

## 수확시기에 따른 대학찰옥수수의 전분특성

이상훈<sup>1</sup> · 황인국<sup>1</sup> · 김현영<sup>1</sup> · 이하규<sup>1</sup> · 이성희<sup>2</sup> · 우선희<sup>3</sup> · 이준수<sup>1</sup> · 정현상<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 식품공학과

<sup>2</sup>괴산군 농업연구소

<sup>3</sup>충북대학교 식물자원학과

## Starch Properties of *Daehak* Waxy Corn with Different Harvest Times

Sang Hoon Lee<sup>1</sup>, In Guk Hwang<sup>1</sup>, Hyun Young Kim<sup>1</sup>, Ha Kyu Lee<sup>1</sup>, Seong Hee Lee<sup>2</sup>,  
Seon Hee Woo<sup>3</sup>, Junsoo Lee<sup>1</sup>, and Heon Sang Jeong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

<sup>2</sup>Goesan Agricultural Technology and Extension Center, Chungbuk 367-863, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Crop Science, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

### Abstract

This study investigated starch properties of '*Daehak* waxy corn (DWC)' with different harvest times. The DWCs were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST) and 4 days after suitable time (AST). As harvest time was delayed, starch yield and amylopectin content of DWC starch increased from 43.21 to 52.73%, and from 90.79 to 92.83% based on dry weight, respectively. As harvest time was postponed, enzymatic digestibility and water solubility of DWC starch decreased from 81.43 to 80.58%, and from 10.23 to 9.23%. However, water binding capacity and swelling power of DWC starch increased from 227.94 to 244.88%, and from 24.75 to 29.74%, respectively. Retrogradation viscosity of starch was the lowest in DWC harvested at AST. There was a high correlation coefficient among starch properties of DWC, such as starch yield, enzymatic digestibility, water binding capacity, swelling power, water solubility and retrogradation viscosity ( $p < 0.01$ ). As harvest time was deferred, enzymatic digestibility, water solubility and retrogradation viscosity decreased; however, amylopectin content increased, and water binding capacity and swelling power significantly increased with increasing amylopectin content.

**Key words:** *Daehak* waxy corn, starch properties, amylose, amylopectin, harvest time

### 서 론

대학찰옥수수(연농1호)는 재래종 찰옥수수에서 선발된 자식계통사이의 열성단교잡종(F<sub>1</sub>)으로 육성된 품종으로 일반옥수수의 낱알이 15~17줄인 일반 대학찰옥수수는 8~10 줄로 되어 있으며, 출사일수는 70일 정도이다. 대학찰옥수수의 외관형태는 일미찰보다 다소 떨어지나 고소한 맛, 차진 맛 및 전반적인 기호도 측면에서는 찰옥1호보다 우수하며, 과피가 얇고 당도가 높아 품질의 우수성이 많이 알려져 있다.

옥수수는 비교적 값이 저렴하고 안정적인 공급이 가능하여 전분의 주요 소재로서 널리 이용되고 있으며, 옥수수 전분의 주요 용도는 물엿, 포도당 등 전분당의 제조원료, 각종 식품의 점조제, 제지공업에서의 sizing제 및 coating제 등이며 대부분 paste 형태로 제조되어 사용되고 있다(1). 전분은 전분입자 내에 존재하는 물의 양 및 분포, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율, 분자량 및 사슬길이, 입자의 형태, 크기

등이 각각 다르므로 호화과정에서 나타나는 특성에 차이가 발생한다(2-6). 전분현탁액을 가열하면 점도가 증가하고, 냉각되면서 전분입자에 있는 아밀로펙틴과 용출된 아밀로오스가 서로 결합하여 전분입자를 둘러싼 형태의 겔이 형성된다(7). 전분의 노화는 아밀로오스와 아밀로펙틴 분자의 재결정화에 의하며, 노화정도는 전분의 종류(8), 전분의 농도(9), 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율(10)과 구조(11), 저장온도, 당/산과 같은 첨가물질에 의해 영향을 받는다(5).

전분은 식품 및 다른 산업에의 응용에 있어서 대부분 호화된 이후의 기능을 필요로 하고 있으며, 이에 따라 옥수수 전분의 이화학적 특성에 관한 연구는 전분 현탁액의 호화 및 노화특성 규명이 중점적으로 이루어졌다. Kim 등(12)은 시판용 옥수수 전분의 호화액에 대한 유동특성, 전분농도 및 점도측정 온도에 따른 리올로지 특성에 대하여 보고하였으며, Choi 등(13)은 전분입자의 결정구조가 다른 감자, 옥수수, 고구마 전분현탁액의 가열과 산 첨가에 따른 점도특성을

\*Corresponding author. E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr  
Phone: 82-43-261-2570, Fax: 82-43-271-4412

비교하였다. 이 밖에도 첨가물질에 따른 옥수수 전분 겔의 유동특성을 분석한 연구(14), 호화과정 중 알칼리 첨가에 따른 입자형태, 입자크기의 분포, 용해도 및 용출 아밀로오스, 다당류의 함량 등을 분석한 연구(15,16) 등이 다양하게 진행되었으나, 대학찰옥수수 전분의 이화학적 특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

식용옥수수는 주로 풋옥수수 상태로 이용되고 있으며, 풋옥수수는 미성숙단계에서 이용되기 때문에 수확 후 유통과정에서 호흡, 증산 등의 생리작용을 지속하여 이화학적 변화를 초래하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 냉동법, 레토르트 파우치법 등의 기술이 이용되고 있으나 저장비용의 증가로 인한 농가의 부담은 피할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 대학찰옥수수의 이용성 증대와 다양한 가공제품 개발을 목적으로 주로 풋옥수수 상태의 식용으로 이용되는 대학찰옥수수의 수확시기별 전분의 특성을 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용된 대학찰옥수수는 충북 괴산군 일원에서 2009년 3월 27일 파종 및 4월 16일 정식하였으며, 수확 적기인 7월 17일을 기준으로 4일 이전 및 4일 이후에 수확하여 외피와 수염을 제거한 후 진공포장기(Chamber type vacuum packer, DP-901, Dew pack machinery Co., Seoul, Korea)를 이용하여 개별 진공포장한 후  $-18^{\circ}\text{C}$ 의 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다. 전분특성 분석은 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분(Neulpureon Co., Icheon, Korea)을 이용하여 비교실험 하였다.

### 전분분리

수확시기별 대학찰옥수수의 전분은 Juliano의 알칼리분해법(17)을 변형하여 제조하였다. 수확 적기 및 전기, 후기 대학찰옥수수를 상온에서 3시간 해동시킨 후 알곡을 분리하여 2배(v/w)의 증류수를 첨가한 후  $4^{\circ}\text{C}$ 의 냉장실에서 48시간 동안 수분을 흡수하도록 하였으며, 1일 2회 물갈이를 실시하였다. 스테인리스 트레이( $45 \times 35$  cm)에 100 g의 옥수수 낱알을 놓고 밀대를 이용하여 30회 압착을 하였으며, 외피로부터 전분질과 섬유질을 분리한 후 2배(w/w)의 증류수를 넣어 침전 및 7 mesh 체를 이용하여 외피를 분리하였다. 30 mesh와 100 mesh 체를 이용하여 배아와 섬유질을 순차적으로 분리하였으며, 위의 과정을 3회 반복 실시하였다. 100 mesh 체를 통과한 전분현탁액에 0.2% NaOH 용액을 10% (w/w) 첨가한 후  $4^{\circ}\text{C}$ 의 냉장실에서 24시간 동안 알칼리분해를 실시하였으며, 원심분리(3,000 rpm, 30 min)하여 상등액을 제거하고 증류수를 첨가하여 pH 7이 될 때까지 세척을 실시하였고, 위의 알칼리분해과정을 5회 반복 실시하였다. 분리된 전분으로부터 지방을 제거하기 위하여 세척 및 원심

분리를 마친 전분질에 3배(v/w)의 *n*-hexane을 첨가한 후 12시간씩 3회 반복 교반 추출하였다. 지방이 제거된 전분을 200 mesh 체로 여과한 후  $27^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 열풍건조(WFO-450PD, EYELA, Tokyo, Japan)하였고, 분쇄기(Micro hammer cutter mill type-3, Culatti AG, Zurich, Swiss)를 이용하여 200 mesh로 분쇄 후 분석시료로 사용하였다.

### 아밀로오스 및 아밀로펙틴 함량 분석

수확시기별 대학찰옥수수 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴 함량은 Juliano의 방법(17)을 변형하여 분석하였다. 즉, 건조된 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분과 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분 100 mg을 50 mL tube에 넣고 95% ethanol 1 mL과 1 N NaOH 9 mL을 가해 끓는 물속에서 8분간 호화시킨 후 흐르는 물에서 3분간 냉각시켰다. 호화액 중 5 mL을 취해 1 N acetic acid 1 mL과 2%  $\text{I}_2$ -KI solution 2 mL을 가해 혼합해준 후 증류수를 이용하여 100 mL로 정용하였다. 반응액 중 1 mL을 취하여 620 nm의 파장에서 spectrophotometer(UV-1650 PC, Shimadzu, Tokyo, Japan)를 이용하여 흡광도를 측정하였으며, 아밀로오스 함량을 구한 후 100에서 아밀로오스 함량을 뺀 값을 아밀로펙틴의 함량으로 하였다. 표준곡선 작성을 위하여 사용된 아밀로오스는 Sigma사(St. Louis, MO, USA)의 제품으로 감자로부터 제조된 Amylopectin-Free 제품을 사용하였다.

### 효소적 소화율 측정

수확시기별 대학찰옥수수 전분의 *in vitro*  $\alpha$ -amylase 소화율은 Liu 등(18)의 방법을 변형하여 측정하였다. 건조된 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분과 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분 1 g에 30 mL의 0.2 M phosphate buffer(pH 6.9)를 test tube에 넣어  $95^{\circ}\text{C}$  항온수조에서 호화를 진행하였다. 항온수조에서 30분간 호화시킨 다음  $25^{\circ}\text{C}$ 로 냉각한 후 320 unit의  $\alpha$ -amylase(Spezyme XTRA, Bision Co., Sungnam, Korea)를 첨가한 다음 shaking incubator(VS-8480, Vision Scientific Co. Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여  $30^{\circ}\text{C}$ 에서 14시간 동안 배양하였다. 여기에 1.0%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ (w/v) 5 mL을 첨가하여 효소반응을 종결시킨 다음 원심분리시킨 후 침전물을 80% 에탄올로 2회 세척하고  $105^{\circ}\text{C}$ 에서 건조한 다음 감소된 무게로부터 효소적 소화율(ED; enzymatic digestibility)을 측정하였다.

### 물결합력, 팽윤력 및 용해도 측정

수확시기별 대학찰옥수수 전분의 물결합력(WBC; water binding capacity)은 Deshpande 등(19)과 Wootton과 Bamunuarachchi(20)의 방법으로 측정하였다. 즉, 건조된 전분 2 g에 증류수 20 mL을 가하고 가열자석교반기(SMDS 3/6, Daihan-Sci Co., Seoul, Korea)를 이용하여 1시간 동안 200 rpm으로 교반한 후 8,000 rpm으로 30분간 원심분리(KR/Union-55R, Hanil Science Industrial Co., Seoul, Korea)하

였다. 원심분리 후 상등액은 제거하고 침전물의 무게를 측정하여 처음 시료량과의 중량비로부터 물결합력을 계산하였다. 전분의 용해도(WS; water solubility)와 팽윤력(SP; swelling power)은 Lii 등(21)과 Schoch(22)의 방법으로 측정하였다. 항량된 원심분리관에 건조된 전분 2.5 g을 취하고 증류수 30 mL을 혼합하여 균질화한 후 각 온도별로 50, 60, 70 및 80°C의 진탕교반기(Shaking water bath, JSSB-30T, JSR Co., Seoul, Korea)에서 200 rpm으로 30분간 진탕 교반하였다. 호화액을 원심분리(8,000 rpm, 30 min)한 후 상정액을 증발접시에 담아 105°C에서 건조하여 상정액의 건조된 중량을 측정하였으며, 침전물의 중량은 원심분리관의 무게와의 차이로부터 측정하였으며, 다음 식을 이용하여 팽윤력과 용해도를 계산하였다.

$$\text{물결합력 (WBC, \%)} = \frac{\text{침전물의 건량 (g)}}{\text{시료의 건량 (g)}} \times 100$$

$$\text{팽윤력 (SP, \%)} = \frac{\text{침전물의 건량 (g)}}{\text{시료의 건량 (g)} \times (100 - \text{용해도})} \times 100$$

$$\text{용해도 (WS, \%)} = \frac{\text{상정액의 건량 (g)}}{\text{시료의 건량 (g)}} \times 100$$

#### 점도특성 분석

수확시기에 따른 대학찰옥수수 전분의 점도특성은 점도계(RVT DV-II, Brookfield Co., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 Choi 등(13)의 방법을 변형하여 측정하였다. 건조된 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수의 5% 전분현탁액을 Hot-plate & stirrer(MS300-HS, Misung Lab, Seoul, Korea) 위에서 중탕으로 95°C까지 가열하여 10분간 호화시킨 후 90°C에서 40°C까지 냉각하면서 10°C 간격으로 냉각점도를 측정하였다. 점도계의 spindle은 No. 3을 사용하였으며, 50 rpm으로 3회 반복 측정하였다.

#### 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리간의 차이 유무를 one-way ANOVA(Analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의

성을 검정하였다( $p=0.05$ ). 또한 요인들 간의 상관관계는 Pearson's correlation analysis를 통하여 분석하였다( $p=0.01$ ).

## 결과 및 고찰

### 수확시기에 따른 전분 및 아밀로오스 함량

수확시기별 대학찰옥수수로부터 분리된 전분함량을 측정 한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같이 전기, 적기 및 후기 옥수수가 각각 43.21, 46.68 및 52.73%(dry basis)로 수확시기가 늦어짐에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 보였으며 ( $p<0.05$ ), 이는 출사 후 생리적 성숙기까지 전분의 생성으로 인하여 건물중량이 증가한다는 Cirilo와 Adrade(23)의 결과와 유사한 경향을 보였다. 메옥수수와 찰옥수수로의 전분함량이 각각 27.20과 34.15%(dry basis)이라 보고한 Byun 등(24)의 연구보다는 다소 높은 함량을 보였으며, 이는 옥수수의 품종, 재배환경 및 분리방법의 차이에 따른 결과라 생각된다. 수확시기가 늦어질수록 아밀로오스 함량은 각각 9.21, 7.55 및 7.17%로 감소하였고, 이에 따라 아밀로펙틴 함량은 각각 90.79, 92.45 및 92.83%로 증가하였으며, 적기와 후기 대학찰옥수수 전분의 아밀로오스 및 아밀로펙틴 함량에 유의적인 차이는 없었다( $p>0.05$ ). 이는 연농1호의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성 비율이 7.6:92.4라고 보고한 Jung 등(25)의 연구결과와 유사한 결과를 보였다. 또한 시판중인 옥수수, 감자 및 고구마 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성 비율은 각각 20.41:79.59, 21.65:78.35 및 17.89:82.11로 전분의 종류에 따라 유의적인 차이를 나타내었다( $p<0.05$ ).

### 전분의 효소적 소화율

전분의 *in vitro* 효소 가수분해는 감미료, 시럽, 케미컬 등의 산업적 생산 공정을 연구함에 있어서 매우 중요한 역할을 한다(26). 일반적으로 전분의 가수분해에 사용되는 효소처리기는 주로 amylase group에 의해 이루어지고 있으며, 반응조건에 따라 특성이 다른 덱스트린, 저분자량 덱스트린, 맥아당, 포도당 등을 형성하는 것으로 알려져 있다(27,28). Alpha-amylase를 이용하여 수확시기별 대학찰옥수수로부터 분리된 전분과 시판중인 옥수수, 감자 및 고구마 전분의 *in vitro* 소화율을 측정 한 결과는 Fig. 1과 같다. 수확시기가 늦어질수록 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분의 소화율

Table 1. Starch, amylose and amylopectin content of 'Daebak waxy corn' with different harvest times

(Unit: %, dry basis)

Sample <sup>1)</sup>	Starch (%)	Amylose (%)	Amylopectin (%)
BST	43.21±0.45 <sup>(2)</sup>	9.21±0.18 <sup>d</sup>	90.79±0.18 <sup>b</sup>
ST	46.68±0.77 <sup>b</sup>	7.55±0.04 <sup>e</sup>	92.45±0.04 <sup>a</sup>
AST	52.73±0.40 <sup>a</sup>	7.17±0.14 <sup>c</sup>	92.83±0.14 <sup>a</sup>
Corn	—	20.41±0.60 <sup>b</sup>	79.59±0.60 <sup>d</sup>
Potato	—	21.65±0.41 <sup>a</sup>	78.35±0.41 <sup>e</sup>
Sweet potato	—	17.89±0.11 <sup>c</sup>	82.11±0.11 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>The samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST).

<sup>2)</sup>Means in the same column with the different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

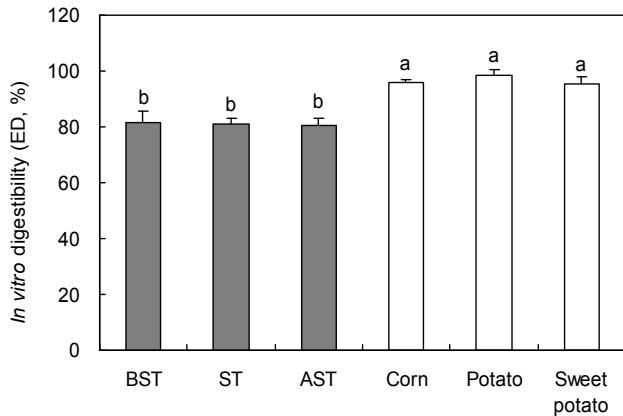


Fig. 1. *In vitro* digestibility of 'Daehak waxy corn' starches with different harvest times. Samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST). The bar means with the different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

은 각각 81.43, 81.03 및 80.58%로 감소하였으나, 유의적인 차이는 없었다. 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분의 소화율은 각각 95.56, 98.24 및 95.06%로 나타났으며, 유의적인 차이는 없었다. Alpha-amylase는 전분의 내부에 존재하는 당 사슬을 안쪽에서부터 무작위로 가수분해해서 반응에 따라 당 사슬은 차례로 짧아져 반응의 종기에는 맥아당이 주성분이 된다. Alpha-amylase는  $\alpha$ -1,4 결합 부위에만 작용하게 되므로, 아밀로오스는 완전히 분해되지만,  $\alpha$ -1,6 결합으로 이루어진 아밀로펙틴은 분해되지 않고 남아 한계덱스트린 (limited dextrin)을 형성하게 된다(29). 따라서 아밀로펙틴의 함량이 상대적으로 높은 대학찰옥수수 전분의  $\alpha$ -amylase에 의한 소화율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

전분의 물결합력

수확시기별 분리된 전분의 물결합력을 측정한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수확시기가 늦어질수록 전분의

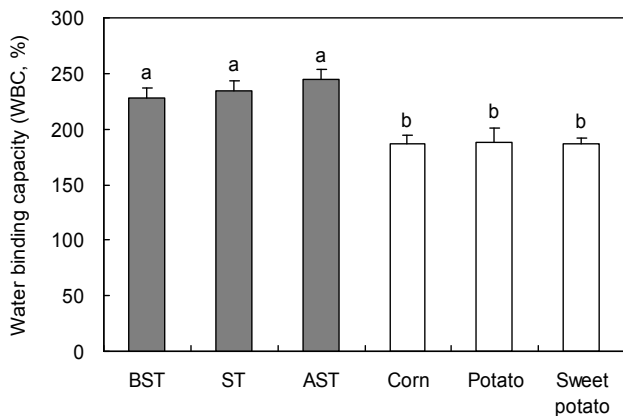


Fig. 2. Water binding capacity of 'Daehak waxy corn' starches with different harvest times. Samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST). The bar means with the different superscripts are significantly different ( $p < 0.05$ ) by Duncan's multiple range test.

물결합력은 각각 227.94, 234.55 및 244.88%로 증가하였으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분의 물결합력은 각각 186.53, 187.78 및 186.05%로 나타났으며, 유의적인 차이는 없었다. 수확시기별 전분과 시판 전분 사이에 차이가 나타났는데 이러한 결과는 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성 비율에 의한 차이이며, 아밀로펙틴의 함량이 상대적으로 높은 대학찰옥수수 전분이 많은 가지로 구성되어 있어 가지 내로 수분이 침투되어 수분과의 결합력이 높아진 것으로 판단된다(30). 물결합력은 시료와 수분과의 친화성을 나타내며, 이때 결합된 수분은 시료 입자에 의하여 흡수되거나 시료입자의 표면에 흡착되는 것으로 보고되었다(31). 또한 Beleina 등(32)은 각종 전분 입자의 흡수 능력은 차이를 보이는데, 이는 전분입자내의 결정성 영역과 비결정성 영역의 차이로 인하여 나타나며, 결정성 영역보다는 비결정성 영역에 의한 영향이 크다고 보고하였다. 따라서 비결정성 영역을 갖는 아밀로펙틴의 분지점으로 인하여 아밀로펙틴의 함량이 상대적으로 높은 대학찰옥수수 전분의 물결합력이 시판 옥수수, 감자 및 고구마 전분의 물결합력보다 높게 나타난 것으로 판단된다(33,34).

전분의 팽윤력 및 용해도

수확시기별 분리된 전분의 팽윤력과 용해도 측정결과는 Fig. 3과 4와 같다. 팽윤력의 경우 시료 6종 모두 50~60°C 구간에서는 완만하게 증가하였으나, 이후 급격하게 증가하는 경향을 보였다. 용해도는 대학찰옥수수 전분이 60°C 이후 완만한 증가를 보인 반면, 시판 전분은 전 온도구간에서 급격한 상승을 보였다. 최종 호화온도인 90°C에서의 전분의 종류에 따른 팽윤력을 살펴보면, 아밀로오스의 함량이 상대적으로 적은 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분이 각각 24.75, 27.56 및 29.74%로 나타나 아밀로오스의 함량이 높은 시판 옥수수(19.14%), 감자(18.47%) 및 고구마(21.47%) 전분보다 높게 나타났다. 용해도의 경우에서는 90°C에서 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분이 각각 10.23, 9.45 및 9.23%

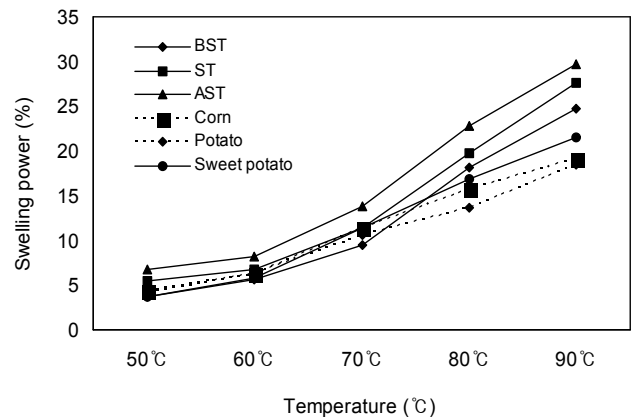


Fig. 3. Swelling power of 'Daehak waxy corn' starches with different harvest times. Samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST).

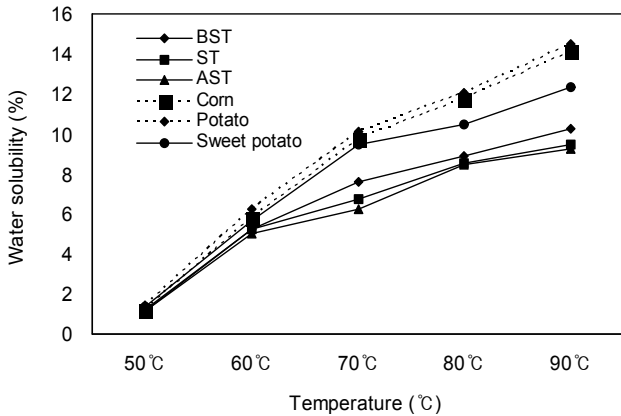


Fig. 4. Water solubility of 'Daehak waxy corn' starches with different harvest times. Samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST).

로 나타났으며, 시판 옥수수(14.12%), 감자(14.47%) 및 고구마(12.35%) 전분보다 낮게 나타났다. Sandhya와 Bhattacharya(10)는 저 아밀로오스 함량의 전분 과립은 비교적 견고하지 못하여 가열과정 중 자유롭게 팽윤되는 반면, 전분 과립의 아밀로오스 함량이 높으면 입자가 비교적 단단하여 팽윤에 비교적 제한을 받는다고 보고하였다. 또한 Tester 등(27) 및 Morrison 등(35)은 곡류 전분의 팽윤력은 주로 아밀로펙틴과 관계가 있다고 보고하고 있어 아밀로오스 전분이 팽윤력에 영향을 받을 가능성이 크다고 할 수 있다. 또한 Lii 등(36)은 전분 과립구조의 견실도와 아밀로오스 함량은 정비례하여 전분 과립의 정도와는 상반관계를 나타낸다고 보고하였다. Mun 등(37)은 아밀로오스 함량이 다른 옥수수 전분의 팽윤력은 아밀로오스 함량의 증가에 따라 감소하였으며, 용해도는 아밀로펙틴 함량 증가에 따라 감소하였다고 보고하였는데, 본 연구에서도 유사한 결과를 나타내었다.

전분의 점도특성

수확시기별 분리된 전분을 5% 현탁액으로 제조한 후 95°C로 가열하여 10분간 호화시킨 후 90°C부터 40°C까지 냉각시키면서 Brookfield 점도계를 사용하여 냉각점도변화를 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 최초 측정 온도인 90°C에서 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분의 점도는 각각 584, 549 및 524 cP로 큰 차이를 보이지 않았다. 이후 75°C까지 전분현탁액의 점도는 각각 576, 524 및 448 cP로 감소하였으며, 이후 온도가 냉각됨에 따라 점도는 점차 증가하여 최종 측정 온도인 40°C에서 전기, 적기 및 후기 대학찰옥수수 전분의 점도는 각각 1337, 1026 및 906 cP로 유의적인 차이를 나타내었다( $p < 0.05$ ). 전분현탁액을 가열하면 분자 사이에 수소결합이 약화되어 전분입자가 팽윤되고, 아밀로오스 분자들의 용출량이 증가하게 된다. 호화액을 냉각하게 되면 전분입자에 있는 아밀로펙틴과 용출된 아밀로오스가 서로 결합하여 전분입자를 둘러싸게 되고 최종적으로 겔이 형성된다(7). 전분의 노화는 아밀로오스와

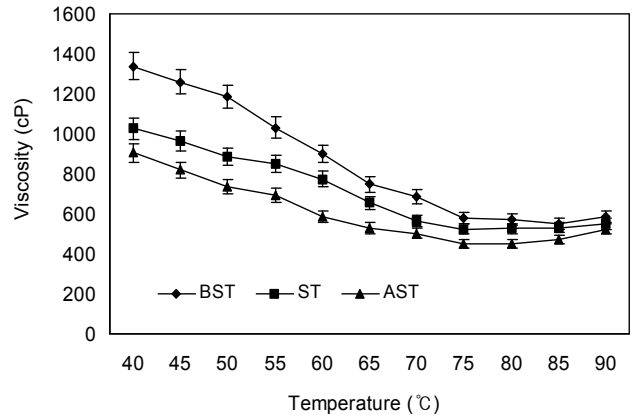


Fig. 5. Changes in viscosity of 'Daehak waxy corn' starches with different harvest times. Samples were harvested at 4 days before suitable time (BST), suitable time (ST), and 4 days after suitable time (AST).

아밀로펙틴 분자의 재결정화에 의하며, 노화정도는 전분의 종류, 전분의 농도, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율과 구조, 저장온도, 지방의 함량, 당/산과 같은 첨가물질에 영향을 받는다(5). Choi 등(38)은 탈지한 고아밀로오스 옥수수 전분을 호화시켰을 때, 아밀로오스의 용출량이 75°C 이후에 급격하게 증가함에 따라 점도 역시 증가하였다고 보고하였으며, Mun 등(37)은 아밀로오스의 함량이 높은 전분일수록 아밀로오스 용출량 증가에 따른 점도의 증가를 수반하였다고 보고하였으며, 본 연구와 일치하는 결과를 보였다.

전분특성 관련인자들 간의 상관관계

수확시기별 대학찰옥수수 전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴 구성, 효소적 소화율, 물결합력, 팽윤력, 용해도 및 점도 특성들 간의 상관관계를 분석한 결과, Table 2와 같이 모든 인자들 간에 높은 상관관계를 보였다( $p < 0.01$ ). 아밀로오스는 효소적 소화율( $r = 0.973$ ), 용해도( $r = 0.988$ ) 및 점도( $r = 0.976$ )와 양의 상관관계를 보였으며, 물결합력( $r = -0.924$ ) 및 팽윤력( $r = -0.965$ )과는 음의 상관관계를 보인 반면, 아밀로펙틴은 아밀로오스와의 상반된 상관관계를 보였다. 이는 아밀로오스 함량이 높을수록 호화에 따른 용출 고형분 함량이 증가하게 되어 용해도 및 점도를 증가시키게 되지만, 물결합력과 팽윤력에서는 아밀로오스가 저해제로 작용하기 때문으로 판단된다. 아밀로펙틴의 함량이 높을수록  $\alpha$ -amylase의 작용을 적게 받아 효소적 소화율은 낮게 나타나지만( $r = -0.973$ ), 결가지의 양이 상대적으로 높아 물결합력( $r = 0.924$ ) 및 팽윤력( $r = 0.965$ )은 증가하게 된 것으로 판단된다.

대학찰옥수수의 전분특성을 분석한 결과 시판 옥수수 전분에 비하여 효소적 소화율과 용해도는 낮게 나타났지만, 물결합력과 팽윤력은 높게 나타났다. 낮은 효소적 소화율과 용해도는 인체의 식후 혈당농도와 관련하며, 인슐린의 요구를 낮추고 식후 포도당 반응을 낮추어 특히 당뇨병 환자를 위한 환자식으로의 이용이 가능하리라 판단된다(39). 높은 물결합력과 팽윤력은 수침공정을 거쳐야 하는 제품의 생산

Table 2. Correlation coefficients among starch properties of 'Daehak waxy corn' with different harvest times

Factor <sup>1)</sup>	A	AP	ED	WBC	SP	WS	V
A	1.000	-1.000**	0.973**	-0.924**	-0.965**	0.988**	0.976**
AP		1.000	-0.973**	0.924**	0.965**	-0.988**	-0.976**
ED			1.000	-0.933**	-0.915**	0.940**	-0.881**
WBC				1.000	0.863**	-0.894**	-0.996**
SP					1.000	-0.971**	0.976**
WS						1.000	0.933**
V							1.000

<sup>1)</sup>A, amylose; AP, amylopectin; ED, enzymatic digestibility; WBC, water binding capacity; SP, swelling power; WS, water solubility; and V, viscosity.

\*\*p<0.01.

에 있어서 공정의 단순화와 생산비 절감 등의 도움을 준다 (40). 또한, 수확시기가 늦어질수록 건물량 및 전분함량 비율의 증가하므로 전기 대학찰옥수수는 풋옥수수의 형태로 이용하고, 적기 및 후기 대학찰옥수수는 전분을 이용한 가공제품으로의 활용이 기대된다.

## 요 약

대학찰옥수수의 수확시기에 따른 전분특성을 규명하기 위하여 수확적기, 전기(-4일) 및 후기(+4일) 옥수수로부터 분리된 전분의 수율, 효소적 소화율, 물결합력, 팽윤력, 용해도 및 점도를 살펴보았다. 수확시기별 대학찰옥수수 전분의 수율은 43.21~52.73% 범위로 수확시기가 늦어질수록 높게 나타났으며, 아밀로펙틴의 함량은 90.79~92.83% 범위에서 증가하였다. 수확시기가 늦어짐에 따라 전분의 효소적 소화율과 용해도는 각각 81.43에서 80.58%와 10.23에서 9.23%로 감소하였으나, 전분의 물결합력과 팽윤력은 각각 227.94에서 244.88%와 24.75%에서 29.74%로 증가하였다. 점도는 최초 측정온도인 90°C에서는 큰 차이가 없었으나, 전분 겔이 노화됨에 따라 점도는 증가하였으며, 수확시기가 늦어질수록 점도는 낮게 나타났다. 전분특성 관련 인자들 사이의 상관관계를 분석한 결과 높은 양 또는 음의 상관관계를 보였으며(p<0.01), 아밀로펙틴의 함량이 높을수록 효소적 소화율, 용해도 및 노화점도는 감소하였으나, 물결합력과 팽윤력은 증가하였다.

## 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 지역농업 특성화기술개발과제(과제번호: 20090101-054-044-001-01-00)의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 문 헌

- Kim JB, Lee SY, Kim SK. 1992. Rheological characteristics of thermal gelatinized corn starch solution. *Korean J Food Sci Technol* 24: 54-58.
- Campbell AM, Brianr AM. 1957. Wheat starch pastes and

- gels containing citric acid and sucrose. *Food Res* 22: 358-366.
- Eliasson AC, Ljunger G. 1987. Interactions between amylopectin and lipid additives during retrogradation in a model system. *J Sci Food Agric* 44: 353-361.
- Kohyama K, Nishinari K. 1992. Cellulose derivatives effects on gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J Food Sci* 57: 128-131.
- Germani R, Ciacco CF, Rodriguez-Amaya DB. 1983. Effect of sugars, lipids, and type of starch on the mode and kinetics of retrogradation of concentrated corn starch gels. *Starch* 35: 377-381.
- Pauline CP, Helen HP. 1972. *Food theory and application*. John Wiley & Sons Inc., NY, USA. p 187-191.
- Han JS, Park KS. 2003. Effect of protein and degree of oxidation on viscoelastic behavior of corn starch gel. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 1046-1052.
- Lee YE, Osman EM. 1991. Correlation of morphological changes of rice starch granules with rheological properties during heating in excess water. *J Korean Agric Chem Soc* 34: 379-385.
- Lii CY, Shao YY, Tseng KH. 1995. Gelatinization mechanism and rheological properties of rice starch. *Cereal Chem* 72: 393-400.
- Sandhya Rani MR, Bhattacharya KR. 1995. Microscopy of rice starch granules during cooking. *Starch* 47: 334-337.
- Fidley MJ, Bulpin PV. 1989. Aggregation of amylose in aqueous systems. The effect of chain length on phase behavior and aggregation kinetics. *Macromolecules* 22: 341-346.
- Kim JB, Lee SY, Kim SK. 1992. Rheological characteristics of thermal gelatinized corn starch solution. *Korean J Food Sci Technol* 24: 54-58.
- Choi OJ, Shin MS, Chough SH. 2000. Viscosity properties of corn, potato and sweet potato starch according to pH. *Korean J Human Ecology* 3: 88-99.
- Lee SK, Shin MS. 1997. Morphological properties of lintnerized maize starches with different amylose content. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 1086-1090.
- Cho SC, Shin HH. 2007. Physicochemical characteristics of corn starch during the alkali gelatinization. *Korean J Food Sci Technol* 39: 673-643.
- Cho SC, Shin HH, Cha YH, Pyun YR. 2007. Alkali gelatinization of corn starch suspension. *Korean J Food Sci Technol* 39: 169-174.
- Juliano BO. 1985. Criteria and test for rice grain quality. In *Rice Chemistry and Technology*. Juliano BO, ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA. p 443-513.
- Liu H, Corke H, Ramsden L. 1999. Functional properties and enzymatic digestibility of cationic and cross-linked

- cationic ae, wx, and normal maize starch. *J Agric Food Chem* 47: 2523-2528.
19. Deshpande SS, Sathe SK, Rangnekar PD, Salunkhe DK. 1982. Functional properties of modified black gram (*Phaseolus mungo* L.) starch. *J Food Sci* 47: 1528-1533.
  20. Wootton M, Bamunuarachchi A. 1978. Water binding capacity of commercial produced native and modified starches. *Starch/Starke* 30: 306-309.
  21. Lii CY, Chang SM, Yang HL. 1986. Correlation between the physicochemical properties and the eating quality of milled rice in Taiwan. *Inst Chem Academia Sinica* 33: 55-62.
  22. Schoch TJ. 1964. Iodimetric determination of amylose. *Meth Carbohydr Chem* 4: 157-160.
  23. Cirilo AG, Adrade FH. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Sci* 36: 325-331.
  24. Byun MW, Kang IJ, Kwon JH, Lee SJ, Kim SK. 1995. The improvement of corn starch isolation process by gamma irradiation. *Korean J Food Sci Technol* 27: 30-35.
  25. Jung TW, Moon HG, Cha SW, Kim SL, Kim SK, Son BY. 2001. Comparison of grain quality characteristics in waxy corn hybrids with a white and a black colored pericarp. *Korean J Breed* 33: 40-44.
  26. Nigam P, Singh D. 1995. Enzyme and microbial systems involved in starch processing. *Enzyme Microb Technol* 17: 770-778.
  27. Tester RF, Yousuf R, Karkalas J, Kettlitz B, Roper H. 2008. Properties of protease-treated maize starches. *Food Chem* 109: 257-263.
  28. Puchongkavarin H, Caravinit S, Bergrhaller W. 2005. Comparative study of pilot scale rice starch production by an alkaline and an enzyme process. *Starch* 57: 134-144.
  29. Noh BS, Lee SC, Jang PS. 2005. Food enzyme engineering. 2nd ed. Shinkwang press, Seoul, Korea. p 203.
  30. Park HK, Lee HG. 2005. Characteristics and development of rice noodle added with isolated soybean protein. *Korean J Food Cookery Sci* 21: 326-338.
  31. Lee YS, Lim NY, Lee KH. 2000. A study on the preparation and evaluation of dried noodle products made from composite flours utilizing arrowroot starch. *Korean J Soc Food Sci* 16: 681-688.
  32. Beleina A, Varriano-Marsyon E, Hosenev RC. 1980. Characterization of starch from pearl millets. *Cereal Chem* 57: 300-303.
  33. Colonna P, Mercier C. 1984. Macromolecular structure of wrinkled and smooth pea starch components. *Carbohydr Res* 126: 233-247.
  34. Lineback DR. 1986. Current concepts of starch structure and its impact on properties. *J Jpn Soc Starch Sci* 33: 80-88.
  35. Morrison WR, Tester RF, Snape CE, Law F, Fidler MJ. 1993. Swelling and gelatinization of cereal starches: some effects of lipid-complexed amylose and free amylose in waxy and normal barley starches. *Cereal Chem* 70: 385-391.
  36. Lii CY, Tsai ML, Tseng KH. 1996. Effects of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chem* 73: 415-420.
  37. Mun SH, Kim WS, Shin MS. 1997. Formation and properties of gel from maize starches with different amylose content. *Korean J Soc Food Sci* 13: 379-383.
  38. Choi CR, Kim JO, Lee SK, Shin MS. 1995. Physicochemical properties of defatted high amylose corn starch. *Agric Chem Boitech* 38: 403-407.
  39. Lee YT. 2006. Effect of heat treatments on *in vitro* starch hydrolysis of selected grains. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 1102-1105.
  40. Yu C, Choi HW, Kim CT, Kim DS, Choi SW, Park YJ, Baik MY. 2006. Physicochemical properties of hydroxypropylated waxy rice starches and its application to Yukwa. *Korean J Food Sci Technol* 38: 385-391.

(2010년 1월 11일 접수; 2010년 1월 24일 채택)