

ANETA KOPEĆ, ESTERA NOWACKA, EWA PIĄTKOWSKA,
TERESA LESZCZYŃSKA

CHARAKTERYSTYKA I PROZDROWOTNE WŁAŚCIWOŚCI STEROLI ROŚLINNYCH

Streszczenie

Sterole to podstawowe składniki błon komórkowych organizmów zwierzęcych i roślinnych. Dotychczas poznanych zostało blisko 40 form steroli roślinnych, z których najbardziej znane i najczęściej spotykane to: β -sitosterol, kampesterol i stigmasterol. Ich nasyconą formą są stanole, powstające w wyniku uwodornienia steroli. Fitosterole są naturalnymi składnikami roślinnymi np. soi, olejów roślinnych, ryżu oraz drewna sosnowego. W niewielkich ilościach występują także w orzechach, warzywach oraz owocach. Sterole roślinne w odpowiedniej dawce mogą powodować znaczące obniżenie poziomu cholesterolu we krwi. Mechanizm działania tych związków polega na obniżaniu wchłaniania cholesterolu poprzez zastępowanie go w micelach. Szeroko prowadzone badania kliniczne wykazały, że spożycie 2 - 3 g fitosteroli dziennie powoduje obniżenie poziomu cholesterolu całkowitego o ok. 10 % oraz frakcji LDL o ok. 15 %. Stosowanie tych związków zmniejsza ryzyko zawału oraz zapobiega występowaniu miażdżycy i niedokrwiennej choroby serca. W związku z tym coraz częściej stosuje się dodatki steroli roślinnych do produktów spożywczych, m.in. do margaryn, olejów, jogurtów, serów dojrzewających, pieczywa, muesli oraz do soków i napojów owocowych.

Słowa kluczowe: sterole roślinne, cholesterol, produkty wzbogacane w sterole

Wstęp

Ryzyko powstawania wielu schorzeń wiąże się ze sposobem żywienia. Niedokrwienność choroby serca (NChS) jest przyczyną ok. 50 % zgonów oraz przedwczesnej niezdolności do pracy w naszym kraju. Od dawna już wiadomo, że jednym z głównych czynników ryzyka NChS jest nieprawidłowy sposób odżywiania, a zwłaszcza nadmierne spożycie cholesterolu i tłuszczów pochodzenia zwierzęcego. Prowadzi to do zwiększania ryzyka powstawania złogów miażdżycowych w naczyniach krwionośnych oraz do blokowania ich światła. Zalecenia dietetyczne, dotyczące profilaktyki miażdżycy

Dr inż. A. Kopeć, mgr inż. E. Nowacka, dr E. Piątkowska, dr hab. inż. T. Leszczyńska, prof. UR, Katedra Żywności Człowieka, Wydz. Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, ul. Balicka 122, 30-149 Kraków

dżycy, obejmują listę składników pożywienia, które powinny być wykluczone z diety oraz tych, które należy spożywać w większych ilościach. Realizacja zaleceń żywieniowych napotyka jednak na wiele trudności. Dlatego też wprowadzanie na rynek produktów spożywczych wzbogaconych w składniki bioaktywne, o udokumentowanym korzystnym oddziaływaniu, zmniejszających ryzyko rozwoju miażdżycy lub innych chronicznych chorób niezakaźnych, może okazać się pomocne w dążeniu do poprawy zdrowia społeczeństw [9, 24, 30, 38]. Badania naukowe wskazują, że niektóre składniki lipidów, takie jak: wielonienasycone kwasy tłuszczowe, sterole i stanole roślinne mogą skutecznie obniżyć poziom cholesterolu we krwi. Głównym źródłem fitosteroli są oleje roślinne, ziarna soi, ryż, a także drewno sosny. Obniżanie poziomu cholesterolu frakcji LDL powodują nie tylko sterole nieprzetworzone, lecz także te, które poddaje się uwodornieniu czy estryfikacji. Dotychczas poznanych zostało blisko 40 form steroli roślinnych, z których najczęściej występującymi są: β -sitosterol (24- α -etylocholesterol), kampesterol (24- α -metylocholesterol), stigmasterol (Δ^{22} , 24- α -etylocholesterol) [3, 27, 33].

Celem niniejszej pracy było przedstawienie problematyki dotyczącej steroli roślinnych, uznanych za bioaktywne składniki nieodżywcze o udowodnionych właściwościach prozdrowotnych, ale i o stwierdzonym niekorzystnym oddziaływaniu na organizm człowieka.

Budowa i podział steroli roślinnych

Sterole roślinne (fitosterole) są strukturalnymi i funkcjonalnymi analogami cholesterolu, syntetyzowanymi przez rośliny. Związki te wchodzi w skład błon komórkowych roślin, zmniejszając płynność, zwłaszcza ich powierzchniowej warstwy. Są to 28- lub 29-węglowe wielopierścieniowe alkohole [3, 23]. Fitosterole mają taki sam układ wielopierścieniowy jak cholesterol, z jedną grupą wodorotlenową, natomiast różnica w budowie dotyczy łańcucha bocznego. Są one bogatsze o grupę metylową lub etylową i mogą zawierać dodatkowo jedno lub dwa wiązania podwójne w tym łańcuchu. Fitosterole dzielą się na trzy zasadnicze grupy: 1) sterole (Δ^5 -sterole, zawierające podwójne wiązanie pomiędzy C₅ i C₆); 2) Δ^7 -sterole z wiązaniem podwójnym pomiędzy C₇ i C₈, rzadziej występujące w przyrodzie); 3) stanole (bez podwójnego wiązania w cząsteczce) [23].

W stanie naturalnym związki te występują w postaci wolnej oraz jako sterolowe lub stanolowe estry kwasów tłuszczowych, kwasu hydroksycynamonowego, glukozy oraz glikolipidów [28].

Występowanie steroli roślinnych

Sterole roślinne występują we wszystkich komórkach roślinnych. Najbogatszym źródłem tych związków są oleje roślinne. Np. rafinowany olej kukurydziany zawiera 952 mg fitosteroli w 100 g, podczas gdy jadalna część kukurydzy (nasiona) zawiera tylko 70 mg/100 g nasion (tab. 1) [2, 32].

Tabela 1

Zawartość steroli w wybranych produktach spożywczych.
Content of sterols in selected food products.

Źródło steroli Source of Sterols	Zawartość steroli w produkcie [mg/100 g] Content of Sterols in product [mg/100 g]
Otręby ryżowe / Rice brans	1190
Olej sojowy / Soybean oil	221
Olej sezamowy / Sesame oil	865
Oliwa z oliwek / Olive oil	176
Olej kukurydziany / Corn oil	952
Olej palmowy / Palm oil	49
Olej słonecznikowy / Sunflower oil	725
Migdały / Almonds	143
Fasola / Beans	76
Kukurydza / Corn	70
Sałata / Lettuce	38
Banany / Banana	16
Pomidor / Tomato	7

Opracowanie własne na podstawie: [32] / The authors' own study based on [32].

Całkowita zawartość steroli, jak i ich skład, jest różny w poszczególnych olejach, we wszystkich jednak dominuje β -sitosterol. Sitosterol występuje w dość znacznej ilości w tzw. oleju talowym, uzyskiwanym z elementów podkorowych sosen. Olej ten jest używany do produkcji steroli. Można też wykorzystać do tego celu pozostałość po oddestylowaniu kwasów tłuszczowych i żywicznych, tzw. pak podestylacyjny [15]. Innym źródłem steroli w żywieniu człowieka jest olej rzepakowy, w którym ich zawartość wynosi średnio 879 mg/100 g oleju, najwięcej jest fitosterolu – 47,9 % i awenasterolu – 2,1 % [31]. Kolejnym źródłem, głównie sitosterolu (47 - 59 %), kampesterolu (19 - 23 %) oraz stigmasterolu (17 - 19 %) jest olej sojowy [22].

Dużą zawartością fitosteroli charakteryzują się także nasiona sezamu, kielki pszenicy, orzechy (włoskie, ziemne, laskowe), migdały oraz nasiona roślin strączkowych.

Znaczna koncentracja steroli występuje również w przetworach zbożowych: żytnich, pszennych, jęczmiennych i owsianych [23].

Wpływ steroli roślinnych na gospodarkę cholesterolem

Hipocholesterolemiczne działanie steroli jest dość dobrze znane już od ok. 50 lat. Pierwsze badania wykazały, że spożycie znacznych ilości steroli obniżało zawartość cholesterolu frakcji LDL o ok. 10 - 15 % [1, 14, 19, 33]. Sterole są naturalnymi składnikami żywności roślinnej, dlatego już w latach 70. XX w. sugerowano by były one traktowane jako aktywne składniki diety, a nie jako leki [33]. Dalsze badania udowodniły, że zastosowanie procesu uwodornienia pozwoliło uzyskać nasyconą, bardziej stabilną formę steroli, czyli stanole roślinne. Wykazywały one wyższą aktywność i skuteczność redukcji zawartości cholesterolu [10, 11, 33].

Najczęściej występującymi w przyrodzie i spożywanymi przez człowieka sterolami są: kampesterol i sigmasterol. W przeciętnej diecie człowieka występuje 20 – 50 mg stanoli i 100 - 350 mg steroli [6]. Te ilości są niewystarczające do skutecznego obniżania zawartości cholesterolu we krwi. Uważa się, że minimalna ilość, wykazująca efekt hipocholesterolemiczny, wynosi 1000 mg dziennie [5].

Estry stanoli, poprzez konkurowanie z cholesterolem o przyłączenie do wolnych receptorów w strukturze miceli, obniżają jego wchłanianie w przewodzie pokarmowym i zwiększają wydalanie, przy czym same nie są wchłaniane [33, 34]. Wzbogacenie codziennej diety w ok. 2 g stanoli bądź steroli roślinnych wpływa na obniżenie wchłaniania cholesterolu o ok. 60 %. W innej pracy stwierdzono, że spożycie od 1 do 3 g estrów stanoli powoduje obniżenie poziomu całkowitego cholesterolu od 5 do 11 %, a frakcji LDL nawet o 16 % [33]. Niewchłonięty cholesterol i stanole roślinne są wydalone z masami kałowymi. Obniżenie wchłaniania cholesterolu może powodować wzrost jego syntezy w wątrobie, przy czym ilości te nie wyrównują strat, w związku, z czym poziom cholesterolu ogółem i frakcji LDL obniża się w surowicy krwi [17, 39, 41]. W doświadczeniu przeprowadzonym przez Gyllinga i wsp. [10], z udziałem dzieci (2 - 15 lat) z rodzinną hipercholesterolemią, wykazano, że sitostanol dodany do margaryny i spożywany w ilości 3 g/dzień obniżał poziom cholesterolu całkowitego o 11 %, a frakcji LDL o 15 %, w wyniku czego stosunek HDL/LDL zwiększył się o ok. 27 %. Autorzy ci stwierdzili także zwiększoną syntezę cholesterolu w organizmach dzieci. Jones i Howell [17] wykonali badania kliniczne, podając sterole pochodzące z drewna (sitosterol 62 %, sitostanol 21 %, campesterol 16 %, kampestanol 1 %) 22 pacjentom przez 10 dni. Po tym czasie cholesterol całkowity i LDL zostały obniżone o ok. 6 % w porównaniu z grupą kontrolną, natomiast zawartość triacylogliceroli i HDL nie uległa zmianie. Neil i wsp. [29] wykazali, że sterole podawane osobom z zaburzeniami lipidowymi przez 8 tygodni w ilości 2,5 g/dobę obniżyły poziom cholesterolu całkowitego o ok. 6 - 7 %, a frakcji LDL o 10 - 15 %.

Sterole roślinne dodawane są coraz częściej do innych produktów spożywczych. Polagruto i wsp. [35] stwierdzili, że spożywanie czekolady z dodatkiem steroli spowodowało redukcję całkowitego cholesterolu o 4,7 %, a frakcji LDL o 6 %, nie wpłynęło natomiast na poziom frakcji HDL. Devaraj i wsp. [8] wykazali, że sterole roślinne, dodane do niskokalorycznego soku pomarańczowego, nie tylko obniżyły poziom cholesterolu całkowitego i frakcji LDL, ale także zmniejszyły poziom białka ostrej fazy (CRP) u ludzi. Jauhiainen i wsp. [16] stwierdzili, że u osób z hipercholesterolemią, spożywających niskotłuszczowy ser podpuszczkowy z dodatkiem steroli, w ilości dostarczającej 2 g tych składników na dobę, poziom cholesterolu frakcji LDL obniżył się o 5,8 %. Rideout i wsp. [36] wykazali, że spożywanie mleka sojowego, wzbogaconego sterolami, także skutkowało obniżeniem poziomu cholesterolu całkowitego i frakcji LDL we krwi dorosłych osób, odpowiednio o 12 i 15 %, w porównaniu ze spożywającymi mleko krowie o 1 % zawartości tłuszczu. Ponadto stwierdzono, że sterole roślinne w połączeniu ze środkami farmakologicznymi mogą być stosowane w długotrwałej terapii, skutkującej obniżeniem poziomu cholesterolu we krwi [4, 15, 18, 26, 30].

Wielkość redukującego oddziaływania steroli roślinnych zależy od dawki. Na podstawie dotychczasowych badań stwierdzono, że optymalna dawka steroli i/lub stanoli w przeciętnej dziennej racji pokarmowej waha się w granicach 2 - 3 g [7, 8, 29]. Zwiększanie ilości powyżej wymienionej nie powoduje wyższej redukcji cholesterolu całkowitego i LDL.

Sterole roślinne oprócz działania hipocholesterolemicznego, hamują agregację płytek krwi. Jest to ściśle związane z obniżeniem poziomu cholesterolu całkowitego i frakcji LDL. Niektórzy autorzy uważają jednak, że nie same fitosterole mają wpływ na czas agregacji płytek krwi, ale także inne składniki diety, m.in. witaminy antyoksydacyjne E i C [34]. Sterole roślinne pełnią także wiele innych funkcji u zwierząt i człowieka. Sugeruje się, że wykazują działanie przeciwnowotworowe: hamują rozwój raka żołądka, płuc, jajników oraz prostaty. Mechanizm działania przeciwnowotworowego jest prawdopodobnie związany z zahamowaniem syntezy związków kancerogennych, zablokowaniem procesu tworzenia nowych naczyń krwionośnych oraz z inicjowaniem apoptozy komórek nowotworowych [23, 40].

Produkty bogate lub wzbogacone w sterole roślinne

Badania fitosteroli zostały rozwinięte w Finlandii, gdzie zastosowano estryfikowanie stanoli kwasami tłuszczowymi, pochodzącymi z olejów roślinnych. Estryfikacja ta pozwoliła na rozpuszczenie stanoli w tłuszczu znajdującym się w żywności. Był to przełomowy moment, gdyż już wcześniej stwierdzono, że tłuszcz jest najlepszym nośnikiem transportującym stanole do jelita cienkiego, gdzie następuje wchłanianie cholesterolu. Średnie spożycie steroli w większości krajów europejskich (w tym w Polsce)

oraz w Ameryce Północnej wynosi poniżej 200 - 300 mg/dzień. W Japonii, gdzie w diecie dominują produkty pochodzenia roślinnego, sięga ok. 400 mg/dzień [21, 27]. Te ilości nie są wystarczające, aby skutecznie zmniejszać zawartość cholesterolu we krwi. W związku z tym uznano za konieczne wzbogacanie żywności w sterole.

Na rynku pojawia się coraz więcej produktów spożywczych, które są wzbogacane w sterole roślinne. Do tych produktów należą m.in. margaryny, jogurty, napoje mleczne, majonezy, sery dojrzewające, serki homogenizowane, produkty mięsne, cukiernicze, muesli, sok pomarańczowy, a także czekolada [5, 33]. Pierwszym produktem z dodatkiem steroli, który został wprowadzony na rynek, była margaryna. Miało to miejsce w Finlandii w 1995 r. Szacuje się, że ok. 140 tys. Finów spożywa taką margarynę regularnie [4].

W roku 2006 Komisja Europejska zatwierdziła stosowanie dodatku steroli roślinnych do chleba żytniego. Pieczywo jest tradycyjnym produktem zbożowym, spożywanym w północnych i wschodnioeuropejskich krajach (Norwegia, Szwecja, Polska, Niemcy i Austria), ale coraz częściej cieszącym się popytem w innych krajach, w których rośnie zainteresowanie produktami pełnoziarnistymi [12].

Zagrożenia wynikające ze spożywania steroli roślinnych

Sterole, jak każda substancja czynna, nie powinny być stosowane w nadmiarze. Sugeruje się, że większe ilości od zalecanych 3 g/dobę mogą powodować efekty uboczne [37]. Sterole roślinne, znajdujące się m.in. w margarynach, nie są polecane dla dzieci poniżej piątego roku życia z prawidłowym stężeniem cholesterolu we krwi. Wiąże się to z możliwością wystąpienia zakłóceń we wchłanianiu witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Ponadto, zapotrzebowanie młodych, szybko rosnących organizmów na cholesterol jest duże, a niezaspokojenie tego zapotrzebowania może prowadzić do zaburzeń gospodarki lipidowej oraz miażdżycopochodnych chorób układu krążenia w wieku starszym [2]. Spożycie steroli roślinnych z racjami pokarmowymi może niekorzystnie wpływać na poziom β -karotenu w organizmie człowieka. Według Hicksa i Moreau [13] obniża się także poziom likopeny i witaminy E. Oszacowano, że fitosterole redukują stężenie β -karotenu we krwi o około 25 %, a witaminy E o 8 %. Przyjęto jednak, że dawka 1,5 g/dobę steroli roślinnych skutecznie obniża poziom cholesterolu, nie wpływając na obniżenie koncentracji karotenoidów i witaminy E w osoczu.

Margaryny z dodatkiem steroli zwykle wzbogacane są w witaminy rozpuszczalne w tłuszczach. Komitet Naukowy ds. Żywności, w opinii dotyczącej skutków zwiększonego spożycia fitosteroli z dnia 26. 09. 2002 r., poparł potrzebę umieszczenia informacji o zawartości steroli roślinnych na etykiecie produktu, co zostało określone w decyzji Komisji 2000/500/WE z dnia 24. 07. 2000 r. Ponadto potwierdził, że zalecana dawka steroli roślinnych nie powinna przekraczać 3 g/dobę [2].

Bardzo rzadką, lecz groźną chorobą wynikającą ze spożywania steroli roślinnych jest fitosterolemia. Jest to schorzenie uwarunkowane genetycznie i dziedziczone jako cecha autosomalna, recesywna. Spowodowana jest defektem jednego z genów kodujących białka z rodziny ABC – ABCG5 lub ABCG8. Białka te wchodzi w skład przenośnika, dzięki któremu cholesterol wolny oraz fitosterole są usuwane z enterocytów do światła jelita, a z hepatocytów – do przewodów żółciowych. Mutacja genu kodującego białko ABCG8 lub ABCG5 powoduje, że wydzielanie steroli roślinnych z powrotem do przewodu pokarmowego jest zakłócone i w związku z tym ich wydalanie z organizmu znacznie zmniejszone [3, 33].

U chorych z fitosterolemią stężenie steroli roślinnych jest zwiększone nawet kilkanaście razy w stosunku do osób zdrowych. U osób bez tego zaburzenia absorpcja steroli wynosi około 5 - 6 % spożytej ilości, a w organizmie pozostaje nie więcej niż 1 %. U osób z defektem jednego z genów kodujących białka z rodziny ABC sterole roślinne są wchłaniane w 16 - 63 %. U osób zdrowych stężenie fitosteroli we krwi może wynosić 0,3 - 1,0 mg/100 ml, natomiast u osób cierpiących na fitosterolemię stężenie steroli roślinnych wynosi 10 - 65 mg/100 ml [25]. Schorzenie to powoduje zatem zwiększenie stężenia steroli roślinnych w osoczu oraz kumulację ich złogów w ścianach naczyń. Na świecie odnotowano kilka przypadków choroby niedokrwiennej serca, a nawet nagłego zgonu spowodowanego zawałem serca, w wyniku fitosterolemii u kilkunastoletnich dzieci. W 2000 r. odnotowano jedynie 40 przypadków tego schorzenia na świecie [25, 33]. Profilaktyka stosowana w fitosterolemii polega na wyłączeniu z diety źródeł steroli roślinnych, głównie produktów wzbogaconych, a także olejów roślinnych, orzechów i soi. Leczenie polega również na ingerencji farmakologicznej z zastosowaniem leków wiążących kwasy żółciowe oraz inhibitorów wchłaniania steroli lub też interwencji chirurgicznej polegającej na założeniu bypasów jelitowych. Należy również leczyć choroby towarzyszące fitosterolemii, np. niedokrwinną chorobę serca [2, 25].

Podsumowanie

Wprowadzenie na rynek produktów spożywczych wzbogaconych w sterole roślinne, coraz chętniej kupowanych, może wpłynąć na obniżenie zagrożenia chorobami układu krążenia. Wzbogacane sterolami roślinnymi margaryny, majonezy, oleje, sosy itp. są łatwo dostępne dla wszystkich i mogą zastępować konsumowane w dużych ilościach wysokokaloryczne produkty spożywcze [1, 20].

Literatura

- [1] AbuMweis S.S., Barake R., Jones P.J.: Plant sterols/stanols as cholesterol lowering agents; a meta-analysis of randomized controlled trials. *Food Nutr. Res.*, 2008, **52**, 1654-1669.
- [2] Bartnikowska E.: Wpływ fitosteroli na gospodarkę lipidową. *Tłuszcze Jadalne*, 2007, **42**, 21-24.

- [3] Batta A.K., Xu G., Honda A., Miyazaki T., Salen G.: Stigmasterol reduces plasma cholesterol level and inhibits hepatic synthesis and intestinal absorption in the rat. *Metab. Clin. Exp.*, 2006, **55**, 292-299.
- [4] Blair S.N., Capuzzi D.M., Gottlieb S.O., Nguyen T., Morgan J.M., Cater N.B.: Incremental reduction of serum total cholesterol and low-density lipoprotein cholesterol with the addition of plant stanol ester-containing spread to statin therapy. *Am. J. Cardiol.*, 2000, **86**, 46-52.
- [5] Cater N.B.: Plant sterol ester. Review of cholesterol-lowering efficacy and implications for coronary heart disease risk reduction. *Prev. Cardiol.*, 2000, **3**, 121-131.
- [6] Czubyko F., Beumers B., Lammsfuss S., Lutjohann D., von Bergmann K.: A simplified micro-method for quantification of fecal excretion of neutral and acidic sterols for outpatient studies in human. *J. Lipid. Res.*, 1991, **32**, 1861-1867.
- [7] de Jonge A, Plat J., Mensink P. R.: Metabolic effects of plant sterols and stanols. *J. Nutr. Biochem*, 2003, **14**, 362-369.
- [8] Devaraj S., Jialal I., Vega-Lopez S.: Plant sterol-fortified orange juice effectively lowers cholesterol levels in mildly hypercholesterolemic healthy individuals. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.*, 2004, **24**, 8-25.
- [9] Durrington P. N., Illingworth D.R.: Lipid-lowering drug therapy: more knowledge leads to more problems for composers of guidelines. *Curr. Opin. Lipidol.*, 2000, **11**, 345-349.
- [10] Gylling H., Siimes M.A.: Sitostanol ester margarine in dietary treatment of children with familial hypercholesterolemia. *J. Lipid. Res.*, 1995, **36**, 1807-1812.
- [11] Gylling H.: Studies of plant stanol esters in different patient populations. *Eur. Heart. J.*, 1999, **1**, 109-113.
- [12] Halliday J.: Cholesterol-lowering sterols to enter new food categories. 2006. www.foodnavigator.com.
- [13] Hicks K.B., Moreau R.A.: Phytosterols and phytostanols: functional food cholesterol busters. *Food Technol.*, 2001, **55**, 63-69.
- [14] Ikeda I., Tanaka K., Sugano M., Vahouny G.V., Gallo L.L.: Inhibition of cholesterol absorption in rats by plant sterols. *J. Lipid. Res.*, 1998, **29**, 1573-1582.
- [15] Jakubowski A., Braczko M.: Fitosterole jako składnik żywności funkcjonalnej. *Żywność. Żywność. Żywność*, 2000, **35**, 28-40.
- [16] Jauhiainen T., Salo P., Niittynen L., Pussa T., Korpela R.: Effect of low fat hard cheese enriched with plant stanol esters on serum lipids and apolipoprotein B in mildly hypercholesterolaemic subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2006, **60**, 1253-1257.
- [17] Jones P. J., Howell T. Short-term administration of tall oil phytosterols improve plasma lipid profiles in subjects with different cholesterol levels. *Metabolism*, 1998, **47**, 751-756.
- [18] Jones P. J. MacDougall D.E.: Dietary phytosterols as cholesterol-lowering agents in humans. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 1997, **75**, 217-227.
- [19] Jones P.J., Ntanos F.Y., Raeini-Sarjaz M., Vanstone C.A.: Cholesterol-lowering efficacy of sitostanol-containing phytosterol mixture with a prudent diet in hyperlipidemic men. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, **69**, 1144-1150.
- [20] Koletzko B.: Growth, development and differentiation; a functional food science approach. *Br. J. Nutr.*, 1998, **80**, 511.
- [21] Kozłowska-Wojciechowska M.: Sterole i stanole roślinne nową szansą w profilaktyce miażdżycy. *Czynniki Ryzyka*, 2002, **35**, 5-12.
- [22] Krygier K.: Żywność funkcjonalna z surowców i produktów tłuszczowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1999, **4 (21) Supl.**, 102-110.
- [23] Lagarda M.J.: Analysis of phytosterols in food. *J. Pharm. Biomed. Anal.*, 2006, **41**, 1486-1496.

- [24] Law M.R., Wald N.J., Thompson S.G.: By how much and how quickly does reduction in serum cholesterol concentration lower risk of ischemic heart disease? *BMJ.*, 1994, **308**, 367-372.
- [25] Lin D.S., Steiner R.D., Pappu A.S., Connor W.E.: The effects of sterol structure upon sterol esterification. *Atherosclerosis*, 2010, **208**, 155-160.
- [26] Miettinen T. A., Puska P.: Reduction of serum cholesterol with sitostanol-ester margarine in a mildly hypercholesterolemic population. *N. Engl. J. Med.*, 1995, **333**, 1308-1312.
- [27] Moghadasian M.H., Frohlich J.J.: Effect of dietary phytosterols on cholesterol metabolism and atherosclerosis: clinical and experimental evidence. *Am. J. Med.*, 1999, **107**, 588-594.
- [28] Moreau R.A., Whitaker B.D., Hicks K.B.: Phytosterols, phytostanols, and their conjugates in foods: structural diversity, quantitative analysis, and health-promoting uses. *Prog. Lipid Res.*, 2002, **41**, 457-500.
- [29] Neil H.A., Mejer G.W., Roe L.S.: Randomized controlled trial of use by hypercholesterolaemic patients of a vegetable oil sterol-enriched fat spread. *Atherosclerosis*, 2001, **156**, 329-337.
- [30] Ntanos F.: Plant sterol-ester-enriched spreads as an example of a new functional food. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 2001, **103**, 102-106.
- [31] Obiedziński M.W., Bartnikowska E., Cieślak B., Jankowski P. S., Grześkiewicz S.: Skład kwasów tłuszczowych i koncentracja steroli. *Przem. Spoż.*, 1996, **10**, 13-16.
- [32] Ostlund R. E.: Phytosterols in human nutrition. *Annu. Rev. Nutr.*, 2002, **22**, 533-549.
- [33] Patel M.D., Thompson P.D.: Phytosterols and vascular disease. *Atherosclerosis*, 2006, **186**, 12-19.
- [34] Plat J., Mensink R.P.: Vegetable oil based versus wood based stanol ester mixtures: effects on serum lipid and hemostatic factors in non-hypercholesterolemic subjects. *Artherosclerosis*, 2000, **148**, 101-112.
- [35] Polagruto J. A., Wang-Polagruto J. F., Braun M. M., Lee L., Kwik-Urbe C., Keen C.L.: Cocoa flavanol-enriched snack bars containing phytosterols effectively lower total and low-density lipoproteins cholesterol levels. *J. Am. Diet Assoc.*, 2006, **106**, 1804-1813.
- [36] Rideout T.C., Chan Y., Harding S.V., Jones P.J.: Low and moderate-fat plant sterols fortified soymilk in modulation of plasma lipids and cholesterol kinetics in subjects with normal to high cholesterol concentrations: report on two randomized crossover studies. *Lipids Health Dis.*, 2009, **8**, 45-51.
- [37] Rozporządzenie Komisji (WE) nr 608/2004 z dnia 31 marca 2004 r. dotyczące etykietowania żywności oraz składników żywności z dodatkiem fitosteroli, estrów fitosteroli, fitostanoli i/lub estrów fitostanoli – Dz. Urz. UE 287; L 97/44.
- [38] Schaefer E.J.: Lipoproteins, nutrition, and heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2002, **75**, 191-212.
- [39] Wang Y., Ebine N., Jia X., Jones P.J., Fairrow C., Jaeger R.: Very long chain fatty acids (policosanols) and phytosterols affects plasma lipid levels and cholesterol biosynthesis in hamsters. *Metabolism*, 2005, **54**, 508-514.
- [40] Woyengo T.A., Ramprasath V.R., Jones P.J. Anticancer effects of phytosterols. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2009, **63**, 813-820.
- [41] Varady K.A., Houweling A.H., Jones P.J.: Effect of plant sterols and exercise training on cholesterol absorption and synthesis in previously sedentary hypercholesterolemic subjects. *Transl. Res.*, 2007, **149**, 22-30.

PROFILE AND HEALTH-RELATED PROPERTIES OF PLANT STEROLS

S u m m a r y

Sterols are basic components of cell membranes in animal and plant organisms. So far, almost 40 types of plant sterols have been identified, and, among them, the most known and the most commonly occurring are: β -sitosterol, kampesterol, and stigmasterol. Stanols constitute their saturated type obtained during the hydrogenation of sterols. Phytosterols are natural plant components of, for example: soybeans, plant oils, rice, and pine wood. Small amounts of phytosterols are also in nuts, vegetables, and fruits. An adequate measured quantity of plant sterols is able to essentially reduce the cholesterol level in blood. The mechanism of their activity consists in decreasing the intestinal absorption of cholesterol by replacing it in micelles. Extensive clinical research projects showed that a dose of 2 - 3 g sterols per day caused the level of total cholesterol to be reduced by about 10 % and the LDL fraction to be decreased by ca. 15 %. The intake of those compounds reduces the risk of heart attack and prevents atherosclerosis and coronary heart disease. Therefore, plant sterols are more and more often added to food products, among other things to margarines, oils, yogurts, ripening cheeses, bakery products, muesli, juices and fruit beverages.

Key words: plant sterols, cholesterol, food products enriched with sterols ☒