

Беляєва Інна Михайлівна, доц., кафедра товарознавства та експертизи товарів, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-60; e-mail: ceascinna@gmail.com.

Byelyayeva Inna, Associate Professor, Merchandising and Goods' Examination Department, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-60; e-mail: ceascinna@gmail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.5043580

УДК613.292:601.2:577.121

ВЛАСТИВОСТІ ФІТОСТЕРИЛФЕРУЛЯТІВ

С.О. Ленерт

Наведено структурні формули фітостерилферулятів. Показано, що це продукти ізопропеноїдного синтезу. Визначено антиоксидантну активність фітостерилферулятів та їх холестеринзнижуючий ефект. Показано, що ці речовини є безпечними фізіологічно-функціональними інгредієнтами, їх уживання сприяє зниженню ризику коронарної хвороби серця. Наведено дані про їх метаболізм.

Ключові слова: *фітостерилферуляти, біосинтез, антиоксидантна активність, холестеринзнижуючий ефект, метаболізм.*

PROPERTIES OF PHYTOSTERYLFERULATES

S. Lehnert

The most well-known source of phytosterylferulates is γ -orizanol. They are formed under its enzymatic hydrolysis. Phytosterylferulates are esters of ferulic acid and phytosterols. Phytosterols are divided into three groups: 4-desmethylsterols, 4 α -monomethylsterols, 4,4-dimethylsterols. Desmethylsterylferulates hydrolysis in vitro studies show that they can be hydrolyzed by enzymes. Phytosterylferulates structural formulas analysis shows that they all have similar structure. They can be identified in many cell walls of cereals grains (corn, wheat, rye, rice, barley, triticale), vegetables and fruits. During the vegetable sterols biosynthesis, more than 30 enzymatically catalyzed reactions take place. It is found that phytosterols are products of isopropenoid biosynthesis. It is shown that ferulic acid forms from

phenylalanine or tyrosine, which are products of the shikimate way. Transferrulic acid forms after hydroxylation of *p*-coumaric acid to caffeic acid and final methylation. The phytosterylferulates antioxidant activity is shown. Various results of *in vitro* studies indicate the antioxidant properties of sterylferulates. The antioxidant effect of ferulic acid is explained by the presence of phenolic groups in it: reactive radicals can be linked by hydroxyl groups due to the removal of hydrogen radical. The phytosteryl antioxidant action can also be explained by following: radicals can be bound by methylene groups' attachment or hydrogen radical removal from C25. It is also shown that phytosterylferulates have cholesterol-lowering effect, which depends on their consumption amount (dose). The use of 0,8–1,0 g per day leads to low density lipoproteins decreasing by 5%, 1,2–2,0 g per day – by 10–16%. Scientists found that phytosterylferulates use reduces the risk of coronary heart disease. Data of phytosterylferulates cholesterol-lowering properties mechanisms (predicted) and their metabolism are presented. Scientists determine their safety and the need to use these substances as physiologically functional ingredients. Phytosterylferulates are substances that accompany a person throughout the history of his life, perform important biological function, but are not yet in high demand as valuable physiological functional ingredients.

Keywords: *phytosteryl ferulates, biosynthesis, antioxidant activity, cholesterol lowering effect, metabolism.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Найбільш відомим джерелом фітостерилферулятів є γ -оризанол. γ -оризанол – це фракція стерилферулятів із рисових висівок або олії рисових висівок. Основними компонентами γ -оризанолу є етери ферулової кислоти з дезметилстеролами (кампестеролом та ситостеролом), а також із 4,4-диметилстеролами (циклоартенол та 24-метиленциклоартанол).

Ферулова кислота й її етери мають антиоксидантні властивості [1–3]. Фітостероли та їх етери мають холестеринзнижуючий ефект [4–7]. Такі самі властивості були виявлені у γ -оризанолу [8]. Про метаболізм γ -оризанолу досі ще мало відомо. У ході дослідження *in vitro* гідролізу дезметилстерилферулятів встановлено, що вони можуть бути гідролізовані ферментом Pankreas-Acetonpulver [9–11]. Таким чином, фітостерилферуляти – це речовини, які виконують важливу біологічну функцію, але ще недостатньо затребувані як цінні фізіологічно-функціональні інгредієнти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фітостерилферуляти – це етери ферулової кислоти й фітостеролів. Фітостероли можна поділити на три групи: 4-дезметилстероли, 4 α -монометилстероли, 4,4-диметилстероли. 4 α -монометилстероли й 4,4-диметилстероли являють собою побічні продукти біосинтезу 4-дизметилстеролів.

На рис. 1 наведено структурні формули 4-дезметилстерилферулятів, кампестерилферуляту та ситостерилферуляту, 4,4-диметилстерилферуляту, циклоартенілферуляту та 24-метиленциклоартенілферуляту.

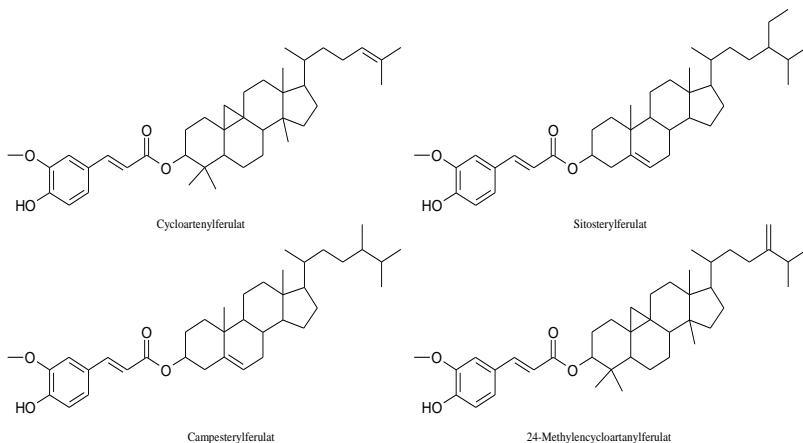


Рис. 1. Структурні формули фітостерилферулятів

Стерилферуляти можна визначити в багатьох кліткових стінках зерен зернових (кукурудзи, пшениці, жита, рису, ячменю, тритикале). 4-дизметилстерилферуляти є основними складовими речовинами кліткових стінок, а 4,4-диметилстерилферуляти – мінорними компонентами. У кукурудзі, пшениці, житі містяться етериферулової кислоти й насичених стеролів ситостанолу та кампестанолу [10; 12; 13]. У кукурудзі також містяться етериду маринової кислоти й станолу [12].

Під час біосинтезу рослинних стеролів відбуваються більш ніж 30 ферментативно каталізованих реакцій. Фітостероли – це продукти ізопреноїдного біосинтезу. У цитоплазмі та мітохондріях утворюється ізопентилпірофосфат, у результаті шляху мевалонової кислоти – утворення мевалонової кислоти із коферменту А (рис. 2).

Фітостероли створені з шести молекул ізопентилпірофосфату. Активний ізопрен ізомеризується до диметилалілпірофосфату, який є праймером для подальшого подовження до фарнезилпірофосфату за допомогою пренілтрансферази. Метаболіт фарнезилпірофосфат являє собою розгалужену ступінь синтезу сесквітерпенів або синтезу тритерпенів (стеролів). Конденсація двох молекул фарнезилпірофосфату веде до створення скваленів. Після оксидації скваленів створюється попередник стеролів – сквален 2,3-оксид. Загальний попередник стеролів 2,3-оксидсквалену перетворюється на циклоартенол, з якого й можуть бути утворені всі фітостероли.

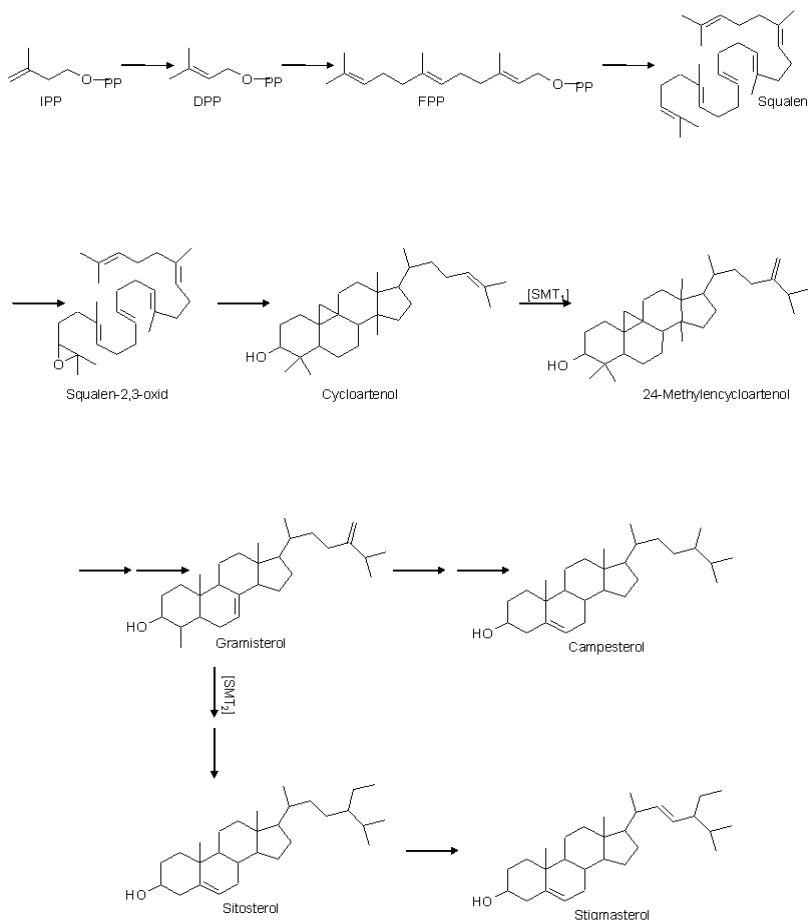


Рис. 2. Схематичне зображення біосинтезу стеролів у рослинах SMT-стеролметилтрансфераза [17]

Після диметилування одного вуглевода C4 циклоартенолу утворюються 4 α -монометилстероли, а після диметилування наступних вуглеводів – 4-диметилстероли. Метилування сторонніх ланцюгів здійснюється за допомогою каналізації двох різних стеролметилтрансфераз (SMT1 та SMT2) [17–19].

Ферулова кислота утворюється з фенілаланіну або тирозину, які є продуктами шкідливого шляху, цей процес відбувається у пластидах мітохондрій мікроорганізмів та рослин [20].

З ароматичної амінокислоти фенілаланіну під дією каталізатора фенілаланін амоніязи утворюються *транс*-коричні кислоти. У результаті гідроксилювання *транс*-коричних кислот утворюється *p*-кумаринова кислота. Вона також може утворитися прямо від тирозину завдяки відщепленню від нього аміаку під каналізацією тирозинамоніумліазою [21]. Після гідроксилювання *p*-кумаринової кислоти до кавової кислоти та кінцевого метилювання створюється *транс*-ферулова кислота (рис. 3) [22].

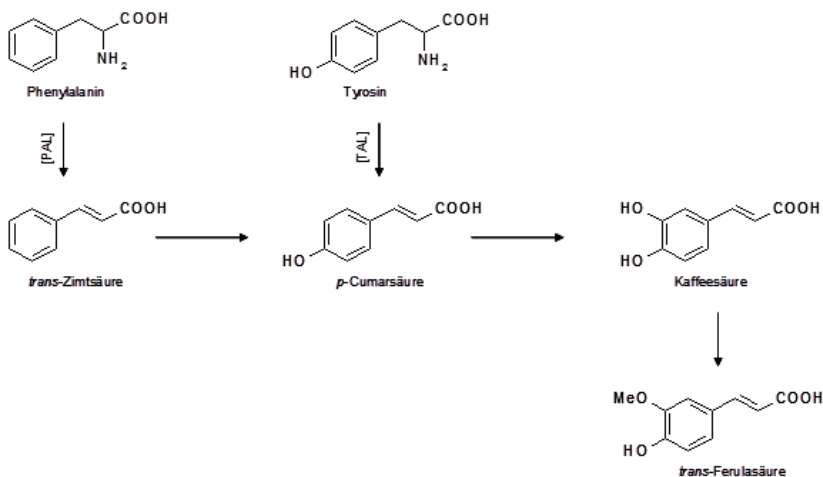


Рис. 3. Біосинтез ферулової кислоти з амінокислот фенілаланіну та тирозину PAL-феніламоніумліаза TAL-тирозиномоніумліаза [23]

Фітостерилферуляти інколи називають «рослинними стероїдами» або «рослинними гормонами». У рослинах ідентифіковано до 40 різних фітостерилферулятів, але найбільш розповсюдженими є β -ситостерин, кампестерин та стигмастерин. Усі вони мають загальну хімічну природу (рис. 1–3). Середній харчовий раціон сучасної людини включає близько 160–400 фітостерилферулятів на добу, які надходять з оліями, злаками, фруктами та овочами. Цього дуже мало. На ранній стадії еволюції людини прийом фітостерилферулятів у міоценових дієтах, імовірно, становив 1 г/день.

Метою статті було дослідити властивості фітостерилферулятів, що є функціональними інгредієнтами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Біологічна активність фітостерилферулятів має доволі широкий спектр. Вони входять до складу адаптогенів, прискорюють пристосовність організму до різних навантажень. Крім того, є дані про їх гепатопротекторну активність, антиоксидантні, противиразкові, протигрибкові, протизапальні властивості, про їх протипухлинну та протиатерогенну дію [1–3].

Результати дослідження *in vitro* вказують на антиоксидантні властивості стерилферулятів [24; 25]. Антиоксидантна дія ферулової кислоти пояснюється наявністю в ній фенольних груп: реактивні радикали за рахунок відщеплення водневого радикала можуть бути зв'язані гідроксильними групами. Створений феноксирадикал резонансно стабільний (рис. 4), тому мало реактивний, ніж зв'язаний радикал [26]. Продовження ланцюгової реакції радикалів таким чином припинено.

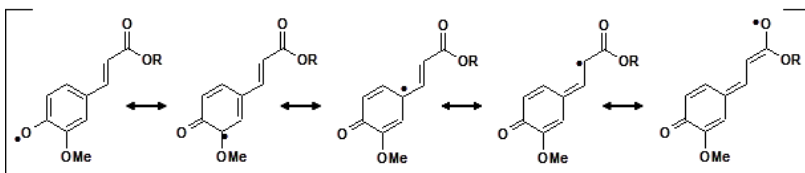


Рис. 4. Резонансно стабілізований радикал на прикладі ферулової кислоти [26]

Антиоксидантна властивість стерилферулятів може змінюватися залежно від наявності кінців стеролів, оскільки вони також мають антиоксидантну дію [27]. Антиоксидантна дія 24-метиленциклоартенілферуляту може бути пояснена таким чином: радикали можуть бути зв'язані завдяки приєднанню до метиленових груп або відщеплюванню водневого радикала від C25. В обох випадках утворюється досить стабільний тетраїдний радикал (рис. 5).

Як натуральний антиоксидант стерилферулят може бути використаний для стабілізації жирів та олій. Фітостероли та їх етери мають холестеринзнижуючий ефект, що приводить до зменшення ризику виникнення коронарної хвороби серця. У зв'язку з цим останнім часом відзначається підвищена зацікавленість цими речовинами нутриціологів [4–6; 29]. Етери фітостеролів гідролізуються в організмі людини. Припущено, що за холестеринзнижуючий ефект відповідають вільні фітостероли [30; 31]. За результатами дослідження на хом'яках встановлено холестеринзнижуючий ефект ситостерилферуляту. Припущено, що цей ефект обумовлено вільним ситостанолом, який міститься в олії з кукурудзяних висівків [32].

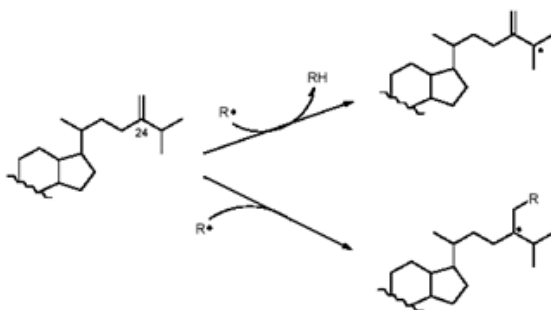


Рис. 5. Антиоксидантний вплив 24-метиленциклоартенілферуляту: реакція з радикалами приводить до створення тетраїдного радикала [28]

Унаслідок досліджень на тваринах та людях досягнуто зменшення загального вмісту ліпопротеїдів низької щільності за рахунок споживання ними олії з рисових висівок, а також γ -ориназолу. Результати дослідження фітостеролів олії з рисових висівок свідчать про те, що холестеринознижуючий ефект обумовлений 4-дизметилстеролами. Водночас 4,4-диметилстероли не мали холестеринзнижуючого ефекту [33].

Холестеринзнижуючий ефект 4-дизметилфітостеролів залежить від їх кількості (доз). Уживання 0,8–1,0 г на добу приводить до зменшення кількості ліпопротеїдів низької щільності на 5% [34], 1,2–2,0 г на добу – на 10–16% [35]. Уживання більшої кількості 4-дизметилфітостеролів не приводить до кращого ефекту, а навпаки, може спричинити небажані побічні дії [36].

Механізм холестеринзнижуючої властивості фітостеролів ще не до кінця досліджений. Припускається, що фітостероли заважають абсорбції холестерину таким чином, що виникає конкуренція між ними під час абсорбції створених міцел волосняним покривом кишечника. Таким чином, абсорбція холестерину в кишечнику зменшується.

Наступна версія – гальмування фітостеролами ліпази та естерази, а також пригнічення ацетил-КоА, а саме активність холестерин-ацилтрансферази та порушення внутріклітинної реестерифікації ре сорбованого холестеролу [37]. Певну роль може відігравати LXR-рецептор гена регулювання транспортування холестеролів, таких як ABC-транспортний протеїн або також ген NPC1L1, який бере участь у транспортуванні: уведенні та виведенні стеролів з ентоцитів [38].

Про метаболізм отриманих із їжею стерилферулятів відомо ще менше. За результатами медико-біологічних досліджень над хом'яками та кролями визначено, що концентрація ферулової кислоти у плазмі корелюється позитивно з наданою дозою γ -ориназолу [39]. Стерилферуляти гідролізуються в організмі принаймні частково. У ході наступного дослідження радіоактивно помічений γ -ориназол (ферулова кислота, маркована C¹¹) давали крисам. У результаті через 48 годин із фекаліями з організму крис було виведено лише 84% радіоактивно поміченого γ -ориназолу. Унаслідок експериментів встановлено, що лише мала частка доданого γ -ориназолу гідролізується в кишечнику. Абсорбований γ -ориназол на 80% засвоюється у формі етера; 9,8% доданої радіоактивності встановлено до 72% у сечі. Поряд із феруловою кислотою були ідентифіковані й інші метаболіти, зокрема гіпурова кислота. Стерилферуляти, що вживалися тваринами, у сечі виявлені не були [40; 41]. У яких конкретно органах були гідролізовані етери, ще не виявлено.

Припустимо, що гідроліз стерилферулятів відбувається у слизовій оболонці тонкого кишечника за допомогою коричнокислої естерази або холестеролестеразипанкреазу. Унаслідок досліджень *in vitro* встановлено гідроліз 4-дезметилстеролферулятів, які були ізольовані з рису, жита та пшениці, а також синтезованого ситостанілферулятух-олестеролестеразоюпанкреазу [9–11]. 4,4-диметилстерилетер у γ -ориназолі при цьому не був гідролізований [11]. Припустимо, що він засвоюється організмом у товстому кишечнику.

Згідно з дослідженнями *in vitro* 4-дезметилстеролферуляти здебільшого гідролізуються холестеролестеразою, на відміну від станілферулятів [10]. Така тенденція спостерігається й під час ферментативного виділення стеролів і станолів холестеролестеразоюпанкреазу з етерів кумаринової кислоти [42].

Вільні фітостероли абсорбуються в кишечнику тільки в малій кількості. Абсорбція кампестеролу становить 1,9–9,6%, ситостеролу – 0,5–4,8%, ситостанолу – 0,04% [43; 44]. Неабсорбовані вільні стероли потрапляють у товстий кишечник та виводяться з організму разом із фекаліями [45]. Така мала біонаявність пояснюється наявністю у клітинній мембрані еритроцитів локальних АВС-транспортних протеїнів. Вони активізують виведення фітостеролів з еритроцитів у волосяний покрив кишечника та з печінки у жовч [46].

Вільні гідроксикоричні кислоти абсорбуються в тонкому та товстому кишечнику. Абсорбовані гідроксикоричні кислоти метаболізуються після β -оксидування в печінці, після метилювання виводяться з організму з жовчю.

Установлено, що фітостерилферуляти є безпечними речовинами. У США рішенням Food Drug Administration (FDA) у 2000 році фітостерилферулятам було надано статус безпечних речовин (GRAS – смакує). І що є більш важливим, надано дозвіл на маркування інформації про зниження ризику коронарної хвороби серця для продуктів, які містять фітостерилферуляти. ВЕС-комітетом із харчових продуктів прийнято рішення про безпечність цих речовин і надано дозвіл на використання їх у харчуванні. Усе зазначене свідчить про те, що слід пропагувати використання фітостерилферулятів у харчових продуктах.

Висновки. Аналіз структурних формул фітостерилферулятів показав, що всі вони мають подібну будову. Їх можна визначити в багатьох клітинних стінках зерен зернових (кукурудзи, пшениці, жита, рису, ячменю, тритикале), овочів і фруктів. Під час біосинтезу рослинних стеролів відбуваються більш ніж 30 ферментативно каталізованих реакцій. Установлено, що фітостероли – це продукти ізопропеноїдного біосинтезу. Показано, що ферулова кислота утворюється з фенілаланіну або тирозину, які є продуктами шикіматного шляху. Після гідроксилування *p*-кумаринової кислоти до кавової кислоти та кінцевого метилювання створюється *транс*-ферулова кислота. Показано антиоксидантну активність фітостерилферулятів. Антиоксидантна дія фітостерилферулятів може бути пояснена таким чином: радикали можуть бути зв'язані завдяки приєднанню до метиленових груп або відщеплюванню водородного радикала від C25. Доведено також, що фітостерилферуляти мають холестеринознижуючий ефект, який залежить від їх кількості (доз). Уживання 0,8–1,0 г на добу приводить до зменшення кількості ліпопротеїдів низької щільності на 5%; 1,2–2,0 г на добу – на 10–16%. Визнано, що вживання фітостерилферулятів сприяє зниженню ризику коронарної хвороби серця.

Наведено дані про механізми (передбачувані) холестеринзнижуючої дії фітостерилферулятів, їх метаболізм. Доведено їх безпечність і необхідність уживання цих речовин як фізіологічно-функціональних інгредієнтів.

Список джерел інформації / References

1. Kikuzaki, H., Hisamoto, M., Hirose, K., Akiyama, K., Taniguchi, H. (2002), "Antioxidant Properties of Ferulic Acid and Its Related Compounds", *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 50(7), pp. 2161-2168.
2. Nystrom, L., Makinen, M., Lampi, A. M., Piironen, V. (2005), "Antioxidant Activity of Steryl Ferulate Extracts from Rye and Wheat Bran", *J. Agric. Food Chem.*, Vol. 53(7), pp. 2503-2510.

3. Xu, Z., Hua, N., Godber, J. S. (2001), "Antioxidant Activity of Tocopherols, Tocotrienols, and g-Oryzanol Components from Rice Bran against Cholesterol Oxidation Accelerated by 2,2'-Azobis(2-methylpropanimidine) Dihydrochloride", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 49(4), pp. 2077-2081.
4. Hallikainen, M.A., Sarkkinen, E.S., Gylling, H., Erkkila, A.T., Uusitupa, M.I.J. (2000), "Comparison of the effects of plant sterol ester and plant stanol ester-enriched margarines in lowering serum cholesterol concentrations in hypercholesterolaemic subjects on a low-fat diet", *Eur. J. Clin. Nutr.*, Vol. 54, pp. 715-725.
5. Clifton, P.M., Noakes, M., Sullivan, D., Erichsen, N., Ross, D., Annison, G., Fassoulakis, A., Cehun, M., Nestel, P. (2004), "Cholesterol-lowering effects of plant sterol esters differ in milk, yoghurt, bread and cereal", *Eur. J. Clin. Nutr.*, Vol. 58(3), pp. 503-509.
6. Nestel, P., Cehun, M., Pomeroy, S., Abbey, M., Weldon, G. (2001), "Cholesterol-lowering effects of plant sterol esters and non-esterified stanols in margarine, butter and low-fat foods", *Eur. J. Clin. Nutr.*, Vol. 55, pp. 1084-1090.
7. Field, F.J., Born, E., Mathur, S.N. (2004), "LXR/RXR ligand activation enhances the basolateral efflux of {beta}-sitosterol in CaCo-2 cells", *J. Lipid Res.*, Vol. 45, pp. 905-913.
8. Berger, A., Rein, D., Schäfer, A., Monnard, I., Gremaud, G., Lambelet, P., Bertoli, C. (2005), "Similar cholesterol-lowering properties of rice bran oil, with varied γ -oryzanol, in mildly hypercholesterolemic men", *European Journal of Nutrition*, Vol. 44(3), pp. 163-173.
9. Moreau, R., Hicks, K. (2004), "The in vitro hydrolysis of phytosterol conjugates in food matrices by mammalian digestive enzymes", *Lipids*, Vol. 39(8), pp. 769-776.
10. Nyström, L., Moreau, R., Lampi, A.-M., Hicks, K., Piironen, V. (2008), "Enzymatic hydrolysis of sterylferulates and steryl glycosides", *European Food Research and Technology*, Vol. 227(3), pp. 727-733.
11. Miller, A., Majauskaite, L., Engel, K.-H. (2004), "Enzyme-catalyzed hydrolysis of g-oryzanol", *European Food Research and Technology*, Vol. 218(4), pp. 349-354.
12. Seitz, L.M. (1989), "Stanol and sterol esters of ferulic and p-coumaric acids in wheat, corn, rye, and triticale", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 37(3), pp. 662-700.
13. Norton, R.A. (1994), "Isolation and identification of sterylcinamic acid derivatives from corn bran", *Cereal Chemistry*, Vol. 17(2), pp. 111-117.
14. Narayan, A.V., Barhate, R.S., Raghavarao, K.S.M.S. (2006), "Extraction and purification of oryzanol from rice bran oil and rice bran oil soapstock", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 83(8), pp. 663-670.
15. De Deckere, E.A., Korver, O. (1996), "Minor constituents of rice bran oil as functional foods", *Nutr. Rev. FIELD Full Journal Title: Nutrition reviews*, Vol. 54(11, Pt. 2), pp. 120-126.

16. Xu, Z., Godber, J.S. (1999), "Purification and Identification of Components of g-Oryzanol in Rice Bran Oil", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 47(7), pp. 2724-2728.
17. Piironen, V., Lindsay, D.G., Miettinen, T.A., Toivo, J., Lampi, A.M. (2000), "Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition", *J. Sci. Food Agric*, Vol. 80, pp. 939-966.
18. Bouvier-Nave, P., Husselstein, T., Benveniste, P. (1998), "Two families of sterol methyltransferases are involved in the first and the second methylation steps of plant sterol biosynthesis", *European Journal of Biochemistry*, Vol. 256(1), pp. 88-96.
19. Nes, W.D. (2003), "Enzyme mechanisms for sterol C-methylations", *Phytochemistry (Elsevier)*, Vol. 64(1), pp. 75-95.
20. Herrmann, K.M., Weaver, L.M. (1999), "The shikimate pathway", *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, Vol. 50, pp. 473-503.
21. Kyndt, J.A., Meyer, T.E., Cusanovich, M.A., Van Beeumen, J.J. (2002), "Characterization of a bacterial tyrosine ammonia lyase, a biosynthetic enzyme for the photoactive yellow protein", *FEBS Letters*, Vol. 512(1-3), pp. 240-244.
22. Sosulski, F., Krygier, K., Hogge, L. (1982), "Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. 3. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours", *J. Agric. Food Chem*, Vol. 30(2), pp. 337-340.
23. Collins, F.W. (1986), "Oat Phenolics: Structure, Occurrence, and Function", pp. 227-296.
24. Nagasaka, R., Chotimarkorn, C., Shafiqul, I.M., Hori, M., Ozaki, H., Ushio, H. (2007), "Anti-inflammatory effects of hydroxycinnamic acid derivatives", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol. 358(2), pp. 615-619.
25. Islam, M.S., Murata, T., Fujisawa, M., Nagasaka, R., Ushio, H., Bari, A.M., Hori, M., Ozaki, H. (2008), "Anti-inflammatory effects of phytosterylferulates in colitis induced by dextran sulphate sodium in mice", *Br. J. Pharmacol*, Vol. 154(4), pp. 812-824.
26. Graf, E. (1992), "Antioxidant potential of ferulic acid", *Free Radical Biology and Medicine*, Vol. 13(4), pp. 435-448.
27. Yoshida, Y., Niki, E. (2003), "Antioxidant effects of phytosterol and its components", *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, Vol. 49(4), pp. 277-280.
28. Miller, A. (2004), Analytik von Minorlipiden: Ferulasäureester von Phytosterolen (γ -Oryzanol) in Reis: Dissertation, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München.
29. Field, F.J., Born, E., Mathur, S.N. (2004), "Stanol esters decrease plasma cholesterol independently of intestinal ABC sterol transporters and Niemann-Pick C1-like 1 protein gene expression", *J. Lipid Res.*, Vol. 45(12), pp. 2252-2259.
30. Miettinen, T.A., Vuoristo, M., Nissinen, M., Jarvinen, H.J., Gylling, H. (2000), "Serum, biliary, and fecal cholesterol and plant sterols in colectomized

patients before and during consumption of stanol ester margarine”, *Am. J. Clin. Nutr.*, Vol. 71(5), pp. 1095-1102.

31. Thomas, A.W., Robert, J.N., Benjamin, W., David, K. (2007), “Rice bran oil and oryzanol reduce plasma lipid and lipoprotein cholesterol concentrations and aortic cholesterol ester accumulation to a greater extent than ferulic acid in hypercholesterolemic hamsters”, *The Journal of nutritional biochemistry*, Vol. 18(2), pp. 105-112.

32. Jain, D., Ebine, N., Jia, X., Kassis, A., Marinangeli, C., Fortin, M., Beech, R., Hicks, K.B., Moreau, R.A., Kubow, S., Jones, P.J.H. (2008), “Corn fiber oil and sitostanol decrease cholesterol absorption independently of intestinal sterol transporters in hamsters”, *The Journal of Nutritional Biochemistry*, Vol. 19(4), pp. 229-236.

33. Vissers, M.N., Zock, P.L., Meijer, G.W., Katan, M.B. (2000), “Effect of plant sterols from rice bran oil and triterpene alcohols from sheanut oil on serum lipoprotein concentrations in humans”, *Am. J. Clin. Nutr.*, Vol. 72, pp. 1510-1515.

34. Berger, A., Jones, P., Abumweis, S. (2004), “Plant sterols: factors affecting their efficacy and safety as functional food ingredients”, *Lipids in Health and Disease*, Vol. 3(1), p. 5.

35. Katan, M.B., Grundy, S.M., Jones, P., Law, M., Miettinen, T., Paoletti, R. (2003), “Efficacy and safety of plant stanols and sterols in the management of blood cholesterol levels”, *Mayo Clin. Proc.*, Vol. 78, pp. 965-978.

36. Gemma, B., Miguel Angel, C., Magda, R. (2008), “Phytosterols: physiologic and metabolic aspects related to cholesterol-lowering properties”, Vol. 28(4), pp. 217-225.

37. Trautwein, E.A., Duchateau, G.S.M.J.E., Lin, Y., Mel'nikov, S.M., Molhuizen, H.O.F., Ntanos, F.Y. (2003), “Proposed mechanisms of cholesterol-lowering action of plant sterols”, *European Journal of Lipid Science and Technology*, Vol. 105(3-4), pp. 171-185.

38. Fujiwara, S.N.K., Sugimoto I., Awata N. (1982), “Mass fragmentographic determination of ferulic acid in plasma after oral administration of γ -oryzanol”, *Chem. Pharm. Bull.*, Vol. 30(3), pp. 973-979.

39. Fujiwara, S.S.S., Noumi K., Sugimoto I., Awata N. (1980), “Metabolism of γ -oryzanol in rabbit”, *Yakugaku*, Vol. 100(10).

40. Fujiwara, S.S.S., Sugimoto, I., Awata, N. (1983), “Absorption and metabolism of γ -oryzanol in rats”, *Chem. Pharm. Bull.*, Vol. 31(2), pp. 645-652.

41. Gerspach, A.C. (2007), *Enzymatische Hydrolyse von Hydroxyzimtsäuresteryl- / stanylestern*. Bachelor's Thesis.

42. Ostlund, R.E.Jr., McGill, J.B., Zeng, C.M., Covey, D.F., Stearns, J., Stenson, W.F., Spilburg, C.A. (2002), “Gastrointestinal absorption and plasma kinetics of soy Delta(5)-phytosterols and phytosterols in humans”, *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, Vol. 282, pp. 911-916.

43. Ostlund Richard, E.Jr. (2002), “Phytosterols in human nutrition”, *Annu. Rev. Nutr. FIELD Full Journal Title: Annual review of nutrition*, Vol. 22, pp. 533-549.

44. Ling, W.H., Jones, P.J.H. (1995), “Dietary phytosterols: A review of metabolism, benefits and side effects”, *Life Sciences*, Vol. 57(3), pp. 195-206.

45. Watzl, B., Rechkemmer, G. (2001), "Phytosterols: characteristics, sources, uptake, metabolism, properties", *Ernaehrungs-Umschau*, Vol. 48(4), pp. 161-164.

46. Belitz, H.D., Grosch, W. (1999), *Food Chemistry*, Second Edition, 800 p.

Ленерт Світлана Олександрівна, канд. техн. наук, докторант, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-60; e-mail: svitlana.dubinina@googlemail.com.

Lehnert Svitlana, PhD in Technical Sciences, Doctoral Candidate, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkivska str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-60; e-mail: svitlana.dubinina@googlemail.com.

DOI: 10.5281/zenodo.5043586

УДК 634.10:664.681

ВИКОРИСТАННЯ ГЕЛЮ НАСІННЯ ЧІА В ТЕХНОЛОГІЇ КЕКСІВ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ВМІСТОМ ЖИРУ

О.Г. Шидакова-Каменюка, О.І. Болховітіна, Д.Д. Ніколаєнко

Запропоновано спосіб отримання гелю насіння чіа, який передбачає гідратацію насіння за гідромодуля 1:10 впродовж не менше 10-60 с. Установлено, що внесення такого гелю замість частини жирового компонента сприяє збільшенню пористості кексів, підвищенню їх вологості та зменшенню втрат маси під час випікання. Відзначено зростання лужності готової продукції. Установлено, що кекси з вмістом гелю насіння чіа до 25% мають хороші органолептичні характеристики. На основі проведених експериментальних досліджень для зниження жирності кексів рекомендовано заміняти в їх рецептурі 25% жирового компонента гелем насіння чіа.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, насіння чіа, кекс, гель, зниження жирності.