

智異山 구상나무림에서 他感作用이 稚樹形成에 미치는 影響^{1*}

金君保 · 李景俊 · 玄正悟²

Regeneration of Seedlings under Different Vegetation Types and Effects of Allelopathy on Seedling Establishment of *Abies koreana* in the Banyabong Peak, Mt. Chiri^{1*}

Goon Bo Kim, Kyung Joon Lee and Jung Oh Hyun²

要 約

본 연구는 구상나무림(*Abies koreana* Wilson)의 現地保全을 위한 종합적 연구의 일부분으로서, 智異山 般若峰 지역의 구상나무림에서 植生類型別 稚樹發生現況을 파악하고, 他感作用을 통한 稚樹形成 阻害 效果가 存在하는지 確認하기 위해, 植生構成과 稚樹發生과의 관계, 隣조직과 土壤腐蝕質 중의 水溶性 抽出物이 구상나무의 種子發芽와 外生菌根菌의 呼吸活性에 미치는 他感效果를 조사하였다.

1996년 5월부터 8월까지 반야봉 해발 1400~1700m의 지역에서 20개의 10m×10m 크기의 방형구를 설치하여, 天然下種量과 植生을 조사하였다. TWINSKAN을 이용하여 구분된 植生類型別로 토양 부식질을 채취하고, 현지에 出現頻度가 높은 5종의 목본식물의 잎을 채취하여 타감작용 시험에 사용하였다. 부식질 중의 水溶性 抽出物은 HPLC를 사용하여 수용성 phenol화합물의 양을 定量하였다.

TWINSKAN에 의한 분류분석 결과 조사지역의 구상나무림은 구상-미역죽, 구상-신갈, 구상-철쭉, 구상-산철쭉 군락으로 분류되었으며, 이 중 구상-신갈군락과 구상-철쭉 군락은 조릿대의 유무에 따라 下部群落으로 분류되었다.

조사지역의 구상나무의 天然下種量은 1995년 9월~10월 사이에 230,000±90,000립/ha이었고, 發芽率은 25%이었다. 1996년에 조사된 묘고 5cm이하 幼苗의 密度는 평균 52,000본/ha이었으나, 묘고 5cm 이상의 유묘의 밀도는 4,000본/ha로 감소하였다. 유묘의 밀도는 식생유형별로 큰 차이를 보여서 구상-신갈-조릿대 군락의 유묘의 수는 구상-신갈-철쭉 군락의 7%에 불과하여, 조릿대로 인하여 급격히 감소하였다.

털진달래와 조릿대의 잎 추출물은 구상나무의 種子發芽를 有意하게 阻害하였으며, 구상-신갈-조릿대 군락의 부식질 추출물도 구상나무의 種子發芽를 81%까지 有意하게 阻害하였고, 조사지에서 분리배양된 두 종의 外生菌根菌 중에서 적버섯 군사의 呼吸速度를 有意하게 19% 減少시켜서 조릿대에 他感效果가 있다고 생각된다.

구상-신갈-조릿대 군락의 부식질에서 7가지 水溶性 phenol화합물을 추출하여 동정하였는데, 추출물 중에서 수용성 페놀화합물인 p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, syringic acid가 有意하게 높았다. 특히 p-hydroxybenzoic acid는 조릿대 뿌리에 4.2ppm으로 존재하고, 조릿대 군락의 부식질에서 16.5ppm으로 발견되었으며, 종자발아 阻害효과와 有意한 負의 相關($r = -0.79, p < 0.05$)을 나타내어 주된 타감물질인 것으로 생각된다.

¹ 接受 1998年 2月 24日 Received on February 24, 1998.

² 서울대학교 농업생명과학대학 산림자원학과 Department of Forest Resources, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea.

* 본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비 농-96-34에 의하여 수행되었음.

ABSTRACT

This study was conducted to compare the regeneration of the seedlings under different vegetation types and to identify the presence of allelopathy in *Abies koreana*(Ak) natural forest in Banyabong Peak(elevation, 1715m), of Mt. Chiri. Twenty quadrats(10m×10m) were placed in May, 1996 to classify vegetation structure using TWINSPLAN. Water-soluble extracts from leaves and soil humus of different vegetation types were collected to test their effects on both seed germination of Ak and mycelial growth of ectomycorrhizal fungi. Phenolic compounds from soil humus were quantified using HPLC.

Among the four vegetation types, *Sasa borealis*(Sb) was found in both Ak-*Quercus mongolica*(Qm) and Ak-*Rhododendron schlippenbachii*(Rs) communities. Natural seeding of Ak was 230,000±90,000 seeds/ha in 1995 and their germination rate was 25% in an ideal laboratory condition. Density of Ak seedlings less than 5cm in height was 52,000/ha in 1996, while that of seedlings taller than 5cm in height was only 4,000/ha. In the case of Ak-Qm community, density of Ak seedlings with Sb understory was only 7% of the density of seedlings with Rs understory, suggesting the inhibitory effect of Sb.

The germination rate of Ak seeds was significantly reduced by leaf extracts of Sb, and *Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum*(Rm) and Ak. Soil humus extract of Ak-Qm-Sb subcommunity reduced germination of Ak seeds by 81% and also reduced by 19% the respiration of mycelia of ectomycorrhizal fungus, *Lactarius* sp.

Among the seven phenolic compounds identified from the soil humus, extract, Ak-Qm-Sb subcommunity contained significantly high content of p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, and syringic acid. Particularly, p-hydroxybenzoic acid was present at 4.2ppm in the Sb roots and at 16.5ppm in the Sb humus, suggesting that it could be the primary allelopathic compound in *Abies koreana* forests with *Sasa borealis* understory.

Key words: *Sasa borealis*, *Rhododendron*, *para-hydroxybenzoic acid*, *vanillic acid*, *syringic acid*, *soil humus*.

緒 論

식물이 분비하는 화학물질이 다른 식물에 해로운 영향을 미치는 타감작용에 대해서는 많은 연구결과가 있는데(Rice, 1984; Harbone, 1993), 특히 잡초, 양치류, 관목류가 상층 우점고목의 천연갱신을 저해하거나 재조림에 악영향을 끼치는 경우가 많이 보고되어 있다(Yoder-Williams and Parket, 1987; Zackrisson and Nilsson, 1992; Nilsson and Zackrisson, 1992; Mallik, 1987). 우리나라 산림에서 타감작용을 통하여 하층식생에 부정적인 영향을 주는 것으로 알려진 수종은 리기다소나무, 편백, 곰솔 등 몇 가지의 조림 수종에 국한되어 있으며(곽승훈과 길봉섭, 1994), 천연임분에서 일어나는 타감작용에 관한 연구사례는 거의 없다.

구상나무는 한국 고유수종으로써 가야산, 덕유산, 지리산, 한라산의 아고산지대에 분포하고 있는데 최근에 이 지역의 산림퇴환상이 보고되고 있다. 이 지역에는 하층식생으로써 공통적으로 조릿대, 철쭉, 털진달래 등의 관목이 밀생하고 있는데(이윤원과 홍성천, 1995; Kong and Watts, 1993), 이러한 곳에서는 구상나무의 치수발생이 매우 저조하다. 김갑태 등(1991)은 구상나무 유묘의 발생이 매우 부진하여 자연적으로는 후계림이 조성되기 어려우며, 신갈나무, 당단풍, 쇠물푸레, 층층나무, 까치박달 및 조릿대 등의 간섭식생을 일부 제거하는 인위적인 작업이 필요하다고 제안한 바 있다. 특히 조릿대는 산림의 정상적인 식생천이를 방해한다고 지적된 바 있다(박인협, 1986).

전국적으로 이 관목들은 산불, 등산객의 영향 등으로 인해서 형성된 넓은 교란지에 밀생하는

경향이 있어서, 이러한 관목들은 넓은 규모의 훼손지에 인위적으로 구상나무를 식재하여 서식지를 복원하는데 영향을 줄 수도 있다.

본 연구는 구상나무(*Abies koreana* Wilson)림의 현지보전을 위한 종합적인 연구의 일부분으로서, 지리산 반야봉 지역의 구상나무 임분에서 식생 유형별로 치수 발생 현황을 비교하고, 치수형성을 방해하는 타감물질의 존재여부를 확인하고, 타감작용을 일으키는 수종을 확인하기 위해서 타감물질을 추출하여 종자 발아와 공생균근균의 생장에 미치는 영향을 조사하였다.

材料 및 方法

1. 연구대상지역

연구대상지역은 구상나무림이 비교적 잘 보존되어 있는 지리산 반야봉의 구상나무림 지대이다. 반야봉은 해발 1715m에 달하고 지형이 매우 불규칙한데, 본 연구는 구상나무가 천연적으로 분포하고 있는 해발 1400 - 1700m사이에서 실시하였다. 1996년 5월부터 9월 사이에 4개의 라인을 설치하고 50미터 간격으로 10m×10m 방형구 20개소를 선정하여 식생조사와 시료채취에 이용하였다(Fig. 1).

2. 식생유형별 치수 발생조사

구상나무의 치수 발생량은 서로 경쟁하는 다른 식생에 의하여 영향을 받을 수 있으므로, 식생유형별로 구분하여 조사하였다. 식생유형을 구분하

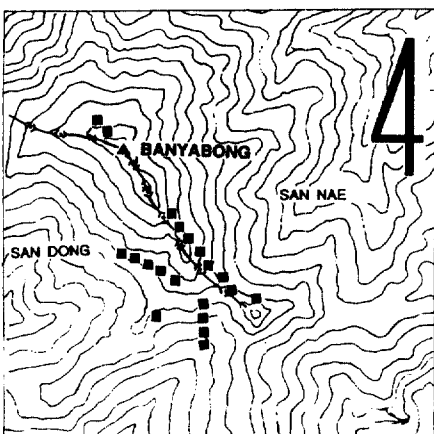


Fig. 1. Location of study sites in Banyabong Peak, Mt. Chiri.

기 위하여 10m×10m 방형구를 20개 설치하였다. 방형구내의 식생을 상층과 하층으로 나누어 밀도, 빈도, 피도 상대중요도를 계산하였다. TWINSPAN(Hill, 1979)을 이용하여 20개 방형구의 분류분석을 실시한 후, 식생유형별 유묘와 치수를 조사하였다.

치수발생량은 10m×10m 방형구내에서 1m×1m 소방형구를 5개 설치하여 묘고 5cm 이하, 5 - 10cm, 그리고 10cm - 2m의 세 그룹으로 나누어 초기 유묘생존률을 조사하였다. 식생유형별 치수의 밀도는 Tukey의 다중검정을 실시하여 차이를 비교하였다.

3. 외생균근균주 분리 및 순수배양

1996년 9월에 조사지역에서 채집된 균근버섯 중 분포지역이 넓은 균주를 분리하였다. 초기배양은 MHA(Heinonen-Tanski and Holopainen, 1993)와 MMN(Marx, 1969) 고체배지를 이용하여, 25℃ 암조건에서 실시하였고, 이중 생장이 이루어진 *Boletus* sp.(그물버섯속)와 *Lactarius* sp.(젓버섯속) 균사를 MMN배지를 사용하여 현탁배양하였다.

4. 타감물질 추출

앞에 존재하는 타감물질을 추출하기 위하여 조릿대(*Sasa borealis* (Hack.) Makino), 구상나무, 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch.), 철쭉(*Rhododendron schlippenbachii* Maxim.), 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* var. *ciliatum* Nakai) 등 조사지역에 우점하는 5종의 잎을 1995년 9월에 채취하였다. 토양 부식질은 1995년 10월과 1996년 5월, 1996년 8월에 조릿대가 분포하는 지역에서 채취하였다. 식생구조가 다른 구상나무 순림, 구상나무 - 신갈나무 - 철쭉 군락, 구상나무 - 신갈나무 - 조릿대 군락 세 가지로 구분하여 각 3 - 5개의 장소에서 3반복으로 채취하였다. 부식질의 채취시기를 달리하여 계절에 따른 타감물질의 변화를 측정하고자 하였다.

앞에 존재하는 수용성 페놀류 타감물질을 추출하기 위하여 상온에서 증류수를 사용하였고(Inderjit and Dakshini, 1995), 부식질의 타감물질 추출에는 0.1M NaOH를 사용하였다. 잎은 그늘에서 2일 간 풍건시킨 후, 25g을 채취하여 증류수 500ml를 첨가하여 4℃ 냉암소에서 24시간 침적시켜 추출하였다(Gallet, 1994). 부식질은 2일

간 풍건시킨 후 50g을 채취하여 0.1M NaOH 500ml를 첨가한후 16시간 침적 추출하였다. 추출액은 나일론 메쉬로 거른 후, 3000×g에서 10분간 원심분리시키고, 상등액을 Whatmann No. 2와 No.42여과지로 여과시키고, 0.2μm필터로 여과살균시켰다. 부식질 추출액은 SPE컬럼을 사용해서 나트륨염을 제거한 후 타감효과 시험에 사용하였다.

5. 타감효과 시험

1995년 9 - 10월에 조사지(1500~1600m)에서 채취한 구상나무 종자를 정선하여 냉장고에서 3개월간의 저온처리를 거친 후 종자발아 시험에 사용하였고, 외생균근균은 현탁배양한 균사를 원심분리시켜 배지에서 분리시킨 후 멸균된 증류수로 세척하여 사용하였다.

종자발아시험은 직경 9cm의 페트리디쉬에 Whatmann No.42여과지를 2장 깔고 10립씩 배열한 후, 타감작용 추출액을 5ml 주입하여 주간 20~25℃, 야간 15~18℃의 온도에서 16시간의 일장으로 하여 ISP기준에 근접시켰다(Hunt, 1993). 각 추출액에 대해서 5개의 페트리디쉬에서 반복을 두었고, 대조구로는 증류수를 사용하였다.

부식질은 4개의 식생유형 중에서 조릿대가 분포하는 식생유형인 구상 - 신갈 군락에서 조릿대가 침입한 구상 - 신갈 - 조릿대 군락과 침입하지 않은 구상 - 신갈 - 철쭉 군락과 구상 순림 군락에서 채취하였다.

균근균 호흡활성 시험은 Pellissier(1994)가 사용한 방법을 약간 수정하여 시료챔버(YSI 5300 oxygen monitor)에 50mM phosphate buffer(pH 5.6) 5ml를 넣고 교반시켜 산소농도를 25%가량으로 포화시킨 후, 100mg가량의 균사를 넣고 산소전극을 삽입하여 산소소비속도가 안정된 15분 후부터 30분간 산소소비 속도를 측정하였다. 여기에 부식질 추출액 1ml을 주입한 후, 15분 후부터 60분간 산소소비 속도를 측정하여 추출액 주입 전과 주입 후의 산소소비 속도를 Heytler(1969)의 식을 사용하여 계산하였다. 각 5반복으로 실시하였고, 측정이 끝난 후 균사를 꺼내어 건조시킨 후 측정치를 건조량으로 나타냈다.

6. 부식질 중 phenol류 타감물질 분석

부식질 중에 존재하는 타감물질 중에서 수용성

phenol류를 집중적으로 분석하였다. 분석에 사용된 표준물질은 Sigma사에서 판매하는 gallic acid, gentisic acid, p-hydroxybenzoic acid, syringic acid, vanillic acid, t-cinnamic acid, ferulic acid, p-coumaric acid, p-hydroxyacetophenone, p-anisic acid, chlorogenic acid, caffeic acid 등 12종이다. Phenol류는 HPLC (TSP사, 미국)를 이용하여 분석하였는데, Pellissier(1994)의 방법을 따랐다. 분석조건은 C₁₈컬럼(Ultramex C18, 4.6mm×250mm, 5μm, Phenomenex사)을 이용하여, 용매로써 Acetic acid : Water : Methanol : Acetonitrile을 5 : 85 : 5 : 5로 하였고, 유속은 1.0ml/min이었으며, UV1000검출기로 280nm에서 측정하였고, PC1000데이터 시스템을 사용하였다.

結果 및 考察

1. 식생구조

조사지역 총 20개의 방형구에서 출현한 목본식물은 총 39종이었으며, Shannon지수는 1.45로 비교적 높은 종다양성을 보였다. Table 1에서 알 수 있듯이 고목층에서 구상나무는 45.5%의 상대중요도를 나타냈으며, 그 다음으로 잣나무(13%), 신갈나무(9.5%), 쇠물푸레나무(7.4%) 순이었다. 하층식생에서는 철쭉이 20.8%로 가장 높고, 조릿대(9.7%), 구상나무(8.5%), 미역줄나무(8.1%) 순이었다.

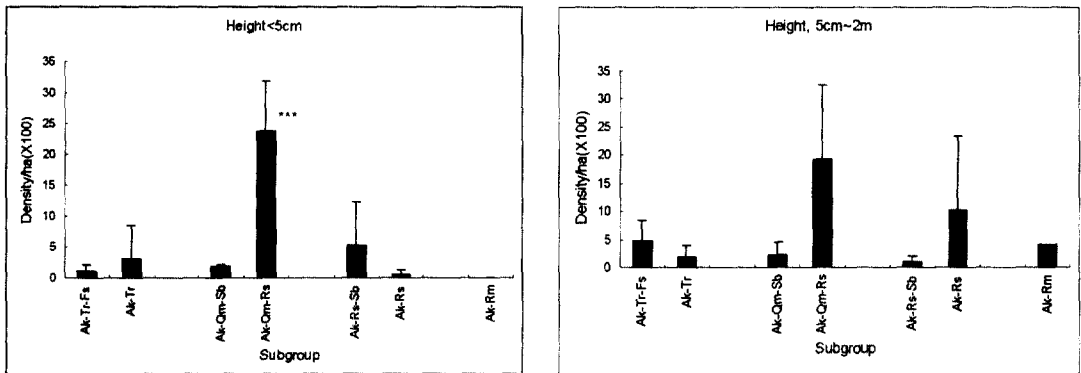
TWINSPAN에 의한 분류분석 결과 20개의 방형구 식생은 구상나무 - 미역줄나무, 구상 - 신갈, 구상 - 철쭉, 구상 - 산철쭉 군락으로 분류되었다. 그리고 구상 - 신갈군락은 다시 구상 - 신갈 - 조릿대 하부군락과 구상 - 신갈 - 철쭉 하부군락으로 구분되었다. 이 결과는 기존에 반야봉 지역에서 선행된 김갑태 등(1991)에 의하여 발표된 반야봉지역의 3개의 군집구조분석 결과와 유사하다.

2. 천연하종량 및 치수발생 상태

1995년 가을에 조사된 천연하종량은 ha 당 230,000±90,000립이었는데, 1996년은 종자생산량이 거의 없어서 심한 해결이 현상을 보이는 것으로 생각된다. 95년산 종자의 발아율은 실험실내 광조건에서 25%, 암조건에서 19%로 나타났다. 따라서 이 중 발아가 가능한 종자의 비율은

Table 1. Vegetation structure of *Abies koreana* stands in Banyabong, Mt. Chiri

| Crown location | Species | R.F. | R.D. + R.C. | IV |
|----------------|--|------|-------------|------|
| Upper story | <i>Abies koreana</i> (Ak) | 27.5 | 54.4 | 45.5 |
| | <i>Pinus koraiensis</i> (Pk) | 14.5 | 12.2 | 13.0 |
| | <i>Quercus mongolica</i> (Qm) | 10.1 | 9.2 | 9.5 |
| | <i>Fraxinus sieboldiana</i> (Fs) | 10.1 | 6.0 | 7.4 |
| | Species | R.F. | R.C. | IV |
| Under story | <i>Rhododendron schlippenbachii</i> (Rs) | 10.9 | 30.8 | 20.8 |
| | <i>Sasa borealis</i> (Sb) | 4.3 | 15.1 | 9.7 |
| | <i>Abies koreana</i> (Ak) | 8.6 | 8.3 | 8.5 |
| | <i>Tripterygium regelii</i> (Tr) | 8.6 | 7.5 | 8.1 |
| | <i>Rhododendron mucronulatum</i> var. <i>ciliatum</i> (Rm) | 0.7 | 3.4 | 2.1 |

**Fig. 2.** Density of seedlings for subgroups by TWINSPAN classification of the *Abies koreana* stands in the peak Banya, Mt. Chiri.

58,000립/ha로서, 차후 유묘의 치사율에 따라서 다르겠지만 천연갱신에 부족할 것으로 생각된다.

1996년 8-9월에 임내에서 조사된 길이 5cm이하의 유묘의 밀도는 평균 52,000본±90,000/ha로 발아가능 하종량에 비해서 큰 차이가 없었으나 장소에 따른 편차가 매우 커서 임상조건이 초기 유묘형성에 영향을 줄을 암시하고 있다. 길이 5-10cm 사이의 유묘의 밀도는 4,000본/ha로 매우 낮아 이 단계의 치사율이 매우 높음을 알 수 있다. 10-200cm 사이의 치수밀도는 임분 내에서 580±916/ha로 나타났고, 숲 틈에서 1274±1910/ha로 나타나서 방형구사이의 편차가 아주 컸지만, 숲 틈(조도순(1992)의 방법에 따른 계산)에서 2배 가량 높게 나타났다.

3. 식생유형별 치수발생상태와 조릿대의 영향

Fig. 2는 각 하부군락별 치수의 발생상태를 비교한 것이다. 각 군락별 5cm이하 치수의 발생상태는 건조한 능선지대의 구상-철쭉 군락에서

210개체/ha, 구상-미역줄 군락에서 210개체/ha로 낮았고, 구상-신갈 군락에서 1270개체/ha로 높았다. 구상-신갈 군락은 다시 구상-신갈-조릿대 하부군락과 구상-신갈-철쭉 하부군락으로 구분되는데, 두 하부군락 사이의 수고 5cm이하의 치수밀도는 큰 차이를 보인다. 즉, 구상-신갈-조릿대 군락의 수고 5cm이하 치수밀도는 180±40개체/ha로 낮은 값을 보인 반면, 구상-신갈-철쭉 하부군락은 2370±810개체/ha로 높아 큰 차이를 보였다($P < 0.001$).

구상-신갈 군락에서, 조릿대와 철쭉으로 구분되는 두 하부군락은 식생구성에 있어서, 목본식물의 경우 조릿대와 철쭉의 유무 외에는 별다른 차이가 없지만, 초본피도는 구상-신갈-조릿대 하부군락이 더 높았다. 환경적 요인은, 임상투광량과 지형이 별다른 차이가 없었으며, 경사는 구상-신갈-조릿대 하부군락에서 다소 더 급하고, 암석노출도는 구상-신갈-철쭉 하부군락이 대체적으로 더 높았다. 이러한 환경요인의 차이가 조

릿대와 철쭉의 분포에 영향을 준다고 생각된다.

각 군락별 수고 5cm - 2m 사이의 치수 발생 상황도 비슷한 경향을 보였다. 구상 - 신갈 - 철쭉 군락이 ha 당 평균 1930±1330개체로 가장 많았고, 이에 비해 구상 - 신갈 - 조릿대 군락은 ha 당 평균 233±210개체에 불과해서 큰 차이를 보였지만, 두 군락 간의 차이에 대한 유의성은 인정되지 않았다. 구상 - 철쭉 군락에서도, 구상 - 철쭉 - 조릿대 하부군락에서 치수밀도가 낮았다. 조릿대가 왕성하게 침입한 지역에서는 대체적으로 치수의 존재가 매우 드물었고, 구상나무가 존재하는 경우도 조릿대가 침입하지 못하는 암반틈과 고사목 근처의 토양이 노출된 곳에 많았다. 따라서 조릿대의 피복이 구상나무 치수 형성을 방해하고 있다고 결론지을 수 있다. 조릿대가 상층우

점수종의 치수형성을 저해시킴으로써 천연갱신을 저해한다는 견해는 이전에 여러 학자들에 의해서 제안된 바 있다(박인협, 1986 ; Takahashi, 1994). 그러나 구체적인 방해기작을 식생구조만으로 설명하기에는 불충분하다고 생각된다.

4. 잎 추출물의 타감효과

식생조사 결과 빈도와 피도가 높은 목본식물 중에서, 구상나무의 종자발아에 영향을 줄 것으로 의심되는 조릿대, 털진달래, 철쭉, 신갈나무, 그리고 구상나무를 대상으로 실험하였다. Fig. 3은 위의 5종의 잎에서 얻은 증류수 추출액(5%, w/v)을 처리했을 때의 구상나무 종자의 발아율이다. 털진달래와 조릿대 잎의 추출액은 증류수를 사용한 대조구에 비해서, 발아율을 각각 25%와 40% 가량 낮추었으며, 저해효과의 유의성이 인정되었다. 구상나무와 신갈나무의 경우도 각각 35%, 30%가량의 저해효과를 보였지만, 편차가 커서 유의하지는 않았다. 이와 달리 철쭉의 잎 추출액은 유의하지는 않지만, 25%가량 발아를 촉진시키는 경향을 보였다.

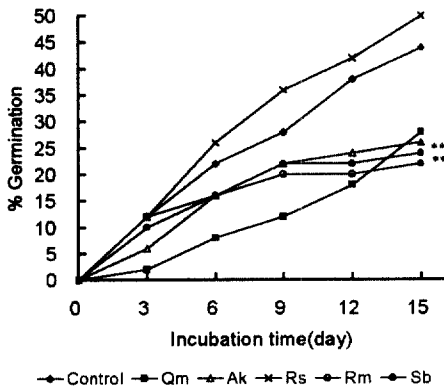


Fig. 3. Effects of various leaf extracts on seed germination of *Abies koreana*. See Table 1 for the abbreviation of species names.

5. 부식질 추출물의 타감효과

Fig. 4는 세 군락유형의 부식질을 처리했을 때의 대조구에 대비한 구상나무의 발아율을 나타낸 것이다. 세 군락유형의 부식질 추출물이 종자 발아에 미치는 영향은 군락유형과 계절에 따라 차이가 있었다. 군락유형과 계절에 관계없이 부식추출물은 구상나무의 종자 발아를 심하게 저해하는 경향을 보였으며, 특히 1996년 5월에 채취

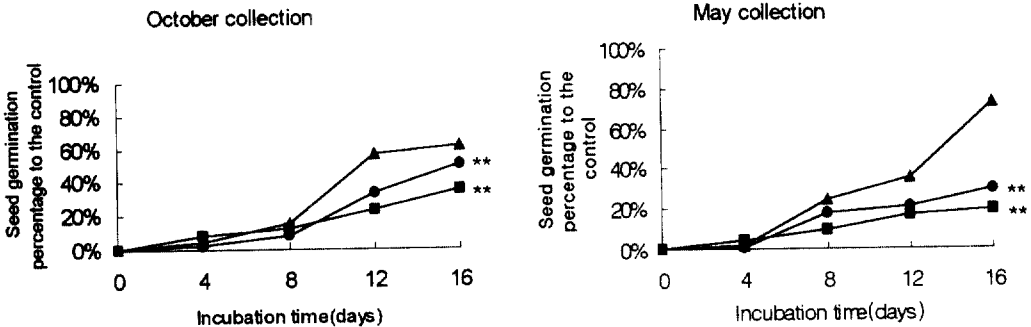


Fig. 4. Effects of different humus extracts on seed germination of *Abies koreana*. Humus collection was made on October, 1995(October) and on May, 1996(May). (humus source: *A. koreana* pure stands(●), stands of *A. koreana* and *Q. mongolica* mixed with understoried *R. schlippenbachii*(▲), and stands of *A. koreana* and *Q. mongolica* mixed with understoried *S. borealis*(■))

한 부식질 추출물이 1995년 10월에 채취한 부식질의 추출물보다 발아저해 효과가 더 큰 경향을 보였다. 구상 순림군락과 구상-신갈-조릿대 군락의 추출물의 발아저해율은 10월에 각각 49%, 65%, 5월에 각각 71%, 81%에 달해, 구상나무의 종자 발아에 심한 저해효과를 보였다($P < 0.05$). 이에 비해서 구상-신갈-철쭉 군락은 유의한 발아저해효과를 나타내지 않았으며 그 이유는 구상-신갈-철쭉 군락의 부식질에는 구상나무 순림 군락의 부식질보다 상대적으로 적은 양의 부식된 구상나무 낙엽량이 함유된 때문인 것으로 생각된다.

6. 외생균근균 호흡활성에 미치는 타감효과

Table 2는 1996년 5월에 채취한 구상-신갈-조릿대 군락의 부식질이 조사지역의 구상나무림에서 채집한 두 종의 균근균의 호흡속도에 미치는 저해효과를 시험한 결과를 나타낸 것이다. *Lactarius* sp.는 조사지역에서 가장 널리 분포하고 있는 종으로서 구상-신갈 군락에서 채집되었고, *Boletus* sp.는 조릿대가 침입한 임장에서 많이 발견되었으며 구상-신갈-조릿대 군락에서 채집되었다. 두 종 모두가 구상-신갈-조릿대 군락의 부식질 추출물에 의해 호흡속도가 유의하

게 감소하였으며($p < 0.01$), *Lactarius* sp.가 *Boletus* sp.에 비하여 호흡속도의 감소폭이 19%로써 유의하게 컸다($p < 0.05$). 이것은 *Boletus* sp.가 구상-신갈-조릿대 군락에서 채집되었다는 사실과 무관하지 않을 것으로 판단되며, *Lactarius* sp.에 비하여 조릿대의 타감효과를 적게 받는다고 볼 수 있다.

Pellissier(1994)는 하층 경쟁식생의 타감작용으로 인한 천연갱신 저해 문제를 균근균의 측면에서 다뤘는데, 월귤나무류인 *Vaccinium myrtillus*가 하층에 우점하는 알프스 아고산지대의 가문비나무림에서, 토양 부식질 추출액이 이 지역의 대표적인 공생균인 *Laccaria laccata*(졸각버섯)의 호흡속도를 심하게 저해시킴을 관찰한 바 있다.

7. 부식질 중 수용성 phenol류 타감물질 함량

5월과 8월 두 번에 걸쳐 채집한 부식질 중의 페놀류 타감물질의 함량은 군락유형과 시기에 따라 큰 차이가 있었다(Table 3).

분석에 표준물질로 사용된 p-hydroxybenzoic acid, chlorogenic acid, vanillic acid, caffeic acid, syringic acid, p-hydroxy-acetophenone, p-coumaric acid는 대부분의 부식질에서 비교적

Table 2. Changes in oxygen consumption rate of two ectomycorrhizal fungi before and after addition of the humus extracts from mixed stands of *A. koreana* and *Q. mongolica* with understory *Sasa borealis*

| Fungus | Oxygen consumption rate (nmol O ₂ /g D.W./min) | | |
|----------------------|---|-------------------------|-------------|
| | Initial | After extracts addition | % Decrease |
| <i>Boletus</i> sp. | 2238 ± 200 | 2041 ± 197 | 9.0 ± 1*** |
| <i>Lactarius</i> sp. | 1829 ± 71 | 1491 ± 143 | 19.0 ± 5*** |

Table 3. Concentrations of 7 water-soluble phenolic allelochemicals in 3 types of humus material. Asterisks mean statistical significance between means on same collection season at 5% significance level (unit : mg/kg humus)

| Phenols | May Collection | | | August Collection | | |
|------------------------|----------------|-------------|--------------|-------------------|------------|------------|
| | Ak | Ak-Qm-Rs | Ak-Qm-Sb | Ak | Ak-Qm-Rs | Ak-Qm-Sb |
| p-hydroxybenzoic acid | 1.83 ± 1.6 | 1.74 ± 0.98 | 16.49 ± 9.1* | 0.41 ± 0.6 | 1.18 ± 1.9 | 3.94 ± 8.4 |
| chlorogenic acid | 0.00 ± 0.0 | 0.00 ± 0.0 | 13.28 ± 12.1 | — | 1.85 ± 3.0 | 0.24 ± 0.4 |
| vanillic acid | 0.04 ± 0.1 | 2.53 ± 1.5 | 13.10 ± 6.5* | 0.65 ± 0.5 | 0.48 ± 0.4 | 1.70 ± 2.9 |
| caffeic acid | — | 0.26 ± 0.2* | 0.07 ± 0.1 | 0.81 ± 0.5 | — | 1.54 ± 1.3 |
| syringic acid | 0.33 ± 0.2 | 0.17 ± 0.0 | 7.65 ± 1.3* | — | 0.08 ± 0.2 | 0.31 ± 0.7 |
| p-hydroxy-acetophenone | 0.21 ± 0.3 | 0.17 ± 0.3 | 0.16 ± 0.2 | 0.10 ± 0.1 | 0.11 ± 0.1 | 0.26 ± 0.6 |
| p-coumaric acid | 0.00 ± 0.0 | 0.01 ± 0.0 | 0.00 ± 0.0 | — | — | 0.02 ± 0.0 |

고농도로 존재하고 있는 것으로 나타났다. 하지만, gallic acid, gentisic acid는 잔식물질의 존재로 뚜렷하게 분리되지 않았고, ferulic acid, t-cinnamic acid는 검출한계 이하의 농도로 존재하는 것으로 나타나 분석에서 제외하였다.

조사된 페놀 화합물 함량은 페놀 종류에 관계없이, 구상나무 순립 군락이나 구상-신갈-철쭉 군락보다 조릿대가 침입해 있는 구상-신갈-조릿대 군락의 부식질에서 높은 경향을 보였다. 특히 p-hydroxybenzoic acid와 vanillic acid, syringic acid는 구상-신갈 철쭉 군락에서는 매우 미량만 검출된 반면에, 구상-신갈-조릿대 군락에서는 각각 9배, 5배, 45배로 높은 수준으로 검출되었다. 따라서 위의 세 가지 물질이 조릿대에서 유래되는 타감물질로 작용할 가능성이 높다. 구상-신갈-조릿대 군락에서 검출된 16.49ppm의 p-hydroxybenzoic acid는 독성농도로 알려진 수준으로써(Zhu and Mallik, 1994), 타감작용을 일으키기에 충분한 농도라고 생각되며, 조릿대 침입지역에서 타감작용을 일으킬 수 있는 주된 타감물질인 것으로 의심된다. 실제로 조릿대의 뿌리만을 채취하여 페놀물질을 분석한 결과, p-hydroxybenzoic acid와, vanillic acid가 각각 4.2ppm과 3.7ppm의 농도로 존재함을 확인하였다.

1996년의 봄(5월초)과 여름(8월)에 따른 계절적인 변이는 p-hydroxy-acetophenone을 제외한 대부분의 페놀 화합물에서 뚜렷하게 나타나고 있으며, 대부분 가을보다는 봄에 더 높은 농도로 검출되었다. 이러한 계절적인 변이는 부식질이 겨울 내내 눈 속에 묻혀있다가 눈이 녹으면서 페놀 화합물이 활발히 유리되기 시작하는 'snow-melt' 현상과 관련이 있는 것으로 생각된다. 이러한 계절적인 변이는 *Empetrum hermaphroditum*이 하층을 점유한 구주적송림(*Pinus silvestris*)에서도 관찰된 바 있다(Nilsson and Zackrisson, 1992).

8. 종자발아 저해효과와 부식질 중 페놀화합물과의 상관성

1996년 5월에 채취한 부식질 추출물에 대해서, Spearman 상관계수를 사용했을 때 구상나무 종자발아와 유의한 상관성을 나타내는 페놀화합물은 p-hydroxybenzoic acid($r = -0.79, p < 0.05$), syringic acid($r = -0.64, p < 0.1$), chlorogenic

acid($r = -0.63, p < 0.1$)로 p-hydroxybenzoic acid와의 상관성이 가장 깊었다. p-hydroxy-acetophenone과 p-coumaric acid는 여러 문헌에서 알려진 것과는 달리 발아저해효과와 큰 상관성을 보이지 않았는데, 너무 미량으로 존재하고 있었기 때문으로 보인다.

Zhu와 Mallik(1994)은 *Picea mariana* 임분에서의 진달래과 관목인 *Kalmia angustifolia* var. *angustifolia*의 타감작용 연구에서 이 관목의 타감작용으로 인한 *P. mariana*의 천연갱신을 저해하는 독성은 o-hydroxyphenylacetic acid, p-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, p-coumaric acid, gentisic acid, syringic acid, ferulic acid, m-coumaric acid의 순서로 높다고 평가한 바 있다.

引用文獻

1. 광승훈·길봉섭. 1994. 편백(*Chamaecyparis obtusa*)이 편백 식재림의 하층식생에 미치는 Allelopathy효과. 한국생태학회지. 17: 11-22.
2. 김갑태·김준선·추갑철. 1991. 반야봉지역 삼림군집구조에 관한 연구 - 구상나무림 -. 응용생태연구. 5: 25-31.
3. 박인협. 1986. 백운산지역 천연림 생태계의 삼림구조 및 물질생산에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문. 48pp.
4. 이윤원·홍성천. 1995. 구상나무림의 군락생태학적 연구. 한국임학회지. 10: 5-6.
5. 조도순. 1992. 광릉자연림에서 교란체제와 수목의 재생. 한국생태학회지. 15: 395-410.
6. Gallet, C. 1994. Allelopathic potential in bilberry-spruce forests: influence of phenolic compounds on spruce seedlings. J. Chem. Ecol. 20: 1009-1024.
7. Harbone, J.B. 1993. Introduction to Ecological Biochemistry, 4th ed. Academic Press. 318pp.
8. Heinonen-Tanski, and T. Holopainen. 1992. Maintenance of ectomycorrhizal fungi. in Techniques for Mycorrhizal Research. Norris, J.R. and D.J. Read, eds., Academic Press. 928pp.
9. Heytler, P.G. 1969. Polarographic measure-

- ment of respiration and photosynthesis. Fed. Proc. 28 : 533.
10. Hill, M.O. 1979. TWINSPAN-a FORTRAN program for arranging multivariate data in a ordered two way table by classification of the individuals and attribute. Ecology and Systematics, Cornell Univ., Ithaca, N.Y. 99p.
 11. Hunt, R. 1993. The ISP aerial environment : lighting, day length, temperature and humidity. in Methods in Comparative Plant Ecology. Hendry, G.A.F. and J.P. Grime, eds., Chapman & Hall. 252pp.
 12. Inderjit and K.M.M. Dakshini. 1995. On laboratory bioassays in allelopathy. Bot. Rev. 61 : 28-44.
 13. Kong, Woo-Seok and D. Watts. 1993. The Plant Geography of Korea. Kluwer Academic Pub. 229pp.
 14. Mallik, A.U. 1987. Allelopathic potential of *Kalmia angustifolia* to black spruce(*Picea mariana*). For. Ecol. Manag. 20 : 43-51.
 15. Marx, D.H. 1969. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic fungi and soil bacteria. Phytopathology. 100 : 713-717.
 16. Nilsson, M.C. and O. Zackrisson. 1992. Inhibition of Scots pine seedling establishment by *Empetrum hermaphroditum*. J. Chem. Ecol. 16 : 1857-1870.
 17. Pellissier, F. 1994. Effect of phenolic compounds in humus on the natural regeneration of spruce. Phytochem. 36 : 865-867.
 18. Rice, E.L. 1984. Allelopathy. Academic Press. 422pp.
 19. Takahashi, K. 1994. Effect of size structure, forest floor type and disturbance regime on tree species composition in a coniferous forest in Japan. Journal of Ecology. 82 : 769-773.
 20. Yoder-Williams, M.P. and V.T. Parket. 1987. Allelopathic interference in the seedbed of *Pinus jeffreyi* in the Sierra Nevada, California. Can. J. For. Res. 17 : 991-994.
 21. Zackrisson, O. and M.C. Nilsson. 1992. Allelopathic effects by *Empetrum hermaphroditum* on seed germination of two boreal tree species. Can. J. For. Res. 22 : 1310-1319.
 22. Zhu, H. and A.U. Mallik. 1994. Interaction between *Kalmia* and black spruce : isolation and identification of allelopathic compounds. J. Chem. Ecol. 20 : 407-421.