

재배환경 및 질소시비량이 자주색 감자 ‘자심’의 안토시아닌 색소 축적에 미치는 영향

정진철* · 장동철 · 윤영호 · 박천수 · 김승열
고령지농업연구소

Effect of Cultural Environments and Nitrogen Fertilization Levels on the Anthocyanin Accumulation of Purple-fleshed Potato (*Solanum tuberosum* L.) Variety Jasim

Jin-Ceol Jeong*, Dong-Chil Chang, Young-Ho Yoon, Chun-Su Park, and Sung-Yeol Kim
National Institute of Highland Agriculture, RDA, Pyeongchang 232-955, Korea

Abstract. The purple color in flesh of ‘Jasim’ potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers is due to an accumulation of anthocyanin. The experiment was conducted to determine what is the key factor among cultural environments that affect the accumulation of anthocyanin in ‘Jasim’ potato tubers, and the effect of nitrogen fertilization levels on that. Through analysis of anthocyanin content of purple-fleshed tubers produced under the different cultural environments of three localities and two planting dates, we determined that lower temperature during 30days before harvesting resulted in higher anthocyanin accumulation of ‘Jasim’ potato tubers. In the experiment of different level of nitrogen fertilization, ‘Jasim’ potato tubers produced in highland (Daegualryeong) showed higher content of anthocyanin in the treatment of recommended level than in treatment of lower or higher level as compared with the recommended level. However, significant difference of anthocyanin content among different nitrogen fertilization levels was not observed in lowland (Gangnung). These results suggest that the selection of locality or cropping system and the optimal fertilization management are very important factors for production of higher pigmented tubers in purple-fleshed potato.

Key words : locality, PAL, planting date, quality

*Corresponding author

서 언

현재 재배되고 있는 감자 괴경의 육색은 백색이나 연황색 계통이 주종을 이루지만 유전적으로는 매우 다양한 분포를 지닌다. 농촌진흥청 고령지농업연구소에서 육성되어 2000년 품종 등록된 ‘자심’ 감자는 육색이 자주색을 띠고 있어 소비자들로부터 주목을 받고 있다. 자주색 육색을 띠게 하는 것은 식물색소인 안토시아닌 (anthocyanin)이며, 이 색소는 자연계에서 과일이나 채소의 잎, 뿌리 등 저장조직에서 자주색 외에도 오렌지색, 빨간색, 파란색 등 다양한 색을 띤다(Francis, 1989). 플라보노이드 색소 중 하나인 안토시아닌은 식물이 자신의 화분이나 종자를 전파하기 위해 곤충을 유인하는 역할을 하거나 식물체에 유해한 UV 광선으로부터 자

신을 보호하기 위한 수단으로 이용된다는 것이 정설로 알려져 있다(Mazza와 Minati, 2001).

그러나 최근 들어 식물색소인 안토시아닌이 인체 내에서 생체막의 불포화지방산 변성에 관여하는 활성산소를 포집하는 기능, 즉 항산화기능이 밝혀지면서 임상 실험을 통해 암예방, 순환기질환 치료, 염증억제 등에 매우 효과적이라고 보고되고 있다(Saija, 1994). 이러한 기능성 외에도 식물체의 안토시아닌은 식품에 첨가하는 천연 색소원으로도 각광을 받고 있는데, 이는 최근에 지금까지 사용되어 오던 합성색소들의 안전성 문제가 제기되고 있기 때문이다(Yoon 등, 1997). 작물에 함유된 안토시아닌을 이용한 천연색소 개발 연구는 다양한 작물들을 대상으로 수행되어 왔다. 육색이 자주색을 띠는 고구마의 경우 안토시아닌은 peonidin-3-

diglucoside-5-glucoside인 것으로 밝혀진 바 있으며 (Lee 등, 2000), 적정 추출용매, 추출온도, pH 조건 등에 대한 연구가 수행된 바 있다(Kim 등, 1996). 작물에 따라서 안토시아닌 함량은 매우 다르게 나타나는데, cranberry의 경우 감자와 매우 유사하며(Fuleki와 Francis, 1968), 외관상 함량이 매우 높을 것으로 보여지는 붉은색 무와 붉은색 배추는 오히려 낮으나(Guisti 등, 1998) elderberry는 감자에 비해 2~10배 함량이 높은 것으로 알려져 있다(Kaack과 Austed, 1998).

감자 괴경에 있어 안토시아닌은 유전적인 형질에 따라 자주색 혹은 붉은색 육색을 띠는데(Lewis 등, 1998, 1999; Rodriguez-Saona 등, 1998; Fossen and Anderson, 2000), 주요 형태는 petunidin 유도체 2개와 peonidin 유도체 2개인 것으로 알려져 있다(Fossen 등, 2003). 이때 안토시아닌의 축적은 유전적으로 single dominant gene이 관여한다고 보고(De Jong, 1987)된 바 있으며, Reyes 등 (2004)은 재배기간이 경과될수록, 재배기간 온도가 낮을수록 괴경 내 안토시아닌 색소 축적이 왕성하다고 하였다. 표피가 자주색인 ‘Norland’ 감자에서는 괴경 형성기에 표피에 축적된 안토시아닌이 괴경이 비대 됨에 따라 희석효과를 나타내며 단위면적당 농도는 감소되는 것으로 알려져 있다(Hung 등, 1997). 감자 괴경내 안토시아닌 함량은 질소 시비수준에 따라서는 차이를 보이지 않으며, 수확후 저장 중에도 함량 변화가 크지 않은 특성이 있다(Jansen과 Flamme, 2006). 국내에서는 Jeon 등 (2005)에 의해 ‘자심’을 비롯한 국내 육성 자주색 감자 계통들을 안토시아닌 함량에 따라 4가지 그룹으로 분류하고 이화학적 특성 및 생리 활성 등이 보고된 바 있다.

그러나 ‘자심’ 감자의 뛰어난 기능성과 기호성에도 불구하고 안토시아닌 색소의 기본적인 특성 외에는 달리 연구가 진행되고 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 전국적인 재배면적 확대를 위해 필수적인 재배 지역별 안토시아닌 축적의 특성, 축적에 결정적으로 관여하는 환경요인 등을 구명코자 하였으며, 아울러 질소질 비료 시비량 조절에 의한 함량증진 방법을 개발코자 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 2002년 고랭지대인 대관령(해발 800m)과

평산지대인 강릉(해발 10m)에 위치한 고령지농업연구소 실험포장에서 수행되었다. 실험에 사용된 감자 품종은 ‘자심’이었으며, 씨감자는 전년도에 대관령에서 생산된 기본식물급이었다. 파종시기 및 일반적인 재배관리는 해당 지역의 관행적인 시기와 재배법에 준하였다. 모든 실험에서 파종 100일 후 감자 괴경을 수확하였으며, 수확된 괴경 중 100~200g 크기의 괴경만을 선별하여 시험재료로 이용하였다.

재배 지역별 환경요인의 차이에 따른 감자 괴경 내 안토시아닌 축적 양상을 비교하기 위하여 대관령(800m), 진부(600m) 및 강릉(10m 내외) 등 3개 지역에서 포트시험을 수행하였다. 약 20L 정도 크기의 포트에 고령지농업연구소에서 기본종 감자 재배 시 사용하는 감자전용 상토를 담아 씨감자를 파종하였다. 각 포트에는 점적관수 시스템을 설치하여 일정수준 이하로 건조될 경우 자동으로 관수되는 시스템을 활용하였다. 약제 살포 등 기타 경종법은 관행적인 재배법에 준하였다. 생육단계별 조우되는 환경조건을 달리하기 위하여 지역별로 2개의 파종기를 두었는데, 대관령의 경우 적정 파종기인 5월 6일과 10일 후인 5월 16일, 진부는 적정 파종기인 4월 24일과 10일 후인 5월 4일 각각 파종하였다. 그러나 강릉의 경우 작형을 달리 하여 봄재배에서는 4월 3일, 가을재배에서는 8월 14일 파종하여 실험을 수행하였다. 각 지역 및 파종기별 파종 80일 후부터 10일 간격으로 총 4회 괴경을 수확하여 실험재료로 이용하였다. 시험구는 각 실험별로 반복당 20개 화분을 대상으로 3반복 배치하였다.

질소시비 수준이 감자 괴경의 안토시아닌 색소 축적에 관여하는 효과를 분석하기 위하여 대관령과 강릉의 2개 지역에서 시비실험을 수행하였다. 양 지역의 실험포장 토양시료를 채취하여 분석한 후 작물별 시비처방기준(NAIST, 1999)에 준하여 각 포장별 3요소외의 검정시비량을 결정하였다. 질소시비 수준은 검정시비량을 대조구로 하여 1/2 감량구, 1/3 감량구 및 1/3 증량구 등을 두어 요소를 이용 시비한 한 후 처리간 비교하였다. 이때 인산은 용과린, 칼리는 염화가리를 질소시비 처리구에 모두 동일하게 검정시비량을 기준으로 시비하였는데, 질소를 비롯한 모든 비료는 전량 기비로 처리하였다. 이때 시험구는 50m²를 처리구로 하여 난괴법 3반복 배치하였다. 파종 후 처리별 생육, 수량 및 안토시아닌 함량을 분석하였다.

총 안토시아닌 함량은 Fuleki와 Francis (1968)의 방법에 준하여 분석하였다. 각 처리별 20개 괴경을 취하여 세척하고 잘게 잘라 괴경 조직이 골고루 섞이게 한 후 30g의 시료를 평량하였다. 평량한 시료에 90% ethanol과 1M HCl이 85:15 비율로 섞인 추출용매를 넣어 마쇄하고, 4°C에 1.5시간동안 보관한 후 4°C에서 15분간 14,000g의 속도로 원심분리하여 상등액을 취하였다. 분리된 상등액을 적당한 농도로 희석한 후 spectrophotometer(Agilent 8453, Agilent Tech., USA)를 이용 545nm에서 흡광도를 측정하고, 안토시아닌 함량(mg/100g FW)을 산출하였다.

결과 및 고찰

토양환경 요인에 의한 영향을 배제하기 위하여 포트 실험을 통해 기상환경이 상이한 3개 지역에서 파종시기 또는 작형을 달리하여 재배한 후 '자심' 감자 괴경에 축적되는 안토시아닌 함량을 분석한 결과는 Fig. 1과 같다. 모든 처리구에서 괴경내 안토시아닌 함량은 동일 생체 중량을 기준으로 비교할 때 괴경 비대가 진행될수록 서서히 감소되는 결과를 보였다. 이와 같은

결과는 표피가 자주색인 'Norland' 감자의 표피 조직면적당 안토시아닌 함량이 괴경 비대 단계가 진행될수록 감소한다는 보고(Hung 등, 1997)와 일치하는 것이었다. 또한 괴경 크기별로 무작위 선별하여 안토시아닌 함량을 분석했을 때, 괴경 크기가 클수록 안토시아닌 함량이 감소하는 결과를 통해서도 잘 나타나고 있다 (Fig. 2). 재배지역별 비교에서는 강릉의 봄재배 또는

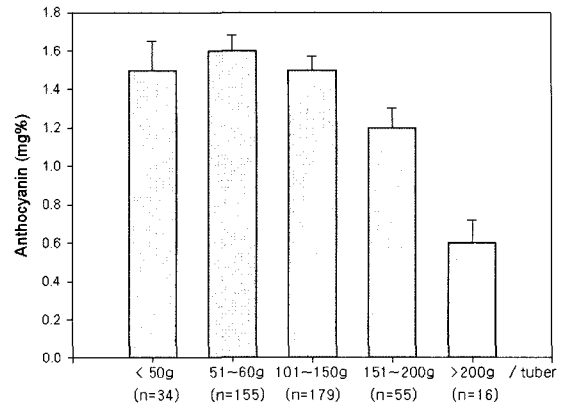


Fig. 2. Anthocyanin content of purple-fleshed potato (cv. Jasim) tubers according to their tuber size. Vertical bars indicate standard error.

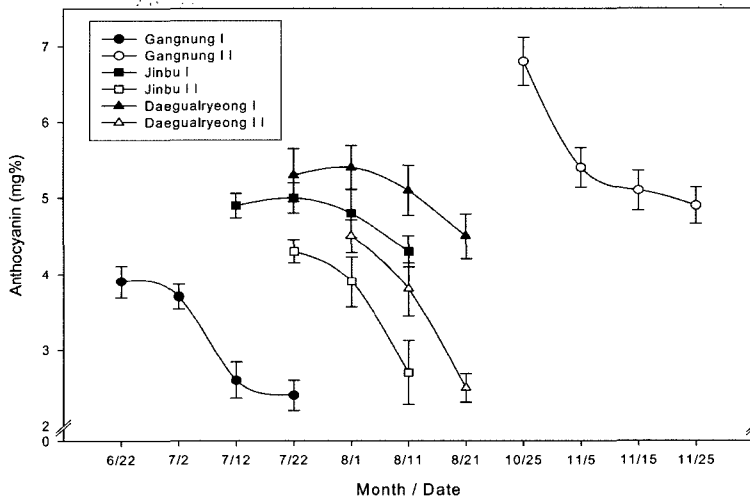


Fig. 1. Changes in anthocyanin content of purple-fleshed potato (cv. Jasim) tubers during the growth according to different localities and planting dates. Vertical bars indicate standard error (n=20).

Gangnung I : planted in April 3 at 10m above sea level (asl)

Gangnung II : planted in August 14 at 10m asl

Jinbu I : planted in April 24 at 600m asl

Jinbu II : planted in May 4 at 600m asl

Daegualryeong I : planted in May 6 at 800m asl

Daegualryeong II : planted in May 16 at 800m asl

재배환경 및 질소시비량이 자주색 감자 ‘자심’의 안토시아닌 색소 축적에 미치는 영향

Table 1. Correlation coefficients between climatic parameters and anthocyanin content of purple-fleshed potato (cv. Jasim) tubers taken from three different localities of Korea.

Environmental parameter	Days before harvesting						
	70~61	60~51	50~41	40~31	30~21	20~11	10~1
Mean temperature	0.317	0.366	0.154	-0.121	-0.498	-0.732**	-0.663**
Max. temperature	0.367	0.557	0.186	0.003	-0.156	-0.511*	-0.494*
Min. temperature	0.237	0.113	0.001	-0.147	-0.683**	-0.772**	-0.663**
Relative humidity	0.079	-0.185	-0.073	-0.056	-0.172	-0.300	-0.414
Sunshine hour	-0.178	0.010	-0.128	-0.056	0.110	-0.181	-0.109
Precipitation	0.150	0.221	0.204	0.523	-0.179	-0.148	1.108

*, **: Significant at the 5 and 1% level of probability.

진부와 대관령의 여름재배에서는 재배지역의 고도가 높을수록 안토시아닌 함량이 높은 결과를 보였으며, 파종 적기에 파종한 감자 피경이 10일 늦게 파종한 것에 비해 높은 함량을 보였다. 그러나 특이하게 강릉의 가을재배를 통해 생산된 피경에서는 타 지역 혹은 타 작형에 비해 월등하게 높은 안토시아닌 함량을 보였다.

한편, 이와 같이 지대별 혹은 재배기간 별 감자 피경 내 안토시아닌 함량이 차이를 보이는 원인을 구명키 위하여 수확시점을 기준하여 10일 간격으로 수확 전 70일까지의 기상요소들을 구분하여 안토시아닌 함량과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 1과 같다.

‘자심’ 감자의 안토시아닌 함량은 여러 가지 기상요인 중 온도요인들과 밀접한 상관관계를 보였는데, 특히 수확 30일전부터 수확기까지의 평균온도 및 최저온도와 고도의 부의 상관관계를 보였다. 즉, 이 시기의 야간온도가 낮을수록 피경내 안토시아닌 축적이 왕성하게 이루어진 것으로 추정된다. Reyes 등(2004)도 자주색 혹은 적색 육색을 지닌 감자를 대상으로 한 실험에서 재배지대의 일장이 길수록, 생육기간 중 온도가

낮을수록 피경내 안토시아닌 색소 축적이 활발하다고 보고한 바 있다. 따라서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 강릉에서 가을재배를 했을 경우 특이하게 안토시아닌 함량이 높게 나타난 것은 가을재배 후반기에 생육 온도가 현저히 낮아졌기 때문인 것으로 생각된다.

식물체에서 안토시아닌은 phenylalanine과 acetyl-CoA를 전구물질로 하여 생합성되는데, 이때 phenylalanine ammonia lyase(PAL)의 활성이 중요한 요인으로 작용한다고 알려져 있다(Chaluts, 1973). 본 실험에서 재배지대, 파종기 및 작형별로 재배된 ‘자심’ 감자 피경의 PAL 활성을 측정된 결과(Table 2), 피경내 안토시아닌 축적과의 어떤 관련성을 발견할 수 없었다. 이러한 결과는 ‘자심’ 감자의 경우 피경내 안토시아닌 축적은 피경 자체의 생화학적인 기작보다 지상부 생장도중 이미 상당량 생합성 되어 동화물질과 함께 피경으로 전이되는 것임을 강력하게 시사하는 것이라 판단된다. 따라서 금후 지상부의 안토시아닌 생합성 기작과 아울러 지상부 및 지하부의 상호 관련성에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Table 2. Phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity^z of purple-fleshed potato (cv. Jasim) tubers according to different localities and planting dates.

Locality and planting date ^y	Day after planting			
	80	90	100	110
Gangnung I	3.1±0.41 ^x	3.7±0.76	3.8±0.54	4.2±0.90
Gangnung II	4.3±0.96	4.3±0.84	-	-
Jinbu I	4.1±0.46	3.8±0.90	5.2±1.19	2.4±0.38
Jinbu II	3.3±0.36	4.3±0.75	4.8±0.40	-
Daegualryeong I	4.2±0.98	1.7±0.12	2.1±0.05	3.8±0.31
Daegualryeong II	4.4±0.81	3.2±0.39	2.7±0.25	-

^zUnit per mg protein

^ySee the Fig. 1

^xMean ± S.E. (n=5)

Table 3. Effect of nitrogen fertilization levels on the plant growth and yield of purple-fleshed potato cv. Jasim at two different localities.

Locality	Nitrogen fertilization level	No. of stem per plant	Stem length (cm)	Yield (kg/10a)	Specific gravity
Gangnung (10m asl)	A ² × 1/2	4.4a	45b	4,219a	1.061b
	A × 2/3	4.6a	49a	4,101a	1.064b
	A	4.1a	48ab	4,079a	1.062b
	A × 3/2	4.0a	51a	3,101b	1.064b
Daegualryeong (800m asl)	A × 1/2	3.4b	25d	3,135b	1.070a
	A × 2/3	3.7b	28c	3,348b	1.071a
	A	3.5b	32c	3,012b	1.069a
	A × 3/2	3.5b	36c	2,336b	1.070a

²Calculated by the recommended standard amount of fertilizer for potato after soil analysis.

재배법 개선에 의해 ‘자심’ 감자의 괴경 내 안토시아닌 함량을 증진하기 위하여 강릉과 대관령의 2개 지역에서 질소 시비량을 달리하여 실험을 수행한 결과는 Table 3과 같다. 출현율에서는 재배지역 및 시비처리 간 차이를 보이지 않았으나 강릉에서 다소 경수가 많고 경장도 큰 것으로 나타나 지상부 생육은 강릉지역에서 비교적 양호한 결과를 보였다. 수량성 비교에서는 대관령보다 강릉이 다소 높은 경향을 보였고, 강릉의 경우 권장시비량에 비해 다소 감량시비 할 경우 수량성이 높았으나 대관령은 시비수준 간에 차이를 보이지 않았다. 괴경의 충실도를 나타내는 비중의 경우 수량성과는 반대로 대관령에서 높았으나 두 지역 공히 질소 시비수준 간에는 차이를 보이지 않았다.

한편, 질소 시비수준을 달리하여 재배된 ‘자심’ 감자 괴경의 안토시아닌 함량을 분석한 결과, Fig. 1에서의 결과와 마찬가지로 대관령에서 재배된 괴경이 강릉에서 재배된 괴경보다 안토시아닌 함량이 높았다(Fig. 3). 질소 시비수준 간 차이 비교에서 강릉지역의 경우 권장시비 처리(A)와 감량 시비처리(A×1/2량과 A×2/3량) 간에는 안토시아닌 함량이 차이를 보이지 않았으나 다소 증량시비(A×3/2량)한 처리구에서는 다소 높게 나타났다. 그러나 대관령 지역의 경우 감량시비 혹은 증량시비한 처리구에서 모두 권장시비 처리구에 비해 현저히 낮은 안토시아닌 함량을 보였다.

이와 같은 결과는 질소시비량에 따라 안토시아닌 함량에 차이가 없었다는 Jansen과 Flamme (2006)의 보고와는 상반된 것으로, 강릉과 대관령의 시비실험 결과 또한 상이한 것으로 보아 안토시아닌의 감자 괴경내

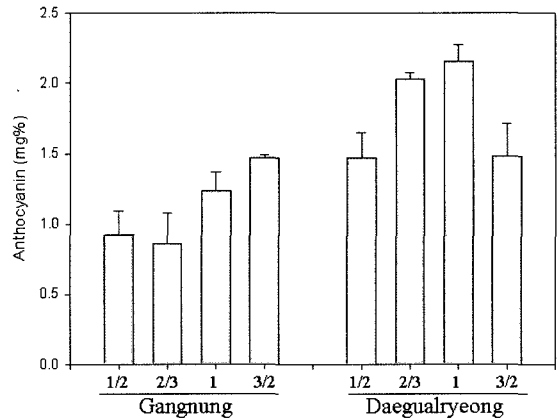


Fig. 3. Effect of nitrogen fertilization levels on the anthocyanin content of purple-fleshed potato (cv. Jasim) tubers at two different localities. See Table 3 for nitrogen fertilization levels.

축적에 미치는 시비효과는 재배품종의 유전적 특성과 재배환경 등에 의해 다르게 나타날 수 있음을 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 실용적인 측면에서 ‘자심’ 감자를 활용하여 기능성 물질인 안토시아닌이 높은 농도로 축적된 고품질 자주 감자를 생산하기 위해서는 적절한 재배지대 및 작형의 선정이 무엇보다 중요할 것으로 생각된다. 즉, 봄재배 혹은 여름재배 작형을 이용해야 할 경우에는 가능한 재배기간 온도가 낮게 유지되는 고랭지 지역을 선택하는 것이 유리하며, 평안지에서는 씨감자 확보 방안을 마련한 후 가을재배를 통해 생산하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 이때 질소 시비수준은 토양검정을 통해 계산된 검정시비

량을 준수해야 하며, 지나친 과다시비는 오히려 색소 축적에 나쁜 영향을 미친다는 점을 고려해야 할 것으로 생각된다.

적 요

고령지농업연구소에서 육성된 '자심' 감자(*Solanum tuberosum* L.) 괴경의 자주색 육색은 안토시아닌 색소의 축적에 기인한다. 본 연구는 이러한 '자심' 감자의 괴경 조직에 안토시아닌이 축적될 때 결정적으로 관여하는 기상 환경요인을 분석하고 색소 함량 증대를 위한 질소시비 기준을 설정하기 위하여 수행되었다. 기상 환경요인이 뚜렷하게 다른 3개 지역에서 파종시기 또는 재배 작형을 달리하여 '자심' 감자를 재배하고 수확된 괴경의 안토시아닌 함량을 분석한 결과, 수확일을 기준으로 수확전 30일 동안의 야간온도가 낮을수록 괴경내 안토시아닌 축적이 왕성한 것으로 나타났다. 안토시아닌 축적에 영향을 미치는 질소시비 수준의 효과를 분석한 결과 고랭지인 대관령에서는 권장시비량 처리구에 비해 감량시비 혹은 증량시비 처리구에서 안토시아닌 함량이 낮은 결과를 보였다. 그러나 평난지인 강릉에서는 시비수준간 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 안토시아닌이 고농도로 축적된 자주색 육색의 '자심' 감자를 생산하기 위해서는 적절한 재배지대 및 작형의 선택과 시비관리가 매우 중요할 것으로 생각된다.

주제어 : 재배지역, 파종시기, PAL, 품질

인 용 문 헌

- Chaluts, E. 1973. Ethylene-induced phenylalanine ammonia lyase activity in carrot roots. *Plant Physiol.* 51:1033-1036.
- De Jong, H. 1987. Inheritance of pigmented tuber flesh in cultivated diploid potatoes. *Amer. Potato J.* 64:337-343.
- Fossen, T. and O.M. Andersen. 2000. Anthocyanins from tubers and shoots of the purple potato, *Solanum tuberosum*. *J. Kort. Sci. Biotech.* 75:360-363.
- Fossen, T., D.O. Ovstedal, R. Slimestad, and O.M. Anderson. 2003. Anthocyanins from a Norwegian potato cultivar. *Food Chem.* 81:433-437.
- Francis, F.J. 1989. Food colorants: Anthocyanins. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 28: 273-315.
- Fuleki, T. and F.J. Francis. 1968. Quantitative methods for anthocyanins. 1. Extraction and determination of total anthocyanin in cranberries. *J. Food Sci.* 33:72-77.
- Giusti, M.M., L.E. Rodrigues-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.
- 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.
- Jansen, G. and W. Flamme. 2006. Coloured potatoes (*Solanum tuberosum* L.)-anthocyanin content and tuber quality. *Gen. Resou. Crop Evol.* in print.
- Jeon, T.W., Y.S. Cho, S.H. Lee, S.M. Cho, H.M. Cho, K.S. Chang, and H.J. Park. 2005. Studies on the biological activities and physicochemical characteristics of pigments extracted from Korean purple-fleshed potato. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37:247-254.
- Kaack, K. and T. Austed. 1998. Interaction of vitamin C and flavonoids in elderberry (*Sambucus nigra* L.) during juice processing. *Plant Foods Hum. Nutr.* 52:187-198.
- Kim, S.J., J.W. Rhim, L.S. Lee, and J.S. Lee. 1996. Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28:345-351.
- Lee, L.S., S.J. Kim, and J.W. Rhim. 2000. Analysis of anthocyanin pigments from purple-fleshed sweet potato (Jami). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29:555-560.
- 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 coloured potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *J. Sci. Food Agric.* 79:311-316.
- Lewis, C.E., J.R.L. Walker, J.E. Lancaster, and K.H. Sutton. 1998. Determination of anthocyanins, flavonoids and phenolic acids in potatoes. I. Coloured cultivars of *Solanum tuberosum* L. *J. Sci. Food Agric.* 77:45-57.
- Mazza, G. and E. Minati. 1993. Anthocyanins in fruits, vegetables, and grains. CRC Press, Boca Ration, Fla. p. 19.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 1999. Fertilizer application recommendation for crops. Sangrok press. Suwon, Korea.
- 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.
- Rodriguez-Saona, L.E., M.M. Giusti, and R.E. Wrol-

- stad. 1998. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes. *J. Food Sci.* 63:458-465.
20. Saija A. 1994. Pharmacological effects of anthocyanins from blood orange juice. *Essenze-Deriv. Agrum.* 64:229-233.
21. 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.