].
 12. Matysik, J., Alia, B., Bhalu, B. & Mohanty, P. (2002). Molecular mechanism of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plant. *Curr. Sci.*, 82, pp. 525-532.
 13. Kolupaev, Yu.E., Firsova, K.M., Shvidenko, M.V. & Yastreb, T.O. (2018). Hydrogen sulfide donor influence on state of antioxidant system of wheat seedlings under osmotic stress. *Fiziol. rast. genet.*, 50, No. 1, pp. 29-38. <https://doi.org/10.15407/frg2018.01.029> [in Ukrainian].
 14. Noguees, S. & Bakerm, N.R. (2000). Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under UV-B radiation. *J. Exp. Bot.*, 51, pp. 1309-1317. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1309>
 15. Bates, L.S., Walden, R.P. & Tear, G.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*, 39(1), pp. 205-210. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 16. Zhao, K., Fan, H., Zhou, S. & Song, J. (2003). Study on the salt and drought tolerance of Suaeda salsa and Kalanchoe claignemontiana under iso-osmotic salt and water stress. *Plant Sci.*, 165(4), pp. 837-844. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00282-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00282-6)
 17. Sagisaka, S. (1976). The occurrence of peroxide in a perennial plant, Populus gelrica. *Plant Physiol.*, 57, pp. 308-309.
 18. Szabados, L. & Savoure, A. (2010). Proline: a multifunctional amino acid. *Trends Plant Sci.*, 15(2), pp. 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2009.11.009>
 19. Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S.K. & Becker, D.F. (2013). Proline mechanisms of stress survival. *Antioxid. Redox Signal.*, 19, pp. 998-1011. <https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
 20. Signorelli, S., Coitino, E.L., Borsani, O. & Monza, J. (2014). Molecular mechanisms for the reaction between OH radicals and proline: insights on the role as reactive oxygen species scavenger in plant stress. *J. Phys. Chem.*, 118(1), pp. 37-47. <https://doi.org/10.1021/jp407773u>
 21. Khlestkina, E.K. (2013). The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals. *Cereal Res. Commun.*, 41, pp. 185-198. <https://doi.org/10.1556/CRC.2013.0004>
 22. Kolupaev, Yu.E. (2016). Plant cell antioxidants and their role in ROS signaling and plant resistance. *Uspekhi Sovrem. Biologii*, 136(2), pp. 181-198 [in Russian].

Received 27.08.2019

ВЛИЯНИЕ СЕДАКСАНА НА СОСТОЯНИЕ АНТИОКСИДАНТНОЙ И ОСМОПРОТЕКТОРНОЙ СИСТЕМ ПРОРОСТКОВ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ СОЛЕВОГО СТРЕССА

М.А. Шкляревский¹, Т.О. Ястреб¹, Н.В. Швиденко¹, А.А. Луговая¹, Ю.В. Карпец¹,
Ю.Е. Колупаев^{1,2}

¹Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

Фунгицид седаксан (смесь *транс*- и *цис*-изомеров N-[2-(1,1'-бициклопропил)-2-ил-фенил]-3-(дифторометил)-1-метил-1-Н-пиразол-4-карбоксамид), относящийся к ингибиторам сукцинатдегидрогеназы, вызывает у растений широкий спектр физиологических реакций, связанных с изменениями гормонального баланса и экспрессии большого количества генов. Исследовали влияние этого фунгицида на устойчивость проростков кукурузы (*Zea mays* L.) гибридов Ариоссо и Ротанго к солевому стрессу (проращивание семян на 100 мМ растворе NaCl). Гибрид Ротанго отличался более высокой солеустойчивостью по сравнению с гибридом Ариоссо, что проявлялось в меньшем угнетении роста побегов и корней в условиях солевого стресса. Прайминг семян седаксаном в концентрации 0,1 мг/мл существенно смягчал негативное влияние солевого стресса на линейный рост и накопление биомассы проростков. При этом обработка седаксаном проростков гибрида Ариоссо при солевом стрессе усиливала рост как побегов, так и корней, а гибрида Ротанго — только побегов. Для гибрида Ротанго в стрессовых условиях были характерны более высокие значения активности супероксиддисмутазы (СОД) и гваяколпероксидазы в побегах по сравнению с таковыми у гибрида Ариоссо. Под влиянием седаксана при действии солевого стресса у гибрида Ариоссо повышалась активность СОД. Активность других антиоксидантных ферментов (каталазы, гваяколпероксидазы) в вариантах с праймингом семян седаксаном у обоих гибридов почти не изменялась. Обработка седаксаном семян обоих гибридов существенно усиливала накопление пролина и вызывала тенденцию к повышению содержания сахаров и антоцианов при действии NaCl. Седаксан также устранял вызываемое соевым стрессом повышение содержания пероксида водорода в побегах проростков обоих генотипов. Сделан вывод, что одной из причин повышения солеустойчивости кукурузы при действии седаксана может быть усиление накопления низкомолекулярных антиоксидантов и осмолитов.

Ключевые слова: *Zea mays* L., седаксан, солевой стресс, устойчивость, активные формы кислорода, антиоксидантная система, осмопротекторная система.

INFLUENCE OF SEDAXANE ON STATE OF ANTIOXIDATIVE AND OSMOPROTECTIVE SYSTEMS OF CORN SEEDLINGS UNDER CONDITIONS OF SALT STRESS

М.А. Shkliarevskiy¹, Т.О. Yastreb¹, М.В. Shvidenko¹, G.A. Lugova¹, Yu.V. Karpets¹,
Yu.E. Kolupaev^{1,2}

¹V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University

p/o Dokuchaevske-2, Kharkiv, 62483, Ukraine

e-mail: plant_biology@ukr.net

²V.N. Karazin Kharkiv National University

4 Svoboda Square, Kharkiv, 61022, Ukraine

Fungicide Sedaxane (mix of *trans*- and *cis*-isomers of N-[2-(1,1'-bicyclopropyl)-2-yl-phenyl]-3-(difluoromethyl)-1-methyl-1-H-pyrazole-4-carboxamide), relating to inhibitors of succinate dehydrogenase, causes the wide spectrum of physiological reactions related to the shifts of hormonal balance and to the change of expression of large amount of genes in plants. Its influence on the resistance of corn (*Zea mays* L.) seedlings of hybrids Ariosso and Rotango to the salt stress (germination of seeds on 100 mM NaCl solution) have been inves-

tigated. Hybrid Rotango differed by higher salt resistance in comparison with the hybrid Ariosso that was revealed in smaller oppression of growth of shoots and roots under conditions of salt stress. Priming of seeds with Sedaxane in concentration of 0.1 mg/ml significantly softened the negative impact of salt stress on the linear growth and accumulation of seedlings biomass. At the same time the treatment with Sedaxane increased the growth of both shoots and roots in seedlings of hybrid Ariosso under the salt stress, and only shoots in hybrid Rotango. Higher value of superoxide dismutase (SOD) and guaiacol peroxidase activity in shoots under stress conditions were characteristic to hybrid Rotango in comparison with those for the hybrid Ariosso. Under the influence of Sedaxane at the impact of salt stress SOD activity increased in the seedlings of hybrid Ariosso. Activity of other antioxidant enzymes (catalase and guaiacol peroxidase) in variants with priming of seeds with Sedaxane in both hybrids almost did not change. Treatment of seeds of both hybrids with Sedaxane significantly increased the accumulation of proline and caused the tendency to increase in content of carbohydrates and anthocyanins under the action of NaCl. Sedaxane also eliminated the increase in content of hydrogen peroxide affected by the salt stress in shoots of seedlings of both genotypes. It was concluded that the intensifying of accumulation of low-molecular antioxidants and osmolytes under the influence of Sedaxane can be one of the causes of increase in the salt resistance of corn.

Key words: *Zea mays* L., Sedaxane, salt stress, resistance, reactive oxygen species, antioxidative system, osmoprotective system.