

## < 제7장 기후변화의 부문별 영향: 농업 (작물생산과 식량수급) >

### 1. 기후변화가 농업에 미치는 영향

#### 가. 서론

- ✓ 농업은 인류 생존의 근본이 됨
  - 지속적인 세계 인구의 증가가 예측된다 (향후 100년안에 인구는 현재의 2배가 될것으로 예측됨)
  - 인류 생존을 위해서는 세계 인구의 식량 요구량에 맞는 식량생산이 이루어 져야함
  - 이런 의미에서 농업은 경제학의 근본이 된다고 말할 수 있음
- ✓ 기후는 농업에 영향을 줌
  - 매년 변동되는 수확량은 기온과 강수량의 변동에 기인한다고 말할 수 있음
  - 일례로 1930년대의 미국의 가뭄으로 인해 농부들이 은행빚을 갚지못하여 농장을 떠나 일을 찾아 떠나게 되었음

#### 나. 기후변화가 농업에 미치는 영향에 관한 예측

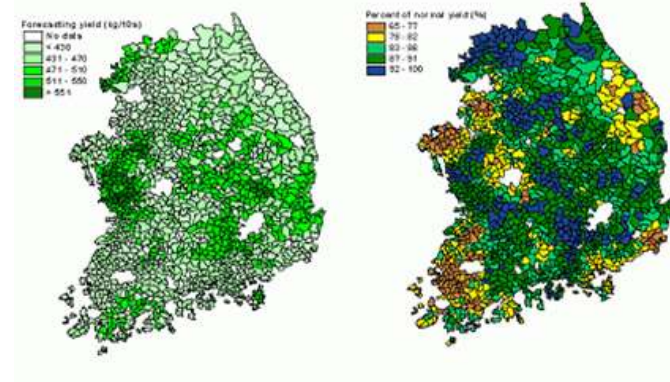
- ✓ 작물 성장모형을 통한 예측
  - 작물 성장모형은 대기중 이산화탄소 농도, 온도, 강수량, 토양수분량 등의 변화가 작물의 생산에 어떤 영향을 미치는가를 예측하는 식물 생리학적, 식물 형태학적, 그리고 물리적 과정을 포함하는 모형이 된다.
  - 작물의 생물물리학적 생산량의 예측을 주로하게 됨
- ✓ 경제모형에 의한 예측
  - 기후변화가 사회경제에 미치는 영향을 예측하는 모형
  - 기후변화가 식량생산, 소비, 농부의 소득, 고용 및 총생산에 미치는 영향을 추정하게 됨
  - 작물성장모형에서 예측된 생산량, 작물의 수요와 공급에 따른 작물의 가격, 국제적인 수입/수출 관계 등이 종합적으로 고려되어 최종적으로 농경지 면적의 변화와 가격의 변화 등을 모델링하게 됨

#### 나. 기후변화가 작물생산에 미치는 부정적 영향

- ✓ 기후변화는 저개발국가의 식량 수급에 심각한 영향을 줄 수 있음
  - 예 ) 벼 생산
    - 벼의 경우, 지역과 품종마다 그 차이가 있지만, 등숙기간(벼에서 낱알이 생긴 후 성숙하는 기간)에 일교차가 충분히 커야 좋은 품질의 벼생산량이 증가할 수 있다.
    - 그러나 온난화에 의해 기온이 상승하면, 벼의 발육속도가 빨라지고, 등숙기간에도 일교차가 크지 않은 날이 계속되므로 쪽정이벼가 생기는 등 벼의 생산성은 급격히 감소할 수 있다.

- <그림1>은 이와 같은 기후변화에 따른 벼 생산량의 변화를 예측한 연구결과를 보여주고 있다.

- ✓ 즉, 기후변화는 지역에 따라 다르지만, 작물 재배지역에 영향을 주어 작물생산의 증감에 영향을



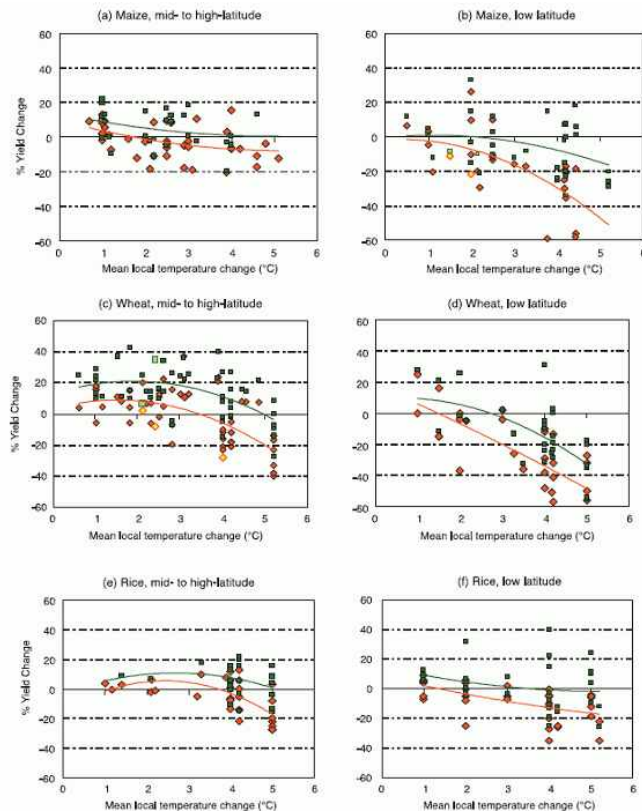
\* 자료출처: 한화진 외 (2007) CERES-rice 모형

<그림 1> A2 시나리오에 근거한 현재(1971~2000)와 미래(2080s)

줄 수 있음을 의미한다(<그림2>).

- ✓ 이는 기후변화가 농업 경제에도 영향을 줄 수 있다(<그림3>).
- ✓ <그림1>을 좀 더 자세히 살펴보면, IPCC 시나리오(A2)에 근거한 현재와 미래의 벼생산량을 보여주고 있다.
- 연구결과에서, 벼생산량은 기후변화가 진행됨에 따라 전국 평균 약 15% 가량 감소될 것으로 예측되며, 남서해안지역은 20%까지도 감소할 수 있음을 예측하고 있다.
- ✓ <그림 2>를 더 자세히 살펴보자. 평균지역온도 변화에 따른 옥수수(a)(b), 밀(c)(d), 쌀(e)(f) 생산량 민감도를 보여주고 있다. 좌측은 중위도 및 고위도, 우측은 저위도의 결과이다.
- ✓ 전반적으로 그 차이는 있지만, 온도가 증가할 수록 생산량이 감소하고 있음을 알 수 있다.
- ✓ 붉은 점은 기후변화 적응을 고려하지 않은 경우이며, 녹색 점은 기후변화 적응을 고려한 경우를 나타낸다. 전반적으로 적응정책을 시행할 경우, 온도에 따라 작물생산성의 감소폭은 현저하게 줄어들고 있다.
- ✓ 옥수수의 경우 중위도 및 고위도 지역에서 1도 상승시 5%가량의 수확량이 감소하고 있고, 저위도 지역에서는 2도 상승 이상의 변화가 일어날 경우 급격한 생산량 감소(약10%)가 일어난다.
- ✓ 밀의 경우 옥수수보다 더 급격한 감소를 보이고 있다.
- ✓ 벼의 경우, 열에 대한 내성이 강한 작물이므로 중위도 및 고위도 지역에서 1~3도 가량 상승할때까

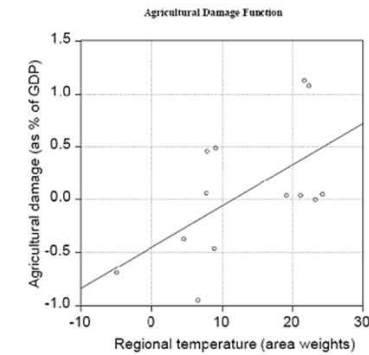
지는 큰 변화를 보이지 않다가, 그 이상의 온도상승부터 1도마다 약5% 감소한다.



출처: IPCC AR4 (2007)

<그림 2> 평균지역온도 변화에 따른 옥수수, 밀, 쌀 생산량 민감도

- ✓ 다음 <그림 3>은 기후변화가 농업에 미치는 경제적 부정적인 영향을 보여주고 있다.
- ✓ 지역의 평균온도와 농업 피해 산정을 예측한 결과인데, 지역의 평균온도가 증가할수록 농업 피해가 커짐을 알 수 있다.



출처: Warren et al.(2004)

<그림 3> 지역의 평균온도와 농업 피해 산정  
(% GDP로 표현)

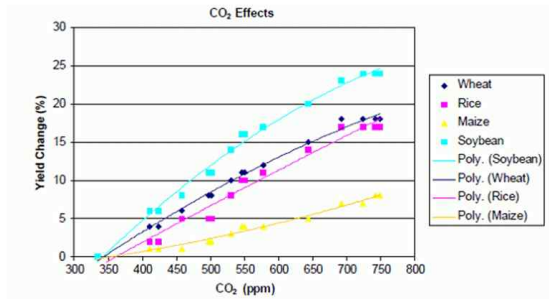
다. 기후변화가 작물생산에 미치는 부정적 영향을 완화시킬 수 있는 요인

1) 기후변화에 “적응”하기 위한 농경방식이 도입될 경우

- ✓ 고온이나 높은 이산화탄소 농도에 잘 자라는 작물 종의 개발
- ✓ 살충제의 사용
- ✓ 파종, 수확 및 관개 시기의 변화
- ✓ 이와 같이 농부는 변화된 기후에 적응하여 작물생산에 피해를 입지 않도록 많은 노력을 하고 있음
- ✓ 그러나 많은 농부들이 위와 같은 적응전략을 알고 있음에도 불구하고 장기적으로 매우 서서히 변화하는 기후에 농업을 변화시키려고 준비하는 농부는 그리 많지 않음

2) 대기중 이산화탄소 농도 증가가 고려될 경우

- ✓ 이산화탄소는 광합성의 원료로서 이산화탄소의 농도가 높아지면 일반적으로 광합성량이 많아질 것으로 예측함
- ✓ 이를 이산화탄소 시비효과 (CO2 fertilization)라고 한다(<그림 4>)
- ✓ 그러나 이런 이산화탄소 시비효과는 아직 불확실하다. 그 이유는 이산화탄소 농도 변화에 따라 일어나는 식물 생리적인 변화기작 (예를 들어 기공 개폐의 변화라든지 수분이용효율의 변화)가 아직 완전히 밝혀져 있지 않게 때문이다



출처: Parry et al.(2004)

<그림 4> 벼, 옥수수 및 대두의 이산화탄소 시비효과  
(CO<sub>2</sub> fertilization)

- ✓ 그림4>는 이산화탄소 시비효과를 밭, 쌀, 옥수수, 대두별로 정리한 것이다.
- ✓ 전반적으로 이산화탄소의 농도가 증가할 수록 밀, 벼, 옥수수 및 대두의 시비의 효과가 큰 것으로 보인다.
- ✓ 시비의 효과의 정도는 대두가 가장 크고, 다음으로 밀, 쌀, 그리고 옥수수의 순서로 나타났다.

### 3) 온난화의 정도가 밤과 낮이 다를 수 있다는 사실을 적용할 경우

- ✓ 많은 작물들은 생육기간 동안의 낮시간에 기온이 큰폭으로 상승한다고 하면 광합성량이 감소하고 증발산량이 증가하게 되어 전체 생산성에 부정적인 영향을 받게 된다
- ✓ 그러나 기후변화로 인해 구름의 양이 많아지게 되고 밤낮으로 온난화되는 정도가 다르다는 기후에 측이 되었다. 즉 낮시간에 비해 밤시간에 온도의 증가가 더 크다는 것을 의미한다.
- ✓ 만약 이와 같은 현상이 고려된다면 기후변화로 인해 받게 될 작물생산에 있어서의 부정적 영향이 큰폭으로 감소될 수 있음을 의미한다.

### 4) 기후변화가 작물생산에 미치는 부정적 영향을 약화시킬 수 있는 요인들

- ✓ 수자원과의 시너지 효과
  - 전세계적인 농경지의 관개율은 약 20%에 불과하고 이 농경지가 전세계 작물생산의 40%를 담당하고 있다
  - 기후변화로 인해 가용한 수자원이 부족하게 되면 관개 시스템이 잘 되어 있지 않거나 물이 부족한 지역에서는 식량생산이 감소할 수 있다.
- ✓ 기후변화에 따른 병충해 발생의 증가

- 기후변화로 인해 스트레스를 받는 작물의 경우는 해충이나 식물병리에 더 취약하여 기후변화에 스트레스를 받지 않는 작물에 비해서도 더 심한 피해를 받을수도 있다.
- 사례(1): 진드기는 대표적인 초식곤충으로 이는 증가된 온도 및 이산화탄소 농도 조건에서 크게 생장하여 농작물에 큰 피해를 가져올 수 있다.
- 사례(2): 대두식물에 피해를 주는 해충은 겨울이 점점 따뜻해지면서 서식지가 북쪽까지 확장되고 봄이 빨리 옴으로 인해 생육의 초기단계에 큰 영향을 줄 수 있음

## 2. 기후변화와 식량수급

### 가.온대지방

- ✓ 온대지방의 대부분의 선진국은 기후변화에 따른 농업생산량의 부정적 영향을 상대적으로 조금만 받게 된다. 심지어 기후변화로 인해 생산량의 증대가 일어나기도 한다
- ✓ 북유럽의 경우 기후변화가 겨울밀의 생산량을 10-20% 증가시킬것이라는 예측이 나오기도 했음
- ✓ 캐나다의 경우 기후변화에 따른 작물생산량의 변동은 지역 및 작물 종류에 따라 다르다는 연구가 진행되었음. 옥수수는 약 20%가량 증가하고 밀과 대두는 20-30% 감소할 것이라고 예측됨

### 나.열대 및 아열대 지방

- ✓ 이 지역에는 선진국보다 개발도상국이 더 많이 분포되어 있음
- ✓ 대부분의 생산량 예측이 부정적임
- ✓ 남유럽은 물부족으로 인해 생산량 감소가 예측됨
- ✓ 가난한 열대지방 나라나 저지대 국가 및 도서지역은 기후변화에 특별히 취약함
  - 이곳은 물부족, 가난, 해수면상승으로 인한 홍수 피해, 계속되는 인구증가 등으로 작물생산량 감소 및 작물 수급의 불균형이 초래되었음
  - 이집트의 경우 나일강 유역의 해수면 상승으로 인해 심각한 식량 생산량 감소가 일어나고 있음
  - 트리니다드의 경우 지속적 온난화로 인하여 사탕수수 생산량이 심각하게 감소되었다
  - 대부분의 라틴아메리카 국가에서는 인간에 의한 농경지 조건의 악화(토양오염이나 토양침식 및 산성화)가 기후변화와 함께 작용하여 심각한 작물생산량 감소가 예측되고 있음

### 나.중동 및 건조 아시아

- ✓ 이 지역의 문제는 급격한 인구증가와 관개에 의존할 수 밖에 없는 작물생산이 문제임
- ✓ 기후변화로 인해 물부족이 예상되고 이는 관개율이 낮은 이 지역의 농업에 부정적 영향을 미침

- ✓ 카자흐스탄의 경우는 주요 작물인 보밀의 생산량이 약 60%까지도 감소할 것이라고 예측됨

### 3. 기후변화가 전세계 농업에 미치는 영향에 관한 정리

- ✓ 적도 및 저위도 지역에는 부정적 영향
- ✓ 고위도 지역에는 긍정적 영향
- ✓ 중위도 지역은 부정적/긍정적 영향이 섞여 있음
- ✓ 모형에 의하면 일반적으로 1~2도의 지구평균온도의 증가는 긍정적이라고 볼 수도 있으나 3도 이상의 증가는 식량생산의 감소를 가져올 것이라고 함
- ✓ 선진국에서는 작물생산량 감소가 거의 예측되지 않음
- ✓ 하지만 저개발 국가에서는 기술적인 적응과 적응능력이 형성되지 못함으로 인해 생산량에 상당한 감소가 있을 것으로 예상됨

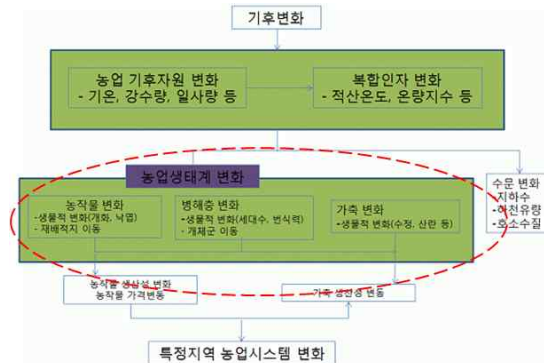
### 4. 기후변화에 따른 농업생태계 변화

#### 가. 서론

- ✓ 기후는 농업생태계에 영향을 준다.
  - 농업생태계는 기온, 강수량 등 기상환경에 영향을 받는다.
  - 한반도 관측결과, 사과와 보리 등 작물적지이동이 남쪽으로부터 북쪽으로 이동하고 있음
  - 현재 한국의 남부지방에서 문제가 되는 벼줄무늬잎마름병이 이미 남부지방에서 서해안을 따라 강화까지 북상한 사실이 2001년도에 확인됨으로써 온난화에 따른 병충해 영향확산이 확인됨
- ✓ 앞에서 살펴본 것처럼 기후는 농업에 영향을 준다. 반면 농업도 기후에 영향을 준다.
  - 오랫동안 숲의 상태로 유지되던 곳이 농경지로 경작이 시작될 경우 대기중으로 많은 양의 이산화탄소를 방출하게 됨
  - 500그램의 소고기 스테이크를 만들기 위해서는 약 20,000칼로리의 화석연료를 연소해야한다는 분석이 나올 정도로 농업은 온실효과기체의 발생에 하나의 원인을 제공하고 있다.

#### 나. 기후변화에 따른 농업생태계 변화

- ✓ 기후변화에 따른 농업 생태계의 변화는 하나의 상황에 대하여 하나의 반응이 나타나는 것이 아니라, 여러 가지 상황에 대하여 하나의 반응을 나타내거나, 하나의 상황에 대하여 여러 반응을 나타낸다. 이러한 복잡한 기후변화에 따른 농업 부문의 변화에 대한 기작을 다음과 같이 정리할 수 있다.



출처: 농업과학기술원 (2007)

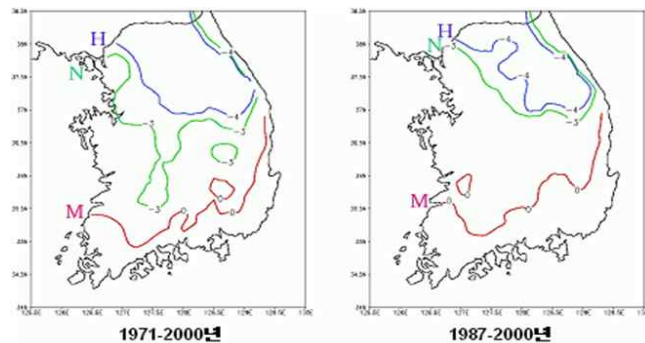
<그림 1>기후변화에 따른 농업 생태계 변화기작

- ✓ 기후변화에 따른 농업생태계 변화를 <그림5>에서와 같이 농작물 변화(작물적지이동), 병해충 변화, 가축변화로 나누어 살펴보도록 하자.

#### 다. 작물적지이동

- ✓ 농업생산 활동은 자연환경 가운데 온도, 습도 및 강수량 등 기상환경에 영향을 많이 받음
- ✓ 일 평균기온이 5도 이상인 일수의 지속기간(식물기간)은 작물의 월동(가을철)과 생육(봄철)에 중요한 지표가 됨
- ✓ 지구온난화로 한국의 연평균 온도가 현재보다 3~4도 정도 상승 시
  - 작물재배 가능 기간이 늘어나고 작물재배 가능지역도 북상하여 확대될 것으로 예상
  - 재배작목 다양화, 작목선택의 폭 확장
- ✓ 그러므로 기후변화에 의해 작물적지이동이 일어날것으로 볼 수 있다. 다음 <그림 6> <그림7>를 통해 좀 더 자세히 살펴보도록 하자.

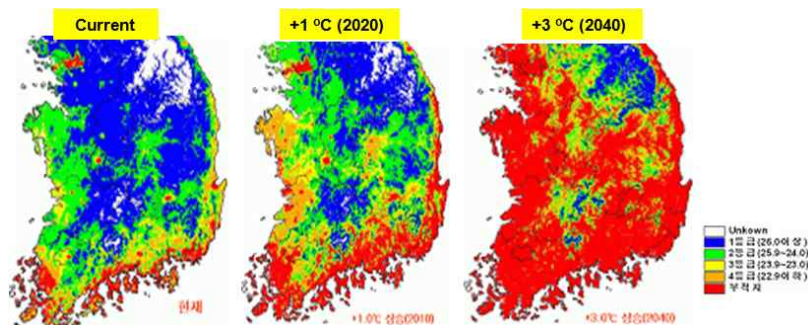
- ✓ <그림 6>은 시간이 지남에 따라 겉보리와 쌀보리, 맥주보리의 안전 재배지역 변화를 살펴본 그림이다.
- ✓ 그림을 살펴보면, 보리의 종에 따라 그 정도는 다르지만 안전 재배지역이 북상한 것을 알 수 있다.



자료출처: 심교문 외 (2004)

<그림 6>곶보리(H), 쌀보리(N), 맥주보리(M) 안전 재배지역 변화

- ✓ <그림 7>은 기온이 상승함에 따라 사과 재배 적지 분포의 변화를 예측한 결과이다.
- ✓ 그림을 살펴보면, 현재(Current)에 비하여 온도가 상승함에 따라 부적지(빨간영역)이 남쪽으로부터 더 증가하고 있음을 알 수 있다.



자료 출처: 서형호 (2005)

<그림 7>기온상승에 따른 사과 재배 적지 분포 변화

기후적 사과 재배적지 판정 모형을 이용

#### 나. 병해충 변화

- ✓ 날씨가 따뜻하면 곤충들은 더 빨리 자라고, 더욱 자주 번식하며, 더 일찍 이동함
- ✓ 따라서 기후변화로 인하여 온대지방에는 지금의 해충피해보다 훨씬 다양하고, 빈번하며, 규모가 큰 피해가 발생할 수 있다.
  - 벼멸구, 애멸구 등의 월동함에 의한 토착해충화 가능
  - 이화명나방 및 진딧물류의 연중발생 가능성 상승
  - 곤충에 의해 옮겨지는 병원균 중 벼오갈병 등과 같은 바이러스병의 복상 가능성
  - 현재 한국의 남부지방에서 문제가 되는 벼줄무늬잎마름병, 오갈병등의 복상이 예측됨
  - 이미 남부지방에서 서해안을 따라 강화까지 복상한 사실이 2001년도에 확인됨

#### 다. 가축 변화

##### 1) 기후변화에 따른 축산에서의 영향

- ✓ 기후변화로 인해 작물생산이 변동하고 이는 축산 사료의 가격에도 영향을 주게 된다
- ✓ 한여름의 폭서는 가축들의 건강에 영향을 주게 되어 양계업이나 우유생산 등에 영향을 주게 됨
  - 예) 젖소는 고온 스트레스에 의한 사료섭취량이 감소하고 생산성과 번식률이 저하된다고 보고됨 (농업과학기술원, 2007)
  - 예) 돼지는 지방층이 두껍고 땀샘이 퇴화되어 있어 고온장해에 민감한 가축이므로 고온 스트레스를 받으면 발정제귀 지연, 미약 발정, 배란수 감소, 정자활력 감소등으로 인한 수태율이 저하된다고 보고됨(농업과학기술원, 2007)

#### 5. 농업이 기후변화에 미치는 영향

##### 가. 토지이용의 변화 (산림이나 초지의 농경지 전용)를 통한 이산화탄소의 방출

- ✓ 농경지 전용이란 오랫동안 산림이나 초지로 유지되던 지역의 나무를 베고 농경지로 이용하는 것을 말한다
- ✓ 이에 의한 이산화탄소 방출량은 전지구적으로 볼 때 화석연료 연소 다음으로 그 양이 크다
- ✓ 오래된 산림이나 초지에는 농경지보다 약 20에서 40배 많은 양의 탄소가 식물과 토양에 유기물 형태로 저장되어 있다
- ✓ 이를 농경지로 전환할 경우 그동안 저장되었던 탄소가 다시 대기로 날아가게 된다
- ✓ 농경지 전용이 의해 토양 내의 탄소량은 산림이나 초지에 저장되었던 탄소량의 절반가량으로 감소하게 됨

##### 나. 메탄의 발생

- ✓ 메탄은 이산화탄소 다음으로 중요한 온실효과 기체임

#### 1) 논에서의 메탄 발생

- ✓ 전지구에서 발생하는 메탄의 약 40%가 논에서 발생하는 메탄임
- ✓ 물에 잠겨진 벼논의 토양에서는 혐기성 조건(산소 농도가 매우 낮음)이 형성되어 메탄생성 박테리아의 활동으로 인해 메탄의 발생이 일어남

#### 2) 가축의 사육

- ✓ 전지구에서 발생하는 메탄 발생량의 약 15%를 차지하고 있음
- ✓ 반추동물(소, 양, 염소 등)은 풀과 다른 섬유소 사료를 소화하는 과정에서 메탄을 발생시킴.(소 그림이 첨가되는 것이 좋을 것 같습니다.) 이중 소는 메탄 발생을 가장 많이 시키는 동물임

### 다. 아산화질소의 발생

#### 1) 농경지 전용에 의한 아산화질소의 발생

- ✓ 탄소와 마찬가지로 식생과 토양에 저장되었던 질소가 농경지 전용 과정에서 대기 중으로 소실됨

#### 2) 질소비료의 시비에 의한 아산화질소 발생

- ✓ 농경지에 질소비료를 시비할 경우 토양에서의 탈질과정이 일어나 아산화질소가 발생됨 (탈질과정: 미생물이 질산이나 아질산염을 환원시켜서 대기 중 질소기체로 전환하는 과정을 말한다. 최종 산물은 질소기체(N<sub>2</sub>)이지만 과정 중에 아산화질소가 발생할 수 있다)
- ✓ 전지구적으로 볼 때 매년 8백만~2천2 백만 톤의 아산화질소가 발생되는데 그중 약 0.14~2.4 백만 톤은 질소비료 시비에 의한 것으로 추정되고 있음

### 라. 농경방식 전환에 따른 온실효과 기체 방출의 변화

- ✓ 일반적으로 우리가 먹고 있는 쌀, 밀, 옥수수 등의 농작물을 키우는 농경활동은 온실효과기체를 결국은 방출하는 활동이므로 온실효과의 원인을 제공한다고 말할 수 있다. 다음의 농경활동들은 농경지에서의 온실효과기체의 발생에 영향을 주는 행동들이다

#### 1) 무경운 경작방식

- ✓ '경운'이란 밭을 갈다는 뜻으로 농경이 시작된 이래 지속된 농경방식이다. <그림8>처럼 동물을 이용하여 밭을 갈면 토양에 산소가 공급되고 유기물이 토양 속까지 잘 섞여 농업생산성을 높인다는 목적으로 이용되었다.
- ✓ <그림9>기계화된 경운
- ✓ 그러나 이런 경운은 산소공급 및 유기물 혼합이라는 긍정적 측면 이외 토양 유실이라는 문제점이 있다. 토양 표면에 토양을 덮고 있는 유기물의 일부는 거두어 가고 일부는 섞이게 만듦으로 토양

표면이 깨끗이 정리되지만 대신 바람이나 강우에 의한 토양유실을 막을 수는 없다

- ✓ 이런 의미에서 토양 유실을 방지하자는 목적으로 시작된 무경운(<그림 10> 참조)은 토양유실 방지 뿐만 아니라 토양내의 유기물 보유량이 증가됨으로 인해서 대기 중 이산화탄소를 더 많이 저장할 수 있는 방법으로 기후변화 완화에 도움을 준다



<그림 8>동물을 이용한 경운



<그림 9>기계를 이용한 경운



<그림 10>무경운 (수확한 유기물을 토양표면에 남겨둔 채 밭을 갈지 않는 농경방식)

#### 2) 윤작 (crop rotation)

- ✓ 윤작이란 같은 농경지에 교대로 다른 종류의 작물을 키우는 농경방식을 말함
- ✓ 이의 목적은 같은 작물을 지속적으로 심었을 때 나타날 수 있는 병충해의 발생을 피하고자 함에 있고 또한 특정 토양 무기양분이 지속적으로 감소하는 것을 방지할 수도 있다.
- ✓ 윤작의 대표적인 사례는 콩과 식물을 일반 곡류와 교대로 경작함으로써 질소의 부족을 보충하는 것이다. .
- ✓ 윤작은 뿌리가 깊게 내려가는 식물과 뿌리가 얇은 식물을 교대로 키움으로 인해 토양 구조 발달에

도 도움을 줄 수 있다

- ✓ 만약 콩과식물과 일반곡류의 윤작을 한다면 콩과식물의 질소고정 작용에 의해 토양 내에 질소가 대기중으로 부터 유입되게 되므로 비료 사용량을 줄일 수 있게 된다
- ✓ 비료 사용량이 줄어들면 결국 비료사용에 따른 아산화질소 발생이 줄어들게 되므로 윤작은 온실효과기체 발생에 영향을 줄 수 있는 것이다.