

Effect of Gibberellin on the Adventitious Root Formation from the Leaves-derived Calli in *Persicaria perfoliata*

Hyeon Kim and Hyeon-Cheol Cha*

Department of Biological Sciences, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

Received March 2, 2015 / Revised April 3, 2015 / Accepted April 6, 2015

This study was carried out to investigate the action of phytohormones which influence the adventitious root formation of calli originating from the leaves of *Persicaria perfoliata*. The optimal medium condition for callus formation was $\frac{1}{2}$ -strength MS, 1% sucrose, and 4.5 μ M 2,4-D. In order to determine which phytohormones had an effect on the adventitious root formation, the calluses were cultured in various media with different kinds of phytohormones. As a result, the medium with GA₃ or IAA was shown to induce root formation. To deeply investigate the effects of GA₃ and IAA, calli were cultured in 0.1, 1, and 10 mg/l levels of phytohormones. Numbers of roots formed per callus were 10.9, 14.2, 22.6 in GA₃, 5.8, 3.9, 1.1 in IAA, respectively. Therefore, the higher GA₃ or the lower IAA concentration, the more roots formed. To confirm this role of GA₃ we tested with inhibitors PBZ and NPA. GA₃ with PBZ resulted in reduction by 52.4-69.4% compared to GA₃ alone. In contrast, GA₃ with NPA resulted in an increase by -8~45.6% compared to GA₃ alone in root formation. Also, results were determined on the effect of GA₃ with other phytohormones on root formation. Kinetin, 2iP and ABA with GA₃ had a negative effect, but IAA with GA₃ showed a similar result to GA₃ alone. From these results we infer GA plays a key role and auxin has subsidiary activity on adventitious root formation. This is the first report that indicates GA₃ promotes adventitious root formation from calli in *P. perfoliata*.

Key words : Adventitious root, callus, gibberellin, *Persicaria perfoliata*, phytohormone inhibitor

서 론

식물은 고착생활을 하기 때문에 외부 환경변화에 적응하기 위해서 세포 또는 조직 사이에서의 신호전달이 매우 중요하다. 식물은 이러한 신호 전달 방법 중 하나로 호르몬을 이용한다고 알려져 있다[16]. 식물 호르몬의 종류로는 옥신(auxins), 사이토키닌(cytokinins), 지베렐린(gibberellins, GA), 앱시스산(abscisic acid, ABA), 에틸렌(ethylene) 등이 알려져 있다[6]. 이 중 옥신은 꽃의 발생[1], 유관속 분화[8], 뿌리 발생[10] 등의 다양한 기관 및 조직 발생에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있고, 또 다른 식물호르몬인 지베렐린 역시 종자 발아[12], 뿌리 신장[4], 화아 분화[5] 등을 촉진한다.

고착생활은 뿌리를 통해서 이루어지므로 부정근(adventitious root)의 형성은 매우 중요하다. 일반적으로 부정근 형성은 옥신에 의하여 촉진이 되고, 지베렐린에 의해 억제되는 것으로 알려져 있다[11]. 아몬드에서 옥신인 IAA (indole-3-

acetic acid)의 농도가 증가함에 따라 부정근 형성이 증가함을 보였고[3], 벼와 애기장대에서는 옥신 관련 유전자를 저해시킨 결과 부정근 형성이 억제되었다[17, 18]. 이러한 결과를 비추어 볼 때 일반적으로 옥신은 부정근 형성을 촉진한다고 할 수 있다. 반면, 완두콩과 콩에서 지베렐린을 처리한 결과 이의 농도가 높을수록 뿌리가 신장되는 효과를 나타냈지만, 뿌리의 형성은 억제되었고[2], 백양나무와 애기장대에서 지베렐린 생합성 유전자를 과발현 시킨 결과, 부정근 형성이 억제되는 것을 확인할 수 있었다[9]. 따라서, 지베렐린은 부정근 형성을 억제하는 것으로 알려지고 있다.

본 연구에서 다룬 식물인 머느리베꼽(*Persicaria perfoliata*)은 국내 자생식물들 중 항산화 활성이 가장 높은 것으로 알려져 있다[19]. 이 식물로부터 고향산화 활성을 지닌 세포주를 생산하기 위하여 조직배양을 연구하던 중, 지베렐린이 캘러스로부터 부정근 형성 촉진에 유의한 효과를 나타내었고, 이는 기존의 밝혀진 타 식물에서의 연구와는 상반된 결과를 보여주었다. 따라서 지베렐린이 부정근 형성에 필수적인 요소인지 알아보기 위하여 옥신 유출 저해제 NPA (1-N-Naphthylphthalamic acid)와 지베렐린 생합성 저해제 PBZ (Paclobutrazol)를 이용하여 부정근 형성을 조사하였다.

*Corresponding author

Tel : +82-41-550-3444, Fax : +82-41-559-7861

E-mail : hccha@dankook.ac.kr

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.

재료 및 방법

실험재료 및 살균처리

실험재료인 머느리배꼽(*Persicaria perfoliata*)은 충남 천안시 동남구 신안동에 위치한 안서호 주변에서 채집하였으며, 시료로서 잎을 사용하였다. 엽육조직을 6×6 mm로 절단하고, 절편체를 70% ethanol로 30초, 4% sodium hypochlorite로 25분간 살균하고 멸균수로 3회 세척한 뒤 배양하였다.

캘러스 및 부정근 형성 배지

캘러스 유도를 위한 배지 성분으로 MS 기본염류(M0222. 0050, Duchefa, Haarlem, Netherlands)를 1/2x, 1x, 2x, sucrose 농도는 1, 3, 5%의 수준으로 첨가하고, 여기에 4.5 μM 2,4-D (2,4-dichlorophenoxy-acetic acid)와 0.4% gelrite를 첨가하였다. 모든 배지는 pH 5.6~5.8로 조정하였다. 그리고 캘러스 유도는 20℃, 16/8 광주기로 형광등 조명 하에서 절편체를 Petri dish (Φ60×15 mm)에 4개씩 6반복으로 치상하였고, 2주간 배양하여 조사하였다. 본 실험에서 사용된 기본배지는 2주간 배양 후 캘러스 형성에 가장 좋은 결과를 보인 1/2MS, 1% sucrose, 0.4% gelrite를 사용하였다. 부정근 형성에 관여하는 식물호르몬을 찾기 위하여 MS 기본배지에 4.5 μM 2,4-D 이외에도 GA₃, 2iP, IAA 등의 식물호르몬을 10 mg/l 수준으로 단독 처리 후 2주간 배양하였다. 이 중에서 부정근을 형성하였던 지베렐린과 옥신(IAA)의 농도별 효과를 알아보기 위하여 각각 0.1, 1, 10 mg/l 수준으로 단독처리 하였다. 또한 두 식물호르몬 중, 어느 것이 부정근 형성에 1차적으로 작용하는지 알아보기 위하여 옥신 저해제 NPA와 지베렐린 저해제 PBZ를 각각 1, 10, 100 μM 수준으로 처리하고, 또한 각 농도의 NPA와 PBZ에는 1 μM GA₃ 또는 1 μM IAA를 혼용 처리하였다. 지베렐린과 상호작용하는 식물호르몬의 병용처리가 부정근 형성에 어떠한 효과를 보이는지 알아보기 위하여 공통의 10 mg/l GA₃ 처리구에 4.5 μM 2,4-D 그리고 IAA, 2iP, kinetin, ABA를 10 mg/l 수준으로 병용 처리하였다.

부정근 측정

부정근 측정을 위해 총 4주간 배양 후 형성된 부정근의 수, 길이 그리고 직경을 측정하였다. 길이와 직경은 Olympus SZX 12 해부현미경 하에서 eXcope550 CCD digital camera로 표본

촬영 후, eXcope ver. 5.0.1 digital imaging program을 이용하여 측정하였다.

통계처리

각 측정 수치의 유의성을 판단하기 위하여 각 처리구에서 한 캘러스 당 형성된 부정근의 개수를 세었고, 길이측정은 한 처리구 당 형성된 뿌리의 길이를 얻었다. 그 후 얻은 모든 수치는 IBM SPSS Statistics 20v을 이용하여 대응표본 T 검정, 일원 배치 분산분석을 하였고, Duncan test를 이용하여 수치의 통계적 유의성 여부를 밝혔다.

결 과

캘러스 유도 조건

머느리배꼽의 캘러스 유도에 최적인 MS배지 농도를 알아보기 위해 1/2x, 1x, 2x MS 배지에 1% sucrose, 4.5 μM 2,4-D를 첨가하여 2주간 배양 하였다. MS 농도에 대한 효과를 보면 통상 농도를 첨가하였을 때 80%, 이의 2배를 가하였을 때 60%인 반면, 1/2배를 가하였을 때 100%로 캘러스가 유도 되었다. 그리고 최적인 sucrose의 농도를 알아보기 위하여 1, 3, 5%를 첨가하여 배양하였다. 캘러스 유도율은 1% 일 때 60%, 3% 일 때 33%, 5% 일 때 20%로 캘러스가 유도되었다(Table 1). 따라서 이후 기본배지 조성으로 1/2MS와 1% sucrose를 사용하게 되었다.

지베렐린과 옥신의 효과

이 식물의 캘러스 조직으로부터 부정근 형성에 미치는 식물호르몬의 영향을 알아보기 위하여 GA₃, IAA, 2,4-D, 사이토키닌인 2iP를 각각 첨가하였다. 그 결과 유독 GA₃ 처리구에서 캘러스당 22.6개로서 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의하게 가장 많은 부정근 형성을 보였고, IAA에서는 1.1개로 나타났다(Fig. 1). 반면, 2,4-D, 2iP 그리고 식물호르몬 무첨가 배지에서는 부정근 형성을 관찰하지 못하였다. IAA는 다른 처리구에 비해 통계적 유의성은 없는 것으로 나타났으나, 호르몬 무첨가구에 비해 부정근 형성을 보였기 때문에 이의 농도별 영향에 대한 추가 조사가 필요하였다.

지베렐린과 옥신의 농도별 부정근 형성 및 이의 길이에 미치는 효과를 알아보기 위하여 캘러스 조직을 각각 GA₃와 IAA

Table 1. Frequencies of the callus formation cultured with different strengths of MS medium and sucrose concentrations in *Persicaria perfoliata*

| | Frequency of callus formation (%) | | | | | |
|-------|-----------------------------------|------------|------------|------------|-------|-------|
| | MS | | | Sucrose 1% | | |
| | Sucrose 1% | Sucrose 3% | Sucrose 5% | 1/2MS | MS | 2MS |
| 2,4-D | 60.00 | 33.34 | 20.00 | 100.00 | 80.00 | 60.00 |

*4.5 μM 2,4-D was added to the each medium.

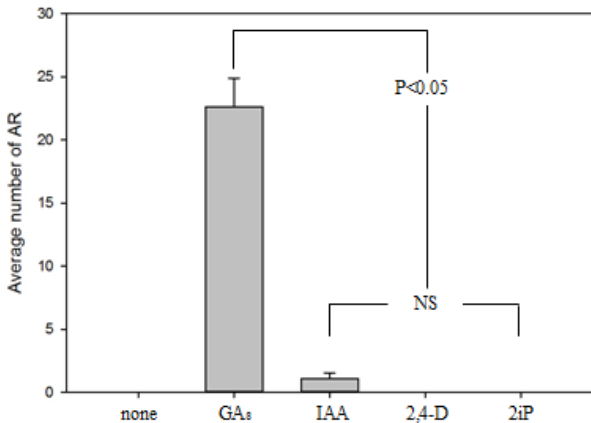
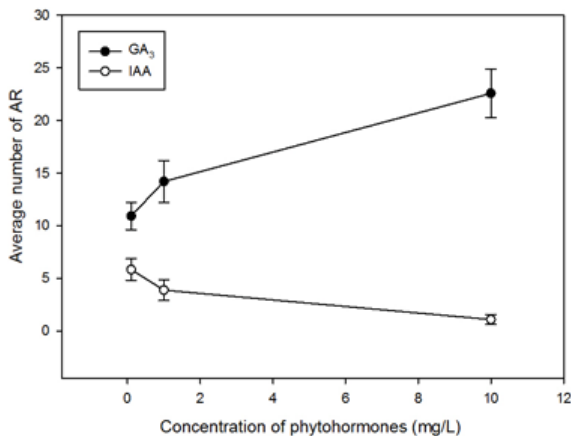


Fig. 1. Effect of phytohormones on indirect adventitious root formation of *Persicaria perfoliata*. AR: Adventitious roots, NS: not significant. Error bars indicate standard error of the mean. GA₃ indicate a statistical difference ($p < 0.05$ by a Duncan's Multiple Range Test.)

를 0.1, 1, 10 mg/l 농도로 처리하였다. 실험결과 GA₃ 처리구에서 0.1 mg/l 일 때 캘러스 당 10.9개 형성되었고, 이의 길이는 12.5 mm이었다. 또 1 mg/l 일 때, 14.2개 및 12.1 mm, 10 mg/l 일 때, 22.6개 및 10.9 mm로 농도가 높을수록 부정근 형성율은 높았다. 반면, IAA 처리구에서 0.1 mg/l 일 때 5.8개 및 11.6 mm, 1 mg/l 일 때, 3.9개 및 7.8 mm, 10 mg/l 일 때, 1.1개 및 3.8 mm로 농도가 높을수록 부정근 형성율은 낮았다(Fig. 2). 그리고 부정근의 직경은 0.3 mm으로 처리별 차이가 없었다.



옥신, 지베렐린 저해제의 효과

지베렐린과 옥신 중 어떤 호르몬이 부정근 형성에 주요하게 작용하는지 알아보기 위하여 IAA 및 GA₃에 이들의 저해제인 NPA와 PBZ를 각각 혼용 처리하였다. 처리구별 평균 부정근의 개수는 다음과 같았다. 1 μM GA₃ + 1 μM NPA 처리에서는 17.2개로서 11.8개인 GA₃ 단독 처리구에 비해 45.6% 증가하였으며, 1 μM GA₃ + 10 μM NPA 처리 시 10.9개로 8.0% 감소하였다. 그리고 1 μM GA₃ + 1 μM PBZ 처리구에서는 5.6개로 GA₃ 단독 처리구에 비해 52.4% 감소하였고, 1 μM GA₃ + 10 μM PBZ에서는 3.6개로 69.4% 감소하였다. 반면, 1 μM IAA + 1 μM NPA 처리에서는 1.7개로서 5.7개인 IAA 단독 처리구에 비해 70.7% 감소하였고, 1 μM IAA + 10 μM NPA 처리 시 0.1개로 98.2% 감소하였다. 100 μM NPA 또는 PBZ를 처리한 캘러스 조직은 갈변되어 조직이 수축되었다. 특히 IAA + PBZ 처리구에서는 이 저해제의 농도와 상관없이 부정근이 전혀 생성되지 않았다(Fig. 3).

또한 부정근의 길이에 대한 저해제의 효과를 보면, 1 μM GA₃ + 1 μM NPA 처리에서는 6.5 mm로서 12.42 mm인 GA₃ 단독 처리구에 47.9% 감소하였고, 1 μM GA₃ + 10 μM NPA 처리구는 5.3 mm로 83.6% 감소하였다. 1 μM GA₃ + 1 μM PBZ 처리구는 4.3 mm로 65.6% 감소하였고, 1 μM GA₃ + 10 μM PBZ 처리구는 2.0 mm로 83.7% 감소하였다. 그리고 1 μM IAA + 1 μM NPA 처리에서는 1.3 mm로서 11.2 mm인 1 μM IAA 단독 처리구에 비해 88.4% 감소하였고, 1 μM IAA + 10 μM NPA 처리 시 1.1 mm로 90.2% 감소하였다. 추가적으로 GA₃ 또는 IAA를 처리하지 않은 1 μM NPA 단독 처리구에서 평균 부정근 개수가 1.2개로 나타났다. 결론적으로 캘러스내 GA₃와 IAA의 활성이 낮아질수록 부정근의 형성율과 길이도

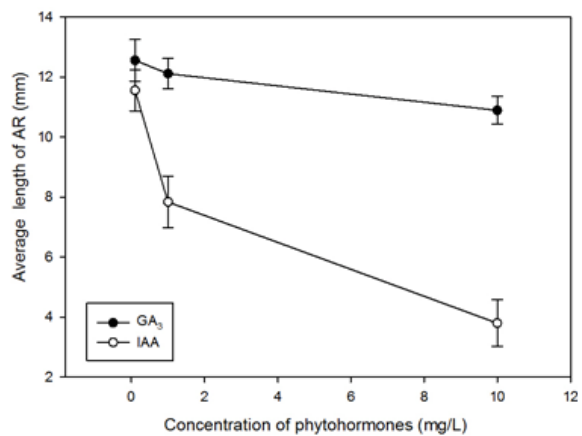


Fig. 2. Effect of GA₃ and IAA on the average number and the length of the adventitious roots induced from the calli according to the concentrations. Upper: GA₃ and IAA showing different correlation on the numbers of roots. 1, 10mg/l GA₃ and 0.1, 10 mg/l IAA indicate a statistical difference ($p < 0.05$). Lower: GA and IAA showing similar correlation on the length of roots. Each of the IAA concentration groups indicate a statistical difference ($p < 0.05$). But, all of the GA₃ concentration groups are not a statistical difference. Statistical tests were calculated by a Duncan's Multiple Range Test. Error bars indicate standard error of the mean.

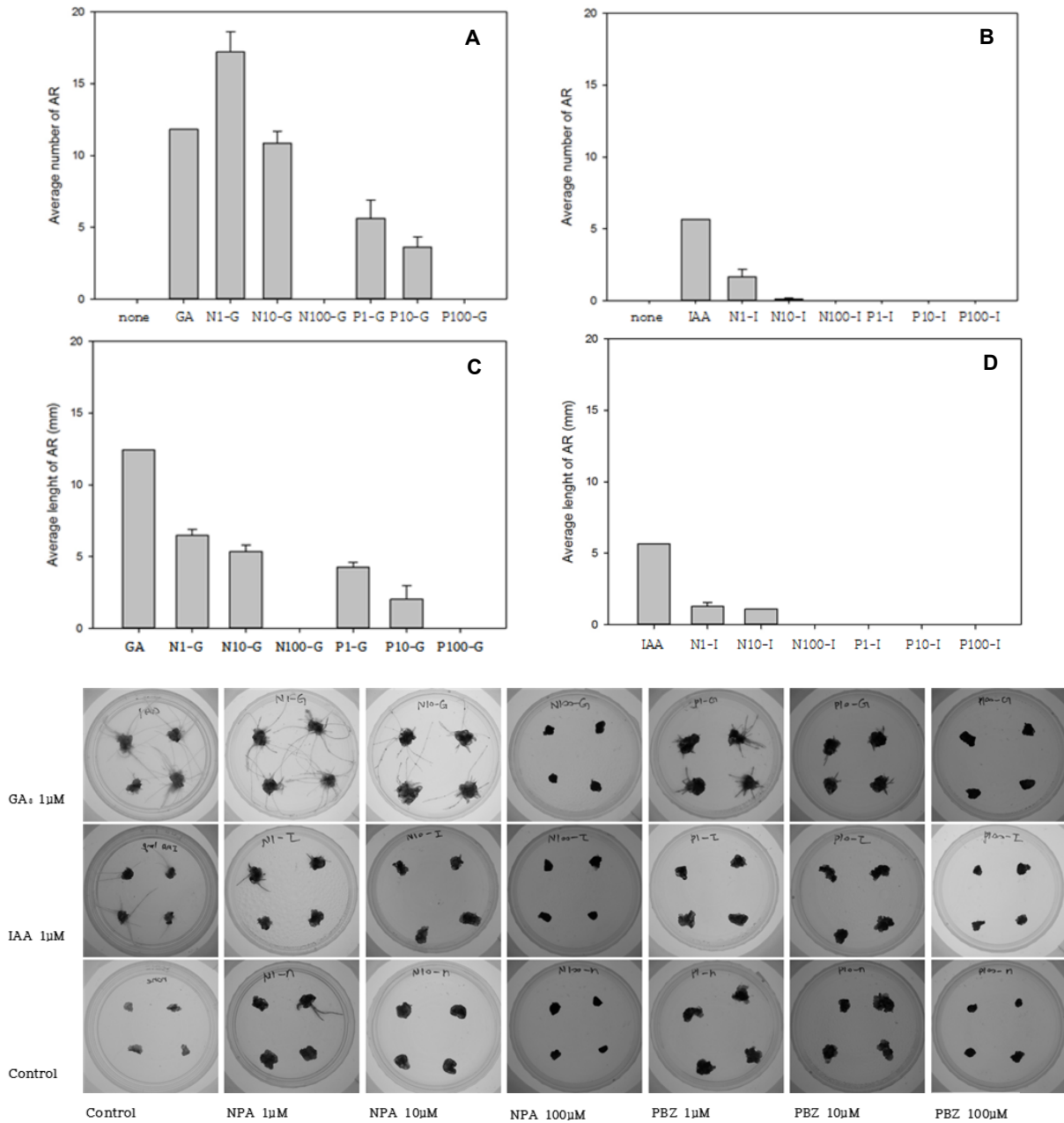


Fig. 3. Inhibitory or enhanced activities of NPA and PBZ on the adventitious root formation. Abbreviations <None: hormone-free medium, N1~100: 1~100 μM NPA, P1~100: 1~100 μM PBZ, G: 1 μM GA₃, I: 1 μM IAA> (A) effect of inhibitors with 1 μM GA₃ on the root numbers (B) effect of inhibitors with 1 μM IAA on the root numbers (C) effect of inhibitors with 1 μM GA₃ on the root lengths (D) effect of inhibitors with 1 μM IAA on the root lengths. The 4 calli were incubated on each petri dish (Φ60×15 mm).

두 감소되었으며, IAA보다 GA₃ 활성이 억제될수록 훨씬 더 부정근 형성을 및 길이가 감소됨을 알 수 있다.

지베렐린과 타 호르몬의 혼용효과

캘러스 유도 부정근 형성에 있어서 지베렐린 외에 다른 식물호르몬이 연관이 있는지 알아보기 위하여 지베렐린 신호경로에 영향을 미친다고 알려진 식물호르몬인 옥신(2,4-D, IAA),

사이토키닌(2iP, kinetin) 그리고 ABA을 GA₃와 병용하여 배양하였다. 그리고 빛이 지베렐린 신호 경로에 영향을 미친다는 연구결과[14]에 착안하여 암배양 조건을 추가하였다. 이에 대한 결과는 그래프로 나타내었다(Fig. 4). GA₃ 단독 처리구(대조구)의 평균 부정근 형성 개수를 기준으로 암실에 놓았던 처리구는 대조구보다 15.4% 증가하였고, GA₃ + IAA 처리구 역시 7.7%로 소폭 증가하였다. 반면, GA₃ + 2iP 처리구는 대조구

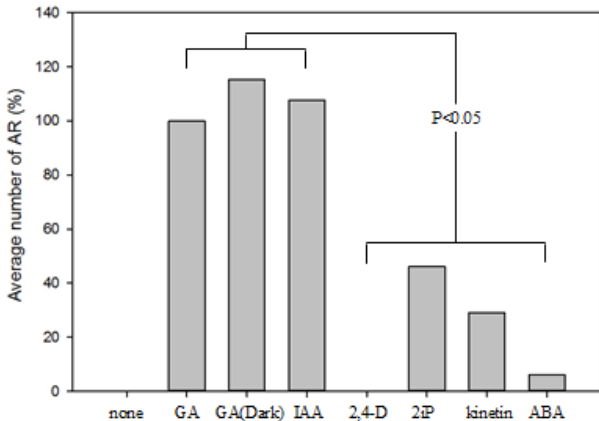


Fig. 4. Relationship among phytohormones interacting with GA₃ on the adventitious root formation. 10 mg/l GA₃ was added to the each phytohormone containing medium except none. Two groups of phytohormones were separated by Duncan Multiple Range Test. One group indicated GA₃, GA₃ (Dark) and IAA, the other 2,4-D, 2iP, Kinetin, ABA.

의 46.1%로 감소하였으며, GA₃ + kinetin 역시 29.1%로 감소하였다. 특히 ABA나 2,4-D 처리구에서는 거의 또는 전혀 부정근이 나타나지 않았다. 일원배치 분석결과 역시 유의하게 높은 부정근 형성을 보였던 처리구와 없거나 낮은 부정근 형성 처리구가 나누어짐을 알 수 있었다(Fig. 4).

고찰

본 연구는 머느리배꼽 켈러스에서 부정근 형성에 영향을 미치는 식물호르몬을 알아보기 위한 실험으로서 잎으로부터 켈러스를 유도하고, 이로부터 부정근 형성을 조사하였다. 우선 켈러스에 옥신과 사이토키닌 그리고 지베렐린을 처리한 결과 지베렐린 배지에서 월등히 높은 부정근 형성을 보였고, 옥신인 IAA에서도 통계적 유의는 없지만 적은 양의 부정근 형성이 나타나 지베렐린과 IAA의 부정근에 대한 농도별 효과를 보았다. 그 결과 지베렐린은 농도가 높아짐에 따라 부정근 형성에서 긍정적 영향을 보였고, 반면 IAA는 낮은 부정근 형성을 보였다. 일반적으로 알려진 바에 따르면 부정근의 형성은 옥신에 의하여 촉진되고, 지베렐린에 의해 억제되는 것으로 알려져 있다[2, 3, 9, 13, 17, 18]. 하지만 머느리배꼽에서의 결과는 상반되는 결과를 보여주고 있으며, 이러한 결과는 지베렐린이 옥신보다 부정근 형성에 있어 중요한 영향을 미칠 수 있다는 것을 암시한다. 이를 더욱 명확하게 밝히기 위해 옥신 유입 저해제인 NPA와 지베렐린 생합성 저해제인 PBZ를 처리한 결과, 켈러스내 옥신이 적정 수준으로 낮아지면 오히려 부정근 형성에 긍정적 영향을 주었으며, 반면, 지베렐린의 수준을 낮추면 급격히 부정근 형성에 부정적 영향을 주었다. 특히 후자의 경우 IAA + PBZ 처리에서는 이 저해제의 농도와

상관없이 부정근이 전혀 생성되지 않았다. 즉, IAA가 존재하더라도 GA가 없거나 낮으면 부정근이 형성되지 않음을 시사한다. 이러한 결과로 미루어볼 때 머느리배꼽의 경우, 부정근 형성에 있어서 지베렐린이 옥신보다 더욱더 중요한 역할을 하는 것을 암시한다.

이러한 실험 결과에 추가적으로 부정근 형성이 지베렐린 신호경로와 어떠한 연관이 있는지 알아보기 위해 옥신, 사이토키닌, ABA를 GA₃와 병용하여 켈러스를 배양하였다. 지베렐린 신호경로에서 암배양이나 옥신 처리가 지베렐린 수준을 증가시키는 것으로 알려져 있고, 사이토키닌, ABA 처리가 지베렐린 수준을 낮추는 것으로 알려져 있다[15]. 본 실험에서도 부정근 형성에 있어서 암배양 조건, IAA 처리 및 나머지 처리 등에서 Sun의 지베렐린 신호경로의 결과와 유사한 것으로 나타났다. 즉 GA₃ 암배양과 GA₃ + IAA 배지에서의 부정근 형성은 GA₃(16/8 광주기 배양) 단독 배지에서보다 높은 것으로 나타나지만 그 차이가 유의하지는 않았다. 여기서 알 수 있는 사실은 IAA가 적어도 지베렐린의 활성을 억제하지는 않았음을 알 수 있다. 합성 옥신인 2,4-D인 경우 전혀 부정근 형성이 일어나지 않은 것으로 볼 때 부정근 형성을 강하게 억제한다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 2,4-D의 역분화 효과로 보인다[7]. 추후 분화억제 기작을 정확히 밝히려면, 2,4-D 배지에서 배양된 켈러스 조직을 Western blot 기법을 이용하여 DELLA 단백질의 유무판단을 해야 할 것으로 사료된다.

ABA와 kinetin 그리고 2iP는 유의하게 지베렐린의 효과를 억제하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 앞서 연구된 지베렐린 신호경로에서 이들 호르몬이 지베렐린 수준을 낮추는 것과 일치한다. 이를 토대로 부정근 형성에 미치는 식물호르몬 사이의 네트워크를 Fig. 5와 같은 모델로 가정하였다. 결론적으로 본 논문을 통하여 적어도 머느리배꼽에서는 켈러스를 통한 부정근 형성이 지베렐린 신호경로의 영향을 받는다는 것을 처음으로 밝힌다.

요약하자면, 머느리배꼽에서 지베렐린은 부정근 형성에 주

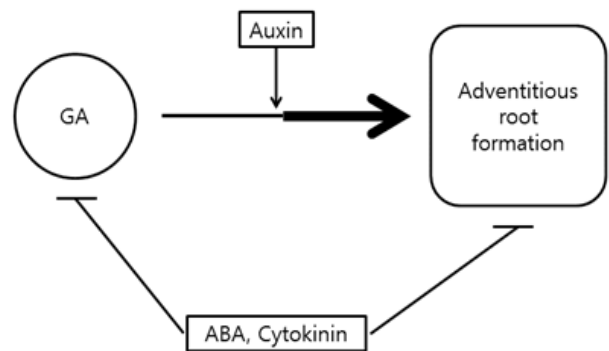


Fig. 5. A simplified hypothetical model of phytohormone network on the adventitious root formation in *P. perfoliata*. The thickness the line means strength of the activity. The symbol ⊥ indicates the inhibition of target's activity.

요한 역할을 하는 것과 부정근 형성은 지베렐린 신호경로의 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 추후 이 현상에 대한 분자적 기작의 규명이 추가적으로 수반되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 수도권대학 특성화 사업(CK-II), 단국대학교 캠퍼스 바이오 글로벌 전문인력양성 사업의 일환으로 수행되었음.

References

- Aloni, R., Aloni, E., Lanqhans, M. and Ullrich, C.I. 2006. Role of auxin in regulating *Arabidopsis* flower development. *Planta* **223**, 315-328.
- Brian, P. W., Hemming, H. G. and Lowe, D. 1960. Inhibition of rooting of cuttings by gibberellic acid: with one figure in the text. *Annal. Bot.* **24**, 407-419.
- Caboni, E., Tonelli, M. G., Lauri, P., Iacovacci, P., Kevers, C., Damiano, C. and Gaspar, T. 1997. Biochemical aspects of almond microcuttings related to *in vitro* rooting ability. *Biol. Plant* **39**, 91-97.
- Fu, X. and Harberd, N. P. 2003. Auxin promotes *Arabidopsis* root growth by modulating gibberellin response. *Nature* **421**, 740-743.
- Kaneko, M., Inukai, Y., Ueguchi-Tanaka, M., Itoh, H., Izawa, T., Kobayashi, Y., Hattori, T., Miyao, A., Hirochika, H., Ashikari, M. and Matsuoka, M. 2004. Loss-of-function mutations of the rice GAMYB gene impair α -amylase expression in aleurone and flower development. *Plant Cell* **16**, 33-44.
- Kende, H. and Zeevaart, J. 1997. The Five "Classical" Plant Hormones. *Plant Cell* **9**, 1197-1210.
- Li, F., Cui, X., Feng, Z., Du, X. and Zhu, J. 2012. The effect of 2,4-D and kinetin on dedifferentiation of petiole cells in *Arabidopsis thaliana*. *Biol. Plant* **56**, 121-125.
- Mattsson, J., Ckurshumova, W. and Berleth, T. 2003. Auxin signaling in *Arabidopsis* leaf vascular development. *Plant Physiol.* **131**, 1327-1339.
- Mauriat, M., Petterle, A., Bellini, C. and Moritz, T. 2014. Gibberellins inhibit adventitious rooting in hybrid aspen and *Arabidopsis* by affecting auxin transport. *Plant J.* **78**, 372-384.
- Overvoorde, P., Fukaki, H. and Beekman, T. 2010. Auxin Control of Root Development. Cold Spring Harb. *Perspect. Biol.* **2**, a001537.
- Pamfil, D. and Bellini, C. 2011. Auxin control in the formation of adventitious roots. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* **39**, 307-316.
- Richards, D. E., King, K. E., Ait-ali, T. and Harberd, N. P. 2001. How gibberellin regulates plant growth and development: a molecular genetic analysis of gibberellin signaling. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* **52**, 67-88.
- Riov, J. and Yang, S. F. 1989. Ethylene and auxin-ethylene interaction in adventitious root formation in mung bean (*Vigna radiata*) cuttings. *J. Plant Growth Regul.* **8**, 131-141.
- Seo, M., Nambara, E., Choi, G. and Yamaguchi, S. 2009. Interaction of light and hormone signals in germinating seeds. *Plant Mol. Biol.* **69**, 463-472.
- Sun, T. P. 2011. The molecular mechanism and evolution of the GA - GID1 - DELLA signaling module in plants. *Curr. Biol.* **21**, 338-345.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2013. *Plant Physiology*, pp. 523-593, 5th ed., Sinauer Associates, Massachusetts, USA.
- Wilmoth, J. C., Wang, S., Tiwari, S. B., Joshi, A. D., Hagen, G., Guilfoyle, T. J., Alonsi, J. M., Ecker, J. R. and Reed, J. W. 2005. NPH4/ARF7 and ARF19 promote leaf expansion and auxin-induced lateral root formation. *Plant J.* **43**, 118-130.
- Xu, M., Zhu, L., Shou, H. and Wu, P. 2005. A PIN1 family gene, OsPIN1, involved in auxin-dependent adventitious root emergence and tillering in rice. *Plant Cell Physiol.* **46**, 1674-1681.
- Yang, Y. J., Kim, H. J., Kang, S. H. and Kang, S. C. 2011. Screening of natural herb resources for anti-oxidative effects in Korea. *Kor. J. Plant Res.* **24**, 1-9.

초록 : 며느리배꼽 잎 유래 캘러스의 부정근 형성에 미치는 지베렐린의 작용

김 현 · 차현철*

(단국대학교 생명과학과)

본 연구는 항산화 기능이 뛰어나다고 알려진 며느리배꼽(*Persicaria perfoliata*)의 캘러스를 사용하여, 어떤 식물호르몬이 부정근 형성에 영향을 미치는지 알아보기 위한 실험이다. 며느리배꼽의 잎으로부터 캘러스를 유도하고 이로부터 부정근 형성을 관찰하였다. 캘러스 유도의 최적 조건을 구한 결과 1% sucrose, 4.5 μ M 2,4-D, 1/2 MS였다. 어떤 식물호르몬이 이 식물의 캘러스에서 부정근 형성 효과를 가지고 있는지 알아보기 위하여 GA₃, IAA, 2iP, 2,4-D를 캘러스 조직에 각각 첨가한 결과, GA₃와 IAA를 첨가한 배지에서만 부정근이 나타났음을 확인 할 수 있었다. 이를 자세히 조사하기 위해서 GA₃와 IAA의 농도별(0.1, 1, 10 mg/l) 부정근 형성, 길이 및 직경을 알아본 결과, 높은 수준의 GA₃ 또는 낮은 수준의 IAA처리에서 더 많은 부정근 형성을 보였다. 이 두 호르몬 중 어떤 것이 더욱 더 중요한 역할을 하는지 알아보기 위하여 옥신 유입 저해제인 NPA와 지베렐린 생합성 저해제인 PBZ를 처리한 실험을 한 결과, GA₃가 IAA 보다 부정근 형성에 더욱 더 중요한 역할이라는 것을 알았다. 하여 지베렐린의 수준을 증가 또는 감소시킨다고 알려진 식물호르몬(IAA, 2iP, kinetin, ABA)들을 GA₃와 혼용 처리한 결과, 이 역시 지베렐린이 부정근을 형성하는데 중요한 역할을 한다는 것을 재확인 하였다. 본 연구는 지베렐린이 며느리배꼽의 캘러스에서 부정근 형성을 증진시킨다는 것을 처음으로 밝힌다.