

벼 품종들의 出穗期 移動에 따른 光合成 및 温度와 登熟과의 關係

李 錫 榮

Relationship among Photosynthesis, Grain Filling and Temperature of Rice Cultivars by Shifted of Heading Date

Sok Young Lee

ABSTRACT: In temperate zone planting rice at different date subjects the crop to different climatic condition. This study aimed at comparison of the change in source-sink relationship of the Japonica(J) and that of Indica × Japonica(I×J) type rice cultivars caused by shift of heading date. Two J- and two I×J-type cultivars were made to head on Aug. 16, Aug. 26 and Sep. 5. Percent grain fertility was not changed in response to shift of heading date. Ripening patterns of 4 rice cultivars were similar to sigmoid curve type but when the heading date was delayed to Sep. 5, the form is changed to log type of curve. In J-type, physiological maturity was delayed about 5 day when headed at Sep. 5, in compare to headed at Aug. 16 and Aug. 26. However ripening was continued about 10 days when the diurnal, nocturnal and minimum temperature was above 17, 12°C and about 3~8°C. In I×J hybrid, real ripening was continued when the diurnal, nocturnal and minimum temperature was over 20, 17°C, but if the minimum temperature was downed bellow 10°C, it was impossible. Simulated photosynthetic amount based on photosynthetic ability, temperature, leaf area and day length was varied according to changes in heading date and it was decreased seriously if the minimum temperature was fall down bellow 4°C in field, that's why decrease in photosynthetic ability and aging. The temperature range of optimum ripening was 21~26°C, if there is nothing hindering factor.

Key words: Heading, Ripening, Physiological maturity, Photosynthesis, Temperature

자포니카 품종과 통일형 품종에 있어서 출수기가 다를 경우 광합성 산물의 생산 및 축적양상은 같지 않다. 이는 氣象環境의 변화에 따른 품종간 차이가 큰 원인이라고 할 수 있는데 기상환경은 광과 온도로 대분할 수 있다²⁾. 벼 個葉의 경우 광도는 0.6Cal/cm²/day에서 포화점에 달한다고 하였으나 群落의 경우는 그보다 높으며¹⁾ 온도와 광합성의 관계에 대한 연구는 많으나 실제 포장에

서의 경우 이의 조절이 어려워 포장조건에서의 온도반응에 대한 연구는 드물다. 수도의 경우 18~34°C의 온도범위에서는 同化量에 별 차이가 없는데 呼吸量은 온도에 비례하여 커지므로 고온에서는 순 동화량이 떨어지게 되며 18°C 미만에서는 동화량도 떨어진다고 하였다³⁾. 또 통일형과 자포니카 품종간에는 온도에 대한 반응이 약간 달라 통일형 품종이 자포니카 품종에 비하여 광합성능

* 農業科學技術院 (Agricultural Science and Technology Institute, RDA Suwon, 441-707, Korea) <'95. 4. 10. 接受>

력이 저온에서는 떨어지나 고온에서는 현저히 높다고 하였으며^{5,6,8)} 실제로 종실에 채워지는 동화산물의 양은 그 生産量과 消耗量의 차이에 의하여 결정된다고 하였다.^{3,4,10)}

이 실험은 출수기가 다를 경우에 광합성 기관으로 역할을 하고 있는 잎이 포장의 자연기상 조건에서 생산할 수 있는 능력이 얼마나 되며 이것과 실제 등속량과는 어느 정도의 관계가 있고 등속이 잘되는 온도의 범위는 어떠한가 온도요인 중에는 어느 범위의 온도가 실제로 등속과 가장 관계가 있는지를 알기 위해 실시하였다.

材料 및 方法

공시품종은 상풍벼와 진흥(자포니카), 금강벼와 밀양 23호(통일형)로 출수기 조절을 위하여 6회에 걸쳐 이양하였다.¹¹⁾

출수후 등속이 진행되는 정도를 알기 위해 출수후 5일 간격으로 이삭을 표본하여 건조기에 말린 후 무게를 달았다. 광합성 능력은 지엽, 1엽, 2엽에 대하여 잎몸을 지름 3.5mm의 cork-borer로 취한 후 산소전극(Oxygen electrode & meter YSI Co. Ohio U.S.A.)을 이용하여 25℃와 15℃에서 10절편을 1반복으로 3반복 측정하였으며 반응용액으로는 0.05mM MgCl₂를 포함한 50mM K-phosphate(pH 7.2) 緩衝溶液을 사용하였고 용액에 0.625M NaHCO₃용액 0.1ml를 가한 후 300 μEIN/sec의 아래서 산소발생량을 측정하여 광합성량으로 환산하였다.

기상성적은 수원농업기상관측소의 온도 자기그래프지를 이용하였는 바 온도와 등속량과의 관계에 대한 각 온도의 적용은 표본 추출 전 5일 동안의 온도를 이용하였다. 낮의 평균기온(diurnal temperature)은 해뜬에서 해짐까지 매시간의 온도를 더한후 해당시간으로 나누었고 밤의 평균기온(nocturnal temperature)은 해짐에서 해뜬까지 매시간의 온도를 더하여 해당시간으로 나누어 적용하였으며 日較差는 이렇게 계산된 값의 차이이다. 또한 평균 최저온도는 표본 추출전 5일부터 추출한 날까지의 최저온도를 더한 후 5로 나눈 평

균값을 이용하였고, 최저 온도는 5일 중 가장 낮은 온도값을 적용하였으며, 5일 동안의 매일매일의 최고온도와 최저온도와와의 차이의 평균값과 등속량과의 관계에 대하여도 살펴보았다.

등속과 관련된 광합성량을 알기 위하여 해당일에 있어서의 광합성 능력, 온도 그리고 지엽, 1엽, 2엽의 엽면적, 일장의 적을 광합성량으로 가정해 보았는데 算出式은 다음과 같다.

평균온도 25℃ 이상에서의 광합성량(O₂ μmole / 5day)={25℃에서의 광합성 능력 + (25℃ + 해당기간의 평균온도) × 평균 1℃의 광합성 능력} × 임실립당 평균엽면적 × 표본 추출전 5일간의 총 일장

평균온도 15~25℃에서의 광합성량(O₂ μmole / 5day)={(해당기간의 평균온도 - 15℃) × 단위면적당 1℃의 평균 광합성 능력 + 15℃에서의 광합성 능력} × 임실립당 평균 엽면적 × 표본추출전 5일간의 총 일장

평균온도 15℃ 미만에서의 광합성량(O₂ μmole / 5day)={15℃에서의 광합성 능력 - (15℃ - 해당기간의 평균온도) × 평균 1℃의 광합성 능력} × 임실립당 평균엽면적 × 표본 추출전 5일간의 총 일장

1℃의 평균 광합성 능력(O₂ μmole / cm² / min) = (25℃에서의 광합성 능력 - 15℃에서의 광합성 능력) ÷ 10

結果 및 考察

同化產物 수용기관의 크기는 이삭의 총 영화수보다는 실제로 동화산물의 受容이 가능한 임실립에 대하여 접근하는 것이 더욱 실질적이라 할 수 있다. 이러한 견지에서 동화산물 수용기관의 형성기에 있어서의 온도요소에 대하여 살펴본 바는 표 1과 같다. 稔實率은 출수기의 이동에 의하여 유의한 차이를 보이지 않으며 동화산물 수용기관의 형성기인 출수전 35일부터 개화 수정일인 출수후 5일 까지의 최고, 최저 및 평균온도를 볼 때 동화산물 수용기관의 크기 형성에 제한적으로 작용하지 않았다고 사료되는데 이는 出穗期의 지연에 따른

수량의 감소는 임실율을 제외한 다른 수량구성요소에 의함을 알 수 있다.

품종이나 출수가가 다를 경우 등숙의 속도나 기간이 달라지는데 자포니카는 8월 16일 출수한 것이 거의 직선적으로 증가하다가 출수후 35일경에 種實이 최대축적에 이르렀고, 8월 26일 출수한 것에서도 출수후 35일경에 실제 축적량에 달하나 8

월 16일 출수한 것보다는 양이 많았다. 8월 16일 이나, 26일 출수한 것의 축적곡선은 평범한 생장 곡선인 sigmoid 曲線으로 표시할 수 있는데 비해 9월 5일 출수한 것은 log 曲線에 가까울 만큼 초기의 축적량이 많았으며 출수후 40여일 까지 축적이 계속됨을 볼 수 있었다. 통일형에서는 8월 16일 출수한 것에서 生理的 成熟期가 40일 정도로서

Table 1. States of grain fertility and temperature factors during 35 days before and 5 days after heading of rice cultivars in shifting of heading date

Heading date	Percent fertility				Temperatur factors during					
	Sang-pung	Jin-heung	Keum-gang	Mil-yang23	35 day before heading(°C)			5 day after heading(°C)		
					Maximum	Mean	Minimum	Maximum	Mean	Minimum
Aug. 16	89	93	92	94	34.7	26.6	18.1	34.0	26.8	18.0
Aug. 26	90	93	88	89	34.7	27.1	22.4	30.8	25.5	20.0
Sep. 05	89	88	86	90	34.7	26.2	21.4	28.4	23.2	15.0

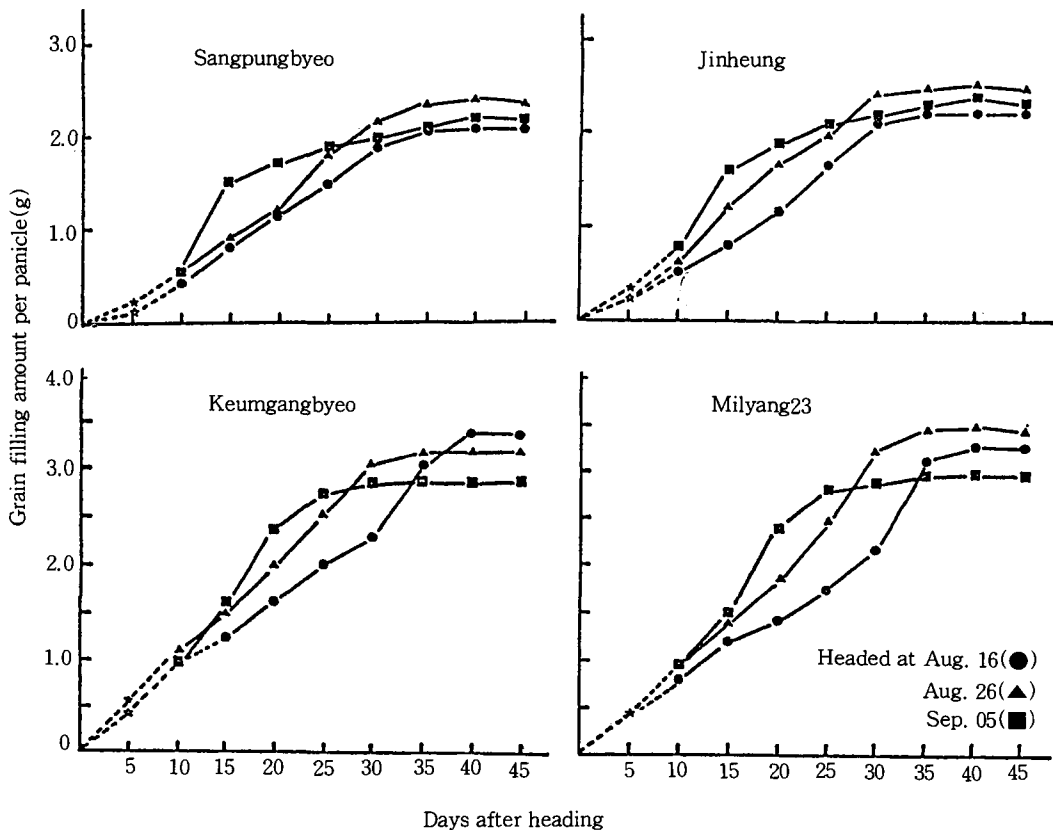


Fig. 1. Changes in grain filling pattern of rice cultivars in response to shift of heading date.

자포니카보다 5월 정도 길게 나타났는데 이는 통일형이 자포니카보다 축적속도가 빠르다는 보고들과는 상반된 현상이었다^{5,8)}. 그러나 초기의 불량한 등숙환경조건과 커다란 수용기관의 크기를 고려할 때 이삭으로부터의 活力(要求度)이 높았고, 등숙중기 이후의 기상이 좋았던 것이 그 원인으로 생각된다. 9월 5일 출수한 것에서는 출수후 30일 정도가 생리적 성숙기로 보여 8월 16일 출수한 것보다 10일 정도 짧았는데 이는 9월 30일경의 최저온도가 7°C에 달하였고 그 후의 많은 축적은 불가했을 것으로 사료된다(그림 1).

재료 및 방법에서 언급한 것과 같은 방법으로 얻은 기상자료를 보면 일사량은 8월 21일과 9월 5일 사이에 그 기간의 값을 제외한 전 등숙기간의 평균보다 40% 정도가 낮았는데 이 기간은 8월 16일 출수한 것은 출수후 5~20일의 기간이며 8월 26일 출수한 것은 출수전 5일 부터 출수후 10일 까지의 기간이고, 9월 5일 출수한 것은 출수전 15일 부터 출수한 날까지이다.

낮평균온도의 경우 9월 5일 出穗한 것은 출수기의 최저온도가 16°C 이상이였으며 8월 16일에서 31일까지는 평년보다 2~4°C 높았다. 8월 26일 출수한 것은 출수기의 온도가 27°C 정도이었고 8

월 26일 출수한 것은 26°C, 9월 5일 출수한 것은 22°C 정도이었다. 밤평균온도 역시 낮평균온도와 변화의 양상은 같았으나 8월 26일 출수한 것의 출수 35일 이후에, 9월 5일 출수한 것의 출수 25일 이후에 12°C 정도로 낮아지는 것을 볼 수 있다.

5일 동안의 최저온도는 9월 25일 이후에 8°C 정도이었으며 9월 30일 이후에는 약 3°C까지 된 날도 있었다. 일반적으로 일평균온도의 합으로 나타내는 積算溫度는 등숙기의 경우 8월 16일 출수한 것에서 889°C, 8월 26일 출수한 것에서 799°C, 9월 5일 출수한 것에서 704°C 이었다(그림 2).

등숙량과 온도요소들과의 관계에서는 낮 평균 온도와 표본 채취기간(5일) 동안의 최저기온과 전 품종에서 유의한 상관관계가 인정되었고 매일 매일의 최저기온의 평균값이나 낮평균온도와 밤평균온도간의 일교차, 최고온도와 최저온도간의 일교차 등과도 상관관계의 유의성이 인정되지 않았는데 등숙에는 광합성과 관련된 낮 평균 온도와 동화산물의 전류와 축적에 작용하는 최저기온이 제한적으로 작용하는 온도요소임을 말해준다. 특별히 통일계인 금강벼는 공시했던 4가지 온도요소들과 상관관계가 인정됨으로 온도에 민감한 품종임을 보였다(표 2).

엽면적, 단위엽면적당 광합성능력, 일조시간, 온도의 적으로 나타낸 光合成量은 전체적으로 출수기가 빠를 경우에 온도 및 일조시간의 영향을 받아 그 양이 많은 것으로 나타나고 있다. 계산된 광합성량을 결정하는 요인중 기온의 영향을 보면 8월 16일 출수한 것의 출수후 15일에 해당하고 8월 26일 출수한 것의 출수 후 5일에 해당하는 8월 31일의 광합성량 계산치는 같은 것으로 나타나고 있는데 이것은 8월 16일 출수한 것의 1립에 공급할 수 있는 광합성량이 출수후 15일에도 떨어지지 않음을 보여준다. 이러한 경향은 8월 26일 출수한 것과 9월 5일 출수한 것에서도 같이 나타나고 있다. 다만 9월 5일 출수한 것에서 그 양이 떨어지는 것은 葉面積, 溫度, 日照時間 등이 떨어짐으로 인해 누적적인 효과가 아닌가 한다. 그러나 출수후 30일이 지나면 같은 날의 광합성량 계산치가 늦게 출수한 것에 비하여 떨어지는데 이는 출수 30일경 이후에는 총광합성량에 환경요인 뿐만이 아니라

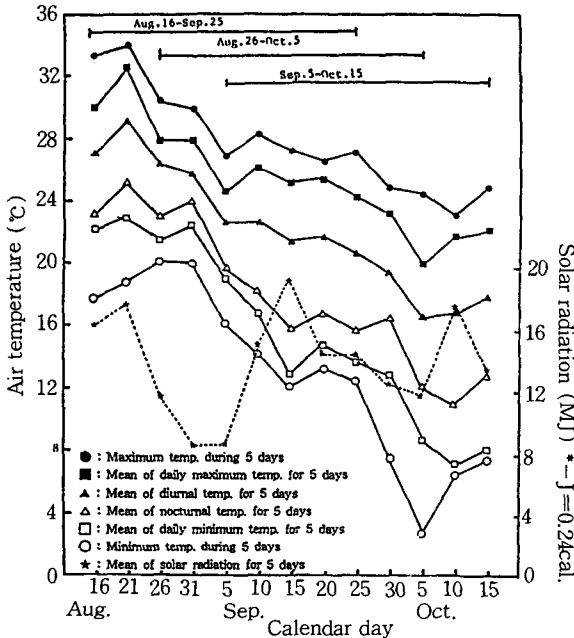


Fig. 2. Meteorological elements during grain filling period.

Table 2. Correlation coefficient between grain filling amount per panicle and temperature factors for 5 days of 4 rice cultivars in shifting to heading date

Cultivars	Mean of diurnal temp.	Mean of minimum temp.	Mean of nocturnal temp.	Minimum temp.	Diurnal change between diurnal and nocturnal temp.	Diurnal change between maximum and minimum temp.
Sangpungbyeo	0.512*	0.434	0.425	0.540*	-0.223 ^{NS}	-0.077 ^{NS}
Jinheung	0.478*	0.392	0.372	0.501*	-0.168 ^{NS}	-0.013 ^{NS}
Keumgangbyeo	0.686**	0.629**	0.633**	0.665**	-0.420 ^{NS}	-0.270 ^{NS}
Milyang23	0.524*	0.337	0.364	0.481*	-0.093 ^{NS}	-0.043 ^{NS}

* Denotes significance at the 5% level

** Denotes significance at the 1% level

^{NS} Means none significance

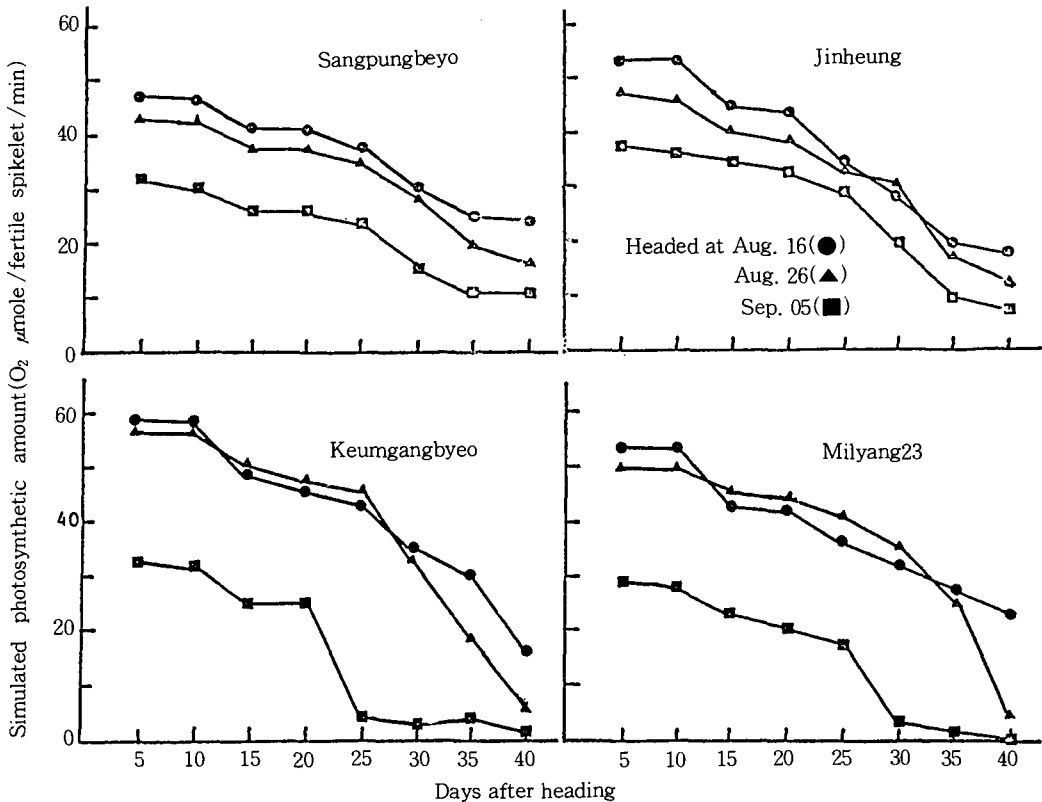


Fig. 3. Changes in simulated photosynthetic amount per fertile spikelet of rice cultivars in response to shift of heading date.

잎의 光合成 能力도 문제가 됨을 알 수 있다.

광합성량 계산치에 있어서 통일형의 경우 8월 16일 출수한 것과 8월 26일 출수한 것에서는 출수 후 시간의 경과에 따른 변화 양상은 비슷했다. 그러나 달력상의 일정한 날에서 즉 출수후 일수가 다를 경우의 광합성량은 서로 달라 출수 직후부터

감소했다. 이는 8월 16일 출수한 것의 출수후 15일이고 26일 출수한 것의 출수후 5일인 8월 31일에서 8월 16일 출수한 것의 광합성량이 떨어지는 것으로도 알 수 있으며 이러한 경향은 登熟期 全體에 걸쳐 나타났다. 9월 5일 출수한 것에서는 출수기의 계산된 광합성량이 8월 16일이나 26일 출

수한 것에 비하여 60%정도 밖에는 되지 않는 적은 양이었는데 이는 엽면적의 감소가 주 원인이었고 낮평균온도와 단위엽면적당 광합성 능력의 저하도 그 원인이었다. 9월 5일 출수한 것의 출수 후 25~30일에 있어서 통일형의 광합성량 계산치가 떨어진 것은 자포니카에 존재하였던 저하요인과 더불어 출수 20~25일 이후의 평균 최저 기온이 8℃로서 植物體의 生理作用에 害를 주는 온도로 여겨지며 登熟期間 최저기온이 3℃ 정도로 限界低溫 이후의 광합성이나 蓄積된 同化產物의 轉流는 상황이 호전하여도 복귀되지 않는 통일계의 특성을 고려할 때 그 이후의 광합성 능력이나 광합성량은 건물생산에 의미없는 부분이라고 할

수 있다(그림 3).

실제 등숙량과 稔實粒當 광합성량 계산치와의 관계에 있어서는 4품종 모두 공통적인 형태를 보였고 출수기가 늦어짐에 따라 등숙초기에 생산된 부분중 많은 부분이 종실에 축적되는 양상이었다. 이삭에 축적되는 동화산물의 양과 日較差와의 관계를 고려할 때 8월 16일 출수한 것의 경우 출수기의 낮평균 온도는 28℃였고 출수 20일 후까지 비슷한 수준을 유지해 오다가 출수 40일 이후에 21℃ 정도에 머무는 완만한 감소를 하였는데 출수 후 20일경까지는 낮평균 온도가 28℃ 정도로 光合成에 무리가 없는 온도이지만 밤 온도가 24℃ 정도로 呼吸에 의한 소모가 많았을 것이며 일사량

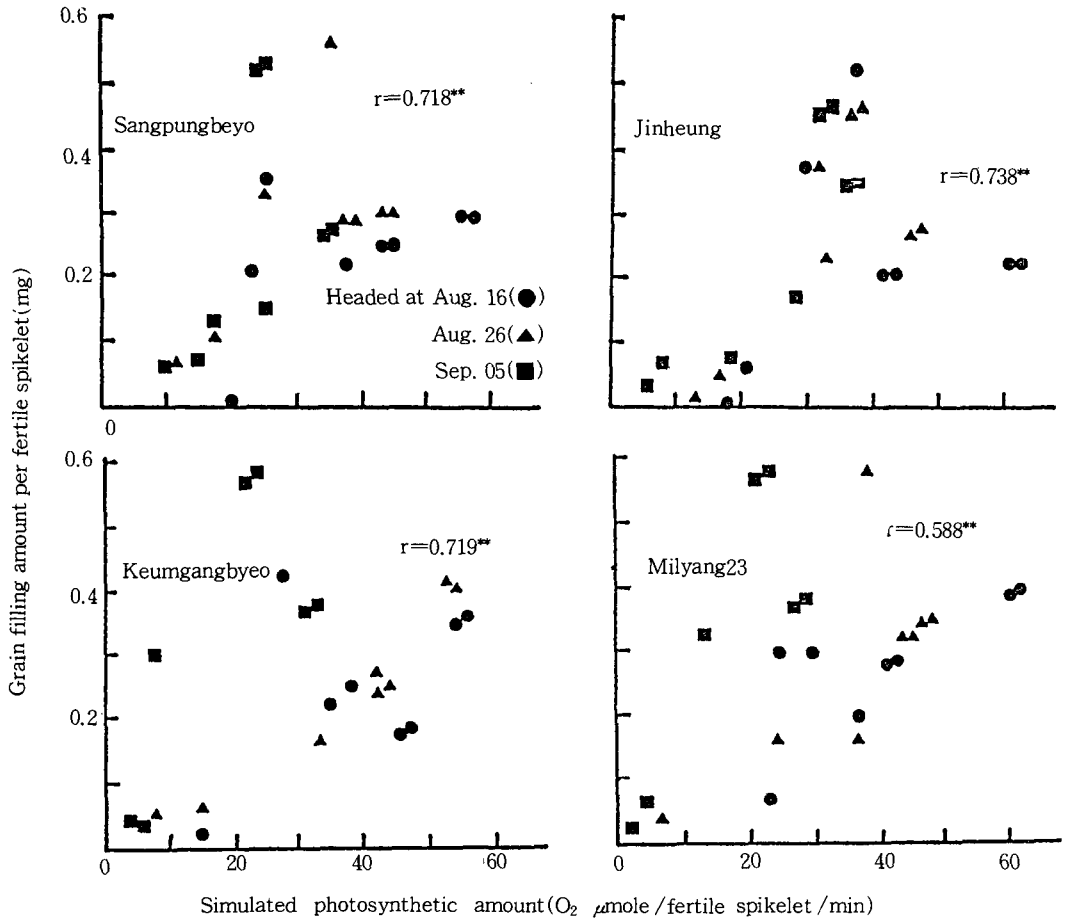


Fig. 4. Relationship between grain filling amount and simulated photosynthetic amount per spikelet of rice cultivars in response to shift of heading date.

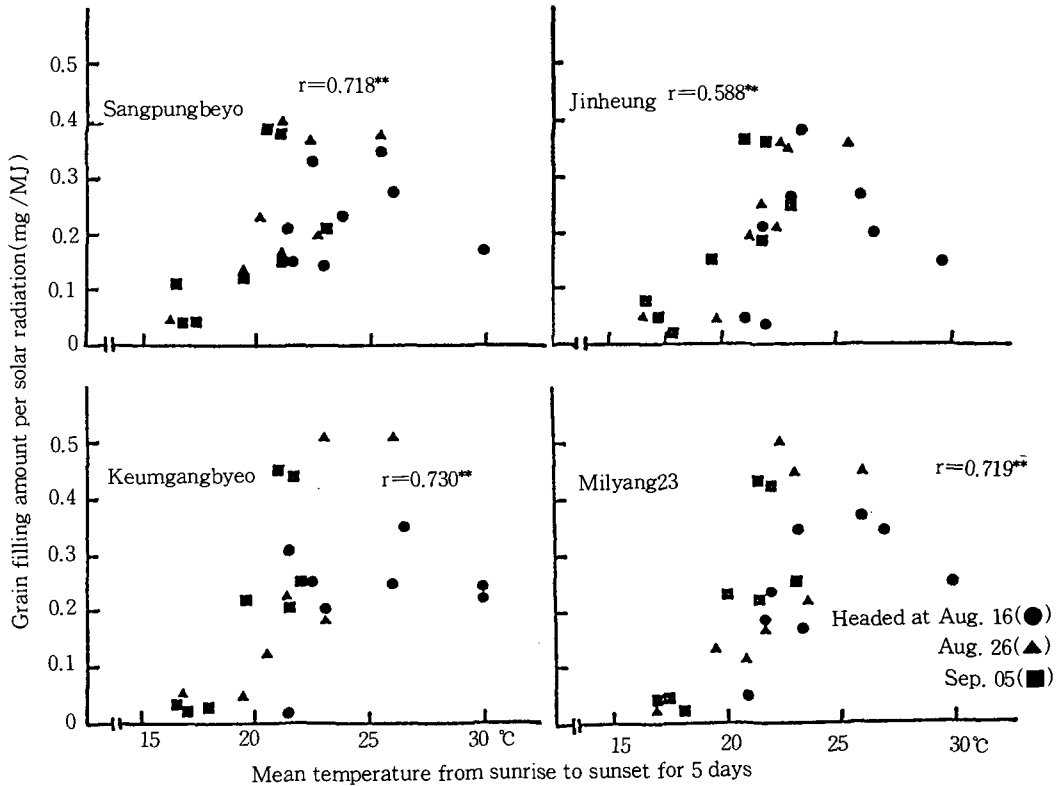


Fig. 5. Relationship between grain filling amount per solar radiation and temperature during grain filling of 4 rice cultivars in response to shift of heading date.

이 일반 평균의 60% 정도로서 동화산물의 순생산에 호적한 조건이 아니었고 출수 25일 이후에는 낮평균 온도가 22°C 정도이고 日射量도 14MJ/m² 정도로 광합성에 호조건이었으며 밤평균 온도도 16°C 정도로서 호흡에 의한 소모가 적었기 때문에 출수기보다 온도는 낮았지만 純同化率이 높았다고 생각된다. 이러한 견지에서 8월 26일 및 9월 5일 출수한 것의 등숙 초기의 축적량이 많은 것 역시 일교차의 영향으로 생각할 수 있겠다(그림 4).

온도와 등숙량과의 관계에서는 낮평균 온도와 표본을 추출할 때까지 5일간의 최저 기온과 상관이 있는 것으로 나타났는데 등숙에 있어서 동화산물의 생산에 관계되는 요인중 가장 큰 요인이 낮의 기온이며 최저온도는 작물의 생리작용에 저해를 주는 온도 요소라고 생각한다. 낮 평균온도와 등숙과의 관계를 보면 이삭의 最大蓄積이 일어났

던 온도 범위는 21~26°C로 나타나고 있는데 그 범위 안에서도 등숙량이 낮은 것은 그때의 일사량이 지나치게 낮았다든지 고온일 경우 호흡에 의한 소모, 그리고 그림에 등숙기 전부를 포함시킴으로 인해 등숙초기나 등숙말기에 탄수화물의 종실축적율이 낮은 때도 포함되어 있기 때문이다(그림 5).

摘 要

벼 자포니카 품종과 통일형 품종에 있어서 出穗期가 달라질 경우 포장 조건에서 광합성 능력과 등숙량과의 관계 및 적당한 등숙온도 범위를 알기 위해 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 동화산물 수용기관의 크기를 결정하는 요인 중의 하나인 임실율은 출수기의 이동에 따른 차

- 이를 보이지 않아 수량에 영향을 미치지 않았다.
2. 4가지 벼품종의 登熟樣相은 8월 16일, 26일 출수할 경우 대체로 sigmoid 曲線을 보였으나 출수기가 9월 5일로 늦어질 경우 초기의 등속속도가 빨라져 log 曲線에 가까운 형태로 변화하였다.
 3. 자포니카에서는 生理的 成熟期가 9월 5일 출수한 경우 8월 16일, 또는 26일 출수한 것에 비해 40일로 길어졌는데 출수 30일 이후의 낮 平均溫度가 17℃ 정도이고 밤 平均온도가 12℃ 정도이며 최저온도가 3~8℃라도 10일 정도는 계속해서 登熟을 하였다.
 4. 통일형의 경우 낮평균 온도가 20℃이고 밤평균 온도가 17℃이며 최저기온이 10℃ 이상일 경우 소량이나마 登熟이 가능하나 최저온도가 10℃ 미만인 경우 등속이 거의 불가능하였다.
 5. 벼 잎의 광합성 능력과 포장의 溫度, 상부 3엽의 面積, 일장의 적으로 나타낸 光合成量 計算值는 출수기가 달라짐에 따라 많은 차이를 보였고, 통일형의 경우 最低溫度가 4℃ 미만으로 떨어질 경우 光合成 能力이 0에 가까웠으며 온도가 올라가도 광합성능력이 회복되지 않았다.
 6. 자포니카와 통일형 모두에 있어서 다른 조건이 좋은 경우 등속에 적당한 溫度範圍는 21~26℃로 나타났다.

引用文獻

1. 안수봉. 1973. 水稻 登熟의 品種間 差異와 古向上에 관한 연구. 한작지 14:1-59.
2. 安壽奉, 李鍾喆. 1981. 登熟期의 溫度 및 照度가 수도품종의 光合成과 호흡에 미치는 영향. 최현옥박사 회갑기념 논문집 131-136pp
3. 최해춘. 1980. 수도의 登熟特性 및 Sink /Source ratio의 품종간 차이와 作期移動에 따른 변화. 서울대학교 석사학위 논문.
4. 최해춘, 권용웅. 1985. 벼의 Source 및 Sink 關聯形質의 품종간 차이와 환경변이의 평가. 한작지 30(4):460-470.
5. 허 훈. 1987. 수도 Indica × Japonica 遠緣 交雜種의 生理生態的 特性에 관한 연구. -특히 溫度反應을 中心으로- 農試報告 (20)作物 :1-47.
6. 김규진, Shouich Yoshida, 이종훈, 오윤진. 1981. 수도 Indica × Japonica 品種에 대한 등속기간의 溫度反應에 관한 연구. 제1보 수도 Indica × Japonica 品種의 감수분열기에 있어서 저온의 영향. 韓作誌 28(1):49-57.
7. 권부섭. 1983. 晩期栽培가 수도 품종들의 Sink /Source 比率 및 등속에 미치는 영향. 서울대학교 석사학위 논문.
8. 권항광, 박 훈. 1972. 水稻의 登熟生理에 관한 연구 1. 진홍과 IR667의 등속구조 비교. 韓土肥誌 5(2):65-74.
9. 이동창. 1982. 機械移秧 栽培에 있어서 재배 시기 및 苗齡의 차이가 수도의 생육 및 수량에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문
10. 이주열. 1976. 수도 生育後期 光合成 能力과 營養環境이 乾物生産과 收量構成要素에 미치는 영향. 韓作誌21(2):187-202.
11. 이석영, 권용웅. 1995. 벼 품종들의 출수기에 따른 동화산물 생산능력 및 수용기관 크기변화. 한작지 40(2):260-267