

산 · 학 · 연 논문

수용성 쌀 단백질의 항피로 효과

한 북 경

고려대학교 식품생명공학과

Antifatigue Effects of Soluble Rice Protein

Bok Kyung Han

Department of Food and Biotechnology, Korea University, Sejong 02511, Korea

서 론

쌀은 아시아 인구의 주요 영양소 및 에너지 공급원 중 하나이다. 쌀 단백질은 저자극성이며, 많은 양의 라이신을 함유하고 있고 밀과 옥수수보다 높은 영양적 가치를 가진다고 보고되고 있다(Qureshi 등, 2001). 쌀 전분 생산이 증대됨에 따라 쌀 내배유(endosperm) 단백질이 대량으로 파생되며 배유 단백질은 이 과정에서 발생하는 부산물의 약 60~85% 정도인 것으로 알려져 있다. 막걸리, 유지 및 시럽과 같은 다양한 쌀 가공 제품들은 주식용도 이외의 잉여 생산분의 쌀을 원료로 하여 효소처리 등을 통해 제조되고 있으며 이들을 생산할 시 단백질 등의 영양소를 함유하는 영양적 가치가 높은 부산물들이 파생되고 있다(Kim 등, 2011).

쌀 시럽(rice syrup)은 maltose 함량이 높고 발아 보리 또는 미생물 유래 효소(α -amylase, glucoamylase, glucose isomerase)인 β - 및 α -amylase의 작용으로 인해 glucose 함량이 낮은 특징을 가진다. 이들 효소에 의한 다양한 분자 크기 dextrin으로의 전환 정도는 dextrose equivalent(DE)로 정량화되어 전분의 전환율 및 공정에서 당의 환원 수준을 나타낸다(Shaw와 Sheu, 1992). 쌀 시럽 생산 시 부산물인 protein-enriched rice flours (PRF)는 고함량의 단백질을 함유하고 있는 것으로 보고되었다(Shih와 Daigle, 2000). 지금까지 쌀 시럽 생산 시 파생되는 부산물의 대부분은 식물의 재배를 위한 퇴비나 동물사료 용도로 사용되었지만, 영양적 가치가 높은 단백질을 회수하여 기능성 소재 등으로 개발할 시 높은 경제적, 사회적 이익이 창출될 수 있다. 쌀 가공부산물은 건조 중량으로 최대 50%의 단백질을 함유하며 저비용 산업 제품으로 취급되어왔다(Shih, 2003). 그러나 불용성 glutelin이 전체 부피의 80% 이상을 차지하기 때문에(Hamada, 1996) 쌀 유래 단백질은 물에 대한 용해도가 낮아 오랫동안 저평가된 것이다. 즉 쌀 단백질의 함량 증대 및 용해도 향상은 활용도가 낮은 쌀 가공부산물의 활용 가치

를 높일 수 있으며 식품산업에서 고부가가치 소재로 개발될 수 있음을 시사한다.

식물 및 동물 유래의 활성 펩타이드들은 단백질의 생리학적 효과를 연구하기 위한 다양한 연구주제들을 제공한다. 단백질 분해효소의 변형을 통한 펩타이드의 생산 및 기능성 개선연구는 미생물을 친환경 효소 공급원으로 사용함으로써 안전성 확보를 통해 소비자 요구를 충족시킬 수 있다. 피로 회복 또는 완화 기능을 갖는 천연 유래 소재들은 식품 및 생명 산업 전반에 걸쳐 상당한 관심을 받고 있다. 천연 유래 소재들에 대한 연구로써 피로 예방 효과가 있는 다당류, 펩타이드 및 폴리페놀에 대한 연구가 발표되고 있고(Lin 등, 2014; Ni 등, 2013; Sun 등, 2014), 난백 단백질의 펩신 분해 펩타이드는 항산화 및 항피로 효과가 보고되었다(Sun 등, 2014). 마우스를 대상으로 단백질 및 펩타이드를 복강 또는 경구 투여 시 swimming endurance 향상과 간의 글리코겐 저장을 증가시키면서 blood urea nitrogen(BUN) 및 lactate의 농도를 감소시킨 보고가 있다(Ren 등, 2011; Xu와 Liu, 2010).

본 연구에서는 효소 가수 분해 방법을 활용하여 쌀 시럽부산물 유래의 수용성단백질을 제조하고, 이를 마우스 동물모델에 적용하여 피로와 관련된 생화학적 혈액 마커들의 분석과 swimming endurance test를 통해 피로 회복 효과를 평가하였다.

재료 및 방법

쌀 시럽박 및 SRP70의 제조

생쌀(100 g/L)을 α -amylase(1%, w/v; 100°C)와 β -amylase(1%, w/v; 50°C)로 연속 처리하여 액화 및 당화시켰다. 반응 생성물은 여과지(Whatman qualitative filter paper Grade 1, Whatman, Maidstone, Kent, UK)를 사용하여 여과하고, 침전물(쌀 시럽박, rice syrup meal)은 수용성 쌀 단백질(soluble rice protein, SRP)의 제조를 위한 원료로 사용하였다. 쌀 시럽박(100 g/L)을 24시간 동안 alcalase(0.5%, w/v; pH 8.5, 60°C)로 반응시킨

후 여과하고 그 상정액을 감압증발농축기(Rotavapor R-210, BÜCHI Labortechnik, Flawil, Switzerland)를 사용하여 농축하고 동결건조 시킨 후 시료로 사용하였다.

라디칼 소거능 평가

라디칼 소거능은 Quang 등(2003), Wang과 Xiong (2005) 및 Lee 등(2005)에 따라 DPPH, ABTS, FRAP 분석법을 사용하여 측정하였다. 항산화 활성은 라디칼 소거활성(IC₅₀)에 대한 중간 유효 농도, 즉 DPPH, ABTS 라디칼 및 Fe³⁺-2,4,6-tripyridyl-s-triazine(TPTZ) 복합체의 흡광도를 50% 감소하는 데 필요한 시료의 양으로 산출하였다.

Exhaustive Swimming Test

실험동물은 생후 10주령 된 수컷 ICR 마우스를 (주대한 바이오링크사(Chungbuk, Korea)로부터 구입하여 2주간 온도 23±1°C, 습도 50~55%, 명암주기 12시간에서 적응시킨 후 실험에 사용하였다. 전 실험기간 동안 물과 사료는 자유롭게 섭취하도록 하였고, 모든 동물실험은 고려대학교 동물실험윤리위원회(Institutional Animal Care and Use Committee, IACUC)의 지침에 따라 수행하였다. 마우스의 수영 능력은 물이 35 cm 깊이까지 채워진 아크릴 플라스틱 수영장(90×45×45 cm)을 사용하였고 (Fushiki 등, 1995) 물의 온도는 34±1°C로 유지하였다. 수영 시간은 forced swimming capacity로 측정하였다. 즉 생쥐가 7초 안에 숨을 쉬기 위해 수면 위로 올라가지 않으면 체력이 소진된 것으로 하였다(Kim 등, 2010). 1주일간의 적응기간 동안 마우스는 8 L/min 유속 조건의 수조에서 10분 동안 2회 수영을 실시하게 하여 일정한 운동 능력을 갖추도록 하였다. 그다음 마우스를 대조군과 4개의 처리 군으로 분리하고 4주 동안 다음의 시료를 200 µL에 용해한 후 경구투여하였다(대조군(saline), SRP-1 (SRP 100 mg/kg/day), SRP-2(SRP 250 mg/kg/day), SRP-3(SRP 500 mg/kg/day), BCAA(branched chain amino acids, 250 mg/kg/day)). 모든 마우스는 샘플 투여 30분 후 8 L/min 유속 조건의 수조에서 10분 동안 수영을 실시하였고, 체력 소진 시까지의 수영 시간은 4주 동안 주당 2회 측정하였으며, 마지막 강제 수영 직후 마우스를 희생시켰다.

혈액분석

동물실험 4주 후, 10분의 forced swimming test 직후에 하대 정맥으로부터 혈액 샘플을 채취하였다. 혈중의 glucose와 lactate는 각각 Super Glucocard II(Arkray, Kyoto, Japan)와 Lactate Scout(SensLab GmbH, Leipzig, Germany)를 사용하여 측정하였다. 혈청은 3,000×g에서 15분간 원심 분리하였고 혈청 중의 lactate dehydrogenase(LDH)는 FUJI DRI-CHEM 3500(Fuji Photo Film Co., Tokyo, Japan)을 사용하여 측정하였다.

통계분석

실험 결과는 SPSS Statistics(Ver 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 사용하여 통계처리 하였으며, 실험군 간의 비교는 일원배치분산분석(one-way ANOVA법)에 의하여 유의한 차이가 나타난 항목에 대해서는 Dunnett의 다중비교검정을 통하여 실시하였다. 모든 결과는 평균과 표준편차(mean±SD)로 나타내었고, 통계 분석의 유의 수준은 $P < 0.05$ 로 하였다.

결 과

SRP의 제조

SRP는 alcalase를 사용하여 쌀 시럽가공 시 파생되는 부산물인 쌀 시럽박으로부터 제조하였다. 반응시간이 경과함에 따라 단백질 분해 정도와 평균 펩타이드 길이(average peptide length, APL)는 반비례하는 것으로 나타났다(Fig. 1), 분해물은 평균분자량이 1,000 Da보다 낮으며 주로 700 Da 미만의 범위에 분포되고 있음을 이전 연구(Han 등, 2016)를 통해 확인하였다. SRP는 조단백질 82.1%, 조지방 2.2%, 탄수화물 6.2% 및 수분 6.4%로 구성되었다. 또한 SRP의 아미노산 조성은 분지아미노산(BCAA, 16.98%) 외에 비교적 높은 수준의 glutamic acid(21.4%), aspartic acid(10.45%) 및 arginine(8.60%)을 포함하고 있다(data not shown).

SRP의 항산화 활성

항산화제는 자유라디칼에 의한 산화적 연쇄 반응에 있어 수소 또는 전자를 제공함으로써 연쇄 반응을 차단하는 기능을 가지고 있다. DPPH 및 ABTS 분석법은 라디칼 소거 활성을 평가하는 방법이며(GÜLÇİN과 Daştina, 2007), 이와는 대조적으로 FRAP 분석법은 항산화능을 간접적으로 측정하는 방법으로서 청색의 Fe²⁺ form으로부터 TPTZ 복합체 형성의 감소 정도를 측정하는 방법이다(Lee 등,

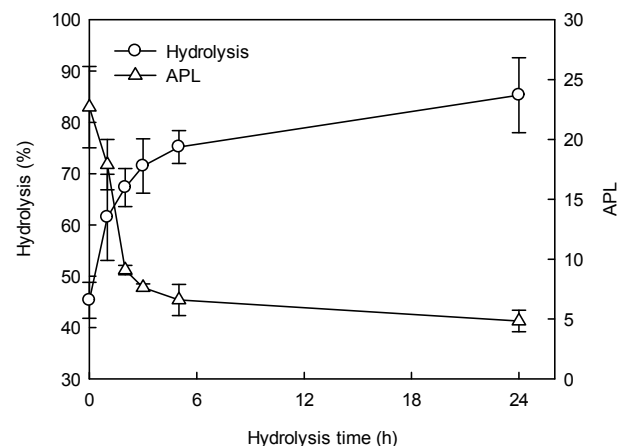


Fig. 1. Time course of alcalase hydrolysis (0.5%, w/v; pH 8.5, 60°C) and APL (average peptide length) of rice syrup meal.

Table 1. Antioxidant activities of SRP and L-ascorbic acid

Sample	IC ₅₀ value (μg/mL)		FRAP (mM) (Stintzing et al., 2005)
	ABTS	DPPH	
SRP	2139.9±29.4	6248.7±113.2	0.2±0.01
L-Ascorbic acid	70.4±0.3	35.4±2.1	1.2±0.004

2005). Table 1과 같이 SRP의 라디칼 소거 활성 평가 결과는 ABTS 및 DPPH법에 의한 IC₅₀값은 각각 2139.9 및 6248.7 μg/mL인 반면 FRAP 값은 0.2 mM로 나타났다.

Swimming Endurance Capacity

수영 시간을 측정하는 방법은 지구력 평가와 운동으로 인한 피로의 정도를 측정하는 대표적인 방법이다. SRP를 투여한 마우스는 대조군과 비교하여 수영 시간의 현저한 증가를 나타내지 않았다. 대조군과 SRP 처리군의 평균 수영 시간은 2주 후 각각 174.5초와 173.0~193.4초로 나타났으며, 4주 후 각각 203.6초와 229.1~233.9초로 관찰되었다(Fig. 2). SRP 처리군(SRP-1 및 SRP-3) 및 BCAA 처리군은 4주 후 대조군과 비교하여 수영 시간의 유의적인 증가 추세를 보였으며, 이는 SRP가 마우스의 지구력을 향상시키는 것으로 사료된다.

혈중 Glucose

혈중 glucose의 균형은 지구력을 증대시키는 데 중요한 역할을 한다(Wagenmakers 등, 1991). 저혈당증은 운동 중 뇌 기능의 저하를 초래하여 운동 지속 능력을 억제할 수 있다(Wang 등, 2006). SRP-1, SRP-2 및 SRP-3 처리군의 혈당 수준은 대조군 대비 각각 32.0%, 35.3% 및 30.8%로 유의적으로 높게 관찰되었고($P<0.05$)(Fig. 3), SRP 처리군 간의 혈당 수준의 유의적인 차이는 없었다. 이는 SRP가 혈당 수준을 상향 조절을 통해 운동능력

을 향상시킬 수 있다고 사료된다.

혈중 Lactate 및 BUN

Lactate의 축적은 피로의 주요 원인 중 하나이다(Finco와 Duncan, 1976). SRP 및 BCAA 처리군은 대조군과 비교하여 혈중 lactate의 감소를 나타냈으며, 그 농도는 SRP-1군은 31.1 mg/dL, SRP-2군은 27.6 mg/dL, SRP-3군은 26.8 mg/dL, 대조군은 40 mg/dL로 측정되었다(Fig. 4). SRP-2, SRP-3 및 BCAA 처리군에서의 lactate 농도는 대조군과 유의적인 차이가 있었지만, SRP-1 처리군과 대조군 사이에서는 유의적인 차이가 없었다.

낮은 수준의 BUN 농도는 낮은 단백질 이화작용의 수준을 나타내며, 이는 단백질 이용 효율이 낮아져 지구력과 피로를 개선할 수 있다고 보고되고 있다(Finco와 Duncan, 1976). Fig. 4와 같이 SRP 처리군은 대조군 대비 24%(SRP-3 처리군)로 나타났고, BCAA 처리군도 대조군 대비 21%로 나타나 BUN 수준을 유의적으로 감소시켰다($P<0.05$). 그러나 SRP-1(8.6%) 및 SRP-2(17.0%) 처리군은 대조군과 크게 차이 나지 않았다. 이러한 결과는 SRP 처리가 단백질의 이화작용을 감소시킴으로써 지구력을 향상시킬 수 있음을 나타낸다.

혈중 LDH

혈중 LDH는 lactate를 pyruvate로의 전환을 촉매하여

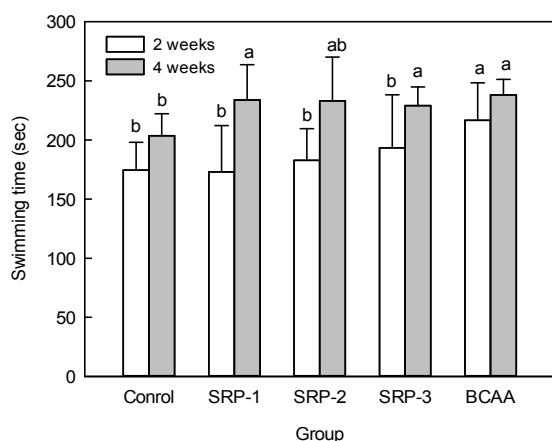


Fig. 2. Effect of SRP (soluble rice protein) on the swimming endurance capacity of ICR mice. Values are mean±SD (n=8). Control, saline; SRP-1, soluble rice protein 100 mg/kg/day; SRP-2, soluble rice protein 250 mg/kg/day; SRP-3, soluble rice protein 500 mg/kg/day; BCAA, branched chain amino acids 250 mg/kg/day.

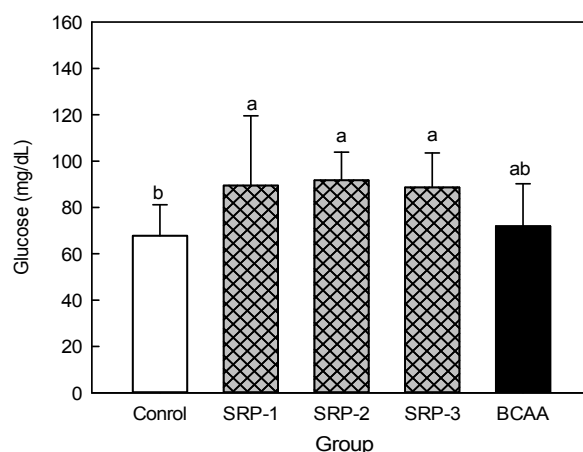


Fig. 3. Effect of SRP (soluble rice protein) on blood glucose in ICR mice. Values are mean±SD (n=8). Control, saline; SRP-1, soluble rice protein 100 mg/kg/day; SRP-2, soluble rice protein 250 mg/kg/day; SRP-3, soluble rice protein 500 mg/kg/day; BCAA, branched chain amino acids 250 mg/kg/day. Different letters indicate a significant difference at $P<0.05$.

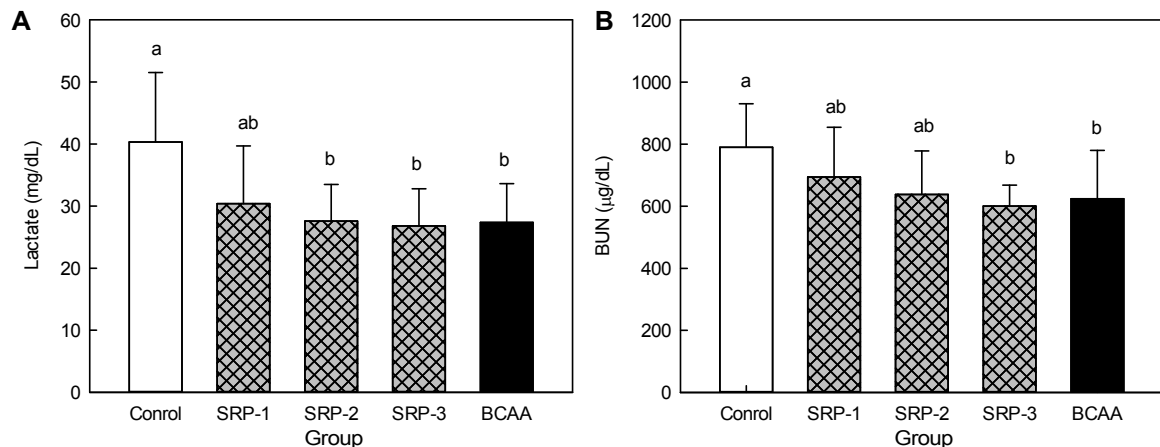


Fig. 4. Effect of SRP (soluble rice protein) on (A) blood lactate and (B) BUN in ICR mice. Values are mean±SD (n=8). Control, saline; SRP-1, soluble rice protein 100 mg/kg/day; SRP-2, soluble rice protein 250 mg/kg/day; SRP-3, soluble rice protein 500 mg/kg/day; BCAA, branched chain amino acids 250 mg/kg/day. Different letters indicate a significant difference at $P<0.05$.

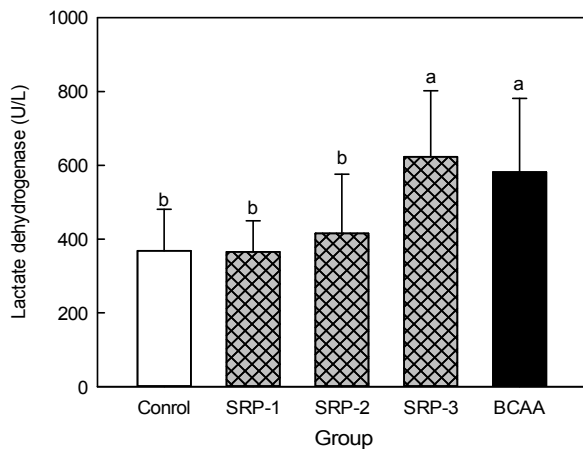


Fig. 5. Effect of SRP (soluble rice protein) on lactate dehydrogenase in ICR mice. Values are mean±SD (n=8). Control, saline; SRP-1, soluble rice protein 100 mg/kg/day; SRP-2, soluble rice protein 250 mg/kg/day; SRP-3, soluble rice protein 500 mg/kg/day; BCAA, branched chain amino acids 250 mg/kg/day. Different letters indicate a significant difference at $P<0.05$.

근육 내 lactate의 축적을 감소시킨다(Tang 등, 2008). Fig. 5와 같이 혈중 LDH는 대조군(368.3 U/L)보다 SRP-3(623.3 U/L) 및 BCAA(581.9 U/L)에서 유의적으로 높게 나타났으며($P<0.05$), 이는 500 mg/kg/day로 SRP를 투여할 시 forced swimming test 중에 근육 손상을 줄일 수 있음을 나타낸다. 그러나 SRP-1 및 SRP-2 처리군의 혈액 LDH 수준은 대조군의 혈액 LDH 수준과 유의적인 차이가 없었다.

고 찰

피로는 심각한 스트레스나 극심한 노동력으로 인한 육체적 또는 정신적 피로감을 동반한다. 이러한 피로는 크

게 두 가지 유형으로 분류할 수 있다. 신체적 피로는 수영과 같은 격렬한 운동으로 인해 발생하며 정신적 피로는 수면 부족 또는 인지 활동 연장으로 인한 것이다(Akazawa 등, 2010). 메커니즘이 아직 명확하지 않고 항피로 약물이 부작용을 유발하기 때문에(Jiang 등, 2013) 일반적으로 식이요법을 통해 자연적인 항산화 성분이 항피로의 부작용을 최소화하면서 산화적 손상을 방어 또는 감소시킴으로써 피로를 완화할 수 있다고 알려져 있다.

복합 또는 경구로 투여된 단백질 및 펩타이드가 혈액 요소 질소(BUN) 및 lactate 수준을 감소시킬 수 있고, 간의 글리코겐 저장을 증가시켜 지구력을 증가시킨다는 것이 보고되었으며(Xu와 Liu, 2010; Yu 등, 2008), 이러한 펩타이드 또는 단백질은 효과적인 항산화제로써 지구력 증진과 피로회복 기능을 가지는 것으로 보고되고 있다(You 등, 2011).

쌀에 함유된 단백질은 영양성, 저자극성 및 건강 증진의 효능을 보고하고 있다(Chen 등, 2010). 수용성 쌀 단백질(SRP)은 alcalase(Fig. 1)를 사용하여 쌀 시럽 가공 시 과생되는 부산물인 쌀 시럽박으로부터 제조되었고, ABTS 및 DPPH 평가에서 라디칼 소거 활성을 나타내는 것으로 나타났다(Table 1). Zhang 등(2010)은 항산화 펩타이드를 생산하기 위한 최적의 효소로 neutrase를 사용하여 쌀 내배유로부터 단백질 가수 분해물의 항산화 활성을 평가했다. 중성 내지 알칼리성의 pH 최적을 갖는 alkaline serine proteases는 단백질로부터 펩타이드의 상업적 생산에 사용되는 가장 풍부한 효소 중 하나로 보고되었다(Gupta 등, 2002). 불용성 단백질에 대한 효소를 이용한 가수 분해방법은 용해성과 유효 특성을 제공하기 때문에 alcalase와 같이 분해효소를 이용한 가수 분해는 쌀 시럽 가공 부산물에서 수용성 단백질 또는 펩타이드를 제조하는 데 유용한 방법으로 확인되었다.

항피로 효능의 평가 방법으로 생화학적 분석 및 지구력

테스트를 실시하였으며, 시간대별 체력이 고갈될 때까지의 시간으로 평가하였다. SRP의 경구 투여는 수영 시간을 증가시킴으로써 마우스의 지구력을 크게 증대시킬 수 있었다(Fig. 2). SRP 내 펩타이드 유래의 항산화물질은 운동시간 동안 골격 근육 내 산화적 스트레스 및 세포 기능 장애를 제한할 수 있고 이에 따라 수영 시간의 증가 경향을 나타낸다고 사료된다. 육체적 피로는 운동능력의 저하를 동반한다고 보고되었고(Jin 등, 2009; You 등, 2011), 육체적 피로의 메커니즘에 대한 몇 가지 가설이 제시되었으며 이중 에너지 고갈과 라디칼에 의한 이론이 가장 주목받고 있다. 에너지 고갈 이론에서는 운동 중 포도당 및 간의 글리코겐과 같은 에너지를 사용하면서 신체적 피로를 유발함으로써(Wang 등, 2008) 혈당을 가장 중요한 평가지표로 제시하고 있다. 본 연구에서 SRP 투여 그룹의 경우 대조군보다 높은 혈당 수준을 보여 주어(Fig. 3), SRP가 운동에너지원으로서 혈당 감소를 억제 한 것으로 나타났다. 간의 글리코겐 수준을 분석하지 않았지만, 상기 결과를 통해 SRP 처리군에서 근육 또는 간의 글리코겐 함량 증가를 유도할 수 있을 것으로 예상하였다.

본 연구에서 쌀 시럽 가공부산물을 원료로 하여 효소를 이용한 가수분해 방법으로 펩타이드와 아미노산의 혼합물을 획득하였으며, 최근 연구에 따르면 이러한 펩타이드류는 운동 수행 중에 에너지를 즉각적으로 공급할 수 있고 광범위한 운동에 도움이 될 수 있다고 보고하고 있다(Yu 등, 2008). 펩타이드는 단백질과는 달리 인체 내 쉽게 흡수되는 에너지원으로 작용할 뿐만 아니라 아미노산, 단백질 및 포도당의 사용을 촉진하여 신체의 내부 환경을 변화시킬 수 있는 다양한 생리적 활성을 나타낸다고 보고하고 있다(Yu 등, 2008; Zhang 등, 2010). 즉 펩타이드가 글리코겐 분해 억제 또는 포도당신생합성을 촉진시켜 대조군 대비 포도당 함량을 증가시킨다는 것이다.

혈액 내 lactate는 강렬한 운동 중에 혐기성 조건 하에서 단기적인 주요 에너지 생성 과정인 해당작용의 최종 생성물이다. 혈액 내 lactate의 축적은 피로의 중요한 원인이며, 혈액 lactate 수준은 피로의 정도와 회복 조건을 결정하기 위한 표준지표로 보고되었다(Li 등, 2008; Wang 등, 2006). 신체 내 lactate 수치가 증가하면 근육 조직과 혈액의 pH가 감소하고 다양한 생화학 및 생리적 과정에 부작용이 생겨 신체 성능이 저하 될 수 있어 피로의 회복은 신체에서 lactate를 제거하는 것과 관련이 있다. 본 연구에서 SRP가 혈중 lactate의 수준을 효과적으로 감소시키는 것으로 관찰되어(Fig. 4) 운동으로 인한 피로를 억제할 수 있음을 확인하였다. 혈중 LDH는 근육 손상을 나타내는 정확한 지표로써 lactate의 pyruvate로의 전환을 촉진하여 근육에 lactate의 축적을 감소시킨다(Tang 등, 2008). 500 mg/kg/day로 경구 투여한 SRP-3 처리군은 LDH 수준을 유의적으로 증가시켰으며(Fig 5), 신체의 피로척도인 lactate를 효과적으로 제거할 수 있음을

나타내었다. 따라서, SRP 처리군에서 lactate의 감소는 LDH 수준의 증가에 의해 야기되는 것으로 사료된다(Fig. 4, 5).

요소는 단백질 대사의 최종 산물로서 간에서 형성되며 배설을 위해 혈액에 의해 신장으로 운반된다(Wang 등, 2006; Wang 등, 2008). 인체 내에서 설탕과 같은 단당류나 지방으로부터 충분한 에너지를 얻을 수 없을 때, 단백질과 아미노산의 이화작용을 강화시켜 강렬한 운동 후에 우레아 질소 수준(BUN)을 증가시킨다(Wang 등, 2008). 혈액 내 요소 질소 수준은 운동 내성과 밀접한 상관관계가 있으며, 이의 증가는 신체의 운동 적응력을 악화시키는 것으로 보고되었다(Zhang 등, 2006). 즉 요소 질소 수준이 피로 수준의 또 다른 지표가 될 수 있음을 의미한다. Fig. 4에서와같이 SRP-3 또는 BCAA 처리군은 대조군에 비해 혈액 내 우레아 질소(BUN) 수준을 효과적으로 감소시켰다. 이러한 감소의 결과는 단백질 대사의 감소에 기인되며, 이는 지구력 증진에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다.

쌀 시럽가공부산물 유래의 효소가수분해물인 SRP는 생체 내 항산화 활성 및 마우스 동물모델에서의 항피로 효과를 보여주고 있으며, 항산화 및 항피로 활성에 기여할 것으로 예상되는 아미노산 및 펩타이드를 함유하고 있다. SRP는 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능 평가를 통해 항산화 활성을 확인하였으며, 이를 통해 운동 시 대사 조절을 개선하고 혈당 수준을 증가시켜 에너지 대사를 활성화하고(Fig. 3), lactate 및 BUN과 같은 축적된 대사 산물을 효과적으로 제거하는 데 효과적으로 작용한다(Fig. 4).

따라서 본 연구의 결과는 새로운 항산화제 및 항피로 화합물로서 쌀 가공부산물로부터 고부가가치의 기능성 소재를 산업화하기 위한 기초 자료를 제공한다. SRP의 항산화 및 항피로 활성은 펩타이드 고유의 화학적 조성 및 물리적 특성과 관련이 있는 것으로 예상되며, 이들 펩타이드는 신체적 피로를 개선하는 데 유용한 소재가 될 수 있다. 향후 항피로 활성을 갖는 활성 펩타이드의 본체를 규명하고 세포 및 분자 수준에서 이들의 기전을 연구하기 위한 후속 연구가 필요하다.

요 약

본 연구는 쌀 단백질의 항피로 효능을 평가하고 쌀 부산물의 활용도를 높이는 것을 목표로 하였다. 쌀의 액화 및 당화 반응을 통해 쌀 시럽박을 제조하였으며, 이를 원재료로 하여 alcalase로 처리하여 수용성 쌀 단백질(SRP)을 제조하였다. 효소에 의한 쌀 시럽박의 가수 분해 특성은 시간 경과에 따라 평균 펩타이드 길이(APL)의 감소와 관련이 있다. 지구력에 대한 SRP의 효과는 마우스의 swimming endurance capacity 평가를 통해 측정하였고, SRP 투여 4주 후에 혈중 glucose, lactate, urea nitrogen(BUN) 및 lactate dehydrogenase(LDH)의 수준

을 측정하였다. SRP 처리군의 수영 시간은 4주 후에 대조군과 비교하여 증가됨을 관찰하였으며, 혈중 glucose 수준은 대조군보다 유의하게 높았고, lactate 및 BUN과 같은 내인성 피로 물질의 수준을 감소시켰다. 특히, 500 mg/kg/day로 처리한 SRP군은 대조군과 비교하여 lactate 수준을 24% 감소시켰다. Lactate 분해 기능의 LDH의 활성은 대조군(368.3 U/L)과 비교하여 SRP(623.3 U/L) 또는 분지아미노산인 BCAA(581.9 U/L)군에서 유의적으로 증가하였다. 이러한 결과는 SRP가 마우스의 피로를 상당히 완화시킬 수 있다는 것을 나타낸다. 쌀 가공부산물의 활용은 영양적 가치와 산업화 시 높은 경제성으로 인해 주목을 받고 있다. 본 연구는 쌀 시립박으로부터 효소처리 공정을 통해 생리적 기능을 향상시킨 소재를 산업화할 수 있음을 보여줌으로써 쌀 가공부산물의 새로운 활용에 대해 제안하고 있다.

참고문헌

- Akazawa KH, Cui Y, Tanaka M, Kataoka Y, Yoneda Y, Watanabe Y. Mapping of regional brain activation in response to fatigue-load and recovery in rats with c-Fos immunohistochemistry. *Neurosci Res.* 2010. 66:372-379.
- Chen YJ, Chen YY, Wu CT, Yu CC, Liao HF. Prolamin, a rice protein, augments anti-leukaemia immune response. *J Cereal Sci.* 2010. 51:189-197.
- Finco DR, Duncan JR. Evaluation of blood urea nitrogen and serum creatinine concentrations as indicators of renal dysfunction: A study of 111 cases and a review of related literature. *J Am Vet Med Assoc.* 1976. 168:593-601.
- Fushiki T, Matsumoto K, Inoue K, Kawada T, Sugimoto E. Swimming endurance capacity of mice is increased by chronic consumption of medium-chain triglycerides. *J Nutr.* 1995. 125:531-539.
- GÜLCİN İ, Daştına A. Synthesis of dimeric phenol derivatives and determination of *in vitro* antioxidant and radical scavenging activities. *J Enzyme Inhib Med Chem.* 2007. 22:685-695.
- Gupta R, Beg Q, Lorenz P. Bacterial alkaline proteases: molecular approaches and industrial applications. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002. 59:15-32.
- Hamada JS. Separation and molecular mass distribution of rice proteins by size-exclusion high-performance liquid chromatography in a dissociating buffer. *J Chromatogr A.* 1996. 734:195-203.
- Han BK, Park Y, Choi HS, Suh HJ. Hepatoprotective effects of soluble rice protein in primary hepatocytes and in mice. *J Sci Food Agric.* 2016. 96:685-694.
- Jiang DQ, Guo Y, Xu DH, Hunag YS, Yuan K, Lv ZQ. Antioxidant and anti-fatigue effects of anthocyanins of mulberry juice purification (MJP) and mulberry marc purification (MMP) from different varieties mulberry fruit in China. *Food Chem Toxicol.* 2013. 59:1-7.
- Jin G, Kataoka Y, Tanaka M, Mizuma H, Nozaki S, Tahara T, et al. Changes in plasma and tissue amino acid levels in an animal model of complex fatigue. *Nutrition.* 2009. 25:597-607.
- Kim CW, Choi HJ, Han BK, Yoo SS, Kim CN, Kim BY, et al. Derivatization of rice wine meal using commercial proteases and characterization of its hydrolysates. *Korean J Food Sci Technol.* 2011. 43:729-734.
- Kim JH, Jung WS, Bae GS, Heo HJ, Kim DO, Yoon JA, et al. Short-term synergistic effect of fruit extracts with red-ginseng on forced swimming endurance capacity in ICR mice. *Food Sci Biotechnol.* 2010. 19:267-270.
- Lee HS, Won NH, Kim KH, Lee H, Jun W, Lee KW. Antioxidant effects of aqueous extract of *Terminalia chebula* *in vivo* and *in vitro*. *Biol Pharm Bull.* 2005. 28:1639-1644.
- Li M, Donglian C, Huaixing L, Bende T, Lihua S, Ying W. Anti-fatigue effects of salidroside in mice. *J Med Coll PLA.* 2008. 23:88-93.
- Lin Y, Liu HL, Fang J, Yu CH, Xiong YK, Yuan K. Anti-fatigue and vasoprotective effects of quercetin-3-O-gentiobiose on oxidative stress and vascular endothelial dysfunction induced by endurance swimming in rats. *Food Chem Toxicol.* 2014. 68:290-296.
- Ni W, Gao T, Wang H, Du Y, Li J, Li C, et al. Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants. *J Ethnopharmacol.* 2013. 150:529-535.
- Quang DN, Hashimoto T, Nukada M, Yamamoto I, Tanaka M, Asakawa Y. Antioxidant activity of curisians I-L from the inedible mushroom *Paxillus curtisii*. *Planta Med.* 2003. 69:1063-1066.
- Qureshi AA, Sami SA, Salser WA, Khan FA. Synergistic effect of tocotrienol-rich fraction (TRF₂₅) of rice bran and lovastatin on lipid parameters in hypercholesterolemic humans. *J Nutr Biochem.* 2001. 12:318-329.
- Ren J, Zhao M, Wang H, Cui C, You L. Effects of supplementation with grass carp protein versus peptide on swimming endurance in mice. *Nutrition.* 2011. 27:789-795.
- Shaw JF, Sheu JR. Production of high-maltose syrup and high-protein flour from rice by an enzymatic method. *Biosci Biotechnol Biochem.* 1992. 56:1071-1073.
- Shih FF. An update on the processing of high-protein rice products. *Food/Nahrung.* 2003. 47:420-424.
- Shih FF, Daigle KW. Preparation and characterization of rice protein isolates. *J Am Oil Chem Soc.* 2000. 77:885-889.
- Stintzing FC, Herbach KM, Moshammer MR, Carle R, Yi W, Sellappan S, et al. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *J Agric Food Chem.* 2005. 53:442-451.
- Sun S, Niu H, Yang T, Lin Q, Luo F, Ma M. Antioxidant and anti-fatigue activities of egg white peptides prepared by pepsin digestion. *J Sci Food Agric.* 2014. 94:3195-3200.
- Tang W, Zhang Y, Gao J, Ding X, Gao S. The anti-fatigue effect of 20(R)-ginsenoside Rg3 in mice by intranasally administration. *Biol Pharm Bull.* 2008. 31:2024-2027.
- Wagenmakers AJ, Beckers EJ, Brouns F, Kuipers H, Soeters PB, van der Vusse GJ, et al. Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. *Am J Physiol.* 1991. 260:E883-E890.
- Wang JJ, Shieh MJ, Kuo SL, Lee CL, Pan TM. Effect of red mold rice on antifatigue and exercise-related changes in lipid peroxidation in endurance exercise. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2006. 70:247-253.
- Wang L, Zhang HL, Lu R, Zhou YJ, Ma R, Lv JQ, et al. The

- decapeptide CMS001 enhances swimming endurance in mice. *Peptides*. 2008. 29:1176-1182.
- Wang LL, Xiong YL. Inhibition of lipid oxidation in cooked beef patties by hydrolyzed potato protein is related to its reducing and radical scavenging ability. *J Agric Food Chem*. 2005. 53:9186-9192.
- Xu R, Liu N. Effect of whey protein on the antifatigue ability in sedentary or exercised mice. *Milchwissenschaft*. 2010. 65:428-431.
- You L, Zhao M, Regenstein JM, Ren J. *In vitro* antioxidant activity and *in vivo* anti-fatigue effect of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) peptides prepared by papain digestion. *Food Chem*. 2011. 124:188-194.
- Yu B, Lu ZX, Bie XM, Lu FX, Huang XQ. Scavenging and anti-fatigue activity of fermented defatted soybean peptides. *Eur Food Res Technol*. 2008. 226:415-421.
- Zhang J, Zhang H, Wang L, Guo X, Wang X, Yao H. Isolation and identification of antioxidative peptides from rice endosperm protein enzymatic hydrolysate by consecutive chromatography and MALDI-TOF/TOF MS/MS. *Food Chem*. 2010. 119:226-234.
- Zhang Y, Yao X, Bao B, Zhang Y. Anti-fatigue activity of a triterpenoid-rich extract from Chinese bamboo shavings (*Caulis bambusae in taeniam*). *Phytother Res*. 2006. 20:872-876.