

천마 종자 생산을 위한 수확시기별 처리방법에 따른 자마 생산력 효과

김창수^{1,2*}, 김효진¹, 서상영¹, 김희준¹, 이왕휴²

¹전라북도농업기술원, ²전북대학교 농생물학과

Effect of Immature Rhizome Productivity according to Harvest Times-based Treatment Method for Seed Production of *Gastrodia elata*

Chang Su Kim^{1,2*}, Hyo Jin Kim¹, Sang Young Seo¹, Hee Jun Kim¹ and Wang Hyu Lee²

¹Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea

²Department of Agricultural Biology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

Abstract - This study was investigated the effect of immature rhizome production according to harvest times-based treatment method for seed production of *Gastrodia elata*. The results revealed that when the tuber weight of *G. elata* harvested in spring (GEHS) was ≥ 100 g, the rate of artificial fertilization, protocorm formation, and immature rhizome formation was 90.9%–94.8%, 3.1%–5.4%, and 10.1%–15.3%, respectively. When *G. elata* harvested in fall (GEHF) was treated at a low temperature for 4 weeks or more, the rate of artificial fertilization, protocorm formation, and immature rhizome formation was 70.4%–87.6%, 2.2%–2.6%, 8.7%–9.5%, respectively. Therefore, to produce seeds and immature rhizomes, GEHS must have tubers of more than 100 g, whereas GEHF requires breaking dormancy by low-temperature treatment for 4 weeks or more. Compared with those of GEHS, the rate of artificial fertilization, protocorm formation, and immature rhizome formation was lower in GEHF; however, it was higher than those in the natural germination state. Thus, it can be expected that *G. elata* can be produced throughout the year by ensuring that the seeds and immature rhizomes of *G. elata* are produced using a constant tuber weight and by breaking dormancy with low temperature treatment.

Key words - Breaking dormancy, *Gastrodia elata*, Harvest time, Low temperature treatment, Tuber weight

서 언

천마(*Gastrodia elata*)는 난초과(Orchidaceae)에 속한 다년 생 고등식물이지만 잎과 뿌리가 없어서 탄소동화작용 능력이 없는 퇴화된 식물로서 독립적 생육이 불가능하다. 생리적 특성 상 천마 종자 발아 시 애주름버섯균(*Mycena* spp.)이 필요하고, 발아된 원괴체가 성장할 때는 뿔나무버섯균(*Armillaria* spp.)과 공생하는 기생식물이다(Lee, 1982; Kim *et al.*, 2012). 천마의 꽃은 이삭화서로 화경 1개에서 피는 꽃의 수는 30–100개 정도이며, 마지막 꽃이 결실되기까지 약 5–7일이 소요되고, 종자 충실도에 따라 꼬투리의 무게는 일반적으로 10–50 mg 정도이며, 꼬투리 1개에 약 10,000–20,000개의 종자가 맺히는 것으로 알려져 있다(Park *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2013).

천마에 함유된 주요 성분으로는 gastrodin, β -sitosterol, cholesterol, p-hydroxybenzyl alcohol, vanillin, vanillyl alcohol, ergothionine 등이 보고되어 있다(Zhou *et al.*, 1980; Taguchi *et al.*, 1981; Sha and Sun, 1985; Noda *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 2005). 천마의 임상적 효능은 주로 고혈압, 뇌졸중, 두통, 마비, 신경성질환 등에 효능이 있는 것으로 보고되어 있고, 이런 효능의 기원은 대부분이 천마의 항산화성 물질과 관련되어 있는 것으로 추정하고 있다(Niu *et al.*, 2004).

1995년 농촌진흥청에서 천마재배용 뿔나무버섯균인 천마균 1호(*Armillaria gallica*)의 개발과 1998년 국립산림과학원의 홍릉천마균(*Armillaria mellea*)이 보급되어 인공재배에 의한 천마의 대량생산이 가능하게 되었다(Sung *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2000). 일반 노지재배 방식과 달리 비가림시설을 이용하면 수량이 49% 증수 효과가 있고(Kim *et al.*, 2017), 해가림 시설재배가 일반 노지재배보다 기능성 물질 함량이 높다고 했다(Kim

*교신저자: E-mail florigen5329@korea.kr

Tel. +82-63-290-6344

and Park, 2013). 이로 인해 천마의 생산량은 2010년 1,184톤에 달하였으나 2016년에 이르러서는 생산량이 525톤으로 감소하는 경향이다(MAFRA, 2017). 이러한 원인은 무성증식 자마의 계속적 사용과 토양 내 오염균으로 인해 자마의 퇴화현상이 발생하였기 때문으로 판단된다. 이로 인해 천마가 가늘어지고 무게가 적어진 상품가치가 없는 자마(子麻, immature rhizome)만 발생하고, 그 다음해에는 화아(花芽)가 형성된 성마(成麻, mature tuber)의 생산이 매우 불가능하게 되었다(Kim *et al.*, 2013). 이를 해결하기 위해 무병한 무성증식 자마 생산이 불가피한 상황이나 천마의 종자 발아 및 자마 생장에 각각 *Mycena* spp. 과 *Armillaria* spp. 의 버섯류와 공생을 하기 때문에 인공적인 기내 배양이 매우 어려운 상황이다. 최근 연구보고에 의하면 한라천마와 애기천마의 꼬투리를 NaOCl로 소독하여 천마 종자를 발아시켰고(Bae *et al.*, 2012), Park and Lee (2013)는 천마의 종자 발아균으로 *Mycena osmundicola* (KFRI1212), *Mycena* sp. (KFRI1212)를 선발하였으며, Lee *et al.* (2017)이 *Mycena purpureofusca* (NIFOS101) 새로운 종을 분리하였다. 이렇게 새로 분리된 발아균과 기존 생장균(*A. mellea*)을 이용해 천마의 자마를 기내배양으로 영양번식경 유도와 생장을 성공시킨 바 있다(Park *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2013). 천마는 한국에서 일반적으로 4월에 정식하고, 그 이듬해 11월에 수확을 하는 작물이다. 천마는 주로 70%가 생천마로 판매되고, 30%가 가공식품으로 소비된다. 하지만 짧은 수확기간으로 인한 홍수출하로 가격이 하락하는 경향이 있고, 장기저장이 어려워 공급기간이 매우 짧다. 따라서 본 연구는 천마의 연중생산을 위한 기초연구로 봄, 가을에 수확된 천마를 괴경 무게에 따라 분류하고, 저온에 의한 휴면타파를 처리하여 종자 및 자마 생산 효과를 검증하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

봄수확 천마를 이용한 종자 생산

봄수확 천마는 무주군 안성면에서 24개월 재배된 것을 구입하여 사용하였다. 천마는 괴경의 무게에 따라 60–99 g, 100–139 g, 140–179 g, 180 g 이상으로 구분하였다. 구분된 천마는 배양토(피트모스 80% + 펄라이트 20%, 수분함량 30±2%)에 층적처리하여 25±1℃에서 추대를 유도하였고, 개화가 시작되면 순판을 제거하고 암술을 수술에 접촉하였다. 인공수정 후 17–21일 정도 경과 하면 꼬투리의 색상이 갈색으로 변하고 6조각으로 갈라지기 시작하는데, 종자가 떨어지기 전에 꼬투리를 수확하여

50 ml conical tube에 저장하여 5℃ 냉장고에 보관하였다. 모든 실험은 10반복으로 처리하였다.

가을수확 천마를 이용한 종자 생산

가을수확 천마는 무주군 안성면에서 18개월 재배된 것을 구입하여 사용하였다. 봄수확 천마 이용 시 괴경의 무게가 100 g 이상인 것을 사용하였을 때 효과가 있는 것으로 검증된 바, 본 연구에서 가을수확 천마는 괴경의 무게가 100–139 g인 것을 사용하였고, 휴면타파를 위해 배양토에 층적처리하여 5±1℃에 2주 간격으로 10주간 처리하였다. 추대 유도, 인공수정, 꼬투리 수확 및 보관은 봄수확 천마를 이용한 방법과 동일하게 수행했다.

원괴체·자마 형성 유도 및 생산

천마 종자의 원괴체 형성 유도 및 생산을 위해 발아균인 *Mycena* spp.를 이용하였다. *Mycena* spp.는 2013년 임실군 성수산 천마 자생지에서 분리한 균주로 걸보리 곡립배지에 배양시켜 사용하였다. 150 × 20 mm 페트리디쉬에 0.8% Water Agar (WA) 배지를 만들고, 1개의 WA에 발아균 걸보리 곡립을 9개 접종하고, 꼬투리 1개를 표면 소독(1% NaOCl에 2분, 70% EtOH에 30초, 멸균수로 2회)한 후 열개(裂開)하여 종자를 모두 파종하였다. 파종된 WA는 25℃에 12주 배양한 뒤 1 cm 이상 크기의 원괴체를 측정하였다.

원괴체의 자마 형성 유도 및 생산을 위해 생장균인 *A. gallica*를 이용하였고, 생장균은 옥천군에 소재한 배양소에서 배양한 것을 병당(1 L) 8조각으로 절단하여 사용하였다. 30 × 20 × 20 cm 크기의 상자에 배양토를 10 cm 정도 깔고, 참나무원목(직경 10 cm × 길이 10 cm) 4개를 배열한 뒤 원목 사이에 생장균을 6조각씩 접종하였다. 참나무원목 위에 5 cm 정도의 배양토를 덮고, 물을 충분히 관수한 후 25±1℃에 4주 배양하여 적색균사속을 유도하였다. 생장균이 배양된 상자에 원목 위 배양토를 걷어낸 다음, WA에 형성된 원괴체 전체를 파종한 후 걷어냈던 배양토를 다시 덮었다. 파종된 상자는 25±1℃에 16주 배양한 뒤 5 cm 이상 크기의 자마를 측정하였다.

통계분석

데이터 처리는 SAS 9.2 (Statistical Analysis Systems, Inc, Raleigh, Nc, USD) 통계 프로그램으로 분석하였고, p<0.05의 조건에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의적 차이를 표기하였다.

결과 및 고찰

봄수확 천마를 이용한 종자 생산 및 원괴체·자마 형성

천마의 종자를 생산하기 위해 봄수확 천마를 괴경 무게별로 분류하여 처리한 결과, 출현소요일수는 괴경 무게가 66-99 g에서 7.8일, 100-139 g에서 7.5일, 140-179 g에서 6.8일, 180 g 이상에서 6.6일이 소요되었다. 화경의 길이는 괴경 무게가 66-99 g에서 92.4 cm, 100-139 g에서 112.5 cm, 140-179 g에서 126.7 cm, 180 g 이상에서 131.1 cm로 길었다. 유효 개화수는 66-99 g에서 33.6개, 100-139 g에서 44.4개, 140-179 g에서 50.5개, 180 g 이상에서 63.8개가 생겼으며, 인공수정을 통한 유효 꼬투리수는 66-99 g에서 28.8개, 100-139 g에서 40.3개, 140-179 g에서 46.7개, 180 g 이상에서 60.5개였다. 따라서 인공수정률은 66-99 g이 85.7%, 100-139 g이 90.9%, 140-179 g이 92.2%, 180 g 이상이 94.8%로 조사되었다. 따라서 본 연구결

과, 모든 처리구에서 100% 출현하였고, 괴경의 무게가 무거울 수록 출현소요일수는 짧아지고, 화경의 길이는 길어졌으며, 유효 개화수, 유효 꼬투리수, 인공수정률이 증가하였다(Table 1). Kim *et al.* (2016)에 의하면 천마의 휴면타파를 위해 5°C에 4주 이상 저온 처리하면 출현율이 높아진다고 하였다. 본 연구에서 봄수확 천마를 이용한 모든 처리에서 출현율이 100%인 것으로 볼 때, 겨울동안 저온에 의해 충분히 휴면타파가 이뤄진 것으로 생각된다. 자연 상태에서 천마의 꽃은 끝이 모아진 봉우리 형태이며, 무향으로 곤충매개에 의한 수분율이 매우 저조하여 자연수정률은 0.3%인데 반해(Hong *et al.*, 2004; Park *et al.* 2010; Kim *et al.* 2006), 본 연구에서는 순환을 제거한 뒤 인공수정 시 인공수정률은 85% 이상으로 매우 높아짐을 알 수 있었다.

봄수확 천마의 괴경 무게에 따라 생산된 종자를 활용해 원괴체 및 자마 형성률을 조사한 결과, 종자 발아 후 원괴체 형성률

Table 1. The effect of tuber weight on the seed development of *Gastrodia elata* harvested in spring

Tuber weight (g)	No. of days required to emergence	Emergence rate (%)	Peduncle length (cm)	No. of valid blooming	No. of valid pod	Artificial pollination rate (%)
60-99	7.8±0.8 ^z a ^y	100	92.4±9.3c	33.6±7.0c	28.8±6.1c	85.7±3.3c
100-139	7.5±0.5a	100	112.5±19.9b	44.4±10.6b	40.3±10.2b	90.9±2.9b
140-179	6.8±0.6b	100	126.7±15.5a	50.5±8.4b	46.7±8.6b	92.2±2.3b
180≤	6.6±0.5b	100	131.1±14.8a	63.8±6.4a	60.5±6.2a	94.8±1.8a

^zEach values represented mean±standard error (n = 10).

^yMean with the same letter indicate no significant difference according to Duncan's multiple range test at significant level of 5%.

Table 2. The formation rate of protocorm and immature rhizome of seed produced through tuber weight

Tuber weight (g)	Formation rate ^z (%)		No. of immature rhizomes formation per pod ^y
	Protocorm	Immature rhizome	
60-99	0.6±0.2 ^x d ^w	1.9±0.5d	1.1-2.2d
100-139	3.1±0.8c	10.1±1.7c	32.0-64.0c
140-179	4.1±1.0b	12.9±1.8b	53.1-106.2b
180≤	5.4±1.1a	15.3±2.0a	82.6-165.2a

^zSymbiotic fungi: *Mycena* spp. (involved in forming protocorms) and *Armillaria* spp. (involved in forming immature rhizomes), measured size : protocorms more than 1 cm and immature rhizomes more than 5 cm.

^yNo. of seed per a seed capsule: 10,000-20,000.

^xEach values represented mean±standard error (n = 10).

^wMean with the same letter indicate no significant difference according to Duncan's multiple range test at significant level of 5%.

은 0.6%–5.4%, 원괴체의 자마 형성률은 1.9%–15.3%로 모마 인 괴경의 무게가 무거울수록 원괴체 및 자마 형성률이 높아짐을 알 수 있었다. 괴경의 무게에 따라 자마 형성수는 66–99 g에서 1.1–2.2개, 100–139 g에서 32.0–64.0개, 140–179 g에서 53.1–106.2개, 180 g 이상에서 82.6–165.2개가 형성되었다 (Table 2). 종자의 크기와 무게에 관한 연구로, 인삼은 종자의 크기가 클수록 출아율 및 출아세가 높았고, 경장, 경직경 등의 생육이 양호하였으며, 근장, 근직경, 근중 등의 생육도 양호하였다고 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1981). 또한, 종가시나무는 종자 무게가 무거울수록 발아일수가 단축되고, 발아율이 높았으며, 유묘의 줄기길이, 줄기직경, 뿌리길이, 건물중 등의 측정치가 높게 나타났다고 보고되었다(Kang *et al.*, 2017). 괴경 식물의 하나인 감자 재배 시 인공 씨감자의 적정 크기는 춘작에서 5–10 g, 추작에서 10–15 g이 실용적이었다고 보고된 바 있다 (Nam and Soh, 1998). 본 연구결과는 최소한 100 g 이상의 괴경을 사용하면 실효성 있는 종자와 자마를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

가을수확 천마를 이용한 종자 생산 및 원괴체·자마 형성

종자생산을 위해 가을수확 천마를 저온 처리한 결과, 저온처리기간이 길어질수록 출현소요일수는 짧아지는 반면, 출현율은 높아지고, 화경길이, 유효 개화수, 유효 꼬투리수가 증가하였다. 저온(5℃)를 4주 처리 시 출현율은 80.0%, 화경 길이는 76.3 cm, 유효 개화수는 31.7개, 유효 꼬투리수는 22.3개로 인공

수정률이 70.4%로 나타났다. 또한, 4주부터 10주 처리 시 인공 수정률이 70.4%–87.6%로 나타났다. 봄수확 천마를 이용한 연구결과와 비슷한 경향을 보였으나, 전반적으로 종자생산 효과는 낮았다(Table 3).

가을수확 천마의 저온처리에 따라 생산된 종자를 활용해 원괴체 및 자마 형성률을 조사한 결과, 종자 발아 후 원괴체 형성률은 0.4%–2.6%, 원괴체의 자마 형성률은 1.5%–9.5%로 저온처리 기간이 길어질수록 원괴체 및 자마 형성률이 높아졌다. 저온처리에 따라 자마 형성수는 무처리에서 0.6–1.3개, 2주 처리에서 2.9–5.7개, 4주 처리에서 19.0–38.0개, 6주 처리에서 22.8–45.7개, 8주 처리에서 23.7–47.3개, 10주 처리에서 24.9–49.7개가 형성되었다(Table 4).

앵초, 설앵초 및 애기나리의 경우 저온처리에 의해 휴면타파에 소요되는 시간이 앵초는 700시간 이상, 설앵초와 애기나리는 모두 500시간 이상 저온(5℃)을 받으면 화경이 신장되고 개화율도 높아진다는 보고가 있다(Suh *et al.*, 2006). 또한, 저온요구 시간은 작물에 따라 달라질 수 있는데 참취는 370시간 (Seong *et al.*, 1996), 곶취는 300시간(Suh *et al.*, 1996)으로 보고된 바 있다. 본 연구결과로 천마 괴경을 4주부터 10주 저온처리(672–960시간) 시 인공수정률, 원괴체 및 자마 형성률이 높아졌고, 실효성 있는 종자 및 자마를 생산할 수 있었다. 하지만 저온처리 기간이 길어짐에 따라 천마가 부패균에 의해 썩었고, 영양분이 소모 될 것으로 예상되는 바 천마 저온처리 기간과 종자 형성과의 상관관계는 추가 연구되어야 할 것으로 판단된다.

Table 3. The effect of low temperature treatment on the seed development of *Gastrodia elata* harvested in fall

Treatment period (week)	No. of days required to emergence	Emergence rate (%)	Peduncle length (cm)	No. of valid blooming	No. of valid pod	Artificial pollination rate (%)
0	84.0±3.9 ^y a ^x	33.0	48.7±14.2d	5.8±2.7d	4.1±2.3e	69.3±10.8c
2	54.8±8.0b	50.0	55.2±11.6d	10.3±4.2d	6.7±2.1e	67.3±8.4c
4	33.8±0.8c	80.0	76.3±7.2c	31.7±4.1c	22.3±3.2d	70.4±5.1c
6	28.0±1.0d	87.0	95.0±19.8b	35.2±4.4bc	28.0±3.8c	79.5±1.9b
8	22.3±0.5e	94.0	90.7±5.7b	35.3±5.9bc	30.7±4.5bc	87.2±2.5a
10	16.9±0.6f	97.0	92.7±2.5b	38.0±1.7b	33.3±2.1b	87.6±2.6a
PC ^z	7.5±0.5g	100	112.5±19.9a	44.4±10.6a	40.3±10.2a	90.5±2.9a

[†]Materials: *G. elata* harvested in fall (^zPositive control: *G. elata* harvested in spring), tuber weight 100–139 g.

^{††}Methods: breaking dormancy under low temperature treatment 5±1℃, emergence induction temperature 25±1℃.

^yEach values represented mean±standard error (n = 10).

^xMean with the same letter indicate no significant difference according to Duncan’s multiple range test at significant level of 5%.

Table 4. The formation rate of protocorm and immature rhizome of seed produced through low temperature treatment

Treatment period (week)	Formation rate ^z (%)		No. of immature rhizomes formation per pod ^y
	Protocorm	Immature rhizome	
0	0.4±0.3 ^w c ^v	1.5±0.5c	0.6-1.3c
2	0.6±0.3c	5.0±1.1c	2.9-5.7c
4	2.2±0.5b	8.7±1.4b	19.0-38.0b
6	2.5±0.6b	9.1±1.2b	22.8-45.7b
8	2.6±0.6b	9.3±1.0b	23.7-47.3b
10	2.6±0.5b	9.5±1.1b	24.9-49.7b
PC ^x	3.1±0.8a	10.1±1.7a	32.0-64.0a

^zSymbiotic fungi: *Mycena* spp. (involved in forming protocorms) and *Armillaria* spp. (involved in forming immature rhizomes), measured size: protocorms more than 1 cm and immature rhizomes more than 5 cm.

^yNo. of seed per a seed capsule: 10,000-20,000.

^xPositive control: *G. elata* harvested in spring.

^wEach values represented mean±standard error (n = 10).

^vMean with the same letter indicate no significant difference according to Duncan's multiple range test at significant level of 5%.

적 요

본 연구는 천마의 종자생산을 위한 수확시기별 처리 방법에 따른 자마 생산 효과를 구명하고자 수행하였다. 봄수확 천마는 괴경의 무게를 60-99 g, 100-139 g, 140-179 g, 180 g 이상으로 처리하였고, 가을수확 천마는 5±1℃의 저온을 2, 4, 6, 8, 10주 처리하였다. 그 결과, 봄수확 천마는 괴경의 무게가 100 g 이상일 경우, 인공수정률이 90.9%-94.8%, 원괴체 형성률이 3.1%-5.4%, 자마 형성률이 10.1%-15.3%로 나타났다. 가을수확 천마는 4주 이상의 저온처리 시 인공수정률이 70.4%-87.6%, 원괴체 형성률이 2.2%-2.6%, 자마 형성률이 8.7%-9.5%로 나타났다. 따라서, 종자 및 자마 생산을 위해서는 봄수확 천마는 100 g 이상의 괴경을 사용해야 하고, 가을수확 천마는 저온에서 4 주 이상의 휴면타파가 필요했다. 가을수확 천마를 이용할 경우 봄수확 천마에 비해 인공수정률, 원괴체 및 자마 형성률이 낮았지만, 자연 발아 상태보다 월등히 높았다. 따라서 일정한 괴경의 무게와 저온처리 휴면타파를 이용하면 천마의 종자와 자마가 확보됨으로써 천마의 연중생산이 가능할 것으로 판단 되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 지역특화작목기술개발사업(PJ011969)

으로 수행된 결과의 일부이므로 연구비 지원에 깊은 감사를 드립니다.

References

- Bae, K.H., M.S. Ko, S.A. Choi, H.B. Lee, N.Y. Kim, J.M. Song and G. Song. 2012. *In vitro* germination of *Gastrodia verrucosa* Blume and *Hetaeria sikokiana* Tuyama treated by NaOCl. J. Plant Biotechnol. 39:163-168 (in Korean).
- Hong, I.P., S.H. Nam, I.Y. Jung, G.B. Sung, H.W. Nam, J.C. Cheong, J.S. Park, H. Hur and M.W. Lee. 2004. Studies on the conditions of seed germination of *Gastrodia elata*. Korean J. Mycol. 32(1):39-44 (in Korean).
- Kang, H.K., S.J. Choi and H.S. Song. 2017. Effect of seed weight on germination and seedling growth of *Quercus glauca* in Jeju. Proceedings of Symposium. April 2017. Korean J. Plant Res. p. 155 (in Korean).
- Kim, C.S., D.W. Kim, H.J. Kim, Y.J. Song and W.H. Lee. 2016. Production of immature rhizomes by breaking dormancy under low temperature of *Gastrodia elata* Blume. J. Natural Prod. Conf. p. 530.
- Kim, C.S., I.Y. Yu, D.W. Kim, J.Y. Kim, J.M. Kim and W.H. Lee. 2017. Effect of yield and quality for cultivation type and mulching materials on *Gastrodia elata* Blume. Korean J. Plant Res. 30(1):78-87 (in Korean).

- Kim, H.T., J.A. Kim and E.J. Park. 2012. Genetic diversity and metabolite analysis of *Gastrodia elata* by Inter-Simple Sequence Repeats (ISSR) markers. Korean J. Medicinal Crop Sci. 20(6):440-446 (in Korean).
- Kim, H.T. and E.J. Park. 2013. Change of major functional components of *Gastrodia elata* Blume with cultivation conditions and harvest times. Korean J. Medicinal Crop Sci. 21(4):282-288 (in Korean).
- Kim, H.T., S.T. Kim, W.Y. Lee and E.J. Park. 2013. Induction and growth of vegetative stems through *in vitro* culture of *Gastrodia elata*. Korean J. Medicinal Crop Sci. 21(2):142-147 (in Korean).
- Kim, J.M., S.S. Lee and W.T. Kim. 1981. Effect of seed size on seeding performance in *Panax ginseng*. Korean J. Ginseng Sci. 5(2):85-91 (in Korean).
- Kim, Y.G., M.G. Kim, S. Yoon and J.S. Hong. 2000. Histological observation on the symbiotic relationships between *Gastrodia elata* and rhizomorph of *Armillaria mellea*. Korean J. Mycol. 28:41-45 (in Korean).
- Kim, Y.I., K.J. Chang, K.H. Ka, H. Hur, I.P. Hong, J.O. Shim, T.S. Lee, J.Y. Lee and M.W. Lee. 2006. Seed germination of *Gastrodia elata* using symbiotic fungi, *Mycena osmundicola*. Mycobiology 34:79-82 (in Korean).
- Lee, H.R., M.H. Han, M.N. Choi, H.S. Lee, S.W. Lee and E.J. Park. 2017. Enhancement of the germination efficiency of *Gastrodia elata* seeds using a new *Mycena* species. J. Plant Biotechnol. 44:56-60 (in Korean).
- Lee, J.Y. 1982. The propagation of *Gastrodia elata* by using rhizomorphs of *Armillariella mella*. Seoul Women's Univ. R.D.R.S. 7:39-45 (in Korean).
- Liu, Z.H., H.T. Hu, G.F. Feng, Z.Y. Zhao and N.Y. Mao. 2005. Protective effects of gastrodin on the cellular model of Alzheimer's disease induced by Abeta 25-35. Sichuan Da Xue Xue Bao. 36:537-540.
- MAFAR. 2017. An actual output of a crop for a special purpose in 2016. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (in Korean).
- Nam, S.Y. and C.H. Soh. 1998. Effect of microtuber size on growth and yield in potatoes. J. Bio-Environ. Cont. 7(1): 107-115 (in Korean).
- Niu Q., P. Niu and S. He. 2004. Effect of *Gastrodia elata* on learning and memory impairment induced by aluminum in rats. J. of Hygiene Res. 33:45-48.
- Noda, N., Y. Kobayashi, K. Miyahara and S. Fukahori. 1995. 2,4-Bis-(4-hydroxybenzyl) phenol from *Gastrodia elata*. Phytochemicals 39:1247-1248.
- Park, E.J. and W.Y. Lee. 2013. *In vitro* symbiotic germination of myco-heterotrophic *Gastrodia elata* by *Mycena* species. Plant Biotechnol. Rep. 7:185-191 (in Korean).
- _____ and J.K. An. 2012. *In vitro* propagation of myco-heterotrophic *Gastrodia elata*. Hort. Environ. Biotechnol. 53(5):415-420 (in Korean).
- _____, J.K. An and S.T. Kim. 2010. Production method in a bottle of none petiolie *Gastrodia elata* by sexual propagation. Kor. Forest Res. Ins. pp. 3-10 (in Korean).
- Seong, K.C., S.O. You, Y.J. Park, I.C. Yu, J.H. Chung, J.H. Bae and S.B. Bang. 1996. Dormancy characteristics of root crown in *Aster scaber*. RDA. J. Agri. Sci. 38:600-615 (in Korean).
- Sha, Z. and W. Sun. 1985. HPLC determination of *Gastrodia* and 4-hydroxybenzyl alcohol in *Gastrodia elata*. Yaowen Fenxi Zashi. 5:218-221.
- Suh, J.T., S.Y. Hong, D.L. Yoo, S.J. Kim, C.W. Nam and S.Y. Ryu. 2006. Effect of low temperature for the breaking dormancy of *Primula sieboldii*, *P. modesta* var. *fauriae* and *Disporum smilacinum*. Korean J. Plant Res. 19(1):45-49 (in Korean).
- Suh, J.T., W.B. Kim, S.Y. Ryu, B.H. Kim and J.K. Kim. 1996. Growth and yield of *Ligularia fischeri* TURCZ. according to low temperature treatment hours and GA₃ foliar spray concentrations under structures during winter season. RDA. J. Agri. Sci. 38:486-472 (in Korean).
- Sung, J.M., B.S. Jung, K.J. Yang, H.K. Lee and T.C. Harrington. 1995. Production of *Gastrodia elata* tuber using *Armillaria* spp. Korean J. Mycol. 23:61-70 (in Korean).
- Taguchi, H., I. Yosioka, K. Yamasaki and I.L. Kim. 1981. Studies on the constituents of *Gastrodia elata* Blume. Chemical Pharmaceutical Bull. 29:55-62.
- Zhou, J., Y.B. Yang and X.Y. Pu. 1980. Phenolic compounds of fresh *Gastrodia elata*. Acta Bota. Yunn. 2:370-372.

(Received 21 March 2018 ; Revised 15 May 2018 ; Accepted 25 May 2018)