

УДК 664.3:664.292

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ ЕКСТРАКТІВ СПЕЦІЙ
ТА МОДЕЛЬНИХ АНТИОКСИДАНТІВ У ЖИРОВІЙ СИСТЕМІ

Ляпунов В. В. аспірант

<https://orcid.org/0009-0000-6083-7329>

Демидов І. М. д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-5854-0833>

Кафедра технології жирів та продуктів бродіння,

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-07>

Надійшла 11.05.2026. Прийнята після рецензування 09.06.2026. Опублікована 30.06.2026

Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. Стаття присвячена дослідженню антиоксидантної активності екстрактів спецій у жировій системі та оцінці можливості їх використання як природних інгібіторів окиснення у харчових продуктах. **Мета.** Оцінка ефективності екстрактів спецій (майорану, духмяного перцю, гвоздики, куміну та розмарину) як природних антиоксидантів у модельній системі соняшникової олії, а також порівняння їх дії з модельними антиоксидантами та визначення перспектив використання у харчових технологіях, зокрема у складі маринадів. **Методи.** При виконанні дослідження використовували експериментальні методи оцінки антиоксидантної активності за кінетикою поглинання кисню. Зразки соняшникової олії з додаванням екстрактів спецій та модельних антиоксидантів піддавали вакуумуванню та насиченню киснем, після чого проводили дослідження при температурі 70°C. Для ініціювання окиснення застосовували азобісізобутиронітрил. **Результати.** Встановлено, що всі досліджувані екстракти спецій проявляють антиоксидантну активність, яка залежить від їх природи та концентрації. Зі збільшенням концентрації до 1% спостерігається суттєве зниження швидкості окиснення. Найбільш виражений антиоксидантний ефект за умов експерименту проявив екстракт майорану (1%), який характеризувався мінімальним рівнем поглинання кисню. Екстракти гвоздики та духмяного перцю також демонстрували високу ефективність, однак поступалися майорану. Показано, що природні екстракти можуть наближатися за ефективністю до модельних антиоксидантів – α -токоферолу та аскорбілпальмітату. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати можуть бути використані для розроблення рецептур харчових продуктів із підвищеною окиснювальною стабільністю, зокрема соусів та масляних маринадів, а також для зменшення використання синтетичних антиоксидантів.

Ключові слова: антиоксиданти, екстракти спецій, окиснення ліпідів, соняшникова олія, майоран, маринади, поглинання кисню

COMPARATIVE EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF SPICE EXTRACTS AND
MODEL ANTIOXIDANTS IN A LIPID SYSTEM

Vadym Liapunov, Postgraduate

<https://orcid.org/0009-0000-6083-7329>

Igor Demidov, D-r of Sc., Engineering, Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5854-0833>

Department of fat and fermentation products technologies,

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

Subject. The article is devoted to the study of the antioxidant activity of spice extracts in a lipid system and the assessment of their potential as natural inhibitors of oxidation in food products. **Purpose.** To evaluate the effectiveness of spice extracts (marjoram, allspice, clove, cumin, and rosemary) as natural antioxidants in a model sunflower oil system, to compare their activity with model antioxidants, and to determine their potential application in food technologies, particularly in marinades. **Methods.** The antioxidant activity was determined using an experimental method based on the kinetics of oxygen uptake. Sunflower oil samples containing spice extracts and model antioxidants were subjected to vacuum treatment followed by oxygen

saturation. The experiments were carried out at 70°C. Azobisisobutyronitrile was used as an oxidation initiator. The obtained data were processed using analytical methods and logical generalization. **Results.** All studied spice extracts exhibited antioxidant activity, which depended on their nature and concentration. An increase in concentration up to 1% resulted in a significant reduction in the oxidation rate. The most pronounced antioxidant effect under the experimental conditions was observed for marjoram extract (1%), which showed the lowest oxygen uptake. Clove and allspice extracts also demonstrated high efficiency but were less effective than marjoram. It was shown that natural extracts can approach the effectiveness of model antioxidants such as α -tocopherol and ascorbyl palmitate. **Scope of results.** The obtained results can be used for the development of food formulations with improved oxidative stability, particularly sauces and oil-based marinades, as well as for reducing the use of synthetic antioxidants.

Key words: antioxidants, spice extracts, lipid oxidation, sunflower oil, marjoram, marinades, oxygen uptake

Постановка проблеми. Окиснення ліпідів є однією з ключових причин погіршення якості харчових продуктів, що містять жири, оскільки воно призводить до утворення первинних і вторинних продуктів окиснення, втрати поживної цінності та появи небажаних органолептичних характеристик. Цей процес особливо інтенсивно протікає в емульсійних системах і продуктах, багатих на ненасичені жирні кислоти, що робить проблему його контролю актуальною для сучасної харчової промисловості [1, 2].

Традиційні підходи до уповільнення окиснення включають використання синтетичних антиоксидантів, контроль температури та модифіковану газову атмосферу. Проте сучасні тенденції розвитку харчових технологій орієнтовані на створення продуктів із «чистою етикеткою» та мінімальною кількістю синтетичних добавок, що зумовлює активний пошук ефективних природних антиоксидантів [1, 3].

Особливу увагу привертають рослинні біологічно активні сполуки, зокрема фенольні компоненти ефірних олій та екстрактів спецій. Такі речовини, як карвакрол і тимол, проявляють виражену антиоксидантну активність, що реалізується через здатність нейтралізувати вільні радикали, переривати ланцюгові реакції окиснення та підвищувати активність антиоксидантних систем [4]. Крім того, вони є безпечними для споживання та широко застосовуються у харчових системах для подовження терміну зберігання продукції [4]. Встановлено, що фенольні сполуки ефірних олій здатні ефективно стабілізувати жирові системи завдяки високій радикал-поглинальній активності [5].

Ефективність природних антиоксидантів підтверджується також дослідженнями ефірних олій спецій, які містять значну кількість фенольних сполук і здатні інгібувати окиснення ліпідів у харчових системах. Зокрема, ефірна олія духмяного перцю продемонструвала високу антиоксидантну активність та здатність пригнічувати окиснення ліпідів у м'ясних продуктах під час зберігання, що свідчить про її перспективність як антиоксиданта [6]. Подібні властивості також характерні для компонентів ефірних олій гвоздики, орегано та чебрецю, які широко досліджуються як природні стабілізатори ліпідів [7–9].

Крім прямого внесення антиоксидантів у продукт, перспективним напрямом є їх використання в активних пакувальних матеріалах. Доведено, що такі сполуки, як карвакрол і тимол, можуть ефективно мігрувати з пакувальних полімерів у харчове середовище, забезпечуючи антиоксидантний захист і подовження терміну зберігання продуктів [10].

Таким чином, дослідження антиоксидантної активності природних компонентів, зокрема екстрактів спецій, є актуальним напрямом сучасної харчової науки. Використання таких сполук дозволяє не лише підвищити стабільність ліпідних систем, але й відповідає сучасним вимогам до безпечності та натуральності харчових продуктів.

У зв'язку з цим метою даної роботи є дослідження антиоксидантної активності екстрактів спецій у модельних ліпідних системах та оцінка можливості їх використання як природних інгібіторів окиснення.

Матеріали та методи. У якості модельної ліпідної системи використовували рафіновану дезодоровану соняшникову олію. Слід зазначити, що навіть після рафінації у соняшниковій олії зберігається певна кількість природних антиоксидантів, зокрема токоферолів. За даними літератури, вміст токоферолів у рафінованих рослинних оліях знижується в процесі технологічної обробки, однак повністю не видаляється і може становити десятки ppm залежно від умов переробки [11].

Як природні антиоксиданти досліджували екстракти спецій, зокрема майорану (*Origanum majorana*), духмяного перцю (*Pimenta dioica*), гвоздики (*Syzygium aromaticum*) та розмарину (*Rosmarinus officinalis*). Для порівняльної оцінки ефективності природних компонентів використовували модельні антиоксиданти – α -токоферол (50%) та аскорбілпальмітат. У процесі отримання екстрактів як органічний розчинник застосовували гексан.

Олеорезини прянощів отримували методом екстракції органічним розчинником із попередньо висушеної рослинної сировини. Як екстрагент використовували неполярний розчинник - гексан, що забезпечує ефективне вилучення жиророзчинних компонентів, зокрема ефірних олій та фенольних сполук. Після завершення процесу екстракції розчинник видаляли шляхом випаровування до залишкового вмісту не більше 20 ppm. За необхідності отримані екстракти стандартизували шляхом додавання носія – рафінованої рослинної олії. У подальших Підготовку зразків здійснювали шляхом внесення екстрактів у соняшникову олію у визначених концентраціях. Зокрема, концентрація екстракту розмарину становила 0,5%, майорану – 0,5%, гвоздики – 1,0%, духмяного перцю – 2,0%. Модельні антиоксиданти вносили у таких концентраціях: α -токоферол (50%) – 0,3%, аскорбілпальмітат – 0,2%. Крім того, для ініціювання окиснювального процесу до зразків додавали азобісізобутиронітрил (AIBN) у кількості 0,2% від маси зразка. Використання AIBN як радикального ініціатора дозволяє забезпечити контрольоване та відтворюване утворення пероксильних радикалів у ліпідних системах, що широко застосовується при дослідженні процесів окиснення жирів та оцінці ефективності антиоксидантів [12]. Маса одного зразка становила 50 г. Після внесення всіх компонентів суміші ретельно перемішували до досягнення однорідного стану. Контрольним зразком слугувала соняшникова олія без додавання антиоксидантів.

Антиоксидантну активність оцінювали за кінетикою поглинання кисню у ліпідній системі. Дослідження проводили з використанням лабораторної установки, що складалася з реакційної колби об'ємом 50 мл, розміщеної у масляній бані, магнітної мішалки з функцією підігріву та термощупа для контролю температури, системи скляних трубок, вакуумного насоса, балона з киснем, спускного крана та вимірювальної бюретки. Бюретка була занурена у підфарбований розчин, що дозволяло візуально фіксувати зміну рівня рідини [13, 14].

Перед початком експерименту зразок поміщали у реакційну колбу, після чого систему герметизували. Повітря з системи видаляли шляхом вакуумування, після чого її заповнювали чистим киснем. Дослідження проводили при температурі 70 °C за умов постійного перемішування.

У процесі окиснення відбувалося поглинання кисню зразком, що супроводжувалося зниженням тиску в системі. Це фіксували за підніманням стовпчика рідини у бюретці. Вимірювання проводили через визначені інтервали часу з подальшим побудуванням кінетичних залежностей. Кожен експеримент проводили у трьох повтореннях. Отримані результати обробляли статистично та представляли у вигляді середніх значень. Антиоксидантну активність оцінювали за швидкістю поглинання кисню, тривалістю індукційного періоду та загальним характером перебігу окиснювального процесу.

Усі експериментальні дослідження проводили у трьох паралельних повторюваннях. Результати подано у вигляді середнього арифметичного значення та стандартного відхилення. Статистичну обробку даних здійснювали методами варіаційної статистики. Для оцінки достовірності результатів та визначення довірчих меж середнього значення використовували

критерій Стюдента при рівні значущості $p \leq 0,05$. Розрахунок середніх значень проводили лише за умови задовільної відтворюваності результатів паралельних визначень.

Результати та обговорення. Для ініціювання процесу окиснення використовували азобісізобутиронітрил (AIBN), який є термічним радикальним ініціатором. При підвищеній температурі він розкладається з утворенням стабільного потоку вільних радикалів, що забезпечує відтворюваний початок та контрольовану швидкість перебігу окиснювальних процесів. Використання AIBN дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів і забезпечує стандартизовані умови для порівняльної оцінки антиоксидантної активності досліджуваних зразків.

Антиоксидантну активність досліджуваних зразків оцінювали за кінетикою поглинання кисню у модельній ліпідній системі. Отримані залежності об'єму поглиненого кисню від часу наведені на рис. 1 та рис. 2. Для кількісної оцінки антиоксидантної ефективності досліджуваних зразків визначали індукційний період окиснення. Індукційний період розраховували графічним методом як точку перетину двох лінійних ділянок кінетичної кривої поглинання кисню: початкової ділянки з низькою швидкістю окиснення та ділянки прискореного поглинання кисню. Отримане значення характеризує час, протягом якого антиоксидант ефективно пригнічує розвиток ланцюгових реакцій окиснення ліпідів. Результати наведені у табл. 1.

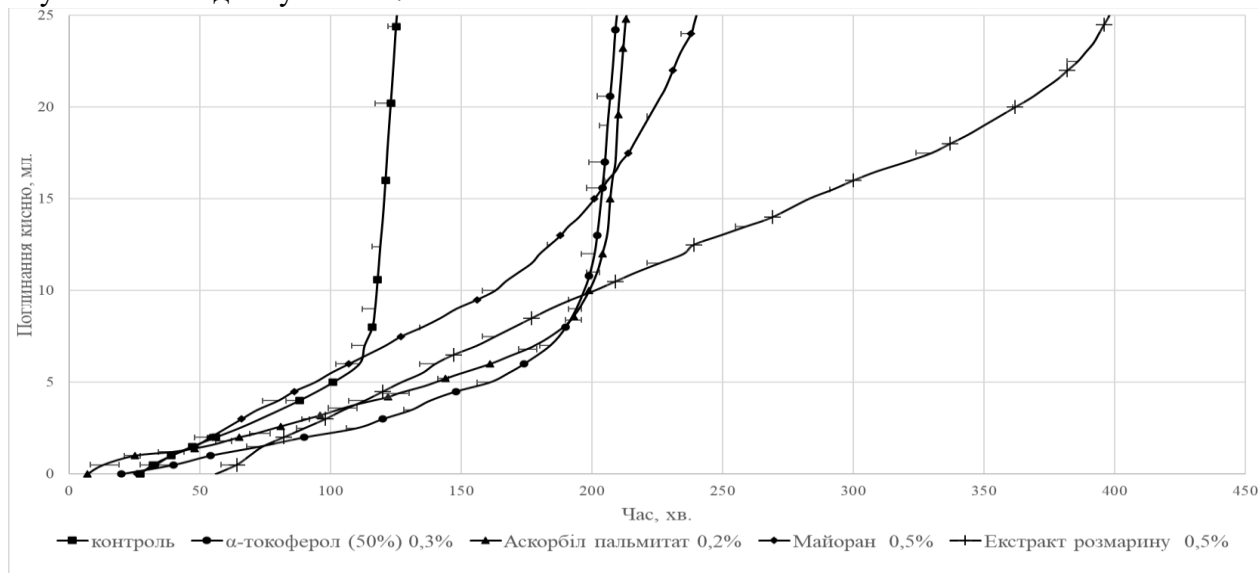


Рис. 1. Кінетика поглинання кисню у зразках з концентрацією антиоксидантів 0,5%

Таблиця 1

Періоди індукції екстрактів різних спецій

Зразок	Час, хв
Контроль	111
Аскорбіл пальмитат 0,2%	190
α-токоферол (50%) 0,3%	184
Гвоздика 1%	>338
Майоран 0,5%	177
Майоран 1%	243
Духм'яний перець 1%	137
Екстракт розмарину 0,5%	389
Кумін 1%	126

З метою забезпечення коректного порівняння результати було представлено у вигляді двох окремих графіків відповідно до концентрацій досліджуваних добавок. Це дозволило уникнути прямого порівняння зразків із різним вмістом антиоксидантів та підвищило достовірність інтерпретації отриманих даних.

Як видно з рис. 1, контрольний зразок (без додавання антиоксидантів) характеризується найвищою швидкістю поглинання кисню, що свідчить про інтенсивний перебіг окиснювальних процесів у соняшниковій олії.

Додавання модельних антиоксидантів – α-токоферолу та аскорбілпальмітату – призводить до помітного зниження швидкості окиснення, що проявляється у більш пологому характері кінетичних кривих та збільшенні індукційного періоду. Серед природних екстрактів при

концентрації 0,5% досліджувані зразки демонструють помірну антиоксидантну активність. Зокрема, екстракт майорану забезпечує більш виражене гальмування процесів окиснення порівняно з контролем і наближається за ефективністю до модельних антиоксидантів. Екстракт розмарину також проявляє антиоксидантні властивості, що узгоджується з наявністю у його складі фенольних сполук, здатних інгібувати радикальні процеси.

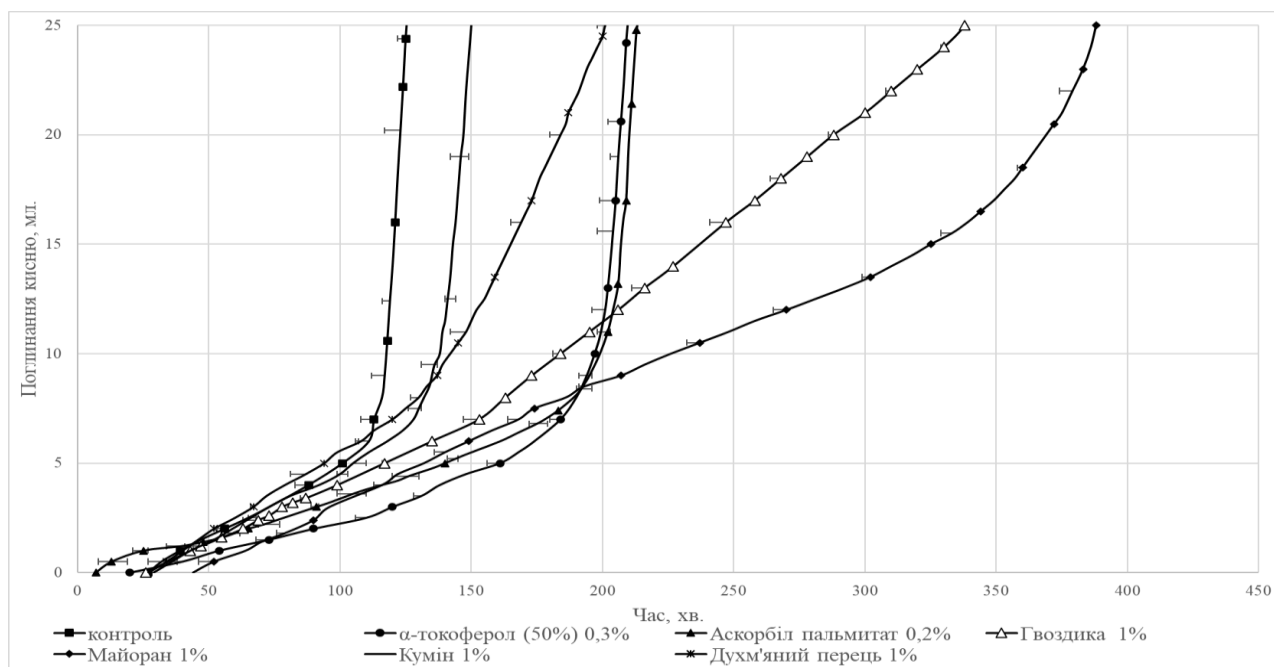


Рис. 2. Кінетика поглинання кисню у зразках з концентрацією антиоксидантів 1%

На рис. 2 представлено кінетичні залежності для зразків із вищими концентраціями антиоксидантів. Усі досліджувані екстракти демонструють суттєве зниження швидкості поглинання кисню відносно контрольного зразка, що свідчить про їх антиоксидантну активність. При цьому характер кінетичних кривих вказує на подовження індукційного періоду та зменшення інтенсивності окиснення. Найбільш виражений антиоксидантний ефект серед досліджених зразків проявляє екстракт майорану (1%), що підтверджується найменшим рівнем поглинання кисню протягом досліджуваного часу. Це свідчить про високу ефективність даного екстракту у пригніченні радикальних процесів окиснення.

Екстракти гвоздики, духмяного перцю також демонструють виражену антиоксидантну активність, однак поступаються майорану за ефективністю за умов проведеного експерименту.

Важливо відзначити, що навіть контрольний зразок демонструє певну стійкість до окиснення, що пояснюється наявністю природних токоферолів у рафінованій соняшниковій олії.

Отримані результати свідчать про перспективність використання екстрактів спецій як природних антиоксидантів у харчових системах. Зокрема, екстракти гвоздики, майорану та духмяного перцю можуть бути ефективно використані у складі масляних маринадів та соусів для підвищення їх окиснювальної стабільності та зниження потреби у синтетичних добавках.

Висновки. У роботі досліджено антиоксидантну активність екстрактів спецій (майорану, гвоздики, духмяного перцю, куміну та розмарину) у модельній системі соняшникової олії методом контролю поглинання кисню. Встановлено, що всі досліджувані екстракти проявляють антиоксидантні властивості, що підтверджується зниженням швидкості поглинання кисню та подовженням індукційного періоду порівняно з контрольним зразком. Серед досліджуваних зразків найбільш високий антиоксидантний ефект за умов експерименту

проявив екстракт майорану при концентрації 1%, що свідчить про його ефективність як інгібітора окиснення ліпідів.

Отримані результати також показали, що природні екстракти спецій за своєю дією можуть наближатися до модельних антиоксидантів (α -токоферолу та аскорбілпальмітату), що підтверджує можливість їх використання як альтернативи синтетичним добавкам. Наявність залишкових природних токоферолів у рафінованій соняшниковій олії додатково впливає на базову стабільність системи, що було враховано при інтерпретації результатів. Таким чином, екстракти спецій, зокрема майорану, гвоздики та духмяного перцю, можуть розглядатися як перспективні природні антиоксиданти для застосування у жировмісних харчових продуктах, зокрема у складі соусів та масляних маринадів, з метою підвищення їх окиснювальної стабільності та зниження вмісту синтетичних компонентів.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію складу композицій екстрактів, вивчення їх синергічної дії, а також оцінку ефективності у реальних харчових системах, зокрема у маринадах різного складу.

Бібліографія

1. Hennebelle M., Villeneuve P., Durand E., Lecomte J., van Duynhoven J., Meynier A., Yesiltas B., Jacobsen C., Berton-Carabin C. Lipid oxidation in emulsions: New insights from the past two decades. *Progress in Lipid Research*. 2024. Vol. 94. Article 101275. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2024.101275>.
2. Laguerre M., Lecomte J., Villeneuve P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges // *Progress in Lipid Research*. 2007. Vol. 46, № 5. P. 244–282. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.
3. Brewer M. S. Natural antioxidants: sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2011. Vol. 10, № 4. P. 221–247. [10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x](https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x).
4. Rathod N. B., Kulawik P., Özoğul F., Regenstein J. M., Ozogul Y. Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.023>.
5. Miguel M. G. Antioxidant and anti-inflammatory activities of essential oils: A short review. *Molecules*. 2010. Vol. 15, № 12. P. 9252–9287. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>.
6. Andrade B. F., Ferreira V. R. F., Cardoso G. P., Andrade M. P. D., Ramos A. L. S., Cardoso M. G., Ramos E. M. Allspice (*Pimenta dioica* Lindl.) leaves essential oil as a potential antioxidant and antimicrobial source for use in mechanically deboned poultry meat // *Brazilian Journal of Food Technology*. 2023. Vol. 26. Article e2022125. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12522>.
7. Gülçin İ. Antioxidant activity of eugenol: A structure-activity relationship study. *Journal of Medicinal Food*. 2011. Vol. 14, № 9. P. 975–985. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0197>.
8. Chaieb K., Hajlaoui H., Zmantar T., Kahla-Nakbi A. B., Rouabhia M., Mahdouani K., Bakhrouf A. The chemical composition and biological activity of clove essential oil, *Eugenia caryophyllata* (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): A short review. *Phytotherapy Research*. 2007. Vol. 21, № 6. P. 501–506. DOI: [10.1002/ptr.2124](https://doi.org/10.1002/ptr.2124).
9. Shan B., Cai Y. Z., Sun M., Corke H. Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53, № 20. P. 7749–7759. DOI: [10.1021/jf051513y](https://doi.org/10.1021/jf051513y).
10. Ramos M., Beltrán A., Peltzer M. A., Valente A. J., Garrigós M. C. Release and antioxidant activity of carvacrol and thymol from polypropylene active packaging films. *LWT – Food Science and Technology*. 2014. Vol. 58. P. 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.019>.
11. Tasan M. Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. *European Food Research and Technology*. 2004. <https://doi.org/10.1007/S00217-004-1045-8>.
12. Laguerre M., Lecomte J., Villeneuve P. Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: Existing methods, new trends and challenges. *Progress in Lipid Research*. 2007. Vol. 46, № 5. P. 244–282. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.
13. Nagao A., Yamazaki M. Oxygen absorption method for assessing oxidative stability of fats and oils. *Journal of Japan Oil Chemists' Society*. 1981. Vol. 30, № 11. P. 778–780. [10.5650/jos1956.30.778](https://doi.org/10.5650/jos1956.30.778).

14. Amorati R., Baschieri A., Valgimigli L. Measuring antioxidant activity in bioorganic samples by the differential oxygen uptake apparatus: Recent advances. *Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 2017. Article ID 6369358. DOI: 10.1155/2017/6369358.

References

1. Hennebelle, M., Villeneuve, P., Durand, E., Lecomte, J., van Duynhoven, J., Meynier, A., Yesiltas, B., Jacobsen, C., & Berton-Carabin, C. (2024). Lipid oxidation in emulsions: New insights from the past two decades. *Progress in lipid research*, 94, 101275. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2024.101275>.
2. Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: existing methods, new trends and challenges. *Progress in lipid research*, 46(5), 244–282. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.
3. Brewer, M.S. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds, Mechanisms of Action, and Potential Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 10: 221–247. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00156.x>.
4. Rathod, N. B., Kulawik, P., Özoğul, F., Regenstein, J. M., & Ozogul, Y. (2021). Biological activity of plant-based carvacrol and thymol and their impact on human health and food quality. *Trends in Food Science & Technology*, Article 116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.023>.
5. Miguel, M. G. (2010). Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Essential Oils: A Short Review. *Molecules*, 15(12), 9252–9287. <https://doi.org/10.3390/molecules15129252>.
6. Andrade, B. F., Ferreira, V. R. F., Cardoso, G. P., Andrade, M. P. D., Ramos, A. L. S., Cardoso, M. G., & Ramos, E. M. (2023). Allspice (*Pimenta Dioica* Lindl) leaves essential oil as a potential antioxidant and antimicrobial source for use in mechanically deboned poultry meat. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26, e2022125. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.12522>.
7. Gülçin İ. (2011). Antioxidant activity of eugenol: a structure-activity relationship study. *Journal of medicinal food*, 14(9), 975–985. <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.0197>.
8. Chaieb, K., Hajlaoui, H., Zmantar, T., Kahla-Nakbi, A. B., Rouabhia, M., Mahdouani, K., & Bakhrouf, A. (2007). The chemical composition and biological activity of clove essential oil, *Eugenia caryophyllata* (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): A short review. *Phytotherapy Research*, 21(6), 501–506. <https://doi.org/10.1002/ptr.2124>.
9. Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., & Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749–7759. <https://doi.org/10.1021/jf051513y>.
10. Ramos, M., Beltrán, A., Peltzer, M.A., Valente, A.J., & Garrigós, M.C. (2014). Release and antioxidant activity of carvacrol and thymol from polypropylene active packaging films. *Lwt - Food Science and Technology*, 58, 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.019>.
11. Tasan, M. (2004). Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. *European Food Research and Technology*. <https://doi.org/10.1007/S00217-004-1045-8>.
12. Laguerre, M., Lecomte, J., & Villeneuve, P. (2007). Evaluation of the ability of antioxidants to counteract lipid oxidation: existing methods, new trends and challenges. *Progress in lipid research*, 46(5), 244–282. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2007.05.002>.
13. Nagao, A., & Yamazaki, M. (1981). Oxygen absorption method for assessing oxidative stability of fats and oils. *Journal of Japan Oil Chemists' Society*, 30(11), 778–780. <https://doi.org/10.5650/jos1956.30.778>.
14. Amorati, R., Baschieri, A., & Valgimigli, L. (2017). Measuring antioxidant activity in bioorganic samples by the differential oxygen uptake apparatus: Recent advances. *Journal of Chemistry*, 2017, Article 6369358. <https://doi.org/10.1155/2017/6369358>.