

한지형 마늘의 인경 발육 과정에서 내생 지베렐린류의 함량변화

손은영¹ · 김윤하¹ · 김병수¹ · 서동환² · 이현숙³ · 이인중^{1*}

¹경북대학교, ²성주과채류시험장, ³구미화훼시험장

Changes in Endogenous Gibberellin Contents during Bulb Development Period in the Cold-type Cultivar of Garlic (*Allium sativum* L.) of Korea

Eun-Young Sohn¹, Yoon-Ha Kim¹, Byung-Su Kim¹, Dong-Hwan Seo², Hyun-Suk Lee³, and In-Jung Lee^{1*}

¹School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Seongju Fruit Vegetable Experiment Station, Seongju 719-860, Korea

³Gumi Floricultural Experiment Station, Gyeongsangbuk-do Agricultural Research & Extension Services, Gumi 730-831, Korea

Abstract. This study was performed to investigate the role of phytohormones in the bulbing of garlic in order to assess the yield and quality. The effect on endogenous plant hormones such as gibberellin (GA) content was also examined during growth stage i.e. clove differentiation to bulbing in garlic. More than 18 gibberellins in garlic were identified with extensive gas chromatograph-mass spectrometry-selected ion monitoring (GC-MS-SIM) quantitative analysis. The results showed that GAs were biosynthesized by both non C-13 hydroxylation pathway (NCH) and early C-13 hydroxylation pathway (ECH) in garlic plant. It was also revealed that NCH pathway leading to synthesis of bioactive GA₄ was the more prominent GA biosynthesis pathway than ECH pathway in which bioactive GA₁ was synthesized. Total GAs level was gradually increased from clove differentiation to bulbing and later decreased, which portrays the active role of GA in differentiation. The biosynthesis ratio of bioactive GA₄ and GA₁ concentration was similar to that of total GAs content, which was closely related with bulb development in garlic.

Additional key words: bioactive GAs, bulbing, early C-13 hydroxylation pathway, non C-13 hydroxylation pathway

서 언

마늘은 생육초기 일정기간의 저온기를 거친 후 고온장일 조건에서 인경 비대가 시작되는 생태적 특성을 가지고 있기 때문에(Mann와 Minges, 1958; Nam 등, 2007), 일반적인 마늘 재배는 가을에 파종하여 겨울의 저온기를 거친 후 이듬해 초여름에 수확을 하는 단일 작형으로 이루어지고 있다. 그 결과 마늘의 출하가 계절적으로 집중되어 가격차가 크고, 마늘을 저장하는 동안의 고온다습으로 중량 감소나 부패 등으로 인한 손실이 크다(Cho와 Lee, 2008). 이러한 문제점의 해결을 위해 일부 지역에서는 조기재배를 시도하고 있지만(Nam 등, 2007) 겨울철 동안에 비닐하우스를 이용하여 조기재배를 할 경우에 이차생장이 심하게 발생하는 문제점이

제기되고 있다. 마늘은 채소 작물 중 수익성이 대단히 높은 작물이나 경영비의 약 61%를 종묘 구입비가 차지하고 있어 당해의 작황에 따라 가격변동이 심하여 소득이 불안정한 작물 중 하나이다(RDA, 2002). 이런 마늘은 화기 발육의 이상으로 인하여 종자를 맺지 못하므로 주로 인경에 의한 영양번식에 의해 증식을 하게 되는데 이렇게 영양번식으로 증식하는 마늘에 있어서는 바이러스가 감염된 모주를 통한 번식을 계속할 경우 바이러스의 계대 감염으로 그 후대는 모두 바이러스에 감염되어 수량 감소와 품질이 저하되고 마침내 품종의 퇴화가 일어난다(Ahn 등, 2008; Chang 등, 1998; Nam 등, 2005). 이러한 바이러스에 의한 마늘의 수량 감소와 품종의 퇴화를 방지하기 위해서는 마늘 인편내의 생장점을 배양하여 무병종구를 얻는 방법을 사용하고 있으나

*Corresponding author: ijlee@knu.ac.kr

※ Received 6 May 2010; Accepted 13 July 2010. This work was financially supported by the Korean Research Foundation Grant funded by Korean Government (KRF-521-F00001) and Brain Korea 21 Project.

(Ayabe, 2001; Walkey 등, 1987) 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 또한 마늘은 증식률이 연간 5-6배에 불과하기 때문에 단시간 내에 많은 면적을 무병종구로 대체하는 데에는 문제점이 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 무병종구로 간주할 수 있는 주아를 이용하여 증식하는 방법이 제기되고 있다(Ahn 등, 2008; Kim 등, 2006). 마늘의 주아는 형태학적으로 인편(마늘쪽)과 똑같은 구조로 되어 있으며, 병충해의 감염이 적고, 조직이 치밀하여 인편보다 저장력이 강하다. 따라서 주아재배를 통한 씨마늘을 대량생산하는 방법은 수량 증대와 품질 향상을 위한 하나의 대안으로 활용할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 주아의 크기를 증대시킬 수 있는 방법의 개발이 선행되어야 할 것으로 생각한다. 주아는 지상부 번식기관이므로 지하부의 번식기관인 인경의 비대와는 상호 경쟁적 조절관계에 있다. 그러므로 주아 비대와 인경 비대는 부(-)의 상관관계로 조절될 수 있을 가능성이 있으나 이 부분에 대한 연구는 많이 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 마늘의 안정적 수량 확보를 통한 가격안정으로 재배농가의 수익을 보장함과 동시에, 주아재배를 통한 건전한 씨마늘의 대량생산을 위해서는 마늘의 인경과 주아의 형성과 비대의 정확한 메커니즘의 이해가 선행되어야 할 것이다. 이를 위해서는 마늘의 인편 분화와 비대 및 주아 형성과 비대에 관여하는 식물체 내·외적인 요인에 대한 구명이 필수적이라 할 수 있다. 본 연구에서는 마늘 인경 비대 관여하는 식물 성장조절물질인 gibberellic acid(GA)의 역할을 구명하여 마늘 수량의 증대를 가능하게 하는 방법개발에 필요한 이론적 근거를 확립하고자 하였다.

재료 및 방법

한지형 마늘의 재배조건 및 시료 채취

한지형 마늘인 의성재래종을 본 시험의 재료로 사용하였다. 3-4g 정도의 건전한 인편을 씨마늘로 하여 경상북도 농업기술원 시험포장에 2002년 10월 20일에 15 × 10cm 간격으로 인편을 하나씩 재식한 후 농업기술원 표준경종법에 준하여 재배하였다. 월동 후 마늘의 생육이 왕성하게 진전되는 시점인 4월 7일부터 외관상 엽신장이 정지되는 시점인 5월 18일까지 매 2일 간격으로 생육조사를 실시하여 인편 분화 및 비대시기를 판별하여 성장 발육과 내생 식물호르몬과의 상관관계를 구명하기 위한 시료 채취시기 결정에 이용하였다. 인편 분화기는 광학 해부현미경으로 인편의 성장점 부위에서 분화가 관찰되기 시작한 시점으로 하였고, 인편 비대기는 인경의 직경과 지하부의 엽초부 직경을 측정하여 구경비(구경/엽초경)를 산출하여 Mann(1952)의 방법으로

구경비가 2.0(또는 역수인 0.5)이 되는 시기로 정했다. 단일 조건이 인편의 유도 및 비대에 미치는 영향과 이와 관련하여 단일 하의 식물체내 내생 식물호르몬의 함량 변화가 인편 분화 개시와 비대에 어떻게 영향을 미치는지를 구명하고자 포장상태에서 차광처리를 하여 단일조건을 부여하였다. 차광처리는 2003년 4월 7일부터 2003년 6월 13일까지 16시 30분부터 08시 30분까지 90% 차광막 3겹을 피복하여 8시간의 단일조건을 부여하였다. 실험기간인 2003년 대구의 기온과 일장을 살펴보면 인편 분화기인 4월 16일의 평균온도는 15°C이고, 일장은 13시간 9분이었으며, 인경 비대개시기인 5월 2일은 평균온도가 18°C이고, 일장은 13시간 41분이었다. 내생 식물호르몬 분석을 위한 시료는 마늘 인편 분화기부터 인편 비대기까지(4월 16일부터 5월 18일까지) 오후 4-5시경에 뿌리를 포함한 식물체 전체를 8일 간격으로 5회 채취하여 사용하였다. 시료는 채취 즉시 액체 질소에 넣어 동결시킨 후 냉동 건조시켜 분석시료로 사용하였다. 동결 건조한 뒤 마늘의 뿌리를 제거한 후 엽신(최종엽 포함)과 엽초로 나누어 GA 분석시료로 사용하였다.

Gibberellins(GA) 추출 및 정량

지베렐린 추출의 일반적인 과정은 Foster와 Morgan(1995)과 Lee 등(1998)의 방법에 준하였다. 마쇄한 시료를 80%와 100% MeOH을 차례로 가하여 충분히 추출한 후 추출 여액을 60% MeOH 용액이 되게 증류수를 첨가한 다음 -70°C 냉상고에 1-2시간 동안 얼룩소를 침전시켜 GF/A 필터를 이용하여 얼룩소를 제거하였다. 내부표준물질(Internal standard, ISTD)로는 20 ng의 $^2\text{H}_2$ GA₁, $^2\text{H}_2$ GA₄, $^2\text{H}_2$ GA₅, $^2\text{H}_2$ GA₇, $^2\text{H}_2$ GA₈, $^2\text{H}_2$ GA₉, $^2\text{H}_2$ GA₁₂, $^2\text{H}_2$ GA₁₅, $^2\text{H}_2$ GA₁₉, $^2\text{H}_2$ GA₂₀, $^2\text{H}_2$ GA₂₄, $^2\text{H}_2$ GA₃₄, $^2\text{H}_2$ GA₃₆, $^2\text{H}_2$ GA₄₄, $^2\text{H}_2$ GA₅₃을 첨가하였다. 추출 여액의 pH를 2N NH₄OH를 이용해 8.0-8.3으로 조정하고 다음 5g의 davisil C₁₈(90-130 micron, 60A, Alltech) column을 통과시킨 후 감압·농축하였다. 농축된 잔사를 1g의 celite에 건조시킨 후 5g의 SiO₂(ICN Silica 32-100, Aktiv 60A) 컬럼에 loading하여 formic acid로 포화된 95:5 EtOAc : hexane을 이용해서 용출시켰다. 통과시킨 여액을 감압·농축한 후 phosphate buffer (pH 8.0)로 녹인 다음 2N NaOH를 이용해서 pH를 8.0-9.0으로 조정하고 EtOAc를 이용하여 3회 분획하였다. 여액에 1g의 polyvinylpyrrolidone (PVPP)을 첨가하여 1시간 동안 진탕시켰다. 진탕시킨 여액을 여과시킨 다음 6N HCl을 이용해 pH 2.5로 조정하고 EtOAc로 3회 분획하였다. 분획된 EtOAc 층을 pH 2.5 증류수로 3회 세척하여 phosphate를 제거한 다음 감압·농축하였다. 농축한 잔사를 100% MeOH에 용해시켰으며

며, HPLC에서 각 지베렐린의 정확한 머무름 시간을 결정하여 분획화하기 위하여 [1,2-³H] GA₂₀와 [1,2-³H]GA₉를 첨가하여 질소가스로 건조시킨 후 HPLC 분석시료로 사용하였다.

High-Performance Liquid Chromatography(HPLC)

HPLC 시스템은 Waters model 680 automated gradient controller, U6K injector, model 510 pump와 Isco fraction collector로 구성되었다. HPLC column은 μ Bondapak C₁₈ (3.9 × 300mm)을 사용하였으며 각 GA는 1%의 acetic acid를 포함한 28% MeOH와 100% MeOH 용액의 농도 구배로 분리하였다. 유속은 분당 1.5mL로 유지하였으며 1.5mL씩 총 45 분획으로 나누었다(Table 1). 각 지베렐린의 정확한 머무름 시간은 각 분획 당 소량(15mL)을 취하여 Liquid Scintillation Counter(Beckman, LC 1801)로 ³H-GA 표준물질의 용출시간을 확인하여 결정하였다. 각 분획을 Savant Automatic Environmental Speedvac (model, SPD 2010)으로 건조한 후 동일 GA를 포함한 분획을 취합하여 1mL의 reaction vial로 옮긴 후 40°C에서 질소가스로 건조시켰다. GA 분획 중 불순물을 많이 함유한 분획은 NH₂ cartridge를 사용하여 GA 외의 불순물을 제거한 후 reaction vial로 옮겼다(Table 1).

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

GA를 포함한 분획을 건조시킨 다음 1mL의 reaction vial로 옮긴 후 40°C에서 질소가스로 건조시켰다. 각 GA를 2차례 60 μ L ethereal diazomethane으로 methyl ester를 유도

한 후 질소가스로 건조하였다. Silylation이 필요한 GA류는 30 μ L의 pyridine과 30 μ L의 N-D-bis(trimethyl silyl)-trifluoroacetamide(BSTFA, 1% TMCS 포함)로 70°C에서 30분간 반응시킨 후 질소가스로 건조하였다. 시료는 무수 dichloromethane에 녹인 후 1 μ L를 30m × 0.25mm(i.d.) HP-1 capillary column이 장착된 GC-MS에 주입하였다. 5973N Mass Selective Detector (Hewlett-Packard)가 부착된 GC(Hewlett-Packard model 6890)를 사용하였으며, Data는 HP 5970C Chemstation (Hewlett-Packard)을 사용하여 처리하였다(Table 2).

내생 지베렐린의 정량

지베렐린의 정량은 deuterated GA와 endogenous peak 면적의 비율을 기본으로 하여 정량 하였다. 즉, GA₅₃, GA₁₂, GA₁₉, GA₂₀, GA₁의 내생 함량은 448/450, 300/302, 434/436, 418/420, 506/508의 peak 면적의 비율로 계산하였다(Fig. 1).

결과 및 고찰

마늘 식물체내의 GA 생합성 경로 구명

현재까지 고등식물과 균류 및 박테리아에서 발견된 GA

$$\frac{\text{Endo. peak area}}{\text{ISTD peak area}} \times \text{amount of ISTD} / \text{weight (D.W.)}$$

Fig. 1. Calculation of endogenous GA.

Table 1. HPLC operation conditions for the analysis of gibberellins.

HPLC	
Equipment	Waters model 510
Column	μ Bondapak C ₁₈ (3.9 × 300 mm)
Solvent A	28% MeOH in 1% HOAc
Solvent B	100% MeOH
Gradient	100% Solvent A → 100% Solvent B → 100% Solvent B (0-5 min) (5-36 min) (36-40 min)
Flow rate	1.5 mL/min

Table 2. GC-MS conditions used for analysis and quantification of gibberellins.

GC-MS	
Equipment	Hewlett-Packard 6890, 5973N Mass Selective Detector
Column	HP-1 capillary column (30 m × 0.25 mm i.d. 0.25 μ m film thickness)
Carrier gas	He (40 mL/min)
Source temperature	250°C
Oven conditions	GA : 60°C (1 min) → 15°C/min → 200°C (1 min) → 5°C/min → 285°C (5 min)
Injector temperature	200°C
Ionizing voltage	70 ev

종류는 136 종으로 알려져 있다. 그러나 이들 대부분의 GA는 활성형 GA를 생합성하는 과정중의 중간 대사산물로 알려진 생리적 불활성형인 것으로 간주되며 생리 활성을 가진 것은 GA₁과 GA₄를 비롯한 몇몇의 소수인 것으로 알려져 있다(MacMillan, 2002). 많은 고등식물의 지베렐린 생합성 경로는 여러 연구자들에 의해 비교적 자세히 밝혀져 있지만, 마늘 식물체내의 지베렐린 생합성 경로는 아직 보고된 바가 없어 본 시험에서는 먼저 마늘의 지베렐린 생합성 경로를 밝히고자 하였다. 고등식물체에서 발견되는 지베렐린의 주된 생합성 경로는 non 13-hydroxylation 경로(GA₁₂ → GA₁₅ → GA₂₄ → GA₉ → GA₄ → GA₃₄) 또는 early 13-hydroxylation 경로 중의(GA₁₂ → GA₅₃ → GA₁₉ → GA₂₀ → GA₁ → GA₈) 하나인 것으로 알려져 있으므로 이들 경로상 모든 GA류를 동정함과 동시에 GA 함량을 정확히 분석하여 마늘 식물체내의 GA 생합성 경로를 확인하였다. 마늘 식물체내 GA를 분리·동정한 결과, 마늘 식물체에서 non C13-hydroxylation(NCH) 경로상의 GA류와 early C13-hydroxylation(ECH) 경로상의 모든 GA류를 동정할 수 있었다. 이는 마늘이 상기의 두 가지 생합성 경로 모두를 통해 GA를 생합성 한다는 것을 입증하는 결과로 마늘은 이들 두 가지 경로를 모두 갖고는 있으나 각 경로의 GA 함량을 비

교한 결과 GA₄를 생합성 하는 경로인 non 13-hydroxylation 경로가 생합성 주 경로인 것으로 나타났다(Fig. 2, 3).

한지형 마늘의 인경 비대에 관여하는 GAs 함량 변화

한지형 마늘인 의성 재래종 마늘에서 non 13-hydroxylation (NCH) 경로와 early 13-hydroxylation (ECH)의 두 경로로 생합성 되는 GA 함량이 인경비대기 전후 장일조건에서의 자연 일장과 8시간의 단일조건에서 어떻게 변화하는지 비교해 본 결과는 Fig. 2-5에 나타난 바와 같다. NCH 경로상의 생리 활성형인 GA₄ 함량이 자연일장에서 최고 7.25ng/g D.W.인 반면 ECH 경로의 GA₁ 함량은 2.97ng/g D.W.로 조사되어 마늘에서는 GA₄를 생합성 하는 NCH경로가 GA 생합성의 주경로인 것으로 나타났다. 마늘 엽초의 GA 함량 변화를 보면 인편 분화기부터(4월 20일) 인편 비대개시기(5월 2일) 까지 점진적으로 증가하다가 인경이 비대 되는 동안에 GA 함량이 감소하는 것으로 나타났다(Fig. 2, 3). 마늘 엽신의 GA 함량 변화도 엽초와 유사하나 엽초만큼 그 변화 양상이 뚜렷하지 않았다(Fig. 4, 5). 마늘에서 GA₃는 인경 비대개시기를 지연 시키는 역할을 하는 반면(Rahim과 Fordham, 2001), 휴면타파를 촉진하여 인편 함유 GA 활성은 휴면타파 직전에 증가한다고 하였다(Arguello 등, 1983). 연구결과

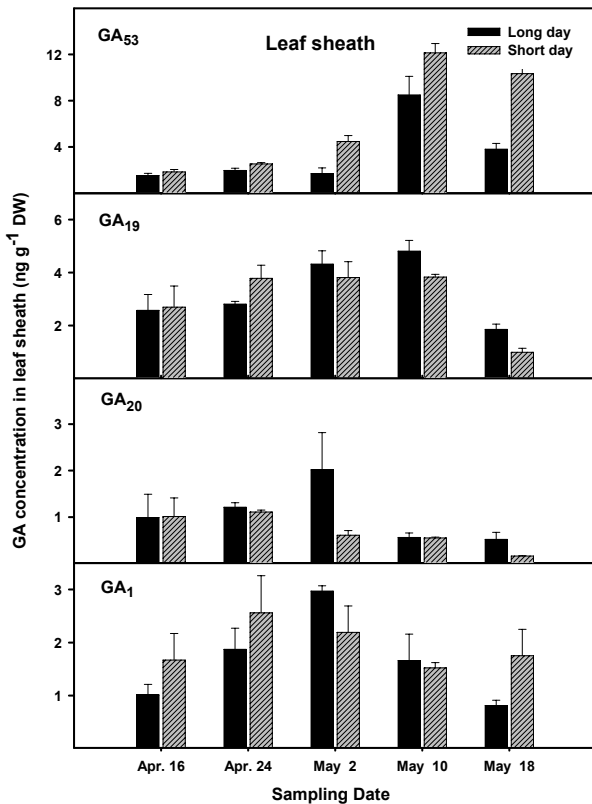


Fig. 2. Change of endogenous GA (early C-13 hydroxylation pathway) level in leaf sheath of *Allium sativum* L. cv. Uiseong-maneul grown under the long and short day condition.

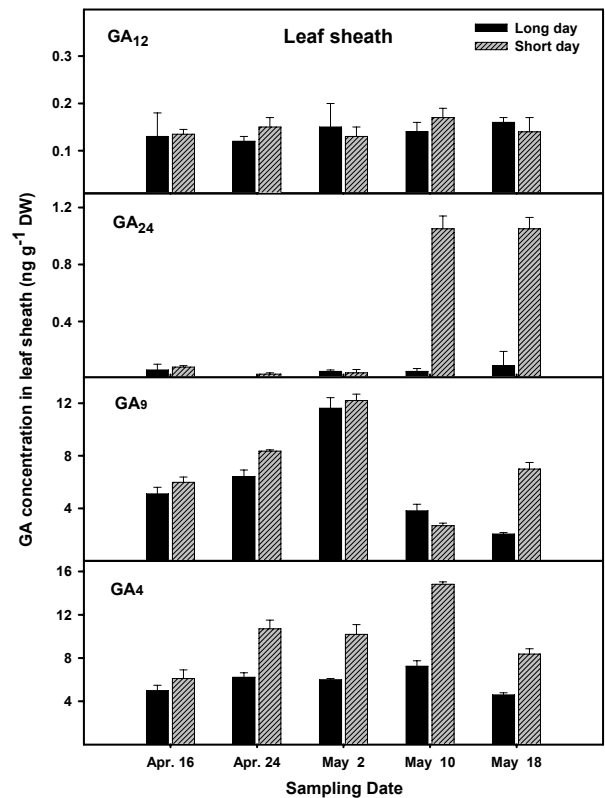


Fig. 3. Change of endogenous GA (non C-13 hydroxylation pathway) level in leaf sheath of *Allium sativum* L. cv. Uiseong-maneul grown under the long and short day condition.

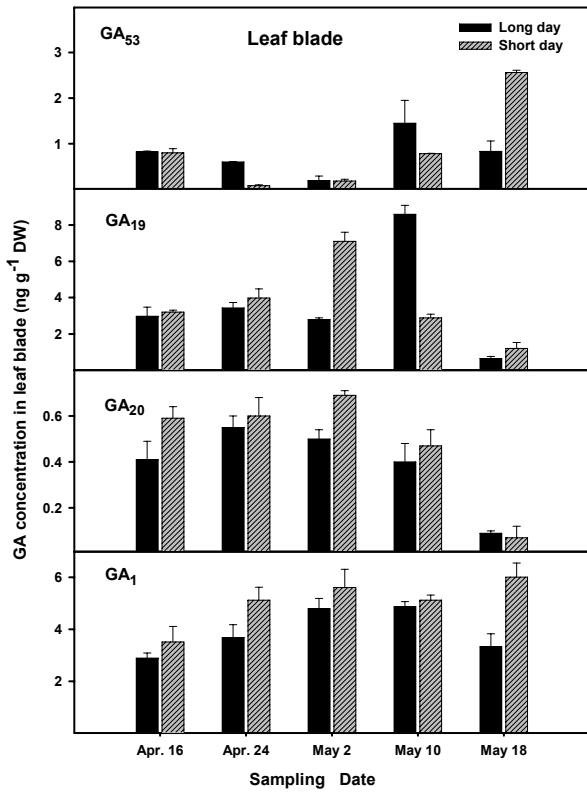


Fig. 4. Change of endogenous GA (early C-13 hydroxylation pathway) level in leaf blade of *Allium sativum* L. cv. Uiseongmaneul grown under the long and short day condition.

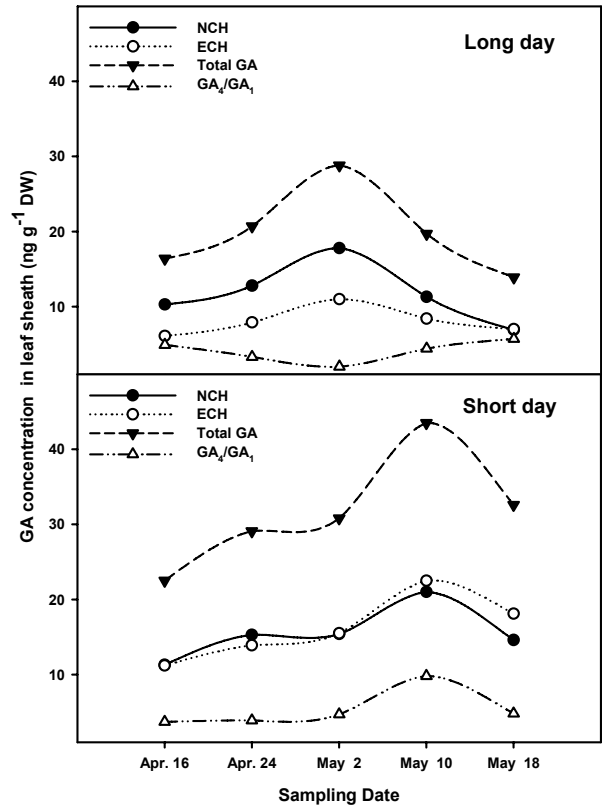


Fig. 6. Changes of NCH, ECH and total GA content in leaf sheath of *Allium sativum* L. cv. Uiseongmaneul grown under the long and short day condition.

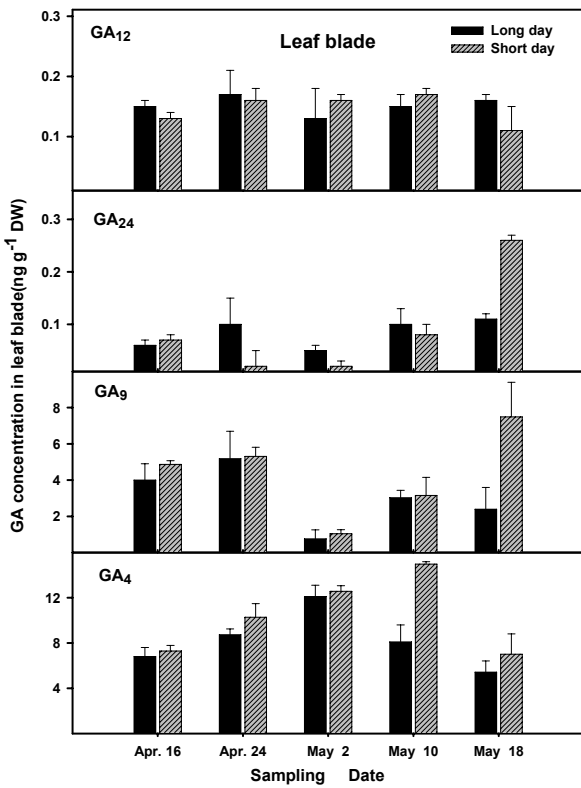


Fig. 5. Change of endogenous GA (non C-13 hydroxylation pathway) level in leaf blade of *Allium sativum* L. cv. Uiseongmaneul grown under the long and short day condition.

GA가 인경 비대기 이후부터 점점 감소하는 것으로 나타나 Arguello 등(1983)의 결과와 같이 휴면현상의 한 형태인 인경 비대가 진전됨에 따라 점차 감소하는 것으로 생각한다. 식물의 개화유도 및 절간신장에 영향을 미치는 일장은 GA 생합성을 매개로 한다는 것이 최근 밝혀지고 있다. 즉 장일 식물인 시금치의 경우 장일조건 하에서 GA 20-oxidase의 발현이 증가하는 것으로 나타났으며, 단일식물인 수수의 경우는 단일조건 하에서 생리활성의 GA₁의 함량이 증가하는 것으로 나타났다(Lee 등, 1998; Talon 등, 1991; Wu 등, 1996; Xu 등, 1999). 일장에 대한 반응이 서로 다른 이들 장일식물(시금치)과 단일식물(수수)은 각각 장일 또는 단일 조건하에서 GA 생합성이 증가됨과 동시에 개화가 촉진되는 것으로 보아 일장이 식물체내의 GA 생합성을 조절하여 특정 생리현상을 조절하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 마늘은 자연일장인 장일 조건보다 단일조건에서 내생 GA 함량이 더 높은 것으로 나타났다. 장일에서 인경 비대가 이루어지는 마늘의 GA 함량이 장일 조건에서보다 단일조건에서 높은 것으로 나타났으므로 이는 마늘의 인경 비대에 GA가 부(-)의 역할을 함을 감안하면 인경 비대를 억제하는 GA 효과를 단적으로 보여주는 결과라 사료된다. 즉, 마늘의

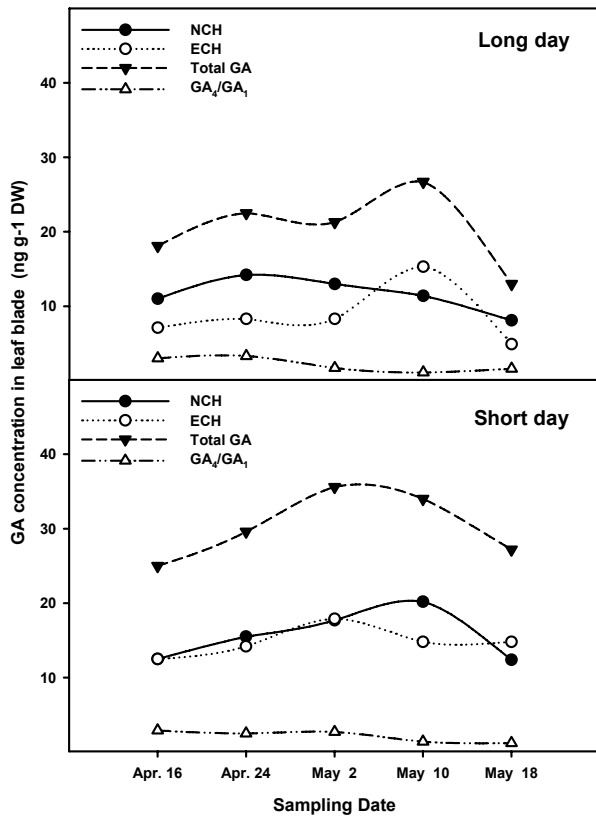


Fig. 7. Changes of NCH, ECH and total GA content in leaf blade of *Allium sativum* L. cv. Uiseongmaneul grown under the long and short day condition.

인경이 형성되는 부위인 엽초의 GA 함량이 증가하면 인경 비대는 억제되게 되므로 일장이 GA 생합성을 조절하여 인경 비대를 조절하는 것으로 사료된다. Fig. 7과 8은 마늘의 내성 GA 함량을 생합성 경로별 및 총 함량, 그리고 생리활성형 GA₄와 GA₁의 비율 등의 변화 양상을 나타낸 것이다. GA₄와 GA₁의 함량은 총 GA 함량과 같은 경향으로 변화하여 인경 비대와 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 자연일장 하의 엽초부위에서는 NCH, ECH, 총 GA 함량이 모두 인경 비대개시기인 5월 2일까지는 증가하다가 인경이 비대될수록 감소했다. 그러나 GA₄와 GA₁의 비율을 살펴보면 오히려 5월 2일에 낮아지다가 인경이 비대해 질수록 GA₄ 함량이 GA₁에 비해 많아지는 것으로 나타나 이것은 GA₄보다 GA₁이 장일에서 인경 비대에 관여할 수도 있음을 암시하는 결과라 사료된다. 단일에서는 인경 비대기가 늦어지는 현상과 더불어 GA 함량도 5월 10일에 최고치에 도달하여 자연일장 조건에서의 5월 2일보다 일주일 정도 늦어지는 것으로 조사되었다. 단일조건 하에서는 GA₄와 GA₁의 비율 변화 양상도 총 GA 함량 변화 양상과 일치했다. 단일에서는 GA₄의 함량이 특히 많아졌는데 이것은 단일이 GA₉에서 GA₄의 생합성 단계를 조절(3β-hydroxylase)하기 때문이라

사료되나, GA₄가 GA₃₄로 불활성화되는 과정의 조절(2β-hydroxylase)에 의해서도 GA₄ 함량은 영향을 받을 수 있으므로 추후 이 부분에 대한 검토가 있어야 보다 명확한 결론을 내릴 수 있을 것으로 생각한다.

초 록

마늘의 안정적 수량 확보와 품질향상 방안을 모색하고자 마늘의 인경 비대에 관여하는 요인을 구명하기 위해 본 연구를 수행하였다. 한지형 마늘의 인편 분화기에서 인편 비대 최성기까지 식물체내 호르몬 함량의 변화를 조사하여 생육 특성과의 연관성을 구명한 결과는 다음과 같다. 마늘 식물체(엽신과 엽초)의 GA 함량을 GC-MS로 동정한 결과 마늘 식물체에서 18종 이상의 GA를 확인하였다. GA 함량은 마늘에 고등식물체에서 주로 존재하는 두 생합성 경로가 모두 존재하는 것으로 확인되었으며, 생리활성 GA₄를(7.25ng·g⁻¹ D.W.) 생합성 하는 non C-13 hydroxylation pathway(NCH)가 GA₁을(2.97ng·g⁻¹ D.W.) 생합성 하는 early C-13 hydroxylation pathway (ECH) 보다 우세한 것으로 조사되었다. 한지형 의성마늘 인경 분화 및 비대 시 식물체내 호르몬 변화를 조사한 결과 total GA 함량은 인편 분화기부터 비대개시기까지 점진적으로 증가하다가 인경이 비대되는 동안 점차 감소하였다. 생리활성 GA인 GA₄와 GA₁의 함량은 총 GA 함량과 같은 경향으로 변화하여 인경 비대와 밀접한 연관이 있는 것으로 나타났다. 마늘 성장 양상과 엽초의 호르몬 변화 양상은 유사한 경향을 보여 엽초의 호르몬 변화가 마늘 성장과 밀접한 연관이 있음을 보여주었다.

추가 주요어 : 생리활성형 지베렐린, 인경비대, C-13 초기수산화경로, C-13 비수산화경로

인용문헌

- Ahn, Y.K., H.S. Choi, G.L. Lee, and H.D. Suh. 2008. Establishment of bulbil cultivation using bulbil sower in garlic (*Allium sativum* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:219-222.
- Arguello, J.A., R. Bottini, R. Suna, G.A. De Bottini, and R.W. Racca. 1983. Dormancy in garlic (*Allium sativum* L.) cv. Rosado paraguayo. I. Levels of growth substance in seed cloves under storage. Plant & Cell Physiol. 24:1559-1563.
- Ayabe, M. 2001. A novel and efficient tissue culture method-stem disc dome culture-for producing virus-free garlic (*Allium sativum* L.) Plant cell Rep. 20:503-507.
- Chang, M.U., W.W. Park, J.D. Chung, K.B. Lim, Y.J. La. 1998. Distribution of garlic latent virus and garlic mosaic virus in infected garlic tissues. Hort. Environ. Biotechnol. 29:253-265.

- Cho, J.E. and S.K. Lee. 2008. Current research status of postharvest technology of garlic (*Allium sativum* L.). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 26:350-356.
- Foster, K.R. and P.W. Morgan. 1995. Genetic regulation of development in *Sorghum bicolor*. IX. The ma_3^R allele disrupts diurnal control of gibberellin biosynthesis. Plant Physiol. 108:337-343.
- Kim, K.S., Y.S. Song, Y.S. Jang, S.S. Nam, I.H. Choi, and J.K. Bang 2006. Production of virus-free bulblets of garlic (*Allium sativum* L.) by meristem-tip culture of immature vegetative bulbils. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 24:441-446.
- Lee, I.J., K.R. Foster, and P.W. Morgan. 1998. Photoperiod control of gibberellin levels and flowering in *Sorghum*. Plant Physiol. 116:1003-1011.
- MacMillan, J. 2002. Occurrence of gibberellins in vascular plants, fungi, and bacteria. J. Plant Growth Regulat. 20:387-442.
- Mann, L.K. 1952. Anatomy of the garlic bulb and factors affecting bulb development. Hilgardia 21:195-251.
- Nam, S.K., I.H. Choi, S.K. Bae, and J.K. Bang. 2005. Effect of planting dates and planting density using large bulbils for seed clove production of garlic 'Namdo' in southern regions. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:265-268.
- Nam, S.K., I.H. Choi, S.K. Bae, and J.K. Bang. 2007. Effect of irrigation level on plant growth and bulb yield during bulb development stage of garlic plants. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 25:169-173.
- Rahim, M.A. and R. Fordham. 2001. Environmental manipulation for controlling bulbing in garlic. Acta Hort. 555:181-188.
- Rural Development Administration (RDA). 2002. Incoming data agricultural and stockbreeding products. p. 91.
- Talon, M., J.A.D. Zeevaart, and D.A. Gage. 1991. Identification of gibberellin in spinach and effects of light and darkness on their levels. Plant Physiol. 97:1521-1526.
- Walkey, D.G.A., M.J.W. Web, C.J. Bolland, and A. Miller. 1987. Production of virus-free garlic (*Allium sativum* L.) and shallot (*Allium ascalonicum* L.) by meristem-tip culture. J. Hort. Sci. 62:211-220.
- Wu, K., L. Li, D.A. Gage, and J.D.A. Zeevaart. 1996. Molecular cloning and photoperiod-regulated expression of gibberellin 20-oxidase from the long-day plant spinach. Plant Physiol. 110:547-554.
- Xu, Y.L., L. Li, D.A. Gage, and J.A.D. Zeevaart. 1999. Feedback regulation of *ga5* expression and metabolic engineering of gibberellin levels in *Arabidopsis*. The Plant Cell 11:927-936.