



## 일당귀의 등숙에 따른 종자 발아 및 생육 특성

이은송\* · 안태진\* · 김용일\* · 박우태\* · 이정훈\* · 김영국\* · 장재기\* · 오명민\*\*†

\*농촌진흥청 국립원예특작과학원 인삼특작부 약용작물과, \*\*충북대학교 원예과학과

### Seed Germination Rate and Growth Characteristics according to Ripening Stages in *Angelica acutiloba* Kitagawa

Eun Song Lee\*, Tae Jin An\*, Yong Il Kim\*, Woo Tae Park\*, Jeong Hoon Lee\*,  
Young Guk Kim\*, Jae Ki Chang\* and Myung Min Oh\*\*†

\*Department of Herb Crop Resources, NIHHS, RDA, Emseong 27709, Korea.

\*\*Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea.

#### ABSTRACT

**Background:** *Angelica acutiloba* Kitagawa belongs to the flowering plant family Apiaceae. Its young leaves are consumed as a vegetable, and its roots have medicinal properties. This study was conducted to analyze the seed germination characteristics of *A. acutiloba* according to its ripening stages.

**Methods and Results:** The seeds were harvested from a research farm managed by the Department of Herbal Crop Research, Rural Development Administration in 2018 and were divided into six groups according to their specific gravities. In particular, we studied the effect of harvesting periods and umbel orders on seed characteristics. The results showed that the rates of germination, emergence, and early growth improved as the specific gravity of the seeds increased. In addition, the germination rates of the seeds harvested in mid July and early August were significantly higher than those harvested in the other seasons, and the seeds obtained from the first floret had the greatest mass and weight.

**Conclusions:** In this study, we demonstrated that it is possible to improve the germination rate by appropriate selection of seeds and harvesting period both of which are closely related to seed maturity.

**Key Words:** *Angelica acutiloba* Kitagawa, Ripening Stages, Seed Germination, Seed Harvesting Day, Umbel Orders

#### 서 언

약용작물 당귀는 일당귀 (*Angelica acutiloba* Kitagawa), 참당귀 (*Angelica gigas* Nakai), 중국당귀 [*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels] 세 종류로 구분되며, 우리나라에서 주로 재배되는 것은 참당귀와 일당귀이다. 일당귀는 2017년 기준으로 전국 농가 329 호에서 총 95 ha가 재배되었으며 총 생산량은 622 톤에 달하였다 (MAFRA, 2017). 일당귀 (*Angelica acutiloba* Kitagawa)는 대한민국약전외한약 (생약)규격집에 수록되어 뿌리를 약용으로 이용할 수 있을뿐만 아니라 어린 잎은 식품으로 등록이 되어 있다. 상추에 비하여 일당귀 잎은

칼슘과 인 및 비타민 C의 함량이 높아 영양 성분이 우수하여 채소적 가치가 높으며 (Kim *et al.*, 2009), 보혈작용 (Kim *et al.*, 2011), 항균활성 (Yun *et al.*, 2004), 돌연변이 억제 및 암세포 억제 효과 (Kim *et al.*, 2006b) 등이 보고되어 약용작물로서의 활용도 또한 높다 할 수 있다.

그러나 일당귀 종자는 발아율이 낮고 발아 소요 일수가 길며 균일하게 발아되지 않는데 (Moon *et al.*, 2003), 이러한 점은 일당귀 대량 생산 시 주요 제한 요인으로 작용한다. 또한 일당귀를 포함한 산형과 작물은 종자에 배 (胚)가 없거나 배 발달이 미숙한 상태로 탈립이 발생하며, 배유가 먼저 발달하고 이후에 배가 발달하는 특성으로 인하여 같은 화서 내에

†Corresponding author: (Phone) +82-43-261-2530 (E-mail) moh@cbnu.ac.kr

Received 2019 March 19 / 1st Revised 2019 May 15 / 2nd Revised 2019 May 28 / 3rd Revised 2019 June 4 / Accepted 2019 June 5

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.

있는 종자의 발달 단계가 서로 다른 특성을 가진다 (Dean *et al.*, 1989).

본 실험에서는 채종시기와 성숙도에 따른 일당귀 종자의 발아율을 알아보고 일당귀 종자의 발아율이 낮은 원인을 알아보고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시험 재료

본 연구의 재료는 충청북도 음성군에 소재한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 약용작물과 시험포장에서 2018년에 채종한 일당귀 (*Angelica acutiloba* Kitagawa) 종자를 이용하였다. 종자는 전라남도 장성군의 일당귀 농가에서 2016년에 채종한 종자를 구하여 -13°C의 저온저장고에 보관하였다가 2017년 2월 온실에서 육묘한 후 5월 초 시험포장에 정식하여 그 해 영양생장을 마치고, 이듬해인 2018년 5월부터 개화·결실한 개체에서 7-8월에 걸쳐 채종하였다.

### 2. 비중에 따른 종자 분류

건조된 일당귀 종자를 비중 1.12로 맞추어진 NaCl 수용액에 3분간 저어주면서 물에 뜬 종자 층과 가라앉은 종자 층을 분리시켰다. 물에 가라앉은 종자들은 specific gravity (SG) > 1.12의 구간에 해당되었다. 가라앉은 종자 층은 순차적으로 1.09, 1.06, 1.03, 1.00 비중의 NaCl 수용액에 넣어 3분간 저어주면서 해당하는 비중에서 물에 뜨는 종자와 가라앉은 종자를 구분하여 일당귀 종자를 6 구간의 비중 (SG < 1, 1.00 - 1.03, 1.03 - 1.06, 1.06 - 1.09, 1.09 - 1.12, 그리고 SG > 1.12)으로 분류한 후 종자에 묻어있는 NaCl을 증류수로 씻어 준 후에 시험에 사용하였다.

### 3. 발아 및 출아 시험

발아시험은 90 × 15 mm 페트리디시 (SPL, Pocheon, Korea)에 2장의 여과지 (Whatman Co., Buckinghamshire, England)를 깔고 멸균증류수를 5ml 씩 적신 다음 비중별 6 구간 처리 당 50립의 종자를 4반복으로 치상하여 발아율을 조사하였다. 마찬가지로 종자의 출아율을 보기 위하여 2.5cm 셀 트레이에 원예용 범용상토 (Baroker, Seoul Bio Co., Ltd., Seoul, Korea)를 담고 비중 처리 당 50립 4반복으로 파종한 후 100일 간 비닐하우스에서 재배하였다.

발아는 유근이 종피를 뚫고 2mm 이상 나온 것을, 출아는 유아가 상토 위로 나타난 것을 기준으로 매일 계산하였다. 페트리디시는 셀로판테잎으로 밀봉하여 20°C 생장상 (Multi-Room Incubator, Vision Scientific Ltd., Bucheon, Korea)에서 12시간 광 / 12시간 암 조건으로 설정하였다. 100일 간 20 ± 5°C 온실에서 키운 후 각 비중 구간별 출아한 건전한 묘

30개체는 초장 (cm), 엽장 (cm), 근경 (mm)을 측정하는데 사용하였다.

### 4. 채종 시기 및 화서별 종자 특성

채종시기별 종자의 특성을 조사하기 위하여 개화 후 50일 경인 7월 상순부터 개화 후 80일 경인 8월 상순까지 열흘 간격으로 채종한 일당귀 종자의 길이, 너비, 무게 및 발아율을 알아보았다. 종자 길이와 너비 측정은 10립씩 3반복 실시하였고 무게 측정은 채종시기별 1,000립 3반복으로 조사하였고, 발아율은 50립 4반복으로 하여 20°C 생장상 (Multi-Room Incubator, Vision Scientific Ltd., Bucheon, Korea)에서 12시간 광 / 12시간 암 조건에서 매일 실시하였으며 광학현미경 (Leica S8AP0, Wetzlar, Germany)을 이용하여 종자의 발달 단계에 따른 형태 변화를 관찰하였다.

종자 채종 후 저온 처리에 따른 발아율의 차이를 보기 위하여 7월 중순에 채종한 종자를 70일간 상온 보관한 종자와 10일 상온 보관 후 60일간 저온 (4°C) 보관한 종자의 발아율을 조사하였다.

또한 일당귀의 꽃이 달리는 화서별 종자의 특성을 조사하기 위하여 7월 중하순에 꽃이 달린 위치대로 첫 번째, 두 번째, 세 번째 그리고 네 번째 화서로 분류하였고, 각 위치별 종자를 채종하여 2주간 상온에서 건조시킨 뒤 60일간 저온 (4°C) 저장하였고 조사항목은 위와 동일하였으며 종자 무게는 화서별 100립씩 3반복으로 조사하였다.

### 5. 통계 분석

통계분석은 SAS Enterprise 4.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 프로그램을 사용하여 일원분산분석 (One-way analysis of variance)을 하였으며 Duncan's Multiple Range Test (DMRT,  $p < 0.05$ ) 및  $t$ -test ( $p < 0.01$ )를 이용하여 처리 간 평균값의 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 종자 형태적 특성

일당귀 (*Angelica acutiloba* Kitagawa)는 흰색의 작은 꽃들이 모여 산형화서 (우산모양꽃차례)를 이루고 있으며 (Fig. 1A), 수술이 암술보다 먼저 출현하는 웅예선숙(雄藥先熟) 식물이다 (Fig. 1B, C). 하나의 종자는 2개의 자방으로 이루어져 있으며 (Fig. 1D, E), 다 익은 종자는 분과로서 둘로 나뉘게 되며 자연스럽게 식물체로부터 탈립되어 땅에 떨어지게 된다. 일당귀 종자는 앞뒷면의 형태가 서로 다르며 (Fig. 1F, G, H), 분류학상 열매에 속하고 열매가 열개하여 성숙한 종자는 편평한 긴 타원형 (oval)으로 길이는  $5.04 \pm 0.53$  mm, 너비는  $1.79 \pm 0.27$  mm 및 천립중은  $2.64 \pm 0.09$  g으로 측정되었다



Fig. 1. Seed development process of *Angelica acutiloba* Kitagawa. Scale bar; 1,000  $\mu$ m.

Table 1. Germination rate and early growth characteristics according to specific gravity of *Angelica acutiloba* Kitagawa.

Specific gravity (SG)	Germination rate <sup>1)</sup> (%)	Emergence rate <sup>1)</sup> (%)	Shoot length (cm)	Leaf length (cm)	Root diameter (mm)
< 1	19.50±0.00 <sup>c</sup>	29.50±0.10 <sup>c</sup>	8.18±1.17 <sup>c</sup>	2.61±0.42 <sup>b</sup>	1.32±0.39 <sup>b</sup>
1.00 - 1.03	82.00±0.00 <sup>b</sup>	76.00±0.10 <sup>b</sup>	11.19±1.02 <sup>a</sup>	3.21±0.45 <sup>a</sup>	1.91±0.32 <sup>a</sup>
1.03 - 1.06	97.50±0.00 <sup>a</sup>	89.50±0.10 <sup>a</sup>	10.20±2.72 <sup>b</sup>	2.92±0.31 <sup>a</sup>	1.78±0.35 <sup>a</sup>
1.06 - 1.09	98.50±0.00 <sup>a</sup>	95.00±0.10 <sup>a</sup>	11.39±1.01 <sup>a</sup>	3.11±0.36 <sup>a</sup>	1.96±0.32 <sup>a</sup>
1.09 - 1.12	99.50±0.00 <sup>a</sup>	94.00±0.00 <sup>a</sup>	11.48±1.11 <sup>a</sup>	3.09±0.28 <sup>a</sup>	1.90±0.44 <sup>a</sup>
> 1.12	98.00±0.00 <sup>a</sup>	95.50±0.00 <sup>a</sup>	11.31±1.20 <sup>a</sup>	3.15±0.48 <sup>a</sup>	1.90±0.42 <sup>a</sup>

Means values  $\pm$  SD from triplicate separated experiments are shown (n = 30). \* Means with different letters of the same column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). <sup>1)</sup>Germination rate and emergence rate (%) was expressed quadruplicate separated experiments.

(Table 2).

## 2. 비중에 따른 종자 발아, 출아 및 초기생장

페트리디시를 이용한 기내실험에서는 specific gravity (SG)  $\geq 1.03$ 인 처리구가 발아율 97.5% 이상으로 나머지 SG < 1 (19.5%), 1 - 1.03 (82.0%) 처리구에 비하여 유의적으로 높았다 (Table 1). 셀 트레이를 이용한 기외실험에서도 마찬가지로 SG  $\geq 1.03$ 인 처리구에서 출아율 89.5% 이상으로 나머지 SG < 1 (29.5%), 1 - 1.03 (76.0%) 처리구에 비하여 유의적으로 높았기 때문에 발아율과 출아율 모두 비중이 증가할수록, 즉 충실한 종자일수록 값이 높아지는 경향을 보였다 (Table 1).

기외실험의 출아율 결과는 기내실험 발아율 결과와 전반적으로 유사하였으며 (Table 1), 이는 실제 노지에 일당귀 파종 시 실내 실험에서와 비슷한 결과를 예상할 수 있음을 의미한다. 따라서 종자 정선 과정 없이 다양한 비중의 종자들이 섞여 있을 경우 발아율의 감소가 발생할 수 있으므로, 종자를 물에 담갔을 때 뜨는 종자를 제거하는 간단한 정선 과정을 통해서 발아율을 높일 수 있는 것으로 사료된다.

일당귀는 종자로 번식하고 타식성작물에 속하며 암술과 수술의 성숙기가 다른 특성을 가진다 (Kim *et al.*, 2006a). 이

러한 타식성작물을 자식하거나 근친교배 (형매교배)하면 열성 형질의 노출로 인해 자식약세효과가 나타나 배의 발달, 종자 발아, 유묘의 생존 등에 부정적인 영향을 미치게 된다 (Moran and Brown, 1980). 또한 일당귀는 분류상 산형과 작물로 종자에 배 (胚)가 없거나 배의 발달이 미숙한 상태에서 식물체로부터 탈립이 발생하며, 배유가 먼저 발달하고 이후에 배가 발달하는 특성으로 인하여 같은 화서 내에 있는 종자의 발달 상태가 각기 다를 수 있다 (Dean *et al.*, 1989). 일당귀와 같은 산형과에 속하는 다른 약용작물인 시호 (*Bupleurum falcatum* L.)를 대상으로 종자 비중에 따른 발아특성을 본 선행 연구결과를 보면, 시호 종자의 비중이 클수록 발아율이 높아지는 경향을 보여 (Choi *et al.*, 1998), 본 실험 결과와 일치하였다.

일당귀 종자의 비중별 초기 생장조사에서 초장은 비중이 큰 처리에서 유의적으로 높았으며, 비중이 1 보다 작은 처리에서는 유의적으로 낮았으며, 비중이 1 보다 작은 구간에서는 다른 처리구에 비해 약 2 cm 이상 작아 외관상 뚜렷한 차이를 나타냈다. 엽장은 비중이 1 이상인 모든 처리구에서 2.92±0.31 cm 이상으로 비중이 1보다 작은 처리구보다 유의적으로 높았으며, 지하부의 근경에서도 마찬가지로 비중이 1

이상인 모든 처리구에서  $1.78 \pm 0.35$  mm 이상으로 비중이 1 보다 작은 처리구보다 유의적으로 값이 높았다.

일당귀 종자의 비중에 따른 초기 생장조사 결과를 보면 대부분의 지표에서 비중이 1 보다 큰 구간에서 1 보다 작은 구간보다 값이 유의적으로 높아서 충실한 종자가 발아율 및 출아율뿐만 아니라 초기 생장에도 영향을 준다고 보고된 이전의 실험 결과와 일치하였다 (Jeon *et al.*, 2013). 이전 연구에서는 종자 비중이 증가할수록 일당귀의 발아율과 직경이 비례하게 증가한 연구결과가 보고되어 (Phip *et al.*, 2006), 본 실험의 결과와 같았다.

일당귀 싹 채소를 산업화할 경우 균일한 묘의 대량생산이 반드시 필요한데, 이 때 종자정선 방법으로 물에 가라앉은 종자를 이용한다면 발아율과 출아율도 높일 뿐만 아니라 우수한 초기 생장을 유도할 수 있을 것으로 판단된다. 이처럼 종자 충실도는 종자의 발아와 초기 생장에 영향을 주는데 Jeon *et al.*, 2013), 채종시기와 화서가 충실도에 영향을 끼친다 (Phip *et al.*, 2007).

### 3. 채종 시기별 종자 특성

채종 시기별로 7 월 상순에서 8 월 상순까지 열흘 간격으로 종자의 특성을 조사해본 결과 종자의 길이와 너비는 채종 시기에 따라 유의적인 차이가 없었고, 종자의 천립중은 7 월 초, 중순에는 2.57 - 2.58 g 정도이다가, 7 월 하순과 8 월 상순에는 2.67 - 2.73 g로 소폭 증가하여, 시간이 흐름에 따라 길이나 너비가 증가하기보다는 무게가 증가하면서 충실도가 증가하는 것으로 추정된다.

일본에서 수행된 선행연구에서 일당귀의 첫 개화 후 6 주까지는 채종된 종자의 무게가 증가하다가 그 이후부터는 오히려

감소하는 경향을 보였으나 (Phip *et al.*, 2007), 본 실험에서는 시기가 지나면서 종자가 바닥으로 탈립되어 더 이상의 조사 수행이 어려웠으며, 일당귀의 채종 재배가 목적인 경우 개화 후 80 일 이전에 채종을 마무리해야 하는 것으로 추정된다.

채종 시기에 따른 발아율은 7 월 중순과 8 월 하순에 채종한 종자의 발아율이 95.0 - 96.5%로 다른 처리구들에 비해 유의적으로 높았지만 뚜렷한 경향성이 없었는데 이는 채종포에서 무작위로 종자를 채종하여 종자 소질이 다양했던 것으로 추정된다. 약용작물 고수의 선행연구에서는 7 월에 열흘 간격으로 채종한 결과 7 월 상순에 채종된 종자의 발아율이 가장 높아서 채종 적기로 밝혀진 바 있다 (Lee *et al.*, 2015).

### 4. 저온 처리에 따른 종자 발아율

일당귀의 경우 채종 후 70 일 상온 보관한 종자와 10 일 상온보관 후 60 일 저온 (4°C) 보관한 종자의 발아율에는 유의한 차이가 있었다 (Table 3). 일당귀는 종자 채종 후 상온 보관 종자의 발아율이 86.0%이었으나, 저온처리를 한 종자의 발아율은 98.5%로 12.5% 이상 높게 나타났으며, 이를 통하여 갯기름나물, 고본, 갯방풍의 산형과 타작목은 휴면을 한다고 보고되었으나 (Lee *et al.*, 2014), 일당귀는 휴면을 하지 않거나 깊지 않은 것으로 추정된다. 다만 저장종자가 발아력을 상실하는 원인 중의 하나는 호흡으로 인한 저장 양분의 손실이며 (Ellis, 1991), 일당귀 종자를 실온 보관 시 호흡이 높아져 저장양분의 소모가 유발되어 저온 조건에 비하여 발아율이 낮아진 것으로 해석된다 (Roberts, 1972). 따라서 일당귀 종자를 저장할 때에는 실온 조건보다 저온 조건이 유리할 것으로 사료된다.

**Table 2.** Morphological characteristics and germination rate of seeds of *Angelica acutiloba* Kitagawa harvested at different days.

Seed harvesting day (days after flowering)	Seed length (mm)	Seed width (mm)	Seed weight (g/1,000 seeds)	Germination rate <sup>1)</sup> (%)
Early of July (50 days)	5.20±0.11 <sup>a</sup>	1.81±0.17 <sup>a</sup>	2.58±0.09 <sup>ab</sup>	85.00±0.10 <sup>b</sup>
Mid of July (60 days)	4.92±0.02 <sup>a</sup>	1.77±0.03 <sup>a</sup>	2.57±0.06 <sup>b</sup>	96.50±0.00 <sup>a</sup>
End of July (70 days)	5.09±0.12 <sup>a</sup>	1.79±0.04 <sup>a</sup>	2.67±0.06 <sup>ab</sup>	82.00±0.10 <sup>b</sup>
Early of August (80 days)	4.96±0.23 <sup>a</sup>	1.80±0.08 <sup>a</sup>	2.73±0.03 <sup>a</sup>	95.00±0.00 <sup>a</sup>

Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown (n = 30). \*Means with different letters of the same column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). <sup>1)</sup>Germination rate (%) was expressed quadruplicate separated experiments.

**Table 3.** Germination rate of seeds of *Angelica acutiloba* Kitagawa stored at different temperature at mid-end of July.

Storage treatment	Germination rate <sup>1)</sup> (%)
70 days room temperature	86.0±0.0
10 days room temperature + 60 days low temperature (4°C)	98.5±0.0 <sup>**</sup>

<sup>\*\*</sup>Means with significant different between 70 days room temperature and 10 days room temperature + 60 low temperature (4°C) measured by t-test ( $p < 0.01$ ). <sup>1)</sup>Germination rate (%) was expressed quadruplicate separated experiments.

**Table 4.** Morphological characteristics and germination rate of seeds of *Angelica acutiloba* Kitagawa collected from different umbel orders at mid and end of July.

Umbel order	Seed length (mm)	Seed width (mm)	Seed weight (g/100 seeds)	Germination rate <sup>1)</sup> (%)
Primary	5.44±0.01 <sup>a</sup>	2.06±0.19 <sup>a</sup>	0.36±0.01 <sup>a</sup>	100.00±0.00 <sup>a</sup>
Secondary	5.02±0.06 <sup>b</sup>	2.05±0.04 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	97.50±0.00 <sup>a</sup>
Tertiary	4.45±0.08 <sup>c</sup>	1.72±0.10 <sup>b</sup>	0.24±0.01 <sup>c</sup>	99.50±0.00 <sup>a</sup>
Quaternary	3.97±0.05 <sup>d</sup>	1.73±0.16 <sup>b</sup>	0.22±0.01 <sup>d</sup>	99.50±0.00 <sup>a</sup>

Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown (n = 30). \*Means with different letters of the same column are significantly different at  $p < 0.05$  by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). <sup>1)</sup>Germination rate (%) was expressed quadruplicate separated experiments.

### 5. 화서별 종자 특성

일당귀의 화서별로 종자를 채종하여 종자의 형태적 특징과 발아율을 조사한 결과 종자의 길이는 첫 번째 화서에서 5.44 ± 0.01 mm 로 통계적으로 가장 유의하게 길었고, 네 번째 화서로 갈수록 3.97 ± 0.05 mm 까지 값이 낮아지는 경향을 보였으며 각각의 처리들은 통계적으로 유의한 차이가 있었다 (Table 4). 종자의 너비는 첫 번째 화서에서 2.06 ± 0.19 mm 로 가장 컸으며, 세 번째와 네 번째 화서의 너비는 1.72 - 1.73 mm 로 유의적으로 낮은 값을 기록했다. 종자의 백립중을 조사한 결과, 첫 번째 화서의 백립중이 0.36 ± 0.01 g으로 가장 무거웠고 통계적으로 다른 처리구들과 비교하여 유의하게 높았으며 네 번째 화서로 갈수록 백립중은 점점 낮아져서 0.22 ± 0.01 g 이 되었다.

일당귀의 화서별 종자의 무게를 조사한 선행연구에서 늦게 핀 화서일수록 종자 무게가 감소한 결과가 있어 본 실험과 유사하였다 (Phip *et al.*, 2007). 화서별 종자의 발아율을 조사한 결과 화서별 유의한 차이 없이 모두 97.5% 이상의 높은 발아율을 보였으며, 이는 채종한 종자를 2 주 간 상온에서 건조시킨 뒤 60 일간 저온 (4°C) 저장하였기 때문에 저온 조건에서 종자의 호흡을 줄여 저장양분의 소모를 방지하여 발아율이 높게 유지된 것으로 해석된다 (Roberts, 1972).

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ012642022019)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

Choi BR, Park KR and Kang SW. (1998). Effects of plant age and seed specific gravity on seed germination of *Bupleurum falcatum* L.. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 6:154-159.  
Dean BB, Nonald T and Maguire JD. (1989). Correlation of low

seed quality with growing environment of carrot. HortScience. 24:247-249.  
Ellis RH. (1991). The longevity of seeds. HortScience. 29:1119-1125.  
Jeon KS, Song KS, Kim CH, Yoon JH and Kim JJ. (2013). Effects of seed pre-treatment and germination environments on germination characteristics of *Ligularia fischeri* seeds. Protected Horticulture and Plant Factory. 22:262-269.  
Kim AR, Lee JJ and Lee MR. (2009). Antioxidative effect of *Angelica acutiloba* Kitagawa ethanol extract. Korean Journal of Life Science. 19:117-122.  
Kim DH, Park HW, Park CG, Sung JS and Seong NS. (2006a). Effects of insects on pollination in *Angelica gigas* Nakai and *Angelica acutiloba* Kitagawa. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 14:217-220.  
Kim MR, Abd El-Aty AM, Kim IS and Shim JH. (2006b). Determination of volatile flavor components in danggui cultivar by solvent free injection and hydrodistillation followed by gas chromatographic-mass spectrometric analysis. Journal of Chromatography A. 1116:259-264.  
Kim SA, Oh HK, Kim JY, Hong JW and Cho SI. (2011). A review of pharmacological effects of *Angelica gigas*, *Angelica sinensis*, *Angelica acutiloba* and their bioactive compounds. Journal of Korean Oriental Medicine. 32:1-24.  
Lee HS, Lee JW, Kim SJ, Lee JH, Sung JS, Kang MJ and Ma KH. (2014). Effects of temperature, light and chemical reagent on dormancy breaking and seed germination of three species in Apiaceae. Journal of the Korean Society of International Agriculture. 26:519-525.  
Lee JH, Lee SH, An CH, Lee YJ, Kim YG, Cha SW and Kim SM. (2015). Seeds characteristics and germination of *Coriandrum sativum* L. on several storage conditions. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 23:305-310.  
Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). (2017). Production record of cash crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.3-35.  
Moon JS, Kim HM, Choi DC, Hong YK, Sung MH, Jang YJ, Go BR, Oh NK and Choi YG. (2003). Disinfection of seed borne black leg disease(*Phoma wasabiae*) in Wasabi(*Wasabia japonica* Matsum.). Journal of Bio-Environment Control. 12:180-183.  
Moran GF and Brown AH. (1980). Temporal heterogeneity of

- outcrossing rates in alpine ash(*Eucalyptus delegatensis* RT Bak.). *Theoretical and Applied Genetics*. 57:101-105.
- Phip NT, Nojima H and Tashiro T.** (2006). Effect of seed selection based on seed weight and specific gravity on seed germination and seedling emergence and growth in *Angelica acutiloba* Kitagawa. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*. 50:154-162.
- Phip NT, Nojima H and Tashiro T.** (2007). Effect of umbel order and umbellet position on the production and characteristics of seeds and on the development and growth of seedlings in *Angelica acutiloba* Kitagawa. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*. 51:46-53.
- Roberts EH.** (1972). Storage environment and the control of viability. In Robers EH. (ed.). *Viability of seeds*. Chapman and Hall. London, England. p.14-58.
- Yun KW and Choi SK.** (2004). Antimicrobial activity in 2 *Angelica* species extracts. *Korean Journal of Plant Resources*. 17:278-282.