

Гончаров Д.С.

Одеська національна академія харчових технологій

Ткаченко Н.А.

Одеська національна академія харчових технологій

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ФІТОСТЕРОЛІВ У ВИРОБНИЦТВІ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ

У статті розглянуто фітостероли як інгредієнти для продуктів із додатковими терапевтичними властивостями. Представлено основні відомості про природу стеролів, джерела та технології видобутку фітостеролів. Проаналізовано історію відкриття та застосування фітостеролів. Користь використання рослинних стеролів розглянуто в розрізі результатів клінічних досліджень. Описано сучасні методики аналізування стеролів та особливості внесення їх до харчових продуктів. Значну увагу приділено останнім дослідженням властивостей фітостеролів у профілактиці серцево-судинних та ракових захворювань.

Ключові слова: фітостероли, продукти для здорового харчування, біосинтез, методи аналізу, холестерол, гіперхолестеролемія.

Постановка проблеми. Зв'язок між харчуванням та здоров'ям людини почали помічати ще в давні часи, проте розуміння цих взаємовідносин часто ускладнювалося соціальними та історичними реаліями. У ХХ ст. технологічне забезпечення та впорядкований медичний досвід дали змогу визначити чіткі взаємозв'язки між харчуванням людини та виникненням захворювань. У той же час харчові технології вийшли на новий рівень обсягів виробництва, що інколи потребувало нових рішень та інгредієнтів, властивості яких не були до кінця визначені, тому середина та кінець ХХ ст. були часом побудови основ взаємодії медицини та харчових технологій. Нині спостерігається тенденція до консолідації нових знань у медицині з розробленням нових продуктів, яке відбувається з урахуванням їхнього майбутнього впливу на здоров'я людини. Одним із найбільш яскравих прикладів такої консолідації є ідея впровадження харчових продуктів, збагачених фітостеролами.

Основою для розроблення харчових продуктів, збагачених фітостеролами, послужили медичні дослідження серцево-судинних захворювань, чинників, що їх викликають, та можливих варіантів профілактики. Нині на ринку представлено декілька продуктів з фітостеролами, проте вони ще не стали повсюдно вживаними. Основною проблемою таких продуктів є їхня висока ціна, що відштовхує більшість споживачів, а відсутність чітко вираженого ефекту погано втримує тих, хто почав уживати ці продукти. Тож для можливостей упровадження нових ефективних продуктів проведено роботу з аналізу джерел фітостеринів,

можливостей їхнього вилучення, особливостей змішування харчових продуктів з фітостеролами, також розглянуто медичні ефекти від уживання додаткової кількості фітостеролів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Загальні відомості про стероли

Стероли – високомолекулярні циклічні спирти (рис. 1), в основі будови яких лежить ядро циклопентанпергідрофенантрону. Стероїдами називають вторинні спирти групи $C_{27} - C_{29}$ рослинного або тваринного походження (рис. 1). На відміну від звичайних спиртів вони можуть мати кристалічну форму з температурами плавлення в межах $100-200^{\circ}C$, тому ці сполуки отримали загальну назву «стероїди» (від грец. Steros – твердий). Холестерол – мононенасичений стерол $C_{27}H_{45}OH$ (т. пл. $149^{\circ}C$) був названий так, тому що вперше був виявлений у жовчних каменях і є їх основним компонентом (грец. Chole – жовч). Холестерол є основним представником стеролового ряду в організмі людини і тварин. Так, для дорослої людини вагою $80-82$ кг уміст холестеролу в організмі може становити близько 240 г [7, с. 13]. Стероли також широко представлені в рослинах (фітостероли) і грибах (мікостероли).

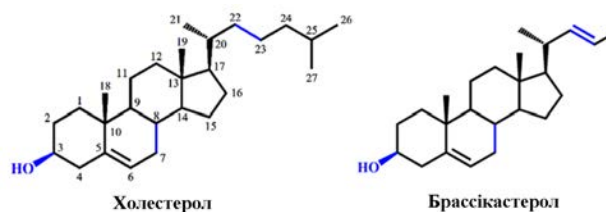


Рис. 1. Структура стеролів

Уперше фітостероли описав Ф. Бенекє у 1862 р. Він виявив стероїдну сполуку в горосі, але через недосконалість аналітичних методик того часу помилково припустив, що це був холестерол. Знадобилося понад 50 років, поки було встановлено, що сполука, яку відкрив Бенекє, насправді була бета-ситостеролом. У 1897 р. Г. Томс установив, що всі стероли рослинного походження відрізняються від холестеролу, і відніс їх до окремої групи – фітостеролів [2, с. 35].

Рослинні стероли входять до складу клітинних мембран разом із фосфоліпідами: фосфатидилетаноламіном, фосфатидилхоліном, кардіоліпіном, фосфатидилсеріном; також вони мають деяку схожість із гліколіпідами, сфінголіпідами. Рослинні стероли близькі за будовою до холестеролу, але відрізняються більшою гідрофобністю. Фітостероли часто містяться у мембранах клітин і виконують упорядковуючу дію на структуру мембран, забезпечують виборчу проникність, регуляторну функцію, впливають на активність ферментів. Однак відзначено, що стігмастерол має розпорядкову вплив на мембрани. Це співвідноситься з тим, що молярне відношення стігмастеролу до інших фітостеролів у плазматичній мембрані збільшується під час старіння рослин [30, с. 468]. У всіх рослинних тканинах фітостероли зустрічаються в декількох загальних формах: як вільні спирти, як ефіри жирних кислот, як стерильні глікозиди й як ацильовані стерильні глікозиди. Останні три форми загалом називаються фітостероловими кон'югатами.

Для рослин найбільш характерними стеролами є бета-ситостерол, кампастерол, стігмастерол.

Механізми біосинтезу стеролів

Холестерол – стероїд, характерний для тваринних організмів. Він синтезується в багатьох тканинах людини, але основне місце синтезу – печінка. У печінці синтезується понад 50% холестеролу, у тонкому кишечнику – 15–20%, решта холестеролу синтезується у шкірі, корі надниркових залоз, статевих залозах. За добу в організмі синтезується близько 1 г холестеролу; з їжею надходить 300–500 мг. Холестерол виконує багато функцій: входить до складу всіх мембран клітин і впливає на їхні властивості, служить вихідним субстратом у синтезі жовчних кислот і стероїдних гормонів. Попередники синтезу холестеролу в метаболічному шляху перетворюються також на убіхінон – компонент дихального ланцюга, а також у доліхол, який бере участь у синтезі глікопротеїнів. Реакції синтезу холестеролу відбуваються у цитоплазмі клітин. Це один із найдовших метаболіч-

них шляхів в організмі людини. Складний шлях синтезу стеролів можна розділити на три етапи. Перший етап полягає в утворенні мевалоната (мевалонової кислоти): дві молекули ацетил-КоА конденсуються ферментом тіолаза з утворенням ацетоацетил-КоА, фермент КоА-синтаза приєднує третій ацетильний залишок з утворенням ГМГ-КоА (3-гідрокси-3-метилглутарил-КоА). У наступній реакції відбувається відновлення ГМГ-КоА до мевалоната.

На другому етапі синтезу мевалонат перетворюється на п'ятивуглецеву ізопреноїдну структуру, яка містить пірофосфат – ізопентенілпірофосфат. Продукт конденсації двох ізопренових одиниць – геранілпірофосфат. Приєднання ще однієї ізопренової одиниці призводить до утворення фарнезилпірофосфата – сполуки, яка складається з 15 вуглецевих атомів. Дві молекули фарнезилпірофосфата конденсуються з утворенням сквалєну – вуглеводню лінійної структури, що складається з 30 вуглецевих атомів.

Після утворення сквалєну утворення холестеролу і фітостеролів йде різними шляхами.

На третьому етапі синтезу холестеролу сквалєн через стадію утворення епоксиду ферментом циклазою перетворюється на молекулу ланостеролу, яка містить чотири конденсованих цикли і 30 атомів вуглецю. Далі відбувається 20 послідовних реакцій, що перетворюють ланостерол на холестерол. На останніх етапах синтезу від ланостеролу відділяються три атоми вуглецю, тому холестерол містить 27 атомів вуглецю [6, с. 233].

Під час утворення фітостеролів зі сквалєну може протікати декілька варіантів реакцій: зі сквалєну утворюється 2,3-оксидосквалєн, частина якого йде на утворення циклоартенолу, частина – на ланостерол.

Циклоартенол перетворюється на циклоукалінол і потім – на обтусіфолеол. Ланостерол і обтусіфолеол під дією ферментів можуть перетворитися на кампастерол і ізофукостерол. Кампастерол далі перетворюється на брассікостероїди, ізофукостерол далі перетворюється на сітостерол, а потім – на стігмастерол.

Методи аналізу стеролів

У сучасній лабораторній практиці на підприємствах аналізування стеролів можна розділити на дві основні групи: перша – це пряме дослідження стеролового складу продукту; друга – визначення фальсифікації сировини за рахунок визначення її стеролового складу.

У харчових продуктах стероли можуть бути представлені як вільні стероли, стеролові ефіри,

стерил-глікозиди, тому оптимальна пробопідготовка для аналізування повинна включати виділення стеролів з усіх перерахованих вище форм. Основні розроблені методики описані в таких стандартах: ISO 6799, IUPAC-методи 2.401 і 2.403, ISO 12228 та AOCS Ch 6-91, а також Codex Stan 210, який посилається на ISO 6799 і IUPAC 2.403. Усі перераховані вище методи можуть застосовуватися для аналізу фітостеролів у природних продуктах, у яких уміст загального стеролу становить до 1%. Також методи можуть застосовуватися й для аналізу продуктів для здорового або спеціального харчування, де вміст фітостеролів може досягати 8%.

Методики визначення фальсифікації продукції засновані на відмінності стеролового складу рослинної та тваринної сировини. Для визначення наявності домішок рослинних жирів у тваринних критичним є вміст бета-ситостеролу, оскільки даний стерол присутній у великій кількості в рослинних жирах і відсутній у тваринних. Для даного визначення можуть бути використані як загальні методики ISO 12228, так і специфічні ISO 3594-1976, ISO 3595-1976. На схожому принципі засновано й визначення домішок тваринних жирів у рослинних, основним показником у цьому разі є вміст холестеролу, який відсутній у рослинних жирах.

Більшість методів, за яких екстрагуються ліпіди, дає змогу також виділити й фітостероли. Так, наприклад, гексаном можна екстрагувати вільні стероли і фітостеролові ефіри жирних кислот. При цьому стеролові глікозиди й ацильовані глікозиди жирних кислот екстрагуються краще з підвищенням полярності розчинника. Найбільший ефект досягають екстракцією хлороформ-метанолом за Bligh і Dyer [28, с. 907].

Аналізування стеролів у рослинній сировині зазвичай виконується за допомогою газової капілярної хроматографії з використанням полум'яно-іонізаційного або мас-спектрометричного детектування, також можливе використання високоефективної рідинної хроматографії (ВЕРХ). Зазвичай аналізування стероїдного складу включає екстрагування ліпідної частини; її омилення або кислотний гідроліз; омилення вільних стеролів; екстрагування неомілюваної частини і поділ стеролів методом тонкошарової хроматографії з подальшим застосуванням капілярної газової хроматографії [16, с. 1488].

Джерела отримання фітостеролів

У організмі тварин присутня велика частина холестеролу і його похідних, а в усіх рослинах

присутні фітостероли як міжклітинний сполучний компонент. Уміст фітостеролів у фруктах та овочах украй малий: так, для моркви, латуків і томата характерний уміст у межах 7–12 мг у 100 г продукту, яблуко може містити до 18,5 мг у 100 г продукту, а рис – 72,3 мг у 100 г продукту [15, с. 1].

Найбільша кількість стеролів міститься в таловій олії – продукті обробки сірчаною кислотою сульфатного мила, яке одержують як побічний продукт під час варіння целюлози сульфатним способом. Загальний вміст стеролів у таловій олії може досягати 10 000 мг у 100 г [15, с. 1].

Основним джерелом фітостеролів для людини є рослинні олії та масла, в яких якісний і кількісний склад стеролової фракції може суттєво відрізнятися (табл. 1).

Технологія отримання фітостеролів

Найчастіше фітостероли виділяють за допомогою повного омилення продукту і подальшого розділення за рахунок різної розчинності і температури кристалізації. Для зниження вартості і збільшення корисності природних ресурсів нині тривають пошуки нових джерел фітостеролів і технологій їх видобутку. Так, фітостероли можливо добувати з відходів переробки олійних і бобових культур [1, с. 40], також практичну цінність мають відходи переробки олійно-жирової промисловості, зокрема деодистилят [4, с. 1], що утворюється під час рафінації соняшникової олії, і soapstock [3, с. 43].

Найбільша кількість фітостеролів може бути отримана з продуктів переробки деревини в целюлозу. Сульфатне варіння є одним з основних способів виробництва целюлози. Сульфатний луг є проміжним продуктом сульфатного варіння, він містить екстрактивні речовини стовбурової частини дерева. Натрієві солі жирних і смоляних кислот мають найбільше практичне значення, вони виділяються на поверхню упареного луку і називаються сульфатним милом. Фітостероли можна отримати, виділивши неомілювану фракцію із сульфатного мила [5, с. 195].

Фітостероли в боротьбі з надлишковим холестеролом

Рослинні стероли були відкриті в 1922 р., проте механізм їхнього впливу на організм людини і тварин довгий час залишався не вивченим.

Передусім варто виділити важливість отримання фітостеролів у боротьбі із серцево-судинними захворюваннями. Спочатку було встановлено, що високий уміст холестеролу в сироватці крові напряму пов'язаний із захворюваннями судин. Одним із чинників розвитку атеросклерозу (хронічного захво-

рювання, що характеризується ущільненням стінок артерій і звуженням їх просвіту з подальшим порушенням кровопостачання органів) є гіперхолестеролемія – підвищення рівня холестеролу в крові. На початковому етапі розуміння причин гіперхолестеролемії пацієнтам призначалися спеціальні дієти для зниження рівня холестеролу, який надходить з їжі, і ліки, які пригнічували біосинтез холестеролу в організмі [30, с. 460].

Потім дослідники дійшли висновку, що проблеми судин викликає не високий вміст холестеролу, а відхилення у його метаболізмі в організмі. Насамперед відхилення від норми пов'язані з кількістю ліпопротеїдів низької щільності (ЛПНЩ), які переносять холестерол до тканин і ліпопротеїдів високої щільності, які відносять надлишковий холестерол і жири з тканин (ЛПВЩ).

Істотний інтерес до фітостеролів виник після припущень про те, що фітостероли можуть перешкоджати всмоктуванню надлишкового холестеролу [11, с. 472]. Було показано, що фітостероли і фітостаноли (перш за все, 4-десметил-стероли і станоли) інгібують абсорбцію як харчового, так і ендогенного (жовчного) холестеролу з кишечника. Також було відзначено, що збільшення споживання фітостеролів поліпшує загальний метаболізм холестеролу в організмі.

Фітостероли надходять в організм за звичайної для жителів Європи дієти в кількості 200–400 мг/день [12, с. 962; 13, с. 695]. Основними джерелами фітостеролів є рослинні жири, хліб, крупи й овочі. Однак, змінивши харчування і додавши в нього більше вегетаріанської їжі, можливо підвищити надходження фітостеролів до 500–1000 мг/день [13, с. 695].

Перші спроби застосування фітостеролів проводилися ще в 1950-х роках [24, с. 704], однак через погану всмоктуваність чистих фітостеролів доводилося використовувати великі дози, близько 20–25 г на день [30, с. 462]. Нові перспективи для застосування фітостеролів з'явилися після того, як був розроблений метод етерифікації стеролів жирними кислотами, що підвищило їх засвоюваність, а також розчинність у рослинних оліях і зробило можливим застосування в традиційних харчових продуктах [30, с. 465; 33, с. 177]. Застосування фітостеролових ефірів дало змогу отримати відчутне зниження загального рівня холестеролу, а також холестеролу, який переноситься ліпопротеїдами низької щільності вже за дозування в кількості 2–3 г на день, що було підтверджено клінічними дослідженнями [29, с. 767].

Протягом багатьох років проводилися дослідження впливу введення фітостеролів у дієту

Таблиця 1

Стеролювий склад різних олій [9, с. 5–6]

	Холестерол	Брасіко-стерин	Кампастерин	Стігмастерин	β-Сіто-стерин	δ-5-Авакаст-рин	δ-7-Стігма-стерин	δ-7-Авека-стерин	Інші	Усього стеринів (мг/кг)
Арахісова олія	НВ*-3,8	НВ*-0,2	12,0-19,8	5,4-13,2	47,4-69	5,0-18,8	НВ*-5,1	НВ*-5,5	НВ*-1,4	900-2900
Олія виноградних кісточок	НВ*-0,5	НВ*-0,2	7,5-14,0	7,5-12,0	64,0-70,0	1,0-3,5	0,5-3,5	0,5-1,5	НВ*-5,1	2000-70000
Кукурудзяна олія	0,2-0,6	НВ*-0,2	16,0-24,1	4,3-8,0	54,8-66,6	1,5-8,2	0,2-4,2	0,3-2,7	НВ*-2,4	7000-22100
Кунжутна олія	0,1-0,5	0,1-0,2	10,1-20,0	3,4-12,0	57,5-61,9	6,2-7,8	0,5-7,6	1,2-5,6	0,7-9,2	4500-19000
Соева олія	0,2-1,4	НВ*-0,3	15,8-24,2	14,9-19,1	47,0-60	1,5-3,7	1,4-5,2	1,0-4,6	НВ*-1,8	1800-4500
Соняшникова олія	НВ*-0,7	НВ*-0,2	6,5-13,0	6,0-13,0	50-70	НВ*-6,9	6,5-24,0	3,0-7,5	НВ*-5,3	2400-5000
Кокосова олія	НВ*-3,0	НВ*-0,3	6,0-11,2	11,4-15,6	32,6-50,7	20,0-40,7	НВ*-3,0	НВ*-3,0	НВ*-3,6	400-1200
Пальм-ва олія	2,6-6,7	НВ*	18,7-27,5	8,5-13,9	50,2-62,1	НВ*-2,8	0,2-2,4	НВ*-5,1	НВ*	300-700

*НВ – нижче порогу визначення

пацієнтів, що показало явні поліпшення у зниженні загального холестеролу крові і холестеролу низької щільності у досліджуваних пацієнтів [8, с. 244; 20, с. 422], причому даний ефект неодноразово був перевірений за різних початкових умов, із використанням плацебо [8, с. 244]. Позитивний ефект від уведення фітостеролів також може спостерігатися і за їх додавання до звичайного раціону [22, с. 844].

Проблема зниження холестеролу і поліпшення метаболізму жирів є дуже важливою проблемою національного масштабу, оскільки внаслідок погіршення умов життя і зміни дієти жителів розвинених країн у напрямі збільшення споживання тваринних жирів і перероблених рослинних жирів спостерігається висока тенденція серцево-судинних захворювань серед працездатного населення і загальне зниження здоров'я нації.

Уперше уряд прийняв серйозні заходи в рамках North Karelia Project. Так, у 1970 р. у Фінляндії спостерігалася найбільша в Європі захворюваність серцево-судинними захворюваннями. Найбільш яскраво ця проблема була виражена в Північній Карелії, і програма була розпочата із цієї місцевості, через що й отримала свою назву. У період із 1970 по 1995 р. велася активна пропаганда здорового харчування, оскільки до цього в дієті фінів була велика кількість м'яса і тваринних жирів. Результатами програми стало зниження серцево-судинних захворювань на 65%.

У США в 1985 р. було розпочато National Cholesterol Education Program. Ця програма була ініційована Національним інститутом серця, легенів і крові, й основною метою було знизити рівень серцево-судинних захворювань, викликаних гіперхолестеролемією [17, с. 33].

Значення фітостеролів у дієті населення в рамках зниження рівня холестеролу і захворюваності на серцево-судинні хвороби було вивчено в статистичних довгострокових дослідженнях у Нідерландах [14, с. 1067], Іспанії [18, с. 850], Фінляндії [23, с. 587].

Європейською Комісією були проведені великомасштабні дослідження ринку продуктів і напоїв із додаванням фітостеролів [10, с. 133].

Імуномоделюючі властивості фітостеролів

Зазвичай раку товстої кишки передують гіперплазія – збільшення проліферації клітин у слизовій оболонці товстої кишки, що можливо зменшити за зниження всмоктування холестеролу в кишечнику [26, с. 2127]. Під час досліджень ефекту застосування фітостеролів був виявлений їхній протизапальний ефект [32, с. 371], антиоксидантний ефект [25, с. 488] і нейрозахисний ефект [31, с. 1323].

Харчові продукти з фітостеролами

Перші продукти з додаванням фітостеролів у вигляді ефірів були випущені на ринок у Фінляндії в 1990 р, після чого в інших країнах Європи також були випущені подібні продукти. На ринок

Таблиця 2

Приклади різноманітних продуктів із фітостеролами [21, с. 1]

Найменування товару	Формат продукту	Розмір порції	Вміст фітостеролів та фітостанолів, г
Benecol® spread	Бутербродна намазка	1 столова ложка	0,5
Benecol® Smart Chews	Жувальна гумка	2 гумки	0,8
Cardio Juice	Напій на основі соку	170 г	0,5
Corazonas Chips	Картопляні чіпси	28,35 г	0,4
Giant EagleFat Free milk	Молочний продукт	226,8 г	0,4
Heart Goodness®Egg Product	Продукт з яєчних білків	59,15 мл	0,5
Lifetime® Low FatBlock Cheese	Сирний продукт	28,35 г	0,65
Promise Activ TMs spread	Бутербродна намазка	1 столова ложка	1,0
Promise Activ TMLight spread	Бутербродна намазка	1 столова ложка	1,0
Smart Balance®Heart Right LightButtery Spread	Бутербродна намазка	1 столова ложка	1,7
VitaBrownieTMDark ChocolatePomegranate	Шоколадне печиво	14,17 г	0,4
Vitafusion Platinum 50+ Multivitamins	Жувальні цукерки	2 цукерки	0,4

США продукти з фітостеролами потрапили в 1999 р. через тривалі дискусії про їх регулювання [19, с. 149].

У 1999 р. компанія Lipton спільно з Uniliver випустили продукт Take Control, який включав ефіри стеролів із рослинними оліями, що було більш економічно вигідно порівняно з гідрогенізованими стеролами [30, с. 480].

У жовтні 2000 р. Forbes Medi Tech Inc проголосили початок маркетингових досліджень в Австралії та США продукту Phytrol, який в основі мав неетерифіковані фітостероли з талової олії і, за запевненнями виробника, міг використовуватися в різних продуктах харчування [19, с. 150].

Протягом 2000–2001 рр. компанія Procter & Gamble тестувала Cook Smart – лінію рослинних олій для кулінарії з ефірами стеролів соєвої олії. Також у 2000 р. Forbes Medi-Tech Inc анонсувало «Дизайнерські олії» на підставі продукту Phytrol.

Сьогодні фітостероли вносять у харчові продукти різних груп (табл. 2).

Косметичні продукти з фітостеролами

Фітостероли часто використовуються під час виробництва кремів проти старіння і лосьйонів від засмаги, концентрація фітостеролів у таких продуктах зазвичай варіюється від 0,5% до 2,0%, при цьому вміст стеролових ефірів може бути аж до 5%; у першу чергу допустима концентрація обмежується можливостями розчинності. Додавання фітостеролів у креми істотно підвищує захист від УФ-випромінювання. Крім того, про-

тизапальний ефект фітостеролів може бути використаний у продуктах, призначених для лікування atopічної екземи та захисту дитячої шкіри.

Додавання фітостеролів до шампуню і кондиціонера для волосся може надати оксамитовий блиск і збільшити витривалість волосся після сушіння.

Також фітостероли можуть бути додані до декоративної косметики, зокрема помади або пудри. Клінічними дослідженнями [27, с. 294] підтверджено, що місцеве застосування і накопичення фітостеролів у шкірі підвищує вміст вологи й еластичність.

Висновки. У продуктів із фітостеролами є всі шанси зайняти свою нішу в дієті звичайної людини, оскільки важливість уживання фітостеролів визнається не тільки окремими дослідниками, а й навіть урядами розвинених країн.

Найбільші шанси у продуктів із фітостеролами будуть у тому разі, якщо вдасться створити дешеву й універсальну технологію видобування фітостеролів.

Великий інтерес представляє ідея впровадження фітостеролів в олійно-жирові, передусім емульсійні, продукти, кондитерські вироби, йогурти, а також у м'ясні продукти.

Оскільки фітостероли є складниками людської дієти з давніх часів, цілком ймовірно, що за стільки років еволюції вони стали складовими частинами біохімічних процесів людського організму, про які нам ще належить дізнатися.

Список літератури:

1. Извлечение смеси фитостероидов из отходов переработки соевых бобов и использование её в производстве 9 α -гидроксиандрост-4-ен-3, 17-диона. *Химико-фармацевтический журнал*. 2012. Вып. 46. № 3. С. 40–43.
2. Круглякова А., Раменская Г. Бета-ситостерин: свойства, подходы к количественному определению. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. НИ Пирогова*. 2016. Вып. 11. № 4.
3. Луцкий В.И., Д.В. Молокова. Фитостерины из отходов масложиркомбината. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2012. № 2(3).
4. Масла и жиры. Фитостерины из отходов переработки растительных масел – ценное сырье для производства стероидных лекарственных препаратов : веб-сайт. URL: <http://www.oilbranch.com/publ/view/424.html> (дата звернення: 26.08.2018).
5. Некрасова В.Б., Безбородова Т.Г. Получение и применение биокорректоров питания из биомассы дерева. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2012. № 198. С. 190–201.
6. Северин Е.С. Биохимия : учебник для вузов / под ред. Е.С. Северина. Москва : Гэотар-Мед. 2003. Биохимия.
7. Физер Л., М. Физер. Стероиды. Рипол Классик, 2013. 982 с.
8. A softgel dietary supplement containing esterified plant sterols and stanols improves the blood lipid profile of adults with primary hypercholesterolemia: a randomized, double-blind, placebo-controlled replication study. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2014. Vol. 114. № 2. P. 244–249.
9. Alimentarius C. Codex standard for named vegetable oils. *Codex Stan*. 1999. Vol. 210. P. 1–13.
10. Authority (EFSA) E.F.S. Consumption of Food and Beverages with Added Plant Sterols. *EFSA Journal*. 2008. Vol. 6. № 3. P. 133.

11. Bouic P.J. The role of phytosterols and phytosterolins in immune modulation: a review of the past 10 years. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*. 2001. Vol. 4. № 6. P. 471–475.
12. Consumption of plant sterols in Belgium: estimated intakes and sources of naturally occurring plant sterols and β -carotene. *British Journal of Nutrition*. 2011. Vol. 105. № 6. P. 960–966.
13. Food sources of plant sterols in the EPIC Norfolk population. *European journal of clinical nutrition*. 2008. Vol. 62. № 6. P. 695.
14. Intake of phytosterols from natural sources and risk of cardiovascular disease in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-the Netherlands (EPIC-NL) population. *European journal of preventive cardiology*. 2015. Vol. 22. № 8. P. 1067–1075.
15. Kalliny S., Zawistowski J. Phytosterols and Phytostanols. 2015.
16. Lagarda M.J., G. García-Llatas, R. Farré. Analysis of phytosterols in foods. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*. 2006. Vol. 41. № 5. P. 1486–1496.
17. Lipid responses to plant-sterol-enriched reduced-fat spreads incorporated into a National Cholesterol Education Program Step I diet-. *The American journal of clinical nutrition*. 2001. Vol. 74. № 1. P. 33–43.
18. Naturally-occurring phytosterols in the usual diet influence cholesterol metabolism in healthy subjects. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2012. Vol. 22. № 10. P. 849–855.
19. Pascal S.L., Segal R. Phytosterols—biological active compounds in food. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2006. Vol. 12. № 1. P. 149–158.
20. Phytosterol capsules and serum cholesterol in hypercholesterolemia: a randomized controlled trial. *Atherosclerosis*. 2013. Vol. 228. № 2. P. 421–425.
21. Phytosterols: Sterols & Stanols Phytosterols Diet | Cleveland Clinic. URL: <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/17368-phytosterols-sterols--stanols/phytosterols-diet> (дата звернення: 13.11.2018).
22. Phytosterols supplementation decreases plasma small and dense LDL levels in metabolic syndrome patients on a westernized type diet. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2012. Vol. 22. № 10. P. 843–848.
23. Plant sterol and stanol intake in Finland: a comparison between users and nonusers of plant sterol-and plant stanol-enriched foods. *European journal of clinical nutrition*. 2014. Vol. 68. № 5. P. 587.
24. Pollak O.J. Reduction of blood cholesterol in man. *Circulation*. 1953. Vol. 7. № 5. P. 702–706.
25. Antioxidant effects of the combination of conjugated linoleic acid and phytosterol supplementation in Sprague–Dawley rats. *Food Research International*. 2012. Vol. 49. № 1. P. 487–493.
26. Awad A.B., Fink C.S. Phytosterols as Anticancer Dietary Components: Evidence and Mechanism of Action. *The Journal of Nutrition*. 2000. Vol. 130. № 9. P. 2127–2130.
27. Bhattacharyya A.K., Connor W.E., Lin D.S. The Origin of Plant Sterols in the Skin Surface Lipids in Humans: From Diet to Plasma to Skin. *Journal of Investigative Dermatology*. 1983. Vol. 80. № 4. P. 294–296.
28. Bligh E.G., Dyer W.J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 1959. Vol. 8. № 37. P. 7.
29. Hallikainen M.A., Sarkkinen E.S., Uusitupa M.I.J. Plant Stanol Esters Affect Serum Cholesterol Concentrations of Hypercholesterolemic Men and Women in a Dose-dependent Manner. *The Journal of Nutrition*. 2000. Vol. 130. № 4. P. 767–776.
30. Moreau R.A., Whitaker B.D., Hicks K.B. Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. *Progress in Lipid Research*. 2002. Vol. 41. № 6. P. 457–500.
31. Neuroprotective effects of phytosterol esters against high cholesterol-induced cognitive deficits in aged rat. *Food & Function*. 2017. Vol. 8. № 3. P. 1323–1332.
32. Othman R.A., Moghadasian M.H. Beyond cholesterol-lowering effects of plant sterols: clinical and experimental evidence of anti-inflammatory properties. *Nutrition Reviews*. 2011. Vol. 69. № 7. P. 371–382.
33. Povey K. Developing food products, which help consumers to lower their cholesterol level. *Developing Food Products for Consumers with Specific Dietary Needs*. Elsevier, 2016. P. 173–199. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081003299000098>. (дата звернення: 11.09.2018).

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИТОСТЕРОЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ

В статье рассмотрены фитостеролы как ингредиенты для продуктов с дополнительными терапевтическими свойствами. Представлены основные сведения о природе стеролов, об источниках и технологии добычи фитостеролов. Проанализирована история открытия и применения фитостеролов. Польза использования растительных стеролов рассмотрена в разрезе результатов клинических исследований. Описаны современные методики анализа стеролов и особенности внесения их в пищевые продукты. Значительное внимание уделено последним исследованиям свойств фитостеролов в профилактике сердечно-сосудистых и раковых заболеваний.

Ключевые слова: фитостеролы, продукты для здорового питания, биосинтез, методы анализа, холестерол, гиперхолестеролемиа.

**PERSPECTIVES FOR USE OF PHYTOSTEROLS IN MANUFACTURING
OF FOOD PRODUCTS FOR HEALTHY NUTRITION**

Phytosterols are considered as ingredients for products with additional therapeutic properties in this article. The text provides basic information about the nature of sterols, the sources and technologies of phytosterol production. The history of the discovery and application of phytosterols is analyzed. The benefit of using plant sterols is considered in the context of the results of clinical studies. The modern methods of analysis of sterols and their introduction into food products are described. Considerable attention is paid to the latest research on the properties of phytosterols in the prevention of cardiovascular and cancerous diseases.

Key words: *phytosterols, products for healthy eating, biosynthesis, analytical methods, cholesterol, hypercholesterolemia.*