

УДК 51-76:678.048[635.63:635.621:635.64:635.649]

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27668

*Запропонована методика визначення узагальненої інтегральної оцінки антиоксидантного статусу плодів овочів на основі методу аналізу ієрархії. Проведено ранжування компонентів антиоксидантної системи захисту тканин плодів овочів. Серед досліджуваних овочів найвищий антиоксидантний статус у плодів перцю, мінімальний у кабачків. Огірки за рахунок потужної системи високомолекулярних антиоксидантів мають вищу інтегральну оцінку, ніж томати*

*Ключові слова: інтегральна оцінка, антиоксиданти, плодів овочів, метод аналізу ієрархії, ранжування*

*Предложена методика определения обобщенной интегральной оценки антиоксидантного статуса плодів овощей на основе метода анализа иерархий. Проведено ранжирование компонентов антиоксидантной защиты тканей плодів овощей. Среди исследованных овощей наивысший антиоксидантний статус у плодів перца, минимальный у кабачков. У огурцов за счет мощной системы высокомолекулярных антиоксидантов интегральная оценка выше, чем у томатов*

*Ключевые слова: интегральная оценка, антиоксиданты, плодів овощи, метод анализа иерархий, ранжирование*

## ІНТЕГРАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ АНТИОКСИДАНТНОГО СТАТУСУ ПЛОДІВ ОВОЧІВ

**О. П. Прісс**

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Кафедра технології переробки і зберігання  
продукції сільського господарства\*  
E-mail: olesyapriess@gmail.com

**В. М. Малкіна**

Доктор технічних наук, професор  
Кафедра інформаційних технологій \*  
E-mail: malkinavm@mail.ru

**В. В. Калитка**

Доктор сільськогосподарських наук, професор  
НДІ Агротехнологій та екології\*  
\*Таврійський державний  
агротехнологічний університет  
пр. Б. Хмельницького 18, м. Мелітополь,  
Запорізька обл., Україна, 72312

### 1. Вступ

Регулярне споживання фруктів, овочів та інших рослинних продуктів, що містять важливі фітонутрієнти – антиоксиданти, знижує ризик розвитку хронічних захворювань [1]. Плодів овочів є потужним джерелом речовин антиоксидантної дії [2, 3]. Антиоксидантний статус плодів овочів формується комплексом низькомолекулярних сполук та антиоксидантних ферментів. До низькомолекулярних антиоксидантів (АО) відносяться фенольні речовини (ФР), каротиноїди, аскорбінова кислота (АК), моно- і дисахариди, деякі амінокислоти [4]. Ці сполуки перехоплюють вільні радикали, відновлюють активні форми кисню і продукти оксидативної модифікації. За ензиматичну систему захисту тканин від окиснювального пошкодження головним чином відповідають три ферменти: супероксиддисмутаза (СОД), каталаза (КАТ), пероксидаза (ПО) [4]. Ступінь захисту плодів овочів від окиснювального пошкодження залежить від інтегрованої оцінки компонентів антиоксидантної системи – антиоксидантного статусу плоду [5].

То ж розробка ефективних способів оцінки антиоксидантного статусу є актуальною проблемою.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

При збиранні, транспортуванні і зберіганні фруктів та овочів їх якість втрачається. Швидкість старіння

фруктів і овочів після зберігання в сховищах, зниження їх ендогенної якості при прийнятному зовнішньому вигляді пов'язані зі вмістом антиоксидантів. Псування продукції у сховищі через атаки патогенів виникає через часто ігнорований аспект потужності антиоксидантних систем [6]. Однак лежкість продукції не завжди корелює з вмістом окремих антиоксидантів [7].

Тому для вибору продукції придатної для зберігання, а також для ефективного доповнення кола антирадикального захисту плодів овочів, необхідно здійснювати інтегральну оцінку антиоксидантного статусу (АОС) плоду.

Лабораторні методи оцінки загальної антиоксидантної активності мають ряд особливостей, які обмежують можливості їх застосування. А саме, аналіз проходить у кілька стадій і займає досить тривалий час, аналітичний сигнал необхідно реструвати за допомогою дорогого спектрофотометричного або флюориметричного обладнання та реактивів. Крім того, отримана інформація не є прямою [8].

Здійснення інтегральної оцінки антиоксидантного статусу овочів з урахуванням різниці в одиницях вимірювань компонентів системи та важливості окремих антиоксидантів є також достатньо складним математичним завданням. Існує багато методів для розв'язання складних багатокритеріальних задач, проте майже всі вони містять суттєві обмеження та недоліки, котрі звужують область їх використання [9]. Одним з найкращих визнано метод аналізу ієрархії (МАІ), розроблений відомим американським математиком

Томасом Сааті. Метод аналізу ієрархій полягає в декомпозиції предмета на простіші складові та подальшій обробці суджень про ступені впливу елементів даної системи один на одного [10]. Метод передбачає попарне порівняння вагомості (важливості) кожного елемента з вагою інших елементів множини, яке здійснюється з використанням суб'єктивних суджень, що кількісно оцінюються за певною умовною шкалою відносної важливості [11]. При розв'язанні задач методом аналізу ієрархій використовуються три принципи: розкладання, порівняння, та синтез пріоритетів [12]. Такий метод можна застосувати для інтегральної оцінки антиоксидантного статусу овочів.

### 3. Мета і завдання досліджень

Метою досліджень є побудова інтегральної оцінки антиоксидантного статусу плодів овочів.

Для реалізації поставленої мети, пропонується вагові коефіцієнти інтегральної оцінки визначати методом аналізу ієрархій.

### 4. Інтегральне оцінювання антиоксидантної системи овочів

Вирішення багатокритеріальної задачі методом МАІ складається з декількох етапів:

1. Побудова ієрархії – розкладання проблеми на елементарні складові.
2. Оцінка важливості компонентів за допомогою методу парних порівнянь.
3. Випробування узгодженості пріоритетів.
4. Оцінка локальних пріоритетів порівнюваних альтернатив.
5. Ієрархічний синтез вирішення проблеми.

**Етап 1.** Будуємо домінуючу ієрархію з вершиною «інтегральна оцінка АОС» – рівень 1. Компоненти, від яких залежить наступний рівень утворюють проміжний рівень 2. Рівень 3 містить перелік альтернатив (плодові овочі) (рис. 1).

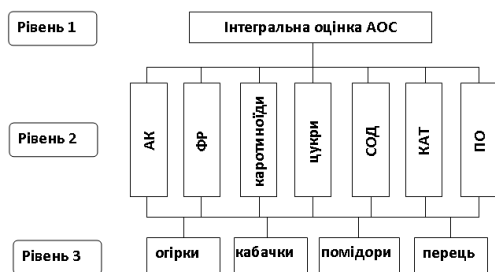


Рис. 1. Ієрархічне представлення інтегральної оцінки АОС

**Етап 2.** Для представлення результатів оцінок у кількісному виразі Т. Сааті вводить 9 бальну шкалу парних порівнянь. Тобто, при порівнянні двох суджень у випадку переваги першого вибирається число в інтервалі від 1 до 9, або зворотна величина у випадку переваги другого. Якщо вважається, що судження однакові, то обидва одержують одиницю. Згідно з цією шкалою різниця в одиниці вимірювань значення не має. Основною перевагою методу є те, що він без-

розмірний і не виникає проблем при приведенні до однакових одиниць виміру.

Визначення елементів матриці парних порівнянь – балів важливості антиоксидантів овочів, авторами розроблена спеціальна методика, на основі аналізу тисноти кореляційних зв'язків між компонентами та з малою діалдегідом, який є маркером окисного стресу (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь для рівня 2

АО	АК	ФР	Каротиноїди	Цукри	СОД	КАТ	ПО	Власний вектор	Вектор пріоритетів
АК	1	3	3	5	1	1	1	1,7226	0,1833
ФР	1/3	1	2	4	1/5	1/5	1/4	0,5959	0,0634
Каротиноїди	1/3	1/2	1	4	1/5	1/5	1/4	0,4888	0,0520
Цукри	1/5	1/4	1/4	1	1/7	1/7	1/5	0,2437	0,0259
СОД	1	5	5	7	1	3	4	2,9827	0,3174
КАТ	1	5	5	7	1/3	1	2	1,9737	0,2100
ПО	1	4	4	5	1/4	1/2	1	1,3895	0,1480
Σ								9,3967	1,0000
λ <sub>max</sub>									7,4982
I <sub>y</sub>									0,0830
B <sub>y</sub>									0,0923

Для отримання на основі матриці оцінок пріоритетності використовується алгоритм, схема якого має такий вигляд:

1. По наближеній формулі, як середнє геометричне відповідного рядка визначається головний власний вектор матриці:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad (1)$$

де  $w_i$  – компоненти власного вектора;  $n$  – розмірність матриці;  $a_{ij}$  – компоненти матриці,  $i \in \{1...n\}$ ,  $j \in \{1...n\}$ .

Тобто:  $w_1 = \sqrt[7]{1 \times 3 \times 3 \times 5 \times 1 \times 1 \times 1} = \sqrt[7]{45} = 1,7226$ , і т. д. (табл. 1).

2. Знайдені компоненти власного вектора нормуються:

$$v_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (2)$$

де  $v_i$  – компоненти нормованого вектора.

$$\sum_{i=1}^7 w_i = 9,3967, \text{ тоді}$$

$$v_1 = \frac{1,7226}{9,3967} = 0,1833;$$

$$v_2 = \frac{0,5959}{9,3967} = 0,0634; \text{ і т. д. (табл. 1).}$$

**Етап 3.** Узгодженість зворотно симетричної вихідної матриці парних порівнянь еквівалентна умові рівності її максимального власного значення  $\lambda$  числу

порівнюваних об'єктів  $n$ , тобто  $\lambda_{\max} = n$ . Тому, в якості міри неузгодженості прийнято розглядати нормоване відхилення від  $n$ , зване індексом узгодженості. Узгодженості пріоритетів розраховують як індекс узгодженості матриці:

$$I_y = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \tag{3}$$

де  $I_y$  – індекс узгодженості пріоритетів;  $\lambda_{\max}$  – найбільше власне число матриці, яке знаходиться за стандартним алгоритмом або отримують наближене значення за Саати [11].

Щоб оцінити ступінь узгодженості суджень, індекс узгодженості  $I_y$  порівнюють з випадковим індексом. Випадковим індексом називають індекс узгодженості, розрахований для квадратної  $n$ -мірної позитивної зворотно симетричної матриці, елементи якої генеровані датчиком випадкових чисел для інтервалу значень від 1 до 9 (табл. 2).

Маючи індекс узгодженості та обравши з табл. 2 випадковий індекс для заданого порядку матриці, розраховують відношення узгодженості:

$$V_y = \frac{I_y}{I_v}, \tag{4}$$

де  $V_y$  – відношення узгодження;  $I_v$  – випадковий індекс.

Величина  $V_y$  повинна бути близько 10 % або менше, щоб бути прийнятною. Якщо  $V_y$  виходить за ці межі, то потрібно перевірити судження у матриці [11]. У нашому випадку  $V_y = 0,0923$ , тобто отримані пріоритети є цілком узгоджені. За розрахованими оцінками пріоритетів, ранжування АО має вигляд (рис. 2):

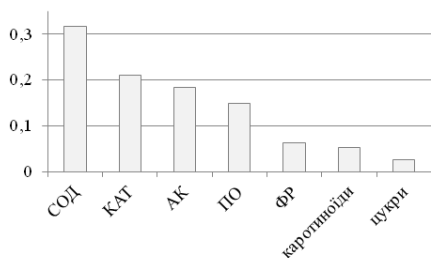


Рис. 2. Ранжування ендогенних АО в тканинах плодів овочів

Як видно з рис. 2, максимальний вклад в АОС вносить СОД, мінімальна роль належить цукрам.

**Етап 4.** Наступним кроком є порівняння плодів овочів за критеріями другого рівня. За кожним окремим критерієм порівнюємо плоди овочів складаючи матриці суджень

розміром  $4 \times 4$ . За описаним вище алгоритмом (формули 1–4) розраховуються оцінки пріоритетності та узгодженість матриці. Усі матриці парних порівнянь характеризуються узгодженістю до 10 % (табл. 3).

Таблиця 2

Величина випадкової узгодженості

Розмір матриці	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Випадкова узгодженість	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Таблиця 3

Матриця парних порівнянь критеріїв для рівня 2

Плоди	Огірки	Кабачки	Перець	Томати	Власний вектор	Вектор пріоритетів	Найбільше власне число матриці, $\lambda_{\max}$	Індекс узгодженості, $I_y$	Відношення узгодженості, $V_y$
Матриця парних порівнянь для АК									
Огірки	1	1/3	1/9	1/4	0,3102	0,0452	4,2150	0,0717	0,0796
Кабачки	3	1	1/8	2	0,6580	0,0958			
Перець	9	8	1	8	4,8990	0,7134			
Томат	4	2	1/8	1	1,0000	0,1456			
Σ					6,8672	1,0000			
Матриця парних порівнянь для ФР									
Огірки	1	2	1/8	1/4	0,5000	0,0742	4,2157	0,0719	0,0799
Кабачки	1/2	1	1/9	1/5	0,3247	0,0482			
Перець	8	9	1	6	4,5590	0,6769			
Томат	4	5	1/6	1	1,1442	0,2007			
Σ					6,7349	1,0000			
Матриця парних порівнянь для каротиноїдів									
Огірки	1	3	1/4	1/8	0,5533	0,0909	4,1135	0,0378	0,0420
Кабачки	1/3	1	1/5	1/9	0,2934	0,0482			
Перець	4	5	1	1/2	1,7783	0,2920			
Томат	8	9	2	1	3,4641	0,5689			
Σ					6,0891	1,0000			
Матриця парних порівнянь для цукрів									
Огірки	1	1/3	1/2	1/2	0,5373	0,1221	4,0074	0,0025	0,0027
Кабачки	3	1	2	2	1,8612	0,4231			
Перець	2	1/2	1	1	1,0000	0,2274			
Томат	2	1/2	1	1	1,0000	0,2274			
Σ					4,3985	1,0000			
Матриця парних порівнянь для СОД									
Огірки	1	4	1/4	1/3	0,7598	0,1420	4,1422	0,0474	0,0527
Кабачки	1/4	1	1/6	1/5	0,3021	0,0565			
Перець	4	6	1	2	2,6321	0,4921			
Томат	3	5	1/2	1	1,6549	0,3094			
Σ					5,3490	1,0000			
Матриця парних порівнянь для КАТ									
Огірки	1	4	3	5	2,7832	0,5317	4,1110	0,0370	0,0411
Кабачки	1/4	1	1/3	2	0,6389	0,1221			
Перець	1/3	3	1	4	1,4142	0,2702			
Томат	1/5	1/2	1/4	1	0,3976	0,0760			
Σ					5,2339	1,0000			
Матриця парних порівнянь для ПО									
Огірки	1	2	4	5	2,5149	0,4959	4,0710	0,0237	0,0262
Кабачки	1/2	1	2	4	1,4142	0,2789			
Перець	1/4	1/2	1	3	0,7825	0,1543			
Томат	1/5	1/4	1/3	1	0,3593	0,0709			
Σ					5,0709	1,0000			

**Етап 5.** Ієрархічний синтез для обчислення інтегральних оцінок. Глобальні пріоритети які ж і будуть інтегральними оцінками антиоксидантного статусу плодових овочів розраховуємо за формулою:

$$I_{AO} = \Pi_1^2 \times \Pi_1^3 + \Pi_2^2 \times \Pi_2^3 + \dots + \Pi_n^2 \times \Pi_n^3, \quad (5)$$

де  $I_{AO}$  – інтегральна оцінка антиоксидантного статусу,  
 $\Pi_1^2 \dots \Pi_n^2$  – пріоритетні оцінки матриці другого рівня,  
 $\Pi_1^3 \dots \Pi_n^3$  – пріоритетні оцінки матриці третього рівня.

Для огірка:

$$I_{AO} = 0,1833 \times 0,0452 + 0,0634 \times 0,0742 + 0,0520 \times 0,0909 + 0,0259 \times 0,1221 + 0,3174 \times 0,1420 + 0,2100 \times 0,5317 + 0,1480 \times 0,4959 = 0,2510 \approx 0,25 \text{ (табл. 1, 3).}$$

Аналогічними розрахунками отримуємо:

– для кабачка  $I_{AO} = 0,1189 \approx 0,12$ ;

– для перцю  $I_{AO} = 0,4305 \approx 0,43$ ;

– для томатів  $I_{AO} = 0,1995 \approx 0,20$ .

## 5. Висновки

Побудована методика визначення узагальненої інтегральної оцінки антиоксидантного статусу плодових овочів на основі методу аналізу ієрархій. Проведено ранжування компонентів антиоксидантної системи захисту тканин плодових овочів. Розрахована інтегральна оцінка показала, що серед досліджуваних овочів найвищий антиоксидантний статус у плодів перцю ( $I_{AO}=0,43$ ), мінімальний у кабачків ( $I_{AO}=0,12$ ). Огірки за рахунок потужної системи високомолекулярних антиоксидантів мають вищу інтегральну оцінку ( $I_{AO}=0,25$ ) ніж томати ( $I_{AO}=0,20$ ). Основний вклад в антиоксидантний статус пасльонових овочів вносять низькомолекулярні антиоксиданти. У плодів гарбузових овочів провідну роль в антиоксидантному захисті тканин відіграють ферментативні антиоксиданти.

## Література

- Jadhav, S. S. Daily consumption of antioxidants: - prevention of disease is better than cure [Text] / S. S. Jadhav, S. R. Vijay, M. S. Chandrakant // Asian J. Pharm. Res. – 2013. – Vol. 3, Issue 1. – P. 34–40.
- Shetty, A. A. Vegetables as sources of antioxidants [Text] / A. A. Shetty, S. Magadam, K. Managanvi // J Food Nutr Disor. – 2013. – Vol. 2, Issue 1. – P. 1–5. doi: 10.4172/2324-9323.1000104
- Sikora, E. The sources of natural antioxidants [Text] / E. Sikora, E. Cieslik, K. Topolska // Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. – 2008. – Vol. 7, Issue 1. – P. 5–17.
- Sharma, P. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions [Text] / P. Sharma, A. B. Jha, R. S. Dubey, M. Pessarakli // Journal of Botany. – 2012. – P. 26. doi: 10.1155/2012/217037.
- Dikilitas, M. Antioxidant and oxidant levels of pepper (*Capsicum annum* cv.'Charlee') infected with pepper mild mottle virus [Text] / M. Dikilitas, M. E. Guldur, A. Deryaoglu, E. R. E. L. Ozcan // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. – 2011. – Vol. 39, Issue 2. – P. 58–63.
- Lurie, S. Antioxidants. Postharvest oxidative stress in horticultural crops [Text] / S. Lurie, D. M. Hodges (Ed.). – New York.: Food Products Press, 2003. – P. 131–151.
- Hodges, D. M. The relationship between antioxidants and postharvest storage quality of fruits and vegetables [Text] / M. D. Hodges, J. M. DeLong, // Stewart Postharvest Review. – 2007. – Vol. 3, Issue 3. – P. 1–9. doi: 10.2212/spr.2007.3.12
- Шарафутдінова, Е. Н. Качество пищевых продуктов и антиоксидантная активность [Текст] / Е. Н. Шарафутдінова, А. В. Иванова, А. И. Матерн, Х. З. Брайнина // Аналитика и контроль. – 2011. – Т. 15, № 3. – С. 281–286.
- Штанькевич, О. С. Моделі і методи автоматизованої підтримки в ієрархічних та мережевих системах прийняття рішень [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.06 / О. С. Штанькевич. – Інформаційні технології. К., 2013. – 20 с.
- Saaty, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process [Text] / Thomas L. Saaty // Int. J. Services Sciences. – 2008. – Vol. 1, Issue 1. – P. 83–98.
- Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 226 с.
- Saaty, T. L. Some mathematical concepts of the analytic hierarchy process [Text] / Thomas L. Saaty // Behaviormetrika. – 1991. – Vol. 29. – P. 1–9. doi: 10.2333/bhmk.18.29\_1