

딸기의 고설수경재배에서 백납과 발생에 미치는 규소의 영향

전하준^{1*} · 황진규¹ · 손미자¹ · 최문환¹ · 윤혜숙²

¹대구대학교 생명환경대학, ²경상남도 농업기술원

Effect of Silicon on Albinism of Strawberry in Elevated Hydroponic System

Ha Joon Jun^{1*}, Jin Gyu Hwang¹, Mi Ja Son¹, Moon Hwan Choi¹, and Hae Suk Yoon²

¹College of Life & Environmental Science Daegu University, Gyungsan 712-714, Korea

²Gyeongnam Agricultural Research & Extension Services, Jinju 660-370, Korea

Abstract. This experiment has investigated the effects of silicon on albinism of strawberry. Albino fruit appeared after a month of treatment of potassium silicate(Si) in nutrient solution. When 200 mL·L⁻¹ of Si applied, number of albino fruit increased over 90% of total amount of fruit, and the symptom remained latest any other treatment. The fruit length of the strawberries in Si treatments were longer than control treatment. However, the diameter and weight of fruit decreased in treatment of Si. The soluble solids of fruits, numbers of fruit and yield per plant were no significant differences among treatments. The rate of albino fruit was significantly increased with increase of concentration of Si. The results of this experiment will be utilized for the cultivation in the new substrate application for strawberry hydroponics.

Key words : albinism, elevated hydroponic system, silicon, strawberry

서 언

딸기의 고설수경재배는 작업자세의 개선과 토양병해의 회피 방안으로 개발되었는데(Jun 등, 2006), 우리나라에서도 최근에 경남지방을 중심으로 확산되고 있다. 그런데, 저온기의 백납과가 토양재배보다 고설수경재배에서 다량으로 발생하여 이에 대한 원인 및 해결방안에 고심하고 있다.

백납과는 딸기의 착색과 관련한 생리적인 장애로서, 기온이 낮고 일조량이 적을 때 발생하는데, 재발생하는 성질이 없어 원인규명이 어려운 것으로 알려져 있다. Ulrich(1971)는 저광도에서 과실로의 당의 전류감소로 인하여 백납과가 발생한다고 하였고, Sharma와 Sharma(2003)는 mulching 재료 중 흑색 polyethylene 필름에서 가장 생육이 좋고 백납과 발생이 많아서, 백납과는 과도한 영양생장에 의해서 발생하였다고 추측하였다. Lieten과 Marcell(1993)은 배양액의 농도가 높은 처리구에서 생육이 왕성하고 백납과의 발생도 증가하였으며, 또한 25%의 왕겨를 혼합한 상토에서 백납과

의 발생이 증가하여 왕겨 내의 규소도 발생의 원인이 라고 하였다. 그리고, Lieten 등(2002)은 ‘Elsanta’ 딸기의 수경재배에서 배양액 내의 규소함량이 증가함에 따라 백납과 발생이 증가하여 규소가 백납과의 발생과 밀접한 관련이 있다고 주장하였다. 아직까지 우리나라에서는 백납과에 대한 연구를 찾아볼 수가 없는데, 백납과가 다량 발생한 경남의 고설수경재배농가에서는 왕겨를 배지로 사용하고 있으므로 왕겨 내의 규소가 백납과 발생의 원인일 가능성이 높은 것으로 생각되어서, 본 연구에서는 백납과를 유발하는 것으로 추정되는 몇 가지 요인 중에서, 우선 규소가 백납과의 발생에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

딸기 품종은 경남의 고설수경재배 농가에서 가장 많이 재배하고 있는 ‘아키히메(章姬)’를 사용하였다. 2005년 10월 7일에 코코피트 배지의 고설수경재배 시설에 20cm의 간격으로 2조식으로 정식하고, 아마자키

조성 딸기 배양액을 EC 0.6dS·m⁻¹로 공급하였다. 배양액의 농도는 생육단계에 따라 EC 0.8~1.2dS·m⁻¹로 조절하여 공급하였다. 정회방은 67개가 되도록 적화하였고, 야간에는 온풍보일러로 난방을 하였다.

고설 수경재배시설은 처리별로 200L의 탱크를 사용하여 배양액 순환방식으로 하였다. 급액은 입력 보상형 점적호수를 이용하였으며 24시간 타이머와 서버 타이머에 의한 급액스케줄을 설정하고 급액량과 횟수는 배지의 종류별로 배액량이 15~20%정도가 되도록 조절하였다.

시험구는 potassium silicate(K₂SiO₄)를 사용하여 규소농도가 각각 50mL·L⁻¹, 100mL·L⁻¹, 200mL·L⁻¹가 되도록 배양액에 첨가하여 순환식으로 공급하였고, 2월 24일부터 7일 주기로 새롭게 갱신하여 공급하였다. 모든 시험구에서 백납과가 발생한 3월 24일에 5회 째의 규소처리를 마지막으로 하여, 그 후의 백납과 발생추이를 3월 24일부터 3월 27일, 3월 31일, 4월 7일, 4월 17일, 4월 25일, 4월 28일, 5월 8일 그리고 5월 15일까지 9회에 걸쳐 조사하였다. 시험구 처리는 난괴법 3반복으로 하였고, 생육조사는 딸기의 과장, 과경, 과중 및 당도를 조사하고 수확과수와 수확량을 조사하였다. 당도는 전자식 굴절당도계(Atago, PR-101, Japan)로 측정하여 °Brix로 표시하였다.

결과 및 고찰

왕겨배지를 사용하는 수경재배 딸기농가에서 백납과가 많이 발생하는 것은 우선 축성재배 작형에 기인한 저온의 장애이거나, 왕겨 내의 규소가 원인일 가능성이 높을 것으로 생각되어, 저온의 장애를 배제할 수 있는 시기에 실험을 실시함으로써 규소와 백납과 발생과의 상관관계를 밝히고자 하였다.

실험 기간 동안 온실 내의 평균기온과 상대습도를 Fig. 1에 그리고 수경재배 배지 내의 근부온도와 순환 배양액의 액온을 Fig. 2에 나타내었다. 실험기간 동안의 온도조건은 평균 10°C 이상으로 백납과의 발생에 영향을 미치지 않을 정도로 충분히 높았으며, 상대습도도 대체적으로 적절한 범위 내에 있었던 것으로 나타났다.

배양액 내에 규소를 처리한 약 1개월 후 부터 전체 규소 처리구에서 백납과가 발생하기 시작하였고, 규소

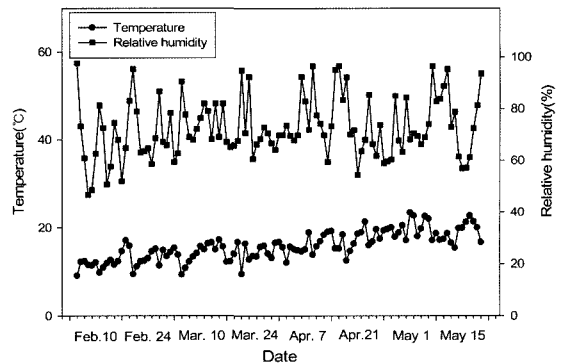


Fig. 1. Changes in mean air temperature and relative humidity in greenhouse during the experiment.

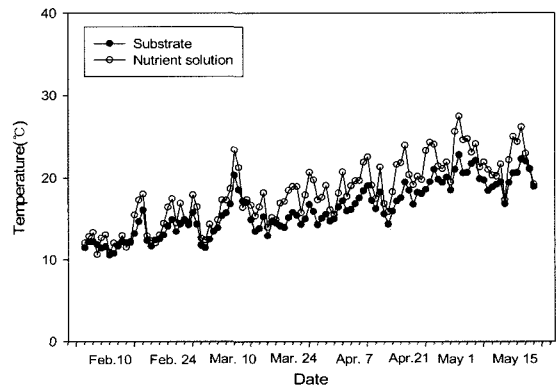


Fig. 2. Changes of mean temperatures in growing substrate and circulating solution in greenhouse during the experiment.

처리를 중단한 약 1개월 후에 백납과의 발생이 급격하게 저하하였으나, 전체적으로는 약 7주 후에 발생이 중단되었다(Fig. 3). 이러한 현상으로 배양액 내의 규소가 백납과 발생과 직접적인 상관이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 규소 처리 시작 약 1개월 후인 3월 27일의 조사에서 50mL·L⁻¹ 처리구에서는 백납과가 거의 발생하지 않았으며, 100mL·L⁻¹ 처리구는 약 20%, 그리고 200mL·L⁻¹ 처리구에서는 35% 정도의 발생율을 나타내었다. 그리고 3월 31일에 최고의 발생율을 나타내었고, 그 후에 점차 감소하기 시작하였다. 규소 농도가 가장 낮은 50mL·L⁻¹ 처리구에서는 다른 처리구에 비해 최고 발생율에 이르는 기간이 늦어졌다. 5월 15일에는 백납과 발생이 없어졌는데, 200mL·L⁻¹ 처리구에서만 여전히 20% 정도로 백납과가 발생하였다. 백납과는 규소의 농도에 따라서 발생율이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 농도가 높을수록 발생기간이 지

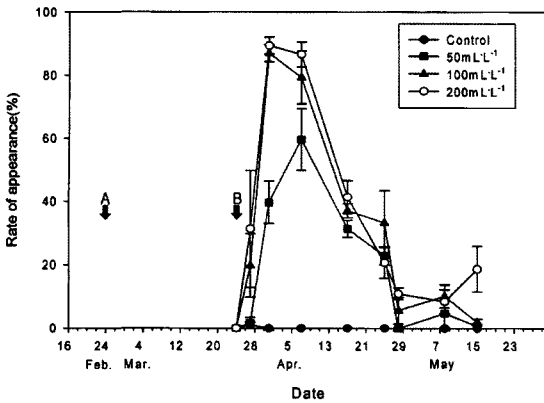


Fig. 3. Effect of potassium silicate of 50 mL·L⁻¹, 100 mL·L⁻¹ and 200 mL·L⁻¹ on the appearance rate of albinism of strawberry. The application of potassium silicate started on Feb. 24(A) and finished on March 24(B).

연되었다.

규소처리 기간 동안의 과실의 품질, 수량 및 백납과의 발생율을 Table 1에 나타내었다. 백납과는 규소 처리구 전체에서 발생하였으며 농도가 높아질수록 발생율은 현저하게 증가하여, 규소처리가 백납과의 발생과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있었다. 딸기 과실의 길이는 대조구에 비해 규소 처리구에서 약간 길었으며, 과경과 과중은 고농도의 규소 처리구에서 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, 과실수와 주당 수확량은 처리 간에 유의한 차이가 없었다. Lieten 등(2002)은 배양액 내의 규소함량이 높을수록 과중이 작아졌고, 수량은 차이가 없었다고 하였다. 과실 내의 가용성 고형물은 처리 간에 차이가 없었다. Lieten과 Marcelle (1993)은 ‘Elsanta’ 딸기의 실험에서 백납과는 정상의 딸기보다 당함량이 현저하게 낮았다고 하여 본 실험과는 다른 결과를 나타내었다. 그런데, 수경재배 토마토에

서 배양액에 규소 함량이 높을수록 sucrose phosphate synthase와 sucrose synthase의 활성이 높아져서 과실의 당함량이 증가했다는 보고가 있다(Kim 등, 2003a). Kim 등(2003b)도 수경재배 토마토에서 규소의 시용에 의해 과실 내의 환원당 함량이 증가하여 당도가 증가하였다고 하였다. 이와 같은 결과에서 규소는 작물의 종류에 따라서 당 형성에 미치는 작용이 다른 것을 알 수 있다. 한편, Cheng(1982)은 고등작물에서 75 mg·L⁻¹의 규소를 배양액에 첨가하였을 때 Mn, Cu, Fe, Zn, N, P의 축적과 전류가 감소되었다고 하였다. 그러나 Ca, Mg, Si와 탄수화물 함량은 증가하였다고 하였고, 특히 다량의 N과 Mg과 결합하면 더욱 효과적이라고 하였다. Kim 등(2002)은 토마토는 줄기와 뿌리에는 규소가 상당부분 축적되나 잎에는 극미량만 있을 뿐이며 상단으로의 이동이 어려워 화방에는 상단으로 갈수록 함량이 낮으나 과실비대가 왕성한 시기에는 과실 내에 규소함량이 높아진다고 하였다. 그러나, Miyake와 Takahashi(1985)는 토마토와 다르게 대두는 뿌리에서 규소를 흡수해서 선단부로 자유롭게 전류가 되며, 규소에 의해서 기형과가 감소하고 화분의 임성도 높아졌다고 하였다. Miyake와 Takahashi(1986)는 딸기도 대두와 마찬가지로 규소를 뿌리에서 선단부로 자유롭게 이동시키며 개화초기나 말기보다 화아형성기에 크라운 부위에 규소함량이 높았으며 화분임성도 높았다고 하였다. 이와 같이 규소는 작물에 따라서 식물체 내에서의 이동이나 효소에 미치는 영향, 그리고 무기이온의 이동에 관여하는 역할이 달라서 과실의 수량이나 당도에 미치는 영향도 다른 것으로 생각된다.

백납과는 딸기의 anthocyanin 색소 발현에 이상이 생긴 생리적인 장애 현상으로 밀납과 같은 흰색을 나타내는데, 본 실험에서도 규소의 농도가 높을수록 착색

Table 1. Effect of potassium silicate on the appearance rate of albinism and fruit quality and yield of strawberry cv. Akihime grown in circulating hydroponic system.

Potassium silicate conc.	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)	Fruit weight (g)	Soluble solids (°Brix)	No. of fruit (ea)	Yield per plant (g)	Percentage of albino fruit per plant
Control	62.0a ^Z	37.1 a	29.0 a	8.3a	2.6a	75.6a	0.0d
50 mL·L ⁻¹	59.8b	35.4ab	26.1 b	8.1a	3.3a	86.9a	21.8c
100 mL·L ⁻¹	60.4b	36.6ab	26.9ab	8.7a	2.9a	77.3a	38.1b
200 mL·L ⁻¹	59.1b	35.3 b	24.6 b	8.6a	3.3a	81.1a	44.7a

^ZMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05.

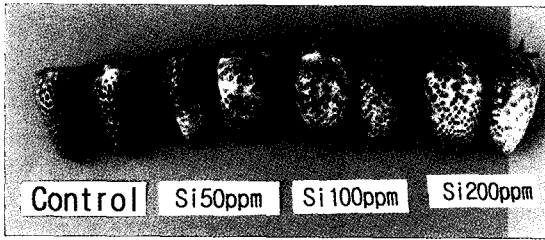


Fig. 4. Symptom of albinism of strawberry cultivated with 50 mL·L⁻¹, 100 mL·L⁻¹, 200 mL·L⁻¹ of potassium silicate in nutrient solution.

불량 부위가 많아졌다(Fig. 4). Lieten(2002)은 배양액 내에 규소를 0.03mmol·L⁻¹부터 0.75mmol·L⁻¹까지 첨가하였을 때 규소농도가 증가함에 따라 백납과가 증가하였으며, 백납과에는 두 가지의 주요 anthocyanin의 pelargonidin 3-glucoside와 cyanidin 3-glucoside가 현저하게 낮았으며, pelargonidin 3-succinylglucoside는 차이가 없었다고 하여, 규소가 딸기 과실의 anthocyanin 색소 발현과 관련이 있는 것을 시사하였다. Kim 등(2003b)은 토마토에서는 규소의 사용량이 높은 처리구에서 식물체 내의 N 함량이 낮아져서 lycopene 함량이 증가하였다고 하여, 규소가 색소발현에 간접적인 영향을 미치는 것을 보고하였다. 딸기에서도 규소가 무기이온과 탄수화물의 흡수에 영향을 미친다는 보고가 있으므로 백납과의 발현이 무기이온의 흡수와 관련된 간접적인 영향의 가능성도 있을 것으로 생각된다(Cheng, 1982; Lieten과 Marcelle, 1993). Wesche-Ebeling과 Montgomery(1990)는 비록 polyphenoloxidase에 의한 산화가 직접적인 탈색의 경로로 밝혀지진 않았으나 딸기의 polyphenoloxidase는 anthocyanin 색소를 저하시키는 역할을 한다고 하였는데, Lieten 등(2002)의 연구와 함께 규소는 직접 또는 간접적으로 anthocyanin 색소 또는 효소의 활동과 관련하여 영향을 미치는 것으로 추정되므로 앞으로 규소가 anthocyanin의 색소발현에 미치는 영향에 대해서는 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 규소가 딸기의 백납과 발생을 유발하는 주요한 요인이라는 것이 밝혀졌다. 경남의 고של수경재배 딸기농가에서 백납과가 발생한 것은 저온 저일조의 영향도 배제할 수는 없지만, 배지로 사용한 왕겨에서 유출된 규소가 원인인 것으로 생각된다. 그러므로 딸기재배에서는 지하수 혹은 고형배지에서 다량의 규

소가 발생할 경우에는 백납과 발생을 방지하기 위해서 적절한 조치가 필요하다. 그런데, 아직까지 규소가 백납과를 발생시키는 직접적 혹은 간접적인 작용 메커니즘이 밝혀지지 않아서 이에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

적 요

딸기의 백납과를 유발하는 것으로 추정되는 몇 가지 요인 중에서 규소가 백납과의 발생에 미치는 영향을 검토하였다. 배양액 내에 규소를 첨가하면 약 1개월 후부터 백납과가 발생하였는데 potassium silicate(K₂SiO₄)의 200mL·L⁻¹ 처리에서는 최고 90%이상의 백납과 발생을 나타내었다. 배양액에 규소를 제거하면 약 7~8주 후에 백납과의 발생이 중단되었으나 potassium silicate(K₂SiO₄)의 200mL·L⁻¹ 처리에서 가장 늦게까지 발생이 지속되었다. 과실의 길이는 대조구에 비해 규소 처리구에서 약간 길었으며, 과경과 과중은 고농도의 규소 처리구에서 감소하는 경향을 나타내었다. 과실내의 가용성 고형물과 과실수, 주당 수확량은 처리 간에 차이가 없었다. 백납과의 발생비율은 규소의 농도가 높을수록 현저하게 증가하였다. 본 실험의 결과에서 왕겨배지를 사용하는 수경재배의 백납과 발생은 왕겨에서 유출된 규소의 영향인 것으로 밝혀졌다. 이 결과는 수경재배농가의 백납과 발생 방지에 유효한 정보로 이용될 수 있을 것이다.

주제어 : 고של 수경재배 시스템, 규소, 딸기, 백납과

사 사

본 연구는 대구대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Cheng, B.T. 1982. Some significant function of silicon to higher plants. *J. Plant Nutrition* 5(12):1345-1353.
2. Jun, H.J., J.G. Hwang, I.G. Kim, M.J. Son, K.M. Lee, and U. Udagawa. 2006. Effect of double layered substrate on the growth, yield and fruit quality of straw-

- berry in elevated hydroponic system. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24(2):157-161.
3. Kim, Y.C., K.Y. Kim, K.W. Park, H.K. Yun, T.C. Seo, J.W. Lee, and S.G. Lee. 2002. Silicon absorption characteristics of tomato grown under perlite culture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 4(4):392-394.
 4. Kim, Y.C., K.Y. Kim, H.D. K.W. Park, H.K. Yun, T.C. Seo, J.W. Lee, and S.G. Lee. 2003a. Influence of silicate application on the sucrose synthetic enzyme activity of tomato in perlite media culture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44(2):172-176.
 5. Kim, Y.C., K.Y. Kim, H.D. Suh, K.W. Park, H.K. Yun, T.C. Seo, J.W. Lee, and S.G. Lee. 2003b. Effect of granular silicate application on quality and shelf life of tomato in perlite culture. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 44(3):321-324.
 6. Lieten, P., J. Horvath and H. Asard. 2002. Effect of silicon on albinism of strawberry. Acta Hort. 567:361-364.
 7. Lieten, F. and R. Marcelle. 1993. Relationships between fruit mineral content and the albinism disorder in Elsanta strawberry. Acta Hort. 348:294-298.
 8. Miyake, Y. and E. Takahashi. 1985. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. Soil Sci. Plant Nutr. 31(4):625-636.
 9. Miyake, Y. and E. Takahashi. 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. Soil Sci. Plant Nutr. 32(2):321-326.
 10. Sharma, R.R. and V.P. Sharma. 2003. Mulch type influences plant growth, albinism disorder and fruit quality in strawberry (*Fragaria × ananassa* Dusch.). Fruits 58(4):221-227.
 11. Ulrich, A. 1971. Albino strawberry fruit study : Progress report. Strawberry News Bull. Vol. (7):1-3. California Strawberry Advisory Board.
 12. Wesche-Ebeling, P. and M.W. Montgomery. 1990. Strawberry polyphenoloxidase: Its role in anthocyanin degradation. J. Food Sci. 55(3):731-735.