

2026년 잡초방제학 농산업실무체험

일시	강의주제	강의내용	비고
8/31 (09:00~17:00)	잡초의 분류·동정 (09:00~12:00)	1. 잡초방제학 소개 2. 잡초의 정의, 분류 및 동정	이론
	잡초 동정 (13:00~14:30)	1. 주변의 다양한 잡초 동정 2. 다양한 잡초 종자	실습
	잡초 표본 제작 준비 (13:00~17:00)	1. 동정한 잡초 중 표본용 식물 채집 2. 채집한 식물 표본 제작 준비 3. 틀 고정 및 건조	실습
9/1 (09:00~17:00)	잡초의 표본 제작 (09:00~12:00)	1. 잡초 표본 제작 2. 표본 준비	이론/실습
	표본 준비 작업 (13:00~14:30)	1. 준비한 표본 준비 및 정리	실습
	잡초 표본 제작 (14:30~17:00)	1. 잡초 표본 제작	실습
9/2 (09:00~17:00)	잡초 식생/작물과의 경합 평가 (09:00~12:00)	1. 잡초에 의한 식생 영향 평가 2. 작물-잡초간 경합	이론
	작물-잡초 경합평가 (13:00~14:30)	1. 작물-잡초 경합 실험 포장 방문 2. 경합실험 포장 생육평가	실습
	잡초 식생영향 평가 (14:30~17:00)	1. 잡초 군락 내 식생 조사 2. 조사한 식생 조사 분석	실습
9/3 (09:00~17:00)	제초제 사용/작용기작 별 생리 (09:00~12:00)	1. 제초제의 사용 및 기본 2. 제초제 작용기작 별 특성 3. 제초제 저항성	이론
	제초제 작용기작 별 특성 및 제초제 저항성 (13:00~14:30)	1. 제초제 작용기작별 특성 관찰 2. 제초제 저항성 잡초 관찰	실습
	제초제 처리 실습 (14:30~17:00)	1. 제초제 처리 실습(대형, 소형 처리)	실습
9/4 (09:00~17:00)	잡초방제학 최신기술/잡초의 이용 (09:00~12:00)	1. 잡초방제학 분야 최신기술(영상식물학) 2. 잡초의 이용	이론
	잡초방제학 분야 최신기술 연구실 (13:00~14:30)	1. 영상식물학 연구실 견학	실습
	잡초방제학 분야 연구실 및 포장방문 (14:30~17:00)	1. 영상식물학 연구실 및 포장 견학	실습

작물-잡초 상호작용(Crop-Weed Interaction)

- 잡초에 의한 식생 영향
- 작물-잡초 간 상호작용(경합)에 의한 영향 이해

농학과 임수현 교수

한국방송통신대학교

목차

- 1. 잡초의 번식 및 종자은행**
- 2. 잡초 개체군**
- 3. 잡초의 식생 및 분석법**
- 4. 작물-잡초 상호작용의 유형**
- 5. 작물-잡초 간 경합**
- 6. 작물-잡초 경합에 영향을 미치는 요인**
- 7. 작물-잡초 경합 기간**
- 8. 작물-잡초 경합 예측**
- 9. 경제한계밀도**
- 10. 잡초방제를 위한 의사결정**

1. 잡초의 번식 및 종자은행(Propagation & Seed bank)

(1) 종자의 번식 및 확산(Propagation & dispersal)

종자의 번식(Propagation)

종자: 유성생식, 일년생 & 월년생 잡초

영양생식: 다년생 잡초

- ✓ 근경(Rhizome): 억새(*Miscanthus* spp.), 참방동사니(*Cyperus serotinus*), 락(*Imperata cylindrica*)
- ✓ 구근(Bulb): 달래(*Allium monanthum*)
- ✓ 포복경(Stolon): 선피막이(*Hydrocotyle maritima*), 미나리(*Oenanthe japonica*)
- ✓ 괴경(Tuber): 새섬매자기(*Scirpus planiculmis*), 향부자(*Cyperus rotundus*), 올방개(*Eleocharis kuroguwai*), 벼풀(*Sagittaria trifolia*)

종자의 확산(Dispersal)

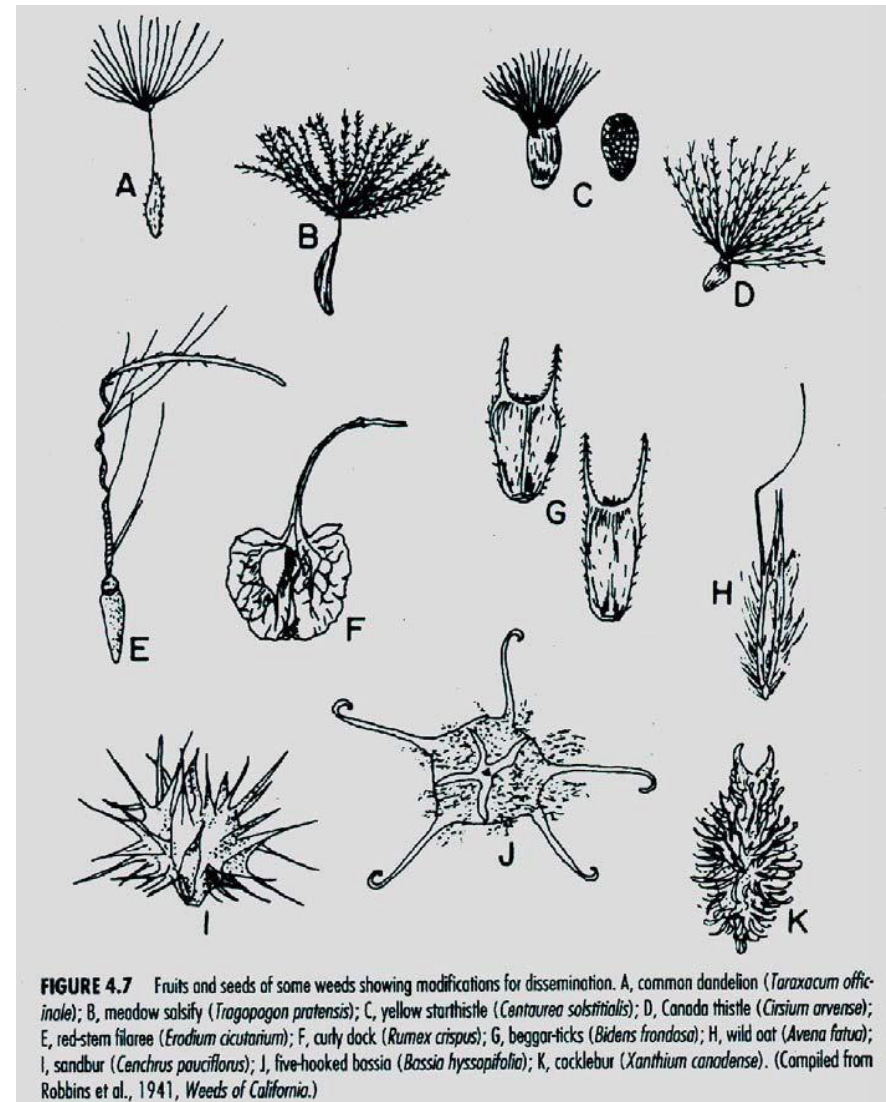
종자: 바람, 물, 작물, 인간, 동물, 트랙터 등

영양생식: 트랙터(재배), 물



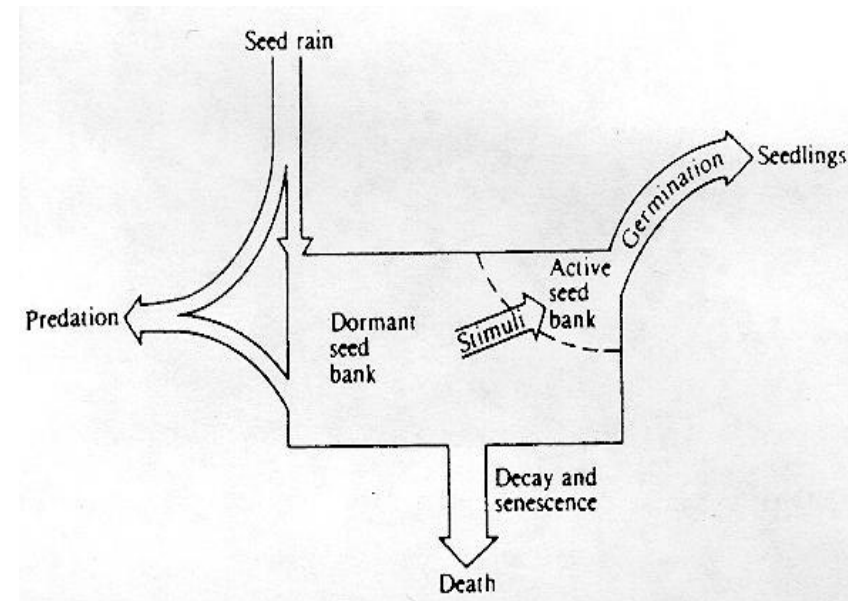
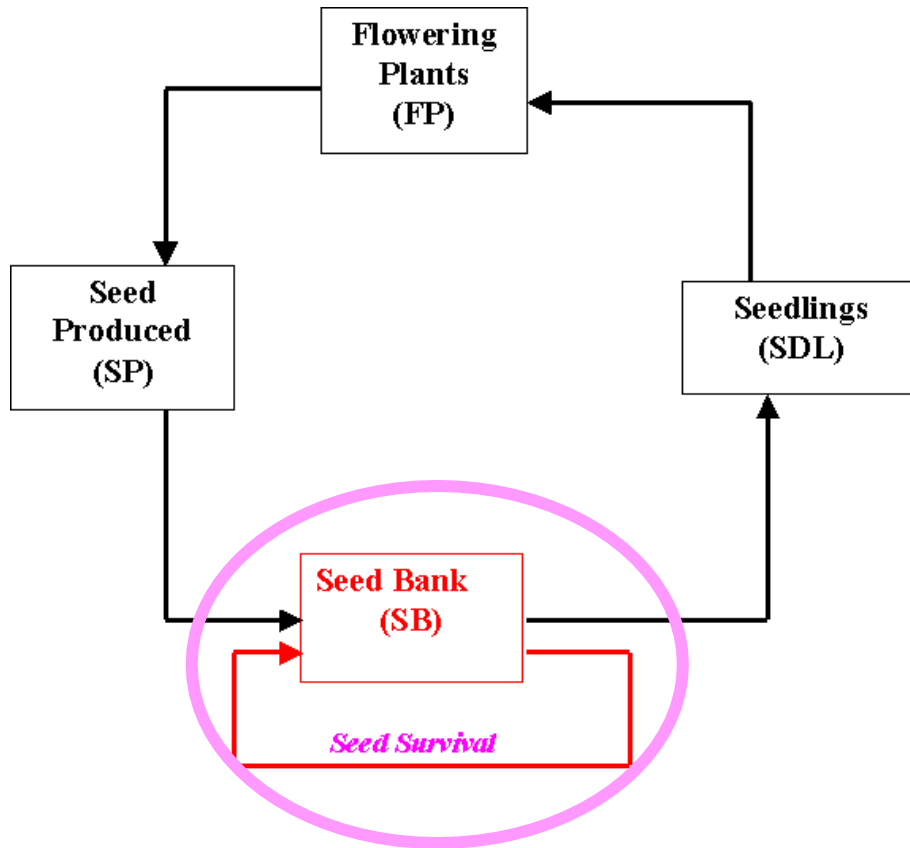
종자의 구조 및 특성

1. 크기(Dust seeds;(tiny seeds))
2. 날개(Winged seeds;(maple))
3. 갯털(Pappus;(dandelion))
4. 기포/수포(Bladder;(trapped air for floating in water))
5. 영양 및 색(Fruit nutritional value or color to attract animals)
6. 털/가시(Hairs or barbs hooked on animal hair and socks)



(2) 잡초의 종자은행(Weed Seed Bank)

토양 종자은행 - 토양에 저장된 종자를 지칭. 때때로 표면 종자은행과 매장 종자은행 또는 활성 종자은행과 휴면 종자은행으로 구분 짓는다.



종자은행의 도식 모델(Harper, 1977)

1. 토양 종자은행으로의 종자의 유입

잡초는 수많은 종자를 생산함→수명이 짧을수록 더 많은 종자 생산

2. 종자은행의 밀도 및 구성

a. 토지이용 역사와 밀접한 연결

일반 작물 경작지: 70 ~ 90%의 종자가 일부 식물종에서 옴, 10 ~ 20%의 종자는 빈도가 적은 식물종에서 옴

나머지 % = 과거 생산 식물종에서 유래

재배된 작물에 유사한 잡초종이 많음(예: 단자엽작물 경작지에 단자엽 잡초의 비율이 큼)

b. 천이 초기종(early successional spp.)이 천이 후기종(later successional spp.)보다 종자은행에 더 많이 존재함

c. 천이 초기종이 많으면 교란 빈도(disturbance frequency)가 높아져 종자은행을 천이 초기종에 가깝게 이동시킬 수 있음

종자 은행에서 생존 가능한 종자의 비율은 다음과 같은 이유로 교란 빈도가 감소함에 따라 감소:

동물에 의한 종자 포식의 증가

터주식물이나 천이 초기종의 감소로 인한 종자 유입감소

병원균에 의한 종자 고사율 증가

3. 토양에서 종자의 운명

Seeds that are lost from the seed bank are:

- **eaten by birds, rodents, insects, worms, microbes (predation)**

Seed predation is believed to influence primarily the dynamics of plant populations that are expanding (i.e. weeds and annuals more than perennials).

Ghera et al., observed 99.8% removal of common annual weed seed from soil surface under alfalfa.

- **die from senescence or decay**
- **killed by physical damage from nature or tillage**
- **removed by germination and emergence**

4. 토양에서 종자의 수명

Viable common lamb's-quarters (명아주) found in archeological sites, 1700 years old.

Weed Seed Survival from long-term burial studies:

Beal (started in 1879, 1st published in 1911), Michigan State University

buried seed of 20 common plant species (50 seed each) with sand in 20 glass bottles.
15th bottle was exhumed in 2000 (120 years after burial) and 2 of the species germinated (moth mullein and mallow)

1920, 8 species germinated

1940, 3 species germinated

1980, 2 species germinated

토양에서의 종자의 수명에 관여하는 요인들의 상호작용:

- a. 종자의 본질적 휴면(intrinsic dormancy of seed)
- b. 환경적인 조건(temp., light, water, gas)
- c. 생물학적 활동(bacteria, funji, predators, allelopathy)

종자의 수명에 관여하는 요인들의 강도와 작용방식:

- a. 종자의 상태(maturity, size, maternal tissues, injury)
- b. 종자의 위치(location of seed in soil)

5. 종자은행과 관련된 잡초의 발생

토양 내 종자은행의 동태를 이해하는 것은 잡초에 대한 합리적이고 종합적인 방제법을 확립하는데 중요. 종자를 확산시키는 모식물을 관리하는 것도 잡초의 발생을 줄이는 중요한 역할.

잡초의 효과적인 정착은 번식체의 존재 여부보다 발아 및 식물 생육에 적합한 특정 환경적 특성에 의존하지 않음. 모본이 종자를 생산하는 전체 기간 동안 새로운 군체를 구축하는 데는 성공적인 유식물 하나만 있으면 되기 때문(Harper, 1977; Cavers et al., 1995).

2. 잡초의 개체군(Weed Population)

잡초와 개체군에 영향을 미치는 환경

생물적 + 비생물적 조건 – 잡초의 생육, 발달 및 분포를 결정

비생물적: 기후 요인, 토양요인

생물적: 환경

1. 기후 요인(Climatic factors)

- 빛(광질, 광주기성, 광도), 온도, 강수량, 바람
- 가스(CO_2 , N_2 , O_2 , SO_2 , HF , NO_x , O_3 , etc.)

2. 토양 요인(Edaphic factors)

- 물리적 성분, 유기물질, 토양 반응
- 무기질 요소(영양분과 중금속 등)
- 토양 가스

3. 생물적 요인(Biotic factors)

- 독립영양체(autotrophs) ... 녹색식물체(green plants)

거시환경(Macroenvironment): 광, 물, 바람, 온도

미세환경(Microenvironment): 식물(잡초)가 생육하는 주변 환경 - 유기물, 무기물 영양소 등

대규모 관리 영역으로 의 확산 또는 침투:

관련된 요인:

1. 개체의 크기 또는 밀도와 같은 이점
2. 확산률
3. 소스(원천)으로 부터의 거리
4. 적합한 서식지 (서식지의 양과 분포)

종자 및 영양번식체의 확산

종자의 탈립 및 영양번식체의 확산은 식물 생활주기의 이동 과정

영양번식체 = 영양번식 부분은 모체로부터 분리되어 이동된 후 다시 뿌리를 내리고 생존할 수 있음

확산 = 확산은 식물 개체군 과정으로서, 잡초 이동 및 수단으로서 농업 및 자연 생태계에서 중요한 단계

농작물 종의 확산과 침입종의 많은 비율은 대부분 인간의 의도적인 이동의 결과로 발생

포장 내 확산 방법:

✓ **자연적 확산(Natural dispersal)**

✓ **바람(Wind)**

바람에 의한 확산 요인:

종자 무게, 종자 모양, 종자 구조, 높이, 풍속 및 난기류

✓ **물(Water)**

57개의 서로 다른 종의 수중 부양성을 연구한 결과 2 종을 제외한 모든 종이 물에 뜨는 것을 확인

✓ **폭발적인 열개(터짐; Explosive dehiscence):** ex) 흰대극(Leafy spurge)

✓ **동물(Animals)**

포유류, 조류, 충

✓ **기계에 의한 확산(Machinery)**

경운 기계, 수확 기계

✓ **가축에 의한 확산(Livestock):** 가시(burs)

식물 종의 생존 유지(생존 가능한 개체군 유지)은 종자의 확산 능력 때문. 종자의 확산은 교란 빈도가 높은 환경에서 특히 높은 것을 알 수 있음

종자 탈립 후 종자 이동(2차 확산):

토양 표면을 따라 종자 이동에 영향을 미치는 토양 요인:

1. 토양 표면 미세 지형(토양 입자 등)
2. 토양 수분(균열 및 덩어리)
3. 토양 장애물(작물 부산물, 이랑, 고랑)

표면에서의 이동을 촉진하는 종자 구조 또는 자연적 종자 재식:

1. 갓털모양의 종자: 바람에 의한 종자 이동을 용이하게 하고 종자가 토양 속 균열에 깊숙이 떨어지는 것 방지
2. 까락은 젖으면 뒤틀릴 수 있으며 종자를 토양이나 균열에 박힐 수 있게 함 (e.g. 메귀리(*Avena fatua*))

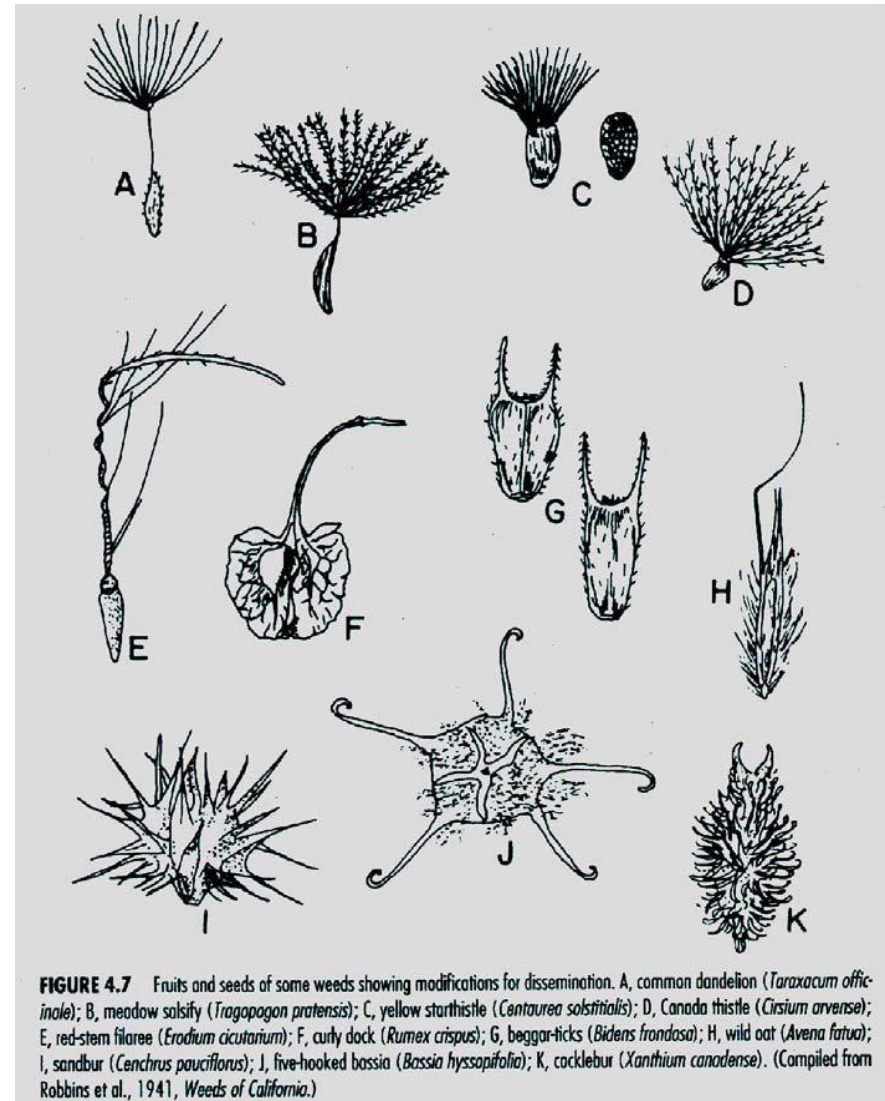
종자 확산의 일반화(Levin and Kerster, 1974; Harper, 1977)

1. 자주 교란되는 서식지에 생존하는 종은 확산성이 더 높음.
2. 국화과 및 Poaceae에서 종의 지속성은 확산 메커니즘 및 식물 생식 구조와 반비례 관계가 있음
3. 초본류의 종자에는 일반적으로 동물을 통한 확산을 용이하게 하는 털이나 가시가 있음
4. 관목에는 종종 작은 동물을 끌어들이는 눈에 띄는 다육질 과일이 있음
5. 나무는 일반적으로 종자를 수집하고 저장하는 동물에 눈에 띄는 큰 종자를 생산

종자의 잠재적 확산을 높이는 종자의 구조 및 특성

1. 크기(Dust seeds;(tiny seeds))
2. 날개(Winged seeds;(maple))
3. 갯털(Pappus;(dandelion))
4. 기포/수포(Bladder;(trapped air for floating in water))
5. 영양 및 색(Fruit nutritional value or color to attract animals)
6. 털/가시(Hairs or barbs hooked on animal hair and socks)

확산 메커니즘(형태학적 특성)과 서식지 내 요구도의 폭의 상호 작용이 대부분의 잡초의 생존 개체 유지 및 그에 따른 식생의 영향을 결정함



3. 잡초의 식생 및 분석법(Vegetation & its analysis)

식생(vegetation):

- ✓ 특정 장소의 지표면을 덮고 있는 식물 또는 식물 군집, 지역의 식물 생활에 대한 일반적인 용어. 식물이 제공하는 지표면을 말하며, 단연코 생물권에서 가장 풍부한 생물적 요소.
- ✓ **식생**이라는 용어는 그 자체로 종의 구성, 생물 형태, 구조, 공간적 범위 또는 기타 특정 식물 또는 지리학적 특성에 관한 어떤 것도 의미하지 않음.
- ✓ 종 구성을 독점적으로 나타내는 식물상보다 더 광범위. 가장 가까운 동의어는 식물 군집(plant community)이지만 **식생**은 더 넓은 범위의 공간 척도를 나타낼 수 있음.

식생의 중요성:

- ✓ 수많은 생지화학적(biogeochemical) 순환의 흐름을 조절하고 식생에서의 에너지 균형은 토양 부피, 화학적 성질 및 구조를 포함한 토양 특성에 영향을 미침
- ✓ 야생 동물 서식지이자 광범위한 동물 종에 대한 에너지원 역할
- ✓ 대기 중 산소의 주요 공급원
- ✓ 인간에게 심리적으로 중요한 역할

특성: (e.g.) 유지계승(succession), 밀도(density), and 피복도(coverage)

영향 받는 요인: 기후, 부모종, 시간, 유기물 및 교란에 의한 침해

잡초 식생 형성(Weed Vegetation Establishment)

가능한 종 풀(Species pool, 번식체 압력;propagule pressure)

- ✓ 새로운 친입종 예측
- ✓ 번식체의 임계값

확산 잠재력(Dispersal potential, 외래종의 특성)

가능한 서식지(Available habitat, 생태계의 특성)

- ✓ 비생물적 결정 요인
- ✓ 생물적 결정 요인
- ✓ 시간에 따른 서식지 변화(양분 주기)

서식지 내 상대적 적합성(Relative fitness within habitat, 외래종 및 자생종의 특성)

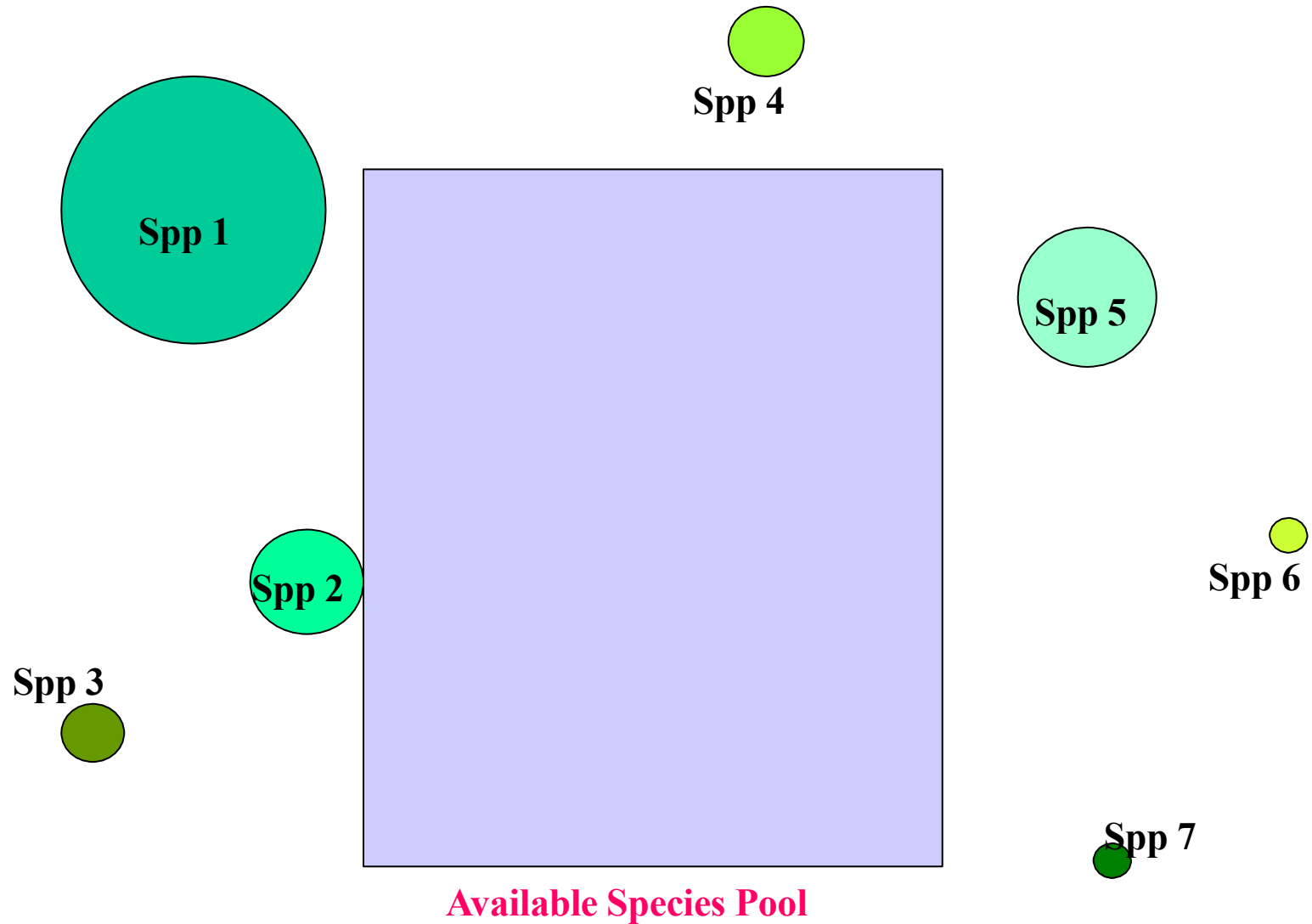
각 종의 적응 잠재력(Adaptive potential of each species, 외래종의 특성)

- ✓ 유전적 다양성 및 표현형적 유연성

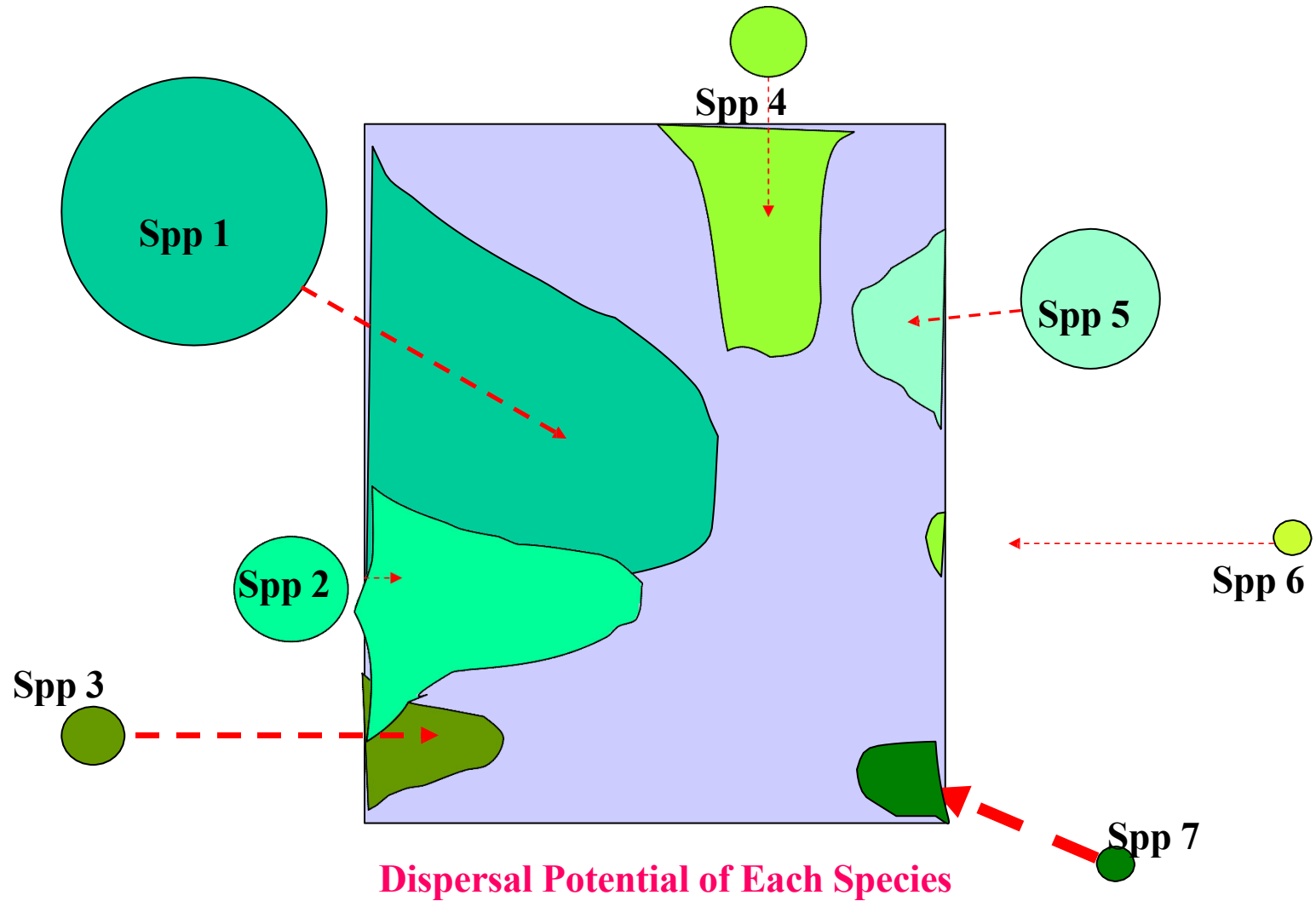
포장 내 초종의 식생 분포 차이



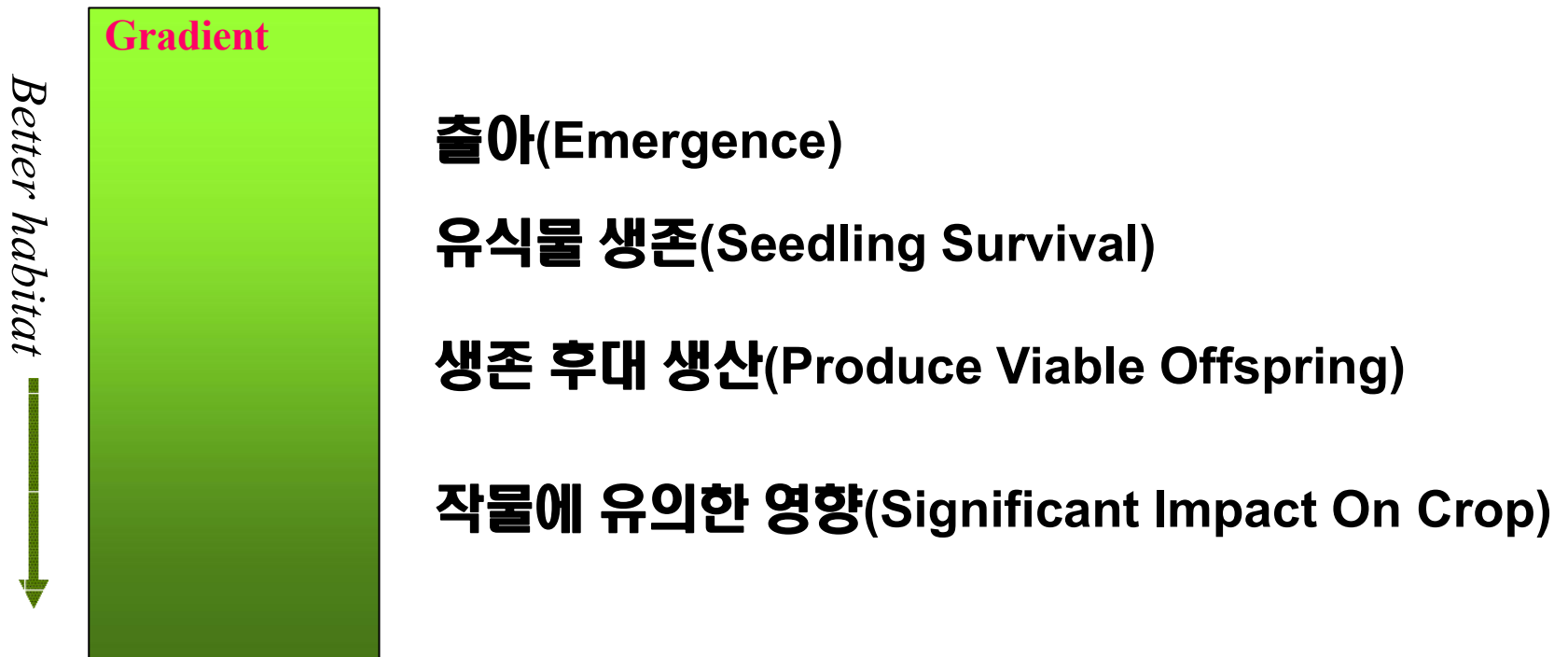
식생의 침투 과정(The Processes of Invasion)



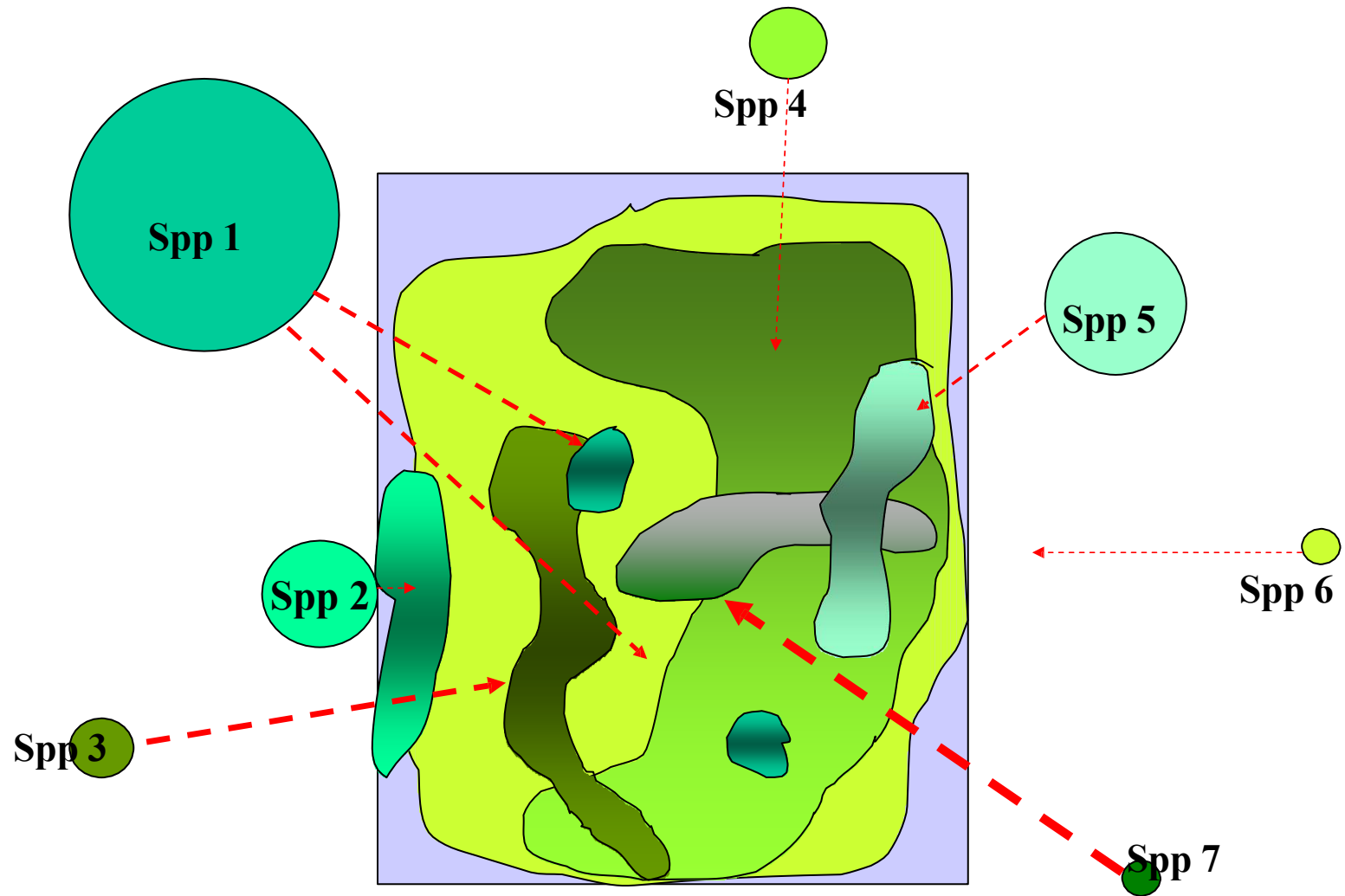
식생의 침투 과정(The Processes of Invasion)



서식지 잠재력(Potential Habitat)

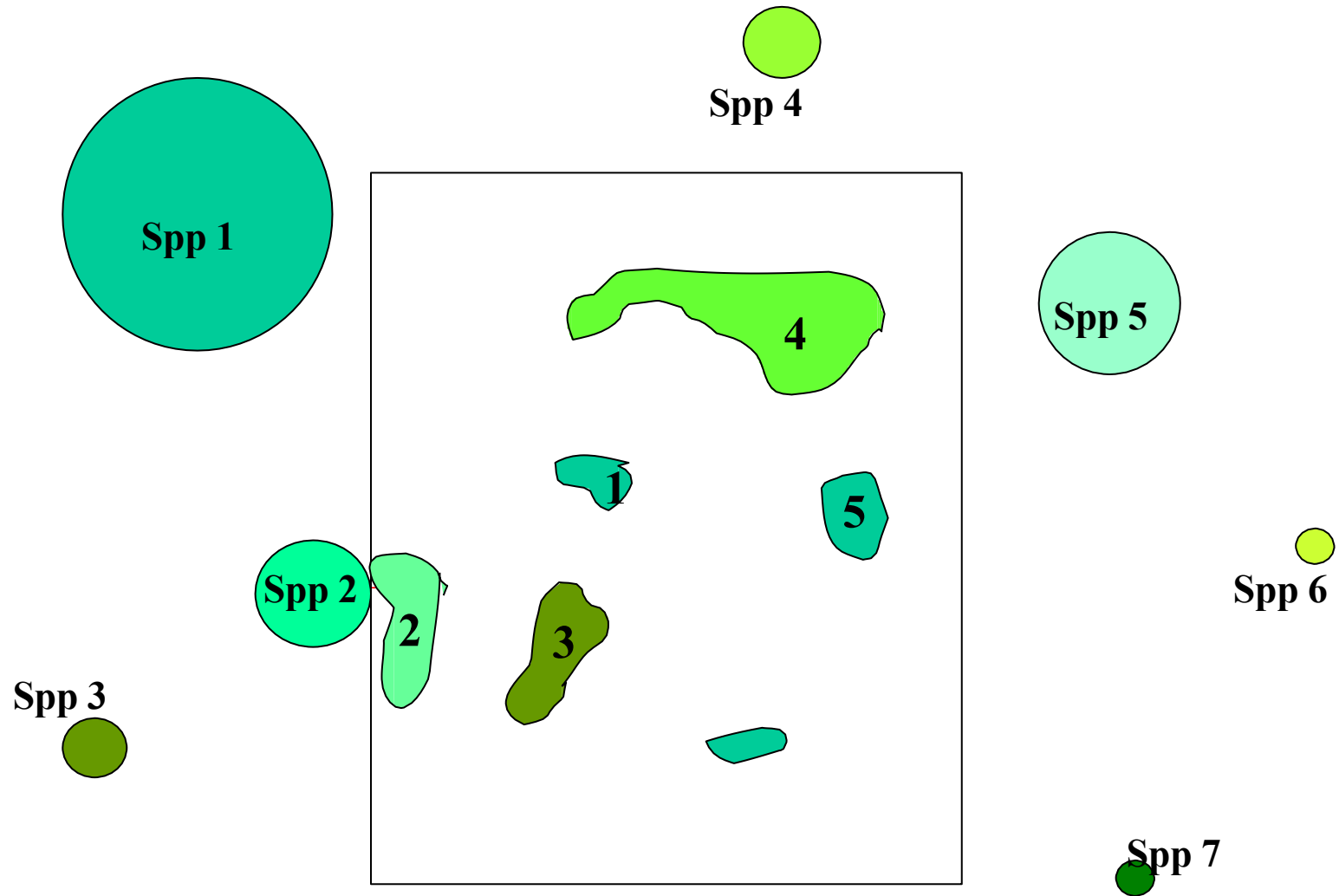


식생의 침투 과정(The Processes of Invasion)



Habitat Available for Each Species

식생의 침투 과정(The Processes of Invasion)

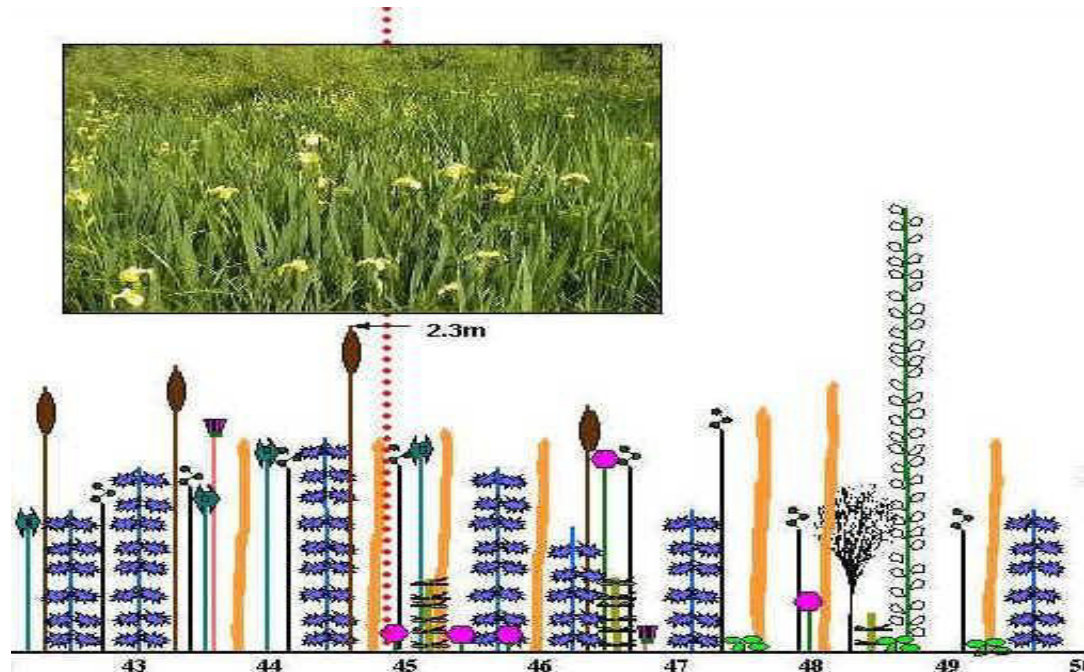


Resultant Patches for Each Species

식생 분석(Vegetation Analysis)

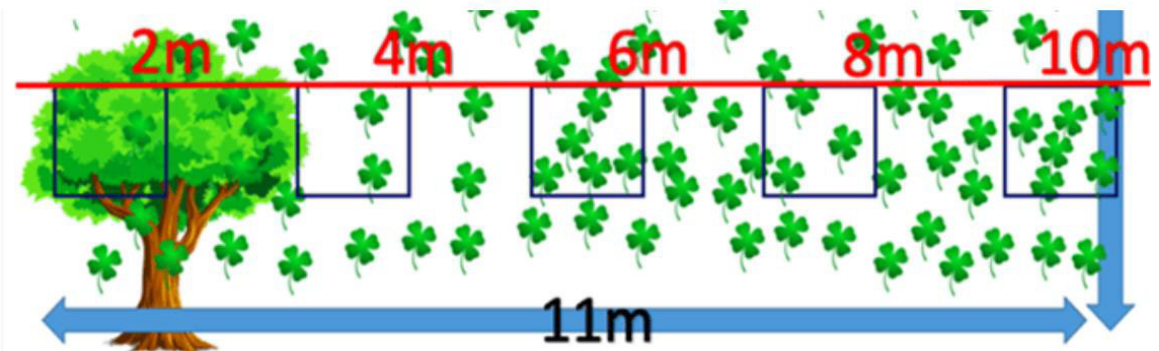
(1) 선상법(Line Transect method)

- ✓ 0.5 또는 1m 간격으로 표시된 로프 사용.
- ✓ 로프는 선택된 식생 군집을 따라 직선으로 배치되며 환경 구배를 따라 식물의 전환을 연구하는 데 자주 사용.
- ✓ 조사 측정 항목: 잡초의 유무, 각 잡초의 높이 및 군락의 너비



(2) 대상법(Belt Transect method)

- ✓ 어떤 군집내 또는 몇 개의 군집을 가로질러서 기준선을 긋고 그 선을 따라 일정한 띠모양의 조사구에 대해 조사하는 방법
- ✓ 선을 따라 형성된 띠에 닿는 식물만 기록하는 대신 특정 거리 내의 모든 식물을 기록(띠의 폭은 대상 군락마다 다르지만 초지: 1~5 m, 산림: 10 m 이상).
- ✓ 환경요인의 가벼운 변화에 대한 개체군이나 군집의 변화에 대한 해석 및 경계결정에 유효한 방법
- ✓ 조사 측정 항목: 피복도, 군락 너비, 가슴 높이에서 줄기의 지름, 개체 수, 초장 등



(3) 방형구법(Quadrat method)

- ✓ 일정 크기의 정사각모양의 프레임을 식생 군락위에 놓고 그 안에 있는 식물 의 초종 및 밀도, 피복도 등을 조사하는 방법
- ✓ 측정 조사 항목: 식물의 초종, 초종당 개체수(밀도), 초종당 피복도, 초종의 빈도수

방형구법에서 고려하여야 할 3가지 요인

- ✓ 식물의 분포
- ✓ 방형구의 크기 및 모양
- ✓ 밀도의 적절한 추정치를 얻기 위한 필요한 관측치의 수



방형구법에서 고려하여야 할 요인

모양

1. 모서리 효과(edge effect): 원형의 방형구에서 최소화이고 직사각 방형구에서 최대
원형(CIRCULAR) < 정사각형(SQUARE) < 직사각형(RECTANGULAR)
2. 가늘고 긴 사각형 방형구가 원형 또는 정사각형 방형구보다 나음
서식지의 이질성으로 인하여 긴 방형구가 더 많은 식생 패치를 포함함

크기

다른 형태의 식생은 다른 방형구 크기를 사용해야 함. 다음의 두가지 방식으로 나눌 수 있음:

1. 통계적으로 주어진 총 샘플 영역 샘플 또는 주어진 총 시간 또는 비용에 대해 가장 높은 통계적 정밀도를 제공하는 방형구의 크기 및 모양
2. 생태학적으로 조사를 하는 이유에 따라 방형구의 크기 및 모양을 정하는 것이 좋음

표본의 개수

빈도수가 희귀한 종보다 흔한 종의 경우 더 많은 수의 샘플이 필요함

표본의 선택

무작위 표본(Random Sample)

계층화된 무작위 표본(Stratified Random Sample)

체계적인 표본(Systematic Sample)

식생분석의 중요 지표

(Important Index for vegetation analysis)

Density (밀도)	$\frac{\text{No. of individuals}}{\text{Area sampled}}$
Relative density (상대밀도)	$\frac{\text{Density for a species}}{\text{Total densities for all species}}$
Cover (피복도)	$\frac{\text{Sum of basal area of each species}}{\text{Area sampled}}$
Relative cover (상대피복도)	$\frac{\text{Cover for a species}}{\text{Total cover for all species}}$
Frequency (빈도)	$\frac{\text{No. of plots in which species occurs}}{\text{Total No. of plots sampled}}$
Relative frequency (상대빈도)	$\frac{\text{Frequency value for a species}}{\text{Total frequency values for all species}}$
Importance value	Relative density + relative cover + relative frequency

Simpson's index: biodiversity

measures the probability that two individuals randomly selected from a sample will belong to the same species (or some category other than species).

two versions of the formula for calculating D

$$D = \sum (n / N)^2$$

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

n = the total number of organisms of a particular species
N = the total number of organisms of all species

The value of D ranges between 0 and 1

With this index, 0 represents infinite diversity and 1, no diversity. That is, the bigger the value of D, the lower the diversity. This is neither intuitive nor logical, so to get over this problem, D is often subtracted from 1 to give:

Simpson's Index of Diversity 1 - D

The value of this index also ranges between 0 and 1, but now, the greater the value, the greater the sample diversity. This makes more sense. In this case, the index represents the probability that two individuals randomly selected from a sample will belong to different species.

Simpson's index

Species	Number (n)	n(n-1)
Woodrush	2	2
Holly (seedlings)	8	56
Bramble	1	0
Yorkshire Fog	1	0
Sedge	3	6
Total (N)	15	64

Putting the figures into the formula for Simpson's Index

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)}$$

$$D = 0.3 \text{ (Simpson's Index)}$$

Then:

$$\text{Simpson's Index of Diversity } 1 - D = 0.7$$

식생분석 예시: 환삼덩굴(*Humulus japonicus*)의 영향

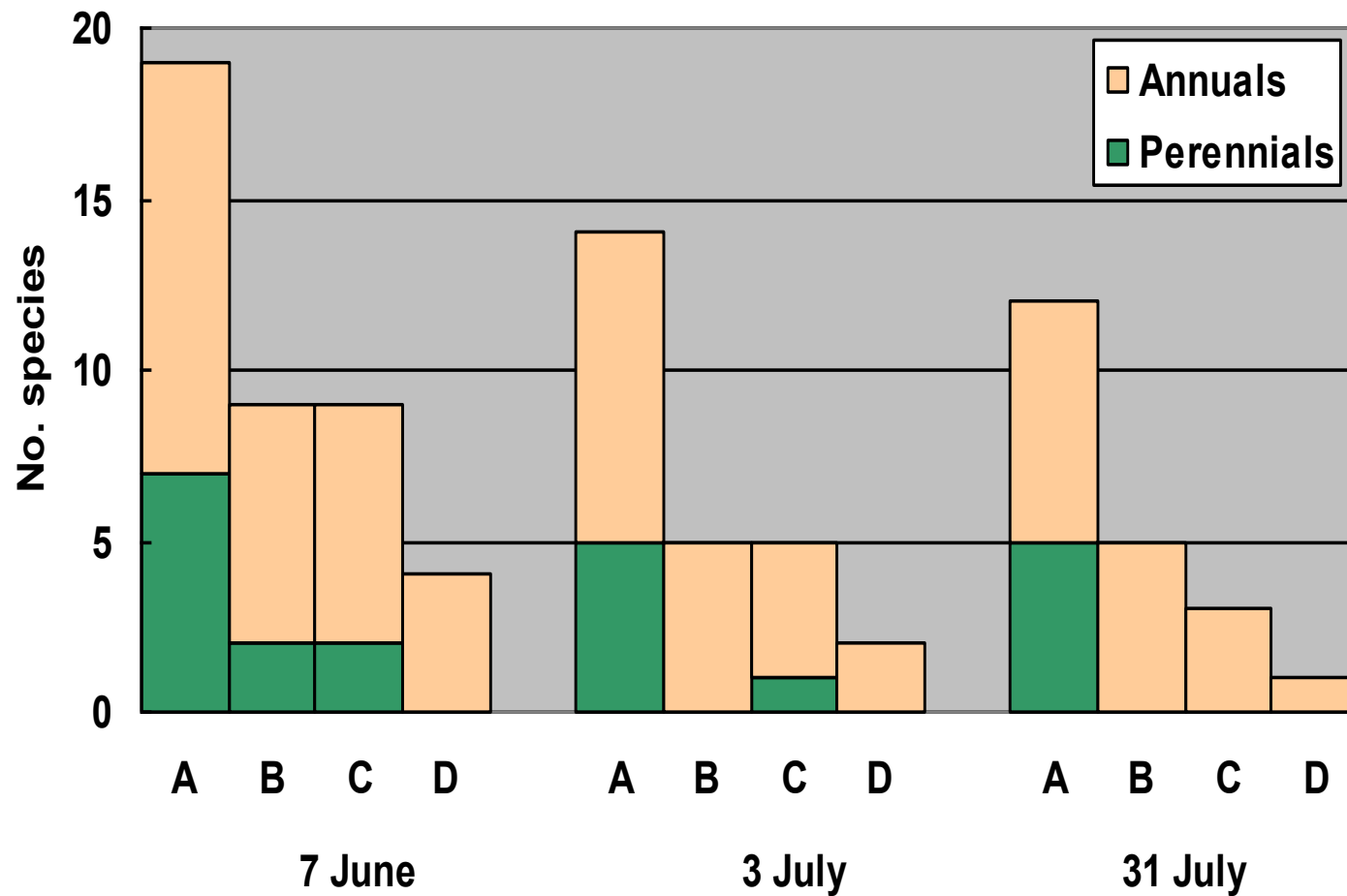




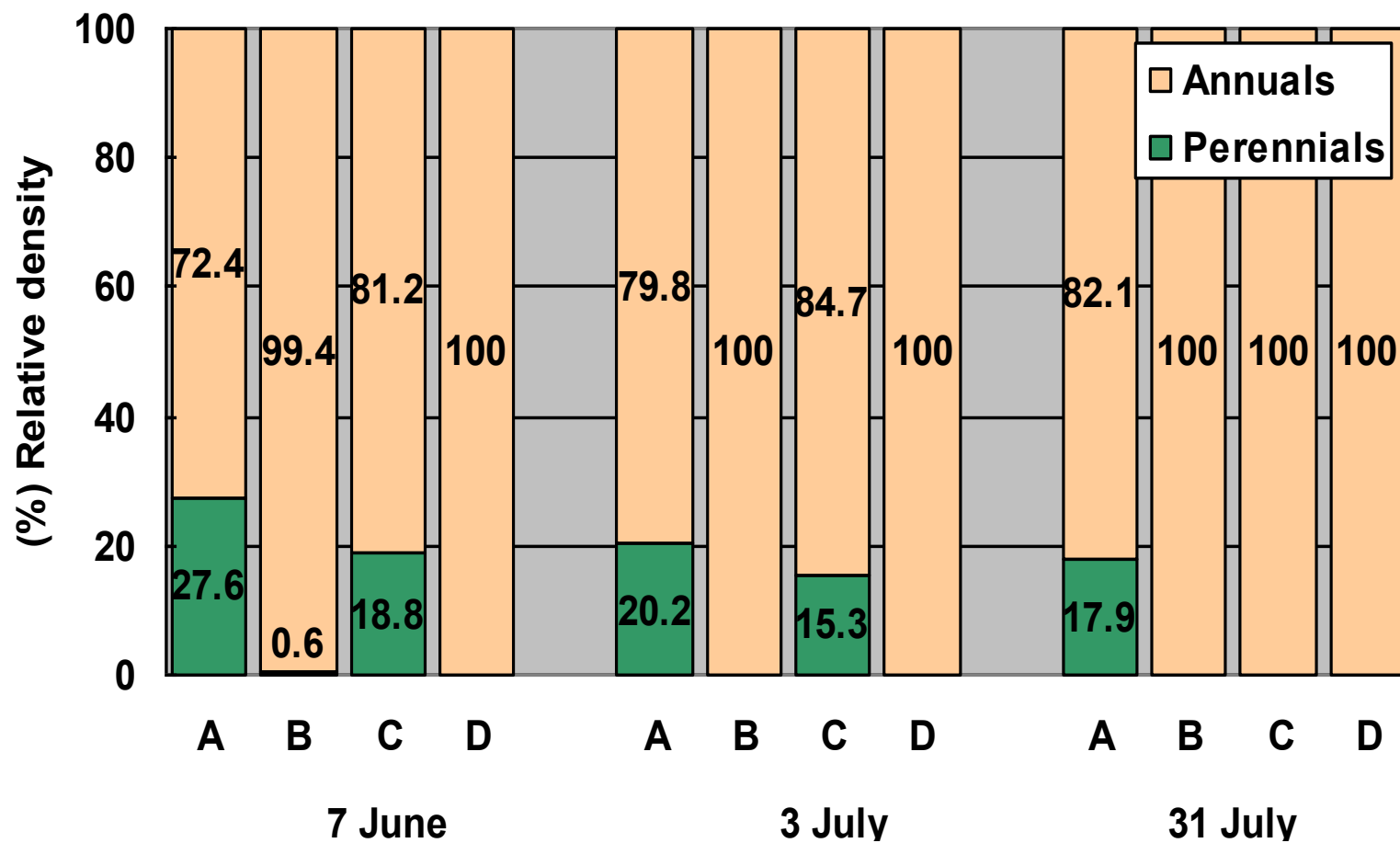
Vegetation on 31 July

Life form	Plant species		Plant density				Ground cover			
	Scientific name	Korean name	A	B	C	D	A	B	C	D
Annual	<i>Humulus japonicus</i>	환삼덩굴	-	2	-	61	-	70	-	100
	<i>Chenopodium album</i>	명아주	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Chenopodium ficifolium</i>	좀명아주	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Galinsoga ciliata</i>	털별꽃아재비	72	45	4	-	21	28	1	-
	<i>Persicaria hydropiper</i>	여뀌	1	-	-	-	1	-	-	-
	<i>Digitaria sanguinalis</i>	바랭이	105	50	8	-	48	18	14	-
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	피	16	23	65	-	20	30	74	-
	<i>Setaria viridis</i>	강아지풀	6	40	-	-	10	19	-	-
Biennial	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	냉이	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Erigeron annuus</i>	개망초	1	-	-	-	4	-	-	-
	<i>Leonurus sibiricus</i>	익모초	5	-	-	-	12	-	-	-
	<i>Lepidium virginicum</i>	콩다닥냉이	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Trigonotis peduncularis</i>	꽃마리	-	-	-	-	-	-	-	-
Perennial	<i>Artemisia princeps</i>	쑥	3	-	-	-	5	-	-	-
	<i>Ixeris dentata</i>	씀바귀	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Mazus miquelii</i>	누운주름잎	-	-	-	-	-	-	-	-
	<i>Plantago asiatica</i>	질경이	19	-	-	-	35	-	-	-
	<i>Rumex crispus</i>	소리쟁이	3	-	-	-	10	-	-	-
	<i>Taraxacum officinale</i>	서양민들레	1	-	-	-	1	-	-	-
	<i>Trifolium repens</i>	토끼풀	19	-	-	-	5	-	-	-
Total			251	168	77	61	172	165	89	100

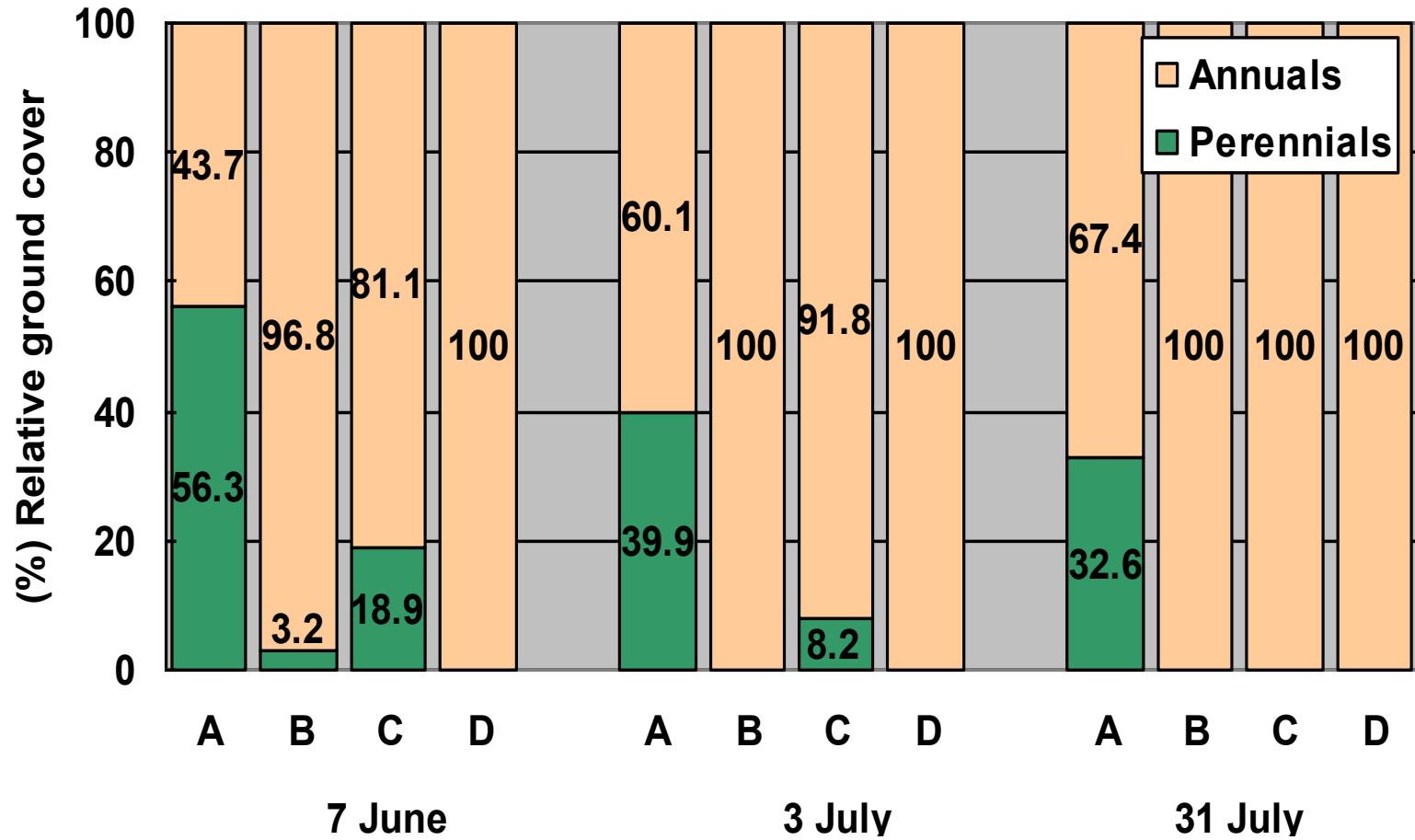
Total number of plant species



Relative plant density (%)



Relative cover (%)



식생분석 요약(Summary of vegetation analysis)

Site	Life form	Plant species (no.)		Relative density (%)		Relative cover (%)		Importance value		Simpson's index (D)		Diversity index (1-D)	
		A*	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
S1	Annual+Biennial	2.0	4.0	13.4	31.4	23.9	57.2	37.3	88.6	0.29	0.49	0.71	0.39
	Perennial	6.0	1.0	86.6	68.6	76.1	42.8	162.7	111.4				
S2	Annual+Biennial	3.0	4.0	19.7	100.0	28.0	100.0	47.8	200.0	0.11	0.14	0.89	0.87
	Perennial	8.0	0.0	80.3	0.0	72.0	0.0	152.2	0.0				
S3	Annual+Biennial	4.0	3.0	63.4	100.0	72.6	100.0	136.1	200.0	0.30	0.43	0.70	0.41
	Perennial	5.0	0.0	36.6	0.0	27.4	0.0	63.9	0.0				
S4	Annual+Biennial	12.0	4.0	70.5	56.3	85.8	84.9	156.2	141.2	0.19	0.28	0.81	0.66
	Perennial	5.0	2.0	29.5	43.8	14.2	15.1	43.8	58.8				
S5	Annual+Biennial	12.0	5.0	80.0	83.3	65.1	96.0	145.1	179.3	0.09	0.19	0.91	0.77
	Perennial	4.0	2.0	20.0	16.7	34.9	4.0	54.9	20.7				
S6	Annual+Biennial	5.0	6.0	26.4	34.2	34.3	85.5	60.7	119.7	0.19	0.23	0.81	0.76
	Perennial	8.0	4.0	73.6	65.8	65.7	14.5	139.3	80.3				
S7	Annual+Biennial	7.0	5.0	72.5	81.1	58.3	92.1	130.8	173.2	0.14	0.31	0.86	0.65
	Perennial	4.0	3.0	27.5	18.9	41.7	7.9	69.2	26.8				
S8	Annual+Biennial	7.0	1.0	82.1	100.0	67.4	100.0	149.5	200.0	0.27	1.00	0.73	0.00
	Perennial	5.0	0.0	17.9	0.0	32.6	0.0	50.5	0.0				
Aver.	Annual+Biennial	6.5	4.0	53.5	73.3	54.4	89.5	107.9	162.8	0.20	0.38	0.80	0.56
	Perennial	5.6	1.5	46.5	26.7	45.6	10.5	92.1	37.2				

* A; without *Humulus japonicus*, B; with *H. japonicus*.

Where is the crop?



1. 작물-잡초 상호작용의 유형(Type of crop-weed interaction)

- ✓ 간섭(interference): 일반적으로 인접한 식물 상호 간의 생장에 영향을 미치는 효과
- ✓ 경합(competition): 일정한 환경조건에서 한 종류 이상의 생물이 동일한 자원을 동시에 요구하는 현상, **간섭의 한 종류이며 가장 중요한 요소**

유형	Adjacent(인접)		Distant(원거리)		Example
	Plant A	Plant B	Plant A	Plant B	
음성적 간섭					
경합(competition)	-	-	0	0	Allelopathic plants Parasitic weeds
편해공생(Amensalism)	0	-	0	0	
기생(Parasitism)	+	-	-	0	
양성적 간섭					
편리공생(Commensalism)	+	0	-	0	Epiphytes
원시협동(Protocooperation)	+	+	0	0	
상리공생(Mutualism)	+	+	-	-	Symbiotic plants
중립적 간섭					
중립관계(Neutralism)	0	0	0	0	

2. 작물-잡초 간 경합(Crop-Weed Competition)

1) 식물 경합의 정의

- ✓ Grime (1979): 인접한 식물이 동일한 양의 빛, 영양분, 수분 또는 공간을 동시에 이용하려는 경향
- ✓ Barbour *et al.* (1980): 공급이 부족한 자원을 동시에 이용하는 식물간의 상호 역효과
- ✓ Tilman (1987): 부족한 공급하에서 2 종 또는 그 이상 식물종의 자원을 공유하여 이용

2) 경합의 종류

(1) 종간경합(interspecific competition): 이종식물체간의 경합

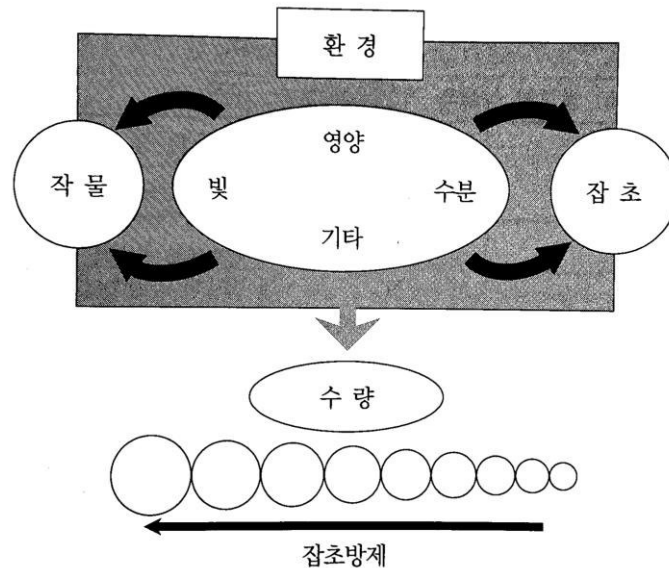
ex) 작물-잡초, 잡초 초종 간, 식물 초종 간 경합

(2) 종내경합(intraspecific competition): 동일 초종의 개체 간에 일어나는 경합

ex) 일반적으로 동일종 내 개체 밀도에 의해 일어남

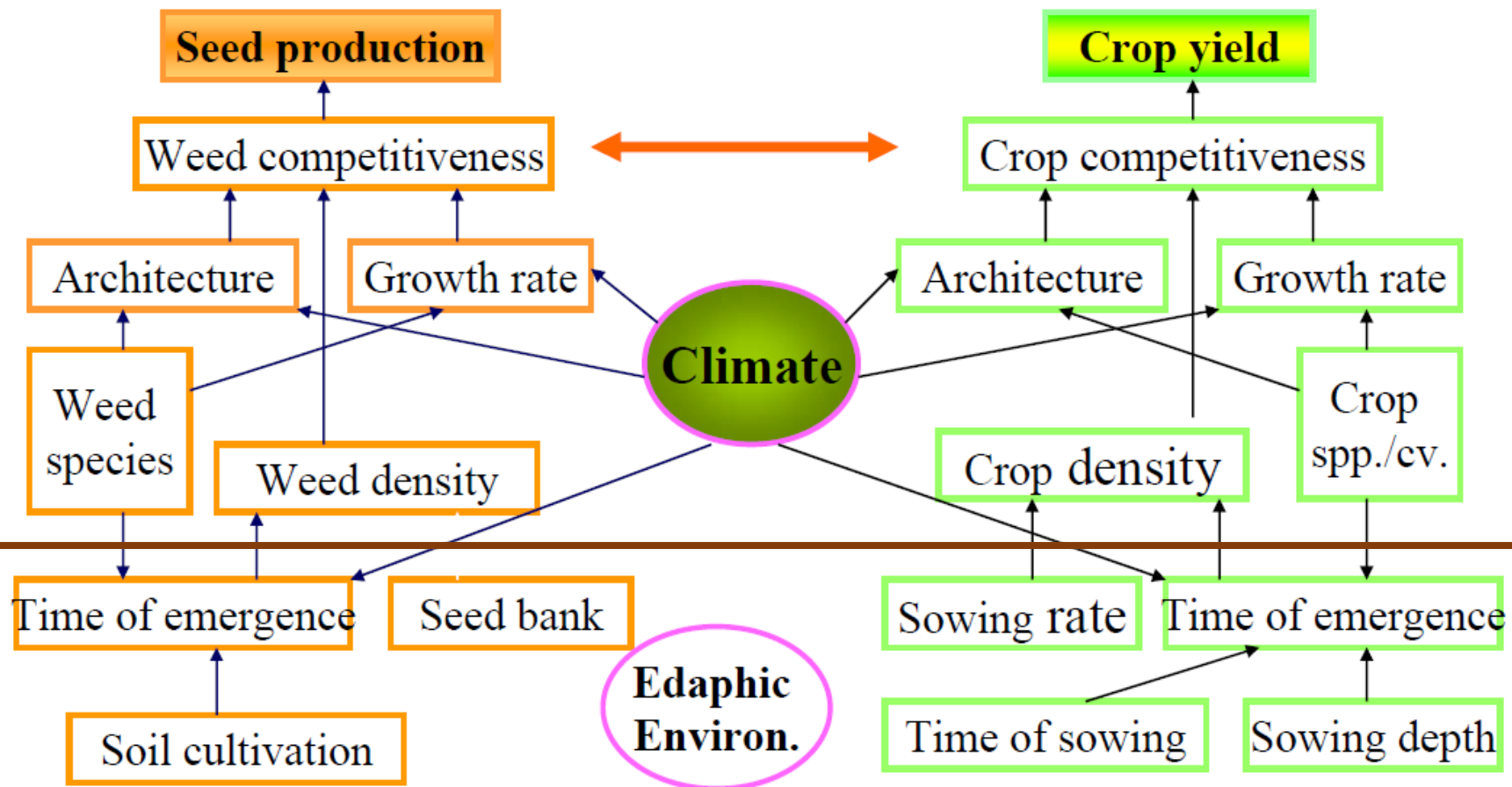
3) 작물-잡초 간 경합

- ✓ 빛, 토양, 양분, 수분 및 이산화탄소 등의 식물 생육에 필요한 요소 또는 식물이 생육할 공간 등의 공급이 부족한 곳에서 작물과 잡초가 함께 존재하여 발생하는 현상



- ✓ 일반적으로 잡초의 경우, 대부분 C_4 광합성 회로를 갖고 있어 광합성 능력이 높고 불량한 환경조건(과습, 한발, 토양)에서 적응력이 높고 내성이 커서 경합력이 강함

3. 작물-잡초 경합에 영향을 미치는 요인 (Factors affecting crop-weed competition)



(1) 영양분의 경합

- ✓ 작물의 생육에 중요한 필수원소에서 경합이 심함(N, P, K)
- ✓ 잡초는 높은 시비수준이나 비옥한 토양에서 작물 수량을 크게 감소시킴
- ✓ 질소, 인산, 칼륨 중 질소에 대한 경합이 가장 큼
- ✓ 잡초와의 경합에 의해 질소 흡수가 부족함에 따라 황화현상이 나타남
- ✓ 다른 영양소에 대한 경합이 진행되며 작물에 결핍증상이 발현



(2) 수분의 경합

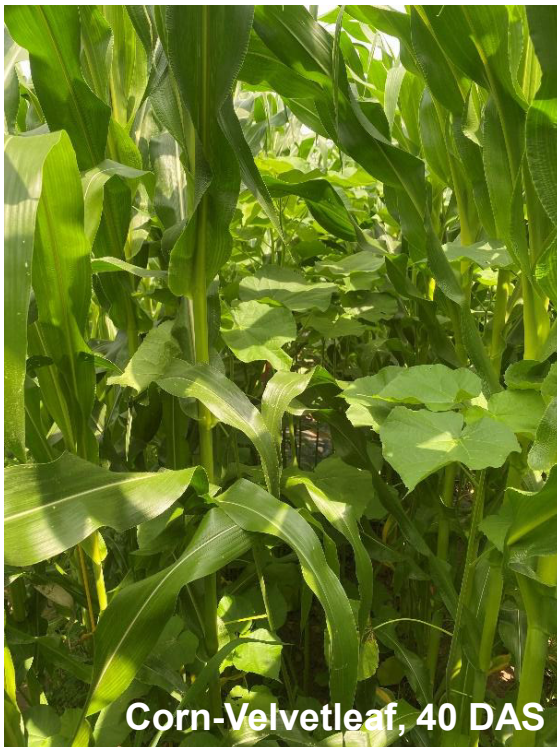
- ✓ 수분은 작물생산에 결정적 중요한 요인
- ✓ 수분에 따라 작부형태를 결정짓고 잡초 생육도 크게 영향을 미침
- ✓ 작물보다 잡초가 생육에 더 많은 수분을 요구함
- ✓ 습한 토양에서 왕성한 생장을 하는 작물의 경우 잡초와의 경합에 의해 생육에 불리한 상황에 놓임
- ✓ 작물과 잡초 모두 요수량(건물중 1kg을 생산하는데 필요한 수분량)에 따라 건, 습 정도에 따라 경합 반응이 상이함
- ✓ 뿌리의 발달 형태에 따라 경합정도가 상이함

작물과 잡초의 수분요구량

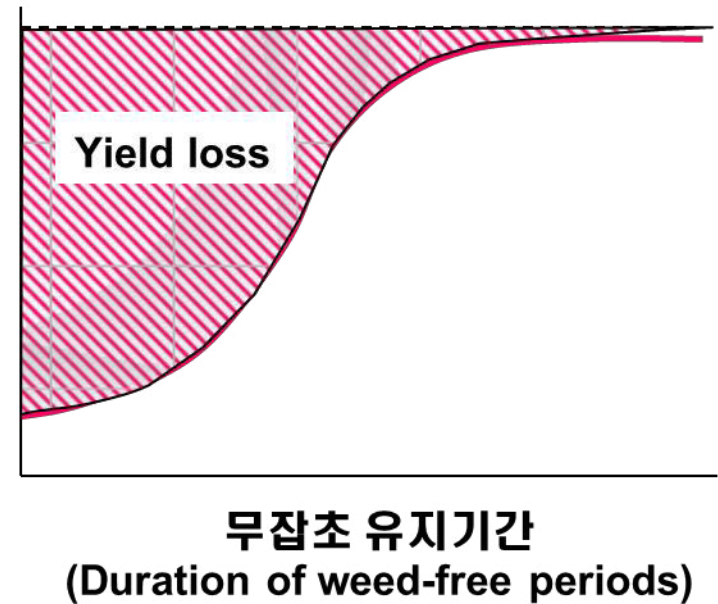
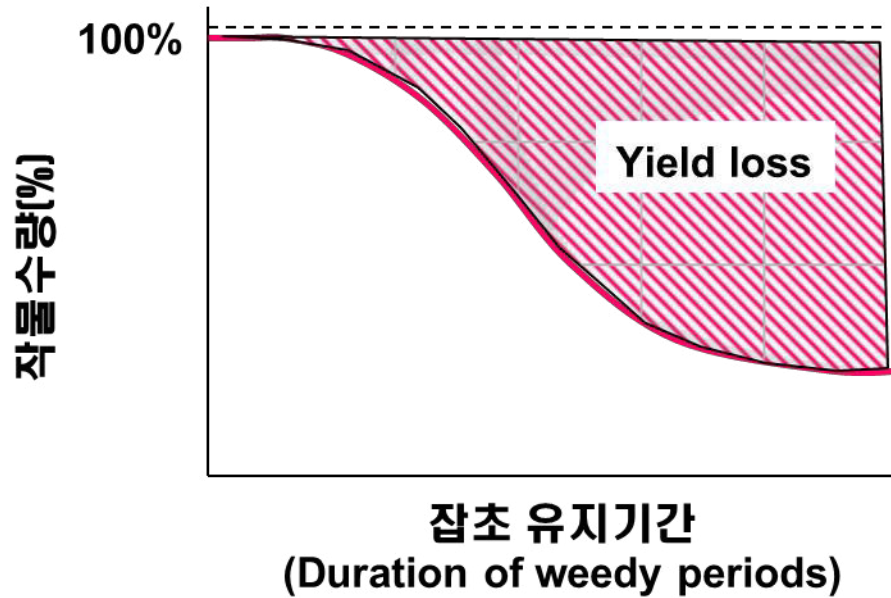
구 분	공시식물	건물중 1kg의 생산에 필요한 수분(kg)
작 물	조	250
	옥수수	330
	밀	490
	보리	500
	귀리	560
잡 초	비름	240
	흰명아주	720
	돼지풀	900

(3) 광의 경합

- ✓ 광은 식물에 있어서 에너지를 얻기 위해 없어서는 안될 요소임
- ✓ 작물이 잡초와 경합에 의해 차광이 되면 수량이 크게 감소함
- ✓ 수광률이나 차광의 정도는 작물의 초형, 초장, 분얼력 등에 의한 엽면적지수 또는 단위면적당 잎의 면적과 투광률로 표현할 수 있음
- ✓ 광의 경합력은 직립형, 중장간의 초장에 다분얼성 작물이 유리하며 광엽이 유리하나 잎이 포개지는 경우 불리

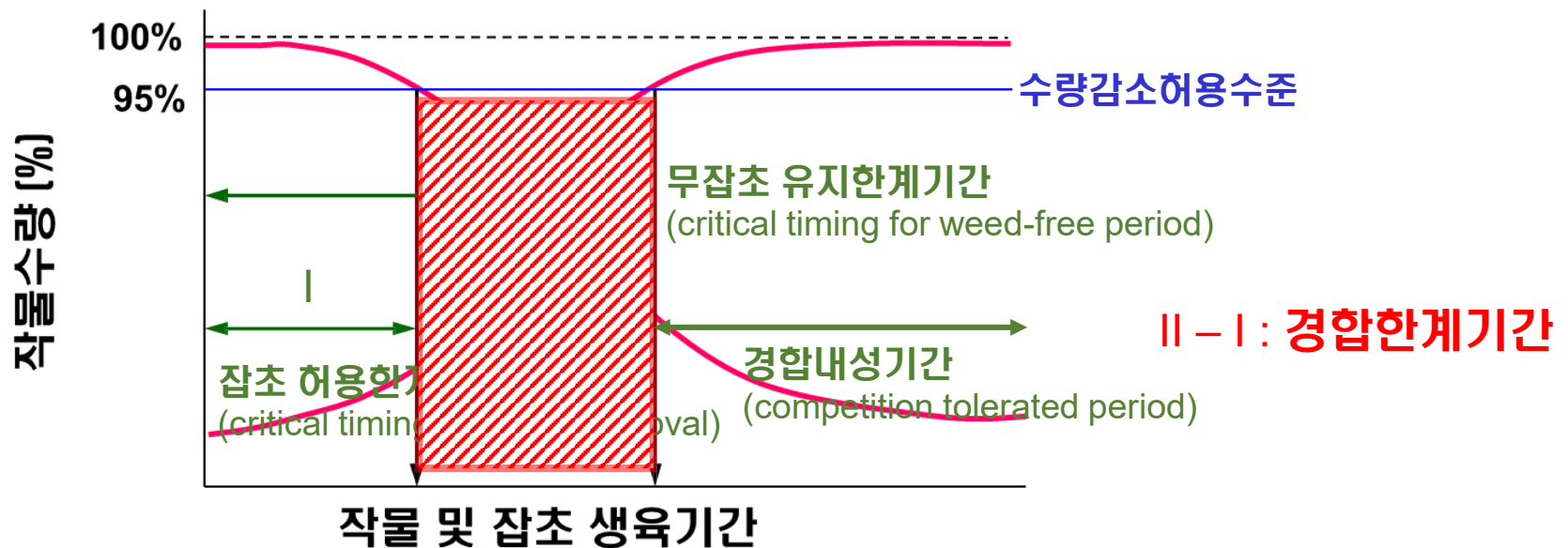


4. 작물-잡초 경합 기간(Duration of crop-weed competition)



작물-잡초 경합한계기간(Critical period for Crop-Weed competition)

- ✓ 작물 생육 기간 중 반드시 잡초를 제거해야 하는 기간, 또는 잡초 생육이 더 이상 작물 수량에 영향을 미치지 않는 시점(Nieto *et al.*, 1968)
- ✓ 무잡초 유지 한계기간과 잡초허용 한계기간 사이의 기간
→ 잡초허용기간 과 경합내성기간 사이의 시간



Nieto *et al.*, 1968

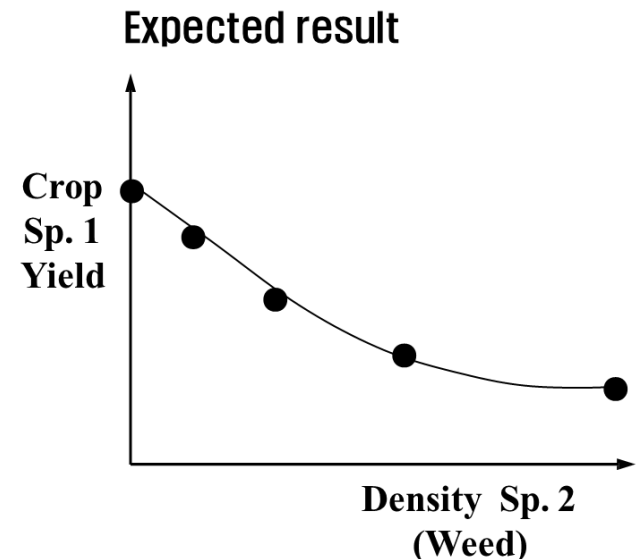
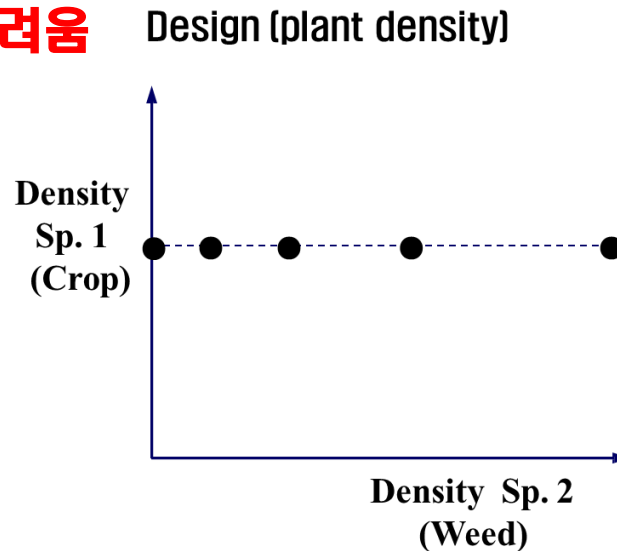


5. 작물-잡초 경합 예측(Prediction of crop-weed competition)

1) 작물-잡초 상호작용 평가 방법

(1) Additive design

- ✓ 한 종은 일정한 밀도를 유지하고 다른 한종은 다양한 밀도로 달리한 방법
- ✓ 작물-잡초 경합이 작물 수량에 미치는 영향 평가에 적합
- ✓ 선택된 작물에 대한 잡초의 상대적 경합 순위를 매기고 및 재배관리 의사결정에 유용함
- ✓ 작물 밀도에 따라 결과 바뀔 수 있음
- ✓ 전체 식물 밀도와 상대 식물 밀도가 혼합됨
- ✓ 종간 및 종내 경합 구분이 어려움
- ✓ 결과 해석이 어려움



(1) Additive design (example)

콩-어저귀 경합실험

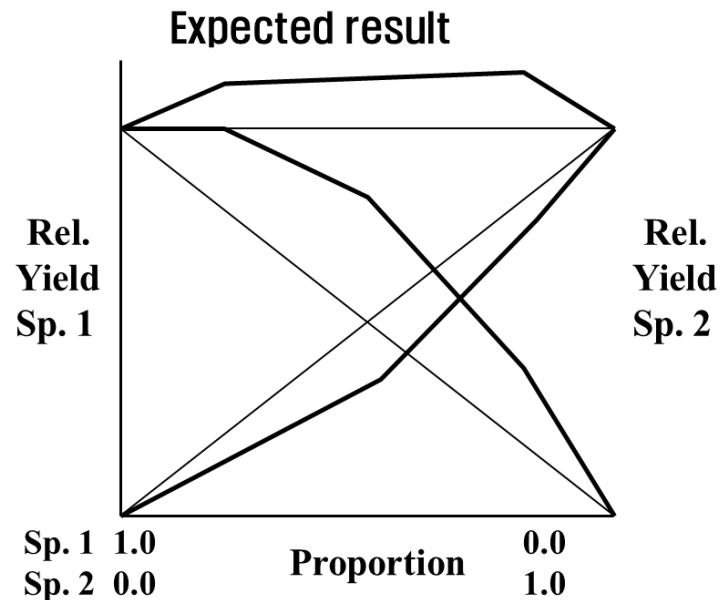
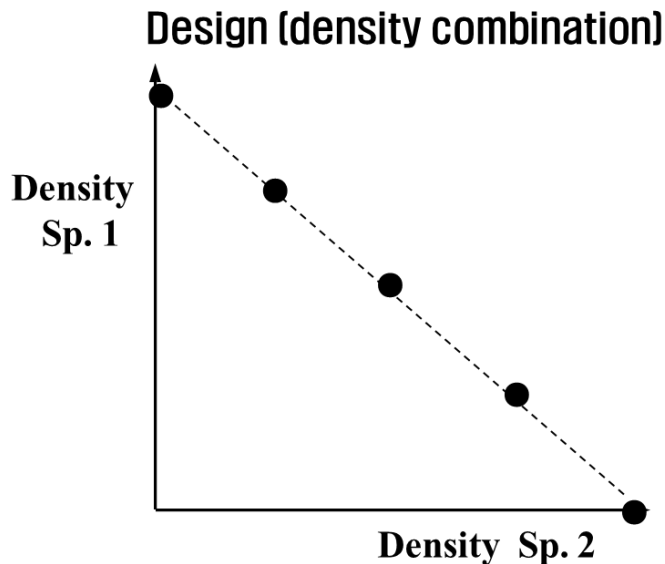


옥수수-어저귀 경합실험



(2) Replacement series design

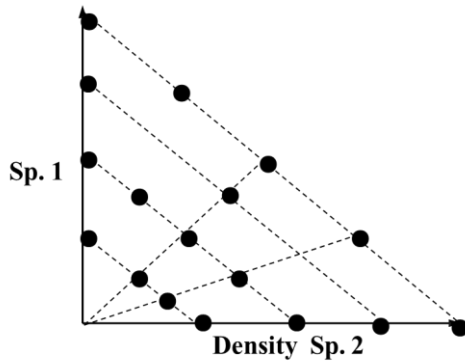
- ✓ 총 식물의 밀도는 고정하고 각 식물 밀도의 비율을 변화하는 방법
- ✓ 서로 다른 두 종의 상대적인 경합 관계를 평가 조사하는데 적합
- ✓ 식물 생태 연구 및 Allelopathy 연구에 적합
- ✓ 해석이 쉬움
- ✓ 전체 식물 밀도를 변경하지 못함
- ✓ 전체 식물 밀도에 따라 정량적 결과가 다름
- ✓ 개체군 역학 예측, 종간 또는 종내 경합을 분리하여 예측하기 어려움
- ✓ 다른 식물 밀도에서 결과를 추정할 수 없음



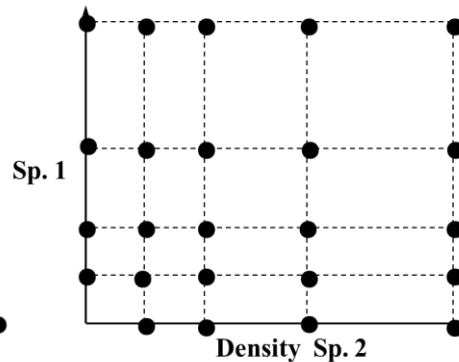
(3) Response surface design

- ✓ Additive + Replacement series design
- ✓ 종내 및 종간 상호작용 평가 가능
- ✓ 생태학적-농학적인 목적의 평가 가능
- ✓ 가장 객관적인 평가가 가능하지만 너무 복잡함

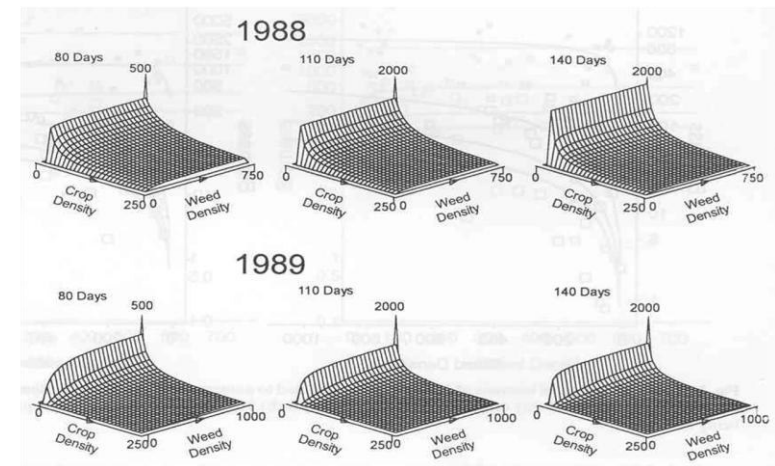
Addition series



Factorial (complete additive)

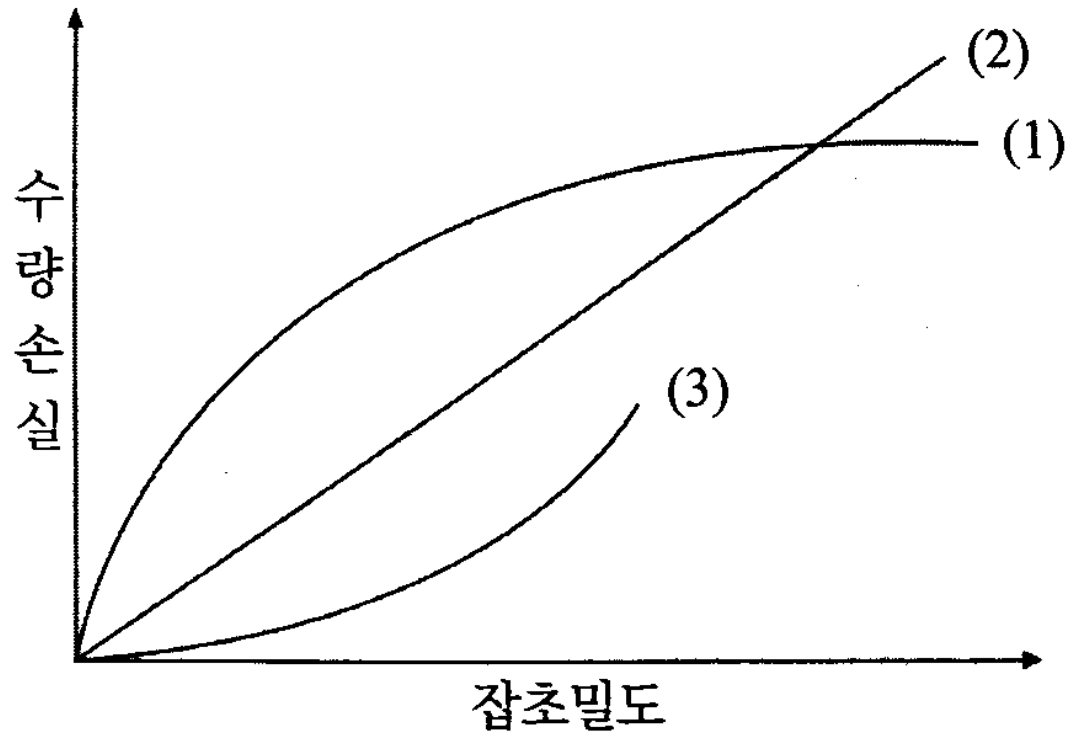


Biomass of *P. rhoeas* predicted as affected by crop and weed densities



2) 작물-잡초 경합의 해석을 위한 경험적 모델(Empirical models)

잡초밀도와 작물수량과의 관계



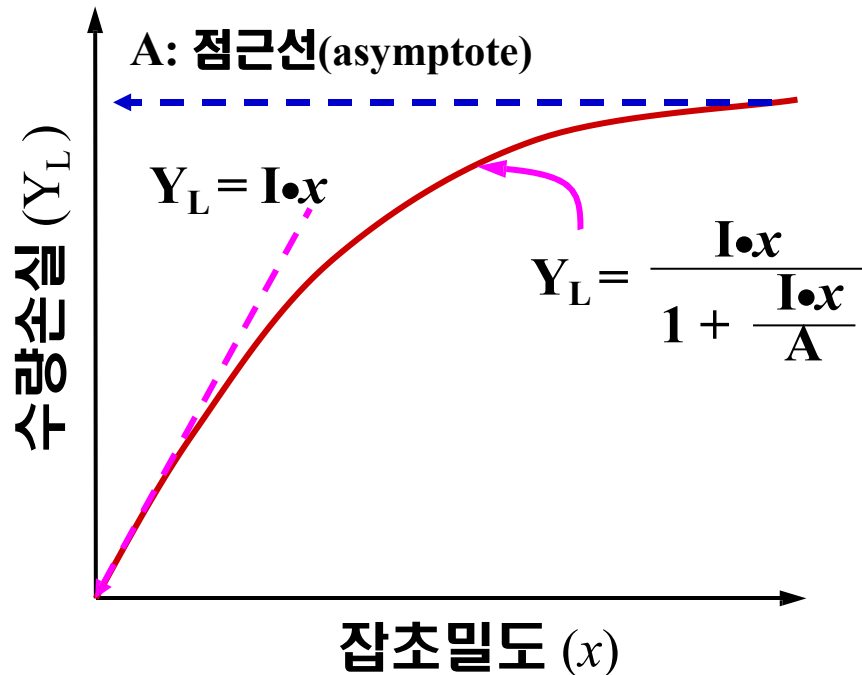
Auld *et al.*, 1987)

2) 작물-잡초 경합의 해석을 위한 경험적 모델(Empirical models)

직각쌍곡선(Rectangular Hyperbola)

잡초밀도 기준

$$Y_L = \frac{I \cdot x}{1 + \frac{I \cdot x}{A}}$$



Y_L: 수량손실 (%)

I : % 수량손실/잡초밀도 (x)

x : 잡초밀도

A : % upper limit (asymptote)

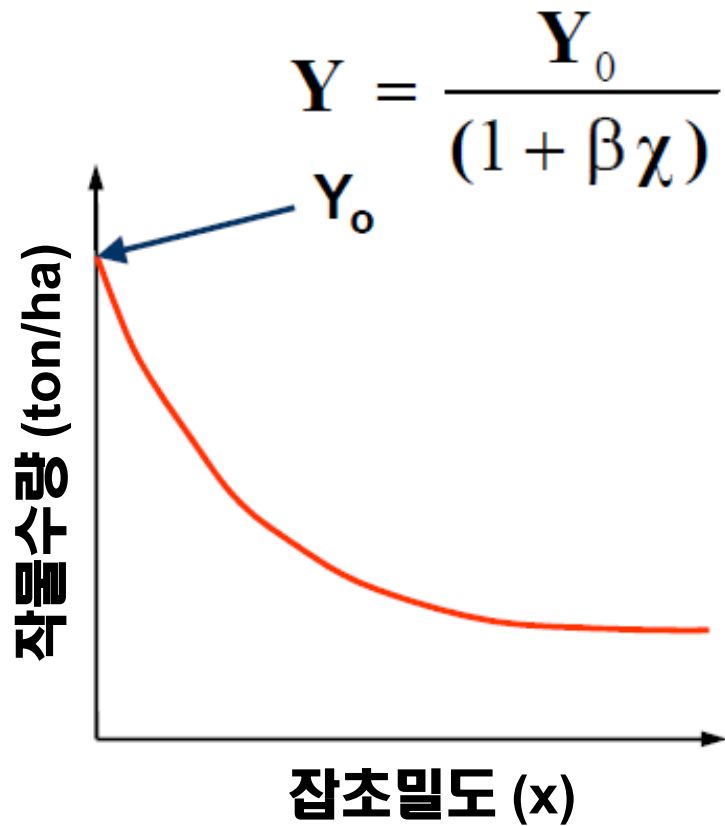
by Cousens *et al.* (1985)

$$Y_L = \frac{I \cdot x}{\frac{cT}{e} + \frac{I \cdot x}{A}}$$

T: relative time of emergence of weed & crop

c: non-linear regression coefficient

by Cousens & Brain *et al.* (1987)



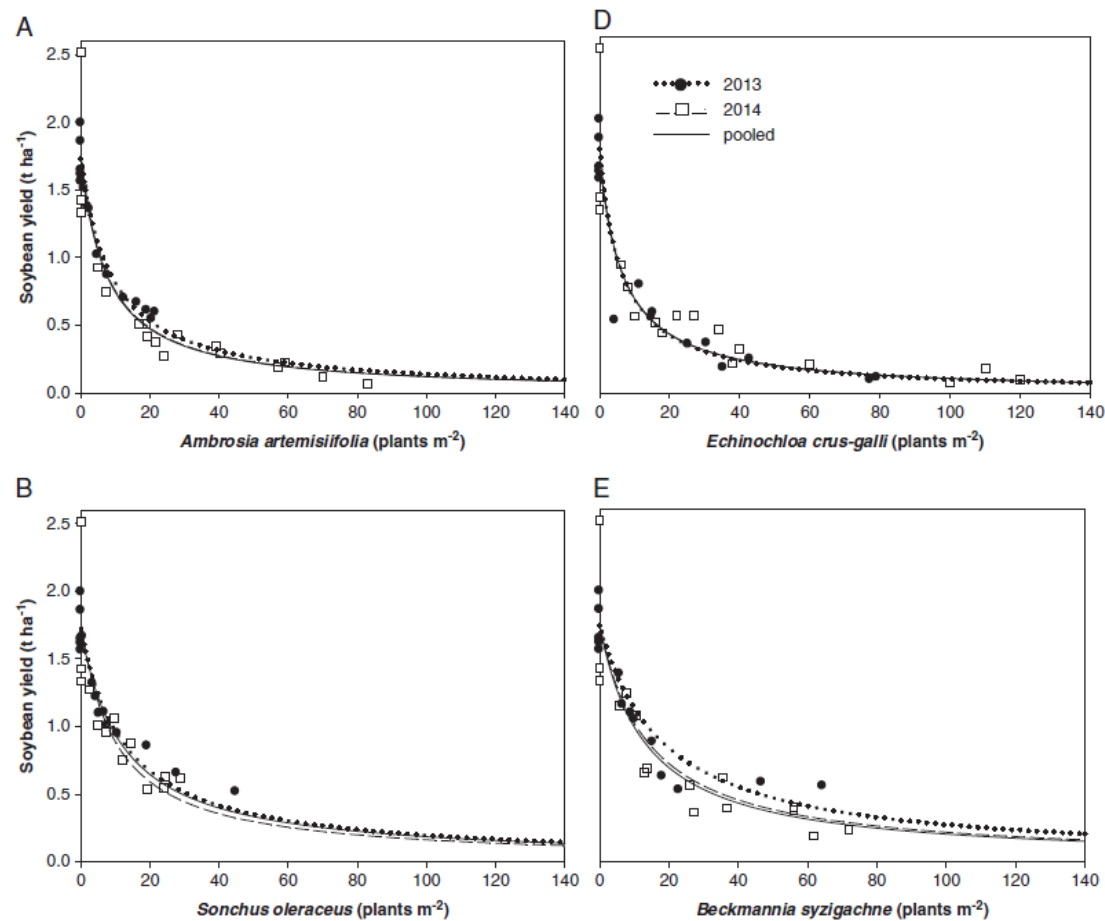
Y : 작물수량 (ton/ha)

Y_0 : 무잡초 작물수량

x : 잡초밀도

β : 잡초경합력(작물수량을 50% 감소시키는 잡초밀도의 역수)

$$Y = \frac{Y_0}{(1 + \beta\chi)}$$



Weed species	Parameter ^a					
	Y_0			β		
	2013	2014	Pooled	2013	2014	Pooled
Common ragweed	1.719 (0.047)	1.747 (0.141)	1.737 (0.065)	0.1116 (0.0136)	0.1571 (0.0415)	0.1335 (0.0192)
Annual sowthistle	1.710 (0.053)	1.706 (0.163)	1.712 (0.071)	0.0739 (0.0109)	0.0897 (0.0290)	0.0828 (0.0138)
Common lambsquarters	1.731 (0.049)	1.757 (0.166)	1.736 (0.074)	0.0497 (0.0059)	0.0773 (0.0240)	0.0642 (0.0105)
Barnyardgrass	1.718 (0.081)	1.744 (0.147)	1.726 (0.077)	0.1770 (0.0387)	0.1371 (0.0364)	0.1505 (0.0256)
American sloughgrass	1.738 (0.068)	1.764 (0.154)	1.751 (0.089)	0.0653 (0.0105)	0.0855 (0.0229)	0.0760 (0.0118)

^a The numbers in parentheses are the standard errors.

엽면적 기준

$$L_w = \frac{LAI_w}{LAI_c + LAI_w}$$

$$q = q_o \exp ((RGRL_c - RGRL_w) \times t)$$

$$Y_L = \frac{q \cdot L_w}{1 + (q-1)L_w}$$

$$Y_L = \frac{q \cdot L_w}{1 + \left(\frac{q}{m} - 1 \right) L_w}$$

LAI: leaf area index

RGRL: relative growth rate

Y_L : yield loss (%)

q : relative damage coefficient

t : period between assessments

L_w : relative leaf area of weed

by Kropff & Spitters (1991)

m : maximum yield loss

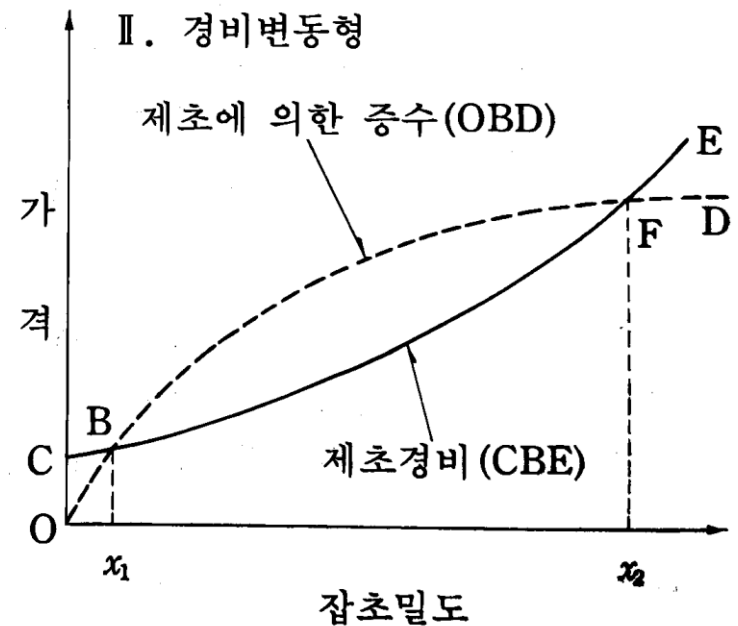
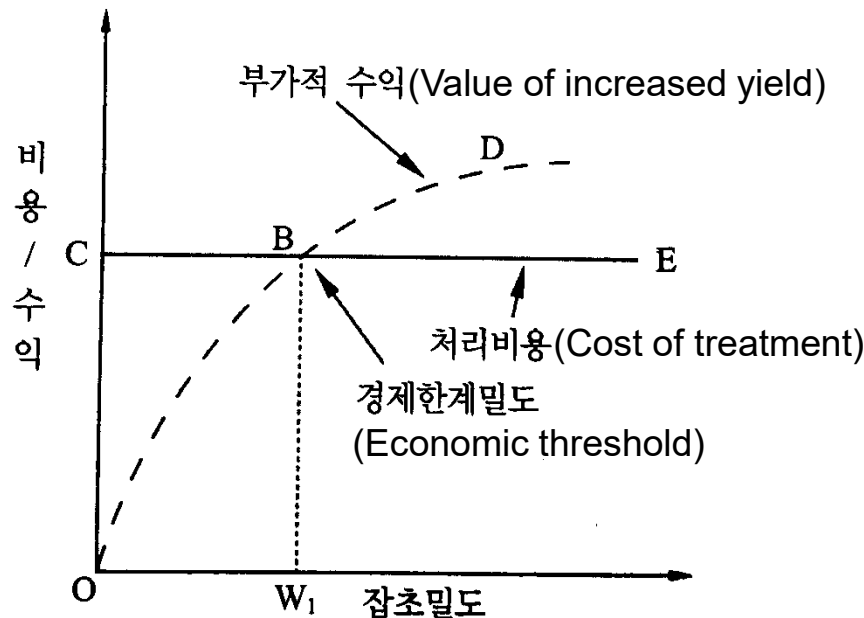
by Kropff & Lotz (1992)

모델 간 비교

기준	이점	단점
잡초밀도	✓ 식물 밀도 측정이 쉬움 ✓ 잡초가 동시에 발생한다면 I 값이 상대적으로 안정적임 ✓ 더 실용적임	✓ 잡초가 동시에 발생하지 않고 시간에 따라 발생하면 정확도가 떨어짐
엽면적지수	✓ 정확도가 높음 ✓ 잡초발생이 지연되더라도 영형평가가 가능	✓ 엽면적과 생장율을 측정하는 것이 어려움 ✓ q 값이 지역 및 연도에 따라 변함 ✓ 실용성이 적음

6. 경제한계밀도(경제적요방제수준; Economic threshold level)

- ✓ 경제한계밀도(경제적요방제수준; Economic threshold (Et)):
“잡초방제가 비용적으로 효과적이게 되는 지점”에서의 잡초밀도
(제초제처리비용=잡초방제를 통한 부가적 수익)
- ✓ 경제최적한계밀도(Economic optimum threshold; EOT): 장기적 경제적 이익과 잡초 개체군의 영향을 포함한 경제적인계밀도 ($E_t > EOT$)



$$Et = \frac{C_h + C_a}{YPLk}$$

(Cousens *et al.*, 1985)

C_h : 제초제 가격

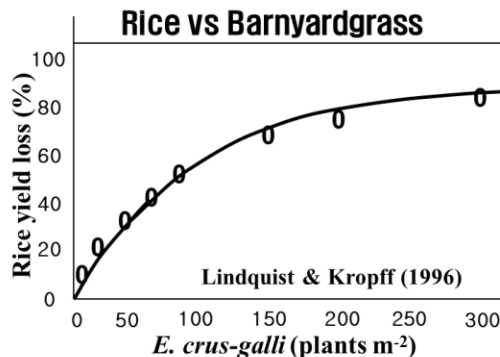
C_a : 제초제 처리비용

Y: 무잡초구 작물수량

P: 작물단위수량당 가격

L: 잡초단위밀도당 작물수량감소

k: 제초제에 의한 잡초방제



Et for barnyardgrass in rice

Variable name	Value
Herbicide cost (\$/ha) (appl	24.14
ication cost included) Wee	
d free crop yield (t/ha) Cro	4.00
p price (\$/t)	198.00
Yield loss (%/weed) Her	1.16
bicide efficacy Economi	0.90
c threshold (Et)	2.93

Economic threshold (Et) for wild oat in cereals

I	A	k	Y	P	H	Et
0.010	1.0	0.9	6.5	100	45	8.41
0.020	1.0	0.9	6.5	100	45	4.20
0.005	1.0	0.9	6.5	100	45	16.82
0.010	1.0	0.9	10.0	100	45	5.90
0.010	1.0	0.75	6.5	100	45	10.46

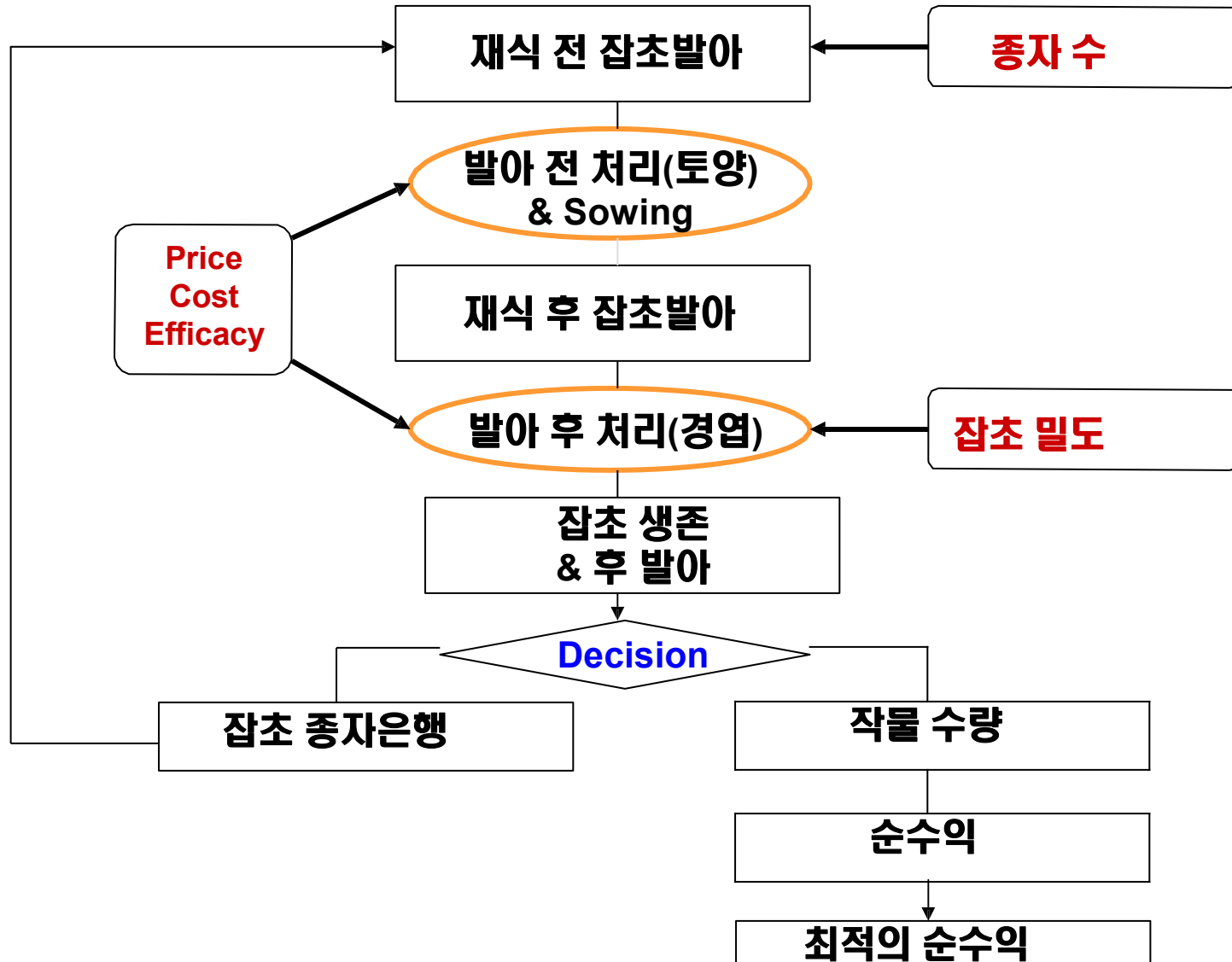
(Cousens, 1987)

Economic threshold (Et) for *E. crus-galli* & *E. kuroguwai* for machine transplanted rice (Moon *et al.*, 2010)

Site	Parameter estimates and economic thresholds (ET)										
	C_h (\$ ha ⁻¹)			C_a	Y_o	P	L	H	ET (No. m ⁻²)		
	A	B	C	(\$ ha ⁻¹)	(t ha ⁻¹)	(\$ t ⁻¹)			A	B	C
<i>E. crus-galli</i>											
Daejeon	46.0	79.6	92.9	27.1	5.68	1442.5	0.0193	0.9	0.513	0.749	0.842
Suwon	46.0	79.6	92.9	27.1	5.65	1442.5	0.0181	0.9	0.551	0.805	0.905
Iksan	46.0	79.6	92.9	27.1	5.65	1442.5	0.0335	0.9	0.298	0.435	0.489
Naju	46.0	79.6	92.9	27.1	5.83	1442.5	0.0147	0.9	0.656	0.959	1.078
<i>E. kuroguwai</i>											
Daejeon	79.6	119.5	123.0	27.1	5.81	1442.5	0.0037	0.9	3.768	5.173	5.298
Suwon	79.6	119.5	123.0	27.1	5.55	1442.5	0.0187	0.9	0.848	1.165	1.193
Iksan	79.6	119.5	123.0	27.1	5.65	1442.5	0.0092	0.9	1.597	2.193	2.246
Naju	79.6	119.5	123.0	27.1	6.33	1442.5	0.0042	0.9	3.111	4.272	4.375

C_h , herbicide cost; A, pretilachlor GR; B, flucetosulfuron GR; C, flucetosulfuron + pretilachlor for *E. crus-galli*, A, flucetosulfuron GR; B, flucetosulfuron + imazosulfuron GR; C, flucetosulfuron + imazosulfuron + carfentrazone-ethyl for *E. kuroguwai*, C_a , application cost; Y_o , weed free crop yield; P, value per unit of crop; L, proportion of yield loss per unit weed density; H, herbicide efficacy calculated as efficacy (%) / 100.

7. 잡초방제를 위한 의사결정(Decision-making for weed control)



1) 경제한계밀도를 기준으로 한 잡초방제 의사결정

- ✓ 포장 잡초밀도 > 경제한계밀도(E_t): 제초제 처리 (제초제 표준 약량)
- ✓ 포장 잡초밀도 < 경제한계밀도(E_t): 제초제 처리 X

2) 잡초방제 의사결정에 사용되는 다양한 요인들

- ✓ 작물-잡초 상호작용: 작물, 잡초 종, 잡초밀도
- ✓ 제초제에 대한 잡초의 감수성: 약량, 제초제저항성
- ✓ 토양 비옥도/조건: 질소시비 등
- ✓ 기후조건
- ✓ 알려지지 않은 수많은 요인들