

아미노산 액상비료와 proline처리가 ‘후지’ 사과나무 개화기 저온피해 및 과실품질에 미치는 영향

유진기^{1†}, 전익조^{2†}, 권중근³, 나이묘원⁴, 강인규^{3*}

Effect of Amino Acid Liquid Fertilizer with Proline Treatment on Frost Damage during Flowering Period and Fruit Quality in ‘Fuji’ Apple

Jingi Yoo ^{1†}, Ik-Jo Chun ^{2†}, Jung-Geun Kwon ³, Nay Myo Win ⁴ and In-Kyu Kang ^{3*}

¹영남대학교 원예생명과학과, ²안동대학교 스마트원예학과, ³경북대학교 원예과학과, ⁴국립원예특작과학원 사과연구센터

¹Department of Horticulture & Life Science, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Korea, ²Department of Smart Horticultural Science, Andong National University, Andong 36729, Korea, ³Department of Horticultural Science, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea, ⁴Apple Research Center, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Daegu 43100, Korea

* Correspondence: kangik@knu.ac.kr

†These authors contributed equally to this work.

<https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.17>

Agric. Environ. Sci. 2025, 44, 162-169

Received: December 20, 2024

Revised: January 17, 2025

Accepted: February 20, 2025

Published: June 4, 2025

Online ISSN: 2233-4173

Print ISSN: 1225-3537



Check for updates

© The Korean Society of Environmental Agriculture 2025



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://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: This study was conducted to analyze the effects of amino acid liquid fertilizer (ALF) and proline (Pro) treatment on frost damage during the flowering period, as well as on tree growth and fruit quality of ‘Fuji’ apple trees. When the ALF + Pro treatment was applied before flowering, the number of fruits per flower cluster in the untreat group was less than 2.0 for both terminal and axillary buds in ‘Fuji’ apple trees. The ALF + Pro 50 and 100 mg/L treatments showed a significantly increase, with 2.6 fruits per cluster on terminal buds. Additionally, when ‘Fuji’ apple flowers were exposed to -1°C after flowering, the untreat group showed a frost damage rate of 48.4%, whereas the ALF + Pro 100 mg/L treatment resulted in the lowest frost damage rate of 29.3%. In the amino acid contents of the fruit peel tissue, glutamic acid increased significantly in the ALF + Pro 10 and 50 mg/L treatments, while isoleucine and lysine increased significantly in the ALF + Pro 10 and 25 mg/L treatments. In the fruit flesh tissue, hydroxyproline, citrulline and isoleucine were not detected in the untreated fruit, but were detected in all ALF + Pro treatments. In particular, hydroxyproline content was 196.5, 177.7 and 214.9 mg/L in the ALF + Pro 10, 25 and 50 mg/L treatments, respectively. Glutamic acid content was 266.6~1,073.7 mg/L in all ALF + Pro treatments.

Keywords: Amino acid content, Amino acid liquid fertilizer, Apple flower, Frost damage, Proline

서 론

과수작물에서 동해는 늦가을부터 봄철 발아기까지 빈번히 발생하게 되고[1,2], 겨울의 낮은 온도는 주로 목부, 수피, 뿌리 그리고 꽃눈에 피해를 주어 나무 전체가 고사에 이르게 하기도 한다[3,4]. 최근 지구온난화와 이상기후로 인하여 봄철 발아기와 개화기가 빨라지고 있으며, 특히, 최근 국내에서는 봄철 사과나무(*Malus domestica* Borkh.) 개화기에 잦은 저온에 따른 서리피해가 발생함에 따라 착과량이 부족한 결실불량 사태가 심각히 나타나고 있어 그 대책이 필요한 실정이다[5-8]. 과수원에서는 개화기 서리피해 방지 대책으로 송풍법, 연소법, 살수법 등의 방법을 사용하고 있는 현실이지만 그 피해 방지에는 한계가 있어[9,10], 사과나무의 저온에 대한 내한성을 증대시키는 연구가 매우 중요한 시기라고 판단된다. Proline은 단백질 생성 아미노산으로 분류되는 유기산으로 식물의 동해에 대한 내성을 증가시키는 효과가 있고[1,11], 옥수수의 배 발생 캘러스 배지에 0.1 mM proline을 처리 시 조직 내 유리 proline의 함량 증가와 함께 이를 4°C 저온처리 시 대조군에 비해 생체중이 현저히 증가하면서 내한성 증가와 함께 동결 내성을 가지므로 세포의 회복성을 증가시켰다고 하였다[12]. 그리고 애기장대의 개화 유전자 발현을 조절하는 flowering locus C (FLC)는 proline 생성의 매개가 되어 FLC의 발현 정도에 따라 proline 생성이 조절되며, 그 함량이 증가하면 개화가 진행된다고 하였다[13]. 또한 애기장대의 변이체를 이용하여 아미노산의 흡수 여부를 측정된 결과 아미노산이 잎과 뿌리 조직의 high-affinity transporter를 통해 흡수가 가능한 것으로 보고되었다[14]. 그러나 아미노산 처리가 식물의 생육에 미치는 영향과 특히 과수나무에 아미노산을 처리한 경우 수체 내로의 아미노산 흡수에 관한 연구는 미미한 실정이다.

그동안의 국내 연구로는 아미노산 액상비료를 처리한 경우 크리핑 벤트그래스의 생육이 개선되었고[15], 토마토 유묘에 glycine을 엽면처리시 초장과 건물중이 증가되었으며[16,17], 곡물 아미노산을 포도에 엽면살포 후 과방중 증가 및 저장성 향상으로 상품성이 향상되었다고 하였다[18]. 또한 시금치의 exogenous proline을 처리하였을 때 동결 내성이 강해지고 대조군에 비하여 잎과 잎자루의 품질이 증가되었다[19]. 이러한 결과는 사과나무에서도 아미노산 액상비료를 엽면살포할 경우 아미노산이 흡수될 수 있다는 가능성을 제시한다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 아미노산 액상비료와 proline 처리가 사과나무 개화기 저온피해와 수체생육 및 과실품질에 미치는 영향을 분석하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험재료

경상북도 안동시 임하면에 위치한 사과원은 중심화 개화시부터 전체 만개기까지 1.2~4.4°C 사이의 최저 온도를 나타내어 서리피해가 빈번하게 발생하는 지역으로 11년생 '후지' M.26 (재식거리: 2.5 m × 2 m) 품종을 대상으로 균일한 수세를 나타내는 나무를 선정하여 실험을 실시하였다. 시험에 사용한 아미노산 액상비료는 urea (179.06 g/L), hydroxyproline (1.02 g/L), serine (1.56 g/L), cystine (3.30 g/L), leucine (1.28 g/L) 및 lysine (97.72 g/L)으로 구성되어 있으며, 그리고 proline (L-proline, 99%, Sigma-Aldrich Co., St Louis, USA)을 사용하였다. 과실의 수확은 10월 30일에 실시하였다.

처리내용

1차년도에는 사과나무 개화기 저온피해에 미치는 영향을 조사하기 위하여 아미노산 액상비료 1,000배액(amino acid liquid fertilizer, ALF)에 proline (Pro)을 10, 25, 50 및 100 mg/L의 농도로 혼용하여 개화 전 4월 12일과 19일에 각각 2회 처리한 뒤 착과량을 조사하였다. 2차년도에는 Pro의 효과를 검정하기 위하여 가지 5개를 1반복으로 하여 총 3반복 15개의 가지를 잘라 꺾꽂이한 후 개화를 시킨 다음 ALF + Pro 25, 50 및 100 mg/L을 각각 혼용 처리하여 -1°C를 설정한 저온고에 넣고 24시간 후에 실온으로 꺼내어 사과꽃의 피해 정도를 조사하였다. 그리고 동일한 사과나무에 2년간 ALF + Pro 50 mg/L을 6월 16일 1회 처리, 9월 17일 1회 처리 및 6월 16일 1회 + 9월 17일에 2회 처리 등 3 처리구를 두었다. 약제살포는 전동분무기로 미세분무 (ATR60, Albuz, France) 노즐을 사용하여 오전 7시경에 3,500 L/ha (1.75 L/1주) 정도가 되도록 살포하였다.

착과량 및 수체생육 조사

사과꽃의 저온피해 정도를 조사하기 위하여 착과가 안정적으로 이루어진 5월 12일에 각 농도별 ALF + Pro 처리한 나무를 대상으로 2개의 주지를 선택하여 과총당 과실 수를 조사하였다. 그리고 ALF + Pro를 처리한 나무의 생육 특성을 조사하기 위해 10월 8일에 주간단면적(Trunk Cross-sectional Area, TCA)과 신초 성장량(캘리퍼스, CD-20CPX, Mitutoyo Co., Ltd., Japan)을 조사하였다. 엽색은 엽록소 측정기(SPAD-502, Konica Minolta Inc., Japan)를 이용하였고, 엽면적은 엽면적 측정기(LI-3100, LI-COR Inc., USA)를 이용해 측정하였다.

과신품질 특성

과신품질은 과중, 경도, 가용성고형물 및 산 함량, 과피색을 처리구 당 30과씩 총 90과를 대상으로 조사하였다. 과실의 경도는 직경 5 mm plunger를 장착한 경도계(Compac-100 II, Sun Scientific Co., Ltd., Japan)를 사용하여 과실 적도부의 과피를 제거하고 3회 측정 후 평균값을 kg으로 나타내었다. 가용성고형물 함량은 과즙을 디지털당도계(PR-201a, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였고, 산 함량은 과즙 5 mL에 증류수 45 mL를 더한 후 전위차 적정기(DL-15, Mettler Toledo, Greifensee, Switzerland)를 이용하여 0.1 N NaOH로 pH 8.1까지 적정 후 사과산으로 환산하였다. 과피의 색도는 색차계(CR-400, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 적도면 3곳의 평균값으로 나타내었다.

아미노산 함량 분석

‘후지’ 과실을 수확하여 세척한 후 과피 5 g과 과육(과피 바로 아래 5 mm 이내 시료) 10 g을 각각 채취하여 아미노산 함량을 분석하였다. 분석 전처리에는 각각의 시료를 falcon tube에 넣고 증류수를 동일한 비율로 가하여 충분히 분쇄한 후 4°C 진탕기에서 150 rpm으로 30분간 shaking하였다. 이후 시료를 원심분리(4°C, 12,000 rpm, 22 min)하여 상등액을 취한 후 sulfosalicylic acid (Sigma-Aldrich Co., St Louis, USA) 25 mg 가한 후 4°C에 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 아미노산 분석은 아미노산분석기(S433 Automatic Amino Acid Analyser, Sykam, German)를 이용하였다.

통계분석

약제처리에는 각 처리구별 5주를 1반복으로 하여 3반복 15주를 대상으로 실시하였으며, 통계분석은 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 26.0, IBM Co., Armonk, NY, USA)을 이용하여 Duncan 다중검정으로 분석하였다.

결과 및 고찰

개화기 서리피해 경감 효과

경북 안동시 임하면에 위치한 사과원은 만개기에 서리피해가 빈번하게 발생하는 지역으로 1차년도에 개화전 Pro가 함유된 아미노산 액상비료(ALF + Pro)를 2회(4월 12일과 19일) 처리한 결과 과총당 착과수를 보면(Fig. 1), 무처리구는 착과수가 정아화와 액아화 모두 2.0개 이하로 착과되어 서리에 의한 피해가 발생하였고, ALF + Pro 10과 25 mg/L 혼용 처리구는 효과가 없었지만, ALF + Pro 50과 100 mg/L 혼용 처리구의 정아화는 2.6개로 무처리구에 비하여 착과수가 증가되어 서리피해를 경감시키는 효과를 보였다.

2차년도에는 ‘후지’ 사과나무의 가지를 꺾꽂이한 후 인위적으로 개화시킨 다음, ALF + Pro 25, 50 및 100 mg/L 농도로 처리한 뒤 -1°C를 설정한 저온고에서 24시간 방치하여 저온 피해를 경감에 미치는 영향을 조사하였다(Fig. 2). 그 결과, 무처리구는 48.5%의 저온 피해율을 보였고, ALF + Pro 25와 50 mg/L 처리구는 각각 35.5%와 35.0%로 저온 피해율이 감소되었지만 무처리구와 통계적 유의성을 보이지 않았다. 그러나 ALF + Pro 100 mg/L 처리구는 29.5%로 저온 피해율이 감소하였다.

Pro에 대한 연구 결과를 보면, 옥수수의 배 발생 캘러스 배지에 0.1 mM의 Pro를 처리 후 4°C 저온처리 시 내한성을 증가시켰고[11,12], 유채에 델타토닌 처리 시 Pro 함량이 증가하여 저온 스트레스를 억제한다고 하였다[20,21]. 또한 애기장대에서 Pro 생합성의 속도 제한 효소를 인코딩하는 AtP5CS1 유전자를 발현시킨 돌연변이체에서 Pro 함량이 증가되었을 때 조기 개화가

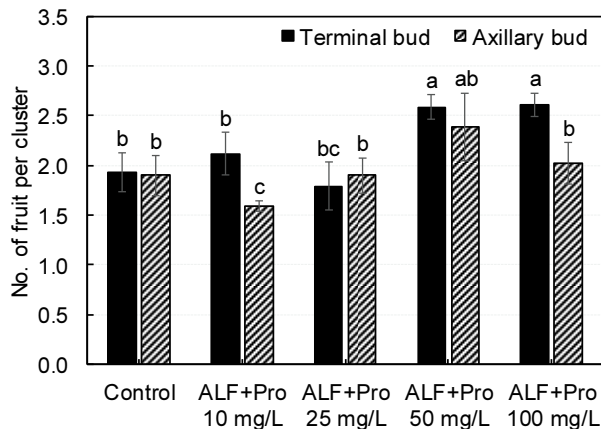


Fig. 1. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on fruit set of terminal and axillary flower cluster in 'Fuji' apple.

Data are presented as mean±standard error (n=240). Each Pro treatments included the 1,000 dilution of ALF. Different letters indicate statistically significant differences at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

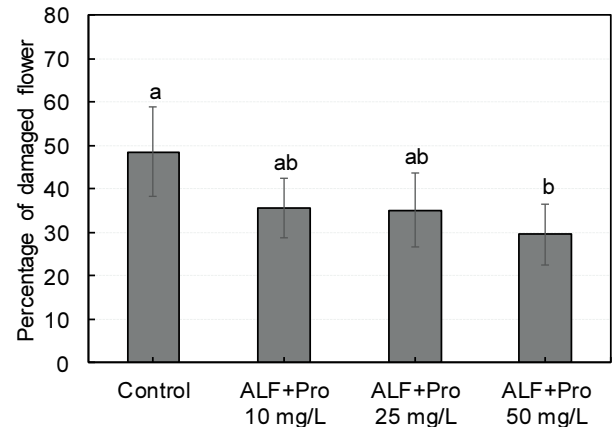


Fig. 2. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on the frost damaged flower rate of 'Fuji' apple after 24 h under the -1°C chamber.

Data are presented as mean±standard error (n=300). Each Pro treatments included the 1,000 dilution of ALF. Different letters indicate statistically significant differences at $p<0.05$ based on Duncan's multiple range test.

진행된다고 하였다[22]. 그리고 개화 유전자 발현을 조절하는 flowering locus C (FLC)는 Pro 생성의 매개가 되고, FLC의 발현 정도에 따라 Pro 생성이 조절되며, 그 함량이 증가하면 개화가 진행되고[13], 또한 Pro는 꽃가루 생식에 관여하고 다른 비생물적 스트레스에 반응하여 식물조직에 축적됨으로써 꽃가루를 보호하여 종자 형성에 중요한 영향을 미친다고 하였다[23]. 그러므로 본 연구 결과에서 저농도 ALF + Pro 처리는 사과꽃의 저온에 따른 내한성 증진 효과가 미미하였으나, ALF + Pro 100 mg/L의 고농도 처리구에서는 개화기 저온피해를 감소시키면서 수정율을 향상시켜 착과수를 증가시키는 데 효과가 있다고 판단되었다.

수체생육에 미치는 영향

ALF + Pro 처리에 따른 1차년도 '후지' 사과나무의 생육은 ALF + Pro 1회 처리구와 2회 처리구에서 엽색도(SPAD value)는 차이가 없었고, 엽면적의 경우 2회 처리구에서는 무처리구와 1회 처리구들에 비하여 증가되었으나 처리 시기에 따른 차이는 없었다(Table 1). 그리고 신초 성장량은 무처리구에 비하여 ALF + Pro 처리구가 감소하는 경향을 보였다. 2차년도 결과에서 무처리구에 비해 모든 ALF + Pro 처리구에서 엽면적과 주간단면적(TCA)은 증가하였으나 신초 성장량은 1차년도와 달리 무처리구와 차이가 없었다(Table 2). Wang et al.[24]은 아미노산 액상비료를 엽면살포하였을 때 수체 생육은 물론 수확량이 증가한다고 보고하였다. 하지만 Pro를 애기장대에 처리하였을 때, 1 mM와 5 mM Pro 처리구에서는 하배축의 신초 발생과 성장을 촉진시켰으나 10 mM Pro 처리구의 경우 무처리구와 비교하여 현저히 적은 발생량과 성장량을 나타낸다고 하였다[25]. 이와 같이 본 연구에서 ALF + Pro 처리에 따른 엽면적의 증가에도 불구하고 신초의 생육이 억제되거나 혹은 차이를 보이지 않은 것은 이들

Table 1. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on tree growth in 'Fuji' apple tree (1st year)

Treatment date ¹⁾	Apple tree growth			
	Leaf area (cm ²)	Shoot length (cm)	Leaf chlorophyll content (SPAD value)	TCA ²⁾ (cm ²)
Control	22.1b ³⁾	27.0a	57.4a	91.9b
Jun. 16 th	23.0b	22.7b	56.1a	116.6a
Sep. 17 th	22.6b	24.3b	58.0a	101.8ab
Jun. 16 th + Sep. 17 th	24.2a	23.2b	58.6a	103.7ab

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with 50 mg/L Pro.

²⁾ TCA: Trunk Cross-sectional Area.

³⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p<0.05$.

Table 2. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on tree growth in 'Fuji' apple tree (2nd year)

Treatment date ¹⁾	Apple tree growth			
	Leaf area (cm ²)	Shoot length (cm)	Leaf chlorophyll content (SPAD value)	TCA ²⁾ (cm ²)
Control	26.94b ³⁾	19.05a	55.2a	116.9b
Jun. 16 th	35.71a	18.56a	57.1a	134.0a
Sep. 17 th	29.74a	20.03a	56.3a	123.6ab
Jun. 16 th + Sep. 17 th	32.45a	20.53a	57.7a	125.0ab

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with 50 mg/L Pro.

²⁾ TCA: Trunk Cross-sectional Area.

³⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

물질을 단기간 처리 시 그 효과가 나타나기 어렵다고 판단되어 지속적인 ALF + Pro 처리를 통하여 더 세밀한 연구가 필요할 것으로 사료되었다.

과실의 품질 및 아미노산 함량 변화

ALF + Pro 처리에 따른 과실품질은 1차년도에 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았고(Table 3), 2차년도에는 9월 17일 ALF + Pro 1회 처리구에서 과중과 과피 착색이 증가되었지만(Table 4) 이러한 결과는 ALF + Pro 처리에 따른 효과인지는 분명하지 않아 추가적인 연구가 필요하다고 판단되었다.

ALF + Pro 처리 후 과실의 과피와 과육에 흡수되는 아미노산 함량을 분석하였다. 과피에서 검출된 아미노산은 무처리구에서는 hydroxyproline, glutamic acid, citrulline, isoleucine 및 lysine이 검출되었지만 phosphoserine은 검출되지 않았다(Table 5). 그러나 ALF + Pro 처리구들에서는 phosphoserine의 함량이 4.2~6.2 mg/L 정도 검출되었고, glutamic acid, citrulline, isoleucine 및 lysine 함량은 처리구들에서 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히, glutamic acid 함량은 ALF + Pro 10과 50 mg/L 처리구에

Table 3. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on fruit quality attributes in 'Fuji' apple (1st year)

Treatment date ¹⁾	Fruit quality attributes						
	Fruit weight (g)	Flesh firmness (kg/Ø5mm)	Soluble solid (°Brix)	Titratable acidity (%)	Hunter value		
					L*	a*	b*
Control	292.9a ²⁾	3.72a	14.4a	0.22a	50.5a	22.1a	21.3a
Jun. 16 th	272.7a	3.64a	14.0a	0.24a	49.9a	22.7a	20.7ab
Sep. 17 th	288.4a	3.65a	14.1a	0.22a	49.7a	23.4a	19.8b
Jun. 16 th + Sep. 17 th	306.5a	3.83a	14.3a	0.23a	50.4a	22.6a	19.8b

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with 50 mg/L Pro.

²⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

Table 4. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on fruit quality attributes in 'Fuji' apple (2nd year)

Treatment date ¹⁾	Fruit quality attributes						
	Fruit weight (g)	Flesh firmness (kg/Ø5mm)	Soluble solid (°Brix)	Titratable acidity (%)	Hunter value		
					L*	a*	b*
Control	240.0b ²⁾	3.83a	14.6a	0.22a	51.9a	22.4b	23.3a
Jun. 16 th	258.1ab	3.80a	14.6a	0.21a	49.7b	24.0b	21.1b
Sep. 17 th	274.9a	3.72a	13.8a	0.20a	47.9b	25.7a	19.9b
Jun. 16 th + Sep. 17 th	264.7ab	3.88a	14.3a	0.21a	47.1b	26.7a	19.7b

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with 50 mg/L Pro.

²⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

Table 5. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on amino acid contents in peel of 'Fuji' apple

Treatment ¹⁾	Amino acid contents (mg/L)					
	Phosphoserine	Hydroxyproline	Glutamic acid	Citrulline	Isoleucine	Lysine
Control	0.00b ²⁾	146.6a	162.3b	23.9b	12.9c	67.6b
ALF + Pro 10	4.20a	138.2a	607.0a	28.7ab	59.1a	96.1a
ALF + Pro 25	5.83a	121.8a	408.5ab	17.6b	44.4b	96.4a
ALF + Pro 50	6.23a	140.5a	560.5a	38.4a	26.3c	29.0c
ALF + Pro 100	4.93a	81.9a	196.8b	39.8a	13.3c	58.6ab

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with the amounts of Pro (mg/L) on Jun. 16th and Sep. 17th.

²⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

Table 6. Effect of amino acid liquid fertilizer (ALF) with proline (Pro) treatment on amino acid contents in fresh tissue of 'Fuji' apple

Treatment ¹⁾	Amino acid contents (mg/L)					
	Phosphoserine	Hydroxyproline	Glutamic acid	Citrulline	Isoleucine	Lysine
Control	4.73ab ²⁾	0.0c	24.9d	0.0d	0.0c	30.7c
ALF + Pro 10	4.72ab	196.5ab	1,073.7a	20.4bc	15.5a	96.0a
ALF + Pro 25	4.64ab	177.7ab	819.2b	13.4c	11.6a	69.7ab
ALF + Pro 50	3.00b	214.9a	355.0c	129.3a	6.2b	23.9c
ALF + Pro 100	9.65a	82.4b	266.6c	55.3b	10.9a	42.1bc

¹⁾ Each treatments included the 1,000 dilution of ALF with the amounts of Pro (mg/L) on Jun. 16th and Sep. 17th.

²⁾ Mean separation within column by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

서, 그리고 isoleucine과 lysine 함량은 ALF + Pro 10과 25 mg/L 처리구에서 현저히 증가하였다.

그리고 과실의 과육에서 검출된 아미노산은 무처리 과실의 과육에서는 과피와 달리 hydroxyproline, citrulline 및 isoleucine은 검출되지 않았고, phosphoserine (4.73 mg/L), glutamic acid (24.9 mg/L) 및 lysine (30.7 mg/L)이 검출되었다(Table 6). Hydroxyproline은 ALF + Pro 10, 25 및 50 mg/L 처리구들에서 각각 196.5, 177.7 및 214.9 mg/L로 현저히 증가하였고, glutamic acid는 모든 ALF + Pro 처리구들에서 266.6~1,073.7 mg/L으로 무처리구 대비 10~43배 정도 증가하였다. Citrulline 함량은 ALF + Pro 50 mg/L 처리구에서 129.3 mg/L를, lysine 함량은 ALF + Pro 10과 25 mg/L 처리구들에서 각각 96.0과 69.7 mg/L로 높은 함량을 보였다. 이러한 결과는 애기장대의 아미노산 흡수 여부는 잎과 뿌리조직의 high-affinity transporter를 통해 흡수가 가능하고[14], 아미노산 액상비료 처리 시 크리핑 벤트그래스의 생육 향상과[15] 곡물 아미노산을 포도에 엽면살포 후 과방증이 증가된 것처럼 [18] ALF + Pro 처리가 '후지' 사과 과실에 아미노산이 흡수된다는 결과를 보였지만 ALF + Pro 처리농도에 따른 과실로의 아미노산 흡수 정도는 일관된 결과는 보이지 않았다.

결 론

본 연구는 아미노산 액상비료(ALF)와 Pro 처리가 '후지' 사과나무의 개화기 저온피해에 미치는 영향과 수체생육 및 과실품질에 미치는 영향을 분석하고자 수행하였다. ALF + Pro를 개화 전 처리 결과 ALF + Pro 50과 100 mg/L 처리구의 정화아에서는 무처리에 비하여 2.6개로 착과되어 서리피해를 경감시켰고, 또한 '후지' 사과꽃을 개화시킨 후 -1°C에서 노출시킨 결과, ALF + Pro 100 mg/L 처리구에서는 가장 낮은 29.3%의 고사율을 보였다. 아미노산 함량을 보면 과피에서는 glutamic acid 함량은 ALF + Pro 10과 50 mg/L 처리구에서, isoleucine과 lysine 함량은 ALF + Pro 10과 25 mg/L 처리구에서 현저히 증가하였다. 과실의 과육에서는 무처리 과실은 hydroxyproline, citrulline 및 isoleucine 함량은 검출되지 않았고, 처리구들에서는 모두 검출되었다. 특히, hydroxyproline 함량은 ALF + Pro 10, 25 및 50 mg/L 처리구에서 각각 196.5, 177.7 및 214.9 mg/L를, glutamic acid 함량은 모든 ALF + Pro 처리구들에서 266.6~1,073.7 mg/L으로 무처리구 대비 10~43배 정도 증가하는 결과를 보였다.

따라서 ALF + Pro 처리 시 사과나무의 수체생육에 미치는 영향은 크지 않았으나 과실로의 아미노산 흡수는 이루어지는 결과를 보였다. 또한 최근 사과나무 개화기에 잦은 발생을 보이는 서리는 꽃을 고사하게 하여 결실량을 현저히 감소시키지만, 개화 전에 ALF + Pro 처리는 서리피해를 경감시켜 결실량을 증가시키는 효과가 있는 것으로 판단되어 더 세밀한 연구가 진행된다면 개화기 저온피해를 줄이는데 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

Data Availability: All data are available in the main text or in the Supplementary Information.

Author Contributions: I.-J. Chun and I.-K. Kang designed the research; J. Yoo, J.-G. Kwon, I.-J. Chun, N.M. Win and I.-K. Kang collected the data and performed the analysis; J. Yoo wrote the first manuscript; I.-J. Chun and I.-K. Kang supervised and revised the manuscript.

Notes: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments: This Research was supported by Kyungpook National University Research Fund, 2024. This work was supported by the 2025 research fund (RS-2025-02183070) of the Rural Development Administration, Republic of Korea.

Additional Information:

Supplementary information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.5338/KJEA.2025.44.17>

Correspondence and requests for materials should be addressed to In-Kyu Kang.

Peer review information Korean Journal of Environmental Agriculture thanks the anonymous reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Reprints and permissions information is available at <http://www.korseaj.org>

References

- Weiser CJ (1970) Cold resistance and acclimation in woody plant. *HortScience*, 5(5), 403-410. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.5.5.403>.
- Rodrigo J (2000) Spring frosts in deciduous fruit tress-morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae*, 85(3), 155-173. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00150-8).
- Weiser CJ (1970) Cold resistance and injury in woody plants: knowledge of hardy plant adaptations to freezing stress may help us to reduce winter damage. *Science*, 169(3952), 1269-1278. <https://doi.org/10.1126/science.169.3952.126>.
- Palonen P, Buszard D (1997) Current state of cold hardiness research on fruit crops. *Canadian Journal of Plant Science*, 77(3), 399-420. <https://doi.org/10.4141/P96-01>.
- Dennis FJ (2003) Flowering, pollination and fruit set and development. In Ferree DC and Warrington IJ. pp.157-160. eds. Apples; botany. production and uses. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Palmer JW, Prive JP, Tustin DS (2003) Temperature, in: Ferree DC, Warrington IJ, Apples; Botany Production and Uses. pp.225-227, CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Wertheim SJ, Schmidt H (2005) Flowering, pollination and fruit set, in: Tromp J, Webster JT, Wertheim SJ, Fundamentals of Temperate Zone Tree Fruit Production. pp.220-226, Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands.
- Yoo J, Choi C, Kwon JG, Kang IK (2022) Pollen germination characteristics under temperature and relative humidity treatments for artificial pollination of apples. *Horticultural Science and Technology*, 40(5), 496-503. <https://doi.org/10.7235/HORT.20220044>.
- Choi HS, Jo YS, Kim WS, Jo JA, Lee Y (2011) Effect of sprinkler and wind machine on frost protection during flowering of pear trees. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 23(3), 280-283.
- Jo YS, Kim WS, Jo JA, An YJ, Jee HJ, Kuk YI (2012) Frost protection during flowering of 'Niitaka' pear trees as affected by heating and sprinkler. *The Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 24(1), 60-64.
- Withers LA, King PJ (1979) Proline: a novel cryoprotectant for the freeze preservation of cultured cells of *Zea mays* L. *Plant Physiology*, 64(5), 675-678. <https://doi.org/10.1104/pp.64.5.675>.
- Duncan DR, Widholm JM (1987) Proline accumulation and its implication in cold tolerance of regenerable maize callus. *Plant Phys-*

- iology, 83(3), 703-708. <https://doi.org/10.1104/pp.83.3.703>.
13. Mattioli R, Francioso A, Trovato M (2022) Proline affects flowering time in *Arabidopsis* by modulating FLC expression: A clue of epigenetic regulation?. *Plants*, 11(18), 2348. <https://doi.org/10.3390/plants11182348>.
 14. Hirner A, Ladwiga F, Stranskya H, Okumotob S, Keinatha M, Harmsb A, Frommera WB, Kocha W (2006) *Arabidopsis* LHT1 is a high-affinity transporter for cellular amino acid uptake in both root epidermis and leaf mesophyll. *The Plant Cell*, 18(8), 1931-1946. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.041012>.
 15. Kim YS, Lee KS, Ham SG (2003) The effect of liquid fertilizer contained amino acids on the growth of Bentgrass (*Agrostis palustris* Huds) and the chemical characteristics of soil. *Korean Journal of Turfgrass Science*, 17(4), 147-154.
 16. Oh JS, Lee JS, Kang KH, Kim HT, Chung WB, Jeong SJ (2001) Effect of continuous application of organic farming materials on the soil physicochemistry property and plant growth, yield and components of tomato. *Korean Journal of Organic Agriculture*, 9(1), 75-89.
 17. Kang NJ, Kwon JK, Lee JH, Park JM, Rhee HC, Choi YH (2006) Effect of foliar application of glycine betaine on the growth and contents of osmolyte in tomato seedling. *Journal of Bio-Environment Control*, 15(4), 390-395.
 18. Ju IO, Jung GT, Cheong SS, Moon YH, Ryu J, Choi JS (2007) Effects of chitosan, grain amino acid and wood vinegar foliar spray on the quality and storability of grapes (Campbell Early). *Korean Journal of Food Preservation*, 14(2), 119-123.
 19. Shin H, Oh S, Kim D, Hong JK, Yun JG, Lee SW, Son KH (2018) Induced freezing tolerance and free amino acids perturbation of spinach by exogenous proline. *Journal of Plant Biotechnology*, 45(4), 357-363. <https://doi.org/10.5010/JPB.2018.45.4.357>.
 20. Yan L, Huang H, Ali R, Zeng L, Ding X, Wang G, Lv Y, Cheng Y, Zou X (2022) Exogenous melatonin confers cold tolerance in rapeseed (*Brassica napus* L.) seedlings by improving antioxidants and genes expression. *Plant Signaling & Behavior*, 17(1), 2129289. <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2129289>.
 21. Liu X, Wang T, Ruan Y, Xie X, Tan C, Guo Y, Li B, Qu L, Deng L, Li M, Liu C (2024) Comparative metabolome and transcriptome analysis of rapeseed (*Brassica napus* L.) cotyledons in response to cold stress. *Plants*, 13(16), 2212. <https://doi.org/10.3390/plants13162212>.
 22. Mattioli R, Marchese D, Angeli SD, Altamura MM, Costantino P, Trovato M (2008) Modulation of intracellular proline levels affects flowering time and inflorescence architecture in *Arabidopsis*. *Plant Molecular Biology*, 66, 277-288. <https://doi.org/10.1007/s11103-007-9269-1>.
 23. Mattioli R, Palombi N, Funck D, Trovato M (2020) Proline accumulation in pollen grains as potential target for improved yield stability under salt stress. *Frontiers in Plant Science*, 11, 582877. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.582877>.
 24. Wang D, Deng X, Wang B, Zhang N, Zhu C, Jiao Z, Li R, Shen Q (2019) Effects of foliar application of amino acid liquid fertilizers, with or without *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9, on cowpea yield and leaf microbiota. *PLoS One*, 14(9), e0222048. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222048>.
 25. Hare PD, Cress WA, Van Staden J (2001) The effects of exogenous proline and proline analogues on in vitro shoot organogenesis in *Arabidopsis*. *Plant Growth Regulation*, 34, 203-207. <https://doi.org/10.1023/A:1013326526875>.