

## 쌀 유래 생리활성물질의 구조 및 기능

황재관

연세대학교 생명공학과

### 서론

쌀은 지난 수천년 동안 우리의 주식으로서 이용되어 온 대표적인 곡물로서 우리 민족의 고유한 전통식품의 발전에 많은 영향을 주었다. 지금까지 쌀은 수확한 후에 왕겨(hull)를 제거한 후 도정 과정을 거쳐 백미(polished rice)의 형태로 밥이나 떡의 원료로서 이용되어 왔다. 도정과정에서는 현미(brown rice)의 외층과 배아(germ)가 대부분 제거되는데, 이러한 과정은 밥맛을 좋게 해주기 때문에 매우 일반화된 공정이다. 미강(Rice bran)은 현미의 외층과 배아를 포함하여 쌀의 도정과정에서 부산물(byproducts)로서 발생한다.

최근 미강에 매우 뛰어난 생리활성물질이 다량 포함되어 있는 것으로 밝혀지면서 쌀의 이용에 있어서 두 가지의 대표적인 경향이 나타나고 있다. 하나는 현미 자체로서 혹은 현미를 발아시킨 발아현미의 형태로서 미강이 그대로 포함된 쌀을 식용하는 것이다. 그러나 이 경우는 미강의 생리활성 물질이 많이 포함되는 장점이 있는 반면에 미강의 섬유성 물질로 인해 식감을 많이 감소되는 단점이 있다. 즉, 생리활성은 유지되나 식품소비에서 가장 중요한 요인인 식감이 감소되어 그 소비가 제한되고 있다. 다른 하나는 백미 제조과정에서 분리되어 부산물로서 발생하는 미강으로부터 여러 가지 생리활성 물질을 분리하여 산업적으로 활용하는 것이다. 미강 유래의 생리활성 성분을 제조하는 기술은 일본이 가장 잘 발달되어져 있다.

미강에는 ferulic acid,  $\gamma$ -oryzanol, myo-inositol, phytic acid(IP<sub>6</sub>),  $\beta$ -sitosterol로 대표되는 식물성스테롤(phytosterol), tocopherol, tocotrienol 등의 생리활성 phytochemicals와 면역활성 다당류인 arabinoxylan이 다량 함유되어 있다. 우리의 주식으로서 매일 일정량을 섭취하는 쌀에 유효 생리활성 성분과 면역활성 다당류 성분이 다량 포함되어 있다는 것은 매우 흥미로운 사실이다. 최근 전 세계적으로 급속하게 발전하고 있는 건강기능성 식품에 응용이 가능한 대표적인 생리활성 소재가 쌀에 다량 포함되어 있다는 것은 매우 고무적인 사실이다. 본 논문에서는 쌀에 존재하는 대표적인 생리활성 성분의 구조적인 특징과 함께 각각의 기능성 생리활성에 대하여 논한다.

### 쌀의 기능성 성분 및 생리활성

쌀에 포함되어 있는 대표적인 기능성 성분으로는 비타민 B-complex, tocopherol 및 tocotrienol,  $\gamma$ -oryzanol, 식물성 스테롤(phytosterol), 피틴산(inositol hexaphosphate, IP<sub>6</sub>), ferulic acid, 비전분성 다당류

(식이섬유)를 들 수 있다. 표 1은 쌀 유래의 대표적인 생리활성 물질의 구조와 기능을 요약한 것이다. 쌀의 생리활성 물질이 심장병, 당뇨, 고지혈증, 암 등 각종 만성질환에 효능이 있다는 것은 많은 임상 연구를 통하여 잘 알려져 있다. 표 2는 만성 질환의 예방에 관여하는 쌀의 생리활성 성분과 작용기작을 요약한 것이다.

표 1. 쌀 유래 생리활성 물질의 구조 및 약리효과

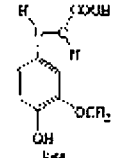
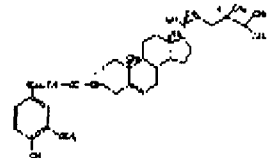
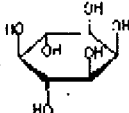
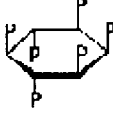
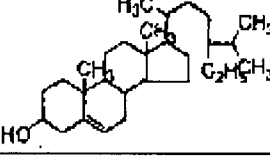
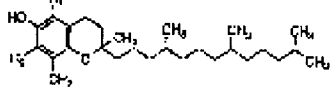
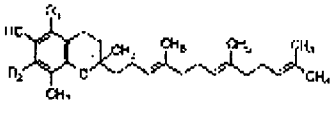
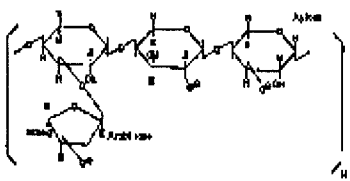
성분명	구조	약리효과
Ferulic acid		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항산화효과</li> <li>○ 혈전억제 효과</li> <li>○ 피부보호효과(자외선방어)</li> <li>○ 항균 효과</li> </ul>
$\gamma$ -Oryzanol		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항산화 효과</li> <li>○ 혈장콜레스테롤 감소효과</li> <li>○ 고지혈증 치료효과</li> </ul>
myo-Inositol		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항암효과(대장암, 폐암 등)</li> <li>○ 당뇨성 신경염 완화효과</li> <li>○ 백내장 형성 저해효과</li> </ul>
IP <sub>6</sub>		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항암효과(유방암, 피부암)</li> <li>○ 고지혈증억제 효과</li> <li>○ 신장결석 생성 억제 효과</li> <li>○ 플라그 형성 및 치아우식증 저해효과</li> </ul>
Phytosterol ( $\beta$ -sitosterol)		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 혈장콜레스테롤 감소 효과</li> <li>○ 심장병 예방효과</li> <li>○ 항암효과(대장암)</li> </ul>
Tocopherol		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항산화 효과</li> <li>○ 피부보호효과(자외선 방어)</li> </ul>
Tocotrienol		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 항암효과</li> <li>○ 항산화효과</li> <li>○ 혈장콜레스테롤 감소효과</li> <li>○ 동맥경화증 치료효과</li> </ul>
Arabinoxyylan		<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 면역력강화 효과</li> <li>○ 항암효과</li> <li>○ 콜레스테롤 저하효과</li> <li>○ 항바이러스 효과</li> </ul>

표 2. 쌀 유래 생리활성 물질의 건강증진 효과 (Cheruvanky, 2003)

Rice bran phytochemicals	Health benefits
Tocopherols	Inhibition of LDL-C oxidation. Vitamin E activity. Antioxidant activity. Improves Immune responses.
Gamma oryzanol	Inhibition of platelet aggregation. Inhibition of aortic streaks. Hypolipidemic effect. Reduction of triglycerides, elevation of HDL-C. Anti-inflammatory effect. Antioxidant activity.
Fiber	Hypolipidemic effect.
Fat	Immune complexes enhancement. Reduction of serum cholesterol and LDL-C; elevation of HDL-C. Hypolipidemic effect.
Phytosterols	Hypolipidemic effect. Improves immune function.
Polyphenols	Hypolipidemic effect. Antioxidant effect. Anti-inflammatory effect. Regulates blood pressure.
Antioxidants	Inhibition of LDL-C oxidation and elevation of immune function. The rice bran phytochemicals and antioxidants have a profound influence on the induction of antioxidant enzymes at the cellular level and control lipid peroxidation at the cellular level.
B-complex vitamins	Diabetes management Regulation of fasting serum glucose. (Jacob and Swendseild, 1996) Improvement of glucose utilization. Non-starchy polysaccharide improving the immune function and increased insulin release from the pancreas. Increased insulin receptor sites. Regulation of fasting serum glucose. (Qureshi et al., 2002) Improves peripheral neuropathy.
Gamma oryzanol	Immune complex enhancement, Beta-cells activation and Increased insulin production. Neuro-regulatory effect.
Protein	Regulation of fasting serum glucose, improvement of glucose utilization, improvement in energy, Beta-cells activation and enhancement of insulin production.
Carbohydrates	Fatigue reduction and energy enhancement.
Polysaccharides	Non-starchy polysaccharides improve the immune function and improve insulin synthesis.
Hemicelluloses	Increased peripheral utilization of glucose, increased insulin receptors and improved glucose absorption.
Fat	Fatigue and energy improvement. Omega-3 fatty acids and increased prostacyclin synthesis.
Fiber	Regulation of fasting serum glucose and improvement in glucose utilization. Blood glucose and serum lipid lowering effects in humans with diabetes.

Rice bran phytochemicals	Health benefits
Tocopherols and tocotrienols	Improvement of peripheral insulin utilization, beta-cells activation and increased insulin production. Prevention of diabetic complications such as retinopathy, nephropathy, cardiomyopathy.
Antioxidants	Prevention of glycation and glycoxidation. Prevention of diabetic complications such as retinopathy, cardiomyopathy, nephropathy. Neuro-regulatory effect.
Ferulic acid, $\gamma$ -oryzanol	Cancer Management Anti-mutagenic and anti-carcinogenic effect: elevation of phase II microsomal enzymes and inhibition of phase I enzymes. Anti-mutagenic and anti-carcinogenic effect.
Inositol, IP6	Anti-carcinogenic effect in cancer of several organs.
Fiber	Prevention of colon and large bowel cancer.
Tocotrienols	Anti-cancer effect. Human mammary and large intestinal cancer inhibition.
Antioxidants	Prevention of colon and large bowel cancer.
Phytosterols	Anti-cancer effect: protection from most common cancers such as colon, breast and prostate cancer. Anti-cancer agent.
Lipoprotein fraction	Apoptosis of cultured human endometrial adenocarcinoma cells and inhibition of cell proliferation. Chemoprevention and suppression of cancer progression.
Polysaccharides	Chemoprevention and immunocompetence effect of rice bran saccharides.
Polyphenols	Chemoprevention.
Antioxidants	The rice bran phytochemicals and antioxidants induce several antioxidant enzymes at the cellular level which protects the DNA and other cellular constituents from damage. Liver disorders management
Inositol, IP6 and phytates	Control liver cirrhosis, improves liver cell regeneration and helps in effective liver detoxification.
B-complex vitamins	Helps to improve liver cirrhosis and helps in liver detoxification.
Tocotrienols, gamma	Control liver cirrhosis and helps in effective liver detoxification.
Oryzanol	Protectant against liver damage.
Phosphatidyl choline	Antioxidant enzymes prevent lipid peroxidation and helps protecting the liver cells from damage.
Antioxidants	Other health benefits
$\gamma$ -oryzanol	Estrous cycle regulation and endocrine system improvement. Neuro-regulatory action. Anabolic steroid replacement and lean body mass increase. Cosmetic applications and skin nutrition. Improves skin nutrition and protects from UV radiation.
IP6 and phytates	Kidney and gall bladder stone. Management, hypercalcuria prevention. Gastro-intestinal and colon health.

Ferulic acid는 쌀에 포함되어 있는 대표적인 페놀 화합물(phenolic compound)로서 강한 항산화 작용을 나타낸다. Ferulic acid는 단일 성분으로서 발견되기도 하지만 많은 경우 쌀 세포벽의 arabinoxylan과 결합되어 존재하거나,  $\gamma$ -oryzanol의 구성성분으로서 분포하고 있다. Ferulic acid의 가장 큰 생리활성은

항산화 작용으로 알려져 있다.  $\gamma$ -Oryzanols은 식물성 sterol의 ferulic acid의 ester 형태를 갖고 있으며, 현재까지 약 10종류의  $\gamma$ -oryzanol 성분이 보고되어 있다.  $\gamma$ -Oryzanols은 강한 항산화 작용과 함께 고지혈증을 완화하는 효과가 많이 알려져 있다. Tocopherol과 tocotrienol은 비타민 E 계열에 속하는 물질로서 강력한 항산화 작용이 잘 알려져 있다. Tocotrienol은 HMG-COA reductase의 활성을 저해하여 항암 작용을 나타내며, 콜레스테롤 합성을 억제함으로써 혈중 콜레스테롤을 낮추는 효과가 있다.

식물성 스테롤(Phytosterol)은 구조적으로 콜레스테롤과 유사하여 콜레스테롤의 흡수를 억제함으로써 혈중 콜레스테롤 감소효과를 나타낸다. 쌀의 식물성 스테롤 물질은 27종이 알려져 있으며, 대표적인 성분으로는  $\beta$ -sitosterol, campesterol,  $\beta$ -sitostanol, stigmasterol, stigmastanol, branosterol 등이 있다. 미국 FDA에서는 식물성 스테롤이 심장병 예방에 효과가 있음을 공식적으로 인정해 주고 있다. 식물성 스테롤이 glucose와 배당체를 형성한 물질인 sterolin은 강한 면역 증강효과를 나타낸다. 식물성 스테롤과 sterolin은 폐결핵, HIV, 운동성 스트레스, 류마치스 관절염, 천식, 간염 등의 질환예방에 효과가 있는 것으로 보고되었다. 최근에는 식물성 스테롤의 항암작용도 알려져 있으며, 대장암, 유방암, 전립선 암에 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

피틴산(Phytic acid)은 myo-inositol hexaphosphate(IP6)로서 myo-inositol 고리와 좌우 대칭적인 6개의 인산기로 구성된다. 피틴산은 곡류와 콩과식물에 단일 혹은 칼슘, 마그네슘의 합성염인 phytin의 형태로 존재하고 있다. 과거에는 피틴산이 체내에서 각종 유용한 무기질을 킬레이트(chelating)시킴으로서 체내 무기질 이용에 영향을 미칠 수 있다고 하여 반영양학적 성분(antinutritional component)으로 간주되어 왔으나, 최근에는 피틴산의 다양한 생리학적 가치가 밝혀지면서 기능성 식품소재로서의 가치가 재조명되고 있다. 피틴산은 체내에 흡수되어 탈인산화를 거쳐 이노시톨(inositol)로 전환되는데, 이 피틴산 대사산물은 세포내 신호전달체로서 중요한 역할을 하는 inositol-1,4,5-triphosphate의 구조와 매우 흡사한 구조로서 세포내 신호체계에 혼란을 야기시켜 암세포와 같은 이상세포의 생육을 억제함으로써 결장암, 유방암 등에 대해 항암효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

다수의 다당류 성분들이 면역계에 영향을 주고 질병 상태를 치유할 수 있는 것으로 보고되어 왔다. 이들 성분들은 주로 숙주의 저항성을 증강시켜 암, 면역결핍질환, 약물 치료후 면역능의 억제 등과 같은 질병상태에 대해 효과를 보이는 것으로 인식되고 있다. 지금까지 면역활성 다당류는 주로 버섯이나 효모 세포벽의  $\beta$ -glucan 성분이 주로 알려져 왔다. 그러나 최근에 쌀을 도정하는 공정에서 부산물로 생산되는 미강(rice bran)의 주요 구성성분인 아라비노자일란(arabinoxylan)이 생체조절물질로 알려지면서 산업적인 관심이 크게 높아지고 있다. 아라비노자일란의 생리 기능성은 식이섬유소로서의 기능뿐만 아니라 면역증강활성, 항암 또는 암예방 활성, 항바이러스/항균 활성, 당뇨예방활성 등이 보고되고 있고, 이 가운데 주된 활성은 면역 증강 활성으로 인식되고 있다. 아라비노자일란은 면역계를 총체적으로 증강시키는 것으로 보고되어 있는데, 혈액과 림프조직에서 발견되는 림프구의 아집단으로써 일부 종양세포와 바이러스에 감염된 세포를 제거하는 기능을 수행하는 자연살해(NK) 세포의 기능을 증진시키는 것으로 보고되었다. NK세포는 암세포나 바이러스감염세포 등을 사멸하는 작용을 갖고 있을 뿐만 아니라 cytokine을 분비하여 면역반응을 조절하는 기능을 갖고 있고 특히 종양면역에 있어서는 중요한 작용을 담당하고 있다.

미국 FDA는 1999년 7월에 전곡립(whole grains) 성분을 51% 혹은 그 이상 함유하고 있는 식품에 대하여 「전곡식품이 풍부하고 총 지방, 포화지방 및 콜레스테롤이 낮은 식이는 심장질환과 몇몇 암에 대한 위험성을 감소시킬 수 있다」는 health claim를 허락하였다. 전곡립은 탄수화물, 식이섬유, 저항전분(resistant starch), 미량 무기질, 비타민류를 공급한다. 또한 식물성 에스트로젠과 항산화제를 포함하

여 질방예방과 밀접한 관련이 있는 phytonutrients의 주요한 공급원이다. 전곡립을 포함하는 식품을 섭취한 사람들의 사망률이 현저히 낮은 것은 주목할 만한 사실이다. 현미에는 외피와 배아의 모든 생리활성 성분이 함유되어 있는 매우 훌륭한 전곡립 원료이다. 그림 1은 전곡립 식품의 섭취가 인체 기능에 미치는 영향을 정리한 것이다.

## 멥쌀

최근의 연구결과에 의하면 쌀에는 인체기능을 크게 향상시키는 수많은 생리활성물질이 다량 함유되어 있다. 필자의 견해로는 여러 가지 곡류 가운데 가장 생리 기능성이 높은 것이 쌀이라고 판단된다. 과거부터 현미를 섭취하는 것이 각종 질병을 예방하는데 효율적인 것으로 막연하게 알려져 왔으나, 최근의 과학적인 연구결과는 쌀의 질병예방효과를 강력하게 뒷받침하고 있다. 과거에는 전 세계적인 쌀의 소비가 동양권에 집중되어 있으나, 최근 쌀의 뛰어난 기능성이 밝혀지면서 대부분의 국가에서 각종 기능성 식품에 광범위하게 사용되고 있다.

우리나라에서도 쌀의 도정과정에서 미강이 다량 발생하고 있으나 미강유를 생산하는 이외의 기능성 생리활성소재를 생산하는 기술은 매우 낙후되어 있다. 일본에서는 미강을 이용하여 약 20종의 기능성 식품 소재 및 정밀화학제품을 생산하고 있다. 또한, 미국에서도 각종 시리얼 밀 제빵용 소재로서 쌀 및 미강소재를 적용하고 있다. 따라서 우리나라에서도 쌀을 단순히 식용의 수단으로만 생각할 것이 아니라 신기능성 식품소재의 좋은 원료로서 인식하여 산업적으로 발전시켜 나가는 노력이 필요하다. 이를 위해서는 외국의 기존제품과 품질 및 가격 경쟁력에서 우위를 확보할 수 있는 첨단기술의 개발이 선행되어야 할 것이다.

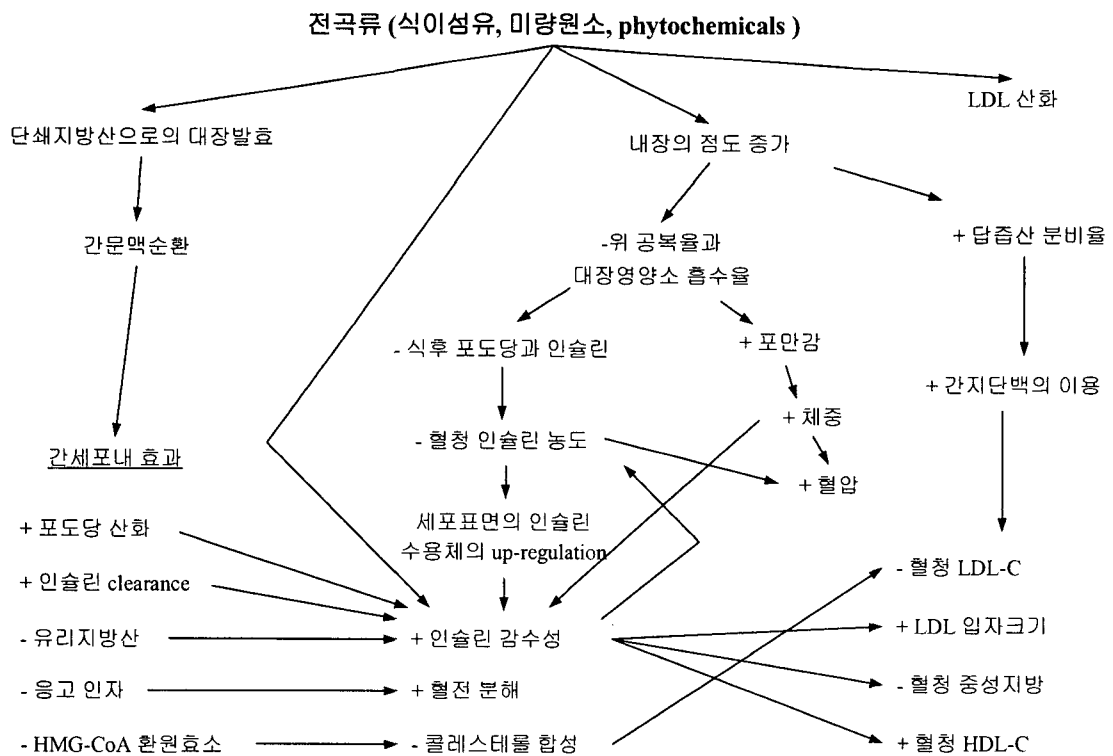


그림 1. 전곡립의 생리활성 작용기작(Pins et al., 2001)

## 참고문헌

- Cheruvanky, R. Phytochemicals products: rice bran. pp. 354-357. In: *Phytochemical Functional Foods*. Johnson, I. and Williamson, G. (eds.). CRC Press, New York, USA (2003)
- Cheruvanky, R. Bioactives in rice bran and rice bran oil. In: *Phytochemicals as Bioactive Agents*. Bidlack, W.R., Omaye, S.T., Meskin, M.S. and Topham, D.K.W. (eds.). Technomic Publishing Co., Lancaster PA, USA.
- Jenab, M. and Thompson, L.U. Role of phytic acid in cancer and other diseases, pp. 225-248. In: *Food Phytates*. Rukma Reddy, N. and Sathe, S.K. (eds.). CRC Press, New York, USA (2002)
- Kahlon, T.S., Saunders, R.M., Sayre, R.N., Chow, F.I., Chiu, M.M. and Betschart, A.A. Cholesterol-lowering effects of rice bran and rice bran oil fractions in hypercholesterolemic hamsters. *Cereal Chem.*, 69(5), 485-489 (1992)
- Kikuzaki, H., Hirose, K., Akiyama, K. and Taniguchi, H. Antioxidant properties of ferulic acid and its related compounds. *J. Agric. Food Chem.*, 50(2), 2161-2168 (2002)
- Pins, J.J., Pereira, M.A., Jacobs, D.R., Marquart, L. and Keenan, J.M. Whole grains, cereal fiber, and chronic diseases: experimental evidence and possible biologic mechanisms, p. 484. In: *Dietary Fiber in Human Nutrition*. Spiller G.A. (ed.). CRC Press, New York, USA (2001)
- Rickard, S.E. and Thompson, L.U. Interactions and biological effects of phytic acid, pp. 294-312. In: *Antinutrients and Phytochemicals in Food*. Shahidi, F. (ed.). ACS, Washington, DC, USA (1995)
- Rukmini, C. and Raghuram, T.C. Nutritional and biochemical aspects of the hypolipidemic action of rice bran oil: a review. *J. Am. Coll. Nutr.* 10(6), 593-601 (1991)
- Sugano, M., Koba, K. and Tsuji, E. Health benefits of rice bran oil. *Anticancer Res.*, 19, 3651-3658 (1999)
- 황재관. 면역활성 다당류 아라비노자일란(arabinoxylan). *국민영양*. 25(3), 24-29 (2002)
- 최문정, 전향숙, 최은미, 황재관. 아라비노자일란의 식품 및 생리 기능성. *식품과 산업*. 35(2), 21-30 (2002)