

쌀의 아밀로펙틴 분자구조와 밥의 텍스처

강길진 · 김 관* · 김성곤**

서울대학교 농업생물신소재연구센터, *전남대학교 식품공학과
**단국대학교 식품영양학과

Relationship between Molecular Structure of Rice Amylopectin and Texture of Cooked Rice

Kil Jin Kang, Kwan Kim* and Sung Kon Kim**

Research Center for New Bio-Materials in Agriculture, Seoul National University, Suwon

*Department of Food Science and Technology, Chonnam National University

**Department of Food Science and Nutrition, Dankook University

Abstract

The relationship between the molecular structure of amylopectin and the texture of cooked rice was investigated using Korean rice [3 varieties of Japonica type and 3 varieties of Tongil type(Japonica-Indica breeding type)]. The molecular structure of rice amylopectin was polymodal and distributed A chain of \overline{DP} 12.4, short B chain of \overline{DP} 20.6, B chain of \overline{DP} 26.3, long B chain of \overline{DP} 45 and super long chain of above \overline{DP} 55. The super long chain of amylopectin was composed of long linear chain with poorly branched chain. Also, the super long chain of amylopectin showed positive correlated with average chain length, inherent viscosity and β -amyloysis limit(%), but negative correlated with λ_{max} of iodine reaction of amylopectin. The structural properties of amylopectin in Japonica type were different from those of amylopectin in Tongil type. In relationship between molecular structure of amylopectin and texture of cooked rice, the average chain length, inherent viscosity, β -amyloysis limit and super long chain of amylopectin was showed a positive correlation with hardness, but a negative correlation with adhesiveness of cooked rice. The long chain of rice amylopectin is the less, the eating quality of cookd rice was the better. These results suggest that the molecular structure of rice amylopectin could be responsible for the texture of cooked rice.

Key words: rice, amylopectin, β -limit dextrin, molecular structure, texture of cooked rice, super long chain.

서 론

밥을 씹음에 있어서 그 식감은 쌀을 주식으로 하는 우리에게는 큰 관심거리이며, 쌀의 품질 평가의 지표이기도 하다. 이러한 밥의 식감은 결국 쌀의 90% 이상을 차지하고 있는 전분에 의하여 좌우됨은 틀림없다. 지금까지 밥의 식감에 영향을 미치는 인자로서는 전분의 아밀로오스 함량, 호화 성질, 겔 강도, 알카리 붕괴도 등이 알려져 있지만⁽¹⁾ 전분의 분자 구조적 측면에서 식미를 이해하려는 연구는 아직 부족한 실정이다. 전분은 주로 직쇄로 이루어진 아밀로오스와 측쇄를 가진 아밀로펙틴으로 구성되어 있다. 최근, 아밀로펙틴의 분자 구조는 α -1,4-glucoside 결합한 사슬이 약 4~6%의 α -1,6-gluco-

side 결합에 의해 연결된 cluster⁽²²⁾로서 세 부류의 사슬로 되어 있는데, 전분 입자의 결정 영역을 구성하면서 평균 사슬 길이 11~25 글루코오스 단위의 짧은 사슬로 된 주 사슬과 내부 연결 개개의 cluster 인 평균 사슬 길이 40~70 글루코오스 단위의 긴 사슬, 그리고 평균 사슬 길이 100 글루코오스 단위 이상의 초장쇄를 가진 구조인 것으로 알려져 있다^(10,28). 아밀로펙틴은 베타-아밀라아제에 의하여 알파-1,4 결합이 비환원성 말단에서 순차적으로 끊겨, 알파-1,6 결합(가지점)에 알파-1,4 결합 2~3 개를 가진 베타-한계덱스트린을 남긴다. 이러한 베타-한계덱스트린은 아밀로펙틴의 분자구조를 연구하는데 이용되고 있다.

저자들은 쌀전분의 분자 구조와 밥의 텍스처와 관련성에 대하여 일련의 연구⁽²⁻⁶⁾를 하여 왔으며, 아밀로오스의 열수 용출율과 아밀로오스의 분자크기가 밥의 텍스처에 밀접한 관계가 있음을 밝혔다. 아밀로펙틴의 분자구조에 의한 쌀의 특성에 관한 연구는, Takeda^(7,24)에

Corresponding author: Kil Jin Kang, Reserch Center for New Bio-Materials in Agriculture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

의한 일본형 쌀과 인도형 쌀의 차이가 아밀로펙틴에 있다는 보고와 최근 Reddy들⁽⁹⁾에 의한 밥의 텍스처 차이가 아밀로펙틴의 긴 B 사슬과 불용성 아밀로오스와와의 결합 차이에 기인한다는 보고가 있다. 따라서 본 연구에서는 아밀로오스 뿐만 아니라 아밀로펙틴의 분자 구조도 밥의 텍스처에 영향을 미칠것으로 생각하여 아밀로오스 함량은 20% 내외로서 비슷하지만 밥의 식미가 다른 일반계와 통일계 쌀의 아밀로펙틴과 그 베타-한계덱스트린의 분자구조적 특성을 조사하고 밥의 텍스처와의 관련성을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

시료 벼는 전보⁽²⁻⁶⁾에서와 같은 일반계인 동진벼, 우청벼, 탐진벼와 통일계인 삼강벼, 남영벼, 용주벼를 사용하였다.

아밀로펙틴의 분리

알카리 침지법⁽⁸⁾으로 분리한 쌀 전분을 메탄올로 탈지한 후 Takeda와 Hizukuri⁽⁷⁾의 방법으로 전보⁽³⁾와 같이 아밀로오스와 아밀로펙틴을 분리하였다.

아밀로펙틴 베타-한계덱스트린의 조제

아밀로펙틴에서의 베타-한계덱스트린은 Hizukuri와 Maehara⁽¹⁰⁾의 방법에 의하여 조제하였다. 아밀로펙틴 2.5 g에 50 mM 초산 완충용액(pH 4.8) 100 ml와 고구마 베타-아밀라아제(Sigma Co.) 10,000 단위를 혼합하고 셀룰로오스 튜브에 넣고 밀봉하였다. 이를 50 mM 초산 완충용액(pH 4.8) 2 l가 들어 있는 용기에 넣고 37°C에서 48시간 반응시켰다. 용기중의 완충 용액은 반응 12시간까지는 3시간 마다 교환하고 그 이후는 용기중의 완충

용액에 대하여 케놀-황산법으로 당을 측정하고, 당이 용출되지 않을 때까지 완충 액을 교환하면서 반응시켰다. 이때 용출된 당은 모두 말토오스로 확인되었다. 100°C에서 20분 가열로 반응을 종결시키고 10,000×g에서 10분간 원심분리하여 응집된 단백질(효소)을 제거하였다. 상정액은 에탄올 100 ml와 0.1% lithium bromide 0.05 ml를 넣어 3,000×g에서 20분간 원심분리한 다음 침전물은 다시 물 20 ml에 녹이고 에탄올 20 ml와 0.1% lithium bromide 0.05 ml를 넣어 3,000×g에서 20분간 원심분리하였다. 침전물에 에탄올과 에테르를 반복 처리하여 탈수하고 calcium chloride와 함께 감압 건조하여 베타-한계 덱스트린을 얻었다.

분자구조적 성질 측정

아밀로펙틴의 평균 사슬길이(\overline{CL})는 과요오드산 산화법⁽¹¹⁾으로 측정하고 바깥 사슬길이(\overline{OCL})와 안쪽 사슬길이(\overline{ICL})는 Lee들⁽¹²⁾의 식으로 계산하였다. 요오드반응은 Williams들⁽¹³⁾의 방법에 따라 측정하였다. 시료(0.5 g/100 ml)의 고유점도는 Cannon-Ubbelohde 점도계(No. 75)를 사용하여 30°C에서 측정하였다⁽¹⁴⁾. 아밀로펙틴의 베타-아밀라아제 분해한도는 Suzuki들⁽¹⁵⁾의 방법에 의하여 전당과 환원당의 비율로서 구하였다. 시료의 중합도는, 전당량을 Phenol-sulfuric acid법⁽¹⁶⁾, 환원력을 Park-Johnson법을 개량한 Hizukuri들⁽¹⁷⁾의 방법으로 측정하고, 그 비로서 구하였다.

아밀로펙틴의 사슬 분포

아밀로펙틴과 베타-한계덱스트린의 효소 처리(pullulanase, β -amylase)와 이에 대한 겔 크로마토그래피(Sephacrose CL-2B, Sephadex G-50)의 모든 조건은 전보^(3,18)와 같이 행하여 사슬 분포를 측정하였다.

Table 1. Properties of rice amylopectin and β -limit dextrin

	Amylopectin					β -limit dextrin					
	CL ¹⁾	OCL ²⁾	ICL ³⁾	Iodine reaction A_{625} ⁴⁾	Inherent λ_{max} (nm) ⁵⁾	Inherent viscosity(ml/g)	β -amylolysis limit(%)	Iodine reaction A_{625}	Inherent λ_{max} (nm)	Inherent viscosity(ml/g)	DP _n ⁶⁾
Japonica type											
Tongjinbyeo	21.9	14.6	6.3	0.085	520	87	57.5	0.099	515	94	1900
Chucheongbyeo	21.0	13.8	6.2	0.091	520	67	56.3	0.091	518	78	1800
Tamjinbyeo	21.5	14.2	6.3	0.086	520	85	57.1	0.110	515	105	2100
Tongil type											
Samgangbyeo	22.5	15.2	6.3	0.090	518	116	58.9	0.112	515	120	2000
Namyongbyeo	22.7	15.4	6.3	0.080	516	128	59.3	0.116	513	128	2300
Yonggiubyeo	22.7	15.3	6.4	0.089	516	120	58.8	0.110	513	124	2200

1)Average chain length(glucose units)
 2)Average outer chain length(glucose units)
 3)Average inner chain length(glucose units)
 4)Absorbance at 625 nm
 5)Wave of maxium absorption for iodine complex
 6)Number-average degree of polymerization

결과 및 고찰

아밀로펙틴의 분자구조적 특성

구조적 일반성질 : 쌀의 아밀로펙틴과 그 베타-한계덱스트린에 대한 구조적 일반 성질은 Table 1과 같다. 아밀로펙틴의 평균 사슬길이는 일반계가 21.0~21.9 글루코오스 단위, 통일계가 22.5~22.7 글루코오스 단위로서 일반계 보다 길었다. Takeda들⁽⁷⁾은 쌀 아밀로펙틴의 평균 사슬길이는 자포니카형이 19~20 글루코오스 단위, 인도형이 21~22 글루코오스 단위라고 하였고 김과 안⁽¹⁹⁾은 우리나라 두 품종의 경우 아밀로펙틴의 평균 사슬길이 23~24 글루코오스 단위라고 하였다. 바깥 사슬길이는 일반계가 13.8~14.6 글루코오스 단위, 통일계가 15.2~15.4 글루코오스 단위로서 통일계가 약간 길었고, 안쪽 사슬길이는 일반계와 통일계 모두 6.2~6.4 글루코오스 단위로서 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 아밀로펙틴의 평균 사슬길이는 주로 바깥 사슬길이에 영향을 받는 것으로 생각된다.

아밀로펙틴-요오드 복합체의 최대흡수파장은 일반계가 520 nm, 통일계가 516~518 nm이었다. Cura와 Krisman⁽²⁰⁾은 최대흡수파장은 아밀로펙틴의 가지점(α -1,6 결합)의 함량과 부의 상관 관계를 보인다고 하였다. 따라서 일반계와 통일계의 아밀로펙틴의 최대흡수파장이 서로 다른 것은 서로 구조가 다를 수 있음을 암시하고 있다.

아밀로펙틴의 고유점도는 일반계가 67~87 ml/g으로 통일계의 116~128 ml/g 보다 낮았다. 베타-아밀라아제 분해한도는 일반계가 56.3~57.5%, 통일계가 58.8~59.3%로서 통일계가 2% 정도 높은 값을 보였다. Takeda들⁽⁷⁾은 자포니카형 쌀 아밀로펙틴의 베타-아밀라아제 분해한도는 58~59%, 인디카형은 56~59%라고 하여 본 실험 결과와 비슷한 값을 보였다. 그러나 김과 안⁽¹⁹⁾은 일반계(천마벼)와 통일계(용문벼) 쌀 전분의 경우, 55% 정도라고 하였다. 통일계 아밀로펙틴의 베타-아밀라아제 분해한도가 일반계 보다 높다는 것은 앞에서 설명한 아밀로펙틴의 바깥 사슬길이가 통일계가 일반계 보다 길다는 것과 부합되는 것이었다.

베타-한계 덱스트린-요오드 복합체의 최대흡수파장은 일반계가 515~518 nm, 통일계가 513~515 nm로서 일반계는 아밀로펙틴의 최대흡수파장 보다 3~5 nm, 통일계는 3 nm가 낮은 값을 보였다. Biliaderis들⁽²¹⁾은 smooth pea의 아밀로펙틴 베타-한계 덱스트린의 최대흡수파장은 525 nm이고 평균 사슬길이는 10.2 글루코오스 단위라고 하였다. 고유점도는 일반계가 78~105 ml/g으로 통일계의 120~128 ml/g 보다 낮았다. 이 값은 일반계의 경우 아밀로펙틴의 고유점도 보다 7~20 ml/g이 높은 값이었고, 통일계는 거의 차이를 보이지 않았다. 베타-한계 덱스트린의 중합도는 일반계가 1800~2100 글루코오스 단위로서 통일계의 2000~2300 글루코오스 단위 보다 낮았다.

사슬 분포 : 아밀로펙틴에 pullulanase, β -amylase 그

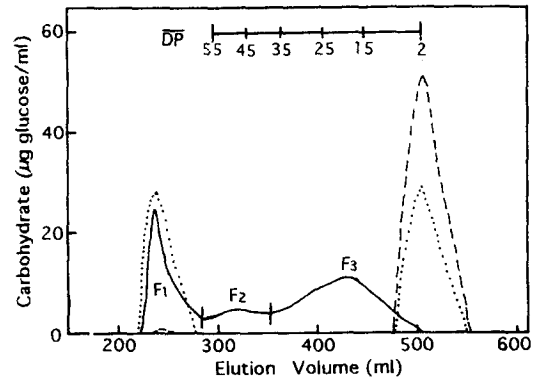


Fig. 1. Elution profiles on Sephadex G-50 of rice amylopectin treated with pullulanase (—), β -amylase (···) and combination (---)

Table 2. Carbohydrate proportion(%) of each fraction in gel chromatography of rice amylopectin debranched by pullulanase

	Debranched by pullulanase ¹⁾			
	F1	F2	F3	F3/F2
Japonica type				
Tongjinbyeo	27.7	17.4	54.9	3.15
Chucheongbyeo	24.1	17.6	59.3	3.36
Tamjinbyeo	28.5	17.2	54.3	3.16
Tongil type				
Samgangbyeo	30.0	17.5	52.5	3.00
Namyongbyeo	33.0	17.1	49.9	2.92
Yongjubyeo	34.3	16.9	48.8	2.90

¹⁾from Fig. 1

리고 pullulanase와 β -amylase를 혼합 처리한 다음 Sephadex G-50에 의한 용출패턴을 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. pullulanase로 탈분지한 후의 용출패턴은 세 개의 확분을 보였는데 void volume 부근(획분 1), \overline{DP} 40~50 부근(획분 2) 그리고 \overline{DP} 15~20 부근(획분 3)이었다. β -amylase는 아밀로펙틴에 작용하여 말토오스(획분 2)와 베타-한계 덱스트린(획분 1)으로 분해하였다. 또한, pullulanase와 β -amylase를 혼합처리하는 아밀로펙틴을 모두 분해(말토오스, 글루코오스)하였다. Robin들⁽²²⁾은 아밀로펙틴 분자는 A 사슬(\overline{DP} 15~20)과 B 사슬(\overline{DP} =45)로 구성된 bimodal 사슬 분포를 가진다고 하였다. 본 실험에서의 획분 3는 Robin들⁽²²⁾이 제안한 A 사슬에 해당하며 획분 2는 B 사슬에 해당하였다. Takeda들⁽⁷⁾은 쌀의 아밀로펙틴에서 B 사슬(\overline{DP} 42)과 A 사슬(\overline{DP} 13) 이외에 초장쇄가 존재한다고 하였으며 이 초장쇄는 \overline{DP} 1000 정도이고 탈분지 후에는 \overline{DP} 12~220, \overline{CL} 85~100 이라고 하였다. 본 실험의 획분 1은 \overline{DP} 55 이상으로 Takeda들⁽⁷⁾이 주장한 초장쇄에 해당한다고 볼 수 있다.

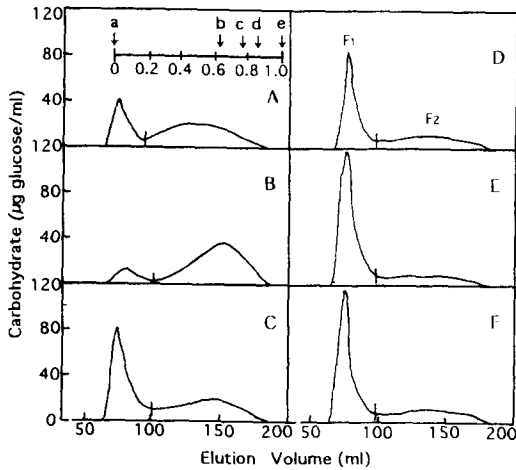


Fig. 2. Elution profiles on Sepharose CL-2B of amylopectin β -limit dextrin

A: Tongjinbyeo, B: Chucheongbyeo, C: Tamjinbyeo, D: Samgangbyeo, E: Namyongbyeo, F: Yongjubyeo
 a: Dextran(M.W. $500-4000 \times 10^4$), b: Dextran T-500(M.W. 50×10^4), c: Dextran T-40(M.W. 4×10^4), d: Dextran T-10(M.W. 1×10^4), e: Glucose

Table 3. Carbohydrate proportion(%) of each fraction in gel chromatography of β -limit dextrin of rice amylopectin

	F1 ¹⁾	F2 ²⁾	F2/F1
Japonica type			
Tongjinbyeo	31.4	68.6	2.19
Chucheongbyeo	18.0	82.0	4.55
Tamjinbyeo	50.3	49.7	0.99
Tongil type			
Samgangbyeo	61.3	38.7	0.63
Namyongbyeo	64.3	35.7	0.56
Yongjubyeo	63.3	36.7	0.58

¹⁾ and ²⁾ from Fig. 2

Table 2는 Fig. 1의 각 획분에 대한 탄수화물 분포를 나타낸 것이다. pullulanase 로 분해한 경우 획분 1(초장쇄)은 일반계가 24.1~28.5%로 통일계의 30.0~34.3%보다 낮았다. Takeda들⁽⁷⁾은 자포니카형 쌀 아밀로펙틴의 초장쇄는 6~9%, 인디카형은 14~20%라고 하였다. Hizukuri⁽²³⁾는 이 초장쇄가 껍쌀에는 존재하나 찰쌀에는 존재하지 않는 것이 특징이며 이 성분이 적을 수록 점성이 높고 노화가 잘 일어나지 않는다고 하였다. 또한 Hizukuri들^(7,23,24)은 자포니카형과 인디카형 쌀의 특징을 아밀로펙틴의 초장쇄로서 설명하고 인디카형 쌀의 아밀로펙틴 초장쇄는 자포니카형 보다 많다고 하였다. 획분 2에 대한 획분 3(A/B 사슬비)의 비율은 일반계가 3.15~3.36으로 통일계의 2.90~3.00 보다 약간 높았다. 김과 안⁽¹⁹⁾은 일반계인 천마벼와 통일계인 용문벼에서 각각

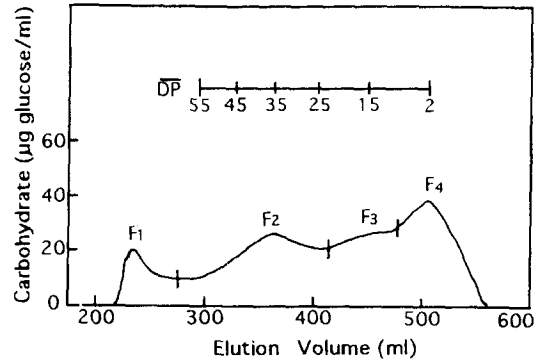


Fig. 3. Elution profiles on Sephadex G-50 of β -limit dextrin of rice amylopectin debranched by pullulanase

Table 4. Carbohydrate proportion(%) of each fractions in gel chromatography of β -limit dextrin debranched by pullulanase

	β -amylolysis limit (%)	Carbohydrate proportion in amylopectin ¹⁾			
		F1	F2	F3	F4
Japonica type					
Tongjinbyeo	57.5	5.3	15.0	8.8	13.3
Chucheongbyeo	56.3	5.0	15.3	9.1	14.2
Tamjinbyeo	57.1	5.8	15.2	8.4	13.7
Tongil type					
Samgangbyeo	58.9	5.8	14.5	7.9	13.0
Namyongbyeo	59.3	6.5	14.4	7.6	12.7
Yongjubyeo	58.8	6.7	14.7	7.6	12.6

¹⁾from data of debranched β -limit dextrin(Fig. 3)

3.9, 3.4라고 하였다. 또한, Takeda들⁽⁷⁾도 자포니카형이 3.9~4.3, 인디카형이 3.2~3.5라고 하였다. Kalichevsky들⁽²⁵⁾은 아밀로펙틴의 사슬 분포가 영향을 미치는데 사슬길이가 짧은 전분이 노화 속도가 느리다고 하였다. Shi와 Seib⁽²⁶⁾도 찰진분의 노화속도가 긴사슬(DP 14~24)과는 비례하나 짧은 사슬(DP 6~9)과는 반비례한다고 하였다. 이러한 결과는 획분 2에 대한 획분 3의 비율이 크고 초장쇄가 적은, 즉, 짧은 사슬이 많은 일반계가 통일계 보다 노화 속도가 느리다는 것을 의미한다.

아밀로펙틴의 베타-한계 덩스트린을 Sepharose CL-2B 로 용출한 결과는 Fig. 2와 같다. 모든 시료는 두개의 획분을 보였는데 일반계의 용출패턴은 품종마다 독특한 패턴을 보였으며 통일계는 품종에 관계 없이 비슷한 패턴을 보였다. Fig. 2의 각획분의 탄수화물 분포 비율을 보면 Table 3과 같다. 획분 1은 일반계가 18.0~50.3%로 품종마다 큰 차이를 보였으나 통일계는 61.3~64.3%로서 품종간 차이가 크지 않았다. 획분 1에 대한 획분 2의 비율은 일반계가 0.99~4.55, 통일계는 0.56~0.63이었다.

이러한 결과는 베타-한계 덱스트린의 분자량 분포는 일반계의 경우 품종간에 차이가 크나 동일계는 서로 차이가 크지 않으며, 동일계의 분자량이 일반계의 것 보다 큼을 가리킨다.

베타-한계 덱스트린을 pullulanase로 분지한 후 Sephadex G-50으로 용출시킨 결과는 Fig. 3과 같이 void volume 부근(획분 1), \overline{DP} 30-40 부근(획분 2), DP 10-20 (획분 3) 그리고 \overline{DP} 2-3 부근(획분 4)에서 4개의 획분을 보였다. 아밀로펙틴과 베타-한계 덱스트린의 사슬분포로 보아 아밀로펙틴 분자구조는 초장쇄를 가진 polymodal로서 \overline{DP} 12.4의 A 사슬, \overline{DP} 20.6의 짧은 B 사슬, \overline{DP} 26.3의 중간 B 사슬, \overline{DP} 45의 긴 B 사슬과 \overline{DP} 55 이상의 초장쇄로 이루어졌음을 알 수 있었다. Inouchi 들⁽²⁷⁾은 옥수수 전분의 베타-한계 덱스트린에서 4개의 획분과 함께 아밀로펙틴의 polymodal 구조를 제안하였다. 한편, Hizukuri⁽²⁸⁾도 참쌀, 타피오카, 칩, 감자 아밀로펙틴을 HPLC로 분획하고 polymodal 구조를 제안하였다. Fig. 3의 각 획분의 아밀로펙틴에 대한 탄수화물 분포는 Table 4와 같다. 획분 1은 일반계가 동일계 보다 약간 낮았으나 획분 2, 3, 4는 일반계가 동일계 보다 약간 높았다.

Table 5는 초장쇄에 대한 외부사슬과 내부사슬의 분포를 나타낸 것이다. 초장쇄(분지한 아밀로펙틴의 획분 1)는 베타-아밀라아제에 의하여 분해되어 일반계는 79.3~80.1%, 동일계는 80.3~80.7% 감소하였다. 이렇듯 초장쇄가 베타-아밀라아제에 의해 분해되는 것은 아밀로펙틴이 긴 직쇄의 외부사슬을 가지고 있음을 의미한다. 베타-아밀라아제에 의해 분해되지 않는 초장쇄(분지된 베타-한계 덱스트린의 획분 1)는 아밀로펙틴의 내부에 존재하는 내부사슬이다. 초장쇄-요오드 복합체의 최대흡수파장은 550~555 nm에서, 베타-아밀라아제에 의해 외부사슬이 끊김으로서, 그 내부사슬은 540~545 nm로서 10 nm 감소하였다. 아밀로펙틴의 초장쇄 외부사슬은 일반계가 19.1~22.7%, 동일계가 24.4~27.6%로 일반계가 더 낮았으나 내부사슬은 일반계가 5.0~5.8%, 동일계가 5.8~6.7%로 큰 차이가 없었다. 따라서 쌀의 품종간 아밀로펙틴 차이는 초장쇄의 외부사슬에 영향을 받을 수 있음을 가리킨다.

구조적 일반성질과 사슬 분포와의 관계

아밀로펙틴의 사슬분포와 구조적 일반성질과의 관계를 보면 Table 6과 같다. 아밀로펙틴의 초장쇄(획분 1)는 아밀로펙틴의 평균 사슬길이, 고유점도, 베타-아밀라아제 분해한도와 정의 상관관계를 보이나 요오드 복합체의 최대흡수파장과는 부의 상관관계를 보였다. 획분 3/획분 2(A/B 사슬)의 비는 평균 사슬길이, 고유점도, 베타-아밀라아제 분해한도와 부의 상관관계를 보였다. 아밀로펙틴의 초장쇄는 베타-아밀라아제 분해한도, 바깥사슬길이와 정의 상관관계를 보여 이 사슬은 긴 직쇄를 가진 외부사슬임을 의미한다. 베타-한계 덱스트린을 Sepharose CL-2B로 분획한 획분

Table 5. Distribution(%) of super long chain of rice amylopectin

	Super long chain				
	Total(F1) ¹⁾		Inner chain(F1) ²⁾		Outer chain ³⁾
	(%)	λ_{max} ⁴⁾	(%)	λ_{max}	(%)
Japonica type					
Tongjinbyeo	27.7(100)	550	5.3(19.9)	540	22.4(80.1)
Chucheongbyeo	24.1(100)	550	5.0(20.7)	540	19.1(79.3)
Tamjinbyeo	28.5(100)	550	5.8(20.4)	545	22.7(79.6)
Tongil type					
Samgangbyeo	30.0(100)	550	5.8(19.3)	540	24.4(80.7)
Namyongbyeo	33.0(100)	555	6.5(19.7)	545	26.5(80.3)
Yongjubyeo	34.3(100)	555	6.7(19.5)	545	27.6(80.5)

¹⁾F1 of debranched amylopectin(Table 2)

²⁾F1 of debranched β -limit dextrin(Table 4)

³⁾Difference of between 1) and 2)

⁴⁾Wave of maxium absoption for iodine complex

1은 고유점도, 중합도에 대하여 정의 상관관을 보여 베타-한계 덱스트린의 분자량은 일반계 보다 동일계의 것이 더 큼을 알 수 있다. 분지된 베타-한계 덱스트린의 획분 1은 아밀로펙틴과 베타-한계 덱스트린의 고유점도, 중합도와는 정의 상관관을 보이나 요오드 복합체의 최대흡수파장과는 부의 상관관을 보였다.

아밀로펙틴의 분자구조와 밥의 텍스처와의 관계

아밀로펙틴의 분자 구조적 특성과 밥의 텍스처와의 상관관계는 Table 7과 같다. 아밀로펙틴의 고유점도와 베타-아밀라아제 분해한도는 밥의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관을 보였다. 아밀로펙틴의 평균 사슬길이와 바깥 사슬길이는 밥의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관을 보였으나 안쪽 사슬길이는 그 상관관을 보이지 않았다. 베타-한계 덱스트린의 고유점도와 중합도는 밥의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관을 보였다. 베타-한계 덱스트린을 Sepharose CL-2B로 분획한 획분 1과 탈분지한 베타-한계 덱스트린을 Sephadex G-50으로 분획한 획분 1은 밥의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관을 보여 베타-한계 덱스트린의 분자량이 클수록 밥의 경도는 높고 부착성은 낮음을 가리킨다.

아밀로펙틴 사슬분포와 밥의 텍스처와의 관계에서, 초장쇄와의 관계는 Fig. 4와 같다. 아밀로펙틴의 초장쇄는 밥의 경도와 정의 상관관계를, 부착성과는 부의 상관관을 보였다. Hizukuri⁽²³⁾는 아밀로펙틴의 초장쇄가 적을수록 점성이 높고 노화가 낮은 경향을 보인다고 하였다. 결국, 사슬길이가 짧고 초장쇄가 적은 아밀로펙틴을 가진 쌀밥은 그 경도가 낮고, 부착성이 높아 식감이 좋은 것으로 나타났다.

Table 6. Relationship of chain distribution and properties of amylopectin

	Amylopectin						β-limit dextrin			
	CL	OCL	ICL	[η]	λ _{max}	β-limit	[η]	λ _{max}	DPn	
Debranched F1	0.9275*	0.9103*	0.8090*	0.9325**	-0.9098*	0.8974*	Native, F1	0.9866**	-0.8658*	0.8769*
Debranched F3/F2	-0.9805**	-0.8595*	-0.8418*	-0.8731*	0.8731*	-0.9634**	Debranched F1	0.9346**	-0.9042*	0.8928*

*: Significant at p<0.05, **: Significant at p<0.01

Table 7. Correlation coefficients between structural properties of amylopectin and β-limit dextrin and texture of cooked rice

	Amylopectin						
	CL	OCL	ICL	Inherent viscosity	β-amyololysis limit	Debranched F1	Debranched F3/F2
Hardness ¹⁾	0.8804*	0.8552*	0.7420	0.9141*	0.8577*	0.9900**	-0.9215*
Adhesiveness ¹⁾	-0.8968*	-0.8262*	-0.7710	-0.9480**	-0.9112*	-0.9622**	0.9663**

	β-limit dextrin			
	Inherent viscosity	DPn	Native F1	Debranched F1
Hardness ¹⁾	0.8807*	0.8695*	0.8218*	0.9522**
Adhesiveness ¹⁾	-0.9789**	-0.9586**	-0.9558**	-0.9668**

*: Significant at p<0.05, **: Significant at p<0.01

¹⁾Hardness and adhesiveness of cooked rice cited from reference 2 and 4.

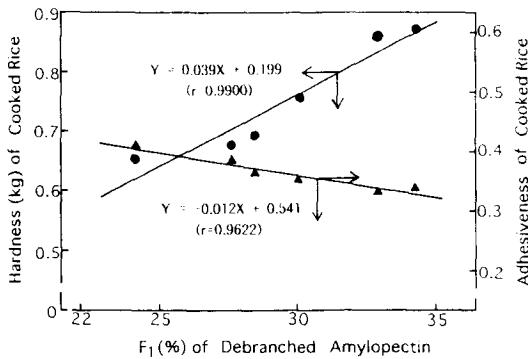


Fig. 4. Relationship between super long chain(F1 of debranched amylopectin) of amylopectin and texture of cooked rice

*Hardness and adhesiveness of cooked rice cited from reference 2 and 4.

요 약

밥의 식미가 다른 일반계와 통일계 쌀을 대상으로 아밀로펙틴과 그 베타-한계덱스트린의 분자구조적 특성을 조사하고 밥의 텍스처와의 관련성을 검토하였다.

쌀 전분의 아밀로펙틴 분자구조는, 아밀로펙틴과 베타-

한계 덱스트린의 사슬분포로 보아, DP 12.4의 A 사슬, DP 20.6의 짧은 B 사슬, DP 26.3의 중간 B 사슬, DP 45의 긴 B 사슬과 DP 55 이상의 초장쇄로 이루어진 polymodal이었다. 아밀로펙틴의 초장쇄는 긴 직쇄를 가진 사슬로서, 아밀로펙틴의 평균 사슬길이, 고유점도, 베타-아밀라아제 분해한도와 정의 상관을 보이나 요오드 복합체의 최대흡수파장과는 부의 상관을 보였다. 아밀로펙틴과 베타-한계 덱스트린의 분자구조적 성질은 일반계와 통일계 쌀 시료간 차이를 보였다. 아밀로펙틴의 A 사슬에 대한 B 사슬의 비율은 일반계가 통일계 보다 약간 높았으나 초장쇄의 분포 비율은 일반계가 통일계 보다 더 낮았다. 아밀로펙틴의 분자구조와 밥의 텍스처와의 관계에서, 고유점도, 베타-아밀라아제 분해한도와 사슬 길이 그리고 초장쇄는 밥의 경도와 정의 상관, 부착 성과는 부의 상관을 보였다. 따라서 밥의 식감은 아밀로펙틴의 긴 사슬이 적고 짧은 사슬이 많이 분포할 수록, 밥의 경도가 낮고 부착성이 높았다. 이러한 결과는 아밀로펙틴의 분자구조가 밥의 텍스처와 밀접한 관계가 있음을 나타내고 있다.

문 헌

1. Juliano, B.O.: In *Rice Chemistry and Technology*. ed.

- B.O. Juliano, American Association of Cereal Chemists. Inc., St. Paul, Minnesota, USA, p.443 (1985)
2. 김 관, 강길진, 김성곤: 쌀의 열수 가용성 물질과 밥의 텍스처와의 관계. 한국식품과학회지, **23**, 498 (1991)
 3. 김 관, 강길진, 김성곤: 일반제와 통일계 쌀 전분 및 그 분획의 몇가지 구조적 성질 비교. 한국식품과학회지, **24**, 187 (1992)
 4. Kang, K.J., Kim, K., Kim, S.K. and Murata, A.: Relationship between molecular structure of amylose and texture of cooked rice of Korean rice. *Oyo Toshitsu Kagaku* (Journal of Applied Glycoscience), **41**, 35 (1994)
 5. Kang, K.J., Kim, K. and Murata, A.: Molecular structure characterization of acid-treated starches from Korean rices. *Bull. Fac. Agr. Saga Univ.*, **76**, 113 (1994)
 6. Kang, K.J., Kim, K. and Kim, S.K.: Tree stage hydrolysis pattern of rice starch by acid-treatment. *Oyo Toshitsu Kagaku* (Journal of Applied Glycoscience), **41**, 21 (1994)
 7. Takeda, Y., Hizukuri, S. and Juliano, B.O.: Structures of rice amylopectins low and high affinities for iodine. *Carbohydr. Res.* **168**, 79 (1987)
 8. Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T.: Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku*, **20**, 99 (1973)
 9. Radhika Raddy, K., Zakiuddin Ali, S. and Bhattachaya, K.R.: The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydrate polymers*, **22**, 267 (1993)
 10. Hizukuri, S. and Maehara, Y.: Fine structure of wheat amylopectin: the mode of A to B chain binding. *Carbohydr. Res.*, **206**, 145 (1990)
 11. Potter, A.L. and Hassid, W.Z.: End-group determination of amylose and amylopectin by periodate oxidation. *J. Am. Chem. Soc.*, **70**, 3488 (1948)
 12. Lee, E.Y.C., Carter, J.H., Nielsen, L.D. and Fischer, E.H.: Purification and properties of yeast amylo-1,6-glucosidase-oligo-1,4-glucotransferase. *Biochemistry*, **9**, 2347 (1970)
 13. Williams, P.C., Kuzina, F.D. and Hlynka, L.: A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem.*, **47**, 411 (1970)
 14. Corn Refiners Association: *Standard analytical methods*, Method B-61. The Association, Washington, D.C. (1982)
 15. Suzuki, A., Hizukuri, S. and Takeda, Y.: Physicochemical studies of Kuzu starch. *Cereal Chem.*, **58**, 286 (1981)
 16. Dubois, M., Gilles, K., Hamilton, J.K., Revers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956)
 17. Hizukuri, S., Takeda, Y., Yasuda, M. and Suzuki, A.: Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydr. Res.*, **94**, 205 (1981)
 18. 김 관, 최경철, 강길진, 이용현, 김성곤: 참쌀 전분의 분자구조적 특성. 한국식품과학회지, **24**, 568 (1992)
 19. 김봉환, 안승요: 쌀 아밀로펙틴의 분자구조적 성질. 한국농화학회지, **33**, 134 (1990)
 20. Cura, J.A. and Krisman, C.R.: Cereal grains: A study of their -1,4- -1,6 glucopolysaccharide composition. *Stärke*, **42**, 171 (1990)
 21. Biliaderis, C.G., Grant, D.R. and Vose, J.R.: Structural characterization of legume starches. I. studies on amylose, amylopectin and beta-limit dextrins. *Cereal Chem.*, **58**, 496 (1981)
 22. Robin, J.P., Mercier, C., Charbonniere, R. and Guilbot, A.: Lintnerized starches, filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. *Cereal Chem.*, **51**, 389 (1974)
 23. 檜作 進: 덴ンプン化學の新展開. 化學と工業, **43**, 88 (1990)
 24. Hizukuri, S., Takeda, Y., Maruta, N. and Juliano, B.O.: Molecular structure of rice starch. *Carbohydr. Res.*, **189**, 227 (1989)
 25. Kalichevsky, M.T., Orford, P.D. and Ring, S.G.: The retrogradation and gelation of amylopectins from various botanical sources. *Carbohydr. Res.*, **198**, 49 (1990)
 26. Shi, Y.C. and Seib, P.A.: The structure of four Waxy starches related to gelatinization and retrogradation. *Carbohydr. Res.*, **227**, 131 (1992)
 27. Inouchi, N., Glover, D.L. and Fuwa, H.: Properties of residual maize starches following acid hydrolysis. *Stärke*, **39**, 284 (1987)
 28. Hizukuri, S.: Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. *Carbohydr. Res.*, **147**, 342 (1986)
-
- (1994년 11월 22일 접수)