

수목해충의 생물(천적곤충)적 방제

Biological control of tree insect pest



신상철
국립산림과학원 농학박사

1. 수목 해충의 생물적 방제

해충방제기술에서 생물적 방제는 기본적으로 생태계의 천이와 종간의 먹이사슬에 근거를 두고 있다. 즉 동물의 번식은 무기환경과 유기환경에 의하여 제한을 받는데, 이러한 환경요소 가운데 저항적으로 작용하는 동물 또는 식물들을 총칭하여 천적(天敵)이라고 한다. 이들 천적을 이용하여 유해생물에 의한 유용식물의 피해를 경감시키는 행위를 생물적 방제(生物的防除; biological control)라고 하며, 이는 특정 천적을 조작, 도입하여 해충의 밀도를 경제적 피해허용 수준에 도달하지 못하게 하거나 또는 낮은 평행밀도 상태를 장기적으로 유지시키는 행위로 정의 할 수 있다. 생물적 방제는 화학적 방제와는 달리 자연에 존재하는 생물을 이용하는 친환경적인 방법으로 잔류독성이 없고, 해충에 대한 저항성이 발생하지 않으며, 목적하는 해충을 선택적으로 조절할 수 있다. 또한, 곤충상이 단순화될 위험이 적고, 효과가 영구적 혹은 반영구적이며, 비용이 매년 필요하지 않은 장점이 있다.

또한, 천적이라 하면 해충을 직접 잡아 먹는 포식성, 기생하는 기생성 천적 등 과 아울러 천적미생물, 기생성 선충 등이 포함되지만 본 지면에서는 천적곤충의 종류, 현재 활용되고 있는 천적곤충의 이용 사례를 중심으로 소개하겠다.



하늘소유충을 잡아먹은 악대벌레

2. 천적의 종류 및 이용

2-1. 포식성 천적

포식성 천적은 곤충류 · 거미류 · 조류 · 양서류 · 포유류 등이 포함되고, 주요 포식곤충에는 노린재목의 노린재과 · 긴노린재과 · 침노린재과, 풀잠자리목의 풀잠자리과 · 뱀잠자리붙이과, 딱정벌레목의 길앞잡이과 · 딱정벌레과 · 병대벌레과 · 개미붙이과 · 무당벌레과 등이 있다. 포식곤충은 기주특이성이 거의 없어 특정 곤충에 대한 밀도의존도가 매우 낮으며, 또한 기생성과 달리 먹이를 직접 탐색하여 섭식하고, 유충기에 포식성을 보이는 대부분의 종은 성충이 되어도 포식활동을 계속하며, 일반적으로 먹이동물보다 몸이 더 크다.

2-2. 기생성 천적

다른 곤충에 기생하는 기생성 천적(寄生性 天敵)은 주로 기생벌과 기생파리이며, 19세기 후반부터 해충 방제에 이용하려고 시도되었다. 중요하게 이용되고 있는 종에는 맵시벌상과의 고치벌과 · 맵시벌과와 줌벌상과의 줌벌과 · 금줌벌과 · 깡충줌벌과 · 먼충줌벌과 등이 있다.

포식기생충(捕食寄生蟲; parasitoid)은 주로 다른 곤충에 기생하여 기주를 죽이는 천적으로, 기주를 죽이지 않는 기생충(parasite)과는 구별된다. 보통 기생벌의 특징은 유충과 성충의 식성이 다르고, 유충기에는 육식성으로 기주 몸체내의 내용물이나 체액을 흡즙하며 발육한다. 어미는 자식이 일생 동안 먹을 양식을 결정해 주고, 기주특이성이 강하며, 기주보다 몸체가 작다.

기생벌이 기주를 선택하는 과정은 보통 기주생식장소의 발견(host habitat finding), 기주의 발견(host finding), 기주의 수용(host acceptance), 기주의 적합성(host suitability)이라는 4단계로 구별된다.

2-3. 도입천적의 방사

도입천적을 이용한 생물적 방제의 목적을 달성하기 위해서는 원산지로부터의 새로운 천적에 대한 탐색이 우선되어야 하며, 해충보다 연간 발생횟수가 많고, 기주의 모든 발육단계에 산란이 가능하며, 생존율 · 산란기간 등 생태학적 특성이 우수한 이상적인 천적을 선택해야 한다. 또한, 기주선택성 · 기후 등에 적합한 생물형(生物型; biotype), 밀도의존성 등을 고려하여 복수의 천적을 조화적으로 이용하기도 하며, 또한 도입천적과 토착천적을 간접적 혹은 직접적으로 조작하여 해충이 발생된 임지에 영구적으로 정착시키는 방법과 효과를 증대시키기 위하여 환경을 관리하여 천적을 보전하는 방법을 사용하기도 한다.



플잠자리 포식충(이기상 박사 제공)

2-4. 계획적인 천적방사

해충 발생지에 계획적으로 천적을 방사하여 구제(驅除) 효과(效果)를 높이는 것이 가능한데, 이를 위한 천적 방사 방법으로는 집중적 방사법과 대량방사법이 있다.

집중적 방사법이란 짧은 기간 내에 비교적 적은 개체수의 천적곤충을 방사하여 해충의 밀도억제에 효과적인 수준까지 도달하도록 하는 방법으로, 피해선단지의 경우 천적이 없거나 있어도 낮은 밀도로 존재하므로 이와 같은 지역에 매년 일정량을 집중적으로 방사하여 천적의 밀도를 높임으로써 대상해충을 방제하는 방법이다. 국내에서는 일본으로부터 침입한 솔잎혹파리의 방제에 기생천적인 솔잎혹파리먹좀벌과 혹파리살이먹좀벌을 집중적으로 방사한 예가 있다.

대량방사법이란 천적(기생성 및 포식성 곤충, 병원미생물 등)을 대량으로 증식하여 방사하거나 화학농약과 같이 살포하는 방법으로 생물농약(生物農藥; biotic pesticide)이라고 불린다. 생물농약은 처리시기의 해충에만 적용되는 경우가 많아 효율적으로 이용하기 위해서는 주기적으로 방사하거나 살포하는 것이 중요하다고 알려져 있다.

3. 천적이용의 실제

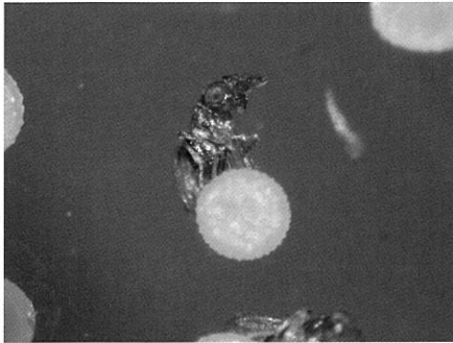
3-1. 솔잎혹파리의 생물적 방제

국내의 산림해충 가운데 생물적 방제에 대한 연구가 많이 이루어진 해충은 솔잎혹파리가 유일하다. 포식성 조류에 대한 연구를 시작으로 기생벌, 병원미생물에 대한 연구가 실행되어 현재까지 다양한 종류의 천적이 기록되어 있다.

이들 천적 가운데 별목의 솔잎혹파리먹좀벌(*Inostemma seoulis*)과 혹파리살이먹좀벌(*Platygaster matsutama*)이 선발되었으며, 이를 이용하여 산림해충에 대한 생물적 방제가 실현되었다. 이들 기생벌의 형태 및 생태 특성과 생물적 방제에 대한 소개를 한다.

㉠ 기생벌의 형태

솔잎혹파리먹좀벌 암컷 성충의 몸길이는 1.3~1.7 mm이고, 몸의 색깔은 암흑색이다. 머리의 정수에는 좌·우에 주름이 존재하며, 가운데가슴 등면에는 2개의 고랑이 세로로 나 있고, 앞날개에는 암갈색의 아전연맥이 있으며, 말단부에는 작은 유돌기(knob)가 있다. 수컷 성충의 촉각은 제3편절이 가장 작고, 복부는 7마디이며, 선단이 둥근 것을 제외하고는 암컷과 유사하다.



송충살좀알벌(이기상 박사 제공)



무당벌레

흑파리살이먹좀벌 암컷 성충의 몸길이는 1.1~1.5mm이고, 몸의 색깔은 담흑색이며 광택이 있다. 머리의 정수리에는 주름이 없고, 가운데가슴의 등면구조는 평활하나 소순판(小楯板; scutellum)은 흑처럼 돌출되어 있다. 앞날개는 날개맥이 없으며 투명하다. 수컷 성충의 측각은 제1편절이 가장 작고, 복부는 7마디이며, 선단이 둥근 것을 제외하고는 암컷과 유사하다.

㉠ 기생벌의 생태

솔잎흑파리먹좀벌은 주로 단포식기생자(單捕食寄生者; solitary parasitoid)이나 과기생(過寄生; hyperparasitism) 형태도 드물게 관찰된다. 우화시기는 6월 상순~7월 중순으로 최성기는 6월 하순이며, 기주인 솔잎흑파리보다 10~15일 늦게 우화한다. 성충의 수명은 벌꿀을 급여한 경우 1주일 이내로, 자연상태에서는 이보다 짧은 기간 생존할 것으로 추정된다. 기주의 알이나 부화 직후의 기주에 산란하며, 기주의 신경절에 기생하며 생활한다. 1령유충으로 월동하며 이듬해 5월 2령유충으로 발

육하여 번데기가 된다.

흑파리살이먹좀벌도 단포식기생성이나 한 기주 체내에서 여러 마리가 우화하는 개체도 드물게 관찰된다. 우화시기는 5월 중순~6월 중순으로 최성기는 5월하순이며, 기주인 솔잎흑파리보다 7~10일 빨리 우화한다. 성충의 산란행동, 발육 등의 생태특성은 솔잎흑파리먹좀벌과 유사하나 본종은 유충은 1령뿐이고, 기주의 뇌나 중장에 기생하여 생활한다.

㉡ 기생벌의 사육과 이식

솔잎흑파리의 충영형성류과 기생률을 고려하여 사육용 유충 채집지를 선정하고, 10월 중순~11월 하순에 걸쳐 유충을 채집한다. 채집한 유충은 소나무림과 비슷한 환경의 야외시설 내에서 사육하고, 다음해 3월 중순~4월 중순에 실내로 반입한다. 사육실에서 우화한 성충은 5%의 봉밀을 급여하여 15℃의 항온기에 보관하며, 가능한 한 빠른 시일 내에 이들 천적이 기생하지 않거나 기생률이 낮은 솔잎흑파리 피해임지에 집중적으로 이식한다.

솔잎흑파리 피해에 대한 천적근충의 이식효과는 향후 구체적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되며, 생물적 방제에 대한 상세한 내용은 솔잎흑파리연구백서(산림청 임업시험장, 1985)를 참조하기 바란다.



주홍머리대장

3-2. 소나무재선충병 매개충방제

매개충인 솔수염하늘소의 천적자원에 대한 문헌기록 검토 결과, 포식성 천적으로 집게벌레목, 풀잠자리목, 딱정벌레목에 7종이 기록되어 있었으며, 이중 민집게벌레 *Anisolabis* sp., 개미붙이 *Thanassimus lewisi*, 큰쌀도적 *Thogossita japonica*, 밤나무방아벌레 *Stenagostus umbratilis*의 4종은 우리나라에 그 존재가 기록된 종들이다. 내부 또는 외부 기생성 천적으로는 35종 벌목, 2종 파리목 및 1종의 외부 기생성 응애가 기록되어 있었는데, 이중 곤

붕납작맴시벌 *Coleocentrus incertus*, 그라벤호르스트납작맴시벌 *Dolichomitus tuberculatus*, 흑마디꼬리납작맴시벌 *Dolichomitus tuberculatus*, 고치벌 일종 *Doryctes mutillator*, 맴시벌 일종 *Megarhyssa* sp., 하늘소가는배고치벌 *Meteorus corax*, 개미침벌 *Sclerodermus harmandi*, 바구미살이고치붙 *Spathius radzayanus* 8종은 우리나라에 그 존재가 기록된 종들이다.

㉠ 포식기생곤충 개미침벌

개미침벌처럼 벌목(Hymenoptera) 침벌과(Bethylidae)에 속하는 종들은 주로 딱정벌레목과 나비목의 유충을 공격한다. 딱정벌레목의 기주곤충으로는 저장 곡물이나 두류, 그 산물과 기타 저장물을 가해하는 종들과 천공성 나무좀과 (Scolytidae), 하늘소과(Cerambycidae)에 속하는 종들이 있다. 침벌과는 전 세계적으로 2,000종이 명명되어 있을 만큼 큰 그룹으로 이중 일부 종들은 천적으로 이용되고 있다.

산림과학원 주관으로 2004년 10월에 개최된 '소나무재선충병의 생태와 방제'라는 국제학술대회에서 중국강소성임업과학연구소의 슈 푸안(Xu Fuyuan)은 개미침벌을 이용한 매개충 솔수염하늘소 유충의 생물적 방제에 대하여 소개하면서 이들은 방사한 지역에서 피해감소율이 약97%에 이른다고 발표하였다. 여러 문헌에 따르면 방사지역 내 솔수염하늘소에 대한 기생률은 1세대에서 41.9%~82.3%, 2세대에서는 73~92.3%로 나타나 높은 기생효율을 보여준다고 한다.

개미침벌은 천공성 해충의 유충과 번데기의 외부기생자 포식기생자 (Parasitoid)로서 11월 말이나 12월 초부터 3월 중순까지 기주곤충이 만들어 놓은 터널 안에서 성충으로 월동한다. 암컷성충의 수명은 약 1개월 인 반면에 수컷은 8~11일 정도 산다. 암컷 기생봉은 평균 50~70개, 최대 120개의 알을 낳는다. 암컷은 알과 유충이 노숙유충이 되어 고치를 틀 때까지 보호한다. 번데기가 되기 위해서는 5~6일간의 전용기를 거친다. 국내에서는 7월중 발생최성기를 보이고 있다.

개미침벌에 대한 문헌조사 결과, 국외 지역으로는 일본 전지역, 중국, 대만까지도 분포하며 기주곤충으로는 9과 29종이 보고되어 있다. 이중 솔수염하늘소를 포함하여 16종의 하늘소가 개미침벌의 기주곤충으로 기록되어 있다.



멕시코벌성충

2006년 국내조사에서는 개미침벌이 솔수염하늘소 유충에 기생함을 남해에서 재확인하였고, 서울 관악산에서 붉은 산꽃하늘소 *Corymbia rubra*가 새로운 기주곤충임도 확인 보고되었다.

㉠ 포식곤충

일본 문헌에 따르면 딱정벌레목(Coleoptera)에 속하는 가장 중요한 포식자로 우리나라에도 분포하는 큰살도적을 들고 있는데 솔수염하늘소 유충을 포식하는 큰살도적의 평균포식량은 큰살도적 유충 최대 체중의 3.3배로 이것은 8마리 정도의 솔수염하늘소 2령 또는 3령 유충의 무게에 해당한다.

그밖의 또 다른 포식곤충으로 국내에도 분포하는 개미붙이가 솔수염하늘소 유충을 포식하는 것으로 알려져 있다. 히로시마 현의 *Dastarcus longulus*는 용실에 있는 솔수염하늘소의 3~31%에 기생하나 다른 지역에서는 낮은 개체군 밀도를 보이는 것으로 조사되었다.

3-3. 솔나방 방제

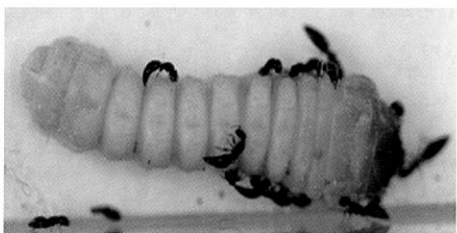
솔나방의 방제에는 중국이나 러시아 등지에서는 1960년대 부터 주요 난기생봉인 송충알벌 *Trichogramma dendrolimi*과 천적미생물인 백강균을 이용하여 왔다. 우리나라에서는 솔나방 방제에 1960년대에는 백강균, 세포질다각체 바이러스 등을 이용하였으나 1970년대 이후에는 화학적방제인 살충제의 살포에 의한 방제를 해오고 있는 실정이다. 그러나 1990년대에 이 난기생봉인 송충알벌의 이용방안에 대하여 연구하기 시작하여 이들 기생봉의 대량사육방법, 방사기술을 확립하여 제주도 등 일부 지역에서 실용화 하였다.

3-4. 포식충이용(풀잠자리, 무당벌레)

수목해충의 포식성 천적곤충으로는 많은 곤충류 들이 있지만 그중에서도 풀잠자리류, 무당벌레류, 먼지벌레류는 가장 중요한 천적으로 꼽을수 있다. 필자가 관찰한 바에 의하면 풀잠자리 약충은 솔잎혹파리의 산란된 알, 진딧물, 응애, 미국흰불나방의 알등 많은 종류의 해충을 포식하며, 무당벌레류 또한 솔껍질깍지벌레의 알, 진딧물 등을 섭식한다. 특히 먼지벌레류는 1950년대에 우리나라에 침입되어 큰 피해를 주고있는 미국흰불나방에게는 뺄 수 없는 천적으로 난괴가 있는 피해지에 먼지벌레 1마리만 나타나면 그야말로 쑥대밭이 될 정도로 포식력이 커 이들 해충의 밀도 저감에 큰 역할을 하고 있다.



하늘소 유충 2



하늘소 유충



나무좀류의 유충을 잡아먹는 개미붙이

4. 맺음말

천적을 보전하기 위해서는 대체기주를 다양하게 하고, 도피장소·용화장소·월동장소를 조성하는 것이 좋다. 이를 위해 수종을 혼효(混淆)하며, 천적이 선호하는 식물, 특히 화분식물을 식재하는 등 천적의 증식에 유리한 환경을 조성하고 관리하는 것이 필요하다.

수목해충을 지속적으로 관리한다는 측면에서 볼 때 생물적 방제는 확고한 위치를 차지하고 있으며 수목해충의 생물적 방제는 생태학적 배경을 전제로 어떤 해충에 대한 생물적 요인의 억제기능을 인위적으로 강화하는 것을 뜻한다. 이와 같은 생물적 방제의 성공을 위해서는 피해허용밀도, 수목의 경제성, 토착천적과 외래천적, 기존 천적류의 해충밀도 억제효과, 대상 해충의 종류와 그의 밀도수준, 선택성 살충제의 이용 등을 고려해야만 한다.

좋은 천적을 선택하고자 할 때는 기생성 천적이냐 포식성 천적이냐 보다는 대상 해충 종들에 적합 천적이라 함은 높은 수색력(high searching ability), 기주특이성(host specificity), 사육성(culturability), 밀도 반응성(density responsiveness), 분산력(dispersal capacity), 시간적 일치성(temporal synchronization) 등의 조건을 구비해야 한다. 이와같이 수목해충에 대하여도 이러한 요건을 갖춘 천적을 탐색하는 데 지속적인 노력을 경주해야 할 것이다.

사용방법과 관련해서는 천적을 외국으로부터 도입하여 정

착시키는 방법, 환경조건을 천적에게 유리하도록 개선하여 그 활동을 증대시키는 방법, 인공적으로 천적을 대량증식하여 방사는 방법 등이 있으므로 솔잎혹파리를 비롯한 각종 수목해충에 대한 생물적 방제에 있어 그 적합성을 검토하여 방제효과를 극대화할 수 있는 방법을 선택하여야 할 것이다. 🌿