

## 국내 수수 종자의 용해도별 단백질 함량 변이

박세준\* · 박준영\* · 황수민\*\* · 서명철\*\*\* · 김태완\*\*\*†

\*국립한경대학교 식물생태화학연구소, \*\*국립한경대학교 식물생명환경과, \*\*\*농촌진흥청 국립식량과학원 작물환경과

### Variation of Fractionated Protein Content by Solubility in Korean Local Sorghum Seed

Sei Joon Park\*, Jun Young Park\*, Su Min Hwang\*\*, Myung Chul Seo\*\*\*, and Tae Wan Kim\*\*\*†

\*Institute of Ecological Phytochemistry, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea.

\*\*Department of Plant Life and Environmental Science, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea.

\*\*\*Crop Environment research division, NICS, RDA, Suwon, 441-857, Korea

**ABSTRACT** Sorghum seed is traditionally used as health supplements and the secondary food mixed with rice in Korea. While the research of reserve protein in sorghum seed have been carried out in many countries used as major food, much less is known about reserve proteins of Korean local sorghum seeds. To obtain protein characteristics in 20 Korean local sorghum seed, quantitative content of reserve protein was determined after fractionation by modified 'Osborne' method and  $\alpha$ -kafirin of prolamin was determined by SDS-PAGE. Mean albumin, globulin, prolamin and glutelin contents based on total seed protein content of 20 Korean local sorghum seed were 6.2%, 0.9%, 57.9% and 35.1%, respectively. Sorghum cultivar with high prolamin were 'Whin-susu', 'Whin-Chalsusu', 'Whangeum-Chalsusu', and 'Daepungshushu'. Sorghum cultivar with high  $\alpha$ -kafirin were 'Whin-susu', 'Geumsan-Chalsusu', 'Whin-Chalsusu', and 'Jangmok-susu'. Among the 20 varieties, 'Whin-susu' and 'Whin-Chalsusu' were selected as high  $\alpha$ -kafirin and prolamin sorghum cultivar, which showed 64.5 and 71.9% of prolamin contents, respectively.

**Keywords** : sorghum, seed, albumin, globulin, prolamin, glutelin

**수수** 종자는 전 세계적으로 아프리카, 아시아를 포함한 반 건조 열대 지역에서 주요 식량원으로 이용되고 있으며(Belton & Taylor, 2004), 우리나라에서도 수수는 전통적으로 혼반용 또는 떡 등의 식량보조 식품으로 이용되고 있다(Jeon *et al.*, 2011; Seo *et al.*, 2011). 최근에 수수의 건강 보조 및 증진 효과에 대한 연구가 활발하게 진행되면서, 성인병의

대표적인 만성질환인 고혈압, 당뇨, 및 노화에 대한 항산화에 대한 효과가 우수하다는 결과가 보고되고 있으며, 수수에 포함되어 있는 주요한 건강 증진 물질이 페놀 화합물 등의 식물체 이차 대사물질로 확인되고 있다(Dykes & Rooney, 2006). 국내에서 수수를 포함한 잡곡 종자에 대한 연구는 2009년도에 수행된 농촌진흥청 어젠더 연구사업 '잡곡류 건강기능성 물질 탐색, 평가 및 산업화 기술개발' 로 본격화 되었으며, 이후에 잡곡의 건강 기능성 물질에 대한 탐색 및 활성 평가에 대한 연구가 보고되었다(Jeon *et al.*, 2011; Ki *et al.*, 2009; Ko *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2010; Seo *et al.*, 2011).

수수 종실의 단백질 또한 수수를 주곡으로 하는 나라에서 주요 단백질 공급원으로 그 역할을 하고 있다. 그러나 수수 단백질은 쌀, 밀 및 보리의 주요 화곡류의 단백질에 비하여 영양학적 측면에서 저 평가를 받고 있다(FAO, 1995). 필수 아미노산 함량으로 평가된 수수 단백질의 화학적 수치(chemical score)는 37이며 lysine의 함량이 매우 낮은 것으로 보고되었다. 또한 수수 단백질이 갖고 있는 또 다른 취약점으로는 섭취 시 낮은 소화율에 있다. 수수 단백질의 고유의 구조적 특성으로 이중 황화결합, 탄닌과 같은 이차 대사물질의 결합 등이 단백질의 소화율을 저하시키는 원인으로 지적되고 있다(Duodu *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2012; Oria *et al.*, 2000; Taylor *et al.*, 2007; Wong *et al.*, 2010). 반면 최근에는 수수 종자의 새로운 건강 기능성 요인(저항성 전분, resistance starch; 기능성 펩타이드, bioactive peptides)으로 의학, 제약 및 식품학계에서 그 인식이 전환되고 있다(Farrokhki *et al.*,

†Corresponding author: (Phone) +82-31-670-5081 (E-mail) taewkim@hknu.ac.kr

<Received 17 December, 2013; Revised 15 February, 2014; Accepted 25 February, 2014>

2008; Hartmann & Meisel, 2007). 수수 종자의 프롤라민 단백질이 분해되는 과정에서 분비되는 키모트립신 분해 수화물이 혈압 저하(angiotensin-converting enzyme inhibitory activity)에 효과가 있음이 보고되었으며(Kamath *et al.*, 2007), 수수 종자에서 추출한 펩타이드 및 단백질이 항균 및 항바이러스 효과를 갖는다는 결과도 보고되었다(Camargo Filho *et al.*, 2008; Mincoff *et al.*, 2006). 또한 수수 저장 단백질  $\alpha$ -kafirin의 낮은 소화율을 이용한 edible polymer films의 개발이 시도되고 있다(Anyango *et al.*, 2012). 수수 단백질의 소화율을 높이기 위한 돌연변이체를 이용한 저장단백질의 구조적 변형 연구 등이 보고되고 있다(Kumar *et al.*, 2012; Oria *et al.*, 2000). 하지만 현재에 이르기까지 국내 수수 유전자원 및 육성 품종의 종자에 대한 단백질 연구는 미진한 상태에 있어 단백질 정보의 이용성 또한 매우 제한적이라 할 수 있다.

본 연구는 우리나라 수수 종자 단백질의 활용성을 증진시키기 위한 저장단백질 특성의 기초자료 구축을 위하여, 수수 유전자원 재래종 20종의 종자 저장단백질의 정량적, 정성적 특성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 시료

본 과제의 수수 종자 용해성 저장단백질의 특성분석을 위하여 사용된 수수 종자는 총 20 품종으로 1. 검은찰수수, 2. 찰수수(금산), 3. 붉은찰수수, 4. 찰수수, 5. 흰장묵수수, 6. 긴장묵수수, 7. 장묵수수, 8. 붉은장묵수수, 9. 빗자루수수, 10. 목탁수수, 11. 몽당수수, 12. 고마단수수, 13. 장묵수수, 14. 수송생이수수, 15. 시경수수, 16. 메수수, 17. 흰수수, 18. 흰찰수수, 19. 황금찰수수, 20. 대풍수수 이었으며, 2010년에 농촌진흥청에서 수확한 것을 0.5 mm로 균일하게 마쇄하여 4°C에서 저장한 시료를 사용하였다.

### 기기 및 장비

본 실험에서 단백질 추출에는 분쇄기(Polymix PX-MFC, KINEMATICA, Germany), 진탕기(KMC 1205SL, Vision Sci., Korea), 그리고 원심분리기(MICRO 17TR, Hanil Science, Korea)를 사용하였다. 단백질 함량 측정에는 UV-Spectrophotometer (Optizen 3220UV, MECASYS, Korea)를 사용하였고, 1차 전기영동기(Protein tetra cell, BIO-RAD, USA)과 분석에는 Gel Documentation System (Gel Doc XR, BIO-RAD, USA)을 사용하였다.

### 종자 저장단백질 추출

본 실험에서는 Osborne의 방법을 수정하여 수수 종자 저장단백질을 순차적으로 분리하였다(Hamaker *et al.* 1995; Osborne, 1924). 수용성 알부민(albumin) 단백질 추출은 미세하게 마쇄한 잡곡 종자 0.1 g에 증류수 1 ml를 넣은 후 4°C에서 180 rpm으로 1시간동안 흔들어준 뒤 4°C에서 12,000 x g로 10분 동안 원심분리하여 상등액을 falcon tube에 옮겨 담는 과정을 3회 반복하여 얻었다. 염 용해성 글로불린(globulin) 단백질 추출은 알부민 단백질 추출 후 생성된 pellet에 0.5M sodium chloride (NaCl) 1 ml를 이용하였다. 알콜 용해성 프롤라민(prolamin) 단백질 추출은 가용성 글로불린 단백질 추출 후 생성된 pellet에 60% t-butanol (2%  $\beta$ -ME) 1ml를 넣어 추출하였다. 약 산성 또는 약 알칼리성 용해성 글루텔린(glutelin) 단백질 추출은 가용성 프롤라민 단백질 추출 후 생성된 pellet에 12.5 mM sodium borate, pH 10.0 (2%  $\beta$ -ME, 1% triton X-100) 1 ml를 이용하였다. 총 단백질 추출은 미세하게 마쇄한 잡곡 종자 0.1 g에 12.5 mM sodium borate, pH 10.0 (2%  $\beta$ -ME, 1% triton X-100) 1 ml를 넣은 후 4°C에서 180 rpm으로 1시간 동안 흔들고, 4°C에서 12,000 x g로 10분 동안 원심분리하여 상등액을 falcon tube에 옮겨 담는 과정을 3회 반복하여 얻었다.

### 단백질 정량

용액의 가용성에 따라 순차적으로 추출된 각각의 단백질을 Bradford analysis로 발색하였다(Bradford, 1976). Sigma에서 제공한 Bradford analysis에서는 0.1 ml에 0.1~1.4 mg/ml의 단백질을 측정할 때 'Macro 분석법'을 사용하고 1 ml에 1~10  $\mu$ g/ml의 단백질을 측정할 때 'Micro 분석법'을 사용하였다. 알부민, 글로불린, 프롤라민 단백질은 Macro방법으로 분석하고 글루텔린과 총 단백질은 Micro방법을 사용하였다. Bradford analysis의 발색에 영향을 미쳐 제한된 시약과 함량은 ethanol 10%, methanol 10%, triton X-100 0.13%이다. 따라서 60% t-butanol로 추출한 prolamin은 증류수로 10배 희석하여 정량하였고 1% triton X-100이 함유한 용액으로 추출한 glutelin과 총 단백질은 증류수로 250배 희석하여 정량하였다.

### 프롤라민 단백질의 SDS-PAGE

SDS-PAGE는 Laemmli의 방법을 따랐다(Laemmli, 1970). Polyacrylamide gel은 16%로 SDS-Tris/glycine buffer, pH 8.3를 running buffer로 사용하였다. 마쇄한 시료에서 가용성 prolamin 단백질은 60% t-butanol (2%  $\beta$ -ME) 1 ml를 넣어 추출하였다. Prolamin 단백질 정량 후, sample buffer (SDS

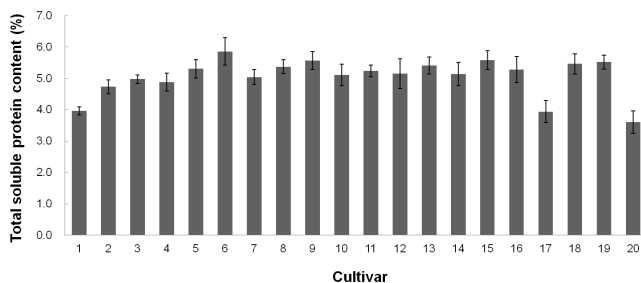
reducing buffer)와 1:1로 희석하여 95℃에서 4분간 열처리 하였으며, 전기영동을 실시하였다. 단백질 염색은 Instant Blue (Expdeon)를 사용하여 1시간 염색하였으며 탈색은 증류수를 사용하였다.

**결과 및 고찰**

**수수 종자단백질의 총 수용성 단백질 함량**

농촌진흥청에서 분양된 수수 재래종 20 품종 종자의 총 수용성 단백질의 함량을 측정하였다(Fig. 1). 수용성 단백질의 추출 용매는 12.5 mM sodium borate, pH 10.0 (2% β-ME, 1% triton X-100)로서 수수종자의 단백질을 추출할 때, 일반적으로 사용되는 용매를 적용하였다(Hamaker *et al.*, 1995; Park & Bean, 2003). 수수 20 품종 종자의 수용성 단백질 함량의 범위는 3.6~5.9%로 2.2%의 변이 폭을 보였으며, 평균 5.1%의 수용성 단백질 함량을 보였다. 이는 수수 종자의 단백질 함량 7.9% (Belton & Taylor, 2004)와 7.0~9.0% (Ko *et al.*, 2011)으로 보고된 것보다 다소 낮은 결과였다. 본 연구결과의 낮은 단백질 함량은 단백질 함량의 측정방법의 차이에서 기인된 것으로, 본 연구에서는 수용성 단백질의 함량을 측정하였으며, 이전의 보고 결과는 전 질소 함량을 단백질 함량으로 전환한 것이기 때문으로 생각된다.

품종 간 단백질 함량의 차이에서는 품종번호 긴장목수수(no. 6), 빗자루수수(no. 9), 시경수수(no. 15), 및 흰찰수수(no.18)와 황금찰수수(no.19)는 단백질 함량이 높은 품종으로 그 범위는 5.5~5.9%로 나타났으며, 검은찰수수(no. 1), 흰수수(no.17)과 대풍수수(no.20)은 단백질 함량이 3.6~4.0%



**Fig. 1.** Total soluble protein contents of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).

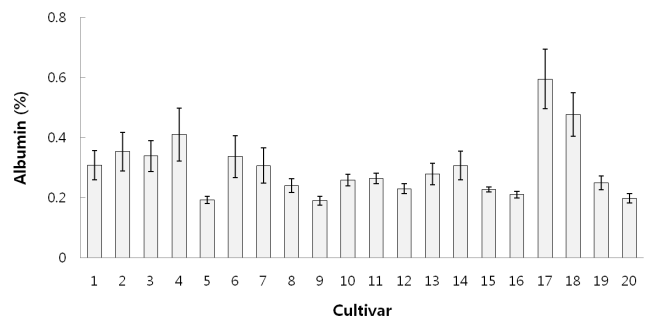
의 범위로 종자의 단백질 함량이 낮은 품종으로 나타났다.

**수수 종자의 용해도에 의한 분획 단백질 함량**

수수 종자의 수용성 단백질의 분획은 ‘Osborne 방법’의 변형된 방법으로서 알부민, 글로불린, 프롤라민 및 글루테린을 순차적으로 분리하였다. 용해도별 분획 단백질의 함량을 Bradford 법으로 분석하였다.

우리나라 고유의 수수자원 20품종 종자의 용해도별 분획 단백질 중 수용성 단백질에 해당하는 알부민 단백질의 농도는 종자 총 건물중의 0.19~0.59%의 범위로, 평균 0.3%를 결정하였으며(Fig. 2), 이는 수수종자 총 단백질 함량의 6.2%를 나타내었다(Table 1). 품종별 비교에서 흰수수(no.17)와 흰찰수수(no. 18)이 각각 총 단백질 함량 대비 12.0%와 10.1%로 다른 품종에 비하여 알부민 단백질의 함량이 높은 품종으로 결정되었다(Fig. 6).

염용해성 단백질에 해당하는 글로불린 단백질은 종자 총



**Fig. 2.** Albumin protein contents of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).

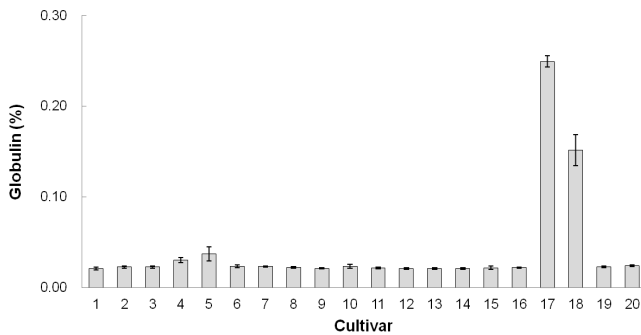
**Table 1.** Mean concentration of four proteins fractionated by solubility of twenty Korean local sorghum seeds.

	albumin	globulin	prolamin	glutein
	----- (%) -----			
Mean	6.2	0.9	57.9	35.1
Standard error	0.5	0.3	1.2	1.6
Range	8.1	4.7	22.8	29.1
Minimum	4.0	0.4	49.0	14.9
Maximum	12.0	5.0	71.9	44.0

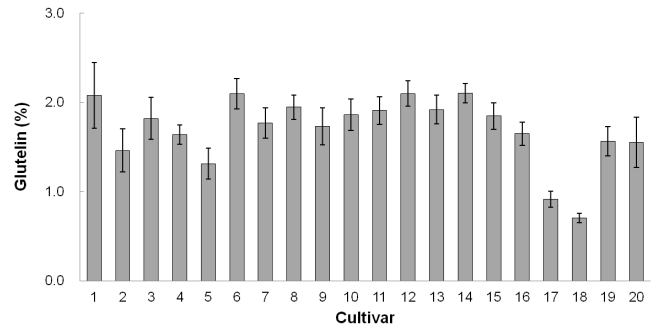
건물중의 0.02~0.25%의 범위로, 평균 0.04%의 함량을 보였으며(Fig. 3), 이는 수수종자 총 단백질 함량의 0.9%의 함량을 나타내었다(Table 1). 품종별 비교에서 흰수수(no.17)와 흰찰수수(no. 18)가 각각 총 단백질 함량 대비 5.0%와 3.2%로 다른 품종(평균 0.9%)에 비하여 글로불린 단백질의 함량이 확연히 높은 품종으로 결정되었다(Fig. 6). FAO (1995) 자료에 의하면 수수 종자의 알부민+글로불린 단백질의 함량은 전체 단백질의 17.4%로 기록되었으며, Youssef (1998)의 결과에서는 알부민은 4.2~6.9%, 글로불린은 10.9~13.7%

의 함량을 보고하여 우리나라 수수 종자의 글로불린 단백질의 함량이 매우 낮은 결과를 나타내었다.

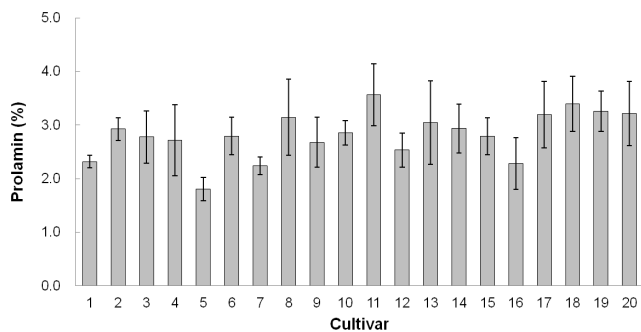
수수 종자의 주요 저장 단백질은 알콜 용해성에 해당하는 프롤라민 단백질로 전체 단백질의 50~60% (Emmambux & Taylor, 2003)와 70~90% (Park & Bean, 2003)로 보고되고 있다. 우리나라 수수자원 20품종 종자의 프롤라민 단백질의 농도는 종자 총 건물중의 1.8~3.6%의 범위로, 평균 2.8%였으며(Fig. 4), 이는 수수종자 총 단백질 함량의 평균 57.9%를 나타내었다(Table 1). 품종별 비교에서 몽당수수(no.11),



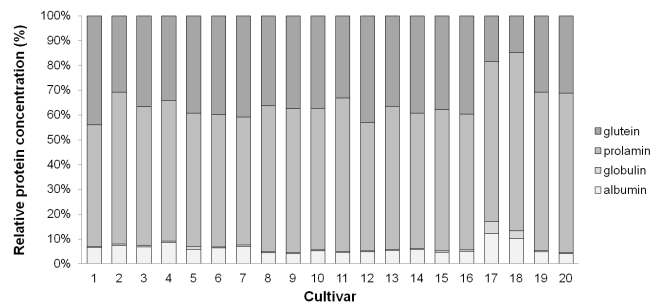
**Fig. 3.** Globulin protein contents of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).



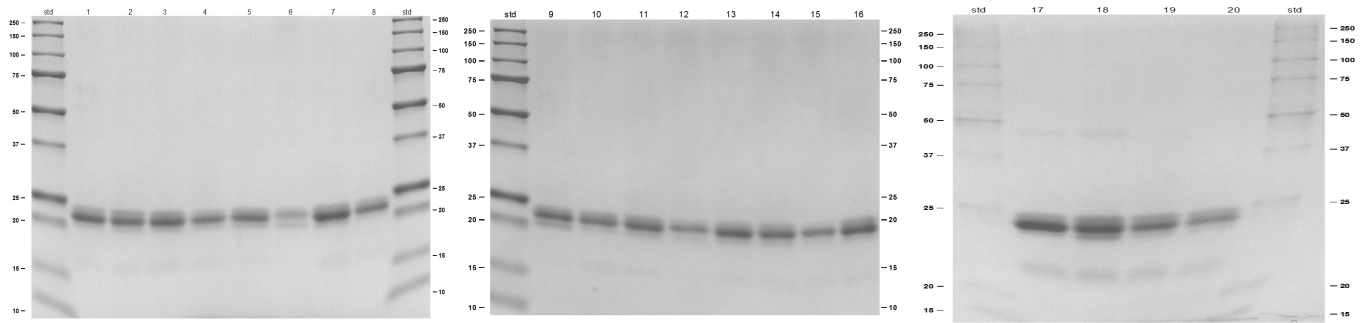
**Fig. 5.** Glutelin protein contents of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).



**Fig. 4.** Prolamin protein contents of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).



**Fig. 6.** Relative protein contents of four fractionated soluble proteins of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).



**Fig. 7.** SDS-PAGE of prolamin protein ( $\alpha$ -kafirin) of twenty korean local sorghum seeds. (1. Geomeun-Chalsusu, 2. Geumsan-Chalsusu, 3. Bulgeun-Chalsusu, 4. Chalsusu, 5. Whinjangmok-susu, 6. Ginjangmok-susu, 7. Jangmok-susu, 8. Bulgeunjangmok-susu, 9. Bitjalu-susu, 10. Mogtak-susu, 11. mongdang-susu, 12. Gomadan-susu, 13. Jangmok-susu, 14. Susongsaengyi-susu, 15. Sigyeong-susu, 16. Maesusu, 17. Whin-susu, 18. Whin-Chalsusu, 19. Whanggeum-Chalsusu, 20. Daepungshushu).

흰수수(no.17), 흰찰수수(no.18), 황금찰수수(no.19) 및 대풍수수(no.20)에서 건물중 대비 3.2%, 총 단백질 대비 62% 이상의 함량을 보여 고 프롤라민 수수품종으로 결정되었다 (Fig. 6).

약 산성 및 약 알칼리성에 용해되는 글루텔린 단백질의 함량은 건물중 대비 0.7~2.1%로 평균 1.7%의 함량을 보였으며(Fig. 5), 이는 총 단백질 함량 대비 평균 35.1%에 해당하였다(Table 1). 품종별 비교에서 흰수수(no.17)와 흰찰수수(no.18)는 총 단백질 함량 대비 18.4%와 14.9%를 보여 다른 품종에 비하여 글루텔린 단백질의 함량이 확연히 낮았다(Fig. 6).

따라서 우리나라 수수 20 품종의 종자의 분획단백질의 함량은 총 단백질 함량 대비 알부민 단백질은 6.2%, 글로불린 단백질은 0.9%, 프롤라민 단백질은 57.9% 및 글루텔린 단백질은 35.1%의 함량을 나타내었다(Table 1). 품종별 비교에서 흰수수와 흰찰수수는 알부민, 글로불린 및 프롤라민 단백질 함량이 다른 품종들보다 크게 높았으며, 글루텔린 단백질의 함량은 낮은 특성을 갖는 품종으로 나타났다. 또한 수수의 주요 저장 단백질인 프롤라민 단백질의 함량이 높은 품종은 흰수수, 흰찰수수, 황금찰수수 및 대풍수수로 결정되었다(Fig. 6).

**수수종자의 저장단백질 프롤라민 단백질의 SDS-PAGE**

수수 20품종의 종자 저장단백질인 프롤라민 단백질의 조성을 1차 전기영동(SDS-PAGE)으로 비교하였다(Fig. 7). 수수종자의 프롤라민 단백질은 kafirins 단백질로 명칭되며, kafirins 단백질은  $\alpha$ -kafirin (총  $\alpha$ -kafirin의 84%, 분자량 25000, 23000),  $\beta$ -kafirin (7~8%, 분자량 20000, 18000, 16000),  $\gamma$ -kafirin (9-12%, 분자량 28000)로 구성된다(Oria *et al.*, 1995; Park

**Table 2.** Relative concentration of prolamin protein ( $\alpha$ -kafirin) determined by SDS-PAGE of twenty korean local sorghum seeds.

no.	Cultivar	Concentration of Lane (%)	Ranking
1	Geomeun-Chalsusu	69	5
2	Geumsan-Chalsusu	73	2
3	Bulgeun-Chalsusu	69	6
4	Chalsusu	57	16
5	Whinjangmok-susu	62	12
6	Ginjangmok-susu	48	19
7	Jangmok-susu	72	4
8	Bulgeunjangmok-susu	66	9
9	Bitjalu-susu	68	7
10	Mogtak-susu	56	17
11	mongdang-susu	63	11
12	Gomadan-susu	40	20
13	Jangmok-susu	61	13
14	Susongsaengyi-susu	59	14
15	Sigyeong-susu	50	18
16	Maesusu	67	8
17	Whin-susu	74	1
18	Whin-Chalsusu	72	3
19	Whanggeum-Chalsusu	65	10
20	Daepungshushu	58	15
Mean		62.4	
Standard error		2.0	
Minimum		40.1	
Maximum		73.7	

## 사 사

이 논문은 2013년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2012R1A1A2004847).

## 인용문헌(REFERENCES)

- Anyango, J. O., N. Duneas, J. R. N. Taylor, and J. Taylor. 2012. Physicochemical Modification of Kafirin Microparticles and Their Ability To Bind Bone Morphogenetic Protein-2 (BMP-2), for Application as a Biomaterial. *J Agric and Food Chem* 60 : 8419-8426.
- Belton, P. S. and J. R. N. Taylor. 2004. Sorghum and millets: protein sources for Africa. *Trends in Food Science & Technology* 15 : 94-98.
- Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 72 : 248-54.
- Camargo Filho, I., D. A. G. Cortez, T. Ueda-Nakamura, C. V. Nakamura, and B. P. Dias Filho. 2008. Antiviral activity and mode of action of a peptide isolated from Sorghum bicolor. *Phytomedicine* 15 : 202-208.
- Duodu, K. G., J. R. N. Taylor, P. S. Belton, and B. R. Hamaker. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *J Cereal Sci* 38 : 117-131.
- Dykes, L. and L. W. Rooney. 2006. Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J Cereal Sci* 44 : 236-251.
- Emmambux, N. M. and J. R. N. Taylor. 2003. Sorghum kafirin interaction with various phenolic compounds. *J Sci Food Agric* 83 : 402-407.
- FAO. 1995. FAO Food and Nutrition. No. 27. Sorghum and millets in human nutrition. FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
- Farrokhi, N., J. P. Whitelegge, and J. A. Brusslan. 2008. Plant peptides and peptidomics. *Plant Biotechnol J*. 6 : 105-34.
- Hamaker, B. R., A. A. Mohamed, J. E. Habben, C. P. Huang, and B. A. Larkins. 1995. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. *Cereal chem* 72 : 583-588.
- Hartmann, R. and H. Meisel. 2007. Food-derived peptides with biological activity: from research to food applications. *Curr Opin Biotechnol* 18 : 163-9.
- Jeon, H. S., I. M. Chung, K. H. Ma, E. H. Kim, S. J. Young, and J. K. Ahn. 2011. Analysis of Phenolic Compounds in Sorghum, Foxtail Millet and Common Millet. *Korean J Crop Sci* 56 : 361-74.
- Kamath, V., S. Niketh, A. Chandrashekar, and P. S. Rajini. 2007. Chymotryptic hydrolysates of  $\alpha$ -kafirin, the storage

& bean, 2003). 본 연구의 1차 전기영동에서 측정된 kafirin 단백질은  $\alpha$ -kafirin (분자량 약 23000)에 해당되었다.  $\alpha$ -kafirin의 품종간 변이가 크게 존재하였음을 관찰되었으며, 흰수수(no.17), 금산찰수수(no.2), 흰찰수수(no.18) 및 장목수수(no.7)가  $\alpha$ -kafirin의 함량이 높은 품종으로 나타났다(Table 2).

수수종자의 주요 저장단백질인 프롤라민 단백질은 kafirins으로서, 수수 단백질의 고유의 구조적 특성으로 이중 황화 결합과 탄닌 등 이차 대사물질의 결합이 단백질의 소화율을 저하시키는 원인으로 지적되고 있다(Duodu *et al.*, 2003; Kumar *et al.*, 2012; Oria *et al.*, 2000; Wong *et al.*, 2010). 최근에는 수수 단백질의 소화율을 높이기 위한 돌연변이체를 이용한 저장단백질의 구조적 변형 연구 등이 보고되고 있다(Kumar *et al.*, 2012; Oria *et al.*, 2000). 한편으로는 수수 단백질의 산화학 연구를 통하여 수수 저장 단백질  $\alpha$ -kafirin의 낮은 소화율을 이용한 edible polymer films의 개발이 시도되고 있다(Anyango *et al.*, 2012).

본 연구에서 흰수수와 흰찰수수가 고 프롤라민 및 고  $\alpha$ -kafirin 품종임을 제시하였다. 따라서 우리나라 수수 자원 중 프롤라민 단백질의 함량이 높은 종의 선발 및 확보는 식용이외의 수수의 산업화 자원으로 활용할 수 있을 것으로 전망된다.

## 적 요

우리나라 수수 유전자원 20품종에 대한 종자 단백질의 정량적 및 정성적 특성을 분석하였다. 수수 종자의 수용성 단백질의 분획은 'Osborne 방법'의 변형된 방법으로서 알부민, 글로불린, 프롤라민 및 글루텔린을 순차적으로 분리하여 정량분석을 실시하였다. 수수 종자의 저장단백질인 프롤라민 단백질의 조성을 1차 전기영동으로 비교 분석하였다.

1. 총 단백질 함량 대비 분획단백질의 함량은 알부민 단백질은 6.2%, 글로불린 단백질은 0.9%, 프롤라민 단백질은 57.9% 및 글루텔린 단백질은 35.1%의 함량을 나타내었다.
2. 품종별 비교에서 프롤라민 단백질의 함량이 높은 품종은 흰수수, 흰찰수수, 황금찰수수 및 대풍수수로 결정되었다.
3.  $\alpha$ -kafirin의 함량이 높은 품종은 흰수수, 금산찰수수, 흰찰수수 및 장목수수로 나타났다.
4. 흰수수와 흰찰수수가 고 프롤라민 및 고  $\alpha$ -kafirin 품종임을 제시하였다.

- protein of sorghum (*Sorghum bicolor*) exhibited angiotensin converting enzyme inhibitory activity. *Food Chem* 100 : 306-311.
- Ki, H. Y., E. S. Seong, B. K. Ghimire, I. M. Chung, S. S. Kwon, E. J. Goh, K. Heo, M. J. Kim, J. D. Lim, D. Lee, and C. Y. Yu. 2009. Antioxidant and antimicrobial activities of crude sorghum extract. *Food Chem* 115 : 12341-239.
- Ko, J. Y., S. B. Song, J. S. Lee, J. R. Kang, M. C. Seo, B. G. Oh, D. Y. Kwak, M. H. Nam, H. S. Jeong, and K. S. Woo. 2011. Changes in Chemical Components of Foxtail Millet, Proso Millet, and Sorghum with Germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40(8) : 1128-1135.
- Kumar, T., I. Dweikat, S. Sato, Z. Ge, N. Nersesian, H. Chen, T. Elthon, S. Bean, B. P. Ioerger, M. Tilley, and T. Clemente. 2012. Modulation of kernel storage proteins in grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Plant Biotechnol J*. 10 : 533-44.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227 : 680-5.
- Lee, H. K., I. G. Hwang, H. Y. Kim, K. S. Woo, S. H. Lee, S. H. Woo, J. S. Lee, and H. S. Jeong. 2010. Physicochemical Characteristic and Antioxidant Activities of Cereals and Legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(9) : 1399-1404.
- Mincoff, P. C., D. A. Garcia Cortez, T. Ueda-Nakamura, C. V. Nakamura, and B. P. Dias Filho. 2006. Isolation and characterization of a 30kD antifungal protein from seeds of *Sorghum bicolor*. *Research in Microbiology* 157 : 326-332.
- Oria, M. P., B. R. Hamaker, J. D. Axtell, and C. P. Huang. 2000. A highly digestible sorghum mutant cultivar exhibits a unique folded structure of endosperm protein bodies. *Proc Natl Acad Sci USA* 97 : 5065-70.
- Oria, M. P., B. R. Hamaker, and J. M. Schull. 1995. In vitro protein digestibility of developing and mature sorghum grain in relation to -kafirin disulfide crosslinking. *J Cereal Sci* 22 : 85-93.
- Osborne, T. B. 1924. *The vegetable proteins*. 2nd. Longman. Gree and Co. London.
- Park, S. H. and S. R. Bean. 2003. Investigation and optimization of the factors influencing sorghum protein extraction. *J Agric Food Chem* 51 : 7050-4.
- Seo, M. S., J. Y. Ko, S. B. Song, J. S. Lee, J. R. Kang, D. Y. Kwak, B. G. Oh, Y. N. Yoon, M. H. Nam, H. S. Jeong, and K. S. Woo. 2011. Antioxidant Compounds and Activities of Foxtail Millet, Proso Millet and Sorghum with Different Pulverizing Methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40 : 790-7.
- Taylor, J., S. R. Bean, B. P. Ioerger, and J. R. N. Taylor. 2007. Preferential binding of sorghum tannins with  $\gamma$ -kafirin and the influence of tannin binding on kafirin digestibility and biodegradation. *J Cereal Sci.* 46 : 22-31.
- Youssef, A. M. 1988. Extractability, fractionation and nutritional value of low and high tannin sorghum proteins. *Food Chem* 63 : 325-329.
- Wong, J. H., D. B. Marx, J. D. Wilson, B. B. Buchanan, P. G. Lemaux, and J. F. Pedersen. 2010. Principal component analysis and biochemical characterization of protein and starch reveal primary targets for improving sorghum grain. *Plant Science* 179 : 598-611.