

강원도 중왕산 당단풍나무의 개화, 결실, 종자 낙하량 및 종자활력

김희진¹ · 김갑태^{2*}

¹강원대학교 산림경영학과, ²상지대학교 산림과학과

Flowering, Fruiting, Seed Fall and Seed Viability of *Acer pseudosieboldianum* in Mt. Jungwang, Gangwondo

Hoi Jin Kim¹ and Gab Tae Kim^{2*}

¹Department of Forest Management, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²Department of Forest Sciences, Sangji University, Wonju 26339, Korea

요약: 천연활엽수림의 천연갱신 가능성을 파악하고자, 당단풍나무의 개화·결실, 종자낙하, 종자활력을 강원도 평창군 중왕산 지역에서 2009년부터 2015년까지 조사하였다. 당단풍나무 꽃은 산방화서에 양성화와 음성화가 달렸으며, 화서 내에서 성형태간 개화시기가 달랐다. 양성화가 먼저 개화하는 개체에서는 암술이 수분되어 자라기 시작한 꽃에서는 수술은 더 이상 성숙하지 않고 소실되었으며, 음성화가 먼저 개화하는 수술이 발달한 꽃에는 암술은 혼적으로만 존재하였다. 다른 개체에서의 화분이 꿀벌, 애꽃벌류 및 꽃등에류에 의하여 수분이 이루어지는 이형자웅이숙(heterodichogamy)의 성 형태로 자가수분을 회피하는 기작을 가지고 있었다. 종자 낙하량은 310~234,840 ea/ha의 범위로 평균은 70,780 ea/ha이었다. 종자생산에 있어 연년변동이 심하며, 최대치가 최소치의 760배 가량이었다. 당단풍나무의 연년종자생산은 정규분포하는 것이라 사료된다. 성숙한 종자 중에서 피해 또는 부후종자가 59.3%로 가장 많았고, 건진종자가 23.9%, 미발육 종자 9.2%, 쪽정이종자 7.6% 등으로 나타났다. 건진종자 생산량을 좌우하는 요인은 개화기인 5월 중, 하순에 화분매개충의 활동과 어린 자방이 자라는 시기에 흡즙성 해충의 밀도와 활동성이 가장 중요한 요인이라 사료된다. 당단풍나무의 천연갱신은 종자풍년 이듬해에 발아와 생장에 유리한 조건을 갖춘 갭에서 이루어질 것으로 사료된다. 낙엽활엽수의 천연갱신을 이해하기 위해서 개화결실 특성과 비산 전후 종자 피식 문제에 대한 장기간의 연구가 필요할 것이라 사료된다.

Abstract: To examine the natural regeneration in the natural mixed-broadleaved forest, flowering, fruiting, seed-fall, and seed viabilities of *Acer pseudosieboldianum* (**Ap**) were investigated in Mt. Jungwang, Gangwon-do, from 2009 to 2015. The flower of **Ap** consisted many male and bisexual flowers on the corymb. Flowering dates are differed between sex morph in the same inflorescence. Stamens are stop growing and disappeared after pollinated pistil begin to grow in bisexual flowers, and male flowers have vestial pistil. The flowers of **Ap** might be pollinated by *Apis mellifera*, Andrenidae spp. and Syrphinae spp. **Ap** had some mechanism to prevent from self pollination with heterodichogamy. Mean annual seedfall of **Ap** was 70,780 ea/ha (ranged 310~234,840 ea/ha). Annual seedfall of **Ap** varied severely, and the maximum was about 760 times the minimum. Annual seed production of **Ap** might be to a normal distribution. Rates of damaged or decayed seeds are highest 59.3%, and those of sound seeds are 23.9%. Those of undeveloped and empty seeds are 9.2% and 7.6%, respectively. The most important factors influencing sound seed production might be the density and activities of insect pollinators and sucking pest in the flowerwing period, middle-late May. Successful regeneration of **Ap** might be in masting year and on the gap sites with proper conditions to germinate and grow. To understand the natural regeneration of deciduous hardwoods, further study on the characteristics of flowering and fruiting, pre- and post-dispersal seed predation, and annual variation on these factor should be needed.

Key words: natural regeneration, cutting method, heterodichogamy, sound seed

*Corresponding author
E-mail: gtkim@sangji.ac.kr

서론

최근 숲에 대한 패러다임이 변화되면서 산림자원의 관리에서 지속가능성을 강조하는 것이 세계적 추세이며, 이의 실천을 위하여 산림생태계의 건강성과 활력도 유지를 우선시하는 정책으로 바뀌었다. 이러한 변화에 따라 천연개선에 대한 관심도 높아지고 있다. 천연개선은 식재조림보다 경제적(Clason, 2002)이고, 지역의 유전자원의 유지보전 및 숲의 다층적 구조를 유지하는 장점(Harmer and Grill, 2000; Harmer and Kerr, 1995)이 있으며, 자연보전을 목적으로 침엽수 인공 조림지를 천연활엽수림으로 복원하는 데 천연개신 과정을 통하여 에너지 저소비, 최소비용으로 할 수 있어(Zerbe, 2002) 선호된다. Grubb(1977)은 생태계 보전을 위하여 천연개신에 대한 연구는 매우 중요하며, regeneration niche에는 개화, 수분 및 결실을 포함한 활력 있는 종자생산, 발아, 정착, 성장 등의 단계가 관련되어 있음을 주장하였다. 수목집단의 개신은 대부분 종자비(seed rain)로 낙하된 매토종자가 발아묘로, 치수로 자라면서 이루어진다. 이 과정에는 발아에 적합한 입지가 필요하며, 발아묘를 가해하는 동물, 다른 목본식물, 열악한 서식환경에서 생존할 수 있어야 한다(Kimmins, 1997). 천연개신의 성공 여부는 개화결실의 특성(Tal, 2009; Shibata et al., 2009), 비산전·후 종자피식(Fukumoto and Kajimura, 2003; Tanaka, 1995; Yasaka et al., 2003; Hulme, 1998; Janzen, 1971), 결실주기 등을 포함한 활력이 있는 종자의 생산과 공급(Karlsson, 2001; Koenig and Knops, 2000; Ishikawa and Ito, 1989; Crawley, 1989), 종자발아와 성장, 하층식생의 영향(Filipiak, 2002), 토양 특성 등의 입지인자(Gautam et al., 2007), 수종의 생태적 특성 (Heineman et al., 2002) 등 다양한 요인과 관련이 있다.

당단풍나무(*Acer pseudosieboldianum* (Pax)Kom.)는 비옥하고 적운한 북향의 산록이나 계곡이 적지이고 내음성이 강하여 교목성의 층층나무, 신갈나무 등의 숲 중간층에 군생하며 내한성이 강하여 다른 나무의 하목으로 크게 자란다(http://www.nature.go.kr). 이러한 생태적 특성으로 온대지방의 천연활엽수림에서 도태간벌작업이나 천연림보육작업에서 교목수종들의 지하부 가지발생을 억제하기에 흔히 보호목으로 취급되는 숲의 주요한 구성분자이다. 단풍이 아름다워 복자기와 함께 산림청의 조경용 조림수종으로 지정되어 있다.

이에 이 연구는 우리나라의 천연활엽수림의 천연개신 가능성을 파악하고자, 당단풍나무의 개화결실 특성, 종자 낙하량, 종자활력을 강원도 평창군 증왕산 지역에서 2009년부터 2015년까지 조사하였다.

재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구 대상지는 1990년부터 천연활엽수림의 장기생태연구가 진행되고 있는 국유림으로 강원도 평창군 진부면 장전리의 증왕산 일대로 해발 1,000~1,1376 m 범위이며, 대체로 북향인 인위적 간섭을 덜 받은 천연활엽수림 지역이었다(Figure 1). 이 지역의 연평균 기온은 5.8°C, 7월 최고 기온은 27~30°C, 1월 최저기온은 -13°C이었으며, 토양은 역질계 산성갈색 산림토양이며, 표토는 농암갈색의 자갈이 많은 미사질 양토이고, 심토는 황갈색 자갈이 많은 양토였다. 연구대상지 천연활엽수림의 주요 우점수종은 신갈나무, 층층나무, 거제수나무, 들메나무, 물푸레나무, 난티나무, 느릅나무, 고로쇠나무, 복장나무, 음나무, 피나무, 팔배나무, 산벚나무, 개벚지나무 등이었으며, 당단풍나무, 다릅나무, 부계꽃나무, 시닥나무, 산겨릅나무, 마가목, 귀룽나무 등이 상대밀도는 낮으나 혼재하는 숲이었다(Lee, et al., 2009).

2. 개화 및 수분시스템 조사

강원도 평창군 증왕산 지역에 생육 중인 당단풍나무의 개화와 수분을 매년 5월 하순부터 6월 하순까지 조사하였

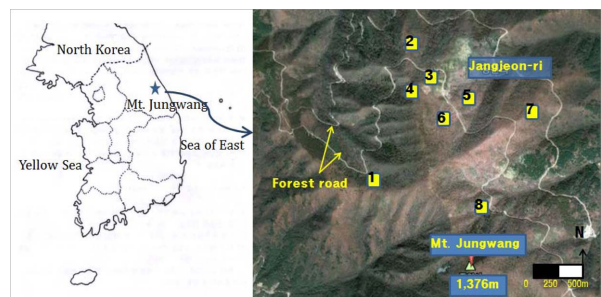


Figure 1. Location map of study sites.



Figure 2. Seed trap setting.

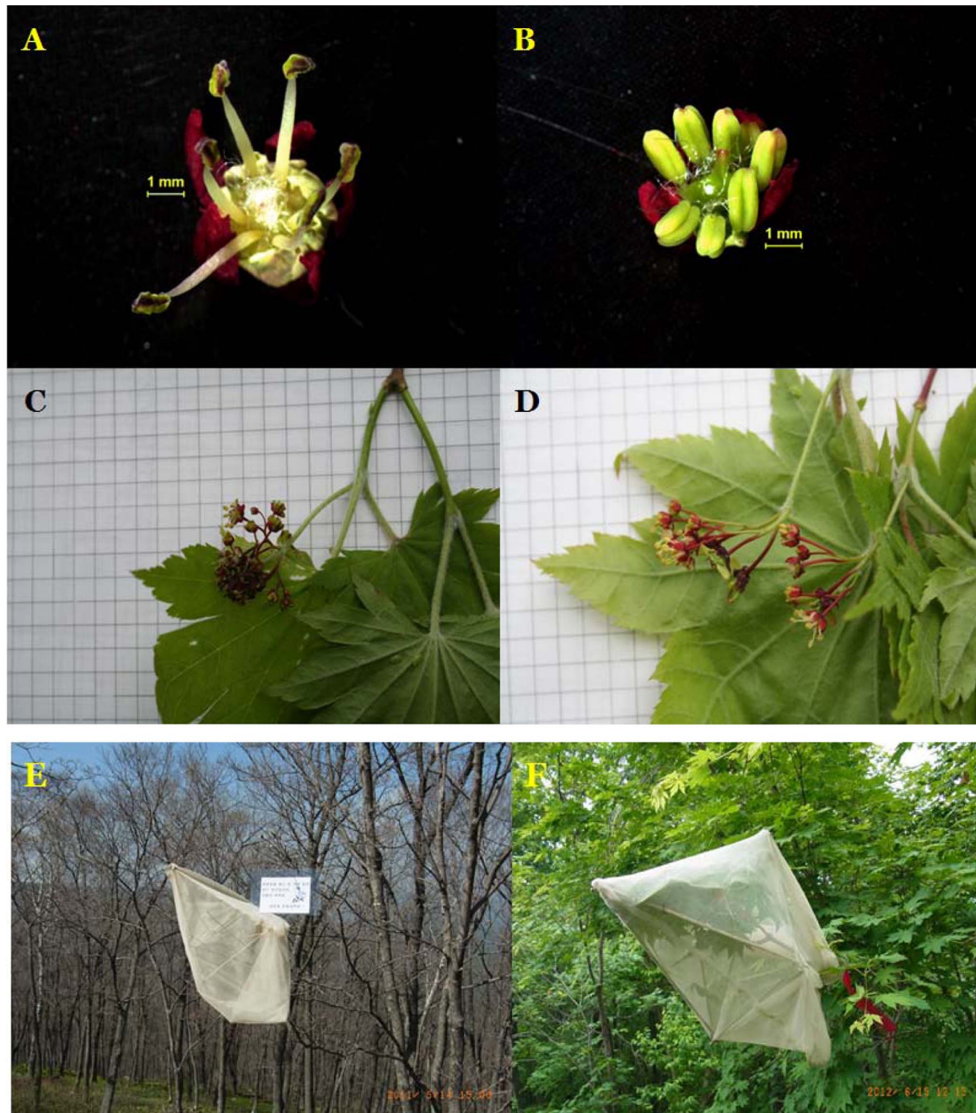


Figure 3. Inflorescence & the flower of *Acer pseudosieboldianum*. A: male flower with with ripened stamens and vestigial pistil, B: female flower with staminoides, C: Protandrous inflorescence, D: Protogynous inflorescence, E,F: bagging treatment.

다. 화서가 자라기 전인 2011년 5월 15일 3 개체목에 대 나무와 망사천(tulle, mesh size 1mm)으로 만든 봉지를 씌웠으며, 망사봉지 속의 가지에 튼튼한 소지 3개씩을 남기며 정리하여 봉지를 씌웠다(Figure 3E, 3F). 6월 하순에 봉지를 걷어내고 시과의 착생여부와 생육상태를 관찰하였다.

3. 종자활력 조사

당단풍나무 시과를 10월 초순에 채종하여 임의추출한 50립씩의 종자에 대하여 3반복으로 절단법에 의하여 종자활력을 측정하였다. 필요한 경우 배의 구조를 10-80x 실체현미경 하에서 관찰하고 필요한 사진을 촬영하였다. 배의 활력은 건전한 배, 미발육 배, 쪽정이(무배) 및 피해부후된 배 등의 4 수준으로 분류하였다(Figure 4). 종자활력

조사는 2009년부터 2015년까지 실시하였으며, 2012년에는 결실량이 적어서 종자활력을 조사할 수 없었다.

4. 종자 낙하량

종자 낙하량을 파악하고자 조사 대상지에 8곳(Figure 1)에 seed trap을 4개씩 총 32개를 설치하고 8월 하순부터 11월 초순까지 주기적으로 낙하종자를 수집하였다(Figure 2). 종자낙하량은 2009년부터 2015년까지 해마다 수집된 종자량을 ha당으로 산출하였다.

5. 통계 분석

종자활력 측정치 등의 평균비교와 유의성 검증은 SPSS(Ver. 22)를 이용하여 분석하였다.

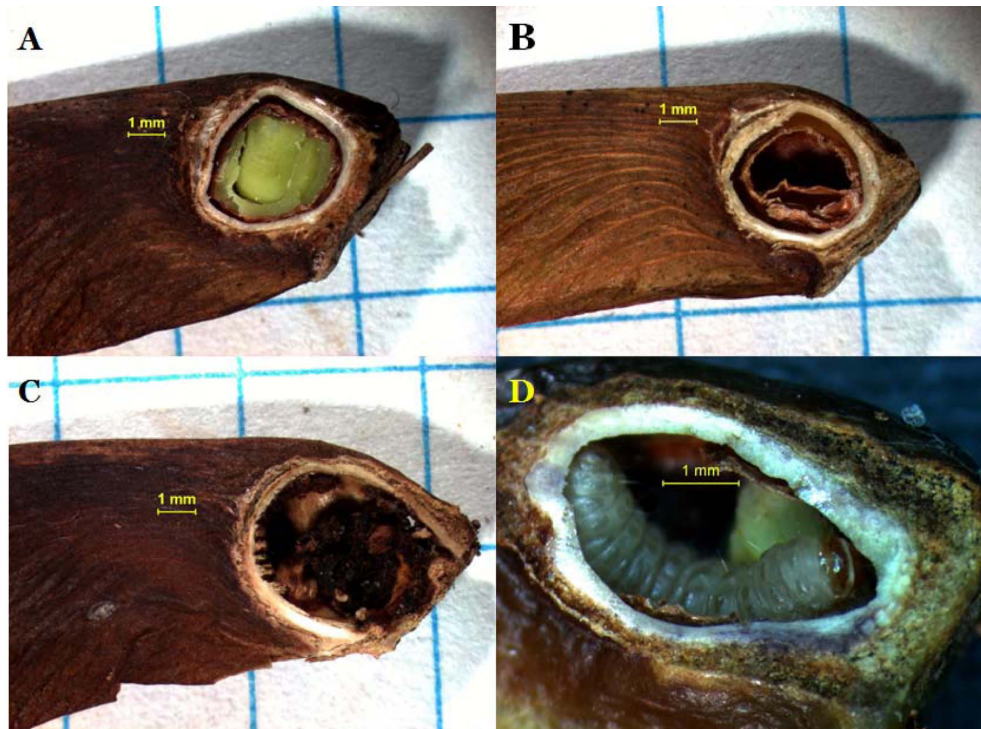


Figure 4. Cross sectional view of *Acer pseudosieboldianum* samara. A: sound embryo, B: empty samara, C: decayed samara, D: damaged by *Bradybatys sharpi* larva.

결과 및 고찰

1. 화기구조, 수분시스템 및 성 형태

연구 대상지(중왕산 해발 1,200 m 인근)에서 당단풍나무는 5월 중~하순에 개화하며, 새 가지의 끝에서 잎과 같이 나오고, 일가화로써 정생하는 산방화서(corymb)에 10~20개의 꽃을 피웠다. 화서당 양성화는 2~3개이고 응성화에는 암술의 흔적과 4~8개의 수술이 달렸다. 화서 내에서 성형기간 개화시기가 달랐다. 양성화로 암술이 수분되어 자라기 시작한 꽃(Figure 3B)에서는 수술은 더 이상 성숙하지 않았고, 수술이 발달한 꽃에는 암술은 흔적으로만 존재하였다(Figure 3A). 이는 당단풍나무가 개체마다 응성화와 양성화(발육하지 않는 헛수술을 가진)를 피우나 일부 개체는 양성화를 먼저 피우고, 다른 개체에서는 응성화를 먼저 피워 상호 수분하고, 흔히 6~7일 늦게 양성화와 응성화를 피우는 전략으로 자가수분을 회피하는 이형자용이숙(heterodichogamy)이라는 성 형태를 지님을 확인하였다. 이러한 성 형태는 단풍나무 속의 고로쇠나무(Kim, 2011b), 단풍나무(Kim and Kim, 2012), 뜰단풍(Kim, 2011a), *Acer pseudoplatanus*(Tal, 2009), *Acer mono*(Shibata et al., 2009), *Acer opalus*(Gleiser et al., 2008)의 자가수분 회피전략과 동일한 형태라 사료되며, Charlesworth(1999)의 현화식물이 진화하는 과정은 암, 수꽃의 일가화 또는 양성화로부터 응성화 양성화 또는 자성

화 양성화 단계를 거쳐 이가화로 진화된다는 설명으로 보아 이가화로 진화하는 과정상의 한 성 형태라 판단된다. 이러한 성 형태는 단풍나무속의 이가화로 진화하는 과정을 설명한 Renner et al.(2007)의 보고를 뒷받침하는 결과라 사료된다.

당단풍나무 개화시기에 꽃을 찾는 화분매개충으로는 꿀벌류, 꽃등에류, 애꽃벌류 등이 관찰되었다. 개화 전에 봉지를 씌운 후(Figure 3E, 3F) 7월 2일경에 풀어서 관찰하니, 어린 시과는 대부분 탈락하고 발육하는 시과는 남아 있지 않았다. 이러한 결과는 당단풍나무가 충매수분하며, 자가수분을 회피하는 기작을 가지고 있음을 의미한다고 사료된다.

2. 결실 특성 및 종자 활력

2009년부터 2015년까지 당단풍나무의 종자낙하량과 종자활력 측정치에 대한 통계분석 결과를 Table 1에 보였다. 종자낙하량은 310~234,840 ea/ha의 범위로 평균은 70,780 ea/ha이었다. 연년변동이 심하며, 최대치가 최소치의 760배 가량이었다. 이러한 결과는 당단풍나무가 일정한 결실 주기를 가지는 것이 아니라, Greene and Johnson(2004)의 북미에서 22수종의 종자생산을 32년간 조사하여, 내생적 종자생산주기는 관찰되지 않았고, 종자 풍년해는 흉년의 다음에 나타났으며, 모든 종자생산의 연년변이는 정규분포한다는 보고와 Koenig and Knops(2000)는 북반구 수목

Table 1. Mean annual seed viabilities by year (mean±sd).

Year	Fallen samara (ea/ha)	Sound	Undevel- oped	Empty	Decayed or damaged	Sum	F- values
2009	4,700	7.0±2.0	4.7±0.6	6.3±0.6	32.0±2.0	50	235.3**
2010	20,300	4.0±1.01	10.3±1.2	6.7±1.2	29.0±1.0	50	328.5**
2011	97,200	12.3±2.5	2.0±1.0	3.3±1.5	32.3±0.6	50	102.85**
2012	4,340	2.0±1.0	1.3±1.0	1.7±0.6	45.0±1.5	50	2112.8**
2013	234,840	16.7±4.2	5.0±2.6	3.3±1.2	25.0±5.0	50	24.7**
2014	310	.*	-	-	-		
2015	133,750	30.0±3.6	4.3±2.1	1.3±0.6	14.3±5.5	50	41.7**
mean	70,780	11.94±10.03	4.61±3.26	3.78±2.29	29.67±9.92		
F-values		44.3**	12.7**	15.4**	309.2**		

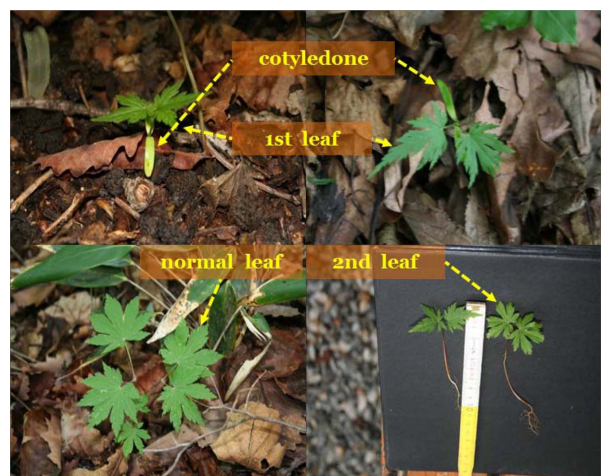
의 종자생산 연년변이는 진화의 전략이며, 연년종자생산은 실무울의 법칙(all or none law)에 따르는 것이 아니라 정규분포한다는 주장이 설득력을 지닌다고 판단된다. 해마다 종자활력에 따른 종자립수는 종자활력간 및 연도간에서도 1% 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다.

당단풍나무 시과를 9월 하순~10월 초순에 채종하여 임의추출한 50립씩의 종자에 대하여 3반복으로 절단법에 의하여 종자활력을 측정된 결과를 Figure 4와 Table 1에 보였다. 배의 상태에 따른 시과의 분류로는 건전종자(Figure 4,A)가 23.9%(11.9/50), 피해종자(Figure 4D) 또는 부후종자(Figure 4C)인 것이 59.3%(29.67/50), 미발육 종자 9.2%(4.6/50), 쪽정이종자 7.6%(3.78/50) 등으로 각각 나타났다. 7년 측정치의 평균은 부후 또는 피해 종자가 가장 많았고, 다음으로 건전종자, 미발육 종자 쪽정이종자 순이었다. 낙하종자 중 건전종자의 수는 종자 낙하량이 많을수록 많은 편이고, 피해부후, 미발육 및 쪽정이종자가 감소하는 것과 관련됨을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 여러 산지에서 조사보고(Kim and Kim, 2011)한 당단풍나무 건전종자 22.2%와는 유사한 값이며, 복장나무 20.1%, 고로쇠나무 16.8%, 우산고로쇠 8.6% 보다는 높은 값이었다. 단풍나무 건전배 46.6%(Kim and Kim, 2012)와 뜰단풍 56%(Kim, 2011a)보다는 낮은 편이었다.

부후 또는 피해입은 시과가 평균 59.3%에 달하는 것은 봄철 어린 시과를 흡즙하는 나무이, 총체벌레, 진딧물류 등의 흡즙성 곤충들에 의한 어린 자방의 흡즙 피해와 2차적인 진균이나 세균의 감염으로 인한 부후로 추정된다. 당단풍나무의 종피가 다른 고로쇠나무에 비하여 딱딱하고 개화시기가 늦어 드물지만 고로쇠나무(Kim, 2011b)와 우산고로쇠(Kim and Kim, 2011)의 시과를 가해하는 검정긴꽃바구미가 가해하기도 한다는 사실을 확인하였다(Figure 4D).

이러한 결과로 볼 때 연구 대상지에서 당단풍나무의 건

**Figure 5. Natural seedlings of *Acer pseudosieboldianum*.**

전종자 생산량을 좌우하는 요인은 개화기인 6월 초순에 화분매개충의 활동과 어린 자방이 자라는 6월 초중순 흡즙성 해충의 밀도와 활동성이 가장 중요한 요인이라 사료된다. 낙하종자에 대한 설치류의 피식, 건조의 피해, 낙엽층의 발아방해 등을 고려하면 당단풍나무 등의 천연갱신이 잘 이루어지지 않는 것이 건전종자의 공급량 부족이 하나의 원인일 수 있을 것이라 사료된다. 내음성이 강한 당단풍나무의 천연갱신은 종자풍년(masting year)에 발아와 생장에 유리한 조건을 갖춘 갭에서 이루어질 것으로 사료된다(Figure 5). 숲에서 발아하는 당단풍나무의 발아묘에는 본엽과 다른 형태를 가진 1,2차엽이 있었으며 2, 3년생에서부터 본엽과 같은 형태였다.

감사의 글

곤충류의 동정을 도와주신 상지대학교 류 동표 교수님과 오랜 기간 조사를 함께한 상지대학교 '늘푸른술' 회원들의 노고에 감사드립니다.

References

- Clason, T.R. 2002. Cost effectiveness of natural regeneration for sustaining production continuity in commercial pine plantations. Pages 287-290 in Outcall, Kenneth W., ed. Proceedings of the eleventh biennial southern silvicultural research conference. General Technical Report SRS-48. Asheville, NC: USDA, Forest Service, Southern Research Station, pp. 622.
- Charlesworth, D. 1999. Theories of the evolution of dioecy. pages 33-60 in Geber, M.A., Dawson, T.E. and L.F. Delpech (eds.) Gender and Sexual Dimorphism in Flowering Plants. Springer, pp. 305.
- Crawley, M.J. 1989. Insect herbivores and plant population dynamics. Annual Review of Entomology 34: 531-564.
- Filipiak, M. 2002. Age structure of natural regeneration of European silver-fir (*Abies alba* Mill.) the Sudety Mts. Dendrobiology 48: 9-14.
- Fukumoto, H. and Kajimura, H. 2003. Seed-Insect Fauna in Pre-Dispersal Acorns of *Quercus variabilis* and *Q. serrata* and Its Impact on Acorn Production. In pages 90-93, Proceedings: IUFRO Kanazawa 2003 "Forest Insects Population Dynamics and Host Influences".
- Gautam, M.K., Tripathi, A.K., and Manhas, R.K. 2007. Indicator species for the natural regeneration of *Shorea robusta* Gaertn. f.(sal). Current Science 91(10): 1359-1361.
- Gleiser, G., Verdu, M., Segarra-Moragues, J.G., Gonzalez-Martinez, S.C., and Pannell, J.R. 2008. Disassortative mating, sexual specialization, and the evolution of gender dimorphism in heterodichogamous *Acer opalus*. Evolution 62: 1676-1688.
- Greene, D.F. and Johnson, E.A. 2004. Modelling the temporal variation in the seed production of North American trees. Canadian Journal of Forest Research 34(1): 65-75.
- Grubb, P.J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: The importance of the regeneration niche. Biological Reviews 52: 107-145.
- Harmer, R. and Kerr, G. 1995. Natural Regeneration of Broadleaved Trees. Research Division of the Forestry Commission, Research Information Note 275, pp. 6.
- Harmer, R. and Grill, R. 2000. Natural Regeneration in Broadleaved Woodland: Deer Browsing and the Establishment of Advance Regeneration. Information Note 35. Forestry Commission, Edinburgh, pp. 6.
- Heineman, J.L., Simard, S.W., and Mather, W.J. 2002. Natural Regeneration of Small Patch Cuts in a Southern Interior ICH Forest. British Columbia, Ministry of Forests, Forest Science Program, Working Paper 64, pp. 14.
- Hulme, P.E. 1998. Post-dispersal seed predation: consequences for plant demography and evolution. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 1(1): 32-46.
- Ishikawa, Y. and Ito, K. 1989. The regeneration process in a mixed forest in central Hokkaido, Japan, Vegetatio 79: 75-84.
- Janzen, D.H. 1971. Seed predation by animals. Annual Review of Biology and Systematics 2: 465-492.
- Karlsson, M. 2001. Natural Regeneration of Broadleaved Tree Species in Southern Sweden -Effects of silvicultural treatments and seed dispersal from surrounding stands-. Doctoral thesis, Swedish Univ. of Agricultural Sciences, pp. 44.
- Kim, G.T. 2011a. Sex morph, fruiting characteristics, and seed viability of *Acer palmatum* var. *matsumurae* (Koidz.) Makino. Journal of Korean Forest Society 100(2): 131-135. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.J. 2011b. Effects of Sex Morph, Flowering, Fruiting and Insect Predation on Viable Seed Production of *Acer pictum* subsp. *mono* in Mt. Jungwang, Gangwon-do, Korea. MS Thesis, Seoul National University, pp. 46. (in Korean with English abstract).
- Kim, G.T. and Kim, H.J. 2012. Sex morph, fruiting habit, and seed viability of *Acer palmatum*. Journal of Korean Forest Society 101(1): 91-95. (in Korean with English abstract)
- Kimmins, J.P. 1997. Forest Ecology -A Foundation for Sustainable Management-, 2nd ed, Prentice Hall, N.J., pp. 596.
- Koenig, W.D. and Knops, J.M.H. 2000. Patterns of annual seed production by Northern Hemisphere trees: A global perspective. The American Naturalist 155(1): 59-69.
- Lee, D.K., Shin, M.Y., Kim, G.T., Kwon, K.W., Kim, J.H. and Park, P.S. 2009. Practical Application Research on Eco-friendly Silvicultural Techniques and Development of Sustainable Forest Management Techniques in Natural Hardwood Forests. Korea Forest Service. Research Report. 337pp. (in Korean with English abstract).
- Renner, S.S., Beenken, L., Grimm, G.W., Kocyan, A., and Ricklefs, R.E. 2007. The evolution of dioecy, heterodichogamy, and labile sex expression in *Acer*. Evolution 61: 2701-2719.
- Shibata, M., Kikuchi, S., Tanaka, H., Sueyoshi, H., Yoshimaru, H., and Niiyama, K. 2009. Effects of population density, sex morph, and tree size on reproduction in heterodichogamous maple, *Acer mono*, in a temperate forest of Japan. Japanese Journal of Ecological Research 24: 1-9.
- Tal, O. 2009. *Acer pseudoplatanus* (Sapindaceae): Heterodichogamy and thrips pollination. Plant Systematics and Evolution 278: 211-221.
- Tanaka, H. 1995. Seed demography of three co-occurring *Acer* species in a Japanese temperate deciduous forest. Journal of Vegetation Science 6: 887-896.
- Yasaka, M., Terazawa, K., Koyama H., and Kon, H. 2003. Masting behaviour of *Fagus crenata*: spatial synchrony and pre-dispersal seed predation. Forest Ecology and Management 184: 277-284.
- Zerbe, S. 2002. Restoration of natural broad-leaved woodland in Central Europe on sites with coniferous forest plantation. Forest Ecology and Management 167: 27-42. <http://www.nature.go.kr>