



Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal)

Mohameden OULD MOHAMDI ^{1*}, Driss BOUYA ¹ et Ali OULD MOHAMED SALEM ²

¹ Laboratoire d'Agro-alimentaire et Sécurité Sanitaire des Aliments, UFR de Biochimie Appliquée et Sciences Alimentaires & UFR de Protection des plantes et environnement, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, B.P. 1796 Atlas Fès, Maroc.

² Laboratoire de biotechnologies. Faculté des Sciences et Techniques. BP 5026 Université de Nouakchott, Mauritanie.

*Auteur correspondant, E-mail: ouldmohamdi@hotmail.com, Tel: (212)35 64 23 98/500/389, GSM:00212 649 05 95 50, Fax: (212)35 73 38 31.

RESUME

La germination, les paramètres de croissance ainsi que les paramètres biochimiques, sont comparés chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal) soumises à des concentrations croissantes de NaCl. (0, 17, 50, 85 et 130 mM). Le pourcentage de germination des graines diminue avec l'augmentation de la salinité chez les deux variétés avec une diminution plus faible chez la variété Campbell 33 comparativement à la variété Mongal. Le nombre de feuilles, la longueur de tige et la matière sèche, ont été plus affectés par la salinité chez Mongal par rapport à Campbell 33. De même, les teneurs en pigments chlorophylliens ont diminué significativement chez Mongal par rapport à Campbell 33. Les résultats montrent également que la teneur en sucres solubles et en proline sont plus importantes chez Campbell 33 en comparaison avec Mongal. Le taux de survie des plantes dans les milieux concentrés en NaCl est plus élevé chez Campbell 33 par rapport à Mongal. Ces résultats semblent montrer que les deux variétés étudiées sont sensibles à la salinité dans la limite de concentrations testées et que la variété Mongal semble relativement plus sensible que la variété Campbell 33.

© 2011 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Salinité, tomate, sensibilité, germination, tolérance.

INTRODUCTION

La salinisation des sols constitue l'un des facteurs majeurs de la baisse de la productivité agricole dans le monde. Selon la FAO (2008), plus de 800 millions d'hectares de terres à travers le monde sont affectés par la salinité, ce qui représente plus de 6% de la surface du globe. Les sels présents dans les sols et dans les eaux d'irrigation, perturbent la germination des

graines, affectent la croissance des plantules et réduisent par conséquent la production des cultures. Les ions Na⁺ Cl⁻ accumulés dans les tissus des plantes, notamment dans les tissus des organes aériens, peuvent également provoquer une toxicité chez la plante (Munns et Tester, 2008).

Outre leurs effets sur le potentiel osmotique de la plante, les concentrations élevées de NaCl engendrent une toxicité liée à

© 2011 International Formulae Group. All rights reserved.

la présence excessive des ions Na^+ qui interfèrent avec les ions K^+ . La salinité affecte tous les processus physiologiques de la plante ainsi que son développement et sa croissance. La synthèse des composés organiques ou osmoprotectants, est une des stratégies que la plante déploie pour atténuer l'effet de la salinité. Les protéines, les sucres solubles, les acides aminés et plus particulièrement la proline, comptent parmi ces composés organiques qui jouent un rôle majeur dans l'ajustement osmotique de la plante déjà perturbée par la présence excessive des ions Na^+ et Cl^- . La tolérance des plantes au sel, dépend de leur maintien d'une absorption suffisante de nutriments essentiels, tel que K^+ , notamment en présence d'un excès de Na^+ (Shabala et al., 2005).

La variabilité génétique entre les espèces facilite le criblage et/ou la sélection de plantes plus tolérantes à des concentrations de sel plus ou moins élevées. Cette variabilité est donc nécessaire pour tout programme visant à sélectionner des génotypes résistants au sel. Ainsi, elle a été signalée chez plusieurs espèces végétales: entre 14 accessions de blé tendre (Goudarzi et Pakniyat, 2008) ; 60 cultivars de melon (Kusvuran et al., 2007) ; 7 cultivars d'orge (Chen et al., 2005) et entre 18 cultivars de tomate (Turhan et al., 2009).

La tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), l'une des espèces les plus cultivées au monde, est sensible à des concentrations modérées de sels dans le sol. Mais plusieurs auteurs révèlent une grande variabilité parmi les génotypes de tomate dans leur réponse à la salinité (Cuartero et Fernandez-Munoz, 1999 ; Manaa et al., 2011).

L'objectif du présent travail, est l'évaluation du degré de sensibilité ou tolérance au niveau de la germination d'abord, et ensuite au niveau du stade végétatif des plantules, de deux variétés de tomate dont l'une (Mongal) cultivée en Mauritanie et l'autre (Campbell 33) cultivée au Maroc, en vue de déterminer leur comportement face à l'augmentation de la contrainte saline en vue de

l'amélioration de leur productivité dans les zones où elles sont cultivées.

MATERIEL ET METHODES

Les graines de deux variétés de tomate : Campbell 33 fournie par Vita Maroc et Mongal fournie par le CNRADA (Centre National de Recherche Agronomique pour le Développement Agricole) de Nouakchott-Mauritanie ont été désinfectées avec l'hypochlorite de sodium à 2% pendant 10 minutes, puis rincées soigneusement à l'eau distillée à trois (3) reprises. Laissez sécher à l'air libre pendant une demie heure, les graines sont transférées par la suite dans des boîtes de pétri tapissées de papier-filtre en proportion de 4 répétitions de 20 graines par boîte en présence de concentrations suivantes de NaCl : 0, 17, 50, 85 et 130 mM. Dans des conditions contrôlées de température, humidité et éclairage, le nombre de graines germées dans chacune des concentrations est prélevé tous les 24 heures pour l'évaluation de l'effet de concentrations croissantes de NaCl sur le pourcentage de germination.

Par ailleurs, les plantules issues de la germination en milieu dépourvu de NaCl , sont transplantées dans des bacs remplis de sable grossier inerte et sont arrosées avec la solution nutritive de Hogland modifiée par Jemal et al. (2005), dont la composition est la suivante : 1,5 mM de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 0,5 mM de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1 mM de KNO_3 , 1 mM de KH_2PO_4 , 1 μM de $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 30 μM de H_3BO_3 , 50 μM de Fe-EDTA, 10 μM de MnSO_4 , 1 μM de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Au stade 3-4 feuilles, les plantules sont transplantées dans des pots en plastique remplis de solution nutritive en présence ou en absence du NaCl aux concentrations (0, 17, 50, 85 et 130 mM). Les milieux de culture sont aérés puis renouvelés régulièrement.

Après un séjour de 14 jours dans le milieu hydroponique, les plantules sont retirées et le nombre de feuilles est compté, la longueur de tiges, la longueur de jeunes feuilles et celle de feuilles âgées sont mesurées. Ensuite, la partie aérienne est

séparée de la partie racinaire et la matière sèche de chaque partie est déterminée après séchage pendant 48 heures à 80 °C. Les pesées sont effectuées à l'aide d'une balance électronique de précision de type Model-Citizen XK3190-A7M. Le dosage des pigments chlorophylliens dans les feuilles est effectué selon la méthode de Mc Kinney (1941). Le dosage des sucres solubles est effectué selon la méthode de Dubois (1956) et celui de protéines solubles est réalisé suivant la méthode de Bradford (1976). Enfin, la teneur en proline foliaire est déterminée selon la méthode de Bates (1973). Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance à un ou à deux facteurs et les moyennes ont été comparées par le test de Fisher basé sur la méthode PPSD (Plus Petite Différence Significative) à l'aide du logiciel XLSTAT 2009-2010 pour Windows. Chaque moyenne est affectée d'une lettre. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5%.

RESULTATS

Pourcentage de germination

D'après les résultats de la Figure 1, on constate que les graines des deux variétés ont germé rapidement en l'absence de NaCl dans le milieu. Ainsi, chez la variété Campbell 33 le pourcentage de germination maximal a légèrement dépassé 83% alors que chez la variété Mongal, la capacité germinative a atteint plus de 91%. Chez la variété Campbell 33, la présence de NaCl dans le milieu n'a provoqué de réductions significatives qu'à partir de 85 mM (74% de réduction). Cette diminution s'accroît pour atteindre plus de 96% par rapport au témoin au niveau de la concentration extrême de NaCl (130 mM). Toutefois, la variété Mongal a affiché des réductions significatives du pourcentage de germination dès la plus faible concentration saline de 17 mM, cette dernière a induit une réduction de 18% par rapport au témoin suivie des réductions de 38, 52 et 83% enregistrées respectivement au niveau des concentrations 50, 85 et 130 mM.

Effet du NaCl sur les paramètres de croissance

Les résultats illustrés dans le Tableau 1 relatifs aux paramètres de croissance des plantules des deux variétés de tomate : Campbell 33 et Mongal cultivées en hydroponie durant deux semaines en présence de concentrations croissantes de NaCl, montrent toutefois, que la variété Mongal se distingue de la variété Campbell 33, par une biomasse plus importante que se soit au niveau de la matière sèche de la partie aérienne ou au niveau de la partie racinaire. Ainsi, en absence de NaCl dans le milieu, Mongal affiche une matière sèche aérienne moyenne de 266 mg contre 227 mg affichée par la variété Campbell 33 et une matière sèche racinaire de 52 mg contre 46 mg chez la variété Campbell 33.

De même, au niveau de la longueur des tiges, la Mongal présente une longueur moyenne de 14,9 cm contre 12,4 chez Campbell 33. Egalement, le nombre de feuilles est plus important chez Mongal comparativement à Campbell 33. En revanche, la longueur de jeunes feuilles et celle de feuilles âgées sont relativement plus élevées chez Campbell 33 par rapport à Mongal.

La présence de NaCl dans le milieu a affecté significativement ($P < 0,05$) les paramètres de croissance des plantules des deux variétés étudiées, surtout au niveau des deux concentrations les plus élevées (85 et 130 mM).

Au niveau de la biomasse de la partie aérienne et la biomasse racinaire (Tableau 1), le stress salin est à l'origine de diminutions significatives de ces deux paramètres chez les deux variétés. En effet, chez la variété Campbell 33, on observe des réductions de la matière sèche de la partie aérienne oscillant entre 51 et 60% à 85 et 130 mM respectivement contre 67 et 70% chez Mongal. De même, au niveau des racines, on note également des réductions similaires de la biomasse chez les deux variétés. Par ailleurs, le rapport Partie aérienne/Partie racinaire

diminue chez Campbell 33 mais il augmente par contre chez Mongal.

En ce qui concerne la hauteur de la tige, la variété Campbell 33, a connu une réduction de 39% à la concentration maximale de NaCl 130 mM par rapport au témoin. Chez la variété Mongal la même concentration saline a induit une diminution significative de 32% par rapport au témoin.

La longueur de jeunes feuilles et celle de feuilles âgées sont moins touchées par le stress salin par rapport aux autres paramètres de croissance (Tableau 1). En effet, la plus forte réduction de la longueur de jeunes feuilles est enregistrée chez la variété Mongal (31%) à la concentration de 130 mM par rapport au témoin contre une diminution de 27% chez la variété Campbell 33.

Par ailleurs, au niveau de la longueur de feuilles âgées, la variété Campbell 33 était la plus touchée, le stress salin a provoqué une réduction significative de 45% à la concentration de 130 mM par rapport au témoin contre 34% chez Mongal. Le taux de survie des plantules à la concentration extrême 130 mM était seulement de l'ordre de 30% chez Campbell 33 et 20% chez Mongal.

Effet du NaCl sur les pigments photosynthétiques

Les résultats illustrés par la figure 2 montrent que le stress salin a affecté sensiblement les pigments photosynthétiques des plantules des deux variétés. En effet, chez la variété Campbell 33, la chlorophylle a a diminué significativement de 61 et 65% aux concentrations 85 et 130 mM, la chlorophylle b a été réduite de 74 et 76% et la chlorophylle totale a baissé de 63 et 67% par rapport au témoin. De même, chez la variété Mongal, on observe des réductions des teneurs en chlorophylle a autour de 76 et 86% contre 72 et 83% de chlorophylle b et 67 et 80% de la chlorophylle totale au niveau des deux concentrations 85 et 130 mM de NaCl respectivement.

D'ailleurs, dans les mêmes concentrations (85 et 130 mM), on observe des réductions significatives respectives de 44 et 73% de caroténoïdes et xanthophylles chez la variété

Mongal. Par contre, chez la variété Campbell 33, ces réductions ont été plus importantes et sont de l'ordre de 75 et 85%.

Effet du NaCl sur la teneur en protéines

Les résultats obtenus mettent en évidence une variabilité de réponse au sel au sein des deux variétés étudiées. En effet, la teneur en protéines soluble a connu des augmentations de 33 et 43% chez Mongal au niveau des deux concentrations salines (85 et 130 mM). En revanche, des réductions significatives de 25 et 138% sont notées chez Campbell 33 (Figure 3).

Effet du NaCl sur la teneur en sucres solubles

Les résultats présentés sur la Figure 4 relatifs à l'évolution de la teneur en sucres solubles foliaires chez les plantules des deux variétés étudiées, mettent en évidence une réponse similaire des plantules des deux variétés étudiées. Ces dernières ont confronté le stress par une accumulation de sucres solubles dans leurs feuilles. En effet, la teneur en sucres solubles est passée de 0,4 mg.g⁻¹ chez le témoin à plus de 1,86 mg.g⁻¹ chez les plantules de la variété Campbell 33 exposées à la concentration maximale (130 mM) enregistrant ainsi une augmentation hautement significative de plus de 365%. Tandis que cette augmentation est moins importante chez la variété Mongal car elle est passée de 0,65 mg.g⁻¹ chez le témoin à plus de 1,17 mg.g⁻¹ à 130 mM, opérant une augmentation de 80%.

Effet du NaCl sur la teneur en proline

Les résultats illustrés sur la Figure 5 montrent que le stress salin est à l'origine de l'accumulation de la proline foliaire chez les deux variétés étudiées. En effet, chez la variété Campbell 33, la teneur en proline est passée de 0,31 chez le témoin à plus de 2,22 µmole.g⁻¹ de matière fraîche à la concentration extrême de NaCl, 130 mM, enregistrant ainsi une augmentation de 597%. En revanche, chez la variété Mongal, la teneur en proline dans les feuilles a légèrement augmenté avec l'augmentation de la concentration en saline. Cette teneur est passée de 0,89% chez le témoin à plus de

2,23 $\mu\text{mole. g}^{-1}$ de matière fraîche chez les plantes exposées à 130 mM de NaCl marquant une augmentation de 40%.

Capacité de survie

D'après la Figure 6, le taux de survie des plantules des deux variétés diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration du NaCl. Dans ce cas, on note que le taux de mortalité des plantes devient significatif chez la variété Mongal à partir de

la concentration 50 mM où il a atteint plus de 40 % par rapport au témoin, tandis que la même concentration saline a provoqué un taux de mortalité moins important chez Campbell 33 enregistrant ainsi 20%. Cependant, les deux concentrations les plus élevées (85 et 130 mM) ont pu discriminer nettement le degré de sensibilité des deux variétés. Dans ce cas, on note des taux de mortalité respectifs de 60 et 80% chez Mongal, contre 45 et 70% chez Campbell 33.

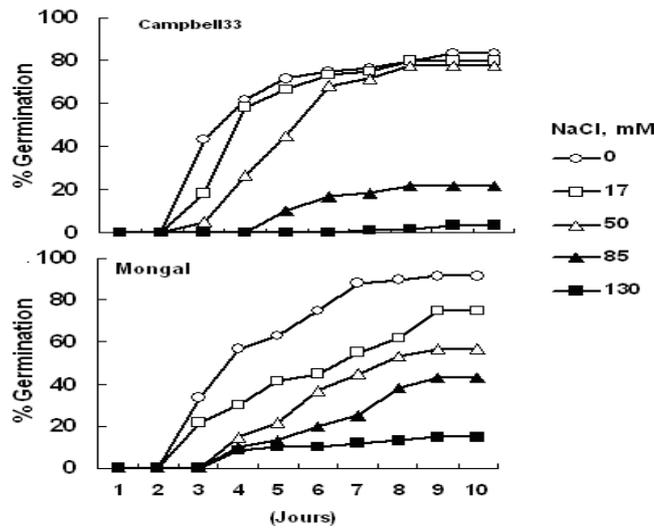


Figure 1: Effet de NaCl sur la germination des graines des deux variétés Mongal et Campbell 33

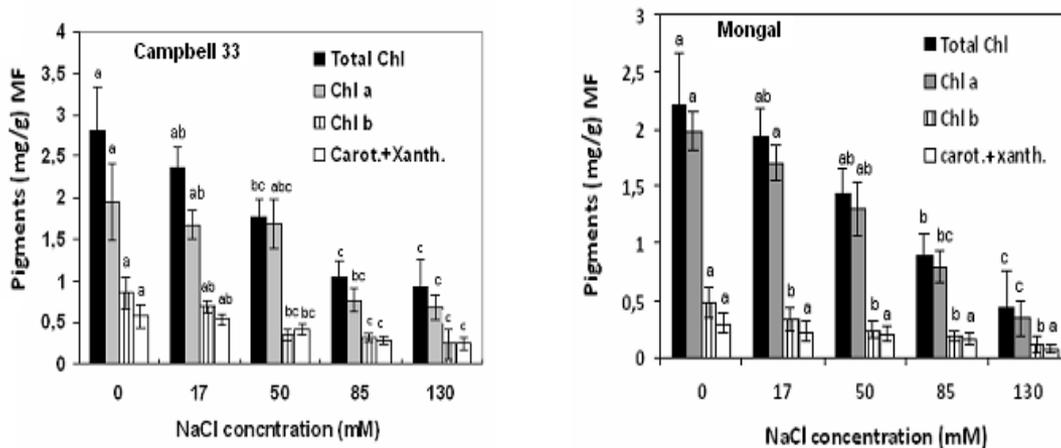


Figure 2: Variation de la teneur en pigments photosynthétiques en fonction de l'intensité de la salinité chez les plantules des deux variétés de tomate ; Campbell 33 et Mongal. Les histogrammes de la même variété, suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents au seuil de 5% d'après le test de Fisher(LSD). Chaque valeur représente une moyenne de 3 répétitions \pm l'écart.

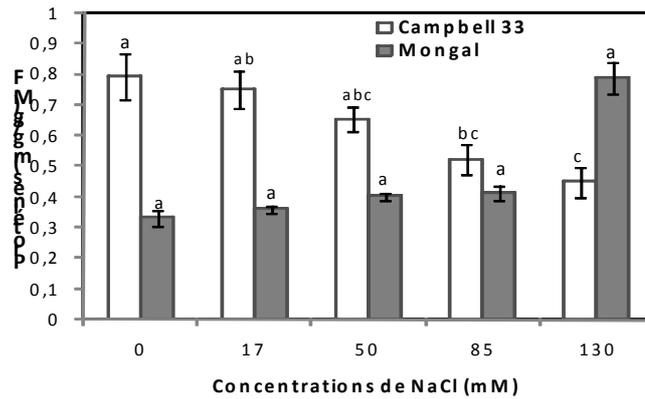


Figure 3: Variation de la teneur en protéines en fonction de l'intensité de la salinité chez les plantules des deux variétés de tomate ; Campbell 33 et Mongal. Les histogrammes de la même variété, suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Fisher(LSD). Chaque valeur représente une moyenne de 3 échantillons \pm l'écart.

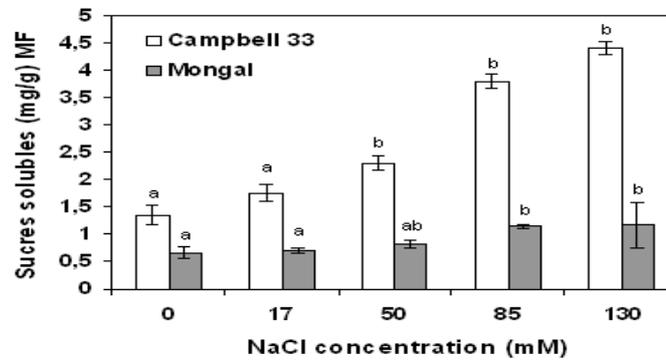


Figure 4: Variation de la teneur en sucres solubles en fonction de l'intensité de la salinité chez les plantules des deux variétés de tomate ; Campbell 33 et Mongal. Les histogrammes de la même variété, suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Fisher (LSD). Chaque valeur représente une moyenne de 3 échantillons \pm l'écart.

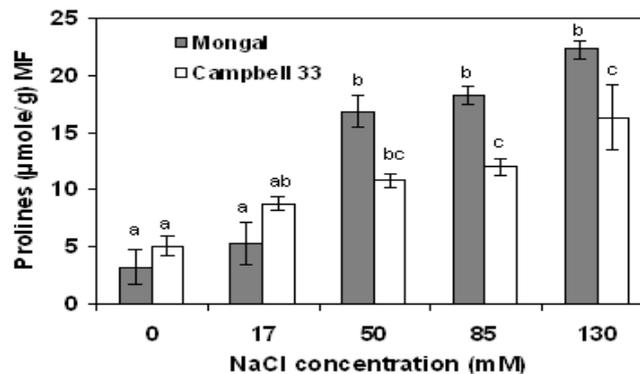


Figure 5: Variation de la teneur en proline en fonction de l'intensité de la salinité chez les plantules des deux variétés de tomate ; Campbell 33 et Mongal. Les histogrammes de la même variété, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Fisher(LSD). Chaque valeur représente une moyenne de 3 échantillons \pm l'écart.

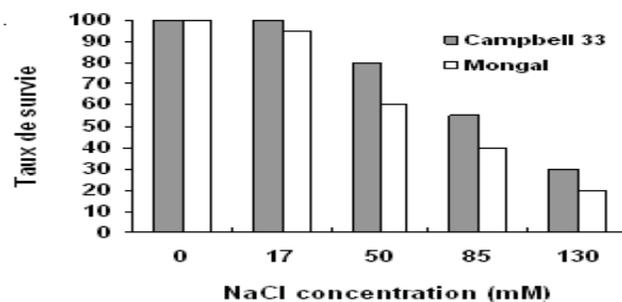


Figure 6: Effet du NaCl sur le taux de survie des plantules des deux variétés Campbell 33 et Mongal.

Tableau 1 : Effet du NaCl sur des paramètres de croissance des deux variétés Campbell 33 et Mongal.

NaCl (mM)	PST (mg)	PSA (mg)	PSR (mg)	PA/PR	L.T (cm)	NF (cm)	LJF (cm)	LFA (cm)
Campbell 33								
0	273,8 ± 8,6 a	227,6 ± 7,1 a	46,1 ± 2,3 a	7,1 ± 0,4 a	12,4 ± 1,5 a	6 ± 0,9 a	7,4 ± 0,3 a	7,2 ± 0,2 a
17	228,1 ± 4,4 ab	193,6 ± 5,9 ab	34,5 ± 1,6 ab	6,5 ± 0,2 a	11,7 ± 0,7 a	5,3 ± 0,4 ab	6,8 ± 1,1 ab	6,9 ± 0,5 a
50	181,4 ± 7,8 bc	156,5 ± 6,5 bc	24,9 ± 1,2 b	6 ± 0,01 a	10,1 ± 0,9 ab	5 ± 0,5 b	6,6 ± 0,3 ab	6,3 ± 1,5 a
85	138,9 ± 5,6 cd	116,6 ± 2,4 cd	22,2 ± 1,5 b	5,2 ± 0,3 a	8,8 ± 1,3 b	4,5 ± 0,7 bc	6,5 ± 0,5 ab	6,1 ± 0,8 a
130	112,8 ± 6,8 c	94,2 ± 1,7 d	18,5 ± 2,8 b	5,2 ± 0,2 a	7,5 ± 1,6 b	4 ± 0,7 c	5,3 ± 0,4 b	3,9 ± 0,4 b
Mongal								
0	318,2 ± 8,45 a	266 ± 8,14 a	52 ± 4,23 a	5,9 ± 0,1 a	14,9 ± 1,34 a	7,61 ± 0,55 a	6,4 ± 0,96 a	6,4 ± 0,96 a
17	264,2 ± 6,85 ab	218 ± 5 ab	46,2 ± 4,2 ab	6,03 ± 0,3 a	13,78 ± 0,72 ab	7 ± 0,71 a	6,4 ± 0,55 a	6,06 ± 0,38 ab
50	202,4 ± 8,5 b	162 ± 5 b	40 ± 4,5 ab	6,41 ± 0,02 a	12,3 ± 0,84 b	5,4 ± 0,55 b	5,8 ± 0,76 a	5,5 ± 0,65 b
85	102,5 ± 6,4 c	88 ± 1 c	14 ± 4,08 b	6,9 ± 0,06 a	10 ± 1,25 c	4 ± 0,15 c	4,4 ± 0,65 b	4,2 ± 0,42 c
130	92,6 ± 3,4 c	80 ± 4 c	12 ± 2,12 b	7,3 ± 0,2 a	9,8 ± 1,17 c	3,6 ± 0,2 c	4,2 ± 0,82 b	3,8 ± 1,04 c

Les valeurs de la même variété suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% d'après le test de Fisher (LSD). Chaque valeur représente une moyenne de 6 échantillons ± l'écart. PST : poids de la matière sèche totale, PSA : poids de la matière sèche aérienne, PSR : Poids de la matière sèche des racines, PA/PR : rapport partie aérienne/ racines, L.T : Longueur des tiges, NF : Nombre de feuilles, LJF : Longueur de jeunes feuilles, LFA : Longueur de feuilles âgées.

DISCUSSION

A l'issue de cette étude, nous avons constaté que la salinité dans la limite des concentrations examinées, a significativement réduit la capacité germinative des graines de la variété Mongal dès la première concentration de 17 mM. Cependant, chez Campbell 33, le pourcentage de germination n'a été affecté par le sel qu'à partir de la concentration de 85 mM où on a enregistré une réduction de plus de 74 % contre 52% chez Mongal à la même concentration. Lorsque le stress salin est sévère (130 mM), la diminution du pourcentage de germination est plus prononcée chez Campbell 33 où le sel a induit une réduction de 96% contre 83% chez Mongal.

La diminution du pourcentage de germination est due soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines, ou à une accumulation des ions Na^+ et Cl^- au niveau de cellules de l'embryon.

Cette diminution a été rapportée par plusieurs auteurs comme Passam et Kakouriotis (1994), dans leurs travaux sur le concombre ; Cuartero (1999), Amini et Ehsanpour (2005), avaient signalé que des concentrations salines croissantes dans le milieu, induisent sensiblement des réductions du pourcentage de germination mais également, elles ralentissent la vitesse de germination de quelques cultivars de tomate exposés à la contrainte saline. Ces résultats montrent d'une part, que les deux variétés sont sensibles à la salinité au stade germination et d'autre part, ils révèlent que Mongal est plus sensible à la salinité par rapport à Campbell 33.

Au niveau des paramètres de croissance, la réponse des plantules des deux variétés est variable d'un paramètre à l'autre. En effet, si le nombre de feuilles, la longueur de jeunes feuilles, la matière sèche de la partie aérienne, celle des racines et celle

de la plante entière sont plus touchés par la salinité chez Mongal, la longueur des tiges, celle des feuilles âgées sont par contre, plus affectées par la salinité chez Campbell 33. Selon Ben Ahmed et al. (2008), l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la production de matière sèche des différents organes de la plante. Elle se manifeste également par la réduction de la hauteur des plantes (Singh et Prasad, 2009). La réduction de la croissance des plantules des deux variétés est attribuée à une combinaison de l'effet osmotique et l'effet spécifique des ions Na^+ et Cl^- (Turan et al., 2007; Taffouo et al., 2010).

A l'instar des paramètres de croissance, la réponse des plantules des deux variétés au stress salin est très variable. Ceci s'observe d'abord au niveau des pigments photosynthétiques qui ont subi sensiblement des réductions de leur teneur dans les feuilles des plantules des deux variétés. Selon El Iklil et al. (2002), la réduction de la chlorophylle a peut être liée à la sensibilité de l'une des étapes de sa biosynthèse au chlorure de sodium.

Levitt (1980), attribue la dégradation de chlorophylles foliaires sous l'effet du stress salin, à la destruction des pigments chlorophylliens et à l'instabilité du complexe pigmentaire protéique perturbé par l'excès des ions Na^+ et Cl^- .

L'évolution de la teneur en protéines chez les deux variétés a également connue une réponse variable au sein des plantules des deux variétés, si Campbell 33 affiche une réduction significative en fonction de l'intensité du stress, on assiste cependant à une légère augmentation des protéines chez Mongal. La réduction de la teneur en protéines solubles sous l'effet du stress salin est signalée par plusieurs auteurs parmi lesquels André et Dias (2004), dans leurs travaux sur le sorgho ; Khosravinejad et al. (2009), dans leurs travaux sur deux variétés d'ogre (Afzal et EMB2-12); Amini et

Ehsanpour (2007), dans leurs travaux sur la variété de tomate (Shirazy). Ces auteurs rapportent que la salinité induit la diminution de certaines protéines solubles et que cette variation de la teneur en protéines ne confère pas forcément à la plante une tolérance au stress salin.

En ce qui concerne les sucres solubles, les deux variétés ont confronté le stress salin par une forte accumulation de sucres solubles foliaire. Cette accumulation plus forte chez Campbell 33, la confère une relative performance par rapport à Mongal car plusieurs auteurs comme Ashraf et Tuffail (1995), avaient montré que les sucres solubles s'accumulent chez des variétés de tournesol qui diffèrent selon leur degré de tolérance à la salinité, mais également ils ont constaté que les variétés tolérantes accumulent des proportions plus importantes de sucres que celles des variétés sensibles.

La proline, de teneur habituellement faible dans les tissus des plantes cultivées sur milieu dépourvu de sel et donc peu contraignant sur le plan hydrique, se trouve accumulée de façon spectaculaire en réponse au stress salin. Plusieurs auteurs dont Hernandez et al. (2000) ; Khedr et al. (2003) ; Claussen (2005) et Debnath et al. (2008), avaient mentionné que cet acide aminé fait partie des osmotocums que les plantes synthétisent une fois exposées au stress hydrique ou salin. Son rôle est nécessaire pour l'ajustement osmotique pour équilibrer le potentiel osmotique du sol conformément à ce qui a été démontré par d'autres travaux dont ceux de Gadallah (1999) et de Demir (2000). Par contre une forte accumulation de cet acide aminé est un signe de perturbation métabolique (Cheikh M'hamed et al., 2008).

Dans cette étude, les deux variétés ont accumulé des quantités importantes de proline dans leurs feuilles pour faire face à la contrainte saline, mais Mongal a accumulé

des quantités de proline plus importantes que celles accumulées par Campbell 33.

A la lumière de ces résultats, on peut admettre que les deux variétés sont tolérantes à des concentrations de NaCl inférieures ou égale à 50 mM avec une différence variétale très évidente au profit de la variété Campbell 33 et au dépend de la variété Mongal. En outre, au delà de 50 mM, les deux variétés s'avèrent très sensibles à la salinité dans ce stade de croissance, dans ces conditions de culture. Aussi, ce test de sélection rapide et efficace peut être adopté pour le criblage de variétés en fonction de leur sensibilité et/ou tolérance vis-à-vis de la salinité afin de parvenir à sélectionner des variétés de tomate plus tolérantes à des proportions de sels présentes et dans les sols et dans les eaux d'irrigation, en vue de l'amélioration de la productivité de cette espèce dans les zones où elle est cultivée à grande envergure.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier le service de semences sélectionnées au sein du CNRADA (Centre National de Recherche Agronomique pour le Développement Agricole de Nouakchott) pour leur aimable coopération, nous tenons également à remercier l'Agence Marocaine de la coopération internationale pour la bourse octroyée au doctorant.

REFERENCES

- Ashraf M, Tufail M. 1995. Variation in salinity tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Agron. Soil Sci.*, **174**: 351- 362.
- Amini F, Ehsanpour AA. 2005. Soluble Proteins, Proline, Carbohydrates and Na⁺/K⁺ Changes in Two Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivars under *in vitro* Salt Stress. *Am. J. Biochem Biotech.*, **1**(4): 212-216.
- Amini F, Ehsanpour AA, Hoang QT, Shin JS. 2007. Protein Pattern Changes in

- Tomato under *In Vitro* Salt Stress. *Russ. J. Plant Phys.*, **54**(4): 464-471.
- Ben Ahmed H, Arafet M, Zid E. 2008. Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.). *C.R. Biologies*, **331**:164-170.
- Cheikh M'hamed H, Abdellaoui R, Kadri KM, Ben Naceur, Bel hadj S. 2008. Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare* L.) cultivées en Tunisie: Approche physiologique. *Sci. Tech.*, **28**: 30-37.
- Chen Z, Newman I, Zhou M, Mendham N, Zhang G, Shabala S. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K^+ flux: a case study for barley. *Plant Cell Env.*, **28**: 1230-1246.
- Cuartero J, Fernandez-Munoz R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia. Hort.*, **78**: 83-125.
- Claussen W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plant. *Plant Sci.*, **168**: 241-248.
- Debnath M. 2008. Responses of *Bacopa monnieri* to salinity and drought stress *in vitro*. *J. Med. Plant. Res.*, **2**(11): 347-351.
- Demir Y. 2000. Growth and proline content of germinating wheat genotypes under ultraviolet light. *Turk. J. Bot.*, **24**: 67-70.
- FAO (Food and Agricultural Organization). 2008. Land and plant nutrition management service. Available online at: <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>
- El Iklil Y, Karrou M, Mrabet R, Benichou M. 2002. Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*. *Can. J. Plant Sci.*, **82**: 177-183.
- Gadallah MA. 1999. Effects of proline and glycine betaine on *Vicia fabae* responses to salt stress. *Biol. Plant*, **42**: 249-257.
- Goudarzi M, Pakniyat H. 2008. Evaluation of wheat cultivars under salinity stress based on some agronomic and physiological traits. *J. Agri. Soc. Sci.*, **4**(2): 81-84.
- Jemal F, Tray B, Ghorbal MH. 2005. Synthèse et dégradation dans les racines de piment traité par le cadmium. Proceeding of Euro-Mahgrebin symposium on biological, chemical contaminants and safety in Food. Fez, Morocco; 508-515.
- Khosravinejad F, Heydari R, Farboodnia T. 2009. Effect of salinity on organic solutes contents in barley. *Pak. J. Biol. Sci.*, **12**(2): 158-162.
- Kusvuran S, Yasar F, Ellialtioglu S, Abak K. 2007. Utilizing some of screening methods in order to determine of tolerance of salt stress in the melon (*Cucumis melo* L.). *Res. J. Agric. Biol. Sci.*, **3**(1): 40-45.
- Khedr AH, Abbas MA, Amal AW, Quick P, Gaber MA. 2003. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancratium maritimum* L. to salt-stress. *J. Exp. Bot.*, **54**(392): 2553-2562.
- Levit J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses* (Vol. II). Academic Press: New York.
- Manaa A, Ben Ahmed H, Valot B, Bouchet JP, Aschi-Smiti S, Causse M, Faurobert M. 2011 Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. *J. Exp. Bot.*, **17**: 1-17.
- Munns R, Tester M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, **59**: 651-81.
- Passam HC, Kakouriotis D. 1994. The effects of osmoconditioning on the germination emergence and early plant

- growth of cucumber under saline conditions. *Sci. Hort.*, **57**: 233-240.
- Shabala S , Shabala L, Volkenburgh E, Newman I. 2005. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J. Exp. Bot.*, **56**(415): 1369-1378.
- Singh A, Prasad R. 2009. Salt stress growth and cell bound enzymes in *Archis hypogea* L. seedling. *I.J.I.B.*, **7**(2): 107-123.
- Taffouo VD, Wamba FO, Youmbi E, Nono G, Amougou A. 2010. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.) landraces grown under saline conditions. *Int. J. Bot.*, **6**(1): 53-58.
- Turan MA, Turkmen N, Taban N. 2007. Effect of NaCl on stomatal resistance and proline, chlorophyll, Na, Cl and K concentrations of lentil plants. *J. Agron.*, **6**(2): 378-381.
- Turhan A, Seniz V, Kusçu H.2009. Genotypic variation in the response of tomato to salinity. *Afr. J. Biotechnol.*, **8**(6): 1062-1068.
- Zadeh HM, Naeni M. 2007. Effects of salinity stress on the morphology and yield of two cultivars of canola (*Brassica napus* L.). *J. Agron.*, **6**: 409-414.