기후연구 제8권 제2호 2013(143~151)
http://dx.doi.org/10.14383/cri.2013.8.2.143

기후변화 환경에서의 분포지 변화 예측을 위한 온도와 광 요인에 따른 황칠나무 종자의 발아 특성

이재호 · 홍자람 · 이준석 · 전영문 · 이재석

건국대학교 생명특성화대학 생명과학과

(2013년 4월 26일 접수, 2013년 5월 14일 수정, 2013년 5월 21일 게재 확정)

Characteristic of Seed Germination of *Dendropanax morifera* According to Temperature and Light Factors for Estimating Change of Habitat Area in Global Warming

Jaeho Lee · Jaram Hong · Joonseok Yi · Young-Moon Chun · Jaeseok Lee

Department of Biological Science, Konkuk University, Seoul, Korea

(Received 26 April 2013, Revised 14 May 2013, Accepted 21 May 2013)

Abstract : The plant habitat is moved by change of growth environment due to global warming. And it have to need seed germination and successful settlement of seedling in new habitat. This study aims to supply basic data for predicting change of habitat of *Dendropanax morbifera* Lev., warm temperate tree in Korea, by global warming. Characteristics of seed germination of *D. morbifera* was studied in different temperature and light conditions. Firstly, fruit and non-fleshed seed were saw without cold treatment. Second, each fruit and non-fleshed seed were treated in wet cold and dry cold conditions at 4°C for 3 months, and it were saw in 10, 15, 20, 25, 30°C conditions. After cold treatment at 4°C, non-fleshed seed shows high germination ratio of 87%, 53%, 77%, 63%, 23% in 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, and 30°C, respectively. Also, in filed test, non-fleshed seed was high in 69.2% and in non-light condition. However, it did not shown germinated seed in light condition. In conclusion, germination of *D. morbifera* mainly controlled by non-light condition in temperature after cold treatment for about 3 months on 4°C.

Key Words : Climate Change, plant habitat, seed germination, *Dendropanax morbifera*, germination ratio, cold treatment

1. 서론

기후변화에 의해 가장 크게 명확하게 변화하는 식물학적 특성의 변화는 식물계절이다. 일반적으로 식물계절은 온도가 증가할수록 생육과 개화, 결실 등이 빠르게 진행되는 것으로 보고되고 있다(Bazzaz, 1998; 조현길 · 안태원, 2008; 이경미 외, 2009; Lee, 2011). 많은 종류의 식물이 온

Correspondence: JaeSeok Lee, Department of Biological Sciences, Konkuk University, 1 Hwayang-dong, Gwangjin-gu, Seoul, 143-701, Republic of Korea, Phone: +82-2-450-3411, Fax: +82-2-3437-3411, E-mail: jaeseok@konkuk.ac.kr

난화에 따른 식물계절의 변화로 인해 타종과의 경쟁관계의 역전을 통한 분포지의 축소와 확대를 동반하여 주변의 식물군락의 구조와 종조성을 변화시키고 있다. 이러한 식물들의 온난화에 따른 경쟁관계를 예측하고 그 결과로 나타나는 분포지 변화의 추정은 그 식물이 가지는 고유의 온도에 대한 식물계절 반응 자료 수집이 기초가 된다. 식물의 경우, 기존의 분포지가 아닌 새로운 지역으로 이동 정착하기 위해서는 먼저 종자의 확실한 발아와 유묘의 정착과정이 성공적으로 이루어져야 한다. 유묘의 성공적인 정착은 온도의 단일한 환경조건만이 영향을 미치는 것이 아니고, 종자가 생육하고 있는 생육지 고유의 환경을 반영하는 경향이 있다(Baskin, 1985). 따라서 기후변화에 따른 종의 이동과 정착을 예측하기 위해서는 먼저 종이 가진 고유의 발아 정착에 관련되는 환경조건에 대한 기초자료가 수집되어야 하며 그로부터 온도에 대한 영향 정도를 추출해 내야한다(김세현, 1998; 윤종학 외, 2011).

최근 지구온난화에 따라 우리나라의 남부에 분포하는 식물 종들의 북상에 대한 관심이 매우 높게 고조되고 있다. 특히, 군락 우점종의 경우 일반적으로 분포면적이 매우 광범위한데 이는 넓은 환경수용 범위를 가지고 있기 때문이며 이러한 종들은 온도변화에 비교적 둔감한 특성을 가지는 경향이 있다. 반대로 일부 지역에 국한되어 있는 종의 경우 환경 변화에 매우 민감한 종으로 기후변화와 같은 환경변화는 매우 치명적으로 작용할 수 있다(Bazzaz, 1970; 박종철 외, 2010; Lee, 2011). 따라서 기후변화와 같은 영향을 예측하기 위해서는 보다 민감한 종을 대상을 자료를 수집하는 것이 적절할 것이다. 이러한 목적에 걸맞는 종의 한 예로 남부도서 및 제주도에 국한되어 분포하고 있는 황칠나무(*Dendropanax morifera* Lev.)는 최근 경제적 가치가 재평가되어 재배에 관한 관심이 매우 높아가고 있다.

우리나라의 중부에 분포하는 온대수종에 비해 내한성이 약한 황칠나무는 제주도, 완도, 보길도, 거문도, 해남, 거제도 등 서·남해안 및 도서지역을 포함하는 난온대지역에 널리 분포하였으나(정병석 외, 1995; 김세현 외, 1998; 김세현, 2004) 무분별한 벌채와 중요성에 대한 인식부재로 인한 관리소홀로 인해 대부분의 자생지가 파괴되어 현재는 일부 지역에만 남아있는 희귀수종이 되었다(이재석 외, 2010). 이러한 요인에 의해 자연 상태에서 대량으로 약용물질 채취는 대단히 어려운 실정이며, 재배를 통해 황칠수액을 생산 공급해야 하는 상황에 처해 있다. 하지만 대량생산 체계 구축을 위해서는 먼저 현지의 기후조건하에서 황칠나무의 묘목을 안정적으로 생산 공급하는 육묘과정이 요구된다. 육묘를 통한 묘목 생산은 먼저 종자 발아에 대한 기초 자료가 수집되어야 가능한 사항이므로 이러한 상황에서 황칠나무 종자의 발아 특성에 대한 자료는 매우 높은 가치를 가진다. 하지만 이러한 육묘와 재배지의 조성은 장래의 기후변화에 따른 온도상승 조건에서 이러한 종들이 어떻게 반응할 것인가를 예측하는 장기적인 관점에서 추진되어야 한다.

일반적으로 종자의 발아는 발아에 적합한 시간과 환경이 주어졌을 때 가능한데, 식물에 따른 휴면기간 차이로 발아시기를 불균일하게 만든다. 이러한 환경요인으로서는 광 강도와 광질, 온도, 수분 등이 있으며 이러한 환경요인의 계절적으로 변동할 때 종자가 발아에 적합한 환경이 처하게 되면 휴면이 타파되어 발아로 진행된다. 이러한 휴면은 종자의 성숙과정에 따라 제1차 휴면과 제2차 휴면으로 구분할 수 있는데(Foley, 2001), 먼저 제1차 휴면은 가장 흔한 휴면으로 종자 내 배의 미성숙, 종피의 투수성 및 통기성 불량 등에 의하여 일어나는 자발 휴면과 종자 외의 수분,

광, 온도 등의 발아 부적합 환경에 의하여 유발되는 타발 휴면으로 구분된다(Bazzaz, 1970; Baskin and Baskin, 1985). 제2차 휴면은 성숙한 종자에 없었던 휴면이 발아에 부적당한 환경으로 인하여 휴면이 다시 유도되는 것을 말한다. 발아에 부적당한 환경으로는 고온, 저온, 습윤, 건조, 암흑, 광, 산소의 부족 등 다양한 경우가 있는데(Casal and Sánchez, 1998), 일반적으로 타발 휴면은 진탕, 온탕, 건열, 저온, 고압 등 여러 가지 방법으로 타파가 가능하다. 많은 종류의 식물 종자는 수주 동안 암 상태에서 저온처리를 하는 냉습처리로 휴면이 타파된다고 보고되어 있다(Debeaujon *et al.*, 2000).

본 연구에서는 종자의 발아 특성에 미치는 다양한 환경요인이 황칠나무 종자의 발아에 미치는 관계성을 추출하여 양질의 묘목 생산 체계를 마련하기 위한 발아 특성에 관한 기초자료를 수집하고 또한 수목종의 종자발아에 미치는 환경요인과의 상호작용 관계를 도출하여 자연계에서 어떤 종이 종자단계로부터 정착하여 성목으로 자리 잡기 위한 초기단계인 발아의 특성을 고찰하여 자연군락 형성의 과학적 특성을 고찰한다. 이러한 자료들은 급속히 진행되는 기후변화의 상황에 장·단기적으로 대처하는 기초자료가 될 것으로 기대한다.

2. 재료 및 방법

1) 종자채취 및 선별

황칠나무의 꽃은 가지 끝에 20−30개의 작은 소화로 구성된 총상화서이며, 6월경에 개화하여 대부분은 그대로 결실하여 총상의 과실이 성숙된다. 하지만 자연 상태에서 종자는 거의 성숙이 완료되기 직전에 여러 가지 곰팡이에 의해 결실률이 매우 낮은 관계로 묘목생산이나 실험에 이용 가능할 정도의 건실한 종자를 얻는 것은 쉽지 않았다.

이러한 이유로 실험이나 묘목 생산에 사용할 종자를 채취하기 위해서는 결실률을 높이기 위해 일반적으로 살균제를 살포하는 방법이 이용되고 있는데, 살균제를 살포하지 않을 경우, 과실은 장마기의 종료 즈음에 많은 부분이 세균에 감염되어 결실률이 현저히 감소하기 때문이다. 본 발아 실험에 사용된 종자 역시 이러한 종자 채취를 위해 살균제를 처리하여 얻은 것으로 수령 20년 정도의 모수에서 2008년 12월 중순에 전라남도 해남군 보길도의 황칠나무 자생지에서 채취하여 완숙된 과실과 그 과실로부터 채취된 종자만을 실험에 사용하였다.

과육으로 둘러싸여 있는 형태로 채집된 종자는 상온상태로 실험실로 옮겨 종자를 일시 냉장 보관하였다. 과육형태로 채취된 종자는 과육 처리 구용을 제외한 나머지는 종자의 경우, 수작업으로 개개의 과육을 모두 제거한 후 흐르는 물로 3회 정도 수세하여 남은 과육 성분을 완전히 제거한 상태로 실험에 사용하기 전까지 건조를 방지하기 위해 물을 적신 거즈로 덮어 냉장고(4℃)에 보관하였다. 이러한 종자 중 육안으로 불량해 보이는 작은 크기나 쭉정이 형태의 종자는 실험에서 배제하였다. 과육과 종자를 분리하는 과정이 수작업을 통해 진행된 이유로 시간이 소요되어 실제 습냉처리는 2009년 1월 26일에 실시되었다.

2) 발아 실험

(1) 발아 전 처리

실험의 구성은 먼저 과육이 있는 상태의 종자와 과육이 제거된 상태의 종자로 구분하였고, 이를 다시 각각 냉습처리한 것과 냉습처리를 하지 않은 것으로 구분하였다. 이러한 과육(flesh)이 있는 상태의 건냉처리와 습냉처리, 과육 제거 상태의 건

냉처리와 습냉처리로 총 4개의 실내 실험군과 과육을 제거 후 냉습처리한 종자를 대상으로 야외조건에서 광처리와 무광처리의 2개 실외 실험 처리군을 추가하여 총 6개의 실험 조건에서 발아실험을 실시하였다.

냉습처리는 증류수로 5번 청결하게 씻어 낸 모래 15리터를 준비한 17리터의 플라스틱 용기에 담아 습냉 처리용 매립상을 만들었다. 매립상에 준비한 모래 중 500ml을 덜어 과육을 제거한 종자와 제거하지 않은 과실상태의 종자를 각각 균질하게 섞은 것을 망사주머니에 넣어 매립상 내 깊이 8cm 정도의 모래에 묻은 후 4℃ 가 유지되는 항온냉장고에 다음 해 4월 중순까지 약 120일 정도 처리하였다.

냉건처리는 일반적으로 과육이 황칠종자의 발아를 억제하는 경우가 문헌적으로 보고된 바, 과육을 제거한 종자만을 대상으로 실시하였다. 수세한 종자를 건조시킨 후 종이 봉지에 넣어 냉장고(4℃)에 보관하는 방법으로 냉건처리를 하였다.

(2) 발아실험

실내 실험군의 온도처리는 10, 15, 20, 25, 30℃의 5단계 온도 처리구로 설정하였다. 이는 황칠나무가 자연적인 상태에서 처할 수 있을 것으로 추정되는 토양온도 범위를 기초로 한 것이다. 각 종자의 파종은 필터페이퍼 배지 이용의 실험의 경우, 직경 9cm의 petri-dish 필터페이퍼 2장을 깔고 종자 20립을 파종한 후 증류수 10ml을 공급하여 각각의 처리 온도가 유지되는 항온기에 두었다. 파종한 후에는 종자가 건조되지 않도록 상시 스프레이로 물을 보충하였다. 냉습처리를 하지 않은 종자의 경우, 종자 채취 후 운반과 과육제거 작업으로 인해 약 20일 정도의 시간이 경과된 상태에서 실험에 사용되었다.

야외실험에서의 종자 파종은 광에 노출되는 실험구와 차광막을 이용하여 광이 75% 차단된 조건을 구분하여 실시하였다. 종자를 파종할 파종상은 가로 60cm, 세로 35cm, 높이 9cm 파종용 바트에 밭 토양을 담아 편평하게 다듬어 제작하였다. 파종상은 줄 간격 5cm로 파종구를 만들어 파종구당 20립의 종자를 파종하였으며, 파종 후 에는 토양이 건조되지 않도록 매일 오후 충분한 물을 보충하였다.

발아 여부의 판단은 실내실험의 경우, 유근이 대략 3mm 정도 신장한 경우를 발아된 것으로 판별하였으며, 야외실험의 경우, 토양 내에서 유근의 신장 여부를 판단할 수 없었기 때문에 떡잎이 지상부로 반 이상 돌출되어 출아(emergence)된 것을 발아로 판별하였다. 수집된 데이터는 일원 분산분석(one-way ANOVA)을 통해 처리구 간 유의성을 검정하였으며, 모든 통계처리는 Minitab 통계처리 소프트웨어(Minitab Inc.)를 사용하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

1) 비냉처리에 따른 종자발아

종자를 채집하여 냉처리를 하지 않은 경우의 과육을 제거와 무관하게 발아율은 매우 낮게 나타났다(Figure 1(a), (b)). Figure 1(a)에서와 같이 과육을 제거한 후 바로 파종한 종자의 경우 파종 직후에는 모든 온도 실험구에서 발아를 하지 않았지만, 파종 후 약 2개월 반 정도가 지나면서 20℃에서 낮은 수치의 발아를 보였고 이후 20여 일이 지나 10℃에서 발아를 보였으나, 전체적으로 실험 개시 일자인 1월 26일부터 실험이 종료된 5월 2일까지 매우 저조한 발아율을 보였다. 최종 발아율은 과육을 제거한 실험구의 경우, 10℃에서 27%로 가장 높게 나타났고 이어서 20℃에서 20%, 15℃에서 6%로 나타났으며, 25℃ 및 30℃에서는

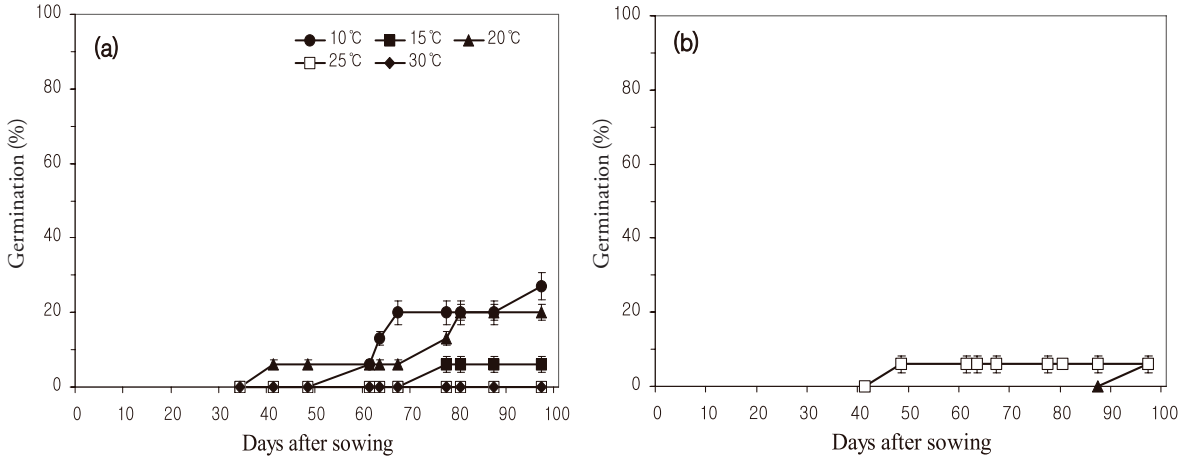

Figure 1. Response of seed germination of *Dendropanax morbifera* with non-cold treatment in each experimental temperature. Non-fleshed seed (a) and fleshed seed (b). Seeds collected in Dec. 2008 were sown in Jan. 26, 2009.

전혀 발아하지 않았다(Figure 1(a)). 과육을 제거한 비냉처리 실험구의 저온 실험구에서 나타나는 이러한 발아 양태도 실험이 장기간 지속되는 과정에서 낮은 온도처리와 건조 방지를 위한 수분 공급이 냉습처리 효과를 제공하였고 그로인해 종자가 휴면에서 타파되었기 때문으로 판단된다. 한편 과육을 제거하지 않은 처리구에서는 25℃에서 6%의 낮은 발아율을 보였을 뿐 다른 온도 실험구에서는 전혀 발아하지 않은 결과를 보였다(Figure 1(b)). 이러한 결과는 과육의 제거와 저온처리가 황칠나무 종자의 발아 형태에 영향을 주고 있음을 시사하는 실험결과로 파악된다.

2) 냉습 및 냉건 처리에 대한 반응

냉습처리를 한 후 약 3개월이 경과한 종자를 대상으로 한 발아실험에서 과육을 제거하여 냉습처리를 한 종자는 10℃ 실험구에서 발아율은 87%로 온도 실험구 중 가장 높은 발아율을 보였으며, 이어서 20℃에서 77%, 25℃에서 63%, 15℃에서 53%, 30℃에서 23%의 발아율을 보여 온도가 높아질수록 발아율이 낮아지는 경향을 보였다(Figure 2(a)). 한편 과육을 제거하지 않고 냉습처리를 한 종자의 경우, 전 온도 실험구에서 전혀 발아를 하지 않아 냉습처리 시 과육을 제거하여야 만 냉습처리 효과가 있음을 보여 주었다(Figure 2(b)). 이와 더불어 과육을 제거하고 건냉처리한 종자의 경우도 과육이 있는 상태로 냉습처리한 종자와 마찬가지로 전 온도 실험구에서 전혀 발아를 보이지 않았다(Figure 2(c)). 이러한 결과는 황칠나무의 종자가 발아능력을 얻기 위해서는 과육이 제거된 후 일정기간의 냉습한 조건이 필요한 것으로 보인다. 야외상태에서 이러한 조건은 종자의 산포와 관련 깊은 조류의 섭식 활동과 황칠나무가 우리나라의 난온대인 제주도와 남해안 일대의 섬지역의 온도환경과 깊은 관련이 있는 것으로 사료된다(이재석 외, 2010). 황칠나무의 과실은 대략 11월에서 12월 경 성숙되어 대부분의 과실 채로 새에게 섭식되어 과육이 소화된 후 새의 배설물과 섞여 다양한 지역에 퍼트려진다. 지면에 떨어진 종자는 지면 가까이의 낙엽 등에 뒤섞이거나 이후에 떨어지는 낙엽의 밑에 묻힌 채로 동계를 거치게 되는데 이때 종자의 냉습처리 효과를 제공하여 발

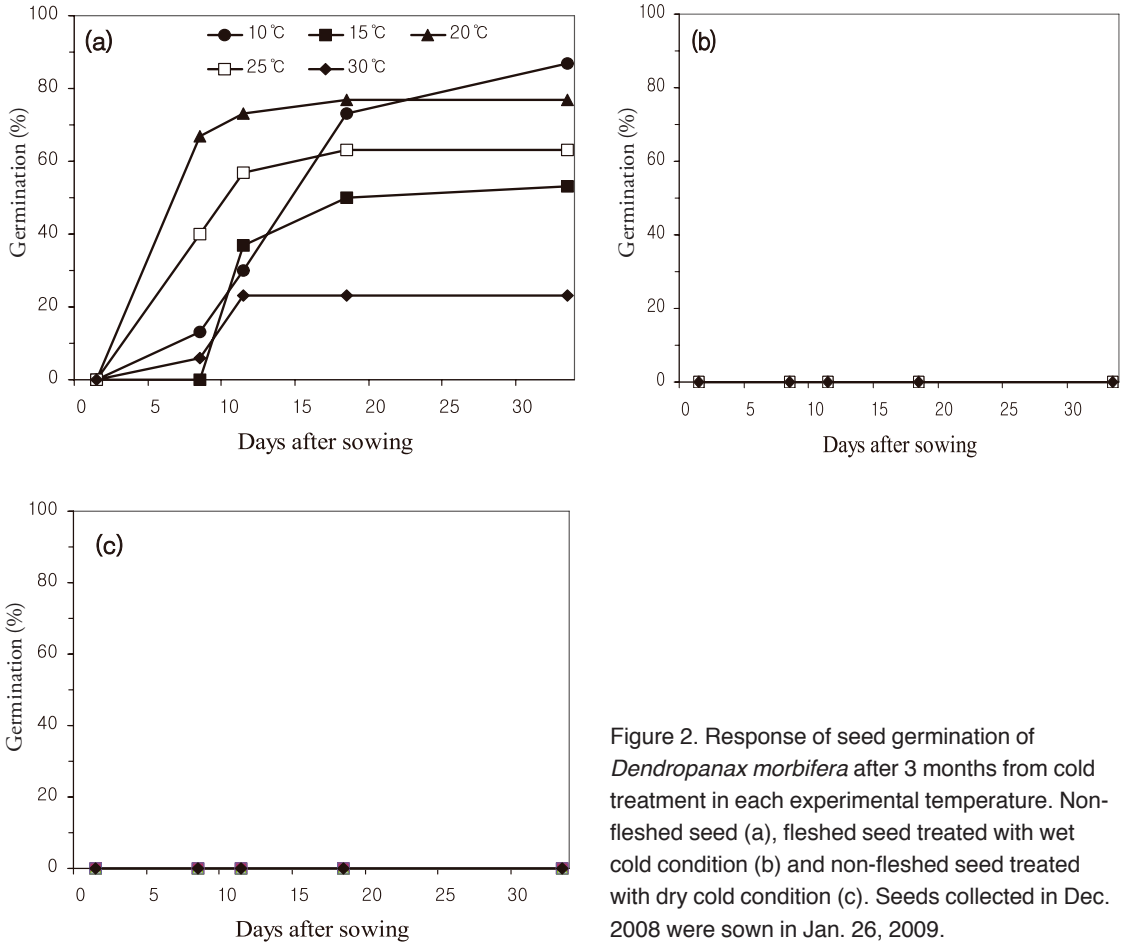

Figure 2. Response of seed germination of *Dendropanax morbifera* after 3 months from cold treatment in each experimental temperature. Non-fleshed seed (a), fleshed seed treated with wet cold condition (b) and non-fleshed seed treated with dry cold condition (c). Seeds collected in Dec. 2008 were sown in Jan. 26, 2009.

아 능력을 부여한다. 실제로 야외에서의 황칠나무 분포는 기존에 형성된 숲에 정착한 군락의 수반 종으로 자리 잡은 경우가 많은데, 이는 황칠나무가 종자에서 유묘로 정착하는 과정에 필요로 하는 냉습처리와 암조건과 같은 특이한 환경조건이 작용하기 때문인 것으로 생각된다.

한편 과육을 제거하여 냉습처리한 종자에서 각 온도 실험대에서의 발아 양상을 보면 일반적으로 온도가 높은 실험구가 온도가 낮은 실험구에서 보다 빨리 발아하는 결과를 보여 발아 처리온도가 발아시기에 영향을 미치는 결과를 보였다.

3) 냉습처리 기간과 발아능력

습냉처리 4개월 후 파종한 종자의 발아율은 15℃에서 47%로 가장 높게 나타났고(P<0.01), 이어서 20℃에서 27%, 10℃에서 20%, 25℃에서 13%, 30℃에서 3%로 나타났다(Figure 3(a)). 이와 더불어 과육을 제거하지 않고 냉습처리한 종자의 경우는 25℃에서 10%, 10℃, 15℃, 20℃에서 각각 7%의 낮은 발아율을 보였고(Figure 3(b)), 30℃에서는 전혀 발아하지 않았다. 한편 과육을 제거하고 건냉처리를 한 종자의 경우, 전 온도 실험구에서 발아하지 않는 결과를 보였다(Figure 3(c)). 이러한 냉습처리 후 4개월 후의 발아 능력이 현저한

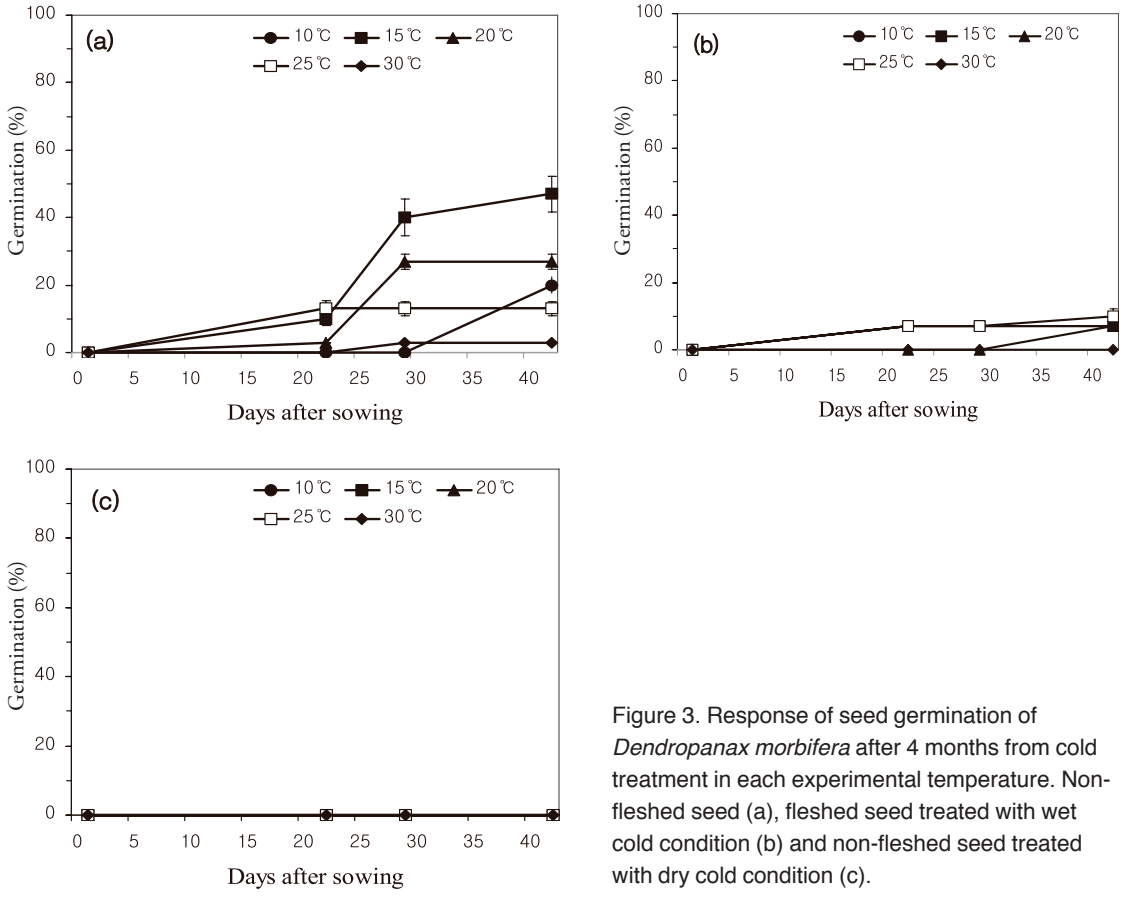

Figure 3. Response of seed germination of *Dendropanax morbifera* after 4 months from cold treatment in each experimental temperature. Non-fleshed seed (a), fleshed seed treated with wet cold condition (b) and non-fleshed seed treated with dry cold condition (c).

저하는 결과는 냉습처리 후 4개월 이내에 종자를 파종하는 것이 가장 발아율을 높일 수 있는 방법임을 보여주고 있다.

4) 광조건 및 온도변화에 따른 발아 능력

Figure 4(a)는 황칠나무 종자를 차광된 파종상에 파종한 결과이다. 과육을 제거하고 냉습처리를 한 종자의 발아율은 파종 후 1개월이 지난 후 52.5%로 높은 발아율을 보였으며 이후 약간의 추가 발아를 보여 최종적으로 69.2%의 최종 발아율을 보인 반면 과육 상태로 냉습처리를 한 실험구에서는 발아 개시 시기도 매우 늦을 뿐 아니라 최종 발아율 역시 15%로 매우 낮은 결과를 보였다 (Figure 4(b), $P<0.001$). 이와 함께 광 노출구에서는 과육의 제거 유무와 관계없이 2% 이하의 매우 낮은 발아율을 보여 광조건이 황칠나무 종자의 발아율에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한 이러한 발아 개시는 개략 일평균 기온이 10℃ 이상일 발아가 진행되는 것으로 나타났다(Figure 4(c)).

이와 같은 결과는 위에서도 언급한 것과 같이 황칠나무가 생육하는 숲이 난온대의 상록활엽수림인 관계로 임상의 광조건이 매우 어두운 상태에 종자가 낙하되고 그러한 환경에 종자가 발아하고 유묘로 정착되는 특성을 가지기 때문인 것으로 판단된다. 실제로 이재석 외(2010)는 황칠나무군

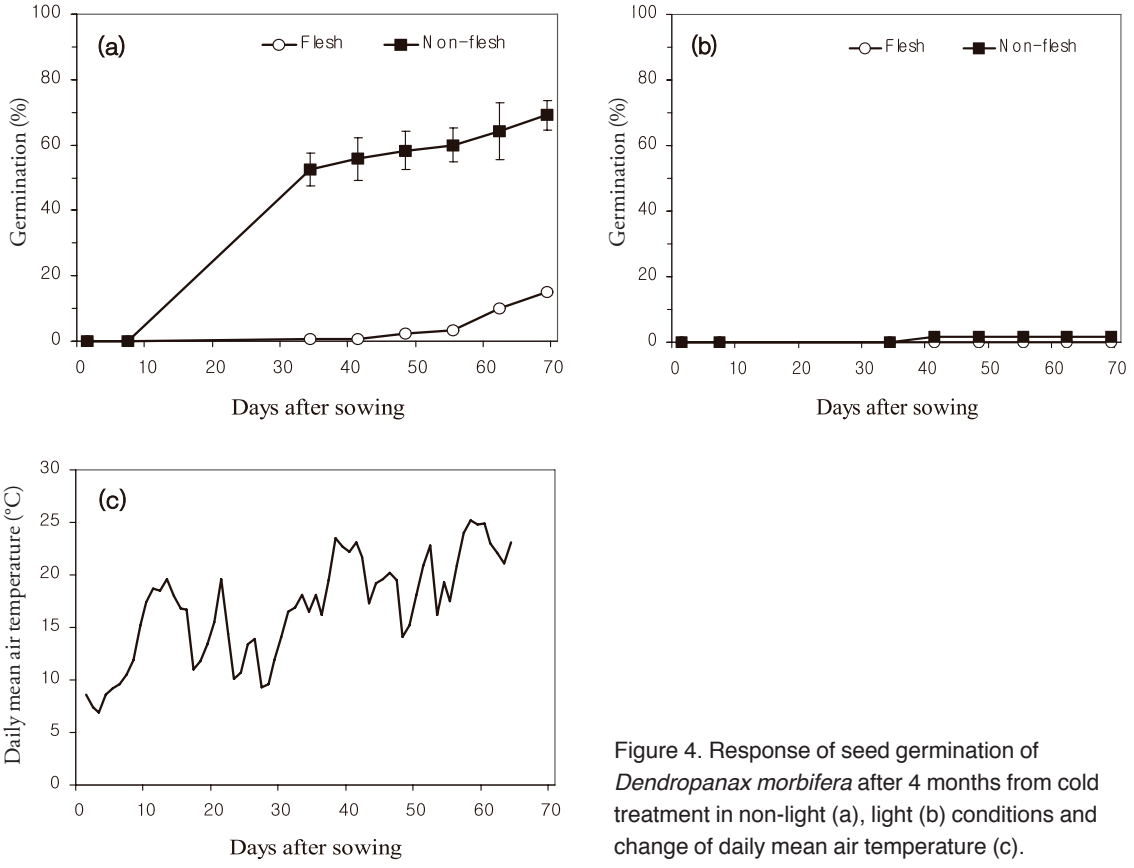

Figure 4. Response of seed germination of *Dendropanax morbifera* after 4 months from cold treatment in non-light (a), light (b) conditions and change of daily mean air temperature (c).

락의 식생구조와 입지환경 분석을 통한 생육가능 지역 추정연구에서 자연 상태에서 황칠나무는 군락단위의 집단을 분포하지 않고 아교목상과 교목상의 모수가 산발적으로 몇 개체씩 산재하는 형태로 모수 주변부에 유묘와 유목이 분포하는 양상을 보인다고 보고하였는데, 이러한 형태의 분포 양상은 난온대 상록 활엽수림 임상의 어둔 곳에서도 높은 발아능력을 가지는 황칠나무의 발아 특성이 기여하기 때문으로 판단된다. 정재민 외(1998)는 황칠나무 자연 집단에서의 치수(seedling)의 발생과 생장의 변화양상이 낙엽수림 보다 상록활엽수림에서 치수의 발생량이 많았으며, 생장 결과도 좋았다고 보고 하였다. 또한 치수와 유목들은 모수로 추정되는 성숙목으로 떨어진 곳에 분포하는 경향을 보였고, 황칠나무는 다른 상록활엽수들과 동반하여 집단 확산이 일어난다고 밝혔다.

사사

이 논문은 2010년도 건국대학교 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

김세현 · 정헌관 · 장용석 · 김선창, 2004, 한라산 황칠나무 집단의 구조 및 생육 동태, 한국자원식물

학회지, 17(3), 248-256.

김세현, 1998, 황칠나무(*Dendropanax morbifera* Lev.)의 생태와 유량개체 선발에 관한 연구, 경상대학교 박사학위논문.

박종철 · 양금철 · 장동호, 기후변화에 따른 난온대 상록활엽수림대의 이동에 관한 연구, 기후연구, 5(1), 29-41.

윤종학 · 나카오 카츠히로 · 박찬호 · 이병윤 · 오경희, 기후변화에 따른 한반도 난온대 상록할엽수의 잠재 생육지 변화 예측, 한국환경생태학회지, 25(4), 590-600.

이경미 · 권원태 · 이승호, 2009, 우리나라 식물계절 시기의 변화 경향에 관한 연구, 한국지역지리학회지, 15(3), 337-350.

이재석 · 이은혜 · 전영문, 2010, 황칠나무군락의 식생구조와 입지환경 분석을 통한 생육가능지역 추정연구, 한국환경생물학회지, 28(1), 30-39.

정병석 · 조종수 · 표병식 · 황백, 1995, 황칠나무의 분포 및 황칠의 성분 분석에 관한 연구, 한국생물공학회지, 10, 393-400.

정재민 · 김세현 · 김삼식, 1998, 황칠나무의 집단구조와 치수의 발생과 생육동태 및 공간분포, 한국자원식물학회지, 11(3), 345-352.

조현길 · 안태원, 2008, 미기후 변화에 따른 식물계절 차이, 한국환경생태학회지, 22(3), 221-229.

Baskin, J. M. and Baskin, C. C., 1985, The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum, *BioScience*, 35, 492-498.

Bazzaz, F. A., 1970, Secondary dormancy in seeds of the common ragweed (Ambrosia artemisiifolia), Bull. Torrey Bot. Club, 97, 302-305.

Bazzaz, F. A., 1998, Plants in Changing Environments: Linking Physiological, Population and Community Ecology, Cambridge University Press.

Casal, J. J. and Sánchez, R. A., 1998, Phytochromes and seed germination. *Seed Science Research*, 8, 317-329

Debeaujon, I., K. M. Léon-Kloosterziel, and Koornneef, M., 2000, Influence of the testa on seed dormancy, germination, and longevity in Arabidopsis, *Plant Physiology*, 122, 403-413.

Foley, M. E., 2001, Seed dormancy: an update on terminology, physiological genetics, and quantitative trait loci regulating germinability, *Weed Science*, 49(3), 305-317.

Lee, J. S., 2011, Combined effect of elevated CO_2 and temperature on the growth and phenology of two annual C3 and C4 weedy species, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 484-491.