

기후변화에 따른 벼 적정 등숙기간의 변동과 대책

윤성호 · 이정택

농업과학기술원 농업환경부

(2001년 2월 15일 접수)

Climate Change Impacts on Optimum Ripening Periods of Rice Plant and Its Countermeasure in Rice Cultivation

Seong-Ho Yun and Jeong-Taek Lee

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

(Manuscript received 15 February 2001)

ABSTRACT

It was unusual crop weather for 1998 and 1999 compared with normal in Korea. The consecutive days of the optimum ripening period for rice plant that had daily mean temperature 21~23°C for 40 days after flowering, increased with long anomalies in 1998~99. The air temperature during ripening period was much higher than the optimum temperature and lower sunshine hour than norm in the local adaptability tests of newly developed rice lines during those years. In response of rice cultivation to warming and cloudy weather during crop season, the yield shall be decreased. Most scientists agree that the rate of heating is accelerating and temperature change could become increasingly disruptive. Weather patterns should also become more erratic. Agrometeorologists could be analyzed yearly variations of temperature, sunshine hour and rainfall pattern focused on transient agroclimate change for last a decade. Rice agronomists could be established taking advantage of real time agricultural meteorology information system for fertilization, irrigation, pest control and harvest. Also they could be analyzed the characteristics of flowering response of the recommended and newly bred rice cultivars for suitable cropping plan such as cultural patterns and sowing or transplanting date. Rice breeders should be deeply considered introducing the characteristics of basic vegetative type of flowering response like Tongil rices as prospective rice cultivars corresponding to global warming because of the rices needed higher temperature at ripening stage than japonica rices, photoperiod-sensitive and thermo-sensitive ecotypes.

Key words : agroclimate change, rice, ripening of rice

I. 서 언

기후는 장기간의 시간적 공간적 대기현상을 종합한 것을 일컫는데, 기후값에는 최다빈도, 불규칙한 현상에 대한 기록이나 그 원인에 대한 설명이 들어있지 않다. 현재 사용하는 기후값은 각 기상요소에 대한 30년(1961~90) 동안의 일(日), 순(旬), 월(月) 단위의 구체적인 기상현상을 평균하여 일반화한 값이다. 이러한 평균값은 단 한 번도 구체적으로 나타난 적이 없다.

따라서 기후는 관념에 속한다고 보아야 한다.

이러한 관념적 의미를 지닌 기후가 변하여 구체적 기상현상으로 나타날 때는 경험해본 적이 없는 날씨를 보이기도 한다. 기후변동이 왔을 때는 구체적인 기상을 평년(기후값)과 비교하는 평가는 이미 의미가 없게 된다. 그 이유는 기후변동의 방향성이 인정되지 않기 때문이다. 기후의 변동이 어떤 방향을 지니고 있다면 그에 대한 대응은 장단기로 나누어 수립할 수 있다. 그러나 기후변동 또는 변화는 부인할 수 없으면서 그

누구도 그 방향은 제시할 수 없는 현재로서는 그에 대한 대응은 난감할 수밖에 없다. 더구나 날씨에 민감한 농작물의 생장과 발육은 기후에 적응되어 안정된 생태계이기 때문에, 기후변동은 농업생태계의 교란을 불러온다.

1998년 이후 농사날씨는 우리나라의 기후하고는 사뭇 큰 차이를 보였다. 지구온난화가 주된 원인이 되어 기후가 변한다는 주장에 귀를 기울인다면, 1998년 이후의 기상현상을 우리나라의 기후변화의 한 본보기로 삼을 수도 있다는 생각에 이르렀다. 이에 1998년과 1999년의 기온과 일조시간을 벼의 출수기에 따른 등숙 기간과 관계지어 평가하고자 한다.

이러한 평가는 기후변화 예측시나리오의 한 본보기로 삼고자하는 데 목적이 있는 것이 아니고, 현실적으로는 영농기간 중에 기상정보를 제때에 활용하는 감각을 높이는 데 기여할 수 있게 함이고, 나아가서는 변화무쌍한 날씨에 폭 넓게 적응하는 품종 육성과 재배법 개발에 고려하여야 할 조건을 제시하는 한편, 온난화가 주도하는 기후변동이 온대지방의 영농기간에 여유를 가질 수 있을 것이라는 기대를 가져보는 데 있다.

II. 기후변동

2.1. 지구온난화와 기후변화

현재 진행되는 기후변동의 원인에는 대기, 해양, 육지, 빙설, 생물권 등 지구 자체의 내적 요인과 화산 분출로 인한 성층권의 에어로졸 증가, 태양 활동의 변화, 태양과 지구의 상대위치 등의 외적인 자연요인이 있고, 인위요인에는 화석연료의 과다 사용에 따른 이산화탄소 등 대기조성의 변화(지구 온난화), 인위적 에어로졸로 인한 태양복사의 반사와 구름의 광학적 성질의 변화(지구 냉각화), 토지이용에 따른 식생피복의 변화가 있으며, 국지적으로는 도시화에 따른 열섬현상으로 인한 도시기후변동 등이 있다. 최근 기후변동의 주요요인에는 화산 분화, 상층 편서풍 순환 변화, 엘니뇨·라니냐/남방진동(ENSO) 등이 있다(오재호, 1999).

Fig. 1과 같은 지구표면 기온의 기록은 기후시스템의 상태에 대한 주요 지표이다. 이 지표는 온실기체의 배출에 따른 영향을 파악하는 데 쓰인다. 1998년의 온도 추정치는 북반구와 남반구를 가릴 것 없이 전 지구를 통하여 두드러지게 높게 나타났다. 지구표면의 기온이 평년(1961~90)보다 전반적으로 약 0.5°C가 높

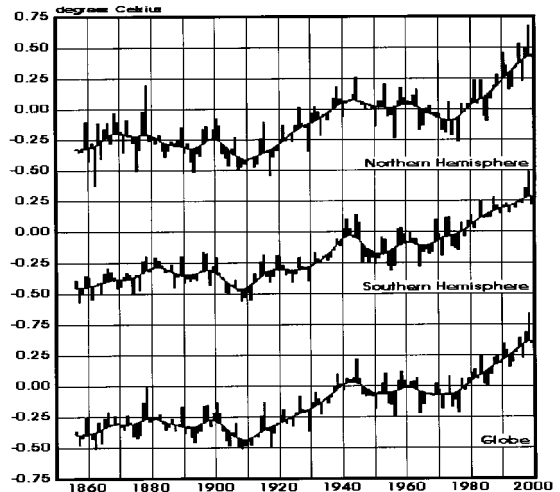


Fig. 1. Annual Northern Hemisphere, Southern Hemisphere, and global surface air temperature as a departure from the 1961~90 mean (Tiempo Climate cyberlibrary, 1999).

아졌는데, 19세기 중반 이후 가장 높은 온도이다. 이러한 결과는 시간의 경과에 따른 대기조성의 변화와 그 영향으로 온난화가 진행되어 온 것으로 추정된 것이다. 그러나 북반구와 남반구나 마찬가지로 온난화가 변덕스럽게 1920년대와 1930년대, 그리고 1990년대에 두 시기에 강하게 진행되어 두드러졌고, 다른 시기에는 멈춰서 비교적 안정상태를 유지한 원인은 무엇인지는 밝혀지지 않았다(Tiempo, 1999).

기후예측모델은 현재와 같은 추세로 온실가스를 계속 배출한다면 1990년 기준으로 2100년에는 2°C가 상승될 것으로 전망한 바(IPCC 1995) 있으나, 2001년(IPCC)에는 IPCC의 35 SRES 시나리오를 모두 사용하여 추정한 결과 1990년부터 2100년까지 지구의 온도는 1.4~5.8°C 상승할 것이라고 하였다. 지구상의 온난화는 저위도보다 중위도에서 크고, 중위도보다 고위도에서 크게 나타난다(IPCC, 1995). 과거에 배출한 온실가스 때문에 이미 기후변화가 일어나고 있다는 사실을 인정하더라도, 기후는 온실가스가 증가하는 대로 어떤 절차를 밟아서 변하는 것이 아니기 때문에 비록 온실가스가 줄어들거나 더 이상 늘어나지 않고 하더라도 기후변화는 장기간에 걸쳐서 나타날 것이다. 더구나 기후변화의 중요한 영향으로 나타나는 해수면 상승은 긴 시간을 두고 뚜렷하게 나타날 것이다(IPCC, 2001).

기후는 자연변이가 크기 때문에 어떤 기상이변을 놓

고 ‘이것은 온실가스 증가가 원인’이다 하고 밝히기는 어렵다. 그러나 지난 몇 세기 동안의 실제 경과 온도와 ‘지구온난화 모델’로 추정된 온도를 서로 비교한 결과는 매우 비슷하다는 것을 확인한 바 있는데, 그 결과는 자연변이와는 아주 다른 경향을 보였다는 것이다(IPCC, 1995).

2.2. 우리 나라의 기후변화 예상

1904년부터 1990년까지 우리나라의 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).

우리나라의 연평균기온이 2°C 올라간다고 보면 중부 평야지대는 13°C가 되어 현재 대구 등지의 영남분지 지대와 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. 쿠파의 기후분류에 따르면 현재 대관령, 원주, 춘천 같은 곳은 가장 추운 달의 평균기온이 -3°C 보다 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(윤성호, 1998).

기후값으로 본 평야지의 작물기간은 춘천의 201일부터 제주의 245일까지 44일의 차이를 두고 분포하는데, 만약 이산화탄소의 농도가 현재의 배로 높아졌을 때 지구온난화가 2°C 상승으로 나타난다면 작물기간은 10~29일이 길어지게 된다. 이때 첫날이 이르게 나타나는 것보다 끝날이 늦어지는 날수가 더 많다(윤성호, 1998).

이러한 예측은 작물의 생육가능기간이 늘어난다는 장점을 먼저 떠올리게 된다. 그것은 온대지방에서 작물의 생육을 제한하는 첫째 요인이 온도이기 때문이다. 그 가운데서도 파종 또는 모내기 때보다 생육후기의

낮은 온도 때문에 흉작을 가져온 경우가 많기 때문에 더욱 그렇다. 더구나 우리나라의 여름철 저온현상이 지구온난화로 인하여 사라질 것이라는 기대는 가질 수 없다. 지구온난화는 연평균온도에 대한 개념일 뿐이고, 그 안에서 일어나는 기상이변은 오히려 더욱 심각해질 지 모르기 때문이다(IPCC, 1995). 이러한 점에서 보면 여름작물의 생육기간 연장은 유리하다.

그러나 1998년과 1999년에 나타난 우리나라의 이상 기상 현상은 여러 기후변동의 원인 가운데 어떤 것들이 관여하고 있는지는 알 수 없다. 그러나 대기중 온실기체의 농도 증가로 인한 지구온난화와 1997년의 엘니뇨와 1999년과 2000년 상반기까지 진행되었던 라니냐의 영향을 지목하기도 한다.

1953년부터 1996년까지 기상관측자료를 이용하여 엘니뇨/라니냐해의 우리나라 기상 특징을 분석한 결과(차은정 등, 1999)를 보면, 엘니뇨해의 여름철에는 저온, 겨울철에는 고온경향이 뚜렷하고, 라니냐해에는 엘니뇨해처럼 뚜렷한 특징은 없으나 대체로 여름에는 고온, 겨울에는 저온 경향이였다. 태풍의 발생은 엘니뇨해에는 줄어 들고 라니냐해는 평년과 같은 경향이였다. 엘니뇨해에는 장마의 시작과 종료시기가 늦어졌지만 장마기간은 평년과 비슷하였고, 장마기간 중 강수량은 증가하였으며, 라니냐해에는 장마 시작시기는 평년과 비슷하나 일찍 종료되어 장마기간이 짧아지고 강수량도 감소한 것으로 나타났다.

엘니뇨가 한창 진행되던 1997년에는 6월 기온은 평년보다 1~2°C 높았고, 7, 8, 9월에는 평년과 비슷하였으며, 12월의 기온은 평년보다 1~3°C 높았다. 장마는 일찍 끝났고 강수량은 평년보다 조금 적은 편이었으며 복잡한 태풍은 5개 정도였다.

엘니뇨와 라니냐가 교차하던 1998년에는 1월달 기온은 '97년 12월의 평년보다 높은 기온에 이어 1~3°C 높은 분포로 “춥지 않은 겨울 현상”을 보였다. 6월 기온은 평년보다 1~2°C 낮았고, 7월과 9월에는 평년과 비슷하였으며, 9월에는 평년보다 1~3°C 높았다. 장마는 평년보다 늦게 끝나서 장마기간이 3~16일 길었고 장마기간 중 강수량은 240~850 mm 많았다. 복잡한 태풍은 2개로 적은 편이었다.

라니냐가 한창 진행되던 1999년에 기온은 1월과 2월에는 평년보다 1~4°C 높았고, 6월에는 평년보다 1~3°C 높았으며, 7월과 8월에는 평년보다 1°C가 높았으며 9월에는 1~3°C가 높았다. 장마는 중부지방에서는

12~14일 일찍 끝났다.

이러한 경과기상은 엘니뇨해의 여름 저온 또는 라니냐해의 겨울 저온 등은 과거 엘니뇨/라니냐 해의 기상과는 차이가 있다. 1998년과 1999년의 기상을 우리나라의 기후와 비교하면 봄철에는 덥고 비가 자주 내렸으며, 장마는 전선이 활성을 띠지 못하여 이른바 마른장마의 형태이면서 산발적으로 국지적 폭우현상을 보였으며, 장마가 끝난 뒤에는 8월의 화창한 여름 날씨가 실종되어 사실상 장마가 끝났다고 볼 수 없을 만큼 일조시간이 부족하였다. 가을철에는 온도가 높고, 비가 자주 오고, 철 지난 태풍이 영향을 주었다. 겨울철에는 춥지 않은 겨울이 계속되면서 일조시간이 부족하였다.

이러한 기상현상은 농업생태계를 교란하고도 남음이 있다. 벼농사에서는 8월의 일조부족은 광합성 부진으로 소출을 더욱 높일 수 있는 기회를 잃었고, 쓰러짐을 유도하였으며, 가을철 일조부족과 태풍은 쓰러짐과 이삭썩나기를 불러왔다.

그러나 이보다 관심을 기울여야 할 기상현상은 자포니카 벼의 등숙기간이 대체로 고온으로 경과하였다는 사실이다.

III. 벼에 알맞은 등숙기간의 변화

3.1. 알맞은 등숙기간의 온도

우리나라에서 벼의 알맞은 출수기는 출수후 40일간의 일평균기온으로 결정한다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 자포니카 벼가 최고수량을 내는 등숙기간의 일평균기온은 22°C이고, 안전수량을 내는 일평균기온의 범위는 21~23°C이다. 그리고 통일형벼는 자포니카 벼보다 알맞은 등숙기온이 높아서 최고수량을 내는 일평균기온은 25.6°C로 추정되었다(農村振興廳, 1981). 그러나 통일벼가 재배되던 때는 조생통일과 같은 조생종도 등숙기간에 이 온도가 주어진 적이 드물었다.

평야지에서 재배하는 자포니카 벼의 경우는 출수후 40일간의 일평균기온은 21~23°C일 때 등숙에 알맞은 조건으로 보지만, 표고 280 m인 남부 중산간지에 속하는 상주 화서에서 자포니카 조생종의 경우는 23.5°C가 가장 알맞은 온도로 나타나기도 하였다(尹成浩, 1986). 대체로 평야지에서는 등숙기온이 21°C보다 1°C가 낮은 20°C가 되면 7%가 감수하여 저온의 영향을 받았다고 할 수 있고, 23°C보다 1°C가 높은

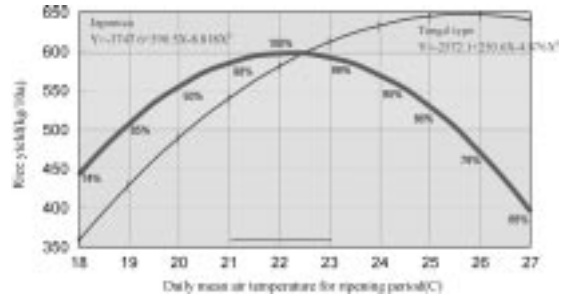


Fig. 2. Rice yield response to daily mean air temperature for duration of 40 days after flowering in japonica and Tongil type cultivars.

24°C일 때는 5%가 감수되어 고온의 영향을 받았다고 할 수 있다. 따라서 출수후 40일간의 일평균기온 21~23°C를 자포니카 벼의 알맞은 등숙온도로 보고 1998년과 1999년에 그 알맞은 등숙온도가 유지된 지역별 출수기와 출수기간을 평년과 비교하고자 한다.

3.2. 알맞은 출수기의 출현

3.2.1. 평년

평년(1961~90)의 알맞은 출수기의 시작(출수후 40일간 일평균기온 23°C가 처음 나타난 날)은 인제의 7월 28일부터 목포와 여수의 8월 20일까지 24일의 차이를 두고 분포하며, 알맞은 출수기의 끝(출수후 40일간 일평균기온 21°C가 마지막 나타난 날)은 인제의 8월 9일부터 목포와 여수의 9월 1일까지 23일의 차이를 두고 분포하였다. 출수후 40일간 일평균기온 23°C가 나타난 날부터 21°C가 마지막 나타난 날까지는 평균 12일이고, 그 범위는 청주, 금산, 전주 등지의 10일부터 울진의 15일까지 6일의 차이를 두고 분포하였다 (Table 1).

기후값으로 본 알맞은 출수기의 분포는 지역간 변이가 크지 않은 것으로 나타났는데, 그 이유는 실제의 변이를 무시한 30년의 평균값이기 때문이다. 그러나 이들 기후값은 연차간 편차(anomaly)를 구하여 평가하는 데 필요하다.

대체로 알맞은 출수기의 지속기간은 평야지보다 해안이 2~3일 길고, 중산간지 이상에서도 1~2일 길었다. 알맞은 출수기의 시작은 위도와 표고가 높은 지역과 동해안에서 일찍 나타나고 남부와 평야지에서는 늦다. 알맞은 출수기의 끝은 위도가 높은 중산간지 이상에는 일찍 오고 내륙평야지는 이보다 늦는데, 남부해안이 가장 늦다.

Table 1. Distribution of optimum flowering dates and its consecutive days in agroclimate zone for rice cultivation in Korea (month, date)

Agroclimate zone	Site	Norm (1961-90)			1998			1999		
		Beginning (23°C)	End (21°C)	Period (day)	Beginning (23°C)	End (21°C)	Period (day)	Beginning (23°C)	End (21°C)	Period (day)
1. Taebaek Alpine	Yeongweol	–	–	–	8. 5	8. 20	16	8. 9	8. 22	14
2. Taebaek Semi-Alpine	Inje	7. 28	8. 9	13	7. 20	8. 19	31	8. 7	8. 20	14
	Hongcheon	8. 2	8. 13	12	8. 7	8. 21	16	8. 11	8. 22	12
	Jecheon	8. 2	8. 14	12	8. 2	8. 17	16	8. 5	8. 17	13
3. Sobaek Mountainous	Boeun	8. 3	8. 14	12	8. 4	8. 22	19	8. 11	8. 23	13
	Chupungryeong	8. 6	8. 17	12	8. 7	8. 21	15	8. 10	8. 23	14
4. Noryeong Sobaek Mountainous	Imsil	8. 4	8. 15	12	7. 24	8. 14	22	7. 23	8. 19	28
	Jangsu	–	–	–	7. 26	8. 13	19	7. 27	8. 18	23
5. Yeongnam Inland Mountainous	Yeongju	8. 4	8. 15	12	7. 29	8. 18	21	8. 9	8. 25	17
	Mungyeong	8. 9	8. 19	11	7. 23	8. 15	24	8. 10	8. 23	14
	Andong	–	–	–	8. 11	8. 27	17	8. 14	8. 27	14
6. Northern Central Inland	Yangpyong	8. 6	8. 16	11	8. 14	8. 30	17	8. 15	8. 26	12
	Dongducheon	–	–	–	–	–	–	8. 16	8. 25	10
	Cheolweon	–	–	–	–	8. 19	–	8. 12	8. 22	11
	Chuncheon	8. 4	8. 15	12	7. 28	8. 24	23	8. 14	8. 25	12
7. Central Inland	Icheon	8. 8	8. 18	11	8. 5	8. 20	16	8. 12	8. 23	12
	Weonju	–	–	–	8. 13	8. 27	15	8. 14	8. 27	14
	Chungju	8. 8	8. 18	11	8. 10	8. 24	15	7. 30	8. 16	18
8. Western Sobaek Inland	Cheongju	8. 11	8. 20	10	8. 20	9. 5	17	8. 22	8. 31	10
	Daejon	8. 12	8. 22	11	8. 19	9. 5	18	8. 18	8. 30	13
	Geumsan	8. 8	8. 17	10	8. 6	8. 21	16	8. 13	8. 26	14
	Cheonan	–	–	–	–	–	–	8. 12	8. 23	12
9. Noryeong Eastern & Western Inland	Namweon	8. 12	8. 22	11	8. 13	8. 28	16	8. 19	8. 30	12
	Sancheong	8. 11	8. 21	11	8. 14	8. 29	16	8. 13	8. 27	15
	Geochang	8. 4	8. 15	12	8. 4	8. 18	15	8. 4	8. 22	19
10. Honam Inland	Gwangju	8. 17	8. 27	10	8. 27	9. 9	14	8. 25	9. 5	12
	Jangheung	8. 14	8. 24	11	8. 17	9. 5	20	8. 18	9. 2	16
	Suncheon	8. 11	8. 21	11	8. 13	8. 18	16	8. 18	8. 31	14
11. Yeongnam Basin	Gumi	8. 8	8. 18	11	8. 15	8. 31	17	8. 16	8. 25	12
	Daegu	8. 16	8. 26	11	8. 25	9. 9	16	8. 24	9. 5	13
	Yeongcheon	8. 9	8. 20	12	8. 10	8. 25	16	8. 11	8. 25	15
	Uiseong	8. 7	8. 17	11	8. 6	8. 21	16	8. 12	8. 25	12
12. Yeongnam Inland	Milyang	8. 14	8. 24	11	8. 16	9. 5	21	8. 17	9. 1	16
	Jinju	8. 15	8. 25	11	8. 22	9. 7	17	8. 20	9. 4	16
	Hapcheon	8. 12	8. 22	11	8. 16	9. 2	18	8. 16	8. 29	14
13. Western Central Plain	Ganghwa	8. 6	8. 17	12	8. 7	8. 23	17	8. 12	8. 23	12
	Seoul	8. 13	8. 24	12	8. 23	9. 8	17	8. 23	9. 1	10
	Inchon	8. 11	8. 23	13	8. 21	9. 7	18	8. 19	8. 30	12
	Suweon	8. 10	8. 20	11	8. 24	9. 8	16	8. 23	9. 1	10
	Asan	8. 9	8. 20	12	8. 7	8. 20	14	–	–	–
	Seosan	8. 10	8. 21	12	8. 15	9. 2	19	8. 16	8. 27	14
	Boryeong	8. 11	8. 22	12	8. 19	9. 5	18	8. 17	8. 29	13

Table 1. Continued

Agroclimate zone	Site	Norm (1961-90)			1998			1999		
		Begin-ning (23°C)	End (21°C)	Period (day)	Begin-ning (23°C)	End (21°C)	Period (day)	Begin-ning (23°C)	End (21°C)	Period (day)
14. Southern Charyeong Plain	Buyeo	8. 1	8. 20	11	8. 17	9. 4	19	8. 19	8. 30	12
	Gunsan	8. 15	8. 26	12	8. 23	9. 7	16	8. 21	9. 1	12
	Jeonju	8. 17	8. 26	10	8. 26	9. 8	14	8. 25	9. 4	11
	Buan	8. 12	8. 22	11	8. 15	8. 31	17	8. 17	8. 29	13
	Jeongeup	8. 14	8. 25	13	8. 18	9. 3	17	8. 17	8. 30	14
15. South Western Coastal	Mokpo	8. 20	9. 1	13	8. 25	9. 9	16	8. 24	9. 5	13
	Muan	-	-	-	8. 25	9. 9	16	8. 24	9. 5	13
	Haenam	8. 16	8. 27	12	8. 18	9. 6	20	8. 25	9. 6	13
	Goheung	8. 18	8. 29	12	8. 18	9. 7	21	8. 18	9. 4	17
16. Southern Coastal	Yeosu	8. 20	9. 1	13	9. 1	9. 13	13	8. 27	9. 8	13
	Namhae	8. 18	8. 29	12	8. 21	9. 8	19	7. 22	8. 27	37
	Tongyeong	8. 20	9. 1	13	9. 2	9. 13	12	8. 27	9. 8	13
	Busan	8. 19	8. 31	13	9. 5	9. 14	10	8. 28	9. 9	13
	Masan	-	-	-	9. 7	9. 17	11	9. 1	9. 9	9
17. North Eastern Coastal	Sokcho	8. 1	8. 16	16	7. 20	8. 24	36	8. 11	8. 25	15
	Gangreung	8. 6	8. 18	13	8. 13	9. 5	24	8. 13	8. 30	18
18. Central Eastern Coastal	Donghae	-	-	-	8. 4	8. 24	21	8. 3	8. 22	19
	Samcheok	8. 3	8. 16	14	-	-	-	-	-	-
	Uljin	8. 3	8. 17	15	8. 8	8. 25	18	8. 8	8. 24	17
	Yeongdeok	8. 8	8. 17	13	8. 1	8. 21	21	7. 24	8. 21	29
19. South Eastern Coastal	Pohang	8. 14	8. 26	13	8. 25	9. 10	17	8. 19	9. 5	18
	Ulsan	-	-	-	8. 26	9. 10	16	8. 22	9. 6	16
	Range	7.28-8.20	8.9-9.1	10-16	7.20-9.7	8.13-9.17	10-36	7.22-9.1	8.16-9.9	9-37
	Mean	8. 10	8. 21	12	8. 13	8. 30	18	8. 15	8. 28	15

*The flowering dates could be keeping at 21~23°C of daily mean air temperature for duration 40 days after flowering.

3.2.2. 1998년

1998년에는 알맞은 출수기의 시작은 인제와 속초의 7월 20일부터 마산의 9월 7일까지 49일간 분포하여 평년보다 25일이 더 많았는데, 시작은 평년보다 8일 일찍 나타나서, 19일 늦게까지 지속되었다. 알맞은 출수기가 마지막 나타난 날은 장수의 8월 13일부터 마산의 9월 17일까지 36일의 차이를 두고 분포하여 평년보다 30일이 더 많았는데, 평년보다 5~17일 늦게까지 지속되었다(Table 1).

알맞은 출수기간은 13일(여수)부터 31일(인제)로 그 분포 범위가 넓었으며, 평균은 18일로 평년보다 6일이 더 늘어났는데, 특히 20일이 넘는 곳은 인제, 임실, 영주, 문경, 춘천, 밀양 등지의 내륙과 장흥, 해남, 고흥, 속초, 강릉, 동해, 영덕 등지의 해안지방에 분포하였다.

특히 북위 35도 37분, 표고 244m에 위치한 임실에서 평년의 알맞은 출수기는 8월 4일부터 8월 15일 까지인데, 1998년에는 7월 24일부터 8월 14일로 평년보다 11일 일찍 와서 1일 일찍 끝났고 그 기간은 10일이 더 많았다.

3.2.3. 1999년

1999년에는 알맞은 출수기의 시작은 남해 7월 22일, 임실 7월 23일부터 마산의 9월 1일까지 41일간 분포하여 평년보다 17일이 더 많았는데, 평년보다 6일 일찍 시작되어 12일 늦게까지 지속되었다. 알맞은 출수기가 마지막 나타난 날은 충주의 8월 16일부터 부산과 마산의 9월 9일까지 25일의 차이를 두고 분포하여 평년보다 3일이 더 많았는데, 평년보다 7-8일 늦게까지 지속되었다(Table 1).

알맞은 출수기간은 9일(마산)부터 37일(남해)로 그

분포 범위가 넓었으며, 평균은 15일로 평년보다 3일이 더 늘어났는데, 20일이 넘는 곳은 임실, 장수 등지의 내륙과 남해, 영덕 등지의 해안지방에 분포하였다.

3.2.4. 지역 특징

노령소백산간지대에 위치한 임실에서는 등숙기간의 기온으로 본 알맞은 출수기간이 평년에는 8월 4일부터 8월 15일까지 12일간인데, '98년과 '99년에는 이보다 10일 이상 일찍 나타났고, 끝나는 시기는 평년과 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 알맞은 출수기간의 지속일수는 '98년에 22일이고, '99년에는 28일로 평년보다 10일, 16일 각각 더 길었다(Fig. 3).

태백준고랭지대에 속하는 제천의 알맞은 출수기간은 평년에는 8월 2일부터 14일까지 12일간 지속되는데, '98년과 '99년에는 8월 2일과 5일에 각각 시작되어 8월 17일에 끝나 각각 16일과 13일간의 알맞은 출수기간을 보여서 평년과 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 4).

중서부 평야지대의 수원의 알맞은 출수기간은 평년에는 8월 10일부터 20일까지 11일간이지만, '98년에는 이보다 훨씬 늦은 8월 24일에 시작되어 9월 8일

에 끝나 16일간 지속되었고, '99년에는 8월 23일부터 9월 1일까지 10일간 지속되었다. 두 해 모두 평년보다 13, 14일 늦게 시작된 공통점이 있었지만 끝나는 시기는 서로 큰 차이를 보였다(Fig. 5).

차령남부평야지대의 전주의 알맞은 출수기간은 평년에는 8월 17일에 시작되어 8월 26일에 끝나 11일간 지속되는데, '98년과 '99년에는 평년보다 10일 가량 늦게 시작되어 10일, 14일 늦게 끝났다(Fig. 6).

영남분지지대의 대구는 평년에 8월 16일부터 8월 26일까지 11일간 지속되는데, '98년과 '99년에는 평년보다 10일 가량 늦게 시작되어 12일 또는 15일 늦게 끝났다(Fig. 7).

영남내륙지대의 밀양은 평년에는 8월 14일부터 8월 24일까지 11일간 지속되지만, '98년에는 평년보다 2일 늦은 8월 16일에 시작되어 12일 늦은 9월 5일까지 21일간 지속되었고, '99년에는 평년보다 3일 늦게 시작되어 8일 늦게 끝났다. 밀양에서는 다른 평야지 하고는 달리 시작이 2, 3일밖에 늦지 않았으나, 종료는 마찬가지로 늦었다(Fig. 8).

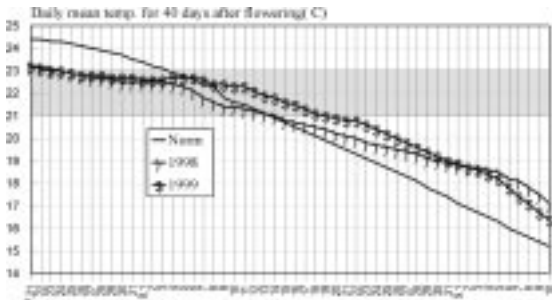


Fig. 3. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Imshil (Lat. 35° 37' N, Alt. 246.9 m).

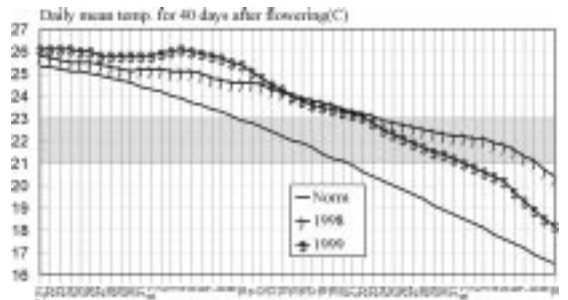


Fig. 5. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Soweon (Lat. 37° 16' N, Alt. 33.6 m).

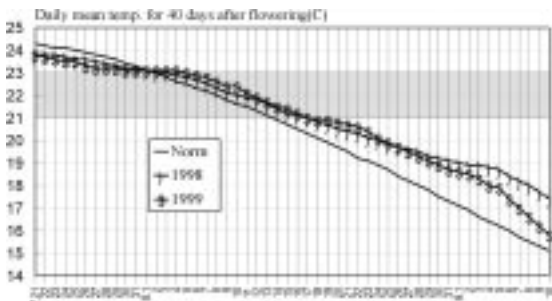


Fig. 4. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Jecheon (Lat. 37° 09' N, Alt. 264.4 m)

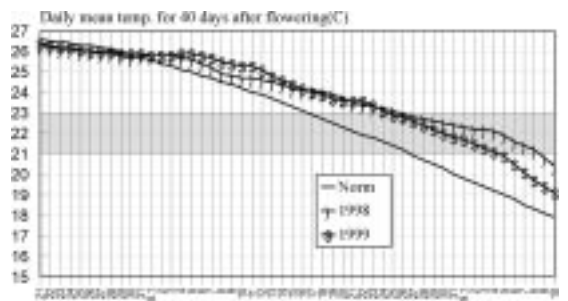


Fig. 6. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Jeonju (Lat. 35° 49' N, Alt. 53.5 m).

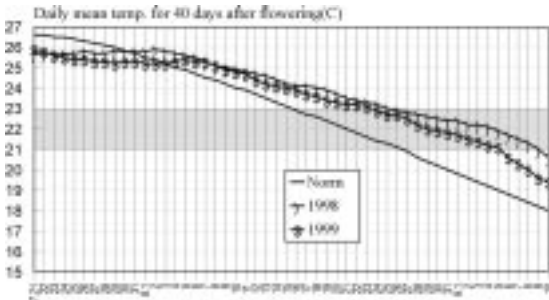


Fig. 7. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Daegu (Lat. 35° 53' N, Alt. 57.6 m).

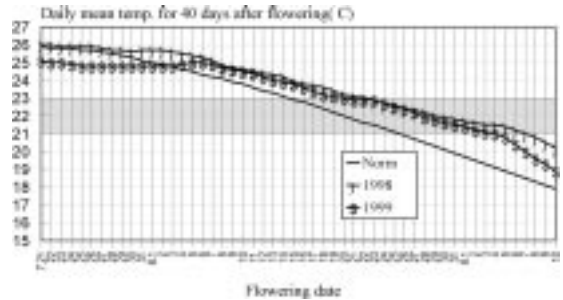


Fig. 9. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Jinju (Lat. 35° 12' N, Alt. 21.3 m).

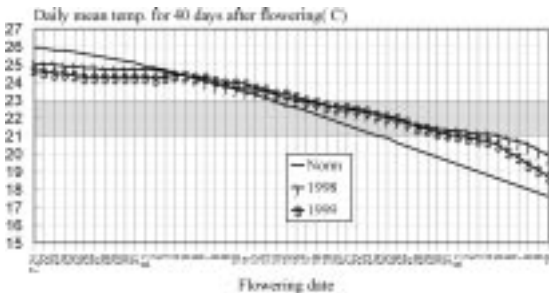


Fig. 8. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Milyang (Lat. 35° 29' N, Alt. 12.6 m).

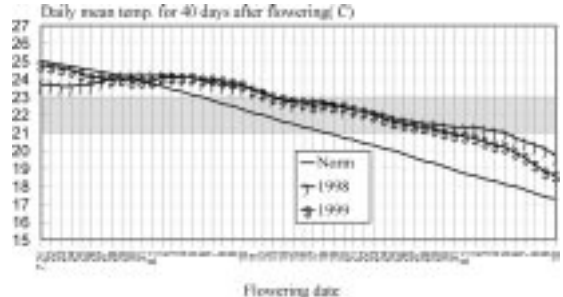


Fig. 10. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Gangneung (Lat. 37° 45' N, Alt. 25.9 m).

진주에서는 평년에 8월 15일부터 25일까지 11일간 인데, '98년에는 평년보다 7일 늦은 8월 22일에 시작되어 평년보다 13일 늦은 9월 7일까지 17일간 지속되었고, '99년에는 '98년보다 2일 일찍 시작되어 3일 일찍 끝났다(Fig. 9).

대체로 내륙평야지의 '98년과 '99년의 알맞은 출수 기간은 평년보다 늦게 시작되어 늦게 끝났고 그 지속 기간도 평년보다 길었다. 출수후 40일간의 일평균기온이 23°C가 되는 날이 시작되는 날이므로 그보다 이른 시기는 23°C 이상이 되어 등숙에 유리할 수 없다. 따라서 '98~'99년에는 출수가 이르거나 평년과 같다고 한다면 지나치게 높은 등숙기온으로 경과되었다고 볼 수 있다.

동해안의 강릉의 알맞은 출수기간은 평년에는 8월 6일~18일로 13일간이지만, '98년에는 평년보다 7일 늦은 8월 13일에 시작되어 9월 5일에 끝나 평년보다 18일이 늦어 24일간 지속되었다. '99년에는 '98년과 같은 시기에 시작되어 6일 일찍 끝나 18일간 지속되었다(Fig. 10).

영덕은 평년에는 8월 8일~17일로 13일간 지속되었는데, '98년에는 평년보다 7일 이른 8월 1일에 시작되어 8월 21일까지 21일간 지속되었고, '99년에는 '98년보다 8일 이른 7월 24일부터 '98년과 같이 8월 21일까지 29일간 지속되었다(Fig. 12).

차령남부평야지에 속하고 서해안에 위치한 부안은 평년에 8월 12일~22일로 11일간 지속되었다. '98년에는 평년보다 3일 늦게 시작되어 9월 늦게 끝나서 17일간 지속되었고, '99년에는 '98년보다 2일 늦게 시작되어 2일 일찍 끝나 13일간 지속되었다(Fig. 11).

'98년과 '99년에는 평년보다 알맞은 등숙온도를 확보하는 출수기간이 늦게 시작되어 늦게 끝나면서 그 기간이 길어지는 경향이었는데, 지역에 따라 조금씩 다르게 나타났다. 다같이 중산간지대에 속하지만 국토의 서쪽에 위치한 임실은 평년보다 일찍 시작되어 평년과 같이 끝났으나 동쪽에 위치한 제천은 평년과 큰 차이를 보이지 않았다. 한편 동해안은 평년보다 일찍 시작되어 늦게 끝나고, 서해안은 평년보다 늦게 시작되어 늦게 끝나는 경향이였다.

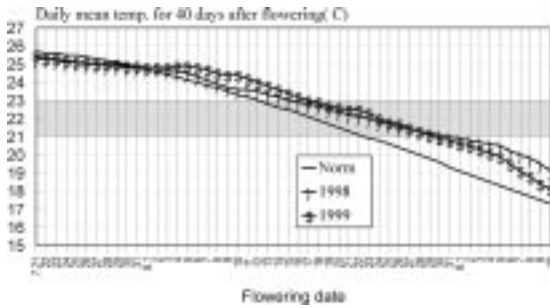


Fig. 11. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Buan (Lat. 35° 44' N, Alt. 10.7 m).

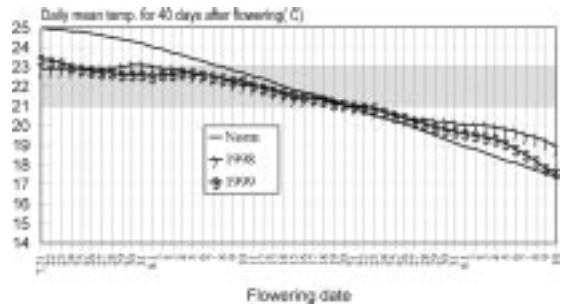


Fig. 12. Comparison of optimum flowering period for ripening of rice in 1998, 1999, and norm (1961~90) at Yeongdeok (Lat. 36° 32' N, Alt. 41.2 m).

3.3. 알맞은 등숙기간 중의 일조시간 분포

평년의 알맞은 등숙기간(출수후 40일간)중 일조시간 분포는 강릉의 189시간(4.7시간/일)부터 부여의 337시간(8.4시간/일)까지 폭넓게 분포하고, 전국 평균 일조시수는 255시간(6.4시간/일)이다. 그런데, 강릉과 같은 곳에서는 줄단일조계로 측정하였고, 부여와 같은 곳에서는 바이메탈 일조계로 측정하여 서로 직접 비교할

수가 없다. 대체로 바이메탈일조계보다 줄단일조계의 측정값이 조금 낮은 것은 틀림없으나 비교하려면 복잡한 절차를 거쳐야 한다(이정택 등, 1988). 따라서 Table 2에서 지역간 비교는 같은 형의 일조계끼리 비교하여야 한다.

1998년에 알맞은 등숙기간의 일조시수는 임실의 115시간(2.9시간/일)부터 인천의 314시간(7.9시간/일)까지

Table 2. Distribution of sunshine hours for optimum ripening period^{b)} in agroclimate zone for rice cultivation in Korea (hour)

Agroclimate zone	Site	Norm (1961-90)		1998		1999	
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
1. Taebaek Alpine	Yeongweol	-	-	201-244	225	161-219	183
2. Taebaek Semi-Alpine	Inje	256-264	260	126-246	192	145-204	169
	Hongcheon	259-267	263	209-249	233	160-201	173
	Jecheon	235-244	239	172-238	210	153-231	196
3. Sobaek Mountainous	Boeun	267-276	271	199-260	234	163-206	175
	Chupungryeong*	217-220	218	203-242	229	123-162	136
4. Noryeong Sobaek Mountainous	Imsil	284-296	289	115-202	156	170-214	190
	Jangsu	-	-	134-205	170	153-183	166
5. Yeongnam Inland Mountainous	Yeongju	283-292	286	163-256	220	140-190	162
	Mungyeong	273-280	272	155-257	209	168-219	184
	Andong	-	-	215-244	232	117-152	136
6. Northern Central Inland	Yangpyeong	273-276	274	229-247	236	170-188	178
	Dongducheon	-	-	235-264	249	170-181	177
	Cheolweon	-	-	201-285	254	205-239	213
	Chuncheon*	221-224	222	236-263	253	197-208	199
7. Central Inland	Icheon	294-300	297	188-237	219	166-209	179
	Weonju	288-291	289	214-237	227	176-200	190
	Chungju	270-274	272	252-281	264	163-234	213
8. Western Sobaek Inland	Cheongju*	229-251	237	248-278	266	185-206	199
	Daejon*	227-237	231	232-262	248	169-198	182
	Geumsan	262-268	264	184-234	215	144-169	155
	Cheonan	-	-	-	-	137-169	144

Table 2. Continued

Agroclimate zone	Site	Norm (1961-90)		1998		1999	
		Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean
9. Noryeong Estern & Western Inland	Namweon	239-245	241	220-245	233	163-179	169
	Sancheong	241-247	244	216-243	231	153-179	166
	Geochang	256-268	261	192-237	216	144-185	162
10. Honam Inland	Gwangju*	242-250	246	232-278	256	181-196	187
	Jangheung	223-231	227	213-245	229	127-165	146
	Suncheon	210-214	211	212-238	224	136-167	152
11. Yeongnam Basin	Gumi	241-249	244	241-268	258	149-175	163
	Daegu*	222-231	227	201-243	226	148-169	158
	Yongcheon	241-247	243	241-268	226	153-181	165
	Uisong	241-249	244	196-228	217	141-171	156
12. Yeongnam Inland	Milyang	253-259	256	220-246	234	165-201	182
	Jinju*	212-221	216	201-253	235	174-204	189
	Hapcheon	263-271	266	214-243	228	150-160	156
13. Weatern Central Plain	Ganghwa	286-293	290	294-254	280	181-226	198
	Seoul*	209-232	221	259-281	270	143-162	155
	Incheon*	243-257	250	264-314	292	193-206	200
	Suweon*	237-250	242	240-272	260	195-205	201
	Asan	305-310	307	214-268	248	–	–
	Seosan*	237-249	242	255-287	274	204-219	214
	Boryeong	299-306	302	255-311	292	203-215	144
14. Southern Charyeong Plain	Buyeo	333-337	334	220-252	241	169-190	179
	Gunsan*	240-249	245	199-249	229	181-194	189
	Jeonju*	229-237	233	201-248	228	165-196	184
	Buan	315-317	316	246-277	261	191-201	198
	Jeongeup	288-290	290	212-250	232	152-174	163
15. South Western Coastal	Mokpo*	248-254	251	229-273	251	193-205	198
	Muan	–	–	188-224	206	171-199	185
	Haenam	291-294	292	217-261	242	164-190	178
	Goheung	304-307	305	208-268	243	171-214	195
16. Southern Coastal	Yeosu*	256-264	260	202-242	218	206-225	213
	Namhae	268-273	271	218-268	253	147-216	172
	Tongyeong*	217-226	222	211-235	222	194-210	200
	Busan*	229-232	231	212-240	221	198-220	206
	Masan	–	–	179-196	189	182-196	187
17. North Eastern Coastal	Sokcho*	199-206	202	117-238	197	173-187	180
	Gangreung*	189-197	192	187-234	214	180-197	188
18. Central Eastern Coastal	Donghae	–	–	223-255	239	184-228	204
	Samcheok	263-276	268	–	–	–	–
	Uljin*	243-258	249	242-269	259	175-231	196
	Yeongdeok	280-289	284	233-285	270	148-201	175
19. South Eastern Coastal	Pohang*	201-212	206	185-239	215	151-177	164
	Ulsan*	212-219	215	185-224	207	163-187	173
Mean		189-337	255	115-314	234	123-239	179

*Jordan sunshine recorder; the other sites are bimetal sunshine recorder.

Source: Climatological Standard Normals of Korea (1961~90); Annual Climatological Reports (1998 and 1999).

^{a)} Optimum ripening period: It could be keeping at 21~23°C of daily mean air temperature for duration 40 days after flowering.

Table 3. Distribution of flowering dates and daily mean air temperature for ripening period of ordinary cultivation in Local Adaptability Tests of Newly Developed Rice Lines

Site	1998		1999	
	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)
Tongyeong	8. 9 - 8. 20	24.2 - 25.4	8. 9 - 8. 18	23.8 - 24.8.
Daejeon	8. 12 - 8. 22	22.5 - 23.9	8. 5 - 8. 16	23.4 - 25.3
Milyang	8. 11 - 8. 27	21.7 - 23.6	8. 11 - 8. 20	22.6 - 23.9
Daegu	8. 12 - 8. 31	22.4 - 24.7	8. 14 - 8. 21	23.2 - 24.1
Gumi	8. 13 - 8. 29	21.2 - 23.3	8. 9 - 8. 18	22.6 - 24.0
Jinju	8. 8 - 8. 22	23.0 - 24.8	8. 8 - 8. 20	23.0 - 24.7
Suweon	7. 28 - 8. 24	22.9 - 25.3	8. 3 - 8. 21	23.2 - 26.0
Chuncheon	7. 22 - 8. 24	21.1 - 24.2	8. 4 - 8. 20	22.1 - 24.6
Chongju	7. 25 - 8. 21	22.9 - 25.4	7. 29 - 8. 16	23.7 - 25.7
Boeun	7. 28 - 8. 21	21.1 - 23.3	7. 27 - 8. 13	22.6 - 23.9
Andong	7. 24 - 8. 21	21.8 - 24.2	7. 31 - 8. 16	22.6 - 24.6
Yeongdeok	8. 15 - 8. 27	20.3 - 21.4	8. 16 - 8. 24	20.7 - 21.5
Cheolweon	7. 21 - 8. 18	21.1 - 23.4	7. 20 - 8. 4	24.2 - 24.3
Gangreung	7. 27 - 8. 24	22.0 - 23.9	7. 24 - 8. 3	24.1 - 24.5
Jecheon	7. 24 - 8. 11	21.9 - 23.7	7. 19 - 7. 28	23.2 - 24.0

Source: Rural Development Administration 1998 and 1999.

분포하였고, 평균은 234시간으로 평년보다 적었다. 1999년에는 123시간(추풍령)부터 239시간(철원)까지 분포하였고, 평균은 179시간으로 1998년보다도 55시간이 적었다.

3.4. 1998년과 1999년의 지역별 실제 출수기의 분포

1998년과 1999년에 실시한 벼 우량계통지방적응시험에 공시된 품종과 계통들의 실제 출수기에 따른 등숙기간의 온도를 놓고 알맞은 등숙온도(21~23°C)와 어떤 차이를 보였는지 알아보려고 한다.

일반재배에서 1998년에 등숙기온 상한인 23°C 이상으로 경과된 계통이 공시된 지역은 통영, 진주, 대구, 수원, 청주, 춘천, 안동, 강릉, 철원, 제천, 보은 등지이

다. 이 가운데 전 계통이 모두 23°C 이상인 곳은 통영이었고, 나머지 지역들은 알맞은 등숙기온 범위와 겹쳐있었다.

1999년에도 1998년과 비슷한 경향이나 공시된 계통이나 품종이 모두 23°C 이상의 등숙기온을 보인 지역은 철원, 강릉, 통영, 청주, 대전, 수원, 대구, 제천, 진주 등지로 1998년보다 많았다. 그리고 알맞은 등숙기온과 겹쳐있는 지역은 밀양, 구미, 춘천, 보은, 안동 등지였다. 그러나 영덕은 20.7~21.5°C로 분포되어 알맞은 등숙기온을 밀돌아 특이한 지역으로 나타났다. 대체로 1999년은 1998년보다 높은 등숙온도에 일조시간은 적은 상태로 경과되었다(Table 3).

한편 건답직파재배에 공시된 품종들은 1998~99년에

Table 4. Distribution of flowering dates and daily mean air temperature for ripening period of dry land direct seeding cultivation in Local Adaptability Tests of Newly Developed Rice Lines

Site	1998		1999	
	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)
Suweon	8. 18 - 8. 30	22.3 - 23.7	8. 16 - 8. 30	21.4 - 23.8
Milyang	8. 11 - 8. 21	22.6 - 23.6	8. 9 - 8. 24	22.2 - 24.0
Chuncheon	8. 15 - 8. 29	20.4 - 22.4	8. 16 - 8. 28	20.4 - 22.5
Cheongju	8. 9 - 8. 21	22.9 - 24.3	8. 7 - 8. 23	22.8 - 25.5
Daegu	8. 15 - 8. 30	22.5 - 24.2	8. 16 - 9. 2	21.5 - 23.9

Source: Rural Development Administration, 1998 and 1999.

Table 5. Distribution of flowering dates and daily mean air temperature for ripening period of ordinary cultivation of super rice in Local Adaptability Tests of Newly Developed Rice Lines

Site	1998		1999	
	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)	Flowering date (month. date)	Daily mean air temperature for ripening period (°C)
Suweon	8. 13 - 8. 17	23.8 - 24.3	8. 10 - 8. 16	23.6 - 25.4
Milyang	8. 11 - 8. 18	22.8 - 23.6	8. 8 - 8. 16	23.2 - 24.1
Cheongju	8. 10 - 8. 19	23.2 - 24.2	8. 9 - 8. 16	23.7 - 25.2
Daejeon	8. 8 - 8. 14	23.6 - 24.1	8. 6 - 8. 14	23.8 - 25.2
Daegu	8. 10 - 8. 18	24.0 - 24.9	8. 8 - 8. 20	23.3 - 25.1
Jinju	8. 7 - 8. 14	24.2 - 25.1	8. 7 - 8. 15	23.8 - 24.9

Source: Rural Development Administration, 1998 and 1999.

걸쳐 일반재배보다는 등숙기온이 조금 낮았지만, 수원, 밀양, 청주, 대구 등지에서는 23°C를 넘었고, 다만 춘천에서는 20.4-22.5°C로서 21°C 이하의 등숙기온을 가진 계통도 있었다(Table 4).

초다수 보통기재배에 공시된 계통의 등숙기온은 일반재배 보통기와 같은 경향이나, 25°C 이상에서 등숙된 계통이 공시된 곳은 1998년에 전주 한 곳이었지만, 1999년에는 수원, 청주, 대전, 대구 등 네 곳이었다.

3.5. 고찰

1998년과 1999년에는 알맞은 출수기가 평년보다 일찍 나타나서 늦게까지 지속되었다. 알맞은 출수기의 출현기간은 1998년보다 1999년에 평균 3일 줄어들었고, 시작은 서로 비슷하였으나 끝나는 시기는 1998년이 더 늦었다.

1999년에 남해와 영덕의 알맞은 출수기의 출현기간이 각각 37일과 29일로 다른 지역보다 훨씬 길었다. 남해는 일찍 시작되어 늦게 끝났고, 영덕은 일찍 시작되어 1998년과 비슷한 시기에 끝났다. 이러한 연차간 지역간 차이는 국지적인 기상현상에 기인하고, 이들 지역은 바닷물의 온도 변화와 관계가 있을 것으로 본다. 특히 1998-99년은 엘니뇨/라니냐 영향으로 해류의 변화와 해수의 온도가 영향을 준 것으로 보인다(차은정 등, 1999).

한편, 기온으로 보아서 1998년과 1999년에 알맞은 등숙기간 중의 일조시간은 장마 후의 화창한 여름날씨의 실종과 이어서 청명한 9월의 날씨까지 실종되어 평년보다 떨어졌는데, 1999년은 1998년보다 평균 55시간이 더 떨어졌다.

1995~99년은 농업기후에 크게 벗어난 이상기상으로

지구온난화 또는 기후변화 측면에서 주목하지 않을 수 없다. 자포니카 벼는 등숙기간의 기온이 높았는데, 그 이유는 평년보다 높은 온도가 출수기를 앞당겼고, 출수후에도 온도가 높았기 때문이다. 이러한 현상은 관행 재배시기를 지키면 자칫 고온기에 출수하여 지나치게 높은 온도에서 등숙기간을 경과하게 되어 고온해로 수량이 줄어들 염려가 있다. 고온해는 주로 등숙기간의 단축에 따른 입중의 감소로 나타날 것이다(IRRI, 1978).

벼는 출수하기 전까지 온도는 높고 일조시수가 적으면, 광합성이 부진하게 되고 기질의 소모가 조장되어 출수후에 이삭으로 이전될 탄수화물이 적어진다. 이 경우 만약 출수후 등숙기간에도 불량환경을 만나서 광합성이 부진하게 되면 작물의 수량이 저조해질 뿐만 아니라 탄수화물이 이삭으로 이전됨(Cock and Yoshida, 1972)에 따라 도복을 불러오게 된다. 이러한 기상이 기후로 굳어질 수 있다는 가정을 하면 벼농사에서 품종 육성과 재배법 개선에 고려하여야 할 사항을 심각하게 다루지 않을 수 없다.

1998~99년에 실시한 신품종 우량계통 지역적응시험에서 나타난 등숙기간의 온도를 보면 일반재배 또는 건답직파재배에서 여러 계통들이 등숙에 알맞은 온도보다 높은 온도에서 등숙이 이루어졌다. 지난 1980년이나 1993년의 저온피해를 받았던 경우와 비교하면 반대 조건이면서 훨씬 안정된 조건으로 보기 쉽지만, 열대지방의 수량이 저조한 원인을 흔히 등숙기의 높은 온도와 밤과 낮의 낮은 일교차에 두는 것을 고려한다면 낙관적일 수 없다. 그러나 건답직파에서도 등숙온도가 높았던 것으로 보아 늦은 출수기가 직파재배의 제한요인이던 것이 상당히 완화될 것으로 보인다. 특

별히 통일형 품종의 알맞은 등숙온도는 25°C를 조금 넘어도 수량에 유리하므로(Fig. 2) 초다수 계통이 통일형에서 유래하였다면 1998~99년의 등숙온도는 좋은 조건으로 작용한다고 볼 수 있다.

지구온난화 그리고 그 뒤를 이어 찾아오는 기후변화는 과연 우리나라에 어떤 양상으로 전개될까? 이미 1987년 이후 확실하게 춥지 않은 겨울이 계속되고 있고(심교문 등, 2000), 1998년부터는 봄여름 가을의 기온도 높아지고 있다. 위에서 살펴본 1998년과 1999년의 이상기상이 엘니뇨/라니냐의 영향으로 나타난 일시적 현상이라고 하더라도, 기후학자들간에 조심스럽게 거론되는 지구온난화가 엘니뇨/라니냐 현상의 빈도를 높여갈 것이라는 주장에 주목하지 않을 수 없다. 여기에서 살펴본 기온, 일조시간 말고도 불연속 변이를 하는 강우, 태풍, 우박, 서리 같은 기후요소의 이상현상으로 인한 기상재해에 대해서도 낙관적 보장은 없다.

따라서 벼농사에서는 중요한 생육시기에 유리하게 작용하였던 우리나라의 기후가 마침내 변하여 지나친 고온과 일조부족으로 불리하게 작용할 수 있다는 가정은 결코 무시할 수 없게 되었다. 이 가정에 대비하는 육종과 재배법은 어떤 경우이든 벼농사를 안정으로 이끄는 데 크게 기여할 것으로 본다.

IV. 대 책

4.1. 기후변동에 따른 농업기상연구 과제

여기 사용한 기후값은 1961~90년의 30년 평균값이고, 2001년부터 10년간 사용할 기후값은 1971~2000년의 30년 평균값으로 바뀌게 된다. 이 두 기후값이 서로 차이가 있을 때 그것은 기후변동으로 보아야 한다. 춥지 않은 겨울 뿐만 아니라 여름 농사철에도 온도가 상승하는 경향을 보이며, 전형적인 장마 날씨가 사라지고, 또 장마의 끝이 분명하지 않아 8월과 9월에 일조부족과 더불어 강수일수가 증가하는 경향을 보이는 최근의 날씨는 농업기상 측면에서 몇 가지 과제를 안겨주었다.

적어도 지난 10년간의 ① 벼 생육기별 기온 일조시간, 강우일수 등의 연차변이를 분석하여, 최적기상조건과 이상기상에 대한 출현빈도와 지속기간을 파악하고, ② 벼농사 날씨의 변동추세와 더불어 전망을 예측한 다음, ③ 기후변동이 벼농사에 미치는 영향을 분석하여, 그 결과를 벼 품종 육성과 재배법 개선의 기초자

료로 제공하여야 할 것이다.

4.2. 기후변동에 대응한 벼 재배

기후변동의 구체적 현실은 異常氣象으로 나타난다. 작물이 이상기상 조건에 놓이게 될 것이라는 예측은 매우 중요한 기상정보이지만, 아직은 그 적중률 향상에 대한 기대가 남아있다. 그보다 중요한 것은 이미 작물이 이상기상에 경과된 경우에는, 경과기상 그 자체가 버려서는 안 되는 기상정보라는 사실이다. 경과기상에 따른 시비, 물대기, 농약주기 등의 영농관리는 무엇보다도 확실한 조치이기 때문이다. 이것은 세계기상기구(WMO)의 '농업기상예측에 대한 정의와 같다.

기후변동에 대응하여 벼 재배에서 착안할 사항은 기온과 일조시간 등 벼 생육과 밀접한 기상요소의 경과에 따른 작물의 반응이다. 우선 ① 농가가 재배하는 벼 품종에 대한 출수특성을 구명하여, ② 지역별 재배양식에 따른 품종 선택과 그에 알맞은 육묘방법과 이앙기를 결정할 수 있게 하고, 직파재배는 건답 또는 답수직파 등 파종방법을 고려한 파종기를 결정하도록 하여야 할 것이다. 이러한 고려는 온대 벼농사는 무엇보다 알맞은 등숙기간에 초점을 맞추어 재배하기 때문이다.

4.3. 기후변동에 대응한 벼 품종의 바람직한 특성

기후변동의 조건을 유효분얼종지기 이후에 고온과 일조부족으로 인한 소모도장의 우려가 있고, 등숙기간이 고온과 일조부족으로 경과되며, 강우일수가 증가하고, 등숙후기에 침수와 태풍으로 도복의 위험이 따른다는 가정에서 생각해본 바람직한 벼 품종의 특성이다(Table 6). 그러나 여기에는 시도부터 논의의 여지를 두고자하였음을 밝히는 바이다.

4.3.1. 출수와 등숙 관련 특성

현재 자포니카는 감온성인 조생종과 감광성인 중만생종을 재배하고 있는데, 이들 품종의 등숙에 알맞은 온도는 21~23°C이다. 기후변동은 이 온도범위가 지속되는 기간이 길어져 여유를 가질 수 있다고 생각할 수도 있지만, 현재 재배되는 품종은 이 온도범위보다 높은 온도의 등숙기간을 가지게 될 확률이 높기 때문에 문제가 된다.

이 문제는 자포니카 품종일 경우는 재배법으로 해결하기에는 어려움이 있다. 그 대안은 자포니카 품종보다 높은 등숙온도를 요구하는 품종을 재배하는 것이다.

Table 6. Rice varietal characteristics of ideotype for climate change in Korea

Characteristics	Present ideotype	Ideotype for climate change	Remark
1. Flowering and ripening			· Appeared weakness of photoperiod sensitive varieties.
● Flowering response	· Photoperiod-sensitive (intermediate and late japonica) · Thermo-sensitive (early japonica)	· Photoperiod and thermo sensitive · basic vegetative type (Tongil rice)	· Correspond to rising temperature during ripening. · To consider introduction the characteristics of super rice.
● Optimum temperature for ripening	· 21-23°C for japonica	· Above 24°C, · Wide adaptability	
2. Component of productivity			
● Harvest index	· Above 0.5.	· 0.3-0.4	· Biomass production
● Biomass	· Not important.	· Important	· Source of soil organic matter · Conservation of agroenvironment
● Response of fertilization	· Tolerance to heavy manuring	· Low fertilizer	
● Plant type	· Erect, lodging tolerance.	· Erect, straw stiffness and lodging tolerance.	
● Tillering	· Intermediate (Heavy panicle type)	· High tillering (Panicle number type)	· Heat stress, poor sunshine duration, and typhoon
● Evaluation of productivity	· High economic yield per unit area and time	· High biomass yield per unit area and time	· Increase primary production (CO ₂ fixation)
3. Morphogenesis			
● Root activity	· Maintaining to late stage	· Maintaining to late stage	· Good yield
● Root distribution	· Shallow or intermediate	· Deep	· Propping up plant
● Grain type	· Large and short grain	· Intermediate and medium grain	· Shortening ripening period
● Grain number	· Intermediate	· Intermediate	· High temperature and lack of sunshine hour
● Ripening	· Good	· Excellence	· Transporting of carbohydrate easily
● Viviparous	· Anti-viviparous	· Anti-viviparous surely	· Rainy days and lodging during ripening

기본영양생장형의 출수특성을 지닌 통일형 품종이 이에 근사하다. 통일형 품종은 출수후 40일간의 일평균 기온이 25.6°C일 때 가장 수량이 높은 것으로 추정된 바가 있기 때문이다(농촌진흥청, 1981). 그러나 우리나라의 기후값으로 보아서는 등숙기온 25°C 이상에 놓일 수가 없지만, 기후변동 또는 이상기상에서는 가능한 것으로 나타났다. 실제로 1998~99년에 벼 우량 계통 지방적응시험에 공시된 초다수계통 가운데 25°C 이상의 등숙온도를 보인 계통들이 있다.

기본영양생장형 품종들의 생육기간은 기본영양생장기간의 장단에 따라 결정되지만, 어떤 품종이든지 온도의 영향을 크게 받는다(윤성호, 1987). 이들 품종은 영양생장기에 온도가 높으면 일찍 출수하는 특성이 있고, 자포니카 품종보다 높은 등숙온도를 요구하기 때

문에 기후변동에 따른 고온기 등숙에 적응력이 높을 것으로 본다.

그러나 무엇보다 바람직한 품종특성은 등숙적온의 범위가 넓어서 저온과 고온에 모두 안정된 수량을 낼 수 있는 것이라야 할 것이다. 왜냐하면 기후변동은 평균기온은 온난화 방향이지만 양극화현상을 동반하기 때문에 저온해를 입을 수도 있기 때문이다.

4.3.2. 그밖에 관련 요소

현재는 바이오매스 생산은 낮더라도 수확지수가 높은 품종을 선호하고 있지만, 대기 이산화탄소를 생태계에서 흡수하여 순환하도록 하고, 토양 유기물의 보충 유지, 바이오매스를 재료로 하는 바이오가스 생산 등을 고려하면 바이오매스 생산량을 높이는 것이 바람직하다. 따라서 바이오매스 생산량이 많으면 수확지수

가 조금 낮아져도 쌀의 소출은 줄어들지 않을 것이다.

분얼기와 생식생장기의 풍부한 일조시간에 적응되어 온 우리나라의 수중형 품종에게는 1998~99년의 날씨가 불리한 날씨였다는 것을 고려하면, 분얼수가 많고 이삭이 너무 크지 않은 품종이 바람직하다고 할 수 있다. 등숙기에 온도가 높아지면 생리적 등숙기간이 단축되므로(IRRI, 1978) 小粒 短圓型보다는 中粒 中長圓型이 유리할지 모른다.

등숙기간의 일조부족, 높은 온도, 잦은 강우, 태풍과 같은 불량 기상조건은 쓰러짐과 이삭썩나기 등의 재해를 불러온다. 따라서 뿌리는 심근성이면서 후기까지 활력이 높게 유지되어 기질소모와 쓰러짐에 견뎌야 하고, 줄기는 탄력성이 있는 強桿이어야 하며, 등숙기의 청명한 가을 날씨 덕으로 지나쳐왔던 이삭썩나기 저항성을 도입하여야 할 것이다.

V. 결 론

1998~99년은 농업기후로 보아 이상기상으로 경과되었는데, 벼에 알맞은 출수기가 평년보다 일찍 나타나서 늦게까지 지속되었다. 따라서 자포니카 벼는 알맞은 등숙기온보다 높은 온도에서 등숙기가 경과되었을 뿐만 아니라 일조부족과 강우일수 증가로 불리한 조건이었다. 실제로 1998~99년에 실시한 신품종육량계통지역적응시험에서 대부분의 품종과 계통들이 이러한 기상 조건에 경과되었다. 만약 이러한 날씨가 기후변동으로 다가온다면 이에 대한 대책이 요구된다.

농업기상분야에서는 먼저 최근 10여 년간의 벼 생육 기별 기온 일조시간, 강우일수 등의 연차변이를 분석하고, 최적기상조건과 이상기상에 대한 출현빈도와 지속기간을 파악하여, 벼농사 날씨의 변동추세에 따른 기후를 전망하여 벼 품종 육성과 재배법 개선의 기초 자료로 제공하여야 할 것이다.

벼 재배분야에서는 경과된 이상기상을 확실한 기상 정보로 이용하여 시비, 물대기, 농약주기 등의 영농관리에 즉각 대처하도록 하는 한편, 농가에서 재배하는 벼 품종에 대한 출수특성을 구명하여, 지역별 재배양식에 따른 품종 선택과 그에 알맞은 육묘방법과 이앙기를 결정할 수 있게 하고, 직파재배는 건답 또는 답수직파 등 파종방법을 고려한 파종기를 결정하도록 하여야 할 것이다.

기후변동에 대응한 벼 품종의 바람직한 특성은 등숙

적온의 범위가 넓어서 저온과 고온에 모두 안정된 수량을 낼 수 있는 것이 이상적이겠지만, 우선 통일형과 같이 기본영양생장형 출수특성을 가졌고, 높은 등숙온도(25°C 전후)를 요구하는 품종이 바람직할 것이다. 1998~99년의 날씨가 수중형 품종에는 조금 불리한 날씨였다는 것을 고려하면, 분얼수가 많고 이삭이 너무 크지 않은 품종이 적응력이 높을 것이다. 그리고 등숙기에 온도가 높으면 생리적 등숙기간이 단축되므로 小粒 短圓型보다는 中粒 中長圓型이 유리할 것이다. 쓰러짐과 이삭썩나기 등에 대응하여 뿌리는 심근성이면서 후기까지 활력이 높게 유지되고, 줄기는 탄력성이 있는 強桿이어야 하며, 이삭썩나기에 대한 저항성이 있어야 할 것이다.

인용문헌

- 과학기술처. 1995: 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II), 제 2차년도 최종보고서. 연구기관 한국과학기술연구원. 210p
- 기상청. 1991: 한국기후표 제 1편. 기상청.
- 기상청. 1999: 1998년도 기상연보. 기상청.
- 기상청. 2000: 1999년도 기상연보. 기상청.
- 農村振興廳. 1981: 水稻冷害實態分析和 綜合技術對策. p168.
- 농촌진흥청. 1999: 1998년도 하계작물 신품종개발공동연구 보고서. 농촌진흥청.
- 농촌진흥청. 2000: 1999년도 하계작물 신품종개발공동연구 보고서. 농촌진흥청.
- 심교문, 이정택, 윤성호, 황규홍. 2000: 가을보리 재배기간 중의 기상변화. 한국농림기상학회지, 2(3), 95-102.
- 오재호. 1999: 기후학 II. 변화하는 기후. 대우학술총서 논저 429. 아르케. 서울.
- 尹成浩. 1986: 南部中山間地 作物研究. 嶺南作物試驗研究報告: 第2號(159-169). 嶺南作物試驗場.
- 尹成浩. 1987: 溫度 및 日長에 따른 벼 品種들의 出穗反應에 관한 研究. 博士學位論文. 建國大大學院.
- 윤성호. 1998: 기후변화에 따른 농업생태계 변동과 대책. 21세기 한반도 농업전망과 대책. 경상대학교 개교 50주년 기념 한국작물학회 · 한국육종학회 공동주관 심포지엄회보, 313-335.
- 李定澤, 尹成浩, 金炳贊, 崔燉香. 1988: 水原地方에 있어서 年間日照時數의 變動과 bimetal型과 Jordan型 日照計의 測定值 比較分析. 農藝論文集(土壤肥料編) 30(2), 21-28.
- 조하만. 1992: “지구온난화와 한반도 부근의 기후변화”, 생태계 위기와 한국의 환경문제: 103-123. 도서출판 따님.
- 차은정, 전종갑, 정효상. 1999: 엘니뇨라니냐 해의 우리나라 기후 특성에 관한 연구. 韓國氣象學會誌 35(1), 98-117.

- Cock, G. H. and S. Yoshida. 1972: Accumulation of ^{14}C -labelled carbohydrate before flowering and the subsequent redistribution and respiration in the rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan*. **41**, 226-234.
- IPCC. 1996: Climate Change 1995: The science of climate change, summary for policymakers. Cambridge University Press.
- IPCC. 1999: Climate Change 1998: The science of climate change, summary for policymakers. Cambridge University Press.
- IPCC. 2001: IPCC Working Group I Assessment Report, summary for policymakers.
- IRRI. 1978: Annual Report for 1977. International Rice Research Institute. the Philippines.
- Tiempo. 1999: Global warming and the third world. United Kingdom.