

천마 생육단계별 변온에 의한 최적온도 및 재배기간

김창수^{1,2,*} · 김효진¹ · 서상영¹ · 김희준¹ · 이왕휴²¹전라북도농업기술원²전북대학교 농생물학과The optimum temperatures during cultivation period of *Gastrodia elata* according to growth stagesChang-Su Kim^{1,2,*}, Hyo-Jin Kim¹, Sang-Young Seo¹, Hee-Jun Kim¹, and Wang-Hyu Lee²¹Jeollabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54591, Korea²Department of Agricultural Biology, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

ABSTRACT: This study was carried out to investigate the optimum temperature and the cultivation period according to the different growth stages of *Gastrodia elata* (*G. elata*). The growth period for the indoor cultivation of *G. elata* is divided into four stages that require specific temperatures during the enlargement of the tuber. The optimum temperatures and cultivation periods during the growth stages of *G. elata* were observed to be 20°C for 30 days during the mycelial growth stage (MGS), 25°C for 120 days during the tuber formation stage (TFS), 6–24°C for 60 days during the tuber enlargement stage (TES), and 5°C for 30 days during the dormant stage (DS). The total cultivation period was shortened by 120 days in the indoor cultivation facilities by reduction of 30 days from the mycelial growth stage, addition of 30 days to the tuber formation stage, and reduction of 120 days from the dormancy stage as compared to the outdoor field cultivation. These results provide a basis for a growth model that permits year-round cultivation of *G. elata*.

KEYWORDS: Cultivation period, *Gastrodia elata*, Growth stage, Optimum temperature

서 언

천마(天麻, *Gastrodia elata* Blume)는 다년생 난초과 식물로서 잎과 뿌리가 없어서 탄소동화작용 능력이 없으므로 독립적 생육이 불가능하고, 담자균류인 뿔나무버섯균(*Armillaria* spp.)과 공생하는 식물로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2013). 주로 한국, 중국 등 북아시아 지역의 해발이

높은 고산지대 계곡의 숲속에 부식질이 많고, 경사면이 있는 참나무류 군락 속에서 자생하며, 환경은 외기온이 15~18°C 되는 봄철에 일시적으로 지상으로 성장한다(Kim and Park, 2013). 주요 성분으로는 gastrodin, ergothionine, vanillyl alcohol, β -sitosterol, phenolglycoside, palmitic acid, citric acid 등이 있는 것으로 알려져 있다(Bin and Chen, 2004; Hayashi *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2005). Gastrodin은 천마에 독특하게 함유되어 있는 새로운 phenolic glycoside로서 주요 생리활성 물질이고, ergothionine은 버섯의 주요 항산화 물질로 천마에 상당량 함유되어 있음이 밝혀져 있으며, 이 성분들은 천마의 가공방법에 따라 함량의 차이가 있음이 보고된 바 있다(Park *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2011)

천마는 1980년대부터 인공재배법이 연구되었고, 1995년 농촌진흥청에서 천마재배용 뿔나무버섯균인 천마균1호(*Armillaria gallica*)와 1998년 국립산림과학원에서 개발한 홍릉천마균(*Armillaria mellea*)이 보급되어 천마의 인공재배에 의한 대량생산이 가능하게 되었으며(Sung *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2000), 뿔나무버섯균(*A. gallica*)의

J. Mushrooms 2018 June, 16(2):90-95
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2018.16.2.90>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

*Corresponding author
 E-mail : florigen5329@korea.kr
 Tel : +82-63-290-6344

Received April 19, 2018
 Revised June 28, 2018
 Accepted June 29, 2018

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.

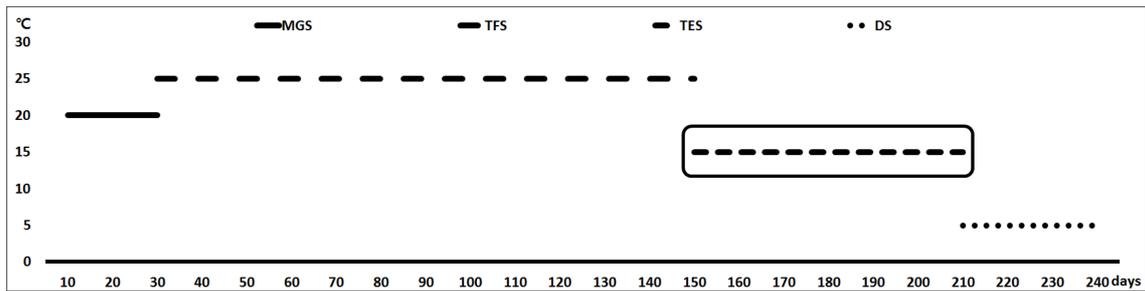


Fig. 1. The setting picture of optimum temperature and cultivation period required during the growth stages of *Gastrodia elata*. MGS; the mycelial growth stage, TFS; the tuber formation stage, TES; the tuber enlargement stage, DS; dormant stage.

새로운 품종을 육성하기 위해 생태학적 서식지 조사와 자실체 조직배양체를 만드는 연구를 하였다(Yoo *et al.*, 2013a, 2013b). 천마는 현재 우리나라에서는 55 ha의 면적에서 525 ton (M/T)이 생산되고 있고, 농가소득으로는 78 억 7,500만원에 해당하는 소득이 높은 작물이다(MAFRA, 2017). 천마재배 시 토양수분함량은 40~50%가 적당하며, 토양수분이 적거나 많으면 생육이 지연되며, 토양의 수분이 65% 이상 지속되면 과습 피해가 발생하며, 35% 이하가 되면 수량감소와 더불어 자마가 시들기 시작해 뿌나무버섯균의 균사속이 형성되지 못한다는 보고가 있다(Kim *et al.*, 2017). 또한 천마의 괴경은 20~29°C에서 생육이 가능하고, 30°C 이상에서 생장이 억제되며, 35°C가 넘으면 사멸하는 것으로 보고 되어있다(Lee *et al.*, 2007). 일반 노지재배 방식과 달리 비가림시설을 이용하면 49%의 증수 효과가 있고(Kim *et al.*, 2017), 해가림 시설재배가 일반 노지재배보다 기능성 물질 함량이 높다는 보고가 있다(Kim and Park, 2013).

기후변화에 따른 폭염, 폭설, 가뭄 그리고 저온 등의 피해로 인해 농작물 재배에 많은 어려움을 가져오며 그에 따라 식품가격의 변동 폭이 급변하여 생산자는 물론이고 소비자 또한 어려움을 겪고 있다(Kim *et al.*, 2004). 이러한 변화로 인해 외부환경 요인에 관계없이 작물을 생산할 수 있는 식물공장이 큰 관심을 받고, 연구되고 있는 추세이다(Kim *et al.*, 2011). 식물공장이란 작물 생육에 영향을 미치는 광, 온·습도, 이산화탄소 농도, 배양액 등의 환경조건을 인위적으로 제어해 계절이나 장소에 관계없이 연중 생산이 가능하며 작물의 수량과 품질을 조절할 수 있는 공장형 식물생산시스템을 뜻한다(Kozai *et al.*, 2015). 최근 컨테이너형 버섯식물공장시스템을 설계하고, LED광을 이용한 표고버섯 생산 연구에 대한 보고가 있다(Jo *et al.*, 2017).

천마는 일반적으로 노지에서는 4월에 정식하고, 그 이듬해 11월에 수확을 하는 작물이다. 정식 후 계절에 따라 무성번식을 하지만 무성번식 과정중의 생육단계는 명확히 밝혀진바 없다. 천마는 우리나라에서 생산량의 70%가 생 천마로 판매되고, 30%가 가공식품으로 소비되거나 짧은 수

확기간으로 인한 홍수출하로 가격이 하락되는 경향이 있고, 생리특성상 장기저장이 어려워 생천마 공급에 큰 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구는 식물공장형 실내버섯재배 시설에서 생육모델 구축에 의한 연중생산을 위한 기초연구로서 천마의 생육단계를 구분하고, 각 단계별로 변온을 처리하여 최적온도 및 배양기간을 구명하고자 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

천마 생육단계별 온도 및 재배기간 설정

본 연구는 온도와 배양토 수분함량을 인위적으로 조절할 수 있는 밀폐된 재배시설(가로 4.8 m×세로 7.5 m×높이 5.5 m) 내에서 실시하였다. 천마 정식을 위해 가로 44 cm×세로 32 cm×높이 18 cm 크기(약 25 L)의 상자에 직경 30 mm의 배수구멍을 5개 뚫어 사용하였다. 재배원목은 전년도 11~12월에 별목한 참나무류를 음지에서 60~90일간 건조 후 직경 10~12 cm, 길이 20 cm로 절단하여 한 상자 당 2개를 사용하였다. 재배종균은 충청북도 옥천군에 소재한 J연구소에서 배양한 뿌나무버섯균(*A. galica*)을 한 병당(1 L) 8조각으로 절단하여 한 상자 당 4조각을 사용하였다. 배양토는 피트모스와 펄라이트를 7:3(v/v) 비율로 섞어 사용하였다. 정식 순서는 상자 바닥에 배양토 10 cm를 깔고, 원목 배열, 중균 접종, 종마 이식을 한 뒤, 다시 배양토 10 cm를 복토하였다. 복토 후 포화관수를 한 다음 배양토 수분관리는 괴경형성기에는 -30 kPa, 괴경비대기에는 -50 kPa로 유지하였다. 천마의 생육단계는 균사확장기, 괴경형성기, 괴경비대기, 휴면기로 나누었으며, 재배온도는 균사확장기 20±1°C, 괴경형성기 25±1°C, 괴경비대기 15±1°C, 휴면기 5±1°C로 설정하였고(Fig. 1), 재배기간은 괴경형성기+괴경비대기를 기준으로 총 180일로 설정하였으며, 각각 30일+150일, 60일+120일, 90일+90일, 120일+60일, 150일+90일, 180일+0일로 처리하였다.

천마 괴경비대기의 변온처리

선행 연구에서 괴경형성기+괴경비대기를 120일+60일

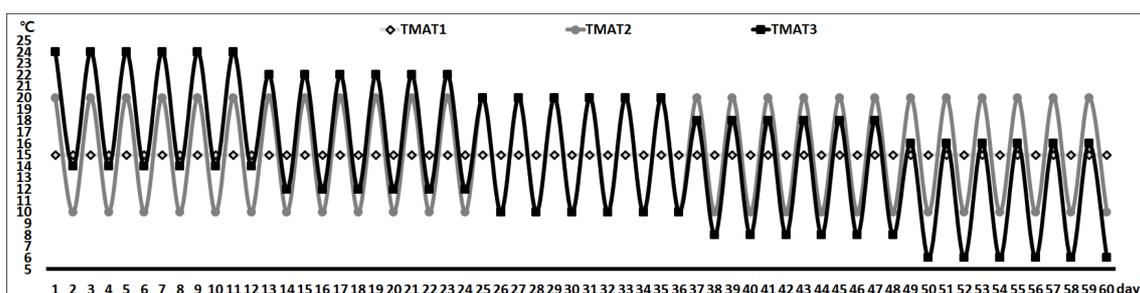


Fig. 2. Treatment methods of alternating temperature change for the tuber enlargement stage of *Gastrodia elata*. TMAT1; control, 15±1°C (1 day)×60times, TMAT2; {20±1°C (1 day)~10±1°C (1 day)}×30times, TMAT3; [{24±1°C (1 day)~14±1°C (1 day)}×6times]~[{22±1°C (1 day)~12±1°C (1 day)}×6times]~[{20±1°C (1 day)~10±1°C (1 day)}×6times]~[{18±1°C (1 day)~8±1°C (1 day)}×6times]~[{16±1°C (1 day)~6±1°C (1 day)}×6times].

Table 1. Comparison of yield by the treatment temperature and cultivation period in indoor facilities cultivation of *Gastrodia elata*

TFS+TES ^z (days)	EAT ^y (°C)	Mature rhizome		Immature rhizome		Total weight (g/box)	Yield index (%)
		weight (g)	ratio (%)	weight (g)	STR ^x (%)		
30+150	1,500	53c ^w	15	299c	44c	352d	100
60+120	1,800	107c	18	487ab	64ab	593bc	169
90+90	2,100	296a	31	659a	72a	955a	272
120+60	2,400	338a	34	656a	74a	993a	282
150+30	2,700	185b	23	619a	60b	803ab	228
180+0	3,000	65c	17	317bc	48c	382cd	109

^zTFS+TES: tuber formation stage (days, 25±1°C)+tuber enlargement stage (days, 15±1°C).

^yEAT (effective accumulated temperature) = (v₀-v₁)t (v₀: average temperature of growing period, v₁: minimum growth temperature, t: elapsed days).

^xSeed tuber ratio (%): immature rhizomes with a weight of 10 g or more.

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

로 설정 시 수량이 가장 많았고, 성마 및 종마 비율이 높았기 때문에 본 연구에서는 괴경비대기 배양기간을 60일로 설정하였고, 변온처리를 Fig. 2와 같이 하였다. TMAT1은 대조구로 변온처리 없이 15±1°C 조건으로 60일간 처리하였고, TMAT2는 20±1°C (30일) 및 10±1°C (30일)를 1일씩 60일간 교호처리 하였으며, TMAT3은 24±1°C (6일) 및 14±1°C (6일), 22±1°C (6일) 및 12±1°C (6일), 20±1°C (6일) 및 10±1°C (6일), 18±1°C (6일) 및 8±1°C (6일), 16±1°C (6일) 및 6±1°C (6일)을 단계별 높은 온도에서 낮은 온도 순서대로 1일씩 60일간 교호처리 하였다.

수량 조사

천마의 수량 조사를 위해 화아(花芽)가 형성된 것을 성마(成麻), 화아가 형성되지 않은 것을 자마(子麻), 자마 중 무게가 10 g 이상인 것을 종마(種麻)로 구분하였다.

통계분석

모든 실험은 6반복으로 실시하였고, 데이터 처리는 SAS 9.2 (Statistical Analysis Systems, Inc, Raleigh, Nc,

USD) 통계 프로그램으로 분석하였으며, p<0.05의 조건에서 Duncan's Multiple Range Test (DMRT)로 유의적 차이를 표기하였다.

결과 및 고찰

천마 생육단계별 온도 및 배양기간 설정

천마의 생육단계 중 괴경형성기와 괴경비대기의 배양기간을 달리하여 처리한 결과, 유효적산온도는 괴경형성기에서 괴경비대기까지 30일+150일 처리구에서 1,500°C, 60일+120일 처리구에서 1,800°C, 90일+90일 처리구에서 2,100°C, 120일+60일 처리구에서 2,400°C, 150일+30일 처리구에서 2,700°C, 180일+0일 처리구에서 3,000°C로 나타났으며, 괴경비대기간이 30일씩 증가할수록 유효적산온도가 300°C씩 증가하였다. 상자당 천마 수량은 괴경형성기+괴경비대기가 30일+150일 처리구에서 352 g, 60일+120일 처리구에서 593 g, 90일+90일 처리구에서 955 g, 120일+60일 처리구에서 993 g, 150일+30일 처리구에서 803 g, 180일+0일 처리구에서 382 g으로, 배양기간 처리

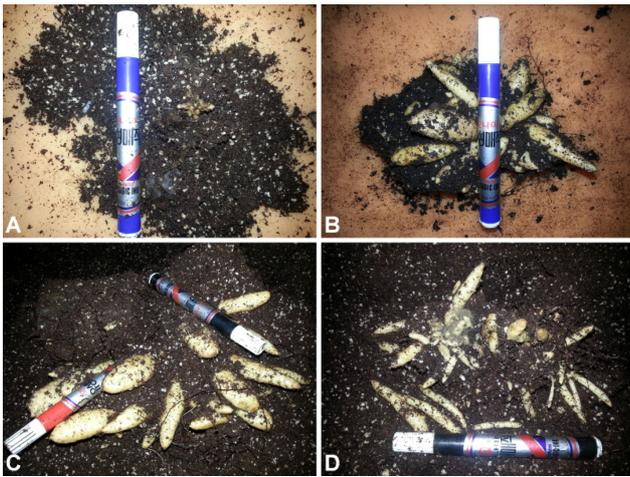


Fig. 3. Growth stages in indoor facilities cultivation of *Gastrodia elata*. A; Failure of symbiosis between *Gastrodia elata* and mycelium of *Armillaria galica*, B; TFS+TES (30 days+150 days), C; TFS+TES (120 days+60 days), D; TFS+TES (180 days+0).

간의 유의적인 차이를 보였다. 성마율은 괴경형성기+괴경비대기별 각각 15, 18, 31, 34, 23, 17%이었고, 종마율은 괴경형성기+괴경비대기별 각각 44, 64, 72, 74, 60, 48%로 나타났다. 괴경형성기+괴경비대기 90일+90일 처리구와 120일+60일 처리구는 다른 처리구에 비해 전체수량, 성마율, 종마율 등이 유의성 있게 우수하였다(Table 1). Fig. 3에서 보면 일반적으로 자마가 성장균인 썩나무버섯균과 공생관계를 형성하지 못하면 자가 영양분만 소진하다 괴경을 형성하지 못하였다(A). 괴경형성기+괴경비대기 30일+150일 처리구는 자마의 직경은 굵었으나, 길이가 짧았고(B), 120일+60일 처리구는 자마의 굵기와 길이가 양호하였고, 종마율도 높았으며(C), 180일+0일 처리구는 자마의 길이는 다른 처리구보다 길었으나, 굵기는 매우 가늘었다(D). 과채류 시설재배 연구에 따르면, 시설참외 재배 시 생육단계별 적정 지온은 활착기 23°C, 신장기 20°C, 비대기 17°C, 성숙기 무가온으로 관리하는 것이 적당하다

고 보고된 바 있고(Shin, 2000), 시설오이를 재배할 경우 활착기 22.5°C, 생육초기 20°C, 생육중기 18°C, 생육후기 자연지온구가 관행구에 비해 79% 증수효과가 있다고 보고된바 있다(Lee et al., 1996). 이처럼 일반작물인 참외나 오이를 시설재배에서 생육단계별 변온으로 관리함으로써 관행 처리구에 비해 증수효과가 있는 것으로 보아 천마도 생육단계에 요구되는 적정온도 및 기간을 설정할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한, 본 연구결과에서 괴경형성기는 25±1°C에서 90~120일, 괴경비대기는 15±1°C에서 60~90일로 처리하면 좋을 것으로 판단되나, 괴경비대기가 길어지면 실내시설 냉난방기의 전기료나 관리비가 많아질 것으로 생각되어 괴경비대기는 60일이 적합할 것으로 판단되었다.

천마 괴경비대기의 변온처리 효과

천마 괴경비대기를 변온처리 방법에 따라 60일간 처리한 결과, 유효적산온도는 TMat1에서 2,400°C, TMat2에서 2,400°C, TMat3에서 2,436°C로 처리간에 큰 차이는 없었으나, TMat3에서 36°C 많았다. 상자당 천마 수량은 TMat1에서 1,068 g, TMat2에서 1,132 g, TMat3에서 1,212 g으로 변온처리방법간에 유의적인 차이를 보였다. 성마율은 변온처리방법별 각각 35, 38, 43% 이었고, 종마율은 변온처리방법별 각각 75, 78, 85%로 나타나서 TMat3 처리구는 다른 처리구에 비해 전체수량, 성마율, 종마율 등이 유의적으로 우수하였다(Table 2). 일반적으로 천마 노지재배는 4월에 정식을 함으로써 군사활착은 지온이 10~20°C에 해당되는 5~6월간 60일 정도, 괴경형성은 20~29°C에 해당되는 7~9월간 3개월 정도, 괴경비대는 10~20°C에 해당되는 10~11월간 60일 정도 소요되고, 10°C 이하에 해당되는 12월~익년 4월간 150일 정도 휴면을 하고 있다. 본 연구 결과, 실내시설재배에서 군사활착기는 20°C에서 30일, 괴경형성기는 25°C에서 120일, 괴경비대기는 6~24°C에서 60일, 휴면기는 5°C에서 30일로, 총 배양기간 240일을 설정하였다. 따라서 실내시설재배에서는 노지재배보다 군사활착기는 30일 단축하였고, 괴경

Table 2. Comparison of yield according to the treatment methods of alternating temperature for the tuber enlargement stage of *Gastrodia elata*

TMAT ^z	EAT ^y (°C)	Mature rhizome		Immature rhizome		Total weight (g/box)	Yield index (%)
		weight (g)	ratio (%)	weight (g)	STR ^x (%)		
TMAT1	2,400	374b ^w	35	694a	75	1,068b	100
TMAT2	2,400	430ab	38	702a	78	1,132ab	106
TMAT3	2,436	521a	43	691a	85	1,212a	113

^zTMAT (treatment methods of alternating temperature for the tuber enlargement stage): TMAT1 (control); 15±1°C (1 day)×60times, TMAT2; {20±1°C (1 day)~10±1°C (1 day)}×30times, TMAT3; [{24±1°C (1 day)~14±1°C (1 day)}×6times]~[{22±1°C (1 day)~12±1°C (1 day)}×6times]~[{20±1°C (1 day)~10±1°C (1 day)}×6times]~[{18±1°C (1 day)~8±1°C (1 day)}×6times]~[{16±1°C (1 day)~6±1°C (1 day)}×6times].

^yEAT (effective accumulated temperature) = (v₀-v₁)t (v₀: average temperature of growing period, v₁: minimum growth temperature, t: elapsed days).

^xSeed tuber ratio (%): the ratio of immature rhizomes with a weight of 10 g or more.

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

Cultivation method ^z	MGS ^y		TFS		TES		DS	
	CT ^x (°C)	CP ^w (days)	CT (°C)	CP (days)	CT (°C)	CP (days)	CT (°C)	CP (days)
OFC	10~20	60	20~29	90	10~20	60	1~10	150
IFC	20±1	30	25±1	120	6~24±1	60	5±1	30

Fig. 4. Comparison of cultivation temperature and cultivation period by cultivation methods of *Gastrodia elata*. ^zCultivation method: OFC (outdoor field cultivation), IFC (indoor facilities cultivation). ^yGrowth stages: MGS (the mycelial growth stage), TFS (the tuber formation stage), TES (the tuber enlargement stage), DS (dormant stage). ^xCT: cultivation temperature. ^wCP: cultivation period.

형성기는 30일 연장하였으며, 휴면기는 120일 단축시킴으로써, 전체 배양기간을 약 120일 정도 단축시켰다(Fig. 4). Kim *et al.* (2016)의 연구에 의하면 천마의 휴면타과를 위해 5°C에서 4주 이상 저온처리하면 출현율, 유효 개화수, 유효 꼬투리수, 인공수정률, 원괴체 및 자마 형성률이 높아진다고 보고하였는데, 본 연구 결과, 연중생산을 위해서는 실내시설재배에서 휴면 기간은 1개월 이상 연장할 필요가 없다고 생각되었다. 생강 조직배양묘의 괴경비대에 관여하는 환경인자 탐색에 관한 연구에서 50% 차광 조건, 일장 1일 16/8시간 처리 시 괴경발달과 광합성능에 효과적이었고, 토양수분은 0.3 bar에서 양호한 성장을 보였으며, 온도는 생육기간 중에 20/12°C에서 35/27°C까지 주야간 5°C 간격으로 높이면서 변온처리하였을 경우, 생육반응이 초기부터 나타나기 시작하였고, 특히 30/22°C에서 다른 온도에 비하여 괴경발달과 광합성능이 월등히 높다는 결과가 보고된 바 있다(Hyun *et al.* 1997). 밤·낮의 변온처리가 수미품종 감자의 기내 소괴경형성에 미치는 영향을 연구한 결과, 낮에는 23°C, 밤에는 17°C로 처리하였을 경우, 17°C 항온처리보다 소괴경 형성유도가 빨랐고, 소괴경 수량이 증가하였다고 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 1992). 따라서, 주야간 변온처리가 생강과 감자의 괴경발달에 효과가 있는 것처럼 천마의 괴경비대 시기에도 비슷한 결과를 보였다. 따라서, 본 연구결과, 천마의 실내시설재배에서는 생육단계의 최적온도와 배양기간을 설정하고, 괴경비대기의 변온처리 및 휴면기의 저온처리에 의한 휴면타과 효과를 구명함으로써 연중생산이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나, 천마 재배 시 밀폐된 시설에서 온도 조건 외에 수분, CO₂ 등 다른 환경 조건도 매우 중요한 요인이므로 연구가 추가되어야 할 것으로 생각되었다.

적 요

본 연구는 실내시설재배에서 천마의 생육단계를 균사활착기, 괴경형성기, 괴경비대기, 휴면기로 구분하고, 최적 온도 및 배양기간을 설정하였으며, 괴경비대기에 변온처리를 하였다. 천마의 균사활착기는 20°C에서 30일, 괴경형성기는 25°C에서 120일, 괴경비대기는 6~24°C에서 60일, 휴면기는 5°C에서 30일로 처리하여 총 배양기간은

240일로 설정하였다. 실내시설재배는 노지재배보다 균사 활착기는 30일 단축되었고, 괴경형성기는 30일 연장되었으며, 휴면기는 120일 단축됨으로써, 전체 재배기간이 약 120일 단축되었다. 따라서, 본 연구 결과, 밀폐된 실내시설재배에서 온도 조건을 제어하면 천마를 연중생산 할 수 있는 생육모델의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되었다.

REFERENCES

Bin H, Chen F. 2004. Preparative isolation and purification of gastrodin from the Chinese medicinal plant *Gastrodia elata* by high-speed counter current chromatography. *J Chromatography A*. 1052:229-232.

Choi SR, Jang I, Kim CS, You DH, Kim JY, Kim YG, Ahn YS, Kim JM, Kim YS, Seo KW. 2011. Changes of components and quality in *Gastrodiae rhizoma* by different dry methods. *J Med Crop Sci*. 19:354-361.

Hayashi J, Sekine T, Deguchi S, Lin Q, Horie S, Tsuchiya S, Yano S, Watanabe K, Ikegami F. 2002. Phenolic compounds from *Gastrodia rhizome* and relaxant effects of related compounds on isolated smooth muscle preparation. *Phytochemistry* 59:513-519.

Hyun YD, Cho SK, Roh KH, Kim KY, Choi IL, Kim SD, Park MS. 1997. Search for environmental factor related to the increasing rhizome induced by tissue culture in *Zingiber officinale* Rose. *J Kor Soc Hort Sci*. 15:619-620.

Jo YS, Lee SH, Park WR, Shin SH, Park CM, Oh JH, Park HW. 2017. Study on ICT convergence in *Lentinula edodes* (Shiitake) cultivation system using automated container. *J Mushrooms* 15:264-268(in Korean).

Kim CS, Kim DW, Kim HJ, Song YJ, Lee WH. 2016. Production of immature rhizomes by breaking dormancy under low temperature of *Gastrodia elata* Blume. pp.530. Abstr. Meet. *J Natural Prod conferen*.

Kim CS, Yu IY, Kim DW, Kim JY, Kim JM, Lee WH. 2017. Effect of yield and quality for cultivation type and mulching materials on *Gastrodia elata* Blume. *Kor J Plant Res*. 30:78-87.

Kim HS, Jeon JH, Park SW, Joung H. 1992. Effects of alternating temperature on microtuberization of potato. *J Kor Soc Hort Sci*. 33:432-437.

Kim HT, Kim ST, Lee WY, Park EJ. 2013. Induction and growth of vegetative stems through *in vitro* culture of *Gastrodia elata*. *Kor J Med Crop Sci*. 21:142-147.

- Kim HT, Park EJ. 2013. Change of major functional components of *Gastrodia elata* Blume with cultivation conditions and harvest times. *Kor J Med* 21:282-288.
- Kim KS, Kim MK, Nam SW. 2004. Optimization of growth environment in the enclosed plant production system using photosynthesis efficiency model. *J Bio-Environ Cont.* 13:209-216.
- Kim YG, Kim MG, Yoon S, Hong JS. 2000. Histological observation on the symbiotic relationships between *Gastrodia elata* and rhizomorph of *Armillaria mellea*. *Kor J Mycol.* 28:41-45(in Korean)
- Kim YH, Kim DE, Lee GI, Kang DH, Lee HJ. 2011. Current status and development direction of the domestic and overseas for the artificial plant factory. *Kor J Hort Sci Technol.* 11:37-37.
- Kozai T, Niu G, Takagaki M. Plant factory. 2015. *Elsevier Sci.* pp. 3-5.
- Lee BY, Choi HS, Hwang JB. 2002. Analysis of food components of *Gastrodiae rhizoma* and changes in several characteristics at the various drying conditions. *Kor J Food Sci Tec.* 34:37-42.
- Lee JW, Lee EH, Kwon JS, Lee SY. 1996. Effects of different soil warming by growing stage on the growth and yield of greenhouse-grown cucumber (*Cucumis sativus* L.). *J Kor Soc Hort Sci Horti Abst.* 14:296-297.
- Lee MU, Lee JY, Lee TS, Hong IP, Ga KH, Jang KJ. 2007. Characteristics of important medicinal plant and new cultivation technology. Dongguk Univ. pp. 32-118, Seoul, Korea.
- Liu ZH, Hu HT, Feng GF, Zhao ZY, Mao NY. 2005. Protective effects of gatrodin 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. Korea.
- Park EJ, Lee WY, Kim ST, Ahn JK and Bae EK. 2010. Ergothioneine accumulation in a medicinal plant *Gastrodia elata*. *J Med Plant Res.* 4:1141-1147.
- Shin YS. 2000. Effect of different soil warming for each growing stage on growth and yield of Oriental melon. *Kor Res Soc Protect Hort.* 13:64-73.
- Sung JM, Jung BS, Yang KJ, Lee HK, Harrington T.C. 1995. Production of *Gastrodia elata* tuber using *Armillaria* spp. *Kor. J. Mycol.* 23:61-70.
- Yoo YB, Oh JA, Oh YL, Moon JW, Shin PG, Jang KY, Kong WS. 2013a. Investigation on ecological habitats in *Armillaria gallica* mushrooms. *J Mushrooms* 11:36-40(in Korean).
- Yoo YB, Oh JA, Oh YL, Moon JW, Shin PG, Jang KY, Kong WS. 2013b. Characterization of cultures isolated from fruiting body tissue in *Armillaria gallica*. *J Mushrooms* 11:63-68(in Korean).