

백합나무의 인공교배 방법에 따른 교배 효율성 비교

유근옥* · 권해연 · 최형순 · 김인식 · 조도현

국립산림과학원 산림자원육성부

Comparison of Pollination Efficiency on Different Pollination Methods in Yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*)

Keun-Ok Ryu*, Hae-Yun Kwon, Hyung-Soon Choi, In-Sik Kim and Do-Hyun Cho

Department of Forest Resource Development, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

요 약: 본 연구는 충매화인 백합나무의 구조적·생리적 특성을 활용하여 인공교배 시 교배봉투 설치 과정의 생략이 가능한지 여부를 판단하기 위해 수행되었다. 이를 위해 1) 자연 상태(open-pollination)의 비교구, 2) 생식기관(꽃잎, 수술)을 제거하지 않고 교배봉투만 설치(self-pollination), 3) 생식기관만 제거하고 방치, 4) 생식기관 제거 및 인공수분을 실시 후 교배봉투 설치, 5) 생식기관 제거 및 인공수분 실시 후 교배봉투를 씌우지 않는 5 가지의 교배처리를 하였다. 시험결과, 생식기관을 제거하지 않고 교배봉투만 설치한 2번 처리구에서는 충실종자가 전혀 만들어지지 않아 자연 상태에서 자기수분에 의해 종자가 결실될 확률은 매우 낮은 것으로 보인다. 생식기관만 제거하고 교배봉투를 씌우지 않은 3번 처리구의 충실종자 결실률은 0.2%로 통상적인 대규모 인공교배 시의 발생하는 오차수준 보다 매우 낮은 미미한 수준이었다. 생식기관을 제거하고 인공수분을 실시한 후 교배봉투를 씌운 4번 처리구와 씌우지 않은 5번 처리구 종자 충실률은 각각 27.9%와 24.0%로 나타나 인공수분 후 교배봉투를 씌우지 않아도 외부 화분의 유입에 의한 종자 결실률의 증가는 없는 것으로 보인다. 이상의 결과를 종합해 보면 백합나무에서는 대규모 인공교배 시 인공수분 후 교배봉투를 씌우는 과정을 생략해도 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

Abstract: Yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) is an insect-pollinated tree species with large, perfect flower, and its seed sets average only about 10 percent naturally. In its controlled pollination, pollination bags are usually taken to prevent unwanted pollination, but bagging is an expensive and time-consuming process. Therefore, this study was conducted to determine the need of pollination bag by estimating how much unintended pollination would occur when different cross methods were applied. Five different pollination methods were applied as follows: 1) natural open pollination (i.e. insect pollination) as a reference, 2) self-pollination; no removing reproductive organs with bagging, 3) open pollination; emasculated (removing sepal, petal and stamen) without bagging, 4) controlled pollination; emasculated with bagging and 5) controlled pollination; emasculated without bagging. Very low value of full seed rate (0.2%) was observed in method 3, it was suggested that removing stamen and petal restrict the activity of pollen vectors like bee. Difference in the full seed rate between method 4 and method 5 was not significant (27.9% versus 24.0%, respectively). Consequently, controlled pollination without bagging might be an alternative method for extensive breeding and mass production of seeds in yellow poplar.

Key words : pollination, bagging, pollen contamination, seed quality, yellow poplar

서 론

백합나무(*Liriodendron tulipifera* L.)는 북미 원산으로 1968년부터 종자를 도입하여 강원 춘천 등 전국 6개 지역에서 적응성 검정 시험을 실시한 결과, 우리나라 기후 풍토에 잘 적응하며 주요 조림수종인 잣나무, 스트로브

잣나무, 낙엽송 보다 단목재적생장이 2~4배 우수한 것으로 평가되었다(Ryu and Kim, 2003). 이에 산림청에서는 2004년부터 백합나무를 주요 경제조림 수종으로 선정하여 보급하기 시작하였으며, 2008년 현재 전국적으로 약 4,500 ha의 면적에 조림되었다. 지금까지 조림에 필요한 종자는 주로 원산지인 북미지역에서 수입하여 조달하였으며 일부는 국내 채종림에서 채취한 종자로 충당하기도 하였다.

*Corresponding author
E-mail: koryu95@forest.go.kr

최근에는 ‘저탄소 녹색성장’이 국가적 이슈로 등장함에 따라 산림청에서는 화석연료 대체 및 탄소배출권 확보를 위하여 2020년까지 바이오순환림을 10만ha 조성한다는 목표를 세우고, 주 조림수종으로 백합나무를 지정한 바 있다. 그러나, 최근 몇 년간의 종자수급 상황을 고려할 때 수입산을 포함하여 백합나무 종자의 연간 최대 확보 가능량은 약 15톤 정도에 불과할 것으로 예측되고 있다. 이는 약 5,000 ha 정도의 조림물량에 해당하는 양으로 매년 국내에서 필요로 하는 종자량에 비해 매우 부족한 상황이다(Ryu *et al.*, 2008).

이러한 종자수급 문제를 해결하기 위해 단계적으로 채종림 지정을 확대하여 종자생산량을 높이는 방안 또는 선발된 우량개체 간 교배를 통해 얻어진 종자로부터 체세포배를 대량증식하여 활용하는 방안 등을 고려할 수 있으나(Lee *et al.*, 2003), 장기적으로는 채종원 조성을 통한 우량종자의 대량 생산 체계가 구축되어야 할 것으로 보인다. 체세포배의 대량증식이나 채종원 조성 등 우량종묘의 지속적인 생산을 위해서는 우량 교배조합의 선별이 이루어져야 하는데 이를 위해서는 효율적인 인공교배 방법의 확립이 필수적이다.

인공교배는 수 세기동안 임목육종학자들에 의하여 새로운 교잡종, 품종 등을 창출하는데 필수적으로 사용되어 왔으며(Zobel and Talbert, 1984), 국내에서도 호두나무(Hwang *et al.*, 2004)와 다래(Lee *et al.*, 2004) 같은 특용작물이나 과수에서 활발하게 이루어져 왔고, 임목에 있어서는 소나무, 잣나무, 리기테다소나무(Han *et al.*, 1990), 사시나무(Koo *et al.*, 2001) 등에 폭넓게 적용되어 왔다. 인공교배 시 가장 주의를 요하는 것은 원하지 않는 꽃가루에 의한 오염 문제로 대부분의 인공교배에서 화분 오염을 방지하기 위해 교배봉투를 이용하고 있다. 그러나 교배봉투를 활용한 인공교배는 시간과 노력, 그리고 경비가 크게 소요될 뿐 아니라 짧은 개화시기 동안 대규모로 이루어져야 하는 경우가 많아 작업 효율성 및 비용 측면에서 큰 제한요인이 되고 있다. 따라서 이러한 부담을 줄이기 위해 수종별 교배특성을 고려하여 교배봉투를 씌우는 공정을 생략하는 등 좀더 용이한 방법으로 인공교배 과정을 개선할 수 있다면 한정된 시간 내에 많은 물량을 성공적으로 교배하는데 많은 도움을 줄 수 있다.

일반적으로 풍매(風媒)에 의해 수분(受粉, pollination)이 이루어지는 식물종들은 화분 크기가 작고 가벼우며 공기주머니(air sac)가 달려있어 쉽게 공기 중으로 날아다니는 반면, 충매(蟲媒)에 의해 수분되는 종들은 화분에 점성이 있거나 작은 돌기가 있는 등 구조적으로 매개 곤충이나 동물에 의하지 않고서는 화분 이동이 어렵기 때문에, 화려한 색의 꽃잎이나 진한 향기, 또는 밀선(蜜腺)에서 화밀(花蜜, nectar)을 분비하는 등의 방법을 통해 매개

동물들을 끌어들이는 경우가 많다. 따라서 풍매화의 경우에는 교배과정에서 보다 철저한 화분 오염 방지가 필수적인 반면(Cronquist, 1982), 충매화는 교배 시 꽃이 만개하기 전 꽃잎, 꽃받침, 수술을 제거하고 인공 수분을 시행함으로써 외부 화분에 의한 오염 문제를 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 생각되고 있다.

백합나무는 크고 완전한 양성화의 꽃을 피우며, 곤충의 매개에 의한 수분을 통해 종자를 생산하는 수종이다. 백합나무 꽃의 암술은 꽃의 중앙에 위치하며 60~100개의 암술머리로 구성되어 있는데, 그 주위를 20~40개의 수술이 둘러싸고 있다. 화관은 6개의 꽃잎으로 이루어지며 꽃잎 중간부위 위치한 오렌지색 밴드에는 밀선이 있어 화밀을 분비한다(Wilcox and Taft 1969). 열매는 60~100개의 시과(samara)가 가늘고 긴 원추형 구과 형태를 이루는데, 개개의 시과는 본래 2개의 종자를 생산할 수 있는 능력이 있으나 충실종자는 대부분 1개뿐이며, 그나마 자연적인 충실종자의 비율은 전체 결실 종자량의 약 10% 내외이다(Bonner and Russell, 1974). 이러한 백합나무 꽃의 형태적·생리적 특성을 고려할 때, 인공교배 시 수분 후 교배봉투를 씌우지 않아도 외부 화분에 의한 오염을 어느 정도 방지할 수 있을 것으로 생각되나, 국내에서 아직까지 이에 관한 연구는 수행된 바 없었다.

이에 본 연구는 백합나무를 대상으로 꽃잎과 수술을 제거하고 인공수분을 시행 한 후 교배봉투를 씌운 경우에 비해 씌우지 않았을 때 외부 화분유입에 의한 결실률의 증가가 있는지 여부를 살펴봄으로써 향후 대규모 인공교배 수행 시 작업효율 향상을 위해 교배봉투를 씌우는 과정을 생략하는 것이 타당한지 여부를 판단하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구를 위한 공시재료로 경기도 수원에 위치한 국립산림과학원 산림자원육성부 구내의 백합나무 가운데서 43년생 3본, 35년생 1본 및 25년생 3본 등 총 7본을 모수(母樹)로 선정하였으며 경기도 포천에 위치한 국립수목원내 백합나무 시험림에서 37년생 4본을 화분수(花粉樹)로 선정하였다(Table 1).

2. 화분채취 및 교배양식

교배에 사용될 화분 채취를 위해 2008년 5월 초순부터 중순까지 약 12일 동안 광릉시험림에서 4본의 화분수로부터 각기 개화 전의 꽃봉오리를 채취하여 아이스박스에 담아 옮긴 뒤 즉시 외기와 격리된 유리온실에서 수경재배(water culturing)를 통해 개화를 유도하였다. 채취된 대

Table 1. General description of parental trees of yellow poplar used in artificial pollination.

	No.	Location	Height (m)	D.B.H (cm)	Age
Female parent tree	1	Suwon, Kyeonggi-do	30	76	43
	2		33	78	"
	3		25	76	"
	4		24	46	25
	5		20	50	35
	7		30	50	25
	8		27	46	"
	Pollen parent tree		15	Pocheon, Kyeonggi-do	26
16		26	31		"
17		25	32		"
18		25	41		"

부분의 꽃봉오리들은 온실에서 24~48시간이 지난 후 만 개하였으며, 완전히 개화한 꽃에서 수술만을 잘라낸 뒤 화분을 털어내어 화분을 채취하였다. 채취한 화분은 24°C에서 건조한 뒤 conical tube에 담아 교배에 사용될 때까지 4°C에서 냉장보관 하였다.

인공교배는 경기도 수원에서 선정된 7본의 모수(母樹)를 대상으로 실시하였는데, 벌이나 파리 등 매개충이 침입하지 않은 개화 직전의 꽃들을 선택하여 5가지 방법으로 교배시험을 실시하였다(Table 2). 1번 처리구는 비교구로 아무런 처리를 하지 않은 자연상태와 마찬가지로 매개충에 의한 결실(open-pollination)을 유도하였다. 2번 처리구는 매개충의 접근을 제한했을 때 자가수분(self-

pollination)에 의해 종자결실이 이루어지는지 파악하기 위한 것으로 생식기관을 제거하거나 인공수분을 실시하지 않고 개화 직전 교배봉투만 씌웠다. 3번 처리구는 꽃잎과 수술을 제거한 후 교배봉투를 씌우지 않고 방치한 것으로, 꽃잎과 수술을 제거했을 때 매개충에 의한 수분으로 종자결실이 이루어지는지 여부를 파악하기 위해 설치하였다. 4번 처리구는 일반적인 인공교배 방법과 동일한 것으로 개화 전 꽃잎, 꽃받침, 수술을 제거하고 인공수분을 실시한 후 교배봉투를 씌워 주었다. 인공수분은 미리 채취하여 저장하였던 화분을 부드러운 붓을 이용하여 암술에 충분히 칠해주는 방법으로 시행하였다. 5번 처리구는 4번 처리구와 동일한 처리를 하였으나 교배봉투를 씌우지 않았다.

교배를 실시한 꽃이 위치한 가지 하단부에는 각 교배 방법 별로 서로 다른 색깔의 비닐 리본을 묶어 구분하였으며 백합나무 꽃의 화분감수 기간이 평균 12~24시간인 점(Kaiser and Boyce, 1962)을 감안하여 교배봉투를 씌운 경우는 인공수분 실시 후 5일 정도 지나 제거하였다. 결실된 종자는 10월말에 각 모수 및 교배방법별로 구분하여 채취한 후 기건, 정선하였으며, X-ray 검사법에 의해 종자 충실률을 추정하였으며 다음해에 포지에 파종하여 처리별 발아율과 충실률을 조사하였다.

3. 자료분석

인공교배 방법별 처리효과를 검정하기 위해서 조사 항목에 대해 분산분석 및 다중검정을 실시하였는데 분산분

Table 2. Treatments of artificial pollination of yellow poplar.

Treatments	Removing petals and stamens	Artificial pollination	Bagging
1. Open-pollinated (i.e. insect pollinated)	×	×	×
2. Selfed, with pollination bag	×	×	○
3. Open pollinated, emasculated, without pollination bag	○	×	×
4. Control-pollinated, emasculated with pollination bag	○	○	○
5. Control-pollinated, emasculated without pollination bag	○	○	×

Table 3. Percent of filled seed judged by X-ray analysis.

Pollination treatments	Female parent tree							Mean
	1	2	3	4	5	7	8	
1. Open-pollinated (i.e. insect pollinated)	15.0	10.0	0.0	15.0	5.0	15.0	0.0	8.6 ^B
2. Selfed, with pollination bag	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 ^C
3. Open pollinated, emasculated, without pollination bag	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2 ^C
4. Control-pollinated, emasculated with pollination bag	29.4 ^{ab}	24.7 ^{ab}	32.1 ^{ab}	33.6 ^a	35.3 ^a	24.9 ^{ab}	15.3 ^a	27.9 ^A
5. Control-pollinated, emasculated without pollination bag	29.8 ^a	11.4 ^c	17.7 ^{bc}	26.0 ^{ab}	29.3 ^a	36.7 ^a	17.3 ^{bc}	24.0 ^A

*Superscript indicate Duncan's multiple range tests (significant at $p < 0.01$) (small and large letters indicate differences among individuals and among treatments, respectively)

석 시 정규성을 만족할 수 있도록 충실율 등 비율 자료를 arcsine 함수로 변환하여 분석에 이용하였다.

결과 및 고찰

각 처리구별 종자 충실율을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 자연 상태와 마찬가지로 매개곤충에 의한 open-pollination을 유도한 비교구의 경우, 종자 충실율은 평균 8.6%(0~15%)로 나타났는데 이는 원산지에서 일반 천연림으로부터 생산된 종자의 충실율이 10% 내외라는 기존의 연구결과와 유사한 수준이었다(Bonner and Russell, 1974).

수분이 이루어지기 전 완전한 꽃에 교배봉투만 씌운 2번 처리구에서는 충실한 종자가 전혀 생산되지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 시험 목적 상 동일개체의 화분을 이용한 자가수분을 실시하지는 않았는데, 기존의 연구결과에 의하면 자연상태에서 백합나무는 매개곤충에 의한 화분 수분량이 충분하지 않을 뿐 아니라 일부 자가수분도 이루어지기 때문에 종자 충실율이 낮은 것으로 알려져 있다(Boyce and Kaeiser, 1961). 이러한 점을 볼 때 백합나무는 매개곤충이 없으면 수분이 이루어지기 어려울 뿐 아니라 설사 이루어진다고 해도 대부분 활력이 없는 종자가 생산되는 것을 알 수 있다.

꽃잎, 꽃받침, 수술을 제거하고 그대로 방치한 3번 처리구에서는 7개 모수 중 한 개체에서 단 1개의 충실종자가 결실되었는데, 이는 해당 처리구 전체 결실량의 0.2%에 해당하는 수준이다. 그러나, 많은 양의 교잡종자를 생

산하는 대규모의 임목육종 과정에서 이러한 0.2% 내외의 화분 오염은 충분히 감내할 수 있는 수준이며 실제 일반적인 품매종자의 인공교배 시 나타나는 오차보다도 낮은 것으로 생각된다(Taft, 1962; Houston and Joehlin, 1989).

위의 2번과 3번 처리구의 결과를 볼 때, 백합나무의 수분은 매개곤충에 전적으로 의존하고 있으며, 백합나무 꽃에서 꽃잎, 수술, 꿀샘이 제거되면 매개곤충들의 유인여거의 이루어지지 않기 때문에 교배봉투를 씌우지 않아도 외부 화분에 의한 오염 확률이 매우 낮다는 것을 알 수 있다.

이러한 경향은 인공수분을 실시한 후 교배봉투를 씌운 4번 처리구와 씌우지 않은 5번 처리구의 결과에서도 나타나고 있다. 즉, 4번 처리구의 종자 충실율은 평균 27.9%인데 비해서 5번 처리구는 24.0%였으나 교배모수에 따른 차이가 커 처리 간에 유의성은 없었다. 이러한 결과를 볼 때 교배봉투를 씌우지 않아도 추가적인 외부 화분 유입에 따른 종자충실율의 증가 현상은 없는 것으로 보인다. 또한, 인공수분을 실시할 때 통상적으로 붓을 이용하여 충분한 양의 화분을 암술에 처리하기 때문에 외부 화분에 의한 추가적인 수분이 일어날 여지가 없다는 점도 고려한다면 인공교배 시 교배봉투를 사용하지 않아도 큰 문제가 없을 것으로 생각된다.

한편, 인위적인 처리를 하지 않은 비교구의 종자 충실율 8.6%와 비교했을 때 인공교배를 실시한 4번과 5번 처리구의 평균 종자 충실율이 27.9%~32.4% 정도 높았는데 (Figure 1), 이는 백합나무에서 인공교배를 실시할 경우,

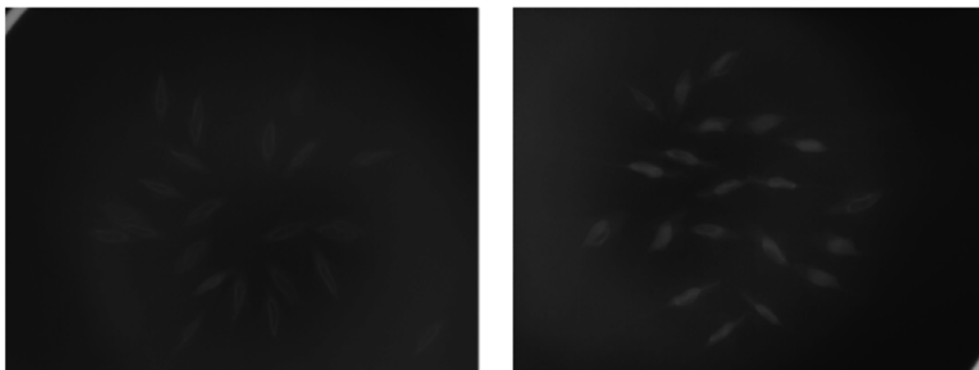


Figure 1. X-ray test of yellow poplar samaras. Open pollinated seeds (left) and artificial pollination seeds (right).

Table 4. Percent of seed with two embryos judged by X-ray analysis.

Pollination Treatment	Female parent tree							Average
	1	2	3	4	5	7	8	
1. Open-pollinated (i.e. insect pollinated)	1.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3 ^B
4. Control-pollinated, emasculated with pollination bag	5.6 ^a	1.3 ^b	4.6 ^a	2.9 ^{ab}	5.0 ^a	2.9 ^{ab}	0.8 ^b	3.3 ^A
5. Control-pollinated, emasculated without pollination bag	1.7 ^b	1.9 ^{ab}	1.7 ^b	2.3 ^{ab}	2.3 ^{ab}	5.0 ^a	1.7 ^b	2.4 ^A

*Superscript indicate Duncan's multiple range tests (significant at p<0.01) (small and large letters indicate differences among individuals and among treatments, respectively)

자연 상태보다 종자 충실율이 높아진다는 기존의 연구결과와 유사한 경향이 있었다(Houston and Joehlin, 1989; Carpenter and Guard, 1950).

각 처리별로 생산된 충실종자 중에서 하나의 시과에 2개의 충실종자를 보유한 비율을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 비교구의 경우 이 비율이 0.3%인데 비해 인공교배를 실시한 4번과 5번 처리구는 각각 3.3%와 2.4%로 나타나 인공교배를 실시할 경우 충매 종자에 비해서 두 개의 충실종자를 생산하는 시과의 비율이 8.0~11.0배 정도 높은 것을 알 수 있다. 이와 관련된 연구결과를 살펴보면 천연 임분에서 두 개의 충실종자를 생산하는 시과의 비율은 임분 밀도가 높은 경우가 3.6%, 임분 밀도가 낮은 경우에는 0.9%였다는 보고(Beck, 1990; Beck and Della-Bianca, 1981; Bonner, 1976; Clark and Boyce, 1964; Whipple, 1968)와 인공교배를 실시할 경우, 자연 상태에 비해서 두 개의 충실종자를 생산하는 시과의 비율이 20.0~31.0배 높았다는 보고(Houston and Joehlin, 1989)가 있었다. 위의 결과와 앞의 처리구별 종자 충실률 결과를 종합해 보면 백합나무의 종자결실 특성은 수분에 관여하는 화분의 양과 밀접하게 관련되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 차후 백합나무의 채종원 조성 시 종자 충실률을 높이기 위해서는 충분한 양의 화분이 공급될 수 있도록 임분 밀도를 조절할 필요가 있으며 매개곤충에 대한 관리 문제도 고려해야 할 것으로 보인다.

각 처리구 중 정상적인 종자가 생산되었다고 판단된 1번, 4번, 5번 처리구의 종자를 비가림 온실에 파종하여 발아율을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 비교구의 발아율은 7.0%인데 비해 인공교배를 실시한 4번과 5번 처리구의 발아율은 각각 19.7%와 11.0%로 더 높게 나타나 종자 충실율 및 두 개의 충실종자를 보유한 시과의 비율 결과와 유사한 경향을 보였다. 다만, 본 연구에서 얻어진 발아율은 전반적으로 이전의 연구결과(Ryu and Kim, 2003)에 비해서 매우 낮았는데, 이는 발아촉진 방법의 차이 때문으로 생각된다. 즉, 이전 연구에서는 3개월간의 노천매장을 실시한 이후에 파종한 반면 본 연구에서는 실험 여건 상 파종 전 3일 정도 종자를 침수(浸水)한 후 파종하였기 때문이다. 이에 대해 Beck(1990)은 백합나무의 종자발아율을 높이기 위해서는 0~10°C에서 60~90일간 습

사와 혼합하여 저장한 후 파종해야 한다고 하였으며, Limstrom(1958)은 1~3년간 노천 매장한 종자가 전 처리 과정을 거치지 않은 종자보다 발아율이 높고 묘목 생장도 우수하다고 하였다. 또한 이와 관련하여 노천매장 기간이 길수록 발아본수가 늘어난다는 보고도 있었다(Williams and Money, 1962).

임목에서 유전적으로 개량된 종자를 얻기 위해서 일반적으로 수형목 선발, 채종원 조성, 인공교배 및 차대검정 등의 과정을 거치게 되는데 교배조합 능력이 우수한 모수를 선발하기 위해 많은 양의 인공교배를 실시하고 있다. 그러나, 교배조합의 수가 매우 많아 수년에 걸쳐서 짧은 개화기간 동안에 많은 양의 인공교배를 수행해야 하는 어려움이 있다. 또한 임목은 수고가 높을 뿐 아니라 대부분 꽃이 수관 상부에 위치하고 있기 때문에 인공교배를 위해서는 로프를 이용해 등목을 하거나 사다리차를 타고 작업을 해야 하기 때문에 많은 인력이 필요하며 작업시간이 많이 소요되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해소하고자 교배조합 수를 최소화하면서 최대의 정보를 얻기 위해 다양한 실험설계 방법이 개발되기도 하였으나, 여전히 인공교배에 많은 인력과 비용이 소요되고 있다(Zobel and Talbert, 1984).

본 연구결과에 의하면 백합나무는 수분 전 꽃잎, 꽃받침, 수술을 제거해 줌으로써 매개곤충의 유인을 충분히 차단할 수 있으며 인공수분 후 교배봉투를 씌우지 않아도 추가적인 화분오염이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 앞으로 백합나무 육성을 위해 많은 양의 인공교배를 실시할 때 교배봉투를 씌우는 과정을 생략해도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다. 다만, 이를 확증하기 위해서는 앞으로 인공교배 후 교배봉투를 씌운 4번 처리구와 교배봉투를 씌우지 않은 5번 처리구에서 생산된 종자들을 대상으로 DNA 표지자를 이용한 외부 화분 오염여부에 대한 추가적인 검증이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

결론

인공교배 시 화분오염을 방지하기 위한 교배봉투 설치에는 많은 시간과 경비가 소요되기 때문에 한정된 개화

Table 5. Percent of filled seed judged by nursery germination tests.

Pollination Treatment	Female parent tree							Average
	1	2	3	4	5	7	8	
1. Open-pollinated (i.e. insect pollinated)	0.8	6.1	0.0	1.0	4.3	36.3	0.8	7.0 ^{AB}
4. Control-pollinated, emasculated with pollination bag	5.7 ^c	13.1 ^{bc}	23.7 ^b	1.3 ^c	45.2 ^a	37.6 ^a	11.3 ^{bc}	19.7 ^A
5. Control-pollinated, emasculated without pollination bag	1.4 ^c	7.1 ^{bc}	11.7 ^b	0.5 ^c	23.8 ^a	23.7 ^a	9.1 ^b	11.0 ^B

*Superscript indicate Duncan's multiple range tests (significant at $p < 0.01$)

(small and large letters indicate differences among individuals and among treatments, respectively)

시기 동안 대규모의 인공교배를 시행할 때 작업 효율성에 커다란 제한요인이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 충매화인 백합나무의 구조적·생리적 특성을 활용하여 인공교배 시 교배봉투 설치 과정의 생략이 가능한지 여부를 판단하기 위해 수행되었다. 이를 위해 화분수와 모수를 각각 4분과 7분씩 선정하여 이들을 대상으로 1) 자연상태(open-pollination)의 비교구, 2) 생식기관(꽃잎, 수술)을 제거하지 않고 교배봉투만 설치(self-pollination), 3) 생식기관만 제거하고 방치, 4) 생식기관 제거 및 인공수분을 실시 후 교배봉투 설치, 5) 생식기관 제거 및 인공수분 실시 후 교배봉투를 씌우지 않는 5가지의 교배처리를 하였다. 시험결과, 생식기관을 제거하지 않고 교배봉투만 설치한 2번 처리구에서는 충실종자가 전혀 만들어지지 않아 자연 상태에서 자가수분에 의해 종자가 결실될 확률은 매우 낮은 것으로 보인다. 생식기관만 제거하고 교배봉투를 씌우지 않은 3번 처리구의 충실종자 결실률은 0.2%로 통상적인 대규모 인공교배 시의 발생하는 오차수준 보다 매우 낮은 미미한 수준이었다. 생식기관을 제거하고 인공교배를 실시한 후 교배봉투를 씌운 4번 처리구와 교배봉투를 씌우지 않은 5번 처리구의 종자 충실률은 각각 27.9%와 24.0%로 나타나 인공수분 후 교배봉투를 씌우지 않아도 외부 화분의 유입에 의한 종자 결실율의 증가는 없는 것으로 보인다. 이상의 결과를 종합해 보면 백합나무에서는 대규모 인공교배 시 인공수분 후 교배봉투를 씌우는 과정을 생략해도 큰 무리가 없을 것으로 생각된다.

인용문헌

1. Beck, D.E. and Della-Bianca, L. 1981. Yellow-poplar: Characteristics and management. Agriculture Handbook No. 583, USDA Forest Service Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, pp.90.
2. Beck, D.E. 1990. *Liriodendron tulipifera* L. yellow poplar. In: Silvics of North America Vol 2 Hardwoods. Burns RM, Honkala BH (eds.), Agriculture Handbook No. 654, USDA Forest Service, Washington DC, pp.406-416.
3. Bonner, F.T. and Russell, T.E. 1974. *Liriodendron tulipifera* L. yellow-poplar. In: Seeds of Woody plants in the United States. Schopmeyer CS (ed.), Agriculture Handbook No. 450, USDA Forest Service, Washington DC, pp. 508-511.
4. Bonner, F.T. 1976. Maturation and collection of yellow-poplar seeds in the midsouth. USDA Agriculture Forest Service Research Paper SO-121. p.9.
5. Boyce, S.G. and Kaeiser, M. 1961. Why yellow-poplar seeds have low viability. USDA Forest Service, Technical Paper 186. Central States Forest Experiment Station, Columbus, OH. 16p.
6. Carpenter, I.W. and Guard, A.T. 1950. Some effects of cross-pollination and hybrid vigor of tulip tree. J. For. 48: 852-855.
7. Clark, F.B. and Boyce, S.G. 1964. Yellow-poplar seed remains viable in the forest litter. Journal of Forest 62: 564-567.
8. Cronquist, A. 1982. Basic Botany. 2nd ed. Harper and Row, Publishers, New York.
9. Han, S.D. Lee, D.K., Shim, S.Y., Hong, S.H. and Shon, S.I. 1990. Growth and morphological characteristics of *Pinus rigida* Miller and its hybrid crossed with southern pine in Korea. Korean J. Breeding 22: 137-147 (in Korean).
10. Houston, D.B. and Joehlin, K.A. 1989. Are pollination bags needed for controlled pollination programs with yellow poplar? Silvae Genetica. 38: 137-140.
11. Hwang, S.I., Cho, K.J., Lee, M.H., Lee, J.S., Lee, B.S. and Lee, U. 2004. Genetic relation and identification of Genus *Juglans* using I-SSR markers. Journal of Korean Forest Society 93:417-422 (in Korean).
12. Kaeiser, M., Boyce, S.G. 1962. X-ray negatives for sorting yellow-poplar samaras with filled and empty seeds. Journal of Forestry 60: 410-411.
13. Koo, Y.B., Kim, I.S., Yeo, J.K., Lee, J.C. and Tak, W.S. 2001. Characteristics of Korean aspen(*Populus davidiana* Dode) progenies from artificial mating. Korean Journal of Breeding Science 33: 311-317 (in Korean).
14. Lee, B.S., Lee, M.H., Hwang, S.I., Kim, S.C., Han, S.S. and Lee, U. 2004. Characteristics of F1 seeds of the cross between *Actinidia arguta* and *A. deliciosa*. Korean J. Breeding 3: 345-349 (in Korean).
15. Lee, J.S., Moon, H.K. and Kim, Y.W. 2003. Mass propagation of *Liriodendron tulipifera* L. via somatic embryogenesis. Korean Journal of Plant Biotechnology. 30: 359-363 (in Korean).
16. Limstrom, G.A. 1958. Stratify yellow-poplar seed or sow directly? Tree Planters' Notes 32/April: 3-4.
17. Ryu, K.O. and Kim, H.E. 2003. Development of techniques and handling for seedling production of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). Journal of Korean Forest Society 92(3): 236-245 (in Korean).
18. Ryu, K.O., Kim, U.J., Kim, I.S., Choi, H.S., Lee, D.H. and Kim, Y.W. 2008. *Liriodendron tulipifera* L. -Growth Characteristics and Utilization Technique-. Korea Forest Research Institute Research Note No. 320. 286pp. (in Korean).
19. Taft, K.A. 1962. The effect of controlled pollination and honeybees on seed quality of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) as assessed by X-ray photography. Forest Tree Improvement program school of Forestry, N.C. State of College, Technical Report No. 13, 21pp.
20. Whipple, S.D. 1968. Yellow-popular regeneration after seed tree cutting and site preparation. Auburn Univ.

- Agric. Exp. Sn. Bull. 384, p. 15.
21. Williams, R.D. and Mony, C.C. 1962. Yellow-poplar seedling yield increased seed stratification. *Journal of Forestry* 60: p878.
22. Wilcox, J.R. and Taft, K.A. Jr. 1969. Genetics of yellow poplar. USDA For. Serv. Res. Pap. Wo-6. 12pp.
23. Zobel, B. and Talbert, J.T. 1984. *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley and Sons. 505pp.
-

(2009년 9월 17일 접수; 2009년 11월 11일 채택)