

Importance du statut hydrique et de l'indice chlorophyllien de la feuille drapeau du Sorgho (*Sorghum vulgare L.*) dans l'élaboration du rendement grainier en présence de contraintes hydriques et salines

[Impact of flag leaf water status and chlorophyll index of Sorghum (*Sorghum vulgare L.*) on yield components under water and saline stresses]

Nesrine Aissa and Leila Radhouane

Institut National de la Recherche Agronomique de Tunis,
Avenue Hédi Karray, 2049 Ariana, Tunisie

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Drought and salinity are the major problems of Mediterranean agriculture. From an agronomic point of view, adaptation to stress is the ability of a plant to maintain reasonable yields. Various physiological traits related to stress tolerance (relative water content and chlorophyll content) and their impact on yield components were studied in Sorghum (Sudan Grass III).

Experimental design consists of five treatments: a control (100% ETM = 1 g / l), two water regimes (70% and 35% ETM) and two salt diets (3g / l and 6g / l).

Results showed that under moderate water stress, the relative water content and chlorophyll index have decreased slightly and penalized yield components. In response to severe stress, relative water content dropped from 89% to 78% and chlorophyll index fell by about 38% which acted unfavorably on all yield components.

Different intensity of salinity generates a slight increase in TRE but decreased chlorophyll content and size of main panicles.

All the parameters studied shows that there are positive correlations between plant water status and its yield: sorghum maintains high TRE under salinity and drought which indicating that this plant is of type "stay green" that keeps green and photosynthetically active leaves to have reasonable yields under abiotic stresses.

KEYWORDS: Abiotic stresses, Sorghum, Chlorophyll content, Relative water content, Yield components.

RESUME: L'agriculture méditerranéenne est confrontée à plusieurs problèmes tels que la sécheresse et la salinité. Du point de vue agronomique, l'adaptation à ces contraintes serait la capacité d'une plante à maintenir des rendements raisonnables.

Divers caractères physiologiques liés à la tolérance aux stress (teneur relative en eau et teneur en chlorophylle) et leurs impacts sur les composantes du rendement ont été étudiés chez le Sorgho (Sudan Grass III).

Le dispositif expérimental comporte cinq traitements: un témoin (100% ETM= 1g/l), deux régimes hydriques (70% ETM et 35% ETM) et deux régimes salins (3g/l et 6g/l).

Les résultats ont montré que sous la contrainte hydrique modérée, la teneur relative en eau et l'indice chlorophylliens ont subi une légère diminution et ont légèrement pénalisé les composantes de rendement. Par contre, en réponse à un stress plus important, la teneur relative en eau a chuté de 89% à 78% et l'indice chlorophyllien a baissé d'environ 38%. Ce qui a agi défavorablement sur toutes les composantes du rendement.

L'application d'une eau saumâtre d'intensité différente a engendré une légère augmentation de la TRE mais a diminué la teneur en chlorophylle et les dimensions des panicules principales.

L'ensemble des paramètres étudiés montre qu'il existe des corrélations positives entre l'état hydrique de la plante et son rendement: le sorgho a gardé une TRE élevée en présence de stress hydrique et salin, ce qui indique que cette plante est de

type « stay green » qui conserve des feuilles vertes et photosynthétiquement actives permettant d'avoir des rendements raisonnables mêmes en présence de contraintes abiotiques.

MOTS-CLEFS: Contrainte abiotique, Sorgho, Teneur en chlorophylle, Teneur relative en eau, Composantes de rendement.

1 INTRODUCTION

L'eau est une ressource rare dans les pays du sud de la méditerranée [1]. Sa disponibilité se faisant de plus en plus rare met en péril dans beaucoup de cas, la durabilité des systèmes [2]. De plus, la surexploitation grandissante de la ressource a engendré d'autres problèmes environnementaux, particulièrement la salinisation des sols [3].

L'agriculture étant dans les régions méditerranéennes le premier secteur consommateur d'eau, se trouve en situations de concurrence très nettes avec les autres secteurs d'utilisation d'où la nécessité d'établir une meilleure gouvernance basée sur d'autres modalités d'usage de la ressource et qui sont plus durables et plus compétitifs [4].

La Tunisie, est parmi les pays menacés par le problème de manque d'eau (surtout les eaux de qualité). Face à ce problème, il serait judicieux d'adopter une économie d'austérité dans laquelle les besoins réels en eau des plantes seraient déterminés avec exactitude et aussi vers la possibilité d'utilisation des eaux de moindre qualité pour l'irrigation. Ces stratégies d'économie d'eau ont été pratiquées sur de nombreuses cultures dont le maïs [5], la canne à sucre [6], le riz [7], le mil [8] et le sorgho [9].

De nombreuses études ont montré que, lors d'un stress abiotique quelconque, les plantes développent des réactions différentes affectant divers processus morphologiques, physiologiques et biochimiques dont le but de diminuer l'impact de ces stress sur le rendement et sur la croissance des plantes [9; 10; 11].

Parmi les paramètres physiologiques indicateurs de la résistance des espèces vis-à-vis du stress, la teneur relative en eau ou (TRE) est largement utilisée. Il s'agit d'un indicateur qui mesure le changement relatif dans le volume cellulaire des plantes [12].

En pratique, la TRE est plus caractéristique de l'état hydrique des végétaux que le potentiel hydrique. On peut, à cet effet, la comparer à un potentiel hydrique ou osmotique fixé. En effet, les espèces végétales qui maintiennent des teneurs foliaires relatives en eau élevées sont considérées comme étant des espèces résistantes à la sécheresse et/ou à la salinité [13] et sont caractérisées par une grande capacité d'ajustement osmotique [14].

Un autre paramètre physiologique indicateur relatif de l'état de santé de la plante est le taux chlorophyllien [15]. En effet, les pigments chlorophylliens sont à l'origine de l'activité photosynthétique et toute augmentation de rendement ne peut être obtenue que par la recherche d'une meilleure efficacité photosynthétique [16] dépendant fortement de la teneur en chlorophylle [17]. Cette dernière varie dans les conditions optimales de croissance entre 450 à 500 mg de chlorophylle/m² [18].

Dans l'objectif de voir la variation de la TRE et de l'indice chlorophyllien en présence de contraintes hydriques et salines et leurs effets respectifs sur le rendement et ses composantes, nous avons entamé une série d'expériences dans lesquelles, la plante étudiée est le sorgho (*Sorghum vulgare L.*). Le choix de cette culture est justifié tout d'abord par l'aspect adaptatif du sorgho et aussi par ses avantages aussi bien nutritifs qu'économiques. En effet, il possède des valeurs nutritives plus importantes en protéines que certains aliments de base utilisés par les éleveurs tunisiens. De plus, le sorgho apparaît comme une culture attractive, dont le développement de la production devrait permettre de faire face à la flambée des prix de l'orge, du maïs et du soja qui est de nature à affecter l'élevage des ovins, des bovins et des volailles.

L'objectif de ce travail est de tester cette variété de sorgho (famille des Poaceae) dans des conditions de stress hydriques et salins afin de l'inclure dans un programme de sélection de génotypes adaptés aux conditions contraignantes.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'essai a porté sur la variété Sudan Grass III appartenant à l'espèce *Sorghum vulgare L.*

2.2 MÉTHODOLOGIE

L'expérimentation a été réalisée au champ sous une parcelle grillagée à la station expérimentale de l'INRAT (Institut Nationale de la Recherche Agronomique de Tunis).

Le dispositif expérimental est en Split-Plot à 2 facteurs avec comme facteur principal la variété de sorgho et comme facteur secondaire les différents traitements hydriques et salins. La densité de semis est de 200.000 plants/ha. Une fertilisation azotée a été apportée sur la base de 100 kg/ha. En adoptant les valeurs de l'évaporation de référence mesurées à la station de Tunis au niveau des cases lysimétriques [19] et celles des coefficients culturaux déterminés selon la méthode de la FAO [20], nous avons estimé les besoins théoriques en eau (ETM) du sorgho à 600 mm (100%). L'eau d'irrigation est délivrée aux parcelles par submersion et la fréquence d'irrigation étant une fois par semaine. Les différents essais ont été démarrés au stade 4 feuilles.

Les traitements appliqués pour le stress hydrique sont :

- T₀: témoin irrigué à 100% ETM
- T₇₀: traitement irrigué à 70% ETM.
- T₃₅: traitement irrigué à 35% ETM.

(ETM= 600mm et la charge en sel est de 1g/l= eau de robinet)

Les traitements appliqués pour le stress salin sont:

- T₀: témoin irrigué à l'eau douce titrant 1g/l (100% ETM)
- T₃: traitement T₀ auquel nous avons ajouté 2g/l pour avoir une concentration de 3g/l.
- T₆: traitement T₀ plus 5g/l de sel pour avoir une concentration de 6g/l.

2.3 MESURES RÉALISÉES

Les paramètres sont mesurés aux stades floraison et maturité et concernent:

- Teneur relative en eau (**TRE**), calculée selon la formule suivante

$$TRE(\%) = (PF-PS) \times 100 / (PT-PS)$$

- PF= poids frais.
- PS= poids sec.
- PT= poids turgescent.

Le principe de la méthode repose sur la détermination des poids frais, turgescent et sec. Il s'agit d'hydrater des feuilles drapeaux à l'obscurité et à température ambiante durant 12h. Puis, le poids sec est déterminé après passage à l'étuve à 80°C pendant 48h.

- Indice chlorophyllien (**ICH**) est mesuré par le SPAD (Soil Plant Analysis Development).
- Longueur de la Panicule principale **LOC** en (cm).
- Largeur de la Panicule principale **LAC** en (cm).
- Poids de la Panicule principale **PCP** en (g).
- Rendement en grain de la panicule principale **RGC** en (g).

2.4 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique a été réalisée par le logiciel SAS (Statistical Analysis System). Toutes les mesures ont été répétées trois fois. Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à un facteur et les moyennes ont été comparées selon la méthode de Newman et Keuls. Chaque moyenne est affectée d'une lettre. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de probabilité 5 %.

3 RÉSULTATS

3.1 STRESS HYDRIQUE

Les résultats ont montré que la teneur relative en eau diminue avec l'intensité du stress hydrique appliqué: elle passe de 89% chez le témoin à 85% pour le traitement modéré et à 78% pour la contrainte sévère (tableau 1).

Concernant l'indice chlorophyllien, la diminution a été faible sous contrainte hydrique modérée (13%) et sévère (38%) lorsque le manque d'eau est très restrictif (tableau 1).

Pour les composantes de rendement, il a été remarqué que les panicules du sorgho ont raccourci proportionnellement à l'intensité du stress appliqué: respectivement de 17% et de 58% pour le stress hydrique modéré et sévère. Egalement, les panicules sont devenues moins larges: la diminution atteint 63% pour le stress hydrique sévère. Par contre, le poids et le rendement en grains des panicules principales n'ont été touchés que par la sécheresse sévère: les pertes ont été respectivement de 56% et de 53%.

3.2 STRESS SALIN

L'application d'une eau saumâtre d'intensités différentes a engendré une amélioration significative de la teneur relative en eau (tableau 2).

Par tout ailleurs, la teneur en chlorophylle et les différents composants de rendement ont baissé par l'usage de l'eau saumâtre. Les réductions les plus importantes sont celles relatives aux dimensions de la panicule principale. En effet, les chandelles sont devenues moins longues et moins larges. Le rendement en grains de la panicule principale n'a diminué que de 16%.

Tableau1. Effet de traitements hydrique sur les différents paramètres mesurés

Paramètres Traitements	TRE	SPAD	LOC	LAC	PCP	RGC
T ₀	89 a	55 a	36 a	11 a	80 a	60 a
T ₇₀	85 b	48 b	30 b	9 b	71 b	53 b
T ₃₅	78 c	34 c	15 c	4 c	35 c	28 c

T₀: Témoin irrigué à 100% ETM; T₇₀: Traitement irrigué à 70% ETM; T₃₅: Traitement irrigué à 35% ETM.

TRE: Teneur relative en eau; SPAD: Indice chlorophyllien; LOC: Longueur de la panicule principale;

LAC: Largeur de la panicule principale; PCP: Poids de la panicule principale; RGC: Rendement en grains de la panicule principale.

Tableau 2. Effet de traitements salins sur les différents paramètres mesurés

Paramètres Traitements	TRE	SPAD	LOC	LAC	PCP	RGC
T ₀	89 b	55 a	36 a	11 a	80 a	60 a
T ₃	100 a	41 b	24 b	6 b	60 b	48 b
T ₆	100 a	43 b	25 b	7 b	64 b	50 b

T₀: témoin irrigué à l'eau douce titrant 1g/l (100% ETM); T₃: T₀ plus 2g/l pour avoir une concentration de 3g/l;

T₆: T₀ plus 5g/l pour avoir une concentration de 6g/l; TRE: Teneur relative en eau; SPAD: Indice chlorophyllien;

LOC: Longueur de la Panicule principale; LAC: Largeur de la Panicule principale; PCP: Poids de la panicule principale;

RGC: Rendement en grains de la panicule principale.

4 DISCUSSION

Les stress hydrique et salin sont les contraintes abiotiques majeures de la production agricole. Pour pouvoir survivre, les plantes développent plusieurs stratégies adaptatives pour lutter contre ces contraintes. La capacité d'une plante à tolérer le stress peut être définie, à cet effet, comme étant sa capacité à survivre et à s'accroître et aussi à produire plus que des plantes sensibles [21].

Parmi les éléments essentiels à la vie de la plante, l'eau occupe une place de choix. Sans elle, toute forme de vie disparaît. L'état hydrique d'une plante peut être exprimé par sa teneur relative en eau [22].

L'application de différents niveaux de stress hydrique s'est traduit par un abaissement de la TRE, mais d'une manière générale, la TRE a gardé une valeur élevée par rapport à d'autres plantes. [23] ont attribué ce phénomène à la capacité d'ajustement osmotique.

En revanche, le stress salin aussi bien modéré que sévère a légèrement augmenté la TRE. Ce phénomène a été constaté chez *Sorghum bicolor* par [24] et sur d'autres espèces [25,26]. Cette stabilité ou légère augmentation de la TRE indique que l'espèce étudiée est tolérante à la salinité [27] et possède une réelle capacité d'ajustement osmotique [28].

Il est à remarquer que le sorgho a gardé une TRE élevée en présence de stress hydrique et salin ce qui contribue au maintien de l'ouverture stomatique et de l'activité photosynthétique [29]. A cet effet, le sorgho peut être qualifié de plante de type « stay green », autrement dit qui conserve des feuilles vertes, succulentes et photosynthétiquement active même en présence de contraintes abiotiques [30].

L'étude de l'effet de stress abiotique sur la teneur en chlorophylle revêt de l'importance du fait que l'activité photosynthétique est largement tributaire de la teneur en chlorophylle [31]. En effet, il a été remarqué qu'en conditions limitantes en eau, la teneur en chlorophylle dépend de l'intensité du stress appliqué. Cette teneur est d'autant plus faible que la sécheresse est intense. Ce résultat est corroboré par [32] sur le sorgho.

En présence de stress salin aussi bien modéré que sévère, la diminution de la teneur en chlorophylle est moins importante que pour le stress hydrique sévère. [33] attribue cette diminution à une dégradation des pigments par l'augmentation de l'activité des enzymes hydrolytiques. Il faut signaler le fait qu'il existe une relation étroite entre le taux de la chlorophylle et la nutrition azotée et le SPAD est un excellent outil pour estimer l'azote foliaire. En effet, des valeurs élevées de SPAD renseignent sur le bon développement de la plante et la possibilité de produire des rendements acceptables [34].

Outre son rôle dans la croissance et le développement, l'eau joue un rôle essentiel dans la production des espèces cultivées. Ainsi, l'application d'une irrigation déficitaire a affecté toutes les caractéristiques propres à la panicule principale et a réduit le rendement. En effet, les panicules sont devenues plus effilées, plus courtes, plus légères et moins garnies. Des résultats semblables ont été constatés par [35] sur le sorgho et [36,37] sur le blé.

L'irrigation saline (aussi bien modérée que sévère) a diminué de façon similaire les composantes de rendement. Ce résultat a été mentionné par [38] sur de nombreuses céréales. [39] expliquent cette diminution de rendement par une augmentation de la teneur d'ABA ou de l'invertase qui est un enzyme responsable de l'inhibition de remplissage des grains au cours de stress abiotique. Les différentes observations constatées montrent que la sécheresse est plus néfaste que la salinité pour le sorgho. De nombreux auteurs ont rapporté de tels résultats sur le maïs [40] sur le riz [41] et sur le mil [42].

5 CONCLUSION

L'état hydrique de la plante et la transpiration, en agissant sur la croissance d'une part et sur le développement d'autre part, peuvent intervenir dans la détermination du rendement en biomasse et en grains chez une espèce donnée. De plus, le maintien d'un bon état hydrique et d'une faible transpiration sont les signes d'une bonne adaptation des plantes à la sécheresse et à la salinité. Ainsi, le maintien de la production dépend des mécanismes de tolérance physiologiques qui assurent l'hydratation cellulaire et diminuent la perte en eau en maintenant un état hydrique favorable à l'élaboration du rendement dans ses différentes phases. A cet effet, il a été trouvé que le sorgho soumis à différents types de stress a su maintenir une TRE élevée indiquant une bonne capacité à retenir une importante quantité d'eau sous l'effet de contraintes (déshydratation ou salinité).

REFERENCES

- [1] Leonardo, O.; Medicia, F.R.; Daniel, F. C.; Marcin, K. and Ricardo, A. A.; 2014. What about keeping plants well watered? *Environmental and Experimental Botany*, 99: 38–42.
- [2] Cia, M.C.; Guimarães, A.C.R.; Medici, L.O.; Chabregas, S.M. and Azevedo, R.A.; 2012. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and sensitive sugarcane varieties. *Ann. Appl. Biol.*, 161: 313–324.
- [3] Mahajan, S. and Tuteja, N.; 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. *Arch. Biochem. Biophys.*, 444: 139–158.

- [4] Radhouane, L.; Aissa, N. et Romdhane, L.; 2014. Effets d'un stress hydrique appliqué à différents stades de développement des semences chez un écotype autochtone de sorgho grain, *Journal of Applied Biosciences*, 74: 6149–6156
- [5] Paknejad, F.; Nasri, M.; Moghadam, H.R.T.; Zahedi, H. and Alahmadi, M.F.; 2007. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters, chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. *J. Biol. Sci.*, 7: 841–847
- [6] Oliveira, E.A.; Freire, F.J.; Oliveira, A.C.; Simões Neto, D.E.; Rocha, A.T. and Carvalho, L.A.; 2011. Productivity, water use efficiency, and technological quality of sugarcane subjected to different water regimes. *Pesq. Agropec. Bras.*, 46: 617–625
- [7] Yadav, S.; Li, T.; Humphreys, E.; Gill, G. and Kukal, S.S.; 2011. Evaluation and application of ORYZA2000 for irrigation scheduling of puddle transplanted rice in North West India. *Field Crops Res.*, 122: 104–117
- [8] Radhouane, L.; 2013. Yield and Growth Responses of Autochthonous Pearl Millet Ecotype (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Under Saline Water Irrigation in Tunisia. in " Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation. Shahid Shabir A.; Abdelfattah Mohamed A.; Taha Faisal K. (Eds) 2013 LL 808 p. Chapter 30. pp:437-450
- [9] Farooq, M.; Basra, S.M.A.; Wahid, A.; Cheema, Z.A.; Cheema, M.A. and Khaliq, A.; 2008. Physiological role of exogenously applied glycinebetaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza sativa* L.). *J. Agron. Crop Sci.*, 194: 325–333
- [10] Ashraf, M.; 2010. Inducing drought tolerance in plants: recent advances. *Biotech. Adv.*, 28:199–238
- [11] Khan, M.I.R.; Iqbal, N.; Masood, A. and Khan, N.A.; 2012. Variation in salt tolerance of wheat cultivars: role of glycinebetaine and ethylene. *Pedosphere*, 22: 746–754.
- [12] Lawlor, D.W. and Cornic, G.; 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*, 25: 275-294.
- [13] Berka, S. and Aid, F.; 2009. Réponses physiologiques des plants d'*Argania spinosa* (L.) Skeels soumis à un déficit hydrique édaphique. *Science et changements planétaires/ Sécheresse*, 20(3): 296-302..
- [14] Ali Dhib, T. et Monneveux, P.H.; 1992. Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotypes chez le blé dur. I. Caractères morphologiques d'enracinement. *Agronomie*, 12: 371-379.
- [15] Carter, G.A. and Spiering, B.A.; 2002. Optical properties of intact leaves for estimating chlorophyll concentration. *J. Envir. Quality*, 31: 1424-1432.
- [16] Planchon, C. 1976. Essai de détermination de critères physiologiques en vue de l'amélioration du blé tendre. Les facteurs de photosynthèse de la dernière feuille. *Ann. Amélior. Plantes*, 26(2): 717-744.
- [17] Reynolds, M.P.; Delgado, B.M.I.; Gutiérrez-Rodríguez, M. and Larqué-Saavedra, A. 2000. Photosynthesis of wheat in a warm irrigated environment. I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66(1): 37-50.
- [18] Ommen, O. E.; Donnelly, A. Vanthoutvin, S. and Oijen, M.V.; 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentrations and other environmental stresses within the 'espace wheat' project. *Europ. J. of Agron.*, 12 :197-203.
- [19] Damagnez, J.; Riou, C.; De Villèle, O. et El Amami, S. ; 1962. Problèmes d'évaporation potentielle en Tunisie. *Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. de Tunisie*, 35: 161-184.
- [20] FAO, 1998. Crop evaporation. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper n° 56. FAO. Rome.
- [21] Kara, Y. et Bellkhiri, C.E. ; 2011. Etude des caractéristiques d'adaptation au déficit hydrique de quelques variétés de blé dur et d'espèces sauvages apparentées : intérêt potentiel de ces variétés pour l'amélioration de la production. *Courrier de Savoir*, pp119-126.
- [22] Mehani, M. ; Bissati, S. et Djeroudi, Q. ; 2012. Effet de l'eau de mer sur deux paramètres hydriques de jeunes plants d'*Atriplex canescens*. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5: 840-845.
- [23] Bajji, M. ; Lutts, S. and Kinet, J.M.; 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat cultivars performing differently in arid conditions. *Plant sciences*, 160: 669-681.
- [24] Yang, Y.W. ; Newton, R.J. and Miller, F.R. ; 1990. Salinity Tolerance in Sorghum. I. Whole Plant Response to Sodium Chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. *Crop Sci.*, 30: 775-781.
- [25] Lu, C.M.; Qiu, N.W., Lu, Q.T.; Wang, B.S. et Kuang, T.Y.; 2002. Does salt stress lead to increased susceptibility of Photosystem II to photoinhibition and changes in photosynthetic pigment composition in halophyte *Suaeda salsa* grown outdoors? *Plant Sci.*, 163: 1063-1068.
- [26] Sahraoui, I. et Zid, E. ; 2003. Réponses différentielles des feuilles de betterave rouge (*Beta vulgaris* L.) à la contrainte saline. Les XIII Journées Nationales de Biologie de la SSNT. « L'essor des bioressources » Djerba, le 16-19 Mars 2003. p: 110-111

- [27] Katerji, N., and Bethenod, O. ; 1997. Comparaison du comportement hydrique et de la capacité photosynthétique du maïs et du tournesol en conditions de contrainte hydrique. Conclusions sur l'efficacité de l'eau. *Agronomie*, 17: 17-24.
- [28] Meloni, D. A. ; Gulotta, M. R.; Martinez, C. A. and Oliva, M. A. ; 2004. The effects of salt stress on growth, nitrate reduction and proline and glycinebetaine accumulation in *Prosopis alba*. *Braz. J. Plant Physiol.*, 16(1): 39-46.
- [29] Sinclair, T.R.; Shekoofa, A. and Balota, M.; 2014. Limited transpiration trait evaluated in growth chamber and field for sorghum genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 99:175-179.
- [30] Tolk, J.A.; Howell, T.A. and Miller, F.R.; 2013. Yield component analysis of grain sorghum grown under water stress. *Field Crops Research*, 145: 44–51.
- [31] Radhouane, L.; 2006. Diversité morpho-phénologique, caractérisation agro-physiologique et mécanismes d'adaptation aux contraintes hydriques et salines de populations autochtones de mil. Thèse de doctorat d'état, INAT, Université de Carthage, 289p.
- [32] Ahmed, M.; Ul Hassen, F. and Khurchid, Y.; 2011. Does silicon and irrigation have impact on drought tolerance mechanism of sorghum? *Agricultural Water Management*, 98:1808-1812.
- [33] Santos, C.V.; 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*, 103: 91-99.
- [34] Lin, F.F.; Qui, L.F.; Deng, J.S.; Shi, Y.Y.; Chen, L.S. and Wang, K.; 2010. Investigation of SPAD meter based indices for estimating rice nitrogen status. *Computers and electronics in Agriculture*, 715: 560-565.
- [35] Mutava, R.N.; Prasad, P.V.V.; Tuinstra, M.R.; Kofoid, K.D. and Yu, J.; 2011. Characterization of Sorghum genotypes for traits related to drought tolerance. *Field Crop Research*, 123:10-18.
- [36] Monneveux, P. ; Sánchez, C. ; Beck, D. and Edmeades, G.O. ; 2006. Drought tolerance improvement in tropical maize source populations : evidence of progress. *Crop Sci.*, 46: 180 191
- [37] Jatoi, W.A.; Baloch, M.J.; Kumbhar, M.B.; Khan, N.U. and Kerio, M.I.; 2011. Effect of water stress on physiological and yield parameters at anthesis stage in elite spring Wheat cultivars. *Sarhad. J. Agric.*, 27 (1): 59-65
- [38] Rudy, D., Xuemei, J. and Richard, A.; 2011. Abiotic stress and control of grain number in cereals. *Plant Science*, 181: 331–341.
- [39] Boyer, J.S. and Westgate, M.E.; 2004. Grain yield with limited water. *J Exp. Bot.*, 55: 2385-2394.
- [40] Isla, R. and Aragüés, R.; 2010. Yield and plant ion concentrations in maize (*Zea mays* L.) subject to diurnal and nocturnal saline sprinkler irrigations. *Field Crops Res.*, 116(1–3):175–183
- [41] Zeng, L.; Shannon, M.C. and Grieve, C.M.; 2002. Evaluation of salt tolerance in rice genotypes by multiple agronomic parameters. *Euphytica* 127:235–245
- [42] Hussain, K.; Ashraf, M. and Ashraf, M.Y.; 2008. Relationship between growth and ion relation in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) at different growth stages under salt stress. *Afr. J. Plant Sci.*, 2(3):23–27