

EVALUATION DE LA TOLERANCE AU STRESS SALIN DE QUELQUES ACCESSIONS D'ORGE (*HORDIUM VULGARE* L.) CULTIVEES EN TUNISIE: APPROCHE PHYSIOLOGIQUE

Reçu le 25/02/2007– Accepté le 17/10/2008

Résumé

Pour valoriser les zones salines et/ou les zones n'ayant que des ressources en eau saumâtre, il est impératif de sélectionner des variétés capables de se développer et de produire dans ces zones.

Le présent travail a porté sur l'évaluation de la tolérance au stress salin de huit (8) accessions d'orge cultivées en Tunisie. Les essais ont été réalisés en pots de végétation dans des conditions semi-contrôlées. Les résultats ont montré que le stress salin réduit les paramètres physiologiques et métaboliques étudiés (teneur en chlorophylle a, b et total, potentiel hydrique foliaire et teneur en proline). Cependant, cette réduction est plus faible chez les accessions originaires du Sud et du Centre Tunisien que celles originaires du Nord. Ces dernières se sont montrées les plus sensibles et ont enregistré une forte augmentation de la teneur en proline et une réduction des teneurs en chlorophylles (a, b et t). Les accessions du centre et sud (tolérantes), présentent un intérêt certain pour les programmes d'amélioration variétale pour la tolérance au sel.

Mots clés: *Accessions, stress salin, Orge, tolérance, proline, chlorophylle*

Tolerance assessment of some Barley accessions (*Hordium vulgare* L.) cultivated in Tunisia to salt stress: physiological approach

Abstract

To develop saline zones and/or the zones having only brackish water resources, it is important to select tolerant varieties.

This work aims to evaluate 8 Barley accessions cultivated in Tunisia to salt stress. The trials were carried out in pots under semi-controlled conditions. The results showed the physiological and metabolic parameters (chlorophyll content, foliar water potential and proline content) were reduced. However, the reduction was weaker at the South accessions than those of Northern ones.

These parameters highlight the superiority of South accessions over the North and show the interest of this material in the varieties improvement programs to salt Tolerance.

Key words: *Accessions, salt stress, Barley, Tolerance, prolin, chlorophyll*

H. CHEIKH M'HAMED¹
R. ABDELLAOUI³
K. KADRI²
M. BEN NACEUR¹
S. BEL HADJ⁴

¹ Institut National de la Recherche Agronomique de Tunis. Laboratoire de Biotechnologie et de physiologie végétale. (Tunisie), 2049. Ariana. Tunis.

² Centre Régional de Recherche en Agriculture Oasienne de Degueche (Tozeur). Tunisie.

³ INRA-Mednine (Tunisie).

⁴ Institut National Agronomique de Tunisie. Laboratoire d'agronomie. 43 rue Charles Nicole 1082, cité El Mahrajene. Tunisie.

ملخص

يهتم هذا العمل البحثي بدراسة قدرة ثمانية أصناف تونسية محلية من الشعير على تحمل الملوحة. وقد تمت التجارب في أصص تحت ظروف شبه مراقبة لمتابعة المعطيات الفيزيولوجية كنسبة اليخضور و الجهد المائي للأوراق والأبيضية كنسبة حامض أتبرولين.

وقد أظهرت النتائج أن الضغط القوي للملوحة يقلص المعطيات الفيزيولوجية والأبيضية عند مجموع الأصناف المختبرة. غير أن الأصناف المتأتية من الجنوب والوسط أظهرت ضعفا في تقلص نسبة اليخضور الجملي (13 إلى 25 % مقارنة بالنظير). وبالمقارنة مع بقية الأصناف لذلك يمكن اعتبارها الأكثر قدرة على تحمل الملوحة.

وقد أظهر الجهد المائي للأوراق تناقصا عند كل الأصناف المدروسة والنتاج عن تذبذب التغذية المائية تحت الضغط المتزايد للملوحة وقد مكن هذا المعطى الفيزيولوجي من إظهار تميز أصناف الجنوب التونسي على حساب الأصناف الأخرى. كما أثبتت الدراسة أن نسبة حامض البرولين يتطور في جميع أصناف الشعير تحت تأثير الملوحة حيث أثبتت نفس الأصناف (المتأتية من الجنوب و الوسط) تطورا ضعيفا في نسبة هذا الحامض مما يدل على وجود تجاوب اسموزي على عكس الارتفاع الملحوظ عند أصناف الشمال في نسبة هذا الحامض مما يدل على وجود تذبذبا أبيضية عندها.

لذلك يمكن اعتبار هذه الأصناف (المتأتية من الجنوب) الأكثر قدرة على تحمل الملوحة و يمكن استعمالها مستقبلا في برامج تحسين أصناف الشعير المقاوم للملوحة

الكلمات المفتاحية: صنف، شعير، ضغط ملوحة، حامض البرولين، نسبة اليخضور

La population tunisienne augmente annuellement d'environ 0,99 % [24]. Ce taux de croissance permet d'atteindre les 16 millions d'habitants vers 2056. Contenus des besoins annuelles actuelle en céréales d'environ 21 millions de quintaux, il est impératif d'augmenter la production céréalière d'approximativement 65 % pour les cinquante années à venir pour satisfaire les besoins de la population en matière de céréales.

L'augmentation de la production céréalière nécessite l'extension des terres emblavées et l'amélioration des techniques de production dont l'irrigation qui est très souvent utilisée pour sauver les cultures.

Cependant, les ressources en eaux destinées à l'irrigation en Tunisie sont limitées et de qualité médiocre puisque 30 % de ces ressources ont une teneur en sels supérieure à 3 g/l [6].

Malgré cette contrainte, il est clair que les paysans tirent profit de ces eaux pour abreuver leurs animaux et irriguer leurs champs, tout en adoptant un bon choix variétal et un bon aménagement de l'eau et du sol. Ainsi, nombreux fourrages (luzerne, sorgho, mil,...) ont été irrigués avec succès à l'eau saline en Tunisie [15] sans aucun problème notable au niveau de la reproduction des animaux qui les mangent, ni au niveau du gain moyen quotidien.

La valorisation des zones marginales et des eaux salines peut être réalisée avec succès si l'on tient compte de deux stratégies complémentaires : appliquer des techniques culturales permettant de réduire la salinité des sols [2] et sélectionner les variétés ou les espèces capables de minimiser les effets dépressifs de la salinité sur les rendements.

La sélection du matériel végétal tolérant au sel est tributaire d'une connaissance approfondie des mécanismes physiologiques, biochimiques et génétiques de tolérance à la salinité.

Des nombreux travaux ont été menés sur l'évaluation de la tolérance à la salinité pour des différentes espèces. Parmi ces travaux, ceux qui ont mis en évidence les critères précoces de tolérance au sel chez le blé et la tomate [4 et 5]. De même, des travaux ont été menés sur le riz [18] et ont montré que la salinité réduit la croissance du riz, diminue la teneur en chlorophylle, la teneur des caroténoïdes, les protéines et augmente la teneur en proline.

Par ailleurs, [14] ont montré que la salinité affecte négativement la nodulation du Trèfle inoculé par le rhizobium à partir de 2 g de NaCl/ l, la croissance à partir de 4 g de NaCl/ l et diminue la teneur en protéine de 75 % du témoin pour un stress de 6 g de NaCl/ l. Cependant une augmentation de la proline et des sucres solubles est enregistrée sous l'effet de la salinité.

L'objectif de ce travail est justement d'essayer de sélectionner, parmi plusieurs accessions d'orge cultivées dans toute la Tunisie, celles qui s'avèrent les plus tolérantes à la salinité sur la base de quelques paramètres physiologiques et métaboliques (teneur en chlorophylle a, b et total, potentiel hydrique foliaire et teneur en proline).

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal et régions de collecte

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est représenté par 8 accessions d'orge (*Hordeum vulgare*, L), sélectionnées parmi plusieurs autres collectées à la suite d'une prospection effectuée, dans des régions peu fréquentées choisies dans différents étages bioclimatiques de la Tunisie. Les agriculteurs cibles ne communiquent pas avec l'extérieur. Ils multiplient leurs semences tous seuls et les conservent d'une campagne agricole à une autre.

Les régions de collecte sont réparties sur les étages bioclimatiques de la Tunisie, indiqués sur la carte (Figure 1).

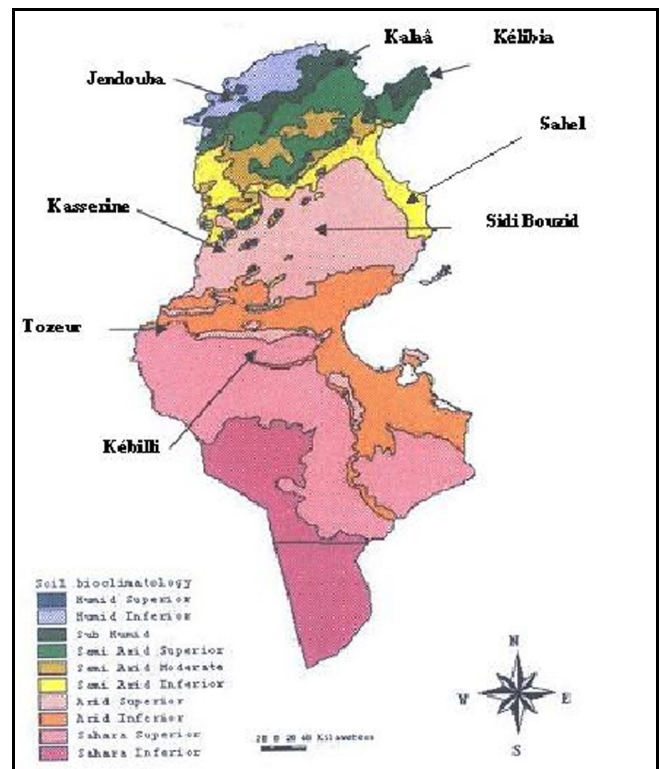


Figure 1: Carte des régions bioclimatiques où la collecte a été réalisée

- Le district de Jendouba situé au Nord Ouest de la Tunisie et appartenant à l'étage bioclimatique sub-humide où la pluviométrie annuelle moyenne est de 800 mm et la température annuelle moyenne est de 18°C (Bulletin mensuel de l'Institut National de Météorologie de 1975 à 2004).
- Le district de Kalaâ et Kélibia situé au Nord-Est du pays et appartenant à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur où la pluviométrie annuelle moyenne est de 565 mm.
- Les districts de Kasserine situés au Centre-Ouest de la Tunisie et appartenant à l'étage bioclimatique aride où la pluviométrie annuelle moyenne est de 300 mm.
- Les districts de Tozeur et de Kébili situés au Sud de la Tunisie et appartenant à l'étage bioclimatique désertique où la pluviométrie annuelle moyenne est inférieure à 150 mm.

Les accessions collectées ont été semées séparément dans des parcelles élémentaires à la même date et ont été épurées sur la base de certains critères agronomiques (hauteur des plantes, surface foliaire, date d'épiaison, architecture de l'épi,...) puis nommées selon la région de collecte. A ces accessions nous avons ajouté la variété «Martin» qui est traditionnellement cultivée en Tunisie.

Les accessions retenues pour évaluation de leur tolérance au stress salin sont: Tozeur 1, Tozeur 2, Kebilli 2, Kasserine, Jendouba 2, Martin, Kalaa, et Kelibia 2.

Paramètres étudiés

Pour évaluer la tolérance des accessions d'Orge vis-à-vis du stress salin, des essais ont été conduits en conditions semi-contrôlées.

Les graines ont été semées dans des pots de végétation qui devaient nous permettre d'effectuer un certain nombre de mesures physiologiques (teneur en chlorophylle a, b et (t) et potentiel hydrique foliaire) et métaboliques (teneur en proline). Chaque pot contient 7 Kg de sol de l'Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT) dont l'analyse est illustrée dans le tableau 1.

Tableau 1: Analyse de sol de l'INRAT

Argile	21 %
Limon fin	48 %
Limon grossier	6 %
Sable fin	13 %
Sable grossier	10 %
Humidité (pF= 2.8)	35
Humidité (pF=4.2)	23
pH	7.5
Saturation ml/100g de sol	52
Salinité du substrat de culture	0,3 g/l
Calcaire total	-
Matière organique	1,4 %
CaCo3	0,8

Les pots ont été installés sur des chariots coulissants sur deux rails parallèles permettant l'exposition des plantes aux conditions climatiques normales et de les faire rentrer sous hangar en cas de pluie. Chaque accession et chaque traitement sont représentés par 4 pots contenant chacun 8 plantes. Le semis a été suivi par des irrigations pour permettre un bon départ de la végétation sous humidité convenable du sol. Ce n'est qu'au moment du début tallage (stade 4 feuilles) que nous avons soumis les différentes accessions d'orge au stress salin: 3 et 6 g de NaCl/l comparés aux témoins.

Les irrigations sont effectuées une fois par semaine à raison de 500 ml par pots, ce qui nous a permis de garder

les pots à une humidité proche de celle de la capacité au champ.

Dosage de la chlorophylle

La chlorophylle a été dosée, durant le stade épiaison, sur la première feuille à partir de la feuille terminale, en utilisant 4 répétitions pour chaque accession et chaque traitement.

La technique de dosage des chlorophylles a, b et totale (t), utilisée est celle d'Arnon [1], modifiée et décrite par Ben Fattoum [3].

La détermination de la teneur en chlorophylle a; b et de la chlorophylle totale t est réalisée selon les formules d'ARNON:

$$CH \text{ a (mg/l)} = 12,7 DO_{(663)} - 2,59 DO_{(645)}$$

$$CH \text{ b (mg/l)} = 22,9 DO_{(645)} - 4,68 DO_{(663)}$$

$$CH \text{ t} = CH \text{ a} + CH \text{ b}$$

CH a: concentration en chlorophylle a.

CH b: concentration en chlorophylle b.

CH t: concentration en chlorophylle t.

DO: densité optique en nm.

$$CH \text{ a } (\mu\text{g} / \text{cm}^2) = CH \text{ a (mg/l)} \times (\text{volume d'éthanol} / 1000) \times (1 / \text{surface des disques})$$

$$CH \text{ b } (\mu\text{g} / \text{cm}^2) = CH \text{ b (mg/l)} \times (\text{volume d'éthanol} / 1000) \times (1 / \text{surface des disques})$$

Potentiel hydrique foliaire

Le potentiel hydrique foliaire a été mesuré au moyen d'une chambre à pression de SCHOLANDER [17]. La mesure a été réalisée, entre 12 et 14 h de la journée, sur la première feuille à partir de la feuille terminale au stade épiaison, en utilisant 4 répétitions pour chaque accession et chaque traitement.

Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Troll et Lindesly [19] et modifiée par Monneveux et Nemmar [16].

Le dosage a été réalisé au stade épiaison, sur la première feuille à partir de la feuille terminale. Quatre répétitions ont été faites pour chaque accession et chaque traitement (témoin et régimes salins).

ANALYSE STATISTIQUE

Toutes les mesures ont été répétées quatre fois. Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à un ou à deux facteurs et les moyennes ont été comparées selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre. Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes, au seuil de probabilité 5 %.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Effet de la salinité sur la teneur en chlorophylle Chlorophylle (a)

L'évolution de la teneur en chlorophylle (a) montre que toutes les accessions étudiées répondent négativement au stress salin. Cependant, cette réponse est variable, en

fonction de l'intensité du stress et de l'accession en question (figure 2).

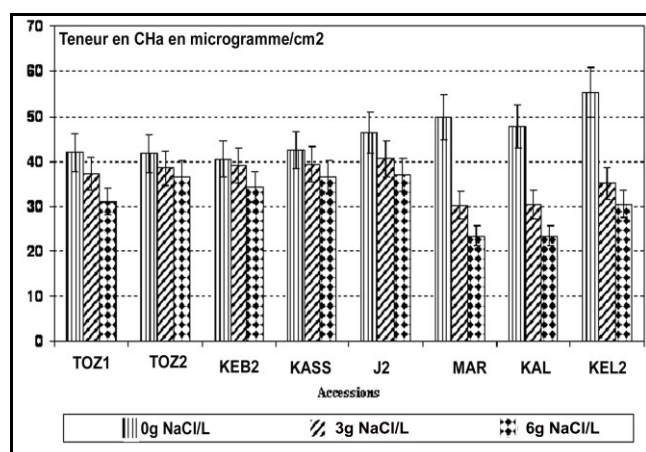


Figure 2: Variation de la teneur en chlorophylle a chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin

Lorsque le stress est modéré (3g NaCl/l), toutes les accessions subissent une diminution de leur teneur en chlorophylle (a). Les accessions Martin, Kalaa et Kelibia 2 ont montré une diminution significative par rapport à leur témoin et ont affiché des pourcentages de réduction de 39 %, 36 % et 37 % respectivement (Tableau 2). Alors que, Tozeur 2, Kebilli 2 et Kasserine semblent être les moins touchées et ont affiché des pourcentages de réduction < 10 % par rapport à leurs témoins respectifs.

Tableau 2: Taux de réduction de la teneur en chlorophylle (a) exprimé en % du témoin en fonction de l'intensité du stress salin.

	Toz1	Toz2	Kéb2	Kass	J2	Mart	Kalaa	Kel2
3g NaCl/l	11,28	7,62	3,31	7,35	12,36	39,15	36,17	36,52
6g NaCl/l	25,96	12,53	14,83	14,02	20	52,97	51,12	44,64

Lorsque le stress est sévère (6 g NaCl / l), la teneur en chlorophylle (a) est encore plus affectée, surtout pour le cas de Martin et Kalaa dont le pourcentage de réduction est ≥ 50 % par rapport à celui du témoin. L'analyse de la variance (Tableau 3) montre que sous stress sévère, les accessions Jendouba 2, Kasserine, et Tozeur 2 ont une meilleure tolérance au sel pour ce paramètre et gardent une teneur en chlorophylle (a) assez élevée (pourcentage de réduction ≤ 15 % du témoin).

Globalement, la majorité des accessions originaires du Nord (Jendouba 2, Kalaa et Kelibia 2) ont montré des taux de réduction proches de 40%, par contre les accessions originaires du Centre et du Sud (Tozeur 1, Kebilli 2 et Kasserine) ont montré des pourcentages de réduction < 10 % du témoin.

Chlorophylle (b)

L'analyse de la teneur en chlorophylle (b) (Figure 3) montre qu'elle est moins sensible au stress salin que de la chlorophylle (a).

Tableau 3: Classification des Accessions étudiées en groupe homogène selon le test de Newman-Keuls, pour le traitement 6 g NaCl/l (chlorophylle a)

Accessions	Moyennes
Jendouba2	37.10 ^a
Kasserine	36.64 ^a
Tozeur 2	36.56 ^a
Kebilli 2	34.41 ^b
Tozeur 1	31.20 ^c
Kelibia 2	30.66 ^c
Martin	23.41 ^d
Kalaa	23.38 ^d

Les résultats montrent que la plupart des accessions étudiées sont légèrement affectées pour un stress modéré de 3g NaCl/l. Dans ce cas, la plupart des accessions ont enregistré un pourcentage de réduction ≤ 15 % du témoin. En revanche, Tozeur 2 et Kébilli 2 ont pu maintenir une teneur en chlorophylle (b) plus ou moins stable par rapport à leurs témoins respectifs. Cependant, Tozeur 1 a enregistré même une légère amélioration de cette teneur (≈ 6 % du témoin). Par contre, Jendouba 2, Kalaa et Kelibia 2 ont montré une réduction significative par rapport à leurs témoins respectifs et ont affiché les pourcentages de réduction les plus élevés (≈ 44 %) (Tableau 4).

Pour un stress sévère (6g NaCl/l), la diminution de la teneur en chlorophylle (b) n'est pas importante comparativement au stress modéré. Cependant, Martin et Kalaa montrent une différence significative avec le traitement modéré (3 g NaCl / l) et enregistrent les plus faibles teneurs en chlorophylle (b), et les pourcentages de réduction les plus élevés (pourcentage de réduction chez Kalaa ≥ 50 % du témoin).

Par ailleurs, nos résultats montrent que la teneur en chlorophylle (a) est plus sensible à l'effet du stress salin que la chlorophylle (b). Cette dernière est légèrement affectée pour un stress modéré (taux de réduction ≤ 15 % du témoin contre 38% pour la chlorophylle a), voir même améliorée, chez quelques accessions.

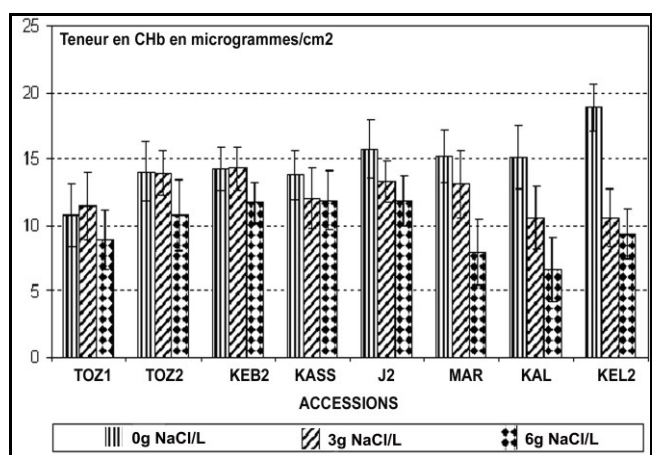


Figure 3: Variation de la teneur en chlorophylle b chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin

Tableau 4: Taux de réduction de la teneur en chlorophylle (b) exprimé en % du témoin en fonction de l'intensité du stress salin.

	Toz1	Toz2	Kéb2	Kass	J2	Mart	Kalaa	Kel2
3g NaCl/l	6,2*	0,72	0,14*	12,75	15,56	14,17	30,01	43,93
6g NaCl/l	17,63	23,24	17,94	14,05	24,83	48	56,18	50,46

*: Augmentation

Chlorophylle totale

La teneur en chlorophylle totale constitue la somme des deux précédentes. La figure (4) relative à ce paramètre montre que Martin et Kelibia 2 sont les accessions les plus riches en chlorophylle totale, en l'absence de stress salin. Alors que, Tozeur 1, Tozeur 2, Kebilli 2 et Kasserine sont celles qui élaborent moins de chlorophylle dans les conditions normales.

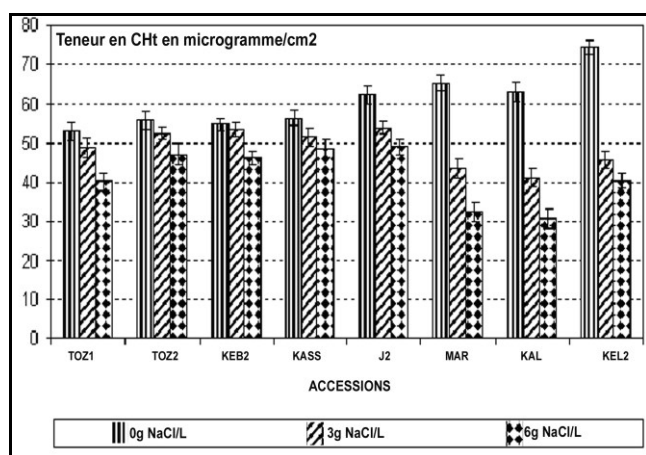


Figure4: Variation de la teneur en chlorophylle totale chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin

Lorsque ces accessions sont soumises à un stress modéré (3 g / l), le pourcentage de réduction par rapport au témoin varie de 2,42 à 8,69 chez les accessions Tozeur 1 Tozeur 2, Kébilli 2 et Kasserine (Tableau 5). Les autres

accessions affichent un pourcentage de réduction variant de 13 (Jendouba 2) à 38% (Kelibia 2).

En cas de stress sévère, Kebilli 2 et Kasserine gardent une teneur en chlorophylle assez élevée comparativement aux autres. Par contre, Martin et Kalaa se montrent particulièrement sensibles surtout dans le cas du stress sévère (6 g NaCl / l). Leur pourcentage de réduction par rapport au témoin est ≥ 50 %. Les autres accessions sont intermédiaires.

Tableau 5: Taux de réduction de la teneur en chlorophylle totale, exprimé en % du témoin en fonction de l'intensité du stress salin.

	Toz1	Toz2	Kéb2	Kass	J2	Mart	Kalaa	Kel2
3g NaCl/l	7,71	5,9	2,42	8,69	13,16	33,3	34,7	38,4
6g NaCl/l	24,02	25,49	15,56	13,81	21	50,2	51,3	45,45

Globalement, l'étude de la teneur en chlorophylle totale en conditions hydriques favorables, fait ressortir que les accessions sont réparties en deux groupes. Un premier groupe relativement riche en chlorophylle, qui est constitué essentiellement de Martin, Kélibia 2 et un second groupe relativement pauvre et essentiellement formé de Tozeur 1, Kebilli 2 et Kasserine. En conditions de stress salin, surtout sévère (6 g/l), le pourcentage de réduction varie de 13,8 à 25% chez les accessions du Sud et Centre (Tozeur 1, Kebilli 2 et Kasserine) contre 45 à 50% chez celles du Nord (particulièrement Martin, Kalaa et Kélibia 2). Cependant, l'accession Jendouba 2 a fait l'exception.

D'une façon générale nous avons constaté, d'une part, que la teneur en chlorophylle totale diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress conformément à ce que plusieurs auteurs ont démontré [7, 11, 20]. D'autre part, certaines accessions naturellement riches en chlorophylle perdent plus facilement leur chlorophylle que les accessions naturellement pauvres.

Effet de la salinité sur le potentiel hydrique foliaire

Pour le potentiel hydrique foliaire, il est connu que, chaque fois que la salinité de l'eau d'irrigation augmente, la plante doit exercer plus d'énergie par unité d'eau absorbée, comparativement à une plante irriguée avec de l'eau douce. Donc une plante dont le potentiel est faible est une plante qui a pu hydrater ses feuilles malgré la pression osmotique exercée par le sel sur les racines. Un tel paramètre nous renseigne sur l'aptitude de nos accessions à pomper l'eau et contourner la salinité du milieu de culture.

La figure (5) représentative des variations du potentiel hydrique foliaire en fonction des traitements salins appliqués, montre que chez toutes les accessions étudiées l'augmentation de l'intensité du stress provoque un abaissement du potentiel hydrique foliaire comparativement aux témoins. Cette baisse est d'autant plus accentuée que l'intensité du stress est plus importante.

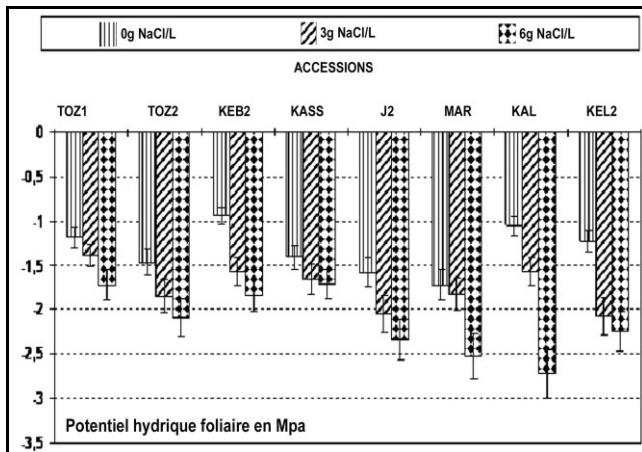


Figure 5: Variation du potentiel hydrique foliaire chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin

En effet, dans les conditions hydriques favorables, toutes les accessions testées gardent un potentiel hydrique relativement élevé et particulièrement Kebilli 2 et Kalaa dont les potentiels ne dépassent pas -1 MPa. L'analyse de la variance suivie du test de Newman-Keuls (Tableau 6) montre une différence significative entre les accessions et permet une classification où Kebilli 2 et Kalaa sont les plus hydratées, alors que les accessions Jendouba 2 et Martin sont les plus déshydratées; les autres sont intermédiaires.

Tableau 6: Classification des variétés étudiées en groupe homogène selon le test de Newman-Keuls, pour le traitement 0 g / l et 6 g / l NaCl (potentiel hydrique foliaire).

Accessions	Moyennes	
	0 g NaCl/l	6 g NaCl/l
Kébilli 2	-0.93 ^a	-1.84 ^a
Kalaa	-1.05 ^b	-2.73 ^f
Tozeur 1	-1.18 ^c	-1.72 ^a
Kelibia 2	-1.23 ^c	-2.23 ^c
Kasserine	-1.41 ^d	-1.71 ^a
Tozeur 2	-1.48 ^d	-2.09 ^b
Jendouba 2	-1.59 ^e	-2.34 ^d
Martin	-1.72 ^f	-2.53 ^e

Pour un stress faible (3 g NaCl / l), Tozeur 1 suivies de Kebilli 2, Kalaa et Kasserine présentent un abaissement du potentiel

hydrique foliaire relativement faible comparativement aux autres accessions traduisant une meilleure alimentation hydrique.

Au contraire, Jendouba 2, suivie Kelibia 2 présentent des potentiels hydriques foliaires relativement bas, matérialisant une certaine perturbation de l'alimentation hydrique. Ce résultat est tout à fait conforme à ce que a été mentionné par plusieurs auteurs [21, 22, 23].

Lorsque le stress est plus accentué (6g NaCl /l), l'abaissement du potentiel hydrique est plus prononcé chez toutes les accessions, traduisant la forte déshydratation des feuilles. Cependant l'analyse de la variance suivie du test du Newman-Keuls (Tableau 6) montre que Tozeur 1, Tozeur 2, Kebilli 2, et Kasserine ont pu garder un potentiel hydrique foliaire relativement élevé et proche de celui de leurs témoins respectifs. Ces accessions sont relativement plus tolérantes à la salinité que les autres. Nos résultats sont conformes à ce qu'a été rapporté par d'autres auteurs sur céréales et sur agrumes [4 et 3]. Ces auteurs ont affirmé que la tolérance au stress salin est associée à un potentiel hydrique foliaire plus élevé.

La mesure du potentiel hydrique foliaire, en conditions de stress salin montre que l'augmentation de l'intensité du stress provoque un abaissement du potentiel hydrique foliaire, chez toutes les accessions, comparativement à leurs témoins respectifs. Cette baisse est d'autant plus accentuée que l'intensité du stress est plus importante.

Lorsque le stress salin est élevé (6g NaCl/l), la diminution du potentiel hydrique est plus prononcée que dans le cas du stress faible, traduisant une forte déshydratation des feuilles. Cependant l'analyse de la variance montre que Kebilli 2, Tozeur 1, et Kasserine gardent un potentiel hydrique foliaire relativement élevé et proche de celui de leurs témoins respectifs.

Effet de la salinité sur l'accumulation de la proline

Les variations métaboliques de l'orge se trouvent souvent perturbées en conditions de contraintes salines et notamment le métabolisme des acides aminés dont la proline constitue, pour de nombreuses espèces l'élément principal de modification.

La figure 6 représente les variations de la teneur en proline des différentes accessions étudiées en fonction de l'intensité du stress salin.

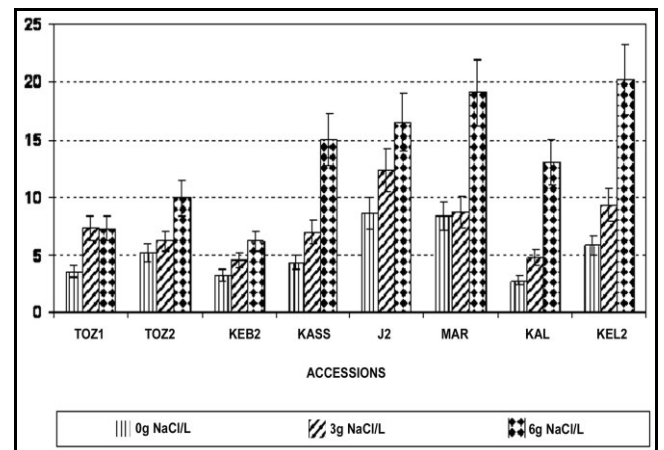


Figure 6: Variation de la teneur en proline foliaire chez les différentes accessions d'orge, en fonction de l'intensité du stress salin

Dans les conditions normales (absence de stress), la teneur en proline est variable selon l'accession en question. En effet, Tozeur 1, Tozeur 2, Kebilli 2, Kasserine et Kalaa ont enregistré les valeurs les plus basses ($< 500 \mu\text{g} / \text{g}$ de matière fraîche (MF)). Alors que, Jendouba 2 et Martin dépasse les $800 \mu\text{g} / \text{g}$ de MF. L'analyse de la variance à un facteur et le test de Newman-Keuls montrent que ces dernières sont classées naturellement parmi celles qui sont riches en proline.

En cas de stress faible ($3\text{g NaCl} / \text{l}$), la plupart des accessions testées ont montré une augmentation de leur teneur en proline. Cependant, cette augmentation est variable. Elle est très faible pour les cas de Tozeur 2, Kebilli 2 et Kalaa, ce qui les classe, statistiquement, en tête des accessions tolérantes au sel. Les accessions Jendouba 2, Martin et Kelibia 2 sont celles qui ont accumulé le plus de proline dans ces conditions.

Lorsque le stress est plus accentué ($6\text{g NaCl} / \text{l}$), toutes les accessions étudiées ont montré une augmentation significative de leurs teneurs en proline, à l'exception de Tozeur 1 qui a pu maintenir une teneur en proline stable par rapport au stress modéré. En effet, cette augmentation est nettement observée chez Kasserine, Martin, Kalaa et Kelibia 2 dont la teneur en proline dépasse $1500 \mu\text{g} / \text{g}$ de MF et atteint même $2000 \mu\text{g} / \text{g}$ de MF pour le cas de Kelibia 2.

Dans nos conditions, la tolérance au sel se résume en une légère augmentation ou une relative stabilité de la teneur en proline et en chlorophylle, associée à un potentiel hydrique foliaire élevé.

Compte tenu des certains travaux antérieurs [3, 5 et 13], nous pensons que le stress salin induit une légère augmentation (par rapport à son témoin) de la teneur en proline chez les géotypes les plus tolérants et une grande accumulation chez les géotypes sensibles. Contrairement à ce qui a été montré par d'autres auteurs, qui ont attribué à l'accumulation de proline comme un signe de perturbation métabolique [9, 12]. Nous pensons qu'une légère accumulation de proline est une réaction d'adaptation de la plante vis-à-vis du stress. Elle est nécessaire comme ajustement osmotique (osmoticum), pour équilibrer le potentiel osmotique du sol conformément à ce qui a été démontré Par d'autres travaux [8, 10]. Par contre une forte accumulation de cet acide aminé est un signe de perturbation métabolique.

CONCLUSION

Ce travail fait ressortir que le stress salin exerce, chez toutes les accessions d'orge, un effet dépressif sur tous les paramètres physiologiques et métaboliques étudiés; cependant il ne les affecte pas de la même manière. Le degré d'affection dépend de l'intensité du stress et de l'accession. En effet, nous avons montré que les teneurs en chlorophylles **a**, **b** et totale (**t**) sont des paramètres très sensibles, qui peuvent nous renseigner sur le degré de

tolérance des accessions d'orge à la salinité. La majorité des accessions originaires du Nord tunisien, à l'exception de Jendouba 2, ont montré des taux de réduction de la chlorophylle totale variant de 45 à 50% du témoin contre des taux de réduction variant de 13 à 25% du témoin chez les accessions du Centre et du Sud (Tozeur 1, Kebilli 2 et Kasserine). Par ailleurs, il faut signaler que la teneur en chlorophylle (**a**) est plus sensible à l'effet du stress salin que celle de la chlorophylle (**b**).

Le potentiel hydrique foliaire a enregistré lui aussi un abaissement en fonction de l'intensité du stress, chez toutes les accessions étudiées. Cette baisse dénote d'une perturbation dans l'alimentation hydrique des plantes en question et pourrait être considérée comme un critère approprié de la tolérance ou de la sensibilité des orges étudiées à la salinité. Ce paramètre a permis de mettre en évidence la supériorité des accessions du Sud sur celles du Nord; néanmoins l'ordre de tolérance de ces accessions change parfois, ce-ci pourrait être expliqué par l'aptitude du système racinaire à absorber l'eau.

L'évolution de la teneur en proline chez les différentes accessions a également confirmé les résultats précédemment indiqués pour les autres paramètres. Ces mêmes accessions (Tozeur 1, Kebilli 2) ont enregistré une légère augmentation de la teneur en proline traduisant un ajustement osmotique pour contre-carrer l'effet du potentiel osmotique du sol. Au contraire, chez les accessions sensibles (Jendouba 2, Kelibia 2 et Martin), la teneur en proline a enregistré une forte augmentation indiquant une certaine perturbation métabolique.

Globalement, les accessions du Sud et du Centre semblent être plus tolérantes que celles du Nord. Néanmoins, l'ordre de tolérance change selon le critère d'évaluation utilisé.

RÉFÉRENCES

- [1] **Arnon, D. I.**, Cooper enzymes in isolated chloroplastes. *Plant Physiol.*, 24 (1949), pp.1-15.
- [2] **Bennes, S.**, Irrigation with saline water. Minimizing the impact proper management. *New Ag international.*, (2003), pp. 40-42.
- [3] **Ben Fattoum M.**, Evaluation de la tolérance au stress salin de certains porte-greffes de citrus. Mémoire de diplôme des études approfondies de l'INATunisie, (2003). 98 p.
- [4] **Ben Naceur M, Ben Salem M, Rouassi M, El Borji Z, Rahmoun C.**, Influence du manque d'eau sur le comportement écophysologique de quatre variétés de blé dur. *Annales de l'INRGREF*, 5, (2002), pp.133-152.
- [5] **Ben Naceur M, Abdellaoui R, Cheikh-M'Hamed H, Hedhly K, Selmi M.**, Critères précoces de tolérance au stress salin chez quelques géotypes de tomate. *Annales de l'INRGREF*, 6, (2004), pp. 55-70.

- [6] **Boutiti R.**, Utilisation des eaux salées en agriculture. Actes des premières journées scientifiques du CRGR, Nabeul 27-28 Septembre, (1994), pp. 58-63.
- [7] **Chen, C. T., Li, C. C. and Kao, C. H.**, Senescence of rice leaves. XXXI changes of chlorophyll, protein and polyamine contents and ethylene production during senescence of a chlorophyll-deficient mutant. J. Plant growth Reg, 10, (1991), pp. 201-205.
- [8] **Demir, Y.**, Growth and proline content of germinating wheat genotypes under ultraviolet light Turk. J. Bot, 24, (2000), pp. 67-70.
- [9] **Dix, P.J., Pearce, P.S.**, Proline accumulation in NaCl resistant and sensitive cell lines of *Nicotina glauca*. Z Pflanzenphysiol Bd, 102, (1981), pp. 243-248.
- [10] **Gadallah, M. A. A.**, Effects of proline and glycine betaine on vicia fabae responses to salt stress. Biol plant, 42, (1999), pp. 249-257.
- [11] **Glemen, M., Smith, F.A.**, Gas exchange and chlorophyll content of "Trif blue" rabbitey and "Sharp blue" southern highbush. Blueberry exposed to salinity and supplemental calcium. J. Amer. Soc. Hort. Sci. II, (1993), pp. 749-756.
- [12] **Hanson, A. D., Nelson, C. E., Everson, E. H.**, Evaluation of free proline accumulation as an index of drought resistance using two contrasting barley cultivars. Crop Science, 17, (1977), pp.: 720-726.
- [13] **Hubac, C., Vieira Da Silva, J., 1980.** Indicateurs métaboliques de contraintes mésologiques. Physiologie végétale, 18 (1): 45-53.
- [14] **Laaziza, B. K., Asunéon, M. G., El Moustapha, O. et Abdallah, O.**, Réponses physiologiques et biochimiques du trèfle (*Trifolium alexandrinum* L.) à la double association Mycorhizes-*Rhizobium* sous une contrainte saline. Agronomie, (2003), pp.571-580.
- [15] **Mezni, M., Albouchi, A., Bizid, E., Hamza, M.**, Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*). Agronomie, 22, (2002), pp. 283-291.
- [16] **Monneveux, P., Nemmar, M.**, Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). Etude d'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie, 6, (1986), pp. 583-590.
- [17] **Scholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E., Hemmingsen, E.**, Sap pressure in vascular. Plant Science, 148, (1965), pp. 339-346.
- [18] **Tijen, D. et Ismail, T.**, Exogenous glycinebetaine affects growth and proline accumulation and retards senescence in tow rice cultivars under NaCl stress. Environmental and experimental botany, 56, (2005), pp. 72-79.
- [19] **Troll, W., Lindesly, J. A.**, Photometric method for the determination of proline. J. Biol. Chem, 215, (1955), pp. 655-660.
- [20] **Walker, R. R., Sedgley, M., Blesing, M. A., Douglas, T. J.**, Anatomy, ultrastructure and assimilate concentrations of roots of citrus genotypes in ability for salt exclusion. Journal of Experimental Botany, n° 35, 159, (1984), pp.1481-1494.
- [21] **Zid, E., Grignon, C.**, Effets comparés de NaCl, KCl et Na₂SO₄ sur la croissance et la nutrition minérale de jeunes *Citrus aurantium* L. Acta Ecol. Plant, 7, (1986), pp. 425-434.
- [22] **Zid, E., Grignon, C.**, Les tests de sélection pour la résistance des plantes aux stress : cas de stress salin et hydrique. In: *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Journées scientifiques du réseau biotechnologiques végétales. Tunis, 4-9 Décembre. Eds. AUPELF-UREF, (1989), pp. 105-125.
- [23] **Zid, E., Grignon, C.**, Test de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. In: *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Eds. Chalbi N, Dermal Y, (1991), pp. 91-104.
- [24]-
www.indexmundi.com/fr/Tunisie/croissance_démographique