

## 기후변화에 따른 농업생태계 변동과 대책

윤 성 호

농업과학기술원 농업생태과

### Climate Change and Its Impact on Agricultural Ecosystem

Yun, Seong Ho

Agricultural Ecology Division, National Institute of Agricultural Science and  
Technology, Suwon, Korea

**ABSTRACT** : If the atmospheric concentrations of greenhouse gases double, the annual temperature increase in mean surface temperature relative to 1990 will be about 2.0 to 2.5°C and the annual precipitation increase about 15% by 2100 in Korea. When the temperature rises 2°C, the annual temperature will be 13°C, 15°C, and 16°C in Western Central, Yeongnam Basin, and Southern Coastal respectively. Consequently the crop period could be prolonged 10~29 days. In the case of gradual global warming, annual crops could be adapted to the changed environment by breeding, and the perennial crops should be shifted to other area. If global warming happens suddenly over the threshold of atmospheric greenhouse gases concentration, then we shall have disturbance of ecosystem. When 2°C higher than present, the optimum flowering date of rice plant delayed about 10 days, so it may not possible to adopt the date with present japonica rices, therefore, the recommended characteristics of rice varieties are longer basic vegetative period, more late maturing and higher ripening temperature. Barley and wheat crops could be shifted to northern coastal areas and apple production areas should be shifted to those areas under 13.5 °C in annual mean temperature at global warming. Ideotypes of crops under climate changes should have such ecological characteristics that are indispensable to accomplish the sustainable agriculture under increased CO<sub>2</sub> and temperature condition as the diversification of genetic resources from yield-oriented to biomass-oriented characteristics with the higher potentials of CO<sub>2</sub> absorption and Primary production.

In addition, a heat-tolerance, a pest resistance, an environmental adaptability and a production stability should be also incorporated collectively into our integrated agroecosystem.

**Key words** : Global warming, Agroclimate change, Agroecosystem, Crop ideotype

## 1. 서론

1798년에 맬서스(Malthus)가 밝힌 인구와 환경의 관계에 대한 고전적 견해에서, 자원은 단지 산술적으로 증가하는 데 반하여 인구는 기하급수적으로 증가하므로 인구는 항상 식량공급을 초과하여 증가하는 경향이 있다고 하고, 식량공급보다 과잉 증가한 인구는 사망률의 증가로 인하여 사망과 출생의 차이가 없어질 때까지 감소하게 된다고 하였다. 그 때문에 농업은 증산기술에 모든 것을 걸고 오늘에 이르렀다. 그리고 보니 맬서스가 인구론에서 주장한 바가 무엇인지 인류는 일찍이 깨달은 것 같기도 하다. Hawley(1986)는 지적하기를 맬서스는 나중에 그의 초기 이론에 억제요소를 첨가하여 수정을 하였지만, 생태계의 영향을 통제하는 것이 얼마나 중요한가에 대해서는 큰 비중을 두지 않았다고 하였다.

17세기 조선시대 정상기(鄭尙騎)는 그의 저서 농포문답(農圃問答, 1992)에서 “정자(程子)는 말하기를 혹자는, 사람은 많고 땅은 적다고 이르나, 그렇지 않다. 천지가 물(物)을 낳으면서 늘 서로 맞도록 하는데 어찌 사람은 많고 땅은 적을 이치가 있으리요, 하였는 바 이것이 참으로 명확한 논리이다”라고 하였다. 늘어나는 인구에 비례하여 농경지 면적을 늘이고, 곡식의 소출을 높이기 위한 온갖 기술을 개발하여 적용해온 것은 맬서스의 경고를 무시하지 않은 결과이고, 이어서 정자(程子)의 큰 뜻을 벗어나지 않은 결과이니 식량문제에 대한 안도의 구실을 얻은 셈이다.

그러나 20세기를 마감하는 이 시점에서는 과학기술이 인류의 생존과 나아가서 평균 수명연장, 물질의 풍요, 고통의 극복, 즐거움 누리기와 같은 생활의 편익에 크게 기여하였다는 것에 만족할 수 없게 되었다. 인간중심주의를 옹호하는 온갖 노력이 아직도 치열한 경쟁 속에 계속되는 이때, 우리가 오랜 동안 살아오던 이 터전은 이미 낯설게 느껴질 만큼 크게 변하고 있다. 과학기술은 이런 현상을 환경이 변하였다고 하고, 생태론자들은 지구가 변하였다고 한다. 환경이란 말은 인간중심주의 과학자들에게는 자신만만한 일거리

일지 몰라도, 생태론자 또는 생태학자들에게는 모든 생명현상과 떼어서 생각할 수 없는 생명 그 자체요 생태계 그 자체이다.

기후변화는 지구변화의 큰 부분을 차지한다고 하기보다 지구변화로 보아야 한다. 기후변화는 인간중심주의의 이원론이 인간과 자연을 나누어 생각한 그릇된 생각에서 비롯된 것이라고 말할 수 있다. 따라서 지구의 모든 현상이 바라지 않는 방향으로 꼬리를 물고 변하고 있다. 이때 어느 것이 원인이고 어느 것이 결과인지 분간되지 않아 과학기술의 사고로서는 이해할 수 없다는 사실을 깊이 깨닫고 있는 중이다.

농업은 지역특성이 두드러진 생명산업이다. 지역특성이란 그 지역의 풍토에 따른 생태계의 특성을 일컫는다. 기후는 지역의 물리적 특성을 대표하는 것 가운데 하나이다. 기후가 변하면 안정돼있던 농업생태계가 교란된다. 농업생태계가 교란되면 인류의 생존이 위태로워진다. 농업생태계가 교란되는데 자연생태계라고 온전할 리 없다. 인간생태계는 그래도 맨 나중에 멸망할 것이라는 믿음은 과학기술의 힘에 의지하려는 인간의 속성 때문인지 모른다. 기후변화의 속도는 인구 증가 속도보다 빠르고, 그 방향을 건잡을 수 없어 어떻게 대처하여야 할 지 실로 난감하다. 이러한 기후학자들의 경종이 맬서스의 인구론과 같은 소임을 다한다면 정상기가 명확한 논리라고 지지한 정자(程子)의 “천지가 물(物)을 낳으면서 늘 서로 맞도록 하였다”는 말은 우리의 유일한 희망이 될 것이다.

기후학자들은 기후변화의 가장 큰 원인은 지구온난화이고, 지구온난화는 대기에 온실가스의 농도가 증가하기 때문이라고 하였다. 따라서 대기의 이산화탄소의 농도가 배로 높아지는 21세기말에는 우리 나라의 기후요소와 농업생태계는 어떻게 변하게 될 것인가를 예상해보고, 그에 대한 농업기술 대책은 무엇인가를 알아보려고 한다.

## II. 지구온난화와 기후변화

### 1. 지구온난화

#### 가. 온실가스와 온실효과

가시복사로 지구로 오는 태양에너지의 약 30%는 지표에 닿기도 전에 우주공간으로 되돌아가고, 약 70%는 대기층을 지나 지표에 도달하여 전자기적 에너지로서 소임을 다하면 열 에너지로 분산된다. 이 분산된 열 에너지는 적외선 또는 열선의 형태로 우주공간으로 되돌아가게 되는데, 이때 대기에 있는 온실가스(greenhouse gases)가 달아나는 적

외선을 한동안 잡아두면서 지표로 되돌려주는 효과를 낸다(온실효과; greenhouse effect). 이 되돌아오는 열 에너지가 지표와 하층대기의 온도를 높인다.

대기의 주요 온실가스에는 수증기, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 오존(O<sub>3</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 염화불화탄소(CFCs) 따위가 있다. 이들 가운데 염화불화탄소를 빼고는 모두 자연 상태로 존재하는 것들인데, 이들을 모두 합하여도 전체 대기의 1%가 채 안 되는 미소기체이다. 자연상태로 존재하는 온실가스는 “자연 온실효과”로서 지구를 30℃ 이상으로 따뜻하게 유지해왔다. 따라서 만약에 이들 온실가스가 없어진다면 지구의 온도는 현재보다 30℃가 낮아질 것이다.

#### 나. 인간활동에 따른 지구온난화

온실가스 가운데 수증기를 빼고는 모두 인간활동이 직접 원인이 된다. 이들 온실가스의 대기중 농도는 자꾸만 높아지고 있다<표 1>. ① 화석연료의 사용으로 배출되는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), ② 반추가축의 정상적인 소화과정과 담수상태의 변분, 쓰레기 매립지에서 배출되는 메탄(CH<sub>4</sub>), ③ 질소질 화학비료를 시용한 농경지에서 탈질의 형태로 배출되는 아산화질소(N<sub>2</sub>O), ④자동차 배기로 나오는 오존(O<sub>3</sub>), ⑤ 냉동 또는 냉방기기의 냉매로 쓰이는 염화불화탄소(CFCs) 따위의 대기중 농도 증가는 대기의 열에너지 흡수에 큰 변화를 가져온다. 이러한 미소기체의 증가에 따라서 수증기의 양도 증가한다. 이러한 현상의 결과는 “온실효과”의 조장으로 비롯되는 “지구온난화”이고, 지구온난화가 주요 원인이 되는 “기후변화”이다.

<표 1> Summary of key greenhouse gases influence by human activities

Greenhouse gases	Pre-industrial (1750-1800) atmospheric concentration	Current (1994) atmospheric concentration	Current rate of annual atmospheric accumulation	Atmospheric lifetime (years)
CO <sub>2</sub>	280 ppmv	358 ppmv	15 ppmv (0.4%)	20-200
CH <sub>4</sub>	700 ppbv	1,720 ppbv	13 ppbv (0.8%)	12-17
N <sub>2</sub> O	275 ppbv	312 ppbv	0.75 ppbv (0.25%)	120
CFC-12	0	503 pptv	18-20 pptv (4%)	102

## 2. 기후변화

### 가. 기후변화의 뜻

고전적인 기후변화의 뜻은 지질시대, 역사시대, 관측시대로 크게 나누어 각 시대의 기후 특성을 고찰하고, 다시 그 시대 안에서 기후의 변동을 고찰하는 장기간에 걸친 지구의 기후변화를 말한다. 따라서 최근에 일컫는 기후변화도 이 범주를 벗어난 것이 아니다. 즉, 온실가스가 증가함에 따라 지구의 에너지 수지가 변하기 때문에 일어나는 기후의 변동이다. 장기적으로 보면 지구는 태양에너지를 받았다가 받은 만큼 우주로 되돌려주는 것으로 되어있다. 그런데 대기에 온실가스 층이 두꺼워지면 즉, 온실가스 농도가 높아지면 우주공간으로 내보내는 에너지가 줄어들어 에너지 수지에 변화가 오고, 에너지 수지에 변화가 오면 이에 상당하는 기후변화가 찾아온다. 기후변화를 단순하게 지표면과 하층대기의 온도가 올라가는 “지구온난화” 현상으로만 보기 쉽지만, 알고 보면 지구온난화는 기후변화의 불씨이다. 지구의 온도는 조금만 올라가도 바람과 강수와 같은 여러 기후요소를 엄청나게 변하게 하는 작용을 수반한다.

#### 나. 기후변화 예측

기후예측모델은 현재와 같이 온실가스를 계속 배출한다면 1990년 기준으로 2100년에는 2℃가 더 올라갈 것으로 내다보고 있다. 그러나 아직 밝혀지지 않은 부분이 많이 남아있어 현재로서는 21세기 동안에 온난화의 범위는 1-3.5℃가 될 것으로 추정하고 있다. 지구상의 온난화의 정도는 저위도보다 중위도에서 크고, 중위도보다 고위도에서 크게 나타날 것이라고 하였다(IPCC, 1995). 이미 과거에 배출한 온실가스 때문에 기후변화가 일어나고 있다는 사실이 입증되고 있다. 기후는 온실가스가 증가하는 대로 곧장 따라서 변하는 것이 아니기 때문에 비록 온실가스가 줄어들거나 더 이상 늘어나지 않는다고 하여도 기후변화는 장기간에 걸쳐서 나타날 것이다. 더구나 기후변화의 중요한 영향으로 나타나는 해수면 상승은 긴 시간을 두고 뚜렷하게 나타날 것이다(UNFCCC, 1995).

기후는 자연변이가 크기 때문에 어떤 기상이변을 놓고 “이것은 온실가스 증가가 원인”이다 하고 밝히기는 어렵다. 그러나 지난 몇 세기 동안의 실제 경과 온도와 “지구온난화 모델”로 추정한 경과 온도를 서로 비교한 결과는 매우 비슷하다는 것을 확인한 바 있는데, 그 결과는 자연변이와는 아주 다른 경향을 보였다는 것이다(IPCC, 1995).

## II. 우리 나라의 기후변화 시나리오와 농업생태계

### 1. 우리 나라의 기후변화 예상

### 가. 우리 나라의 기후변화 예측

1904년부터 1990년까지 우리 나라의 연평균기온은 약 1°C 올라갔으며, 서울은 1.5°C 올라갔고, 추풍령과 울릉도는 변함이 없다(조하만, 1992). 이러한 현상을 지구온난화 또는 도시화에 따른 열섬현상으로 확실하게 구분할 수는 없지만 기온의 상승은 틀림없는 사실로 받아들여야 한다.

앞으로 이산화탄소가 배로 늘어나면 우리 나라의 연평균기온은 2.0~2.5°C 올라갈 것이며, 10년마다 0.15~0.45°C씩 올라갈 것으로 예측한 바 있다(과기처, 1995).

우리 나라의 연평균기온이 2°C 올라간다고 보면 중부평야지대는 13°C가 되어 현재 대구 등지의 영남분지지대와 같은 기후지대가 될 것이며, 영남분지지대는 15°C가 되어 현재 제주도과 같은 기온이 될 것이다. 그리고 현재 14°C인 남부해안지대는 16°C가 되어 지금의 서귀포보다 더 따뜻한 날씨가 될 것이다.

콤포의 기후분류에 따르면 현재 대관령, 원주, 춘천 같은 곳은 가장 추운 달의 평균기온이 -3°C보다 낮기 때문에 아한대기후로 분류되는데, 2°C가 올라간다고 해도 마찬가지로 아한대기후에 머문다. 현재 연평균기온이 11~15°C 범위인 곳은 2°C가 올라간다고 해도 여전히 온대기후이지만, 제주와 서귀포는 가장 추운 달의 평균기온이 6.1°C 이상이 되어 아열대기후로 들어가게 된다<표 2>.

<표 2> Annual mean surface temperature changes based on global warming scenario at CO<sub>2</sub> doubling stage in Korea

Present		CO <sub>2</sub> doubling(+2°C)		Place
Annual mean air temperature (°C)	Climatic zone*	Annual mean air temperature (°C)	Climatic zone*	
7.9	Boreal	9.9	Boreal	Taegallyong
10.1-11.0	Boreal	12.1-13.0	Boreal	Cunchon, Wonju
11.1-12.0	Temperate	13.1-14.0	Temperate	Sokcho, Seoul, Incheon, Ullungdo, Suwon, Sosan, Chongju, Chupungnyong
12.1-13.0	Temperate	14.1-15.0	Temperate	Kangnung, Ulchin, Taejon, Kunsan, Chonju, Chinju
13.1-14.0	Temperate	15.1-16.0	Temperate	Pohang, Taegu, Ulsan, Kwangju, Mokpo, Yosu, Wando
14.1-15.0	Temperate	16.1-17.0	Temperate	Pusan, Chungmu
15.1-16.0	Temperate	17.1-18.0	Subtropical	Cheju, Sogwipo

\*Köppen's classification of climate

우리 나라의 강수량은 약 15% 증가 할 것으로 전망하였는데(과기처, 1995), 강수는 기온처럼 연속변이가 아닌 불연속성을 지니고 있는 이벤트현상이니 그 변화 폭에 유의하여야 할 것이다. 홍수와 가뭄의 양극화 현상과 그 빈도가 높아질 것이라는 기후학자들의 예측(IPCC, 1995)이 두려움을 주기 때문이다. 우리 나라의 연강수량은 1300mm로 보는데, 의성과 칠곡의 약 970mm부터 성산포의 약 1,800mm까지 그 분포의 폭이 넓다. 여기에 15%가 더 내린다면 1,112-2,070mm로 늘어날 것이다. 그러나 온도 상승에 따른 증발산량의 증가는 오히려 가뭄을 불러오게 될지도 모른다.

#### 나. 농업기후의 변화

농업기후학에서는 여름작물의 생육기본온도(base temperature)를 일평균기온 10℃로 정하고 10℃이상이 나타나는 첫날부터 끝날까지를 작물기간이라고 하여 기후자원을 평가한다. <표 3>에서 보는 바와 같이 현재 평지의 작물기간은 춘천의 201일부터 제주의 245일까지 44일의 차이를 두고 분포한다. 만약 이산화탄소의 농도가 현재의 배로 높아졌을 때 지구온난화가 2℃ 상승으로 나타난다면 작물기간은 10~29일이 길어지게 된다. 이때 첫날이 이르게 나타나는 것보다 끝날이 늦어지는 날수가 더 많다.

<표 3> Summer crop period\* changes based on global warming scenario at CO<sub>2</sub> doubling stage

Place	Present crop period (d)	Crop period at CO <sub>2</sub> doubling(+2℃) (d)	Increased crop period at CO <sub>2</sub> doubling stage (d)
Chunchon	201 ( 8 Apr-25 Oct)	212 ( 4 Apr- 9 Nov)	11
Chongju	204 ( 7 Apr-27 Oct)	221 ( 3 Apr- 9 Nov)	17
Suwon	205 ( 9 Apr-30 Oct)	220 ( 4 Apr- 9 Nov)	15
Taejon	209 ( 6 Apr-31 Oct)	222 ( 3 Apr-10 Nov)	13
Chonju	218 ( 5 Apr- 8 Nov)	232 (28 Mar-14 Nov)	14
Kwangju	219 ( 4 Apr- 9 Nov)	234 (28 Mar-16 Nov)	15
Taegu	224 (30 Mar- 9 Nov)	234 (27 Mar-15 Nov)	10
Chinju	225 (30 Mar- 9 Nov)	241 (21 Mar-16 Nov)	16
Cheju	245 (28 Mar-27 Nov)	275 (13 Mar-12 Dec)	29

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

이러한 예상을 놓고 작물생산에 미치는 영향을 짐작하면, 우선 지역마다 조금씩 다르지만 작물의 생육가능기간이 늘어난다는 장점을 떠올리게 된다. 그것은 온대지방에서 작

물의 생육을 제한하는 첫째 요인이 온도이기 때문이다. 그 가운데서도 파종 또는 모내기 때보다 생육후기의 낮은 온도 때문에 흉작을 가져온 경우가 많기 때문에 더욱 그렇다. 더구나 우리 나라의 여름철 저온현상이 지구온난화로 인하여 사라질 것이라는 기대는 가질 수 없다. 지구온난화는 연평균온도에 대한 개념일 뿐이고, 그 안에서 일어나는 기상이 변은 오히려 더욱 심각해질지 모르기 때문이다(UNFFCC, 1995). 이러한 점에서 보면 후기의 생육기간 연장은 유리하다.

그러나 기상이변 따위는 생각하지 말고 전체적으로 보면 지금 재배하는 작물이나 품종의 특성은 온난화 조건에서 오히려 불리할 것이다. 한 지역에서 재배하는 작물과 품종은 자연생태계와 마찬가지로 그 지역의 생태계를 구성하여 안정되어있다. 그런데 온도의 변화는 자연선택(Darwin, 1958)과 가이아 이론(Loverock, 1991)에 따라 한 동안 그 생태계를 교란하게 될 것이다. 더구나 영년생작물일 경우는 지구온난화가 천천히 진행된다고 하더라도 재배적지를 다른 곳으로 옮기게 될 것이다. 그러나 초본작물은 지구온난화가 갑자기 일어나지만 않는다면 새로운 품종의 육종과정을 통하여 농업생태계를 안정되게 하는데 기여할 수 있을 것이다. 다만 그에 대응한 유전자원의 확보에는 상당한 노력이 따라야 할 것이다. 여기에 고려하여야 할 사항은 온도는 올라가지만 위도에 따른 일장은 변동이 없다는 사실과 온도와 일장이 서로 교묘하게 작용하여 작물의 발육에 미치는 영향을 알고 있어야 한다는 것이다.

## 2. 농업생태계의 변화

### 가. 작물재배

#### 1) 벼

벼는 여름작물이니 온도가 올라가면 재배가 가능한 곳이 확대될 것이다. 그리고 품종과 재배양식은 기후적응을 위한 변동이 일어날 것이다. 작물기간이 현재보다 10-17일 늘어나니 이앙재배에서는 조생종 재배지대는 중생종으로, 중생종 재배지대는 만생종으로 바뀌게 될 것이고, 현재 온도가 낮아 벼농사를 짓지 않는 표고 600m 이상의 산간지대에도 일부 조생종 재배를 시도하게 될 것이다. 재배양식은 건답직파 또는 담수직파재배가 지금보다 더 여유를 가지고 확대될 것이다.

기온 상승에 따른 쌀의 소출은 현재의 재배시기를 고수하면 등숙기간의 고온 때문에 20-37% 감수되지만, 등숙에 알맞은 조건으로 재배시기를 옮기면 약 18% 증수가 가능하



다고 추정한다(윤진일, 1990). 벼의 재배시기를 결정할 때 맨 먼저 따져야 할 지표는 그 지역의 알맞은 출수기다. 자포니카는 출수기 이후 40일간(등숙기간)의 일평균기온이 21.5℃일 때 가장 높은 소출을 내는 것으로 알려져 있다(농촌진흥청, 1981). 따라서 지역에 따라 이 알맞은 등숙기온을 가질 수 있는 출수기가 언제인가를 알고 나서 재배양식과 품종이 결정되어야 한다.

출수후 40일간의 일평균기온이 21℃가 되는 출수기와 등숙기간을 현재와 2℃ 상승되었을 때를 비교한 결과는 <표 4>에서 보는 바와 같다. 2℃가 상승되었을 때 알맞은 출수기는 지역간 차이 없이 현재보다 대충 열흘 늦어지게 된다. 그러면 이 시기에 맞춰 벼가 출수하도록 조치해야 하는데, 그 조치가 현재의 자포니카 품종 특성으로는 쉽지 않을 것이다.

벼는 식물학적으로 단일성 작물로 알려져 있지만, 실제로 감온성 품종과 기본영양생장형 품종은 일장의 영향을 거의 받지 않고, 다만 자포니카 만생종은 고온 단일조건에 출수가 유도된다(윤성호, 1987). 중위도지방에서 일장에 민감하게 반응하여 출수하는 자포니카 만생종은 본논에서 과중기 또는 이앙기를 다르게 한 만큼 출수기가 달라지지 않는다는 것은 일반화된 사실이다. 보기를 들면 수원에서 현재 자포니카에 알맞은 출수기는 8월 20일이고, 대부분의 벼 품종이 이 시기를 중심으로 출수한다. 그런데 기온이 2℃ 더 올라가면 알맞은 출수기는 8월 29일로 늦어지는데 <표 4>, 이 시기에 맞춰 출수하게 하려면 현재 품종의 특성으로는 재배적 조치가 어렵다. 그 이유는 첫째, 온도는 올라가지만 일장은 변함이 없기 때문이고, 둘째, 일장에 민감한 품종도 온도가 올라가면 그만큼 출수가 앞당겨지는 데 있다.

<표 4> Optimum flowering dates of rice changes based on ripening temperature\* above 21℃ of global warming scenario at CO<sub>2</sub> doubling stage.

Place	Present	At CO <sub>2</sub> doubling(+2℃)	Delaying days(d)
Suwon	20 Aug	29 Aug	9
Kwangju	27 Aug	5 Sep	9
Miryang	24 Aug	3 Sep	10
Taegu	26 Aug	5 Sep	10
Chongju	20 Aug	30 Aug	10

\*daily mean air temperature for duration 40 days after flowering

따라서 이 문제는 품종육성의 과제로 보는데, 바람직한 특성은 자포니카인 경우는 기본영양생장기간이 긴 만생종으로서 통일형처럼 등숙온도를 다소 높게 요구(농촌진흥청, 1981)하는 것이면 좋을 것이고, 그 다음의 대안은 미질이 자포니카와 같은 통일형이면 좋을 것이다.

## 2) 맥류

맥류는 월동기간의 혹한을 피하여 재배적지를 선정해왔다. 보리의 경우 답리작이 한창 성하던 1970년대 중반까지는 대전 이남에서만 안전재배가 이루어졌다. 맥주보리는 남해안 일부에서만 재배하고 있다. 온도가 올라가면 맥류의 안전재배지대가 북상하여 재배 가능지대가 늘어날 것이다. 그러나 현재 맥류재배의 명맥을 잇고 있는 지역의 분포를 보면 동해안의 영덕, 남해안, 남서해안, 그리고 서해안의 군산까지 해안에 분포하고 있고, 내륙은 드물다. 그 이유는 맥류의 등숙기 온도가 해안이 내륙보다 낮기 때문이다. 기후특성에서 여름날(일최고기온 25°C 이상 되는 날)의 첫날이 남해안은 6월 22일, 서해안과 동해안중부까지는 6월 5일이지만 내륙은 5월 21일 이전이다(농촌진흥청, 1987). 해안지방에 찾아오는 여름날은 내륙보다 보름에서 한 달까지 늦는다. 이러한 해안의 기후는 내륙보다 맥류의 등숙기간을 늘려주고 익는 알맹이를 충실하게 만든다. 바다는 육지와 비교하여 겨울에는 따뜻하고 여름에 서늘하다. 따라서 지구온난화는 맥류의 재배적지를 지금보다 북상된 해안지방으로 이끌 것이다. 내륙의 평야지는 더욱 고온이 되어 월동에는 문제가 없다고 하더라도 여름날이 일찍 찾아와 맥류재배에는 맞지 않을 것이다.

## 3) 채소

호냉성 채소는 온도가 높아지면 재배적지의 이동과 재배시기의 이동이 이루어질 수밖에 없다. 봄채소는 지금보다 일찍 심어 가꾸어야 하고, 가을채소는 늦게 심어 가꾸어야 할 것이다. 1998년 봄에 평년보다 2°C 이상 높은 온도로 경과할 때 영농시기가 그만큼 앞당겨진 바와 같다. 그러나 가을에도 온도가 평년보다 높았을 때 그만큼 미리 늦추게 될지는 의문이다. 현재 여름철 고랭지채소재배지대는 온도 상승과 그에 따른 생리장해와 병해 때문에 더욱 표고가 높은 지대로 이동하거나 북상하여야 할 것이다.

높은 온도를 요구하는 과채류 재배는 현재보다 유리해 질 것이다. 그러나 고온으로 딸기의 화아분화의 장애는 다른 방도가 요구된다. 한편, 양파, 파, 상추와 같은 채소는 고온으로 추태와 개화가 일찍 유도되어 문제를 일으킬 수 있다. 시설채소재배에서 일조시간에 변동이 없다면 가온을 위한 연료가 적게 들어갈 것이고, 대기 이산화탄소 농도가 증

가되어 작물생산에 유리해 질 것이다. 겨울철 일조시간과 일사량은 제한되어 있어 작물의 소모도장에 따른 생산부진에 대한 대책이 요구될지 모른다.

남해안지대는 현재의 서귀포와 같은 채소재배가 가능할 것이고, 서귀포는 아열대 채소재배가 가능할 것이다.

#### 4) 과수

사과는 현재보다 2°C만 올라간다고 하여도 현재의 사과주산지의 일부는 사과나무를 캐어내어야 할 것이다. 현재 우리 나라에서 사과는 연평균기온 13.5°C 이하인 곳에서 재배되고 14°C 이상인 곳에서는 재배하지 않는다. 현재 대구의 연평균기온이 13.2°C이고, 칠곡은 12.3°C인데, 2°C가 상승되면 각각 15.2°C, 14.3°C가 되어 사과의 재배 부적지가 된다. 사과는 자발휴면에 요구되는 온도는 7°C 이하로서 0.6-4.4°C가 알맞다고 알려져 있다. 이 휴면에서 깨는 데 요구되는 저온기간은 1,400시간이다(농업기술연구소, 1992). 여기에 만족할 수 있는 곳은 연평균기온 13°C 이하로서 겨울 온도가 내륙 또는 분지의 특징을 지닌 곳이라야 한다.

배, 복숭아, 포도, 단감은 안전재배지역이 확대될 것이다. 남부해안 가까운 곳에는 참다래와 같은 난지과수의 재배가 일반화되고, 제주도는 아열대과수 재배가 가능할 것이다.

#### 나. 광합성과 작물생산

대기중 이산화탄소 농도 증가는 C3작물의 광호흡을 억제함으로써 광합성 효율과 물이용효율이 높아져 작물생산에 기여한다는 견해가 있다. 이러한 이산화탄소의 직접효과에 대한 많은 연구가 있다. 이산화탄소를 배로 높였을 경우 작물의 증수효과는 면화 104%, 수수 79%, 밀과 보리 36%, 콩과 옥수수는 16%이고, 벼는 10% 이하이다 (UNEP/GEM, 1987). 실내에서 다른 조건은 고정된 채 이산화탄소 농도만을 달리하였을 때 이산화탄소 농도 증가에 따른 작물생산 효과는 거의 인정되었다. 그러나 포장에서는 높은 농도의 이산화탄소 조건에서 자란 작물은 광포화점이 높고, 광보상점이 낮아지며(Valle *et al.*, 1985), 작물군락에 입사되는 광에너지가 클수록 이산화탄소 농도 증가에 따른 광이용율이 높아진다는 사실(Jones *et al.*, 1985)은 이산화탄소 농도 증가의 직접효과는 광조건에 따라 좌우된다는 것을 확실하게 해준다.

Nakagawa 등(1993)은 벼 품종 아키히카리를 사용하여 이산화탄소 농도와 온도에 따른 작물 생산 반응을 시험한 결과 이산화탄소 농도 배증은 온도와 상관없이 출수기 건물중이 24% 증가되었고, 성숙기에는 16%가 증가되었다. 온도가 현재 수준이고 이산화탄소

농도가 배증되면 성숙기의 이삭 건물중은 30% 증가되었는데, 온도가 상승될수록 감소되었다. 특별히 이 경우는 포장조건에서 자포니카 벼를 대상으로 이루어진 시험 결과이어서 주목된다.

밀의 경우는 온도가 2°C 상승된 조건에서 이산화탄소 농도를 달리하였을 때 550ppm까지는 바이오매스와 수량이 증가되었지만, 온도가 상승되면 호흡량이 늘어나고 생육기간이 단축되어 생산량이 감소되었다(Leuning et al, 1993)고 하였다. 맥류와 같이 건조하고 서늘한 기후를 좋아하는 작물에게는 이산화탄소 농도 증가는 유리하겠지만 온도 상승은 불리하게 작용할 것이다.

Bazzaz(1990)는 이산화탄소 농도가 증가함에 따라서 달라지는 식물의 생리반응을 여섯 가지로 요약하였는데, 작물생산과 관련지어 보면 이산화탄소 농도가 증가하면 작물의 광합성과 상대생장률이 초기에는 활발하지만 후기에는 떨어져 보통 수준의 농도에서와 같은 반응을 보인다고 하였다. 이러한 현상은 이산화탄소의 농도가 증가하면 작물의 영양생장기에 성장량이 증가하여 전체적으로 바이오매스 생산량은 증가하는 것을 의미한다.

자연조건에서도 작물의 광합성이 활발하게 이루어지면 작물군락내의 이산화탄소 농도가 낮아져 작물생산에 제한요인으로 작용하는 경우도 있으니, 이산화탄소의 농도 증가는 작물의 생산을 높이는 데 정도의 차이는 있겠지만 유리하게 작용할 것이다. 그러나 이산화탄소의 농도 증가와 아울러 온도는 올라가지만, 가조시간은 변함이 없고 일사량도 크게 달라질 리가 없으니 이산화탄소 증가의 직접효과가 수량 증대에 얼마나 기여할 것인지에 대해서는 숙제로 남는다. 그리고 그 기후에 적응된 작물은 어느 한계온도를 넘어서면 암호흡 소모가 크게 증가하므로 밤의 온도에 대한 고려도 중요하다.

Winsniewski와 Sampson(1993)는 육상생태계에서 현재 연간 탄소 배출은 1.4 Pg(peta gram= $10^{15}$  g)이고 흡수고정은 0.9 Pg으로 배출이 35.7%가 많은데, 이산화탄소의 농도가 2배가 될 때는 배출이 4.2 Pg이고 흡수고정이 1.3 Pg이 되어 배출이 69%나 더 많아 차이가 더욱 커진다고 하였다. 그러나 이산화탄소가 배증되어도 육상의 식생을 알맞게 관리하면 배출은 0.1 Pg로 훨씬 줄면서 흡수고정은 3.0 Pg로 늘어나게 될 것으로 전망하였다. 그 가운데 농업생태계에서는 현재는 배출과 흡수고정이 모두 0.1 Pg이지만, 이산화탄소 농도가 2배로 증가하면 배출은 없고 흡수고정만 0.1 Pg가 된다고 하였으며, 식생관리를 알맞게 한다면 배출은 없고(0.0 Pg) 흡수고정은 0.3 Pg로 된다고 추정할 바 있다. 이러한 시나리오는 불확실성을 지니고 있지만, 이산화탄소 농도 증가에 따른 일차생산의

증가를 주된 이유로 삼은 듯 하다.

따라서 산업과 에너지 부문에서 배출하는 많은 양의 이산화탄소 때문에 대기 이산화탄소 농도가 증가하고, 그 증가된 이산화탄소 때문에 식생의 흡수고정이 더욱 증가하면, 그 증가한 만큼의 이산화탄소는 생태계 뒤편이 되어 대기 이산화탄소 농도 증가를 완화할 수 있다는 유추가 가능하다. 여기에서 농업생태계의 소임을 더욱 강화하는 일은 작물생산과 대기 이산화탄소 농도 완화의 두 가지 목적을 한꺼번에 이룰 수 있다.

#### 다. 농업생태계의 군집 변동

자연생태계에서 온난화 때문에 일어나는 시간과 공간의 변동은 안정된 새로운 군집을 형성하는 데 방해가 될 것이다. 긴 시간을 통하여 발전하는 억제와 균형을 기대할 수 없기 때문이다. 온난화로 인하여 생기는 새로운 식물군집은 화분 매개생물이나 씨앗의 전파자를 가지지 못하게 될지 모른다. 천적이 없는 외래곤충들의 우점은 자연생태계를 황폐하게 할 수 있다. 생물의 지역적 다양성은 불안정한 상태에서 번성하게 됨에 따라 거칠고 기회주의적인 생물이 득세하여 중요한 생물자원을 파괴할 것이다(Bright, 1996). 농업생태계는 자연생태계와는 달리 가꾸는 생태계이기 때문에 자연생태계에서 일어나는 현상 같은 것들은 모두 극복할 수 있다고 생각하기 쉽지만 오히려 그 반대일지 모른다.

##### 1) 잡초

기후변화로 나타나는 중요한 현상 가운데 하나는 외래식물의 침입이다. 이들 침입식물이 그 식물을 좋아하는 병원균과 곤충이 없는 새로운 서식지를 마련하게 되면 원래 있던 식물은 이 새로운 이웃에 대한 진화적 적응력 부족으로 매우 위험한 존재가 될 수 있다. 외래종의 침입은 종의 다양성 또는 세계화를 위해 좋을 것으로 생각할 수도 있지만 장기적으로 보면 그와 반대이다. 외래종은 토착종을 도태하고 때로는 멸종으로 몰고 간다. 외래종의 침입 속도는 현재도 매우 빠르는데, 기후변화는 이러한 현상을 더욱 부추길 것을 걱정하고 있다(Bright, 1993). 농업생태계에 아열대 또는 열대 잡초가 침입하거나 토착잡초 가운데서도 월동이 가능한 잡초가 생기거나 숙근류의 상당수가 월동이 안전해지면 잡초방제는 훨씬 복잡하고 어려워질 것이다(임정남, 1992). 새로운 식생과 어울리지 않는 곤충을 비롯한 동물이 사라지게 되면 생태계는 끊임없는 교란 속에서 빠져 나오지 못할 것이다. 지구온난화에 따른 기후변화는 어느 시간과 공간에 머물지 않고 계속 가속도로 진행할 것이기 때문에 더욱 두렵다.

##### 2) 해충과 병

따뜻한 해에는 곤충들이 더 빨리 자라고, 더욱 자주 번식하고, 더 일찍 이동한다. 따라서 온난화는 지금 온대지방에서 겪는 해충의 피해보다 훨씬 다양하고 빈번하며 규모가 큰 피해양상을 보일 것이다. 벼에서는 애멸구, 벼멸구 따위가 우리 나라 남부지방에서 월동하게 된다면 비래해충과 토착해충의 양면성을 지니게 되어 그 극성은 대단할 것이다. 이화명나방은 다화명나방으로 이름을 고쳐야 할 것이다. 진딧물류는 월동태가 없어지고 연중 발생하게 될 것이며 모든 해충은 작부양식의 변화를 따라 종과 생태가 변할 것이다.

북아메리카 서부에 서식하는 나비(earth's chekerspot butterfly)는 지난 한 세기에 걸쳐 그들의 서식지가 150km나 북상하였는데, 그 원인은 연평균기온이 0.6℃ 상승한데 따른 것이라고 하였다(Nature, 1995). 해충은 그들의 번식과 서식을 막았던 기온의 장벽이 이동하는 대로 그 뒤를 따라간다. 외래 침입 곤충의 새 서식지 점유속도는 보통 1년에 2km가 넘고 100km가 넘을 때도 있다. 이것은 기후변화에 대한 예비적응인지도 모른다(Sutherst, 1995).

병원균은 곤충이 옮기는 것이 많다. 끝동매미충이 옮기는 벼오갈병 같은 바이러스병은 온난화에 따라 더욱 북상하여 문제가 될 것이다. 특히 우리 나라에서 벼줄무늬잎마름병, 벼검은줄무늬잎마름병, 벼오갈병은 말할 것도 없고, 열대성 바이러스병인 통구로, 그래시턴트 같은 것들이 남부지방에 자리잡을지도 모른다. 병도 해충과 마찬가지로 겨울 온도의 상승에 따라 더욱 만연될 것이다.

### 3. 기후변화에 대응하는 작물과 품종의 특성

오늘날까지 세계의 식량생산에 이바지한 농업기술은 많은 농업자재를 투입하여 단위 면적당 단위 시간당 더욱 많은 소출을 노리는 증산기술이었다. 작물의 품종육성 면에서는 내비성이 높고 시비량 증가에 따른 증산 효과가 큰 품종을 이상형으로 정하고 육성해 왔다. 이상형 품종은 땅이 기름지고, 비료를 값싸게 구할 수 있고, 농업용수를 알맞게 조절할 수 있는 조건에서 재배되는 것을 전제로 한다. 말하자면 농업의 기반과 사회경제 여건이 이상형 품종의 잠재력을 충분히 발휘하게 한다는 발상이다. 이 발상은 선형논리의 기계론적 발상이다. 이러한 농작물 품종의 이상형이 암시하는 것은 보전보다 확장, 협동보다 경쟁, 질보다 양, 협력보다 지배를 앞세우는 거대한 환원주의 물결에 휩쓸린 농업 기술의 전체를 보이는 한 단면이다. 1960년대 이후 열대지방에 세운 여러 국제농업연구기관에서는 온대농업의 발전에서 얻은 경험을 토대로 하여 이른바 “기적의 품종”들을 육

성하여 보급하였지만, 열대지방 농부들의 환영을 받지 못한 경우가 더 많았다. 그 이유는 새로 육성한 작물의 품종들이 생태적으로 그 지역에 맞지 않았고, 경제적으로 이익이 없었기 때문이다. 그런데 그들 품종을 “광지역 적응성 품종”이라고 내세웠지만 어느 특정한 한 지역도 적응성이 없다는 뜻으로 전락하고 말았다. “광지역 적응성”이라는 발상은 강대국이 2차대전의 후유증으로 앓는 군사문화의 맹점을 농업에서 드러낸 것인지 모른다.

온대지방의 기후변화는 지구온난화에 따른 온도 상승과 이산화탄소 농도 증가이니, 열대농업에서 실현에 옮기지 못한 이상형 품종에 대한 실망을 거울로 삼을 필요가 있다. 작물의 품종은 어떤 기후에서든지 생태적으로 안정되고 많은 보조에너지 투입 없이 생산성이 높은 특성을 지녀야만 농부가 선택할 것이다. 더구나 1980년대 후반부터 세계적으로 식량생산의 증가추세가 누그러진 이유는 잦아진 기상재해도 그 가운데 하나이기도 하지만, 증산보다는 농부들의 농산물 가격지지에 대한 강력한 요구와 정부의 환경보전 정책과 소비자의 농산물에 대한 질적 향상 요구 같은 사회경제 가치를 중요하게 여기기 시작한 데 있다. 따라서 영농에서는 맨 먼저 보조에너지(비료, 농약, 연료) 투입을 다시 검토하지 않을 수 없다.

기후변화 대응을 포함하여 앞으로 우리 나라 농업이 나아가야 할 작물의 품종에 대한 바람직한 특성은 첫째, 지속농업, 둘째, 이산화탄소 농도 증가, 셋째, 지구온난화와 같은 세 가지 농업생태계 구성에 역동적으로 적응될 수 있는 것이라야 할 것이다.

### 가. 작물생산 관련 형질

작물의 생산량과 관련되는 품종의 특성은, 작물의 태양에너지 이용효율을 최대한으로 높이는 데 소요되는 최소의 보조에너지(auxiliary energy) 투입수준이 현재보다 낮아야 하고, 생산량은 현재 수준보다 높아야 한다는 것을 전제로 하여야 한다. 지금까지 작물육종의 패러다임이었던 내비다수성을 소비다수성으로 바뀌어야 한다는 말과 같다. 화곡류 육종에서 지금도 버리지 못하고 있는 이른바 높은 수확지수(harvest index)의 매력은 단간수중형을 이상형으로 삼아온 데 있다. 단간수중형은 쓰러짐에 대한 두려움 때문에, 키는 짧게 하되 이삭의 크기는 줄어들지 않거나 오히려 길어야 한다는 데 목표를 두었다. 이 목표에 이르기 위한 노력은 기적처럼 성공하였다. 키가 작은 열성 형질에 소출이 많은 우성 형질을 교묘하게 한몸에 이루었으니, 순리를 거슬러 성공한 본보기가 아닐 수 없다.

앞으로 기후변화에 따른 농업은 농업의 지속성을 지켜나가야 하기 때문에 어쩔 수 없

이 유기질거름에 대한 의존도를 높여야 한다. 따라서 작물의 특성은 수확지수에 얽매이 기보다는 절대수량과 아울러 바이오매스 생산량이 높아야 한다. 바이오매스 생산량 증가는 농업이 이산화탄소를 고정하는 데 기여하며 그에 상당하는 산소를 방출하여 대기정화에 기여한다. 우리 나라에서 헥타르당 쌀 5.5톤을 생산하는 수준에서 벼가 흡수 고정하는 이산화탄소는 19,467kg 이고, 산소는 141,152 kg을 방출한다(윤성호 등, 1995). 작물의 이산화탄소 흡수 고정량과 산소 방출량은 바이오매스 생산량과 비례한다. 그러나 논에서는 화학비료 대체 유기질거름의 사용에는 메탄저감 영농방법을 철저히 이행하여 소출 증대와 메탄 저감의 부수효과를 거두어야 할 것이다.

유라시아대륙의 중위도 동쪽 끝에 위치한 우리 나라는 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. 그뿐만 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.

농업의 기계론적 발상에서 비롯된, 보조에너지 투입 증가로 소출 증대를 피하고자 한 작물의 내비다수성은 현재까지 품종 육성의 목표였지만, 앞으로 보조에너지 투입을 줄이고, 온실가스인 아산화질소 배출을 줄이며, 환경오염을 없애기 위해서는 비료의 효율이 높은 이른바 소비다수성이 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 위협도, 작물의 성장량과 속도에 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 곳곳하게 서는 것이 바람직하다. 다만, 쓰러짐 때문



<Ⅴ 5> Crop varietal characteristics of ideotype for sustainable agriculture and climate change in the future.

Characteristics	Present ideotype	Future ideotype	Remark
1. Production <ul style="list-style-type: none"> <li>● Biomass</li> <li>● Harvest index</li> <li>● LAI</li> <li>● Fertilizer level</li> <li>● Plant type</li> <li>● Plant height</li>   <li>● Tillering</li> <li>● Branching</li> <li>● Productivity</li> </ul>	Small High 3-4 High Erect Semi-dwarf or dwarf Intermediate Intermediate Economic yield per area and time	Large Rather low Higher than 4 Low Erect Rather tall  High High Biomass per area and time	<i>Material cycle system of agricultural byproducts as a organic fertilizer in the agroecosystem.</i>
2. Adaptability <ul style="list-style-type: none"> <li>● CO<sub>2</sub> efficiency</li> <li>● Heat tolerance</li> <li>● Cold tolerance</li> <li>● Site</li> <li>● Climate</li> <li>● Unusual weather</li> <li>● Seasonal variation</li> <li>● Pests</li>   <li>● Agroenvironment</li>   <li>● Competitiveness               <ul style="list-style-type: none"> <li>-With other crops</li> <li>-With other cultivar</li> <li>-With weeds</li> </ul> </li> <li>● Growth duration</li> <li>● Maturity type</li> </ul>	High High High Wide Wide Wide Wide Resistance  Specific  Intermediate  Little interested Strong Short(early) Determinate	High High High Specific Specific Wide Wide Broad-horizon field resistance Specific  Good adaptation for intercropping Strong Strong Long(late) Intermediate (soybean,tube crops)	<i>Increasing CO<sub>2</sub>            Global warming            Extreme climate            Topography &amp; soil            Agroclimate zone            Extreme climate</i>  <i>Socioeconomic (major production)</i>  <i>Sustained crop stability            Crop stability</i>  <i>Prolonged crop cultivation period by global warming</i>
3. Root system <ul style="list-style-type: none"> <li>● Root activity</li>   <li>● Tolerance to organic acids(rice)</li> <li>● N fixation</li> <li>● Soil microbes association</li> <li>● Distribuition</li> </ul>	Strong  Strong  Legume only Inefficient  Shallow or medium	More strong  More strong  Other crops Efficient  Deep (direct sowing rice)	<i>Oxidation of methane in paddy soil (?)</i>    <i>Mycrryzae, bacteria</i>  <i>Lodging tolerance</i>
4. Seed <ul style="list-style-type: none"> <li>● Size</li> <li>● Grain/panicle</li> <li>● Ripening</li> </ul>	Large Intermediate High	Rather small or long High High	<i>Substantiality            Ripening in warm temperature</i>
5. Genetic structure <ul style="list-style-type: none"> <li>● Inbreeder</li> <li>● Outcrosser</li> </ul>	Pure line Hybrids	Multiline Synthetic cultivar	<i>Stability to crop risk</i>

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

에 단간수중형만을 좋아하게 되면 바이오매스 생산과 멀어지기 때문에 앞으로는 키가 웬만큼 크고 줄기가 실한 특성을 찾아서 쓰러짐에 대비하여야 할 것이다. 작물의 왕성한 새끼치거나 가지벌기의 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 부수 효과로 보는 것은, 날로 늘어나는 산업과 에너지 부문에서 배출되는 이산화탄소를 자연생태계와 농업생태계가 물질순환의 고리로 끌어들여 생태계의 이산화탄소로 만들어 대기 이산화탄소 농도 증가를 완화하고자 함이고, 다른 하나는 작물생산에서 바이오매스는 바로 유기질거름으로 활용하기보다 신선한 유기물은 메탄발효를 통하여 많은 청정에너지(유기성 폐자원을 재료로 쓰면 메탄의 양이 조금밖에 되지 않음.)를 먼저 얻은 다음, 남은 퇴비를 사용하는 것이 더욱 유리하기 때문이다.

#### 나. 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. 지구온난화는 기온의 양극화를 불러온다고 하니 저온해를 고려하지 않을 수 없다. 온대작물에서 열해와 냉해의 양면 견딜성과 같은 기상이변에 대한 안정성을 추구할 수는 없는지 고려해볼 일이다.

농작물의 적지적작은 현재보다 더욱 강조될 것이다. 한때 추구해오던 광지역적응성 품종의 개념도 특정지역적응성으로 이미 전환되고 있듯이 앞으로는 더욱 절실했을 것이다. 복잡한 산악지형 때문에 더욱 다양한 국지기후의 분화가 예상됨에 따라 작물마다 더욱 세분된 농업기후지대에 알맞은 품종을 육성해야 할 것이다.

작물육종에서 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 농

약 사용을 줄여야 할 것이다.

과수와 같은 영년생작물은 특정한 기후와 토양 자원을 최대한 이용할 수 있는 다양한 품종을 육성 보급하여 주산단지를 이루어나가야 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.

#### 다. 뿌리의 특성

담수상태에서 자라는 벼는 통기조직이 발달되어 있는 작물이지만, 근권의 산소는 발상태보다 훨씬 부족하므로 뿌리의 산화력과 유기산 또는 황화수소 같은 해로운 물질에 대한 견디는 성질을 뿌리활력이라고 하여 중요하게 여겨왔다. 더욱이 논에서는 앞으로 화학비료의 상당한 양을 유기질거름으로 대체한다는 면에서는 더욱 강력한 뿌리활력을 지닌 특성이 요구된다. 그뿐만 아니라 논에 유기질거름의 시용량이 증가하면 메탄의 배출은 늘어나게 되어있으니 메탄배출량이 적은 벼 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 것(Luxmoor, 1981)이다. 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 이용

할 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 상당하는 뿌리의 지지가 요구된다. 그리고 벼의 경우는 이앙재배에서 직파재배로 전환됨에 따라 도복이 문제가 될 것이니 뿌리가 더욱 깊게 분포하는 특성이 바람직하다.

#### 라. 종실의 특성

현재 온대 화본과 작물에서 바람직함 종실의 특성은 대립으로 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 입중이라면 종실의 길이가 긴 것이 유리할 것이고, 종실을 소립을 택하면 이삭당 알맹이 수가 많아야 할 것이다. 온도가 높아지면 이른바 등숙기간의 하고현상이라고 할 수 있는 등숙기간의 단축 현상이 일어남에 따라 짧은 등숙기간에 충실한 종실을 생산할 수 있는 특성이 요구된다.

#### 마. 작물의 유전자 구성

벼, 보리, 밀과 같은 자화수정 작물은 유전적으로 고정된 순계는 병해충 기상재해와 같은 위협에는 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.

### Ⅲ. 결 론

21세기말이 되기 전에 이산화탄소가 배로 늘어나면 우리 나라의 연평균기온은 2.0~2.

5°C 올라갈 것이고, 강수량은 15%가 증가하여 연강수량은 1,112~2,070mm로 늘어날 것이다. 기온이 2°C 상승한다면 중부평야지대는 13°C, 영남분지지대는 15°C, 남부해안지대는 16°C가 될 것이다. 이에 따라서 작물기간은 현재보다 10~29일이 늘어나 춘천 212일부터 제주 275일까지 분포될 것이다. 기후변화에 대한 적응은 초본작물의 경우 천천히 진행되는 지구온난화 조건에서는 육종으로 대응할 수 있겠지만, 온도는 상승되나 일장은 변동이 없다는 데 유의하여야 할 것이다. 목본작물은 주산단지의 이동을 예상하여야 한다. 그러나 지구온난화가 온실가스 농도의 한계역을 넘어 갑자기 닥친다면 전체 생태계의 교란을 면할 수 없을 것이다.

현재보다 2°C가 상승하면 벼의 알맞은 출수기는 현재보다 10일 이상 늦어져 현재의 자포니카 특성으로서는 이 시기에 맞추기가 쉽지 않으므로, 기본영양생장기간이 긴 만생종으로서 등숙온도가 다소 높아도 좋은 특성이 요구된다. 맥류의 재배적지는 지금보다 북상된 해안지역이 될 것이다. 사과와 배의 재배적지는 연평균기온 13.5°C 이하가 되는 지역으로 이동될 것이다. 잡초와 병해충에 대한 문제는 더욱 어려워질 것이다.

기후변화에 대응하는 작물의 특성은 바이오매스와 수량의 생산을 동시에 충족하여야 하고, 보조에너지 투입효율이 높아야 하며, 소비다수성 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 소입이며 다립인 이삭 또는 장원형의 곡실이 유리할 것이다. 유전자 조성은 다계 또는 합성품종이 유리할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. Bazzaz, F.A. 1990. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21 : 167-196.
2. 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.
3. Darwin, C. 1958. *Natural Selection*. Ed. R. C. Stauffer. Cambridge University Press.
4. Hawley, A. 1986. *Human Ecology : A Theoretical Essay*. Chicago : University of Chicago Press.

5. IPCC. 1996. *Climate Change 1995 : The Science of Climate Change, Summary for Policymakers*. Cambridge University Press.
6. IPCC. 1996. *Climate Change 1995 : The science of climate change, summary for policymakers*. Cambridge University Press.
7. 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* : 130-145. Springer-Verlag.
8. Jones, P., L.H. Allen Jr, and J.W. Jones. 1985. *Agron. J.*, 77 : 242-249
9. Leuning, R., Y.P. Wang, D. de Pury, O.T. Denmead, F.X. Dunin, A.G. Condon, S. Nonhebed, and J. Goudrian. 1993. *J. Agr. Met.* 48(5) : 807-810.
10. Lovelock, J. 1991. *GAIA : The practical science of planetary medicine*. GAIA Books Ltd.
11. Luxmoor, R.J. 1981. CO<sub>2</sub> and Phytomass. *BioScience* 31 : 626.
12. Malthus, T. 1914. *Essay on the Principle of Population*. London : Everyman.
13. Nakagawa, H., T. Horie, T. Nakano, H.Y. Kim, K. Wada, and M. Kobayashi. 1993. *J. Agr. Met.* 48(5) : 799-802.
14. *Nature*. 1995. Butterfly from Camille Parmesan, "Climate and species' range", *Nature* 29 Aug. 1996.
15. Sutherst, R.W., G.F. Maywald, and D.B. Skarratt. 1995. "Predicting insect distributions in a Changed Climate", in *Harington and Stork*.
16. UNEP/GEMS. 1987. *The Greenhouse Gases. UNEP/GEMS Environmental Library No. 1*.
17. Valle, R., J.W. Mishoe, W.J. Campbell, J.W. Jones, and L.H. Allen Jr. 1985. *Crop Sci.*, 25 : 333-339.
18. Winsniewski, J and R.N. Sampson. 1993. *Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes : Quantification of Sinks and Sources of CO<sub>2</sub>. Bad Harzburg, Germany, 1-5 march 1993*. edited by Winsniewski, J and R.N. Sampson. Kluwer Academic Publishers.
19. Yun, Seong-Ho, Jeong-Nam Im, and Byeng-Lyel Lee. 1993. Greenhouse gas emissions and countmeasures against climate change in agriculture. *Proc. Symp. on Plant Growth and Environment. Oct. 16. 1993. Suwon, Korea* : 162-188.

20. 농촌진흥청. 1981. 수도랭해실태분석과 종합기술대책 : 냉해연구보고. 농촌진흥청
21. 농촌진흥청. 1987. 한국의 농업기후특징과 수도기상재해대책. 농촌진흥청
22. 윤성호. 1987. 온도 및 일장에 따른 벼 품종들의 출수 반응에 관한 연구. 박사학위논문. 건국대 대학원.
23. 윤성호, 이양수, 이정택. 1996. 농업생태계내 투입에너지 효율 및 탄소 순환 측정. 1995년도 시험연구 사업보고서(농업과학기술원 농업환경부 편) : 625-642.
24. 윤진일. 1990. 대기중 이산화탄소 배증조건하의 기후시나리오에 의한 국내 쌀생산 추정. 한국기상학회지 26(4) : 263-274.
25. 임정남. 1992. "지구온난화가 우리 나라 농업생태계에 미치는 영향", 생태계 위기와 한국의 환경문제 : 103-123. 도서출판 뜨림.
26. 정상기. 1992. 농포문답. 실학사상독본④. 이익성 옮김. 서울 : 한길사