

Research Article

Open Access

가온 재배 시 ‘피오네’ 포도(*Vitis vinifera* × *V. labrusca*)의 엽과비에 따른 과실 특성

윤석규,¹ 박서준,¹ 정성민,¹ 김정배,¹ 윤익구,¹ 남은영,¹ 유덕준,² 이희재^{2,3*}

¹국립원예특작과학원 과수과, ²서울대학교 농업생명과학연구원, ³서울대학교 식물생산과학부

Fruit Characteristics Based on Leaf to Fruit Ratio in ‘Pione’ Grapevine (*Vitis vinifera* × *V. labrusca*) during Cultivation with Heating

Seok Kyu Yun,¹ Seo Jun Park,¹ Sung Min Jung,¹ Jung Bae Kim,¹ Ik Koo Yoon,¹ Eun Young Nam,¹ Duk Jun Yu² and Hee Jae Lee^{2,3*} (¹Fruit Research Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Suwon 440-706, Korea, ²Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea, ³Department of Plant Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea)

Received: 25 September 2013 / Revised: 8 December 2013 / Accepted: 9 January 2014

Copyright © 2014 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract

BACKGROUND: Defoliation in grapevine cultivation is practically used to improve light environment within the canopy and thereby fruit quality. Effects of defoliation in five-year-old ‘Pione’ grapevine during cultivation with heating were investigated to find out optimum ratio of leaf area to fruit cluster weight (L/F).

METHODS AND RESULTS: The grapevines were defoliated with berry-thinning 20 days after full bloom to provide various levels of L/F. At harvest, total leaf area values of fruit bearing branches were between 0.23 and 0.60 m². With increasing L/F, soluble solids and anthocyanin contents curvilinearly increased ($R^2 = 0.76^{**}$). At L/F over 0.6 m²/kg, soluble solids content (SSC) leveled off. With increasing L/F, titratable acidity (TA) linearly decreased ($R^2 = 0.87^{**}$), but the ratio of SSC to TA linearly increased ($R^2 = 0.86^{**}$). Anthocyanin content was significantly

correlated with SSC and the ratio of SSC to TA ($R^2 = 0.80^{**}$ and 0.82^{**} , respectively). When total leaf area per fruit bearing branch was maintained 0.40 m², soluble solids and anthocyanin contents linearly decreased ($R^2 = 0.79^{**}$ and 0.85^{**} , respectively), but TA linearly increased with increasing fruit cluster weight ($R^2 = 0.70^{**}$). Fruit was low in quality when the L/F was below 0.6 m²/kg.

CONCLUSION: L/F is recommended to be maintained at least 0.6 m²/kg in ‘Pione’ grapevine during cultivation with heating to produce higher-quality fruits.

Key words: Anthocyanin content, Cultivation with heating, Grapevine, Leaf to fruit ratio

서론

과수는 수관 전체적으로 잎이 너무 많으면 영양 생장이 증가하고, 반대로 잎이 너무 적으면 잠재 광합성능이 감소하여 과실의 수량과 품질이 크게 떨어질 수 있다(Poni *et al.*, 2008). 이는 과실 품질과 수량은 착과량과 엽면적 간의 균형에 좌우된다는 것을 의미한다(Kliewer and Dokoozlian,

*교신저자(Corresponding author): Hee-Jae Lee
Phone: +82-2-880-4566; Fax: +82-2-873-2056;
E-mail: heejlee@snu.ac.kr

2005; Poni *et al.*, 2006, 2008; El-Razek *et al.*, 2010). 실제 포도 재배에 있어서 적정 엽면적 유지를 위해 전정을 통한 적엽 처리로 과실 수량과 품질 향상을 도모하고 있는데 착립 정도에 따라 과방중의 편차가 커 착과량이 많을수록 당도가 감소하고 착색이 나빠지므로 적엽 처리의 효과를 극대화하기 위해 적엽 처리를 병행하고 있다.

적엽이나 적립 처리에 의해 포도 과실의 품질이 향상되는 것은 수관 내 광의 환경 변화와 관계가 큰 것으로 알려져 있다(Haselgrove *et al.*, 2000; Spayd *et al.*, 2002; Dardeniz *et al.*, 2008; Kobayashi, 2009; Chorti *et al.*, 2010; Jaakola and Hohtola 2010). 수광량이 많은 과실이 수관에 의해 수광량이 적은 과실보다 총 가용성 고형물 함량과 안토시아닌 함량이 높고 적정 산도가 낮은 것을 볼 수 있다(Ferree *et al.*, 2004; Santesteban and Royo, 2006; Prajitna *et al.*, 2007; El-Razek *et al.*, 2010). 한편 포도의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소 중의 하나인 안토시아닌 함량은 고온보다는 저온에서 축적이 촉진되는 것으로 알려져 있는데(Haselgrove *et al.*, 2000; Mori *et al.*, 2005; Yamane *et al.*, 2006; Poudel *et al.*, 2009; Jaakola and Hohtola, 2010), 포도 과실이 광에 직접 노출된 경우에는 주변 온도에 무관하게 안토시아닌 농도가 증가하는 것으로 보고된 바도 있다(Spayd *et al.*, 2002).

조기 출하를 위해 포도를 가온 시설에서 재배하는 경우는 광 환경이 불량하고 온도가 높아 당 함량이 감소하고 착색이 불량해지는 문제가 발생할 수 있다. 과립이 크고 당도가 높은 흑색계 '피오네' 품종의 경우는 이러한 현상이 심한데(Shiraishi *et al.*, 2012), 이러한 문제를 해결하기 위해 장초 전정에 평덕식 수형으로 관리하던 재배 방식을 단초 전정을 한 후 신초의 길이와 신초당 엽수를 동일하게 관리하는 개량 일문자 수형으로 변경하여 재배하고 있다. 개량 일문자 수형은 광 환경 개선과 함께 착과량을 용이하게 조절할 수 있는 장점이 있으나 가온 재배를 하고 있는 '피오네' 포도 품종에 있어서는 아직까지 적정 엽과비에 대한 객관적인 기준이 제시되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 가온 시설에서 재배되는 '피오네' 포도 품종의 엽과비에 따른 과실 특성의 변화를 조사하여 착색 증진과 과실 품질 향상을 위한 적정 엽과비 수준을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

식물 재료 및 재배 관리

본 연구는 경상북도 김천시 봉산면에 위치한 가온 재배 시설에서 개량 일문자형으로 관리하고 있는 5년생 '피오네'(*Vitis vinifera* × *V. labrusca*) 포도 품종을 대상으로 수행하였다. 포도나무의 재식 거리는 2 × 6m이고 줄기의 높이는 1.6m이며, 결과모지는 단초 전정을 실시하여 관리하였다. 1월 20일부터 가온을 실시하여 주/야간의 최저 기온을 16/8°C로 유지하였으며, 발아기 이후에 17/12°C로 조절하였다. 가온 재배 기간 동안에 낮 최고 기온이 30°C 이상인 경우에

는 천창을 개폐하여 시설 내 과도한 온도 상승을 방지하였다. 만개기는 4월 7일이었는데, 포도의 착립 증진을 위해 만개 3일 후에 지베렐린(GA₃) 25mg/L와 forchlorfenuron 3mg/L 용액을 과방에 1차 처리하였고, 과실 비대를 위해 만개 13일 후에 2차 침지 처리를 하였다. 수확 20일 전에는 각 처리구의 결과지 기부로부터 3cm 위치에 1cm 너비로 환상 박피를 실시하여 과실의 성숙 촉진을 도모하였다(Yamane and Shibayama, 2006).

엽과비 수준 설정

만개 후 20일경에 적엽 처리를 실시하여 결과지당 7, 9, 11, 13, 15엽이 되도록 하였다. 엽과비(m²/kg)는 수확 시 결과지당 과방중이 500-750g인 것을 대상으로 결과지의 총 엽면적을 측정하여 과방중에 대한 엽면적 비율로 표시하였다.

수확 시 다양한 과방중이 형성되도록 만개 후 20일경에 과립 수가 45, 55, 65, 75, 85, 95, 105개가 되도록 적립 처리를 하여 착과량이 과실 품질에 미치는 효과를 조사하였다. 이때 신초는 전개된 잎 11매를 확보하고 개화 2일 전에 적심 처리를 하였는데 과실 수확 시 결과지 길이는 대부분 120cm 내외였다.

과실 특성 조사

만개 후 80일경인 6월 26일에 과실을 수확하였으며, 과방중, 가용성 고형물 함량, 유기산 함량, 당산비, 안토시아닌 함량을 조사하였다. 가용성 고형물 함량은 휴대용 굴절 당도계(N-1E, Atago Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하여 °Brix 값으로 표시하였고, 유기산 함량은 적정 산도로 0.1N NaOH 수용액의 적정량을 이용하여 100g당 주석산의 함량으로 환산하여 %농도로 나타내었다. 당산비는 산 함량에 대한 가용성 고형물 함량의 비율 값으로 표시하였다. 안토시아닌은 각 과방별로 10개의 과립에서 직경 10mm의 껍질 절편 10개를 채취하여 분석하였다. 이 절편을 50%(v/v) 아세트산 용액에 담근 후 4°C 냉장고에서 24시간 동안 안토시아닌을 침출하였다. 안토시아닌 함량은 자외선/가시광선 분광 광도계(UV-2501PC, Shimadzu Cor., Kyoto, Japan)를 사용하여 538nm에서 측정된 흡광도를 이용하여 Koeppen과 Basson(1966)이 제시한 수식으로 계산하였다.

통계 처리

변수 간의 회귀 및 상관은 SigmaPlot 10.0(Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였다.

결 과

수확 시 적엽 처리된 결과지의 총 엽면적은 0.23m²와 0.60m² 사이의 값을 나타냈으며, 한 잎의 평균 면적은 0.036m²이었고 엽과비는 0.3m²/kg에서 1.2m²/kg 범위에 있었다.

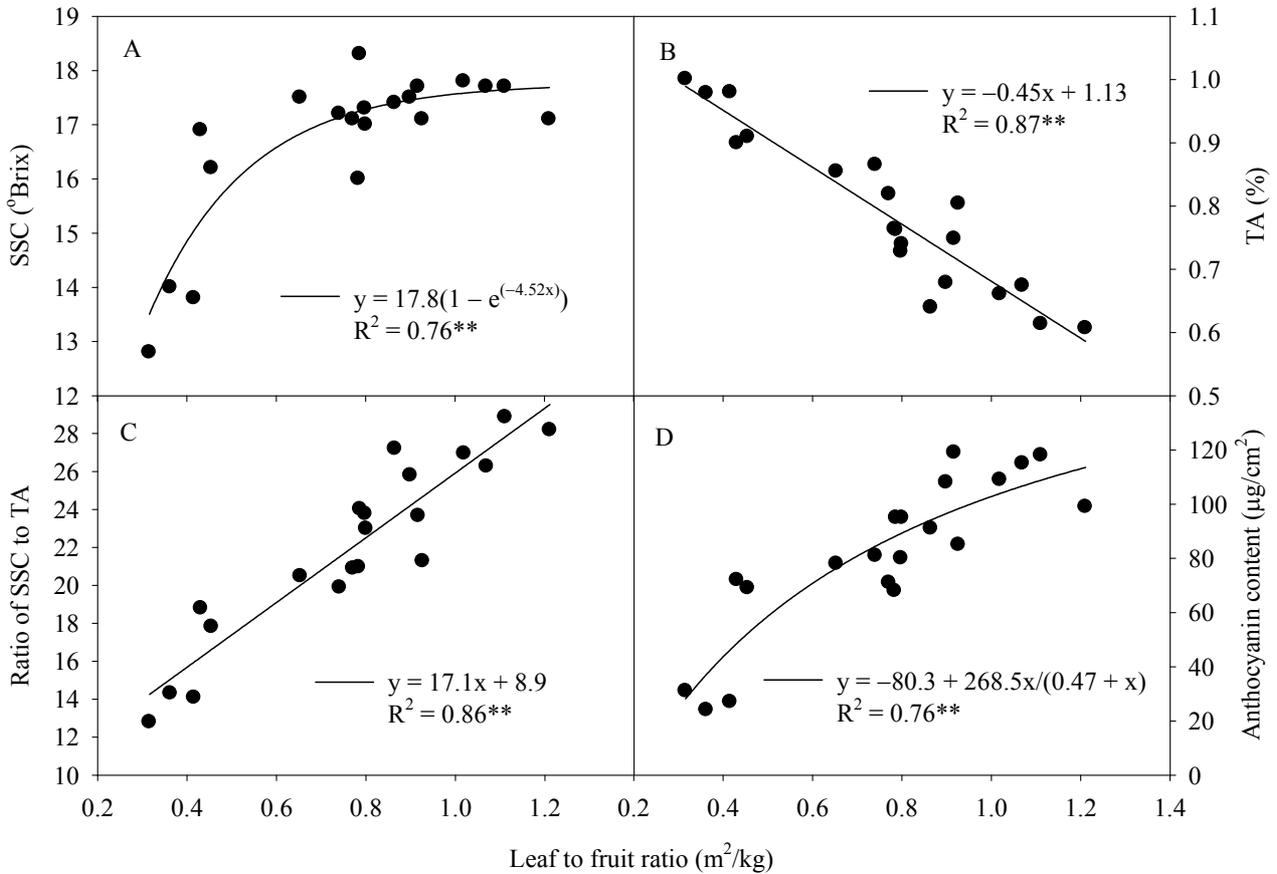


Fig. 1. Relationship of leaf to fruit ratio with soluble solids content (SSC) (A), titratable acidity (TA) (B), ratio of SSC to TA (C), or anthocyanin content (D) in 'Pione' grapevine during cultivation with heating.

가온 재배에서 '피오네' 포도 품종의 과실 품질은 엽과비와 밀접한 상관 관계를 나타내었다(Fig. 1). '피오네' 포도 품종 과실의 가용성 고형물 함량, 당산비, 안토시아닌 함량은 엽과비가 커질수록 증가하는 경향을 보인 반면 적정 산도는 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 1). 가용성 고형물과 안토시아닌 함량은 엽과비와 곡선형적인 관계를 나타내었는데(Fig. 1A, D), 가용성 고형물 함량의 경우는 0.6m²/kg 이상의 엽과비에서 포화되는 양상을 나타내었다(Fig. 1A). 두 경우의 회귀식은 결정계수(R²)가 0.76으로 고도로 유의하였다. 엽과비는 적정 산도와 당산비와는 선형적인 관계가 있었으며 결정계수(R²)가 각각 0.87과 0.86으로 나타나 고도로 유의하였다(Fig. 1B, C).

안토시아닌 축적에 의한 '피오네' 포도 품종의 과실 착색은 당 및 유기산 함량, 그리고 당산비의 변화와 밀접한 관계가 있었다(Fig. 2). 안토시아닌 함량은 가용성 고형물 함량(R² = 0.80**)과 당산비(R² = 0.82**)가 증가할수록(Fig. 2A, C), 적정 산도(R² = 0.74**)가 감소할수록 증가하였다(Fig. 2B). 특히 안토시아닌 함량은 가용성 고형물 함량이 일정 농도 이상으로 존재할 때 축적량이 크게 증가하여 곡선형적인 관계를 형성하였는데(Fig. 2), 이는 가용성 고형물 함량이 안토시아닌 축적에 중요하다는 것을 의미한다.

이상의 결과로 보아, '피오네' 포도 과실의 상품성을 위해 안토시아닌 함량은 70µg/cm² 이상, 가용성 고형물 함량은 17°Brix 이상을 유지하도록 하기 위해서 적엽 처리를 할 때 엽과비가 적어도 0.6m²/kg 이상이 되도록 하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 즉 결과지당 수확하고자 하는 포도송이의 무게를 500, 600, 700g으로 결정하였다면 엽과비 0.6m²/kg을 기준으로 했을 때 각각 8.3, 10, 11.7매 이상을 유지해야 한다는 결론을 얻을 수 있다.

결과지당 잎의 수를 11매(총엽면적 0.40m²)로 한정하고 착과량을 달리하였을 때 가온 재배 '피오네' 포도 품종의 과실 품질이 착과 수준에 의해 크게 영향을 받았다(Fig. 3). 결과지당 착과량이 많을수록 가용성 고형물 함량이 감소하는 경향이 있었으며(R² = 0.79**), 결과지당 과방중이 700g 이상(엽과비 0.6m²/kg 이하)일 때 가용성 고형물의 함량이 모두 17°Brix 이하로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3A). 적정 산도는 착과량이 많아질수록 증가하는 경향이 있었는데(R² = 0.70**), 결과지당 과방중이 700g 이상(엽과비 0.6m²/kg 이하)일 때 적정 산도가 증가하는 폭이 컸다(Fig. 3B). 착과량이 많을수록 과피의 안토시아닌 함량은 감소하는 경향이 있었으며(R² = 0.85**), 결과지당 과방중이 700g 이상(엽과비 0.6m²/kg 이하)일 때 안토시아닌의 함량이 90µg/cm² 이하

로 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 3C). 따라서 적방 또는 적립을 통해 '피오네' 포도 품종의 착과 수준을 조절하는 것은 가용성 고형물 함량, 유기산 함량 및 착색과 관련하여 과실 품질을 향상시키는 데 효과적이며, 결과지당 총엽면적을 0.40m^2 로 했을 때 착과량은 750g 이하가 되도록 적립이나 적방을 하는 것이 상품과 생산에 유리함을 알 수 있었다. 만약 결과지당 750g 이상의 상품과를 수확하고자 한다면 결과지당 총엽면적이 0.40m^2 이상이 되도록 잎의 수를 확보해야 할 것이다.

고 찰

포도 과실에서 당의 축적은 품질 인자로 매우 중요한 뿐만 아니라 착색을 포함한 과실 성숙과 깊은 관련이 있다(Bikash and Jindal, 2002; Guidoni *et al.*, 2002; Matsumoto *et al.*, 2007; Zheng *et al.*, 2009; Gambetta *et al.*, 2010). 포도 과피의 안토시아닌 함량은 과실의 당 함량 증가와 함께 증가하며(Fig. 2A)(Zheng *et al.*, 2009; El-Razek *et al.*, 2010), 특히 성숙 지표인 당산비와 안토시아닌 함량 간에는 포도 품종에 상관없이 고도로 유의한 상관성이 있다(Fig. 2C)

(Matsumoto *et al.*, 2007). 당의 축적은 안토시아닌 생합성의 전제 조건으로 알려져 있다(Bikash and Jindal; 2002; Castellarin *et al.*, 2011).

포도의 착색은 변색기 이후 안토시아닌의 축적에 의해 이루어지는데(Kobayashi, 2009), 일반적으로 포도 착색은 고온보다는 저온에서 촉진된다(Haselgrove *et al.*, 2000; Mori *et al.*, 2005; Poudel *et al.*, 2009; Jaakola and Hohtola, 2010). 하지만 포도 과실이 광에 직접 노출된 경우에는 주변 온도에 무관하게 안토시아닌 함량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Spayd *et al.*, 2002). 이것은 가온 시설 재배를 하는 포도에 있어서 광 환경 개선을 위한 적심 및 적엽 처리가 안토시아닌 생성에 효과적이라는 것을 의미한다. 하지만 과도한 적심 및 적엽 처리는 총광합성량을 크게 감소시키므로 오히려 안토시아닌 함량이 감소하는 원인이 될 수도 있는데, 본 연구에서 '피오네' 포도 품종은 엽과비가 $0.3\text{m}^2/\text{kg}$ 인 경우 착색이 불량할 정도로 안토시아닌 함량이 낮았다(Fig. 1D). 따라서 '피오네' 포도 과실의 당과 안토시아닌 함량을 증진시키기 위해서는 일정한 수준의 엽면적을 반드시 확보할 필요가 있다.

엽과비 조절을 위해 포도의 경우 적립 또는 적방 처리가 유용하게 활용되고 있다. 적립이나 적방 처리는 광합성 산물의 수용 기관을 줄이는 것으로 광합성 산물의 공급과 수용 비율에 직접적인 효과를 줘 과실의 품질 향상에 도움이 된다(Motomura, 1993; Edson *et al.*, 1995; Yamane and Shibayama, 2006). 이와 같은 이유로 Guidoni 등(2002)과 Yamane과 Shibayama(2006)은 포도나무 결과지당 과방 수를 줄이는 것은 포도 과실의 당 함량과 안토시아닌 함량 증가에 효과적이라고 보고한 바 있다. 특히, 환상 박피한 줄기에서는 잎의 수에 비례하여 '델라웨어' 과실의 당 함량은 증가하고 환상 박피와 적방 처리를 병행하면 착색이 불량한 고온 조건에서도 과실의 착색이 양호해지는 것으로 알려져 있다(Yamamoto *et al.*, 1992; Hirano *et al.*, 1994). 따라서 시설 재배의 경우에서와 같이 제한된 공간에서 일정 수량 이상

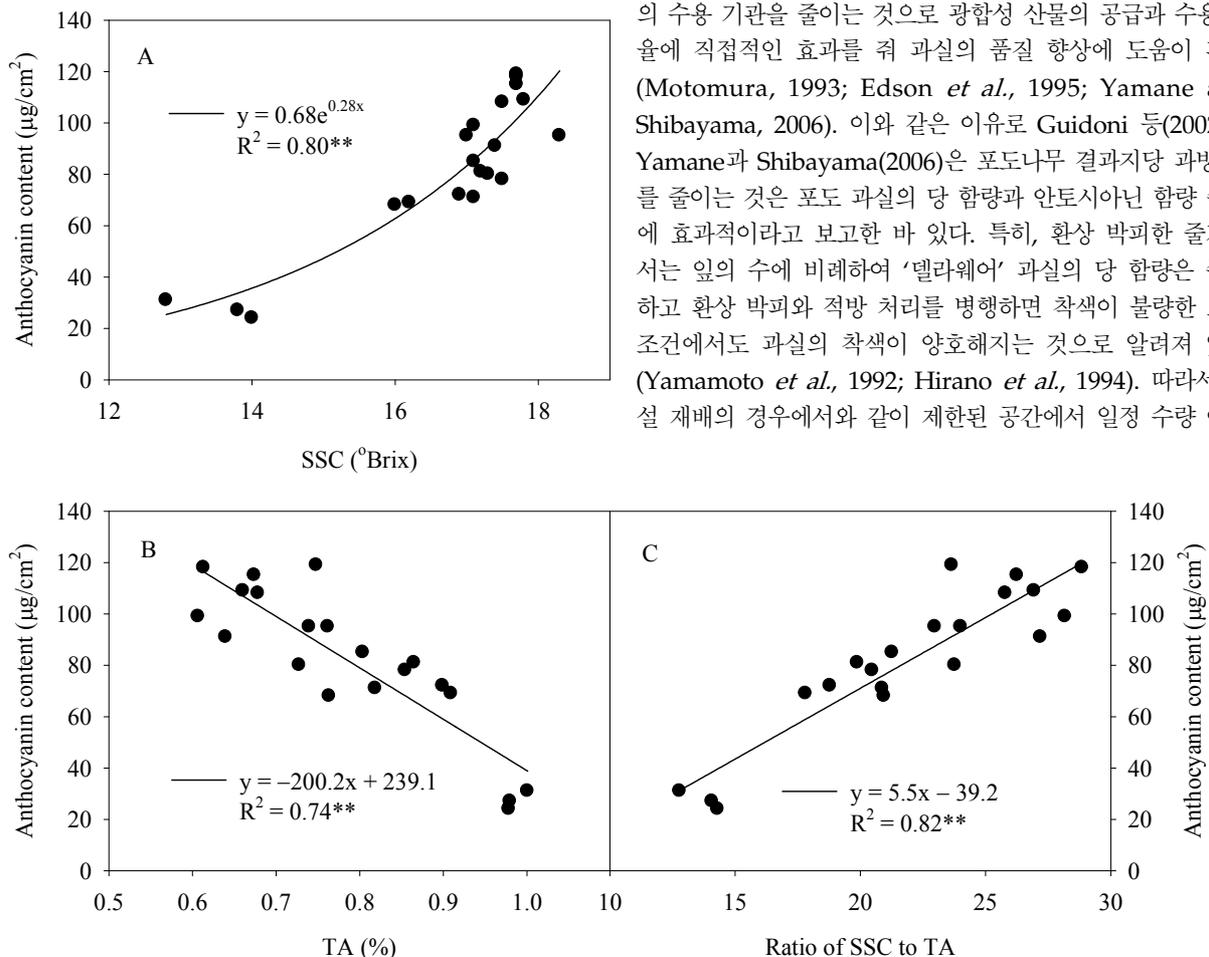


Fig. 2. Relationship of anthocyanin content with soluble solids content (SSC) (A), titratable acidity (TA) (B), or ratio of SSC to TA (C) in 'Pione' grapevine during cultivation with heating.

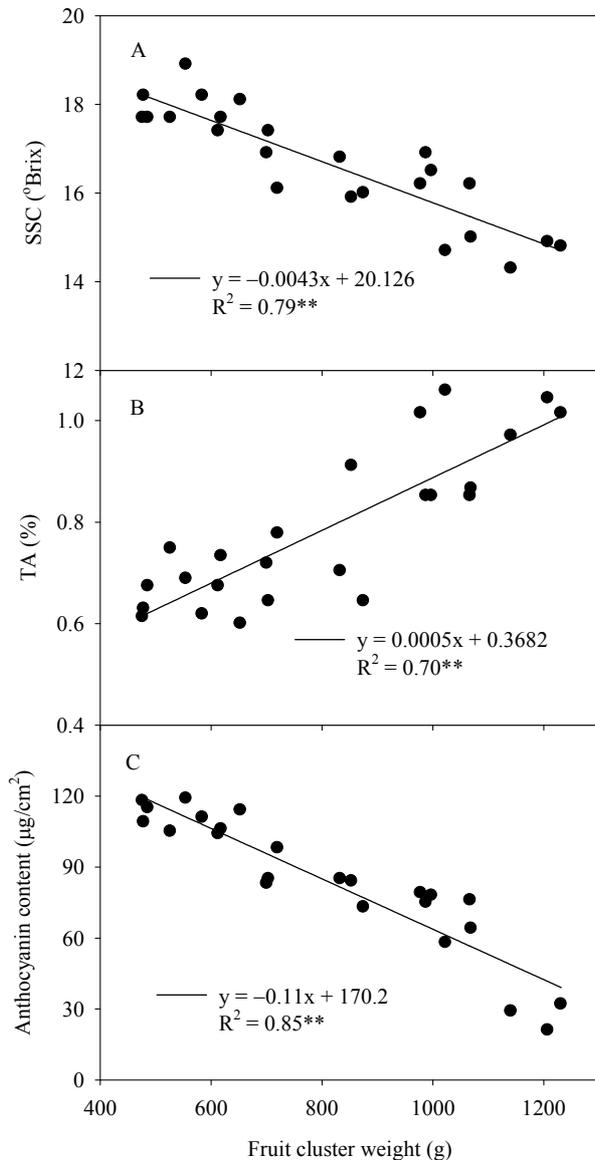


Fig. 3. Relationship of fruit cluster weight with soluble solids content (SSC) (A), titratable acidity (TA) (B), or anthocyanin content (C) in 'Pione' grapevine during cultivation with heating.

의 포도를 생산하기 위해서는 결과지의 길이를 제한하여 재식 주수를 늘리는 방법을 고려해 볼 수 있으며, 이때 적립이나 적방 처리를 하여 과실 품질의 향상을 도모해야 한다.

References

- Bikash, D., Jindal, P.C., 2002. Dynamics of anthocyanin and sugar accumulation in grape berry, *Ind. J. Plant Physiol.* 7, 86-87.
- Castellarin, S.D., Gambetta, G.A., Wada, H., Shackel, K.A., Matthews, M.A., 2011. Fruit ripening in *Vitis vinifera*: Spatiotemporal relationships among turgor, sugar accumulation, and anthocyanin biosynthesis, *J. Exp. Bot.* 62, 4345-4354.
- Chorti, E., Guidoni, S., Ferrandino, A., Novello, V., 2010. Effect of different cluster sunlight exposure levels on ripening and anthocyanin accumulation in 'Nebbiolo' grapes, *Am. J. Enol. Vitic.* 61, 23-30.
- Dardeniz, A., Yildirim, I., Gökbayrak, Z., Akçal, A., 2008. Influence of shoot topping on yield and quality of *Vitis vinifera* L., *Afr. J. Biotechnol.* 7, 3628-3631.
- Edson, C.E., Howell, G.S., Flore, J.A., 1995. Influence of crop load on photosynthesis and dry matter partitioning of Seyval grapevines. III. Seasonal changes in dry matter partitioning, vine morphology, yield, and fruit composition, *Am. J. Enol. Vitic.* 46, 478-485.
- El-Razek, E.A., Treutter, D., Saleh, M.M.S., El-Shammaa, M., Fouad, A.A., Abdel-Hamid, N., Abou-Rawash, M., 2010. Effect of defoliation and fruit thinning on fruit quality of 'Crimson Seedless' grape, *Res. J. Agric. Biol. Sci.* 6, 289-295.
- Ferree, D.C., Scurlock, D.M., Steiner, T., Gallander, J., 2004. 'Chambourcin' grapevine response to crop level and canopy shade at bloom, *J. Am. Pomol. Soc.* 58, 135-141.
- Gambett, G.A., Matthews, M.A., Shaghasi, T.H., McElrone, A.J., Castellarin, S.D., 2010. Sugar and abscisic acid signaling orthologs are activated at the onset of ripening in grape, *Planta* 232, 219-234.
- Guidoni, S., Allara, P., Schubert, A., 2002. Effect of cluster thinning on berry skin anthocyanin composition of *Vitis vinifera* cv. Nebbiolo, *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 224-226.
- Haselgrove, L., Botting, D., van Heeswijck, R., Høj, P.B., Dry, R.R., Ford, C., Iland, P.G., 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries, *Aust. J. Grape Wine Res.* 6, 141-149.
- Hirano, K., Murakami, M., Okamoto, G., 1994. Effect of leaf area on fruit quality of seedless 'Pione' grapes during ripening, *ASEV Jpn. Rep.* 5, 27-34.
- Jaakola, L., Hohtola, A., 2010. Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants, *Plant Cell Environ.* 33, 1239-1247.
- Kliwer, W.M., Dokoozlian, N.K., 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality, *Am. J. Enol. Vitic.* 56, 170-181.
- Kobayashi, S., 2009. Regulation of anthocyanin biosynthesis in grapes, *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 78, 387-393.

- Koeppen, B.H., Basson, D.S., 1966. The anthocyanin pigments of Barlinka grapes, *Phytochemistry* 5, 183-187.
- Matsumoto, K., Kim, B.K., Oahn, V.T.K., Seo, J.H., Yoon, H.K., Park, M.K., Hwang, Y.S., Chun, J.P., 2007. Comparison of sugar compositions and quality parameters during berry ripening between grape cultivars, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 25, 230-234.
- Mori, K., Sugaya, S., Gemma, H., 2005. Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition, *Sci. Hort.* 105, 319-330.
- Motomura, Y., 1993. ¹⁴C-assimilate partitioning in grapevine shoots: Effects of shoot pinching, girdling of shoot, and leaf-halving on assimilates partitioning from leaves into clusters, *Am. J. Enol. Vitic.* 44, 1-7.
- Poni, S., Bernizzoni, F., Civardi, S., 2008. The effect of early leaf removal on whole-canopy gas exchange and vine performance of *Vitis vinifera* L. 'Sangiovese', *Vitis* 47, 1-6.
- Poni, S., Casalini, L., Bernizzoni, F., Civardi, S., Intrieri, C., 2006. Effects of early defoliation on shoot photosynthesis, yield components, and grape composition, *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 397-407.
- Poudel, P.R., Mochioka, R., Beppu, K., Kataoka, I., 2009. Influence of temperature on berry composition of interspecific hybrid wine grape 'Kadainou R-1' (*Vitis ficifolia* var. Gnaebu × *V. vinifera* 'Muscat of Alexandria'), *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 78, 169-174.
- Prajitna, A., Dami, I.E., Steiner, T.E., Ferree, D.C., Scheerens, J.C., Schwartz, S.J., 2007. Influence of cluster thinning on phenolic composition, resveratrol, and antioxidant capacity in Chambourcin wine. *Am. J. Enol. Vitic.* 58, 346-350.
- Santesteban, L.G., Royo, J.B., 2006. Water status, leaf area, and fruit load influence on berry weight and sugar accumulation of cv. 'Tempranillo' under semi-arid conditions, *Sci. Hort.* 109, 60-65.
- Shiraishi, M., Fujishima, H., Chijiwa, H., Muramoto, K., 2012. Estimates of genotypic and yearly variations on fruit quality and functional traits for tetraploid table grape breeding, *Euphytica* 185, 243-251.
- Spayd, S.E., Tarara, J.M., Mee, D.L., Ferguson, J.C., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries, *Am. J. Enol. Vitic.* 53, 171-182.
- Yamamoto, K., Takahashi, K., Takata, K., 1992. Techniques of improving grape quality by girdling, *Kinki Chugoku Agric. Res.* 83, 38-42.
- Yamane, T., Shibayama, K., 2006. Effects of trunk girdling and crop load levels on fruit quality and root elongation in 'Aki Queen' grapevines, *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 75, 439-444.
- Yamane, T., Jeong, S.T., Goto-Yamamoto, N., Koshita, Y., Kobayashi, S., 2006. Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis in grape berry skins, *Am. J. Enol. Vitic.* 57, 54-59.
- Zheng, Y., Tian, L., Liu, H., Pan, Q., Zhan, J., Huang, W., 2009. Sugars induce anthocyanin accumulation and flavanone 3-hydroxylase expression in grape berries, *Plant Growth Regul.* 58, 251-260.