

## ANTIOXIDANT ACTIVITY OF RAW MATERIALS FROM BERRY PLANTS

**A. Demydova**

*National Technical University “Kharkiv Polytechnical Institute”*

**T. Nosenko**

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Oxidation  
Antioxidants  
Blackberries  
Viburnum  
Blueberries  
Raspberries  
Black currants*

---

**Article history:**

Received 20.01.2022  
Received in revised form  
03.02.2022  
Accepted 17.02.2022

---

**Corresponding author:**

T. Nosenko

**E-mail:**

tamara\_nosenko@ukr.net

---

**ABSTRACT**

The antioxidant activity of different parts of plants was studied and compared to the antioxidant activity of the synthetic antioxidant butylhydroxyanisole (BHA). Concentrates of plant antioxidants were obtained by water-alcohol (70% ethyl alcohol) extraction of plant raw materials, the solvent was removed under mild conditions. The obtained concentrates of biologically active compounds were added to sunflower oil to determine their effect on the inhibition of oil oxidation. Antioxidant activity of the obtained concentrated extracts decreased in such direction: blackberry bark > viburnum bark > blackberry leaves > blackberry shoots > blueberry shoots > blueberry leaves > raspberry bark > blackberry fruit > black currant bark > raspberry leaves > viburnum leaves > blueberry fruit > black currant leaves > viburnum fruits > raspberry fruits > black currant fruit. Almost all of the obtained antioxidants, except raspberries and black currants, showed higher antioxidant activity than butylhydroxyanisole. The bark and leaves of berry plants had higher antioxidant properties compared to berries. The total antioxidant activity of the studied raw materials decreased as follows: blackberries > viburnum > blueberries > raspberries > black currants.

The influence of the obtained extracts on the kinetics of sunflower oil oxidation by the accumulation of peroxides was also studied. The addition of plant extracts to sunflower oil increased its resistance to oxidation compared to control sample. Natural antioxidants were significantly more effective than butylhydroxyanisole. At the end of the oxidation (after 15 hours) the peroxide content in the oil containing BHA was 27% lower than in the control sample, in the oil containing biologically active substances of blackcurrant leaves — 44%, and in the oil containing biologically active substances of blackberry leaves — 68%. Thus, the studied plant materials are valuable source of biologically active substances, the antioxidant activity of which exceeds the effectiveness of the synthetic antioxidant butylhydroxyanisole.

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИОКСИДАНТНОЇ АКТИВНОСТІ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ІЗ ЯГІДНИХ КУЛЬТУР

А. О. Демидова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Т. Т. Носенко

Національний університет харчових технологій

У статті досліджувалась антиоксидантна активність різних частин рослинної сировини із ягідних культур та порівнювалась із антиоксидантною активністю синтетичного антиоксиданту бутилгідроксианізолу (ВНА). Концентрати рослинних антиоксидантів одержували водно-спиртовою (70% етилового спирту) екстракцією рослинної сировини, екстрагент видаляли в м'яких умовах. Одержані концентрати біологічно активних сполук додавали до соняшникової олії для визначення впливу на гальмування окиснення олії. Антиоксидантна активність одержаних концентрованих екстрактів зменшувалась у напрямку: кора ожини > кора калини > листя ожини > пагони ожини > пагони чорниці > листя чорниці > кора малини > плоди ожини > кора чорної смородини > листя малини > листя калини > плоди чорниці > листя чорної смородини > плоди калини > плоди малини > плоди чорної смородини. Практично всі одержані антиоксиданти, окрім плодів малини і чорної смородини, виявили вищу антиоксидантну активність, ніж бутилгідроксианізол. Кора і листя ягідних рослин мали більш високі антиоксидантні властивості порівняно з ягодами. Сумарно антиоксидантна активність дослідженої сировини зменшувалась таким чином: ожина > калина > чорниця > малина > чорна смородина.

Досліджено також вплив одержаних екстрактів на кінетику окиснення соняшникової олії за накопиченням пероксидів. Додавання рослинних екстрактів до соняшникової олії підвищувало її стійкість до окиснення порівняно з контролем. Натуральні антиоксиданти були помітно більш ефективні за бутилгідроксианізол. Наприкінці окиснення (15 год) вміст пероксидів в олії, що містила ВНА, був на 27% меншим, ніж у контролі, в олії, що містила біологічно активні речовини листя чорної смородини, — на 44%, а в олії, що містила біологічно активні речовини листя ожини, — на 68%. Досліджена рослинна сировина є цінним джерелом біологічно активних речовин, антиоксидантна активність яких переважає ефективність синтетичного антиоксиданту бутилгідроксианізолу.

**Ключові слова:** окиснення, антиоксиданти, ожина, калина, чорниця, малина, чорна смородина.

**Постановка проблеми.** Жири є незамінними компонентами харчування. Вони не тільки забезпечують енергетичні потреби організму, але є донорами жирних кислот, які контролюють низку фізіологічних процесів. Окиснення — одна з найголовніших причин погіршення якості жирів, що призводить до втрати харчової цінності, появи неприємних смаків, запахів і, найголовніше, утворення

токсичних продуктів окиснення — на перших етапах гідропероксидів, потім альдегідів, кетонів, оксикислот тощо. Для гальмування процесу окиснення в харчовій промисловості широко застосовуються антиоксиданти. Додавання синтетичних антиоксидантів, таких як бутилгідроксианізол (БНА), бутилгідрокситолуол (ВНТ), третбутилгідрохінон (ТВНҚ), ефективно пригнічує окиснення жирів. Проте використання синтетичних антиоксидантів було обмежено через їх негативний вплив на здоров'я людини й токсичність (Sharma та ін., 2019). Використання натуральних антиоксидантів сьогодні є загальносвітовою тенденцією в харчовій промисловості.

Біологічно активні компоненти харчових продуктів, зазвичай, мають рослинне походження. Переважна більшість цих біологічно активних компонентів має відновні властивості і тому визначається як антиоксиданти (Carlsen та ін., 2010). Антиоксиданти (АО) — це речовини, молекули яких здатні взаємодіяти з вільними радикалами і таким чином гальмувати процес окиснення жирів. Антиоксидантна активність (АОА) — це ефективність гальмування швидкості окиснення жирів, що визначається сукупністю реакцій інгібітора (Перевозкина, 2014).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інтерес до вилучення біоактивних сполук з рослинної біомаси, особливо поліфенолів, останнім часом зріс, особливо це стосується доступної та дешевої рослинної сировини (Lazar, Talmaciu, Volf & Pora, 2016) або тих органів культурних рослин, що не використовуються харчовою промисловістю. Одним із перспективних джерел АО є листя, кора, коріння тощо ягідних культур.

Серед таких культур цінною є *Viburnum opulus L. (Adoxaceae)* — європейська калина, поширена в Європі, Північній і Центральній Азії, Північній Африці (Ersoy, Ercisli & Gundogdu, 2017). Калина є цінною декоративною, лікарською та плодовою рослиною. В Україні та в інших народів використовується в традиційній кухні, незважаючи на її терпко-гірко-кислий смак (Polka, Podśedek & Koziołkiewicz, 2019). Плоди калини використовуються для лікування низки захворювань, у тому числі кровотечі, захворювання серця, високого кров'яного тиску, кашлю і застуди, неврозів і цукрового діабету (Polka, Podśedek & Koziołkiewicz, 2019). Дослідження *in vitro* виявили антиоксидантні властивості різних органів калини, у тому числі листя та кори (Saltan та ін., 2016). В табл. 1 наведено вміст окремих фенольних сполук у різних органах калини.

Важливим джерелом біологічно активних речовин є малина (*Rubus ideaus*), визнана споживачами смачною і корисною ягодою. Останні дослідження вказують на те, що листя малини містить велику кількість поліфенолів і може служити потенційним джерелом природних антиоксидантів для медицини та для промислового виробництва таких речовин, як фенольні кислоти (хлорогенова, галова, ферулова, кофеїнова), а також флавоноїдів, включаючи кверцетин і кемпферол-3-О-глюкозиден. У зв'язку з вираженою біологічною дією *in vitro* на особливу увагу заслуговують елагова та саліцилова кислоти (Ponder & Hallmann, 2019). Встановлено, що дія цих кислот пов'язана із профілактикою серцево-судинних захворювань. Крім того, саліцилова кислота (основний компонент аспірину), що синтезується рослинами для захисту від хвороб і шкідників, здатна впливати на профілактику респіраторних захворювань людини (традиційне застосування малини).

Ягоди ожини, як і малини, містять компоненти, що сприяють зміцненню здоров'я завдяки протипухлинній, антиатеросклеротичній, протизапальній, протидіабетичній та протиалергічній дії, важливі для профілактики надмірної маси тіла (Krzepiłko, Prażak & Świącilo, 2021). У народній медицині листя і молоді пагони ожини використовували для зняття болю і лікування геморою, як протидіарейний і протизапальний вплив при інфекційних захворюваннях слизової оболонки ротової порожнини та глотки (Krzepiłko, Prażak & Świącilo, 2021).

Цінною дикорослою ягідною культурою є чорниця (*Vaccinium myrtillus L.*). Ягоди чорниці відносяться до продуктів функціонального харчування, також сьогодні відомі як «суперпродукти», що мають позитивний вплив на здоров'я людини, пов'язаний з високим вмістом антоціанів і флавоноїдів (Neamtu та ін., 2020). Високий вміст антиоксидантів у ягодах чорниці допомагає в боротьбі з хворобами, пов'язаними з підвищеним окиснювальним стресом: раком, цукровим діабетом, серцево-судинними захворюваннями та віковими змінами (Tadić та ін., 2021). Листя чорниці також є багатим джерелом фенольних сполук — флавоноїдів, фенольних кислот, дубильних речовин (табл. 1). Вміст цих сполук у листі чорниці суттєво вищий порівняно з плодами. Отже, листя може мати підвищені антиоксидантні властивості (Vujor, Tanase & Pora, 2019).

Важливим джерелом вітамінів та інших біологічно активних речовин є смородина чорна (*Ribes nigrum L.* (Grossulariceae)). Плоди чорної смородини чинять антиоксидантну, протизапальну, антигемостатичну дію (Piotrowski та ін., 2016). Листя і бруньки чорної смородини можуть представляти навіть більший інтерес як джерело біоактивних сполук, ніж плоди (D'Urso, Montoro, Piacente, 2019). Листя чорної смородини багате флавонолами, такими як рутин, гіперозид і ізокверцитрин (табл. 1). Ці сполуки знижують ризик серцевих захворювань і проявляють біологічну активність проти запалення, окиснення, раку, вірусів і бактерій (Ferlemi & Lamari, 2016).

Органи молодих рослин, зазвичай, мають вищий вміст різноманітних біологічно активних сполук, ніж старі (Donnота та ін., 2016). Так, листові бруньки ягідних кущів, як молоді органи, можуть характеризуватися високою антиоксидантною активністю. Тому дослідження антиоксидантної ефективності екстрактів із пагонів рослин є доцільним.

*Таблиця 1. Вміст фенольних сполук у тканинах ягідних культур, мг/100 г*

Компонент	Калина (Polka, Podśedek & Koziołkiewicz, 2019)			Чорна смородина (метанольний екстракт) (D'Urso, Montoro & Piacente, 2019)		Чорниця, листя (Okatan, 2020)	Ожина, ягоди (Okatan, 2020)
	квіти	кора	ягоди	ягоди	листя		
1	2	3	4	5	6	7	8
Проціанідин	25,46	437,79	14,02	—	—	—	—
(+)-катехін	46,87	1062,43	—	11,37	2,73	—	327,9
Проціанідин В2	—	116,47	—	—	—	1,29	—
(-)-епікатехін	—	95,87	—	—	—	7,53	—
Загальна кількість флаванолів	72,33	1712,55	14,02	—	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8
Неохлорогенова кислота	17,22	41,51	7,22	—	—	0,34	—
хлорогенова кислота	1535,42	352,49	752,59	56,77	3,4	45,51	22,57
Хінна кислота	—	—	—	—	206,9	0,80	—
Криптохлорогенова кислота	6,78	18,44	3,51	—	—	—	—
p-кумарова кислота	—	14,17	—	—	—	1,26	—
Елагова кислота	—	—	—	5,76	—	—	37,43
Фумарова кислота	—	—	—	8,98	—	—	33,53
кумаройлхінна кислота	—	—	—	—	152,5	—	—
Загальні кількості гідроксикислот	1559,42	426,61	763,32	—	—	—	—
Рутин	10,05	—	5,39	—	7,4	4,73	—
Кверцетин	—	—	—	2,47	—	2,11	8,46
Ізорамнетин	58,84	—	0,71	—	—	—	—
Мірицетин	—	—	—	—	3,4	—	—
Ізорамнетин 3-О-глюкозид	47,06	—	—	—	—	—	—
Ізокверцетин	—	—	—	—	—	14,62	—
Кверцетин 3-О-глюкозид	19,18	—	—	—	24,3	—	—
Загальна кількість флавонолів	135,13	—	7,70	—	—	—	—
Сума фенольних сполук	1766,88	2139,16	784,94	—	—	—	—

За результатами досліджень рівень АО і навіть їх склад у рослинній сировині одного виду помітно відрізняється. Це пояснюється кліматичними умовами вирощування, різним періодом збору врожаю, генетичними відмінностями тощо (Okatan, 2020).

Проте на сьогодні порівняльні дослідження антиоксидантної активності (АОА) різних ягідних культур і їх тканин щодо гальмування швидкості окиснення ліпідів відсутні. Необхідно встановити, які саме органи цих рослин можна рекомендувати для одержання ефективних АО.

Значна частка рослинної сировини ягідних культур (листя, кора, бруньки, пагони тощо) залишається невикористаною і є сільськогосподарськими відходами (Polka, Podsedek & Koziołkiewicz, 2019). Використання їх як джерела одержання АО підвищить дохідність вирощування ягідних культур і дасть змогу розширити асортимент біологічно активних препаратів.

**Мета дослідження:** встановлення антиоксидантної активності різних органів ягідних культур щодо гальмування окиснення соняшникової олії.

**Матеріали і методи.** Для досліджень кінетики ініційованого окиснення використовували попередньо очищений послідовною перекристалізацією з безводного етанолу/ацетону/бензолу 2,2'-азо-біс-ізо-бутиронітрил (АІБН).

Як модель окиснення використовували рафіновану дезодоровану соняшниково-ву олію (ТМ «Олейна») об'ємом 1 дм<sup>3</sup>. Пляшку відкривали перед початком дослідження і зберігали за температури –5°C без доступу світла не більше 4 тижнів.

Листя та кора малини, калини, чорниці, чорної смородини, ожини було зібране на території Харківської області. Ягоди (плоди калини, малини, ожини, чорниці, чорної смородини) придбані в місцевих магазинах, пагони чорниці — в аптеці.

Рослинну сировину було подрібнено на висушено за температури 40°C у ви-тяжній сушильній шафі до вмісту вологи ≤1%. Рослинну сировину подрібнювали за допомогою лабораторного млина (марка RRH-100, Україна), кількість обертів за хвилину — 28000, потужність — 700 W. Зразки просіювали через лабораторне сито з отворами 1 мм. Зразки зберігали за температури –5°C і використовували в дослідженні протягом чотирьох тижнів. Перед початком екстрагування рослинну сировину розтирали у ступці протягом 20 с.

Для одержання екстрактів підготовлену сировину замочували в суміші ети-ловий спирт-вода (співвідношення 70:30, відповідно) в скляній колбі, трива-лість замочування — 1 година. Потім підігрівали до 60°C на магнітній мішалці (RIVA-04.4, RIVA-STAL, Україна) та проводили екстракцію протягом 4 год у колбі з приєднаним повітряним зворотним холодильником при постійному пере-мішуванні та гідромодулі 1:5 (мас./об.). Контроль температури здійснювали термо-парою. Одержані екстракти відфільтровували від залишків рослинної сировини (Whatman № 42). Потім фільтрати концентрували шляхом нагрівання в роторно-му випарнику за температури 40°C. Одержані концентрати зберігались за темпе-ратури –5°C у закритих скляних бюксах без доступу світла не більше 4 тижнів і використовувались в дослідженні кінетики окиснення.

Антиоксидантну активність (АОА) екстрактів вивчали волюметричним мето-дом в присутності інертного розчинника октану в манометричній установці шляхом окиснення соняшникової олії. Манометрична установка надає можли-вість вимірювати поглинання зразком незначних кількостей кисню. Установка складається з реакційної комірки об'ємом 5 см<sup>3</sup>, що термостатується, манометра, системи сполучних скляних трубок і кранів, які приєднані до джерела чистого (99,9%) кисню та вакуумного насоса, а також термостата. Перед початком роботи установку підключали до вакуум-насоса для вилучення повітряної суміші із системи скляних труб і до джерела чистого кисню (двоходовий кран) для напов-нення установки чистим киснем. Такі послідовні операції проводили 5—8 разів. Об'єм поглиненого зразком кисню в мм<sup>3</sup> за визначений час вимірювали за зміною висоти стовпчика зафарбованої рідини, сполучений із зразком олії. Одержані дані кінетики окиснення зразків у мм<sup>3</sup>/хв перераховували в моль/с, а об'єм кисню в моль/дм<sup>3</sup> ( $V(O_2)$ ) розраховували за формулою:

$$V(O_2) = \frac{\Delta V \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{22,4 \cdot V_{\text{олії}}}, \quad (1)$$

де  $\Delta V$  — об'єм поглиненого зразком кисню, мм<sup>3</sup>;  $10^{-6}$  — коефіцієнт перерахунку об'єму кисню в дм<sup>3</sup>; 22,4 — об'єм 1 моля газу;  $10^3/V_{\text{олії}}$  — коефіцієнт перерахунку об'єму поглиненого кисню на 1 дм<sup>3</sup> олії.

Дослідження проводили в умовах ініційованого окиснення за рахунок термічного розкладання розчину АІБН (2,2'-азо-біс-ізо-бутиронітрилу) у о-ксилолі. Вимірювання проводили за температури 70°C (±0,1°C) та концентрації АІБН  $2 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup> для всіх зразків.

Графічним методом (Перевозкіна, 2014) визначали значення періоду індукції окиснення ( $\tau_i$ ) як відрізок осі абсцис, що відсікається перпендикуляром з точки перетину дотичних до кінетичної кривої окиснення.

Дослідження кінетики окиснення соняшникової олії в присутності антиоксидантів проводили при концентрації бутилгідроксианізоли або одержаного концентрату рослин 0,2 г/кг олії.

Ефективність гальмування процесу окислення соняшникової олії визначали сукупністю реакцій інгібітора і позначали як антиоксидантну активність, кількісно розраховану за формулою:

$$AOA = \frac{\tau_i}{\tau_s}, \quad (2)$$

де  $\tau_i$  і  $\tau_s$  — періоди індукції окиснення соняшникової олії з антиоксидантом та без нього відповідно.

Пероксидне число (PV) визначали згідно з офіційним методом AOCS Cd 8-53.

Кінетика змін пероксидних чисел соняшникової олії досліджувалась шляхом окиснення соняшникової олії. Зразки олії масою 100 г з 0,2 г/кг АО (або без АО) поміщали в колбу місткістю 200 см<sup>3</sup>, яка занурювалась у водяну баню, нагріту до температури 90°C (коливання температури в межах ±0,1°C). На дно колби занурювався барботер, який приєднувався до компресора (К 25, Україна). Робочий тиск компресора — ≤0,7 МПа. Перемішування здійснювалось магнітною мішалкою РИВА — 04,4 (Рива Сталь, Україна) при 60 об/хв. Тривалість окиснення — 15 годин.

Кожен експеримент проводили двічі, результати виражені як середні значення. Середня квадратична похибка визначення не перевищувала 5%.

**Викладення основних результатів дослідження.** Незважаючи на те, що вода, яка з давніх часів використовувалась для приготування відварів, настоїв, мацерації тощо, є найбільш безпечним розчинником, водна екстракція не дає можливості повного вилучення неполярних або деяких напівполярних сполук із рослинної сировини.

Попередніми дослідженнями встановлено, що використання 70-відсоткового водного розчину етилового спирту як екстрагенту забезпечує високу ефективність екстрагування фенольних сполук (Smetanska, Helfert, 2016), такі екстракти мають максимальну антиоксидантну активність порівняно з іншими розчинниками (Robles-Ramírez та ін., 2016).

Одержані за різними методиками (гасіння радикалів DPPH<sup>\*</sup>, ABTS<sup>\*</sup> тощо) значення АОА рослинних екстрактів не завжди відповідають ефективності їх як антиоксидантів для гальмування окиснення жирів (Mariassyova, 2006). Можлива причина цього в наявності або відсутності явища синергізму між АО однієї сировини. Зважаючи на це, було обрано визначення АОА рослинних екстрактів безпосередньо в складі жиру, зокрема соняшникової олії.

Встановлено, що період індукції окиснення соняшникової олії без додавання антиоксидантів становив  $(1420 \pm 40)$  с. Період окиснення соняшникової олії в присутності синтетичного антиоксиданту бутилгідроксіанізолу (ВНА, Е 320) збільшувався до  $(2400 \pm 50)$  с, тобто бутилгідроксіанізол подовжує період індукції соняшникової олії в 1,7 рази. Таку антиоксидантну активність встановимо як достатню для визначення перспективності використання певного рослинного водно-спиртового екстракту як антиоксиданту.

Результати досліджень зі встановлення тривалості періоду індукції окиснення соняшникової олії в присутності рослинних екстрактів, а також розраховані значення антиоксидантної активності одержаних екстрактів наведено в табл. 2. Антиоксидантна активність екстрактів кори ожини, калини, чорниці, листя та пагони ожини і чорниці, плоди ожини, кора чорної смородини, листя малини, калини, чорної смородини, плоди чорниці та калини була вищою за активність синтетичного антиоксиданту ВНА.

Загалом АОА досліджених рослинних екстрактів зменшувалась у напрямку: ожина > калина > чорниця > малина > чорна смородина. Водночас антиоксидантна активність одержаних біологічно активних сполук зменшувалась у послідовності: кора ожини > кора калини > листя ожини > пагони ожини > кора чорниці > пагони чорниці > листя чорниці > кора малини > плоди ожина > кора чорної смородини > листя малини > листя калини > плоди чорниці > листя чорної смородини > плоди калини > плоди малини > плоди чорної смородини.

**Таблиця 2. Тривалість періоду індукції окиснення соняшникової олії в присутності рослинних екстрактів**

Сировина	Період індукції окиснення соняшникової олії в присутності екстракту, с	Антиоксидантна активність (АОА)
Кора калини	$3600 \pm 70$	2,53
Калина листя	$2820 \pm 60$	1,99
Калина плоди	$2460 \pm 50$	1,73
Малина листя	$2850 \pm 60$	2,01
Малина кора	$2850 \pm 60$	2,11
Малина плоди	$2280 \pm 50$	1,61
Ожина листя	$3360 \pm 70$	2,37
Ожина пагони	$3300 \pm 70$	2,32
Ожина кора	$3660 \pm 80$	2,58
Ожина плоди	$2910 \pm 70$	2,05
Чорниця листя	$3060 \pm 60$	2,15
Чорниця плоди	$2640 \pm 60$	1,86
Чорниця кора	$3180 \pm 80$	2,24
Пагони чорниці	$3120 \pm 80$	2,20
Чорна смородина листя	$2580 \pm 60$	1,82
Чорна смородина кора	$2880 \pm 60$	2,03
Чорна смородина плоди	$2220 \pm 50$	1,56
Бутилгідроксианізол	$2400 \pm 50$	1,69

Високу антиоксидантну активність екстрактів кори ягідних культур було виявлено і в (Polka, Podśedek, Koziołkiewicz, 2019). Дослідники з'ясували, що

кора калини характеризувалась вищим за інші частини цієї рослини вмістом флавонолів, перш за все катехіну. Катехін і хлорогенова кислота — основні феноли цієї рослини. АОА кори калини, згідно з методом визначення поглинання радикалів оксигену (ORAC), становила 108 mM TE/100 g, плодів — 10,9, квітів — 61,8 mM TE/100 g.

Одержані результати підтверджують високу АОА кори калини, яка становила 2,53, що майже на 50% вище за ефективність гальмування окиснення ВНА. Екстракти із листя калини, хоч і поступаються корі за ефективністю щодо гальмування окиснення олії, проте одержане значення АОА, яке дорівнює 1,99, є вищим за цей показник для ВНА на 15%. Найнижчу АОА мали екстракти з плодів калини, проте вона все ж була на рівні антиоксидантної здатності синтетичного антиоксиданту ВНА. Отже, і плоди калини можна віднести до збагаченої антиоксидантами сировини, особливо з урахуванням того, що екстракти плодів калини можна вводити в харчові продукти в кількостях, більших у десятки разів порівняно з ВНА ( $\leq 0,200$  г/кг).

Листя малини також є джерелом дубильних речовин, флавоноїдів, кверцетину, фенольних кислот, тритерпенів, мінеральних солей, а також вітаміну С, що зумовлює його високий антиоксидантний потенціал (Asnaashari, Tajik & Khodaparast, 2014). Встановлена антиоксидантна активність листя малини дорівнює 2,01, що на 16% вище за значення для ВНА. Кора малини також містить ефективні АО, її антиоксидантна активність становила 2,11, що доводить перспективність використання кори та листя малини для одержання харчових АО.

Екстракти з ягід малини подовжували період індукції окиснення соняшникової олії до 2280 с, що є близьким до тривалості періоду індукції із синтетичним антиоксидантом. Тобто і ягоди малини слід віднести до перспективного джерела АО.

Найбільш багатим джерелом природних антиоксидантів виявилась ожина. Листя ожини мало одні з найкращих антиоксидантних властивостей з усіх досліджених рослин (АОА = 2,37). Високий вміст фенольних сполук, переважно похідних кверцетину, сирингової та хлорогенової кислот в листі ожини було виявлено також і в (Kolarević та ін., 2021).

Екстракти із ягід ожини мали найвищу антиоксидантну активність серед досліджених ягід — 2,05. У (Okatan, 2020) було також продемонстровано найвищий вміст антиоксидантів у плодах ожини порівняно з антиоксидантною ефективністю ягід малини, чорної та червоної смородини. Екстракт кори ожини — найбільш ефективний серед досліджених антиоксидантів — подовжував період індукції соняшникової олії у 2,58 разів. Використання листя та кори ожини з метою вилучення АО не тільки дасть змогу розширити асортимент вітчизняних біологічно активних речовин, але й підвищить рентабельність вирощування цієї культури.

Антиоксидантна ефективність пагонів чорниці не була раніше досліджена. Вони, як і пагони ожини, не виявили більш високої АОА відносно інгібування окиснення олії порівняно з листям та корою цих ягідних культур. Проте АОА пагонів чорниці становила 2,2, що на 23% вище за антиоксидантну ефективність ВНА, пагонів ожини — 2,32 (на 27% вище). Отже, пагони чорниці та ожини — перспективний матеріал для одержання натуральних АО.

Екстракти сировини чорної смородини виявили найнижчу ефективність щодо гальмування окиснення соняшникової олії. У той же час екстракти її кори та листя мали вищу антиоксидантну ефективність порівняно із ВНА, і, відповідно, також є перспективним джерелом АО.

Високу антиоксиданту активність листя та кори більшості досліджених рослин можна пояснити можливою синергетичною взаємодією між складовими антиоксидантного комплексу цієї сировини.

Відомо, що гідрофільні антиоксиданти мають вищу біодоступність для організму людини, порівняно з гідрофобними. Тому екстракти досліджених рослин є якісною альтернативою антиоксидантам, що широко застосовуються для запобігання окисному псуванню жирів — токоферолам, каротиноїдам тощо (Sharma та ін., 2019).

Вплив одержаних АО на гальмування окиснення соняшникової олії був підтверджений також кінетикою змін пероксидного числа олії у присутності досліджених антиоксидантів (табл. 3).

*Таблиця 3. Значення пероксидних чисел (ммоль 1/2О/кг) соняшникової олії в результаті окиснення за температури 90°C при додаванні різних антиоксидантів*

Тривалість окиснення, год	Без АО (контроль)	ВНА, 0,2 г/кг	Листя ожини, 0,2 г/кг	Листя чорної смородини, 0,2 г/кг
0	1,06	1,06	1,06	1,06
2	2,11	2,01	1,84	1,97
5	4,35	3,78	3,09	3,37
8	8,22	5,53	3,91	4,98
10	11,93	8,08	5,53	6,85
12	17,34	12,38	7,06	10,23
15	29,33	21,3	9,24	16,41

Олія із вмістом антиоксидантів проявляла суттєво вищу стійкість до окиснення порівняно з контролем. Натуральні антиоксиданти були помітно більш ефективні за бутилгідроксианізол. Наприкінці окиснення вміст пероксидів в олії, що містила ВНА, був на 27% нижчим, ніж у контролі, в олії, що містила біологічно активні речовини листя чорної смородини, — на 44%, а в олії, що містила біологічно активні речовини листя ожини, — на 68%. Одержані дані доводять перспективність одержання АО з відходів виробництва ожини.

### **Висновки**

За результатами досліджень ягоди калини, ожини, малини, чорної смородини, чорниці мають нижчу антиоксидантну активність порівняно з корою та листям.

Антиоксидантна активність одержаних рослинних екстрактів зменшувалась у напрямку: кора ожини (АОА = 2,58) > кора калини (2,53) > листя ожини (2,37) > пагони ожини (2,32) > кора чорниці (2,24) > пагони чорниці (2,20) > листя чорниці (2,05) > кора малини (2,11) > плоди ожини (2,05) > кора чорної смородини (2,03) > листя малини (2,01) > листя калини (1,99) > плоди чорниці (1,86) > листя чорної смородини (1,82) > плоди калини (1,61) > плоди малини (1,60) > плоди чорної смородини (1,56).

Використання листя, кори ожини, малини, чорниці з метою вилучення антиоксидантів не тільки дасть змогу розширити асортимент вітчизняних біологічно активних речовин, але й підвищить рентабельність виробництва відповідних ягід.

### **Література**

- Перевозкина, М. Г. (2014). *Тестирование антиоксидантной активности полифункциональных соединений кинетическими методами*. Монография, Новосибирск, Изд. СибАК, 240 с.
- AOCS: Official and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society. 5th Edn. AOCS Press, Champaign, IL (USA) 1997.
- Asnaashari, M., Tajik, R., & Khodaparast, M. H. (2014). Antioxidant activity of raspberry (*Rubus fruticosus*) leaves extract and its effect on oxidative stability of sunflower oil. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 5180—5187.
- Bujor, O.-C., Tanase, C., Popa, M. E. (2019). Phenolic antioxidants in aerial parts of wild Vaccinium species: Towards pharmaceutical and biological properties. *Antioxidants*, 8, 649.
- Carlsen, M. H., Halvorsen, B. L., Holte, K., Bohn, S. K., Dragland, S., Sampson, L., Blomhoff, R. (2010). The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition Journal*, 9(1).
- Donno, D., Mellano, M. G., Cerutti, A. K., Beccaro, G. L. (2016). Biomolecules and natural medicine preparations: Analysis of new sources of bioactive compounds from *Ribes* and *Rubus* spp. buds. *Pharmaceuticals*, 9(7).
- D'Urso, G., Montoro, P., & Piacente, S. (2019). Detection and comparison of phenolic compounds in different extracts of black currant leaves by Liquid Chromatography coupled with High-Resolution ESI-LTQ-Orbitrap MS and High-Sensitivity ESI-Qtrap MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 112926.
- Ersoy, N., Ercisli, S., Gundogdu, M. (2017) Evaluation of European cranberry bush (*Viburnum opulus* L.) genotypes for agro-morphological, biochemical and bioactive characteristics in Turkey. *Folia Hort*, 29,181—188.
- Ferlemi, A. V., Lamari, F. N. (2016). Berry Leaves: An Alternative Source of Bioactive Natural Products of Nutritional and Medicinal Value. *Antioxidants-Basel*, 5(2).
- Kolarević, T., Milinčić, D. D., Vujović, T. & Pešić, M. B. (2021). Phenolic Compounds and Antioxidant Properties of Field-Grown and In Vitro Leaves, and Calluses in Blackberry and Blueberry. *Horticulturae*, 7, 420.
- Krzepińko, A., Prażak, R., & Świącilo, A. (2021). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Raspberry, Blackberry and Raspberry-Blackberry Hybrid Leaf Buds. *Molecules*, 26(2), 327.
- Lazar, L., Talmaciu, A. I., Volf, I., & Popa, V. I. (2016). Kinetic modeling of the ultrasound-assisted extraction of polyphenols from *Picea abies* bark. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 191—197.
- Mariassyova, M. (2006). Antioxidant activity of some herbal extracts in rapeseed and sunflower oils. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(3), 104—109.
- Neamtu, A.-A., Szoke-Kovacs, R., Mihok, E., Georgescu, C., Turcus, V., Olah, N. K., ... Mathe, E. (2020). Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Extracts Comparative Analysis Regarding Their Phytonutrient Profiles, Antioxidant Capacity along with the In Vivo Rescue Effects Tested on a *Drosophila melanogaster* High-Sugar Diet Model. *Antioxidants*, 9(11), 1067—1100.
- Okatan, V. (2020). Antioxidant properties and phenolic profile of the most widely appreciated cultivated berry species: A comparative study. *Folia Horticulturae*, 32(1), 79—85.
- Piotrowski, W.; Oszmianski, J.; Wojdyło, A.; Labanowska, B. H. (2016). Changing the content of phenolic compounds as the response of blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) leaves after blackcurrant leaf midge (*Dasineura tetensi* Rubs.) infestation. *Plant Physiol Bioch*, 106, 149—158.
- Polka, D., Podśedek, A., & Koziolkiewicz, M. (2019). Comparison of Chemical Composition and Antioxidant Capacity of Fruit, Flower and Bark of *Viburnum opulus*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(3), 436—442.

Ponder, & Hallmann. (2019). Phenolics and Carotenoid Contents in the Leaves of Different Organic and Conventional Raspberry (*Rubus idaeus L.*) Cultivars and Their In Vitro Activity. *Antioxidants*, 8(10), 458.

Robles-Ramírez, M. del C., Monterrubio-López, R., Mora-Escobedo, R., Beltrán-Orozco, M., & del, C. (2016). Evaluation of extracts from potato and tomato wastes as natural antioxidant additives. *Antioxidant ef*, 66(1).

Saltan, G., Süntar, I., Ozbilgin, S., Ilhan, M., Demirel, M., Oz, B., Akkol, E. (2016). *Viburnum opulus L.*: a remedy for the treatment of endometriosis demonstrated by rat model of surgically-induced endometriosis. *J Ethnopharmacol*, 193, 450—455.

Sharma, S., Cheng, S.-F., Bhattacharya, B., & Chakkaravarthi, S. (2019). Efficacy of free and encapsulated natural antioxidants in oxidative stability of edible oil: Special emphasis on nano-emulsion-based encapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 305—318.

Smetanska, I., Helfert, J., Appeltauer-Brandl, U. (2016). Antioxidant activity of apple peels. *Mech & Technol*, 52, 61—65.

Tadić, V. M., Nešić, I., Martinović, M. & Žugić, A. (2021). Old Plant, New Possibilities: Wild Bilberry (*Vaccinium myrtillus L.*, Ericaceae) in Topical Skin Preparation. *Antioxidants*, 10, 465.