

경쟁 수종들의 잎 추출 수용액이 가문비나무 종자발아 및 유묘생장에 미치는 타감효과

김길남¹ · 한심희^{1*} · 신수정² · 김두현^{3*}

¹국립산림과학원 산림유전자원부, ²충북대학교 목재종이과학과,
³동아대학교 생명자원산업학과

Allelopathic Effect against Seed Germination and Seedling Growth of *Picea jezoensis* of Leaf Aqueous Extracts from Competition Species

Gil Nam Kim¹, Sim-Hee Han^{1*}, Soo Jeong Shin² and Du-Hyun Kim^{3*}

¹Department of Forest Genetic Resources, National Institute of Forest Science, Suwon 16631, Korea

²Department of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

³Department of Life Resources Industry, Dong-A University, Busan 49315, Korea

요약: 본 연구는 가문비나무 집단 내 치수형성이 잘 이루어지지 않는 이유를 찾고자 실시하였다. 가문비나무 집단 내 치수형성을 방해하는 타감물질의 존재여부를 확인하고, 타감작용을 일으키는 수종을 확인하기 위해서 타감물질을 추출하여 종자발아 및 유묘생장에 미치는 영향을 조사하였다. 수용성 추출액은 GC/MS를 사용하여 수용성 페놀화합물의 유무를 확인하였다. 가문비나무 집단에서 채취한 주변 경쟁수종 잎의 수용성 추출물은 가문비나무 종자의 발아를 감소시켰으며, 유묘의 성장을 저해하였다. 추출액의 수용성 페놀화합물을 분석한 결과, borneol, Camphor, Longifolen, Longifolenaldehyde, Norbornene, Ketobornane, 1,8-Cineole, α -Cadinol이 검출되었는데, 이들은 monoterpenoids 화합물로서, 타감물질로 잘 알려진 화합물들이다. 결론적으로, 가문비나무 집단 내 치수형성에 영향을 미치는 인자중의 하나가 주변 경쟁식생들의 타감효과에 의한 것으로 판단된다.

Abstract: This study was conducted to evaluate the allelopathic effect against the regeneration of the seedling and to identify the presence of allelochemicals in *Picea jezoensis* natural population in Jirisan. Water-soluble extracts from leaves of different competition plants were collected to test their effects on seed germination and seedling growth of *P. jezoensis*. Phenolic compounds from leaves were quantified using GC/MS. The seed germination rate and seedling growth of *P. jezoensis* was reduced by extracts of all competition plants leaves. Monoterpenoids compound, which are generally well known in the allelochemicals has been detected in the leaf extracts. In conclusion, allelopathic chemicals of competition vegetation in *P. jezoensis* natural population could inhibit the seed germination and seedling growth of *P. jezoensis*, that is considered as a result of the lower seedling establishment.

Key words: allelopathy, *Picea jezoensis*, seed germination, phenolic compounds

서론

가문비나무 [*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière.] 는 우리나라 계방산, 덕유산, 지리산에만 제한적으로 분포하며, 산림청 권장 주요 용재수로서 소나무, 잣나무, 낙엽송 등과 함께 경제적으로 매우 중요한 수종 중의 하나이다(Nikolov and Helmisaari, 1992). 최근 우리나라 가문비

나무 집단은 서서히 쇠퇴하고 있는 것으로 보고되고 있으나, 그 원인에 대해서는 아직까지 명확하게 밝혀지지 않고 있다(Han et al., 2012). 일본의 경우, 가문비나무에 대한 생태 및 동태에 대한 연구 결과를 통해 천연갱신의 문제점을 제시해 왔으며, 이를 해결하기 위해 많은 연구를 수행해 왔다(Nakagawa et al., 2003). 최근 우리나라도 기후 변화에 대한 고산 수종의 쇠퇴 문제가 거론되면서 가문비나무 치수발생 연구(Han, 2008), 지리산 천왕봉 지역의 가문비나무림 군집구조(An et al., 2010), 계방산 가문

*Corresponding author

E-mail: simhee02@korea.kr, dhkimhort@dau.ac.kr

비나무의 개체군 구조와 동태(Ko et al., 2013)와 같은 생태학적 특성을 밝히는 연구들이 진행되고 있다. 또한, 이러한 생태학적 특성 뿐 만 아니라 Han et al.(2012)은 가문비나무의 쇠퇴원인을 밝히고자 집단별 가문비나무 침엽의 생리적 특성에 대한 연구도 진행하였다. 기존의 연구 결과들을 종합해 보면, 현재 가문비나무는 집단 내에서 치수형성이 잘 이루어지지 않아 자연적으로 후계림 조성이 어려운 것으로 조사되었다.

일반적으로 산림에서 치수의 종 구성과 분포에 따라 임분의 유지 및 발달이 예측 가능하며, 하층에서 발달하고 있는 치수는 향후 개체군 유지와 임분 갱신에 중요한 요소이다(Greene et al., 1999; Parent et al., 2003). 치수의 발생은 주변 식생과의 경쟁과 임상에 크게 영향을 받는데, 치수 발생량이 유지되기 위해서는 발아 전 종자 손실의 최소화 및 높은 종자 발아율이 뒷받침되어야 한다.

산림 내에서 식물들은 어떤 화학적인 작용 없이 환경으로부터 이용 가능한 빛, 수분, 양분 등을 더 많이 획득하기 위한 자원경쟁이 이루어짐과 동시에, 식물체 내에서 allelochemicals 라는 특정 화합물이 생성되어 밖으로 배출되면서 주변 경쟁식물들의 성장을 억제시키는 작용도 함께 일어난다(Zackrisson and Nilsson, 1992). 이러한 화합물들은 식물의 이차대사산물로서 식물체의 조직으로부터 나와서 자기 방어작용을 하는 것으로 알려져 있다. 또한, 잎을 포함한 지상부의 침출물, 뿌리 분비액, 나무껍질 등에서 분비된 allelochemicals는 대부분 근권으로 유입된다(Kil, 2005; Tiffany et al., 2004). 근권으로 유입된 allelochemicals는 주변 경쟁식물들의 종자 발아와 생장, 광합성, 식물 집단의 형성과 천이, 식물의 생산 등에 영향을 미치는 생화학적 상호작용을 일으킨다(Wu et al., 1998).

Kim et al.(1998)은 구상나무의 종자 발아율이 높음에도 불구하고 자생 집단에서 치수발생이 적은 이유가 타감효과에 의한 것인지 알아보려고 실험한 결과, 주변 경쟁식물들의 잎 수용성 추출물이 구상나무 종자의 발아율을 25~40% 가량 감소시켰다고 보고하였다.

본 연구는 가문비나무 집단의 현지내 보전을 위한 쇠퇴원인에 대한 구명 연구의 일부분으로서, 가문비나무 집단 내 치수형성이 잘 이루어지지 않는 이유를 찾고자 실시하였다. 가문비나무 자생지의 경쟁 수종의 잎으로부터 타감물질을 추출하여 가문비나무의 종자발아 및 유묘생장에 미치는 영향을 조사하였고, 가문비나무의 치수형성을 방해하는 타감 물질의 존재여부를 확인하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 연구에 사용된 가문비나무 종자는 2011년 10월 덕유

산에서 구과 결실이 좋고, 생장, 건강도 등이 양호한 성목에서 채취하였다. 채취한 종자는 그늘에서 건조 후 정선하여 3개월간 습사처리를 하였다가 실험에 이용하였다. 습사처리는 젖은 모래(조사, 0.5~1 mm)와 종자를 3:1의 부피비로 혼합하여 저온저장고(4°C)에 보관하였다. 가문비나무 유묘는 같은 개체에서 채취한 종자를 파종하여 생산한 2-0묘를 대상으로 실험에 이용하였다.

2. 타감물질 추출

앞에 존재하는 타감물질을 추출하기 위하여 가문비나무(*Picea jezoensis*), 당단풍(*Acer pseudosieboldianum*), 미역줄나무(*Tripterygium regelii*), 분비나무(*Abies nephrolepis*), 사스래나무(*Betula ermanii*), 신갈나무(*Quercus mongolica*), 주목(*Taxus cuspidata*), 철쭉(*Rhododendron schlippenbachii*), 청시닥나무(*Acer barbinerve*) 등 가문비나무 집단에서 우점하는 9수종의 잎을 채취하였다. 각 수종별 잎에 존재하는 수용성 타감물질을 추출하기 위하여 상온에서 증류수를 사용하였고(Inderjit and Dakshini, 1995), 각 시료의 25, 50, 100 g을 정량하여 시료 무게 10배의 증류수를 첨가하여 상온에서 각각 12, 24, 48, 72시간 침적시켜 추출하였다. 추출액은 나일론 망으로 거른 후, 상등액을 여과하고, 이를 냉장고(4°C)에 보관하면서 사용하였다.

3. 타감효과 실험

종자 발아 실험은 직경 9 cm의 페트리디쉬에 Whatman No.42 여과지를 2장 깔고 50립씩 치상한 후, 4반복으로 24°C를 유지한 성장상 내에서 실시하였다. 처리구는 각 시료량 및 시간별 수용 추출액을, 그리고 대조구는 증류수를 사용하여 건조하지 않을 정도로 관수하면서 실험하였다. 종자의 발아 조사는 총 28일 동안 유근의 길이가 2 mm 이상인 것만 발아한 것으로 간주하여 발아한 종자의 수를 조사하였고, Scott et al.(1984)의 방법으로 종자의 발아율(germination percentage, GP) 및 평균발아일수(mean germination time, MGT)를 계산하였다.

유묘의 생장 실험은 피트모스 : 펠라이트 : 질석(1 : 1 : 1, v/v)을 혼합한 배양토를 담은 플라스틱 포트(D 16 cm × H 20 cm)에 옮겨심은 후 실시하였다. 처리구는 종자 발아 실험에서 조사된 자료를 참고하여, 종자 발아를 가장 많이 억제시키는 미역줄나무, 분비나무, 사스래나무, 주목 및 청시닥나무 5수종을 대상으로 72시간 100 g에서 추출된 수용액을 주 1회 100 mL씩 관수와 병행하여 실시하였다. 타감물질에 의한 유묘의 생장 변화를 알아보기 위하여, 근원경을 측정하고, $[\text{Ln}(x_2) - \text{Ln}(x_1)] / (t_2 - t_1)$ 의 식에 의해 상대생장율(relative growth rate)을 계산하였다(Beadle, 1993). 여기서 x_2 와 x_1 은 생장 종료 후(t_2)와 이식 초기(t_1)의 근원경을 나타낸다.

4. 타감물질 성분 분석

타감물질 성분 분석은 9수종의 생엽을 수용 추출한 뒤, 그 수용액을 GC/MS(Hewlett Packard HP 5889B Gas chromatography/Mass spectrophotometer)를 사용하여 분석하였다. 분석조건은 Column(DB-5, 25 m×0.25 μm×0.25 mm)을 사용하여, Oven 온도는 100°C/2 min, Ramp 온도는 5°C/min, Inceptor 온도는 250°C, Detector 온도는 330°C로 하였다.

5. 통계 분석

타감작용에 의한 종자발아 특성을 비교하기 위하여 다원분산분석을 실시하여 처리간 차이를 분석하였다. 발아율, 평균발아일수 및 유묘의 상대생장율은 Duncan의 다중검정을 실시하여 처리간 차이를 표시하였다.

결 과

가문비나무 집단에서 가문비나무와 함께 빈도가 높은 주요 우점종의 잎을 대상으로, 추출시간과 추출 시료량을 달리하여 얻은 수용성 추출액을 가문비나무 종자에 처리

한 후 발아율과 평균발아일수를 조사한 결과, Table 1과 같은 통계 결과가 나타났다. 종자 발아율은 수종, 추출시간 및 추출시료량에 따라 뚜렷한 차이를 나타냈으며, 수종과 추출시간, 추출시간과 추출시료량 및 수종, 추출시간 및 추출시료량 간에 상호 효과가 있는 것으로 나타났다 ($p<0.05$). 그러나 평균발아일수는 수종, 추출시간 및 추출시료량에 따라 뚜렷한 차이가 있었지만, 수종과 추출시간 및 수종과 추출시료량 간에만 상호 효과가 있었다.

9수종 잎의 수용성 추출액이 종자발아 특성에 미치는 영향은 Figure 1과 같은 결과를 나타냈다. 모든 수용성 추출액은 증류수를 사용한 대조구에 비해서 발아율이 뚜렷하게 감소하였다($p<0.05$). 특히, 미역줄나무와 청시닥나무의 수용성 추출액은 가문비나무 종자 발아율을 대조구에 비해 50%이상 낮추었으며, 가문비나무의 수용성 추출액도 33% 종자 발아의 저해 효과를 보였다. 이는 타감작용이 주변경쟁 식생뿐만 아니라 동종 간에도 이루어진다는 기존의 연구 결과를 뒷받침해주는 결과이다. 종자의 평균 발아일수도 미역줄나무의 수용성 추출액이 종자의 발아를 억제시킴으로써 평균발아일수가 가장 뚜렷하게 길었다.

본 연구에서는 각 수종별 잎의 타감물질 추출 시 추출시간과 추출시료량을 달리하여 실험을 하였는데, 가문비나무, 당단풍, 신갈나무 및 청시닥나무는 추출 시간이 가장 오래된 72시간 처리구에서 발아율이 뚜렷하게 감소하였다 ($p<0.05$). 특히, 청시닥나무의 72시간 추출액 처리구는 가문비나무 종자 발아율이 16.7%로 모든 수종 중에서 가장 낮은 값을 보였다(Table 2). 추출시간에 따른 평균발아일수는 가문비나무, 당단풍, 미역줄나무, 사스래나무 및 신갈나무는 추출시간이 가장 오래된 72시간 처리구에서 가장 길었다. 특히, 미역줄나무의 72시간 추출액 처리구에서 가문비나무의 종자 평균발아일수가 12.4일로 가장 길었다(Table 3).

추출시료량을 달리하여 처리한 결과에서는 사스래나무

Table 1. Mean square and statistical significance in multi-way ANOVA.

Source	df	Germination (%)	Mean germination time (day)
Species (S)	8	2061.2***	97.4***
Extraction time (ET)	3	395.6**	16.0***
Extraction weight (EW)	2	314.3*	40.3***
S × ET	24	457.4***	3.2*
S × EW	16	114.4 ^{n.s.}	3.3*
ET × EW	6	469.9***	2.3 ^{n.s.}
S × ET × EW	48	344.9***	1.7 ^{n.s.}

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** ≤ 0.001 , and n.s.: non-significance

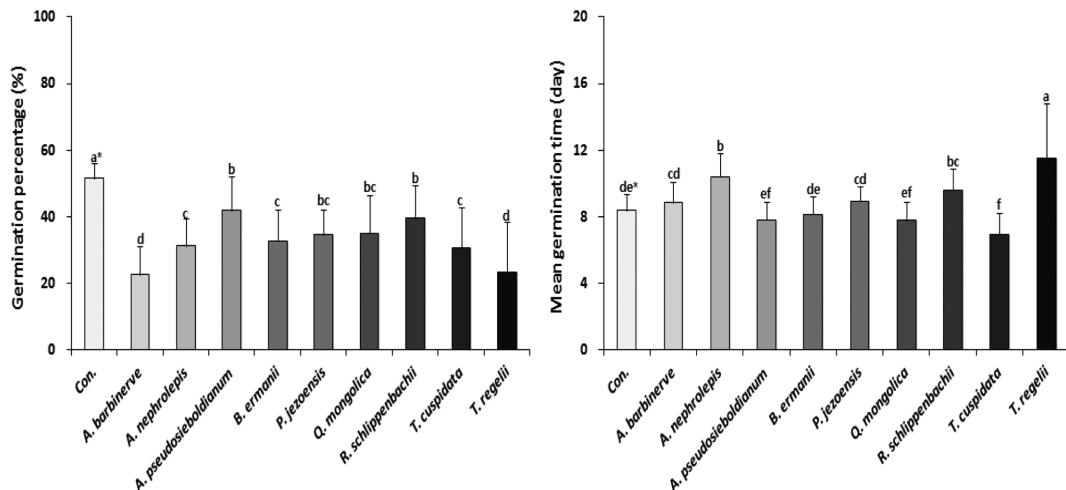


Figure 1. Effect of various leaf extracts on seed germination properties of *Picea jezoensis*. *: Different letters indicate Duncan's multiple range tests (significant at $p<0.05$).

Table 2. Effect of leaf extracts on seed germination percentage of *Picea jezoensis* according to the various length of extraction time.

Extraction species	Extraction time (hr)			
	12	24	48	72
<i>A. barbinerve</i>	28.3±8.9 ^a _y	24.2±9.1 ^b	20.8±3.7 ^c	16.7±6.9 ^c
<i>A. nephrolepis</i>	33.0±8.4 ^a	31.2±8.2 ^a	29.5±6.8 ^b	30.8±9.6 ^a
<i>A. pseudosieboldianum</i>	50.3±16.0 ^a	46.8±19.6 ^a	48.7±12.3 ^a	21.7±3.6 ^b
<i>B. ermanii</i>	35.7±11.4 ^a	32.3±7.0 ^a	33.0±7.6 ^a	29.5±11.6 ^a
<i>P. jezoensis</i>	35.8±4.7 ^a	36.3±8.0 ^a	37.5±7.1 ^a	28.2±8.0 ^b
<i>Q. mongolica</i>	43.2±6.7 ^a	35.3±14.5 ^a	33.8±9.9 ^a	27.7±8.9 ^b
<i>R. schlippenbachii</i>	43.8±12.8 ^a	41.5±8.1 ^a	36.8±9.3 ^a	35.8±8.1 ^a
<i>T. cuspidata</i>	41.3±11.2 ^a	27.5±10.6 ^b	21.7±6.1 ^c	31.3±11.7 ^a
<i>T. regelii</i>	24.0±13.0 ^a	22.7±17.0 ^b	25.2±15.8 ^b	21.5±15.7 ^b

^z All the values are mean of four replicates±SD.

^y Different letters within a extraction times show statistical differences among extraction species at the 5% probability level by the Duncan's multiple range tests.

Table 3. Effect of leaf extracts on seed mean germination time of *Picea jezoensis* according to the various length of extraction time.

Extraction species	Extraction time (hr)			
	12	24	48	72
<i>A. barbinerve</i>	8.6±1.1 ^a _y	9.1±0.8 ^a	8.7±1.4 ^a	8.9±1.7 ^a
<i>A. nephrolepis</i>	9.9±0.7 ^a	10.5±1.0 ^a	11.6±1.7 ^a	9.5±1.0 ^a
<i>A. pseudosieboldianum</i>	7.4±1.0 ^b	7.6±1.0 ^b	7.5±1.0 ^b	8.7±1.1 ^a
<i>B. ermanii</i>	8.3±1.3 ^a	7.7±0.6 ^b	8.2±1.2 ^a	8.4±1.0 ^a
<i>P. jezoensis</i>	8.7±0.9 ^a	8.6±0.8 ^a	9.2±0.9 ^a	9.2±0.9 ^a
<i>Q. mongolica</i>	7.9±0.6 ^b	7.1±1.4 ^b	8.0±0.9 ^a	8.1±1.2 ^b
<i>R. schlippenbachii</i>	9.2±0.7 ^a	9.3±1.2 ^a	10.1±1.0 ^a	9.7±1.9 ^a
<i>T. cuspidata</i>	5.5±0.8 ^c	6.4±1.1 ^c	8.1±0.8 ^a	7.7±0.6 ^c
<i>T. regelii</i>	10.8±2.5 ^a	11.3±4.0 ^a	11.6±3.3 ^a	12.4±3.2 ^a

^z All the values are mean of four replicates±SD.

^y Different letters within a extraction times show statistical differences among extraction species at the 5% probability level by the Duncan's multiple range tests.

및 주목을 제외한 모든 수종에서 시료량이 증가할수록 가문비나무 종자의 발아율이 감소하였으며, 청시닥나무 100 g 추출액 처리구에서 종자 발아율이 19.6%로 가장 낮았다 (Table 4). 사스래나무, 신갈나무, 주목, 청시닥나무는 시료량이 증가할수록 가문비나무 종자의 평균발아일수가 증가하였으며, 미역줄나무의 25 g 추출액 처리구에서 13.1 일로 가장 길은 평균발아일수를 나타냈다 (Table 5).

가문비나무 집단 내 주요 경쟁수종 잎의 수용성 추출액이 종자 발아 뿐 만 아니라 발아 후 유묘의 생장에 미치는 영향을 알아보기 위해서 실험한 결과, Figure 2와 같이 나타났다. 종자의 발아를 가장 많이 억제시키는 5 수종의 수용성 추출액은 증류수를 사용한 대조구에 비해서 상대생장율이 뚜렷하게 감소하였다(p<0.05). 그러나 종자의 발아율을 뚜렷한 차이를 보이지 않는 미역줄나무와 청시닥나무의 수용성 추출액이, 유묘의 생장에서는 다른 3수종의 수용성 추출액과는 뚜렷한 차이를

Table 4. Effect of leaf extracts on seed germination percentage of *Picea jezoensis* according to different extraction leaf weights.

Extraction species	Extraction weight (g)		
	25	50	100
<i>A. barbinerve</i>	25.8±10.0 ^a _y	22.1±8.7 ^a	19.6±5.4 ^b
<i>A. nephrolepis</i>	33.8±9.0 ^a	30.1±8.3 ^a	29.5±6.8 ^a
<i>A. pseudosieboldianum</i>	41.1±5.2 ^a	40.9±7.2 ^a	36.0±10.9 ^a
<i>B. ermanii</i>	33.1±9.9 ^a	33.6±9.8 ^a	31.1±9.5 ^a
<i>P. jezoensis</i>	35.9±8.4 ^a	33.9±8.0 ^a	33.6±7.2 ^a
<i>Q. mongolica</i>	36.9±13.0 ^a	34.3±11.8 ^a	33.9±10.1 ^a
<i>R. schlippenbachii</i>	41.4±9.9 ^a	38.9±9.1 ^a	38.3±11.3 ^a
<i>T. cuspidata</i>	37.6±10.5 ^a	29.9±9.6 ^a	30.1±11.0 ^a
<i>T. regelii</i>	25.9±1.7 ^a	24.1±1.5 ^a	20.0±1.4 ^b

^z All the values are mean of four replicates±SD.

^y Different letters within a extraction weights show statistical differences among extraction species at the 5% probability level by the Duncan's multiple range tests.

Table 5. Effect of leaf extracts on seed mean germination time of *Picea jezoensis* according to different extraction leaf weights.

Extraction species	Extraction weight (g)		
	25	50	100
<i>A. barbinerve</i>	8.0±1.0 ^b _y	8.5±0.8 ^{ab}	9.9±1.2 ^a
<i>A. nephrolepis</i>	10.3±1.3 ^a	9.8±0.8 ^a	11.0±1.8 ^a
<i>A. pseudosieboldianum</i>	7.6±0.9 ^b	7.5±1.2 ^b	8.3±1.1 ^a
<i>B. ermanii</i>	7.5±0.7 ^b	8.1±1.0 ^b	8.9±1.0 ^a
<i>P. jezoensis</i>	8.8±0.8 ^{ab}	9.2±0.9 ^a	8.7±0.9 ^a
<i>Q. mongolica</i>	7.4±1.2 ^b	7.7±1.2 ^b	8.2±0.9 ^a
<i>R. schlippenbachii</i>	9.6±1.2 ^a	9.8±1.7 ^a	9.4±1.0 ^a
<i>T. cuspidata</i>	6.6±1.2 ^c	6.7±1.2 ^c	7.4±1.4 ^b
<i>T. regelii</i>	13.1±3.4 ^a	10.8±3.5 ^a	10.6±2.3 ^a

^z All the values are mean of four replicates±SD.

^y Different letters within a extraction weights show statistical differences among extraction species at the 5% probability level by the Duncan's multiple range tests.

보이지는 않았다.

GC/MS 분석을 통하여 9수종의 생엽에서 얻은 추출물을

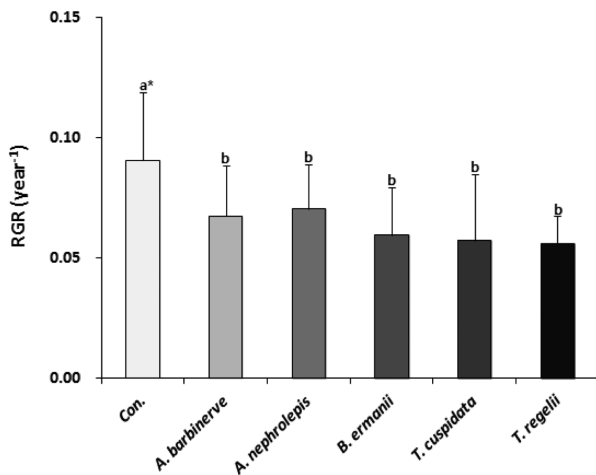


Figure 2. Effect of various leaf extracts on relative growth rate(RGR) of root collar diameter of *Picea jezoensis*. *: Different letters indicate Duncan's multiple range tests (significant at p<0.05).

대상으로 화합물질을 검출한 결과, 15종류가 검출되었다. 각 수종별로 서로 다른 화합물질이 검출되었는데, 가문비나무의 경우 Borneol의 6종류로 가장 많은 화합물질이 검출되었다(Table 4). 가문비나무 종자 발아율을 가장 많이 억제한 청시닥나무의 생엽 추출물에서는 Methylbenzoate의 3종류로 가문비나무 다음으로 많은 화합물질이 검출되었으며, 청시닥나무와 함께 발아율을 많이 억제시킨 미역줄나무의 생엽 추출물에서도 Methylbenzoate 화합물질이 검출되었다.

고 찰

휴면상태에 있지 않은 성숙한 종자는 환경이 적합하면

발아하는데, 발아에 영향을 미치는 여러 가지 환경요인 중에서 광, 산소, 온도 및 수분이 가장 중요하다(Bonner and Karrfalt, 2008). 특히, 수분흡수는 종자발아의 첫 단계로서, 건조한 종자는 거의 호흡을 하지 않지만, 종자가 수분을 흡수하면서 산소 호흡량이 증가한다. 이러한 호흡을 통하여 주요 에너지 저장물질인 전분, 당류, 지방산을 분해하여 ATP를 생산하고, 이 ATP는 새로운 세포의 구성물질을 합성하는데 필요한 효소를 생산한다(Vertucci and Leopold, 1987). 이와 같이 종자가 발아하는데 있어 수분은 반드시 필요한데, 산림 내에서 타감작용의 작용경로는 강우나 이슬에 의해 잎, 나무껍질 및 낙엽에서 발생하며, 발생된 타감물질(allelochemical)은 근권으로 유입된 후 대부분 수용성으로 토양 내에 존재한다(Tiffany et al., 2004).

일반적으로 지표에 낙하한 식물의 종자는 토양 속에 매 토종자집단으로 축적되며, 종자가 부패되지 않는 한 매 토종자로서 대부분 휴면상태로 생존한다. 이후 휴면에서 광, 온도, 수분 등의 발아조건이 맞으면 매토종자는 발아하여 생육해 간다(Lee et al., 2010). 그러나 토양 내 수용성 타감물질이 존재 할 경우, 토양 속에 있는 종자는 발아에 필요한 수분을 흡수하면서 타감물질도 함께 흡수하게 되어 종자 발아에 영향을 미친다(Evans and Bhatt, 1977). 본 연구에서는 가문비나무 집단 내 경쟁수종들 잎의 수용성 추출액을 가문비나무 종자에 처리한 결과, 모든 경쟁 수종의 수용성 추출액이 종자 발아율을 저해시켰다. 이러한 결과는 식물의 잎 수용성 추출액이 종자의 발아율을 억제시킨다는 기존의 연구결과와 일치하였다(Kim et al., 1998; Mutlu and Atici, 2009). 또한 곰솔 및 잣나무의 잎을 이용하여 추출시간과 추출시료량을 달리하여 얻은 수용성 추

Table 6. Allelochemical compounds identified from aqueous leaf extracts.

Chemical compounds	Species									
	<i>A. barbinerve</i>	<i>A. nephrolepis</i>	<i>A. pseudosieboldianum</i>	<i>B. ermanii</i>	<i>P. jezoensis</i>	<i>Q. mongolica</i>	<i>R. schlippenbachii</i>	<i>T. cuspidata</i>	<i>T. regelii</i>	
Borneol		+			+					
Camphor		+			+					
Longifolen					+					
Longifole-naldehyde					+					
Norbormene		+						+		
Ketobormane					+					
1,8-Cineole					+					
α-Cadinol					+					
Methylb-enzoate	+								+	
1,2-benz-enediol	+			+			+			
Camph-olenal								+		
Bisphenol	+									
Benzene-propanol	+									
Isobenz-ofuranone						+				
2-tert-4 phenol			+							

+ means the detection of an allelochemical compound

추출액, 임분 하층에서 자생하고 있는 초본류의 종자에 처리한 결과, 곰솔과 잣나무 모두 추출시간과 추출시료량이 증가할수록 초본류의 종자 발아율을 더 많이 감소시켰다 (Kil et al., 1989; Kil et al., 1991). 본 연구에서도 각 수종별 잎의 수용성 추출액을 추출시간과 추출시료량을 달리하여 실험을 하였는데, 가문비나무의 종자발아율이 추출시간과 추출시료량이 증가할수록 감소하였다.

타감작용은 식물체 발달의 여러 단계와 여러 측면에 걸쳐서 상이한 효과를 가지기 때문에, 종자발아가 저해되는 것만으로 타감작용의 존재여부와 작용방식을 설명하기에는 부족하다(Kim et al., 1998). Pellissier(1993)의 연구에서, 타감물질로 알려져 있는 p-hydroxybenzoic acid는 10^{-3} M 수준에서 블루베리의 종자발아는 저해되지 않았지만, Gallet(1994)의 연구에서는 p-hydroxybenzoic acid가 10^{-3} M 수준에서 블루베리의 유근신장과 유묘의 생장을 저해한 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 종자발아에 대한 타감효과 뿐만 아니라 유묘의 생장에 미치는 타감효과도 함께 조사하였다. 경쟁 수종들 잎의 수용성 추출액을 주기적으로 처리한 결과 가문비나무 유묘의 생장이 억제되는 것으로 나타났다. 이와 같이 가문비나무 집단 내 주요 경쟁 수종들 잎의 수용성 추출액이 종자의 발아를 저해했을 뿐만 아니라 유묘의 초기생장에도 영향을 미치는 것으로 나타나, 가문비나무 집단 내 주요 경쟁수종들의 타감작용은 가문비나무의 치수발생 및 유묘의 생장에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

식물이 분비하는 화학물질이 다른 식물에 해로운 영향을 미치는 물질로는 phenolic compound 및 monoterpenoids를 비롯하여 이에 해당하는 22종류의 대사산물에 대해 특징이 밝혀진 바 있으며 이러한 물질들은 식물 생체로부터 휘발, 세탈되는 과정, 식물 잔해물이 분해되는 과정 그리고 근삼출에 의해 토양 내로 분비되는 과정을 통하여 주변 환경으로 분비되어 진다(Moral and Cates, 1971). 본 연구에서는 가장 보편적인 개념 즉, 식물체로부터 분비되는 타감물질이 강우에 의하여 임상에 집적될 수 있다는 점을 고려하여 생엽을 시료로서 수용 추출하여 분석하였다. 분석 방법은 가장 보편적으로 활용되고 있는 고감도의 GC/MS 분석법을 시행한 결과, 타감물질로서 작용하는 것으로 판단되는 15종류의 화합물질이 검출되었다. 검출된 화합물질 중에 Borneol, Camphor, Longifolen, Longifolenaldehyde, Norbornene, Ketobornane, 1,8-Cineole, α -Cadinol은 monoterpenoids 화합물로서 일반적으로 allelochemicals로 잘 알려진 물질이다(Kang and Kim, 1997). 그러나 그 외 7종류의 화합물질들에 관해서는 본 연구 이외에 식물체의 생리적 기작에 대한 효과를 검증할 만한 후속 연구가 뒷받침될 때 확실한 타감물질로 인정될 수 있을 것으로 생각된다.

결론

본 연구는 가문비나무 집단 내 치수형성이 잘 이루어지지 않는 이유 중의 하나가 타감작용에 의한 것인지 알아보기 위하여 실시하였다. 가문비나무 집단 내 주요 경쟁식생들 잎의 수용성 추출액을 이용하여 종자발아 및 유묘의 생장에 미치는 영향을 알아보고, 타감물질의 존재여부를 확인하였다. 가문비나무와 함께 생육하고 있는 주요 경쟁식생들 잎의 수용성 추출액은 종자의 발아를 억제시키는 것으로 나타났다. 특히, 청시닥나무 및 미역줄나무가 가장 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 종자의 발아를 가장 많이 억제시키는 상위 5수종을 대상으로 가문비나무 유묘의 생장에 미치는 영향을 조사한 결과, 5수종 모두 유묘의 생장을 저해하는 것으로 조사되었다. 잎의 수용성 추출액내 타감물질의 존재여부를 분석한 결과, 타감물질이 존재하는 것을 알 수 있었다. 결론적으로 가문비나무 집단 내에서 치수형성이 잘 이루어지지 않는 이유 중의 하나는, 주변 경쟁식생들의 타감작용에 의해 토양 내 종자의 발아율 저하 및 유묘의 생장이 억제되면서 치수형성에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 따라서 가문비나무 복원을 위한 피난처 조성 시, 타감작용 효과를 고려하여 종자발아 및 유묘생장에 많은 영향을 미치는 식생에 대한 고려도 함께 이루어져 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 국립산림과학원 석·박사연구원십의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- An, H.C., Kim, G.T., Choo, G.C., Um, T.W., Park, S.B., and Park, E.H. 2010. A study on the structure of forest community of *Picea jezoensis* stands at cheonwangbong area, Jirisan (Mt.). *Journal of Korean Forestry Society* 99: 590-596 (in Korean with English abstract).
- Beadle, C.L. 1993. Growth analysis. In Hann, D.O., Scurllock, J.M.O, Bolhar-Nordenkampf, H.R., Leegood, R.C. and Long, P(eds.). *Photosynthesis and production in a changing environment a field and laboratory manual*. Chapman Hall, London, pp. 36-46.
- Bonner, F.T. and Karrfalt, R.P. 2008. *The woody plant seed manual*. United states department of agriculture, Forest service, Agriculture handbook 727, April. Available at: http://www.nsl.fs.fed.us/nsl_wpsm.html.
- Evans, L.E. and Bhatt, G.M. 1977. Influence of seed size, protein content and cultivar on early seedling vigor in wheat. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 929-935.

- Gallet, C. 1994. Allelopathic potential in Bilberry-spruce forests: Influence of phenolic compounds on spruce seedlings. *Journal of Chemical Ecology* 20: 1009-1024.
- Greens, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Charron, I., and Simard, M.J. 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 824-839.
- Han, A.R. 2008. Effects of seed production and forest floor on seedling establishment of *Picea jezoensis* in Mt. Jiri, Mt. Deogyu, and Mt. Kyebang. Master thesis in Seoul National University. pp. 89 (in Korean with English abstract).
- Han, S.H., Kim, D.H., Kim, G.N., and Yun, C.W. 2012. Needle life span, photosynthetic pigment and nitrogen allocation of *Picea jezoensis* in Korea. *Journal of Korean Forestry Society* 101: 62-68 (in Korean with English abstract).
- Inderjit and Dakshini, K.M.M. 1995. On laboratory bioassays in allelopathy. *Botanical* 61: 28-44.
- Kang, H.N. and Kim, J.H. 1997. The monoterpenoids in *Pinus rigida* and *Pinus densiflora*. *Journal of Ecology and Environment* 20: 323-328 (in Korean with English abstract).
- Kil, B.S. 2005. Basic and prospective aspects on allelopathic research. *Journal of Ecology and Environment* 2005: 3-14 (in Korean with English abstract).
- Kil, B.S., Kim, D.Y., Kim, Y.S., and Lee, S.Y. 1991. Phytotoxic effects of naturally occurring chemicals from *Pinus koraiensis* on experimental species. *Journal of Ecology and Environment* 14: 149-157 (in Korean with English abstract).
- Kil, B.S., Oh, S.H., and Kim, Y.S. 1989. Effects of growth inhibitors from *Pinus thunbergii*. *Journal of Ecology and Environment* 12: 21-35 (in Korean with English abstract).
- Kim, G.B., Lee, K.J. and Hyun, J.O. 1998. Regeneration of seedlings under different vegetation types and effects of allelopathy on seedling establishment of *Abies koreana* in the Banyabong peak, Mt. Chiri. *Journal of Korean Forestry Society* 87: 230-238 (in Korean with English abstract).
- Ko, S.Y., Han, S.H., and Yun, C.W. 2013. Population structure and dynamics of the *Picea jezoensis* stand in Mt. Gyeongangsan. *Journal of Korean Forestry Society* 102: 355-364 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.H., Kim, Y.S., Kim, D.G., Park, S.G., and Shin, H.T. 2010. The relationship between soil seed bank and actual vegetation. *Journal of Ecology and Environment* 24: 638-647 (in Korean with English abstract).
- Moral, R.D. and Cates, R.G. 1971. Allelopathic potential of the dominant vegetation of western Washington. *Ecological Society of America* 52: 1030-1037.
- Mutlu, S. and Atici, Ö. 2009. Allelopathic effect of *Nepeta meyeri* Benth. extracts on seed germination and seedling growth of some crop plants. *Acta Physiologiae Plantarum* 31: 89-93.
- Nakagawa, M., Kurahashi, A., and Hogetsu, T. 2003. The regeneration characteristics of *Picea jezoensis* and *Abies sachalinensis* on cut stumps in the sub-boreal forests of Hokkaido Tokyo University Forest. *Forest Ecology and Management* 180: 353-359.
- Nikolov, N. and Helmisaari, H. 1992. Silvics of the circumpolar boreal forest tree species. In: H.H. Shugart, Leemans, R. and Bonan, G.B. (ed.), *A Systems Analysis of the Global Boreal Forest*, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 13-84.
- Parent, S., Simard, M.J., Morin, H. and Messier, C. 2003. Establishment and dynamics of the balsam fir seedling bank in old forests of northeastern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 597-603.
- Pellissier, F. 1993. Allelopathic effect of phenolic acids from humic solutions on two spruce mycorrhizal fungi: *Cenococcium graniforme* and *Laccaria laccata*. *Journal of Chemical Ecology* 19: 2105-2114.
- Scott, S.J., Jones, R.A., and Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science* 24: 1160-1162.
- Tiffany, L.W., Park, S.W., and Vivanco, J.M. 2004. Biochemical and physiological mechanisms mediated by allelochemicals. *Plant Biology* 7: 472-479.
- Vertucci, C.W. and Leopold, A.C. 1987. Oxidative processes in soybean and pea seeds. *Plant Physiology* 84: 1038-1043.
- Wu, L., Guo, X. and Harivandi, M.A. 1998. Allelopathic effects of phenolic acids detected in buffalograss (*Buchloe dactyloides*) clippings on growth of annual bluegrass (*Poa annua*) and buffalograss seedlings. *Environmental and Experimental Botany* 39: 159-167.
- Zackrisson, O. and M.C. Nilsson. 1992. Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on seed germination of two boreal tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 1310-1319.

(Received: October 1, 2016; Accepted: November 16, 2015)