

## 기후변화와 농업생산의 전망과 대책

윤성호 · 임정남 · 이정택 · 심교문 · 황규홍

농촌진흥청 농업과학기술원 농업환경부

(2001년 10월 30일 수락)

## Climate Change and Coping with Vulnerability of Agricultural Productivity

Seong-Ho Yun, Jeong-Nam Im, Jeong-Taek Lee, Kyo-Moon Shim and Kyu-Hong Hwang

National Institute of Agricultural Science and Technology RDA, Suweon 441-707, Korea

(Manuscript accepted October 30, 2001)

### ABSTRACT

Over the 20th century global temperature increase has been 0.6°C. The globally averaged surface temperature is projected to increase by 1.4 to 5.8°C over the period 1990 to 2100. Nearly all land areas will have higher maximum temperature and minimum temperature, and fewer cold days and frost days. More intense precipitation events will take place over many areas. Over most mid-latitude continental interiors will have increased summer continental drying and associated risk of drought. By 2100, if the annual surface temperature increase is 3.5°C, we will have 15.9°C from 12.4°C at present. Also the annual precipitation will range 1,118-2,447 mm from 972-1,841 mm at present in Korea. Consequently the average crop periods for summer crops will be 250 days that prolonged 32 days than at present. In the case of gradual increase of global warming, an annual crop can be adapted to the changing climate through the selection of filial generations in breeding process. The perennial crops such as an apple should be shifted the chief producing place to northern or high latitude areas where below 13.5°C of the annual surface temperature. If global warming happens suddenly over the threshold atmospheric greenhouse gases, then all ecosystems will have tremendous disturbance. Agricultural land-use plan, which state that farmers decide what to plant, based on their climate-based advantages. Therefore, farmers will mitigate possible negative impacts associated with the climate change. The farmers will have application to use agricultural meteorological information system, and agricultural long-range weather forecast system for their agroecosystems management. The ideal types of crops under CO<sub>2</sub> increase and climate change conditions are considered that ecological characteristics need indispensable to accomplish the sustainable agriculture as the diversification of genetic resources from yield-oriented to biomass-oriented characteristics with higher potential of CO<sub>2</sub> absorption and primary production. In addition, a heat-and-cold tolerance, a pest resistance, an environmental adaptability, and production stability should be also incorporated collectively into integrated agroecosystem.

**Key words** : climate change, global warming, agroclimate, agroecosystem, crop ideotype.

### I. 서 언

지구정상회의를 통해서 맺은 중요한 협정은 기후변화 협약(The Convention on the Global Climate Change), 생물다양성협약(The Convention on the Biological

Diversity), 의제 21(Agenda 21)이다. 이 가운데 기후 변화협약은 1992년 6월 리우데자네이루에서 172개국의 정상들이 모인 '지구정상회의'에서 맺은 협정이다. 기후변화협약은 지구온난화로 비롯되는 기후변화가 '머지 않아 사람이 살 수 없는 지구'로 만들 것이라는 종말

론에 그 근거를 둔다.

역사상 농업에 가장 호된 채찍을 가한 종말론은 맬더스의 인구론(*An Essay on the Principle of Population*, 1798)이다. 그 채찍을 이어 오늘날에도 이른바 신맬더스주의자(Neo-Malthusian)인 레스터 브라운(Brown, 1984; 1967)이 인구와 식량에 관한 종말론을 강력히 펼치고 있다. 한편 농업과 직접 관련이 있는 가장 강력한 힘을 가진 환경종말론자는 아무래도 지구 온난화와 기후변화를 다루고 있는 기후변화정부간협의체(IPCC)가 될 것이다. 이러한 환경위기관자들에 대하여 “그릇된 전제를 설정해 놓고 엄청나게 부정확한 예측을 하고 있으며, 또 과학을 경솔하게 정치화하는데 전적인 책임이 있는 자들”이라고 비난하는 로널드 베일리(Baily, 1993)같은 사람도 있다.

인구론이나 환경위기관과 같은 종말론은 인류역사에 기여해온 바가 크고, 앞으로도 크게 기여할 것이기 때문에 긍정적으로 받아들여야 할 것으로 본다. 따라서, 2001년 IPCC(2001a, 2001b, 2001c)에서 새로이 밝힌 기후변화의 과정과 예측 시나리오를 중심으로, 농업부문에 대한 전망과 대책을 모색하고자 한다.

## II. 지구규모 기후변화

### 2.1. 기후변화의 증거

2001년에 IPCC(2001a, 2001b, 2001c)가 내놓은 Third Assessment Report(TAR)인 ‘Climate Change 2001’에 지금까지 나타난 기후변화의 상황을 과학적 근거를 바탕으로 밝혔다. 그 결과를 보면 기후요소별로 뚜렷한 기후변화를 확인할 수 있다.

#### 2.1.1. 지구표면온도 상승

20세기에 걸쳐 바다와 육지를 포함하는 지구표면온도는  $0.6^{\circ}\text{C}$ 가 올라갔다. 지구온도가 뚜렷하게 올라가기 시작한 것은 1861년부터이며, 1910-45년 사이와 1976-2000년 사이의 두 기간에 크게 상승하였다. 1990년대가 가장 따뜻한 10년 동안으로 기록되었으며, 1861년 이래 1998년이 가장 따뜻했던 해였다. 1950-93년 동안에는 밤의 최저기온이 10년마다  $0.2^{\circ}\text{C}$ 씩 상승하였는데, 이것은 같은 기간의 낮 기온 상승폭의 배였다. 북반구의 중위도와 고위도에서는 얼지 않는 기간이 늘어났다. 육지의 온도는 표면해수온도 상승폭보다 배나 높았다. 1950년 이래 흑한 출현빈도는 줄었으나 후서 출현빈도는 조금 증가한 경향이였다.

#### 2.1.2. 대기권 온도 상승

지난 40년 동안 지상 8 km까지 대기의 온도는 지표대기온도와 같이 10년마다  $0.1^{\circ}\text{C}$ 씩 올라갔다.

#### 2.1.3. 눈과 얼음 덮인 면적 감소

지구상의 눈과 얼음이 덮인 면적은 1960년대 후반부터 감소하기 시작하여 지난 40년 동안 약 10%가 줄었다. 북반구의 해양얼음면적은 1950년 보다 10-15% 줄어들었고, 늦여름과 초가을에 측정된 극지의 얼음 두께는 40%가 얇아졌다.

#### 2.1.4. 해수면 상승과 해양의 蓄熱 증가

해수면은 20세기 동안 10-20 cm가 상승되었고, 1950년 이후 海洋蓄熱이 커져 바닷물의 열팽창(thermal expansion)은 극지의 해빙과 더불어 해수면 상승을 부추겨 왔다.

#### 2.1.5. 강수량과 가뭄현상 증가

북반구 대륙의 중위도와 고위도의 강수량은 10년마다 0.5-1.0% 증가하였고, 열대지방에서는 10년마다 0.2-0.3% 증가하였다. 20세기 동안 북반구 중위도와 고위도의 호우현상이 2-4% 증가하였다. 1900-95년 사이에 흑독한 가뭄과 심한 습윤현상도 조금 증가하였는데, 여기에는 ENSO(El Niño and Southern Oscillation)가 관련되었다. 최근 10년 동안에는 아시아와 아프리카에 가뭄현상이 증가하였다.

#### 2.1.6. 기후변화 측면에서 변하지 않은 중요한 현상

남반구와 남극에는 최근 들어 온난화 현상의 증거가 나타나지 않고 있고, 1978년 이래 남극대륙의 얼음 덮인 면적에도 변화가 없으며, 열대성 폭풍(태풍)의 강도와 발생빈도에는 변화가 없는 것 등은 기후변화와 무관한 현상처럼 보인다.

## 2.2. 기후변화의 원인

인간활동으로 인한 대기의 온실가스 농도는 계속 증가할 것이고, 이로 인한 복사효과 증가(온난화)도 계속 진행될 것으로 내다보고 있다.

### 2.2.1. 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)

이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도는 1750년 이후 31%(현재 368 ppm)가 증가되었으며, 지난 42,000년 동안 현재의 농도를 초과한 적이 없다. 지난 20년 동안 인간활동으로 배출된 이산화탄소의 1/3은 화석연료의 사용에서, 1/4은 토지사용 변경과 삼림벌채에 기인한다. 현재 바다와 육지가 인간활동으로 배출된 이산화탄소의 1/2을 흡수하지만, 1990년대에 육지에서 흡수한 이산화탄

소의 양은 삼림벌채로 늘어난 이산화탄소의 양을 초과한 것으로 추정되었다.

지난 20년 동안 대기 이산화탄소는 1.5 ppm(0.4%) 증가하였는데, 1990년대에 해마다 증가된 양은 0.9-2.8 ppm의 범위였다. 이러한 연차간 큰 차이는 엘니뇨와 같은 기상변이로 바다와 육지에서 이산화탄소를 흡수하고 배출하는 양이 달라진 것이 원인으로 지적되었다.

### 2.2.2. 메탄(CH<sub>4</sub>)

대기 메탄 농도는 1750년 이후 1,760 ppb(151%)로 증가하였는데, 지난 420,000년 동안 현재의 농도를 초과한 적이 없다. 메탄농도의 연간 증가 속도는 느리지만 1990년대는 1980년대 보다 변이가 커졌다. 현재 메탄 배출량의 1/2은 화석연료 사용, 반추가축, 벼, 쓰레기 매립 등과 같은 인간활동이 차지한다. 최근에는 대기에 일산화탄소(CO)의 농도가 증가하는 것도 메탄의 농도 증가가 원인이라는 사실이 밝혀졌다.

### 2.2.3. 아산화질소(N<sub>2</sub>O)

대기 아산화질소의 농도는 1750년이래 17%(46 ppb)가 증가하여 316 ppb에 이르렀는데, 최소한 지난 1,000년 동안 현재농도를 초과한 적이 없다. 현재 아산화질소 배출의 1/3은 인간활동(농경지, 축사, 화학공장 등)이 차지하고 있다.

### 2.2.4. Halocarbon 가스(CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)

1995년부터 오존층을 파괴하는 Halocarbon가스종류(CFCl<sub>3</sub>, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>)는 아주 느리게 증가하거나 감소하는 추세에 있다. 그 원인은 몬트리올 의정서(Montreal Protocol)의 이행에 있다고 보고 있다. 따라서 배출량 조절로 21세기에는 파괴된 오존층이 복원될 것으로 전망하고 있다. 그렇지만 perfluorocarbon(PFCs), sulphur hexafluoride(SFs) 같은 온실가스의 농도는 증가 추세에 있다.

### 2.2.5. 온실가스 종류별 복사효과

대기에서 잘 혼합된 상태일 때 각종 온실가스의 복사에너지(온난화 효과)를 1750년부터 2000년까지의 자료로 추정된 결과, 전체 복사에너지(radiative force)는 2.43 Wm<sup>-2</sup>인데, 그 가운데 온실가스 종류에 따라 CO<sub>2</sub> 1.46 Wm<sup>-2</sup>, CH<sub>4</sub> 0.48 Wm<sup>-2</sup>, halocarbon 0.34 Wm<sup>-2</sup>, N<sub>2</sub>O 0.15 Wm<sup>-2</sup>를 차지하였다.

## 2.3. 기후변화의 전망

지난 50년 동안 관측된 결과는 인간활동이 지구온

난화에 영향을 주었다는 강력한 증거이며, 이들 증거를 종합하면 인간활동이 기후에 영향을 준다는 것을 인정할 수 있다고 IPCC(2001a, 2001b)는 결론을 내렸다. 따라서 21세기에도 인간활동은 계속하여 대기조성에 영향을 줄 것이기 때문에 이에 대하여 IPCC(2001a)는 SRES(Special Report on Emission Scenario)를 작성하여 발표한 것이다.

### 2.3.1. 대기 온실가스 농도

지금처럼 화석연료를 계속 사용하면 앞으로도 이산화탄소가 지구온난화의 주범이 될 것이다. 대기 이산화탄소 농도가 증가되면 바다와 육지가 인간활동으로 배출한 이산화탄소를 흡수하는 비율은 감소할 것이다. 2100년까지 대기 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도는 540-970 ppm으로 증가하여, 1750년 당시 280 ppm에 대하여 90-250%가 증가될 것으로 전망하였다. 토지사용의 변화 또한 대기 이산화탄소 농도에 영향을 줄 것으로 내다보았다.

이산화탄소 외의 온실가스에 대한 2100년까지 대기 농도를 추정한 결과를 보면, 메탄(CH<sub>4</sub>)은 현재 1,760 ppb에 대하여 -190~+1,970 ppb로 변할 것이며, 아산화질소(N<sub>2</sub>O)는 현재 316 ppb에 대하여 -38~+144 ppb로 달라질 것이며, 대류권의 오존(O<sub>3</sub>)은 현재보다 -12~+60%로 변할 것으로 추정되었다.

한편, 인간활동으로 대기 중에 배출된 에어로졸은 지표의 복사에너지를 억제하는 효과가 있지만 수명이 길지 않고, 자연요인은 지난 세기 동안 기후변화에 영향을 주지 않은 것으로 판단되어 기후변화예측에서 고려되지 않았다.

대기 중에서 지표를 향하여 되쏘는 복사에너지를 안정상태로 조절하려면 온실가스 농도 저감은 반드시 필요하다.

### 2.3.2. 지구온난화와 해수면 상승

IPCC에서 35개의 SRES 시나리오로 추정된 지구온난화와 해수면 상승에 대한 결과를 보면 그 범위가 넓다. 따라서 앞으로 기후변화 추정모델의 신뢰도를 높이려면 기후변화의 진행을 면밀하게 이해하여야 할 것이며, 기후변화모델에 빠져있는 증발산, 바다얼음의 동태, 바다의 熱流(heat flux)가 포함되어야 할 것이며, 이 모델을 뒷받침하는 엘니뇨(ENSO), 몬순, 북대서양 진동(North Atlantic Oscillation) 등에 대한 모델을 개발하여야 할 것이라고 IPCC(2001a)는 주장하고 있다.

**(1) 온도**

지구의 온도는 1990-2100년 사이에 1.4-5.8°C 상승할 것으로 추정되었는데, 그 가운데 IS92 Model이 추정한 결과는 1.0-3.5°C가 상승할 것으로 전망되었다. IPCC(2001a)는 적어도 앞으로 20-30년 동안에는 매 10년마다 0.1-0.2°C 상승할 것으로 내다보았다.

육지의 온도가 지구전체 온도보다 급격히 온난화 될 것인데, 특별히 북반구의 겨울철에 온난화가 두드러질 것이지만, 남부와 남동 아시아의 여름과 남미대륙의 남부지방 겨울철에는 지구평균보다 낮은 온난화현상이 예상된다고 하였다. 적도 동태평양의 해수온도가 상승하여 태평양의 降水帶를 동쪽으로 이동하게 하는 ENSO 현상도 지구온난화와 관련이 있는 것으로 보고 있다.

**(2) 강수**

21세기 중반까지 북반구의 중위도와 고위도, 남극의 겨울철 강수량은 증가할 것이며, 저위도의 육지는 강수량의 지역 편차가 클 것으로 전망하였다. 지구 전체의 강수량은 대체로 지역 편차와 연차간 편차가 크며, 강수량이 증가하는 경향을 보일 것으로 내다보았다.

**(3) ENSO**

엘니뇨의 빈도, 진폭은 증가하고, 공간 양상은 다소 변할 것이라고 하였는데, 전형적인 엘니뇨 기상과 무관하다고 보는 우리나라에도 앞으로 그 영향이 미칠 가능성을 시사하여 주목된다. 가령 엘니뇨의 진폭이 변하지 않는다고 하여도 지구 온난화는 가뭄, 호우, 홍수 등의 피해를 엘니뇨현상과 동시에 가져올 것이다.

**(4) 몬순(장마)**

지구온난화는 아시아 몬순의 강수량에 커다란 변이를 가져다 줄 것이다. 따라서 장마에 대한 지역별 상세 모델이 요구된다.

**(5) 열염분순환(熱鹽分循環, thermohaline circulation)**

북반구에는 열염분순환이 약해지기 때문에 해양에서 열수송이 활발하지 못하여 해수의 온난화가 육지보다 낮을 것이라고 하였지만, 유럽에서는 온실가스로 인한 온난화가 우위를 차지할 것으로 전망하고 있다.

**(6) 눈과 얼음**

북반구에는 눈 덮인 지역과 바다얼음 분포면적이 축소될 전망이며, 남극에는 눈이 많이 내려 얼음층이 두꺼워지겠지만, 그린란드에는 비가 내려 얼음층이 얇아질 것으로 전망하였다.

**(7) 해수면**

해수면은 1990년-2100년 사이에 0.09-0.88 m 상승

할 것으로 전망하였는데 IS92 시나리오는 0.13-0.94 m 상승할 것으로 내다보아 더욱 비관적이다. 해수면 상승은 극지방의 얼음과 눈이 녹아 바다로 흘러드는 경우와 바닷물의 온도가 올라감에 따른 열팽창이 원인이다.

**2.3.3. 기후변화 관측과 예측에 대한 신뢰**

이상의 기후변화현상에 대한 20세기의 관측과 21세기 예측에 대한 신뢰도를 평가한 결과는 표 1과 같다.

대부분의 육지에서 최고기온과 최저기온이 상승하고, 더운 날이 늘어나며, 추운 날과 서리 내리는 날이 줄어들 것이라는 예상에 높은 신뢰도를 부여하였다.

강수와 관련된 기후현상에서는 대부분의 지역에서 강우의 강도가 높아질 것이라는 데 높은 신뢰도를 부여하였고, 중위도 내륙의 건조와 가뭄으로 인한 피해가 예상된다고 하였다. 열대지방에서 발생하는 태풍의 최대풍속이 더욱 강해지며, 태풍의 평균 발생빈도가 높아지고, 태풍에 동반하는 강우의 강도 또한 높아질 것으로 예상하였다.

**2.4. 기후변화가 농업환경에 미치는 영향**

현재 지구상에는 17억 인구(전체인구의 1/3)가 물부족 국가에 살고 있으며, 20% 이상이 물을 재사용하고 있다고 알려져 있다. 장차 기후변화는 농업용수, 산업용수, 생활용수 공급에 차질을 가져올 것이라고 예상한다(IPCC, 2001). 이렇게 되면 농업에서는 온난화로 증발산이 조장되어 관개요구도가 더욱 높아질 것이다.

홍수의 규모와 빈도가 증가하는 지역이 늘어남에 따라 평지의 지하수 충전에는 유리하겠지만, 토지사용변경에 따른 피해는 증가될 것이며, 증발산량 증가로 하천 고갈 현상이 나타나고, 수질은 오염물질과 수온 상승으로 더욱 나빠질 것이며, 겨울철에 눈 대신 비가 내리게 됨에 따라 계절 수문관리와 물수지에 차질이 있을 것이다.

**2.5. 기후변화가 농업에 미치는 영향**

대기 이산화탄소 농도 증가, 지구온난화, 기후변화 등에 따른 작물의 반응을 연구한 결과는 매우 다양하다(IPCC, 2001b). 기후변화 진행에 동반하여 작물, 품종, 토양조건, 해충, 병 등 농업생태계 구성요소들은 생태계의 안정을 위하여 자기조직화가 일어나겠지만, 농업생태계의 특성으로 보아 생태계 교란을 극복하자면 생태계 관리기술이 적극적으로 투입되어야 할 것이

**Table 1.** Estimates of confidence in observed and projected changes in extreme weather and climates (IPCC, 2001a)

Confidence in observed changes (latter half of the 20th century)	Changes in phenomenon	Confidence in projected changes (during the 21st century)
Likely <sup>1</sup>	Higher maximum temperatures and hot days over nearly all land areas	Very likely <sup>2</sup>
Very likely <sup>2</sup>	Higher minimum temperatures, fewer cold days and frost days over most land areas	Very likely <sup>2</sup>
Very likely <sup>2</sup>	Reduced diurnal temperature range over most land areas	Very likely <sup>2</sup>
Likely <sup>1</sup> , over many areas	Increase of heat index <sup>3</sup> over land areas	Very likely <sup>2</sup> , over most areas
Likely <sup>1</sup> , over many Northern Hemisphere mid-to high latitude land area	More intense precipitation events <sup>4</sup>	Very likely <sup>2</sup> , over most areas
Likely <sup>1</sup> , in a few area	Increased summer continental drying and associated risk or drought	Likely <sup>1</sup> , over most mid-latitude continental interiors. (Lack of consistent projections in other areas)
No observed in the few analyses available	Increase in tropical cyclone peak wind intensities <sup>5</sup>	Likely <sup>1</sup> , over some areas
Insufficient data for assessment	Increase in tropical cyclone mean and peak precipitation intensities <sup>5</sup>	Likely <sup>1</sup> , over some areas

<sup>1</sup>66-90% chance.<sup>2</sup>91-99% chance.<sup>3</sup>A combination of temperature and humidity that measures effects on human comfort.<sup>4</sup>For other areas, there are either insufficient data or conflicting analyses.<sup>5</sup>Past and future changes in tropical cyclone location and frequency are uncertain.

다. 특히 작물과 식생에 대한 이산화탄소 농도의 직접적 영향은 물론, 이산화탄소의 농도 증가가 몰고 오는 계절별 온도 변화, 물 부족, 영양물질순환의 이상, 대기의 조성과 질의 변화 등과 이들의 상호작용 등에 대하여 주시하여야 할 것이다. 현재로서는 생태계 구성요소들 간의 복잡한 상호작용으로 나타나는 결과와 그에 따른 작물의 반응과 적응에 관한 궁금함은 곧 두려움일 뿐이다. 예를 들자면 이산화탄소의 농도가 증가하면 작물의 광합성에는 유리하다고 하더라도 고온을 조장하고, 고온에 따른 과도한 증발산으로 인한 가뭄이 동반하는 등 연쇄 반응이 일어나기 때문이다.

기후변화가 닥치면 농업부문에서는 생산비 추가, 수량감소, 축산의 적응시스템 전환 등을 염두에 두어야 한다. 경종농가는 재배시기, 시비방법, 물관리, 품종의 형질 등의 개선에 중점을 두고, 축산농가는 가축의 품종의 선택과 개량을 서둘러야 할 것이다.

### III. 우리나라의 기후변화

#### 3.1. 우리나라의 기후변화 증거

1904년부터 1990년까지 우리나라의 연평균기온은 약 1°C 올라갔는데, 서울은 1.5°C가 상승하였고, 추풍령과 울릉도는 변함이 없다(조, 1992). 이러한 현상은 도시의 확장으로 열섬화(heat island) 면적이 확대되어 나타난 결과로 볼 수 있지만, 기온상승은 사실이고 그 영향 또한 부인할 수 없다.

2001년에 기상청에서 발간한 한국기후표(1971-2000년, 30년)(기상청, 2001)와 이전 기후표(1961-1990년)(기상청, 1991)를 비교하면, 연평균기온은 전국적으로 0.1~0.5°C가 상승하였다. 서울, 포항, 강릉 등지는 0.4°C가 상승하였고, 대구는 0.5°C가 상승하였다. 20세기 동안 바다와 육지를 포함하는 지구 온도가 0.6°C 상승(IPCC, 2001a)하였는데, 우리나라에서는 1961-90

년을 1971-2000년으로 교체한 기후값의 10년 차이에 서 지구온도 상승 값에 육박한 결과를 보인 것이다. 계절별로 보면 겨울철에는 0.4~0.8°C가 상승하였고, 특히 가장 추운 달인 1월에는 0.9°C까지 상승하여 ‘춥지 않은 겨울’ 날씨를 보였다. 이러한 결과는 IPCC (2001a)가 밝힌바와 같이 지난 20세기 동안 1990년대에 기온의 상승폭이 컸다는 사실을 우리나라에서도 뒷받침한다. 현재 연평균기온은 대관령의 6.4°C부터 서귀포의 16.2°C까지 폭넓게 분포하는데, 전국 평균은

12.4°C이다.

### 3.2. 우리나라의 기후변화 예상

앞으로 이산화탄소의 농도가 배로 증가된다면 우리나라의 연평균기온은 2.0~2.5°C 상승할 것이며, 10년마다 0.15~0.45°C씩 상승할 것으로 전망한 바(강, 1993) 있어, 이를 토대로 우리나라의 농업기후를 예상한 결과가 있다(윤, 1998).

그러나 2001년 IPCC(2001a)에서 발표한 TAR에

**Table 2.** Estimation of changed annual mean surface temperature in Korea based on “IS92a Model” for the global climate change of the 21st century

Present		Global warming (+3.5°C)		Place (Subpolar or temperate sites at present)
Annual mean air temperature (°C)	Climatic zone (Mean temp. of Jan.)	Annual mean air temperature (°C)	Climatic zone (Mean temp. of Jan.)	
Below 10°C	Subpolar (-7.6~-3.5°C)	9.9-13.5°C	Subpolar (-4.1°C)	(Daegwanryeong)
			Temperate (-1.7~-0.0°C)	(Inje, Taebaek, Chunyang)
10.1-11.0°C	Subpolar (-5.6~-3.8°C) Temperate (-1.6~-0.9°C)	13.6-14.5°C	Temperate (-2.1~+2.6°C)	(Cheolweon, Chucheon, Weonju, Ganghwa, Yangpyeong, Jecheon Hongcheon, Boeun) Jangsu, Imsil
11.1-12.0°C	Subpolar (-3.0~-1.8°C) Temperate (-3.0~-1.8°C)	14.6-15.5°C	Temperate (-0.6~+1.7 °C)	Incheon, Suwon, Chungju, Seosan, Chupungryeong, Andong, Icheon, Cheonan, Buyeo, Geumsan, Yeongju, Mungyeong, Uiseong, Geochang
12.1-13.0°C	Temperate (-2.8~-0.3°C)	15.6-16.5°C	Temperate (0.6~+3.8°C)	Sokcho, Gangreung, Seoul, Ulreugdo Uljin, Cheongju, Daejeon, Gunsan, Jeonju, Boryeong, Buan, Jeongeup, Namweon, Suncheon, Jangheung, Yeongdeok, Gumi, Hapcheon, Yeongcheon, Milyang, Sancheong
13.1-14.0°C	Temperate (0.0~-2.7°C)	16.6-17.5°C	Temperate (3.5~5.2°C)	Pohang, Daegu, Ulsan, Kwangju, Jinju, Haenam, Goheung, Geoje, Namhae
			Subtropical (6.2°C)	Wando
14.1-15.0°C	Temperate (1.8~3.0°C)	17.5-18.5°C	Temperate (5.3~5.7°C)	Mokpo, Yeosu
			Subtropical (6.2~6.5°C)	Masan, Busan, Tongyeong
15.1-16.0°C	Temperate (5.0~5.6°C)	18.6-19.5°C	Subtropical (8.5~9.1°C)	Jeju, Seongsanpo
16.1-17.0°C	Subtropical (6.6°C)	19.7°C	Subtropical (6.6°C)	Seogwipo

35개 SRES 시나리오를 종합하여 발표한 결과를 중요하게 보지 않을 수 없지만, 그것은 6개의 IS92a 모델보다 높게 예측되었다. 따라서 IS92a 모델로 작성한 시나리오를 우리나라에 적용해 보기로 하였다. 그 시나리오는 1990년부터 2100년까지 최고 3.5°C가 상승할 것으로 예상한 것이다.

현재 우리나라의 연평균기온 12.4°C에서 3.5°C가 상승되면 15.9°C가 되어 현재의 제주(15.5°C)보다 조금 높은 기후가 될 것이다. 표 2에서 보는 바와 같이 제주와 서귀포는 19.0-19.7°C로 올라가 완전히 아열대 기후가 될 것이다. 수원 등지는 지금의 11.7°C에서 15.1°C로 올라가 지금의 제주도 성산포와 같은 온도가 될 것이다.

현재 대관령, 인제, 춘양, 태백, 철원, 춘천, 원주, 강화, 양평, 홍천, 제천, 보은 등지는 가장 추운 달인 1월의 평균기온이 -3.0°C 이하이기 때문에 아한대기후로 구분할 수 있는데, 만약 3.5°C가 상승된다면 대관령만 빼고 나머지는 모두 온대기후로 변한다. 현재는 1월 평균기온이 6.1°C 이하이기 때문에 온대기후에 속하지만 3.5°C가 상승되면 아열대로 바뀌는 곳은 완도, 마산, 부산, 통영, 제주 성산포 등지이다.

우리나라의 강수량은 이산화탄소의 농도가 배로 증가되면 약 15%가 증가할 것으로 예상한 바 있는데(오, 1994), 기상요소 가운데 강수는 불연속 변이를 하기 때문에 그 변화 폭에 유의하여야 한다. 같은 지역에서 장기간의 습윤 또는 홍수와 건조 또는 가뭄의 대립적 양극화현상이 더욱 심해질 것이라는 예측(IPCC, 2001a)은 최근 우리나라 강수량상에 비추어볼 때 근사하다고 할 것이다. 우리나라의 연강수량은 의성의

972 mm부터 성산포의 1,841 mm까지 89%의 차이를 두고 분포하는데, 여기에 15%가 더 내린다면 의성은 1,118 mm, 성산포는 2,117 mm가 될 것이다. 그러나 온도 상승에 따른 증발산량의 증가는 오히려 물부족을 부추기게 될지도 모른다.

현재로서는 상상조차 할 수 없는 이러한 예상이 현실화된다고 해도 100년 동안 천천히 다가온다면 생태계의 자기조직화의 과정을 통하여 극복되겠지만, 만약 문턱을 넘듯이 갑자기 다가온다면 극복할 길이 없다는 데 종말론이 파고든다.

### 3.2.1. 농업기후의 변화

온대지방 농업기후에서는 작물기간을 중요시한다. 작물기간은 여름작물인 경우에는 일평균기온이 10°C (base temperature) 이상 되는 날의 연속일수이다. 표 3은 지구온난화로 현재보다 3.5°C가 상승한다고 가정하였을 때, 우리나라 주요지역의 작물기간과 작물일력(crop calendar)의 변동을 표시한 것이다. 우리나라 평야지의 평균 작물기간은 약 218일로 보면, 춘천의 200일부터 제주의 245일까지 45일의 차이를 두고 분포한다. 만약 3.5°C가 상승한다고 가정하면 평균 작물기간은 250일로 현재보다 32일이 늘어나고, 지역별로는 춘천의 227일부터 제주의 305일까지 78일의 차이를 두고 분포하게 된다.

한편, 20세기 동안 지구가 가장 따뜻했던 1998년의 우리나라 작물기간은 평년보다 평균 3.2일이 늘어났지만, 지역 간에 차이가 컸으며 일정한 경향이 없었다. 지역별 작물기간을 보면 1998년에는 평년보다 청주(17일), 수원(20일), 전주(8일), 강릉(7일), 광주(3일) 등지는 늘어났지만, 대전과 진주는 차이가 없었고, 제

**Table 3.** Estimation of changed the summer crop period\* in Korea based on "IS92a Model" for the global climate change of the 21st century

Place	[A] Crop period at present (d)	[B] Crop period at global warming[+3.5°C] (d)	[B-A] Diff. (d)	[C] Crop period in 1998 (d)	[C-A] Diff. (d)
Chuncheon	200 (8 Apr-24 Oct)	227 (28 Mar-9 Nov)	27	196 (6 Apr-18 Oct)	-4
Gangreung	220 (4 Apr-9 Nov)	254 (19 Mar-27 Nov)	34	227 (3 Apr-16 Nov)	7
Cheongju	209 (5 Apr-30 Oct)	240 (21 Mar-15 Nov)	31	226 (4 Apr-16 Nov)	17
Suwon	207 (7 Apr-30 Oct)	234 (27 Mar-15 Nov)	27	227 (4 Apr-17 Nov)	20
Daejeon	209 (5 Apr-30 Oct)	242 (20 Mar-16 Nov)	33	209 (4 Apr-31 Oct)	0
Jeonju	218 (4 Apr-7 Nov)	246 (19 Mar-19 Nov)	28	226 (4 Apr-16 Nov)	8
Gwangju	223 (4 Apr-12 Nov)	254 (18 Mar-26 Nov)	31	226 (4 Apr-16 Nov)	3
Daegu	228 (28 Mar-10 Nov)	253 (13 Mar-20 Nov)	25	226 (4 Apr-16 Nov)	-2
Jinju	220 (4 Apr-9 Nov)	246 (17 Mar-17 Nov)	26	220 (4 Apr-9 Nov)	0
Jeju	245 (28 Mar-27 Nov)	302 (27 Feb-26 Dec)	57	228 (4 Apr-17 Nov)	-17
Average	218	250	32	221	3.2

\*Summer crop period: consecutive days above 10°C of daily mean air temperature.

주(-17일), 춘천(-4일), 대구(-2일) 등지는 오히려 줄어들었다. 이러한 경향은 모델의 결과를 일제히 적용할 수 없는 어려움이 있다는 것을 시사한다.

이러한 예상을 바탕으로 작물생산에 미치는 영향을 짐작해보면, 먼저 지역 간에 조금씩 차이는 있지만 작물의 생육가능기간이 늘어난다는 장점을 꼽을 수 있다. 온대기후에서는 온도는 작물생육 제한 요소이기 때문에 이 현상은 매우 중요하다. 작물재배를 일찍 시작할 수 있고, 수량과 품질이 우수하면서 생육기간이 조금 긴 품종을 선택할 수 있다고 생각할 수 있다. 그러나 재배기간 중에 닥치는 저온 또는 고온 때문에 입는 피해를 고려해야 한다. 왜냐하면 온난화는 단지 평균온도의 상승을 일컫는 것이고, 고온과 저온 현상이 극한으로 치달는 양극화 현상은 기후변화의 특징으로 나타나기 때문이다.

양극화 현상에 따른 기상이변을 고려하지 않고, 오로지 온난화의 영향만 고려한다고 하더라도 현재의 품종특성과 재배법은 온난화조건에서 불리할 것이다. 특정한 지역에서 재배하는 작물과 품종은 자연생태계와 마찬가지로 안정된 생태계를 유지하고 있다. 이러한 생태계에 온난화는 자연선택(Darwin, 1958)과 가이아 이론(Lovelock, 1991)을 따라 한 동안 생태계가 교란을 맞이하게 될 것이다. 따라서 永年生作物인 경우는 온난화가 천천히 진행되어도 적지를 옮겨야 할 것이고, 일년생 초본작물은 온난화가 급격히 일어나지 않는다면 품종의 육성과정을 통하여 적응이 가능할 것이다.

## IV. 농업생태계 변화

### 4.1. 농업생태계의 군집 변동

온난화는 군집의 구성에 변동을 주어, 생태계가 끊임없이 교란과 안정을 거듭하는 자기조직의 과정을 밝게 할 것이다. 만약 온난화가 급격히 진행된다면 긴 시간을 통하여 발전하는 억제와 균형을 기대할 수 없어 생태계는 파괴될 것이다. 농업생태계는 자연생태계와 달리 사람이 가꾸기 때문에 언제나 대응할 수 있다는 생각은 옳지 않다. 왜냐하면 농업생태계는 개방되어있기 때문에 탄력성이 없고, 기상이변에는 속수무책이기 때문이다.

온난화가 지금의 속도로 진행된다고 하더라도 새로 생기는 식물군집은 화분매개생물이나 씨앗의 전파자를

잃어버릴 수도 있다. 천적이 없는 외래곤충들의 우점 은 생태계 전반을 파괴할 수도 있다. 생물의 지역적 다양성은 불안정한 상태로 번성하게 됨에 따라 거칠게 생육이 왕성하고 기회주의적인 생물이 득세하여 중요한 생물자원을 파괴할 것이다(Bright, 1996).

#### 4.1.1. 잡초

기후변화로 나타나는 중요한 현상 가운데 하나는 외래식물의 침입이다. 침입식물은 그 식물의 먹이연쇄에 있는 병원균과 별레가 없는 새로운 장소를 차지하면 원래 그 자리에 있던 식물은 새로운 이웃에 대한 진화적 적응력 부족으로 도태될 수 있다. 외래종의 침입은 종의 다양성이나 세계화를 위해 좋지 않느냐고 반문할 수도 있지만, 장기적으로 보면 그 반대이다. 외래종은 토착종을 몰아내고 멸종까지 몰고 간다. 외래종의 침입속도는 현재도 매우 빠른 편인데, 기후변화는 이를 더욱 부추길 것이다.

농업생태계에 아열대 또는 열대잡초가 침입하거나, 토착잡초 가운데 월동이 가능한 것들이 생기고 또 속근류의 상당수가 월동이 가능해지면, 잡초방제는 지금보다 훨씬 복잡하고 어려워질 것이다(임, 1992). 새로 나타난 식생과 먹이연쇄관계가 없는 곤충과 동물이 사라지면 생태계는 교란에서 벗어날 수가 없다. 온난화가 주도하는 기후변화는 어느 시간과 공간에 머물지 않고 계속 가속도로 진행하기 때문에 두려운 것이다.

#### 4.1.2. 해충과 병

날씨가 따뜻하면 곤충들은 더 빨리 자라고, 더욱 자주 그리고 여러 번 번식하고, 더 일찍 이동한다. 따라서 온난화가 되면 온대지방에서는 지금의 해충피해보다 훨씬 다양하고, 빈번하며, 규모도 큰 피해를 입을 수 있다. 벼에서는 벼멸구, 애멸구 따위가 월동하게 된다면 비래해충과 토착해충의 양면성을 지니게 되어 한동안 극성스러울 것이다. 그러나 한편 비래해충이 매년 발생하는 토착해충이 된다면 그에 대응하는 천적의 밀도가 높아질 것이라는 기대를 가질 수 있을 것이다. 또 이화명나방은 열대지방에서처럼 발생주기가 사라지고 벼 재배기간에는 언제나 발생하는 해충이 될 수도 있다. 진딧물류는 월동태가 사라지고 연중 발생할 것이다. 모든 해충은 또한 작부체계의 변화를 따라 종과 생태가 달라질 것이다.

북아메리카에 서식하는 나비(earth's checkerspot butterfly)는 지난 한 세기에 걸쳐 서식지가 150 km나 북상하였는데, 그 원인은 기온이 0.6°C 상승하였기 때



문이라고 밝혀진 바 있다(Nature, 1995). 해충도 그들의 번식과 서식을 막았던 기온의 벽이 이동하는 대로 그 뒤를 따라간다. 외래 침입곤충의 새로운 서식지 점 유속도는 보통 1년에 2 km가 넘는데 100 km를 넘는 경우도 있다. 이것은 지구온난화에 대한 예비적응인지도 모른다(Sutherst, *et al.*, 1995).

병원균은 곤충이 옮기는 것이 많다. 끝동매미충이 옮기는 벼오갈병과 같은 바이러스병은 온난화로 더욱 복잡할 것이다. 특히 우리나라에서 문제가 되는 벼줄무늬잎마름병, 벼검은줄무늬잎마름병, 오갈병은 말할 것도 없고, 열대성 바이러스병인 통구로, 그레이시서턴트 같은 것들이 남부지방부터 자리잡을 수 있다. 이미 벼줄무늬잎마름병은 남부지방에서 서해안을 따라 강화까지 북상한 사실이 2001년도에 확인되었다. 이러한 사실도 온난화가 원인일 것이라는 추측을 가능하게 한다.

## 4.2. 작물재배

### 4.2.1. 벼

열대작물인 벼는 온도가 높아지면 재배가능 지역은 확대되겠지만, 현재 곡창지대의 소출이 늘어날 것이라는 보장은 없다. 온난화 기후에도 현재의 수량을 유지하거나 더욱 안전한 생산을 도모하려면 상당한 대응기술이 적용되어야 할 것이다.

작물기간이 25일-57일 늘어남에 따라 조생종 재배지대는 중생종 재배지대로, 중생종 재배지대는 만생종 재배지대로 바뀔 것이고, 현재 한계지대 너머에 있는 고랭지에도 조생종 벼 재배를 시도할 것이다. 재배양식은 온도 면에서는 여유가 생겨 이양재배에서 직파재배로 전환하는 것을 제한하던 요인 가운데 하나가 완화될 것이다.

온도 상승에 따른 쌀의 소출은 현재의 재배시기를 고수하면 등숙기간의 고온 때문에 20-30% 감소될 것이지만, 등숙에 알맞게 재배시기를 옮기면 약 18%의 증수가 가능할 것이라고 추정한 바 있다(윤, 1990). 벼의 재배시기는 그 지역에서 알맞은 출수기를 중심으로 결정한다. 출수기는 품종, 작부체계, 재배양식 등의 채택에서 맨 먼저 고려하는 대상형질이다. 온대 벼농사에서 출수기는 등숙기간을 결정하고, 등숙기간의 경과 온도는 쌀의 소출과 품질을 결정한다. 자포니카 벼에 알맞은 등숙기간(출수후 40일)의 일평균기온은 21.5°C이지만(농촌진흥청, 1981), 대체로 우리나라에서 알맞은 등숙온도는 21-23°C로 보고 있다.

21-23°C를 알맞은 등숙온도로 보면, 평년(1961-1990)의 알맞은 출수기의 시작은 인체의 7월 28일부터 목포와 여수의 8월 20일까지 24일의 차이를 두고 분포하고, 출수기가 끝나야하는 마지막 날은 인체의 8월 9일부터 목포와 여수의 9월 1일까지 23일의 차이로 분포한다. 지역별로 알맞은 출수기의 지속기간은 평균 12일이다. 여기에 지구온난화로 온도가 상승한다면 알맞은 출수기간은 현재보다 일찍 시작되어 늦게 끝날 것이다. 실제로 고온으로 경과된 1998년에는 알맞은 출수기의 시작이 평년보다 8일 일찍 나타나서 마지막 알맞은 출수기는 5-17일 늦게까지 지속되는 현상을 보였다(윤과 이, 2001). 따라서 지구온난화가 1998년과 같은 경향으로 나타난다면 벼농사에서는 안정생산과 품질향상을 위하여 농업기상, 재배법, 품종육성의 방향전환이 요구된다.

한편, 자포니카 품종 가운데 25°C 이상의 고온에서도 입증이 떨어지지 않는 대안벼, 동안벼, 니혼바레, 기누히카리와 같은 품종이 2000년 한일공동연구(한국농과원일본농환연) 일본포장시험에서 발견되었다. 따라서 이러한 특성은 등숙기간의 고온으로 인한 수량의 불안정에 대한 돌파구가 될지 모른다.

일본에서 자포니카 벼 품종 Akitakomachi의 군락에 대기 이산화탄소 농도보다 200 ppm을 더 불어넣어 재배하는 Rice FACE (free-air CO<sub>2</sub> enrichment) 시험(Kobayashi *et al.*, 1999)에서 출수기 건물중이 대조구보다 이삭은 33%, 줄기와 엽초는 24%, 엽신은 6%, 뿌리는 13%가 증가되었고, 이삭수는 10-12% 증가되는 결과를 얻었다. 수량에 관한 결과는 없지만 이산화탄소 농도 증가는 작물의 바이오매스 생산을 높이는 것은 사실로 증명되었지만, 이어서 온도 상승의 영향이 검토되어야 할 것이다.

이산화탄소가 배증되었을 때 기후변화시나리오에 따른 아시아의 벼농사에 대한 예측결과를 보면(Matthews *et al.* 1997; Matthews *et al.*, 1995), ORYZ1과 SIMRIW 모델은 -4.4% 감수에서 +6.5%까지 증수하는 지역 간 차이를 보이지만, GFDL, GISS, UKMO, GCM 시나리오에서는 -5.6%의 감수를 예측하였다. GISS와 UKMO 시나리오에 따른 예측은 태국, 방글라데시, 중국남부, 인도서부 지역은 감수로, 인도네시아, 말레이시아, 타이완, 인도와 중국의 일부 지역은 증수로 나타났다. 벼농사에서도 다른 작물과 마찬가지로 이산화탄소 농도가 증가되어도 온도가 올라가기 때문에 감수

를 면치 못하며, 온존층 파괴에 따른 UV-B 증가로 초장이 짧아지고, 엽면적과 건물생산량이 줄어드는 결과를 확인하였지만 아직 전반적으로 확실한 결과를 얻지 못하였고, 벼논에서 배출되는 메탄은 물관리, 토양 특성, 벼 품종 등 세 가지 요인으로 조절이 가능하여 지구온난화를 완화하는 데 기여할 수 있지만 아직 배출량 통계와 저감효과가 모두 임시적일 뿐이라고 하였는데(Neue *et al.*, 1995) 2001년 현재도 크게 진전된 바가 없다.

4.2.2. 맥류

맥류는 재배기간의 흑한피해를 피하여 재배적지를 선정해왔으나 현재는 동해안의 동해와 영덕을 시점으로 남해안의 사천, 보성을 거쳐 서해안의 영광, 군산까지 보리를 재배하고 있고, 내륙에서는 거의 재배하지 않는다. 그 이유는 해안은 겨울에 내륙보다 덜 춥고 보리의 등숙기간에 온도가 내륙보다 낮아 입증이 무겁게 여물기 때문이다.

1987년 이후 2000년까지 흑한기 기온이 1.5°C~2.5°C 상승한 ‘춥지 않은 겨울’ 현상이 계속됨에 따라 가을보리 재배한계선의 재조정을 조심스럽게 시도한 바 있다(심 등, 2000). 가을보리는 일반적으로 1월 평균기온을 기준으로 하여 겉보리 -4°C, 쌀보리 -3°C, 맥주보리 0°C 이상 지역에서 재배가 가능한 것으로 보고 있다. 1987년부터 1999년까지 1월 평균기온의 분포로 가을보리 재배지역을 다시 구분한 결과는 그림

1과 같이 종전보다 복잡한 것을 알 수 있다. 이와 같이 온난화가 되면 맥류재배적지는 해안을 따라 복잡할 전망이다. 그러나 농작업을 어렵게 하는 파종기와 수확기의 강우현상에 대해서는 고려된 바가 없다.

밀에 FACE(개방대기 CO<sub>2</sub> 증가) 처리를 한 결과 대조구보다 밤에 군락의 온도가 0.6-1.0°C 상승하여 이슬지속기간이 30% 줄어들었고, 출수기는 4일 앞당겨졌으며, 낮에는 CO<sub>2</sub> 농도 증가로 식물체의 조직 온도가 상승하여 부분적으로 기공이 닫히고, 증산량이 줄어든 결과를 보였는데, 작물생산 면에서 이에 대한 평가가 이루어져야 할 것이며(Pinter *et al.*, 2000), 한편, FACE 처리에서 물 이용효율이 높아진 결과도 있다(Hunsaker *et al.*, 2000). 포장에서 대기 이산화탄소 농도를 높이기 위하여 이산화탄소를 불어넣는 FACE 처리와 작물군락에 적외선을 조사하여 온도를 높이는 이른바 FATI(Free-air temperature increase) 처리로 이산화탄소 농도 증가와 아울러 온도상승의 기후변화에 대비한 시험 연구(Nijis *et al.*, 1996)가 이루어지고 있어 그 종합된 결과가 주목된다.

4.2.3. 채소

호냉성 채소는 온도가 높아지면 재배적지를 찾아 이동할 수밖에 없다. 재배에 알맞은 온도를 따라 봄채소는 지금보다 일찍 가꾸어야 하고, 가을채소는 늦게 가꾸어야 할 것이다. 그러나 높은 온도를 요구하는 과채류는 현재보다 유리할 것이지만, 고온으로 인한 딸기

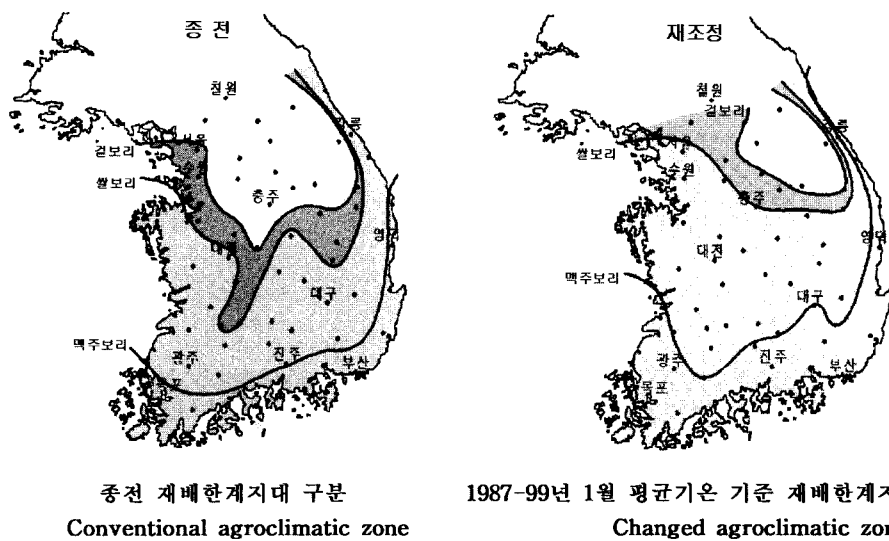


Fig. 1. Change of agroclimate zone for winter barleys (hulled, naked, and malting barley) based on mean air temperature of January for duration from 1987 to 1999(심 등, 2000).

의 화이분화 장애는 극복하여야 할 것이다. 한편 양파, 파, 상추와 같은 채소는 고온이 화이분화를 유도하여 문제를 일으킬 수 있다. 시설채소재배에는 연료가 덜 소모될 것이라고 기대하지만, 겨울철 일조부족으로 그 반대효과가 있을지도 모른다. 겨울철 온도 상승은 일조부족을 초래하는 것이 우리나라 기후의 특징인 만큼 채소의 소모도장으로 채소 생산량이 줄어드는 경우도 염두에 두어야 할 것이다. 온난화는 시설채소의 재배 면적을 줄이는 데 기여할 수도 있을 것이다.

#### 4.2.4. 과수

만약 지금보다 3.5°C가 상승한다면 사과재배 적지는 반드시 이동하여야 할 것이다. 현재 우리나라에서 사과를 재배하는 지역의 연평균기온은 13.5°C 이하이다. 이보다 온도가 높아지면 사과의 재배적지가 될 수 없다. 21세기 말에 지금보다 3.5°C가 상승한다면 우리나라의 사과 재배적지는 인제, 태백, 춘양과 같은 곳에서만 재배가 가능할 것이다. 사과가 자발휴면에 요구되는 온도는 7°C 이하로서 0.6-4.4°C가 알맞다고 알려졌는데, 휴면타파에 요구되는 저온기간은 1,400시간이다(農業技術研究所, 1990). 이 조건에 만족할 수 있는 곳은 연평균기온이 13°C 이하로서 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 곳이라야 한다. 온난화가 되면 사과는 더욱 북쪽 아니면 현재의 고랭지로 이동하여야 할 것이다.

3.5°C 상승의 온난화는 배, 복숭아, 포도, 단감은 재배지역이 확대되어 북상하겠지만 고온으로 부적지가 되는 곳도 있을 것이다. 남부지방의 바람이 적은 곳에는 참다래 재배가 보편화되고, 제주도에는 아열대 과수재배가 가능할 것이다.

기후변화에 대비하여 과수의 재배적지 선정을 위한 시험을 시도해야 할 것이다. 현재 평지는 온도가 높아져서 과수의 재배 부적지로 되어있는 곳에 한라산처럼 우뚝 솟은 산이 있다면, 표고에 따른 遞減溫度를 처리 온도로 하고, 과수의 종류와 품종을 식재하여 기상관측과 동시에 화이분화, 휴면, 휴면타파 등을 중심으로 재배 가능 여부를 가려내는 시험을 실시한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

포도에 대한 FACE 처리시험에서 이산화탄소 농도 증가는 포도 또는 포도주의 질적 저하 없이 포도의 수량이 증가되었다고 하였다(Bindi *et al.*, 2001). 포도뿐만 아니라 사과, 배, 복숭아 등 우리나라의 주요 과수에 대한 기후변화 적응 시험은 지금부터라도 시작

하여야 할 것이다.

### 4.3. 농업생태계 안정화

농업은 온실가스를 흡수하기도 하고 배출하는 생존 산업이다. 녹색식물은 이산화탄소를 흡수하지만, 이산화질소는 질소비료의 시비와 가축의 사육장에서 배출되고, 메탄은 담수재배하는 벼논에서 배출된다. 이 가운데 온실가스의 배출은 농업생태계가 개방체계(open system)로 되면서 농업관련 산업을 통한 인간활동(anthropogenic)의 반영이 두드러져 다른 산업부문과 같이 취급하지 않을 수 없게 되었다. 다행스럽게도 농업에서는 온실가스는 흡수를 촉진하는 방법이나 배출을 줄이는 기술은 모두 생산성을 향상하는 방향이다. 왜냐하면, 작물의 이산화탄소 흡수고정량이 증가된다는 것은 곧 바이오매스 생산을 높이는 것이며, 토양에서 이산화질소의 배출을 줄이면 탈질을 막아 질소의 시비효율을 높이는 것이고, 벼논에서 메탄배출을 줄인다는 것은 곧 생육시기에 따른 간판관개와 효과적인 유기물 사용방법 등의 권장영농기술을 실천하는 것이기 때문이다.

#### 4.3.1. 대기 이산화탄소 농도 증가에 대한 반응

개략적으로 이산화탄소 농도 증가와 관련하여 농업에서 고려할 점을 살펴보면(Raddy and Hodges, 2000), 이산화탄소 농도 증가는 콩과작물의 대기질소 고정에 유리하게 작용하고, 피근, 피경, 목본 작물은 이산화탄소를 흡수하여 저장하는 능력이 커 대기 이산화탄소 농도 유지에 기여할 것이며, C<sub>3</sub>식물은 이산화탄소 농도가 높아지면 광호흡량이 줄어들기 때문에 C<sub>4</sub>식물보다 생산성 증대 효과가 크게 나타날 것이다. 한편, CAM 식물들은 물 이용효율이 높고, 밤에 기공을 열어 높은 농도의 이산화탄소를 흡수하기 때문에 적응력이 커져 분포범위가 확대될 것이다. 목초지와 방목지의 초종은 이산화탄소 농도 증가가 천이를 일으켜서, 초종의 구성이 변하며, 짧은 기간 안에 콩과목초가 우점할 것이고, 이산화탄소 농도 증가로 화곡류의 수량이 높아진다면 곡실의 품질은 떨어질 것이며, 경운정지의 회수를 줄이면 농업생태계의 대기 이산화탄소의 흡수량이 증가될 것이다. 이상은 여러 연구결과를 종합 요약한 것인데, 농업생태계는 상호의존적이고 자기조직화 과정을 통하여 환경을 만들고 적응하기 때문에 이상의 결과가 들어맞지 않을 수도 있을 것이다.

따라서 이산화탄소 농도 증가와 온도 상승, 그리고

기상이변의 속출에 대비한 종합적인 농업생태계 관리를 위해서는 대응 영농기술 개발에 앞서 농업연구, 농업정책, 농부가 함께 종래의 생산성 제고의 경쟁의식을 버리고 생태학적 사고로 전환해야 할 것이다.

#### 4.3.2. 기후변화 대응

기후변이(climate variability)와 기후변화(climate change)는 따로따로 나타나는 것이 아니고 뒤섞여 나타나기 때문에 지구온난화가 이 두 현상의 강도를 높이면 농업에 끼치는 영향은 엄청날 것이다. 농업부문에서는 기후변화가 현재와 같은 속도로 천천히 진행되는 데 대해서는, 이미 알게 모르게 이에 대응하였거나 적용된 것이 상당히 있고, 또 요구와 적용에 따른 대응전략을 폭넓게 시도해오고 있는 터이지만, 기후변화가 급격히 진행되는 데 대한 대책은 생각조차 하지 않고 있다.

이런 상황에서, 특별히 농업기상학은 농업현장에서 기후변이와 기후변화에 적응하는 기술을 지도기관과 농가에 보급하는 데 요구되는 기초적인 도움을 마땅히 제공하여야 하는 의무가 있다(Salinger *et al.*, 2000).

농가에서 작물과 품종을 선택하거나 재배법을 채택하는 것은 농경지 사용의 기본계획에 포함된다. 이러한 농경지사용계획은 다른 농가와 비교해서 이익이 높은 작물과 품종을 선택하고 그에 따른 재배법을 채택하는 것인데, 이러한 결정은 기후가 바탕이 되어야 한다는 리카르도의 토지사용이론(Ricardian land-use theory)은 기후변화 조건에서는 더욱 유력하게 작용한다(Polsky *et al.*, 2001). 이 토지사용계획은 규모가 큰 농장에 적용하는 것이 유리하지만, 기후변화에 따른 부정적인 영향을 제거한다는 면에서는 농장의 규모를 따질 필요가 없다. 토지사용계획은 내부적으로는 농부의 기술과 경험의 수준이 작용하고, 외부적으로는 농산물가격, 투입비용, 농업정책, 기후 등의 요인이 작용한다. 외부요인 가운데 유일한 자연요인인 기후가 순조롭지 못하면 연쇄반응을 일으켜 기상재해 극복에 대한 책임소재를 따지게 된다. 따라서 리카르도 토지사용이론에 따른 기후감각은 기상자체의 영향뿐만 아니라 농업기후지대별 기후와 관련된 사회경제적 요인에도 영향을 준다.

지역에 따라서 기후의 연차변이가 큰 지역이 있고 안정된 지역이 있다. 대체로 작물의 주산지는 그 작물에 알맞은 기후의 연차변이가 크지 않은 지역에 형성된다. 그러한 지역에는 기후변화의 진행에도 불구하고

그 지역은 안정된 상태를 보이는 경향이 있다. 예를 들면 1998년과 1999년에 대부분의 지역에서 벼에 알맞은 등숙기간이 평년과 큰 차이를 보였는데, 특별히 경기도 이천은 평년과 비슷하게 경과되었다(윤과 이, 2001). 이러한 기후가 이전 쌀의 특징에 반영될 수 있을 것이다.

국토 전체에 대해서 기후를 바탕으로 하는 리카르도 토지사용이론(Polsky *et al.*, 2001)에 바탕을 둔 토지사용계획은 어느 지역에서나 적용될 수 있는 탄력적이고 지속성 있는 농업체계를 형성하는 데 크게 이바지할 것이다.

## V. 농업부문의 기후변화 대책

### 5.1. 농업기상 분야

리카르도의 토지사용이론에서 기후와 농가의 기후에 대한 감각은 여러 사회경제적인 요인의 작용에 앞선다. 이 이론을 적용할 때 기후자료는 매우 중요하다. 그러나 기후의 변이와 변화가 잦은 시대에는 과거의 기후자료만으로는 충당할 수 없다. 만약 기후자료가 기후변화의 크기를 가늠하는 기준으로만 사용되는 한, 기후자료는 기후자원 활용과 기상재해 경감을 위한 영농계획에 아무런 도움을 주지 못한다. 따라서 적어도 한 작기를 앞두고 예상되는 장기예측이 바람직하다. 그러나 현재로서는 획기적인 장기예보시스템 이용을 기대할 수 없어, 이에 대한 대책을 강구하여야 할 것이다.

첫째, 농업기상정보시스템의 구축과 활용을 보편화하여야 할 것이다. 경과기상과 일기예보를 영농에 바로 이용할 수 있게 전자정보시스템을 확충하여 영농현장, 정책, 지도, 연구 각 분야가 시기를 놓치지 않고 이용할 수 있게 하여야 한다. 경과기상은 농업의 전 분야에 걸쳐 현재를 있게 한 조건이기 때문에, 지금 당장 취해야 할 또는 선택하여야 할 조치가 가능하다. 이를 연장하면 전문가시스템으로 발전하게 된다.

둘째, 농업기상장기예보 시스템구축이다. 경과기상을 중요하게 보면 예보의 지혜가 뒤따라온다. 현재 어느 나라를 막론하고 장기예보의 적중률이 높지 않아 기상을 바탕으로 하는 정책에 차질을 빚는 경우가 드물지 않다. 그러나 전자정보의 발달은 앞으로 날씨의 정확한 예측을 가능하게 할 것이다. 현재 우리나라에서는 농업기상장기예보시스템을 구축하는 3년 기간의 농림기획연구과제가 2년 차로 수행 중에 있다. 이 과제는

우리나라의 기후변화예측과 그에 따른 농업기후시대별 6개월 장기예보를 목표로 하고 있다. 기후변화 예측결과는 농업기상재해의 사전 대비에 반영되도록 한다.

셋째, 농업기상연구는 작물의 생육단계별 기상요소의 연차변이를 분석하여 최적기상조건과 이상기상의 출현빈도와 그 지속기간을 파악하고, 날씨의 변동추세를 전망하여 품종육성과 재배법 개선의 기초자료를 제공하여야 할 것이다.

## 5.2. 기상재해 사전대책

기상재해 가운데 풍수해는 이벤트현상으로 나타나고, 온도나 일조와 같은 연속변이를 하는 기상요소는 같은 상태의 날씨가 장기간 연속되어 일어난다. 저온해, 고온해, 가뭄, 일조부족 등이 그렇다.

적중률 높은 기상전망은 기상재해의 사전대책을 서두르게 할 것이다. 기후변화는 날씨의 양극화 현상이 특징이라는 것을 이미 기정 사실로 받아들이고 있다. 따라서 빈번하고 강도 높은 집중호우로 인한 홍수에 대비해서는 수문관리에 초점을 맞추어야 할 것이다. 하천의 규모와 홍수조절용 저수시설은 물론, 논둑의 높이까지도 조절하여 기여할 수 있는 방도를 찾아야 할 것이다.

가뭄에 대해서는 먼저 물을 아껴 쓰는 마음가짐을 강조하여야 할 것이다. 어느 해는 가뭄과 건조로 보내는가 하면, 어느 해는 습윤과 일조부족으로 보내야 하는 것이 기후변화의 특징이기 때문에, 가뭄에 닥쳐 물을 아껴 써야 하는 것은 늘 현실로 남는다. 몬순기후의 우리나라에서는 물을 아끼는 습관이 없다. 그 때문에 농업용 관개수도 물 사용료를 내도록 하는 것이 바람직하다. 지하관정에도 양수기를 달아 물의 사용료를 물게 하면 물의 절약과 지하수 오염을 막을 수 있을 것이다. 농가에 빗물저장탱크를 설치하도록 하는 것도 고려할만하다. 저수지를 새로 만들 것이 아니라 이미 설치된 저수지의 준설공사로 저수량을 확보하는데 노력하고, 댐과 같은 규모가 큰 저수시설은 비그늘(rain shadow) 지역에 물을 보낼 수 있는 터널 수로를 확보하여 물의 균등한 사용을 도모하도록 하여야 할 것이다.

농작물의 저온 또는 고온, 일조부족 등에 대한 피해는 영농관리 기술에 의존하는 수밖에 없을 터이지만, 이러한 날씨가 예상될 때는 농경지이용계획에 반영하도록 하는 것을 잊어서는 안 될 것이다.

## 5.3. 기후변화에 대응하는 작물의 특성

20세기 농업의 특징은 많은 자재를 투입하여 단위 면적당 단위 시간당 더욱 많은 소출을 내고자 하는 증산기술의 지배로 볼 수 있다. 작물은 내비성이 높고, 시비량 증가에 따른 증산 효과가 큰 특성을 지닌 품종이 이상형이었다. 이상형 품종은 땅이 기름지고, 비료를 값싸게 구할 수 있고, 농업용수를 알맞게 조절할 수 있는 조건에서 재배되는 것을 전제로 한다. 여기에는 농업기반과 사회경제여건이 이상형 품종의 잠재력을 충분히 발휘하게 한다는 전제조건이 따른다. 이러한 발상은 식량의 절대생산에 목표를 두었기 때문에 생태학적 논리에 근거를 둔 것이 아니었다. 따라서 이러한 작물의 이상형 설정은 보전보다 확장, 협동보다 경쟁, 질보다 양, 협력보다 지배를 앞세우는 패러다임에 갇힌 농업기술의 전체를 보이는 한 단면이다.

농가가 선호하는 작물의 특성은 어떤 기후에서든지 생태적으로 안정되고, 많은 보조에너지를 투입하지 않고도 생산성이 높고 질적으로 우수한 특성을 지녀야 한다. 1980년대 후반부터 세계적으로 식량생산의 증가 추세가 주춤하였다. 그 이유는 잦아진 기상재해를 포함하여, 농가의 농산물 가격지지에 대한 강력한 요구와 정부의 환경보전 정책과 소비자의 농산물에 대한 질적 향상과 같은 사회경제적 가치를 중요하게 여기기 시작한 데 있다. 따라서 영농에서는 맨 먼저 보조에너지(비료, 농약, 연료) 투입을 다시 검토하지 않을 수 없다.

기후변화 대응을 포함하여 앞으로 우리나라 농업이 나아가야 할 작물의 바람직한 특성은 첫째, 지속농업을 가능하게 하여야 하고, 둘째, 이산화탄소 농도 증가를 좋은 조건으로 받아들이며, 셋째, 지구온난화에 따른 기후변화에 대한 적응력 증대 등과 같은 농업생태계 안정에 역동적으로 대응할 수 있는 것이라야 할 것이다.

작물의 바람직한 특성은 표 4에 요약 정리하였다.

### 5.3.1. 작물생산 관련 형질

생산량과 관련되는 작물의 특성은, 작물의 태양에너지 이용효율을 최대 높이는 데 소요되는 최소의補助에너지(auxiliary energy) 투입수준이 현재보다 낮아야 하고, 생산량은 현재 수준보다 높아야 한다. 耐肥多收性을 少肥多收性으로 바꿔야 한다는 뜻이다. 화곡류 육종에서 지금도 버리지 못하고 있는 이른바 높은 수확지수(harvest index)의 매력은 短稈穗重型을 이상

**Table 4.** Crop varietal characteristics of ideotype for sustainable agriculture and climate change in the future

Characteristics	Present ideotype	Future ideotype	Remark
1. Production			<i>Material cycle system of agricultural byproducts as a organic fertilizer in the agroecosystem.</i>
• Biomass	Small	Large	
• Harvest index	High	Rather low	
• LAI	3-4	Higher than 4	
• Fertilizer level	High	Low	
• Plant type	Erect	Erect	
• Plant height	Semi-dwarf or dwarf	Rather tall	
• Tillering	Intermediate	High	
• Branching	Intermediate	High	
• Productivity	Economic yield per area and time	Biomass per area and time	
2. Adaptability			<i>Increasing CO<sub>2</sub> Global warming Extreme climate Topography &amp; soil Agroclimate zone Extreme climate Socioeconomic (major production) Sustained crop stability Crop stability Prolonged crop period by global warming</i>
• CO <sub>2</sub> efficiency	High	High	
• Heat tolerance	High	High	
• Cold tolerance	High	High	
• Site	Wide	Specific	
• Climate	Wide	Specific	
• Unusual weather	Wide	Wide	
• Seasonal variation	Wide	Wide	
• Pests	Resistance	Broad-horizon field resistance	
• Agroenvironment	Specific	Specific	
• Competitiveness			
- With other crops	Intermediate	Good adaptation for intercropping	
- With other cultivar	Little interested	Strong	
- With weeds	Strong	Strong	
• Growth duration	Short (early)	Long(late)	
• Maturity type	Determinate	Intermediate (soybean,tube crops)	
3. Root system			<i>Oxidation of methane in paddy soil (?) Mycorrhizae, bacteria Lodging tolerance</i>
• Root activity	Strong	More strong	
• Tolerance to organic acids (rice)	Strong	More strong	
• N fixation	Legume only	Other crops	
• Soil microbes association	Inefficient	Efficient	
• Distribuion	Shallow or medium	Deep (direct sowing rice)	
4. Seed			<i>Substantiality Ripening in warm temperature</i>
• Size	Large	Rather small or long	
• Grain/panicle	Intermediate	High	
• Ripening	High	High	
5. Genetic structure			<i>Stability to crop risk</i>
• Inbreeder	Pure line	Multiline	
• Outcrosser	Hybrids	Synthetic cultivar	

\*Adapted and modified from Janssens *et al.*(1990).

형으로 삼아온 데 있다. 短稈穗重型은 쓰러짐에 대한 두려움 때문에, 키는 짧게 하되 이삭의 크기는 줄어들지 않거나 오히려 길어야 한다는 데 목표를 두었다.

앞으로 기후변화에 따른 농업은 농업의 지속성을 지켜나가기 위하여 하기 때문에 어쩔 수 없이 유기질거름에 대

한 의존도를 높여야 한다. 따라서 작물의 특성은 수확 지수에 얽매이기보다는 절대수량과 아울러 바이오매스 생산량이 높아야 한다. 바이오매스 생산량 증가는 농업이 이산화탄소를 고정하는 데 기여하며 그에 상당하는 산소를 방출하여 대기정화에 기여한다. 우리나라에

서 헥타르당 쌀 5.5톤을 생산하는 수준에서 벼가 흡수 고정하는 이산화탄소는 19,467 kg이고, 산소는 141,152 kg을 방출한다(윤 등, 1996). 작물의 이산화탄소 흡수 고정량과 산소 방출량은 바이오매스 생산량과 비례한다. 그러나 논에서는 화학비료를 대체하여 유기질거름을 사용할 때는 메탄저감 영농방법을 철저히 이행하여 소출 증대와 메탄 저감의 부수효과를 거두어야 할 것이다.

유라시아대륙의 중위도 동쪽 끝에 위치한 우리나라는 겨울이 길어 특별히 식물생장기간(vegetation period)이 짧다. 따라서 대기 이산화탄소의 계절편차가 크게 마련인데, 월동작물의 재배면적을 지금보다 더 확대한다면 그만큼 가을 늦게까지 그리고 이른봄부터 이산화탄소의 흡수 고정이 늘어나 이산화탄소의 계절편차를 완화할 수 있을 것이다. 그 뿐만 아니라 월동작물의 재배는 여름작물 재배와 더불어 상당한 양의 이산화탄소의 흡수와 산소방출을 추가할 수 있을 것이다.

작물군락의 엽면적지수(LAI)는 수광태세와 관련하여 지나치게 무성하면 소출에 나쁜 영향을 준다고 하여 현재는 3.4가 알맞은 것으로 보지만, 바이오매스 생산이 중요해지면 수광태세의 개선에 따라 적어도 4 이상은 되어야 할 것이다.

작물의 耐肥多收性은 지난 반세기 동안 품종 육성의 목표였지만, 앞으로 보조에너지 투입을 줄이고, 이산화질소 배출을 줄이며, 환경오염을 없애기 위해서는 비료의 효율이 높은 이른바 少肥多收性이 목표형질이 되어야 할 것이다. 품종끼리 비교하면 현재의 내비다수성 품종이 질소시비수준이 낮은 경우에도 그보다 내비성이 떨어지는 품종과 비교하여 소출이 떨어지지 않는다는 것은 일반적 사실이다. 그러나 이 사실 때문에 내비성과 다수성은 같은 특성으로 보아서는 아니 될 것이다.

내비다수성에서 시비효율과 절대수량을 먼저 따지겠지만, 이에 못지 않게 불량 기상조건에 놓일 때 받는 위험도와 작물의 성장량과 성장속도에 따라서 미처 흡수이용하지 못한 무기양분이 남아서 일으킬 수 있는 환경오염도 고려하여야 한다. 따라서 소비다수성은 새로운 탐색 발굴 대상 유전형질로 삼을만한 가치가 있다고 본다. 화곡류의 초형은 말할 것도 없이 현재와 같이 잎과 줄기가 깨끗하게 서는 것이 바람직하다. 다만, 쓰러짐 때문에 短稈穗重型만을 좋아하게 되면 바이오매스 생산과 떨어지기 때문에 앞으로는 키가 웬만

큼 크고 줄기가 실한 특성을 찾아서 쓰러짐에 대비하여야 할 것이다. 작물의 왕성한 새끼치기나 가지 벌기의 특성은 소출과 바이오매스 생산에 그만큼 이바지하고, 잡초발생의 억제, 종자의 절약, 토양침식의 방지에 도움이 된다.

작물의 생산은 현재와 같이 단위 면적과 단위 시간에 대한 수량만 높은 것을 목적으로 하기보다 절대 바이오매스 생산이 높고, 수량은 현재 수준 이상을 유지하며, 단위 보조에너지 투입에 대한 생산량이 높은 특성이 지속되는 체계가 바람직하다. 작물생산에서 바이오매스 생산을 중요한 부수효과로 보는 것은, 날로 늘어나는 산업과 에너지 부문에서 배출되는 이산화탄소를 자연생태계와 농업생태계가 물질순환의 고리로 끌어들이 생태계의 이산화탄소로 만들어 대기 이산화탄소 농도 증가를 완화하고자 함이고, 다른 하나는 작물생산에서 바이오매스는 바로 유기질거름으로 활용하기보다 신선한 유기물은 메탄발효를 통하여 많은 청정 에너지(유기성 폐자원을 재료로 쓰면 메탄의 양이 조금밖에 되지 않음.)를 먼저 얻은 다음, 남은 퇴비를 사용하는 것이 더욱 유리하기 때문이다.

현재의 농업생태계는 개방시스템 쪽으로 지나치게 기울어졌기 때문에 자연생태계와 같은 폐쇄시스템 쪽으로 기울게 할 필요가 있다. 그렇게 하여야만 농업이 지속성을 확보할 수 있고 농업생태계 외부에 끼치는 부정적 환경영향을 없앨 수 있기 때문이다. 따라서 바이오매스 생산량 증대는 농업생태계 안에서 영양물질의 순환을 원활하게 하고, 에너지의 효율을 높일 수 있게 하는 데 크게 기여할 수 있다.

### 5.3.2. 작물의 환경 적응 능력 관련 형질

이산화탄소 농도 증가에 따라서 일차생산을 위한 광합성 자원이 풍부해지므로, 이산화탄소를 흡수 고정하는 능력이 큰 품종을 육성하는 것은 기후변화 대응에서 당연한 과제이다. 이산화탄소 농도가 증가함에 따라서 온도가 올라가면 작물은 생육기간이 단축되고, 고온기에 등숙기간을 맞이하게 되면 등숙기간이 짧아져 소출이 줄어든다. 따라서 고온에서 탄수화물 소모가 늘어나는 것 이상으로 광합성률이 높고, 내열성이 큰 품종이 요구된다. 지구온난화 조건에서는 저온해를 방심해서는 아니 된다. 온대작물에 열해와 냉해의 양면 견딜성을 갖추어 기상이변에 대한 안정성을 확보할 수 있는 방도를 찾아야 할 것이다.

농작물의 適地適作은 현재보다 더욱 강조될 것이다.

한때 추구해오던 廣地域適應性 품종의 개념도 特定地域適應性으로 이미 전환되고 있듯이 앞으로는 더욱 절실히 될 것이다. 복잡한 산악지형 때문에 더욱 다양한 국지기후의 분화가 예상됨에 따라 작물마다 더욱 세분된 농업기후지대 구분이 요구되며, 그 기후지대에 알맞은 품종을 육성해야 할 것이다.

작물의 병과 해충에 대한 저항성은 매우 중요한 질적 형질이지만, 지금까지는 농약 의존도가 높아 저항성 품종 육성에 대한 절실함이 가려진 것인지도 모른다. 그러나 장차는 특정 지역의 특정 작물에 자주 발생하는 병해충에 대한 저항성 품종 육성으로 농약 사용을 줄여야 할 것이다.

과수와 같은 영년생작물은 특정한 기후와 토양 자원을 최대한 이용할 수 있는 다양한 품종을 육성 보급하여 추산단지를 이루어나야 할 것이다.

안전농업의 개념에서는 재해 위험의 시간적 공간적 분산과 무기양분의 효율적 이용을 꾀하는 다양한 작부체계를 권장해왔다. 다모작 작부체계에서는 조합을 이루는 서로 다른 작물 또는 품종끼리 경쟁에서 팽팽한 경쟁을 이루어야만 균일한 작황을 이루어 토지생산성을 높일 수가 있다. 작물과 잡초의 경쟁에서는 작물이 생태적으로 이긴다면 제초비용을 따로 들일 필요가 없다. 따라서 장차 기후변화 조건에서는 어떤 경우에도 이산화탄소 농도 증가와 온도 상승이 작물에게 유리하게 작용하는 특성이 요구된다.

현재 작물의 생육기간에 대한 특성은 생육기간이 짧고 소출이 높은 특성을 중요하게 여긴다. 그 이유는 재해의 위험을 줄이고, 노력을 절감하며, 토지이용도를 높이고자 하는 데 있다. 그러나 지구온난화 조건에서는 수량과 바이오매스 생산 모두가 만족스러워야 한다. 따라서 고온기에 영양생장기를 보내고 등숙기간에는 알맞은 온도에 놓이도록 하여야 하니, 조생종이 바람직하지 않게 된다.

한편, 콩의 신육형에서 현재는 유한형을 재배하고 있지만 무한형이 유리할 것이고, 고구마, 감자, 마와 같이 뿌리작물은 무한형의 뿌리 비대 특성이 바람직하다.

### 5.3.3. 뿌리의 특성

담수상태에서 자라는 벼는 통기조직이 발달되어 있는 작물이지만, 근권의 산소는 발 상태보다 훨씬 부족하므로 뿌리의 산화력과 유기산 또는 황화수소 같은 해로운 물질에 대한 견디는 성질을 뿌리활력이라고 하

여 중요하게 여겨왔다. 더욱이 논에서는 앞으로 화학비료의 상당한 양을 유기질거름으로 대체한다는 면에서는 더욱 강력한 뿌리활력을 지닌 특성이 요구된다. 그뿐만 아니라 논에 유기질거름의 사용량이 증가하면 메탄의 배출은 늘어나게 되어있으니 메탄배출량이 적으며 품종의 선발은 지구온난화 방지에 기여할 것이다.

콩과작물 뿌리의 질소고정능력은 매우 중요한 특성이다. 이산화탄소 농도가 증가되어 광합성이 활발해지면 뿌리로 이동되는 탄수화물이 늘어나서 이것을 에너지원으로 한 미생물이 고정하는 질소의 양이 증가될 것이다(Luxmoor, 1981). 이러한 경우에도 품종간 차이가 나타날 것이므로 질소고정능력이 높은 품종을 육성하여야 할 것이다. 콩과작물이 아닌 작물에 대해서도 질소고정 미생물이 공급하는 질소에 의존하는 작물과 품종을 선발함과 아울러 미생물의 선발과 접종방법을 개발한다면 변화하는 기후자원을 최대한 이용할 수 있는 체계를 마련할 수 있을 것이다.

토양중의 뿌리 분포는 산소의 요구도 때문에 얇게 또는 조금 깊게 분포하는 것이 대부분이나 앞으로는 지상부 일차생산이 많아짐에 따라 그에 상응하는 뿌리의 지지가 요구된다. 그리고 벼의 경우는 이앙재배에서 직파재배로 전환됨에 따라 도복이 문제가 될 것이니 뿌리가 더욱 깊게 분포하는 특성이 바람직하다.

### 5.3.4. 종실의 특성

현재 온대 화본과 작물에서 바람직한 종실의 특성은 大粒으로, 한 이삭에 달리는 알맹이 수는 너무 많지 않아야 하며 등숙이 양호하여야 하는 것으로 되어 있다. 그러나 이산화탄소의 농도가 증가하고 온도가 올라가면 온대기후 중에서도 난대에 가까워짐에 따라 그 기후자원의 활용도를 높이자면 종실의 현재 이상형과는 많이 달라져야 할 것이다. 따라서, 화곡류에서 등숙기간의 온도가 높을 것에 대비하여 현재와 같은 粒重이라면 종실의 길이가 긴 것이 유리할 것이고, 종실을 小粒을 택하면 이삭당 알맹이 수가 많아야 할 것이다. 온도가 높아지면 이른바 등숙기간의 夏枯現象이라고 할 수 있는 등숙기간의 단축 현상이 일어남에 따라 짧은 등숙기간에 충실한 종실을 생산할 수 있는 특성이 요구된다.

### 5.3.5. 작물의 유전자 구성

벼, 보리, 밀과 같은 자화수정 작물은 유전적으로 고정된 순계는 병해충 또는 기상재해에는 취약하다. 특정 지역에서 자주 발생하는 어떤 병원균에서 분화된



여러 菌系에 대해서는 각각 저항성이 있는 계통들이지만, 다른 농업적 형질은 동일한 多系品種을 육성하여 재배하면 일률적 피해에서 벗어날 수 있는 안정성을 확보할 수 있을 것이다. 또한 한 지역 안에서도 저항성이 다양한 여러 품종을 재배한다면 재해가 왔을 때 일부 품종은 당하더라도 다른 품종은 안전할 수 있다.

옥수수, 채소류와 같이 타화수정 작물들은 주로 일대잡종 종자를 이용하는데, 이들 품종은 잡종강세의 이점은 인정되지만, 유전자의 균일성 때문에 재해에 대한 안전성 문제가 있으니 합성품종과 같은 품종을 육성하는 것이 바람직할 것이다.

## VI. 결 론

2001년에 IPCC는 지구의 온도가 20세기 동안에 0.6°C가 상승되었고, 21세기 말에 이산화탄소 농도가 540-970 ppm까지 증가되면 지금보다 1.4-5.8°C 상승할 것으로 전망하였다. 따라서 육지에서 최고기온과 최저기온이 상승하고, 더운 날이 늘어나며, 추운 날과 서리 내리는 날이 줄어들 것이며, 강우의 강도가 높아지고, 중위도 내륙은 건조와 가뭄으로 인한 피해가 예상된다고 하였다.

우리나라의 연평균기온이 3.5°C 상승한다면 현재의 12.4°C에서 15.9°C로 올라가 지금 제주보다 조금 높은 기온이 될 것이고, 강수량은 15% 증가된다면 현재의 연강수량 972-1841 mm에서 1,118-2,447 mm로 늘어날 것이다. 현재의 평균 작물기간 약 218일에 32일이 더 많아져 250일이 될 것이다. 기후변화에 대한 적응은 초본작물의 경우 천천히 진행되는 지구온난화 조건에서는 육종으로 대응할 수 있겠지만, 온도는 상승되거나 일장은 변동이 없다는 데 유의하여야 할 것이다. 목본작물은 주산단지의 이동을 예상하여야 한다. 그러나 지구온난화가 온실가스 농도의 限界閾을 넘어 갑자기 닥친다면 전체 생태계의 교란을 면할 수 없을 것이다. 기후변화는 농경지이용의 기본을 변화게 하는 것이므로 토지이용계획에 초점을 맞춘 농업기상정보시스템 구축과 아울러 농업기상 장기예보시스템을 확립하여 그 활용을 보편화하여야 할 것이다. 가뭄에 대비하여 물을 아껴 쓰는 마음가짐을 강조하면서 저수지의 준설과 비그늘 지역으로 물을 수송할 수 있는 방법을 강구하여야 할 것이며, 홍수에 대비하여 수문관리에 사전 대비가 있어야 할 것이다.

기후변화에 대응하는 작물의 특성은 첫째, 지속농업을 가능하게 하여야 하고, 둘째, 이산화탄소 농도 증가를 좋은 조건으로 받아들이며, 셋째, 지구온난화에 따른 기후변화에 대한 적응력 증대 등과 같은 농업생태계 안정에 역동적으로 대응할 수 있어야 할 것이다. 따라서 바이오매스와 수량의 생산을 동시에 충족하여야 하고, 보조에너지 투입효율이 높아야 하며, 少肥多收性 형질이 바람직하다. 환경에 대한 적응성은 광지역적응성보다 지역적응성이 요구되며, 이산화탄소 증가에 따른 효율이 높고, 저온과 고온에 견디며, 병해충에 대해서는 광범위한 포장 저항성이 있어야 할 것이다. 종실의 특성은 小粒이며 多粒인 이삭 또는 長圓形의 곡실이 유리할 것이다.

## 인용문헌

- 강인식, 1993: 지구온난화와 동반된 한반도 기온변화의 시나리오 연구. *기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지엄-IV, 기후변화예측 시나리오(기상청과 과학기술 연구원 공동주최)* 3-33.
- 기상청, 1991: *한국기후표(1961-1990)* 제1권, 기상청.
- 기상청, 2001: *한국기후표(1971-2000)*, 기상청.
- 農業技術研究所, 1990: *主要 果樹 栽培地帶의 氣候特性*. 農業技術研究所, pp. 205.
- 農村振興廳, 1981: *水稻冷害實態分析과 綜合技術對策: 冷害 研究報告*. 農村振興廳.
- 심교문, 이정택, 윤성호, 황규홍, 2000: 가을보리 재배기간 중의 기상변화. *한국농림기상학회지*, 2(3), 95-102.
- 오재호, 1994: 한반도 강수량 변화 예측 시나리오. *기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지엄(한국과학기술 연구원 주최)*, 3-22.
- 윤성호, 이양수, 이정택, 1996: 농업생태계내 투입에너지 효율 및 탄소 순환 측정. *1995년도 시험연구 사업보고서(농업과학기술원 농업환경부 편)*, 625-642.
- 윤성호, 이정택, 2001: 기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책. *한국농림기상학회지* 3(1), 55-70.
- 윤성호, 1998: 기후변화에 따른 농업생태계 변동과 대책. *21세기 한반도 농업전망과 대책. 경상대학교 개교50주년 기념 한국작물학회의 한국육종학회 공동주최 심포지엄 회보*, 313-335.
- 윤진일, 1990: 대기중 이산화탄소 배증 조건하의 기후시나리오에 의한 국내 쌀 생산 추정. *韓國氣象學會誌* 26(4), 263-274.
- 임정남, 1992: 지구온난화가 우리나라 농업생태계에 미치는 영향. *생태계 위기와 한국의 환경문제*, 103-123, 도서출판 뚝남.
- 조하만, 1992: 지구온난화와 한반도 부근의 기후변화. *생태계 위기와 한국의 환경문제*, 103-123, 도서출판 뚝남.
- Baily, R., 1993: *ECO-SCAM: The false prophets of ecological apocalypse*. Saint Martine's Press.

- Bindi, M., L. Fibbi and F. Miglietta, 2001: Free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated concentrations. *European Jr. of Agron.* **14**, 145-155.
- Bright, C., 1996: Understanding the threat of bioinvasions. in L.R. brown *et al.*, *State of the the World 1996*. New York, W.W. Norton & Company.
- Brown, L., 1967: The world outlook for conventional agriculture. *Science*. **158**, 604-611.
- Brown, L., 1984: *On the fate of the Earth: Peace on and with the Earth for all its children*. Earth Island Institute, San Francisco, pp. 141.
- Darwin, C., 1958: *Natural Selection*. Ed. R. C. Stauffer. Cambridge University Press.
- Hunsaker, D.J., B.A. Kimball, P.J. Pinter Jr, G.W. Wall, R.L. LaMorte, F.J. Adamsen, S.W. Leavitt, T.L. Thomson, A.D. Matthias, and T.J. Brooks, 2000: CO<sub>2</sub> enrichment and soil nitrogen effects on wheat evapotranspiration and water use efficiency. *Agric. For. Meteorol.* **104**, 85-105.
- IPCC, 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis*: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate (IPCC). Cambridge University Press, pp. 944.
- IPCC, 2001b: *Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability*: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate (IPCC). Cambridge University Press. pp. 1000.
- IPCC, 2001c: *Climate Change 2001 : Mitigation*: Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. pp. 700.
- Janssens, M.J.J., I.F. Neumann, and L. Froidevaux, 1990: Low-input ideotypes. in *ecological studies* 78. Stephen R. Gliessman Ed. *Agroecology; Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture* Springer-Verlag, 130-145.
- Kobayasi, K., M. Okada, and H.Y. Kim, 1999: The free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) with rice in Japan. *Proc. Int. Symp. "World Food Security"*, Kyoto, Japan, 213-215.
- Lovelock, J., 1991: *GAIA : The practical science of planetary medicine*. GAIA Books Ltd.
- Luxmoor, R.J., 1981: CO<sub>2</sub> and phytomass. *BioScience* **31**, 626.
- Malthus, T., 1914: *Essay on the Principle of Population*. London, Everyman.
- Matthews, R.B., M.J. Kropff, D. Bachelet, T. Horie, Moon Hee Lee, H.G.S. Centeno, J.C. Shin, S. Mohandass, S. Singh and Zhu Defeng, 1995: Modeling the impact of climate change on rice production in Asia in: *Climate Change and Rice* (S. Peng, K.T. Ingam, U. Neue and L. Ziska, eds). Spinger-Verlag, pp. 314-325.
- Matthews, R.B., M.J. Kropff, T. Horie, and D. Bachelet, 1997: Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating options for adaptation, *Agricultural Systems*, **54**, 339-425.
- Nature, 1995: Butterfly from Camille Parmesan, "Climate and species' range", *Nature* 29 Aug. 1996.
- Neue, H.U., L.H. Ziska, R.B. Matthews, and D. Quiuc, 1995: Reduced global warming-the role of rice. *Geo-Journal*. **35**, 351-362.
- Nijis, H., H. Teughels, H. Blum, G. Hendry, and I. Impens, 1996: Simulation of climate change with infrared heaters reduced the productivity of *Lolium prerenes* L. in summer. *Environment and Experimental Botany* 36(3), 271-280.
- Pinter, P.J., B.A. Kimball, G.W. Wall, R.L. LaMorte, D.J. Hunsaker, F.J. Adamsen, K.F.A. Frimau, H.F. Vugts, G.R. Hendrey, K.F. Lewin, J. Nagy, H.B. Johnson, F. Wechsung, S.W. Leavitt, T.L. Thomson, A.D. Matthias, and T.J. Brooks, 2000: Free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE): blower effects on wheat canopy microclimate and plant development. *Agric. For. Meteorol.* **103**, 167-184.
- Polsky, C. and W.E. Easterling, 2001: Adaptation to climate variability and climate change in US Great Plains: A multi scale analysis of Ricardian climate sensitivities. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. **85**, 133-144.
- Reddy, K.R. and H.F. Hodges (eds.), 2000: *Climate change and global crop prductivity*. CABI Publishing, Oxon, UK, pp. 488.
- Salinger, M.J., C.J. Stigter, and H.G. Das, 2000: Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate varability and climate change. *Agric. For. Meteorol.* **103**, 167-184.
- Sutherst, R.W., G.F. Maywald, and D.B. Skarratt, 1995: "Predicting insect distributions in a Changed Climate", in *Harington and Stork*.