

컬러감자 안토시아닌 색소발현에 관여하는 재배환경 조건

정진철[†] · 김수정 · 홍수영 · 남정환 · 손황배 · 김율호 · Manjulatha Mekapogu

농촌진흥청 국립식량과학원 고령지농업연구소

Growing Environment Influence the Anthocyanin Content in Purple- and Red-Fleshed Potatoes During Tuber Development

Jin-Cheol Jeong[†], Su-Jeong Kim, Su-Young Hong, Jung-Hwan Nam, Hwang-Bae Sohn, Yul-Ho Kim, and Manjulatha Mekapogu

Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongchang 232-955, Republic of Korea

ABSTRACT This study was carried out to determine environmental factors affecting the anthocyanin content of color-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. After planting of two color-fleshed potato cultivars of 'Hongyoung' and 'Jayoung' in different 14 locations, their soil chemical properties and meteorological data were evaluated, and anthocyanin contents of tubers were analyzed after harvest, additionally their relationship among them was analyzed through correlation analysis. In comparison with two cultivars, purple-fleshed 'Jayoung' potatoes showed higher anthocyanin content than red-fleshed 'Hongyoung' in almost locations. When locations were divided to three categories (highland, sub-highland and lowland) according to altitude, in general, highland-grown tubers had the higher content of anthocyanin compared to those grown in lowland. An analysis of the results of chemical components of soil showed that anthocyanin content of color-fleshed potato tubers was negatively correlated with the pH of soil. In addition, mean temperature and minimum temperature from 80 to 100 days after planting most significantly affected on the accumulation of anthocyanin in color-fleshed potato tubers, that is, higher content of anthocyanin was observed in tubers produced in locations with lower mean temperature and minimum temperature from 80 to 100 days after planting. This information can be useful to producers and industries in selection of proper fields for the production of color-fleshed potato tubers having high quality in Korea.

Keywords : pigment, growing location, correlation, temperature, pH

감자(*Solanum tuberosum* L.)는 국내에 도입된 이후 부족한 주식작물을 대신한 구황작물로 중요한 역할을 수행해 왔다. 1980년대 이후 주식 자급화가 달성되면서 국, 찌개 등 부식용으로 이용되어 오다가 최근에는 감자칩 등 가공용으로서의 이용비율이 증가되고 있다(Cho *et al.*, 2003). 그러나 단경기를 중심으로 외국산 가공원료 감자가 수입되고 있고, 국민들의 기호변화에 기인한 소비량 감소가 계속되면서 국내 감자산업이 다소 위축되고 있는 실정이다. 이와 같은 상황에서 국내 감자산업의 새로운 활력 창출을 위해서는 새로운 수요의 발굴이 시급하다. 감자에는 식물학적인 특성상 농산식품의 기능성을 부가시켜주는 다양한 2차대사물질이 다량 함유되어 있다(Al-Saikhani *et al.*, 1995). 이를 적절히 활용할 경우 소비자들의 건강식품 요구에 부응한 새로운 수요창출 가능성이 매우 높은 작물이다. 감자 재배종의 대부분은 백색 혹은 연황색의 육색을 보이지만 최근 들어 야생종 유전자원을 활용하여 자주색, 적색 및 연황색의 감자들이 육성되고 있다(Brown *et al.*, 2003). 국내에서도 최근 고령지 농업연구센터에서 '자영'(Park *et al.*, 2009a)과 '홍영'(Park *et al.*, 2009b)이 개발된 바 있다.

컬러감자의 육색에 자주색 혹은 붉은색으로 표현되는 것은 식물색소인 안토시아닌 성분이다(Lewis *et al.*, 1999). 이 차대사물질인 flavonoid 중 하나인 이 색소는 자연계에서 과일이나 채소의 잎, 뿌리 등 저장조직에서 다양한 색상을 띠는 것으로 알려져 있다(Francis, 1989). 인체에 흡수될 경우 항산화 기능을 보여 암예방, 순환기질환 치료 및 염증 억제 등의 질환을 개선하는 것으로 보고되고 있다(Saija, 1994).

[†]Corresponding author: (Phone) +83-33-330-1512 (E-mail) jcjeong@korea.kr

<Received 6 November, 2014; Accepted 4 June, 2015>

컬러감자인 ‘홍영’과 ‘자영’을 대상으로 분석한 결과에서도 백색 감자에 비해 항돌연변이 및 항암활성이 높아 기능성 식의약품 소재로의 개발 가능성이 높은 것으로 나타난 바 있다(Kang and Choung, 2008; Park *et al.*, 2008). 또한 Nam *et al.* (2013)은 컬러감자 가공 시 부산물로 폐기될 가능성이 높은 외피부분의 생리활성을 분석한 결과 ‘자영’ 감자 외피의 chloroform 분획물에서 유의성 있는 항염효과가 나타난다고 보고한 바 있다. 일본에서도 붉은색 감자로부터 추출된 안토시아닌 성분의 인플루엔자 바이러스 활성화저하(Hayashi *et al.*, 2003) 및 위암세포의 증식을 억제하는 효과(Hayashi *et al.*, 2006) 등이 보고된 바 있다.

감자에서 발견되는 안토시아닌은 5-glucoside-3-rhamnosyl glucoside 유도체이다(Andersen *et al.*, 1991). 유전적인 형질에 따라 자주색 혹은 붉은색을 띠는데, 유전적으로는 single dominant gene이 관여한다(De Jong, 1987). 괴경 내 함량은 붉은색 감자는 30~40 mg/100 g FW (Rodriguez-Saona *et al.*, 1998)인 반면 자주색 감자 ‘Urenika’의 경우 10배인 368 mg/100 g FW 정도(Lewis *et al.*, 1998b)인 것처럼 품종에 따라 차이가 많다. 대부분의 꽃이나 과일 등에 축적되는 안토시아닌은 광과 밀접한 관련이 있는 반면, 지하부에서 생성되는 감자 괴경의 안토시아닌은 광과 무관하다. 그러나 기내소괴경을 활용한 시험에서 빛을 조사할 경우 괴경 내 안토시아닌 함량이 현저히 증가된다고 하였다(Lewis *et al.*, 1998a). 이 외에도 여러 가지 환경요인들이 안토시아닌의 생합성에 영향을 미치는 것으로 보고되어 왔다(Chalker-Scott, 1999; Dixon and Paiva, 1995). 붉은 색 무의 경우 재배지역, 온도 및 광이 안토시아닌 생합성에 영향을 미친다고 하였고(Guisti *et al.*, 1998), 검정콩을 대상으로 한 시험에서는 재배지역의 고도가 높을수록 다량의 안토시아닌이 축적된다고 하였다(Ha *et al.*, 2009). 감자에 있어서는 괴경의 성장과 성숙이 진전됨에 따라 괴경내 안토시아닌 함량은 감소하며, 특히 장일조건과 온도가 낮은 지역에서 재배된 감자 괴경의 안토시아닌 함량이 더 높은 것으로 보고(Reyes *et al.*, 2004)된 바 있다. 자주색 표피를 보이는 ‘Norland’ 감자에서는 괴경 형성기에 표피에 축적된 안토시아닌이 괴경이 비대 됨에 따라 희석효과를 보이며 단위면적 당 함량은 감소하는 것으로 알려져 있다(Hung *et al.*, 1997). 국내에서 최초로 개발된 자주색 감자 ‘자심’을 대상으로 한 시험(Jeong *et al.*, 2006)에서는 수확일을 기준으로 수확전 30일 동안의 야간온도가 낮을수록 안토시아닌 축적이 왕성하였으며 질소 시비량 등은 지역에 따라 다른 양상을 보인다고 하였다.

가능성이 뛰어난 컬러감자를 식의약품 소재로 개발하기

위해서는 전국적인 재배를 통한 안정적인 원료 공급체계를 구축하는 것이 필수적이다. 이를 위해서는 각각의 환경조건에 따른 감자 괴경 내 안토시아닌의 축적 양상을 구명하고 결정적으로 영향을 미치는 요인을 구명하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 국내 감자 주산지라 할 수 있는 지역들을 대상으로 총 14개 장소에 ‘홍영’과 ‘자영’ 감자를 재배하여 각 지역에서 재배된 괴경 내 안토시아닌 함량 차이를 구명하여 컬러감자를 생산하기 위한 적지를 선정코자 하였다. 아울러 재배기간 중 각 지역별 기상환경 및 토양환경을 분석하여 지역 간 안토시아닌 함량의 차이가 어떤 요인에 의한 것인지 구명코자 하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 장소

본 시험에서는 컬러감자 ‘홍영’과 ‘자영’이 재료로 이용되었다. 시험용 씨감자는 전년도 대관령 고랭지 지역에서 생산된 보급종을 사용하였다.

각 지역별 포장의 좌표와 파종 및 수확 시기는 Table 1과 같다. 준비된 씨감자를 남부 평단지(보성, 나주 및 남해), 중부 평단지(예산, 평택), 북부 평단지(원주, 삼척 및 강릉 병산동), 준고랭지(홍천, 정선, 평창 진부면 2개 장소) 및 고랭지(강릉 왕산면, 평창 대관령면) 등 총 14개 지역에 분산시켜 파종하였다. 시험포장은 각 지역의 감자 재배포장 중 지역별 특성이 가장 일반적인 곳으로 선정하였으며, 75 cm의 4골(3 m)씩 10 m를 1개 시험구(30 m²)로 하여 품종별 3반복으로 임의 배치하였다. 파종 시기는 각 지역별 농가에서 관행적으로 파종하는 시기를 선택하였으며, 시비량 결정, 병해충 방제 및 재배방법 또한 관행에 준하였다. 파종 직전 포장이 조성된 상태에서 토양시료를 채취하였고, 파종 후 10일 간격으로 각 지역별 기상조건을 기상청 자료와 자동 기상관측 장치의 자료를 수집하여 분석하였다.

각 지역별 수확 시 4골 중 가장자리 2골을 제외하고 수확하여 현장에서 선별한 후 100~200 g 정도 크기의 괴경만을 실험실로 옮겨와 분석에 이용하였다.

안토시아닌 함량분석

총 안토시아닌 함량은 Fuleki & Francis (1968)의 방법에 준하여 분석하였다. 각 처리구별 20개의 괴경을 취하여 잘게 잘라 괴경 조직이 골고루 섞이게 한 후 30 g을 평량하였다. 평량 된 시료를 PE필름 봉지에 담아 급속냉동 시킨 후 분석 시 까지 -70℃의 냉동고에 보관하며 분석하였다. 각각의 시료에 90% ethanol과 1M HCl이 85:15 비율로 섞인 추

Table 1. Regions and locations for experiment.

Region (Level of sea level)	Locality (Initial)	Coordinate	Planting	Harvesting
Southern lowland (Below 100m)	Boseong (BS)	127.06E 34.68N	Late Feb.	Late May
	Naju (NJ)	126.83E 35.02N	Mid Mar.	Mid June
	Namhae (NH)	127.93E 34.82N	Late Feb.	Early June
Central lowland (Below 100m)	Yesan (YS)	126.81E 36.74N	Mid Mar.	Late June
	Pyeongtaek (PT)	126.98E 37.01N	Mid Mar.	Late June
Northern lowland (Below 100m)	Wonjoo (WJ)	127.92E 37.30N	Late Mar.	Early July
	Samcheok (SC)	129.23E 37.38N	Late Mar.	Early July
	Gangneung I (GN.B) (Byeongsan)	128.93E 37.78N	Late Mar.	Early July
Sub highland (400~600m)	Hongcheon (HC)	128.40E 37.73N	Mid Apr.	Early Sep.
	Jeongseon (JS)	128.85E 37.50N	Mid Apr.	Early Sep.
	Pyeongchang I (PC I) (Jinbu I)	128.55E 37.61N	Late Apr.	Early Sep.
	Pyeongchang II (PC II) (Jinbu II)	128.53E 37.65N	Late Apr.	Early Sep.
Highland (Above 700m)	Gangneung II (GN.W) (Wangsan)	128.77E 37.66N	Early May	Mid Sep.
	Pyongchang III (PC III) (Daegualliyong)	128.73E 37.68N	Early May	Mid Sep.

Table 2. Chemical property ranges of the soil used in the experiment.

Composition	Range (Growing area)	Composition	Range (Growing area)
pH(1:5)	5.0(PC I ²) ~ 6.9(NJ)	K(cmol/kg)	0.18(PC I) ~ 1.99(NJ)
EC(dS/m)	0.18(JS) ~ 0.92(PC II)	Ca(cmol/kg)	2.39(SC) ~ 9.27(NH)
P ₂ O ₅ (mg/kg)	146(BS) ~ 1,235(NJ)	Mg(cmol/kg)	0.56(SC) ~ 4.80(NJ)
OM(g/kg)	9.4(PC I) ~ 62.9(NJ)	Na(cmol/kg)	0.03(JS) ~ 0.41(PC II)

²See the initial of Table 1

출용매를 넣어 마쇄하였다. 마쇄된 시료를 1.5시간 동안 4°C에 보관한 후 4°C에서 15분간 14,000 g의 속도로 원심분리하여 상등액을 취했다. 분리된 상등액을 적당한 농도로 희석한 후 spectrophotometer (Agilent Tech., USA)를 이용하여 545 nm에서 흡광도를 측정하였다. 안토시아닌 함량은 mg/100 g FW로 산출하여 표시하였다.

환경요인 분석

각 지역에서 채취된 토양시료는 토양 및 식물분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토양 pH와 전기전도도는 토양과 증류수를 1:5 비율로 하여 30분간 진탕한 현탁액을 측정하였다. 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘 및 나트륨은 1N ammonium acetate (pH 7.0)로 추출하여 유도결합질량분석기(Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Optima 2100DV, PerkinElmer Co., Norwalk, CT, USA)를 이용하여 분석하였다.

기상조건은 각 지역별로 자동기상관측장비가 설치된 지

역은 해당 장비의 자료를, 설치되지 않은 곳은 가장 가까운 기상대 장비의 자료를 수집하여 활용하였다. 평균온도, 최고온도, 최저온도, 상대습도, 일조시간 및 강수량을 조사하였는데, 파종일을 시점으로 매일의 자료를 10일 간격으로 분할한 후 10일간의 평균치를 계산하였다.

상관분석

지역별로 수확된 후 분석된 감자 괴경의 안토시아닌 함량과 토양분석 결과 및 10일 간격으로 분할된 기상자료와의 상관계수를 분석하였다. SAS ver. 9.2 Software (SAS institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하였고, Pearson의 상관계수를 계산하여 1% 혹은 5%의 유의성을 판별하였다.

결과 및 고찰

지역별 환경조건

컬러감자 ‘홍영’과 ‘자영’을 전국의 14개 지역에 파종한 후 해당 포장의 토양화학성을 분석하여 각 성분의 분포를

Table 3. Climatic conditions of growing locations.

Growing ^z area	Temperature (°C)				Relative humidity (%)	Day light hours	Accumulated precipitation (mm)
	Mean	Max.(A)	Min.(B)	Dif.(A-B)			
BS	17.4	24.3	11.5	12.8	70.2	4.9	535
NJ	18.3	23.9	13.8	10.2	65.0	5.2	544
NH	16.4	21.8	11.9	9.9	66.8	5.9	702
YS	18.7	23.7	14.3	9.4	75.7	5.5	507
PT	17.5	23.1	12.4	10.7	68.5	6.2	368
WJ	17.0	23.4	11.2	12.1	61.2	5.3	246
SC	15.9	20.2	12.0	8.2	68.1	5.7	185
GN.B	16.5	20.5	12.4	8.1	68.7	6.3	147
HC	15.4	21.2	9.4	11.8	75.0	5.8	535
JS	17.1	22.5	11.9	10.7	78.6	6.2	390
PC I, II	17.7	23.5	12.2	11.3	74.4	4.7	508
GN.W	15.9	19.8	12.7	7.1	74.2	2.8	561
PC III	17.1	21.7	12.8	8.9	81.4	5.1	648

^zSee the initial of Table 1

표시한 결과는 Table 2와 같다. 토양 pH는 5.0~6.9 범위, EC는 0.18~0.92로 지역 간 다소 차이를 보이기는 했지만 감자재배를 위한 적정 범위의 수준에서 크게 벗어나지 않는 결과였다. 유효인산 함량은 사질 발토양인 보성지역은 146 mg/kg인데 비해 숙전화된 논토양인 나주지역의 경우 1,235 mg/kg으로 높아 큰 차이를 보였다. 유기물 함량은 평창 I (진부) 지역이 9.4 g/kg으로 가장 낮은 반면 나주지역은 62.9 g/kg로 가장 높아 역시 지역 간 차이가 큰 것으로 나타났다. 치환성 무기성분들 또한 최소 함량을 보인 지역과 최대 함량을 보인 지역 간 비교적 큰 차이를 보였으나 모든 성분을 기준으로 지역별 차이에 있어서 일관된 경향은 발견할 수 없었다.

각 지역별 파종일을 기준으로 100일간 기상조건을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 평균온도는 홍천지역이 15.4°C로 가장 낮았고 예산지역이 18.7°C로 가장 높아 두 지역 간 3.3°C 정도의 편차를 보였다. 14개 지역의 최고온도는 19.8~24.3°C 범위, 최저온도는 9.4~14.3°C의 범위로 조사되었다. 일반적으로 감자의 적정 생육온도 범위가 10~20°C인 점 (Tester *et al.*, 1999)을 감안할 때, 우리나라 각 지역별 감자 재배 기간의 온도조건만으로 판단한다면 파종 및 재배기간이 비교적 적절하게 설정되어 있음을 확인할 수 있었다. 재배기간 중의 평균 상대습도 범위는 61.2~81.4%로 나타났으며, 일조시간은 강릉 왕산면의 경우 태백산맥 정상 지역이기 때문에 일기가 고르지 못해 2.8로 가장 낮게 나타난 것

을 제외하고 다른 지역은 4.7~6.3 정도로 지역 간 큰 차이를 보이지 않았다. 재배기간 중의 강수량은 북부 평안지인 원주, 삼척 및 강릉 병산동 지역이 예년에 비해 가물어 비교적 적었고, 그 외 지역은 큰 차이를 보이지 않았다.

지역별 감자괴경의 안토시아닌 함량

전국의 14개 지역에서 수확된 컬러감자 ‘홍영’과 ‘자영’의 괴경내 안토시아닌 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 보성과 예산 등을 제외하고 대체적으로 준고랭지와 고랭지 지역에서 생산된 컬러감자의 안토시아닌 함량이 높은 것

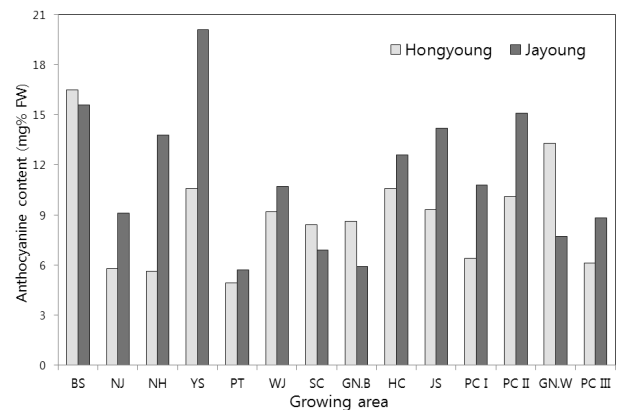


Fig. 1. Anthocyanin content of color-fleshed potatoes harvested at different growing locations. The initial of growing location was referred in Table 1.

로 나타났다. 이러한 결과는 국내에서 최초로 개발된 컬러감자 ‘자심’을 대상으로 평난지 강릉, 준고랭지 진부 및 고랭지 대관령에 파종하여 안토시아닌 함량을 분석한 Jeong *et al.* (2006)에서 평난지에 비해 고랭지에서 생산된 감자에서 높은 함량을 보인 결과와 유사한 경향이였다.

품종간 비교에서 ‘홍영’은 지역에 따라 5~15 mg/100 g FW의 함량 범위를 보였고, ‘자영’은 10~20 mg/100 g FW을 보였다. 일부 지역을 제외하고 대부분의 지역에서 붉은색 계열의 ‘홍영’보다 자주색 계열의 ‘자영’이 높은 안토시아닌 함량을 보인 것이다. 이러한 농도 범위는 기존에 개발된 컬러감자 ‘자심’의 2~7 mg/100 g FW (Jeong *et al.*, 2006) 보다 월등히 높은 것이였다. 그러나 Rodriguez-Saona *et al.*(1998)에 의해 분석된 붉은색 감자의 30~40 mg/100 g FW의 함량이나 Lewis *et al.* (1998b)에 의해 분석된 자주색 감자 ‘Urenika’의 368 mg/100 g FW에 비해서는 현저히 낮았다. 따라서 최근 들어 지금까지 사용해 오던 합성색소들의 안전성 문제가 제기되고 있는 상황(Yoon *et al.*, 1997)을 감안할 때, 식물체의 안토시아닌을 식용색소로의 활용 가능성을 높인다는 측면에서도 안토시아닌을 고농도로 함유한 감자 품종의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

생육 환경조건과 안토시아닌 함량

안토시아닌은 식물 세포의 액포 내에 축적되는데, 외부 환경조건과 액포내의 pH에 따라 색상의 종류나 밝기 등이 영향을 받는다(Harborne and Grayer, 1988). 전국의 다양한 토양조건에서 재배된 컬러감자의 안토시아닌 함량과 재배 토양의 pH, EC, 인산함량 및 치환성 양이온 함량과의 상관 분석 결과는 Fig. 2와 같다. ‘홍영’과 ‘자영’ 감자 모두 토양 pH와 안토시아닌 함량과 5% 유의성으로 부의 상관계수를 보였다. 즉, 재배 포장 내 pH가 낮을수록 컬러감자의 괴경

에는 높은 함량의 안토시아닌이 축적되는 결과를 보였다. 안토시아닌의 색상 표현은 안토시아닌의 분자적 구조와 pH에 의해 영향을 받는 것으로 잘 알려져 있다(Torskangerpoll and Anderson, 2005). 그러나 재배토양의 pH가 식물의 특정부위에 축적되는 안토시아닌 함량에 영향을 주는 지에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 다만 옥수수를 대상으로 수경 재배 방법을 통해 pH를 4.5, 6.2 및 7.5로 조절하여 재배했을 때, pH 4.5 처리구에서 가장 높은 함량의 안토시아닌이 축적되었다고 보고(Hawrylak-Nowak, 2008)된 바 있다. 그러나 토양 pH가 직접적으로 안토시아닌의 축적에 관여하는지 혹은 다른 생장반응을 유도하여 결과적으로 안토시아닌 함량을 높이는지 작용을 하는지에 관해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

식물체에 있어 안토시아닌은 화분이나 종자를 전파하기 위해 곤충을 유인하거나 UV광선 등과 같은 식물체에 유해한 외부 환경으로부터 자신을 보호하기 위한 수단으로 알려져 있다(Harborne and Grayer, 1988). 따라서 식물체 내 안토시아닌의 축적은 절대적으로 외부 환경조건의 영향을 받는다. 전국 14개 지역에 컬러감자 ‘홍영’과 ‘자영’을 재배한 후 각 지역의 기상환경을 파종 후 10일 간격으로 분할한 후 생산된 괴경의 안토시아닌 함량과의 상관분석을 수행한 결과는 Table 4와 같다. 괴경 내 안토시아닌 함량은 여러 환경조건 중 파종 후 80~100일(수확 전 0~20일) 사이의 평균 온도와 최저온도와의 사이의 결과와 통계적으로 유의한 부의 상관계수를 보여주었다. 또한 파종후 90~100일(수확 전 0~10일) 사이의 강수량과도 비교적 높은 부의 상관계수를 확인할 수 있었다. 즉, 이 시기의 평균온도와 최저온도가 낮을수록, 그리고 강수량이 적을수록 컬러감자의 괴경에는 더 많은 양의 안토시아닌이 축적된 것이라고 할 수 있다. 이러한 결과는 상승된 야간온도는 베리류의 과일 표면에 안토시아닌 색소 축적을 감소시킨다는 Mori *et al.* (2005)의 연구결과와 일치하였다. 이들은 높은 야간온도가 안토시아닌의 생합성 과정에서 chalcone synthase 등 관련 유전자의 발현을 억제한다고 밝힌 바 있다. 또한 컬러감자를 대상으로 한 재배지역간 차이를 비교한 실험에서 Reyes *et al.* (2004)는 일장이 길고 온도가 낮은 지역에서 생산된 컬러감자가 반대 지역에서 생산된 것에 비해 안토시아닌 함량이 1.4~2.5배 높다고 보고한 바 있다. 수확 직전의 강수량과 안토시아닌 함량과 비교적 높은 부의 상관계수를 보인 것은 다소 의외의 결과로 생각된다. 재배기간 중 지나치게 과도한 강우가 식물체에 스트레스로 작용하여 안토시아닌 함량을 향상시킬 수 있지만(Chalker-Scott, 1999), 이미 괴경 비대가 완료된 시점의 강우가 괴경 내 안토시아닌 축적에 영향을 미친

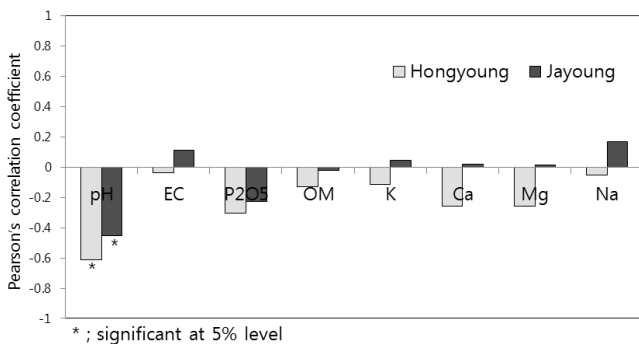


Fig. 2. Correlation coefficient between anthocyanin content of color-fleshed potatoes and chemical properties of soil at different growing locations.

Table 4. Correlation coefficients between anthocyanin content and environmental factors in color-fleshed potato tubers taken from 14 different locations of Korea.

Environmental factors	Cultivar	Days after planting									
		1~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	71~80	81~90	91~100
Mean temperature	Hongyoung	0.341	0.219	-0.001	-0.117	0.449	0.246	0.369	-0.050	-0.573*	-0.440
	Jayoung	0.436	0.063	-0.029	-0.209	0.216	0.127	0.196	0.502	-0.600*	-0.590*
Maximum temp.(A)	Hongyoung	0.328	0.188	-0.041	-0.113	0.254	0.189	0.266	-0.067	-0.408	-0.263
	Jayoung	0.479	0.262	0.228	-0.066	0.418	0.221	0.321	0.454	-0.495	-0.537
Minimum Temp.(B)	Hongyoung	0.324	0.161	0.069	-0.075	0.491	0.324	0.361	0.272	-0.653*	-0.500*
	Jayoung	0.115	-0.191	-0.371	-0.395	-0.101	-0.004	0.044	0.392	-0.681**	-0.545*
Difference temp.(A-B)	Hongyoung	0.166	0.056	-0.088	-0.082	-0.108	-0.101	-0.175	-0.265	-0.164	-0.216
	Jayoung	0.525	0.054	0.508	0.116	0.459	0.232	0.318	0.223	-0.090	0.117
Relative humidity	Hongyoung	-0.059	0.482	-0.177	0.129	0.272	0.254	-0.115	0.291	0.270	0.259
	Jayoung	-0.158	0.289	-0.184	0.452	0.441	0.427	0.089	0.290	0.475	0.407
Hours of sunshine	Hongyoung	0.125	0.143	0.260	0.010	-0.067	-0.039	-0.133	-0.149	-0.065	-0.073
	Jayoung	0.437	0.228	0.341	-0.219	0.021	-0.096	-0.034	-0.071	-0.275	-0.266
Total precipitation	Hongyoung	-0.031	-0.095	-0.286	0.219	0.245	-0.175	0.078	-0.113	-0.257	-0.565*
	Jayoung	-0.122	-0.291	0.028	0.463	0.446	0.088	-0.060	-0.195	0.126	-0.560*

*Significant at $p \leq 0.05$, **Significant at $p \leq 0.01$.

것으로 보기에 어렵기 때문이다. 다만 수확직전 강우가 지속될 경우 토양 내 수분함량이 증가되고 괴경 내부로의 흡수량을 증가시켜 최종적으로 괴경 내 안토시아닌 함량을 희석시킨 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 컬러감자의 안토시아닌 함량은 재배지역의 기상과 토양환경 조건에 따라 상당한 정도의 차이를 보였다. 즉, 안토시아닌 함량이 높은 컬러감자를 생산하기 위해서는 가능한 토양의 pH가 낮은 산성토양, 기상환경 중에서 생육 후기에 야간온도가 낮아 주야간 온도차가 많은 지역이 유리한 것으로 나타났다. 이는 앞으로 다양한 형태의 식의약 소재로의 활용이 예상되는 ‘홍영’과 ‘자영’ 감자의 생산 지역선정 시 중요한 참고자료가 될 것으로 생각된다. 아울러 컬러감자를 활용한 산업이 활성화되기 위해서는 재배환경 조건의 선택 및 조절 뿐 아니라 유전적으로 안토시아닌이 고농도로 축적되는 새로운 품종의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

적 요

본 시험은 컬러감자의 안토시아닌 함량에 영향을 미치는 환경요인을 구명하기 위하여 수행되었다. 컬러감자 ‘홍영’과 ‘자영’을 전국 감자 주요 재배지역 14곳에 파종한 후 각

지역의 토양 화학성과 기상환경 조건을 분석하였고, 각 지역에서 생산된 감자 괴경의 안토시아닌 함량을 분석하였다. 아울러 분석된 안토시아닌 함량과 토양 및 기상환경과의 관련성을 상관분석을 통해 조사하였다. 품종 간 비교에서는 시험이 수행된 대부분의 지역에서 자주색 ‘자영’이 붉은색 ‘홍영’보다 안토시아닌 함량이 높은 것으로 나타났다. 지역을 고랭지, 준고랭지 및 평탄지로 구분하였을 때, 대체적으로 고도가 높은 지역에서 생산된 컬러감자의 안토시아닌 함량이 높았다. 수확된 컬러감자 괴경의 안토시아닌 함량과 토양의 화학적 성분과의 상관분석에서는 유일하게 토양산도와 유의성 있는 부의 상관계수를 보였다. 또한 안토시아닌 함량과 기상환경 조건들과의 상관분석에서는 파종후 80~100일 사이의 평균온도 및 최저온도와 유의성 있는 부의 상관계수를 보였다. 즉, 이 시기의 평균온도와 최저온도가 낮은 지역에서 안토시아닌 함량이 높은 컬러감자 괴경이 생산되었다. 이상의 결과는 고품질의 컬러감자를 생산하기 위한 적지선정이 필요한 생산자와 산업체에 유용한 정보로 활용될 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 기관연구사업(ATIS 세부과제번호

: PJ00876405와 PJ01135401)의 지원에 의해 수행된 결과입니다.

인용문헌(REFERENCES)

- Al-Saikhan, M. S., L. R. Howard, and J. C. Miller. 1995. Antioxidant activity and total phenolics in different genotypes of potato (*Solanum tuberosum* L.). *J. Food Sci.* 60 : 341-343.
- Andersen, M., S. Opheim, D. W. Akasnes, and N. A. Froystein. 1991. Structure of petanin, an acylated anthocyanin isolated from *Solanum tuberosum*, using homo- and hetero-nuclear two-dimensional nuclear magnetic resonance techniques. *Phytochem. Anal.* 2 : 230-236.
- Brown, C. R., R. Wrolstad, R. Durst, C.-P. Yang, and B. Clevidence. 2003. Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins. *Amer. J. Potato Res.* 80 : 241-250.
- Chalker-Scott, L. 1999. Environmental significance of anthocyanins in plant stress responses. *Photochem. Photobiol.* 70 : 1-9.
- Cho, H. M., Y. E. Park, J. H. Cho, and S. Y. Kim. 2003. Historical review of land race potatoes in Korea. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44 : 838-845.
- De Jong, H. 1987. Inheritance of pigmented tuber flesh in cultivated diploid potatoes. *Amer. Potato J.* 64 : 337-343.
- Dixon, R. A. and N. L. Paiva. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7 : 1085-1097.
- Francis, F. J. 1989. Food colorants: Anthocyanins. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 28 : 273-315.
- Fuleki, T. and F. J. Francis. 1968. Quantitative methods for anthocyanin. I. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J. Food Sci.* 33 : 72-77.
- Guisti, M. M., L. E. Rodriguez-Saona, J. R. Baggett, G. L. Reed, R. W. Durst, and R. E. Wrolstad. 1998. Anthocyanin pigment composition of red radish cultivars as potential food colorants. *J. Food Sci.* 63 : 219-224.
- Ha, T. J., J. H. Lee, S. O. Shin, S. H. Shin, S. I. Han, H. T. Kim, J. M. Ko, M. H. Lee, and K. Y. Park. 2009. Changes in anthocyanin and isoflavone concentrations in black see-coated soybean at different planting locations. *J. Crop Sci. Biotech.* 12 : 79-86.
- Harborne, J. B. and R. J. Grayer. 1988. The anthocyanins. In: Harborne J. B., ed. *The flavonoids: Advances in research since 1980*. London: Chapman and Hall. pp. 1-20.
- Hawrylak-Nowak, B. 2008. Changes in anthocyanin content as indicator of maize sensitivity to selenium. *J. Plant Nutri.* 31 : 1232-1242.
- Hayashi, K., H. Hibasami, T. Murakami, N. Terahara, M. Mori, and A. Tsukui. 2006. Induction of apoptosis in cultured stomach cancer cells by potato anthocyanins and its inhibitory effects on growth of stomach cancer in mice. *Food Sci. Technol. Res.* 12 : 22-26.
- Hayashi, K., M. Mori, Y. M. Knox, T. Suzutan, M. Ogasawara, I. Yoshida, K. Hosokawa, A. Tsukui, and M. Azuma. 2003. Anti-influenza virus activity of a red-fleshed potato anthocyanin. *Food Sci. Technol. Res.* 9 : 242-244.
- Hung, C. Y., J. R. Murray, S. M. Ohmann, and C. B. S. Tong. 1997. Anthocyanin accumulation during potato tuber development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122 : 20-23.
- Jeong, J. C., D. C. Chang, Y. H. Yoon, C. S. Park, and S. Y. Kim. 2006. Effect of cultural environments and nitrogen fertilization levels on the anthocyanin accumulation of purple-fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) variety Jasim. *J. Bio-Environ. Control* 15 : 204-210.
- Kang, S. C. and M. K. Choung. 2008. Comparative study on biological activities of colored potatoes, Hongyoung and Jayoung cultivar. *Kor. J. Crop Sci.* 53 : 233-238.
- Lewis, C. E., J. R. L. Walker, and J. E. Lancaster. 1999. Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid concentrations during development and storage of colored potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 79 : 311-316.
- Lewis, C. E., J. R. L. Walker, J. E. Lancaster, and A. J. Conner. 1998a. Light regulation of anthocyanin, flavonoid and phenolic acid biosynthesis in potato tubers *in vitro*. *Aus. J. Plant Physiol.* 25 : 915-922.
- Lewis, C. E., J. R. L. Walker, J. E. Lancaster, and K. H. Sutton. 1998b. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I. Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. *J. Sci. Food Agric.* 77 : 58-63.
- Mori, K., S. Sugaya, and H. Gemma. 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition. *Scientia Horticulturae* 105 : 319-330.
- Nam, J. H., J. C. Jeong, O. K. Kwon, S. Y. Hong, S. J. Kim, H. B. Son, J. N. Lee, K. T. Lee, and H. J. Park. 2013. Anti-inflammatory activity of peel extracts in color-fleshed potatoes. *Kor. J. Plant Res.* 26 : 533-538.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. *Methods of soil and crop plant analysis*. Suwon, Korea.
- Park, Y. E., J. C. Jeong, H. M. Cho, Y. S. Hwang, H. J. Lee, S. S. N. Choi, S. J. Lee, E. S. Park, E. A. Ko, N. S. Kim, J. D. Lim, and M. K. Chung. 2008. Antimutagenic effect and cytotoxicity to human cancer cell lines of colored potato extracts. *Kor. J. Crop Sci.* 53 : 75-84.
- Park, Y. E., J. H. Cho, H. M. Cho, J. Y. Yi, H. W. Seo, and M. K. Chung. 2009a. A new potato cultivar 'Jayoung', with red skin and flesh color, and high concentrations of anthocyanins. *Kor. J. Breed. Sci.* 41 : 51-55.
- Park, Y. E., J. H. Cho, H. M. Cho, J. Y. Yi, H. W. Seo, and M. K. Chung. 2009b. A new potato cultivar 'Hongyoung', with high concentration of anthocyanin. *Kor. J. Breed. Sci.* 41 : 51-55.
- Rodriguez-Saona, L. E., M. M. Guisti, and R. E. Wrolstad. 1998. Anthocyanin pigment composition of red-flesh potatoes. *J. Food Sci.* 63 : 458-465.
- Reyes, L. F., J. C. Miller, Jr., and L. Cisneros-Zevallos. 2004. Environmental conditions influence the content and yield of anthocyanins and total phenolics in purple- and red-flesh

- potatoes during tuber development. *Amer. J. Potato Res.* 81 : 187-193
- Saija, A. 1994. Pharmacological effects of anthocyanins from blood orange juice. *Essenze-Deriv. Agrum.* 64 : 229-233.
- Tester, R. F., S. J. J. Debon, H. V. Davies, and M. J. Gidley. 1999. Effect of temperature on the synthesis, composition and physical properties of potato starch. *Sci. Food Agric.* 79 : 2045-2051.
- Torskangerpoll, K. and O. M. Anderson. 2005. Color stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. *Food Chem.* 89 : 427-440.
- Yoon, J. M., M. H. Cho, T. R. Hahn, Y. S. Oaik, and H. H. Yoon. 1997. Physicochemical stability of anthocyanins from a Korean pigmented rice variety as natural food colorants. *J. Food Sci. Technol.* 29 : 211-217.