

작물 함유 Phytosterol의 변이와 생리활성

김선림*† · 박금룡* · 이영호* · 유용환*

*농촌진흥청 작물시험장

Biological Activities of Phytosterols and Their Variations in Crops

Sun-Lim Kim*†, Keum-Yong Park*, Yeong-Ho Lee*, and Young-Hwan Ryu*

*National Crop Experiment Station, RDA, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT: Plant fats and oils contain phytosterols as naturally occurring constituents, which are present in pure or esterified form, or conjugated as glycosides. The predominant phytosterol is sitosterol and minor components are campesterol, stigmasterol, Δ^7 -avenasterol and brassicasterol. They play a key role in cell membrane function of plants as cholesterol in animals. Phytosterols have been known for many years for their properties for reducing blood cholesterol levels, as well as their other beneficial health effects for cancer preventive biological-active substances. The objective of this paper is to present a description of the recent advances in phytosterols for future research.

Keywords : cholesterol, phytosterol, sitosterol, campesterol, stigmasterol

스테롤(sterols)은 종류가 다양하지만 출처에 따라 동물성 스테롤(zosterols), 식물성 스테롤(phytosterols)과 미생물 스테롤(mycosterols)로 분류된다. 동물성 스테롤인 콜레스테롤(cholesterol, $C_{27}H_{45}OH$)은 고등동물의 근육조직, 뇌조직, 신경조직, 담즙, 혈액 및 지방질에 분포되어 있으며 백색결정으로 물에는 녹지 않으나 지용성 용매에 잘 녹는 물질로서 동물성 지방에 0.1~0.4%, 어유(fish oils)에는 1.0~1.5%정도 함유되어 있다.

콜레스테롤은 인지질과 함께 세포막을 구성하는 성분이지만 체내 콜레스테롤 대사에 이상이 발생하여 혈관벽에 과도하게 축적될 경우 건강에 심각한 문제를 발생시킨다. 엘고스테롤(ergosterol: $C_{28}H_{43}OH$)은 미생물 스테롤의 대표적인 물질로서 곰팡이나 효모, 버섯 등에 함유되어 있으며 자외선에 의해 B 환이 쉽게 개열되면 calciferol(Vitamin D₂)로 전환되기 때문에 엘고스테롤은 비타민 D의 선구물질인 provitamin D로 불려지기도 한다. 비타민 D의 일일 추천량은 약 400 IU로서 결핍시

뼈가 연화되어(softening of bones)되어 구루병(rickets)을 유발한다고 한다.

Sitosterol($C_{29}H_{49}OH$)은 식물성 스테롤(phytosterol)의 가장 대표적인 물질로서 밀의 배종유(wheat germ oil)에서 처음 발견되었으며 α_1 -, α_2 -, α_3 -, β -, 및 γ -sitosterol 등이 알려져 있다. 화학작용은 콜레스테롤과 매우 유사하지만 동물의 스테롤에는 함유되어 있지 않기 때문에 혼합 유지의 관별시 측정지표로 사용되며 stigmasterol($C_{29}H_{47}OH$)은 미강유, 옥수수유, 대두유, 팜야자유 등에 함유되어 있다.

Phytosterol은 식물계에 널리 함유된 물질임에도 불구하고 최근까지도 이들의 기능뿐만 아니라 함량변이 및 생리활성 등에 대하여 알려진 바가 별로 없는 실정이다. 따라서 본고에서는 최근까지 연구된 phytosterol의 기능과 작물내 함량변이 및 생리활성 효과에 대하여 정리하였다.

식물성 스테롤(Phytosterol)

Phytosterol은 Fig. 1에서 보논바와 같이 자연계에 유리형태로 존재하거나 지방산과 ester결합을 하고 있거나 또는 당과 결합된 형태로 존재하기도 한다(Nes, 1987). 유리 sterol의 대부분은 식물의 세포막에서 발견되지만 이들의 기능은 매우 다양한 것으로 알려져 있다. 지금까지 알려진 phytosterol은 약 250여종이 알려져 있는데 영양학적 또는 기능성 측면에서는 4-desmethyl sterol인 campesterol, β -sitosterol, stigmasterol, campestanol 및 β -sitostanol과 같은 5종의 phytosterol이 주요 관심의 대상이 된다(Piironen *et al.*, 2000).

일반적으로 식물 유지의 phytosterol은 다양한 조성의 변이를 보이는데, sitosterol이 40~60%로 조성비가 가장 높고 campesterol 10~30%, stigmasterol 10~20%, Δ^5 -avenasterol이 약 5%에 달하며 phytosterol의 포화형태인 phytostanol도 미량 존재한다. Phytosterol은 동물의 cholesterol과 기능이 비슷하며 특히 세포막의 기능에 핵심적 요소로 작용하고 있다.

일반적으로 phytosterol의 소비는 식문화 및 습관에 따라 다르지만 약 170 mg~360 mg/day 정도를 섭취를 한다고 하는데

†Corresponding author: (phone) +82-31-290-6784 (E-mail) kims@rda.go.kr

<Received October 15, 2003>

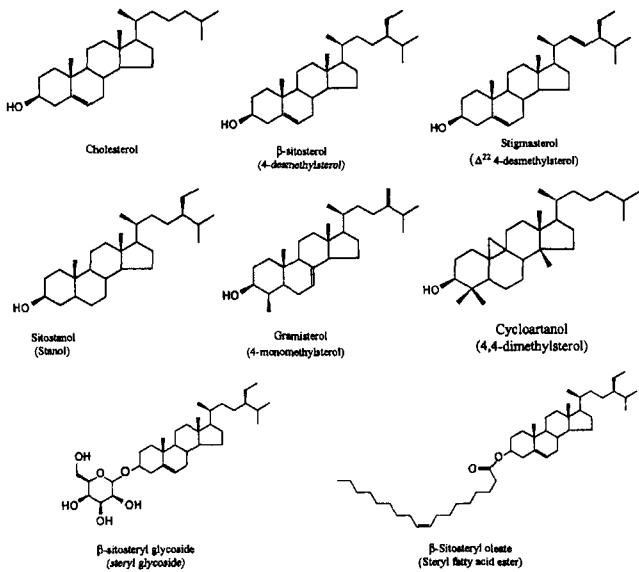


Fig. 1. Chemical structures of cholesterol and principal groups of plant sterols.

(de vries *et al.*, 1997), 이들의 섭취량에 대해서는 여러 가지 견해가 있지만 일반적으로 서양인의 경우 1일 200~400 mg의 식물스테롤을 섭취하며 식물성 유지, 마아가린, 콩 등이 주요 공급원이 된다고 한다. 일본인의 경우 1일 350~400 mg의 식물스테롤을 섭취하고 있는 것으로 알려져 있으나 우리나라의 경우 구체적인 보고가 없어 정확한 섭취량을 판단하기는 어려우나 일본과 비슷한 수준일 것으로 추측된다.

Phytosterol은 작물의 종류에 따라 다양한 유전적 변이는 물론 재배환경에 따른 변이가 다양하지만 이들의 화학적 조성은 식물의 종에 따라 비교적 일정한 비율의 분포를 나타낸다고 한다(Abidi *et al.*, 1999).

일반적으로 phytosterol은 과일, 채소, 견과류, 곡류, 옥수수, 두과작물 등 식물계에 널리 함유되어 있으며(Piironen *et al.*, 2000), 종실의 호분층, 배, 배유, 과피, testa 등에서의 분포에 관한 연구가 보고되고 있으나(Barnes, 1983; Dutta & Appelqvist, 1996; Knights, 1967) 이들의 함량 변이 등에 관한 연구는 별로 없는 실정이다.

Table 1은 여러 작물에 함유된 phytosterol의 함량을 나타낸 것으로 옥수수기름에 865 mg/100 g, 콩기름에 250 mg/100 g, 참기름에 865 mg/100 g이 함유되어 있으며 쌀의 bran oil중에는 무려 1,190 mg/100 g이 함유되어 있음이 주목된다(Abidi, 2001). Table 2는 작물에 함유된 phytosterol의 종류별 함량을 나타낸 것으로 sitosterol이 식물성 sterol의 주종을 이루는 성분임을 알 수 있고, 작물별로 볼 때 밀의 배(344 mg/100 g), 메밀가루(99 mg/100 g) 및 호밀 등에서 함량이 높음을 알 수 있다(Lena *et al.*, 2002).

Kim *et al.*(2000)은 옥수수의 불검화물중 phytosterol 함량을 검토했던 결과 교잡종의 phytosterol 조성은 β -sitosterol 79.3%,

Table 1. Some reported sterol concentrations in selected foods and vegetable oils (mg/100 g)

Food	Phytosterol
Potato	5
Tomato	7
Pear	8
Lettuce	10
Carrot	12
Apple	12
Orion	15
Banana	16
Fig	31
Garbanzo bean	35
Kidney bean	127
Soybean	161
Pecan	108
Almond	143
Cashew nut	158
Peanut	220
Sesame seed	714
Peanut oil	207
Olive oil	221
Soybean oil	250
Cotton seed oil	324
Safflower oil	444
Sesame oil	865
Corn oil	968
Rice bran oil	1190

campesterol+stigmasterol이 20.7%이었고 사료용 옥수수 자식계통은 β -sitosterol은 78.7%, campesterol+stigmasterol은 21.3%라 하였다. 또한 옥수수 종별 phytosterol의 함량은 튀김옥수수(368.7 mg%)>찰옥수수(367.3 mg%)>사료용 옥수수(344.7 mg%)>도입종(231.3 mg%) 순으로 함량이 높다고 하였다.

현재 상업화되어 있는 식용유에는 함유되어 있는 phytosterol은 유리형 및 ester형으로 존재하며 이들의 물리적 특성은 상이하다. 예를 들어 steryl ester형의 sterol은 oil-water의 혼합 용액에 용해가 잘되는 반면 유리형의 sterol은 난용성을 나타내기 때문에 이와 같은 특성을 이용하여 sterol 또는 stanol강화 유제품을 제조하기도 한다. Katherine *et al.*(2002)은 4종의 콩기름을 대상으로 phytosterol을 분석하였는데 이들의 함량은 205~287 mg/100 g였고 유리 sterol의 조성은 61~81%이라 하였는데 이와 같은 변이의 주요 원인으로 품종, 가공공정 및 재배시기의 차이 등을 지적하였다.

그러나 지금까지 작물 또는 식물성 식용유에 함유되어 있는 유리형 sterol과 ester형 sterol에 관한 정보가 거의 없는 실정인데, 이는 phytosterol의 측정을 위한 전처리 과정 중 saponification에 의해 유지에 함유되어 있는 유리형의 sterol들이 변형되어 버리기 때문이다. 식물성 sterol은 다양한 방법으로 얻을 수 있

Table 2. Phytosterol content of cereals (mg/100 g edible portion)

	Campesterol	Sitosterol	Stigmasterol	Campestanol	Sitotanol	Sum
Buckwheat flour	11	86	2.0	0	0	99
Corn flour	8.8	26	2.2	4.5	10	5
Wheat, rye (flour blend)	8.9	30	1.1	2.7	4.3	47
Wheat, rye, barley, oat (flour blend)	9.1	31	1.0	2.6	3.8	47
Coarse wheat, rye (flour blend)	16	46	2.4	5.5	7.8	78
Millet, cooked	9.9	39	3.9	0	2.2	55
Rice flour	4.0	15	3.5	0	0	23
Rice, brown, cooked	6.0	16	4.8	0.8	0.8	29
Rice, jasmine, cooked	3.1	15	2.4	0	0.6	21
Rice, parboiled, cooked	7.5	28	0	2.9	0	39
Rye, crushed grains	14	42	2.4	0	11	69
Rye flour	17	48	3.3	7.3	11	86
Semolina, cooked	2.6	11	0	1.2	2.0	17
Whole wheat flour	14	44	1.7	0	11	70
Wheat, crushed grains	11	38	1.3	7.7	11	69
Wheat flour	4.7	10	4.4	0	0	28
Wheat germs	94	230	3.2	6.9	9.9	344

으나 식물성 유지의 정제(refining)시 탈취공정에서 분자량에 따른 분별증류로 다량의 phytosterol을 얻어내며 특히 원목에서 펄프 제조시 지용성(fat-soluble) 분획에서는 톨유(tall-oil)를 얻을 수 있는데 이들 중에는 stanol이 약 20% 정도 함유되어 있다고 한다(Ferrari *et al.*, 1997). 그러나 식물성 유지의 정제 및 탈취공정에서 다량의 sterol이 감소되거나 변형되기 때문에 이를 최소화시킬 수 있는 새로운 공정의 개발도 중요한 과제라 할 수 있다. 또한 Table 1과 2에서 보는 바와 같이 각종 연구보고의 실험자에 따라서도 phytosterol의 함량과 조성에 다양한 변이가 있는 것으로 판단되기 때문에 정밀하고 간편한 측정법의 개발을 통해 phytosterol의 정확한 함량과 제반특성의 검토가 선행되어야 할 것으로 사료된다.

Phytosterol의 생리활성

콜레스테롤 감소효과: Phytosterol이 콜레스테롤을 효과적으로 감소시킨다는 보고가 1950년대 초반에 처음으로 보고된 이래 이에 관련된 수많은 연구가 진행되어 Pollak & Kritchevsky

(1981)은 β -sitosterol, campesterol 및 stigmasterol이 콜레스테롤 수준을 효과적으로 감소시키는 물질임을 보고하기에 이르렀다.

Phytosterol은 HDL-cholesterol 또는 triglyceride를 변화시키지 않고 효과적으로 LDL-cholesterol의 함량을 감소시키는데, 혈중 cholesterol 저하효과는 고콜레스테롤혈증(hypercholesterolemia) 환자에서뿐만 아니라 정상인 사람에게 있어서도 콜레스테롤 감소효과가 있다고 한다(Gylling & miettinen, 2002; Mensink *et al.*, 2002; Sato *et al.*, 2001). Table 3은 phytosterol에 의한 콜레스테롤 저하효과를 나타낸 것인데, sitosterol과 sitostanol은 고콜레스테롤혈증 환자에 효과적으로 작용하여 결과적으로 phytosterol은 지질대사에 있어 간의 acetyl-CoA carboxylase 및 malic enzyme의 활력을 효과적으로 감소시킨다고 한다(Ling & Jones, 1995).

Phytosterol이 혈중 cholesterol의 함량을 낮춘다는 사실은 잘 알려졌으나 이들의 정확한 기전에 대해서는 알려진 바가 별로 없다. 지금까지 phytosterol에 의한 cholesterol의 감소 기전에

Table 3. Influences of sitosterol and sitostanol on circulating cholesterol levels

Sterols	Dose	Subject	Changes in cholesterol or LDL(%)
β -sitosterol	6 g/day	hypercholesterolemia	-9.0
Sitosterol	722 mg/day	hypercholesterolemia	-11
Sitosterol	2 g/day	familial hypercholesterolemia	-20(LDL-cho)
Sitostanol	0.5 g/day	familial hypercholesterolemia	-33(LDL-cho)
Sitostanol	630 mg/day	hypercholesterolemia	-12
Sitostanol	1.5 g/day	hypercholesterolemia	-10-15
Sitostanol ester	3.4 g/day	hypercholesterolemia	-8.0
Sitostanol	1.0 g/day	hypercholesterolemia	-7.0

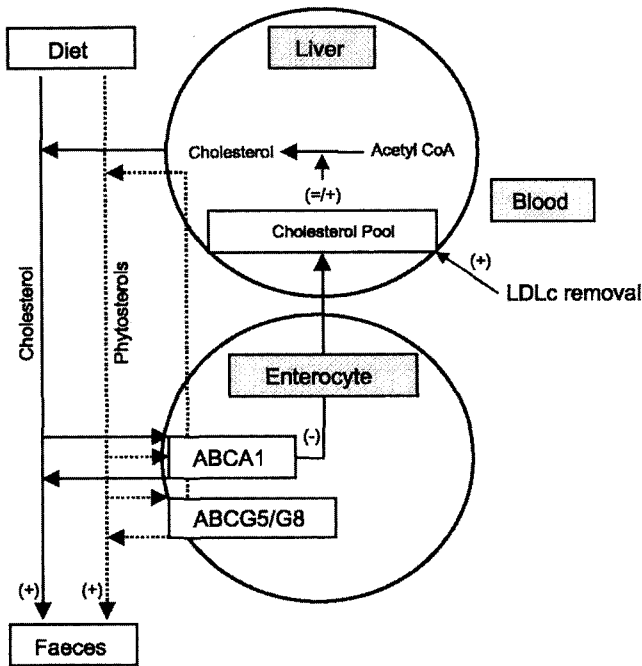


Fig. 2. Simplified model of the mechanism of action of phytosterols. Signs in parentheses indicate the effect of phytosterol consumption. Diet plus biliary cholesterol is absorbed approximately by 50%, and phytosterols between 0.1% and 5% in enterocytes mediated by ABC transporters, and the rest is eliminated by faeces. Phytosterol intake in significant quantities reduce the rate of cholesterol absorption and the liver cholesterol pool is diminished. This might determine the upregulation of cholesterol biosynthesis and plasma LDL-cholesterol removal. Signs in parentheses indicate the effect of phytosterol consumption.

관해서는 phytosterol이 cholesterol의 장내 흡수를 경쟁적이고 효과적으로 저지하며(Fig. 2) 특히 phytosterol은 담즙교질에 cholesterol의 용해도를 감소시키는 것으로 해석되고 있다.

Phytosterol이 cholic acid 교질과 결합력은 campesterol이 34%, sitosterol이 30%, cholesterol이 23%, stigmasterol이 15%, ergosterol이 3%정도에 해당한다고 하며 campesterol과 sitosterol은 cholesterol에 비하여 소수성이 크기 때문에 교질에 대한 친화도가 cholesterol에 비하여 매우 높아 결과적으로 콜레스테롤의 용해도를 제한한다고 한다.

Phytosterol에 의해 LDL-cholesterol은 약 8%~15%정도가 저하된다고 하는데 이는 1.5-3 g/day의 양과 동등하다. 식물성 유지가 cholesterol의 흡수를 감소시킨다는 사실은 phytosterol이 다른 유지에 비해 cholesterol의 감소효과가 크다는 것을 효과적으로 설명할 수 있다. Gylling & miettinen(2002)는 phytosterol과 cholestyramine 및 statin을 혼합처방 할 경우 LDL-cholesterol의 수준을 67%까지 저하시켰다고 하였으나 phytosterol에 의한 cholesterol 저하효과는 대부분이 4-desmethyl sterols 또는 stanol에 의한 것이 대부분이며, 4,4-dimethyl sterol에 의한

cholesterol의 저하효과는 거의 없으며 4-monomethyl sterol 및 sterol glycoside에 대한 효과는 보고된 바가 거의 없는 실정이다.

Russell *et al.*(2002)는 동물실험에서 n-3 계열의 지방산과 phytosterol의 ester를 식이로 공급하여 cholesterol 뿐만 아니라 triglyceride의 수준을 저하시켰으며 심장혈관계 및 근육조직을 유연하게 해주는 효과를 얻을 수 있다고 하였다. Cicero *et al.*(2002)은 phytosterol과 콩단백질 및 수용성 식이섬유의 상호작용에 의한 콜레스테롤 저하 효과를 검토한 결과, β -sitosterol을 강화시킨 콩이 콜레스테롤 함량을 효과적으로 감소시켰다고 하였다.

LDL oxidation: 고콜레스테롤혈증은 LDL-콜레스테롤 농도가 높을 때 발생하는 질환으로 지질의 안정성을 감소시키며 지질의 형태 및 크기를 변화시키는 것으로 알려져 있다. Yu-Poth *et al.*(2000)은 LDL-콜레스테롤 농도는 지질의 산화에 의한 변형의 여부를 결정하는 중요한 단서가 된다고 한다. 따라서 고콜레스테롤혈증 환자들에게 HMG-CoA reductase inhibitor를 투여시 LDL-콜레스테롤의 산화를 효과적으로 감소시킬 수 있다고 하며 고콜레스테롤혈증 환자들에게 phytosterol을 투여할 경우 LDL 콜레스테롤 입자가 변형되지 않는다는 연구결과가 보고되고 있으나(Gylling & Miettien, 1994; Mativenko *et al.*, 2002) phytosterol에 의한 LDL 콜레스테롤의 산화 억제 기전에 대해서는 밝혀지지 않은 실정이다.

Oxysterol은 콜레스테롤 대사과정에 변형체로 생성되는 cytotoxic한 물질로서, phytosterol oxides는 sitosterolaemia 환자의 plasma에서 발견되며 이들의 유독성은 cholesterol oxides와 매우 유사한데(Adocx *et al.*, 2001), β -sitosterol을 투여할 경우 cholesterol에 비하여 지질의 산화를 효과적으로 차단시킨다고 한다(Van Rensburg *et al.*, 2000). 지방함량이 높은 식품을 기열하거나 장기간 보관할 경우 oxysterol이 생성될 가능성이 매우 높으며 식물성 유지에서도 phytosterol oxide가 생성될 가능성이 높기 때문에 앞으로 oxyphytosterol의 cytotoxicity 및 이들의 대사, 식품에 있어 oxyphytosterol의 생성을 효과적으로 차단시킬 수 있는 방법 및 식물성 sterol를 이용한 oxyphytosterol의 방지제 개발에 관한 연구가 이루어져야 하겠다.

Anti-tumor activity: Phytosterol은 화학물질에 의해 유도된 tumor cell의 증식을 억제하며, 폐암을 효과적으로 호전시킬 수 있으며(Maria *et al.*, 1998), 이들은 anti-colonic tumor 활성을 가지고 있기 때문에 phytosterol을 다량으로 섭취하는 집단에서는 colon cancer의 위험이 상당량 감소된다고 한다(Plat *et al.*, 2002; Maria *et al.*, 1998). Janezic *et al.*(1992)은 methylnitrosourea(MNU) 처리 후 28주가 경과된 흰쥐는 MNU처리 후 0.2%의 β -sitosterol 식이를 공급한 쥐에 비하여 tumor 발생율이 현저히 높았다고 하였다. 식이로 투여되는 cholesterol은 colonic microflora에 의해 최종적으로 생산되는 coprostanol, 중성 sterol 및 bile acid의 등에 의하여 암을 발생시키는 물질로 작용하며 특히 bile acid의 2차대사 산물은

Table 4. %Tail DNA in ECV304 cells exposed to UV-C without or with SBO^a or different concentrations of MESO^b

	%Tail DNA ^c
Control	52.05±0.81
SBO(ml/ml)	6.95±0.76 ^d
MESO(20 µl/ml)	26.90±1.58 ^b
MESO(40 µl/ml)	22.30±1.66 ^b
MESO(60 µl/ml)	10.58±1.06 ^b

^aSBO: soybean oil, ^bMESO: methanolic extraction of soybean oil, Control: cells exposed to UV-C with 60 µl/ml of methanol as solvent control. ^cThe values are the mean±S.E. from at least three separate experiments; at least 50 scores/experiment. ^dExtremely significant increase at P<0.0001 vs. control.

colonic tumor의 생성에 결정적인 영향을 미친다고 한다. Phytosterol은 암세포조직에 있어 cholesterol 및 2차 bile acid의 bacterial metabolism을 억제시키거나 cholesterol의 분비량을 증가시켜 epithelial cell의 증식을 감소시킨다고 하는데 이들에 대한 정확한 기전은 밝혀지지 않고 있다(Ostlund *et al.*, 1999).

Wang *et al.*(2003)은 UV-C에 의한 사람의 ECV304 cell의 DNA 손상 정도를 검토하였는데, 콩기름의 methanol 추출물인 MESO가 DNA 손상을 효과적으로 억제시켰으며, 이는 MESO에 함유되어 있는 n-3-polyunsaturated fatty acid, tocopherol 및 phytosterol의 항산화 효과에 기인하기 때문이라 하였다(Table 4).

치주질환 치료효과: 옥수수의胚는 식용유에 이용될 뿐만 아니라 부산물은 치주질환 치료제의 주요원료가 된다. Thier *et al.*(1958)에 의하여 옥수수의 불검화 정량 추출물이 치주농루 및 치주염에 효과가 있음이 보고되면서부터 발치후 신속한 치

유효과, 치이동요의 감소, 치조골 및 치주인대 파괴 억제효과 등이 보고되기 시작하였다(Ackermann & Predine 1968).

옥수수의 불검화물은 Insadol, Dentadol과 같은 상품명으로 불려지거나, 옥수수 학명인 *Zea mays* L.인 ZML등으로 불리고 있다. Ackermann & Predine(1968)에 의하면 옥수수 불검화물은 불포화성 탄화수소, squalene(1~2%) 및 소량의 포화성 탄화수소, carotene(0~1%), α, β와 γ-tocopherol(1%), 60~70%의 phytosterol(sitosterol 80%, stigmasterol 10~20%, ergosterol ≤5%)과 estrogenic, androgenic 및 gonadotropic activity를 갖는 물질로 구성되어 있다고 한다. ZML의 치료작용은 특정 성분의 작용이라기 보다는 여러 성분이 복합적인 작용의 결과일 것으로 판단하고 있다(Thiers *et al.*, 1958). 치과의사들은 튀김옥수수를 적극 권장하고 있는데 이는 풍부한 섬유질과 적절한 지방이 함유되어있을 뿐만 아니라 당분이 적고 phytosterol을 풍부하게 함유하고있어 치아건강에 유리하기 때문인 것으로 판단된다.

생명공학에 의한 phytosterol의 강화

Phytostanol은 phytosterol에 비하여 cholesterol의 저하효과가 더 큰 것으로 알려져 있으며 장내 흡수율은 phytosterol에 비하여 효율이 낮다고 한다.

따라서 phytostanol을 효과적으로 활용한다면 혈중 LDL-콜레스테롤의 축적을 방지할 수 있는 식품소재가 될 수 있으나 식물중 phytostanol의 함량은 극히 낮기 때문에 최근에는 식물성유지의 탈취를 위한 정제과정 중 phytosterol에 수소를 첨가시켜 phytostanol을 강화시키는 공정을 개발하고 있는 실정이다.

Phytosterol은 cholesterol과 유사한 mevalonate 경로를 거쳐

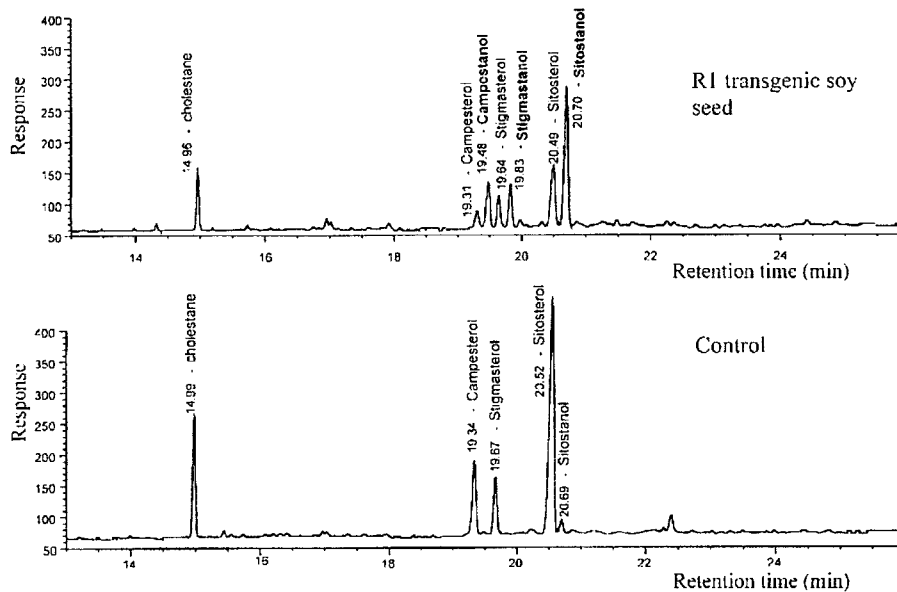


Fig. 3. GC-FID results of R1 transgenic soy seed harboring the pMON43008 and nontransgenic control. The peaks corresponding to campesterol 2, campestanol 7, stigmasterol 5, stigmasterol 8, sitosterol 3 and sitostanol 4 were confirmed by GC/MS.

생합성되는데, cholesterol과는 달리 sitosterol, stigmasterol, campesterol 및 brassicasterol과 같은 다양한 식물성 sterol을 합성해 낸다. 식물성 sterol은 C-5에 이중결합을 가지고 있으며 stigmasterol과 brassicasterol은 C-22에 부가적으로 이중결합이 있다. 따라서 화학적으로 수소를 첨가하여 sitosterol과 stigmasterol을 sitostanol로, campesterol과 brassicasterol은 campestanol로 전환시킬 수 있는데, 이와 같은 공정은 생산비가 많이 들기 때문에 최근에는 생명공학 기술을 이용하여 식물체내에서 phytosterol을 phytostanol로 전환시키고자 하는 연구가 시도되고 있다. Corbin *et al.*(1994)는 목화를 형질전환하여 phytosterol의 절반을 phytostanol로 전환시켰다고 하였으며 Mylavarapu *et al.*(2003)은 유채와 콩을 형질전환하여 Fig. 3에서 보는바와 같이 phytostanol을 다량 함유한 식물을 얻었다고 하였다. 따라서 육종에 의한 phytosterol 함량이 높은 신품종을 육성하는 것은 궁극적으로 식물성 phytosterol의 소비를 증가시키는 결과를 기대할 수 있으며 생명공학 기술의 형질전환에 의한 신기능성 작물의 육성도 좋은 방법이 될 수 있다고 하겠다.

맺 음 말

Phytosterol이 LDL콜레스테롤의 저하효과가 있음이 알려지면서 이에 관련된 수많은 연구결과가 이루어져 왔으나 주로 인간과 동물에 있어 의학적인 접근이 주종을 이루어 왔다. 최근 들어 우리의 식생활이 서구화 되어가면서 콜레스테롤의 섭취량이 증가되어 고혈압과 심장병 등 각종 성인병이 사회적으로 문제가 되고 있다. 따라서 콜레스테롤의 흡수를 경쟁적으로 감소시키는 식물성 sterol인 phytosterol에 대한 관심이 새롭게 대두되고 있는 현실에 비춰볼 때 작물에 있어 phytosterol에 관련된 연구는 상대적으로 매우 빈약할 뿐만 아니라 유전특성, 함량변이를 비롯한 각종 재배환경에 따른 변이 등에 관련된 연구정보는 매우 드물다고 할 수 있다. Phytosterol이 콜레스테롤 저하효과 뿐만 아니라 각종 항암효과 및 치주질환 치료효과 등 각종 생리활성을 나타낼 뿐만 아니라 부작용이 거의 없고 적은 비용으로 손쉽게 구할 수 있는 물질임을 상기해 볼 때 우리농산물의 품질고급화는 물론 기능성 향상을 위한 신품종 육성에 있어 새롭게 재조명되어야 할 연구과제라 할 수 있다. 이를 위해서는 작물의 종에 따른 함량의 변이, 유전변이 및 재배환경 변이 등 다양한 검토가 이루어져야 하며 관련 marker의 개발에 의한 육종효율 향상 및 형질전환에 의한 신기능성 품종의 개발 등이 우리 농산물의 국제 경쟁력 강화를 위한 좋은 과제가 될 수 있을 뿐만 아니라 궁극적으로 국민의 건강과 인류건강 복지에 이바지 할 수 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

Abidi, S. L. 2001. Chromatographic analysis of plant sterols in foods and vegetable oils. *Journal of Chromatography A*. 935 : 173-201.

- Abidi, S. L., G. R. List, and K. A. Rennick. 1999. Effect of genetic modification on the distribution of minor constituents in canola oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 76 : 463-467.
- Ackermann, R, and M. Predine. 1968. Hospital testing the unsaponifiable part of maize oil. *L'Information Dentaire* 8 : 751-758.
- Adcox, C., L. Boyd, L. Oerhl, J. Allen, and G. Fenner. 2001. Comparative effects of phytosterol oxides and cholesterol oxides in cultured macrophage-derived cell lines. *J. Agric. Food Chem.* 49 : 2090-2095.
- Barnes, P. 1983. Non saponifiable lipids in cereals. In: P. Barnes, Editor, *Lipids in Cereal Technology*, Academic Press, New York: pp. 33-55.
- Cicero, A. F., A. Fiorito, M. P. Panourgia, Z. Sangiorgi, and A. Gaddi. 2002. Effects of a new soy/beta-sitosterol supplement on plasma lipids in moderately hypercholesterolemic subjects. *J. Am. Diet Assoc.* 102 : 1807-1811.
- Corbin, D. R., J. T. Greenplate, E. Y. Wong, and J. P. Purcell. 1994. Cloning of an insecticidal cholesterol oxidase gene and its expression in bacteria and in plant protoplasts. *Appl. Environ. Microbiol.* 60 : 4239-4244.
- de Vries, J. H. M., A. Jansen, D. Kromhout, P. A. van de Bovenkamp, R. P. van Staveren, M.B. Mensink, and Katan. 1997. The fatty acid and sterol content of food composites of middle-aged men in seven countries. *J. Food Comp. Anal.* 10 : 115-141.
- Dutta, P. and L. A. Appelqvist. 1996. Saturated sterols (stanols) in unhydrogenated and hydrogenated edible vegetable oils and in cereal lipids. *J. Sci. Food Agric.* 71 : 383-391.
- Ferrari, R. A., W. Esteves, K. D. Mukherjee, and E. Schulte. 1997. Alteration of sterols and steryl esters in vegetable oils during refining. *J. Agric. Food Chem.* 45 : 4753-4757.
- Gylling, H., T. Miettinen. 2002. LDL cholesterol lowering by bile acid malabsorption during inhibited synthesis and absorption of cholesterol in hypercholesterolemic coronary subjects. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 12 : 19-23.
- Janezic, S. A. and A. V. Rao. 1992. Dose-dependent effects of dietary phytosterol on epithelial cell proliferation of the murine colon. *Food and Chemical Toxicology*. 30(7) : 611-616.
- Katherine, M. P., M. R. David, I. T. Jari, A. S. Molly, and H. S. Amy. 2002. Free and esterified sterol composition of edible oils and fats. *J. of Food Composition and Analysis*. 15(2) : 123-142.
- Kim, S. L., Y. K. Son, J. J. Hwang, J. Song, and H. G. Moon. 2000. Varietal differences of unsaponifiables in maize. *Korean J. Breed.* 32(1) : 33-37.
- Knights, B. 1967. The analysis of phytosterols in faeces. In: J. Grant, Editor, *The Gas Chromatography of Steroids*, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 211-221.
- Lena, N., B. Susanne, J. Monica, E. Pascale, E. Lars, B. Henny, A. Henrik, and D. Pares. 2002. The Phytosterol Content of Some Cereal Foods Commonly Consumed in Sweden and in the Netherlands. *J. Food Comp. Anal.* 15(6) : 693-704.
- Ling, W. H., and P. J. H. Jones. 1995. Dietary phytosterols: A review of metabolism, benefits and side effects. *Life Sciences*. 57(3) : 195-206.
- Maria, M., D. S. Eduardo, D. P. Hugoi, C. Julio, and R. Alvaro. 1998. Phytosterols and risk of lung cancer: A case-control study in Uruguay. *Lung Cancer*. 21(1) : 37-45.
- Matvienko, O. A., D. S. Lewis, M. Swanson, B. Arndt, D. L. Rainwater, J. Stewart, and D. L. Alekel. 2002. A single daily dose of soybean phytosterols in ground beef decreases serum cholesterol and

- LDL-cholesterol in young, mildly hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* 76 : 57-64.
- Mensink, R. P. S. Ebbing, M. Lindhout, J. Plat, M. M. A. van Heugten. 2002. Effects of plant stanol esters supplied in low-fat yoghurt on serum lipids and lipoproteins, non-cholesterol sterols and fat soluble antioxidant concentrations. *Atherosclerosis*. 160 : 205-213.
- Mylavarapu, V., K. Balasulojini, S. Bin, A. Catharine, Gunter, B. Sekhar Boddupalli and M.K. Ganesh. 2003. Expression of a *Streptomyces* 3-hydroxysteroid oxidase gene in oilseeds for converting phytosterols to phytostanols. *Phytochemistry*. 62(1) : 39-46.
- Nes, W. 1987. Multiple roles for phytosterols. In: P. Stumpf, Editor, *The Metabolism. Structure and Function of Plant Lipids*, Plenum Press, New York : pp. 39.
- Ostlund Jr, R. E., C. A. Spilburg, and W. F. Stenson. 1999. Sitostanol administered in lecithin micelles potentially reduces cholesterol absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 70 : 826-831.
- Piironen, V, D. G. Lindsay, T. A. Miettinen, J. Toivo, and A. M. Lampi. 2000. Plant sterols: biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *J. Sci. Food Agric.* 80 : 939-966.
- Pollak, O. J. and D. Kritchevsky. 1981. *Monographs on Atherosclerosis* New York, Basel.
- Russell, J. C., H. S. Ewart, S. E. Kelly, J. Kralovec, J. L. C. Wright, and P. J. Dolphin. 2002. Improvement of vascular dysfunction and blood lipids of insulin resistant rats by a marine oil-based phytosterol compound. *Lipids* 37 : 147-152.
- Sato, H., K. Ito, K. Sakai, Y. Morinaga, E. Sukegawa, T. Kitamura, and H. Shimasakil. 2001. Effects of soybean-germ oil on reducing serum cholesterol level. *J. Oleo. Sci.* 50 : 649-655.
- Thiers, J., Zwingelstein. 1958. The maize germ oil unsaponifiable its therapeutical indications. *Presse Medicale*. 26(July) : 1293-1294.
- Van Rensburg, S. J, W. M. U. Daniels, J. M. van Zyl, and J. J. F. Taljaard. 2000. A comparative study of the effects of cholesterol, beta-sitosterol, beta-sitosterol glucoside, dehydro-epiandrosterone sulphate and melatonin on in vitro lipid peroxidation. *Metab. Brain Dis.* 15 : 257-265.
- Wang, H., Q. Li, Y. Jian, Z. Luo and Y. Wang. 2003. The protective effect and mechanism of soybean oil and its extracts on DNA damage in human ECV304 cells exposed to UV-C. *Biochi. Biophys. Acta.* 1626 : 19-24.
- Yu-Poth S., T. D. Etherton, C. C. Reddy. 2000. Lowering dietary saturated fat and total fat reduces the oxidative susceptibility of LDL in healthy men and women. *J. Nutr.* 130 : 2228-2237.