

Diniconazole 엽면살포가 날개하늘나리의 내생 GA 및 ABA 함량에 미치는 영향

엄선정¹ · 박경일¹ · 이인중² · 최영준³ · 오 옥^{1,4*} · 김규원¹

¹영남대학교 원예생명과학과, ²경북대학교 응용생명과학부, ³강진군농업기술센터, ⁴영남대학교 LED-IT융합산업화연구센터

Effects of Foliar-sprayed Diniconazole on Contents of Endogenous Gibberellic Acids and Abscisic Acid in *Lilium davuricum*

Sun Jung Eum¹, Kyeung Il Park¹, In Jung Lee², Young Jun Choi³, Wook Oh^{1,4*}, and Kiu Weon Kim¹

¹Department of Horticultural Science, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

²School of Applied Bioscience, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

³Gangjin Agricultural Technology and Extension Center, Gangjin 527-853, Korea

⁴LED-IT Fusion Technology Research Center, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

Abstract. Plant growth retardants reduce the plant height by inhibiting stem elongation in *Lilium davuricum*. To investigate the plant hormones related to stem elongation, we sprayed 50 mg·L⁻¹ diniconazole to young plants of *L. davuricum* and quantified the contents of endogenous gibberellic acids (GA) and abscisic acid (ABA). In GA biosynthesis, *L. davuricum* had not only the early C-13 hydroxylation (GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁) pathway resulting in GA₁ as the active form but also the non C-13 hydroxylation (NCH, GA₁₂ → GA₂₄ → GA₉ → GA₄) with GA₄ as the active form. However, the main pathway was NCH because GA₄ concentration of 55 ng·g⁻¹ dry wt was much higher than GA₁ content of 0.23 ng·g⁻¹ dry wt in control plant. Diniconazole inhibited GA biosynthesis through NCH pathway from its early stage. GA₁₂ content decreased by diniconazole up to 6% level of that of control and this effect continued to GA₄. Diniconazole reduced GA₁₂ content by 12.7 ng·g⁻¹ dry wt, whereas that of control plant was 213.8 ng·g⁻¹ dry wt. ABA content decreased up to one third of control by diniconazole application. From the contents of endogenous GA₄, GA₁, and ABA in this study, we could conclude that diniconazole reduces the plant height by inhibiting GA₄ biosynthesis in *L. davuricum*.

Additional key words: GA biosynthesis, Korean native lily, plant growth retardant, plant height, potted plant, stem elongation

서 언

식물생장억제물질(plant growth retardant)에 의한 초장 조절은 세포의 분열 및 신장 억제에 의해 유발된다. 생장억제 물질은 주로 줄기의 신장을 촉진하는 지베렐린(gibberellic acid, GA)이나 옥신(auxin)에 대한 길항작용으로 식물의 형태 변화에 영향을 미친다(Lee et al., 1998b). GA의 생합성 억제물질로는 onium 화합물, 함질소 heterocycle 화합물, cyclohexanetriones의 세 종류가 알려져 있다. 이 가운데 많이 사용되고 있는 함질소 heterocycle 화합물에는 ancymidol,

flurprimidol, paclobutrazol, uniconazole, diniconazole, tetcyclacis, hexaconazole 등이 있다(Sponsel, 1995).

GA는 거의 모든 고등식물에 존재하고 있으며, 현재까지 미생물 기원의 GA를 포함하면 120종 이상이 분리, 동정되었다. 대부분의 GA는 생합성 과정의 중간 대사산물로서 간주되고 있으며, 생리적으로 활성을 나타내는 GA는 극소수에 불과하다(Lee et al., 2001). GA의 생합성은 1단계인 mevalonic acid(MVA)로부터 *ent*-kaurene의 생성, 2단계인 *ent*-kaurene에서 GA₁₂-aldehyde로의 산화, 3단계인 GA₁₂-aldehyde에서 다양한 지베렐린으로의 산화과정을 거쳐 이루어진다(Lee et

*Corresponding author: wookoh@ynu.ac.kr

※ Received 8 November 2010; Accepted 15 March 2011. This research was supported by the Yeungnam University research grants in 2009.

al., 1998b).

한편, 앱시스산(abscisic acid, ABA)은 식물의 엽록체와 전색소체(proplastid)에서 MVA-independent 경로를 통해 생합성(Lee et al., 2001)되므로, ABA 생합성의 전반부에는 GA와 카로티노이드가 동일한 경로를 거친다(Arighoni et al., 1997; Lichtenthaler et al., 1997). ABA는 카로티노이드의 분해산물로부터 간접적으로 생합성된다는 사실이 밝혀졌으나 (Cutler and Krochko, 1999), 일부 병원성 곰팡이류는 GA 생합성 1단계에서 생성되는 C₁₅ 전구체인 farnesyl pyrophosphate (FPP)로부터 ABA를 직접 생합성하는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 2001). 대부분의 천연 ABA는 cis와 (+) 형태로 존재하며 이들 형태로 활성을 나타낸다. 또한 ABA가 생물 활성을 나타내는 데는 카르복실기와 방향고리 내의 이중결합 등의 구조적 특성이 크게 관여하는 것으로 알려져 있다. ABA의 불활성화는 일반적으로 포도당과의 결합에 의한 불활성화 또는 산화에 의한 phaseic acid와 dihydrophaseic acid로의 전환이 원인이다. 포도당과의 결합에 의한 불활성화는 액포에서 주로 일어나며 포도당은 카르복실기와 결합하여 ABA-glucose로 변환된다(Cutler and Krochko, 1999).

현재까지 국화, 시클라멘 등 일부 화훼류에서 내생 GA의 종류와 생합성 조절에 관한 연구들(Huh et al., 2006; Oh, 2007)은 있었으나, 자생나리에 대한 연구는 본 연구팀의 연구가 유일하다(Eum et al., 2010). 우리나라에 자생하는 대부분의 나리들은 꽃이나 잎의 관상가치는 높으나 초장이 길어 분화류로 바로 이용하기가 곤란하며, 초장만 줄인다면 바로 분화류로 사용할 수 있을 정도로 관상가치가 높은 것들이 많다(Eum et al., 2010). 따라서 줄기 신장에 대한 내생 GA의 활성 형태와 생장억제제 처리에 의한 변화를 밝힐 필요가 있다. 본 연구는 우리나라에 자생하는 날개하늘나리 (*Lilium dauricum*)에 있어서 diniconazole의 엽면살포가 내생 GA 및 ABA 함량에 미치는 효과를 구명하여 초장 조절의 기초 자료로 삼고자 실시되었다.

재료 및 방법

식물 재료 및 초장 측정

조직배양으로 얻은 날개하늘나리의 기내 소인경(in vitro bulblet)을 포장에서 1차 비대시킨 후 생체중이 3-4g인 구근을 실험 재료로 사용하였다. 1월 15일 직경 10cm의 플라스틱 화분에 정식하였고, 배지는 피트모스와 버미큘라이트를 7:3(v/v)로 혼합하여 사용하였다. 상토 10kg당 복합비료(N:P:K:Mg = 21:12:11:3) 5g을 기비로 하고 주 1회씩 하이포넥스(N:P:K = 20:20:20) 1,000배액을 시비하였다. 정식

후에 주간 온도 23 ± 2°C, 야간 온도 18 ± 2°C로 조절된 유리온실에서 식물체를 관리하였다.

식물체의 초장이 5cm 정도로 자란 2월 4일 13:00경 지상부가 충분히 젖도록 50mg·L⁻¹ diniconazole 용액을 개체당 20mL씩 살포한 후 0, 5, 10일째에 잎을 채취하여 분석용 시료로 사용하였다. 각 식물체에서 가급적 동일한 위치에 있는 잎을 채취하였으며, 대조구에는 증류수를 살포하였다. 각 처리별로 10개체씩 식물체의 초장을 배지 위부터 식물체의 최상부까지 길이로 하여 처리 후 3일 간격으로 30일간 측정하였다.

GA 분석

GA 추출

GA 추출의 일반적인 과정은 Foster and Morgan(1995), Lee et al.(1998a)의 방법에 준하였다. GA 분석을 위해선 처리별로 5개체를 무작위로 선정하였고, 12:00-13:00 사이에 정아로부터 5cm 이내에 있는 잎을 채취하였다. 이 시료를 액체질소로 동결 고정시킨 후 동결건조기로 냉동 건조하여 -20°C의 냉동고에 보관하면서 1회에 1g을 사용하였다. 동결 건조하여 마쇄한 시료에 메탄올 80% 용액으로 추출한 후 여과한 용액에 지베렐린 standard를 넣고 100% 용액으로 재추출하였다. 지베렐린의 standard로는 20ng의 ²H₂ GA₁, ²H₂ GA₄, ²H₂ GA₅, ²H₂ GA₇, ²H₂ GA₈, ²H₂ GA₉, ²H₂ GA₁₂, ²H₂ GA₁₅, ²H₂ GA₁₉, ²H₂ GA₂₀, ²H₂ GA₂₄, ²H₂ GA₃₄, ²H₂ GA₃₆, ²H₂ GA₄₄, ²H₂ GA₅₃를 사용하였다. 또한 고성능 액체크로마토그래피(high-performance liquid chromatography, HPLC; Waters Model 510, Milford, USA)에서 각 GA의 정확한 머무름 시간(retention time)을 결정하여 분획화하기 위해 [1,2-³H]GA₁과 [1,2-³H]GA₄를 추출용액에 첨가하였다.

추출액에 증류수를 첨가하여 메탄올 용액이 60%가 되도록 조정하고 다음 -70°C의 급속동결기(deep freezer)에서 1시간 동안 방치한 후 여과하여 엽록소를 제거하였다. 추출액은 NH₄OH 2N 용액으로 pH 8.0으로 조정하여 C₁₈ column을 통과시킨 후 감압 농축하였다. 농축물은 메탄올 60%와 100% 용액으로 용해시켜 celite/SiO₂ column(용매, formic acid로 포화된 EtOHc:Hexane = 95:5)로 통과시켰다. 통과액은 감압 농축하여 인산완충액(pH 8.0)으로 녹인 다음 pH를 8.0-8.3으로 조정하고 ethyl acetate로 분획하여 아래층의 용액을 3회 모았다. 회수용액에 PVPP 1g을 첨가하여 교반기로 1시간 동안 진탕하였다. 이 용액은 여과시켜 pH를 2.5로 조정하여 ethyl acetate로 층을 분리한 후 윗층만을 모아 감압 농축하였다. 농축물은 메탄올 100% 용액으로 용해시켰다. 이 용액은 질소가스로 건조시킨 후 HPLC용 시료로 사용하였다.

HPLC 분석

HPLC column은 μ Bondapak C₁₈(3.9×300mm)을 사용하였으며 각 GA는 아세트산(acetic acid) 1% 용액을 포함한 메탄올 28% 용액과 메탄올 100% 용액의 농도 구배에 의해 분리하였다. 유속은 분당 1.5mL로 하여 총 45개 분획으로 나누었으며, 각 분획의 양은 1.5mL로 하였다. 각 GA의 정확한 머무름 시간은 각 분획에서 15 μ L씩 취하여 액체섬광계수기(liquid scintillation counter, LSC Model 6000, Beckman)로 ³H-GA standard의 유무를 확인하여 결정하였다. 각 분획은 savant automatic environmental speedvac system(AES 2000, GMI, Inc., Ramsey, Mn, USA)으로 건조시켜 동일한 GA만을 모아 1mL의 반응병으로 옮긴 후 40°C에서 질소가스로 재건조시켰다. 불순물을 많이 함유한 분획은 NH₂ cartridge를 이용하여 불순물을 제거한 후 반응병으로 옮겼다.

Gas Chromatograph–Mass Spectrometry–Selected Ion Monitoring (GC–MS–SIM)

반응병 속에 들어있는 GA에 60 μ L의 ethereal diazomethane으로 2차례 methyl ester를 유도한 후 질소 가스로 다시 건조하였다. Silylation이 필요한 GA류는 30 μ L의 pyridine과 30 μ L의 N-D-bis(trimethyl silyl)-trifluoroacetamide(BSTFA, 1% TMCS 포함) 용액으로 70°C에서 30분간 반응시킨 후 질소 가스로 건조하였다. 시료는 무수 dichloromethane로 녹인 후 1 μ L를 30m × 0.25mm(i.d.) HP-1 capillary column이 장착된 GC-MS에 주입하였다. Mass selective detector(5973N, Hewlett-Packard)가 부착된 GC(Model 6890, Hewlett-Packard)를 사용하였으며 자료는 HP 5970C Chemstation(Hewlett-Packard)을 이용하여 분석하였다.

내생 GA 정량

GA류의 동정은 KRI 값과 mass spectrum을 비교하여 확인하였다. 정성과 정량 분석을 위해서는 hydrocarbon standard를 이용해 Kovats retention index(KRI)를 구하였으며, 각 GA와 [²H₂]GA ISTD의 3개 주요 ion mass를 비교하여 확인하였다. 모든 GA류의 동정은 Gaskin and MacMillan(1991)이 보고한 KRI값과 mass spectrum을 비교함과 동시에 Australian National University의 Lewis N. Mander 교수로부터 구입한 deuterated된 각 GA 표준품의 KRI 및 mass spectrum을 비교하여 확인하였다. 또한, GA의 정량은 deuterated GAs와 endogenous peak 면적의 비율을 기본으로 하여 정량하였다. 즉, GA₅₃, GA₁₂, GA₁₉, GA₂₀, GA₁의 내생 함량은 448/450, 300/302, 434/436, 418/420, 506/508의 peak 면적의 비율로 계산하였다.

ABA 분석

ABA 추출의 일반적인 과정은 Browning and Wingnall (1987), Kawboj et al.(1999), Qi et al.(1998)의 방법에 준하였다. GA 분석과 같은 요령으로 채취하여 마쇄한 시료를 isopropanol과 glacial acetic acid가 95:5의 비율로 혼합된 용매로 추출한 후 여과시킨 다음 표준품인 [(±-3,5,5,7,7-d6]-ABA 20ng을 첨가시켜 감압 농축하였다. 농축물은 NaOH 1N 용액을 사용해 pH 12-13으로 조정된 다음 methyl chloride로 3회 분획한 후 HCl 6N 용액을 사용하여, 물층의 pH가 2.5-3.5가 되게 조정하였다. 이 물층을 ethyl acetate로 3회 분획한 후, 감압 농축하여 인산 완충액(pH 8.0)으로 용해시킨 다음 1g의 polyvinylpyrrolidone(PVPP)를 첨가하여 1시간 동안 진탕시켰다. 진탕액은 HCl 6N 용액으로 pH를 2.5-3.5로 조정된 후 다시 ethyl acetate로 3회 분획하여 pH 2.5인 2차 증류수를 첨가시켜 물층을 제거한 후 감압 농축하였다. 농축물은 ethyl acetate로 용해시켜 1mL의 반응병에 옮긴 후 질소 가스로 건조시켰다. 이후 ethereal diazomethane으로 2차례 methyl ester를 유도한 다음 GC-MS로 분석하였다.

결과 및 고찰

줄기 신장

날개하늘나리의 줄기 신장은 diniconazole 엽면살포에 의해 현저히 감소하였다(Fig. 1). 대조구와의 초장 차이는 처리 후 6일째부터 나타나기 시작하였으며, 이후 그 차이는 점점 증가하였다. 날개하늘나리의 줄기 신장은 대조구 및 diniconazole 처리구 모두 3주차까지는 직선적인 증가를 보이다 이후 더 이상의 증가를 보이지 않았다. 즉 화아의 분화

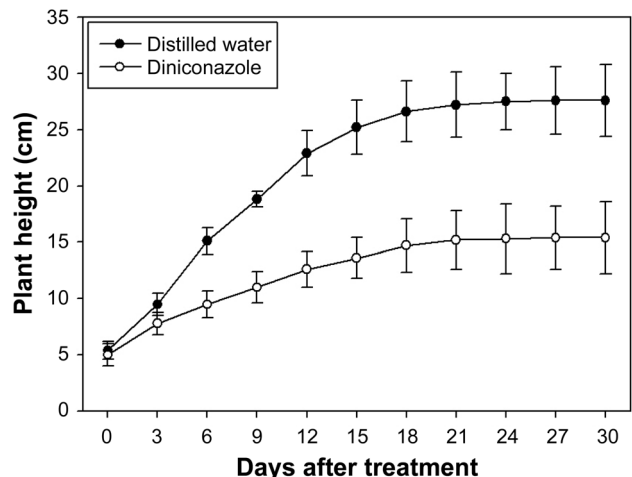


Fig. 1. Changes in plant height by foliar spray of distilled water and 50 mg·L⁻¹ diniconazole in *Lilium davuricum*. Plants of about 5 cm height were applied with two solutions. Vertical bars represent standard error (n = 10).

로 더 이상 절간이 생성되지 않아 줄기신장이 나타나지 않는 것으로 판단되었다. 더 이상 줄기가 신장하지 않은 처리 27일 후의 초장은 diniconazole 처리구가 15.2cm로 대조구 (27.5cm)의 55%에 머물렀다.

날개하늘나리의 왜화를 위한 생장억제제 처리에 관해서는 Eum et al.(2010)의 보고가 있는데, diniconazole 침지처리에서 줄기 신장의 억제 효과가 가장 크며, 초장은 농도에 따라 3.2-7.0cm로 대조구에 비해 70.0-86.3%나 억제되었다. 그리고 ancymidol 25-50mg·L⁻¹의 관주처리도 날개하늘나리의 초장을 50% 이상 감소시켰고, diniconazole 50, 100mg·L⁻¹ 살포도 초장을 40% 이상 감소시켜 줄기 신장 억제에 효과적이었다. 따라서 날개하늘나리의 줄기신장 억제에는 생장억제제의 종류나 처리방법에 따라 다소 차이는 있으나 그 효과가 잘 나타나는 것으로 판단되었다.

내생 GA 함량

날개하늘나리를 재료로 대조구와 diniconazole 처리구의 내생 GA의 함량을 분석한 결과, 줄기 신장을 조장하는 활성형태인 GA₁과 GA₄가 모두 발견되었다. 즉 날개하늘나리는 GA₁을 활성형태로 하는 early C-13 hydroxylation(ECH: GA₅₃ → GA₄₄ → GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁) 경로와 GA₄를 활성형태로 하는 non C-13 hydroxylation(NCH: GA₁₂ → GA₁₅ → GA₂₄ → GA₉ → GA₄) 경로를 모두 가지고 있었다. 그러나 생장억제제 처리 전 GA₄의 함량이 55ng·g⁻¹였던 데 비해, GA₁ 함량은 0.23ng·g⁻¹ 정도로 상대적으로 매우 적게 존재하였다. 따라서 날개하늘나리의 줄기 신장에 관여하는 주요 활성 GA는 GA₄라고 할 수 있다.

많은 식물 중에서 GA₁이 GA의 주된 활성 형태이지만 (Huh et al., 2006; Sponsel, 1995), 시클라멘의 경우에는 엽병 신장에 관여하는 GA₁과 GA₄의 함량이 거의 비슷하였다 (Oh, 2007). 반면, *Arabidopsis thaliana* 등 일부 식물에서는 GA₄가 주된 GA의 활성형태였다(Talon et al., 1990). 이러한 결과들은 식물의 종류별로 활성 GA의 종류가 달라진다는 것을 의미한다.

Diniconazole 처리에 의한 GA 함량의 감소에 있어서는 경로 간에 차이가 있었다. ECH 경로에 있는 GA의 함량은 diniconazole에 의해 증가 또는 감소의 일관성이 없는 반응을 보였다(Fig. 2). GA₂₀의 함량이 생장억제제에 의해 감소한 것에 비해 그것의 전구물질인 GA₁₉나 활성 형태인 GA₁에서는 무처리구에 비해 감소하지 않았다. 이것은 전구물질부터 소량만 존재하므로 생장억제물질 처리에 대해 민감하게 반응하지 않는 것으로 생각된다.

반면, NCH 경로에 있는 GA의 함량은 diniconazole 처리

에 의해 초기 단계에서부터 크게 감소되었다(Fig. 3). 즉 GA₁₂의 함량은 대조구에 비해 1/17로 현저히 감소하였는데, 대조구가 213.8ng·g⁻¹이었던 것에 비해 diniconazole 처리구는 12.7ng·g⁻¹이었다. 이러한 경향은 GA₂₄와 GA₉를 거쳐 활성형태인 GA₄까지 유지되었다. Diniconazole 50mg·L⁻¹ 용액의 살포는 무처리구의 27.6cm를 15.4cm까지 날개하늘나리의 초장을 44.3% 감소시켰다(Eum et al., 2010). 따라서 diniconazole은 NCH 경로에 있는 GA₄의 생합성을 억제하여 날개하늘나리의 줄기 신장을 억제하였다고 볼 수 있다. 이는 트리아졸 계인 diniconazole이 지베렐린 생합성 과정

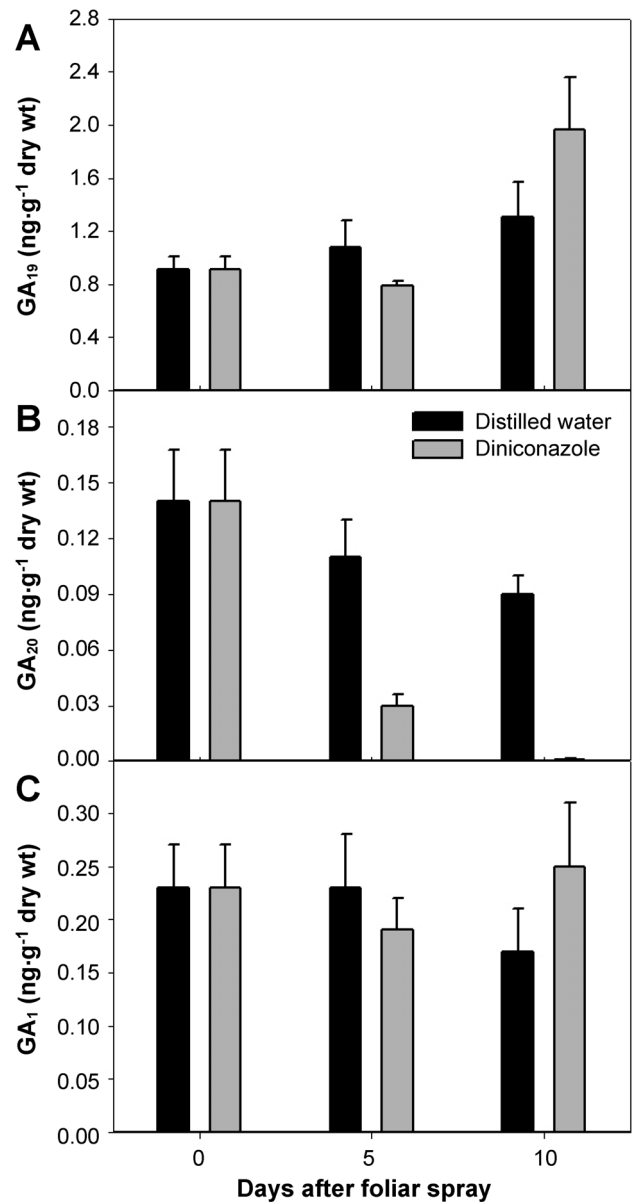


Fig. 2. Changes in the contents of endogenous gibberellic acids through the non C-13 hydroxylation pathway (GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁) as influenced by foliar spray of distilled water and 50 mg·L⁻¹ diniconazole in *Lilium davuricum*. Vertical bars represent standard error (n = 5).

에서 ent-kaurene이 ent-kaurenoic acid로 산화되는 과정에 억제물질로 작용, 즉 GA 생합성 초기 단계에서부터 저해제로서 작용하기 때문이다(Lee et al., 1998a).

한편, Takayama et al.(1993)도 *Lilium Asiatic Hybrid*

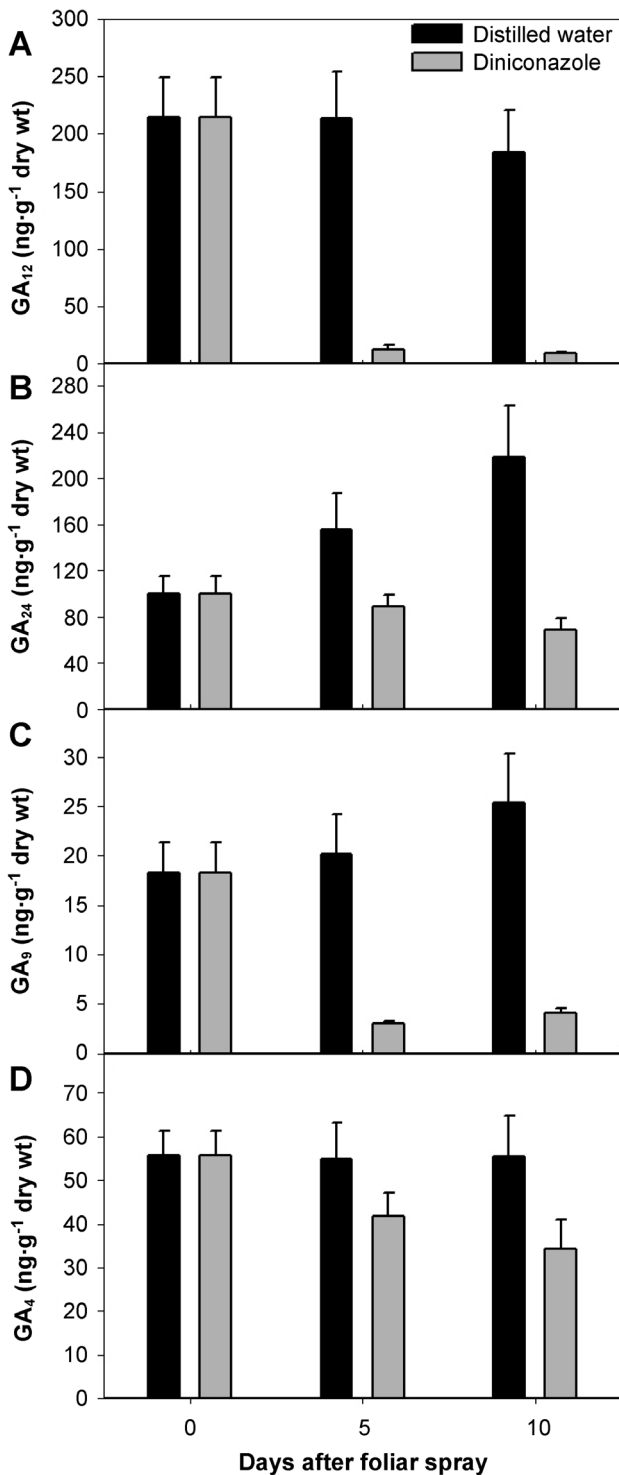


Fig. 3. Changes in the contents of endogenous gibberellic acids through the early C-13 hydroxylation pathway ($GA_{12} \rightarrow GA_{24} \rightarrow GA_9 \rightarrow GA_4$) as influenced by foliar spray of distilled water and $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ diniconazole in *Lilium davuricum*. Vertical bars represent standard error ($n = 5$).

‘Connecticut King’의 인경을 재료로 저온 처리 기간 동안의 내생 지베렐린의 변화를 관찰한 결과, ECH와 NCH의 두 개의 지베렐린 생합성 경로를 발견하였으며, NCH 경로에 있는 GA_4 가 나리 인경의 휴면타파에 중요한 역할을 담당한다고 하였다. Lee et al.(1997)은 수수에 ancymidol $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 처리하면 모든 GA, 즉 GA_{12} , GA_{53} , GA_{44} , GA_{19} , GA_{20} , GA_1 의 합성이 현저히 억제된다고 하였는데, 이는 종이나 생장억제제의 종류에 따라 내생 GA의 생합성이 다양하게 변화한다는 것을 시사한다.

내생 ABA 함량

ABA의 함량도 GA에서와 같이 diniconazole의 살포 처리에 의해 1/3 수준으로 크게 감소되었다(Fig. 4). Diniconazole 처리 전에는 ABA 함량이 제로 수준이었으며, 처리 후 5일째에는 ABA 함량이 크게 증가하였으나 처리 10일 후에는 다시 감소하였다. 이러한 경향은 대조구와 처리구 모두에서 동일하였다. 건물 1g당 처리 후 5일째의 ABA 함량은 대조구가 $37.2 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 인 데 비해 diniconazole 처리구는 $14.8 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 이었다. 이것은 diniconazole의 처리에 의해 GA의 생합성뿐만 아니라 ABA의 생합성도 억제된다는 것을 의미한다(Lee et al., 1998b).

이와 비슷한 예로서 Wang et al.(1987)도 사과 유묘에 paclobutrazol을 처리한 결과, 대조구에 비해 내생 ABA의 함량이 1/3정도 감소하는 것을 관찰하였다. 이는 paclobutrazol이 ABA 생합성 경로 가운데 산화 단계를 방해하기 때문이라고 하였다. 또 *Cercospora rosicola*에서는 ancymidol, decylimidazole, paclobutrazol 등 3가지 화합물 모두가 ABA의 생합성을 억제하였다(Norman et al., 1986). 그 중 $0.1 \mu\text{M}$

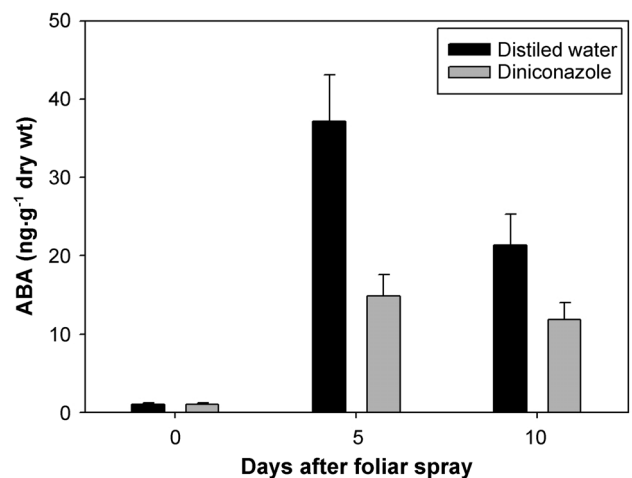


Fig. 4. Changes in the contents of endogenous abscisic acid (ABA) as influenced by foliar spray of distilled water and $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ diniconazole in *Lilium davuricum*. Vertical bars represent standard error ($n = 5$).

paclobutrazol 처리가 ABA의 생합성을 가장 효과적으로 억제하였는데 ABA 함량이 33% 감소되었다. Ancymidol은 FPP의 전 단계에서 ABA의 생합성을 방해하는 반면, paclobutrazol과 decylimidazole은 FPP의 이후 단계에서 방해하는 것이 밝혀졌다.

한편, 강낭콩에 triadimefon을 처리하면 ABA의 함량이 증가하였으며(Asare-Boamah et al., 1986), 도꼬마리의 엽절편에 tetracyclis를 처리하면 ABA는 비활성물질인 phaseic acid로 전환되는 과정을 억제하였다(Zeevaart et al., 1990)는 보고도 있다.

본 실험에서 ABA의 함량이 대조구에서도 처리 전과 처리 후에 차이가 컸는데, 이는 시료를 채취한 시기의 광량, 토양수분함량, 그리고 식물체의 성장속도와 관련이 있었던 것으로 생각되었다. 처리 당일까지는 지상부의 본격적인 생장이 이루어지지 않았고, 일조량은 적어서 토양수분이 충분하였다. 반면, 처리 후 5일째에는 일조량이 다른 시기보다 많았고 관수와 시료 채취간의 시간차가 컸으며 성장도 왕성하여 스트레스를 많이 받은 것으로 판단되었다. 그러나 처리와 무처리 간에 ABA 함량의 차이가 뚜렷하여 diniconazole 처리에 의한 ABA 감소 효과는 스트레스 여부와 무관하다고 판단되었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 날개하늘나리에는 GA₄가 GA₁보다 200배 이상 많이 존재하며, 줄기신장에도 크게 영향을 주었다고 볼 수 있다. 그리고 diniconazole 처리에 의한 날개하늘나리의 줄기 신장 억제는 ABA 함량의 증가보다 GA의 함량 감소와 관련이 있으며, GA 생합성 경로 가운데 하나인 NCH 경로의 억제에 의한 GA₄ 함량의 감소 때문이었다. 따라서 날개하늘나리의 줄기 신장 억제에 의한 고품질 분화 생산을 위해서는 NCH 경로를 억제하는 생장억제물질의 처리나 환경 제어가 필요하다. 그리고 실용적인 적용을 위한 생장억제물질의 종류, 처리 방법, 적정 농도, 처리 횟수 등에 대한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

초 록

식물생장억제물질의 처리는 날개하늘나리의 줄기 신장을 억제시키는데, 여기에 관여하는 식물호르몬을 찾기 위해 diniconazole의 엽면살포 후 내생 GA 및 ABA의 함량 변화를 조사하였다. 그 결과, 날개하늘나리(*L. dauricum*)는 GA₁을 활성형으로 하는 early C-13 hydroxylation(GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁) 경로와 GA₄를 활성형으로 하는 non C-13 hydroxylation(NCH, GA₁₂ → GA₂₄ → GA₉ → GA₄) 경로 모두를 가지고 있었으나, 주된 경로는 NCH 경로였다. NCH 경로의 GA 생

합성은 diniconazole 50mg·L⁻¹ 살포에 의해 초기 단계에서부터 억제되었다. 즉 diniconazole 처리구의 GA₁₂ 함량은 대조구에 비해 1/17로 현저히 감소되었으며, 이러한 경향은 GA₄까지 계속되었다. 즉 건물 1g당 GA₁₂ 함량은 대조구가 213.8ng인 것에 비해, diniconazole 처리구는 12.7ng이었다. ABA의 함량도 GA에서와 같이 diniconazole 살포에 의해 1/3 수준으로 크게 감소되었다. 즉 건물 1g당 ABA 함량은 대조구 37.2ng인 것에 비해, diniconazole 처리구는 14.8ng이었다. 본 연구의 결과, 내생 GA₄, GA₁, 그리고 ABA의 함량을 고려할 때 diniconazole에 의한 날개하늘나리의 초장 감소는 GA₄의 생합성 억제에 기인한 것으로 생각된다.

추가 주요어 : 지베렐린 생합성, 자생나리, 식물생장억제제, 초장, 분화, 줄기 신장

인용문헌

- Arigoni, D., S. Sagner, C. Latzel, W. Eisenreich, A. Bacher, and M. Zenk. 1997. Terpenoid biosynthesis from 1-deoxy-D-xylulose in higher plants by intramolecular skeletal rearrangement. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA.* 94:10600-10605.
- Asare-Boamah, N.K., G. Hofstra, R.A. Fletcher, and E.B. Dumbroff. 1986. Triadimefon protects bean plants from water stress through its effects on abscisic acid. *Plant Cell Physiol.* 27:383-390.
- Browning, G. and T.A. Wignall. 1987. Identification and quantification of indole-3-acetic and abscisic acids in the cambial region of *Quercus robur* by combined gas chromatography-mass spectrometry. *Tree Physiol.* 3:235-246.
- Culter, A. and J. Krochko. 1999. Formation and breakdown of ABA. *Trends Plant Sci.* 4:472-478.
- Eum, S.J., K.I. Park, W. Oh, and K.W. Kim. 2010. Plant growth retardants can inhibit stem elongation and improve flowering rate in *Lilium concolor* var. *parthneion* and *L. dauricum*. *Flower Res. J.* 18:38-43.
- Foster, K.R. and P.W. Morgan. 1995. Genetic regulation of development in *Sorghum bicolor*. IX. The *ma3^R* allele disrupts diurnal control of gibberellin biosynthesis. *Plant Physiol.* 108:337-343.
- Gaskin, P. and J. MacMillan. 1991. GC-MS of gibberellins and related compounds: methodology and a library of reference spectra. Cantocks Enterprises, Bristol, UK.
- Huh, E.J., S.K. Lee, B.N. Chung, I.J. Lee, and S.Y. Choi. 2006. Changes of growth and gibberellin contents in chrysanthemum by infection of chrysanthemum stunt viroid. *Hort. Environ. Biotechnol.* 47:366-370.
- Kawboj, J.S., G. Browning, P.S. Blake, J.D. Quinlan, and D.A. Baker. 1999. GC-MS-SIM analysis of abscisic acid and indole-3-acetic acid in shoot bark of apple rootstocks. *Plant Growth Regul.* 28:21-27.
- Lee, I.J., D.H. Shin, Y.H. Yoon, and H.Y. Kim. 2001. Isoprenoid metabolism and adaptability of crops. *Pro. Symp. on Biofunction Control Environmental Restoration.* p. 25-54.

- Lee, I.J., K.R. Foster, and P.W. Morgan. 1998a. Effect of gibberellin biosynthesis inhibitors on native gibberellin content, growth and floral initiation in *Sorghum bicolor*. *J. Plant Growth Regul.* 17:185-195.
- Lee, I.J., K.U. Kim, S.C. Lee, and D.H. Shin. 1997. Effect of gibberellin biosynthesis inhibitor ancymidol on growth, floral initiation and endogenous GA levels in *Sorghum bicolor*. *Kor. J. Weed Sci.* 17:207-213.
- Lee, J.M., Y.D. Park, C.H. So, and C.K. Kang. 1998b. Plant biochemical regulators. Donghwa Technology, Seoul, Korea.
- Lichtenthaler, H., J. Schwender, A. Disch, and M. Rohmer. 1997. Biosynthesis of isoprenoids in higher plant chloroplasts proceeds via a mevalonate-independent pathway. *FEBS Lett.* 400:271-274.
- Norman, S.M., R.D. Bennett, S.M. Poling, V.P. Maier, and M.D. Nelson. 1986. Paclobutrazol inhibits abscisic acid biosynthesis in *Cercospora rosicola*. *Plant Physiol.* 80:122-125.
- Oh, W. 2007. Growth mechanism and its manipulation by temperature, light intensity, and plant growth regulators in *Cyclamen persicum*. PhD Diss., Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea.
- Qi, Q.G., P.A. Rose, G.D. Abrams, D.C. Taylor, S.R. Abrams, and A.J. Cutler. 1998. (+)-Abscisic acid metabolism, 3-ketoacyl-coenzyme A synthase gene expression, and very-long-chain monounsaturated fatty acid biosynthesis in *Brassica napus* embryos. *Plant Physiol.* 117:979-987.
- Sponsel, V.M. 1995. The biosynthesis and metabolism of gibberellins in higher plants, p. 66-97. In: J.H. Davies (ed.). *Plant hormones*. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, The Netherlands.
- Takayama, T., T. Toyomasu, H. Yamane, N. Murofushi, and H. Yajima. 1993. Identification of gibberellins and abscisic acid in bulbs of *Lilium elegans* Thunb. and their quantitative changes during cold treatment and the subsequent cultivation. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.* 62:189-196.
- Talon, M., M. Koornneef, and J.A.D. Zeevaart. 1990. Endogenous gibberellins in *Arabidopsis thaliana* and possible steps blocked in the biosynthetic pathways of the semidwarf ga4 and ga5 mutants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 87:7983-7987.
- Wang, S.Y., T. Sun, Z.L. Ji, and M. Faust. 1987. Effect of paclobutrazol on water stress-induced abscisic acid in apple seedling leaves. *Plant Physiol.* 84:1051-1054.
- Zeevaart, J.A.D., D.A. Gage, and R.A. Creelman. 1990. Recent studies of the metabolism of abscisic acid, p. 233-240. In: R.P. Pharis and S.B. Rood (eds.). *Plant growth substance*. Springer-verlag, Berlin, Germany.