

## 국내산 팥의 품종별 종실 및 수분흡수 특성

오선민<sup>1</sup> · 조영제<sup>1</sup> · 천아름<sup>1</sup> · 광지은<sup>1</sup> · 오유근<sup>1</sup> · 김미정<sup>1</sup> · 송석보<sup>2</sup> · 최인덕<sup>1,\*</sup>  
<sup>1</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 중부작물부, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 남부작물부

### Seed and water absorption characteristics of red bean cultivars in Korea

Seon-Min Oh<sup>1</sup>, Young-Je Jo<sup>1</sup>, Areum Chun<sup>1</sup>, Jieun Kwak<sup>1</sup>, You-Geun Oh<sup>1</sup>,  
Mi-Jung Kim<sup>1</sup>, Suk-Bo Song<sup>2</sup>, and Induck Choi<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration  
<sup>2</sup>Department of Southern Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

**Abstract** This study investigated the seed and water absorption characteristics of red bean cultivars in Korea. The length and width of all seeds were 7.74-8.99 mm and 5.33-5.54 mm, respectively. The hilum lengths and widths were 3.21-4.01 mm and 0.58-0.73 mm, respectively. The weight of 100 seeds was 12.14-20.21 g, and the seed coat thickness of red beans ranged from 39.18-50.01  $\mu$ m. During soaking for 30 h, red beans exhibited a lag phase in the initial soaking time, followed by a rapid absorption phase, and finally contained more than 130% moisture. When water absorption was applied to the sigmoid equation, the curve fitting exhibited a high  $R^2$ , and the kinetics of water absorption were 0.202-0.715  $h^{-1}$ , which differed among varieties. Pearson's correlation of hilum width ( $r=0.7858^*$ ) and seed thickness ( $r=-0.9954^{***}$ ) exhibited strong correlations with water absorption, suggesting that these are important factors in red bean processing.

**Keywords:** red bean, seed characteristics, hydration properties, hydration kinetics

## 서 론

팥(*Vigna angularis*)은 콩과 일년생 식물로서 우리나라를 비롯한 동아시아 지역에서 주로 재배 및 소비가 되고 있으며 두류에 비해 지방의 함량은 낮지만 탄수화물 비율이 높은 것으로 알려져 있다(Song 등, 2011). 우리나라에서 팥은 2010년대 후반까지 총 19품종으로 그 중 적색 팥이 가장 많이 유통이 되고 있지만 품종 및 재배 조건에 따라 적색 뿐만 아니라 흑색, 백색, 녹색 등과 같이 다양한 종피색을 띠고 있다(Lee 등 2019; Sung 등, 2020). 일반적으로 혼반용으로 이용되며 이 외에도 팔죽, 제과 및 제빵의 속재료도 쓰이고 있으며 팥 품종의 개발과 더불어 이에 대한 유전적 및 작물학적 특성 연구(Yoon 등, 2012) 뿐만 아니라 팥의 기능성 성분에 대한 연구들도 활발히 진행되고 있다(Lee 등, 2014; Sung 등 2020). 연구 결과에 따르면 팔과 팥 추출물의 생리활성물질은 혈압의 상승 억제(Sato 등, 2008)와 간 손상 억제(Han 등, 2004) 및 항비만예(Kitano-Okada 등, 2012) 효과적이며 이러한 성분들은 재배방법(Woo 등, 2016), 추출 및 가열처리 방법(Lee 등, 2014)과 품종(Lee 등, 2015)에 따라 기능성 성분 함량이나 활성이 상이하게 나타난다고 보고된 바 있다.

팥을 비롯한 두류는 식물성 단백질과 기능성 성분을 제공하는

중요한 공급원이지만 조리, 발아 및 발효와 같은 가공을 위해서는 수침과정을 거쳐야한다. 두류의 종류에 따라 완전한 수분의 흡수가 이루어지기까지 12-24시간이 소요되며(Piergiovanni, 2011) 그 중 팥은 총 수분량의 50%까지 흡수되는데 8-10시간의 시간이 요구된다(Yousif 등, 2007). 이러한 장시간의 수침시간은 산업체와 소비자의 이용성을 낮추기 때문에 수화시간을 단축시키기 위한 연구가 필요하며 그러기 위해서는 두류의 수화에 대한 메커니즘과 특성에 대한 이해가 필요하다. 두류의 수화는 조리 시간, 외관, 단백질 변성 및 전분의 호화도와 최종 제품의 품질을 결정하는 중요한 공정이며 수분흡수, 내부 확산, 고체 매트릭스의 이완과 같은 다양한 물리적 메커니즘을 포함하는 매우 복잡한 현상이다(Miano 등, 2018a). 수침동안 두류의 수분이 침투되는 영역과 메커니즘에 대한 연구들이 지속적으로 진행되어왔지만 현재까지도 다양한 의견들이 제시되고 있다. Deshpande와 Cheryan (1986)는 배꼽(hilum)과 주공(micropyle)이 초기 수분흡수에 영향을 미치는 가장 중요한 부분이며 그 이후 배꼽 부분이 더 지배적인 역할을 한다고 주장하였다. Miano 등(2018b)은 강낭콩의 수화과정 중 주공 및 배꼽의 중요성을 강조하였으며 Miano 등(2016)의 연구에서는 종자(seed) 또는 배꼽을 차단할 시 수화율이 급격히 감소하는 결과를 바탕으로 두 구조가 전체 수화 과정에 시너지 효과를 낸다고 보고하였다.

일반적인 콩과 식물의 씨앗과 마찬가지로 팥 역시 종피, 자엽, 배아로 이루어져 있으며 팥의 종피는 고도로 잘 정렬된 palisade cell 층이 이중층 역할을 하기 때문에 다른 두류 보다 더 많은 침지시간을 요구한다고 알려져 있다(Yousif 등, 2007). 수화과정은 산업공정을 제한하고 시간이 많이 걸리는 단계이기 때문에 수화 특성 및 속도를 이해하고 적절한 모델링을 통해 이를 예측하는 것이 필요하다. 국내산 팥을 효율적으로 가공하는데 있어 수침

\*Corresponding author: Induck Choi, Department of Central Area Crop Science, National Institute of Crop Science, Rural Development of Administration (RDA), Suwon, Gyeonggido 16613, Korea  
Tel: +82-31-695-0605  
Fax: +82-31-695-0609  
E-mail: ichoi829@korea.kr  
Received June 30, 2021; revised September 10, 2021;  
accepted September 13, 2021

시간 및 수침 정도의 예측뿐만 아니라 수화 조건을 결정하기 위해서 종실의 특성과 수화특성의 상관성을 규명하는 것이 필요하지만 현재까지 국내산 팥에 대한 이러한 연구가 미비하다. 따라서, 본 연구에서는 국내산 팥 품종별 종실 특성과 수분흡수 특성을 조사하고 모델식에 적용하여 품종간 수분흡수 kinetics을 조사하고 이를 종실 특성들과의 상관관계 분석을 통해 통계 유의미한 요소를 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에 사용된 팥은 아라리(AR), 검구슬(GG), 흰나래(HN), 연두채(YD), 홍진(HJ) 5가지 품종으로 국립식량과학원 남부작물부에서(밀양, 대한민국) 2019년 수확된 품종을 제공받았으며, 4°C에서 보관하면서 분석 시 1시간 동안 상온에서 방치 후 사용하였다.

### 팥의 일반성분분석 및 종실 특성

분쇄한 팥을 일반성분 분석에 사용하였으며 AOAC법(2000)에 따라 수분함량은 상압가열 건조법, 조회분은 직접회화법, 조단백질은 Micro-kjeldahl법, 그리고 조지방은 Soxhlet법을 이용하여 측정하였다. 탄수화물의 함량은 100%에서 수분, 조회분, 조단백 및 조지방 함량을 뺀 값으로 나타내었다(Woo 등, 2010; Lee 등, 2021).

품종별 팥의 완전립 10개를 선정하여 종실의 길이, 폭 및 두께와 배꼽의 길이 및 폭을 측정하였다. 백립중은 품종별로 10립을 취한 무게를 측정하였으며 색차계(CM-3500d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 팥의 색도를 측정하고 이를 L\* (brightness), a\* (redness), b\* (yellowness)으로 나타내었다.

### 미세구조 관찰

품종 별 팥의 미세구조는 팥의 배꼽부분을 중심으로 횡으로 절단하여 절단면이 위로 가도록 탄소 테이프 위에 고정시킨 후 이를 주사전자 현미경(Scanning Electron Microscope, TM3000, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 15 kV 가속전압에서 관찰하였고 종피 두께를 측정하였다.

### 수분흡수특성 및 수분흡수 kinetics

팥 3g에 10 mL의 증류수를 가한 후 25°C의 항온기에서 30시간 동안 수침하였으며, 정해진 시간이 도달하였을 때 시료를 꺼내 와이퍼를 이용하여 표면의 물기를 제거하였다. 수침 전과 후의 팥의 무게를 식 (1)에 적용하여 수침시간에 따른 팥의 수분흡수율을 계산하였다. 팥의 수분흡수 속도는 Kaptso 등(2008)이 제안한 식 (2)에 적용하여 모델링하였다.

$$\text{수분흡수율}(\%, \text{ a.b.}) = \frac{\text{수침 후 팥의 무게} - \text{수침 전 팥의 무게}}{\text{수침 전 팥의 무게}} \times 100 \quad (1)$$

$$M_t = \frac{M_{eq}}{1 + \exp[-k \cdot (t - \tau)]} \quad (2)$$

이 때,  $M_t$ 는 시간  $t$ 에서의 팥의 수분 함량 (% dry basis, d.b.) 이고  $M_{eq}$ 는 평형 수분함량(% d.b.)  $\tau$  (h)는 팥의 수분함량이 평형 수분함량의 50%에 도달하는데 필요한 시간이며, 각 시료의 수분흡수율이 유의적인 차이가 없는 시간일 때 까지의 흡수 속도  $k$  ( $\text{h}^{-1}$ )를 구하였다.

### 통계처리

모든 실험은 최소 3회 반복하여 진행되었으며 결과 값을 평균  $\pm$ 표준편차로 나타내었다. SAS 9.3 통계 프로그램(SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)을 사용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 각 데이터 평균값의 유의성 검정은 Duncan's multiple range test를 사용하였다( $p < 0.05$ ). 수분흡수 속도와 팥 종실 특성간 Pearson's correlation 분석을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 품종별 팥의 일반성분분석 및 종실 특성

품종에 따른 팥의 수분, 조회분, 조단백, 조지방 및 탄수화물 함량을 Table 1에 나타내었다. 모든 팥 품종에서 탄수화물이 함량이 60% 이상으로 그 중 검구슬이 가장 많은 함량을 보였다. 팥 단백질은 대략 20% 정도로 이는 콩류 중 중간 정도의 함량이라고 알려져 있으며 본 연구에서도 품종별 단백질은 20.21-23.37%의 함량을 보였다. Woo 등(2010)의 연구에서 팥 10종의 수분함량은 11.99-14.67%, 단백질 함량은 17.44-23.13%를 갖는다고 보고하였고 Jung 등(2015)의 연구에서도 13.5%의 수분, 21.2%의 단백질, 0.1%의 지방 및 61.6%의 탄수화물 함량을 갖는다고 보고되어 이전 연구와 유사한 일반성분을 갖는 것을 알 수 있다.

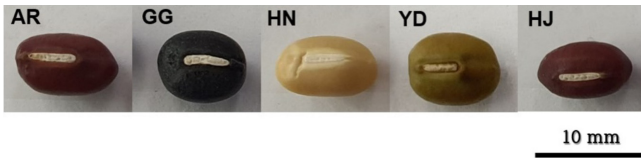
우리나라의 재래종 팥은 종피색에 따라 적두, 흑두, 백두, 황색팥, 자청팥 등으로 나뉘며(Lee 등, 2011) 팥의 가공 목적(제과, 제빵, 앙금 및 통팥용)에 따라서 이러한 종피색이 팥 선택의 기준이 되는 요소로 작용한다(Lee 등, 2015). Fig. 1에 나타난 바와 같이 본 연구에서 사용한 팥은 다양한 종피색을 띠고 있으며 색도와 종실 특성 결과를 Table 2에 나타내었다. 명도를 나타내는 L\*은 황백색의 흰나래가 가장 높은 값을 보였고(66.26), 뒤이어 연두채 (54.54), 아라리(40.64), 홍진(39.29), 검구슬(38.07) 순이었다. 적색도를 나타내는 a값은 종피색이 적색인 아라리와 담적색인 홍진이 높은 값을 보였으며 황색도(b값)에서는 흰나래가 가장 높게,

Table 1. Proximate composition (%) of domestic red bean cultivars

<sup>1)</sup> Sample	Moisture	Protein	Fat	Ash	Carbohydrate
AR	13.92±0.06 <sup>a,2)</sup>	20.85±0.15 <sup>b</sup>	0.57±0.02 <sup>c</sup>	3.43±0.06 <sup>b</sup>	61.23±0.13 <sup>c</sup>
GG	12.61±0.05 <sup>b</sup>	20.21±0.38 <sup>c</sup>	0.49±0.01 <sup>d</sup>	3.41±0.03 <sup>b</sup>	63.28±0.31 <sup>a</sup>
HN	12.62±0.10 <sup>b</sup>	23.37±0.16 <sup>a</sup>	0.61±0.01 <sup>b</sup>	3.06±0.00 <sup>c</sup>	60.34±0.25 <sup>d</sup>
YD	11.74±0.04 <sup>d</sup>	21.22±0.07 <sup>b</sup>	0.56±0.01 <sup>c</sup>	3.50±0.00 <sup>a</sup>	62.97±0.12 <sup>ab</sup>
HJ	12.22±0.04 <sup>c</sup>	20.95±0.06 <sup>b</sup>	0.67±0.01 <sup>a</sup>	3.52±0.04 <sup>a</sup>	62.64±0.07 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin

<sup>2)</sup>Different letters within the same column represent significant differences ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 1. Photographs of domestic red bean cultivars<sup>1)</sup>.** <sup>1)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin

검정색 종피인 검구슬의 경우 a와 b값 모두에서 가장 낮은 값을 보였으며 전체적으로 품종간 L\*, a\*, b\*에서 유의적인 차이를 확인할 수 있었다( $p < 0.05$ ).

본 연구에서 사용한 품종의 전체 종실의 길이와 너비는 각각 7.74-8.99 mm와 5.35-5.53 mm의 범위로 아라리, 흰나래, 홍진의 길이가 다른 품종보다 더 길었지만 너비의 경우 모든 품종에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 배꼽의 길이와 너비는 각각 3.21-4.01 mm와 0.58-0.73 mm로 전체 종실길이가 가장 짧은 연두채가 배꼽 길이와 너비가 가장 짧았다. 대부분의 연구에서 배꼽부분이 수분 침투의 주요 영역이라고 주장해왔으며 Miano 등(2016)의 연구에서는 배꼽뿐만 아니라 주변의 주공 또는 배꼽줄(raphe)을 통해 들어갈 가능성이 있지만 배꼽이 주공 및 배꼽줄에 비해 훨씬 더 큰 면적을 가지고 있기 때문에 배꼽을 주요 수분 침투 영역으로 간주하였다.

Yoon 등(2012)은 150 팥 유전자원의 100립중을 측정된 결과 5.7-23.0 g의 다양한 범위를 나타냈으며 그 중 9.01-13.0 g 사이에 가장 많이 분포하며 뒤이어 13.01-17.00 g의 분포하는 비율이 높았다. 백립중 결과, 실험에 사용된 팥은 12.14-20.21 g의 범위를 보였으며 검구슬과 연두채, 홍진은 중립종이고(12-18 g), 아라리는 대립종(>18 g)임을 알 수 있다.

**종피 특성**

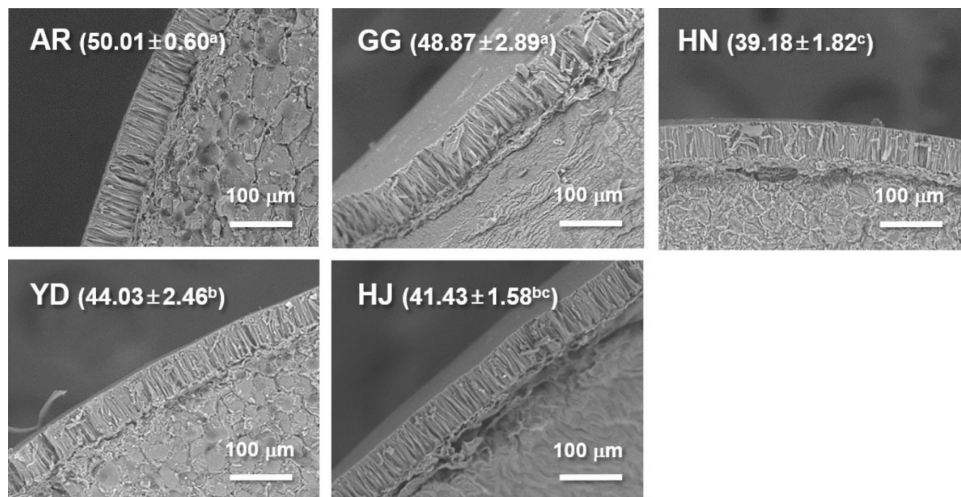
두류종피의 주요 특징은 cuticle, palisade, hourglass층으로 구성이 되며 가장 바깥쪽의 cuticle층은 수분의 침투를 제한한다(Arechavala-Medina와 Snyder, 1981). Cuticle 층 밑으로 고도로 정렬된 긴 palisade cell이 존재하며 품종마다 차이가 있지만 약 40-60  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는다고 보고된 바 있다(Chilukuri와 Swanson, 1991; Engquist와 Swanson, 1992). 검은 콩과 같은 다른 두류에서는 hourglass 세포의 표피 아래 층이 발견이 되지만 팥에서는 표피 아래 층이 발견되지 않았으며 따라서 palisade cell이 무정형 층까지 직접 확장되어 이중층과 같은 역할을 하게 되고 이는 다른 두류보다 더딘 수화과정을 일으킨다고 알려져 있다(Hughes와 Swanson, 1985). Fig. 2의 결과와 같이 모든 팥의 종피에서 규칙적으로 정렬된 palisade cell이 관찰되었으며 아라리가 가장 두꺼운 50.01  $\mu\text{m}$ 였고 뒤이어 검구슬(48.87  $\mu\text{m}$ ), 연두채(44.03  $\mu\text{m}$ ), 홍진(41.43  $\mu\text{m}$ ) 순서였으며 흰나래가 가장 얇은 (39.18  $\mu\text{m}$ ) 종피를 가지고 있었다. 또한, 품종간 종피 두께의 유의적인 차이를 발견

**Table 2. Color, seed size and 100-seeds weight of domestic red bean cultivars**

<sup>1)</sup> Sample	Color			Whole seed		Hilum		100-seeds weight (g)
	L	a	b	Length (mm, n=10)	Width (mm, n=10)	Length (mm, n=10)	Width (mm, n=10)	
AR	40.64±0.23 <sup>c</sup>	10.10±0.29 <sup>a</sup>	4.27±0.16 <sup>c</sup>	8.99±0.19 <sup>a</sup>	5.54±0.42 <sup>a</sup>	4.01±0.05 <sup>a</sup>	0.63±0.12 <sup>ab</sup>	18.20±0.35 <sup>b</sup>
GG	38.07±0.12 <sup>c</sup>	0.14±0.05 <sup>c</sup>	-0.67±0.02 <sup>c</sup>	8.07±0.14 <sup>b</sup>	5.33±0.23 <sup>a</sup>	3.91±0.22 <sup>a</sup>	0.65±0.03 <sup>ab</sup>	14.58±0.19 <sup>d</sup>
HN	66.26±0.46 <sup>a</sup>	6.89±0.18 <sup>c</sup>	24.70±0.24 <sup>a</sup>	8.94±0.23 <sup>a</sup>	5.53±0.11 <sup>a</sup>	3.84±0.34 <sup>a</sup>	0.73±0.03 <sup>a</sup>	20.21±0.18 <sup>a</sup>
YD	54.53±0.71 <sup>b</sup>	2.73±0.14 <sup>d</sup>	16.66±0.79 <sup>b</sup>	7.74±0.32 <sup>b</sup>	5.35±0.08 <sup>a</sup>	3.21±0.33 <sup>b</sup>	0.58±0.06 <sup>b</sup>	12.14±0.20 <sup>e</sup>
HJ	39.29±0.20 <sup>d</sup>	8.05±0.43 <sup>b</sup>	2.87±0.18 <sup>d</sup>	8.73±0.44 <sup>a</sup>	5.51±0.25 <sup>a</sup>	4.00±0.06 <sup>a</sup>	0.66±0.04 <sup>ab</sup>	16.64±0.03 <sup>c</sup>

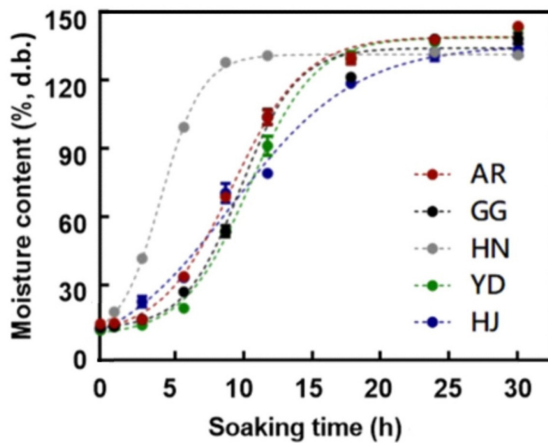
<sup>1)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin

<sup>2)</sup>Different letters within the same column represent significant differences ( $p < 0.05$ ).



**Fig. 2. SEM images and seed coat thickness of domestic red bean cultivars<sup>1)</sup>.** <sup>1)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin





**Fig. 3. Hydration properties of domestic red bean cultivars at 25°C<sup>1),2)</sup>.** <sup>1)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin <sup>2)</sup>dots: experimental values; curves: curve-fitting with sigmoidal models

할 수 있었다( $p < 0.05$ ).

#### 품종별 팥의 수분흡수 특성 및 kinetics

곡물 및 두류의 수분 흡수 양상은 두가지 형태로 나타나며 그 중 ‘하향 오목형(downward concave shape, DCS)’은 옥수수, 기장, 수수, 병아리콩, 검정콩 등에서 나타나는 특성이라고 보고되었다(Li 등, 2020; Sopade 등, 1992; Turhan 등, 2002). 또 다른 형태로는 S형 곡선(sigmoidal curve shape)으로 수침 초기에 lag phase, 즉 수분의 침투가 늦어 초기 수분흡수율이 낮으며 이 경우 lag phase가 발견된다. Fig. 3에 나타난 것처럼 상온(25°C)에서 수침 동안 팥의 수분흡수율은 S형 곡선을 띠고 있으며 팥의 초기수분 함량은 (11.74-13.92%)로 흰나래는 1시간, 그 외 다른 품종들은 6시간까지 lag phase가 관찰되었다. 이러한 lag phase는 일정한 수분조건 하에서 온도가 증가하거나 또는 일정한 온도에서 수분 함량이 증가함에 따라 종피가 가소화 되고 이 때, 유리상태에서 고무상태로 전이되는 단계라고 보고되었다(Al-Muhtaseb 등, 2002). 종피가 초기 수침 동안에는 glassy state로 존재하지만 수분에 계속적으로 노출됨에 따라 불안정한 rubbery state가 되면서 lag phase는 종료되어 그 시점부터는 수분흡수의 양상이 S형에서 DCS형으로 바뀌게 된다. Miano와 Augusto(2015)의 연구에서 초기 수분함량을 증가하면 수분흡수 양상이 DCS형으로 나타나며 이는 종피의 수분함량을 비롯한 구성요소의 변화가 투과성에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. Oliveira 등(2013)는 다양한 온도에서(25-70°C) 팥을 침지하였을 때 온도가 증가함에 따라 lag phase가 단

축되었음을 발견하였다. 하지만 본 연구에서 흰나래의 초기수분 함량은 12.62%로 검구슬과 비슷하고 아라리보다 낮은 수분함량을 띠고 있어 흰나래의 짧은 lag phase는 초기수분 함량이 아닌 다른 요인에 의한 것으로 생각된다.

흰나래는 1시간부터 9시간까지 급격한 수분흡수율 증가를 보이는 반면, 다른 품종의 경우 6시간부터 18시간 내지 24시간까지 수분흡수가 비교적 천천히 진행되었다. Park 등(2006)의 연구에서 서리태, 흑태 및 팥을 30°C에서 침지시켰을 때 서리태와 흑태는 침지 1시간만에 평형 수분함량의 50%의 수분함량까지 도달한 반면 팥은 6시간 침지했음에도 불구하고 30% 미만의 수분흡수율이 나타난다고 보고되었다. Miano 등(2018c)의 결과에서도 콩과 종자들의 수분흡수율을 비교한 결과 동일한 시간동안 팥의 수분흡수율이 낮게 나타났음을 알 수 있다. Oliveira 등(2013)의 연구에서 온도를 다르게 하여 팥을 침지하였을 때, 최종적으로 120-140%의 수분함량 범위를 보였으며 Miano 등(2015)의 연구에서도 초기 수분함량이 다른 팥 역시 120% 수준의 수분함량에 도달한 후 부터는 안정된 상태를 유지하였다. 이와 마찬가지로, 본 연구결과에서도 각각의 품종들이 약 130%의 수분흡수율에 도달하였을 때 더 이상 수분흡수의 증가없이 안정기에 도달하였으며 이전 결과들과 종합하였을 때, 팥의 최대 수분보유능은 120-140% 범위를 알 수 있다.

수분흡수 kinetics를 규명하는데 있어 일반적으로 Peleg 식을 이용하는 경우가 많지만 Peleg 식은 수분흡수 형태가 DCS형 일 때 사용이 되며 초기 lag phase가 있는 양상에 적용하는데 한계가 있다. 이에 Kaptso 등(2008)는 S형 수분흡수 거동에 대한 속도를 설명하고자 모델식을 제시하였으며 이 식으로부터 다음 3개의 변수를 도출 할 수 있다; (1) 평형수분흡수율( $M_{eq}$ ), (2) 평형수분의 50%에 도달하는데 필요한 시간( $\tau$ ) (3) 수분흡수 속도( $k$ ). 본 연구의 수분흡수 거동은 S형을 띠고 있기 때문에 Kaptso식에 적용하여 모델링하였으며 결과를 Table 3에 나타내었다. 평형 수분함량( $M_{eq}$ )은 아라리 145.3%, 검구슬 141.9%, 흰나래 135.7%, 연두채 144.6%, 홍진 138.8%로 나타났다.  $\tau$ 의 경우 흰나래를 제외한 품종에서 9.01-10.25시간 범위내에 있었으며 흰나래는 4.04시간으로 다른 품종에 비해 2배 이상으로 도달시간이 짧았다.  $k$ 는 최종 수분흡수 함량(30시간)과 유의적인 차이가 나지 않는 시간(아라리와 연두채는 30시간, 검구슬과 홍진은 24시간, 흰나래 9시간)을  $t$ 로 하여 계산하였으며 그 결과 흰나래가 0.715 h<sup>-1</sup>로 가장 빠른 흡수속도를 나타내었다. 뒤이어 검구슬(0.334 h<sup>-1</sup>), 연두채(0.268 h<sup>-1</sup>), 홍진(0.25 h<sup>-1</sup>), 아라리(0.202 h<sup>-1</sup>)의 순서로 속도가 감소하여 흰나래가 다른 품종에 2.1-3.5배 이상 빠르게 수분흡수가 진행되었음을 알 수 있다. Kaptso 등(2008)이 제안한 식을 이용한 모델링은 높은 결정계수( $R^2 > 0.98$ )를 나타내어 팥의 수분흡수 속도를 설명하는데 적합한 모델식임을 알 수 있다.

**Table 3. Hydration parameter and kinetics of domestic red bean cultivars using the sigmoidal Kaptso model<sup>1)</sup>**

<sup>2)</sup> Sample	$M_0$ (%)	$M_{eq}$ (%)	$\tau$ (h)	$k$ (h <sup>-1</sup> )	$R^2$
AR	13.92	145.3	9.01	0.202	0.9947
GG	12.61	141.9	9.57	0.334	0.9863
HN	12.62	135.7	4.04	0.715	0.9984
YD	11.74	144.6	10.25	0.268	0.9931
HJ	12.22	138.8	9.58	0.255	0.9927

<sup>1)</sup> $M_0$ : initial moisture content (% dry basis, d.b.);  $M_{eq}$ : equilibrium moisture content (% d.b.);  $\tau$ : half saturation time (h);  $k$ : rate constant of hydration (h<sup>-1</sup>)

<sup>2)</sup>AR: Arari; GG: Guomguseul; HN: Huinnarae; YD: Yeonduchae; HJ: Hongjin

**Table 4. Pearson's correlation coefficient between hydration kinetics and seed properties<sup>1), 2)</sup>**

	WL	WW	HL	HW	ST
$k$ (hr <sup>-1</sup> )	0.2094	-0.1542	0.3209	0.7858*	-0.9654***

<sup>1)</sup>WL: whole seed length; WW: whole seed width; HL: hilum length; HW: hilum width; ST: seed coat thickness

<sup>2)</sup>\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$  \*\*\* $p < 0.001$

**수분흡수 속도와 종실 특성간 상관관계**

팥의 수분흡수 속도에 있어 종실 특성 변수들과 어떤 상관관계를 가지는지를 조사하기 위해 Pearson's correlation로 분석하였으며 결과를 Table 4에 나타내었다. Yousif 등(2007)은 팥의 크기가 수분의 침투속도에 영향을 미치며 작은 종실(<4.8 mm)이 큰 종실(>4.8 mm)보다 수분의 침투가 빠르게 일어난다고 하였다. 하지만 본 연구에서 전체 종실의 길이(WL)와 종실의 너비(WW)는 각각 0.2094, -0.1542로 낮은 상관도를 보였으며 흥미롭게도 수분흡수 속도와 상관계수에서 전체 종실의 길이는 양의 상관관계를, 종실의 너비는 음의 상관관계가 나타났다. 배꼽부분의 길이(HL)와의 r값은 0.3209로 전체 종실 길이와 너비보다는 상대적으로 상관도가 높았지만 유의적인 결과를 나타내지 않았다. 배꼽의 너비(HW)와의 상관도는 0.7858로  $p < 0.05$ 의 범위에서 유의성이 있음을 확인하였고 종피 두께(ST)와는 -0.9654의 r값으로 이는 종피 두께가 얇을수록 수분흡수 속도가 증가하며  $p < 0.001$ 의 높은 유의성을 보이고 있어 종피 두께와 수분흡수 속도가 높은 상관도를 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 상관도는 가장 얇은 종피(39.18  $\mu\text{m}$ )를 가진 흰나래와 가장 두꺼운 종피(50.01  $\mu\text{m}$ )를 가진 아라리가 각각 가장 빠르고(0.715 hr<sup>-1</sup>), 가장 느린(0.202 hr<sup>-1</sup>) 수분흡수 속도를 보여준 앞의 결과데이터를 뒷받침해주고 있다.

**요 약**

본 연구에서는 국내산 팥 품종별 종실 특성과 수분흡수 및 수분흡수 kinetics를 분석하였으며 수분흡수 속도와 팥의 종실 특성 변수들 간의 상관관계를 조사하였다. 팥의 전체 종실의 길이는 품종간 유의적인 차이를 보였지만(7.74-8.99 mm), 전체 종실의 너비에는 유의적인 차이가 없었으며(5.33-5.54 mm), 배꼽의 경우 길이는 3.21-4.01 mm, 너비는 0.58-0.73 mm의 범위를 가졌다. 주사전자 현미경을 통해 종피는 39.18-50.01  $\mu\text{m}$ 로 나타났다, 수침 동안 초기 수분함량이 <14%인 팥은 30시간에 도달함에 따라 모든 품종 팥에서 130% 이상 수분을 함유하고 있었으며 수침 초기에는 수분에 큰 변화가 없는 lag phase를 갖는 것으로 나타났다. 흰나래의 경우 다른 품종들에 비해 lag phase로 도달하는 시간이 빨랐으며 평형수분 함량의 50%까지 도달하는 시간인  $\tau$  (h)의 경우 모델식에 적용하여 도출할 수 있는데 이때, 흰나래가 4.40 h로 가장 빨랐고 다른 품종의 경우 도달시간이 9-10 h였다. 모델식으로부터 품종별 수분흡수 속도를 계산한 결과, 흰나래가 가장 빠르게 수분흡수가 이루어졌으며 검구슬, 연두체, 홍진, 아라리 순서로 나타났다. 수분흡수 속도와 종실 특성 지표와의 상관관계에서 수분흡수 속도는 전체 종실의 길이나 너비, 배꼽의 길이보다는 배꼽의 너비( $r = 0.7858^*$ )와 종피의 두께( $r = -0.9954^{***}$ )와 더 높은 상관성이 있어, 이 두가지가 팥의 수분흡수율에 영향을 주는 주요 요인임을 알 수 있다. 본 연구에서 흰나래는 가장 긴 배꼽 너비(0.73 mm)와 가장 얇은 종피(39.18  $\mu\text{m}$ )를 가져 다른 품종들보다 눈에 띄는 수분흡수 속도를 보여 경제적이고 효율적인 품종으로서 산업적 적용을 기대할 수 있다. 또한, 본 연구를 통해 팥의 수분 거동은 S형 방정식에 모델링하는 것이 적절하며 모델

링을 하여 수분거동을 예측함으로써 수분침지 시간과 수분흡수율을 제어하고 용도에 맞게 가공시스템을 설정할 수 있을 것으로 생각된다.

**감사의 글**

본 연구는 농촌진흥청 공동연구과제 “팥의 지역특화 선순환 시스템 지원을 위한 품질관리기술 개발”(과제번호: PJ01515901) 시험연구비에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

**References**

Al-Muhtaseb A, McMinn W, Magee T. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. Food Bioprod. Process. 80: 118-128 (2002)

AOAC. Official Method of Analysis of AOAC Int. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA (2000)

Arechavaleta-Medina F, Snyder HE. Water imbibition by normal and hard soybeans. J. Am. Oil Chem. Soc. 58: 976-979 (1981)

Chilukuri A, Swanson BG. Microstructure of adzuki beans (*Vigna angularis* cv. Express). Food Struct. 10: 131-135 (1991)

Deshpande S, Cheryan M. Microstructure and water uptake of phaseolus and winged beans. J. Food Sci. 51: 1218-1223 (1986)

Engquist A, Swanson BG. Microstructural differences among adzuki bean (*Vigna angularis*) cultivars. Food Struct. 11: 171-179 (1992)

Han KH., Fukushima M, Ohba K, Shimada KI, Sekikawa M, Chiji H, Lee CH, Nakano M. Hepatoprotective effects of the water extract from adzuki bean hulls on acetaminophen-induced damage in rat liver. J. Nutr. Sci. Vitaminol. 50: 380-383 (2004)

Hughes JS, Swanson BG. Microstructural changes in maturing seeds of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Struct. 4: 183-189 (1985)

Jung IC, Lee YS, Kang DK, Sohn HY. Evaluation of useful biological activities of hot-water extracts of raw-red bean and boiled-red bean (*Phaseolus radiatus* L.). J. East Asian Soc. Diet. Life 25: 451-459 (2015)

Kapto K, Njintang Y, Komnek A, Hounhouigan J, Scher J, Mbofung C. Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) and bambara groundnuts (*Voandzeia subterranea*) seeds. J. Food Eng. 86: 91-99 (2008)

Kitano-Okada T, Ito A, Koide A, Nakamura Y, Han KH, Shimada K, Sasaki K, Ohba K, Sibayama S, Fukushima M. Anti-obesity role of adzuki bean extract containing polyphenols: in vivo and in vitro effects. J. Sci. Food Agric. 92: 2644-2651 (2012)

Lee JR, Choi YM, Cho GT, Lee GA. Agricultural characteristics and SSR profiling of Korean adzuki bean landraces. J. Korean Soc. Int. Agric. 23: 428-434 (2011)

Lee LS, Choi EJ, Kim CH, Sung JM, Kim YB, Kum JS, Park JD. Antioxidant properties of different parts of red and black adzuki beans. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 44: 1150-1156 (2015)

Lee YJ, Kim WS, Jeon YJ, Kim YT. Physicochemical properties of the processed water generated during red bean paste preparation. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 48: 290-295 (2019)

Lee RK, Kim MS, Lee YS, Lee MH, Lee JH, Sohn HY. A Comparison of the components and biological activities in raw and boiled red beans (*Phaseolus radiatus* L.). M.B.L. 42: 162-169 (2014)

Lee JY, Woo KS, Seo JH, Lee YY, Lee BW, Kim MH, Kang MS, Kim HJ. Physicochemical qualities and physiological activities of black soybeans by cultivation area and cultivars. J. Korean.

- Soc. Food Sci. Nutr. 50: 29-35 (2021)
- Li P, Li Y, Wang L, Zhang H, Qi X, Qian H. Study on water absorption kinetics of black beans during soaking. J. Food Eng. 283: 110030 (2020)
- Miano AC, Augusto PED. From the sigmoidal to the downward concave shape behavior during the hydration of grains: Effect of the initial moisture content on adzuki beans (*Vigna angularis*). Food Bioprod. Process. 96: 43-51 (2015)
- Miano AC, Pereira JDC, Castanha N, Junior MDDM, Augusto PED. Enhancing mung bean hydration using the ultrasound technology: description of mechanisms and impact on its germination and main components. Sci.Rep. 6: 1-14 (2016)
- Miano AC, Sabadoti VD, Augusto PED. Enhancing the hydration process of common beans by ultrasound and high temperatures: Impact on cooking and thermodynamic properties. J. Food Eng. 225: 53-61 (2018b)
- Miano AC, Sabadoti VD, Pereira JDC, Augusto PED. Hydration kinetics of cereal and pulses: New data and hypothesis evaluation. J. Food Process Eng. 41: e12617 (2018a)
- Miano AC, Saldaña E, Campestrini LH, Chiorato AF, Augusto PED. Correlating the properties of different carioca bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*) with their hydration kinetics. Food Res. Int. 107: 182-194 (2018c)
- Oliveira AL, Colnaghi BG, da Silva EZ, Gouvêa IR, Vieira RL, Augusto PED. Modelling the effect of temperature on the hydration kinetic of adzuki beans (*Vigna angularis*). J. Food Eng. 118: 417-420 (2013)
- Park JD, Jeon HM, Kum JS, Lee HY. Soaking and drying characteristics of grains and legumes. Korean J. Food Preserv. 13: 344-350 (2006)
- Piergiorganni AR. Kinetic of water adsorption in common bean: considerations on the suitability of Peleg's model for describing bean hydration. J. Food Process. Preserv. 35: 447-452 (2011)
- Sato S, Mukai Y, Yamate J, Kato J, Kurasaki M, Hatai A, Sagai M. Effect of polyphenol-containing azuki bean (*Vigna angularis*) extract on blood pressure elevation and macrophage infiltration in the heart and kidney of spontaneously hypertensive rats. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 35: 43-49 (2008)
- Song SB, Seo HI, Ko JY, Lee JS, Kang JR., Oh BG, Seo MC, Yoon YN, Kwak DY, Nam MH, Woo KS. Quality characteristics of adzuki beans sediment according to variety. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 1121-1127 (2011)
- Sopade P, Ajisegiri E, Badau M. The use of Peleg's equation to model water absorption in some cereal grains during soaking. J. Food Eng. 15: 269-283 (1992)
- Sung JS, Song SB, Kim JY, An YJ, Park JE, Choe ME, Chu JH, Ha TJ, Han SI. Variation in physicochemical characteristics and antioxidant activities of small redbean cultivars. Korean J. Crop Sci. 65: 231-240 (2020)
- Turhan M, Sayar S, Gunasekaran S. Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. J. Food Eng. 53: 153-159 (2002)
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Kim YB, Kim WH, Jeong HS. Antioxidant properties of adzuki beans, and quality characteristics of sediment according to cultivated methods. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 29: 134-143 (2016)
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Seo MC, Lee JS, Kang JR, Oh BG, Nam MH, Jeong HS, Lee JS. Antioxidant components and antioxidant activities of methanolic extract from adzuki beans (*Vigna angularis* var. *nipponensis*). J. Food Sci. Technol. 42: 693-698 (2010)
- Yoon ST, Qin Y, Kim TH, Choi SH, Nam JC, Lee JS. Agronomic characteristics of adzuki bean (*Vigna angularis* WF Wight) germplasm in Korea. Korean J. Crop Sci. 57: 7-15 (2012)
- Yousif A, Kato J, Deeth H. Effect of storage on the biochemical structure and processing quality of adzuki bean (*Vigna angularis*). Food Rev. Int. 23: 1-33 (2007)