

변색기 고온에 의한 ‘거봉’ 및 ‘흑보석’ 포도의 과피 안토시아닌 조성 변화

류수현* · 한점화 · 한현희 · 정재훈 · 조정건 · 도경란

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예작물부 과수과

Changes of Fruit Quality and Anthocyanin Composition of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ Grape Berry Skins under High Temperature at Veraison

Suhyun Ryu*, Jeom Hwa Han, Hyun Hee Han, Jae Hoon Jeong, Jung-Gun Cho, and Kyeong Ran Do

Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science,
Rural Development Administration, Wanju 565-852, Korea

Abstract. We analyzed the skin coloration and anthocyanin composition of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grape berries to determine the cause of poor coloring in ‘Kyoho’ berry skins under high temperature (HT) at veraison. Although the skin coloration inhibited in both ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ berries under HT for 30 days from veraison, the total anthocyanin content in ‘Heukboseok’ berry skins increased to the level of control after the end of temperature treatment, but ‘Kyoho’ did not increase. Malvidin derivatives were most significantly reduced in ‘Kyoho’ berry skins, followed by those of delphinidin and petunidin. Among individual anthocyanins, diglucosides and acylated malvidin derivatives were most decreased in ‘Kyoho’ berry skins. Acylated and tri-hydroxylated anthocyanins were reduced more than those of non-acylated and dihydroxylated, respectively. All different types of anthocyanin components in ‘Kyoho’ berry skins decreased by HT, and they were similar to that of total anthocyanin. In ‘Heukboseok’ berry skins, accumulations of all different types of anthocyanins were inhibited by HT, and increased to the level of control after the end of the treatment. These results suggest that the poor coloration of ‘Kyoho’ under HT at veraison was not caused by the decrease of specific anthocyanins but because the whole anthocyanin biosynthesis was suppressed by HT.

Additional key words : poor coloration, anthocyanidin, acylation, abnormal high temperature

서 론

과피의 색은 포도의 품질을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이다. 착색계 포도의 과피 색은 안토시아닌의 함량 및 조성에 의해서 달라지며(Castellarin과 Gaspero, 2007), 이는 품종 고유의 유전적인 특성 및 환경적인 요인에 의해 결정된다(He 등, 2010b).

안토시아닌은 당과 배당체인 안토시아니딘의 결합으로 합성되며, 포도에는 pelargonidin(Pel), cyanidin(Cya), delphinidin(Del), peonidin(Peo), petunidin(Pet), malvidin(Mal)의 6가지의 안토시아니딘이 존재한다(Holton과 Cornish, 1995). 이 중에서 Mal이 대부분의 품종에서 가장 많은 비율을 차지하며, Pel은 극히 적은 양으로 존재하여 일반적으로 관찰되지 않는다(He 등, 2010a). 각 안토시아니딘의 조성에 따라 온도, 광 조건 등의 환경적인 요인에

따른 과피 색의 안정성이 달라지며, 안토시아닌으로 합성된 이후의 acylation 등의 추가적인 가공에 의해서도 영향을 받는다(Tamura 등, 1994).

국내에서 가장 많이 재배되고 있는 대립계 품종인 ‘거봉’은 착색이 시작되는 7-8월의 고온으로 인하여 착색이 불량해지는 현상이 수년간 보고되고 있으며, 기후 변화로 인한 이상고온 현상의 발생 빈도가 증가하면서 앞으로 이 문제가 더 심각해질 것으로 예상되고 있다(Lee 등, 2012). 하지만 품종 고유의 안토시아닌 조성의 차이가 고온에 의한 착색 불량과 어떠한 상관관계가 있는지에 대해서는 상대적으로 연구가 부족한 상황이다.

따라서 본 연구는 착색 개시기 고온에 의한 ‘거봉’의 착색 불량에 안토시아닌의 조성이 미치는 영향을 구명하기 위해서 수행되었으며, 비교를 위해 고온에서도 상대적으로 착색이 잘 이루어진다고 알려진 ‘흑보석’ 포도를 함께 처리하여 분석하였다. 착색기 고온 조건에서 ‘거봉’, ‘흑보석’의 착색 반응과 시기별 두 품종의 과피의 안토시아닌 조성을 비교하였다.

*Corresponding author: tngus4228@korea.kr

Received May 16, 2018; Revised June 30, 2018;

Accepted July 2, 2018

재료 및 방법

완주군 국립원예특작과학원내의 유리온실에서 포트에 재식한 2년생 ‘거봉’, ‘흑보석’ 나무를 대상으로 7월 28일(변색기 시작, 전체 송이의 10%가 착색)부터 8월 31일까지의 온도를 제어하여 진행하였다. 대조구는 완주 지역의 30년 평균 기온을 시간 별로 적용하였고, 고온구는 대조구에 비해 6°C 높은 온도를 처리하였다. 품종 별로 4주씩 처리하였고, 한 주당 4송이, 과방당 40립씩 착과시켜 물질 분석에 활용하였다. 온도 처리가 종료된 이후 대조구와 고온구의 온도를 모두 완주지역 9월의 30년 평균 기온으로 적용하여 착색의 진행을 관찰하였다.

과피의 개별 안토시아닌 함량을 분석하기 위해 10일 간격으로 과피 시료를 채취하였다. 과피를 과육에서 분리하여 붙어있는 과육을 핀셋으로 최대한 제거하고 난 후, 액체질소에 얼린 상태로 막자 사발에서 분쇄하였다.

분쇄한 과피 0.1g에 MeOH와 0.1N HCl을 85:15(v:v)로 혼합한 추출액을 2mL 넣고 암조건에서 15시간 동안 추출한 뒤, 3,600rpm으로 10분 동안 원심분리하여 상등액을 0.45mm syringe filter에 여과하여 HPLC (1100 Series, Hewlett-Packard, Germany)로 분석하였다. 안토시아닌 분석은 포도 재배 및 와인 국제 사무국 (International Organisation of Vine and Wine, OIV)에서 제시한 분석 방법을 약간 수정하여 이용하였다. 안토시아닌 분리에 이용한 컬럼은 YMC-Pack Pro C18 RS(250 × 4.6mm, 5mm, YMC, Japan)이며, 40°C에서 41분 동안 분석하였다. 안토시아닌의 함량은 518nm의 파장에서 malvidin 3-glucoside(Extrasynthese, France)의 표준품을 이용해 작성한 표준곡선으로 정량하여 mg·g⁻¹의 단위로 나타내었다.

모든 통계처리는 SAS Enterprise Guide 7.1 프로그램에 의한 t-test(independent sample)로 평균간의 유의성 ($P < 0.05$)을 검정하였다.

Table 1. Individual anthocyanin contents in berry skins of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grape under control and high temperature (HT) conditions at 125 days after full bloom.

Anthocyanin (mg/g FW)	Kyoho		Heukboseok	
	Control	HT	Control	HT
Total	3.24±0.91*	0.94±0.36	2.38±0.25	1.76±0.48
Del-3-glucoside	0.09±0.02	0.04±0.03	0.05±0.00	0.07±0.01
Peo-3-glucoside	0.10±0.02	0.07±0.00	0.06±0.01	0.06±0.01
Mal-3-glucoside	0.21±0.07*	0.07±0.03	0.09±0.01	0.13±0.04
Peo-3,5-diglucoside	0.16±0.05*	0.04±0.04	0.08±0.02	0.06±0.01
Mal-3,5-diglucoside	0.38±0.14*	0.07±0.02	0.27±0.07	0.18±0.10
Del-3-acetylglucoside	0.12±0.02*	0.05±0.00	0.12±0.01	0.07±0.02
Del-3-coumaroyl-5-diglucoside	0.11±0.02*	-	0.09±0.01*	0.06±0.01
Del-3-coumaroylglucoside	0.11±0.03	0.05±0.00	0.07±0.00	0.07±0.02
Cya-3-coumaroyl-5-diglucoside	0.06±0.01	0.03±0.03	0.06±0.01	0.02±0.03
Cya-3-coumaroylglucoside	0.06±0.00	0.02±0.03	0.06±0.00	0.05±0.00
Pet-3-acetylglucoside	0.04±0.03	-	0.05±0.00	0.05±0.00
Pet-3-coumaroyl-5-diglucoside	0.07±0.00*	0.05±0.00	0.08±0.00*	0.06±0.01
Pet-3-coumaroylglucoside	0.12±0.03*	0.04±0.03	0.07±0.00	0.08±0.01
Peo-3-coumaroyl-5-diglucoside	0.16±0.05*	0.07±0.01	0.08±0.01	0.07±0.01
Peo-3-coumaroylglucoside	0.09±0.01	0.06±0.01	0.05±0.00	0.06±0.00
Mal-3-acetylglucoside	0.08±0.01	0.04±0.03	0.06±0.00	0.08±0.01
Mal-3-(cis)-coumaroyl-5-diglucoside	0.10±0.03	0.03±0.03	0.10±0.02	0.07±0.03
Mal-3-(trans)-coumaroyl-5-diglucoside	0.81±0.27*	0.09±0.03	0.69±0.05	0.30±0.18
Mal-3-(cis)-coumaroylglucoside	0.06±0.00	0.03±0.03	0.06±0.00	0.03±0.03
Mal-3-(trans)-coumaroylglucoside	0.33±0.09*	0.08±0.02	0.18±0.01	0.18±0.05

Value : mean ± SE of duplication.

* Indicates a significant difference between control and HT at $P < 0.05$.

Table 2. Anthocyanidin contents in berry skins of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grape under control and high temperature (HT) conditions at 125 days after full bloom.

Cultivar	Treatment	Total	Cyanidin	Delphinidin	Petunidin	Peonidin	Malvidin
Kyoho	Control	3.24±0.91*	0.12±0.01	0.43±0.10*	0.23±0.07*	0.50±0.13*	1.97±0.61*
	HT	0.94±0.36	0.05±0.05	0.14±0.03	0.09±0.03	0.24±0.06	0.42±0.18
Heukboseok	Control	2.38±0.25	0.11±0.01	0.33±0.03	0.21±0.01	0.27±0.04	1.45±0.17
	HT	1.76±0.48	0.07±0.03	0.27±0.05	0.18±0.02	0.25±0.03	0.99±0.35

Value : mean ± SE of duplication.

* Indicates a significant difference between control and HT at $P < 0.05$.

Table 3. Contents of different groups of anthocyanin in berry skins of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grape under control and high temperature (HT) conditions at 125 days after full bloom.

Cultivar	Treatment	Total	Non-acylated anthocyanins	Acylated anthocyanins	Di-hydroxylated anthocyanins	Tri-hydroxylated anthocyanins
Kyoho	Control	3.24±0.91*	0.93±0.17*	2.31±0.35*	0.62±0.08*	2.62±0.44*
	HT	0.94±0.36	0.30±0.06	0.64±0.14	0.29±0.06	0.64±0.14
Heukboseok	Control	2.38±0.25	0.56±0.08	1.82±0.10	0.38±0.04	1.99±0.14
	HT	1.76±0.48	0.50±0.08	1.26±0.20	0.32±0.03	1.44±0.25

Value : mean ± SE of duplication.

* Indicates a significant difference between control and HT at $P < 0.05$.

결 과

변색기부터 30일 동안의 고온에 의해 ‘거봉’, ‘흑보석’ 두 품종 모두에서果皮의 안토시아닌 함량이 감소하였다 (Table 1). 수확기果皮의 안토시아닌 조성과 각각의 함량을 비교한 결과, ‘거봉’에서 더 많은 종류의 안토시아닌이 고온에 의해 감소하였다. 총 안토시아닌 함량은 ‘흑보석’이 대조구에 비해 26%, ‘거봉’이 71% 감소하여, ‘거봉’에서 더 크게 감소하였다. ‘거봉’에서 개별 안토시아닌 중 가장 큰 감소율을 보이는 것은 diglucoside 및 acyl group이 있는 Mal 형태였으며, Mal-3-(trans)-coumaroyl-5-diglucoside가 가장 크게 감소하였고, 그 외에 Mal-3,5-diglucoside, Mal-3-(trans)-coumaroylglycoside 순으로 감소하였다.

안토시아닌의 그룹별로 비교하면 Mal, Del, Pet, Cya, Peo 순으로 감소하였으며, 그 중에서 Cya를 제외한 나머지 4그룹의 함량이 대조구에 비해 유의하게 감소하였다 (Table 2). 또한, 안토시아닌의 acylation 여부나, 안토시아닌 기본 구조 중 B ring의 hydroxyl group의 개수와 관계없이 모두 고온 조건에서 함량이 감소하였다 (Table 3). Acylation이 일어난 안토시아닌(acylated)이 그렇지 않은 형태(non-acylated)에 비해 더 크게 감소하였고, 생합성 과정에서 B ring에 hydroxyl group이 2개 결합되는 구조(di-hydroxylated)보다 3개가 결합되는 구조(tri-hydroxylated)의 감소율이 더 높았다.

‘흑보석’果皮의 총 안토시아닌은 고온 처리에 의해 감소하는 경향을 보이지만, 대조구와의 유의차가 나타나지 않았다 (Table 1). ‘흑보석’果皮에서는 acyl group이 있는 Del, Pet-diglucoside 형태가 고온에 의해 감소하였다. 5개의 안토시아닌 중에서 대조구와 통계적인 차이를 나타내는 그룹은 관찰되지 않았으며 (Table 2), 안토시아닌의 acylation 여부나, B ring의 hydroxyl group의 개수와 관계없이 모든 그룹이 대조구에 비해 감소하지 않았다 (Table 3).

온도 처리가 종료된 후부터 수확기까지 두 품종의 안토시아닌의 구성 비율은 크게 달라지지 않았다 (Table 4). 처리 종료 시(만개 후 96일) ‘거봉’의果皮에서는 Cya과 Peo의 비율이 흑보석에 비해 높았고, Del, Pet, Mal의 비율은 ‘흑보석’에서 더 높게 관찰되었다. 이러한 품종간 안토시아닌의 비율의 차이가 수확기(만개 후 125일)까지 같은 경향으로 유지되었다.

고온 처리에 의한 시기별果皮의 변화를 관찰한 결과, 고온 처리 2주 후부터 ‘거봉’의 착색 속도가 느려지기 시작하며 대조구에 비해 2주 이상 늦어지는 모습을 보였다 (Fig. 1). 온도 처리가 종료되고 ‘거봉’의 숙기인 8월 하순 이후에도 더 이상 착색이 진행되지 않았다. ‘흑보석’의 경우, 고온 처리 중에는 착색이 전혀 이루어지지 않다가 온도 처리가 종료된 이후부터 빠르게 착색이 시작되었지만 숙기가 지나고 나서도 착색이 대조구만큼 진하게 이루어지지 않는 것으로 조사되었다.

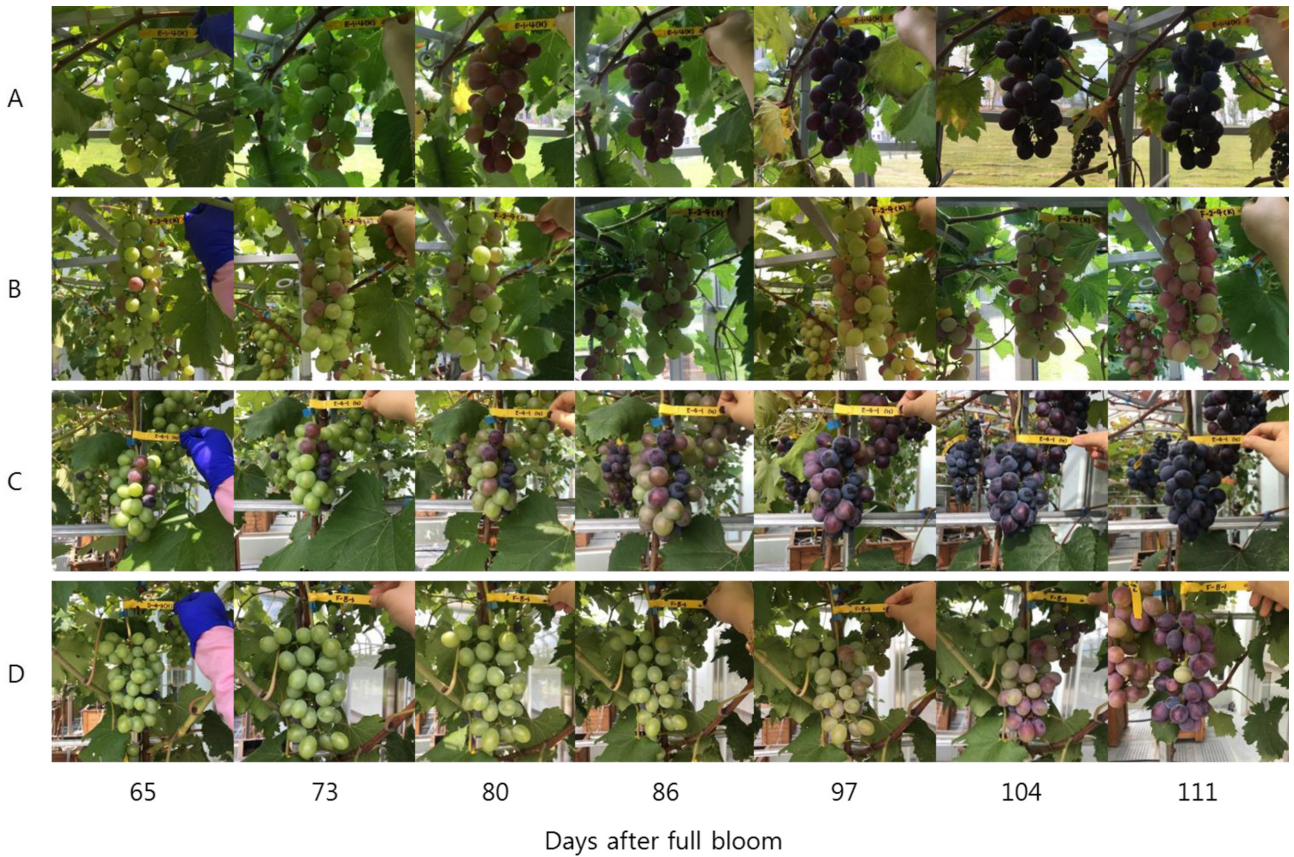


Fig. 1. Berry skins coloration in ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grapes under control and high temperature (HT) conditions. A, ‘Kyoho’ control; B, ‘Kyoho’ under HT; C, ‘Heukboseok’ control; D, ‘Heukboseok’ under HT.

시기별 안토시아닌 함량의 변화를 관찰한 결과, ‘거봉’ 과피의 총 안토시아닌 함량은 고온 처리 20일 후부터 대조구에 비해서 낮았고 수확기까지 낮은 수준을 유지하였다(Fig. 2). 안토시아닌 중에서 Cya를 제외한 나머지 4그룹은 총 안토시아닌 함량과 동일한 경향을 나타내며 감소하였다. Cya의 함량은 고온에 의해 처리 30일 후부터 감소했지만, 온도 처리의 종료 후 대조구의 수준으로 증가하였다. 안토시아닌의 형태에 따른 함량을 분석한 결과, ‘거봉’ 포도에서 acylation 및 B ring의 hydroxyl group의 개수와 관계없이 고온에 의해 처리 20일 후부터 대조구에 비해 낮았다(Fig. 3). 고온 처리가 종료된 이후에도 안토시아닌이 축적되지 못했으며, 최종적으로 대조구의 수준만큼 증가하지 못하였다.

‘흑보석’ 과피에서는 고온 처리에 의해 안토시아닌의 합성이 억제되었지만, 온도처리가 종료된 이후 다시 축적되기 시작하여 대조구의 수준으로 회복되었다(Fig. 4). 안토시아닌별 함량의 변화를 분석한 결과, Cya를 제외한 나머지 4그룹의 함량이 총 안토시아닌과 동일한 경향을 보이며 변화하였고, 최종적으로 대조구의 함량과

차이가 나타나지 않았다. 안토시아닌의 형태에 따른 변화를 관찰한 결과, acylation 및 B ring의 hydroxyl group의 개수와 관계없이 고온에 의해 처리 20일 후부터 함량이 감소하였다(Fig. 5). 하지만, 온도 처리 종료 후 모든 형태의 안토시아닌이 다시 축적되기 시작하였으며, 수확기에 대조구와 비슷한 수준으로 회복되었다.

고 찰

착색기의 고온에 의해 ‘거봉’과 ‘흑보석’ 두 품종 모두의 착색이 지연되었는데(Fig. 1), 이는 주야간의 고온에 의해 포도 과피의 안토시아닌 함량이 감소하였다는 Mori 등(2004)과 Shinomiya 등(2015)의 결과와 일치하였다. 하지만 온도 처리 종료 이후 ‘거봉’은 과피의 안토시아닌 함량이 증가하지 못하고 착색이 정지하였지만, ‘흑보석’은 과피의 안토시아닌이 다시 축적되기 시작하여 수확기에는 대조구의 함량과 차이가 나타나지 않았다(Table 1). 하지만 실제 수확기의 과실은 대조구에 비해 착색이 완전히 회복되지 않은 모습을 보였다(Fig. 1). 이

변색기 고온에 의한 ‘거봉’ 및 ‘흑보석’ 포도의 과피 안토시아닌 조성 변화

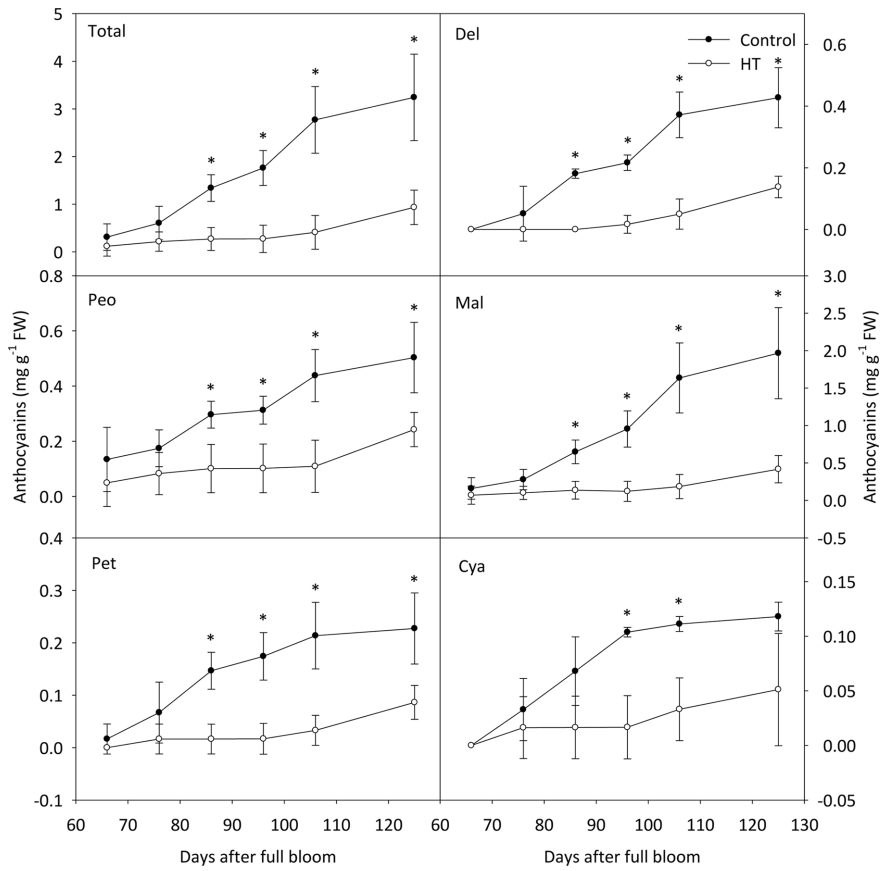


Fig. 2. Changes in anthocyanidin contents in ‘Kyoho’ grape berry skins under control and high temperature (HT) conditions. Vertical bars indicate the standard errors of the means ($n = 4$), and asterisks indicate significant differences using Student’s t-test at $P < 0.05$. Del, dephinidin; Peo, peonidin; Mal, malvidin; Pet, petunidin; Cya, cyanidin.

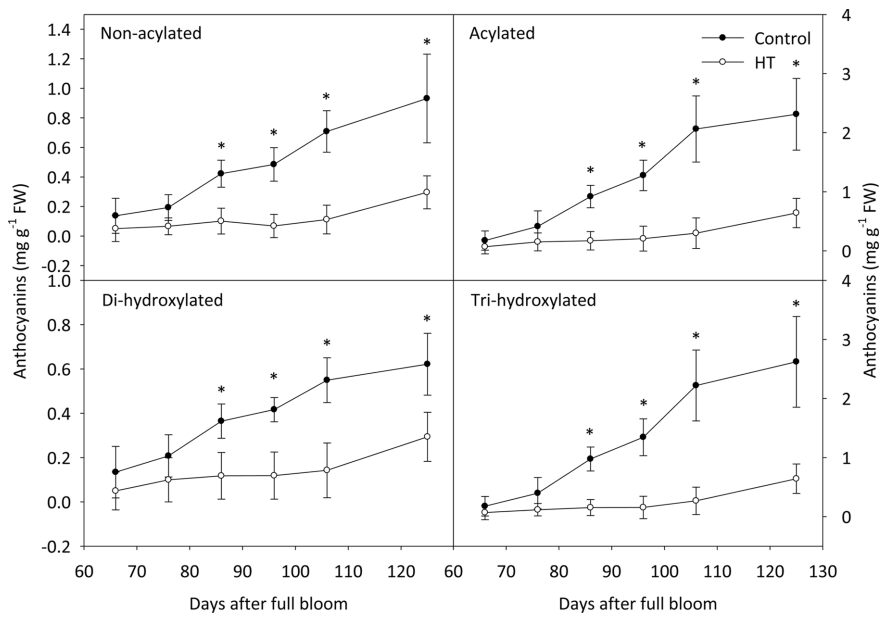


Fig. 3. Changes in anthocyanin contents by structure in ‘Kyoho’ grape berry skins under control and high temperature (HT) conditions. Vertical bars indicate the standard errors of the means ($n = 4$), and asterisks indicate significant differences using Student’s t-test at $P < 0.05$.

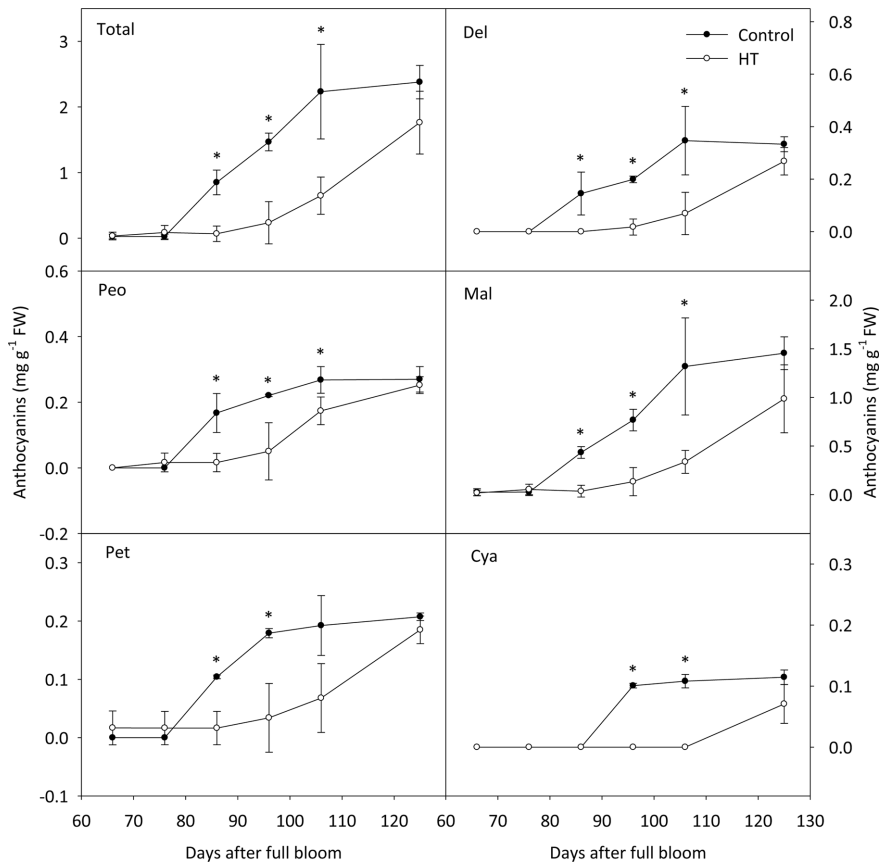


Fig. 4. Changes in anthocyanidin contents in 'Heukboseok' grape berry skins under control and high temperature (HT) conditions. Vertical bars indicate the standard errors of the means (n = 4), and asterisks indicate significant differences using Student's t-test at $P < 0.05$. Del, dephinidin; Peo, peonidin; Mal, malvidin; Pet, petunidin; Cya, cyanidin.

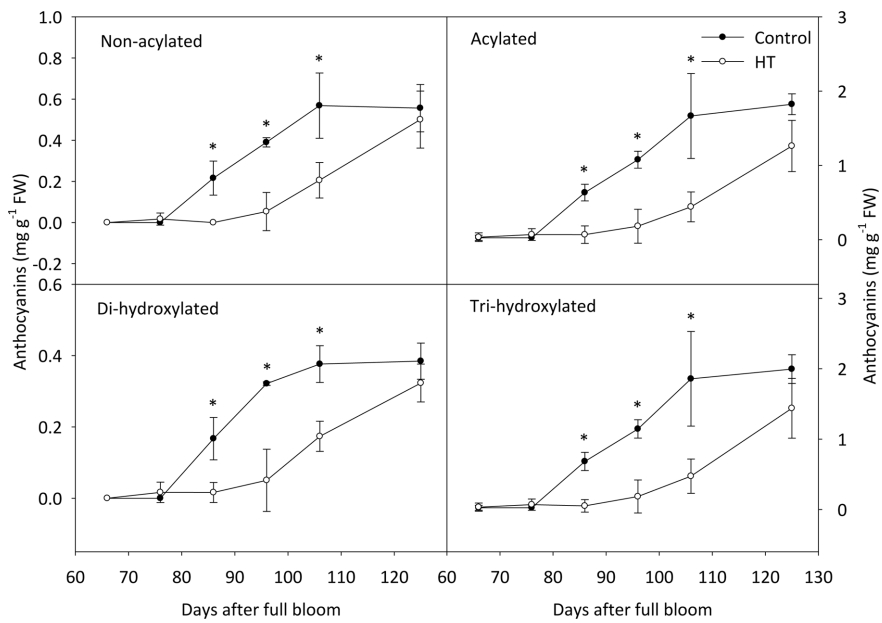


Fig. 5. Changes in anthocyanin contents by structure in 'Heukboseok' grape berry skins under control and high temperature (HT) conditions. Vertical bars indicate the standard errors of the means (n = 4), and asterisks indicate significant differences using Student's t-test at $P < 0.05$.

Table 4. Anthocyanidin component ratios in berry skins of ‘Kyoho’ and ‘Heukboseok’ grape under high temperature (HT) conditions at 96 and 125 days after full bloom (DAFB).

Date	Cultivar	Total(%)	Cyanidin(%)	Delphinidin(%)	Petunidin(%)	Peonidin(%)	Malvidin(%)
96 DAFB	Kyoho	100	7.41	7.41	7.41	37.0	44.4
	Heukboseok	100	0.00	8.33	12.5	20.8	54.2
125 DAFB	Kyoho	100	5.32	14.9	9.57	25.5	44.7
	Heukboseok	100	3.98	15.3	10.2	14.2	56.3

는 눈에 보이는 착색의 정도가 외과피에서 넓게는 중과 피 상부까지 분포되어 있는 안토시아닌의 축적에 의해 결정되는데 비해, 안토시아닌의 정량 분석에는 외과피만 최대한 얇게 벗겨서 이용했기 때문에 이러한 차이가 나타났다고 판단되었다. 고온에 의한 과피의 착색 불량에서 품종에 따른 과실의 부위별 안토시아닌 축적 변화에 대해서는 추가적인 분석이 필요하다고 판단된다.

본 실험에서 ‘흑보석’ 과피의 안토시아닌 함량의 증가가 안토시아닌의 비율과 상관없이 전체적으로 다시 증가하는 경향으로 나타났기 때문에(Table 4), 고온에 의한 ‘거봉’, ‘흑보석’간의 서로 다른 착색 반응은 안토시아닌의 구성 비율이나 개별 안토시아닌의 특성 때문이 아니라, 각 품종의 안토시아닌 생합성 과정에서 고온이 미치는 영향이 다르기 때문으로 판단된다.

안토시아닌은 flavilium의 기본 구조를 갖고 있으며, 이는 A, B, C의 3개의 ring으로 이루어져있다(Mazza와 Francis, 1995). 포도 과피에 존재하는 안토시아닌 그룹은 B ring의 구조에 따라 고온 조건에서 서로 다른 축적 양상을 보인다. Di-hydroxylated 그룹(Cya, Peo)보다 tri-hydroxylated 그룹(Del, Mal, Pet)이 고온에 더 민감하게 반응하며 감소하며, 이는 안토시아닌 생합성 과정에서 tri-hydroxylated 구조를 완성하는 *flavonoid 3'5'-hydroxylase*의 발현이 고온에 의해 감소하기 때문이다(Mori 등, 2007). ‘거봉’ 과피에서도 고온에 의해 Mal, Del, Pet, Cya, Peo의 순서로 크게 감소하였고(Table 2), 그 중 Cya이 고온에 의해 가장 느리게 영향을 받았으며 감소율이 적었다(Fig. 2). 따라서, 진한 자주색이나 푸른색을 나타내는 tri-hydroxylated 계열의 안토시아닌의 합성이 고온에 의해 더 크게 억제되면서 과피의 착색이 진하게 이루어지지 못한 것이라고 판단되었다.

안토시아닌은 그 구조에 따라 온도에 대한 안정성이 달라지는데, 일반적으로 acylation이 일어나면 주 저장 기관인 액포로의 이동이 촉진되며(Gomez 등, 2009) 액포 내에서 anthocyanic vacuolar inclusion 구조를 형성하여(Kallam 등, 2017) 고온 조건에서 더 안정화된다고 알려져 있다(Tarara 등, 2008). 하지만, ‘거봉’ 과피에서 고온에 의해 acylation된 Mal이 가장 많이 감소하였고,

non-acylated(68%)와 비교했을 때 acylated(72%)가 더 큰 비율로 감소하였다(Table 3). 기존의 연구 결과에서도 고온에 의해 non-acylated의 감소 비율이 높거나(De Rosas 등, 2017), 반대로 acylated가 더 많이 감소되는 상반된 결과가 보고되었다(Azuma 등, 2012). 본 연구의 결과를 통해, 착색 초기의 고온에 의해 과피의 착색이 불량해지는 이유는 기존에 합성된 안토시아닌이 분해되었다기보다 전체적인 안토시아닌의 생합성이 억제되었기 때문임을 알 수 있었다. 따라서, ‘거봉’의 안토시아닌에서 가장 많은 비율을 차지하는 acylation된 Mal의 감소율이 가장 높았던 것으로 판단되었다.

과피에 존재하는 당은 안토시아닌의 합성 재료로서 중요한 역할을 하며, 과실의 당이 일정 함량 이상으로 증가하지 못하면 안토시아닌의 축적이 이루어지지 않는다(Sadras와 Moran, 2012). 안토시아닌의 축적으로 착색이 이루어지는 사과와 같은 경우, 야간의 고온에 의해 과실의 당 함량이 감소하여 착색이 불량해진다고 보고되었다(Ryu 등, 2015). 하지만 ‘거봉’과 ‘흑보석’의 과피 내 당 함량은 고온에 의해 감소하지 않았으며, 거봉의 당도가 흑보석의 당도에 비해 오히려 높은 경향을 나타내었다(테이 터 미제시). 이는 주야간 고온에 의해 착색이 억제된 경우에 포도의 당도가 높아지거나(Shinomiya 등, 2015), 당 함량에 차이가 나타나지 않았다는 보고(Koshita 등, 2015)와 비슷한 결과로, 과피의 당 함량은 변색 초기의 고온에 의해 착색에 필요한 수준 이하로 감소하지 않는 것으로 판단되었다. 따라서, 고온 조건에서 착색이 불량해지는 것은 당 함량의 감소 때문이 아닌, 안토시아닌 생합성과 연관된 유전자 발현과 효소의 활성이 고온에 의해 억제되었기 때문으로 생각되었다(De Rosas 등, 2017; Mori 등, 2004; Mori 등, 2007).

따라서, 본 실험의 결과를 통해 변색 초기의 고온으로 인한 ‘거봉’과 ‘흑보석’의 서로 다른 착색의 반응은 두 품종의 안토시아닌 생합성에 고온이 미치는 영향이 다르기 때문으로 판단된다. 변색 초기의 이상 고온으로 인한 포도의 착색 불량을 경감시키기 위해서는, 두 품종의 안토시아닌 생합성 과정에서 차이를 가져오는 단계를 밝혀낼 필요가 있으며, 그에 따른 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

적 요

여름철 고온으로 인해 ‘거봉’ 포도의 착색 불량이나 타나는 원인을 안토시아닌 조성의 변화로부터 구명하기 위해 본 실험을 수행하였으며, 같은 대립계 포도 품종인 ‘흑보석’의 과실 품질과 안토시아닌의 변화를 함께 비교하였다. 착색 초기부터 30일 동안의 고온 처리에 의해 ‘거봉’과 ‘흑보석’ 모두에서 과피의 착색이 감소하였지만, ‘흑보석’은 온도 처리의 종료 이후 안토시아닌 함량이 대조구의 수준으로 증가하였고, ‘거봉’은 착색이 정지된 상태로 안토시아닌 함량이 증가하지 못했다. 고온에 의해 ‘거봉’의 안토시아닌은 Mal, Del, Pet의 순으로 크게 감소하였으며, 개별 성분으로는 diglucoside 및 Mal-acylated 형태가 가장 크게 감소하였다. 안토시아닌의 형태별 함량을 비교한 결과, ‘거봉’ 과피에서 고온에 의해 acylated 형태가 non-acylated 형태에 비해서 더 크게 감소하였고, B ring의 tri-hydroxylated 형태가 di-hydroxylated 형태보다 더 큰 비율로 감소하였다. ‘거봉’에서 모든 그룹의 안토시아닌 함량이 총 안토시아닌과 비슷한 경향으로 감소하였고, ‘흑보석’에서는 모든 그룹의 함성이 고온에 의해 억제되었다가 온도 처리가 종료된 이후 대조구의 수준으로 회복되었다. 따라서 착색 초기의 고온에 의한 ‘거봉’의 착색 불량은 특정 안토시아닌의 감소에 의한 것이 아니라, 전체적인 안토시아닌의 생합성 자체가 고온에 의해 억제되었기 때문으로 판단되었다.

추가 주제어: 착색불량, 안토시아닌, 아실화, 이상 고온

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01276002)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

Azuma A., Yakushiji H., Koshita Y., and S. Kobayashi. 2012. Flavonoid biosynthesis-related genes in grape skin are differentially regulated by temperature and light conditions. *Planta* 236(4):1067-1080.

Castellarin S.D., and G.D. Gaspero. 2007. Transcriptional control of anthocyanin biosynthetic genes in extreme phenotypes for berry pigmentation of naturally occurring grapevines. *BMC Plant Biol.* 7(1):46.

Gomez C., Terrier N., Torregrosa L., Violet S., Fournier-Level A., Verries C., Souquet J.M., Mazauric J.P., Klein M., Cheyrier V., and A. Ageorges. 2009. Grapevine MATE-type proteins act as vacuolar H⁺-dependent acylated anthocyanin

transporters. *Plant Physiol.* 150(1):402-415.

He F., He J.J., Pan Q.H., and C.Q. Duan. 2010a. Mass-spectrometry evidence confirming the presence of pelargonidin-3-O-glucoside in the berry skins of Cabernet Sauvignon and Pinot Noir (*Vitis vinifera* L.). *Aust. J. Grape Wine Res.* 16(3):464-468.

He F., Mu L., Yan G.L., Liang N.N., Pan Q.H., Wang J., Reeves M.J., and C.Q. Duan. 2010b. Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* 15(12):9057-9091.

Holton T.A. and E.C. Cornish. 1995. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis. *Plant Cell* 7(7):1071-1083.

Kallam K., Appelhagen I., Luo J., Albert N., Zhang H., Deroles S., Hill L., Findlay K., Andersen O.M., Davies K., and C. Martin. 2017. Aromatic decoration determines the formation of anthocyanic vacuolar inclusions. *Curr. Biol.* 27(7):945-957.

Koshita Y., Mitani N., Azuma A., and H. Yakushiji. 2015. Effects of short-term temperature treatment to clusters on anthocyanin and abscisic acid content in the peel of ‘Aki Queen’ grape. *Vitis* 54(4):169-173.

Lee, K., H.J. Baek, S. Park, H.S. Kang, and C.H. Cho. 2012. Future projection of changes in extreme temperatures using high resolution regional climate change scenario in the Republic of Korea. *J. Kor. Geogr. Soc.* 47: 208-225 (in Korean).

Mazza G. and F.J. Francis. 1995. Anthocyanins in grapes and grape products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35(4):341-371.

Mori K., Sugaya S., and H. Gemma. 2004. Regulatory mechanism of anthocyanin biosynthesis in ‘Kyoho’ grape berries grown under different temperature conditions. *Environ. Contr. Biol.* 42(1):21-30.

Mori K., Goto-Yamamoto N., Kitayama M., and K. Hashizume. 2007. Effect of high temperature on anthocyanin composition and transcription of flavonoid hydroxylase genes in ‘Pinot noir’ grapes (*Vitis vinifera*). *J. Hort. Sci. Biotech.* 82(2):199-206.

De Rosas I. Ponce M.T., Malovini E., Deis L., Cavagnaro B., and P. Cavagnaro. 2017. Loss of anthocyanins and modification of the anthocyanin profiles in grape berries of Malbec and Bonarda grown under high temperature conditions. *Plant Sci.* 258:137-145.

Ryu, S., Y. Kwon, K.R., Do, J.H., Han, H.H., Han, and H.C. Lee. 2015. Physiological responses and fruit quality changes of ‘Fuji’ apple under the high night temperature. *Protected Hort. Plant Fac.* 24(3):264-270.

Sadras V.O., and M.A. Moran. 2012. Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18(2):115-122.

Shinomiya R., Fujishima H., Muramoto K., and M. Shiraishi. 2015. Impact of temperature and sunlight on the skin coloration of the ‘Kyoho’ table grape. *Sci. Hort.* 193:77-83.

Tamura H., Hayashi Y., Sugisawa H., and T. Kondo. 1994.

변색기 고온에 의한 ‘거봉’ 및 ‘흑보석’ 포도의果皮 안토시아닌 조성 변화

Structure determination of acylated anthocyanins in Muscat Bailey a grapes by homonuclear Hartmann-Hahn (HOHAHA) spectroscopy and liquid chromatography-mass spectrometry. *Phytochem. Anal.* 5(4):190-196.

Tarara J.M., Lee J., Spayd S.E., and C.F. Scagel. 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 59(3):235-247.