

УДК 581.9:581.524.1

АКЛІМАЦІЯ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ДО ПОСУХИ ПІСЛЯ ОБРОБКИ НАСІННЯ АЛЕЛОПАТИЧНО АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Н.П. ДІДИК, О.В. ЗАКРАСОВ, Н.В. РОСІЦЬКА, І.П. ХАРИТОНОВА

*Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка Національної академії наук України
01014 Київ, вул. Тимірязевська, 1
e-mail: natasha_didyk@mail.ru*

Вивчали послідовну дію алелопатичного чинника та ґрунтової посухи на фізіологічні процеси в проростках кукурудзи (*Zea mays* L., гібрид Фаворит). Алелопатичний чинник моделювали обробкою насіння сумішшю органічних кислот. Встановлено явище крос-адаптації проростків кукурудзи до посухи після обробки низькими дозами алелохімікатів: підвищувались схожість насіння, показники росту, вміст флавоноїдів; показники водного обміну та активність каталази за ґрунтової посухи меншою мірою відхилялись від норми. Ефект від обробки насіння сумішшю органічних кислот залежав від рівня вологості ґрунту. Алелопатична активність ґрунту й водних екстрактів із надземних частин проростків кукурудзи позитивно корелювала з рівнем вологості ґрунту. Для коренів ця залежність була протилежною.

Ключові слова: кукурудза, алелопатичний чинник, ґрунтова посуха, захисні реакції, крос-адаптація.

Підвищення стійкості рослин до несприятливих умов навколишнього середовища — одне з найактуальніших завдань сучасної фітофізіології. Дослідження в цій галузі зосереджені головним чином на фізіологічних реакціях рослинного організму на одиничні стресові чинники. В багатьох працях розглянуто можливість преадаптації, тобто підвищення стійкості рослин до несприятливих умов у відповідь на слабкі стресові чинники тієї чи іншої природи [4, 5, 8, 9]. Лише окремі повідомлення присвячені їх сумісній або послідовній дії [8, 9]. Однак відомо, що в польових умовах на рослини впливають кілька стресових чинників різної природи, тому дослідження взаємодії між ними необхідні для з'ясування адаптаційної відповіді рослин.

Метою нашої роботи було дослідження фізіологічних змін у проростках кукурудзи у відповідь на послідовну дію алелопатичного чинника та дефіциту ґрунтової вологи залежно від інтенсивності дії цих стресорів.

Методика

Об'єктом наших досліджень була кукурудза (*Zea mays* L., гібрид Фаворит) — одна з найпоширеніших і цінних зернових культур. Завдяки здатності до фотосинтезу за типом C_4 , ефективному використанню елементів живлення, екологічній пластичності та високим кормовим якостям кукурудза посідає одне з чільних місць у світовому землеробстві.

Алелопатичний чинник моделювали замочуванням насіння кукурудзи на фільтрувальному папері, зволоженому водним розчином суміші органічних кислот (корична, салцилова, аскорбінова у співвідношенні 1 : 1 : 1) концентраціями 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} М у чашках Петрі протягом 3 год. Після цього насіння висівали в сірий опідзолений ґрунт по 8 шт. у вегетаційні посудини місткістю 0,2 л. Попередньо ґрунт просіювали через 2 мм сито і стерилізували в сушильній шафі при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вологість субстрату підтримували гравіметричним методом на рівні 20, 40 і 60 % повної фізичної вологоємності (ПВ) з моменту висівання. Рослини кукурудзи культивували за температури $22\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$, розсіяного сонячного світла, відносної вологості повітря 60–75 % протягом трьох тижнів. Життєвий стан рослин оцінювали за такими показниками: схожість насіння, маса сухої речовини надземних частин і коренів проростків, відносний вміст води, водний дефіцит у листках, вміст флавоноїдів у листках, активність каталази в надземних частинах.

Кількість пророслого насіння кукурудзи підраховували на 3–5-ту добу після висівання. Морфометричні та фізіолого-біохімічні показники життєвого стану рослин оцінювали наприкінці досліду. Вміст води і водний дефіцит визначали гравіметричним методом [1]. Активність каталази встановлювали методом Баха й Опаріна [6] за вмістом пероксиду водню, що розклався під дією ферменту. У контрольному зразку каталазу інактивували сірчаною кислотою. У дослідному — частина пероксиду водню розкладалась під дією ферменту, а решту визначали титруванням перманганатом калію в кислому середовищі. Кількість пероксиду водню, що розклався під дією ферменту, обчислювали за різницею між дослідним і контрольним зразками. Флавоноїди екстрагували 70 %-м етанолом. Їх кількісний вміст визначали на спектрофотометрі «Spekol 11» («Carl Zeiss», Jena, Germany) за якісною реакцією з хлоридом алюмінію, розчиненим у 95 %-му етанолі до 2 % [7].

Алелопатичну активність прикореневого ґрунту оцінювали методом прямого біотестування [2] на прирості коренів крес-салату (*Lepidium sativum* L.). Алелопатично активні речовини з надземних частин і коренів екстрагували дистильованою водою, їх біологічну активність оцінювали методом біотестування на прирості коренів крес-салату [3].

Повторність дослідів — чотириразова, повторення — триразове. Результати дослідження оброблено статистично методами описової статистики та однофакторного дисперсійного аналізу за допомогою програм Statistica 10.0 та Microsoft Office Excel 2007.

Результати та обговорення

Рівень вологості ґрунту істотно впливав на досліджені показники фізіологічного стану проростків кукурудзи. За умов ґрунтової посухи (20 % ПВ) у рослинах кукурудзи виявлено гальмування схожості насіння, росту пагонів, підвищення активності каталази, зниження вмісту флавоноїдів, а також порушення водного обміну: втрату води тканинами листків, збільшення водного дефіциту порівняно з рослинами, які вирощували за вологості 40 та 60 % ПВ (таблиця). Коренева система розвивалась краще за дефіциту вологи (20 і 40 % ПВ) порівняно з максимальним зволоженням (60 % ПВ). Найвищі показники росту надземних частин і вмісту флавоноїдів у листках проростків кукурудзи спостерігали за 40 % ПВ. Фітотоксичність ґрунту позитивно корелювала з рівнем

Зміни фізіологічних реакцій проростків кукурудзи залежно від обробки насіння різними дозами аелохімікатів та подальшої експозиції проростків на ґрунті різної вологості (в розрахунку на 1 рослину)

Вологість ґрунту, % ПВ	Концентрація аелохімікації, М	Показник фізіологічного стану проростків кукурудзи										Алелопатична активність, приріст коренів крес-салату, % контролю	
		Схожість насіння, %	Відносний вміст води, %	Водний дефіцит, %	Висота рослини, мм	Площа поверхні листків, см ²	Маса коренів, мг	Маса надземної частини, мг	Активність каталази, мкмоль Н ₂ О ₂ /(хв · г речовини листків)	Вміст флавоноїдів, % сухої речовини листків	ґрунту	водних екстрактів із надземних частин	водних екстрактів із коренів
20	0	43	87,2	58,2	142,6	15,8	45,8	45,1	12,5	0,122	120	99	103
20	10 ⁻⁵	65	92,3	31,6	194,5	24,9	47,0	47,0	4,2	0,164	74	73	45
20	10 ⁻⁴	63	91,2	39,2	178,8	23,1	43,4	48,8	4,2	0,160	89	69	71
20	10 ⁻³	68	90,4	45,1	187,3	22,9	50,4	46,3	4,2	0,160	105	67	70
40	0	90	90,2	31,3	234,1	34,5	44,6	59,2	6,7	0,162	98	71	96
40	10 ⁻⁵	83	94,4	18,5	245,8	32,8	50,4	68,2	7,0	0,135	77	62	56
40	10 ⁻⁴	73	94,4	18,0	245,1	37,7	46,7	66,6	6,5	0,144	72	58	88
40	10 ⁻³	70	94,5	21,6	244,9	32,5	45,0	78,9	6,3	0,141	98	75	84
60	0	85	94,9	12,6	195,6	26,5	35,0	55,0	8,5	0,143	87	43	62
60	10 ⁻⁵	75	94,4	5,7	195,8	36,9	45,0	57,5	8,5	0,141	66	74	80
60	10 ⁻⁴	95	94,7	4,6	223,5	34,6	41,2	61,7	7,7	0,159	63	60	94
60	10 ⁻³	98	94,8	9,5	245,8	36,3	43,3	56,7	8,2	0,190	53	73	70
НП		3,3	1,9	2,8	3,1	2,4	3,0	2,3	2,7	0,03	2,2	3	5

грунтової вологи (коефіцієнт кореляції $R = 0,30$, обсяг вибірки $n = 576$, вірогідний за $P_{0,05}$) й набувала максимальних значень за 60 % ПВ. Це може бути однією з причин погіршення показників росту проростків і підвищення активності каталази в надземних частинах кукурудзи в цих варіантах порівняно з рослинами, які вирощували за вологості 40 % ПВ. Алелопатична активність водних екстрактів із надземних частин проростків кукурудзи також позитивно корелювала з вологістю та фітотоксичністю ґрунту ($R = 0,13$ та $0,24$ відповідно). Для алелопатичної активності водних екстрактів із коренів не виявлено вірогідної залежності від цих чинників. З урахуванням алелопатичних особливостей рослин кукурудзи можна дійти висновку, що вирощування цієї культури за помірної вологості ґрунту є оптимальним, оскільки підвищення вологості субстрату може призводити до зростання його фітотоксичності.

Обробка насіння сумішшю алелохімікатів вірогідно ($P_{0,05}$) стимулювала ріст надземних частин і коренів, а також поліпшувала показники водного режиму в листках проростків кукурудзи за всіх рівнів вологості ґрунту. За вологості 20 % ПВ спостерігали також зниження активності каталази та зростання вмісту флавоноїдів у листках проростків, оброблених сумішшю алелохімікатів (див. таблицю). Ефект не залежав від концентрації суміші. Це свідчило про можливий сигнальний характер дії досліджених алелохімікатів на захисні антиоксидантні системи в проростках кукурудзи. За вологості 40 і 60 % ПВ ефект від обробки сумішшю алелохімікатів був дещо іншим: активність каталази не змінювалась; вміст флавоноїдів вірогідно знижувався за вологості ґрунту 40 % ПВ і підвищувався за вологості 60 % ПВ. Очевидно, це свідчило про адаптивні зміни антиоксидантних систем проростків кукурудзи у відповідь на зростання фітотоксичності субстрату. Індукцію толерантності у проростків огірка до фітотоксичних алелохімікатів після попередньої обробки низькими дозами фенолокарбонових кислот досліджено також у праці [9].

Згідно з отриманими нами даними, обробка насіння алелопатично активними речовинами вірогідно ($P_{0,05}$) впливала на алелопатичну активність ґрунту та коренів проростків кукурудзи. Остання знижувалась пропорційно дозі алелохімікатів.

Отже, передпосівна обробка насіння кукурудзи сумішшю алелохімікатів сприяла зниженню подальшого негативного впливу ґрунтової посухи на фізіологічний стан проростків. Ефект позитивно залежав від їх концентрації для дослідженого діапазону. Це свідчило про крос-адаптацію рослин за послідовної дії слабого алелопатичного стресу та дефіциту ґрунтової вологи. Крім того, обробка насіння кукурудзи сумішшю алелохімікатів сприяла зниженню подальшого негативного впливу фітотоксичності ґрунту, яка очевидно була наслідком розвитку несприятливої ґрунтової мікрофлори за максимальної вологості субстрату. Одним із можливих механізмів явища крос-адаптації може бути стимулювання активності систем антиоксидантного захисту (активності каталази та вмісту флавоноїдів). Відомо, що зростання активності антиоксидантів є поширеним вторинним ефектом дії багатьох алелопатично активних речовин [10]. Можливість крос-адаптації тест-рослин до несприятливих абіотичних (високі та низькі температури, посуха, сольовий стрес) і біотичних чинників після передпосівної обробки насіння низькими дозами саліцилової кислоти досліджено в працях [4, 5].

У нашому досліді ефект від обробки насіння сумішшю алетохімікатів змінювався залежно від рівня вологості ґрунту. У працях інших авторів показано, що вплив алетопатичного чинника може змінюватись уздовж градієнта інших стресових чинників. Так, показано, що температурний стрес призводить до зростання фітотоксичного впливу ферулової кислоти на проростки сої та сорго [8].

Отримані нами результати, а також дані інших авторів [4, 5, 9] свідчать про складні взаємодії між різними типами стресових впливів на фізіологічні показники рослинного організму, кінцевий результат яких не можна передбачити шляхом простого додавання ефектів окремих чинників. Тому для розуміння адаптаційної реакції рослин у тих чи інших умовах середовища необхідно враховувати можливі фізіологічні взаємодії різних типів стресових впливів.

1. Григорюк И.А., Ткачев В.И., Савинский С.В., Мусиенко Н.Н. Современные методы исследований и оценки засухо- и жароустойчивости растений: Метод. пособие. — Киев: Наук. світ, 2003. — 139 с.
2. Гродзинский А.М., Кострома Е.Ю., Шроль Т.С., Хохлова И.Г. Прямые методы биотестирования почвы и метаболитов микроорганизмов // Аллелопатия и продуктивность растений. — Киев: Наук. думка, 1990. — 148 с.
3. Гродзинский А.М. Основы химической взаимодействия растений. — К.: Наук. думка, 1973. — 205 с.
4. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Салициловая кислота и устойчивость растений к абиотическим стрессорам // Вісн. Харків. аграр. ун-ту. Сер. Біологія. — 2009. — Вип. 2, № 17. — С. 19—39.
5. Коц Г.П., Ястреб Т.О., Швиденко Н.В. и др. Влияние экзогенных салициловой и янтарной кислот на устойчивость растений проса к абиотическим и биотическим стрессорам // Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту. Сер. Біологія. — 2012. Вип. 1, № 25. — С. 32—38.
6. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. — 3-е изд., доп. и перераб. — М.: Агропромиздат, 1985. — 255 с.
7. Фитохимический анализ лекарственного растительного сырья. Методические указания к лабораторным занятиям. — СПб., 1998. — С. 30—35.
8. Einhellig F.A., Eckrich D.C. Interactions of temperature and ferulic acid stress on grain sorghum and soybean // J. Chem. Ecol. — 1984. — 10. — P. 161—170.
9. Lehman M.E., Blum U. Influence of pretreatment stresses on inhibitory effects of ferulic acid, an allelopathic phenolic acid // Ibid. — 1999. — 25. — P. 1517—1529.
10. Weir T.L., Park S.-W., Vivanco J.M. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals // Curr. Opin. Plant Biol. — 2004. — 7. — P. 472—479.

Отримано 16.04.2014

АККЛИМАЦИЯ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ К ЗАСУХЕ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ СЕМЯН АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Н.П. Дидык, О.В. Закрасов, Н.В. Росицкая, И.П. Харитонова

Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко Национальной академии наук Украины, Киев

Изучали последовательное действие аллелопатического фактора и почвенной засухи на физиологические процессы в проростках кукурузы (*Zea mays* L., гибрид Фаворит). Аллелопатический фактор моделировали обработкой семян смесью органических кислот. Установлено явление кросс-адаптации проростков кукурузы к засухе после обработки низкими дозами аллелохимикатов: повышались всхожесть семян, показатели роста, содержание флавоноидов; показатели водного обмена и активность каталазы при почвенной засухе в меньшей мере отклонялись от нормы. Эффект от обработки семян смесью органических кислот зависел от уровня влажности почвы. Аллелопатическая активность почвы и водных экстрактов из надземных частей проростков кукурузы положительно коррелировала с уровнем влажности почвы. Для корней эта зависимость была противоположной.

ACCLIMATION OF CORN PLANTS TO DROUGHT STRESS AFTER A
PRETREATMENT WITH ALLELOCHEMICALS

N.P. Didyk, O.V. Zakrasov, N.V. Rositska, I.P. Kharitonova

M.M. Gryshko National Botanical Garden, National Academy of Sciences of Ukraine
1 Tymiryazevska St., Kyiv, 01014, Ukraine

The effect of consecutive exposure to allelopathic factor and soil drought on physiological processes in maize seedlings (*Zea mays* L., hybrid Favorit) was studied. Allelopathic factor was modeled by treatment of seeds with a mixture of organic acid (cinnamic, salicylic and ascorbic acids 1 : 1 : 1) at concentrations of 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} M. Control seeds were treated with distilled water. Afterwards, the seeds were planted in pots with grey-podzol soil and cultivated at soil moisture level of 20, 40 and 60 % of total capacity. The phenomenon of cross-adaptation of maize seedlings to drought after treatment with low doses of allelochemicals was established. The indices of seed germination, growth and the content of flavonoids increased, characteristics of water balance and catalase activity less deviated from the control under soil drought. The effect of seed treatment with a mixture of allelochemicals changed depending on the soil moisture. The allelopathic potential of the soil and water extracts of shoots of maize seedlings positively correlated with soil moisture level. For roots the opposite tendency was observed.

Key words: maize, allelopathic factor, soil drought, defense reactions, cross-adaptation.