



2021년도 2학기 - 해충관리학

해충의 방제법 - 2

(물리/기계/생태/화학적 방제)

〈표 1-2〉 우리나라 주요 농작물 해충의 분류군(목)별 종수

(1)	벼	맥류	조	옥수수	수수	감자	콩	무	배추	사과	복숭아	배
노린재목	14	16	4	5	-	7	20	6	4	8	8	9
%	10.4	13.0	7.8	9.2	-	13.7	12.6	13.6	7.8	2.7	3.8	3.6
매미목	53	28	14	14	7	17	18	7	6	48	48	62
%	39.5	22.7	27.4	25.9	77.8	33.3	11.3	15.9	11.7	16.6	22.9	24.8
딱정벌레목	16	28	11	12	-	12	22	9	9	61	38	46
%	11.9	22.7	21.5	22.2	-	23.5	13.9	20.4	17.6	21.1	18.1	18.4
나비목	28	18	13	15	1	12	81	16	25	165	104	116
%	20.8	14.6	25.4	27.7	11.1	23.5	51.2	36.3	49.0	57.2	49.7	46.5
기타	23	33	9	8	1	3	17	6	7	6	11	16
%	17.1	26.8	17.6	14.8	11.1	5.8	10.7	13.6	13.7	2.0	5.2	6.4
총종수	134	123	51	54	9	51	158	44	51	288	209	249

(2)	귤	포도	밤나무	소나무류	참나무류	상수리나무류	벗나무	담배	파	오이
노린재목	10	1	5	-	-	9	10	3	4	2
%	5.6	0.8	3.2	-	-	2.8	3.8	9.3	11.7	6.8
매미목	66	26	26	22	31	49	51	4	2	3
%	37.5	23.0	16.9	14.0	47.6	15.6	19.3	12.5	5.8	10.3
딱정벌레목	38	30	56	79	3	89	54	5	7	12
%	21.5	26.5	36.6	50.3	4.6	28.3	20.5	15.6	20.5	41.3
나비목	50	48	57	36	27	150	138	11	13	8
%	28.4	42.4	37.2	22.9	41.5	47.7	52.4	34.3	38.2	27.5
기타	12	8	9	20	4	17	10	8	3	4
%	6.8	7.0	5.8	12.7	6.1	5.4	3.8	25.0	23.5	13.7
총종수	176	113	153	157	65	314	263	32	34	29

(한식보, 1986).



계룡시보건소장(신순천)은 기존 화학·약품을 사용해 방제하던 방식에서 광복매 반응을 이용해 효과적으로 대량의 모기 및 유해 해충을 유인해 포획·박멸할 수 있는 물리적 방제기구를 가로등에 설치했다.

물리적 방제기구인 트네이드는 기존 가로등에 부착하는 방식으로 전기가 가설되면 어느 곳이나 설치가 가능하고 포집통을 비우는 것 외에는 별도의 유지관리가 필요 없다. 자동 타이머와 자동 차단기로 작동해 가로등 점등시간부터 전멸 시까지 가동하고 있으며, 한번 설치하면 반영구적으로 사용할 수 있다는 장점이 있다.

친환경적·저비용으로 방제의 효율을 극대화하고 시민의 건강 생활을 할 수 있도록 도모하고 있어 시민들로부터 큰 호응을 얻고 있으며 주민의 이용이 많고 유해 해충의 서식지가 되는 장소인 업무광장 등 20곳에 설치해 운영하고 있다.

보건소관계자는 "내년에도 설치 효과가 우수한 지역을 선정해 점진적으로 확대 설치하고 유지보수에 만전을 기할 것"이라고 말했다.

가산원자 : 홍남철로 주민건강 및 가로등 문제

➤ 물리적 방제

- ✓ 광선, 물, 고온·저온, 고압전기, 음파, 감압, 방사선 등의 물리적 환경·조건 이용
- 해충을 직접 죽이거나 유인 또는 기피하게 하는 방제 방법

➤ 기본 전제

- ✓ 해충 생존·증식: 각 종 물리적 조건에 대한 내성한계 → 조건이 어떤 범위를 넘으면 정상적 활동 불가능
- ✓ 어떤 물리적 조건에 대해서는 유인·기피 성질 이용 가능
- ✓ → 내성한계, 유인 또는 기피성을 토대로 환경조건을 불리하게 만들거나 또는 정상적인 생리작용, 행동 방해

물리적 방제(physical control)

➤ 온도 처리

- ✓ 생존온도 범위를 벗어나는 고온·저온에 노출 → 생리작용 관여 효소류 기능 및 세포막 투과성 변화
→ 생리적 기능 파괴, 단백질 변성, 유독성 물질 생성 등 → 생존에 불리한 변화가 일어나 결국 폐사
- ✓ 온도처리 : 고온처리 + 저온처리
- * 주의 : 고온이나 저온 처리 시, 곡류, 식품, 기타 농산물의 품질에 영향이 없어야 함.

➤ 고온

- ✓ 보통 60~66°C : 짧은 시간 내 죽음(52~55°C에서 3~4시간 내 폐사)
(예) 여름철, 콩/곡류를 햇볕에 쪄여 해충 알·유충을 죽이거나 쫓아내는 일
- ✓ 주로 환경조절열처리(CATTS)를 하거나, 태양열, 온탕, 증기열, 화열, 적외선 등 이용
- ✓ 열풍기 이용하여 제분시설 공간을 60°C 이상, 3시간 이상 가온 → 화랑곡나방 성충 100%, 알과 유충 90% 사멸 가능
- ✓ 저곡해충(거짓쌀도둑거저리, 쌀바구미, 가루개나무좀 등)
→ 곡식 저장고 내부를 프로판가스 히터나 전기히터로 가열
- ✓ 왕담배나방(알, 성충) : 45°C에서 각각 5분, 12.5분 처리 → 100% 사멸
- ✓ 적외선 전구 발생 뜨거운 열을 사용 → 농산물 해충 구제



화랑곡나방(쌀, 보리, 콩 등 저장곡물 해충)



왕담배나방

물리적 방제(physical control)

➤ 고온

✓ 환경조절열처리(controlled atmosphere temperature treatment system)

- 높은 농도 이산화탄소 + 낮은 농도 산소 조건 + 고온처리 → 방역효과 극대화
- 다양한 과실 해충에 대한 수확 후 소독처리 방법
- 사과 내부 '복숭아심식나방': 이산화탄소 농도 15%, 온도 46°C → 60분 처리 → 100% 소독 효과
- '거짓쌀도둑거저리': 이산화탄소 농도 15%, 산소 1%, 온도 46°C → 120분 처리 → 100% 소독 효과



복숭아심식나방



거짓쌀도둑거저리

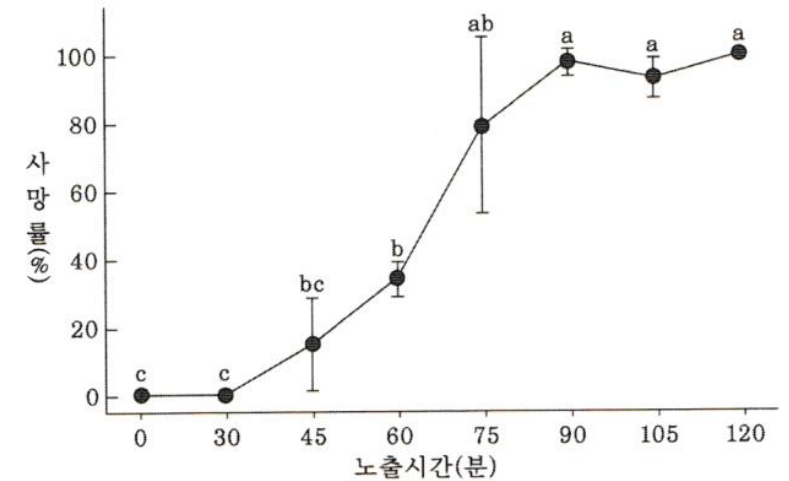


그림 3-2 거짓쌀도둑거저리 성충에 대한 46°C 열처리 조건에서 노출시간별 사망률<손 등, 2010>

물리적 방제(physical control)

➤ 고온

✓ 태양열법

- 열대지방에서 효과적
- (국내) 잠두콩바구미, 완두콩바구미 등이 내부에 있는 콩을 여름철 뜨거운 햇볕에 5~6일 정도 노출 → 내부 유충 사멸
- 곡물 내부의 바구미류(*Callosobruchus maculatus*) : 60°C 이상, 100분 정도 노출 → 모든 단계 바구미 개체 사멸
- 동부바구미 : 50°C, 6시간
- *Callosobruchus subinnotatus* : 2시간 노출 → 알 부화 억제
- (인도) 폴리에틸렌 봉투에 콩을 넣어 태양열 노출 → *Callosobruchus* spp. 사멸
- 한 여름 휴한기, 비닐하우스 밀폐 → 지표면 약 90°C 이상, 지하 10 cm 60°C 이상, 지하 20 cm 50°C → 땅 속의 병균이나 해충 사멸
- 시설재배 : 지표/땅속에 있는 선충, 총채벌레 번데기, 잎굴파리 밀도 억제



Callosobruchus maculatus



비닐하우스의 밀폐

물리적 방제(physical control)

➤ 고온

✓ 온탕침지법

- 벼심고선충 방제 위해 볍씨 온탕 침지
- 최근 오존층 파괴 물질(methyl bromide) 대체 방법 → 수출입 과실 검역처리 연구
- 잠두콩바구미 구제 : 종자를 70°C에 3분 침지 또는 60°C에서 5분 침지
- 단감 : 48°C의 열수, 10분 침지 → 응애류, 톡토기류, 주머니깍지벌레 등 100% 사멸
- 사과 : 44°C의 온탕, 35분 침지 → 7~10주, 0.5°C 보관
→ 잎말이나방류(*Epiphyas postvittana*, *Planotortrix octo*, *Ctenopseustis obliquana*) 효과적 방제
- 흑다리굴파리 번데기 : 44°C에 20분 침지 → 모두 사멸



벼 종자 침지



Epiphyas postvittana 유충



Ctenopseustis obliquana 유충

물리적 방제(physical control)

➤ 고온

✓ 증기열법

- 훈증법보다 간단, 적은 경비
- 의류 부착 위생해충 구제 응용 가능
- 식품공장, 제분공장에서 스팀시설 이용
- 수확 후의 당근 : 증기열 처리한 후, 냉수냉각 → 당근 질을 향상 및 균핵병 내성 증대 가능

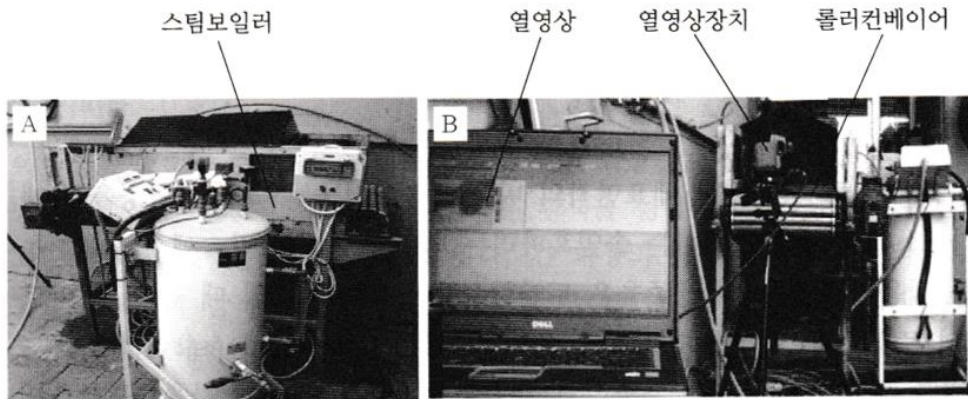


그림 3-3 정밀 증기처리기의 제작 원형
A : 스팀보일러 B : 컴퓨터·롤러컨베이어·스팀보일러



제주시에서의 고온증기로 토양 소독(시설채소 병해충 예방)
(한국농기계신문, 2018.8.16.)

물리적 방제(physical control)

➤ 저온

- ✓ 지속적 저온 유지 → 해충 번식 및 발육 저해 : 시설 내에서의 온도환경 인위적 조절 → 해충 번식 영향
- ✓ 대개 곤충은 5~15°C에서 동작이 활발하지 못하고, -27~0°C일 경우 대부분 사멸(이하일 경우 생존 불가능)
- ✓ 저온처리 순서 : 저온 → 고온 → 저온 식(해충 사망률 증가)
- ✓ 가을갈이 : 토양 내 해충을 외부 노출시키는 것도 저온처리의 한 방법
- ✓ (미국) 한랭지대. 겨울에 제분공장 개방 → 실온을 외기 온도와 같게 냉각 → 저장곡물의 해충 구제
- ✓ 사과 : 0°C 또는 산소 3%, 이산화탄소 2~5% 하에서 0~3°C 저온 저장 → 사과과실파리 60일 이내, 거위벌레 유충 33일 이내 사멸
- ✓ 감귤류 기생 '지중해광대파리' 유충과 번데기 : 1~2°C, 12~30일이면 사멸 → 방제·검역소독 이용
- ✓ 저곡해충(거짓쌀도둑거저리, 줄알락명나방, 머리대장가는납작벌레 등) : 저장고 온도를 치사수준으로 낮춰 방제
- ✓ 어리쌀바구미, 쌀바구미는 10°C에서 부화와 변태가 완전히 억제



지중해광대파리(*Ceratitis capitata*)



머리대장가는납작벌레(*Oryzaephilus surinamensis*)



쌀바구미(*Sitophilus oryzae*)

물리적 방제(physical control)

➤ 습도처리

- ✓ 곤충류는 체중에 대한 체표면적의 비율이 높아서 공중습도의 영향을 크게 받음
- ✓ 솔잎혹파리(소나무 잎 가해): 낙엽층 아래 땅속 월동. 토중 전용기 생존율은 토양함수량 14%이상일 때 높음.
- ✓ 토마토 재배 시, 포장 내 잡초 제거, 울폐도(crown density) 낮은 초형 품종 재배 → 초파리 활동 억제, 공중습도 낮추는 효과
 - * 울폐도 : 임목의 수관과 수관이 서로 접하여 이루고 있는 임관의 폐쇄 정도
- ✓ 저장곡물 해충 : 함수량 12% 이하 증식 불가능
- ✓ 어리쌀도둑거저리, 머리대장가는납작벌레 : 상대습도 감소 → 일반적으로 사충률 증가
- ✓ 습도를 높힘으로써 해충 병원성 곰팡이에 의한 감염률 증가
 - 백강균은 온실해충과 응애의 생물학적 방제원으로 사용 가능
 - 온실 내 상대습도 90% 이상 → 백강균(*Beauveria bassiana*) 살포 → 해충의 감염률 증대
- ✓ 침수법 : 중요한 습도처리의 한 방법
 - 수입 원목을 물 속에 저장하거나 원목에 계속 물을 뿌림
 - 목질부 내부의 나무좀류나 하늘소류의 가해 방지
- ✓ 이화명나방 유충(벼 가해), 굴벙이류, 거세미나방(채소작물 가해)
 - : 논 또는 밭을 침수시키는 것을 재배적 방법



느타리버섯 원목 침수 처리



백강균에 감염된 메뚜기류

물리적 방제(physical control)

➤ 빛과 색깔의 이용

✓ 유살등

• 곤충 주광성은 해충의 존재 여부나 밀도를 조사하는데 이용하는 경우와 실제로 방제를 목적으로 이용하는 경우가 있음.

- (식물검역 목적으로 해충) 침입 여부나 침입해충의 분포 범위 조사

- (일반 해충) 발생 시기나 양, 방제 후의 방제효과 평가 이용

✓ 곤충류가 가장 예민한 반응을 일으키는 빛 파장 : $3,000 \sim 4,000 \text{ \AA}$ (옹스트롬) (= 짧은 파장에 잘 유인)

* 사람 가시광선 범위 : $3,800 \sim 7,600 \text{ \AA}$

✓ 곤충은 자외선에 잘 유인됨 → 자외선등 밑에 수반을 놓거나 등 주변에 전류가 흐르게 하거나 열선을 넣어서 유인되는 곤충 사멸

✓ 단감 주요 해충(갈색날개노린재/썩덩나무노린재) : 수은 유아등이나 자외선 등에 잘 유인

✓ 고구마바구미 : 다른 광원보다는 자외선광에 가장 잘 유인



갈색날개매미충 성충
유인포획장치



〈표 4-9〉 Manitoba 유살기의 유인구 색과 채집 등애 개체 수 (신과 현 1975)

색	적색	황색	흑곤색	흑색	주홍색
종수	3	0	10	4	4
개체수	76	0	231	151	120

벼 포장에
설치한 유살등

물리적 방제(physical control)

➤ 빛과 색깔의 이용

✓ 기피등

- 야행성 곤충류는 주광성을 지니고 있으나 어떤 파장의 광선에 대해서는 기피성을 보임
- 야행성 곤충은 황색을 싫어하므로 **가로등, 건물 야외 조명등을 황색** 설치
- (일본) 유효조도(1 lux)이상의 40W 황색 형광등을 7개/7a 설치 → 과실 흡수나방류의 활동 억제 효과
- 가축을 흡혈하는 **등에류** : **주황색 전등 빛을 기피** → 경마장, 축사에 **주황색 등** 설치
- (미국) 야외극장, 야외수영장, 골프장에 황색등 설치 → 곤충 유인 방지



황색 가로등



도심 가로등(LED)



골프장 가로등(LED)

물리적 방제(physical control)

➤ 빛과 색깔의 이용

✓ 색깔의 이용

✓ 낮에 활동하는 곤충류 : 여러 가지 파장 가시광선에 달리 반응

- 진딧물류/멸구류 : 황색계 반응 → 황색수반을 조사용으로 이용
- 진딧물류 : 백색/은색 멀칭 기피 → 진딧물 피해 / 바이러스 감염 경감
- 온실가루이 : 파장 5,740 Å 전후의 파장 색 잘 유인 → 황색끈끈이 리본을 하우스 내 설치 → 발생시기 예측, 방제효과
- 오이총채벌레 : 은빛 소재 기피 → 은색 폴리에틸렌필름을 씌운 온실에서 낮은 밀도 발생
- 아메리카잎굴파리 : 성충을 유인하는데 황색이 가장 효과적
- 딸기 재배 비닐하우스에서, 대만총채벌레 : 파란색의 끈끈이 트랩 설치



아메리카잎굴파리
(약 28과 120종 시설작물, 노지작물 가해)



노란색꽃에 유인된 진딧물류



황색수반(yellow pan trap)

[표 3-4] 시기별 끈끈이 트랩에 유인된 대만총채벌레
평균 개체수

〈서 등, 2006〉

트랩	5월			6월			
	24일	28일	31일	4일	7일	11일	14일
노란색	39.3	30.6	76.6	225.4	135.3	242.4	167.4
파란색	102.7	387.7	732.3	1,707.3	1,062.7	2,403.4	1,200.0
흰색	82.0	206.0	398.4	872.3	563.3	1,378.0	791.4

물리적 방제(physical control)

➤ 빛과 색깔의 이용

- ✓ **LED(light emitting diode)** (= 발광다이오드, luminescent diode) 이용
- ✓ 전압을 가했을 때, 발광하는 반도체 소자
- ✓ 국내, 일본 등 다수 국가 : LED 이용 → 노린재류, 나방류, 모기류 등 해충 방제
 - 갈색여치 : 파장 500 nm (나노미터) 이하인 청색 LED와 백색 LED 선호
 - 고구마바구미 : 자외선등에 가장 잘 유인. 황색, 녹색, 청색의 LED에도 주광성 보임
 - 담배나방 : 황색끈끈이 트랩 + 플라스틱컵 트랩에 530 nm 파장 LED 결합
- ✓ (단점) 단위소자당 조도가 약하므로 다른 광원과 같은 밝기를 유지하기 위해서 훨씬 많은 등 설치 필요
- ✓ (장점) 전기소모량이 적고 수명이 김



갈색여치



고추담배나방



고구마바구미



물리적 방제(physical control)

➤ 빛과 색깔의 이용

✓ 기타 빛의 이용

- 곤충류에 적외선, 가시광선, 자외선을 순간적 노출 → 정상적 생리현상에 이상 → 불임화 및 휴면
- 배추흰나비 : 10시간 조명 하, 암기에 소등 3~4시간 후 5분간 섬광을 쬔면 거의 모든 개체가 비휴면 번데기
 - 코드링나방, 잎말이나방류 등에도 이용
- 자외선 흡수 특수필름 : 작물의 광합성을 도와 생장 촉진, 어떤 종류의 병해충에 대해서는 발생 억제 효과
 - 특수비닐 피복한 하우스에는 오이총채벌레 침입 억제, 피해가 적음



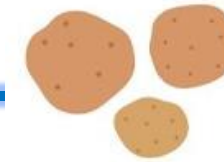
배추흰나비



코드링나방



오이총채벌레



일반감자



방사선 조사 처리



발아억제



병원균, 기생충 사멸

➤ 방사선 및 음파의 이용

✓ 방사선

- 일정량 이상 방사선을 조사받은 생물은 죽거나 생식력을 상실(같은 종류라도 생육단계에 따라 치사선량에는 차이)
- 방사선 치사효과 이용 : 주로 '저곡 해충류' 시도. 최근 목재 재질부 가해충/과실 내부 해충 시도 중
- (미국) 1999년 카리브과실파리 침입 방지 위해, 쿠바에 방사선 조사, 2000년 고구마바구미 피해 방지 위해 플로리다산 고구마 방사선 조사
- 점박이응애/사과응애 감마선 처리 : 조사선량에 비례 사충률 증가
- 전자빔 : 방사선 조사보다 안전. '박멸'보다는 '암컷의 불임화'를 통해 번식하지 못하도록 유도
- 주요 농업해충(담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애 등)에 전자빔(30Gy, 50Gy, 70Gy, 100Gy) 조사하였을 경우

담배가루이와 점박이응애 알은 100 Gy 조사량에서 부화가 100% 억제

[표 3-5] 전자빔 조사선량에 따른 해충의 살충력 비교 <문 등, 2010>

조사선량 (Gray)	사 충 륜(%)			
	담배가루이 성충	복숭아혹진딧물 약충	복숭아혹진딧물 성충	점박이응애 성충
3,000	100	100	100	100
2,500	100	100	100	100
2,000	100	82.1	56.7	100
1,500	56.6	44.5	16.7	0
1,250	53.3	3.0	3.0	3.0
1,000	36.6	0	0	3.0
750	46.6	0	0	3.0
500	2.0	0	0	3.0
무처리	0	0	0	0

중앙일보
(2016.6.10.)



물리적 방제(physical control)

〈표 4-10〉 몇가지 해충류에 대한 불임선량

목	종	처리생육단계	선량(krad)	연구자
파리목	<i>Delia antiqua</i> (Onion fly)	번데기	3.0	Loosjes, 1976
	<i>Ceratitis capitata</i> (Medfly)	번데기	8-9	Mellado et al., 1975
		성충	10	Cavalloro and Delrio, 1971
	<i>Rhagoletis cerasi</i> (Cherry fruit fly)	성충	9.5	Boller et al., 1975
	<i>Dacus oleae</i> (Olive fly)	번데기	8	Tzanakakis, 1974
딱정벌레목	<i>Melolontha melolontha</i> (Cockchafer)	성충	3.3	Horber, 1963
나비목	<i>Laspeyresia pomonella</i> (Coding moth)	성충	35	Mani et al., 1978
	<i>Eupoecilia ambiguella</i> (gGape moth)	번데기	30-35	Boller and Remund, in prep.

〈표 4-11〉 세대당 98%의 살충율을 갖는 살충제와 98%의 불임효과가 차세대 해충 개체군 밀도에 미치는 영향

세대	살충제		불임 처리		
	처리전	처리후	처리전	불임충	정상충
1	1,000,000	20,000	1,000,000	980,000	20,000
2	200,000	4,000	4,000	3,920	80
3	40,000	800			
4	8,000	160			
5	1,600	32			
6	320	6			
7	60	1			

물리적 방제(physical control)

➤ 방사선 및 음파의 이용

✓ 음파(sound wave)

- 처리 방식 : 고음에 의한 치사 / 음파에 대한 기피성 이용 / 해충이 내는 음을 모방하여 행동 교란
- (과거) 누에기생파리(누에 기생) 방제 위해, 번데기에 초음파를 이용
 - 누에 번데기에 초음파 노출 → 누에기생파리 유충이 누에 기문에서 몸속 깊은 곳으로 들어가 질식사
- 곤충류는 종에 따라 소리를 내어 상호 교신을 하기도 함
 - 이러한 곤충류의 소리를 녹음하거나 모방음 발신장치를 이용하여 대상해충 유인, 기피
 - (예) 모기 : 수컷은 암컷이 내는 소리에 유인되어 교미 → 음을 방출 → 수컷이 스피커 주변으로 모임
 - (예) 밤나방 : 일부 종은 초음파에 예민한 고막 보유 → 박쥐의 초음파에 접하면 땅으로 낙하
- 소리세기 95 dm (decibel) 고정 + 처리음파 주파수 증가 → 증가 정도 비례, 진딧물 발육기간 지연 + 암컷 성충 생식력 감소

➤ 감압법

- ✓ 해충이 잠입해 있는 피해물을 용기에 넣고 진공펌프로 기압을 낮추어 해충을 사멸시키는 방법
- ✓ 수은주를 10mm 이하로 하여 일정 시간 동안 처리
 - 충체 내압 → 팽창 조직세포 회복 불가능
- ✓ 저장곡물 해충, 의복 해충, 서류 및 골동품 해충 등의 방제 응용

기계적 방제(mechanical control)

➤ 기계적 방제

- ✓ '손'이나 '간단 기구'를 사용하여 해충을 직접 포살하는 방법
- ✓ 해충의 이동을 차단하는 방법

➤ 침입 차단

- ✓ 집, 주방, 병원 등의 창/출입구에 섬유, 금속, 플라스틱 또는 유리섬유로 된 망을 설치 → 모기, 파리, 기타 곤충류의 침입을 막는 것
- ✓ (담배 밭) 폴리에틸렌필름 멀칭 → 솟 검은밤나방의 유충 이동 방지 → 피해율 63% 감소
- ✓ (오이/가지 시설재배) 하우스 천장/측창에 한랭사 등으로 덮어 총채벌레류, 진딧물류 침입 방지
- ✓ 약 50여종의 곤충류가 견과류, 가공식품 또는 가축사료 가해
 - 가공과정, 저장, 수송 그 밖의 과정에서 침입
 - 제품의 포장 재료, 방법에 따라 해충의 침입 방지 가능
 - 해충 침입 저항성 : 폴리카보네이트(polycarbonate) 계통 포장지 > 폴리에틸렌 계통 포장지
- ✓ (사과, 배, 복숭아, 포도나무 과실) 신문지, 하드론지, 파라핀지로 된 봉지를 씌움
 - 심식나방류, 바구미류 피해 방지
- ✓ (짚 멀칭) 콜로라도감자잎벌레에 간접적 영향
 - 알과 유충의 포식충이 유리하도록 하여 잎벌레에 의한 피해 감소

[표 3-6] 옥수수 재배에서 피복제와 농약살포에 따른 옥수수

왜화병의 평균 발병률(단위: %) <SUMMERS & STAPLETON, 2002>

처 리	1997년	1998년	1999년	처 리	1997년	1998년	1999년
피복제 A	7.6	0.0	-	permethrin	-	-	55.4
피복제 B	-	0.1	6.8	thiomethoxam	-	-	44.5
피복제 C	17.8	0.0	-	대조구	80.2	15.6	76.6
methomyl	-	25.6	-				

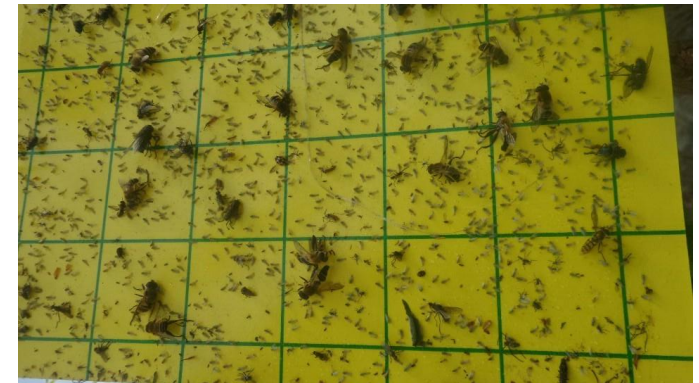


콜로라도감자잎벌레

기계적 방제(mechanical control)

➤ 포살

- ✓ 해충 알, 유충, 번데기, 성충 등을 맨손이나 간단한 기구를 사용하여 직접 잡아 죽이는 방법
- ✓ 살충제가 발달하기 전에는 해충을 직접 잡아 죽이는 방법이 중요한 수단. 현재에도 정원/소규모 포장에서 이용 가능
- ✓ (예)
 - 도둑나방/배추흰나비 유충, 깍지벌레 방제 : 맨손으로 잡아 죽임
 - 하늘소/박쥐나방의 유충 (나무 속에 구멍을 뚫고 사는 종) : 가는 철사를 구멍으로 넣어 찔러 죽임
 - 파리채로 파리를 잡는 행위 등
 - 복숭아나무/배나무 새순 및 말매미가 산란한 작은 사과나무 가지를 전장 시 제거, 이화명나방 유충에 의한 피해줄기를 제거
- ✓ 소규모 정원
 - 회양목명나방이나 분산 전의 미국흰불나방 집단, 깍지벌레류 : 손으로 잡아 죽임
- ✓ 저장물 해충
 - 체로 치거나 바람에 날려 가려내는 방법
 - 끈끈이를 나무 기둥에 발라(10~20 cm 간격) 이동하는 유충이 붙어 죽게 하는 방법
- ✓ 나무좀류/바구미류 : 벌목한 지 얼마 되지 않은 통나무 유인
 - 유인목을 설치하여 유인한 후 이들 유인목을 적절한 방법으로 처리



끈끈이를 이용한 해충 방제

기계적 방제(mechanical control)



포살법

- 01. 솔나방 유충
- 02. 솔나방 인력제거
- 03. 수피 틈에서 뿔뚝유충 포살



찢러죽임

- 03. 주간에 느티나무종류가 침입하는 광경으로 이 때에 목질부가 배출되는 구멍으로 철사 등을 넣어 방제

등화유살법

- 04. 주광성을 이용하여 유아등으로 야행성 해충을 유인포살

생태적 방제(ecological control)

- 해충의 생물적 + 생태적 + 행동적 특성 바탕 접근
- 해충 생존을 위한 필수요소 : 먹이, 섭식장소, 교미장소, 산란장소, 극단적 기상, 천적으로부터의 보호처 등
- 생태적 방제법 : 해충 생존 필수조건 변경 또는 교란 → 해충 밀도 감소
- 재배적 방제(해충과 작물, 그리고 주변 환경과 상호 작용하는 원리를 이용하는 방제) = 생태적 방제에 포함
- 생태적 방제를 성공적으로 수행하기 위해서 해충의 생리 및 생태, 행동 등에 대한 지식 필요
- 화학적 방제와는 달리 완전한 방제보다는 '**해충 발생 예방 및 피해 감소**'에 중점을 둠
- 최근 유기농업과 같은 친환경농업이 각광을 받음에 따라, 생태적 방제의 중요성이 더욱 증대
- 생태적 또는 재배적 방제는 유기작물 재배에서 절지동물 해충관리 단계적 전략 중, 1, 2단계에 적용하고 있음.

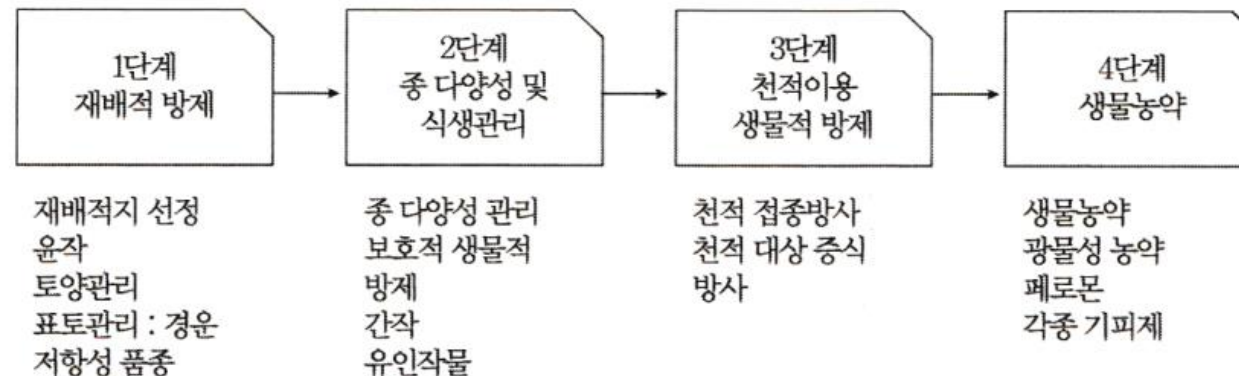


그림 3-4 유기작물 재배에서 절지동물 해충관리전략의 단계적 배열

〈WYSS 등, 2005; ZEHNDER 등, 2007〉

생태적 방제(ecological control)

➤ 이론적 기초

✓ 작물생태계의 다양성과 해충 발생과의 관계

- **생물종 다양성 증가** → 생태계의 안정성이 증가하는 것으로 봄
- 생태계의 급격한 변동이 방지되고 **자체조절 작용 강화**
- '농업 작물생태계의 안정성'

● 장기간 해충 개체군이 심한 변동 없이 유지되는 상태 / 경제적 피해허용수준 아래로 해충의 밀도변동이 유지되는 상황

✓ 작물생태계 다양성 증가: 단작지대 내 다른 식물 도입 재배방식(혼작, 간작), 잡초 성장을 허용하는 초생재배법 등을 통해 달성

✓ 이렇게 작물생태계의 다양성을 증가시키면 해충의 발생이 감소(=천적역할설 + 자원집중설)

천적역할설(predation hypothesis)	자원집중설(food source concentration hypothesis)
• 과수원에 초생재배를 실시(=다양성 증대) → 응애류의 발생 감소 (잡초가 천적의 서식공간과 꽃가루 등 대체먹이를 제공하여 천적의 정착 용이) • 작물생태계의 증가는 결국 생태적 지위(ecological niche) 증가를 이끌고 다양한 천적의 서식환경 제공 • 다양성이 높은 농업생태계에서 해충 밀도조절은 천적활동이 증가하여 달성 • 1년생 작물보다는 생태적으로 안정된 연년생(과수원) 작물생태계에서 효과적	• 곤충은 기주식물을 찾을 때, 기주식물 고유의 형태적 특징(잎 모양, 색깔 등) 및 화학적 유인물질 이용 • 식생이 복잡하고 다양 → 인접된 작물(잡초) 발산 유인물질이 기주식물 고유의 유인물질과 혼합 → 기주탐색 활동 교란 → 초식성 해충이 기주식물을 발견할 확률 감소, 기주식물의 정착 방해, 미세환경과 초식자의 행동에 영향을 미쳐 정상적 발육 발해, 이출 증가 • 다양화된 농업생태계의 해충 밀도조절 기작은 자원의 이질적 분포에 따른 해충의 정착 방해 때문에 나타난다는 주장 • 단식성 해충에게 효과적 작용 / 잡식성 해충의 경우 발생 증가 가능

생태적 방제(ecological control)

➤ 이론적 기초

✓ 생태계 내 시간 및 공간적 연속성의 파괴

- 해충이 생활사를 완성하기 위해서는 생활계 내에 먹이자원이 시간 및 공간적으로 연속되어야 함
- 한 부분이라도 단절되면 생활사를 완성할 수 없어 사망

공간적 연속성의 파괴(reduce continuity in space)	시간적 연속성의 파괴(upset chronological continuity)
동일한 시간에 공간적인 작물 배치를 달리하여 해충 생활사 연속성 파괴 - 기본적으로 작물 재식계획에 중점을 둠	동일한 공간(포장)에서 시간적으로 다른 작물을 재식하여 해충이 연속적으로 증식하지 못하게 하는 방법(=윤작 체계)
• 동일한 시기에 한 작물을 재배하는 경우, 작물재배 지대가 연속되어 있으면 해충은 충분한 먹이공간(서식 및 교미 공간 등) 활용 → 대발생 가능 → 작물재배 시, 일정 면적단위로 간격(crop spacing) 둠 → 재배공간의 간의 이동을 억제하여 해충의 급격한 증가 방지 • 동일한 공간에 해충의 상이한 기주식물을 배치하여 공간적 연속성을 파괴 → 근접 배치 작물은 방제대상 해충의 동일한 기주식물이 되어서는 안됨 → 한쪽 작물에 발생한 해충이 다른 쪽 작물로 이동할 수 없도록 해야 함	• 공간은 고정되어 있고, 시간적으로 이질적인 환경 조성 (= 뒷작물을 앞작물과 다른 성격의 기주식물 재식 → 앞작물 해충 생존 불가능) • 휴경(crop fallowing)은 생산량을 조절하기 위해 사용 해충 기주식물이 시간적 연속성을 파괴하는 방법 중 하나 → 해당 작물을 먹이로 하여 생존하고 있던 해충은 먹이, 서식처 등을 잃게 되므로 더 이상 증식 불가능 • '작물과 해충의 동시성 교란(disrupting crop and insect synchrony)': 재배시기 조절을 의미. 해충의 주 발생시기를 피해 작물을 재배하거나 해충이 발생하기 이전에 조기 수확함으로써 해충피해 방지

생태적 방제(ecological control)

➤ 이론적 기초

✓ 생태공학(ecological engineering)의 원리

• 생태공학

- Odum (1962) : 천연자원을 주 에너지. 작동되고 있는 생태계 조절하기 위하여 적은 양의 보조 에너지를 이용한 인위적 환경조작
- Mitsch & Jorgensen (1989) : 환경과 인간 양자의 이익을 구현하기 위한 자연환경과 함께 하는 인간사회의 설계
- Parrott (2002) : 생태적 원리와 조화되는 방식으로 지속 가능한 생활계의 개선, 관리(또는 운영) 및 설계

• 농업생태계에서 생태공학의 개념

- **보호적 생물적 방제(conservation biological control, CBC)** : 천적의 보호 및 활동을 증진시키기 위하여 기존 재배법 또는 환경을 개변 (고독성 농약 사용 지양, 천적 효과/적응력 개선을 위한 서식처 조작의 형태로 실현) = 포괄적으로 천적을 위한 재배기술
- **서식처 조작(habitat manipulation)** : 해충 서식 환경조건을 번식/활동 부적당 환경조건으로 변경 → 해충의 발생 및 가해 억제
→ 천적역할설에 입각한 재배기술 뿐만 아니라, 자원집중설에 기초한 재배기술 구현하는데 활용

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 재배환경 변경

• 포장 위생

- 해충 잠복처(작물/농자재 잔재물 등) 미리 제거하여 해충 발생을 줄이는 방법
- 앞작물의 잔재물 경운(갈아엎기), 써레질, 분쇄 등 → 잠복처 파괴로 다음해 또는 다음 작기 초기밀도 감소
→ 감염시기 지연 및 발생량 감소
- 대체기주 제거 : 많은 곤충은 생활사의 일부분을 기주작물을 떠나서 다른 식물에서 보내거나 다른 식물을 먹이로 하여 살아감
 - (복숭아혹진딧물) 월동기주(핵과류)에서 봄철 증식 → 여름철 고추/배추 등 채소작물로 이동, 가해 → 가을철 월동기주(핵과류) 산란
(많은 진딧물류 해충이 기주를 바꾸어 가면서 생활사 완성)
 - (애무늬고리장님노린재) : 주로 포도나무, 차나무, 벚나무 등에서 알로 월동
→ 봄철 월동기주에서 생활하다가 여름철 박과류 식물 이동 → 가을철 월동란을 낳기 위해 다시 월동기주로 이동
 - (복숭아심식나방) 사과 및 복숭아 해충. 과원 주변의 야생 복숭아나 꽃사과 등이 발생원.

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 재배환경 변경

• 경운

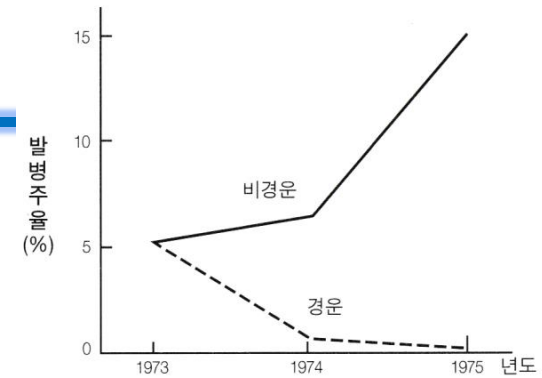
- 1차적으로 잡초 방제 및 파종을 위한 이랑을 만들기 위하여 실시하는 농작업의 한 형태
- 경운을 통하여 식물 잔재물 및 해충 대체 서식처 제거
- 토양의 물리적 환경 개변 → 토양서식 곤충에 악영향
- 천적의 서식처로 파괴하여 생물적 방제에 악영향

• 미기상의 개변

- 해충이 서식하고 있는 포장 내의 미기상 개변 → 서식밀도 감소, 활동력 저하
- (벼굴파리) 저온성 해충. 우회수로를 설치하여 관개수온을 증가 → 논의 기온이 증가하여 발생 억제
- (왕무당벌레붙이) 감자의 이랑너비를 넓게 하여 기온과 지온 증가 → 해충의 식해 경감

• 잠복소 제공

- 해충이 월동처로 이동할 때, 월동할 수 있는 잠복처를 제공
- 짚이나 그 밖의 것으로 만든 20~30 cm 가량의 거적을 나무줄기에 감아 놓아
→ 수관부의 해충류가 월동처를 찾아 밑으로 내려와서 잠복하게 한 다음 소각 등 처리(가로수 해충에 이용)



〈그림 4-1〉 끝동매미
충이 매개하는 벼오갈병의
발병율과 겨울철 휴한답
처리와의 관계 (Nakasui,
Kiritani 1976).



잠복장소유설법

06. 서식장소 유인포살을 위한 잠복소 설치

07. 채색법 끈끈이 트랩이용 포살

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 재배환경 변경

• 수분관리 및 토성 개량

- 침수법 : 채소/옥수수 등 작물에서, 토양해충인 방아벌레 유충을 방제하기 위해 자주 사용
- 수도 재배 경우 : 2모작으로 전년도에 감염된 많은 토양해충 제거 가능
- 논에 박과류(참외 등)를 재배한 후, 뒷작물로 벼를 재배하여 침수 → 박과류에 문제가 되는 뿌리혹선충 방제 가능
- 토성의 개량 : 주로 토양곤충(굴벙이류, 고자리파리)의 방제 목적

● 해충 발생은 비료 종류, 시비량, 시비법 등과도 관련 있음

→ 유기질비료를 많이 주면 토양곤충이 대발생하므로 시비량과 시비시기 조정

〈표 4-3〉 토양함수량과 솔잎혹파리 토중 유충생존율과의 관계 (박과 현 1977)

함수량 (%)	평균생존율 (%)	함수량변이 (%)	평균생존율 (%)
< 12	6.63	< 25	14.07
12.1~14	12.78	25.1~30	15.12
14.1~16	16.25	30.1~35	10.04
< 16	16.65	35.1~40	18.04
		< 40	6.06

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 재배법 변경

• 윤작

- 토양곤충(방아벌레 등) 대해서 윤작을 하는 것이 가장 적합
- 윤작 시, 대상해충의 식성을 고려하여 **해충 먹이가 될 수 없는 작물 식재**
(유연관계가 먼 작물 윤작 → 작물 상호 간의 공통해충이 적어지므로 총해 경감)
- 소규모 유기농에서 많이 활용하는 **8년주기 윤작체계**

● 첫 작기 : 완두

● 두번째 : 양배추류 → 완두를 기주식물로 하는 해충은 양배추에서 생존 불가능

* **8년 주기 윤작체계 이유** : 토양병해충 중에서 균핵병 같은 경우, 기주식물 없이도 수년 동안 토양 속에서 잠복 가능

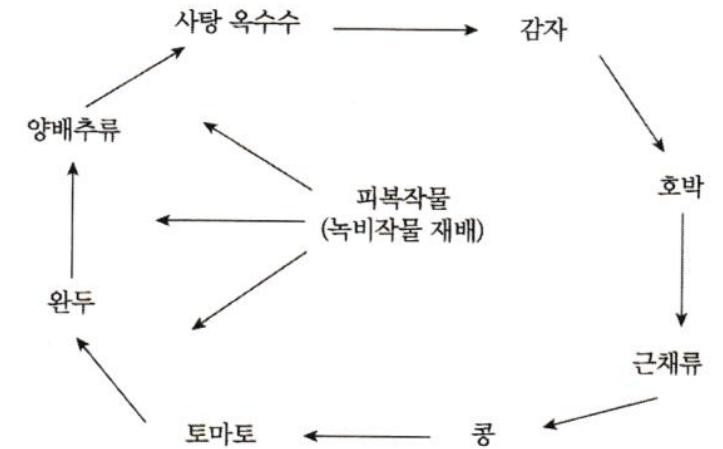


그림 3-5 유기농에서 8년주기 윤작체계 사례

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 재배법 변경

• 혼작 및 간작

- 서로 다른 작물을 적당히 배합하여 충해를 방지하는 방법
- 무 사이에 밭벼(육도) 혼작(무 2이랑 + 밭벼 1이랑 비율) → 배추순나방, 진딧물류 피해 예방
- (간작) 주 작물 사이에 보조작물을 재식하는 방법, (혼작) 두 작물이 동등한 입장에서 재배되는 경우
 - (간작) 과수원에서 나무와 나무 사이에 채소를 재배하는 형태

• 재식밀도 조절

- 밀식할 때보다 소식할 때 해충이 적게 발생
- 배추잎벌(채소 해충): 밀식한 밭에서 많이 발생
- 벼굴파리(묘판시기)와 같은 것은 반대로 박파하였을 때 심하게 발생
- 재식밀도에 의하여 각 포장의 미기상이 달라지기 때문에 발생

• 재배시기 조절

- 변경하더라도 해충이 발생수가 감소하지 않고 피해식물의 내충성이 증대되지는 않지만, 양자의 접촉기회 감소
- 식물 재식시기 조절 → 해충의 발생최성기 회피 가능

〈그림 4-3〉 파종기가 다른 벼에 대한 이화명나방 산란수 (Tsutsui 1950)

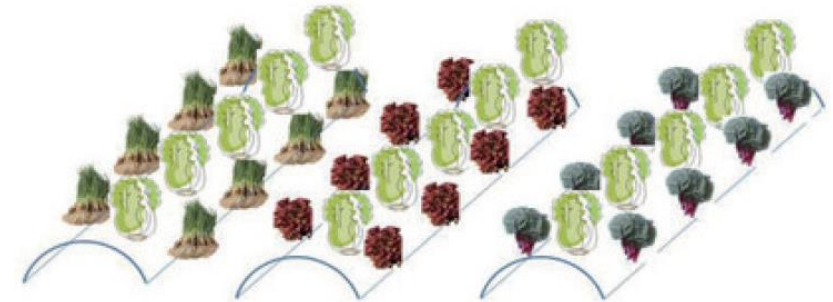
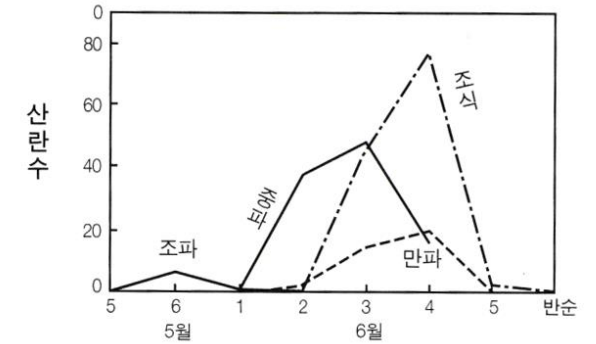


그림 6. 엽채류 작물 간작 배치도

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 유인작물(trap crop)

- 재배작물 둘레/주변에 해충 선호 식물 재식 → 유인 해충 방제
- 유인작물은 시간적, 공간적으로 다양하게 배치될 수 있어서 해충 및 작물 생활사의 특정 시기에 해당 해충 유인 가능
- 해충이 최대로 유인되었을 때 살충제를 살포하거나 유인작물을 수확하여 제거
- 유인작물에 있는 해충이 천적이 먹이원으로 제공되도록 제거하지 않고 계속 유지시킬 수 있음

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 공영작물(companion plant)

- 목적작물(주 재배작물)과 같이 재배(혼작, 간작 등)하였을 때, 기피작용으로 인하여 주 작물
- 해충 유인 차단, 유용곤충(천적) 유인 → 주 작물에 발생하는 해충에 대한 공격 유도
- 해충 혼란 물질 분비 → 주 작물에의 정착 방해, 천적 먹이제공(화밀) 등의 역할을 하는 식물
- '병해충 밀도 감소, 기타 수량 및 품질을 높여주는 식물' 의미

✓ 길항식물

- 수량을 감소시키거나 병해충 발생을 증가시키는 요인으로 작용

[표 3-7] 몇 가지 작물의 공영작물과 길항식물

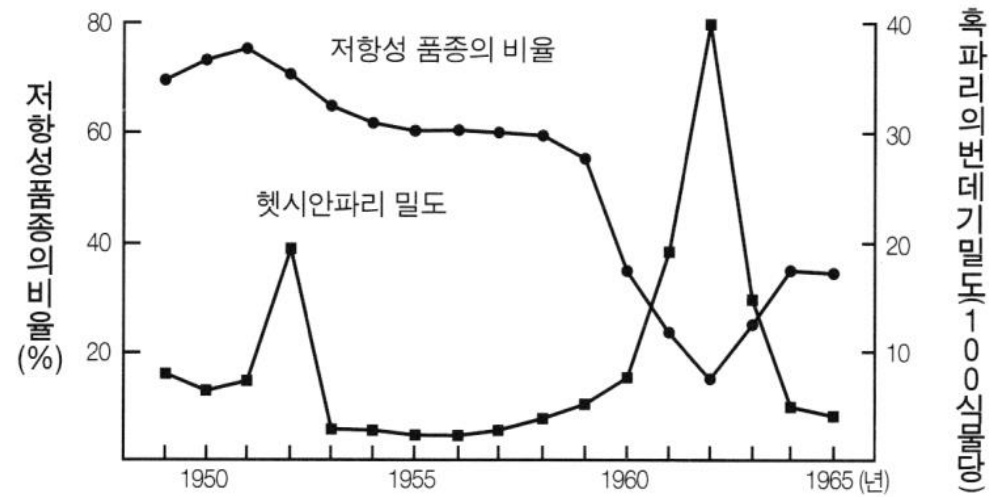
재배작물(목적작물)	공영작물	길항식물
아스파라거스	파슬리, 토마토, basil	양파류
콩	당근, 감자, 꽃양배추, savory	
덩굴제비콩(pole bean)	옥수수, 무	해바라기, 구경양배추
비트	겨자, 양파, 제비콩, 구경양배추, 강낭콩류	
브로콜리	허브식물류, 비트, 양파, 감자, 꽃박하	
양배추	강낭콩류, 셀러리, 비트, 양파, 감자, 시라, 히 습(우슬초), 타임(thyme), 쓴쭉(wormwood)	딸기, 토마토, 덩굴제비콩
캐러웨이(caraway)	완두(pea)	회향꽃
당근	잎상추, 로즈마리, 양파, 세이지, 토마토, 서양 부추파(leek), 골파(chive)	시라
꽃양배추(cauliflower)	양배추와 동일	
셀러리	강낭콩류(bush bean), 양배추, 서양부추파, 상 추, 토마토	
옥수수	콩, 오이, 완두, 호박, 해바라기	토마토
오이	콩, 완두, 무, 해바라기	허브식물, 감자
시라(dill)	양배추	당근
가지	까치콩(green bean)	
회향꽃(fennel)		쓴쭉
구경양배추(kohlrabi)	비트, 오이, 양파	딸기, 토마토, 덩굴제비콩
서양부추파	당근, 셀러리, 양파	
상추	당근, 셀러리, 오이, 양파, 무, 딸기	
양파	비트, 양배추, 상추, 딸기, 토마토	콩, 완두
파슬리	아스파라거스, 토마토	
완두	콩, 당근, 옥수수, 오이, 감자, 무, 순무(turnip)	마늘, 양파, 골파류(shallot)
감자	콩, 양배추, 옥수수, 양고추냉이(horseradish), 완두	오이, 호박, 복분자, 토마 토, squash
호박	옥수수	감자
무	강낭콩류, 구경양배추, 덩굴제비콩	히습
토마토	당근, 양파, 파슬리, 골파, basil	옥수수, 감자

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 내충성 품종

- 식물의 진화과정을 통해 초식곤충에 대한 방어능력 획득 = '식물의 해충저항성' = 식물이 지니는 유전적 특성
 - '해충에 저항성을 획득한 작물' = '내충성 품종'
- (미국, 1785) 밀 가해 흑파리과(*Mayetiola destructor*) 저항성을 갖는 'Under hill'이라는 품종 첫 시작
- (영국, 1831) 사과에 피해가 심한 사과면충의 저항성 품종 'Winter Majestin' 보고
- (프랑스, 1860년대) 포도산업.
 - 포도밭에 발생한 포도뿌리혹벌레는 1880년경 되어서 프랑스 포도산업을 거의 폐망에 이르게까지 하는 단계까지 심한 피해 야기
 - 포도뿌리혹벌레 저항성을 지니고 있는 미국산 포도 묘를 도입하여 해결



〈그림 4-4〉 미국 캔자스주에서 헷시안혹파리에 대한 저항성 밀 품종의 재배면적 비율과 그의 발생량과의 관계 (Horn 1976).

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 내충성 품종

• 내충성의 범주

- 항객성(antixenosis)

- 항객성 : 식물이 곤충의 행동에 영향을 미치는 성질
- (식물의 형태적 특징) 센털, 털, 침상체, 경피조직 등
→ (콩나방) 털이 적은 품종에서 산란수 감소
- (식물의 화학적 특성) 후각적 기피물질, 섭식방해 또는 저해물질 등
→ (담배나방) 테르펜(terpene) 화합물 함량이 적은 품종에서 적게 발생

- 항생성(antibiosis)

- 식물이 곤충의 생리에 영향을 미치는 것
- 곤충 생존, 생식, 발육을 저해하는

화학적(독소/2차 대사산물, 생장저해물질, 영양물질 부족 등)/형태적 특성(식물체의 과민생장, 털, 센털 등)을 지닌 경우 나타남

→ 토마토/감자 저항성 품종은 왕담배나방에 독작용을 일으켜 토마틴(tomatine) 성분의 함량이 높은 것으로 알려져 있음

→ 가지과(Solanaceae) 식물 : 곤충에 독작용을 일으키는 알칼로이드계 화합물 생산

(*Solanum*속 - 솔라닌(solanine) / 싸리풀 등 *Hyoscyamus*속 - 히오시아민(hyoscyamine) / *Nicotiana* 속 - 니코틴(nicotine) 함유)

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 내충성 품종

• 내충성 품종과 생태형

- 저항성 품종을 이용한 해충의 방제는 화학적 방제(살충제 이용)보다 환경피해가 없는 우수한 방제법
- 저항성 품종이라도 해충 저항성을 유지 못하는 경우가 많음.
- 장기간 연속 재배하게 되면 해충이 식물의 저항성을 극복하여 적응하는 생태형(biotype) 출현

* 생태형 : 동일 종이 서로 다른 환경조건에 적응하여 분화한 형질이 유전적으로 고정되어 생긴 현상

- 담배가루이 : 1998년 시설 장미에서 처음 B계통 생태형으로 카바마이트계/유기인계 저항성

→ (2005) Q계통 기존 약제 및 네오니코티노이드계 농약에도 높은 저항성 보임

- 유사하게 내충성 품종에 대하여 생태형이 출현하면 기존 품종은 무용지물, 새로운 저항성 품종으로 바꾸어야 함

생태적 방제(ecological control)

〈표 4-6〉 해충의 생태형 (van Emden 1987)

해충명	작물	생태종 수	연구자				
<i>Acyrtosiphon pisum</i>	알파알파	2	Catier 등 1965	<i>Mayetiola destructor</i>	밀	9	Everson & Gallun 1980
완두수염진딧물	완두콩	5	Frazer 1972	헛시아혹파리			
	완두콩	3	Markkula & Roukka 1971	<i>Nephotettix</i> sp.	벼	2 ?	Pathak & Saxena 1980
<i>Amphorophora rubi</i>	나무딸기	4	Keep, Knight 1967	끝동매미충류			
반디나물진딧물류				<i>Nilaparvata lugens</i>	벼	4	Pathak & Saxena 198
<i>Aphis craccivora</i>	강남채두	2	Ansari 1984	벼멸구			
아카시아진딧물				<i>Pachidiplosis oryzae</i>	벼	4 ?	Pathak & Saxena 198
<i>Brevicoryne brassicae</i>	방울다닥이	2	Lammerink 1968	혹파리류			
양배추가루진딧물				<i>Rhopalosiphum maidis</i>	기장, 옥수수	5	Painter & Pathak 1973
	양배추			옥수수테두리진딧물			
	방울다닥이	7	Dunn, Kempton 1972	<i>Schizaphis graminum</i>	밀	3	Wood 등 1969
	양배추			보리두갈래진딧물			
<i>Dysaphis devector</i>	사과나무	3	Briggs & Alston 1969	<i>Therioaphis trifolii</i>	알파알파	9	Nielson & Don 1974
둥글밀진딧물류				진딧물류			Manglitz 등 1966
	사과나무	3	Sen Gupta 1969	<i>Viteus vitifolii</i>	포도	2	Stevenson 1970
	사과나무	?	Knight 등 1962	포도뿌리혹진딧물			

생태적 방제(ecological control)

➤ 생태적 방제의 종류

✓ 내충성 품종

• 내충성 품종의 장/단점

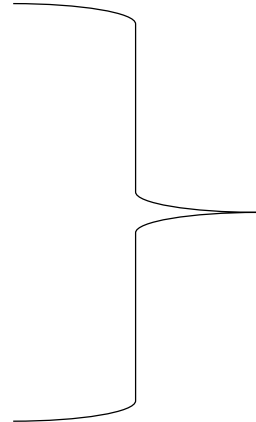
장점	단점
1) 해충별로 뚜렷한 차이(A종 저항성, 그 밖에 다른 해충 종에게는 효과가 없음) 2) 누적적인 효과(해충이 한번에 없어지는 것이 아니라, 차츰 그 밀도가 낮아지며 작물의 생산력을 높게 유지) 3) 효과가 오래 지속적(생태형이 발생하지 않는 한 지속) 4) 환경에 미치는 일체의 부작용이 없음. 5) 이용하는데 아무런 어려움 없음 6) 다른 방제방법들과 함께 이용 가능(다른 방제법에 영향 미비) 7) 해충이 거의 작물의 생육기간 전반에 걸쳐서 계속 발생하여 실제로 다른 방제방법을 효과적으로 사용하기 어려울 때 효과적 8) 작물 경제적 가치가 낮아서 실제로 다른 방법을 사용하기 어려울때에도 효과적	• 새로운 저항성 품종을 육성하는데 오랜 기간 필요 • 유전자원의 제한 • 저항성 형질을 다른 우량형질들과 한 품종 안에 공존시키기 어려움. • 생태형 출현할 가능성이 있음 • 저항성 특성이 상반된 반응 초래 가능(콩 잎에 있는 털이 매미충 등 흡즙곤충에게는 저항성 유발 / 콩나방 같이 털 끝에 알을 1개씩 낳는 나비목 해충에게는 오히려 감수성) • 하나의 작물 품종이 모든 해충에 대해 저항성을 다 지니고 있을 수 없음 • 식물 생육시기 및 재배환경에 따라 저항성 정도가 변동 가능 • 식물 생육 나뭇 때(일조시수 부족, 영양 불균형 등) 저항성 정도가 낮아질 수 있음 • 내충성 품종에게서는 진딧물 구침 꽃는 횃수가 증가하게 하므로 오히려 바이러스의 감염률 증가 가능

화학적 방제(chemical control)

➤ 화학적 방제 : 화학물질을 사용하여 해충을 방제하는 것 (= 약제방제)

➤ 방제 대상에 따른 종류

- ✓ 살충제(insecticide) : 해충 방제 약제
- ✓ 살비제(acaricide, miticide) : 응애
- ✓ 살선충제(nematocide) : 선충
- ✓ 살균제(fungicide) : 곰팡이
- ✓ 살세균제(bactericide) : 세균
- ✓ 제초제(herbicide) : 잡초
- ✓ 식물생장조절제(plant growth regulator, PGR)

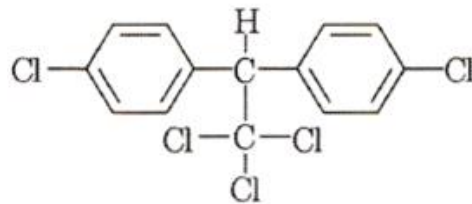


농약(agricultural chemicals)

화학적 방제(chemical control)

➤ 살충제 개발의 역사

- ✓ 1940년대 이후 : 인류가 해충 방제 약제 합성, 본격적 실용화
- ✓ Paul Muler (1938)
 - 여러 가지 종류의 합성화합물 살충력 조사
 - 독일 Zeidler (1874)에 의해 합성된 DDT가 탁월한 살충력이 있음을 발견 → 유기합성살충제 개발에 중요한 전기 마련
- ✓ 1940년대 이전 : 농약은 무기화합물과 천연유기화합물로 한정 (가격이 비싸서 사용 한정)
- ✓ 유기합성살충제 : 화학공장에서 대량생산하여 가격이 싸고, 위생해충 뿐만 아니라, 농업해충의 방제에도 광범위하게 사용
- ✓ DDT 이후, 유기염소계, 유기인계, 카바메이트계, 합성피레스로이드계, 곤충성장조절제 등 개발, 이용



〈DDT〉

[표 3-9]

살충제 개발의 역사

시 대	주요 약제그룹	대표적 약제	특 징
1940년 이전	무기화합물 천연유기화합물	석회유황합제 제충국, 황산니코틴, 로테논(데리스)	
1940~1950년대	유기염소계 비선택성 유기인계	DDT, BHC parathion, schradan	잔효(류)성이 길며, 난분해성, 생물농축 독성이 높음
1960년대	선택성 유기인계	malathion, sumithion	저독성, 분해 용이
1970년대	카바메이트계 nereistoxin계	carbaryl cartap	저독성, 분해가 빠름 나비목 유충에 효과가 탁월함
1980년대	피레스로이드계 미생물살충제 곤충성장조절제 ¹⁾ 성페로몬	fenvalerate, permethrin Bt제 diflubenzuron, buprofezin 배추좀나방 유인제	속효성, 저독성이며, 분해가 빠름 나비목 해충에 효과가 탁월함 지효성, 저독성이며, 잔효성이 깊 나비목 성충에 교미저해효과
1990년대~	곤충성장조절제 ¹⁾ 곤충성장조절제 ²⁾ 생물적 방제재료 미생물 살충제	chlorfluazuron tebufenozide 천적 바이러스, 세균, 곰팡이	저독성 저독성 약제에 약하고, 약제와 병용이 어려움

☞ 1) 키틴생합성저해제, 2) 탈피저해제

화학적 방제(chemical control)

➤ 체내 침입경로에 따른 분류(7가지)

구분	설명
1. 소화중독제 (stomach poison)	• 약제가 해충 구기를 통해 소화관 내에 들어가 중독작용 • 씹는 저작형이나 활아먹는 입을 가진 해충(나비목, 딱정벌레목, 메뚜기목 유충이나 성충) 적용 • 유기인계 / Bt (<i>Bacillus thuringiensis</i>: 단백질성 내독성 생산 → 나비목 유충 사멸 • 사용방법 : 해충이 부착된 식물 줄기, 잎 등의 앞/뒷면에 살포. 줄기/잎을 섭식시키는 방법과 먹이에 섞어서 독먹이를 제조해 먹이는 방법 등
2. 접촉제 (contact insecticide)	• 해충의 체표면에 직접 또는 간접으로 약제를 접촉시켜 기공이나 체표를 통하여 충체 내로 침입시키거나 기문이나 기관을 막히도록 하여 사멸 • 종류와 수는 매우 많음 • 유기염소계(제충국제, 니코틴제, 알칼리제, 기계유제, DDT), 유기인계(fenitrothion, fenthion 등), 카바메이트계(carbaryl, fenobucarb 등), 합성피레스토리드계(deltamethrin, permethrin 등) • 속효성(약효가 빨리 나타나는 제충국제, 니코틴제) + 지효성(약효가 비교적 늦게 나타나는 fenthion) • 직접접촉제(광선이나 열 등에 불안정하여 해충의 몸에 직접 닿았을 때에만 효과를 나타내는 제충국제, 니코틴제) • 간접접촉제(약제가 직접 충체 내에 부착되지 않아도 식물체 상에 남아 있다가 접촉하여 체표를 통하여 침투한 후 치사효과를 나타내는 유기염소계)
3. 훈증제 (fumigant)	• 약제의 분자량이 작아 기화시킨 약제를 해충의 기문을 통하여 호흡기로 빠르게 해충 사멸 • 사용 시, 밀폐된 용기, 실내, 창고, 텐트 등의 제한공간을 만들어 훈증 처리 • 토양훈증 시, 땅에 구멍을 뚫고 약제를 주입 후, 비닐로 피복 • 종류 : 클로로피크린, 메틸브로마이드(methyl bromide, MB), 이황화탄소(ethyl formate, phosphine (PH3), CO2, sulfuryl fluoride (SF), EDN, methyl iodide (MI), methyl isothiocyanate (MITC)
4. 침투성 살충제 (systemic insecticide)	• 작물 뿌리, 경엽, 나무의 수간 등 특정 부분에 약제를 스며들게 하여 작물체 전체로 이동시킴으로써 약제를 처리하지 않은 부분에서도 작물을 가해하는 해충이 섭식하여 사멸 • 살충작용 : 소화중독 • 장점 : 작물 체내에 약제가 흡수되어 천적에 직접적 영향이 거의 없고, 천적을 보호할 수 있음. • 작물의 줄기/잎 내무 기생하는 해충(굴파리, 흑파리류, 선충류 등)에 유효함 • 종류 : 카보푸란(carbofuran), 이미다클로프리드(imidacloprid) 등

화학적 방제(chemical control)

➤ 체내 침입경로에 따른 분류(7가지)

구분	설명	
5. 보조제 (auxillary substance) - 충분한 살충제 효력 발휘를 위해 첨가하는 보조물질	5.1 용제(solvent)	• 약제 용해에 쓰이는 것 • 벤젠(benzene), 자일렌(xylene), 디메틸프탈레인(dimethyl phthalate), 나프사 등
	5.2. 유화제(emulsifier)	• 약제를 물에 혼합하였을 때, 기름입자가 균일하게 수중에 분산되어 큰 입자로 모이거나 층을 만드는 것을 방지하기 위한 것 • 비누, 황산화유, 비이온성 계면활성제 등
	5.3. 희석제(diluents) 또는 증량제(carrier)	• 약제의 주성분의 농도를 낮게 하기 위하여 쓰이는 것 • 탈크(talc), 벤토나이트(bentonite), 규조토, 카올린(kaolin) 등
	5.4. 전착제(spreader)	• 약제에 현수성(고체상의 미세입자가 용액 중에 균일하게 분산되게 하는 것), 확산성(살포면을 습하게 하고 퍼지는 것), 고착성(작물체에 약제가 오래 붙어 있게 하는 것) 등을 높이기 위하여 쓰이는 것 • 농약용 비누, 비이온성 계면활성제 등
	5.5. 협력제(synergist)	• 그 자체만으로는 살충력이 없거나 혼용되는 살충제의 살충효과를 증진시켜 주는 작용을 하는 것 • piperonyl butoxide, sulfoxide, sesamin, sesamol 등
6. 유인제 및 기피제 (attractant, repellent)	• 유인제 : 해충을 독먹이나 포충기 쪽으로 유인하는 약제 - 휘발성 물질이나 성유인제를 사용하여 방제에 이용 - (예) methyl eugenol : 광대파리류의 수컷 유인 → 살충제와 혼합하여 방제 - (예) 복숭아명나방 : 성페로몬 성분인 (E)-10-hexadecenal + (Z)-10-hexadecenal은 90:10 조성비로 수컷 유인 효과 → 발생예찰 및 방제 작용 • 기피제 : 농작물이나 인축에 접근하지 못하게 하는 약제 - (예) 의류해충 : 나프탈렌(naphthalene) - (예) diethyltoluamide (DEET) : 모기 기피제	
7. 화학불임제 (chemosterilant)	• 곤충 생식기관의 발육 저해하거나, 생식세포 발육/생리에 저해를 일으켜 생식능력을 잃게 하는 약제 • 불임제 : 수컷성 불임제, 암컷성 불임제, 양성 불임제 구분	

화학적 방제(chemical control)

➤ 살충제 제형

- ✓ 살충제의 유효성분량은 처리면적에 비하여 아주 소량 → 유효성분 자체를 균일하게 처리하여 방제효과를 높이기 어려움
- ✓ 따라서, 보조제를 첨가하여 처리를 쉽게 할 뿐만 아니라, 방제효과를 높이고 약제 감소시켜, 사용자에게 대한 안정성 높이는 것이 목적
- ✓ 살충제 제형 : 직접살포제(고형시용제) + 희석살포제(액체시용제)

[표 3-10]

살충제의 제형

처리방법	제형의 종류
직접살포	분제(dust, dispersible powder, DP), 입제(granule, GR), 미립제(micro-granule, MG), 세립제(fine granule, FG), 미분제(flow dust, FD), 캡슐제(encapsulated granule, CG), 저비산분제(driftless dust, DL), 수면부산성 입제(up granule, water floating granule, UG)
희석살포	액제(liquid, soluble concentrated, SL), 분산성 액제(dispersible concentrated, DC), 유제(emulsifiable concentrated, EC), 수화제(wettable powder, WP), 액상수화제(suspension concentrated, SC), 수용제(water soluble powder, SP), 유탁제(emulsion in water, EW), 미탁제(microemulsion, ME), 캡슐현탁제(capsule suspension, CS), 과립수화제(water dispersible granule, WG)
기타	훈증제(gas, GA), 훈연제(smoking generator, SG), 도포제(paste, PA), 판상줄제(sheet formulation, SF), 연무제(aerosol, AE)

화학적 방제(chemical control)

➤ 살충제 살포 방법(11가지)

구분	설명
1. 분무법	- 유제, 수화제, 수용제 등의 약제를 물에 희석하여 분무기로 약액을 뿜어내어 살포하는 방법 - 입자의 크기를 작게 하기 위해서 분무기의 압력을 높이고 분출구를 작게 해야 함
2. 분제살포법	- 약제살포와 같이 약제를 물에 타는 일이 없어 물이 부족한 산지나 과수원에서 이용 - 운반등이 편하고 물에 타는 시간 절약 - 분제는 액제에 비해 고착성이 떨어지고 약값이 비싸며, 농도가 높아 투하되는 약량이 많아짐
3. 입제살포법	- 입제는 분제의 일종 - 분제의 단점(비산성)을 줄이고 특별한 살포기 없이 맨손으로도 살포 가능
4. 미스트법	- 분무법은 많은 양의 물로 살포액을 조제하여 단위면적당 살포액이 많아지나, 미스트법은 희석배수를 적게 하여 진한 살포액을 미스트기로 살포하면 30~60um 미립자로 살포 - 분무법에 비하여 살포량은 1/5~1/3으로 줄임, 부착물에 골고루 부착시킬 수 있음.
5. 연무법	- 살포액 입자를 연무질(지름 2~20um 이하)로 하여 살포하는 것 - 미립자가 오랫동안 공중에 머물게 함 → 과수원, 산림, 온실, 창고, 가옥 등에 이용



분무법



분제살포법



입제살포법



연무법

화학적 방제(chemical control)

➤ 살충제 살포 방법(11가지)

구분	설명
6. 훈증법	• 휘발하기 쉬운 물질을 밀폐된 공간, 토양 속에 넣어 기체를 발생시켜 해충을 사멸 • 창고, 선박, 트럭, 화물열차, 밀폐 가능한 텐트, 밀폐된 가옥 내부 등
7. 주입법	• 나무줄기에 구멍을 뚫고 침투성 살충제 주입하는 방법 • 천적에 대한영향이 적고, 환경오염을 유발하지 않는 처리법 → 산림해충 방제 이용
8. 도포법	• 점착제나 페이스트제에 약제를 혼합하여 나무줄기(수간)에 바르는 방법 • 나무줄기에 약액을 처리하여 이동하는 해충 영향
9. 분의법	• 종자를 소독하기 위하여 미리 물에 담가 적신 다음 약제를 묻혀서 뿌리는 방법
10. 침지법	• 묘목이나 종자를 소독하기 위하여 사용하는 방법 • 약액에 담가 표면이나 내부에 있는 해충을 사멸
11. 항공살포법	• 액상의 살충제를 원액과 같은 농도로 하여 소량 살포하는 방법



훈증법



주입법



침지법



항공살포법

화학적 방제(chemical control)

➤ 화학적 방제의 장점 및 단점

[표 3-11]

화학적 방제의 장점과 단점

장 점	단 점
해충에 대한 적용범위가 넓음 효과가 빠름 단독 또는 합제로 수종 해충의 동시 방제가 가능함 소유지 방제가 가능함 사용이 간편함 새로운 해충이 출현해도 기존 살충제로 방제가 가능함 가격이 저렴함	유용천적 등 비표적생물에 유해함 잠재해충의 해충화 약제처리 시에만 방제가 가능함 수시적 방제로 매회 비용이 필요함 저항성 해충의 출현 가능성이 높음 해충의 밀도 회복속도가 빠르게 나타날 수 있음 과용과 오용으로 인축 및 환경에 잔류독성을 일으킬 가능성이 높음