

벼 재배 품종과 환경의 상호작용

양창인*† · 양세준** · 정영평* · 최해춘* · 신영범***

*작물시험장, **영남농업시험장, ***강원대학교

Genotype × Environment Interaction of Rice Yield in Multi-location Trials

Chang Ihn Yang*†, Sae Jun Yang**, Yeong Pyeong Jeong*,
Hae Chune Choi* and Young Boum Shin***

*National Crop Experiment Station, RDA, Suwon, 441-857, Korea

**National Yeongnam Agricultural Experiment Station, RDA, Milyang, 627-130, Korea

***College of Agriculture Kangwon National Univ. Chuncheon, 200-701, Korea

ABSTRACT: The Rural Development Administration (RDA) of Korea now operates a system called Rice Variety Selection Tests (RVST), which are now being implemented in eight Agricultural Research and Extension Services located in eight province each. RVST's objective is to provide accurate yield estimates and to select well-adapted varieties to each province. Systematic evaluation of entries included in RVST is a highly important task to select the best-adapted varieties to specific location and to observe the performance of entries across a wide range of test sites within a region. The rice yield data in RVST for ordinary transplanting in Kangwon province during 1997-2000 were analyzed. The experiments were carried out in three replications of a random complete block design with eleven entries across five locations. Additive Main effects and Multiplicative Interaction (AMMI) model was employed to examine the interaction between genotype and environment ($G \times E$) in the biplot form. It was found that genotype variability was as high as 66%, followed by $G \times E$ interaction variability, 21%, and variability by environment, 13%. $G \times E$ interaction was partitioned into two significant ($P < 0.05$) principal components. Pattern analysis was used for interpretation on $G \times E$ interaction and adaptability. Major determinants among the meteorological factors on $G \times E$ matrix were canopy minimum temperature, minimum relative humidity, sunshine hours, precipitation and mean cloud amount. Odaebyeo, Obongbyeo and Jinbubyeo were relatively stable varieties in all the regions. Furthermore, the most adapted varieties in each region, in terms of productivity, were evaluated.

Keywords: rice, yield, AMMI model, $G \times E$ interaction, adaptability

적지적작의 일환으로 각도 농업기술원은 해당지역내의 장려품종을 선정(Crossa, 1990; Toda, 1993)하기 위하여 1997년부터 품종선발시험을 수행하고 있다. 이를 통하여 기존의 장려품종에 대한 적응성(Lin *et al*, 1986)을 재검토하고 있으며, 신규품종으로 등록되는 품종들에 대한 특성평가와 적응성을 검토하고 있다.

각도 농업기술원에서는 산술평균과 축적된 경험에 의해서 지역별로 품종의 적응성을 판단하고 있지만 품종별로 지역간 다양한 반응양상에 대한 올바른 통계분석을 통한 이해가 부족한 형편이다(Kim, 1989; Gravois, 1991). 1970년대 후반에는 우리나라에서도 지역적응시험의 수량성적을 Finlay-Wilkinson의 회귀식(Finlay and wilkinson, 1963)으로 품종의 안정성을 검토한 바 있다. 그후 개선된 회귀분석방법(Eberhart and Russell, 1966; Lin *et al*, 1986; Matsue *et al*, 1992; Lee *et al*, 1988)으로 다지역검정 수량성적을 검토한 적도 있다. 그러나 장려품종은 검정시험의 결과를 토대로 미래의 수량을 최대한 정확히 예측한 후에 보급하여야 하는 측면에서 볼 때, 위의 회귀식에 의한 평가는 미래의 수량수준을 예측하는데 미흡한 점이 있다. 한 품종을 여러지역에서 재배하게 되면 대부분 유의성있는 품종과 환경간의 상호작용이 있으므로 Gauch (1994)는 품종과 환경의 상호작용을 분석하여 수량성이 안정적인 품종을 장려품종으로 보급하려고 시도하였다.

수량성에 영향을 미치는 품종-환경간의 상호작용을 해석하기 위한 다양한 통계적 분석모델(Piepho, 1994; Bernardo, 1996; Cornelius *et al*, 1993; Cornelius *et al*, 1972)이 제시되었으며, 그중에서 AMMI 모델을 이용하여 품종의 적응성을 검토한 것에는 벼(Wade *et al*, 1999), 콩(Sneller, 1997), 완두(Flores *et al*, 1996), 옥수수(Rincon *et al*, 1997), 보리(Atlin *et al*, 2000) 등의 작물에서 보고되었다. AMMI 분석은 유전자-환경간의 상호작용을 명확히 이해함으로써 시험기간 및 연

†Corresponding author: (Phone) +82-33-254-6328 (E-mail) yci@rda.go.kr
<Received August 29, 2001>

차간의 수량 변동이 심하여도 품종의 적응성을 정확하게 파악할 수 있다. 따라서 AMMI 분석은 최근 외국에서는 품종의 적응성 평가에 빈번히 사용되고 있다. 한편, 국내에서는 이 방법으로 수량을 분석한 결과가 아직은 보고되어 있지 않으며, 다만 잎도열병에 대한 저항성 검정결과를 분석하여 Yang *et al.*(2000)이 처음 보고한 바 있다.

또한 최근에는 양적형질인 수량의 지역적응성평가와 더불어 AMMI 모델을 포함한 다양한 분석방법으로 미질을 향상시키기 위한 식미의 이화학적 특성과 온도, 일조량, 강수량, 토양조건, 장해형 냉해 등의 환경요인과의 상호작용 분석(Kim *et al.*, 1993; Taira, 1998)이나, 단일 유전자 기능의 이해와 함께 유전자간의 상호작용분석(Gauderman *et al.*, 1999; Gong *et al.*, 2001)도 활발히 이루어지고 있다.

본 연구는 다지역검정시험의 평가방법으로 유용성이 인정된 AMMI 모델을 이용하여 유전자-환경간의 상호작용을 분석하고 검정시험 자체에 대한 구조적인 내용을 검토함과 동시에 시험지에 적용할 수 있는 품종을 알아보기 위해서 수행되었다.

材料 및 方法

본 시험은 1997-2000년 4년간 강원도내 5개 시험지에서 11 품종으로 수행된 장려품종선발시험 결과 및 같은 기간의 기상 자료를 이용하여 분석하였다. 시험재료는 주로 조생종으로 오대벼, 오봉벼, 운봉벼, 진부벼, 진미벼, 진부올벼, 신운봉벼, 상주벼, 둔내벼, 삼천벼, 진부찰벼 등 강원도 지역에 재배되고 있는 품종들이다. 소백벼, 남원벼, 화성벼, 청명벼, 장안벼, 서안벼, 화선찰벼, 신선찰벼, 봉광벼, 일품벼, 대안벼, 대진벼, 서진벼 등의 품종은 시험지에 따라 포함되기도 하였지만, 결측치가 많아 분석에서는 제외하였다. 시험은 강원도의 중간지점인 춘천을 중심으로, 서북쪽의 철원, 남쪽 고지대인 정선, 동쪽 해안지인 강릉, 북쪽 동해안지인 고성, 남쪽 평야지인 원주 등 6 개소에서 수행되었으나, 원주는 해에 따라 공기습중이 일정하지 못하여 타지역과 비교할 수가 없어 제외하였다.

모든 시험지에서 상자육묘하여 30×12 cm로 재식하였다. 춘천, 원주, 철원에서는 4월 25일 파종, 5월 25일 이앙, 그리고 정선, 강릉, 고성에서는 4월 20일 파종, 5월 20일에 이앙하였다. 주당묘수와 시비량 및 재배관리는 작물시험장 재배법에 따랐다. 상호작용의 해석을 위해 사용된 지리자료는 시험지의 위도, 경도, 표고 등을 사용하였다. 철원, 춘천, 강릉은 같은 지역소재의 기상대 자료를 활용하였고, 정선과 고성은 인근지역의 영월 및 속초기상대 자료로 대체하여 5월부터 10월까지의 순별 평균자료를 주성분분석치와의 상관분석에 이용하였다.

분석결과를 비교해보기 위해서 지금까지 사용하여 왔던 Finlay와 Wilkinson(1963), Eberhart(1966) 등의 회귀분석으로 품종의 안정성을 평가해 본 후, 상가적 요인뿐만 아니라 주성분분석과 비정칙분해에 의한 상승적요인까지 포함하는 아래와

같은 AMMI 모델을 이용하여 수량을 평가하였다.

$$Y_{g,e} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_{n=0}^n \lambda_n \gamma_{g,n} \delta_{e,n} + I_{g,e}$$

- $Y_{g,e}$: 품종 g의 환경 e에서의 수량
- μ : 전체 평균
- α_g : 품종의 전체 평균에 대한 평균변이(주효과)
- β_e : 환경의 전체 평균에 대한 평균변이(주효과)
- λ_n : 주성분 n축에서의 고유가
- $\gamma_{g,n}$ 과 $\delta_{e,n}$: 주성분 n의 유전자형과 환경의 값
- $I_{g,e}$: 잔차요인.

또한 유전자-환경간의 상호작용을 이해하기 위하여 군집분석(Cornelius *et al.*, 1993)과 Ordination을 수행하였다. 군집분석에서는 군집내의 평균제곱차가 가장 적은 순으로 그룹을 지어나가는 Ward 방법(Ward, 1963)을 사용하였다. 이 결과와 주성분 분석 결과를 biplot형식으로 품종의 환경에 따른 수량을 살펴보고 각 시험지에 대한 품종의 적응성도 평가하였다.

結果 및 考察

회귀분석에 의한 품종의 안정성

각 품종의 시험지별 수량성과 시험지별 평균수량간 회귀분석에 의한 분산분석 결과, Table 1과 같이, 전체 분산 중에서 품종분산 66%, 시험지분산 13%, 상호작용 분산이 21%를 차지하였다. 상호작용 분산 중에서 각 시험지의 모든 품종의 평균 수량에 대한 각 품종의 수량간의 회귀분석에 의해서 차지하는 부분이 18%에 불과하여 F분석 결과 유의성이 인정되지 않았으며, 나머지 82%의 분산은 설명되지 않아 다른 방법에 의한 분석이 요구 되었다.

각 공기습중의 안정성에 대한 분석결과는 Table 2와 같다. 운봉벼, 오대벼, 오봉벼, 진미벼, 신운봉벼 등은 회귀식의 기울기가 1에 가까워 안정성이 있는 품종이었고, 쌀수량도 511~532 kg/10a의 수준으로 높은 편이었다. 그러나 진부찰벼, 둔내벼, 삼천벼 등은 기울기가 0.5이하로 지역별 평균 수량성 변이에 크게 미치지 않은 비교적 지역간 작은 수량변이를 나

Table 1. ANOVA with site regressions on yield through rice variety selection test (1997~2000) in Kangwondo.

SOURCE	D.F.	S.S	M.S.	F-test	P
Treatments	10	53342.3	5334.23		
Locations	4	10700.5	2675.13		
Treatment × sites	40	16819.4	420.485		
T × S Regression	10	3080.11	308.011	0.673	0.741
Deviations	30	13739.3	457.977		

Table 2. Yield stability parameters derived by regression analysis.

Variety	Means (kg/10a)	Slope [†]	SE [‡]	R ^{2§} (%)
Odaebyeo	524	1.351	0.308	30
Jinburchalbyeo	491	0.252	1.069	14
Obongbyeo	526	1.125	0.448	3
Unbongbyeo	511	0.937	0.846	0
Jinbubyeo	521	1.859	0.944	22
Jinmibyeo	532	1.004	0.437	0
Jinbuolbyeo	421	0.600	0.788	8
Sinunbongbyeo	519	1.084	0.675	1
Sangjubyeo	519	1.943	0.205	88
Dunnaebyeo	484	0.455	0.335	47
Samcheonbyeo	533	0.389	0.491	34

[†]Slope; Slopes of regressions of variety means on site index
[‡]SE: Standard error
[§]R²; Squared correlation between residuals from the main effects model and site index.

Table 3. Combined ANOVA with AMMI model on paddy yield through rice variety selection test (1997~2000) in Kangwondo.

Source	D.F.	S.S.	M.S.	F-test	%of total S.S.
Treatments	10	53342.3	533.2		
Locations	4	10700.5	2675.1		
G × E	40	16819.4	420.5		21
IPCA 1	13	12717.2	978.2	6.439** [†]	76
IPCA 2	11	2703.39	245.8	2.811*	16
IPCA 3	9	933.1	103.7	1.558	6
IPCA 4	7	465.8	66.5	-	-

[†]Significant level. **P ≤ 0.01, *P ≤ 0.05

내었으며 회귀모델로서 상주벼에서만 유전자와 환경간의 상호작용을 60% 이상 설명할 수 있었다. 한편 Eberhart(1966)은 기온기가 1에 가깝고 표준편차도 작은 품종이 안정성이 있는 품종이라고 하였는데, 평균안정성인 품종은 오봉벼, 운봉벼, 진미벼, 신운봉벼 등이었고 진부벼와 상주벼는 회귀계수가 1보다 유의하게 커서 안정성이 낮은 특수지역에 적응하는 품종으로 평가되었다. 오대벼는 회귀계수가 1.35로 평균안정성에 가까우면서 다소 특정지역에 적응하는 양상을 보였고 상주벼, 둔내벼와 더불어 회귀로부터 편차가 작은 편이어서 비교적 안정성이 높은 편이었다.

AMMI 모델에 의한 품종과 환경의 상호작용과 기상요인

기상요인별로 시험지에 따른 품종의 적응성에 기여하는 정도를 알아보기 위해서 AMMI 모델에 의한 분산분석을 하였다. 유전자-환경간의 상호작용이 차지하고 있는 변이가 전체 변이의 21%였고, 이는 수량에 대한 환경안정성에 있어서 이

부분이 큰 기여를 하고 있으나 앞의 회귀식 분석모델로는 전체 상호작용 변이중에 18%밖에 설명할 수 없었다. 이에 반하여 Table 3에서와 같이 AMMI 모델에 의한 분산분석 결과, 전체 상호작용의 대부분인 92%가 IPCA1과 IPCA2로 해석되었다.

Table 4와 같이 5개지역에서 11개 품종이 공시된 다지역검정에 있어서 유전자-환경간의 상호작용에 기인한 수량성 변동에 대한 주성분분석을 실시하고 그 주성분치와 기상요소간의 상관분석을 한 결과 IPCA1은 6월 하순과 7월 하순의 균락최저온도(郡落最低溫度)와 더불어, 10월 초, 중, 하순의 최저상대습도(最低相對濕度)와 부(-)의 상관이 있었다. IPCA2는 경도가 높은 지역일수록 작은 경향을 보였고, 6월 초순, 7월 중순, 8월 중순, 9월 중순의 일조시수와 7월 초·중순, 8월 초순의 강수량이 많을 수록 큰 경향이였다. 또한 IPCA2는 10월 중·하순의 균락최저온도 및 9월 중순 평균상대습도(平均相對濕度)가 많을 수록 작은 경향이였다. IPCA2는 6월 초순, 7월 중순, 8월 중순, 9월 중순의 일조시수가 많을 수록 컸고 6월초순부터 9월 중순까지 평균온량과는 반대의 상관을 나타내었다. IPCA3는 5월 중순, 7월 초·중순의 평균온도가 높을수록 작은 경향이였고 7월 중순의 평균상대습도가 높을수록 큰 경향이였다. 이러한 결과는 시험이 수행된 포장에서 조사된 미세기상성적이 아닌 인근기상대의 성적이어서 올바른 관계를 이해하기는 어려울 것으로 생각되나 공시된 품종의 수량성에 균락최저온도와 최저상대습도 등이 밀접하게 영향을 주는 것으로 추정된다. 또한 환경요인 중에서도 일교차, 일사량, 관개수온, 토양의 물리·화학적, 병해충 등에 대한 검토가 요구되었다.

수량에 영향을 주는 요인이 품종, 재배기술, 재배환경인데 이 중에서 재배관리면을 살펴보면 시험지별로 파종·이앙시기와 시비량에 약간의 차이가 있고 그외는 거의 비슷한 재배관리가 적용되었으나 실제로 포장에서 장기간의 재배기간 중에 물관리, 병해충 방제 등과 포장조건에 차이가 있었을 것으로 생각되었지만 정확한 정보가 미흡하여 이를 고려한 해석이 불가능하였다.

수량반응 패턴에 의한 군집분석

여러 시험지에 대한 수량반응 패턴을 기준으로 Ward의 방법(Ward, 1963)으로 군집분석한 결과(Fig. 1), 조생종인 운봉벼와 출수기가 가장 늦은 진미벼가 비슷한 반응 패턴을 보였고 산간고냉지에서 선발 육성된 진부벼와 중남부 중산간지에서 육성된 삼천벼가, 또한 오대벼와 오봉벼가 비슷한 수량반응 패턴을 보였다. 전시험지 평균수량이 511 kg수준이고 출수가 빠른 운봉벼와 532 kg수준이면서 준조생종인 진미벼가 같은 그룹에 속한 것은 절대수량 수준을 기준으로 하여 군집분석한 것이 아니었고 시험지에 따라 수량수준이 변하는 양상에 따른 군집분석이었기 때문이다. 회귀분석에 의한 기온기가 0.6으로 낮으면서

Table 4. Correlation between first four IPCA axes and environment factors in RVST.

Environmental factors		IPCA 1	IPCA 2	IPCA 3	IPCA 4
Longitude			-.940*		
Mean temperature	Mid May			-.977**	
	Early July			-.895*	
	Mid July			-.879*	
Sunshine hour	Early June		.925*		
	Mid July		.883*		
	Mid August		.996*		
	Mid September		.936*		
Precipitation	Early May		.879*		
	Mid July		.951*		
	Early August		.977*		
	Late September		-.895*		
Canopy minimum temperature	Late June	-.965*			
	Late July	-.885*			
	Mid October		-.913*		
	Late October		-.917*		
Mean relative humidity	Mid July			.914*	
	Mid September		-.886*		
Minimum relative humidity	Early October	-.886*			
	Mid October	-.931*			
	Late October	-.990**			
Mean of cloud amount	Early June		-.962**		
	Mid June		-.924*		
	Late June		-.972**		
	Late July		-.978**		
	Early August		-.962**		
	Mid August		-.983**		
	Early September				-.934*
	Mid September		-.928**		

Significant level. ** $P \leq 0.01$, * $P \leq 0.05$

표준편차도 컸던 극조생종인 진부올벼는 수량성이 낮으면서 지역간 변동도 특이하여 다른 품종들과 별개의 그룹에 속했다.

11개 벼의 시험지별 수량 반응 패턴에 따른 시험지 특성에 대한 분류결과를 살펴보면(Fig. 2) 철원과 정선, 춘천과 고성 이 비슷한 수량반응 변화를 보였으나 강릉은 독특한 변화 패턴을 보여서 하나의 지역이 하나의 그룹을 이루었다. 이것은 강릉이 공시된 11개 품종들의 수량수준의 변동 양상에서 타지역과는 다르게 구분되었는데 특히 환경적으로는 기온이 다른 지역에 비해 높았고, 해양성 기후의 영향을 받고 있으며, 유전적으로는 조생종이 주로 공시되어 품종에 의한 적응성 정도의 차이가 컸을 것으로 여겨진다. 그리고 강릉과 고성은 같은 동해안 지역이었지만 공시 품종들의 수량성 반응을 보아 별개의 지역으로 분류되어 공시된 시험지의 미세기상이나 포장조건에 상당한 차이가 있었던 것으로 추정된다.

시험지에 대한 품종의 적응성

각 품종과 시험지에 대해서 평균 수량성과 전체 다지역검정 시험결과의 유전자-환경간 상호작용 중 76%를 설명하는 IPCA1치를 동시에 고려하여 나타내어 보면 Fig. 3과 같다.

6, 7월 하순의 균락최저온도가 낮고 10월의 최저상대습도가 낮은 곳인 철원·정선·강릉 지역에 진부찰벼, 신운봉벼, 둔내벼, 삼천벼, 진부벼가 분포하였고 6, 7월 하순의 균락최저온도가 높고 10월의 최저상대습도가 높은 곳인 춘천·고성 지역 부근에 운봉벼, 진미벼, 상주벼, 오대벼, 오봉벼 등이 분포하였으며 진부올벼는 IPCA1치로 보아 고성지역에 가까웠으나 절대 수량성이 매우 낮았다. 철원과 정선은 6, 7월 하순의 균락최저온도가 낮고 10월의 최저상대습도가 낮았으며 춘천과 고성은 그 반대였고, 강릉은 균락최저온도나 최저상대습도가 크게 변하지 않은 지역이었다. 춘천이 11개 품종 평균 수량이

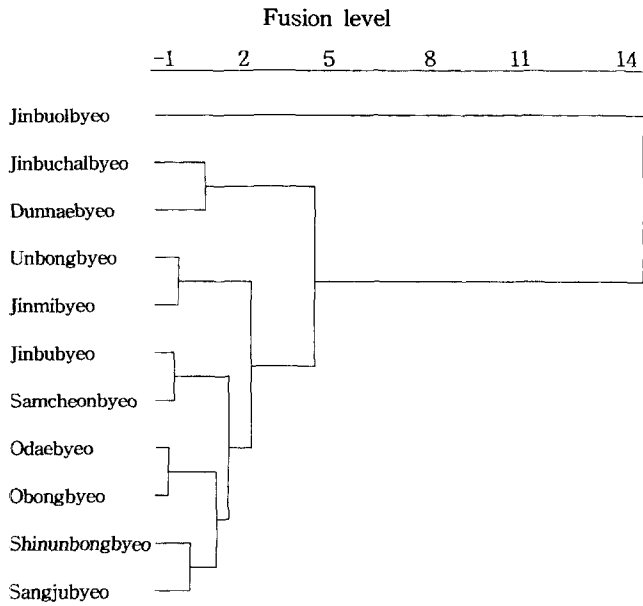


Fig. 1. Classification of tested rice cultivars based on yield Response across test sites.

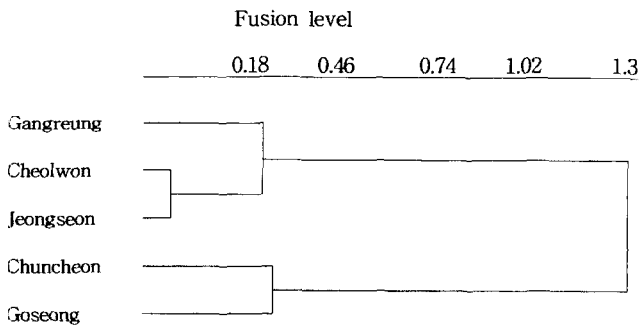


Fig. 2. Location dendrogram based on yield pattern across test sites.

가장 높았고 강릉이 수량성이 낮은 시험지였다.

전체 분산의 21%를 차지하는 벼품종-환경간 상호작용의 분산과 각 품종의 주효과를 합하여 환산한 조정된 수량성 반응을 설명하는 제1, 2의 주성분분석 결과로 품종의 지역별 적응성을 살펴보면 다음과 같다(Fig. 4). 6, 7월 하순의 균락최저온도가 낮았고 10월의 최저상대습도가 낮았으며 평균수량이 6월 초순부터 9월 중순까지 낮았던 반면에 6월 초순 7월 중순, 8월 중순, 9월 중순의 일조시수가 많았고 7월 초,중순 8월 초순의 강수량이 높았던 철원에는 진부벼, 신운봉벼, 오대벼, 오봉벼, 진부찰벼, 상주벼가 적응성이 있었다. 6, 7월 하순의 균락최저온도가 높았고 10월의 최저상대습도가 높았으며 평균수량이 6월 초순부터 9월 중순까지 낮았던 반면에 6월 초순, 7월 중순, 8월 중순, 9월 중순의 일조시수가 많고 7월 초, 중순 8월 초순의 강수량이 높았던 지역인 춘천에는 진미벼, 상주벼, 오대벼, 오봉벼가 적응성이 있었다. 균락최저온도와 최

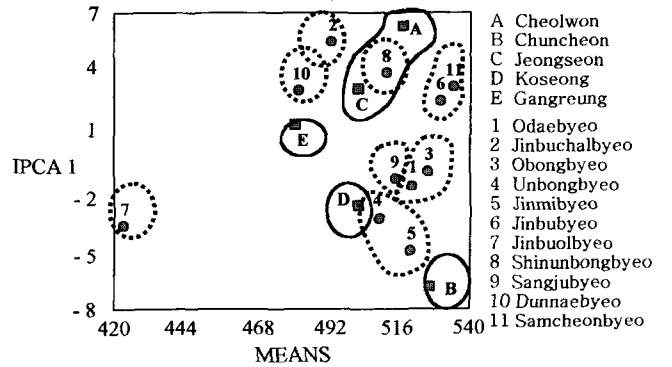


Fig. 3. Distribution of experiment sites and rice cultivars on the plane of IPCA 1 and mean yield.

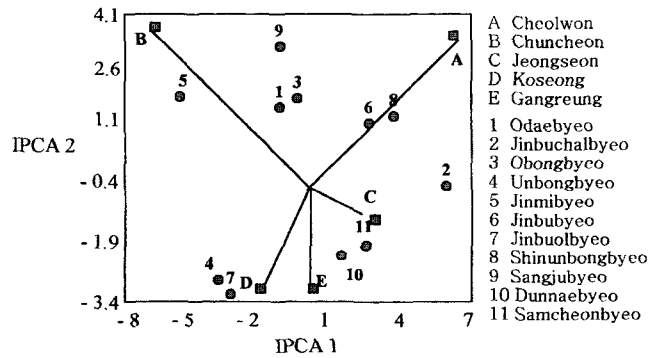


Fig. 4. Distribution of experiment sites and rice cultivars on the plane of IPCA1 and IPCA2.

저상대습도의 변화는 비교적 작았고 평균수량이 6월 초순부터 9월 중순까지 많았고 6월 초순, 7월 중순, 8월 중순, 9월 중순의 일조시수가 상대적으로 적었고 7월 초,중순 8월 초순의 강수량이 낮았던 지역인 정선, 고성, 강릉지역에서는 삼천벼, 둔내벼, 운봉벼, 진부올벼 등이 적응성이 있었다.

摘 要

강원도 지역에 적응성이 있는 품종을 선정하기 위해서 5개 시험지에서 11개 품종으로 1997년부터 2000년 동안에 수행된 결과를 분석하였다. 품종이 가지고 있는 유전적 특성은 환경 요인과의 상호작용을 거쳐 발현되므로 장려품종을 선정하기 위하여 수행하는 다지역검정에서 이 유전자-환경간 상호작용을 평가하는 것은 품종의 환경안정성과 지역적응성을 올바르게 파악하는 데 매우 중요하다. 이를 위해서 기존에 활용되어 온 회귀분석모델로서 안정성을 분석하였고 AMMI model로서 지역별 수량성 반응의 변화양상을 토대로 유전자-환경간의 상호작용을 해석하면서 각 시험지별 적응성 품종과 지역적 특성을 검토하였다.

1. 각 시험지에 대한 수량안정성 평가를 위한 회귀분석 결과 오봉벼, 진미벼, 신운봉벼, 운봉벼 등이 안정성이 있는 품

중이었다.

2. AMMI 분석에 의한 수량성에 대한 분산분석 결과 전 변이중 품종변이가 66%, 품종-환경간 상호작용변이가 21%, 지역간 변이가 13%였다. 21%의 품종-환경간 상호작용 변이는 주성분분석을 통하여 제1주성분치(IPCA1)와 제2주성분치(IPCA2)에 의해서 거의(92%) 해석되었다.

3. 품종들의 지역간 수량성 변화패턴은 육성모지나 시험지에 영향을 받았고, 5개 시험지의 수량변화 양상은 철원과 정선, 춘천과 고성에 비슷하였고 강릉은 다르게 구분되었다. 품종-환경간 상호작용 양상이 축약된 주성분분석치와 시험 지별 재배기간동안의 순별 평균 기상자료와의 상관분석 결과를 기준으로 품종과 환경간의 상호작용에 관여하는 주요 기상요인은 초상최저온도, 최소상대습도, 일조시수 강수량 등이었다.

4. 비교적 환경안정성이 있는 품종으로는 오대벼, 오봉벼, 진부벼 등이었다. 철원에 적응성이 있는 품종은 진부벼, 신운봉벼, 오대벼, 오봉벼 등이었고, 춘천에는 진미벼 상주벼, 오대벼, 오봉벼가 정선, 강릉, 고성에는 진부찰벼, 삼천벼, 둔내벼, 운봉벼, 진부올벼가 적응성이 있었다.

引用文獻

- Atlin G. N., K. B. McRae, and X. Lu. 2000. Genotype \times Region Interaction for Two-Row Barley Yield in Canada. *Crop Sci.* 40 : 1-6.
- Cornelius P. L., D. A. Van Sanford, and M. S. Seyedsadr. 1993. Clustering cultivars into groups rank-change interactions. *Crop Sci.* 33 : 1193-1200.
- Cornelius P. L., M. Seyedsadr, and Crossa. 1972. Using the shifted multiplicative model to search for "separability" in crop cultivar trials. *Theor Appl Genet.* 84 : 161-172.
- Crossa J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44 : 55-85.
- Eberhart S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6 : 36-40.
- Finlay K. W., and G. N. Wilkinson 1963. The analysis of Adaptation in a plant-Breeding Programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14 : 742-754.
- Flores F., M.T. Moreno, A. Martinez, and J. I. Cubero. 1996. Genotype-environment in faba bean : comparison of AMMI and principal coordinate models. *Field Crops Research* 47 : 117-127.
- Gauch Jr H. G. 1994. A model can be more accurate than the data used to build it because it amplifies hidden patterns and discards unwanted noise. *Am. Scientist* 81 : 468-478.
- Gauderman W. J., J. L. Morrison, K. D. Siegmund, and D. C. Thomas. 1999. A joint test of linkage and genexenvironment interaction, with affected sib pairs. *Genetic Epidemiology* 17 : S563-S568.
- Gong J. M., X. W. Zheng, B. X. Du, Q. Quan, S. Y. Chen, L. H. Zhu, and P. He. 2001. Comparative study of QTLs for agronomic traits of rice (*Oriza sativa* L.) between salt stress and nonstress environment. *Science in China series C-Life Sci.* 44(1) : 73-82.
- Gravois K. A., K. A. K. Modenhauer, and P. C. Rohman. 1991. Genetic and genotype environment effects for rough rice and head rice yields. *Crop Sci.* 31 : 907-911.
- Kim K. H., J. Y. Koo, D. Y. Hwang, and W. S. Kong. 1993. Varietal and Environmental Variation of Gel Consistency of Rice Flour. *Korean J. Crop Sci.* 38(1) : 38-45.
- Kim S. C. 1989. Classification of rice cultivar Using Two-dimensional Ordination Analysis. *Korean J. Crop Sci.* 34(1) : 74-80.
- Lee S. Y., E. S. Lee, D. H. Chung, J. U. Chun, Y. W. Ha, and B. R. Sung. 1988. Analysis of Stability and Heritability for major Agronomic Characters in Recommended Barley Cultivars. *Korean J. Breed.* 20(3) : 199-206.
- Lin C. S., M. R. Binns, and L. P. Lefkovich. 1986. Stability analysis; Where do we stand? *Crop Sci.* 26 : 894-900.
- Matsue Y., K. Harada, and T. Yoshida. 1992. Studies on palatability of rice in northern Kyushu. IV. Stability of palatability in rice varieties and cropping locations. *Jpn. J. Crop Sci.* 61(4) : 545-550.
- Piepho H. P. 1994. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects and multiplication interaction (AMMI) analysis. *Theor. Appl. Genet.* 89 : 647-654.
- Rincon F., B. Johnson, J. Crossa, and S. Taba. 1997. Identifying subsets of maize accessions by three-mode principal component analysis. *Crop Sci.* 37 : 1936-1943.
- Sneller C. H., L. Kilgore-Norquest, and D. Dombek. 1997. Repeatability of Yield Stability Statistics in Soybean. *Crop Sci.* 37 : 383-390.
- Toda O. 1993. Evaluation of adaptability of rice varieties using data of the performance test for recommendable varieties in Toyama Prefecture. *Jpn. J. Breed.* 43 : 575-588.
- Taira T. 1998. Influence of low air temperature in 1993 and high air temperature in 1994 on paratability and physicochemical characteristics of rice varieties in Fukushima Prefecture. *Jpn. J. Crop Sci.* 67(1) : 26-29.
- Wade L. J., C. G. McLaren, L. Quintana, D. Harnpichitvitaya, S. Rajatasereekul, A. K. Sarawgi, A. Kumar, H. U. Ahmed, Sarwoto, A. K. Singh, R. Rodriguez, J. Siopongco, and S. Sarkarung. 1999. Genotype by environment interactions across diverse rainfed lowland rice environments. *Field Crops Research* 64 : 35-50.
- Ward Jr J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *American Statistical Assn. J.* 58 : 236-244.
- Yang C. I., E. L. Javier, Y. J. Won, S. J. Yang, H. C. Choi and Y. B. Shin. 2000. Interpretation of Varietal Response to Rice Leaf Blast by G \times E Analysis with Reduced Number of Nursery Test Sites. *Korean J. Crop Sci.* 45(5) : 316-321.