УДК [631.563:634.21]:678.048

ФОРМУВАННЯ АНТИОКИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ГАРБУЗОВИХ ПЛОДОВИХ ОВОЧІВ ПІД ВПЛИВОМ АБІОТИЧНИХ ФАКТОРІВ

О. П. Прісс, кандидат сільськогосподарських наук
В. В. Калитка, доктор сільськогосподарських наук
Таврійський державний агротехнологічний університет

Досліджено вплив температури та опадів на формування компонентів антиокислювального комплексу плодів огірка та кабачка. Встановлено, що визначальний вплив на формування антиокислювального комплексу гарбузових овочів має сума активних температур за період вегетації, зокрема за 10 днів до збору врожаю, де коефіцієнт кореляції залежно від показника становить від 0,62 до 0,97. Ключову роль у системі антиоксидантного захисту в плодах огірка має аскорбінова кислота, а антиокислювальна система плодів кабачка підтримується за рахунок усіх досліджених компонентів антиокислювального комплексу.

Антиокислювальний комплекс, аскорбінова кислота, фенольні речовини, каротиноїди, цукри, малоновий діальдегід, абіотичні фактори, опади, температура.

У період вегетації на рослину діють різноманітні абіотичні фактори. Залежно від інтенсивності та тривалості дії, деякі з них можуть виступати як стресори. Під час вирощування плодових овочів у південному Степу такими факторами є підвищена температура та недостатнє вологозабезпечення. Якщо нестачу вологи можна компенсувати зрошенням, то вплив на рослини високих температур залишається найпоширенішим стресором не тільки для України, а й для 40 відсотків територій помірного клімату Землі [13].

За дії абіотичних стресорів активується генерування активних кисневих радикалів, неконтрольоване утворення яких може бути причиною пошкодження мембранних структур клітин, порушення нормального метаболізму, і як наслідок, зниження продуктивності рослин [12]. Для протидії цим негативним процесам у клітинах повинні утворюватися й нагромаджуватися стрес-лімітуючі речовини, серед яких важливе значення має комплекс тканинних антиоксидантів: фенольні сполуки, каротиноїди, аскорбінова кислота, деякі амінокислоти, моно- й дисахариди [1, 7]. Однак питання формування антиокислювального комплексу в тканинах плодових овочів під впливом абіотичних факторів залишається відкритим. Не встановлена також інтенсивність перекисних процесів у тканинах плодових овочів залежно від умов навколишнього середовища.

Мета дослідження – виявити вплив температури та опадів на формування антиокислювального комплексу в плодах огірка й кабачка та інтенсивність процесів пероксидації.

Матеріали і методи дослідження. Експеримент проводили в 2008–2012 роках на базі лабораторій НДІ Агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь). Польові досліди з вирощування

© О.П. Прісс, В.В. Калитка, 2013

кабачка гібрида Кавілі та огірка гібрида Афіна проводили в умовах відкритого ґрунту в агропідприємствах Мелітопольського району Запорізької області на краплинному зрошенні. Агротехніка на дослідних ділянках загальноприйнята для зони сухого Степу. Щоденні метеорологічні дані за період досліджень зібрані на Мелітопольській метеостанції.

Визначення показників антиокислювального комплексу проводили за такими методами: вміст фенольних речовин за допомогою реактиву Фоліна-Деніса [10]; вміст аскорбінової кислоти за відновленням реактиву Тільманса [6]; масову концентрацію цукрів фериціанідним методом [9]; вміст каротиноїдів шляхом екстрагування пігментів ацетоном з наступним визначенням їх оптичної густини [4]. Інтенсивність процесів пероксидації оцінювали за рівнем малонового діальдегіду (МДА), який є основним маркером оксидативного стресу [14]. Вміст МДА визнали спектрофотометрично за реакцією з тіобарбітуровою кислотою [4].

Математичну обробку результатів досліджень виконували за Б. А. Доспеховим [2] і комп'ютерною програмою Microsoft Office Excel 2003.

Результати дослідження та їх аналіз. Сума активних температур (САТ) за період вегетації огірків коливалась від 675,5 єС (2011) до 1173,4єС (2012) залежно від року дослідження (табл. 1).

1. Метеорологічні показники в роки досліджень

Рік дослід-жень	САТ періоду вегетації, єС		САТ за 10 днів до збору врожаю, єС		Кількість опадів за період вегетації, мм		ГТК періоду вегетації	
	огірки	кабачки	огірки	кабачки	огірки	кабачки	огірки	кабачки
2008	1053,1	1355,8	145,0	217,0	94,4	10,3	0,90	0,08
2009	987,3	1261,1	208,2	208,2	34,8	50,4	0,35	0,40
2010	1104,6	1370,2	201,4	201,4	14,8	16,3	0,13	0,12
2011	675,5	1188,4	128,1	145,4	69,6	56,1	1,03	0,47
2012	1173,4	1253,3	212,3	239,3	16,6	16,6	0,14	0,13

Для кабачків сума температур у роки досліджень змінювалась у значно вужчому діапазоні – 1188,4–1370,2 ^{o}С. У період формування плодів обох видів найбільш помірними температурами відзначався 2011 рік, а найбільш високими 2012 рік. Максимальна кількість опадів за період вегетації огірків (94,4 мм) спостерігалась у 2008 році, мінімальна (14,8 мм) у 2010 році. За період вегетації кабачків найбільша кількість опадів (56,1 мм) була відмічена в 2011 році, а найменша (10,3 мм) у 2008. Загалом за роки досліджень, два роки (2010, 2012) були дуже посушливими для огірків і три роки (2008, 2010, 2012) для кабачків (ГТК не перевищував 0,14).

Такі гарбузові овочі, як кабачки та огірки не вирізняються високим вмістом аскорбінової кислоти, однак вона забезпечує надійність та універсальність антиоксидантного захисту тонопласту вакуолі, оскільки є пасткою для перекисних радикалів й одночасно субстратом антиоксидантних ферментів [5].

За результатами наших досліджень, плоди огірка гібриду Афіна накопичують залежно від року досліджень від 5,01 до 8,49 мг/100 г аскорбінової кислоти й у середньому цей показник складає близько 6,93 мг/100г продукту (табл. 2).

2. Компоненти антиоксидантного захисту тканин плодів огірка, M±m, n=5

Рік досліджень	Аскорбінова кислота, мг/100г	Фенольні речовини, мг/100г	Каротиноїди, мг/100г	Цукри, мг/100г	МДА, нмоль/г
2008	8,16±0,55	23,38±2,30	3,12±0,30	2,12±0,30	34,12±0,92
2009	7,12±0,62	31,96±3,81	2,98±0,43	2,86±0,29	32,17±1,37
2010	5,86±0,46	24,18±2,32	3,20±0,48	3,26±0,40	34,65±0,91
2011	8,49±0,65	19,22±2,84	2,82±0,44	1,87±0,29	27,48±1,20
2012	5,01±0,43	34,44±4,71	3,60±0,16	3,81±0,25	38,6±1,32
$НІР_{095}$	0,73	4,42	0,47	0,40	1,68

Найбільший фонд аскорбінової кислоти формується в плодах огірка в роки достатнього зволоження (ГТК 0,90–1,03), тоді як у посушливі роки (ГТК 0,13–0,14) рівень накопичення аскорбінової кислоти знижується майже на 40 %. Це свідчить про підвищене залучення цього біоантиоксиданта в процеси антиоксидантного захисту тканин плоду за несприятливих умов середовища. Підтвердженням цього є підвищений рівень МДА в плодах огірків у посушливі роки.

Кабачки гібриду Кавілі містили практично вдвічі більше аскорбінової кислоти, ніж огірки, у середньому за роки досліджень 13,41 мг/100 г продукту. Коливання цього показника за роками були більш суттєві – 7,33–18,83 (табл. 3). Окрім того, найменший фонд аскорбінової кислоти в плодах кабачка формується за дії високих температур у період формування плодів (2012 р.). Між рівнем аскорбінової кислоти та кількістю опадів за період вегетації спостерігається сильна пряма кореляційна залежність як для плодів огірка (r = 0,88), так і для плодів кабачка (r = 0,80) (табл. 4, 5).

Фонд аскорбінової кислоти в плодах огірка знаходиться в сильній оберненій залежності від суми активних температур як за період вегетації, так і за період формування плодів (r = –0,77; –0,87). Для плодів кабачка кореляційна залежність між фондом аскорбінової кислоти й САТ за період формування плодів послаблюється (r = – 0,62), а з САТ за весь період вегетації стає несуттєвою (r = –0,27). Наявність сильного оберненого кореляційного зв'язку (r = –0,83) між фондом аскорбінової кислоти й вмістом МДА в плодах огірка вказує на ключову роль цього біоантиоксиданта у системі антиоксидантного захисту тканин від пероксидації. Для плодів кабачка такої залежності не встановлено (r = 0,36) і, ймовірно, антиоксидантні властивості аскорбінової кислоти в цих плодах проявляються значно менше.

3. Компоненти антиоксидантного захисту плодів кабачка, M±m, n=5

Рік досліджень	Аскорбінова кислота, мг/100г	Фенольні речовини, мг/100г	Каротиноїди, мг/100г	Цукри, мг/100г	МДА, нмоль/г
2008	11,32±1,05	14,75±0,39	1,08±0,11	3,93±0,21	32,18±1,64
2009	18,83±1,30	14,15±1,64	0,89±0,08	3,64±0,20	26,11±1,62
2010	13,38±1,09	10,38±1,49	0,71±0,07	3,64±0,16	30,29±1,34
2011	16,20±0,94	9,22±0,53	0,68±0,06	3,12±0,14	18,61±1,20
2012	7,33±0,45	16,68±1,67	0,90±0,04	3,96±0,20	25,98±1,25
$НІР_{095}$	1,44	1,76	0,09	0,27	2,03

4. Коефіцієнти кореляції парних зв'язків для плодів огірка

Показник	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1	–0,49	0,74	–0,77	0,66	0,84	0,78	0,96
X2	–0,49	1	–0,88	–0,87	0,84	0,62	0,92	0,69
X3	0,74	–0,88	1	0,88	–0,62	–0,54	–0,89	–0,50
X4	–0,77	–0,87	0,88	1	–0,71	–0,86	–0,99	–0,83
X5	0,66	0,84	–0,62	–0,71	1	0,67	0,80	0,71
X6	0,84	0,62	–0,54	–0,86	0,67	1	0,84	0,96
X7	0,78	0,92	–0,89	–0,99	0,80	0,84	1	0,83
X8	0,96	0,69	–0,50	–0,83	0,71	0,96	0,83	1

Примітка. X1 – САТ періоду вегетації, X2 – САТ за 10 днів до збору, X3– опади за вегетаційний період, X4 – аскорбінова кислота, X5 – фенольні речовини, X6 – каротиноїди, X7 – цукри, X8 – МДА.

5. Коефіцієнти кореляції парних зв'язків для плодів кабачка

Показник	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
X1	1	0,49	–0,79	–0,27	0,37	0,37	0,59	0,95
X2	0,49	1	–0,71	–0,62	0,97	0,67	0,97	0,70
X3	–0,79	–0,71	1	0,80	–0,71	–0,49	–0,82	–0,82
X4	–0,27	–0,62	0,80	1	–0,72	–0,36	–0,69	0,36
X5	0,13	0,89	–0,46	–0,55	1	0,73	0,97	0,61
X6	0,37	0,67	–0,49	–0,36	0,73	1	0,78	0,61
X7	0,59	0,97	–0,82	–0,69	0,97	0,78	1	0,79
X8	0,95	0,70	–0,82	0,36	0,61	0,61	0,79	1

Примітка. Показники X1… X8 як і в табл. 4.

За антиокислювальною активністю фенольні речовини не поступаються аскорбіновій кислоті чи α–токоферолу [1]. Окрім того, функції фенольних сполук у рослинних клітинах не зводяться лише до антиоксидантної дії [3].

Наші дослідження показують, що найбільша кількість фенолів накопичується у плодах гарбузових овочів у роки з мінімальною кількістю опадів за великих значень суми активних температур. Між кількістю опадів та фондом фенольних речовин у плодах огірка та кабачка виявляється обернений зв'язок середньої сили (r =–0,46; –0,62) (табл. 4, 5). Між САТ за 10 днів до збору плодів і кількістю фенольних речовин встановлено сильну пряму залежність (r = –0,84; –0,89). Між фондом фенольних речовин і аскорбінової кислоти в плодах огірків встановлено стабільний сильний обернений кореляційний зв'язок (r =–0,71; –0,72), тому можна припустити, що ці антиоксиданти в плодах огірка виявляють компенсаторну дію щодо один одного, підтримуючи тим самим прооксидантно-антиоксидантну рівновагу клітин[и].

Певну роль у здатності рослин до швидкої адаптації відіграють низькомолекулярні полієнові сполуки – каротиноїди [11]. Плоди огірка в цілому накопичують у три-чотири рази більше каротиноїдів, ніж кабачки. Отримані дані свідчать, що фонд каротиноїдів головним чином залежить від температурних показників. Для плодів огірка встановлено сильний прямий кореляційний зв'язок (r =0,84) між накопиченням каротиноїдів та САТ за весь період вегетації, тоді як для плодів кабачка залежність середньої сили існує між рівнем каротиноїдів та САТ за 10 днів до збору плодів. Наявність сильного оберненого кореляційного зв'язку між вмістом каротиноїдів та аскорбінової

кислоти (r = –0,86) для плодів огірка й відсутність такого зв'язку (r = –0,36) для плодів кабачка свідчить про реалізацію різних механізмів антиоксидантного захисту.

В умовах окислювального стресу неспецифічними антиокислювальними властивостями володіють цукри. Вони мають здатність перехоплювати короткоживучі радикали, виконуючи роль низькомолекулярних антиоксидантів [7, 8]. Формування фонду цукрів у плодах гарбузових овочів прямо корелює з температурою й обернено з опадами періоду вегетації. Кореляція на рівні r =0,92; 0,97 спостерігається між кількістю накопичених цукрів та САТ за 10 днів до збору плодів. Сильний зв'язок кількості опадів та вмісту цукрів виявляється як для огірків (r = –0,89), так і для кабачків (r =–0,82). Крім того, кількість накопичених цукрів знаходиться в сильній прямій залежності з рівнем накопичених фенольних речовин та каротиноїдів, що характерно для обох видів гарбузових плодів. Сильний зв'язок оберненої направленості існує між кількістю цукрів та рівнем аскорбінової кислоти, де коефіцієнт кореляції для плодів огірка сягає –0,99.

У цілому антиоксидантний статус досліджуваних плодів формується й підтримується майже однотипово, про що свідчить схожий характер кореляційних зв'язків між інтенсивністю процесів пероксидації та іншими досліджуваними показниками. Головна особливість полягає в тому, що для плодів огірка ключову роль в антиокислювальному комплексі відіграє аскорбінова кислота.

Висновки. Формування антиокислювального комплексу гарбузових овочів відбувається в сильній залежності від таких абіотичних факторів, як температура та опади. Під час вирощування гарбузових овочів визначальний вплив на формування антиокислювального комплексу гарбузових овочів має сума активних температур за 10 днів до збору врожаю, де коефіцієнт кореляції залежно від показника становить від 0,62 до 0,97. Наявність сильного оберненого кореляційного зв'язку (r = –0,83) між фондом аскорбінової кислоти й вмістом МДА в плодах огірка вказує на ключову роль цього біоантиоксиданта в системі антиоксидантного захисту тканин від пероксидації. Наявність сильного оберненого кореляційного зв'язку між вмістом каротиноїдів та аскорбінової кислоти (r = –0,86) для плодів огірка й відсутність такого зв'язку (r = –0,36) для плодів кабачка свідчить про реалізацію різних механізмів антиоксидантного захисту.

Список літератури

1. Биоантиоксиданты растительного происхождения и их участие в защите клеток от окислительного стресса / [Олениченко Н. А., Гончарук Е. А., Николаева Т. Н. и др.] // Биоантиоксидант: VIII междунар. конф., 4–6 окт. 2010 г.: тезисы докл. – М. : РУДН, 2010. – С. 348–349.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Кретович В. А. Биохимия растений / В. А. Кретович. – М. : Высшая школа, 1986. – 503 с.
4. Мусієнко М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т. В. Паршикова, П. С. Славний. – К. : Фітосоціоцентр. – 2001. – 200 с.
5. Мхітарян Л. С. Окислювальний стрес: механізми розвитку і роль в патології / Л. С. Мхітарян, О. Б. Кучменко. – К. : НПУ ім. М.П. Драгоманова – 2004. – 223 с.

6. Найченко В. М. Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства / В. М. Найченко. – К. : ФАДА ЛТД, 2001. – 211 с.
7. Синькевич М. С. Антиоксидантная роль сахаров при окислительном стрессе, индуцированном гипотермией, у растений картофеля / М.С. Синькевич // Биоантиоксидант: VIII междунар. конф., 4–6 окт. 2010 г.: тезисы докл. – М.: РУДН, 2010. – С.433–434.
8. Синькевич М. С. Сахара в системе антиоксидантной защиты от индуцированного паракватом окислительного стресса / М. С. Синькевич, Н. В. Нарайкина, Т. И. Трунова // Растение и стресс (Plants under Environmental Stress): всероссийский симпозиум 9–12 ноября 2010 г.: тезисы докл. – М. – 2010. – С. 323–324.
9. Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання цукрів : ДСТУ 4954:2008. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 17 с.
10. Фрукти, овочі та продукти їх перероблювання. Методи визначення вмісту поліфенолів: ДСТУ 4373:2005. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 6 с.
11. Чепалов В. А. Роль каротиноидов в адаптации побегов пшеницы к низкотемпературному стрессу / В. А. Чепалов, В. В. Нохсоров, К. А. Петров // Растение и стресс (Plants under Environmental Stress): всероссийский симпозиум 9–12 ноября 2010 г.: тезисы докл. – М. – 2010. – С. 381–382.
12. Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция / Ф. М. Шакирова. – Уфа : Гилем, 2001. – 160 с.
13. Global Desertification: Building a Science for Dryland Development / James F. Reynolds, D. Mark Stafford Smith, Eric F. Lambin et al.] // Science. – 2007. – Vol. 316, № 5826. – P. 847–851.
14. Del R. D. A review of recent studies on malondialdehyde as toxic molecule and biological marker of oxidative stress / R. D. Del, A. J. Stewart, N. Pellegrini // Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis. – 2005. – № 15. – P. 316–328.

Исследовано влияние температуры и осадков на формирование компонентов антиокислительного комплекса плодов огурца и кабачка. Установлено, что определяющее влияние на формирование антиокислительного комплекса тыквенных овощей имеет сумма активных температур за период вегетациии, особенно, за 10 дней до сбора урожая, где коэффициент корреляции зависимости от показателя составляет от 0,62 до 0,97. Ключевую роль в системе антиоксидантной защиты в плодах огурца имеет аскорбиновая кислота, а антиокислительная система плодов кабачка поддерживается за счет всех исследованных компонентов антиокислительного комплекса.

Антиокислительный комплекс, аскорбиновая кислота, фенольные вещества, каротиноиды, сахара, малоновый диальдегид, абиотические факторы, осадки, температура.

The influence of temperature and rainfall on components of antioxidant complex's formation in fruits of cucumber and zucchini was investigated. It was shown, that determining influence on forming of antioxidant complex in fruits of gourd family has sum of active temperatures during 10 days prior to the harvest, as the coefficient of correlation makes from 0,62 to 0,97 depending on the characteristic. The ascorbic acid has the key role in the antioxidant defense system of cucumber. On the other hand, antioxidant system in zucchini fruit is supported by all components of antioxidant complex, that were studied.

Antioxidant complex, ascorbic acid, phenolic substances, carotenoids, sugar, malondialdehyde, abiotic factors, rainfall, temperature.