

울무와 염주 단백질의 전기영동 특성

우 자 원

연세대학교 식품영양학과

Electrophoretic Characterization of Job's tears (*Yulmoo*: *Coix lachryma-jobi* L. var. *Ma-yuen* stapf. & *Yeomjoo*: *Coix lachryma-jobi* L.) proteins

Ja-Won, Woo

Department of Food and Nutrition, Yonsei University

Abstract

This study was performed to examine the electrophoretic properties of Job's tears (*Yulmoo*: *Coix lachryma-jobi* L. var. *Ma-yuen* Stapf. & *Yeomjoo*: *Coix lachryma-jobi* L.) proteins. Albumins, globulins, gliadins and glutelins were extracted from the polished *Yulmoo* and brown *Yeomjoo* by the modified Osborne method.

For a comparison, rice proteins were extracted and fractionated by the same method. The relative proportions of protein fractions were 17.4:19.6:55.2:7.7% in polished *Yulmoo*, 12.6:62.2:4.2:21.0% in brown *Yeomjoo* and 14.2:57.4:0.77:27.8% in rice, in the order of albumins, globulins, gliadins and glutelins. Polyacrylamide gel electrophoresis (PAGE) and SDS-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) were performed to identify the subfractions of each protein fraction extracted from polished *Yulmoo*, brown *Yeomjoo* and rice. The electrophoregrams of polyacrylamide gel electrophoresis showed that the same fractions of both polished *Yulmoo* protein and brown *Yeomjoo* protein had very similar electrophoretic patterns to each other respectively, but there were significant differences in the patterns between Job's tears proteins and rice proteins.

서 론

울무(蒹苡, soft-shelled Job's tears, *Coix lachryma-jobi* L. var. *Ma-yuen* (Roman.) Stapf.)와 염주

(念珠, hard-shelled Job's tears, *Coix lachryma-jobi* L.)는 둘 다 벼과(Gramineae)에 속하는 일년초로서 아시아가 원산인 것으로 생각되며, 울무의 분류에 있어서 두가지 견해가 있다¹⁾. 하나는 울무가 염주의 변종이라는 것이고, 다른 하나는 울무가 *Coix Mayuen* Roman

에 속하며 염주와는 다른 종류에 속한다는 것이다. 그러나 일반적으로 전자의 의견이 더 잘 받아들여지고 있다. 울무와 염주의 관계는 울무의 배유전분은 찰전분이고 염주의 배유전분은 메전분으로 되어 있다는 것이다¹¹⁾. 진¹²⁾에 의하면 울무쌀의 전분 함량은 51.9%에 달하며 조단백질은 17.6%나 되어서 쌀, 보리, 밀에 비하여 그 함량이 월등히 많은 작물로 분류되고 있다. 현재 울무쌀이 건강식품으로 대두되면서 그에 대한 관심이 높아져서 매년 그 소비량이 증가하고 있으며 이에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 울무의 조성중 전분에 관하여는 물리화학적 특성^{1,3~5)}, 점성특성⁶⁾, 조리와학적 특성⁷⁾에 대하여, 지질에 관하여는 이화학적 성질 및 지방산 조성^{8~10)}에 대한 활발한 연구가 이루어져 왔다. 한편 울무의 영양성분중 전분 다음으로 많이 함유되어 있는 단백질에 관하여는 비교적 연구가 활발하지 않다. 호¹¹⁾는 재래종 울무에서 변형된 Osborne 분획방법에 의해 단백질을 추출, 분리하여 몇가지 이화학적 특성을 조사한 바 있으며, Hayakawa¹²⁾는 울무 단백질의 영양가에 대한 식품가공과 아미노산 보충의 영향에 대해 연구하였다.

아직까지 찰전분을 가지고 있는 울무와 메전분을 가지고 있는 염주의 단백질을 비교한 연구가 없었으므로, 본 연구에서는 식품학적 기초를 확립코자 울무와 염주단백질에 대한 전기영동 특성을 조사하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험 재료

울무와 염주는 1987년산으로 경동시장에서 구입하여 사용하였다. 울무는 현울무를 구입하여 영등포에 있는 농산물 검사소 양곡실험실에서 McGill Sheller Mill (McGill Sheller Co., U.S.A.), 정미기용량 600g을 이용하여 76.4%로 도정하여 울무쌀로 만들었다. 염주는 딱딱한 외피를 제거한 후 현염주로 만들어 사용하였다. 울무쌀, 현염주 및 비교시료로서 쌀은 각각 분쇄기로 곱게 갈아서 60 mesh 체를 통과시켰으며 단백질의 추출을 위해서 n-Hexane으로 3회 탈지한 다음 폴리에틸렌병에 넣어 냉장고에 보관하면서 사용하였다.

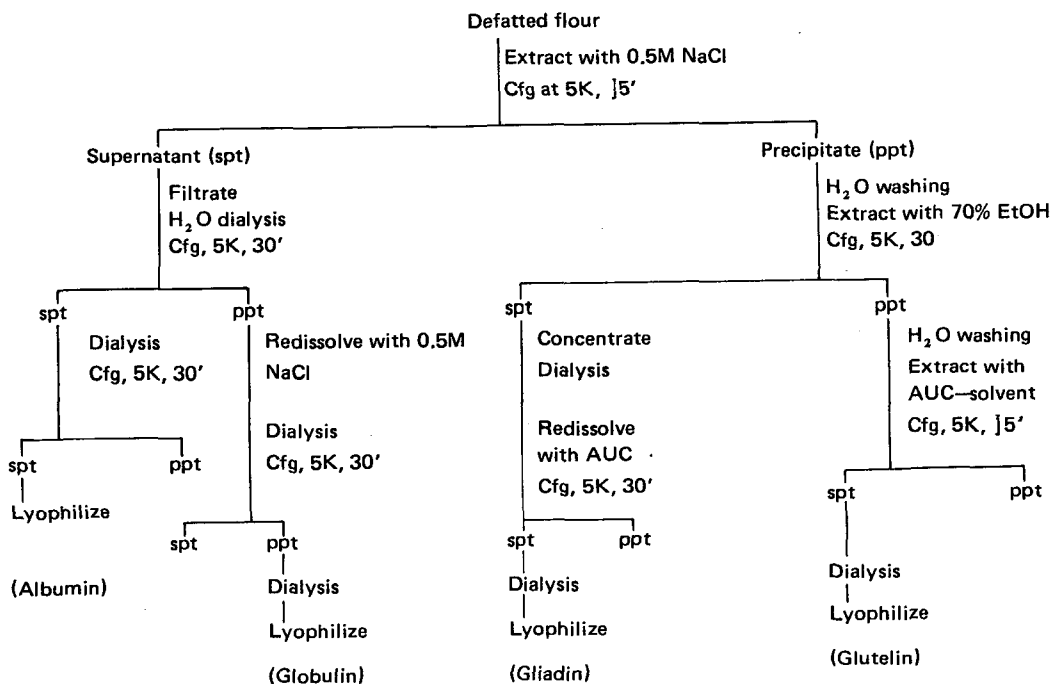


Fig. 1. Schematic representation of protein fractionation of Job's tears.

2. 단백질의 분리

울무쌀, 현염주 및 비교시료로서 쌀의 단백질 분리는 Osborne¹³⁾의 방법을 수정하여 Fig. 1과 같은 조작으로 4가지 분획(알부민, 글로불린, 글리아딘, 글루텔린)으로 분리하였다.

수용성 단백질(알부민)과 염용성 단백질(글로불린)의 추출은 0.5M NaCl을 용매로 시료대 용매의 비율은 1:5(W/V)로 하여 2시간 동안 magnetic stirrer에서 최저 속도로 교반하였다. 추출시의 pH는 0.5N NaOH 용액으로 pH 8로 조절하였으며, 추출후 냉장고(4°C)에서 4시간 동안 정지 후 원심분리(5,000 rpm, 15분)하였다.

상등액을 Whatman #1 여과지를 통하여 여과하고 4°C에서 증류수로 48시간 투석한 후 원심분리(5,000 rpm, 30분)하였다.

이 상등액을 증류수로 24시간 재투석하고 원심분리하여 상등액을 얻었고 이를 냉동건조하여 알부민을 얻었다. 앞의 침전물은 소량의 0.5M-NaCl 용액으로 재용해시켜 24시간 투석하여 원심분리(5,000 rpm, 30분)후 침전물을 얻었으며, 여기에 증류수를 가한 후 재투석한 다음 냉동 건조시켜 글로불린을 얻었다.

0.5M NaCl 추출후 얻어진 잔사는 증류수로 세척 후 70% 에탄올 용액으로 추출하여 원심분리(5,000 rpm, 15분)하였으며, 상등액은 40°C에서 회전 진공증발기로 농축하여 0.01N-acetic acid로 4°C에서 24시간 투석하였다. 투석시킨 crude 글리아딘을 소량의 AUC용매(0.01N-acetic acid, 3M-urea, 0.01N-cetyltrimethylammonium bromide)에 재용해 후 원심분리(5,000 rpm, 30분)하여 상등액을 모아 다시 증류수로 투석하여 냉동건조하여 글리아딘을 얻었다.

70% 에탄올 추출후 얻어진 잔사는 증류수로 세척후 AUC 용매로 추출하고 원심분리(5,000 rpm, 15분)하였으며, 상등액은 여과하여 증류수에 투석한 후 냉동건조하여 글루텔린을 얻었다.

3. 단백질 분획의 전기영동

분획한 단백질들의 단백질 농도는 Lowry법¹⁴⁾으로 정량하였으며, 표준단백질로서 Bovine serum albumin을 사용하였다. 흡광도는 700 nm에서 Beckman DU-65 spectrophotometer를 사용하여 측정하였다.

A. Polyacrylamide Gel Electrophoresis (PAGE)

울무쌀, 현염주 및 비교시료로서 쌀의 분획 단백질의 polyacrylamide disc gel electrophoresis (disc-PAGE)는 다음과 같이 실시하였다.

a. 염기성 완충용액(pH 8.3)

Ornstein¹⁵⁾과 Davis¹⁶⁾의 방법에 따라 0.15×16×20 cm의 평판 겔에서 실시하였다. 각 단백질 용액은 2~3 mg/ml의 농도로 조제한 후 각각 30~40 μl의 시료를 주입하고 시료 한개당 3~5 mA의 전류를 통하여 tris-glycine buffer (pH 8.3)에서 bromophenol blue를 tracer로 6~8시간 동안 영동시켰다. 영동이 끝난 겔은 0.25%-Coomassie brilliant blue 용액에서 30분 동안 염색시킨 후, 10%-초산 & 20%-메탄올 용액으로 수일간 탈색시킨 다음 겔을 건조시킨 후 보존하였다.

b. 산성 완충용액(pH 4.5)

Reisfeld¹⁷⁾의 방법에 따라 실시하였다. 시료 한개당 3~5 mA의 전류를 통하여 β-alanine-acetic acid buffer (pH 4.5)에서 methylene blue를 tracer로 하여 6~8시간 동안 영동시킨 후 a, 와 같은 방법으로 고정, 염색하여 탈색, 보존하였다.

B. Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

Laemmli의 방법¹⁸⁾에 따라 SDS-PAGE를 실시하였다. 각 단백질 용액은 10% 2-mercaptoethanol & 4% SDS를 함유한 0.125 M Tris-HCl buffer (pH 6.8)를 용매로 단백질농도 3~5 mg/ml이 되도록 조제한 후, 끓는 수조에서 3~5분간 끓인 후 10~30 μl의 시료를 각각 취해 sample well에 주입하였다. 시료 한개당 3~5 mA의 전류를 통하여 Tris-glycine buffer (pH 8.3)에서 bromophenol blue를 tracer로 하여 5~6시간 동안 영동시킨 후 a, 와 같은 방법으로 고정, 염색하여 탈색, 보존하였다. 이때 분자량 측정용 표준 물질은 Bovine serum albumin (MW 66,000), Egg albumin (MW 45,000), Glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (MW 36,000), Carbonic anhydrase (MW 29,000), Trypsinogen (MW 24,000), Trypsin inhibitor (MW 20,100), α-lactalbumin (MW 14,200)을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 단백질의 분리

울무쌀, 현염주 및 쌀을 각각 60 mesh로 분쇄한 후

n-Hexane으로 3회 탈지하여 건조한 시료로부터 변형된 Osborne 방법으로 알부민, 글로불린, 글리아딘 및 글루텔린을 각각 추출하였다. 단백질의 추출율은 울무쌀이 3.4%였으며, 현엽주 4.2%, 백미가 13.0%였다. Bietz 등¹⁹⁾은 단백질의 추출은 용매들이 사용된 순서, 추출방법의 강도 및 추출시료의 처음 상태에 따라 달라진다고 한 바 있다. 울무쌀의 경우 추출된 글로불린의 일부는 추출과정에 변성되어 원심분리에 의해 제거되었으며 이들은 계산에 포함되지 않았다. 또한 글루텔린의 일부는 AUC 용매로 추출시 낮은 온도에서는 잘 추출이 되지 않았으며 투석에 있어서도 상당히 문제가 있어 수율이 매우 낮았다. 따라서 여기서 분리된 분획들은 비록 단백질 추출율은 매우 낮았으나 각각의 용해 특성에 따라서 분리되었다. 호¹¹⁾는 50 mesh로 분쇄한 울무쌀의 탈지 시료를 H₂O, 0.5 M-NaCl, 70% 에탄올, 0.1 N-NaOH의 순으로 추출했을 때 76.2%의 추출율을 보였다고 하였다. Padhye 등²⁰⁾은 Osborne 분획방법으로 분리한 쌀의 단백질 추출율은 26.4%라고 보고하였다. Cagampang 등²¹⁾은 100 mesh로 분쇄한 쌀을 20배량의 0.1 N-NaOH 용액으로 6시간 동안 처리했을 때 배유단백질의 97%가 추출되었다고 보고하였으며, Padhye 등²²⁾은 단백질의 추출은 극단의 pH, polyphosphates 및 세제같은 화학제 사용으로 보다 효율적으로 될 수 있다고 하였다. 그러나 이렇게 추출된 단백질에는 변형된 분자나 다른 잔기들이 오염되어 있게 된다고 하였다. 울무쌀의 경우 알부민, 글로불린, 글리아딘 및 글루텔린의 비율이 각각 17.4 : 19.6 : 55.2 : 7.7이었으며, 현엽주의 경우는 각각 12.6 : 62.2 : 4.2 : 21.0이었고 쌀의 경우는 각각 14.2 : 57.4 : 0.71 : 27.8 이었다. 한편 호¹¹⁾는 울무쌀에서 추출한 이들 단백질들의 비율이 각각 24.25 : 14.05 : 21.35 : 40.35라고 보고하여, 호의 결과와 비교할 때 본 실험의 결과가 글리아딘의 비율이 매우 높고 글루텔린의 비율이 매우 낮았다. 현엽주의 경우는 울무쌀에 비해 글로불린의 비율이 매우 높고 글리아딘의 비율이 매우 낮았다. 또한 쌀의 경우는 Padhye 등²⁰⁾이 보고한 바에 따르면 쌀에서 각각 8 : 9.5 : 12.5 : 70 이었으며, Jaliano가 보고한 바에 따르면 쌀겨에서 30 : 14 : 5 : 51 이었으며 백미에서 5 : 9 : 3 : 83 이었다.

이들의 결과와 비교할 때 상당한 조성상의 차이가 나타났는데, 이는 단백질 추출과정에 글로불린 및 글루텔린의 일부가 변성으로 인하여 제거되고 추출온도 및 추출

시간의 변수들이 작용한 것으로 사료된다.

2. 단백질 분획의 전기영동

A. Polyacrylamide Gel Electrophoresis(PAGE)

Ornstein¹⁵⁾과 Davis¹⁶⁾의 방법에 따라 염기성 완충용액(pH 8.3)에서, Reisfeld의 방법에 따라 산성 완충용액(pH 4.5)에서 전기영동을 실시한 경우, 울무쌀, 현엽주 및 쌀에서 분리된 단백질들의 전기영동상은 Fig. 2, 3과 같다. Polyacrylamide 겔상에서 native 단백질들의 분리는 전하뿐만 아니라 분자들의 크기에 따라 크게 좌우되는데, 울무쌀과 현엽주에서 분리된 단백질들중 알부민과 글로불린은 대체로 비슷한 경향을 나타내면서 분리되었다. 쌀단백질의 경우는 울무쌀, 현엽주와는 다른 경향을 보였다. 알부민의 전기영동 패턴을 보면 세

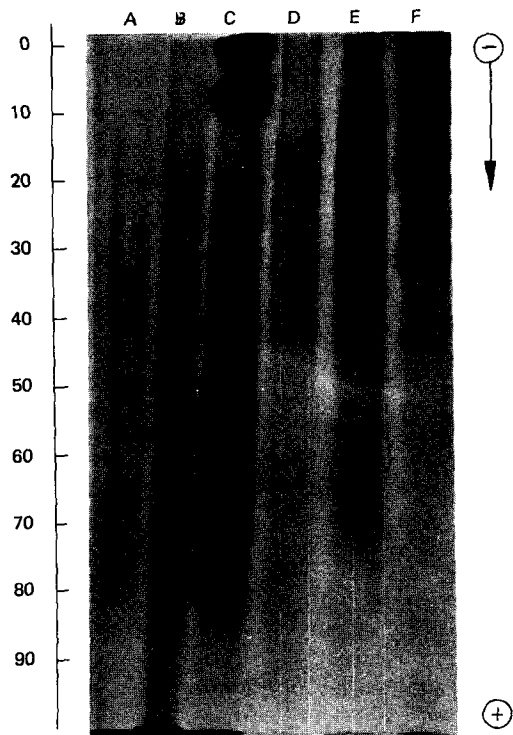


Fig. 2. Polyacrylamide gel electrophoresis of Job's tears and rice proteins at high pH system : A, Yulmoo albumin ; B, Yeomjoo albumin ; C, rice albumin ; D, Yulmoo globulin ; E, Yeomjoo globulin ; F, rice globulin.

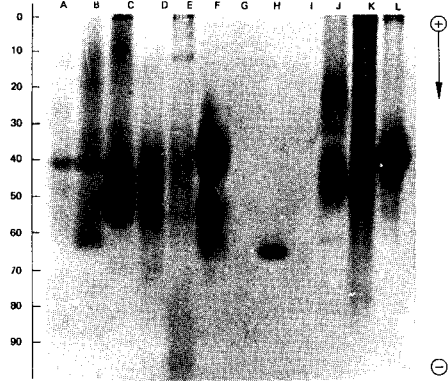


Fig. 3. Polyacrylamide gel electrophoresis of Job's tears and rice proteins at low pH system : A, Yulmoo albumin ; B, Yeomjoo albumin ; C, rice albumin ; D, Yulmoo globulin ; E, Yeomjoo globulin ; F, rice globulin ; G, Yulmoo gliadin ; H, Yeomjoo gliadin ; I, rice gliadin ; J, Yulmoo glutelin ; K, Yeomjoo glutelin ; L, rice glutelin.

방법에 따라 SDS-PAGE로 분석한 결과는 Fig 4와 같으며, 분자량 표지로 쓰인 표준단백질 곡선은 Fig. 5와

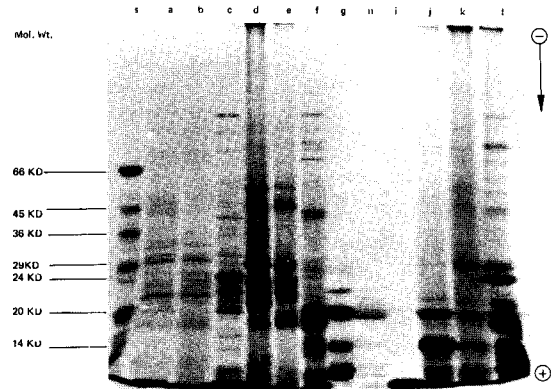


Fig. 4. SDS-polyacrylamide gel electrophoresis of Job's tears and rice proteins : s, protein size marker ; a, Yulmoo albumin ; b, Yeomjoo albumin ; c, rice albumin ; d, Yulmoo globulin ; e, Yeomjoo globulin ; f, rice globulin ; g, Yulmoo gliadin ; h, Yeomjoo gliadin ; i, rice gliadin ; j, Yulmoo glutelin ; k, Yeomjoo glutelin ; l, rice glutelin.

시료 모두 산성 pH 조건에서 보다 염기성 pH 조건에서 더 많은 단백질들이 분리되었음을 알 수 있다. 이것으로부터 알부민에는 염기성 단백질보다 산성 단백질들이 더 많다는 것을 예측할 수 있었다. 글로불린의 경우에는 산성 pH 조건과 염기성 pH 조건 모두 분리된 단백질 수가 비슷했다. 그런데 단백질의 분리능은 염기성 pH 조건에서가 더 좋았다.

글리아딘의 경우에는 산성 pH 조건과 염기성 pH 조건에서 모두 분리가 잘 안 일어났다. 전기영동시 글리아딘은 stacking 겔로 내려오면서 단백질들끼리 응집되는 것이 확인되었는데, 이는 글리아딘의 소수성으로 인한 것으로 생각된다. 따라서 urea나 non-ionic detergent (Triton X-100)를 포함한 용매를 사용하여 전기영동을 해보아야 할 것으로 생각된다. 글루텔린은 산성조건에서만 분리가 일어났는데, 분리능은 알부민이나 글로불린보다 좋지 못했다. 이것은 글리아딘과 같은 이유로 설명되어질 수 있다.

B. Sodium Dodecyl Sulfate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE)

울무쌀, 현염주 및 쌀의 단백질 분획들을 Laemmli¹⁸⁾

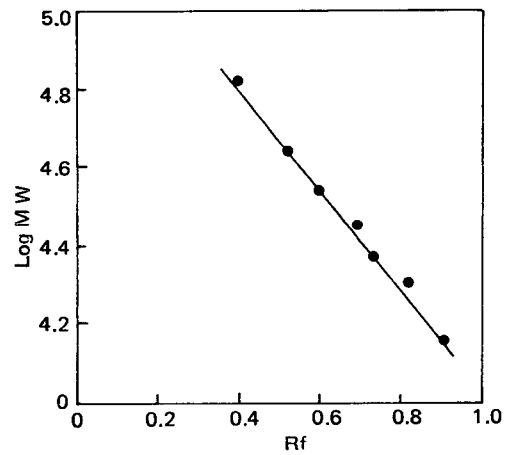


Fig. 5. Calibration curve using the molecular weight standard markers - a, Bovine albumin (66,000) ; b, Egg albumin (45,000) ; c, Glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase (36,000) ; d, Carbonic anhydrase (29,000) ; e, Trypsinogen (24,000) ; f, Trypsin inhibitor (21,100) ; g, α -lactalbumin (14,200).

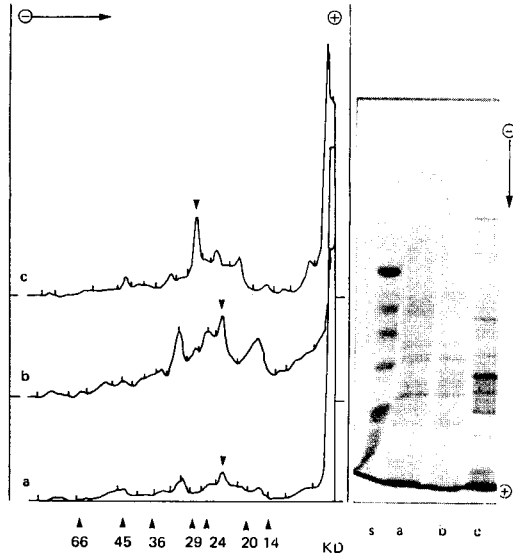


Fig. 6. Densitometric analysis of Coomassie blue stained albumin bands separated by SDS-PAGE : s, protein size marker ; a, Yulmoo albumin ; b, Yeomjoo albumin ; c, rice albumin.
 ▲ denotes main protein band.

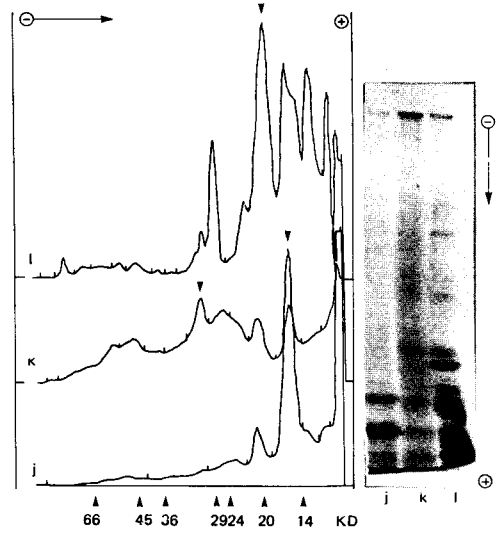


Fig. 8. Densitometric analysis of Coomassie blue stained gliadin bands separated by SDS-PAGE : g, Yulmoo gliadin ; h, Yeomjoo gliadin ; i, rice gliadin.
 ▲ denotes main protein band.

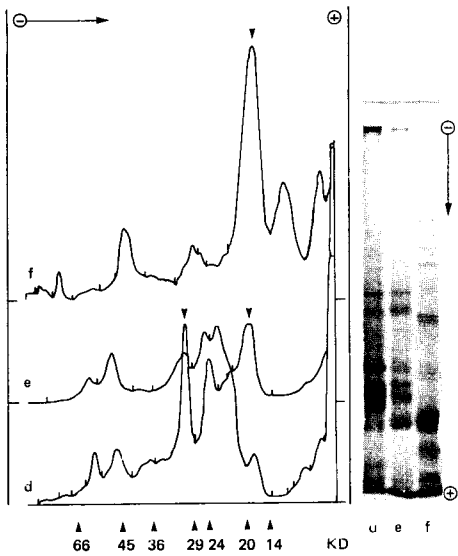


Fig. 7. Densitometric analysis of Coomassie blue stained globulin bands separated by SDS-PAGE : d, Yulmoo globulin ; e, Yeomjoo globulin ; f, rice globulin.
 ▲ denotes main protein band.

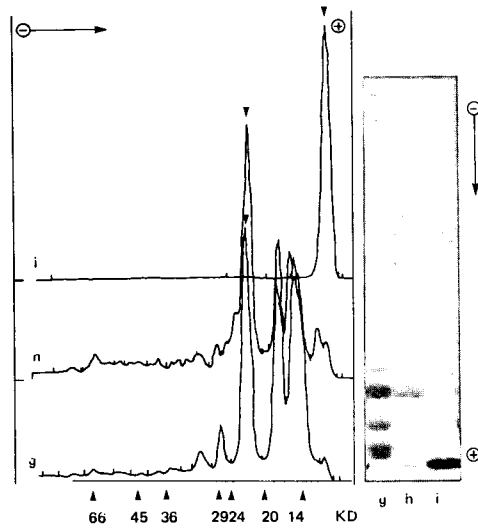


Fig. 9. Densitometric analysis of Coomassie blue stained glutelin bands separated by SDS-PAGE : j, Yulmoo glutelin ; k, Yeomjoo glutelin ; l, rice glutelin.
 ▲ denotes main protein band.

같다. 울무쌀과 현염주에서 분리된 단백질 분획들은 동일한 용해특성을 갖는 분획간에 전기영동상 패턴에서 밀접한 유사성을 보였다. 그러나 비교시료로 사용된 쌀의 단백질 분획과는 전기영동 패턴에서 뚜렷한 차이가 있었다. 이들의 전기영동 패턴의 자세한 비교를 위하여 densitometer로 분석한 결과는 Fig. 6-9 및 Table 1과 같다. 알부민에 있어서 울무쌀과 현염주의 경우에는 subunit의 분자량이 대략 20~66 KDa 사이에서 분리가 잘 일어났고, 쌀의 경우에는 분자량의 분포가 10~10² KDa까지로 넓었으며 분리능도 좋았다. 글로불린에 있어서도 울무쌀과 현염주의 전기영동 패턴은 유사했으며, 쌀의 패턴과는 차이가 있었다. 글리아딘에 있어서 울무쌀과 현염주에서는 subunit 분자량이 10~25 KDa 사이에서 5~7개 정도의 띠가 분리되었고 쌀에서는 10 KDa 정도에 단일 띠가 분리되었다. 글루텔린에서도 울무쌀과 현염주의 전기영동 패턴에는 유사성이 있었으나, 현염주의 경우 울무쌀에서보다 전기영동 분리의 질적인 면이 떨어지는 차이가 있었다. 이것은 현염주의 글루텔린 추출시 완전히 제거되지 않은 지질의 영향으로

사료된다.

이상의 결과에서 울무쌀과 현염주의 전기영동적 단백질 조성이 매우 유사하게 나타난 것은, 두 곡류 사이에 유전적인 근친성이 높다는 것을 의미한다. 따라서 이 결과는 울무와 염주의 분류에 대한 두가지 견해에서¹⁾ 울무가 염주의 변종이라는 견해를 뒷받침할 수 있는 것으로 사료된다.

IV. 요약

울무와 염주 단백질의 식품 이화학적 특성을 알아보고자 울무쌀, 현염주 및 비교시료로서 쌀의 3가지 시료를 가지고 실험한 결과는 아래와 같다.

1. 분리단백질의 분포는 울무쌀의 경우 알부민, 글로불린, 글리아딘 및 글루텔린의 비율이 각각 17.4 : 19.6 : 55.2 : 7.7%였으며, 현염주는 12.6 : 62.2 : 4.2 : 21.0%였고, 백미는 14.2 : 57.4 : 0.77 : 27.8%였다. 그러나 단백질의 분획과정에 변성으로 인하여 글로불린, 글루텔린의 손실이 있었고, 추출율이 상당히 낮아서 3.4~13.0% 정도였으므로 단백질의 추출방법은 더 연구되어야 할 것으로 사료된다.

2. 산성 및 염기성 조건에서 실시한 Polyacrylamide gel electrophoresis의 결과, 울무쌀과 현염주의 단백질 분획들은 유사한 전기영동 패턴을 나타냈으며, 백미의 경우는 이들과 다른 전기영동 패턴을 나타냈다. Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis의 전기영동상은 울무쌀과 현염주 간에 band의 분포가 매우 유사하였으나, 그 조성비율에 있어서는 다소 차이가 있었다. 쌀의 경우는 이들과 뚜렷이 다르게 나타났는데, 특히 gliadin의 경우 울무쌀과 현염주에서는 분자량 10,000~30,000 사이에 여러개의 띠가 확인되었으나 백미에서는 분자량 12,000 정도에 해당하는 하나의 띠만이 확인되었다. 따라서 울무와 염주는 식물학적으로 밀접한 관계에 있음이 확인되었으며, 이들과 백미단백질의 전기영동상의 차이는 유전적인 인자의 차이에 의한 것으로 보여진다.

참고 문헌

- 1) Yoshiko, I., Kang, M.Y., Asaoka, M., Sakamoto, S. and Fuwa, H.: Some properties of starches of Job's

Table 1. Densitometric analysis of Coomassie blue stained protein bands separated by SDS-PAGE.

	Main protein	
	Mol. Wt. (KD)	Content (%)
Albumin		
Polished Yulmoo	23.8	8.1
Brown Yeomjoo	23.8	11.2
Rice	27.6	13.6
Globulin		
Polished Yulmoo	29.2	19.1
Brown Yeomjoo	20.0	15.0
Rice	20.0	37.1
Gliadin		
Polished Yulmoo	21.8	26.2
Brown Yeomjoo	21.8	29.1
Rice	12.0	90.4
Glutelin		
Polished Yulmoo	15.8	36.1
Brown Yeomjoo	32.9	11.3
Rice	17.8	27.0

- tears, *Jpn. Soc. Starch Sci.*, **30**(1), 5, 1983.
- 2) 진갑덕 : 울무의 이용 개발에 관한 연구, 영남대학교 울무개발 연구단 연구보고, **2**, 1, 1974.
 - 3) 안선애 : 울무의 영양성분과 물리적 특성에 관한 연구, 한양대 대학원 석사학위논문, 1981. 6.
 - 4) 우자원, 윤계순, 김형수 : 울무와 엽주 전분의 이화학적 특성, *한국농화학회지*, **28**(1), 19, 1985.
 - 5) 우자원, 윤계순, 허문희, 김형수 : 6가지 찰전분류의 몇가지 이화학적 특성 비교, *한국농화학회지*, **28**(3), 137, 1985.
 - 6) 김형수, 우자원, 윤계순, 허문희 : 찰전분류의 이화학적 특성(점성)비교, *한국농화학회지*, **28**(4), 219, 1985.
 - 7) 신민자, 안명수 : 울무전분의 조리과학적 특성에 관한 연구, *한국조리과학회지*, **3**(2), 59, 1987.
 - 8) 한영숙, 구분순, 안명수 : 울무의 지질에 관한 연구, *대한가정학회지*, **24**(1), 59, 1986.
 - 9) 한지숙, 이숙희, 최홍식 : 울무의 극성지질의 조성에 관한 연구, *한국영양학회지*, **16**(1), 29, 1987.
 - 10) 우자원, 이미숙, 이희자, 김형수 : 울무와 엽주의 식이섬유, 아미노산 및 지질 성분의 비교, *한국식품과학회지*, **21**(2), 269, 1989.
 - 11) 호전기 : 울무쌀 단백질의 분리와 그 특성에 관한 연구, 중앙대 대학원 석사학위논문, 1984.
 - 12) Hayakawa, S., Suzuki, H. and Ohtsubo, K.: Effects of food processing and amino acid supplement on the nutritive value of Adlay protein, *Shokuhin Sogo Kenkyusho Kenkyu Hokoku*, No. 44, 45, 1984.
 - 13) Osborne, T.B.: *The vegetable proteins*, 2nd ed., Longman, Gree and Co., Londen, 1924.
 - 14) Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randall, R.J.: Protein measurement with the Folin phenol reagent, *J. Biol. Chem.*, **193**, 265, 1951.
 - 15) Ornstein, L.: Disc electrophoresis, I. Background and theory, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **121**, 321, 1964
 - 16) Davis, B.J.: Disc electrophoresis. II. Method and application to human serum proteins, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **121**, 404, 1964.
 - 17) Reisfeld, R.A., Lewis, V.J. and Williams, D.E.: Disk electrophoresis of basic proteins and peptides on polyacrylamide gels, *Nature (London)*, **195**, 281, 1962.
 - 18) Laemmli, U.K.: Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T₄, *Nature (London)*, **227**, 680, 1970.
 - 19) Bietz, J.A. and Wall, J.S.: The effect of various extractants on the subunit of various extractants on the subunit composition and association of wheat glutenin, *Cereal Chem.*, **52**, 145, 1975.
 - 20) Padhye, V.W. and Salunkhe, D.K.: Extraction and characterization of rice proteins, *Cereal Chem.*, **56**(5), 389, 1979.
 - 21) Cagampang, G.B., Cruz, L.J., Espiritu, S.G., Santiago, R.G. and Juliano, B.O.: Studies on the extraction and composition of rice proteins, *Cereal Chem.*, **43**, 145, 1966.
 - 22) Padhye, V.W. and Salunkhe, D.K.: Biochemical Studies on Black Gram (*Phaseolus Mungo* L.), I. Solubilization and electrophoretic characterization of the proteins, *J. Food Biochem.*, **1**, 111, 1977.
 - 23) Juliano, B.O.: The rice caryopsis and its composition, in Houston, D.F. (ed.), *Rice: chemistry and technology*, *Am. Assoc. Cereal Chem.*, St. Paul, MN, 1972.