

국내산 미강의 건강기능성분 규명 및 인체효능 연구

정하숙*·신진철

덕성여자대학교 자연과학대학 식품영양학과·농촌진흥청 국립식량과학원

Study on Active Compounds and Biological Activity of Rice Bran

Chung Ha Sook·Shin Jin Chul

College of Natural Sciences, DukSung Women's University, Seoul 132-714, Korea

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration,

Suwon, 441-701, Korea

서 론

통계청이 올해 초에 발표한 2008년도 양곡소비량조사에 따르면 우리나라의 1인당 연간 쌀 소비량은 75.8kg으로 전년(76.9kg)에 비해 1.4% 감소한 것으로 나타났다. 이는 10년 전('98)보다 23.4kg가 줄어든 수치로, 1인당 연간 23.4kg의 쌀을 덜 소비하고 있는 것을 나타낸다. 농가와 비농가로 보면, 상대적으로 대체식품 소비가 많은 비농가의 1인당 연간 쌀 소비량은 72.4kg으로, 농가(122.5kg)의 59.1% 수준이었으며, 시도별로는 1인당 쌀 소비량이 전북이 86.6kg으로 가장 많았으며 서울이 61.7kg으로 가장 적게 나타났다.

쌀의 소비가 지속적으로 감소하고, 외국 쌀과 품질 및 가격경쟁을 하고 있는 현시점에서, 국내산 쌀의 우수성을 홍보하고, 신제품 발굴과 농가소득 증진을 위해서는 건강기능성 규명 및 산업적 유용성 증진을 위한 국제적 수준의 연구가 필요하다. 과거와 달리 미래 농업은 지식·정보·과학기술 기반사회로 변화될 전망이다. 농업의 수요자 지향적 구조변화는 과학기술에 대한 의존도를 더욱 높게 할 것으로 예상된다. 농업환경의 급속한 변화에 대응하기 위해서는 보다 신속적이고 효율적인 농업연구투자 시스템의 구축이 필요하고, 농업기술의 경제적 성과와 공급측면 뿐만 아니라 농업기술의 특성과 수요측면 등을 종합적으로 반영함으로써 보다 효율적인 투자와 농업연구정책의 방향을 제시할 수 있는 연구개발이 필요하다(1).

우리나라는 오늘날 밥맛, 외관, 수량, 내재해성 및 건강효능 등의 요건을 골고루 갖춘 용도별 고품질 품종을 육성하는 방향으로 연구가 꾸준히 진행되고 있으며(2), 지속적인 육종개발을 통해 건강효능이 우수한 고품질의 쌀 생산이 증대되고 있다. 품종 개량된 쌀은 기능성 색소(3-4)와 식이섬유소 함량이 높으며, 독특한 향미와 함께 각종 무기질, 비타민, 불포화지방산 및 단백질 등이 풍부(5)할 뿐 아니라, 항종양(6-7), 항산화(3, 8-9) 및 혈당저하(10-13) 등 건강효능이 우수한 것으로 보고되고 있다.

본 연구팀은 국내산 쌀의 산업적인 유용성 증진을 목적으로, 농산재료로서는 활용도가 낮으나 국내에 육성되는 주요 벼 품종 중 일품벼(*Oryza sativa* cv. *Ilpumbyeo*), 오봉벼(*Oryza sativa* cv. *Obongbyeo*), 아랑향찰벼(*Oryza sativa* cv. *Aranghyangchalbyeo*), 향미벼(*Oryza sativa* cv. *Hyangmibyeo*)와 유색미인 적진주벼(*Oryza sativa* cv. *Jukjinjubyeo*), 흑진주벼(*Oryza sativa* cv. *Heugjinjubyeo*) 및 흑향벼(*Oryza sativa* cv. *Heughyangbyeo*) 미강으로부터 신규 및 기지화합물을 분리하여 생리활성을 규명하였다. 이어서 당노동물을 대상으로 혈당과 지질 개선에 미치는 영향을 확인하였으며, 단회 경구투여 독성실험을 수행

하였다. 실험결과, 동물체중 당 경구투여가 가능한 최대용량인 10.0g에서도 독성이 없음을 확인한 후 임상실험을 실시하였으며, 이에 수행된 연구결과를 발표하고자 한다.

실험재료 및 방법

I. 실험재료

실험에 사용된 시료는 농촌진흥청 국립식량과학원을 통해 국내에서 육성되는 벼 주요 품종 중 일품벼, 오봉벼, 아랑향찰벼, 향미벼와 유색미인 흑진주벼, 적진주벼, 흑향벼 미강을 공급받아 사용하였다.

II. 실험방법

1. 시료추출 및 분획 : 미강 분쇄분을 80% ethanol로 추출한 후, 80°C 수욕 중에서 매회 5시간씩 3회 추출하여 감압 농축기로 농축, 건조한 후, 용매의 유전률에 따라 *n*-hexane, chloroform, ethylacetate와 *n*-butanol로 용매 분획하여 농축한 후 실험재료로 사용하였다.

2. 화합물의 분리, 화학구조 규명 : Activity-guided fractionation 및 isolation 방법에 따라 silica gel과 Sephadex LH-20 column chromatography, vacuum column chromatography 및 HPLC 방법을 이용하여 단일 화합물을 분리하였다. 분리된 화합물의 물리·화학적 특성과 기기분석(EI-MS, HR-MS, FAB-MS, ¹H-NMR, ¹³C-NMR, COSY, DEPT, HMQC, HMBC, X-Ray crystallography)을 통해 화학구조를 규명하였다.

3. 단일화합물의 생리활성 측정 : 화학구조가 규명된 화합물의 생리활성을 측정하였다. 본 연구에서는 *in vitro*에서 화합물의 항산화효능과 인체 백혈암 세포에 대한 세포독성 실험을 수행하였다.

4. 당뇨동물에 대한 효능 연구 : 오봉벼, 아랑향찰벼, 향미벼 및 흑진주벼 추출물의 효능연구를 위해, 정상쥐와 당뇨쥐에 투여하여 혈당과 지질개선에 미치는 효과를 관찰하였다. 정상대조군과 당뇨대조군은 5% tween 80 용액을 14일간 일정한 시간에 경구 투여하였고, 매일 체중을 측정하였다. 혈액 채취는 매 3일 간격으로 안구 정맥총에서 채혈(0.5ml 이하)하여 원심분리한 후 혈장만을 취해 비공복시 포도당 농도를 측정하였다. 실험 14일 후에는 실험동물을 단두로 희생시킨 후 즉시 헤마토크릿치를 측정하였고, 혈장을 취하여 생화학적 분석을 수행하였다. 이어서 적출된 간장, 신장, 비장, 폐, 췌장, 심장 및 근육을 적출한 후 분석하였다.

5. 단회경구투여 안전성 검사 : 본 실험은 미강의 인체 효능구명을 위한 예비연구로, 시료 추출물을 투여하였을 때 발현될 수 있는 급성독성을 평가하고자, 식품의약품안전청의 의약품 등의 독성시험 기준(14)에 준하여 시험을 수행하였다. 미강을 80% ethanol로 추출한 후, 동물체중 당 2.5g, 5.0g 및 10.0g의 용량으로 암수 각각 10마리씩 ICR계 마우스에 미강 추출물을 1회 경구투여한 후 14일간 실험동물의 사망률, 일반증상, 체중변화, 부검소견 및 혈액 생화학적 분석을 수행하였다.

6. 인체실험 : *In vitro* 및 *in vivo* 실험을 통해 효능이 확인된 일품벼와 흑진주벼 미강 가공품에 대한 임상실험을 수행하였다. 서울시 도봉구 보건소 내원자 및 희망자를 대상으로 혈당과 지질대사에 미치는 효과와 흡연자를 대상으로 항산화 효능을 관찰하였다.

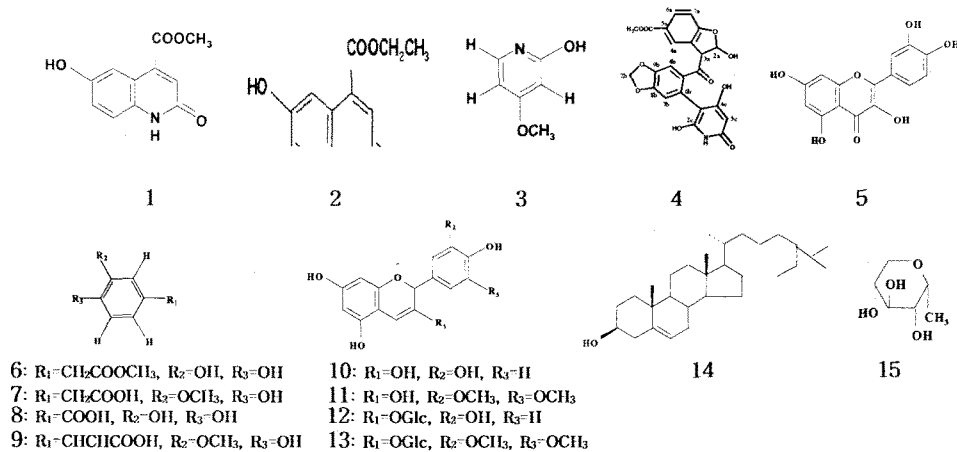
결과 및 고찰

I. 시료의 주요특성

연구에 사용된 벼 종자의 주요 특성은 다음과 같다. 오봉벼는 거대배아미로 연구에 사용된 품종 중 amylose 함량이 가장 높으며(19.4%), 일품벼는 출수기가 8월 20일인 고품질벼이며, 아랑향찰벼는 고유의 향과 찰기가 특징이고, 향미벼는 특유의 향을 함유하고 있다. 유색미인 흑진주벼와 흑향벼에는 cyanidin-3-glucoside가 다량 함유되어 특유의 보라색을 나타내고 있으며, 적진주벼에는 tannin이 다량 함유되어 있다.

II. 화합물의 분리

미강 추출물의 유기용매 분획물을 실험재료로 하여 column chromatography를 반복 수행하여, 4종의 신규 화합물(Compounds 1-4)(15-16)과 11종의 기지 화합물(Compounds 5-15)을 순수 분리하였으며, HR-MS와 NMR 등의 기기분석을 통해 규명된 화학구조는 다음과 같다.



III. 단일화합물의 효능 연구

분리된 화합물의 생리활성 연구결과, compounds 1-2와 compounds 5-9가 DPPH free radical scavenging 효과가 있음을 확인하였고, compound 4는 하이드록실 라디칼과 슈퍼옥시드 라디칼 감소, 세포내 ROS 소거 활성, H₂O₂ 처리로 인해 감소된 항산화효소 생성저해, 지질과산화 억제 및 H₂O₂로 유도된 DNA 손상으로부터 세포를 보호하는 효과가 나타났으며, 이를 통해 항산화제 후보물질로 사용될 수 있음을 확인하였다. 또한 compounds 10과 11은 인체 백혈암 세포성장을 저해하는 것으로 나타났다.

IV. 당뇨동물에 대한 효능 연구

실험 14일째에 정상대조군과 비교하여 향미벼와 아랑향찰벼 투여군에서 혈당이 낮아졌다. 당뇨대조군과 당뇨실험군은 정상군에 비하여 유의적인 증가를 보였으며, 당뇨대조군과 비교하여 실험 3일 후 아랑향찰벼 투여군에서, 실험 6일 후 모든 당뇨실험군에서, 실험 9일 후 오봉벼와 아랑향찰벼 투여군에서, 실험 12일과 실험 14일 후 모든 당뇨실험군에서 혈당이 유의적으로 감소하였다. 혈장 HDL-cholesterol 농도는 정상쥐에서는 아랑향찰벼 투여군에서 유의적으로 감소하였고, 정상대조군에 비해 당뇨대조군에서 유의적으로 증가하였

으며, 당뇨쥐에서는 미강을 투여한 모든 실험군에서 모두 감소하였다. 혈장 triglyceride 농도는 당뇨 오봉벼와 당뇨 향미벼 투여군에서 유의적으로 감소하였으며, 미강 투여가 혈장 중성지방의 함량을 낮추는데 효과가 있음을 확인하였다. 실험결과, 당뇨쥐에서 오봉벼와 향미벼 투여로 인해 혈장 triglyceride 함량이 55.1%와 52.8% 감소하였다(18).

V. 단회 경구투여 안전성 연구

ICR계 마우스 암수 각각 10마리를 이용하여 미강 추출물의 단회 경구투여 독성실험 결과, 시험물질 투여에 의한 표적 장기가 관찰되지 않았으며, 어떠한 독성학적인 변화도 관찰되지 않는 것으로 보아, 무해 용량은 암수 모두 10.0g/kg을 상회할 것으로 추정할 수 있었다(13, 17). 따라서 실험에 사용된 모든 품종의 미강 추출물은 투여가능 최대용량에서도 독성이 없는 안전한 식품임을 확인하였고, 건강증진에 도움을 주는 기능성 식품소재로서의 개발 가능성을 예측할 수 있었으며, 고용량으로도 임상사용이 가능함을 확인할 수 있었다.

VI. 인체효능연구

피험자를 대상으로 총 4주간 흑진주벼와 일품벼 미강 가공품을 섭취한 후 인체에 미친 효과는 다음과 같다.

1. 흑진주벼 미강 섭취 결과

실험 4주간 흑진주벼 미강 가공품을 섭취한 결과, 공복혈당이 90.5±14.3에서 88.0±12.5로 감소하였고, 식후 2시간 혈당이 142.7±40.3에서 128.5±40.5로 감소되었다. 혈장 total cholesterol이 241.0±33.9에서 235.3±34.2로 감소하였으며, HDL-cholesterol은 46.5±15.6에서 38.0±14.2로 감소되었다. LDL-cholesterol은 169.2±28.9에서 섭취 4주 후 158.4±23.3으로 감소되었고, triglyceride는 181.2±45.1에서 182.4±73.2로 다소 증가하였으며, HbA1C는 6.5±0.9에서 섭취 4주 후 6.5±0.8로 나타나 섭취 이전과 유사하였고, MDA 및 SOD 값이 유의성이 있는 것으로 나타났다(Table 1).

Table 1. Antioxidant activity of human plasma feed *Oryza sativa* cv. *Heugjinjubyeo*

	섭취 전	섭취 후
MDA**	2.54±0.43	1.647±0.296
GPx	157.83±30.954	144.33±20.086
Adiponectin	8.817±2.191	7.97±3.105
SOD**	0.901±0.363	0.819±0.478
Catalase	27.05±13.952	49.15±34.232

Mean±S.D.

**significant at p<0.05

2. 일품벼 미강 섭취 결과

실험 4주간 흑진주벼 미강 가공품을 섭취한 결과, 공복혈당이 100.1±21.8에서 97.5±20.2로 감소하였고, 식후 2시간 혈당이 136.2±41.6에서 128.3±32.3으로 감소되었다. 혈장 total cholesterol은 216.3±36.0에서 211.2±38.4로 감소하였으며, HDL-cholesterol은 50.8±15.5에서 50.2±13.4로 감소되었다. LDL-cholesterol은 143.1±25.4에서 섭취 4주 후 135.6±29.5로 감소되었고, triglyceride는 194.8±102.8에서 152.0±42.7로 감소하였으며, HbA1C는 6.7±0.9에서 섭취 4주 후 6.7±0.8로 나타나 섭취 이전과 동일하였으며, SOD 값이 유의성이 있는 것으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Antioxidant activity of human plasma feed *Oryza sativa* cv. *Ilpumbyeo*

	섭취 전	섭취 후
MDA	2.453±0.547	1.123±0.554
GPx	147.17±23.744	138.33±11.431
Adiponectin	8.733±3.236	9.583±3.7
SOD**	0.836±0.164	1.002±0.243
Catalase	24.983±27.429	37.35±11.256

Mean±S.D.

**significant at p<0.05

결 론

지속적인 육종개발을 통해 품질이 우수한 쌀 생산이 증대되고 있는 현시점에서, 거대 배아미인 오봉벼, 밥맛이 우수한 고품질벼인 일품벼, 고유의 찰기를 함유한 아랑향찰벼와 향미벼 및 유색미 중 흑진주벼, 적진주벼와 흑향벼에 함유된 활성본체와 품질우수성 규명을 목적으로 본 연구를 수행하였다.

연구결과, 생리활성이 우수한 4개의 신규 화합물과 11개의 기지 화합물을 순수 분리하였고, 동물실험을 통해 혈당과 지질개선 효능이 있음을 확인하였으며, 고용량으로 단회 경구투여하는 경우에도 어떠한 이상증후도 발견되지 않았다. 또한 흑진주벼와 일품벼 미강 가공품을 일정기간 섭취하는 경우, 고혈당 보유자의 혈당저하 및 지질개선에 효과가 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해, 우리 쌀의 산업적 유용성 증진을 위한 신규 맞춤형 소재개발을 기대할 수 있다. 또한 소비자 기호특성에 적합한 쌀 품종별 보급과 우리 쌀 전업농 집중육성으로 농촌현장에서 주곡의 안정적인 생산기반 확보도 가능하리라 기대된다. 이러한 결과는 우리 쌀 수요증대를 야기하며, 지적재산권 확보에 의한 품질 경쟁력에서 우위를 차지할 수 있으며, 연구기술의 산업체 이전을 통해 기술개발 성과의 실용화를 기대할 수 있다.

사 사

이 연구는 농촌진흥청 농업특정연구사업(과제번호: 20060301033028)에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 서동균, 박민수, 송금찬, 박우성, 식량작물 개발기술의 수명주기 및 미래농업 기술수요분석 농업경영정보 (2008) 농촌진흥청
2. Choi HC (2002) Perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. *Kor J Crop Sci* 47: 15-32.
3. Ryu SN, Han SJ, Park SZ, Kim HR (2006) Antioxidant activity of blackish purple rice. *Korean. J. Crop Sci.* 51: 173-178.
4. Kim ES, Shin JC, Chung HS (2006) Quantitative analysis of cyanidin-3-glucoside from purple-colored crops. *Kor J Crop Sci* 51: 103-106.
5. Kyoum OY, Oh SH, Kim HJ, Lee JH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR (2006) Analyses of nutrients and antinutrients of rice cultivars. *Kor J Food Cookery Sci* 22: 949-956.

-
6. Chung HS (2002) A quinolone alkaloid, from the aleurone layer of *Oryza sativa* cv. *Mihyangbyeo*, inhibits growth of cultured human leukemia cell. *Nutraceuticals & Food* 7: 119-122.
 7. Hyun JW, Chung HS (2004) Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. *Heuginjubyeo* mediate cytotoxicity against human leukemia cells by arrest of G2/M phase and induction of apoptosis. *J Agric Food Chem* 52: 2213-2217.
 8. Chung HS, Woo WS (2001) A quinolone alkaloid with antioxidant activity from the aleurone layer of anthocyanin-pigmented rice. *J Nat Prod* 64: 1579-1580.
 9. Chung HS, Shin JC (2007) Characterization of antioxidant alkaloids and phenolic acids from anthocyanin-pigmented rice(*Oryza sativa* cv. *Heuginjubyeo*). *Food Chem* 104: 1670-1677.
 10. Chung HS, Han HK, Ko JH, Shin JC (2001) Effect of the ethanol extract from the aleurone layer of anthocyanin-pigmented rice on blood glucose and lipid metabolism in streptozotocin induced diabetic rats. *J Food Sci Nutr* 6: 176-179.
 11. Han HK, Chung HS (2002) Effects of the fraction of *Oryza sativa* cv. *Heuginmi* on plasma glucose and lipid levels in streptozotocin-induced diabetic rats. *Kor J Food Sci. Technol* 34: 103-108.
 12. Han HK, Choi SS, Shin JC, Chung HS (2004) Determination of biological effect of Obongbyeo in experimental diabetic rats. *Kor J Crop Sci* 49: 230-234.
 13. Han HK, Choi SS, Shin JC, Chung HS (2007) A study on single oral dose toxicity of highly-developed anthocyanin-pigmented rice varieties. *J Kor Soc Food Sci Nutr* 36: 527-533.
 14. 식품의약품안전청고시 제 1999-61호 의약품 등의 독성시험기준, 식품의약품안전청. (1999. 12. 22) 제정.
 15. Hyun JW, Chung HS (2006) Medicinal plants with cytotoxic and anti-oxidant activity, In *Recent Progress in Medicinal Plants*, vol. 12, pp. 194-202, Studium Press, LLC, Texas, USA.
 16. Kim ES, Hyun JW, Shin JC, Chung HS (2009) New alkaloids from *Oryza sativa* cv. *Heuginjubyeo* Bran. *Bull Kor Chem Soc* 30: 739-741.
 17. Shin JC, Choi SS, Han HK, Chung HS (2007) Study on the single oral dose toxicity of high quality rice varieties. *Kor J Crop Sci* 52: 146-152.
 18. Han HK, Choi SS, Shin JC, Chung HS (2008) Lipid lowering effect of anthocyanin-pigmented rice bran in streptozotocin-induced diabetic male rats. *J Food Sci Nutr* 13: 276-280.