

EFFETS DE LA SALINITÉ PAR $MgCl_2$ ET $MgSO_4$ SUR DEUX VARIÉTÉS DE TOMATE

ABBAD Mohamed^{*1}, GHANEM BOUGHANMI Néziha² et SNOUSSI Sid-Ahmed¹

1. Université de Blida1. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie. Département de Biotechnologies. Laboratoire en Biotechnologie des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaâ, Blida 09000, Algérie.
2. Université de Carthage. Faculté des Sciences de Bizerte., Tunisie

Reçu le 21/05/2017, Révisé le 15/06/2017, Accepté et mis en ligne le 30/06/2017

Résumé

Description du sujet: En Algérie, la majorité des eaux d'irrigation utilisées dans les régions semi-arides et arides est d'origine souterraine est fréquemment riches en sels avec une salinité qui dépasse généralement 3g/L.

Objectifs: Ce travail a porté sur l'étude comparative de deux variétés de tomate (Marmande et Saint-Pierre) cultivées en hors sol.

Méthodes: Ces cultivars ont été irrigués avec deux solutions salines enrichies de magnésium apporté sous forme $MgSO_4$ ou $MgCl_2$ avec le même nombre d'équivalent gramme par litre trouvé dans l'eau de la source de Gassi Touil ($7,25\text{meq.L}^{-1}$) durant 20, 65 et 110 jours.

Résultats: Nos résultats ont montré que les deux sels exercent un effet dépressif sur la croissance avec une dépression de 13,71% pour la variété Saint-Pierre en présence de $MgSO_4$ et 16,48% pour la variété Marmande à 20 et 110 jours respectivement. Toutefois les deux variétés ont pu maintenir une alimentation hydrique adéquate par un ajustement osmotique partiellement réalisé par l'accumulation de la proline. Des niveaux significativement remarquables ont été accumulés en présence de $MgSO_4$ à 65 jours pour la Marmande (315%) face à 36,11% pour la Saint-Pierre. En outre, la présence de $MgCl_2$ a révélé des accroissements de cet osmoregulateur de 315,78% à 65 jours et 210,52% à 110 jours respectivement pour la Marmande.

Conclusion: La sensibilité de la variété Saint-Pierre est plus précoce au $MgSO_4$ que la variété Marmande pour les paramètres de croissance traités. Par contre, la réaction physiologique de la Marmande est plus remarquable en présence de $MgSO_4$ que celle de la $MgCl_2$.

Mots clés: salinité, tomate, Marmande, Saint-Pierre, $MgSO_4$, $MgCl_2$, croissance, proline

EFFECTS OF SALINITY BY $MgCl_2$ AND $MgSO_4$ OVER TWO VARIETIES OF TOMATO

Abstract

Description of the subject: In Algeria, most of the water irrigation used in semi-arid and arid regions is of underground origin and is frequently rich in salts with a salinity which generally exceeds 3 g / L.

Objectives: This work deals with the comparative study of two varieties of tomato (Marmande and Saint-Pierre) grown in soil under semi-controlled conditions

Methods: These cultivars were irrigated with two magnesium-enriched saline solutions supplied in the form of $MgSO_4$ or $MgCl_2$ with the same number of gram equivalents per liter found in the water of the Gassi Touil source (7.25meq.L^{-1}) for 20, 65 and 110 days.

Results: Our results showed that both salts exert a depressive effect on growth with a depression of 13.71% for Saint-Pierre in the presence of $MgSO_4$ and 16.48% for the Marmande at 20 and 110 days respectively. However, the two varieties were able to maintain adequate water supply by an osmotic adjustment partially achieved by the accumulation of proline. Significant levels were accumulated in the presence of $MgSO_4$ at 65 days for Marmande (315%) compared to 36.11% for Saint-Pierre. In addition, the presence of $MgCl_2$ revealed increases of this osmoregulator from 315.78% to 65 days and 210.52% to 110 days respectively for the Marmande.

Conclusion: Our study showed that the sensitivity of the Saint-Pierre is earlier than $MgSO_4$ than the Marmande for the treated growth parameters. On the other hand, the physiological reaction of Marmande is more remarkable in the presence of $MgSO_4$ than that of $MgCl_2$.

Keywords: salinity, Marmande, Saint Pierre, $MgSO_4$, $MgCl_2$, Growth, proline

*Auteur correspondant: Université de Blida1, Laboratoire de recherche en Biotechnologies des Productions Végétales, B.P. 270, route de Soumaâ, Blida 09000, Algérie., E-mail: abbadmohammedd@gmail.com.

INTRODUCTION

La Tomate (*Solanum Lycopersicum*) est l'une des cultures les plus importantes et les plus répandues en Algérie avec une production de 1,06 million de tonnes par hectare [1]. Elle est cultivée dans de nombreuses régions et sous différents climats, y compris les régions arides et semi-arides. Ces dernières présentent une forte salinité des sols et des eaux qui sont une menace croissante, affectant à la fois le rendement et la qualité de la tomate [2]. Dans le monde entier, il y a 831 millions d'hectares de sols souffrant de salinité [3]. Il est bien connu que les effets destructeurs du sel neutre proviennent principalement du déficit hydrique dû au stress osmotique et aux effets spécifiques des ions causés par l'absorption excessive des ions [4]. L'augmentation de la salinité de l'eau d'irrigation diminue la productivité des cultures en réduisant la croissance des feuilles et en induisant la sénescence des feuilles, limitant ainsi la capacité photosynthétique et la possibilité de générer une croissance de la biomasse récoltable, mais elles impliquent également différents mécanismes physiologiques et moléculaires [5]. Néanmoins, cette réponse fournit un mécanisme de défense contre le stress [6 et 7]. À ce jour, il existe un grand nombre de rapports liés au mécanisme de physiologie de la tolérance. Cependant, ce n'est que récemment que le mécanisme physiologique de la tolérance végétale au stress salin était concerné.

Bien que le NaCl soit le sel le plus commun dans les sols salins, Na₂SO₄ et le MgSO₄ peuvent également être trouvés à des concentrations élevées dans ces sols [8]. En outre, le MgCl₂ s'accumule dans des sols extrêmement salés, où Na⁺ est échangé contre Mg²⁺. Aucune étude n'a examiné les effets spécifiques des sels autres que le NaCl sur la croissance et la physiologie de la tomate, et l'étude de la réponse spécifique de ces sels pourrait s'avérer intéressante.

Dans cet article, l'effet spécifique des différents sels de magnésium sous forme de MgSO₄ et MgCl₂ ont été appliquée sur quelques paramètres morphologiques (la hauteur et la biomasse sèche) ainsi des paramètres physiologique comme la teneur des feuilles en chlorophylle et en proline.

Notre objectif était de tester les différences entre les génotypes étudiés (Marmande et Saint-Pierre) dans la tolérance à ces deux sels et leur relation avec la photosynthèse, les paramètres de croissance. La diversité de la réponse physiologique, traduit par la teneur en proline, devrait être envisagée lors de la planification de stratégies pour améliorer la tolérance au stress salin.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal et conditions de croissance

L'expérience a été menée en condition semi contrôlée dans la serre en polycarbonate du département de Biotechnologies de l'Université de Blida1, (36°30'34.3"N 2°52'32.7"E), Algérie durant l'année 2011-2012. Deux cultivar de tomate ; Marmande et Saint-Pierre; a été mis en germination dans une chambre de culture à 25°C et ensemencées dans des boîtes de Pétri (Optilux 10*2 cm). Après la germination, les semis ont été sélectionnés et transplantés sur un dispositif hydroponique semi fermé dans des pots en plastique (16,5 cm de diamètre intérieur, 18 cm de hauteur, avec des trous en bas, un Semis par pot), rempli de 3 kg du substrat stérilisé (gravier de rivière) de 0,3 à 0,8 mm de diamètre. Tous les pots ont été irrigués avec 50 ml une solution nutritive [9]: (NO₃⁻10,20 meq/L; SO₄⁻²1,50 meq/L; PO₄³⁻3,30 meq/L; Cl⁻ 0.60 meq/L; Na⁺ 1,30 meq/L; K⁺ 4.25 meq/L; Ca⁺²5.10 meq/L; Mg⁺²1.80 meq/L; NH₄⁺ 1,80 meq/L, pH 5,6, CE 2.11 mS cm⁻¹) trois fois par jour et maintenu à 75% de capacité de champ du substrat de croissance pour garder les plantes bien arrosées.

2. Essais de stress salin

Après 15 jours d'irrigation par la solution nutritive, les traitements ont commencé. L'expérience comprenait trois traitements: (i) le contrôle, les plants de tomates cultivés avec une seule solution nutritive; (ii) solution d'irrigation saline contenant du MgSO₄; (iii) solution d'irrigation saline contenant du MgCl₂ (Tableau 1). Les deux solutions salines fournies pendant le cycle de culture ont été préparées en ajoutant à l'eau du magnésium fourni séparément sous forme de MgSO₄ et MgCl₂ avec le même nombre d'équivalent de gramme par litre qu'on trouve dans l'eau souterraine de Gassi Touil (7,25meq.L⁻¹).

Tableau 1: La composition de l'eau provenant de la source de Gassi Touil et les deux solutions salines testées (exprimée en meq.L⁻¹).

	pH	CE	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	NH ₄ ⁺
Eau de la source	7,80	2,94	0,35	0,00	16,75	29,95	30,45	5,10	7,25	4,25	0,00
Eau de Blida + MgSO ₄	5,66	2,13	10,20	3,30	0,60	5,45	1,30	5,10	7,25	4,25	1,80
Eau de Blida + MgCl ₂	5,79	2,43	10,20	3,30	5,45	1,50	1,30	5,10	7,25	4,25	1,80

3. Analyse de la croissance et de la morphologie

Ce test a été réalisé après 20 ; 65 et 110 jours d'expérience pour mettre en évidence l'effet de la durée de stress par le sel testé sur ces paramètres. Toutes les semis ont été récoltés et séparés en feuille, tiges et racines pour des analyses de croissance et de morphologie. La biomasse sèche a été mesurée après séchage des feuilles, tiges et des racines à 70°C pendant 4 jours. La hauteur des semis a été définie comme la hauteur de la plante depuis les feuilles cotylédonaire jusqu'à la pointe le plus élevé d'apex.

4. Concentration de pigments chlorophyllienne dans les feuilles

Environ 0,1 g d'échantillon de feuilles fraîchement coupées et bien mélangées prélevé sur des feuilles complètement développées à la même position dans chaque traitement, a été extrait avec 10 ml d'acétone à 95%. Le pigment a été extrait dans l'obscurité puis mis à 4°C pendant 48 h. L'absorbance a été mesurée avec un spectrophotomètre Shimadzu UV-2550 à 664 et 649 nm. Les teneurs en chlorophylle a (Chl a) et en chlorophylle b (Chl b) ont été calculées en utilisant les formules suivantes [10]. Les résultats sont exprimés en mg.g⁻¹ du poids frais (MF).

$$C a (mg.g^{-1}) = 13,36A_{664} - 5,19A_{649}$$

$$C b (mg.g^{-1}) = 27,43A_{649} - 5,10A_{664}$$

Où, C a et C b, étaient les concentrations de Chl a et Chl b, respectivement. A₆₆₄ et A₆₄₉ étaient les absorbances de la solution d'extrait de pigment au 664 et 649 nm de longueur d'onde, respectivement

5. Déterminations de la proline

La proline a été extraite et analysée selon les méthodes décrites par Troll et Lindsley [11], simplifiées et développées par Dreier et Göring [12]

et modifiées par Monneveux et Nemmar [13]. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique à une longueur d'onde de 528 nm. La proline couple avec la ninhydrine formant un complexe coloré. La détermination du contenu de la proline s'effectue selon la formule Proline (µg / g MF) = DO₅₂₈ x 0.62

6. Analyses statistiques

L'expérience a été mise en place selon une conception entièrement randomisée avec trois répétitions par traitement. Les valeurs présentées sont des moyennes de trois répétitions ± un écart-type. Les données étaient analysées par ANOVA à un sens et les moyens séparés par le test Newman et Keuls au niveau significatif de 95%.

RÉSULTATS

1. Effet de Mg²⁺ sur la hauteur des plantes et la biomasse sèche sous la toxicité du sulfate ou du chlorure

1.1. Effet sur la croissance en longueur

Par rapport aux plants témoins, l'exposition des plantes de la variété Saint-Pierre dans un milieu de croissance contenant 7,25 meq.L⁻¹ du MgSO₄ pendant 20 et 65 jours a considérablement diminué la hauteur des tiges de 13,71% et 4,72% respectivement (Fig. 1). En revanche, les plantes de la variété Marmande traitées par MgSO₄ n'a eu aucun effet dépressif sur sa longueur. Cependant, il n'y avait pas d'importantes différences dans la hauteur de plante de semis au contrôle que celle traitées avec ce sel (des hausses de 0,79 et 3,27% respectivement pendant 20 et 65 jours). Il est à noter que pendant 110 jours de stress avec le MgSO₄,

les plantes de la variété Saint-Pierre ont présentait une augmentation non significatif de la hauteur (4,34%), contrairement à la variété Marmande, un effet dépressif significativement remarquable a été révélé pendant cette durée de stress (16,48% par rapport au témoin).

L'exposition de la variété Saint-Pierre au $MgCl_2$ à exercer un effet dépressif significativement remarquable pendant 20 jours de stress (36,47% par rapport au témoin). En revanche, cette réduction était négligeable pour la variété Marmande (6.40%) durant la même période.

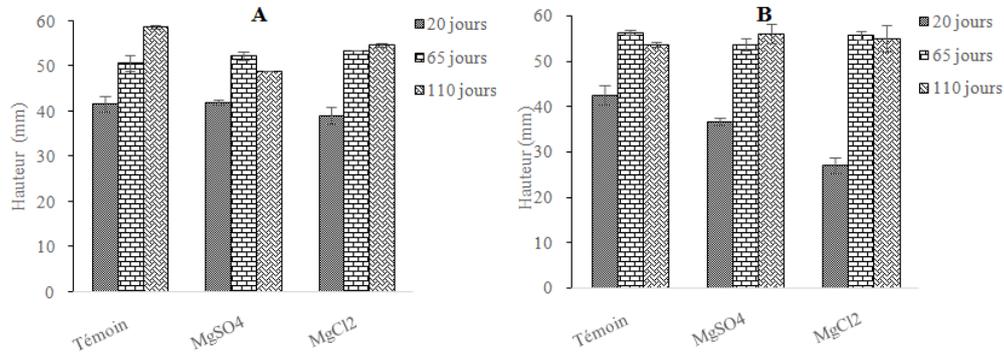


Figure 1 : Variation de la hauteur finale des tiges (cm) des deux cultivars de tomate testés [Marmande (A) et Saint-Pierre (B)] durant 20, 65 et 110 jours de stress par $MgSO_4$ et $MgCl_2$ comparé par un témoin. La concentration de Mg^{+2} est de 7,25 meq. L^{-1} . Les données représentent des valeurs moyennes \pm Ecart- type (N = 3).

1.2. Effet sur la biomasse sèche totale produite

Par rapport au témoin, un effet dépressif significativement remarquable a été révélé en présence du $MgSO_4$ et $MgCl_2$ (38,70 et 69,44%) respectivement pendant 20 jours de stress pour la Saint-Pierre. En revanche cet effet été non significatif pour la variété Marmande en présence de ces deux sels dans la solution d'irrigation durant le même période (Fig. 2).

Durant 65 et 110 jours sous toxicité de $MgSO_4$ ou $MgCl_2$, la variété Marmande n'a présentait aucun effet significatif de la biomasse sèche produite par rapport au témoin. En revanche, un effet dépressif significativement remarquable a été révélé pour la variété Saint-Pierre en présence du $MgCl_2$ que du $MgSO_4$ (22,43 et 13,25%) respectivement durant 110 jours (Fig. 2).

Il est à noter que pendant 65 jours et en présence du $MgSO_4$ dans le milieu de culture, un effet dépressif significativement remarquable a été révélé pour la variété Saint-Pierre (43,98%).

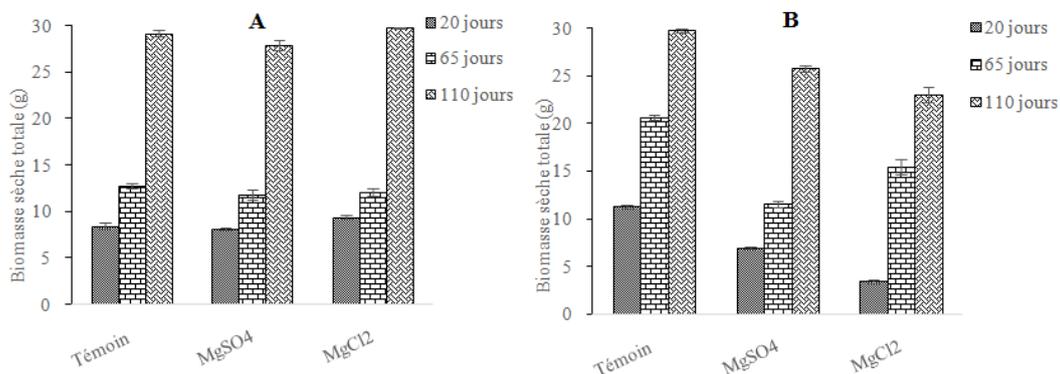


Figure 2 : Variation de la biomasse sèche totale (g) des deux cultivars de tomate testés [Marmande (A) et Saint-Pierre (B)] durant 20, 65 et 110 jours de stress par $MgSO_4$ et $MgCl_2$ comparé par un témoin. La concentration de Mg^{+2} est de 7,25 meq. L^{-1} . Les données représentent des valeurs moyennes \pm Ecart- type (N = 3).

2. Effet de Mg^{2+} sur la teneur en chlorophylle et en proline sous la toxicité du sulfate ou du chlorure

2.1. Effet sur le contenu de feuille du pigment chlorophyllien

Des variations dans les niveaux de pigments photosynthétiques, y compris la chlorophylle a (Chl a) et la chlorophylle b (Chl b), ont été évaluées dans des plants de tomate

sous toxicité au magnésium fournis sous forme de $MgSO_4$ ou de $MgCl_2$ (Fig. 3). Dans les feuilles de plantes de la Marmande exposées au $MgSO_4$, une différence significative dans les concentrations de chlorophylle (a) a été trouvée entre ce traitement et le témoin pendant 65 jours. La dépression a été de 31,64 %, alors qu'elle était de 28,25% après 110 jours de stress pour la chlorophylle (b).

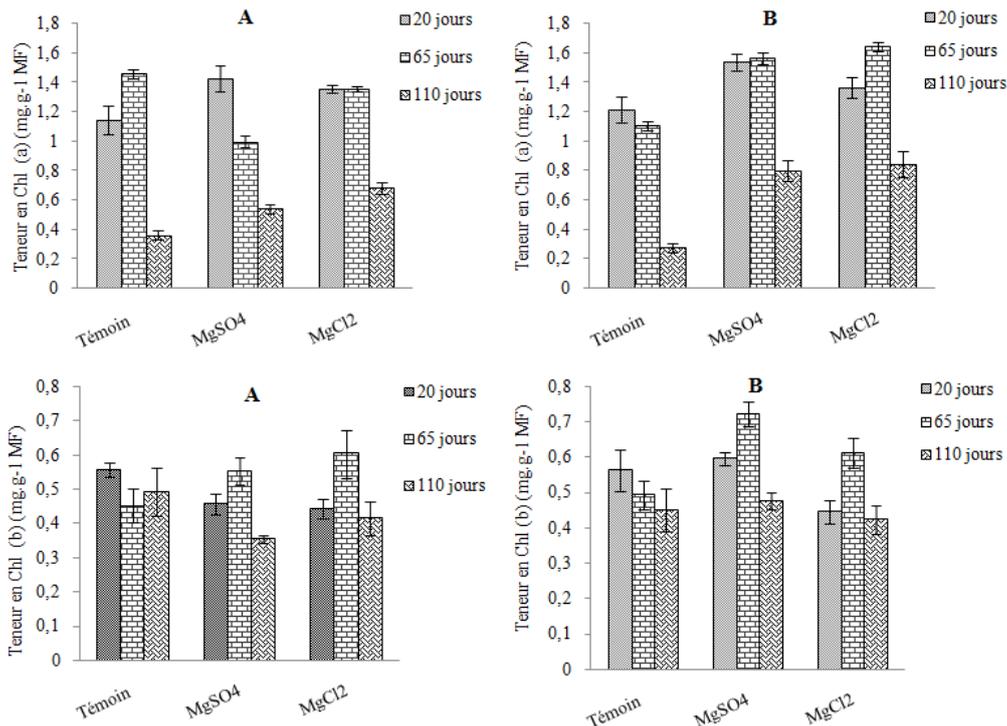


Figure 3 : Variation de la teneur des feuilles en chlorophylle (a) et (b) ($mg.g^{-1}$ MF) des deux cultivars de tomate testés

[Marmande (A) et Saint-Pierre (B)] durant 20, 65 et 110 jours de stress par $MgSO_4$ et $MgCl_2$ comparé par un témoin. La concentration de Mg^{+2} est de $7,25 meq. L^{-1}$. Les données représentent des valeurs moyennes \pm Ecart-type (N = 3).

En revanche, l'exposition de la variété Saint-Pierre au $MgSO_4$ ou $MgCl_2$ n'a aucun effet dépressif sur la concentration des feuilles en chlorophylle (a) par rapport au témoin. Ces solutions ont exercé une légère dépression qui reste non significatif sur la concentration des feuilles en chlorophylle (b) par rapport au témoin (5,09 et 6,20%).

2.2. Effet sur la teneur en proline

La figure 4 montre l'accumulation de la proline dans les tissus aérienne induite par Mg^{+2} sous toxicité des sulfates ou chlorures dans les plants de *S. lycopersicum* (feuille et

tige) comparé à un témoin. Le niveau de la proline était de $0,019$ et $0,036 \mu g.g^{-1}$ MF pour la variété Marmande et la variété Saint-Pierre respectivement. L'accumulation de la proline a augmenté de 36,84% à 315,78% en présence de $MgSO_4$ en 20 et 65 jours respectivement dans la Marmande par rapport au témoin. Cette augmentation était de 36,11% en présence de $MgSO_4$ après 65 jours d'exposition dans la variété Saint-Pierre.

Il est à noter qu'après 110 jours et en présence de $MgSO_4$, la teneur en proline a été significativement plus importante dans la Saint-Pierre (266,66%).

En présence de $MgCl_2$, la teneur de la proline était de 94,73% et 13,88 % pour la Marmande et la Saint-Pierre après 20 jours de traitement,

de 315,78 et 25% à 65 jours et de 210,52 et 116,66% à 110 jours.

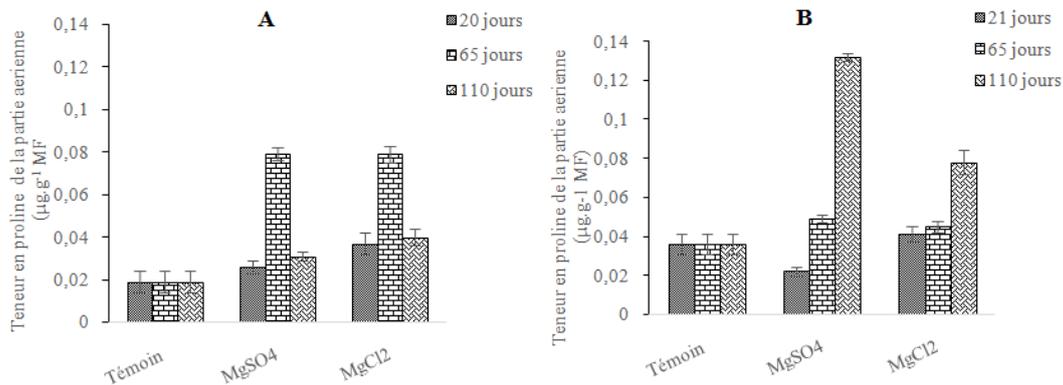


Figure 4 :Variation de la teneur en proline dans la partie aérienne (feuilles + tiges) ($\mu g \cdot g^{-1}$ MF) des deux cultivars de tomate testés

[Marmande (A) et Saint-Pierre (B)] durant 20, 65 et 110 jours de stress par $MgSO_4$ et $MgCl_2$ comparé par un témoin. La concentration de Mg^{+2} est de 7,25 meq. L^{-1} . Les données représentent des valeurs moyennes \pm Ecart- type (N = 3).

DISCUSSION

Dans cet article, l'effet spécifique de deux sels de magnésium ($MgSO_4$ et $MgCl_2$) sur quelques paramètres de morphologiques et physiologique a été étudié. Notre objectif était de tester les différences entre les génotypes étudiés dans la tolérance à divers sels communs dans les eaux salins et leur relation avec la hauteur, la biomasse sèche et la photosynthèse. La diversité de la réponse physiologique traduit par le dosage de la proline devrait être envisagée lors de la planification de stratégies visant à améliorer la tolérance au stress salin. La croissance des plants de la variété Saint-Pierre était plus faible en présence de $MgSO_4$ à 20 jours, alors que la croissance la plus faible des plantes de la variété Marmande a été trouvée après 110 jours avec des dépressions de 13,71 et 16,48 % respectivement (Fig. 1). Ceci indique que la toxicité du Mg^{+2} associée aux sulfates chez la variété Saint- Pierre est plus précoce que celle de la variété Marmande. Pendant ce temps, des symptômes toxiques visibles, tels que le jaunissement et la chlorose des feuilles anciennes, ont été observés précocement chez des plantes de Saint-Pierre exposées au $MgSO_4$

Nos résultats sont similaires à celle cités par Masmoudi *et al.* [14] ou ils ont montré que l'augmentation des doses en $MgSO_4$ a un effet négatif sur la culture d'orge qui se traduit par une réduction de la croissance de la partie

aérienne et racinaire et une chute de la production de la matière fraîche. Nebauer *et al.* [15] ont ajoutaient qu'en présence de 25-50 mM du $MgSO_4$, la variété Daniela de la tomate a affichée une réduction de la croissance par rapport au témoin. De plus, Guo *et al.* [16] ont montraient que la salinité inhibe généralement la croissance des plantes et mène à la mort.

La dépression de la teneur des feuilles de la Marmande en chlorophylle (a) était significativement remarquable à 65 jours en présence de $MgSO_4$, alors qu'elle est nettement remarquable qu'après 110 jours pour la chlorophylle (b) (Fig. 3). En revanche, l'exposition de la Saint-Pierre au $MgSO_4$ ou $MgCl_2$ n'a aucun effet dépressif sur la concentration des feuilles en chlorophylle (a) par rapport au témoin. Les résultats rejoignent ce qui a été trouvé par les travaux de Neuhaus *et al.* [17], où ils ont rappelaient que dans les feuilles fortifiées avec 50 ou 200 mM de $MgSO_4$ via une application foliaire, la concentration de Mg^{+2} plus élevée a permis une translocation accrue des sucres et en même temps qu'une destruction réduite de la chlorophylle.

En général, la dégradation de la chlorophylle sous déficit en Mg^{+2} est liée à l'accumulation de sucres et d'amidon dans les cellules de feuilles déficientes [18].

Cela entraîne une sur-réduction de la chaîne de transport d'électrons photosynthétiques, ce qui conduit à la formation d'espèces réactives d'oxygène et à la destruction de la chlorophylle [19]. De plus, Larbi *et al.* [20] et Jianget *al.* [21], ont montraient que la présence de $MgSO_4$ dans le milieu a entraîné une forte diminution du contenu en chlorophylle, la photosynthèse et donc une diminution de la biomasse.

Pour obtenir des informations sur les mécanismes physiologiques impliqués a un ajustement osmotique induit par le stress, nous avons également examiné les changements du contenu des parties aériennes en proline, qui est l'un des paramètres de stress le plus fiable. Des niveaux significativement remarquables ont été accumulés en présence de $MgSO_4$ à 65 jours pour la Marmande (315%) face à 36,11% pour la Saint-Pierre. En outre, la présence de $MgCl_2$ a révélé des accroissements de cet osmo-protecteur de 315,78% à 65 jours et 210,52% à 110 jours respectivement pour la Marmande (Fig. 4).

Il est suggéré que la proline soit l'osmolyte cellulaire le plus largement accumulé qui permette l'ajustement osmotique dans les plantes [22] et [23]. Cependant, le manque de corrélation entre le niveau de proline et la tolérance au sel dans certaines espèces a également conduit à la conclusion que cette accumulation n'est qu'un symptôme de blessure et n'améliore pas la tolérance [24].

CONCLUSION

Notre étude a révélé que la sensibilité des plants de tomate de la variété Saint-Pierre est plus précoce au $MgSO_4$ que la variété Marmande pour les paramètres morphologiques traités. En revanche, la réaction de la variété Marmande à travers la teneur des feuille en chlorophylle (a), (b) et la teneur en proline en présence de $MgSO_4$ est plus remarquable que celle exposé au $MgCl_2$. Ces deux variétés utilisent différentes stratégies pour lutter efficacement contre les conditions environnementales défavorables (la salinité, la sécheresse, les températures extrêmes, le stress des métaux lourds, etc.) qui reste inconnues ce qui nécessite des études approfondies pour le développement des cultures en zones semi-arides et arides

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Food and Agricultural Organization (FAO)** (2014). Land and plant nutrition management service. www.fao.org/wsfs/forum2050
- [2]. **Cuartero, J, Fernandez-Munoz, R (1999)**. Tomato and salinity, *Sci. Hortic.* 78 83e125
- [3]. **Gong B, Li X, Vandenlangenberg KM, Wen D, Sun SS, and Wei M (2014a)**. Overexpression of S-adenosyl-L-methionine synthetase increased tomato tolerance to alkalistress through polyamine metabolism. *Plant Biotechnol J*; 12: 694–708.
- [4]. **Zhang HX, Blumwald E (2001)**. Transgenic salt-tolerant tomato plants accumulate salt in foliage but not in fruit. *Nat biotechnol*; 19: 765–768.
- [5]. **Gong B, Zhang C, Li X, Wen D, Wang SS, Shi QH, Wang XF (2014b)**. Identification of NaCl and $NaHCO_3$ stress responsive proteins in tomato roots using iTRAQ-based analysis. *Biochem Bioph Res Co*; 446: 417–422.
- [6]. **Munns R (2002)**. Comparative physiology of salt and water stress, *Plant Cell Envir* 25 239e250
- [7]. **Yeo A.R, in: Yeo A.R, Flowers T.J (Eds.) (2007)**. Salinity, Plant solute transport, Oxford, pp. 340e365.
- [8]. **Flowers T.J, Troke P.F, Yeo A.R (1977)**. The mechanism of salt tolerance in halophytes, *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28, 89e121
- [9]. **Snoussi S.A (2001)**. Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées. Thèse doctorat, INA El-Harrach, Algérie. 152p
- [10]. **Lichtenthaler, H. K (1987)**. Chlorophylls and carotenoids-pigments of photosynthetic bio membranes. *Methods Enzymol.* 148, 350–382. doi: 10.1016/0076-687948036-1
- [11]. **Troll W. & Lindsley J (1955)**. A photometric method for the determination of proline. *J. Biochem.*, 215, 655-660.

- [12]. Dreier W. & Göring M (1974). Der Einfluss hoher Salzkonzentration auf verschiedene physiologische Parameters von Maiswurzeln. *Wiss. Z. Humboldt Univ. Berlin, Reihe/Math. Naturwiss.* 23, 641-644.
- [13]. Monneveux, P and Nemmar, M (1986). 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.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie*, EDP Sciences, 6 (6), pp.583-590.
- [14]. Masmoudi A, Hemeir A, Benaissa M (2014). Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). *Courrier du Savoir – N°18*, pp.95-101
- [15]. Nebauer S.G, Sánchez M, Martínez L, Lluch Y, Renau-Morata B, Molina R.V (2013). Differences in photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts. *Plant Physiology and Biochemistry* 63, 61e69
- [16]. Guo R, Shi L.X, Yan C, Zhong X, Gu F.X, Liu Q, Xia X and Li H (2017). Ionomic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*, 17:41 DOI 10.1186/s12870-017-0994-6
- [17]. Neuhaus C, Geilfus C.M, and Muhling K-H (2014). Increasing root and leaf growth and yield in Mg-deficient faba beans (*Vicia faba*) by MgSO₄ foliar fertilization. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 177, 741–747
- [18]. Hermans C, Verbruggen N (2005). Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *J. Exp. Bot.* 56, 2153–2161.
- [19]. Cakmak I, Kirkby E.A (2008). Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photo oxidative damage. *Physiol. Plant.* 133, 692–704.
- [20]. Larbi A, Abadía A, Abadía J, Morales F (2006). Down co-regulation of light absorption, photochemistry, and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. *Photosynth Res.* 89: 113–26.
- [21]. Jiang CD, Gao HY, Zou Q, Shi L (2007). Effects of iron deficiency on photosynthesis and photosystem II function in *soybean* leaf. *J Plant Physiol Mol Biol.* 33: 53–60
- [22]. Khan, M.I.R, Iqbal N, Masood A; Khan N.A (2012). Variation in salt tolerance of wheat cultivars: role of glycine betaine and ethylene. *Pedosphere*, (22):746–754.
- [23]. Wang, H, Tang X, Wang H, Shao H.B (2015). Proline accumulation and metabolism-related genes expression profiles in *Kosteletzkya virginica* seedlings under salt stress. *Front. Plant Sci.*, (6):792
- [24]. Liu J, Jhu JK (1997). Proline accumulation and salt-stress induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 114:591-596