

개화 후 일수에 따른 일당귀 종자의 화서별 등숙 특성

이은송^{1*}, 안태진¹, 김용일¹, 박우태¹, 김영국², 장재기²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 약용작물과, 연구사, ²연구관

Seed Ripening Characteristics by Inflorescences According to Days after Flowering in *Angelica acutiloba* (Siebold & Zucc.) Kitagawa

Eun-Song Lee^{1*}, Tae-Jin An¹, Yong-Il Kim¹, Woo-Tae Park¹, Young-Guk Kim² and Jae-Ki Chang²

¹Researcher and ²Senior Researcher, Herbal Crop Research Division, National Institute of Horticultural Herbal Science (NIHHS), Rural Development Administration, Eumseong 27709, Korea

Abstract - This study was conducted to analyze ripening characteristics of the seed according to days after flowering. The seeds were harvested on land located in the Department of Herbal Crop Research in Rural Development Administration in 2019. Seed weight and germination rate were investigated according to days after flowering and the embryo:seed ratio was examined during the fruiting process. The results showed that the weight increased significantly by the days after flowering at each inflorescence and the seed began to germinate at different time. Further, given the embryo:seed ratio, we found that embryo continue to grow in the seed. Because *Angelica acutiloba* (Siebold & Zucc.) Kitagawa bloom in various inflorescences, the stage of embryonic development of the seeds can affect the germination of seed. Based on our results, the key seed harvest period for good seed is 50 to 70 days after flowering.

Key words – Germination, Inflorescence, Medicinal plant, Umbel orders

서 언

일당귀[*Angelica acutiloba* (Siebold & Zucc.) Kitagawa]는 산형과에 속하는 약용작물로 원산지가 일본이며 국내에서도 많이 재배되는 약용작물 중 하나이다. 참당귀에 비하여 비교적 기후가 온난한 곳에서 잘 자라며, 국내 주산단지로는 충북, 충남, 전북, 전남 일대가 있다. 일당귀는 약용작물 중에서도 최근 생산량과 재배면적이 꾸준히 증가하는 작물에 속한다. 2015년에 재배면적 46 ha에서 231 ton, 2016년에는 69 ha에서 415 ton, 그리고 2017년에는 95 ha에서 622 ton이 생산되어 잠재력이 높다고 볼 수 있다(MAFRA, 2017). 일당귀는 대한민국약전외한약(생약)규격집에 수록되어 있으며 뿌리를 약용으로 이용할 수 있으며 건강 식품이 현대인의 각광을 받고 있는 시기에 맞물려 어린잎은 식용으로 인기 있으며, 보고된 약용 효능으로는 보혈 효과(Kim *et al.*, 2011), 항균 효과(Yun and Choi, 2004) 등

이 있다.

약용식물은 대부분 야생에서 자라고 있으며, 일부 식물들이 효능이 인정되어 작물화가 진행되어 재배되고 있으나(Kang *et al.*, 2004) 작물화된 역사가 오래되지 않아 종자 발아와 휴면에 관한 연구가 많이 부족한 실정이다. 일당귀는 영양생장을 끝마치고 생식생장 단계에 돌입하면 시기적으로 5월경부터 개화를 시작하여 일수가 지나면서 꽃잎이 떨어지고 자방이 성숙하면서 종자(열매)를 맺게 된다. 일당귀의 종자 무게는 개화 후 일수가 증가할수록 건물중이 증가하는 경향을 보였으며(Phip *et al.*, 2007), 우산모양으로 피는 산형화서의 꽃이 피는 순서에 따라 채취한 종자의 형태학적 특징을 비교하였을 때 첫 번째 소화사에서 수확한 종자가 크기와 무게 면에서 가장 충실하다고 보고되었지만(Lee *et al.*, 2019) 각 소화서별로 개화 후 일수에 따라 종자의 무게가 어떻게 증가하고 어느 시기부터 발아력을 갖추는 지에 대한 연구는 전무한 상황이다.

발아란 건조한 종자가 수분 흡수를 시작하여 효소가 활성화되면서 배축이 연장하여 유근이 출현하는 현상을 말한다

*교신저자: E-mail eslee24@korea.kr

Tel. +82-43-871-5660

(Bewley, 1997). 일당귀 종자는 발아율이 낮다고 언급되었으나 (Moon *et al.*, 2003) 종자 정선 방법 중에 하나인 비중선을 하였을 때에 비중에 따라 발아율이 19.5%에서 98.0%까지 매우 다양하다고 보고되었다(Lee *et al.*, 2019). 이러한 발아율의 불균일성은 꽃이 일시에 피는 것이 아니고 소화서별로 다양한 시기에 개화하는 산형과 형태적 특성에서 기인한 것으로 추정된다 (Dean *et al.*, 1989).

식물은 개화·결실할 때 기부의 가까이에서 먼저 핀 꽃차례의 양분 발달에 자원을 우선적으로 할당하여 종자 무게가 기부에서 먼 나중에 핀 꽃차례보다 크다고 보고되었으며(Navarro, 1996), 일당귀에서도 먼저 핀 소화서에서 수확한 종자가 늦게 핀 소화서에서 수확한 종자보다 종자 크기와 무게가 큰 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2019). 다만 각 소화서마다 개화 후 일수에 따른 일당귀 종자 등숙에 따른 연구는 미흡하며, 특히 소화서마다 언제부터 종자가 발아력을 가지는지 시기를 조사한 연구는 전무하다.

따라서 본 연구에서는 일당귀가 가지고 있는 화서 구조적 특성이 종자 등숙에 미치는 영향에 대해 알아보고자 등숙 과정에 따라 종자 무게와 발아율을 조사하였고 배 발달 변화를 관찰하였다.

재료 및 방법

식물 재료

본 연구의 재료는 충북 음성군에 위치한 농촌진흥청 국립원예특작과학원 약용작물과 시험포장에서 2019년에 수확한 일당귀 종자를 이용하였다. 종자 채종을 목적으로 식재한 일당귀 종근은 2017년 겨울에 전라남도 장성군의 일당귀 농가에서 키운 일당귀 종근을 구하여 2019년 봄에 시험 포장에 정식하여 6~8월에 걸쳐 채종하였다.

개화 후 일수에 따른 소화서별 종자 무게 및 발아율

초장과 개화 시기가 동일한 20개의 개체를 선발하여 개화가 처음 시작된 5월 중순을 시작으로 1소화서에서 핀 꽃에서 채종한 종자는 개화 후 일수(days after flowering, DAF)에 따라 20일부터 80일까지, 2소화서에 핀 꽃에서 채종한 종자는 30일부터 80일까지, 3소화서와 4소화서에 핀 꽃에서 채종한 종자는 개화 후 40일부터 80일까지 나누어 채종하였다. 종자의 무게를 측정하기 위하여 2주 간 건조시킨 후 1000립 3반복으로 조사하였다. 발아율은 50 립씩 4 반복으로 측정하기 위하여 생장상

(Multi Room Incubator, Vision Scientific Ltd., Bucheon, Korea)을 20℃ 로 설정하여 12 시간 / 12시간 (광/암) 조건에서 매일 실시하였다.

발아 시험

발아시험은 90×15 mm Petri-dish (SPL, Pocheon, Korea)에 두 장의 filter paper (Whatman, Buckinghamshire, England)를 놓고 멸균 증류수를 5 ml 적신 후 50 립 종자를 4 반복 파종하여 발아 조사하였다. 발아는 유근이 종피를 2 mm 이상 뚫고 나온 것을 기준으로 계산하였다. Petri-dish는 생장상(Multi Room Incubator, Vision Scientific Ltd., Bucheon, Korea)을 20℃ 로 설정하여 12 시간 / 12시간 (광/암) 조건에서 실시하였다.

배중비 측정

광학현미경(Leica S8AP0, Wetzlar, Germany)을 이용하여 전제 종자(seed)에서 종자 내 배(embryo)가 차지하는 길이의 비인 배중비(E:S ratio)를 측정하였다(Vandelook *et al.*, 2007).

통계 분석

통계 분석을 위하여 SAS Enterprise 7.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 을 이용하여 일원분산분석(one-way analysis of variance)을 실시하였으며, Duncan's Multiple Range Test (DMRT, $p < 0.05$) 로 처리 간 평균값의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

일당귀의 개화·결실 및 화서

일당귀의 꽃이 피는 특징을 보면(Fig. 1), 주경 상단에서 1소화서에서 가장 먼저 개화·결실하고 다음은 주경으로부터 분지가 나와 2소화서에서 개화·결실하고, 그 다음은 2소화서를 이룬 분지로부터 새로운 분지가 나와 3소화서를 이루고, 3소화서를 이룬 분지로부터 또 새로운 분지가 나와 4소화서를 이루었다. 분지의 끝에 산경(傘梗)이 달리고 산경으로부터 소산경(小傘梗)이 자라 흰 색의 꽃들이 우산 모양의 화서를 이루며 개화하였다.

일당귀의 화퇴 형성 및 개화 특징

꽃은 5~6월에 흰색 겹산형화서의 꽃이 피며(Fig. 2), 7~8월에 결실을 맺는다. 첫 꽃봉오리(화퇴)가 형성되면 약 4~5일이 지나면 흰 색의 꽃잎과 수술이 보이기 시작하여 약 일주일~열

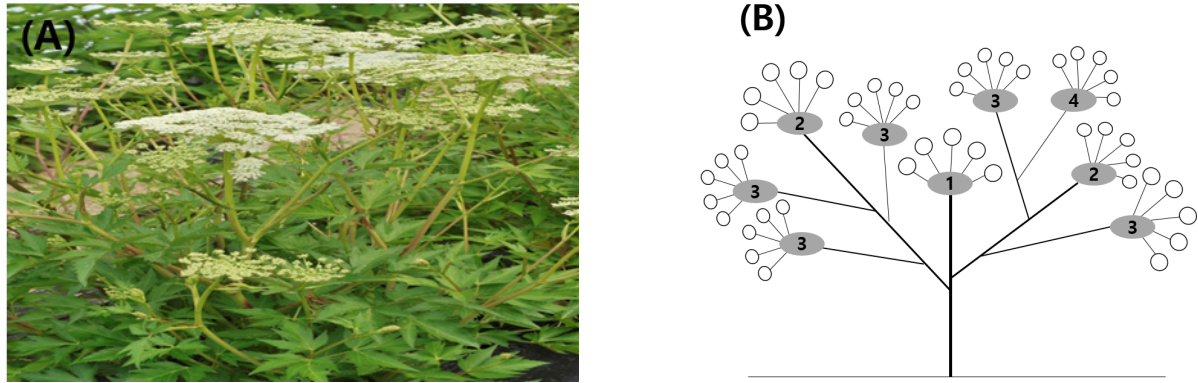


Fig. 1. Flowering of *A. acutiloba*. (A); actual flower, (B); diagram of the inflorescence structure of *A. acutiloba*. 1-primary, 2-secondary, 3-tertiary, 4-quaternary umbel position.



Fig. 2. Flowering stage of *A. acutiloba*. (A)-(B); budding, (C); before flowering, (D); flowering.

홀 사이에 개화기가 되면서 수술이 먼저 성숙하고 이후에 암술이 성숙하는 응예선숙에 속한다(Lee *et al.*, 2019).

개화가 끝나고 흰 색의 꽃잎들이 떨어지면서 자방이 발달하였다. 초록색을 띠던 자방은 점차 성숙하면서 옅은 갈색 빛을 띠다가 개화 후 50일경이 되면 갈색 빛을 띠면서 이 시기에 성숙한 자방, 즉 열매를 얻을 수가 있었다. 일당귀는 다 익은 열매가 둘로 나뉘는 분열과로서 구조상 열매의 일부 조직인 과피가 종자와 밀착하여 분리할 수 없어 이들을 합쳐 종자로 취급한다.

종자 형태 변화

일당귀 종자의 개화 후 일수에 따른 형태 변화를 보면(Fig. 3), 개화 당시에 흰 꽃잎이 5개, 수술은 5개, 자방은 2실이 관찰되었다(Fig. 3A and B). 개화 후 20일경에는 꽃잎과 수술이 떨어지고 암술머리가 끝부분에 남아 있는 형태였고, 색은 옅은 초록빛을 띠었다. 개화 후 30~40일경에는 종자가 옅은 초록빛을 띠던 것에서 갈색으로 익으면서 등숙하는 것을 관찰할 수 있었

고, 두 개의 열매가 분열과로 분과병에 의해 붙어 있는 것이 확인되었다.

개화 후 50일경에는 외관상 채종이 가능하기 시작한 시기가 되어 채종 당시에는 분과병에 의해 두 개의 열매가 붙어있으나 건조되는 과정에서 두 개의 종자로 분리되었으며, 개화 후 60일경에는 종자를 채종할 때부터 분열과가 둘로 나뉘어 있는 상태였으며, 채종에 가장 적합한 시기가 되었다. 개화 후 70일이 되면 탈립이 되면서 식물체에 남아있는 종자는 외관상 쪼그라들기 시작하여 개화 후 70일 이전에 채종을 마쳐야 종자의 손실을 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

소화서별 종자 무게 변화

개화 후 일수에 따른 소화서별 종자 무게를 보면, 각 소화서마다 개화 후 20일경에 해당하는 6월 초순부터 개화 후 80일경에 해당하는 8월 초순까지 개화 후 일수가 증가할수록 종자 건물중이 유의적으로 증가하는 경향을 보였다(Table 1). 개화 후 20

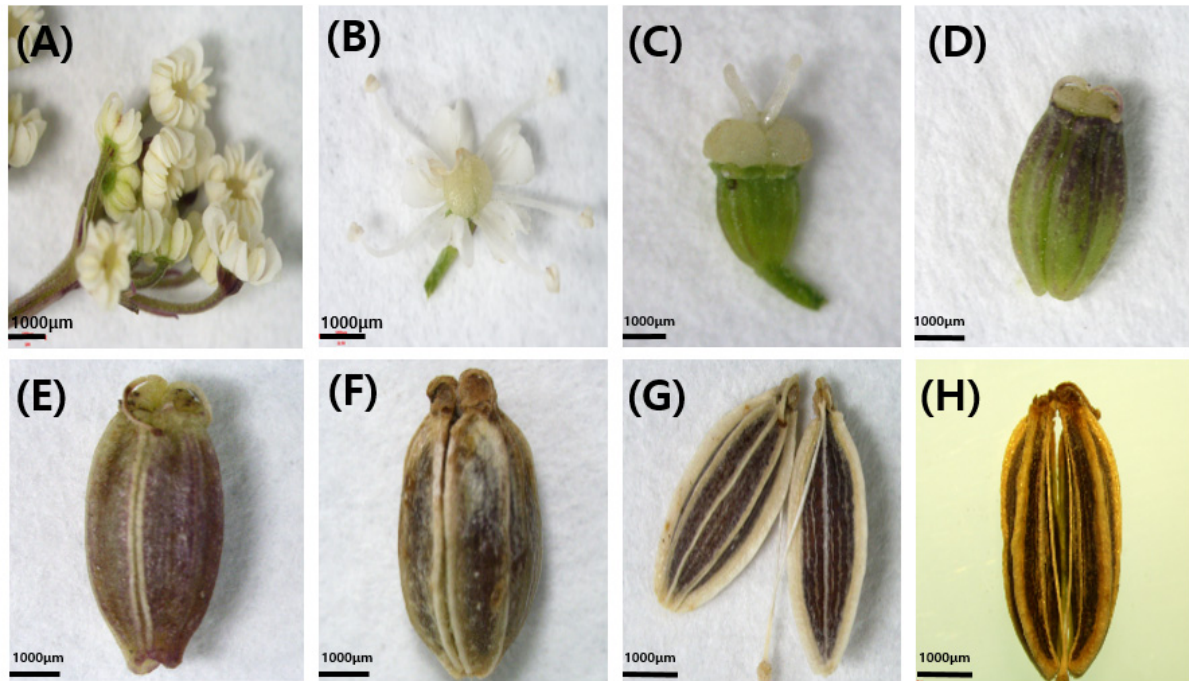


Fig. 3. The process of seed development according to days after flowering (DAF). (A); before flowering stage, (B) Flowering (C); 20 DAF, (D); 30 DAF, (E); 40 DAF, (F); 50 DAF, (G); 60 DAF, (H); 70 DAF.

Table 1. Seed weight (g/1000 seeds) by inflorescence structure according to days after flowering (DAF) of *A. acutiloba*

DAF	Harvest day	Primary	Secondary	Tertiary	Quaternary
20 D	Early of June	0.52±0.02g ^z	-	-	-
30 D	Mid of June	1.46±0.04f	0.46±0.01f	-	-
40 D	End of June	1.67±0.04e	1.20±0.03e	0.38±0.02e	0.25±0.01e
50 D	Early of July	2.49±0.01d	1.54±0.06d	1.03±0.10d	0.53±0.02d
60 D	Mid of July	3.08±0.02c	2.53±0.06c	2.19±0.03c	0.78±0.05c
70 D	End of July	3.53±0.06b	2.68±0.01b	2.40±0.10b	1.29±0.06b
80 D	Early of August	3.61±0.04a	2.86±0.03a	2.60±0.04a	1.55±0.03a

Means values ± SD from triplicate separated experiments are shown (n=1000).

^zMeans with difference letters of the same column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

일경의 종자의 건물중은 1소화서를 기준으로 천립중 0.52 g으로 매우 낮았다. 30일경에는 종자의 천립중이 1소화서를 기준으로 1.46 g으로 증가하였으며, 2소화서에서도 종자의 형태를 갖추기 시작하여 채종하였으나 천립중은 0.46 g으로 낮았다. 40일경에는 천립중이 1소화서를 기준으로 1.67 g으로 증가하였으며, 2소화서에서 채종한 종자의 천립중은 1.2 g이었으며, 3~4소화서의 종자 채종 시작이 가능하였으나 매우 작고 가벼웠다.

개화 후 50일경에는 종자의 천립중은 1소화서를 기준으로

2.49 g으로 증가하였고, 채종이 가능하기 시작한 시기가 되었다(Fig. 3F). 60일경에는 종자의 천립중은 1소화서를 기준으로 3.08 g으로 크게 증가하였고, 종자를 채종할 때부터 분열과가 둘로 나뉘어 있는 상태이며, 채종에 가장 적합한 시기가 되었다. 70일이 지나면 탈립이 시작되면서 종자가 식물체로부터 바닥으로 떨어져 식물체에서는 불량한 종자가 채종되므로 개화 후 70일 이전에 채종을 마쳐야 종자의 손실을 줄일 수 있을 것으로 사료된다(Fig. 3H). 본 실험의 결과는 일당귀의 개화 후 일수가 증

가할수록 종자 건물중이 증가한 선행 연구들과 유사하였다(Lee *et al.*, 2019; Phip *et al.*, 2007). 본 실험에서는 개화 후 일수에 따라서 세부적으로 소화서별(1소화서~4소화서)로 나누어 종자를 수확하였는데, 각 소화서별로도 개화 후 일수가 지날수록 종자 천립중이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

같은 수확 시기에 해당하는 시기별로는 첫 번째 소화서의 종자 무게가 가장 무겁고 네번째 소화서로 갈수록 무게가 감소하는 것을 확인할 수 있었지만 1소화서는 한 개체 내에서 차지하는 비율이 가장 낮고 대부분 2~3소화서가 차지하므로(Fig. 1), 전체적인 종자 채종량을 고려하였을 때는 개화 후 50~70일경이 채종에 가장 적합하다고 사료된다. 같은 시기별로 소화서별 종자의 천립중을 비교해보면, 첫 번째 소화서에서 가장 크고 네번째 소화서로 갈수록 작아지는 경향을 볼 수가 있는데, 이는 식물이 개화·결실기에 기부의 가까이에서 먼저 핀 꽃차례의 양분 발달에 자원을 우선적으로 할당하기 때문에 종자 무게가 더 큰 것으로 밝혀진 선행연구와 일치하는 부분이다(Navarro, 1996).

소화서별 종자 발아율 변화

개화 후 일수에 따른 소화서별 종자 무게를 보면(Table 2), 개화 후 40일경까지 수확한 종자는 발아력을 가지지 않다가 50일이 되어서야 발아력을 가져 발아율이 95.5%를 가지게 되며, 개화 후 60일경에는 종자의 발아율은 96.5%로 매우 높은 발아력을 가졌다. 두 번째 소화서에서는 첫 번째 소화서보다 개화 시작일이 조금 늦어져서 개화 후 50일경까지는 수확한 종자가 발아력을 가지지 않다가 개화 후 60일경부터 발아력을 가져서 91.5%를 나타냈으나 3~4화서는 발아력을 갖추지 못하였다. 개화 후 70일이 되면 종자의 발아율은 79.5%로 다소 떨어졌으며 두 번째 소화서에서는 98.5%, 3번째 소화서에서는 70.5%를 나타냈

다. 80일이 되면 대부분의 종자가 탈립되어 식물체에 남아 있는 종자는 결실이 불량했으므로 개화 후 70일 이전에는 채종을 마쳐야 종자의 손실을 줄일 수 있는 것으로 사료된다.

일당귀는 다양한 소화서에서 꽃이 피고 각 소화서마다 같은 시기에서 보면 종자의 발달 정도가 다르기 때문에 일시에 채종하면 종자의 등숙 상태가 다를 수 있다는 점이 개화·결실상의 특징이다. 그러나 농가의 인력을 고려하였을 때, 채종을 여러 시기에 나누어 실시한다는 점은 현실적으로 어렵다. 따라서 종자의 내적 충실도와 발아율을 고려하고 외적 품질을 중요시했을 때, 종자의 채종은 개화 후 50일부터 70일경에 하는 것이 좋으며, 시간과 인력이 가능하다면 일시에 채종하는 것보다 시기를 나누어 종자의 채종을 여러 번 실시하는 것이 우량종자 채종에 적합하다고 사료된다.

배종비 발달

일당귀의 종자 발달 과정 중 종자 내 배 발달을 관찰한 결과 배종비는 0.1에서부터 0.37까지 점점 높아지는 경향을 보였다(Fig. 4). 종자 내부의 배의 발달은 종자(seed) 길이에서 배(embryo)의 길이가 차지하는 비율인 배종비(E:S ratio)로 나타내며(Vandelook *et al.*, 2007), 종자의 발아 과정을 관찰하기 위해 많이 관찰되었다(Choi *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2019). 미숙 배는 상대적으로 배의 크기가 작고 배종비(E:S ratio)가 0.5 미만인 경우를 말한다(Chen *et al.*, 2013). 일당귀가 속하는 산형과(Apiaceae)는 분류상 두릅나무과(Araliaceae)와 배종비가 유사하며, 산형과의 배종비는 0.38[0.20] 정도에 해당하나 산형과 종자마다 오차가 크다고 보고되었다(Baskin and Baskin, 2007).

이상의 실험 결과로 미루어 볼 때 첫 번째 소화서에서 개화

Table 2. Seed germination rate (%) by inflorescence structure according to days after flowering of *A. acutiloba*

DAF	Harvest day	Primary	Secondary	Tertiary	Quaternary
20 D	Early of June	0.0 ± 0.0c ^z	-	-	-
30 D	Mid of June	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	-	-
40 D	End of June	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0b
50 D	Early of July	95.5 ± 0.1a	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0b
60 D	Mid of July	96.5 ± 0.0a	91.5 ± 0.1b	0.0 ± 0.0c	0.0 ± 0.0b
70 D	End of July	79.5 ± 0.1b	98.5 ± 0.0a	70.5 ± 0.1b	0.0 ± 0.0b
80 D	Early of August	80.0 ± 0.1b	88.0 ± 0.1b	94.0 ± 0.0a	64.0 ± 0.1a

Means values ± SD from quadruplicate separated experiments are shown (n=50).

^zMeans with difference letters of the same column are significantly different at *p* < 0.05 by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

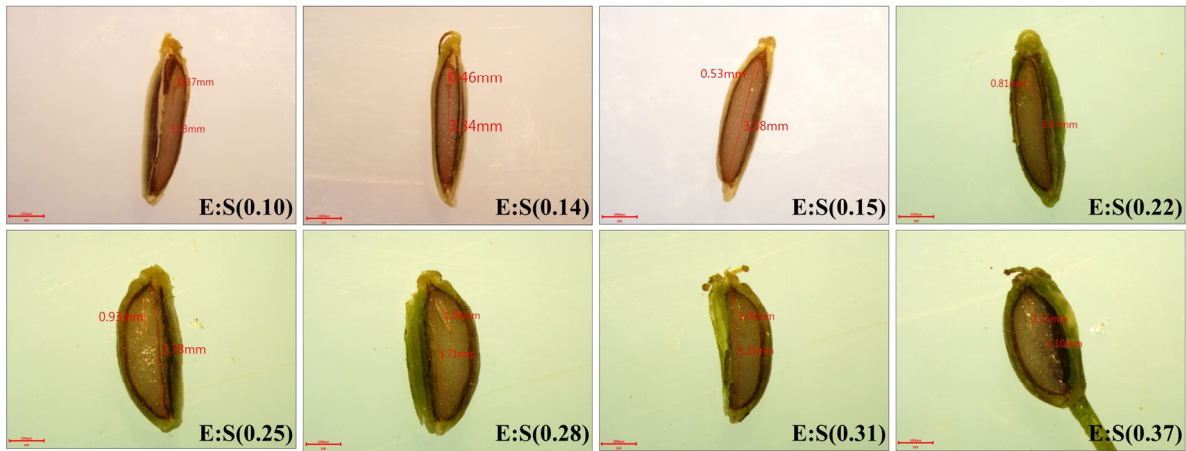


Fig. 4. Embryo:seed ratio development stage.

후 40일경까지는 수확한 종자는 발아력을 가지지 않다가 50일이 되어야 발아력을 가지게 되는데, 이 시기에 종자가 수분을 흡수하여 종자 내 효소가 활성화되고 저장 조직이 분해되면서 배가 성장을 개시하여 유근·유아의 출현이 시작된 것으로 추정된다. 종자가 발아를 시작하기 위해서는 배의 발달이 선행되어야 하는데(Bewley, 1997), 첫 번째 소화서에서 개화 후 50일경이 되면 이 과정이 이루어져서 발아력을 갖추게 된 것으로 추정된다. 두 번째 소화서에서는 개화 후 60일에 발아력을 가지기 시작하고, 세 번째 소화서에서는 개화 후 70일, 네 번째 소화서에서는 개화 후 80일이 되어야 발아력을 가지기 시작하는데 이로써 각 소화서마다 발아력을 가지는 시기가 다른 것으로 볼 수 있다. 이는 Fig. 1에서 보듯이 산형과의 개화 특성상 첫 번째 소화서에서 먼저 개화가 시작되고 이어서 다음 소화서들이 개화를 시작하는 특성으로 인해 각 소화서의 배 발달 요구에 필요한 시간이 달라서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 각 발달 단계가 다른 종자들을 일시에 채종하게 되면 발아율이 다양할 수 있기 때문에 전체적인 발아율이 낮다는 문헌이 보고된 것으로 사료되며(Moon *et al.*, 2003), 일당귀는 채종 이후에 정선 방법을 통하여 발아율을 19.5%에서 82.0%이상으로 높일 수 있다고 보고되었다(Lee *et al.*, 2019).

사 사

본 연구는 농촌진흥청 연구과제(PJ012642022020)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

적 요

본 실험은 일당귀의 개화 후 일수에 따른 종자 등숙 특성을 알아보려고 수행하였다. 2019년 농촌진흥청 약용작물과 시험 포장에서 채종한 종자를 시험재료로 사용하였다. 개화 후 일수에 따라 종자 무게와 발아율이 조사되었고, 등숙 과정 동안 종자 내에서 배종비(E:S ratio)가 측정되었다. 결과적으로는 각 소화서마다 개화 후 일수가 증가할수록 종자 무게가 유의적으로 증가하였으며, 각 소화서에서 발아가 시작되는 시기는 차이가 있었다. 또한 종자 내에서 배의 길이는 계속해서 성장하여 배종비가 높아지는 것을 관찰하였다. 일당귀는 다양한 소화서에서 꽃이 피기 때문에 종자의 배종비가 종자 발아에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구를 바탕으로 일당귀의 우량 종자 생산을 위해서는 개화 후 50일부터 70일경이 가장 적합한 것으로 사료된다.

References

- Baskin, C.C. and J.M. Baskin. 2007. A revision of Martin's seed classification system, with particular reference to his dwarf-seed type. *Seed Sci. Res.* 17:11-20.
- Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9:1055-1066.
- Chen, S.Y., C.C. Baskin, J.M. Baskin and C.T. Chen. 2013. Underdeveloped embryos and kinds of dormancy in seeds of two gymnosperms: *Podocarpus costalis* and *Nageia nagi* (Podocarpaceae). *Seed Sci. Res.* 23:75-81.
- Choi, H., S.Y. Lee, Y.H. Rhie, J.H. Lee, S.Y. Kim and K.C. Lee. 2018. Seed dormancy type and germination character-

- ristics in *Tiarella polyphylla* D. Don native to Korea. Korean J. Plant Res. 31:363-371.
- Dean, B.B., T. Noland and J.D. Maguire. 1989. Correlation of low seed quality with growing environment of carrot. Hort. Sci. 24:247-249.
- Kang, J.H., S.Y. Yoon and S.H. Jeon. 2004. Analysis on practicality of seed treatments for medicinal plants published in Korean scientific journals. Korean J. Medicinal Crop. Sci. 12:328-341.
- Kim, S.A., H.K. Oh, J.Y. Kim, J.W. Hong and S.I. Cho. 2011. A review of pharmacological effects of *Angelica gigas*, *Angelica sinensis*, *Angelica acutiloba* and their bioactive compounds. Korean Oriental. Medical Soc. 32:1-24.
- Lee, E.S., T.J. An, Y.I. Kim, W.T. Park, J.H. Lee, Y.G. Kim and M.M. Oh. 2019. Seed germination rate and growth characteristics according to ripening stages in *Angelica acutiloba* Kitagawa. Korean J. Medicinal Crop. Sci. 27:167-172 (in Korean)
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA). 2017. Production record of cash crops. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. pp. 3-35.
- Moon, J.O., K.W. Park and H.M. Kang. 2003. Effects of treatment of light, temperature and priming on germination of *Angelica acutiloba* Kitagawa seeds. Korean J. Hortic. Sci. Technol. 21:434-439 (in Korean)
- Navarro, L. 1996. Fruit-set and seed weight variation in *Anthyllis vulneraria* subsp. *vulgaris* (Fabaceae). Plant Syst. Evol. 201:139-148.
- Park, H.B., C.H. Ko, S.Y. Kim, K.C. Lee, J.H. Kim and J.M. Chung. 2019. Dormancy type and germination characteristics of seeds of *Lonicera chrysantha* Turcz. Ex Ledeb (Caprifoliaceae). Korean J. Plant Res. 32:457-462.
- Phip, N.T., H. Nojima and T. Tashiro. 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. Jap. J. Trop. Agric. 51:46-53.
- Yun, K.W. and S.K. Choi. 2004. Antimicrobial activity in 2 *Angelica* species extracts. Korean J. Plant Res. 17:278-282.
- Vandelook, F., N. Bolle and V.A. Jozef A. 2007. Multiple environmental signals required for embryo growth and germination of seeds of *Selinum carvifolia* (L.) L. and *Angelica sylvestris* L. (Apiaceae). Seed Sci. Res. 17:283-291.

(Received 17 January 2020 ; Revised 4 February 2020 ; Accepted 11 February 2020)