

# EVALUATION DES ECOTYPES MAROCAINS DE MAÏS : ETUDE DE LA RESISTANCE A LA SECHERESSE

OUATTAR, S., RACHIDI, F., SADIKI, ELASRI, M.\*

## INTRODUCTION

Au Maroc les cultures en sec occupent environ 90% de la superficie cultivable totale (Berrada, 1982) . De ce fait, les niveaux de la production agricole se trouvent tributaires des variations climatiques . Le maïs, principale céréale de printemps occupe annuellement une superficie de 500.000 ha dont plus de 90% sont en sec . Le maïs est semé à la fin de la saison hivernale pluvieuse lorsque la température du sol est supérieure à 11°C, ce qui situe le cycle de la culture vers des périodes où les pluies deviennent de plus en plus rares . La culture devient alors sujette à des conditions d'alimentation hydrique défavorables .

Les variétés de maïs utilisées au Maroc, sont en majorité des populations locales, cultivées depuis très longtemps de façon traditionnelle et n'ayant subi comme seule sélection que celle au milieu et aux pratiques des paysans. Ces populations renferment une diversité génétique importante pour la plupart des caractéristiques .

L'évaluation des ressources génétiques locales constitue une étape clé pour l'identification des caractères désirables tels que les sources de résistance à la sécheresse en vue de leur utilisation dans l'amélioration du maïs . Ainsi la présente étude a deux objectifs principaux : Evaluer les performances des écotypes traditionnels marocains de maïs et identifier des critères morphologiques et physiologiques de résistance à la sécheresse .

\* Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II B.P. 6202 Rabat-Instituts, Maroc .

## MATERIEL ET METHODES

### 1 - Matériel végétal

Une prospection pour la collection des écotypes de maïs a été effectuée en 1984 dans plusieurs régions du Maroc : Abda, Taourirt, Missouri, Outat El Haj, Rich, Goulmima et Erfoud . Ces régions sont caractérisées par des conditions agro-climatiques extrêmement diversifiées . Au total 26 populations réparties sur les sept zones sont utilisées dans cette étude . Le choix de ces populations a été basé sur l'origine de la semence (populations reproduites par les agriculteurs), les descripteurs de terrains (description des sites de collecté et enquêtes avec les agriculteurs) et les caractéristiques du grain observées au laboratoire . Cinq autres populations de la collection de l'INRA sont ajoutées à l'étude et l'hybride DRA 400 a été utilisé comme témoin (Tableau I) .

### 2 - Protocole expérimental

Cette étude comprend 3 essais : deux ont été conduits au champ et un troisième en pot sous des conditions contrôlées .

#### *a : Expérimentation au champ*

L'expérimentation a porté sur l'évaluation des caractères agronomiques des populations . Les deux essais ont été installés à la station expérimentale de l'INRA de Sidi El Aydi dans la province de Settat . Le premier a été conduit en sec dans les conditions pluviométriques de l'année 1985 (pluviométrie totale = 383,6 mm) . Le deuxième a été irrigué pour éviter tout déficit hydrique et assurer les conditions optimales de culture .

Le dispositif expérimental adopté pour chacun des deux essais est en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions . Les mesures ont porté sur la matière sèche, la date de floraison, la précocité, la surface foliaire, la vigueur au départ, la vigueur à la floraison et la hauteur de la plante . A la récolte, le rendement grain et ses composantes ont été déterminés sur la base d'un échantillon de 40 plantes par parcelle élémentaire .

#### *b : Expérimentation en pot*

l'expérimentation a été menée sous serre à l'IAV HII, Rabat . Les plantes ont été semées dans des pots en plastiques d'un volume de cinq litres, remplis d'un sol sableux . L'irrigation se faisait régulièrement deux fois par jour . Au 25ème jours après la levée, les plantes ont été soumises à la sécheresse par arrêt d'irrigation . Les pots ont été disposés selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 5 répétitions .

Les mesures ont porté sur le flétrissement, la transpiration, la matière sèche aérienne et racinaire .

Tableau I : **Origine géographique des populations de maïs évoluées à Sidi El Aidi .**

Origine	N°	Populations
Abda	O1	1, 2, 3, 4
Taourirt	O2	5, 6, 7, 8
Outat El Haj	O3	9, 10, 11, 12
Missour	O4	13, 14, 15, 16
Rich	O5	17, 18, 19, 20
Goulmima	O6	21, 22, 23
Erfoud	O7	24, 25, 26
INRA	O8	27, 28, 29, 30, 31, 32

\* INRA = Berchid (27), DRA400 (28), D8 (29), AB191 (30), D10 (31), et RH220 (32) .

Tableau II : **Interprétation biologique des composantes principales et pourcentage de variabilité expliqué .**

Axe	% variabilité (inerte)	Sens biologique.
Irrigué		
1	50	Faible productivité associée à la précocité.
2	16,4	Association négative entre poids du grain et caractéristique de l'épi.
3	10,2	Faible taux de levée.
Sec		
1	31,4	Caractéristique de l'épi et rendement grain et la longueur du cycle de la plante .
2	22,4	Productivité et développement .
3	12,9	Rendement développement et croissance de la plante .

## **Analyses des données**

Les données ont été analysées par des méthodes statistiques univariées et multivariées. Ces méthodes permettent de comparer, de classer les populations et leur origine géographique sur la base de toutes les variables utilisées, et d'avoir une description de l'ensemble de la collection analysée.

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **A - ANALYSES MULTIVARIABLES**

#### **1 - Description de la diversité**

L'analyse en composant principale (ACP) a permis d'avoir une vue descriptive sur l'orientation globale de la diversité des populations étudiées. Le tableau II résume l'essentiel des résultats de l'ACP, en irrigué. La composante 1 interprétée comme un indice de la précocité associé à une faible production explique 50% de la variabilité d'ensemble. En sec, la première composante qui représente l'association entre les caractéristiques de l'épi et le rendement grain, n'explique que 31,4% de l'ensemble de la variabilité. Par conséquent les caractères discriminants entre les populations ne sont pas les mêmes selon les conditions et les différences s'expriment mieux en conditions favorables. Il en va de même pour les autres composants.

#### **2 - Classement des populations et des origines**

L'analyse factorielle discriminante (AFD) permet de caractériser l'homogénéité inter et intra zone. Les résultats de cette analyse ont montré que la zone de Taourirt est la plus homogène aussi bien en sec qu'en irrigué. Par contre la zone d'Outat El Haj n'a présenté d'homogénéité significative qu'en sec tandis que Missouri n'en a montré qu'en irrigué. En revanche, la zone d'Erfoud s'est avérée la plus hétérogène dans les deux conditions. Les autres zones sont intermédiaires.

Les différences entre les zones ont été mesurées en utilisant les distances de Mahalanobis (D2) qui sont calculées pour chaque paire de population en tenant compte de toutes les variables mesurées (Tableau III). La distance de Mahalanobis interzone a permis de classer les zones par ordre de rapprochement décroissant. Ainsi les dendrogrammes établis sur la base de cette distance laissent apparaître plusieurs regroupements de zones proches. Dans les deux conditions de culture les regroupements sont similaires, la discrimination est plus nette en irrigué. Ainsi trois groupes peuvent être distingués en sec (8, 1, 5-3 et 4-2-6-7) alors qu'en irrigué cinq groupes apparaissent. Par conséquent, les régions tendent à conserver leur identité en conditions favorables. C'est le cas des origines Taourirt-Goulmima-Erfoud et Outat El Haj-Rich en sec, et de Taourirt-Goulmima et Missouri-Outat El Haj en irrigué.

## **B - RENDEMENTS RÉALISÉS**

L'analyse de la variance a montré des différences hautement significatives entre les origines et entre les populations pour les caractères mesurés . Le classement des origines a été effectué par le test Newman-Keuls de comparaison des moyennes .

### **1- Effet origine**

#### ***1.1- Rendement grain***

Globalement les populations de l'INRA viennent en tête dans les deux environnements avec 57,92 qx/ha en irrigué et 22,13 qx/ha en sec. Par contre la zone Abda a donné les faibles rendements tant en sec qu'en irrigué .

#### **1.2 -La matière sèche totale**

Le classement des origines sur la base de la matière sèche laissent apparaître deux groupes distincts. Un groupe formé par les localités 2, 6, 7 et 3 qui présentent une faible matière sèche totale (comprise entre 103,46 qx/ha et 109,5 qx/ha) . La production obtenue par les populations 1,4 et 5 formant le deuxième groupe est considérée comme moyenne, tandis que l'origine 8 a enregistré la valeur la plus élevée (142,67 qx/ha) . Le même classement a été obtenu en sec qu'en irrigué avec isolement de l'origine 8 à haute performance .

### **2- Effet population**

#### ***2.1- Rendement grain***

En irrigué le classement des populations montre qu'il y a formation de plusieurs groupes chevauchants . Le témoin (hybride DRA 400) est classé en tête avec un rendement de 77,36 qx/ha . En sec, les écotypes 15 et 28 se classent en tête et forment un groupe homogène. La comparaison des deux milieux montre qu'à l'exception de l'écotype 28, les populations productives en irrigué ne le sont pas toutes en sec et vice versa .

#### ***2.2 La matière sèche totale***

Les rangs des écotypes étudiés sont restés les mêmes dans les deux milieux . Les populations 26, 15, 2, 7, 18 et l'hybride 28 se sont révélés très performantes dans les deux essais . La population 17 a chuté dans le rang tandis que le N° 5 a amélioré son classement en sec .

La corrélation entre la matière sèche totale produite en sec et irrigué s'est révélée encore plus forte ( $r = 0.815$ ), indiquant que globalement le classement en conditions irriguées traduit le même classement qu'en conditions sèches .

## **C - PARAMETRES AGRONOMIQUES**

### **1- La précocité**

La précocité peut être caractérisée par la durée semis-floraison qui détermine la phase végétative, par la période semis-maturité physiologique qui détermine le cycle total de la plante .

#### ***1.1- Semis-floraison***

La sécheresse a entraîné une faible réduction de la longueur de cette phase qui était de 80 jours en sec et de 84 jours en irrigué . En moyenne, le pourcentage de cette réduction est de 4,8%, sur toutes les populations .

Dans les conditions déficitaires, les meilleurs rendements en grain et en matière sèche ont été réalisés par les écotypes à précocité moyenne . La gamme de précocité à la floraison comprise entre 89 et 93 jours est considérée optimale puisque c'est dans cette intervalle que les rendements grain, en sec, ont dépassé 20 qx/ha .

#### ***1.2- La longueur du cycle***

La sécheresse a entraîné une réduction plus ou moins significative de la phase semis-maturité en fonction des populations . Cette réduction varie de 5,75 jours à 19,5 jours .

En sec, aucune relation n'a été trouvée entre le rendement et la durée totale du cycle . Ceci concorde avec les résultats reportés par GALLAIS et al. (1983) . Néanmoins, on peut noter la supériorité des populations à cycle total moyen . En effet, ce sont les populations ayant une phase semis-maturité physiologique comprise entre 129 jours et 138 jours qui ont présenté les meilleurs rendements (grains et matières sèches totales) .

Sur la base du rendement grain, les écotypes 6, 15, 26, 14, 13, 17 et le témoin 28 sont les plus prometteurs . Par contre sur la base de la matière sèche totale, les populations 2, 15, 17, 26 et l'hybride 28 sont les plus intéressantes .

### **2- Surface foliaire totale**

La sécheresse a été accompagnée par une baisse de la surface foliaire totale en sec par rapport à l'irrigué . En effet, le pourcentage de la réduction a atteint 67% enregistré chez la population 4 . Néanmoins, les populations 23, 25, 7, 16, 2 ont présenté des réductions relativement faibles .

En sec, aucune relation n'est décelée entre cette variable et le rendement . Cependant, en irrigué, une augmentation de la surface foliaire entraîne une amélioration du rendement ce qui peut s'expliquer par une augmentation de la quantité de photosynthétats produits .

### **3- La vigueur**

#### **3.1- La vigueur au départ**

La vigueur à la levée est utilisée par plusieurs auteurs comme critère de sélection facile à mesurer (SULLIVAN et ROSS, 1978) . La vigueur au départ est corrélée négativement au rendement . En effet, les écotypes produisant les bons rendements en matière sèche totale sont ceux qui ont enregistré une vigueur relativement faible au départ .

#### **3.2- La vigueur à la floraison**

En sec, aucune relation n'a été obtenue entre la vigueur à la floraison et le rendement . Néanmoins les populations à vigueur moyenne ont donné les meilleurs rendements . En irrigué, les écotypes productifs sont ceux qui possèdent une vigueur élevée .

### **4- La hauteur totale de la plante**

La hauteur a été déterminée à la floraison . En sec, on n'a pas trouvé de relation significative entre cette variable et le rendement . Toutefois, nous notons la supériorité des populations à hauteur réduite . En irrigué, on assiste à une augmentation du rendement avec l'augmentation de la hauteur .

## **D - Paramètres agro-physiologiques**

### **1- La transpiration**

Pendant le début de la période de stress, la transpiration est positivement corrélée aux matières sèches finales . Ensuite, les plantes passent par une période de transition où aucune relation n'est observée (Tableau IV) . Pendant la fin de la période, la transpiration est négativement corrélée aux matières sèches totales, foliaire et racinaire .

Le classement des écotypes en utilisant ce critère doit être standardisé et fait avec beaucoup de précaution . Si la sécheresse est continue, les plantes à faibles transpiration ont l'avantage .

### **2- Le flétrissement**

Une différence significative dans la vitesse de flétrissement a été observée entre les écotypes . Il y a des populations qui flétrissent plus vite que d'autres limitant ainsi leur perte en eau . Le tableau V résume les coefficients de corrélation entre les rendements au champ (grain et matière sèche totale) et les différentes variables mesurées en pot . Les variables caractérisant le flétrissement sont les plus corrélées aux rendements surtout la matière sèche totale . Le flétrissement en conditions sèches contrôlées (en pot) pourrait renseigner sur le comportement et les performances des écotypes au champ .

Tableau III : Distance de Mahalanobis moyenne intrazone calculée en sec et en irrigué .

Origine	D2* sec	D2 irrigué
1	22,29	20,22
2	4,67	4,36
3	5,72	19,67
4	32,37	8,33
5	35,60	71,83
6	13,09	42,63
7	118,54	188,77
8	76,95	39,81

\* Distance intrazone ~ distance moyenne entre les populations de la même zone .

Tableau IV : Correlation entre la transpiration journalière et la matière sèche totale (MST), foliaire (MSF) et racinaire (MSR) finales .

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Ttot .
MST	0,531*	0,476*	0,132NS	-1,16NS	-0,342NS	0,648**	-0,625**	0,039NS
MSF	0,460*	0,436*	0,082NS	-0,203NS	-0,384NS	-0,579*	-0,546*	-0,010NS
MSR	0,146*	0,249NS	-0,206NS	-0,276NS	-0,4P*	-0,484**	-0,432**	-0,182NS



Tableau V : Corrélation entre variables mesurées en pot et rendements .

	MS	RDT's	M	NFI	NFM	MST	MSF	MSR	POT	NFMI
MS	1,000									
RDTs	0,713	1,000								
H	0,265	0,217	1,000							
NFI	-0,021	0,103	0,445	1,000						
NFM	0,057	-0,069	0,490	0,693	1,000					
MST	0,265	0,349	0,761	0,408	0,369	1,000				
MSF	0,369	0,317	0,668	0,312	0,429	0,903	1,000			
MSR	0,372	0,262	0,455	0,234	0,167	0,577	0,560	1,000		
POT	0,186	0,086	0,262	0,313	0,194	0,394	0,429	0,281	1,000	
NFMI	0,033	-0,198	0,404	0,430	0,931	0,284	0,393	0,164	0,152	1,000
MSFT	0,135	-0,185	-0,223	-0,128	0,179	-0,231	0,185	-0,109	0,174	0,279
MSRT	0,194	0,117	-0,028	0,012	0,299	-0,149	-0,045	-0,071	-0,268	0,317
F2	0,564	0,362	0,329	0,130	0,024	0,303	0,292	0,400	0,207	-0,016
F3	0,507	0,259	0,076	0,121	-0,04	0,106	0,072	0,332	0,268	-0,095
F4	0,395	0,231	0,117	0,282	0,233	0,287	0,299	0,285	0,289	0,171
T12	0,177	0,165	0,550	0,549	0,439	0,678	0,638	0,481	0,567	0,353
T13	-0,106	0,095	0,449	0,523	0,363	0,652	0,595	0,244	0,386	0,215
T14	-0,079	0,012	0,458	0,473	0,398	0,593	0,490	0,242	0,386	0,312
T15	-0,224	-0,081	0,360	0,415	0,311	0,512	0,367	0,133	0,291	0,265
T16	-0,356	-0,171	0,208	0,330	0,248	0,373	0,240	0,013	0,191	0,211
T17	-0,451	-0,228	0,256	0,256	0,155	0,229	0,096	-0,096	0,113	0,125
T.TO	-0,492	-0,167	0,116	0,116	-0,105	0,039	-0,010	-0,182	0,112	-0,159

## E . Combinaison des caractères

La prédiction du rendement à partir des variables mesurées en sec est très difficile. L'utilisation de ces variables doit être faite avec prudence . Par contre la combinaison des variables mesurées en pot pourrait être utilisée du fait qu'elle explique 74% du rendement en matière sèche, selon l'équation .

$$\text{MS sec} = 8,25 \text{ NFI} + 30,39 \text{ NFM} + 15,38 \text{ MSF} - 310 \text{ NFMI} + 5,77 \text{ F3} - 0,209 \text{ T12} - 0,28 \text{ T13} + 1,15 \text{ T14} - 0,93 \text{ T14} - 0,93 \text{ T15} + 156,5 .$$

MST sec	Matière sèche totale en sec
NFI	Nombre de feuilles initiales
NFM	Nombre de feuilles mortes
MSF	Matière sèche des feuilles
NFMI	Nombre de feuilles mortes initiales
MSR	Matière sèche des racines
F3	Fertilisation au 5ème jour
T12	Transpiration journalière de 12ème jour après stress
T13	Transpiration journalière de 13ème jour après stress
T14	Transpiration journalière de 14ème jour après stress
T15	Transpiration journalière de 15ème jour après stress

## CONCLUSION

Les niveaux de production obtenus font que ces résultats sont aussi intéressants pour l'agriculteur . En effet, en sec, le rendement grain des écotypes étudiés varie entre 8 et 34 qx/ha et la matière sèche totale entre 39 et 93 qx/ha, ce qui fait que les populations locales offrent une grande gamme de choix pour l'agriculteur . En irrigué, le rendement grain et le rendement matière sèche varie de 27 à 77 qx/ha et de 68 et 175 qx/ha respectivement . De ce fait, en sec si c'est le rendement grain qui est visé, les populations 15, 26, 14, 17, 6, 13, 5 et 25 pourraient être recommandées . Par contre si c'est la production totale en biomasse qui est recherchée les écotypes 26, 15, 2, 17 et 18 pourraient être retenus .

En irrigué, les écotypes 26, 17, 18, 19, 7 et 13 sont intéressants à considérer aussi bien pour leur rendement grain que pour leur biomasse produite . Les populations 15 et 18 quant à elles se sont avérées intéressantes seulement pour leur production en matière sèche totale .

## RESUME

Cette étude vise l'évaluation des écotypes marocains de maïs en condition irriguée et en condition de déficit hydrique et l'identification des critères agro-physiologiques les mieux associés . Trente deux écotypes de maïs provenant de huit localités (Abda, Taourirt, Outat El Haj, Missouri, Rich, Goulmima, Erfoud) et de l'INRA ont été évalués à la station expérimentale de Sidi El Aydi (Settat) et en pots sous serre à Rabat .

Les écotypes ont été comparés dans deux conditions, en irrigué où les conditions d'alimentation hydrique sont à l'optimum et en sec .

Les résultats montrent l'existence d'une grande variabilité entre les écotypes. En sec les rendements grain ont varié de 8 à 38qx/ha et la biomasse a varié de 39 à 93 qx/ha . En irrigué, les rendements grain ont varié de 27 à 77 qx/ha et la biomasse de 68 à 175qx/ha .

Les écotypes de Missouri et Goulmima se sont avérés les plus performants pour la production grain en condition d'alimentation hydrique limitante . Les origines Rich et Abda ont enregistré les meilleurs rendements en irrigué .

Les écotypes de Taourirt sont caractérisés par une homogénéité relative sous les deux conditions . Tandis que ceux d'Erfoud sont les plus hétérogènes . En fin les résultats de cette étude montrent qu'aucun des critères mesurés ne peut être utilisé à lui seul pour caractériser la résistance à la sécheresse . Les populations les plus productives, en sec, se caractérisent par une précocité moyenne, un développement foliaire non excessif, des vigueur au départ et à la floraison respectivement faible et moyenne, un flétrissement moyen et une transpiration faible dans les conditions de stress accéléré en pot .

---

**MOTS CLES :** Ecotypes, maïs, résistance à la sécheresse, Maroc .

## ABSTRACT

The objective of this study is the evaluation of Moroccan ecotypes of maize in irrigated and water deficit conditions, and the identification of physiological criteria that could be associated to drought stress resistance . Thirty ecotypes obtained from eight different locations. (Abda, Taourirt, Ouattat El Hadj, Missouri, Rich, Goulmima, Erfoud) and from INRA . The ecotypes were evaluated at the experiment station of Sidi El Aidi and in pots under greenhouse conditions in Rabat .

The ecotypes were compared under two conditions :

Under irrigated and water deficit conditions .

The results show a large variability within the ecotypes . However, under water stress, the grain yields varied from 8 to 34 quintals/ha and the biomass varied from 39 to 93 quintals/ha . Under irrigated conditions, the grain yields varied from 27 to 77 qx/ha and the biomass varied from 68 to 175 qx/ha .

The ecotypes of Missouri and Goulmima were the most promising in grain yield under water deficit conditions . The ecotypes obtained from Rich and Abda had the best grain yields under irrigated conditions . The ecotypes of Taourirt were homogeneous under both conditions, while those of Erfoud were heterogeneous .

The results of this study show that none of the criteria measured can be used alone to characterize drought resistance under water stress .

## ملخص

هذه الدراسة ترمي إلى معاينة أصناف الذرة المغربية في حالة سقيها أو عدم سقيها . وترمي هذه الدراسة كذلك الى معرفة المميزات الفيزيولوجية الأكثر ارتباطا بهذه الحالة .

تمت معاينة 32 صنف في محطة التجارب بسيدي العايدي . ومصدر هذه الاصناف هو : عبدة ، توريرت، وطات الحاج ، ميسور ، الريش ، كلميما ، أرفود والبحث الزراعي . كما تمت معاينة هذه الأصناف كذلك في الآنية تحت البيوت الزجاجية في الرباط .

وقد تمت مقارنة هاته الأصناف تحت حالتين: المسقية : حيث أن كمية الماء التي استعملت كانت كافية والغير مسقية .

إن التجارب تبين وجود تغيرات كبيرة بين الأصناف في حالة عدم السقي ، فإن المردود تراوح بين 8 و 33 قنطار بالهكتار والكمية البيولوجية تراوحت ما بين 39 و 93 قنطار بالهكتار .

في حالة سقي هاته الأصناف ، فإن المردود تراوح ما بين 27 و 77 قنطار بالهكتار و الكمية البيولوجية تراوحت ما بين 68 و 175 قنطار بالهكتار . إن أصناف ميسور و كلميما كانوا أحسن إنتاجية عند قلة الماء . أما فيما يخص أصناف الريش و عبدة فقد كانوا أحسن إنتاجية في حالة سقيهم . إن أصناف توريرت يختصون بالتجانس تحت الحالتين ، رغم أن أصناف أرفود يتميزون بعدم التجانس ، وأخيرا فإن نتائج هاته الدراسة تبين أن استعمال مقياس واحد من المقاييس التي درست غير كاف لتصفية الأصناف المقاومة للجفاف .

إن الأصناف الأكثر إنتاجية تحت الجفاف تتميز ببكرة النضج ، و نمو و رقي غير كثير ، كما أن الشدة ضعيفة في البداية و لا بأس بها عند الإزهار . وأخيراً فإن درجة الذبول و التعرق معدلين .

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERRADA, A. 1982 . AL ASSAS économique et politique - mensuel et base pour la société de demain

GALLAIS, A., P. VINCOURT et J.C BERTHOLLEAU 1983 . Etude de critère de sélection chez le maïs fourrage : héritabilités, corrélations génétiques et réponse attendue à la sélection . Agronomie 3(8) : 751-760 .

SULLIVAN, C. Y. and W. M. ROSS. 1979 . Selecting for drough and heat resistance in grain sorghum. In (Mussel, H and R. C. Staples. eds) : Stress physiology in Crop plants. pp 263-282 . Wiley interscience .