

УДК 547.56:573.4

ФЕНОЛЬНІ СПОЛУКИ: РІЗНОМАНІТТЯ, БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ, ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ

© 2015 р. О. В. Войцехівська, О. В. Ситар, Н. Ю. Таран

ННЦ «Інститут біології»

Київського національного університету ім. Тараса Шевченка

(Київ, Україна)

Узагальнено сучасні відомості про особливості хімічної будови, класифікації, розповсюдження, біологічне значення та перспективи застосування найбільш поширених вторинних метаболітів рослин – фенольних сполук. Проаналізовано три найважливіші групи фенолів: флавоноїди, фенольні кислоти, поліфеноли. Розглянуто кілька підходів до класифікації фенольних сполук. Описано джерела та різноманітність походження фенольних сполук, шляхи їх біосинтезу, біологічні функції. Особливу увагу приділено антиоксидантним, антибактеріальним, фітотоксичним, протигрибковим та іншим властивостям фенольних сполук. Наведено найбільш актуальні напрями досліджень фенолів, метою яких є пошук фізіологічно та екологічно безпечних препаратів природного походження для фармацевтичної, харчової, сільськогосподарської промисловості, які можуть бути альтернативою синтетичним аналогам.

Ключові слова: фенольні сполуки, флавоноїди, фенольні кислоти, поліфеноли, антиоксидантна дія, біологічна активність

Фенольні сполуки – найбільш поширений клас біологічно активних речовин рослинного походження. У 1989 році Харборн ввів термін «феноли» (Harborne, 1989), що об'єднує групу ідентифікованих хімічних сполук, у молекулі яких наявне ароматичне кільце, пов'язане з однією або кількома гідроксильними групами. Якщо до складу молекули входить кілька фенольних груп, речовина називається поліфенолом. До фенолів належать також їх функціональні похідні – ефіри, метилові ефіри, глікозиди тощо. Феноли і поліфеноли – це група вторинних метаболітів рослин, які є продуктами біогенетичних шикимат-фенілпропаноїдно-флавоноїдних шляхів синтезу речовин. В організмі людини і тварин ароматичні кільця не синтезуються, а надходять разом з рослинною їжею та включаються до складу багатьох життєво необхідних фенольних сполук – адреналіну, тироксину, серотоніну та ін. Феноли – важлива складова харчового раціону людини у зв'язку з їх високою антиоксидантною активністю (Bravo, 1998).

За будовою вуглецевого скелету феноли поділяють на: C_6 – прості феноли, бензохінон; C_6-C_1 – фенольні кислоти, похідні бензойної кислоти; C_6-C_2 – ацетофенон, фенілоцтова кислота; C_6-C_3 – гідроксикоричні кислоти, кумарини, фенілпропани, хромони; C_6-C_4 – нафтохінони; $C_6-C_1-C_6$ – ксантони; $C_6-C_2-C_6$ – стильбени, антрахінони; $C_6-C_3-C_6$ – флавоноїди, ізофлавоноїди; $(C_6-C_3)_2$ – лігнани, неолігнани; $(C_6-C_3-C_6)_2$ – біофлавоноїди; $(C_6-C_3)_n$ – лігніни, $(C_6)_n$ – катехіни, меланіни, $(C_6-C_3-C_6)_n$ – конденсовані дубильні речовини (Harborne, 1980; Aoki et al., 2000; Hattenschwiler et al., 2000; Iwashina, 2000; Lattanzio et al., 2003). Феноли також класифікують за кількістю ароматичних кілець у молекулі та хімічною природою структурних елементів, які поєднують ці кільця (King et al., 1999). Кінг і Янг у 1999 році виділили три найбільш важливі групи харчових фенолів: флавоноїди, фенольні кислоти та поліфеноли. Слід відзначити, що попередній скринінг харчових фенолів свідчить про їх високу варіабельність навіть в межах одного рослинного організму.

Флавоноїди – найчисельніша і найбільш вивчена група рослинних фенолів. Фенольні кислоти об'єднують групу специфічних речовин, які здатні утворювати два типи етерів: складні етери кислот та прості етери фенолів.

Адреса для кореспонденції: Войцехівська Олена Василівна, ННЦ «Інститут біології» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, вул. Володимирська 64, Київ, 01033;
e-mail: matushka@i.ua

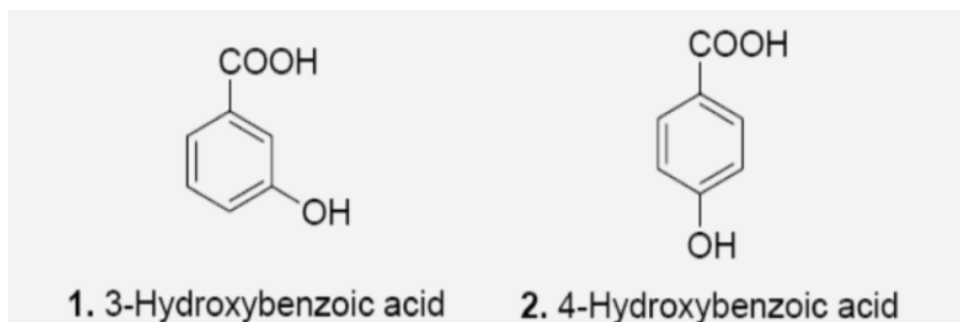


Рис. 1. 3-гідроксибензойна (1) і 4-гідроксибензойна (2) кислоти.

Серед поліфенолів виділяють дві основні групи – флавоноїди і нефлавоноїди (De la Rosa et al., 2010). До флавоноїдів відносять сполуки з $C_6-C_3-C_6$ будовою вуглецевого скелету. Це флавонони, флаволи, дигідрофлавоноли, флавоноли, флаван-3-оли, ізофлавоноли, антоціанідини, проантоціанідини і халкони. До нефлавоноїдних поліфенолів належать дубильні речовини (таніни) – високомолекулярні сполуки, що поділяють на два класи: гідролізовані та конденсовані таніни.

Фенольні сполуки – активні метаболіти рослин, зокрема, вони беруть участь в процесах росту, розмноження, стійкості до патогенів, зумовлюють пігментацію листків, стебел, квіток, плодів. Виявлено протекторну дію фенольних сполук за дії на організм таких бактеріальних патогенів як *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* і *Escherichia coli* (Ghasemi et al., 2011; Naq et al., 2011).

Полярні феноли, такі як токоферолі, лігніни і компоненти живиці є антиоксидантами, що запобігають окисненню ліпідів мембран, підвищують стабільність жирів і олій при їх зберіганні та нагріванні. Встановлено пряму залежність між антиоксидантною активністю та накопиченням фенолів в овочах, фруктах (Cai et al., 2004; Fu Li et al., 2011) і 50 лікарських рослинах (Gan et al., 2010). За результатами досліджень встановлено, що рослинна сировина *Geranium wilfordii*, *Loranthus parasiticus*, *Polygonum aviculare*, *Pyrrhosia sheaeri*, *Sinomenium acutum* і *Tripterygium wilfordii* може бути перспективним джерелом природних антиоксидантів.

Фенольні сполуки в основному накопичуються в листках та корі (деревних та чагарникових форм рослин) разом з іншими кінцевими продуктами обміну речовин. Також фенольні сполуки накопичуються у насінні, де запобігають окисненню ненасичених жирних кис-

лот. При переробці насіння олійних культур, менш полярні феноли екстрагуються разом з олією, тоді як більш полярні (нерозчинні в екстракційній суміші) залишаються у вичавках (Pokorny, 2007). Насіння рослин є важливим джерелом фенольних сполук для харчової, технічної та фармацевтичної промисловості (Tlili et al., 2009). Нині ведеться активний пошук нових джерел антиоксидантів рослинного походження, зокрема фенолів (Meot et al., 2009; Tlili et al., 2009).

Фенольні кислоти

До складу молекули фенольних кислот входить одна карбоксильна група приєднана до бензольного кільця (Lafay et al., 2008). За хімічною будовою фенольні кислоти поділяють на два класи: похідні бензойної кислоти (C_6-C_1 – гідроксибензойні кислоти) та похідні коричної кислоти (C_6-C_3 – гідроксикоричні кислоти) (Robbins, 2003).

Гідроксибензойні кислоти.

3-гідроксибензойна кислота (рис. 1) виявлена у таких рослинах як грейпфрут (*Citrus paradise*), олива (*Olea europea*) (Bendini et al., 2007), мушмула (*Mespilus germanica*) (Gruz et al., 2011), часто зустрічається у формі глікозидів (Ford et al., 1998).

4-гідроксисбензойна кислота (*p*-гідроксибензойна) (рис. 1.) виявлена у багатьох видах рослин, зокрема у моркві (*Daucus carota*) (Sircar et al., 2009), олійній пальмі (*Elaeis guineensis*) (Chong et al., 2009), винограді (*Vitis vinifera*), фагарі (*Fagara macrophylla*), ксантофілумі (*Xanthophyllum rubescens*), перобі (*Paratecoma peroba*), мурашиному дереві (*Tabebuia impetiginosa*), сандаловому дереві (*Pterocarpus santalinus*), катальпі бегонієвидній (*Catalpa bignonioides*), прутняку китайському (*Vitex negundo*) (Ling et al., 2005), ареці катеку (*Areca catechu*), роїстонеї королівській (*Roystonea regia*) (Chakraborty et al., 2006), му-

ФЕНОЛЬНІ СПОЛУКИ

шмулі германській (*Mespilus germanica*) (Gruz et al., 2011).

Ймовірно, що попередником біосинтезу *p*-гідроксибензойної кислоти є *p*-гідроксибензальдегід. Показано (Sircar et al., 2009), що за умов *in vitro* проміжним продуктом перетворення *p*-кумарової кислоти в *p*-гідроксибензойну є *p*-гідроксибензальдегід. Зокрема, доведено β -окиснювальний шлях біосинтезу *p*-гідроксибензойної кислоти. Біосинтез саліцилової кислоти активується бензо-2-гідроксилазою та пов'язаний з біосинтезом *p*-гідроксибензойної кислоти (Sawada et al., 2006).

Показано, що зниження активності бензо-2-гідроксилази зумовлює ендогенну відповідь на сольовий стрес, а також запобігає накопиченню саліцилової кислоти в проростках рису за умов окиснювального стресу (Sawada et al., 2006). На ранніх етапах онтогенезу *p*-гідроксибензойна кислота зумовлювала зниження толерантності проростків кукурудзи до дії стресового чинника (Horvath et al., 2002), тоді як на більш пізніх етапах онтогенезу за екзогенної дії *p*-гідроксибензойної кислоти виявлено підвищення стійкості до посухи рослин озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сорту Китайська (Horvath et al., 2007). *P*-гідроксибензойна кислота може викликати окиснювальний стрес в клітинах епідермісу після перетворення в глутатіоновий кон'югат гідрохінону за дії синглетного кисню та глутатіону (Nishizawa et al., 2006). Таким чином, індукція та контроль синтезу *p*-гідроксибензойної кислоти за умов стресу може мати значення для функціонування антиоксидантної системи рослин.

Дослідження, проведені за останні роки, показали, що *p*-гідроксибензойна кислота має протигрибкову, антимутагенну, естрогенну (Pugazhendhi et al., 2005) та протимікробну (Chong et al., 2009) дію. Зокрема, встановлено збільшення концентрації *p*-гідроксибензойної кислоти у клітинних стінках кореня *Arabidopsis thaliana* за дії патогена *Pythium sylvaticum*. *P*-гідроксибензойна кислота зменшує проникність клітинних стінок кореня, що сприяє підвищенню резистентності рослин (Horvath et al., 2002; Horvath et al., 2007; Yan et al., 2009).

Іншим класом фенольних кислот є C_6-C_3 – гідроксикоричні кислоти, серед яких найбільш важливе значення мають ферулова, синапова та хлорогенова кислоти. Найбагатшим джерелом синапової кислоти є рапс, в клітинах якого вона міститься не у вільному стані, а як етер входить до складу холіну і тому не виявляє

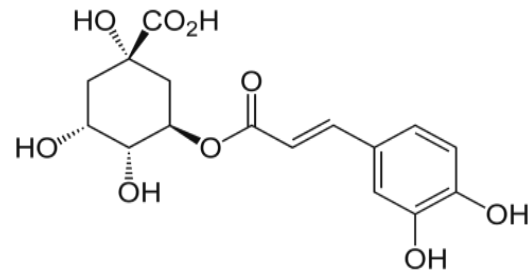


Рис. 2. Хлорогенова кислота.

антиоксидантної активності (Schmidt et al., 2006). Екстракти насіння енотери (*Oenothera drummondii*) також є перспективним джерелом фенольних антиоксидантів, характерною особливістю яких є те, що вони виявляють свою активність як в оліях (ліпідне оточення), так і в емульсіях (Schmidt et al., 2003).

Хлорогенова кислота. До гідроксикоричних кислот природного походження належить хлорогенова кислота (рис. 2). За хімічною природою – це етер кавової кислоти і циклітол(-)хіноної кислоти (Clifford et al., 2003). Вона є важливою проміжною сполукою у біосинтезі фенолів (Wout et al., 2003). Основним джерелом хлорогенової кислоти у раціоні людини є кава. Щоденне споживання кави забезпечує надходження 0,5-1 г хлорогенової кислоти до організму людини. У тих, хто регулярно вживає каву, в організмі відзначають підвищені концентрації гомоцистеїну (цитотоксичний ефект), що, ймовірно, зумовлено високим вмістом хлорогенової кислоти (Margreet et al., 2001).

Хлорогенова кислота поширена у рослинному світі, зокрема вона виявлена в яблуках (*Malus domestica*), грушах (*Pyrus*), баклажанах (*Solanum melongina*), артишоку (*Cynara*) (Clifford, 1999), камелії китайській (*Camellia sinensis*) (Margreet et al., 2001), фітостакісі їстівному (*Phyllostachys edulis*) (Kweon et al., 2001), гречці (*Fagopyrum esculentum*) (Alvares-Jubete et al., 2010) тощо.

Проведені дослідження свідчать, що біосинтез хлорогенової кислоти здійснюється аналогічно шляху біосинтезу кверцетин-3-О-рутинозиду та ціанідин-3-галактозиду (Lancaster, 1992). Припускають, що накопичення хлорогенової кислоти не залежить від синтезу кверцетин-3-О-рутинозиду та ціанідин-3-галактозиду (Mohamed et al., 2001). Виявлено, що біосинтез хлорогенової кислоти у рослинах арабідопсису (*Arabidopsis*) може активуватися ферментом класу цитохромів CYP_{3A4} (цито-

хром P₄₅₀) (Venkataramaiah et al., 2007). У рослин томату (*Solanum lycopersicum*) ключовим ферментом біосинтезу хлорогенової кислоти є гідроксицинаміл-КоА-хінат трансфераза (HQT). Наразі встановлені зв'язки між накопиченням фенолів за дії УФ-випромінювання та активністю гідроксицинаміл-КоА-хінат трансферази. Здатність фенольних сполук брати участь у захисних реакціях за дії потенційно шкідливого УФ-випромінювання визначається їх загальним кількісним та якісним складом (Carla et al., 2008).

Відзначено активацію синтезу хлорогенової кислоти за дії стресових чинників (Grace, Logan, 2000). Хлорогенова кислота ініціювала пероксидне окиснення ліпідів в ліпосомах, про що свідчить утворення 4-гідроксинонєналу – продукту розпаду ліпідів (Sakihama et al., 2002). Al, Zn, Cd, Mg, Ca активували пероксидне окиснення ліпідів шляхом індукування синтезу хлорогенової кислоти (Sakihama et al., 2002). За умов відсутності хлорогенової кислоти *in vitro* іони цих металів не зумовлювали значної активації пероксидного окиснення ліпідів. Хлорогенову кислоту широко застосовують у медичній практиці та різних галузях промисловості, зокрема у побутовій хімії, харчовій промисловості (Kweon et al., 2001). Її додають до напоїв, чаю, продуктів харчування, вона входить до складу косметичних засобів та медичних препаратів (Jin et al., 2005). Хлорогенова кислота має жовчогінну, сечогінну, капіляррозміцнюючу, проти-запальну, антибактеріальну та антивірусну дію (Jiang et al., 2001). Хлорогенова кислота є найпотужнішим функціональним інгібітором мікрсомальних глюкозо-6-фосфат транслоказ, які застосовують для хіміопрофілактики онкологічних захворювань (Herling et al., 1998). Хлорогенова кислота є перспективною сполукою для лікування ВІЛ-інфікованих та хворих на СНІД (Ma, Liang, 2003).

Кавова кислота. Однією з найбільш поширених гідроксикоричних кислот у рослин є кавова кислота (3,4-діоксикорична кислота) (рис. 3) та її похідна – хлорогенова кислота. Їх вміст у кавових зернах складає до 6%, листках тютюну – до 8%, листках гірчиці кавказької – до 15% (Clifford, 1999). Кавова кислота наявна практично в усіх рослинах, оскільки це проміжний продукт біосинтезу лігніну. Вона є однією з основних гідроксикоричних кислот, присутніх у вині (Phami, 2006).

Проведені численні дослідження механізмів дії кавової кислоти на клітинному, тканинному та рівні цілого організму (Clifford, 1999).

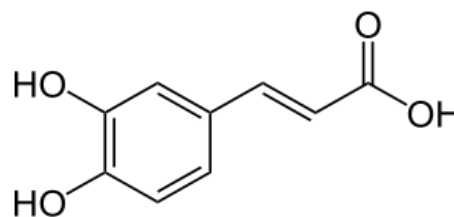


Рис. 3. Кавова кислота.

Доведено, що за умов *in vitro* кавова і хлорогенова кислоти є високоефективними антиоксидантами (Rice-Evans et al., 1996). Дослідження проведено з використанням різних методів визначення антиоксидантної активності, зокрема, тіосульфатного, шляхом визначення антиоксидантної активності за допомогою радикалів 2,2'-азино-біс(3-етилбензотіазолін-6-сульфонілової кислоти (АБТС), та 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилу (ДППГ), реакції з супероксид-аніонним радикалом та визначення метал-хелатуючої активності (Phami, 2006).

За умов *in vitro* показано, що кавова кислота та її складні етери запобігають синтезу мутагенних і канцерогенних N-нітрозосполук, шляхом інгібування N-нітрованої реакції (Margreet et al., 2001), пригнічують розвиток бактеріальних та грибних патогенів рослин (Helle et al., 1989). Кавова кислота та її похідні є субстратом для поліфенолоксидаз і за певних умов можуть легко окиснюватися в тканинах рослин або продуктах рослинного походження (Bassil et al., 2005).

За допомогою тесту Ранцемат (Jiang et al., 1997) досліджували реакції окиснення ліпідів за дії антиоксидантних сполук. Згідно з отриманими даними антиоксидантна активність досліджуваних сполук зменшувалася у послідовності: кавова кислота > β-токоферол > фенетиловий етер кавової кислоти > розмаринова кислота > хлорогенова кислота > ферулова кислота > фенетиловий етер ферулової кислоти. Коли ліпідний субстрат був змінений на кукурудзяну олію, спостерігали зниження антиоксидантної активності всіх досліджуваних сполук, які розмістилися відповідно у такому порядку: розмаринова кислота > кавова кислота > фенетиловий етер кавової кислоти > хлорогенова кислота > β-токоферол. Слід відзначити, що в кукурудзяній олії ферулова кислота та фенетиловий етер ерулової кислоти не виявляли помітної антиоксидантної активності (Jiang et al., 1997).

ФЕНОЛЬНІ СПОЛУКИ

Дослідження залежності між хімічною будовою сполук (синтетичної кавової кислоти та її етерів) і їх антиоксидантною активністю продемонстрували, що активність зв'язування вільних радикалів зростає зі збільшенням кількості гідроксильних груп або катехінових фрагментів, а також за наявності –NH, –SH груп (Sopheak et al., 2002). Антиоксидантна активність досліджуваних сполук за реакцією швидкості зв'язування 2,2-дифеніл-1-пікрілгідразилрадикала зменшувалася у порядку: метиловий етер N-транс-кафеїл-L-цистеїну > N-транс-кафеїлдопамін > N-транс-кафеїлтирамін > N-транс-кафеїл-β-фенетиламін > Тролокс С > фенетиловий етер кавової кислоти > кавова кислота > ферулова кислота.

Ферулова кислота. Ферулова кислота (4-гідрокси-3-метоксицинамічна кислота) – похідна коричної кислоти (Kroon et al., 1999) (рис. 4), широко розповсюджена в рослинному світі, одна із основних діючих речовин, що входить до складу лікарських рослин Китаю, зокрема, *Angelica sinensis*, *Cimicifuga heracleifolia*, *Lignstricum chuangxiong*.

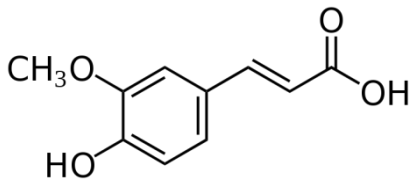


Рис. 4. Ферулова кислота.

Ферулова кислота зв'язується ковалентними зв'язками з компонентами клітинної стінки, завдяки чому накопичується у нерозчинній формі у висівках зернових. У клітинах рослин ферулова кислота у вільному стані зустрічається рідко, вона, в основному, зв'язана з моно- та олігосахаридами, поліамінами, ліпідами та полісахаридами (Shiyi et al., 2004). Біосинтез ферулової кислоти в рослинах відбувається фенілпропанічним шляхом (Boudet, 1998). Цей шлях бере початок від фенілаланіну та тирозину, включає низку біосинтетичних перетворень, в яких задіяна значна кількість різноманітних вторинних метаболітів, зокрема лігнін та попередники лігніну, ферулоїл КоА, *p*-кумароїл КоА (Boudet, 1998).

Ферулова кислота – це фенольна кислота з низьким рівнем токсичності, легко засвоюється та метаболізується в організмі людини. Наявність в молекулі ферулової кислоти подвійних зв'язків у залишку пропенової кислоти та гід-

роксильної групи в ароматичному ядрі забезпечує резонансну стабілізацію феноксирадикалів, що, в свою чергу, зумовлює її високий антиоксидантний потенціал. Поглинання феруловою кислотою УФ-променів прискорює формування стабільних феноксирадикалів, підсилюючи її здатність припиняти вільнорадикальні реакції. Завдяки ефективній детоксикації радикалів і гальмуванню реакцій окиснення, індукованих радіацією, ферулова кислота є потужним антиоксидантом, що забезпечує збереження цілісності клітини за дії активного ультрафіолетового випромінювання (Ernst, 1992).

Відзначено високий рівень флуоресценції за наявності ферулової кислоти як у клітинній стінці *in vivo*, так і в ізольованих клітинних стінках до і після лужного гідролізу ферулової кислоти. У однодольних рослин, таких як кукурудза (*Zea mays* L.), пшениця (*Triticum aestivum* L.), овес (*Avena sativa* L.) виявлено інтенсивну синьо-зелену флуоресценцію та високий вміст ферулової кислоти в клітинній стінці. У рослин соняшнику (*Helianthus annuus*), гарбуза (*Cucurbita ficifolia* L.), тютюну (*Nicotiana*), в клітинних стінках яких ферулова кислота відсутня, встановлено дуже низький рівень флуоресценції у синьо-зеленому спектрі (Lichtenthaler et al., 1998).

Ферулова кислота впливає на ряд фізіологічних функцій в організмі людини, зокрема, запобігає розвитку ішемічної хвороби серця, знижує рівень холестерину, підвищує життєдіяльність сперматозоїдів (Shiyi et al., 2004). У зв'язку з фотозахисними властивостями та низькою токсичністю ферулова кислота широко застосовується у харчовій та косметичній промисловості. Фотопротекторні властивості ферулової кислоти досліджено у модельному експерименті, в якому вивчали дію сонячного випромінювання, збільшуючи його інтенсивність у 4-8 разів, на ступінь засмаги шкіри та розвиток еритеми. Показано, що пригнічення апоптозу клітин зумовлено зниженням активності цистеїнових протеаз – ферментів каспази-3 та каспази-7 (Fu-Hsiung et al., 2005).

Ферулова кислота застосовується як харчова добавка з антиоксидантними, протизапальними, капілярозміцнюючими властивостями.

***p*-кумарова кислота.** До похідних гідроксикоричної кислоти належить кумарова кислота. Залежно від положення гідроксильної групи у фенольному кільці, розрізняють три ізомерні форми кумарової кислоти – *o*-кумарова, *m*-кумарова і *p*-кумарова кислота. Найбільш поширеним в природі ізомером є *p*-

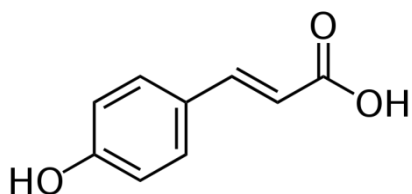


Рис. 5. *p*-кумарова кислота.

кумарова кислота (4-гідроксикорична кислота) (рис. 5).

p-кумарова кислота разом з синапіловим та коніфероловим спиртом є однією з основних складових лігноцелюлози. Джерелом кумарової кислоти в організмі людини є зернові культури, овочі, фрукти. *p*-кумарова кислота зустрічається у формі складного етерифікованого залишку геміцелюлози або лігніну у рослинах кукурудзи, вівса (Xing et al., 1997), пшениці (Pan et al., 1998), у формі кон'югату складного етеру і у вигляді вільної кислоти у фруктах і овочах (яблуках, грейпфрутах, апельсинах, томатах, картоплі та шпинаті) (Geoffrey et al., 1996; Janelle et al., 2001).

Синтез *p*-кумарової кислоти пов'язаний з перетворенням амінокислоти L-фенілаланіну. Першою реакцією у біосинтезі *p*-кумарової кислоти є дезамінування L-фенілаланіну за допомогою ферменту фенілаланінамонійліази з утворенням коричної кислоти. У результаті парагідроксилування коричної кислоти за участю цитохром P450-залізного ферменту – гідроксилази 4-коричної кислоти утворюється *p*-кумарова кислота – найпростіша фенольна сполука, що є попередником у біосинтезі багатьох класів фенолів. Так, внаслідок вкорочення бічного ланцюга *p*-кумарової кислоти утворюються ацетофенони, фенілоцтові та фенілкарбоніві кислоти. Відновлення бічного ланцюга з подальшою полімеризацією призводить до синтезу лігніну. Приєднання до *p*-кумарової кислоти гідроксильної групи призводить до утворення кумаринів.

Дослідження *p*-кумарової кислоти та її аналогів показали, що розміщення гідроксильної групи у *p*-положенні у фенольному кільці та наявність подвійного зв'язку у будові молекул визначає їх біологічну активність. Ян зі співавт. (Yan et al., 2009) показали, що рослинні феноли, зокрема *p*-кумарова кислота, пригнічують секрецію генів T3SS патогена рослин *Dickeya dadantii*.

Припускають, що за умов регулярного живання *p*-кумарова кислота більш ефективно виявляє свої фізіологічні ефекти на організм людини. Зокрема, вона має антиоксидантні властивості, запобігає утворенню канцерогенних нітрозамінів (Kikugawa et al., 1983), що в свою чергу знижує ризик розвитку раку шлунка (Ferguson et al., 2005). За умов *in vitro* кумарова кислота інгібує синтез морфоліну шляхом нітрузування (Li et al., 1994) та, взаємодіючи з пероксинітритом, синтез 3-нітротирозину (Niwa et al., 1999).

Ванілінова кислота (4-гідрокси-3-метоксибензойна кислота) (рис. 6) ідентифікована у багатьох рослинах, зокрема у ясені колючому (*Fagaria* sp.), вільсі японській (*Alnus japonica*), лоху колючому (*Elaeagnus pungens*), еріці австралійській (*Erica australis*), бавовнику мексиканському (*Gossypium mexicanum*), мелеї азедарах (*Melia azedarach*), женьшені східному (*Panax ginseng*), паратекомі корейській (*Paratecoma koraiensis*), червоному сандалі (*Pterocarpus santalinus*), шипшині собачій (*Rosa canina*), Шеньсі (*Picrorhiza kurrooa*), Луо Ши (*Trachelospermum asiaticum*), амбурані (*Amburana cearensis*), їстівних грибах Шіїтаке (*Lentinula edodes*) і баклажанах (*Solanum melongena*) (Shaoli et al., 2011).

Ванілінова кислота виявляє гепатопротекторну дію (Sathyaneson et al., 2010). Показано (Itoh et al., 2009; Itoh et al., 2010), що за хронічного ураження печінки, вона пригнічує розвиток фіброзу печінки. Також ванілінова кислота інгібує фермент зміїної отрути – 5'-нуклеотидазу (Dhananjaya et al., 2009).

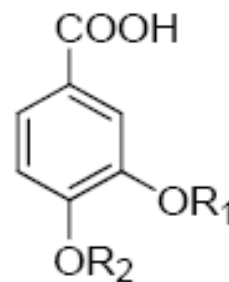


Рис. 6. Схема будови ванілінової (R_1 - CH_3 , R_2 - H) та ізованілінової (R_1 - H , R_2 - CH_3) кислоти.

Ізованілінова кислота. Ізованілінова кислота (3-гідрокси-4-метоксибензойна кислота) (рис. 6) – це похідна метилового етеру протокатехової кислоти. Ізованілінова кислота ідентифікована в гортензії (*Hydrangea macrophylla*), ендоспермумі китайському (*Endospermum chinense*) (Li X. et al., 2007), цитрусі (*Citrus Changshanhuoyou*) (Zhao et al., 2009), фікусі мікрокарпа (*Ficus microcarpa*) (Lai et al., 2008), романі (*Anthemis melanolepis*) (Saroglou et al., 2010), калофіллумі (*Calophyllum polyanthum*) (Zhong et al., 2010), женьшені (*Panax notoginseng*) (Komakine et al., 2006), акації змішаній (*Acacia confusa*) (Tung et al., 2007), плодах хлібного дерева (*Treulia obovoidea*) (Kuete et al., 2007), шафрані (*Crocus sativus*). Показано, що ізованілінова кислота виявляє високу антибактеріальну (Kuete et al., 2007) та антиоксидантну (Tung et al., 2007) активність.

Флавоноїди

Флавоноїди – це одна з найбільш різноманітних і поширених груп фенольних сполук, що активно досліджуються протягом останніх років. Флавоноїди – непластидні пігменти рослин жовтого, помаранчевого, червоного, синього та фіолетового кольору. В основі будови молекул флавоноїдів лежить структура флавану, що складається з двох бензольних кілець і одного гетероциклічного (піранового) кільця. За ступенем окиснення або відновлення гетероциклічного кільця флавоноїди ділять на шість груп: катехіни, антоціани, лейкоантоціани, флаволи, флавонони, флавоноли.

До рідкісних флавоноїдів відносять аурони і халкони, їх поширення обмежене кількома родинами рослин. У рослин сорго (*Sorghum bicolor*), кукурудзи (*Zea mays*), глосинії (*Sinningia cardinalis*) ідентифіковано 3-деоксиантоціани (полімеризовані флобафени). Подібні до флавоноїдів стильбени синтезуються у деяких рослинах різних таксономічних груп, зокрема у винограді (*Vitis vinifera*), арахісі (*Arachis hypogaea*) і сосні (*Pinus sylvestris*) (Winkel-Shirley, 2001).

Біосинтез флавоноїдів здійснюється шикиматним та ацетатним шляхом. Вуглеводневий скелет флавоноїдів (два бензольні кільця), на відміну від інших фенольних сполук, має подвійне біогенетичне походження. Одне з кілець є продуктом вторинних перетворень амінокислоти L-фенілаланіну (шикиматний шлях). Синтез другого бензольного кільця здійснюється у комплексі перетворень *p*-кумарової кислоти. *P*-кумарова кислота попередньо активується

CoA, вступає в реакцію з трьома молекулами активованої малонової кислоти, до бічного аліфатичного ланцюга приєднується три ацетатних фрагменти, після внутрішньомолекулярного замкнення яких за участю ферменту халконсинтази утворюється друге бензольне кільце. Слід відзначити, що спочатку утворюється халкон з незамкненим другим кільцем, а потім за участю відповідної ізомерази він перетворюється на ізомерну форму – флаванон (Keller, 2009).

Флавоноїди містять у молекулі реакційноздатні фенольні радикали та карбонільну групу. Завдяки цьому вони беруть участь у різноманітних метаболічних процесах, що зумовлює їхню біологічну активність. Усі природні флавоноїди малотоксичні, вони виявляють широкий спектр фізіологічної дії на організм людини: беруть участь в окисно-відновних процесах, реакціях імунітету, зумовлюють протизапальну, сенсibiliзуючу, протипухлинну, радіозахисну дію. Більшість флавоноїдів, особливо катехіни, мають високий рівень антиоксидантної активності (Pokorny, 2008). Так, листя зеленого і чорного чаю є найвідомішим і найпоширенішим джерелом катехинів (Yanishlieva et al., 2006). Нині, значну частину природних антиоксидантів виявлено і добре вивчено. Однак, останнім часом ідентифікують нові флавоноїди у травах, спеціях, які можуть бути перспективним джерелом антиоксидантів у харчуванні людини (Pokorny, 2000). Так, рослини зубрівки (*Hierochloe odorata* Walhl.), що використовуються для ароматизації деяких видів горілки, містять флавоноїди з високою антиоксидантною активністю (Zainuddin et al., 2002).

Катехіни – це найбільш відновлені флавоноїди, ідентифіковані у понад 200 видів рослин. Лідером за вмістом катехинів є листки і пагони чаю (до 30% у перерахунку на масу сухої речовини), у яких виявлено епікатехін (ЕК), епікатехін-3-галлат (ЕКГ), епігаллокатехін (ЕГК), епігаллокатехін-3-галлат (ЕГКГ), катехін і галлокатехін (ГК) (рис. 7). Найбільший вміст (65% від загального вмісту) складають ЕГКГ. Так, у склянці зеленого чаю міститься 100-200 мг ЕГКГ. Інші катехіни наявні у незначній кількості (Chu, 1997; Chu et al., 1997).

У чорному та оolong чаї катехинів міститься менше, ніж у зеленому, що пов'язано з особливостями обробки чайних листків після збору врожаю. Для приготування зеленого чаю щойно зібрані листки рослини *Camellia sinensis* обробляють паром, висушують для інактивзації ферменту поліфенолоксидази, що каталізує

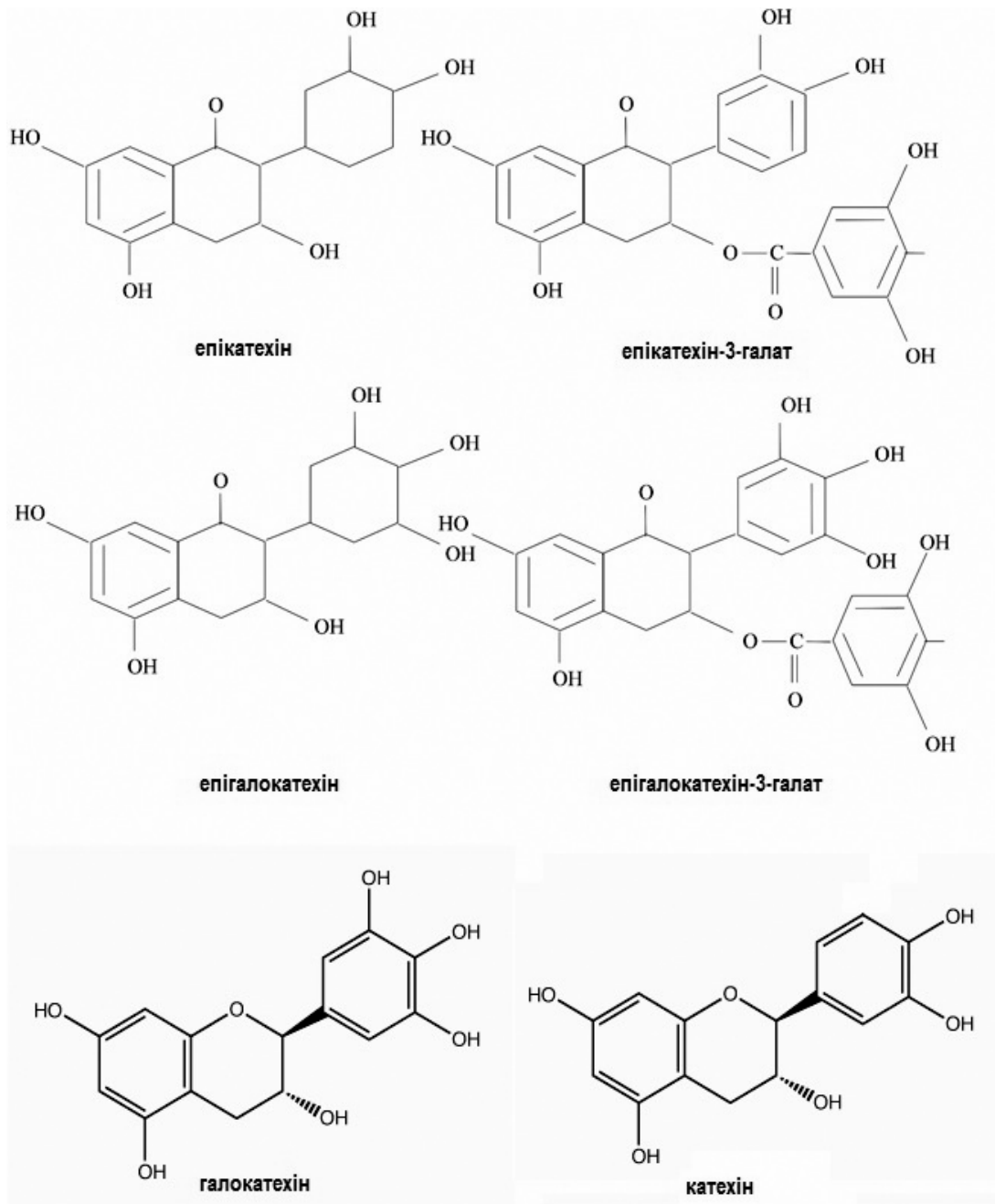


Рис. 7. Структура основних катехінів.

окисні перетворення катехінів. Таким чином, основна частина катехінів зеленого чаю залишається у неокисненій мономерній формі – флаван-3-олів або чайних катехінів. При виробництві чорного чаю відбувається активна ферментація чайних листків за якої флаван-3-оли зазнають окисних перетворень, в результаті чого утворюються димери катехінів, теарубігін та теафлавіни. Залежно від ступеня окиснення флаван-3-олів чай набуває чорного, червоного, жовтого забарвлення, характерної терпкості, гіркоти і аромату. Оолонг чай – це частково ферментований продукт, до складу якого входить суміш мономерних поліфенолів та значна

кількість високомолекулярних теафлавінів (Graham, 1992). Наразі всі три сорти чаю мають високий вміст кофеїну – від 3 до 6% (Chu, 1997).

Недостатньо вивченим залишається якісний і кількісний склад фенольних та летких сполук у чайному листку за різного ступеня ферментації. Кім зі співавт. (Kim et al., 2011) досліджували за яких умов обробки та ступеня ферментації чайного листка вихідний матеріал набуває найвищої антиоксидантної активності. Показано, що окисні перетворення танінів зумовлюють зниження антиоксидантної активності

ФЕНОЛЬНІ СПОЛУКИ

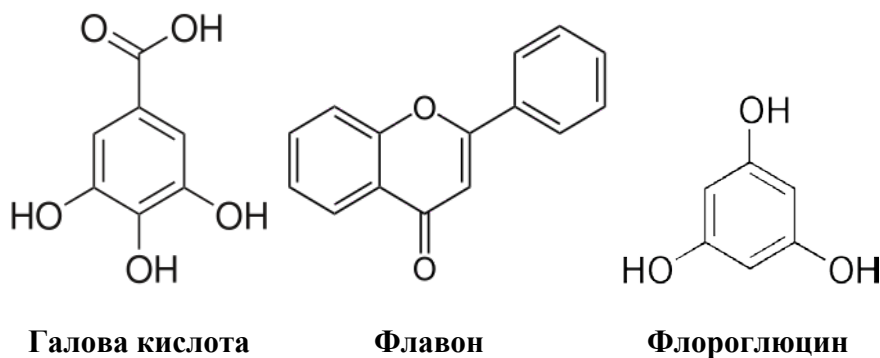


Рис. 8. Таніни.

сті чаю, тим самим зменшується ефективність їх фізіологічної дії на організм людини.

Цілющі властивості зеленого чаю переважно зумовлені наявністю епікатехинів, ніж катехинів. Також було показано, що епікатехіни і катехіни мають вищу антиоксидантну активність, ніж вітаміни С і Е (Rice-Evans et al., 1996). Катехіни зеленого чаю виявляють антиканцерогенну дію, підвищують ефективність рентгенопроміння при лікуванні пухлин, підсилюють опірність організму до іонізуючого випромінювання. Показано, що епігаллокатехін галлат (ЕГКГ) відіграє важливу роль в антиангіогенезі – запобіганні росту пухлин кровоносних судин (Pfeffer et al., 2003), а також має антимуутагенні властивості (Han, 1997).

Антиоксидантні властивості і здатність поліфенольних катехинів знешкоджувати активні форми кисню обумовлені наявністю гідроксильних груп в В-кільці епікатехіну і епігаллокатехіну (рис. 7), а також в В- і D-кільцях епігаллокатехіну та епігаллокатехінгаллату (Salah et al., 1995). Встановлено, що наявність гідроксильних груп у В-кільці в 3, 4, 5 положенні є визначальним у формуванні антиоксидантної активності катехинів (Valcic et al., 1999). Металхелатуючі властивості катехинів зеленого чаю також належать до показників антиоксидантної активності (Kumamoto et al., 2001). Зокрема, залізохелатуючі властивості епігаллокатехінгаллату мають важливе значення у профілактиці патологій, зумовлених хворобою Паркінсона та інших нейрогенеративних захворювань (Mandel et al., 2004; Levites et al., 2001).

Полімерні фенольні сполуки

До полімерних фенольних сполук належать дубильні речовини (таніни), лігніни, меланіни, гумінові кислоти.

Дубильні речовини (таніни) – це полімерні фенольні сполуки, які накопичуються у корі та деревині дуба (Urve et al., 2010), евкалі-

пта (Hideo et al., 1993), каштана (Krisper et al., 1993), у кореневищах шавлю (Makkar et al., 1993), багатьох плодах (айва, яблука, хурма, виноград), листках чаю (*Camellia sinensis*) тощо. Дубильні речовини можуть викликати отруєння, однак їх гіркий смак запобігає поїданню рослин з високим вмістом танінів травоядними тваринами. Природні дубильні речовини, як правило, погано ідентифікуються, вони є складною сумішшю близьких за складом сполук з молекулярною масою 500-5000, інколи до 20000. Більшість танінів – це поліфенольні сполуки з протеїнозв'язуючими властивостями, що не характерно для більшості поліфенолів. Утворення танін-білкових комплексів пов'язано зі змінами рН середовища (Waterman, 1999).

У клітинах таніни локалізовані у вакуолях у розчиненому стані. При пошкодженні тонопласту таніни за дії ферментів цитоплазми окиснюються і перетворюються на нерозчинні флобафени – аморфні сполуки коричнево-червоного кольору. Дубильні речовини, як правило, нашаровуються на восковий наліт у різних частинах рослини: у листках, стеблах, бруньках, насінні (Kadam et al., 1990).

За будовою таніни класифікують на дві групи: гідролізовані та конденсовані (проантоціанідини) (Reed, 1995; Bruneton, 1999). У 2004 р. у клітинах бурих водоростей ідентифіковано ще один вільний поліфенол – флороглюцин, що належить до групи флоротанінів (Toshiyuki et al., 2004; Yoshihito et al., 2004) (рис. 8).

Гідролізовані (галотаніни, елаготаніни) – розпадаються за умов кислотного чи ензиматичного гідролізу. Галотаніни та елаготаніни – складні ефіри галової та елагової кислоти і глюкози. Гідролізовані дубильні речовини накопичуються у рослинах родини бобових (*Crotalaria brevidens*, *Daviesia leptophylla* (*Omurere*), *Arachis hypogaea* (*Tsinjugu*)) (Joseck

et al., 2014; Okuda et al., 2011), фруктах та ягодах, зокрема в плодах хурми (Tianying et al., 2011), ягодах журавлини (Vattem et al., 2005; Barrett et al., 2013), полуниці (Josuttis et al., 2013) і чорниці (Puurponen-Pimia et al., 2001). При споживанні жуйними тваринами галотаніни швидко гідролізуються до галової кислоти, яка всмоктується у шлунково-кишковому тракті і має токсичний вплив на травоядних тварин (Bruneton, 1999). Найбільш поширеними гідролізованими танінами гранату є пунікалагіни. Пунікалагіни мають молекулярну масу 1038 і є найбільшими молекулами, які було ідентифіковано в плазмі крові шурів після перорального застосування (Scalbert et al., 2002). Встановлено, що щоденне споживання пунікалагінів у концентрації 6% впродовж 37 днів не викликало токсичних ефектів у шурів (Serda et al., 2003). Доведено, що пунікалагіни – це фенольні сполуки з високою антиоксидантною активністю (Gil et al., 2000).

Конденсовані таніни не розпадаються за дії кислот, а утворюють нерозчинні у воді продукти полімеризації катехінів, лейкоантоціанідів та інших відновлених форм флавоноїдів (Bruneton, 1999; Waterman, 1999). Продуктами деполімеризації конденсованих танінів є переважно ціанідин або дельфінідин, саме тому їх можна класифікувати як проціанідини або продельфінідини (Bruneton, 1999). Конденсовані дубильні речовини є найбільш поширеними поліфенолами, вони представлені практично в усіх родинях рослин. Їхній вміст у листках складає до 50% від маси сухої речовини (Clifford et al., 1991). У травному тракті травоядних тварин конденсовані таніни практично не всмоктуються. Однак однією з найбільш важливих хімічних властивостей конденсованих дубильних речовин є їхня здатність утворювати комплекси з макромолекулами, зокрема білками, клітковиною, крохалем. Завдяки білокзв'язувальним властивостям конденсовані таніни запобігають руйнуванню харчового білка в рубці жуйних тварин, що сприяє підвищенню його вмісту в шлунково-кишковому тракті (Min et al., 2003; Waghorn et al., 2003).

Таніни беруть участь в окиснювально-відновних реакціях, є переносниками кисню в рослинах. Здатність до легкої віддачі електронів і протонів робить їх активними нейтралізаторами вільних радикалів. Дубильні речовини запобігають розвитку неконтрольованого самоокиснення ліпідів та накопиченню токсичних ліпідних пероксидів, епоксидів (Francisco et al., 2001).

Ключовим ферментом біосинтезу танінів є фенілаланінамонійліаза, активність якої змінюється за дії стресових чинників навколишнього середовища. Наразі поліфенолоксидази і пероксидази вважаються основними ферментами, що каталізують розщеплення сполук фенольної природи. Зокрема встановлено, що елаготаніни і конденсовані таніни можуть окиснюватися за дії пероксидази хрому (Francisco et al., 2001). Таким чином, дубильні речовини є субстратом для синтезу низько- та високомолекулярних фенолів у клітинах рослин.

Дубильні речовини виявляють бактерицидну та фунгіцидну дію, інгібують розвиток нематод. Так, показано, що в організмі диких овець, кіз і оленів вміст конденсованих танінів у концентрації 30-40 г на кілограм зумовлює їх протипаразитарну дію (Herve et al., 2006). Ефективність застосування дубильних речовин залежить також від виду паразита, що продемонстровано у дослідях на вівцях (Athanasiadou et al., 2000; Athanasiadou et al., 2001) та козах (Paolini et al., 2003; Paolini et al., 2003; Paolini et al., 2005) з використанням рослини квебрахо (*Schinopsis lorentzii*) (як джерела танінів).

Висновки

Фенольні сполуки – найбільш розповсюджені вторинні метаболіти рослин, які, маючи низьку токсичність, позитивно впливають на фізіологічні процеси в організмі людини, підвищуючи його резистентність. За біологічною активністю, поширенням, перспективністю застосування серед фенолів виділено три групи сполук – фенольні кислоти, флавоноїди, поліфеноли. Нині найбільш перспективним напрямом прикладних досліджень є вивчення антиоксидантних, антибактеріальних, цитотоксичних, нейротоксичних властивостей фенольних сполук з метою отримання екологічно безпечних препаратів природного походження для фармацевтичної, харчової, сільськогосподарської промисловості. Пошук нових джерел фенольних сполук рослинного походження може бути ефективною, екологічно та економічно вигідною альтернативою їхнім синтетичним аналогам.

ЛІТЕРАТУРА

- Alvares-Jubete L., Wijngaard H., Arend E.K., Gallagher E. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking // Food Chem. - 2010. – V. 119. – P. 770-778.
- Aoki T., Akashi T., Ayabe S. Flavonoids of leguminous plants: Structure, biological activity, and biosynthesis // J. Plant Res. - 2000. – V. 113. – P. 475-488.

- Athanasiadou S., Kyriazakis I., Jackson F., Coop R.L.* Consequences of long-term feeding with condensed tannins on sheep parasited with *T. colubriformis* // *Int. J. Parasitol.* - 2000. - V. 30. - P. 1025-1033.
- Athanasiadou S., Kyriazakis I., Jackson F., Coop R.L.* Direct anthelmintic effects of condensed tannins towards different gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies // *Vet. Parasitol.* - 2001. - V. 99. - P. 205-219.
- Bassil D., Makris D.P., Kefalas P.* Oxidation of caffeic acid in the presence of L-cysteine: isolation of 2-S-cysteinylcaffeic acid and evaluation of its antioxidant properties. // *Food Res. Int.* - 2005. - V. 38. - P. 395-402.
- Bendini A., Cerretani L., Carrasco-Pancorbo A., Gomez-Caravaca A.M., Segura-Carretero A., Fernandez-Gutierrez A., Lercker G.* Phenolic molecules in virgin olive oils: a survey of their sensory properties, health effects, antioxidant activity and analytical methods // An overview of the last decade. *Molecules* - 2007. - V. 12. - P. 1679-1719.
- Boudet A.M.* A new view of lignification // *Trends Plant Sci.* - 1998. - V. 3. - P. 67-71.
- Bravo L.* Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance // *Nutr. Rev.* - 1998. - V. 56. - P. 317-333.
- Bruneton J.* Tanins. In *Pharmacognosie. - Phytochimie, Plants Med.* (3rd edn.). - 1999. - P. 370-404.
- Bryngelsson S., Dimberg L.H., Kamal-Eldin A.* Effects of commercial processing on levels of antioxidants in oats (*Avena sativa* L.) // *J. Agric. Food. Chem.* - 2002. - V. 49. - P. 1486-1492.
- Cai Y.Z., Luo Q., Sun M., Corke H.* Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer // *Life Sci.* - 2004. - V. 74. - P. 2157-2184.
- Carla C., Lionel M., Hill M., Ricarda N., Cathie R., Martin L., Yves G., Els P., Marcel A.K., Jansen K.* Modulation of chlorogenic acid biosynthesis in *Solanum lycopersicum*; Consequences for phenolic accumulation and UV-tolerance // *Phytochemistry.* - 2008. - V. 69. - P. 2149-2156.
- Cerda B., Ceron J.J., Tomas-Barberan F.A., Espin J.C.* Repeated oral administration of high doses of the pomegranate ellagitannin punicalagin to rats for 37 days is not toxic // *J. Agric. Food Chem.* - 2003. - V. 51. - P. 3493-3501.
- Chakraborty M., Das K., Dey G., Mitra A.* Unusually high quantity of 4-hydroxybenzoic acid accumulation in cell wall of palm mesocarps // *Biochem. Syst. Ecol.* - 2006. - V. 34. - P. 509-513.
- Choi J.Y., Park C.S., Kim D.J., Cho M.H., Jin B.K., Pie J.E., Chung W.G.* Prevention of nitric oxide-mediated 1-methyl-4-phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine-induced Parkinson's disease in mice by tea phenolic epigallocatechin 3-gallate // *Neurotoxicology.* - 2002. - V. 23. - P. 367-374.
- Chong K.P., Rossall S., Atong M.* In vitro antimicrobial activity and fungitoxicity of syringic acid, caffeic acid and 4-hydroxybenzoic acid against *Ganoderma Boninense* // *J. Agric. Sci.* - 2009. - V. 1. - P. 15-20.
- Chu D.C.* Green tea – its cultivation, processing of the tea leaves for drinking materials, and kinds of green tea. // *Chemistry and Applications of Green Tea / Eds. L.R. Juneja, D.C. Chu, M. Kim.* - CRC Press, Boca Raton. - 1997. - P. 1-11.
- Chu D.C., Juneja L.R.* General chemical composition of green tea and its infusion // *Chemistry and Applications of Green Tea / Eds. L.R. Juneja, D.C. Chu, M. Kim.* - CRC Press, Boca Raton. - 1997. - P. 13-22.
- Clifford M.N., Ramirez-Martinez J.R.* Tannins in wet-processed coffee beans and coffee pulp // *Food Chem.* - 1991. - V. 40. - P. 191-200.
- Clifford M.N.* Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden // *J. Sci. Food Agric.* - 1999. - V. 79. - P. 362-372.
- Clifford M.N., Johnston K.L., Knigh S., Kuhnert N.* Hierarchical Scheme for LC-MSn identification of chlorogenic acids // *J. Agric Food Chem.* - 2003. - V. 51. - P. 2900-2911.
- Coop R.L., Kyriazakis I.K.* Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants // *Trends Parasitol.* - 2001. - V. 17. - P. 325-330.
- De la R.L.A., Alvarez-Parrilla E., Gonzalez-Aguilar G.A.* Fruit and vegetable phytochemicals-chemistry, Nutritional Value, and Stability, 1st ed. // *Wiley-Blackwell: Ames, IA, USA.* - 2010. - P. 137-156.
- Dhananjaya B.L., Nataraju A., Gowda C.D.R., Sharath B.K., D'Souza C.J.M.* Vanillic acid as a novel specific inhibitor of snake venom 5'nucleotidase: A pharmacological tool in evaluating the role of the enzyme in snake envenomation // *Biochem. Moscow.* - 2009. - V. 74. - P. 1315-1319.
- Ernst G.* Antioxidant potential of ferulic acid // *Free Radic. Biol. Med.* - 1992. - V. 13. - P. 435-448.
- Ferguson L.R., Shuotun Z., Harris P.J.* Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29 // *Mol. Nutr. Food Res.* - 2005. - V. 49. - P. 585-693.
- Ford C.M., Hoj P.B.* Multiple glucosyltransferase activities in the grapevine *Vitis vinifera* L // *Aust. J. Grape Wine Res.* - 1998. - V. 4. - P. 48-58.
- Francisco A., Tomas-Barberan F.A., Juan C.E.* Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables // *J. Sci. Food Agric.* - 2001. - V. 81. - P. 853-876.
- Fu-Hsiung L., Jing-Yi L., Ravindra G.D., Joshua T.A., James B.A., Angelica S.M., Nancy M.R.A., James G.M., Jan Z., Sheldon P.R.* Ferulic Acid Stabilizes a Solution of Vitamins C and E and Doubles its Pho-

- toprotection of Skin // *J. Invest. Dermatol.* - 2005. - V. 125. - P. 826-832.
- Fu Li, Xu B.T., Xu X.R., Gan R., Zhang Y., Xia E.Q., Li H.B.* Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits // *Food Chem.* - 2011. - V. 129. - P. 345-350.
- Gan R.Y., Kuang L., Xu X.R., Zhang Y.A., Xia E.Q., Song F.L., Li H.B.* Screening of natural antioxidants from traditional Chinese medicinal plants associated with treatment of rheumatic disease // *Molecules.* - 2010. - V. 15. - P. 5988-5997.
- Geoffrey W., Plumb N., Stephen J., Chambers L., Nigel L., Begona B., Robert K., Heaney K., Su W., Okezie I., Aruoma S., Barry H., Gary W.* Antioxidant actions of fruit, herb and spice extracts // *J. Food Lipids.* - 1996. - V. 3. - P. 171-188.
- Ghasemi P.A., Rahnama G.H., Malekpoor F., Roohi B.H.* Variation in antibacterial activity and phenolic content of *Hypericum scabrum* L. populations // *J. Med. Plants Res.* - 2011. - V. 5. - P. 4119-4125.
- Gil M.I., Tomas-Barberan F.A., Hess-Pierce B., Holcroft D.M., Kader A.A.* Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing // *J. Agric. Food Chem.* - 2000. - V. 48. - P. 4581-4589.
- Gouni-Berthold I., Sachinidis A.* Molecular mechanisms explaining the preventive effects of catechins on the development of proliferative diseases // *Curr. Pharm. Design.* - 2004. - V. 10. - P. 1261-1271.
- Graham H.N.* Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry // *Prev. Med.* - 1992. - V. 21. - P. 334-350.
- Gruz J., Ayaz F.A., Torun H., Strand M.* Phenolic acid content and radical scavenging activity of extracts from medlar (*Mespilus germanica* L.) fruit at different stages of ripening // *Food Chem.* - 2011. - V. 124. - P. 271-277.
- Han C.* Screening of anticarcinogenic ingredients in tea polyphenols // *Cancer Lett.* - 1997. - V. 114. - P. 153-158.
- Haq M., Sani W., Hossain A.B.M.S., Taha R.M., Monneruzzaman K.M.* Total phenolic contents, antioxidant and antimicrobial activities of *Bruguiera gymnorrhiza* // *J. Med. Plants Res.* - 2011. - V. 5. - P. 4112-4118.
- Harborne J.B.* Secondary Plant Products // *Encyclopedia Plant Physiology.* / Eds. E.A. Bell, B.W. Charlwood - Berlin: Springer-Verlag, 1980. - V. 8. - 329 p.
- Harborne J.B.* Methods in Plant Biochemistry // *Plant Phenols* / Eds. P.M. Dey, J.B. Harborne. - London: Academic Press, 1989. - 401 p.
- Harris C.S., Mo F., Migahed L., Chepelev L., Haddad P.S., Wright J.S., Willmore W.G., Arnason J.T., Bennett S.A.L.* Plant phenols regulate neoplastic cell growth and survival: a quantitative structure-activity and biochemical analysis // *Can. J. Physiol. Pharmacol.* - 2007. - V. 85. - P. 1124-1138.
- Hattenschwiler S., Vitousek P.M.* The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling // *Trends Ecol. Evol.* - 2000. - V. 15. - P. 238-243.
- Helle R., Claude A., Georg K., Per M.* Caffeic acid esters as in vitro inhibitors of plant pathogenic bacteria and fungi // *Biochem. Syst. Ecol.* - 1989. - V. 17. - P. 175-184.
- Herling A.W., Burger H.J., Schwab D., Hemmerle H., Below P., Schubert G.* Pharmacodynamic profile of a novel inhibitor of the hepatic glucose-6-phosphatase system // *Amer. J. Physiol.* - 1998. - V. 274. - P. 1087-1093.
- Herve H., Frank J., Spiridoula A., Stig M., Thamsborg S., Simone O., Hoskin W.* The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants // *Trends Parasitol.* - 2006. - V. 22. - P. 253-261.
- Horvath E., Szalai G., Pal M., Paldi E., Janda T.* Differences between the catalase isozymes of maize (*Zea mays* L.) in respect of inhibition by various phenolic compounds // *Acta Biol. Szegediensis.* - 2002. - V. 46, № 3-4. - P. 33-34.
- Horvath E., Pal M., Szalai G., Paldi E., Janda T.* Exogenous 4hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of shortterm drought and freezing stress on wheat plants // *Biol. Plant.* - 2007. - V. 51. - P. 480-487.
- Huang W.Y., Cai Y.Z., Zhang Y.B.* Natural phenolic compounds from medicinal herbs and dietary plants: Potential Use for Cancer Prevention // *Nutr. Cancer.* - 2010. - V. 62. - P. 1-20.
- Ihhami G.* Antioxidant activity of caffeic acid (3,4dihydroxycinnamic acid) // *Toxicology.* - 2006. - V. 217. - P. 213-220.
- Itoh A., Isoda K., Kondoh M., Kawase M., Kobayashi M., Tamesada M., Yagi K.* Hepatoprotective effect of syringic acid and vanillic acid on concanavalin A-induced liver injury // *Biol. Pharm. Bull.* - 2009. - V. 32. - P. 1215-1219.
- Itoh A., Isoda K., Kondoh M., Kawase M., Watari A., Kobayashi M., Tamesada M., Yagi K.* Hepatoprotective effect of syringic acid and vanillic acid on CCl4-induced liver injury // *Biol. Pharm. Bull.* - 2010. - V. 33. - P. 983-987.
- Iwashina T.* The structure and distribution of the flavonoids in plants // *J. Plant Res.* - 2000. - V. 113. - P. 287-299.
- Janelle L., Torres Y., Torres N., John P.N.* Rosazza Reactions of pcoumaric acid with nitrite: Product Isolation and Mechanism Studies // *Agric. Food Chem.* - 2001. - V. 49. - P. 1486-1492.
- Jiang H.C., Chi-Tang H.* Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds // *J. Agric. Food Chem.* - 1997. - V. 45. - P. 2374-2378.
- Jiang Y., Satoh K., Watanabe S.* Inhibition of chlorogenic acid induced cytotoxicity by CoC12 // *Anticancer Res.* - 2001. - V. 21. - P. 3349-3353.

ФЕНОЛЬНИ СПОЛУКИ

- Jin U.H., Lee J.Y., Kang S.K., Kim J.K., Park W.H., Kim J.G., Moon S.K., Kim C.H.* A phenolic compound, 5-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid), is a new type and strong matrix metalloproteinase-9 inhibitor: Isolation and identification from methanol extract of *Euonymus alatus* // *Life Sci.* - 2005. - V. 77. - P. 2760-2769.
- Kadam S.S., Salunkhe D.K., Chavan J.K.* Dietary tannins: consequences and remedies. - Boca Raton: CRC Press. - 1990. - 177 p.
- Kamaya Y., Tsuboi S., Takada T., Suzuki K.* Growth stimulation and inhibition effects of 4-hydroxybenzoic acid and some related compounds on the freshwater green alga *Pseudokirchneriella subcapitata* // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* - 2006. - V. 51. - P. 537-541.
- Keller R.B.* Flavonoids: biosynthesis, biological effects and dietary sources. - NY: Nova Science Publishers, 2009. - 388 p.
- Kikugawa K., Hakamada T., Hasunuma M., Kurechi T.* Reaction of p-hydroxycinnamic acid derivatives with nitrite and its relevance to nitrosamine formation // *J. Agric. Food Chem.* - 1983. - V. 1. - P. 780-785.
- Kim Y., Goodner K.L., Park J.L., Jong-Dae S.E., Choi J., Talcott S.T.* Changes in antioxidant phytochemicals and volatile composition of *Camellia sinensis* by oxidation during tea fermentation // *Food Chem.* - 2011. - V. 129. - P. 1331-1342.
- King A., Young G.* Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals // *J. Amer. Diet Assoc.* - 1999. - V. 99. - P. 213-218.
- Komakine N., Okasaka M., Takaishi Y., Kawazoe K., Murakami K., Yamada Y.* New dammarane-type saponin from roots of *Panax notoginseng* // *J. Nat. Med.* - 2006. - V. 60. - P. 135-137.
- Kroon P.A., Williamson G.* Hydroxycinnamates in plants and food: current and future perspectives // *J. Sci. Food Agric.* - 1999. - V. 79. - P. 355-361.
- Kuete V., Metuno R., Ngameni B., Tsafack A.M., Ngandeu F., Fotso G.W., Bezabih M., Etoa F.X., Ngadjui B.T., Abegaz B.M., Beng V.P.* Antimicrobial activity of the methanolic extracts and compounds from *Treculia obovoidea* (*Moraceae*) // *J. Ethnopharmacol.* - 2007. - V. 112. - P. 531-536.
- Kumamoto M., Sonda T., Nagayama K., Tabata M.* Effects of pH and metal ions on antioxidative activities of catechins. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* - 2001. - V. 65. - P. 126-132.
- Kweon M.H., Hwang H.J., Sung H.C.* Identification and antioxidant activity of novel chlorogenic acid derivatives from bamboo (*Phyllostachys edulis*) // *J. Agric. Food Chem.* - 2001. - V. 49. - P. 4646-4655.
- Lafay S., Gil-Izquierdo A.* Bioavailability of Phenolic acids // *Phytochem. Rev.* - 2008. - V. 7. - P. 301-311.
- Lai Y., Zhou H.* Isolation and identification of the chemical constituents of *Folium Fici Microcarpae* // *Food Drug.* - 2008. - V. 3. - P. 11-13.
- Lancaster J.E.* Regulation of skin color in apples // *Critical Rev. Plant Sci.* - 1992. - V. 10. - P. 487-502.
- Lattanzio V., Ruggiero P.* I composti fenolici di interesse biologico // *Biochimica Agraria* / Ed. L. Scarpioni. - Bologna: Patron Editore, 2003. - P. 631-692.
- Levites Y., Weinreb O., Maor G., Youdim M.B., Mandel S.* Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate prevents N-methyl-4phenyl-1,2,3,6-tetrahydropyridine-induced dopaminergic neurodegeneration // *J. Neurochem.* - 2001. - V. 78. - P. 1073-1082.
- Li P., Wang H.Z., Wang X.Q., Wu Y.N.* The blocking effect of phenolic acid on N-nitrosomorpholine formation in vitro // *Biomed Environ. Sci.* - 1994. - V. 7. - P. 68-78.
- Li X., Lin L., Wu P., Liu M., Wei X.* Chemical constituents from barks of *Endospermum chinense* Benth // *J. Trop. Subtrop. Bot.* - 2007. - V. 1. - P. 946-958.
- Lichtenthaler H.K., Schweiger J.* Cell wall bound ferulic acid, the major substance of the blue-green fluorescence emission of plants // *J. Plant Physiol.* - 1998. - V. 152. - P. 272-282.
- Ling W.C., Ahmad F., Mat A.R.* Luteolin and 4-hydroxybenzoic acid from the leaves *Vitex negundo* L. *Malays J. Sci.* - 2005. - V. 24. - P. 133-135.
- Ma B., Liang S.* Progress report on extraction and separation of chlorogenic acid from *Eucomia ulmoides* // *Shanxi For. Sci. Technol.* - 2003. - V. 4. - P. 74-79.
- Mandel S., Maor G., Youdim M.B.* Iron and alpha-synuclein in the substantia nigra of MPTP-treated mice: effect of neuroprotective drugs Rapomorphine and green tea polyphenol-epigallocatechin-3-gallate // *J. Mol. Neurosci.* - 2004. - V. 24. - P. 401-416.
- Mandel S., Weinreb O., Amit T., Youdim M.B.* Cell signalling pathways in the neuroprotective actions of the green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate: implications for neurodegenerative diseases // *J. Neurochem.* - 2004. - V. 88. - P. 1555-1569.
- Margreet R.O., Peter C.H., Peter L.Z., Martijn B.K.* Consumption of high doses of chlorogenic acid, present in coffee, or of black tea increases plasma total homocysteine concentrations in humans // *Amer. J. Clin. Nutr.* - 2001. - V. 73. - P. 532-538.
- Martin K.R., Appel C.L.* Polyphenols as dietary supplements: A double-edged sword // *Nutr. Diet. Suppl.* - 2010. - V. 2. - P. 1-12.
- Meot D.L., Magne C.* Antioxidant activity and phenol content of *Crithmum maritimum* L. leaves // *Plant Physiol. Biochem.* - 2009. - V. 47. - P. 37-41.
- Min B.R., Hart S.P.* Tannins for suppression of internal parasites // *J. Anim. Sci.* - 2003. - V. 81. - P. 102-109.

- Min B.R., Barry T.N., Attwood G.T., McNabb W.C.* The effect of condensed tannins on the nutrition and health of ruminants fed fresh temperate forages: a review // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2003. – V. 106. – P. 3-19.
- Mohamed A.A., Patricia S.W., Anthon D.J.* Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples // *Sci. Horticult.* – 2001. – V. 88. – P. 289-298.
- Nishizawa C., Takeshita K., Ueda J., Nakanishi I., Suzuki K.T., Ozawa T.* Reaction of parahydroxybenzoic acid esters with singlet oxygen in the presence of glutathione produces glutathione conjugates of hydroquinone, potent inducers of oxidative stress // *Free Radic Res.* – 2006. – V. 40. – P. 233-240.
- Niwa T., Doia U., Katob Y., Osawa T.* Inhibitory mechanism of sinapinic acid against peroxynitrite-mediated tyrosine nitration of protein in vitro // *FEBS Lett.* – 1999. – V. 459. – P. 43-46.
- Okuda T., Ito H.* Tannins of constant structure in medicinal and food plants – hydrolyzable tannins and polyphenols related to tannins // *Molecules.* – 2011. – V. 16. – P. 2191-2217.
- Pan G.X., Bolton J.L., Leary G.J.* Determination of ferulic and p-coumaric acids in wheat straw and the amounts released by mild acid and alkaline peroxide treatment // *J. Agric. Food Chem.* – 1998. – V. 46. – P. 5283-5288.
- Paolini V., Bergeaud J.P., Grisez C., Prevot F., Dorchies Ph., Hoste H.* Effects of condensed tannins on goats experimentally infected with *Haemonchus contortus* // *Vet. Parasitol.* – 2003. – V. 113. – P. 253-261.
- Paolini V., Frayssines A., De La F.F., Dorchies P., Hoste H.* Effects of condensed tannins on established populations and on incoming larvae of *Trichostrongylus colubriformis* and *Teladorsagia circumcincta* in goats // *Vet. Res.* – 2003. – V. 34. – P. 331-339.
- Paolini V., Prevot F., Dorchies Ph., Hoste H.* Lack of effects of quebracho and sainfoin hay on incoming third stage larvae of *Haemonchus contortus* in goats // *Vet. J.* – 2005. – V. 170. – P. 260-263.
- Pfeffer U., Ferrari N., Morini M., Benelli R., Noonan D.M., Albini A.* Antiangiogenic activity of chemopreventive drugs // *Int. J. Biol. Markers.* – 2003. – V. 18. – P. 70-74.
- Pokorny J.* *Food Preservation Techniques* / Eds.P. Zeuthen, L. Bogh-Sorensen. – Cambridge: Woodhead Publishing, UK, 2000. – P. 33-48.
- Pokorny J.* Are natural antioxidants better and safer than synthetic antioxidants // *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* – 2007. – V. 109. – P. 629-642.
- Pokorny J.* Application of phenolic antioxidants in food products // *EJEAF Chem.* – 2008. – V. 7. – P. 3320-3324.
- Pugazhendhi D., Pope G.S., Darbre P.D.* Oestrogenic activity of phydroxybenzoic acid (common metabolite of paraben esters) and methylparaben in human breast cancer cell lines // *J. Appl. Toxicol.* – 2005. – V. 25. – P. 301-309.
- Puupponen-Pimia R., Nohynek L., Meier C., Kahkonen M., Heinonen M., Hopia A., Oksman-Caldentey K.M.* Antimicrobial properties of phenolic compounds from berries // *J. Appl. Microbiol.* – 2001. – V. 90. – P. 494-507.
- Reed J.D.* Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes // *J. Anim. Sci.* – 1995. – V. 73. – P. 1516-1528.
- Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G.* Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids // *Free Radic. Biol. Med.* – 1996. – V. 20. – P. 933-956.
- Rice-Evans C.A., Miller N.J., Paganga G.* Antioxidant properties of phenolic compounds // *Trends Plant Sci.* – 1997. – V. 2. – P. 152-159.
- Robbins R.J.* Phenolic acids in foods: An overview of analytical methodology // *J. Agric. Food Chem.* – 2003. – V. 51. – P. 2866-2887.
- Sakihama Y., Yamasaki H.* Lipid peroxidation induced by phenols in conjunction with aluminum ions // *Biol. Plant.* – 2002. – V. 45. – P. 249-254.
- Sakihama Y., Cohen M.F., Grace S.C., Yamasaki H.* Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenols-induced oxidative damage mediated by metals in plants // *Toxicology.* – 2002. – V. 177. – P. 67-80.
- Salah N., Miller N.J., Paganga G., Tijburg L., Bolwell G.P., Rice-Evans C.* Polyphenolic flavanols as scavengers of aqueous phase radicals and as chain-breaking antioxidants // *Archiv. Biochem. Biophys.* – 1995. – V. 322. – P. 339-346.
- Saroglou V., Karioti A., Rancic A., Dimas K., Koukoulitsa C., Zervou M., Skaltsa H.* Sesquiterpene lactones from *anthemis melanolepis* and their antibacterial and cytotoxic activities. Prediction of their pharmacokinetic profile // *J. Nat. Prod.* – 2010. – V. 73. – P. 242-246.
- Sawada H., Shim I.S., Usui K.* Induction of benzoic acid 2-hydroxylase and salicylic acid biosynthesis—modulation by salt stress in rice seedlings // *Plant Sci.* – 2006. – V. 171. – P. 263-270.
- Sathyaneson D.M., Boobalan R.* Therapeutic effects of vanillic acid on acetaminophen-Induced // *Int. J. Pharm. Biol. Archiv.* – 2010. – V. 1. – P. 144-149.
- Scalbert A., Morand C., Manach C., Remesy C.* Absorption and metabolism of polyphenols in the gut and impact on health // *Biomed. Pharmacother.* – 2002. – V. 56. – P. 276-282.
- Schmidt S., Niklova I., Pokorny J., Farkas P., Sekretar S.* Antioxidant activity of evening primrose phenols in sunflower and rapeseed oils // *Euro. J. Lipid. Sci. Technol.* – 2003. – V. 105. – P. 427-435.

- Schmidt S., Pokorny J.* Potential applications of oilseeds as sources of antioxidants for food lipids // *Czech J. Food Sci.* – 2006. – V. 23. – P. 93-102.
- Shaoli C., Baoli Z., Shanshan L., Xia L., Xueling Y.* Accumulation of cinnamic acid and vanillin in eggplant root exudates and the relationship with continuous cropping obstacle // *J. Biotechnol.* – 2011. – V. 10. – P. 2659-2665.
- Sircar D., Mitra A.* Accumulation of p-hydroxybenzoic acid in hairy roots of *Daucus carota*. Confirming biosynthetic steps through feeding of inhibitors and precursors // *J. Plant Physiol.* – 2009. – V. 166. – P. 1370-1380.
- Sopheak S., Betty A.* Lewis free radical scavenging and antioxidative activity of caffeic acid amide and ester analogues: Structure.activity relationship // *J. Agric. Food Chem.* – 2002. – V. 50. – P. 468-472.
- Stalikas C.D.* Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids // *J. Sep. Sci.* – 2007. – V. 30. – P. 3268-3295.
- Shiyi O.U., Kin-Chor K.* Ferulic acid: pharmaceutical functions, preparation and applications in foods // *J. Sci Food. Agric.* – 2004. – V. 84. – P. 1261-1269.
- Tan J.W., Bednarek P., Liu H.K., Schneider B., Svatos A., Hahlbrock K.* Universally occurring phenylpropanoid and species-specific indolic metabolites in infected and uninfected *Arabidopsis thaliana* roots and leaves // *Phytochemistry.* – 2004. – V. 65. – P. 691-699.
- Toshiyuki S., Shigeo K., Yoichiro H., Masanori I., Kuniko Y., Takashi N.* Local and chemical distribution of phlorotannins in brown algae // *J. Appl. Phycol.* – 2004. – V. 16. – P. 291-296.
- Tlili N., Munne-Bosch S., Nasri N., Saadaoui E., Khalidi A., Triki S.* Fatty acids, tocopherols and carotenoids from seeds of Tunisian caper “*Capparis spinosa*” // *J. Food Lipids.* – 2009. – V. 16. – P. 452-464.
- Tlili N., Bargougul A., Elfalleh W., Triki S., Nasri N.* Phenolic compounds, protein, lipid content and fatty acids compositions of cactus seeds // *J. Med. Plants Res.* – 2011. – V. 5. – P. 4519-4524.
- Tung Y.T., Wu J.H., Kuo Y.H., Chang S.T.* Antioxidant activities of natural phenolic compounds from *Acacia confusa* bark // *Bioresour. Technol.* – 2007. – V. 98. – P. 1120-1123.
- Tzamaloukas O., Athanasiadou S., Kyriazakis I., Jackson F., Coop R.L.* The consequences of short term grazing of bioactive forages on established adult and incoming larvae populations of *Teladorsagia circumcincta* in lambs // *Int. J. Parasitol.* – 2005. – V. 35. – P. 329-335.
- Valcic S., Muders A., Jacobsen N.E., Liebler D.C., Timmermann B.N.* Antioxidant chemistry of green tea catechins. Identification of products of the reaction of epigallocatechin gallate with peroxy radicals // *Chem. Res. Toxicol.* – 1999. – V. 12. – P. 382-386.
- Vattem D.A., Ghaedian R., Shetty K.* Enhancing health benefits of berries through phenolic antioxidant enrichment: focus on cranberry // *Asia Pac. J. Clin. Nutr.* – 2005. – V. 14. – P. 120-130.
- Venkataramaiah M., Million-Rousseau R., Pascaline U., Nathalie C., Jose B., Laurence M., Marc M., Michel N., Serge H., De K.A., Danie` le W.R., Claudine C.* Functional characterization of two p-coumaroyl ester 3-hydroxylase genes from coffee tree: evidence of a candidate for chlorogenic acid biosynthesis // *Plant Mol. Biol.* – 2007. – V. 64. – P. 145-159.
- Waghorn G.C., McNabb W.C.* Consequences of plant phenolic compounds for productivity and health of ruminants // *Proc. Nutr. Soc.* – 2003. – V. 62. – P. 383-392.
- Waterman P.G.* The tannins – an overview // *Tannins in Livestock and Human Nutrition* / ed. J.D. – Adelaide, Australia: Brooker Proceed. Intl Workshop, 1999. – P. 10-13.
- Whiting D.A.* Natural phenolic compounds 1900-2000: a bird's eye view of a century's chemistry // *Nat. Prod. Rep.* – 2001. – V. 18. – P. 583-606.
- Winkel-Shirley B.* Flavonoid Biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology // *Plant Physiol.* – 2001. – V. 126. – P. 485-493.
- Wout B., John R., Marie B.* Lignin biosynthesis // *Ann. Rev. Plant Biol.* – 2003. – V. 54. – P. 519-546.
- Yan Li., Quan P., Dija S., Qi W., Amy O.C., Xin C., Ching-Hong Y.* The Plant Phenolic Compound p-Coumaric Acid Represses Gene Expression in the *Dickeya dadantii* Type III Secretion Syst. // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2009. – V. 75. – P. 1223-1228.
- Yanishlieva N.* Inhibiting oxidation // *Antioxidants in food* / Eds. N. Yanishlieva, M. Gordon. – Cambridge: Woodhead Publishing Ltd., 2001. – P. 22-70.
- Yanishlieva N., Marinova E., Pokorny J.* Natural antioxidants from herbs and spices // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* – 2006. – V. 108. – P. 776-793.
- Yoshihito O., Akiko I., Ryuichiro S., Toru O.* A new phloroglucinol derivative from the brown alga *Eisenia bicyclis*: potential for the effective treatment of diabetic complications // *J. Nat. Prod.* – 2004. – V. 67. – P. 103-105.
- Xing Y., Pamela J.* White identification and function of antioxidants from oat groats and hulls // *J. Am. Oil Chem. Soc.* – 1997. – V. 74. – P. 303-307.
- Zainuddin A., Pokorny J., Venskutonis R.* Antioxidant activity of sweetgrass (*Hierochloe odorata* Wahlenb.) extract in lard and rapeseed oil emulsions // *Nahrung.* – 2002. – V. 46. – P. 15-17.
- Zhao X., Ye X., Zhu D.* Isolation and identification of chemical constituents from peels of *Citrus chang-*

**PHENOLIC COMPOUNDS: DIVERSITY,
BIOLOGICAL ACTIVITY, PROSPECTS OF USING**

O. V. Voytsehivska, O. V. Sitar, N. Yu. Taran

*ESC "Institute of Biology" of Taras Shevchenko Kyiv National University
(Kyiv, Ukraine)
e-mail: matushka@i.ua*

The article summarizes the current data on the characteristics of the chemical structure, classification, distribution, biological significance and application prospects of the most common secondary metabolites of plants - phenolic compounds. Analyzed three most important groups of phenols - flavonoids, phenolic acids, polyphenols. We present several approaches classification of phenolic compounds proposed by different authors, highlights the most reasonable and rational. On the basis of numerous experimental data demonstrated sources of origin and diversity of phenolic compounds, the way their biosynthesis and biological function. Particular attention is paid to the study of antioxidant, antibacterial, phytotoxic properties of phenolic compounds. Highlighted the most relevant research areas phenols, whose purpose is to find physiologically and environmentally safe products of natural origin for the pharmaceutical, food and agricultural industry, which can be an alternative to synthetic analogs.

Key words: *phenolic compounds, flavonoids, phenolic acids, polyphenols, antioxidant action, biological activity*

**ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ: РАЗНООБРАЗИЕ,
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

O. V. Войцеховская, O. V. Ситар, Н. Ю. Таран

*УНЦ «Институт биологии»
Киевского национального университета им. Тараса Шевченко
(Киев, Украина)
e-mail: matushka@i.ua*

Обобщены современные данные об особенностях химического строения, классификации, распространения, биологического значения и перспектив применения наиболее распространенных вторичных метаболитов растений – фенольных соединений. Проанализировано три наиболее важные группы фенолов: флавоноиды, фенольные кислоты, полифенолы. Представлено несколько подходов классификации фенольных соединений. Рассмотрены источники и разнообразие происхождения фенольных соединений, пути их биосинтеза, биологические функции. Особое внимание уделено антиоксидантным, антибактериальным, фитотоксическим, противогрибковым свойствам фенольных соединений. Выделены наиболее актуальные направления исследований фенолов, целью которых является поиск физиологически и экологически безопасных препаратов природного происхождения для фармацевтической, пищевой, сельскохозяйственной промышленности, которые могут выступать альтернативой синтетическим аналогам.

Ключевые слова: *фенольные соединения, флавоноиды, фенольные кислоты, полифенолы, антиоксидантное действие, биологическая активность*