



Journal of Applied Biosciences 184: 19277– 19295
ISSN 1997-5902

Évaluation de l'effet améliorateur du calcium et du potassium sur la croissance, la nutrition minérale et l'accumulation des solutés organiques chez les plantes de basilic africain (*Ocimum gratissimum* L.) sous stress salin

Belvida Loko, Eunice Emma Yiséyon Henry, Julien Koffi Kpinkoun, Mahougnon Baudouin Geoffroy Gouveitcha and Christophe Bernard Gandonou*

Unité de Recherche sur l'Adaptation des Plantes aux Stress Abiotiques, les Métabolites Secondaires et l'Amélioration des Productions Végétales, Laboratoire de Physiologie Végétale et d'étude des Stress Environnementaux, Faculté des Sciences et Techniques (FAST/UAC), 01BP526, Tri Postal, Cotonou, République du Bénin.

* Auteur pour correspondance : Courriel : ganchrist@gmail.com, Tél. : (00229) 97 39 69 78.

Submission 3rd February 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 30th April 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.184.4>

RÉSUMÉ

Objectifs : Cette étude a pour objectif de déterminer la forme et la dose de calcium et de potassium les plus efficaces pour atténuer les effets néfastes du stress salin sur la croissance, la nutrition minérale et l'accumulation de la proline et des sucres solubles chez les plantes de basilic africain.

Méthodologie et résultats : Les jeunes plantes ont été soumises au traitement témoin sans NaCl ; à 120 mM de NaCl et à une combinaison entre 120 mM de NaCl et un apport de 40 ou 60 mM de CaSO₄ ; CaCl₂ ; KNO₃ ou K₂SO₄. La croissance des plantes ainsi que les teneurs en sodium, potassium, proline et sucres solubles des feuilles et racines ont été déterminées après deux semaines. Le calcium et le potassium ont atténué les effets négatifs du sel sur la croissance des plantes. Cet effet améliorateur est dû principalement au maintien d'un rapport K/Na élevé dans les feuilles associé à une exclusion des ions sodium des feuilles.

Conclusion et applications des résultats : Le CaSO₄ a été le composé le plus efficace pour l'atténuation des effets néfastes du NaCl sur la croissance des plantes de basilic africain à 40 mM, suivi par le K₂SO₄. A 60 mM, c'est le KNO₃ qui a été le plus efficace pour l'atténuation des effets néfastes du NaCl sur la croissance des plantes suivi par le CaSO₄. Cet effet améliorateur est dû principalement au maintien d'un rapport de sélectivité ionique K⁺/Na⁺ élevé associée à une meilleure exclusion du Na⁺ des feuilles. La proline et les sucres solubles ne semblent pas être impliqués. Le CaSO₄ et le KNO₃ pourront être conseillés aux producteurs de basilic africain des zones maraîchères du Bénin menacées par la salinité. Cependant une étude approfondie en milieu réel est nécessaire pour déterminer les conditions d'application et les doses de chaque composé à apporter.

Mots clés : *Tchiayo*, NaCl, amélioration de la croissance, exclusion du sodium, rapport de sélectivité ionique.

Evaluation of the enhancement effect of exogenous application of calcium and potassium on growth, mineral nutrition and organic solutes accumulation in African basil (*Ocimum gratissimum* L.) plants under salt stress

ABSTRACT

Objectives: The objective of this study was to determine the most effective form and dose of calcium and potassium to attenuate the adverse effects of salt stress on growth, mineral nutrition and accumulation of proline and soluble sugars in African basil plants.

Methodology and results: Young plants were subjected to the control without NaCl; 120 mM NaCl and a combination between 120 mM NaCl and exogenous application of 40 or 60 mM CaSO₄; CaCl₂; KNO₃ or K₂SO₄. Plants growth, sodium ion, potassium ion, proline and soluble sugars contents were determined in leaves and roots after two weeks. Results revealed that salt stress reduced plants growth and that calcium and potassium attenuate the negative effects of NaCl on growth of African basil plants. This ameliorative effect was due mainly to the maintenance of high K/Na ratio in leaves associated to sodium ion exclusion from leaves.

Conclusion and applications of results: CaSO₄ was the most effective compound in mitigating the adverse effects of NaCl on African basil plant growth at 40 mM, followed by K₂SO₄. At 60 mM, KNO₃ was the most effective in mitigating the adverse effects of NaCl on plant growth followed by CaSO₄. This ameliorative effect was primarily due to the maintenance of a high K⁺/Na⁺ ion selectivity ratio associated with improved exclusion of Na⁺ from leaves. Proline and soluble sugars do not appear to be involved. CaSO₄ and KNO₃ could be recommended to African basil growers in Benin's market gardening areas threatened by salinity. However, an in-depth study in real environment is necessary to determine the conditions of application and the doses of each compound to be applied.

Keywords: Tchiayo, NaCl, growth improvement, sodium exclusion, ionic selectivity ratio.

INTRODUCTION

La salinité des sols est connue comme étant l'une des principales contraintes abiotiques en agriculture (Yakoubi, 2019). Elle est l'un des problèmes importants qui peuvent affecter les grandes cultures dans tous les climats du monde, ce qui a des impacts négatifs sur la productivité des cultures (Seleiman *et al.*, 2018 ; Seleiman *et al.*, 2020). Selon la FAO (2020) dans le monde, plus de 830 millions d'hectares de terre sont affectées par la salinité, ce qui représente 6,5% de la superficie du globe. Ce chiffre ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre à cause de la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation (Niu *et al.*, 2010 ; Acosta-Motos *et al.*, 2014 ; Lavini *et al.*, 2016 ; Perez-Perez *et al.*, 2016), de l'intensification des cultures (Munns 2011 ; Rahim-Guealia *et al.*, 2017) et de l'utilisation démesurée des fertilisants chimiques chez plusieurs espèces

cultivées (Negrão *et al.*, 2017). La salinité affecte négativement le développement et la croissance des plantes et va donc diminuer les rendements et la qualité de ces cultures (Ahmad et Prasad, 2012). Il constitue une grave menace pour la production agricole en affectant l'absorption des éléments nutritifs par les plantes et en perturbant leurs activités métaboliques (Zafar *et al.*, 2022). Les processus physiologiques affectés par le stress salin comprennent la modification de la nutrition minérale, l'équilibre ionique, le statut hydrique, l'efficacité photosynthétique et le comportement stomatique (Zafar *et al.*, 2021). Les légumes-feuilles occupent la deuxième place des cultures maraîchères produites au Sud-Bénin derrière la tomate avec une superficie de 1.496 ha et une production totale de 10.600 t et rentrent dans l'alimentation

quotidienne de presque tous les Béninois (Dansi *et al.*, 2008). Cependant, la production de ces légumes est limitée par de multiples contraintes abiotiques et biotiques qui affectent les rendements et les opérations post-récoltes qui en découlent (Yarou *et al.*, 2017). Parmi les légumes-feuilles produits au Bénin se trouve le basilic africain (*Ocimum gratissimum* L.) communément appelée « tchiayo » en langue Fongbé. Il s'agit d'une plante aromatique et médicinale de la famille des Lamiacées dont les utilisations sont nombreuses dans la thérapie traditionnelle et dans l'alimentation. Il est connu pour posséder de nombreuses propriétés pharmacologiques d'où son utilisation en médecine traditionnelle ou alternative (Ojo *et al.*, 2019) dont des propriétés d'antioxydant, antianémique, antidiarrhéique, effets protecteurs sur les indices hépatorenaux et la fonction érectile (Ojo *et al.*, 2019). Selon Gouveitcha (2022), une partie de la zone de production du basilic africain au Bénin est connue pour être affectée par la salinité provenant principalement de l'eau d'irrigation et malheureusement la majorité des cultures maraîchères ont un seuil de salinité très bas (ECt, qui varie de 1 à 2,5 dSm⁻¹ dans un sol saturé) (Behra *et al.*, 2022). Parmi les stratégies développées pour améliorer la tolérance des plantes à la salinité figure l'application exogène de calcium et de potassium. Le calcium (Ca²⁺) est un nutriment minéral essentiel et un messenger dans la signalisation cellulaire, sa teneur dans les plantes est affectée par les phytohormones. Le stress salin peut déclencher un accroissement momentané du Ca²⁺ du cytosol (Yücel et Heybet, 2016). L'apport de calcium aux

plantes cultivées dans des conditions salines peut améliorer leur croissance (Benabd errahmane, 2021). Le rôle du calcium dans l'amélioration de la tolérance à la salinité est attribué à l'intervention du calcium dans la stabilité membranaire et dans la sélectivité ionique (Subbarao *et al.*, 1990). L'addition de calcium réduit la perméabilité racinaire à Na⁺ ainsi que le transport de ce cation dans les feuilles (Rengel 1992, Gleen *et al.*, 1994) ; ceci améliore la sélectivité ionique K⁺/Na⁺ (Martinez et Lâuchli, 1991 et 1993). De même, plusieurs études ont montré que l'application extérieure de potassium (K) sous différentes formes améliore la tolérance à la salinité en induisant notamment une exclusion du Na⁺ et une accumulation de K⁺. C'est le cas chez le blé (Hussain *et al.*, 2013) et l'arachide (Chakraborty *et al.*, 2016). Pratiquement aucune étude ne s'est intéressée à l'amélioration de la tolérance à la salinité du basilic africain à travers l'apport extérieur de composés minéraux. Dans la présente étude, nous avons évalué l'effet d'une application exogène de potassium et de calcium sur la croissance, la nutrition minérale et l'accumulation de la proline et des sucres solubles des plantes de basilic africain cultivées sous stress salin. Le principal objectif est de mettre en évidence les améliorations de croissance qu'engendrerait une application exogène de ces composés et les mécanismes par lesquels ces composés induisent cette amélioration de croissance notamment en relation avec l'accumulation des ions sodium et potassium, de la proline et des sucres solubles.

MATERIEL ET METHODES

Matériel Végétal : Le matériel végétal est constitué des semences du cultivar local de basilic africain (*Ocimum gratissimum* L.) communément appelé *Tchiayo* en langue locale « Fongbé »

Méthodologie

Conduite de l'essai : L'expérience a été effectuée dans une serre à l'International Institute of Tropical Agriculture (IITA)/ (Abomey-Calavi, République du Bénin) d'octobre à Novembre 2020. Les plantes ont

été cultivées à une température de 32/27°C jour/nuit avec de la lumière naturelle et une humidité relative de 84%. L'expérience a été menée comme décrit par Atou et al. (2020). Le traitement salin a consisté à l'arrosage des plantes tous les deux jours avec 200 ml/pot de solution de NaCl seul ou en combinaison avec le CaSO₄, le CaCl₂, le K₂SO₄ ou le KNO₃.

Dispositif expérimental : Le dispositif expérimental est de type factoriel à un seul facteur en randomisation complète. Le seul facteur représente les dix (10) traitements avec trois répétitions. Ces traitements sont :

T= 0 mM NaCl (témoin)

S= 120 mM NaCl (traitement salin)

S + 40 CaSO₄ = 120 mM NaCl + 40 mM CaSO₄

S + 60 CaSO₄ = 120 mM NaCl + 60 mM CaSO₄

S + 40 CaCl₂ = 120 mM NaCl + 40 mM CaCl₂

S + 60 CaCl₂ = 120 mM NaCl + 60 mM CaCl₂

S + 40 KNO₃ = 120 mM NaCl + 40 mM KNO₃

S + 60 KNO₃ = 120 mM NaCl + 60 mM KNO₃

S + 40 K₂SO₄ = 120 mM NaCl + 40 mM K₂SO₄

S + 60 K₂SO₄ = 120 mM NaCl + 60 mM K₂SO₄

Évaluation de la croissance : Plusieurs paramètres agro-morphologiques ont été utilisés pour l'évaluation de la croissance déterminée après deux semaines. La hauteur des plantes a été mesurée du collet jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus longue à l'aide d'un mètre ruban ; la longueur de la racine a été mesurée du point d'insertion de la racine jusqu'à l'extrémité de la racine la plus longue et le nombre de feuilles est obtenu par comptage. Les masses de matière fraîche de la partie aérienne et des racines ont été déterminées par pesée. Les échantillons de chaque partie ont ensuite été transférés dans une étuve à 80 °C pendant 72 heures pour déterminer les masses sèches.

Extraction et estimation des concentrations d'ions : Pour la détermination des ions, le traitement des échantillons de racines et de feuilles et la détermination des concentrations d'ions ont été effectués comme indiqué par Henry et al. (2021). Les quantités d'ions ont été exprimées en mg/g de matière sèche. .

Extraction et détermination de la proline et des sucres solubles

Extraction et dosage de la proline : L'extraction et le dosage de la proline ont été réalisés suivant la méthode utilisée par Gouveitcha et al. (2021). Le dosage a été fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 520 nm grâce à un spectrophotomètre UV-visible (Modèle 7305, Jenway). Les quantités de proline ont été exprimées en nmole/g de matière fraîche.

Extraction et dosage des sucres solubles : L'extraction et le dosage des sucres solubles ont été effectués selon la méthode de Watanabe et al. (2000) modifiée telle que utilisée par Gouveitcha et al. (2021). Le dosage a été fait au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 625 nm grâce à un spectrophotomètre UV-visible (Modèle 7305 Jenway). Les quantités de sucres solubles ont été exprimées en µg/g de matière fraîche.

Analyses statistiques : Pour tous les paramètres, les moyennes et erreurs standards ont été calculées avec trois (3) répétitions par traitement grâce au tableur Excel. Les résultats ont été soumis à l'analyse de la variance (ANOVA) à une (01) voie et les moyennes ont été comparées avec le Test de Tukey-Kramer. Les analyses ont été effectuées grâce au logiciel JMP Pro (JMP Pro SAS Institute, 2009).

RESULTATS

Effet du stress salin et des différents composés apportés sur la croissance des plantes

Évolution des plantes en présence des différents traitements : Les photos montrent que le sel réduit la croissance des plantes et que l'application des composés notamment le CaSO_4 et le K_2SO_4 à 40 mM (photo 1-A) et le CaSO_4 et le KNO_3 à 60 mM (photo 1-B) améliore la croissance des plantes (photo 1).

Effet du stress salin et des différents composés apportés sur la hauteur des plantes: Les figures 1 (A et B) présentent l'effet d'un apport extérieur des quatre composés sur la croissance en hauteur des plantes de basilic africain cultivés en présence de stress salin. L'effet du stress salin se traduit

par une réduction de la hauteur des plantes passant de 26,67 cm à 15,17 cm, soit une réduction significative ($p=0,001$) de 43,12% par rapport au témoin. L'application de 40 mM des quatre composés a induit une amélioration de la hauteur des plantes de 39,09% ; 17,8% ; 40,41% et 2,64% respectivement avec CaSO_4 ; CaCl_2 ; K_2SO_4 et KNO_3 par rapport aux plantes stressées avec le NaCl mais cette amélioration n'est significative que pour le CaSO_4 et le K_2SO_4 . Avec 60 mM, une amélioration de la hauteur des plantes de 28,08% ; 9,89% et 52,93% été observée respectivement pour le CaSO_4 , le K_2SO_4 et le KNO_3 mais cette amélioration n'a été significative que pour le KNO_3 . Une légère diminution a été observée pour le CaCl_2 .

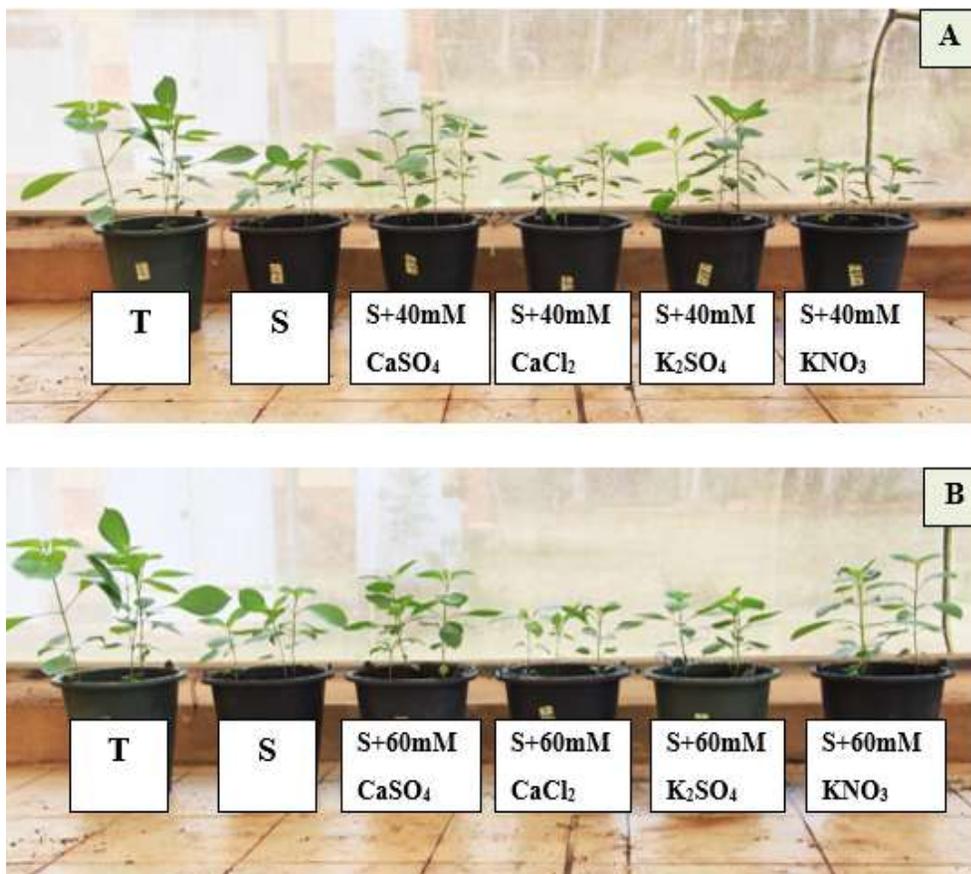


Photo 1 : Évolution des plantes de basilic africain en présence de différents traitements (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés
Source : Belvida LOKO (2020)

Effet du stress salin et des différents composés apportés sur la masse fraîche de la partie aérienne : Le stress salin a induit une réduction significative ($p < 0,001$) de la masse fraîche de la partie aérienne des plantes de l'ordre de 69,71% par rapport au témoin (Fig.2). L'application de 40 mM des quatre composés a induit une amélioration de la masse fraîche de la partie aérienne des plantes de 137,35% ; 44,58% ; 100% et 8,43% par rapport à 120 mM de NaCl respectivement

avec CaSO_4 ; CaCl_2 ; K_2SO_4 et KNO_3 . Cependant, cette amélioration n'a été significative ($p < 0,001$) que pour le CaSO_4 . Avec 60 mM, tous les composés ont induit une amélioration de la masse fraîche de la partie aérienne de l'ordre de 78,31% ; 4,82% ; 21,69% et 169,88% respectivement. Cependant, l'amélioration n'a été significative ($p < 0,001$) que pour le CaSO_4 et le KNO_3 avec la meilleure amélioration pour le KNO_3 .

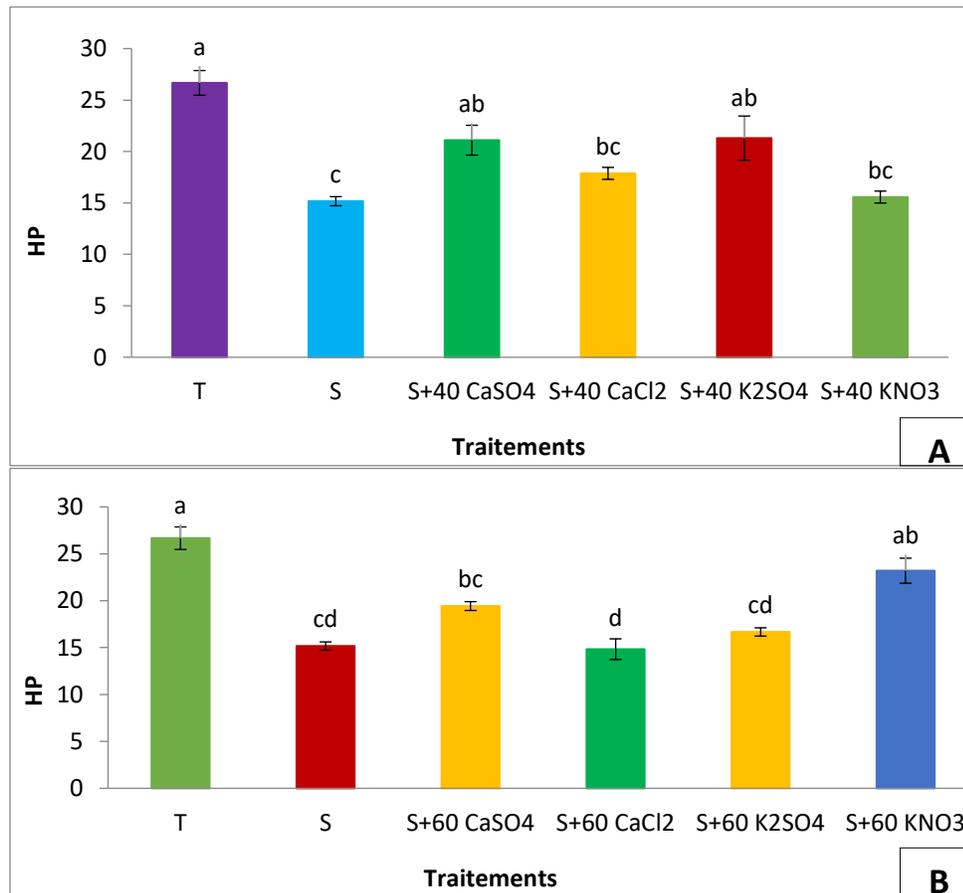


Figure 2 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la hauteur des plantes (HP) de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés.

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Effet du stress salin et des différents composés apportés sur la masse sèche de la partie aérienne : Le stress salin a induit une réduction significative ($p < 0,001$) de la masse sèche de la partie aérienne des plantes de

l'ordre de 70,59% par rapport au témoin (Fig.3). L'application de 40 mM des quatre composés a induit une amélioration de la masse sèche de la partie aérienne des plantes de 150% ; 40% ; 110% et 30% par rapport à

120 mM de NaCl respectivement avec CaSO₄ ; CaCl₂ ; K₂SO₄ et KNO₃. Cependant, cette amélioration n'a été significative (p<0,001) que pour le CaSO₄. Avec 60 mM, tous les composés ont induit une amélioration de la

masse sèche aérienne de l'ordre de 80% ; 10% ; 20% et 240% respectivement. Cependant, l'amélioration n'a été significative (p<0,001) que pour le KNO₃.

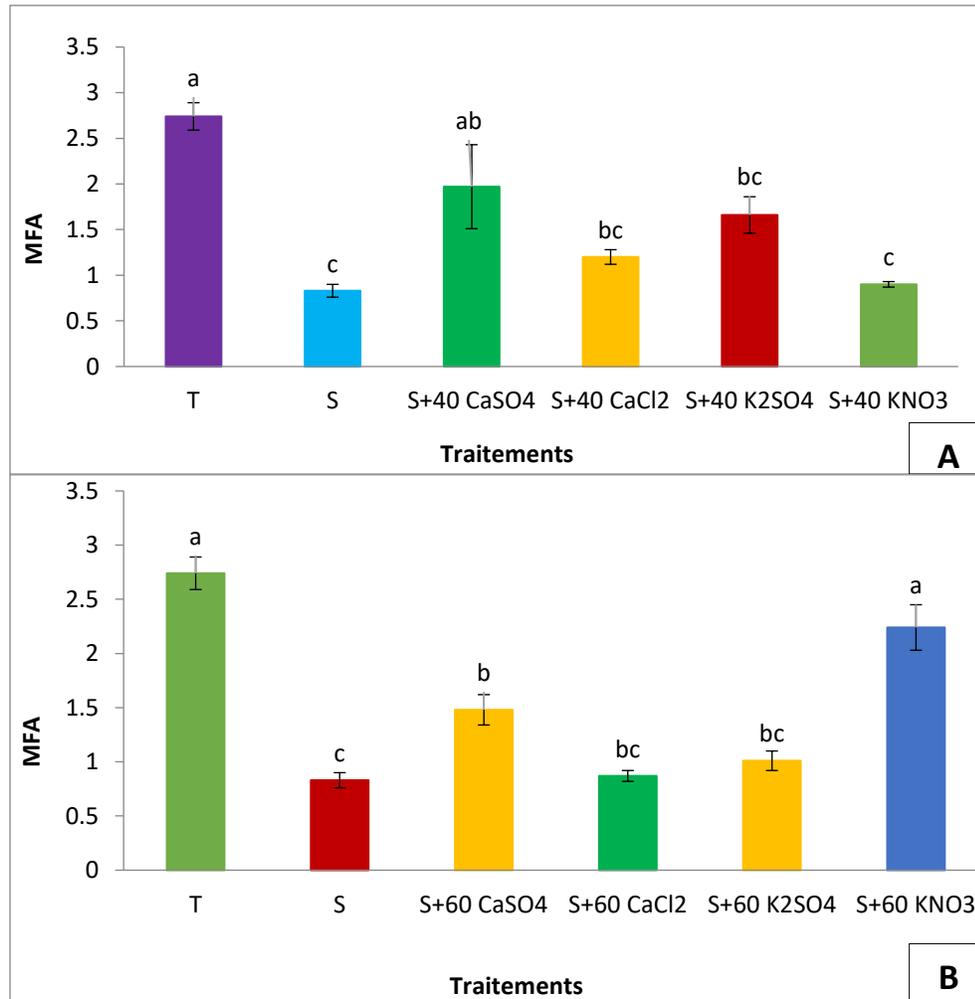


Figure 3 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la masse fraîche de la partie aérienne (MFA) des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés.

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Effet du stress salin et des différents composés apportés sur les paramètres racinaires : Le stress salin a induit une réduction significative (p<0,001) de 70,83% par rapport au témoin de la masse fraîche et (p<0,05) et de 75% de la masse sèche des racines (tableau 1). L'application des quatre

composés a induit une amélioration de la masse sèche avec le CaSO₄ et le K₂SO₄ à 40 mM mais cette amélioration n'est significative que pour le CaSO₄. A 60 mM, une amélioration significative (p<0,05) a été observée au niveau des masses fraîche et sèche des racines uniquement avec le KNO₃.

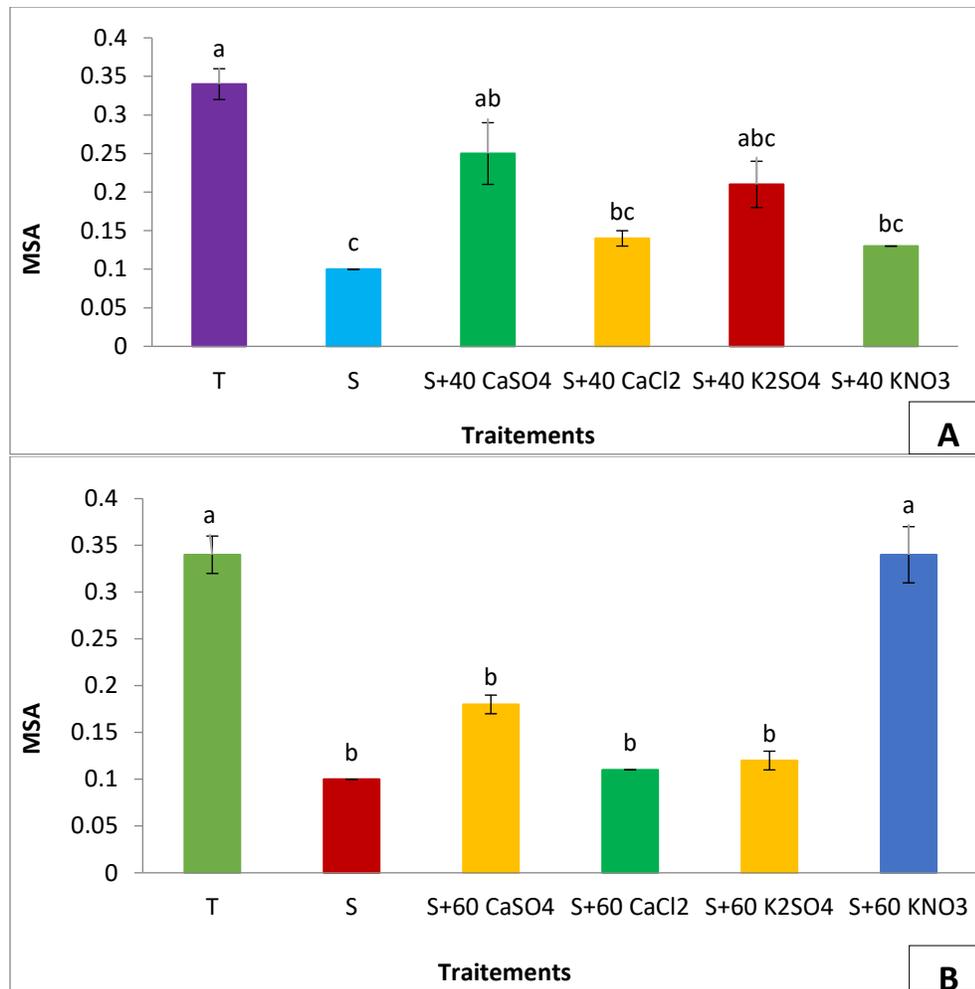


Figure 3 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la masse sèche de la partie aérienne (MSA) des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés.

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

L'effet améliorateur du CaSO_4 est significatif pour tous les paramètres de croissance considérés à l'exception de la masse fraîche des racines à 40 mM ; alors qu'à 60 mM, .. alors qu'à 60 mM, cet effet n'a été significatif que pour la masse fraîche de la partie aérienne. De même, les taux d'amélioration observée pour le CaCl_2 à 40 mM sont plus élevés que ceux observés avec 60 mM au niveau de la partie aérienne par exemple (17,80% ; 44,58% et 40% contre 0% ; 4,82% et 10% respectivement hauteur des plantes, masse fraîche de la partie aérienne et masse sèche de la partie aérienne). Les mêmes observations

sont valables pour le K_2SO_4 ; mais un comportement contraire a été observé pour le KNO_3 : 60 mM ayant été plus efficace que 40 mM pour tous les paramètres de la partie aérienne par exemple. Ainsi, un apport de 40 mM de chaque composé a été plus efficace qu'un apport de 60 mM à l'exception du KNO_3 pour lequel l'apport de 60 mM a été plus efficace que celui de 40 mM. Dans l'ensemble, le CaSO_4 a été le composé le plus efficace à 40 mM pour atténuer les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes, suivi par le K_2SO_4 ; tandis que le KNO_3 a été le plus efficace à 60 mM, suivi par le CaSO_4 .

Tableau 1 : Effet du stress salin et de l'apport du calcium et de potassium sous différentes formes sur la masse fraîche racinaire (MFR) et la masse sèche racinaire (MSR) des plantes de basilic africain.

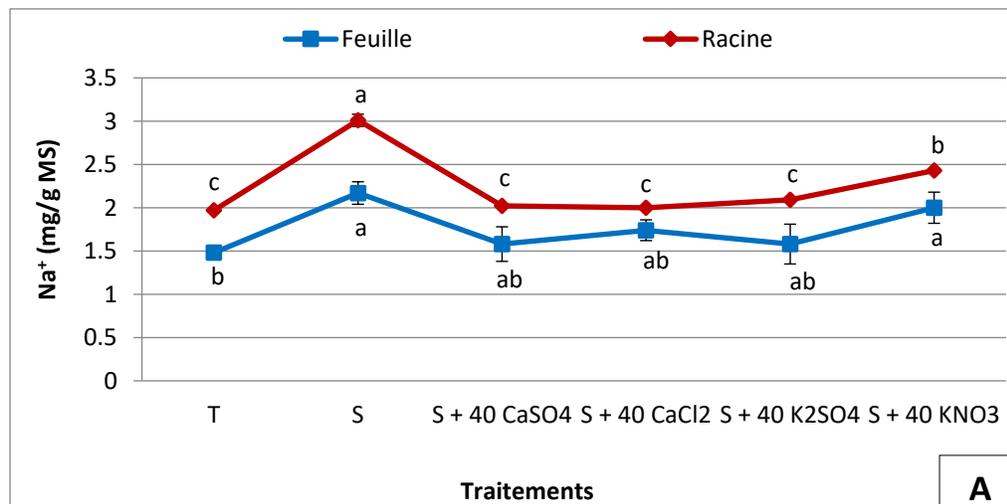
Traitements	Apport de 40 mM		Apport de 60 mM	
	MFR	MSR	MFR	MSR
T	0,24±0,02 ^a	0,04±0,00 ^a	0,24±0,02 ^a	0,04±0,00 ^a
S	0,07±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b	0,07±0,00 ^b	0,01±0,00 ^b
S + CaSO ₄	0,13±0,00 ^b	0,04±0,00 ^a	0,1±0,00 ^b	0,02±0,00 ^b
S + CaCl ₂	0,11±0,02 ^b	0,02±0,00 ^b	0,1±0,01 ^b	0,02±0,00 ^b
S + K ₂ SO ₄	0,13±0,00 ^b	0,03±0,00 ^{ab}	0,1±0,01 ^b	0,02±0,00 ^b
S + KNO ₃	0,08±0,01 ^b	0,02±0,00 ^b	0,23±0,03 ^a	0,05±0,00 ^a

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en ion des plantes

Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en ion sodium : Le stress salin a induit une augmentation significative ($p < 0,001$) de 46,62% et de 52,79% de la teneur en ion sodium par rapport au témoin respectivement dans les feuilles et dans les racines (figure 4). L'application des quatre composés à 40 mM a induit une diminution non significative de la teneur en ion sodium des feuilles avec le CaSO₄ ; le CaCl₂ et le K₂SO₄, et une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en ion sodium des racines

avec tous les quatre composés mais les diminutions ont été plus fortes avec le CaSO₄ ; le CaCl₂ et le K₂SO₄. A 60 mM, une diminution non significative de la teneur en ion sodium des feuilles a été observée avec le CaSO₄ et le KNO₃, et une diminution significative ($p < 0,05$) de la teneur en ion sodium des racines avec le CaSO₄ et le KNO₃. Ainsi, l'absorption de l'ion sodium a été améliorée par les composés apportés au niveau des feuilles et des racines à 40 mM avec tous les composés sauf le KNO₃ et à 60 mM au niveau des feuilles et des racines uniquement pour les composés CaSO₄ et KNO₃.



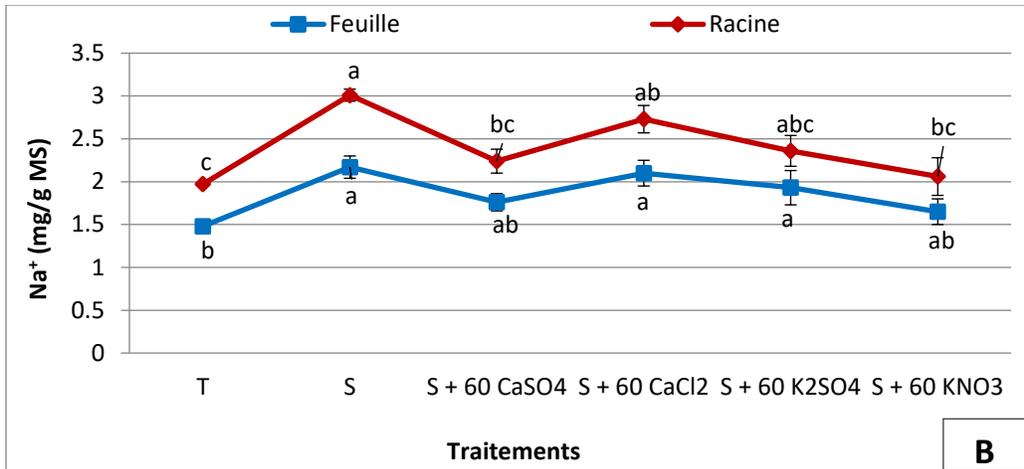
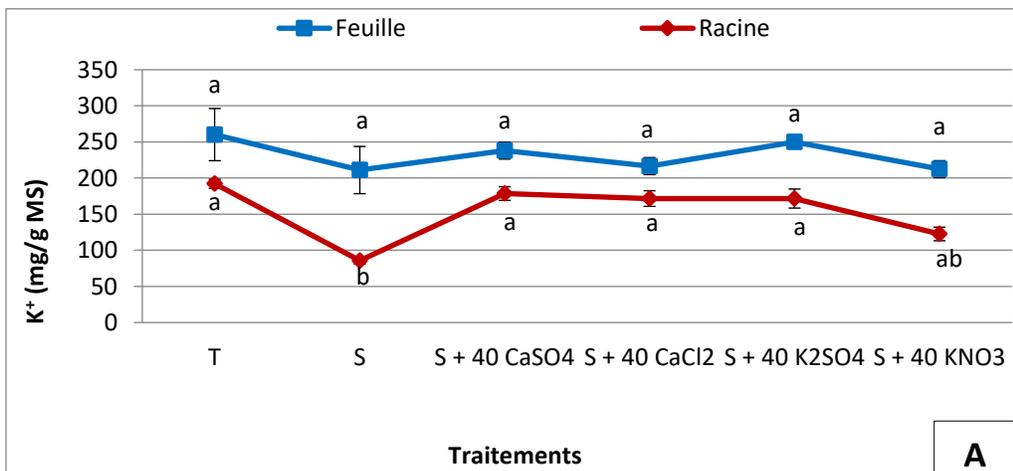


Figure 4 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la teneur en ions sodium dans les feuilles et les racines des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés. Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en ion potassium : Le stress salin a induit une diminution non significative de 18,85% dans les feuilles et une diminution significative ($p < 0,05$) de 55,32% dans les racines de la teneur en ion potassium par rapport au témoin respectivement (figure 5). L'application des quatre composés à 40 mM n'a induit aucun changement au niveau

des feuilles aussi bien avec 40 mM qu'avec 60 mM ; cependant, dans les racines, une augmentation significative ($p < 0,05$) a été observée uniquement avec le CaSO₄ ; le CaCl₂ et le K₂SO₄ à 40 mM ; et une augmentation significative ($p < 0,05$) uniquement avec le CaSO₄ ; le K₂SO₄ et le KNO₃ à 60 mM ; une amélioration non significative a été observée avec le CaCl₂.



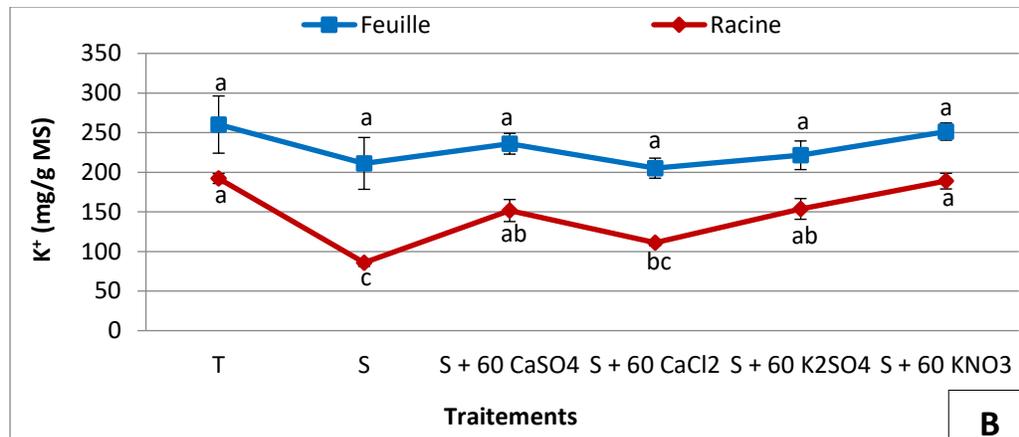


Figure 5 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la teneur en ions potassium dans les feuilles et les racines des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés.

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Ainsi, la teneur en ion potassium n'a été améliorée par les composés apportés qu'au niveau des racines et uniquement pour les composés CaSO_4 , K_2SO_4 et CaCl_2 à 40 mM ; et CaSO_4 , K_2SO_4 et KNO_3 à 60 mM.

Effet du stress salin et des composés apportés sur le rapport de sélectivité ionique (K^+/Na^+) des plantes : Sous l'effet du stress salin, le rapport K^+/Na^+ des feuilles a subi une diminution significative ($p < 0,001$) aussi bien dans les feuilles que dans les racines (tableau 2). Avec les composés apportés à 40 mM, une augmentation significative ($p = 0,001$) est observée avec tous les quatre composés aussi bien dans les racines que dans les feuilles. Avec 60 mM, seul le KNO_3 a induit une augmentation significative ($p = 0,001$) du rapport K/Na dans les feuilles ; au niveau racinaire, tous les composés ont induit une augmentation du rapport K/Na sauf le CaCl_2 . Tous les apports à 40 mM ont amélioré de façon significative le rapport K/Na des feuilles et des racines. Avec 60 mM, seul l'apport de KNO_3 a amélioré de façon significative le rapport K/Na des feuilles et seul l'apport de CaCl_2 n'a pas amélioré de façon significative le rapport K/Na des racines. Dans l'ensemble, à 40 mM, les apports de CaSO_4 ; K_2SO_4 et CaCl_2 ont eu les meilleurs effets améliorateurs

sur la nutrition minérale des plantes à la fois au niveau de la partie aérienne et de la partie racinaire (diminution de Na^+ et augmentation du rapport K/Na par rapport aux plantes stressées). A 60 mM, seul le KNO_3 a eu des effets similaires, suivi par le CaSO_4 . L'amélioration de l'absorption du K^+ n'a été observée qu'au niveau racinaire.

Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en solutés organiques
Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en proline : Le stress salin a induit une augmentation significative ($p < 0,001$) de 91,73% et de 179,71% de la teneur en proline par rapport au témoin respectivement dans les feuilles et dans les racines (figure 6). L'application des quatre composés à 40 mM a induit une diminution qui n'est significative que pour le CaSO_4 et le K_2SO_4 dans les feuilles et une diminution significative ($p < 0,05$) au niveau des racines avec tous les composés. A 60 mM, une diminution est observée et elle est significative pour tous les composés sauf le CaCl_2 dans les feuilles comme dans les racines (figure 6). Ainsi, aucun des composés n'a amélioré l'accumulation de proline chez les plantes de basilic cultivées sous stress salin.

Tableau 2 : Effet du stress salin et de l'apport du calcium et de potassium sous différentes formes sur le rapport K^+/Na^+ dans les feuilles et les racines des plantes de basilic africain

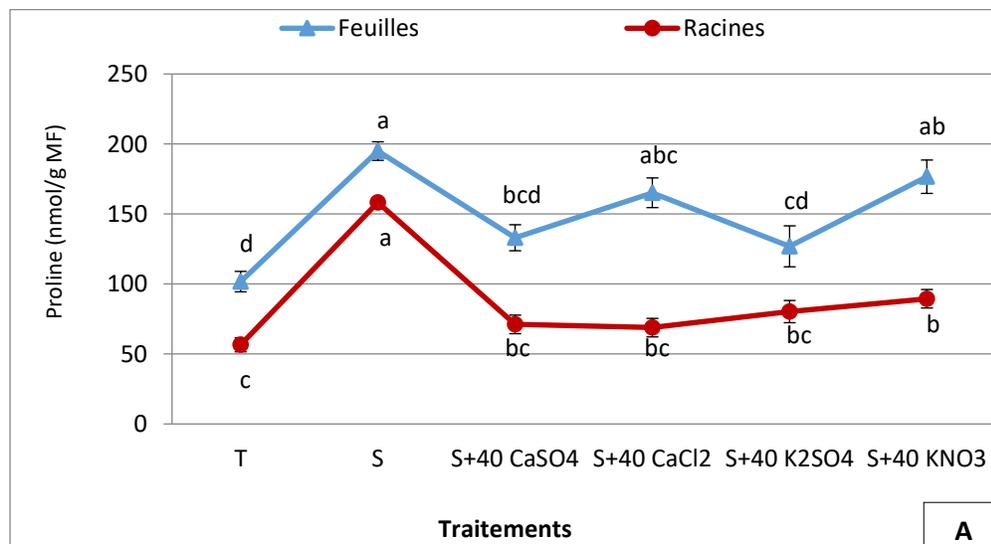
	Traitements	Feuilles	Racines
S + 40 mM	T	175,88±22,92 ^a	97,43±2,44 ^a
	S	96,06±8,92 ^c	28,48±1,48 ^e
	CaSO ₄	156,60±26,59 ^a	88,52±4,67 ^a
	CaCl ₂	125,18±8,34 ^a	85,82±5,40 ^a
	K ₂ SO ₄	164,53±20,35 ^a	82,24±6,29 ^a
	KNO ₃	108,84±15,07 ^a	50,35±3,87 ^b
S + 60 mM	CaSO ₄	134,12±1,16 ^{abc}	68,75±9,95 ^{bc}
	CaCl ₂	97,63±1,33 ^{bc}	41,19±4,06 ^{de}
	K ₂ SO ₄	115,79±7,45 ^{bc}	65,13±1,39 ^{cd}
	KNO ₃	154,42±14,58 ^{ab}	93,06±6,05 ^{ab}

Les moyennes portant des lettres différentes dans la même colonne et pour chaque dose sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Effet du stress salin et des composés apportés sur la teneur en sucres solubles :

Le stress salin a induit une augmentation significative ($p < 0,001$) de 150,95% et de 102,84% de la teneur en sucres solubles par rapport au témoin respectivement dans les feuilles et dans les racines (figure 7). L'application des quatre composés à 40 mM a induit une diminution significative pour tous les composés sauf le KNO₃ dans les

feuilles et sauf le K₂SO₄ dans les racines. A 60 mM, une diminution est observée mais elle n'est significative que pour le CaSO₄ et KNO₃ au niveau des feuilles et pour le KNO₃ seul au niveau des racines (figure 7). Ainsi, aucun des composés n'a amélioré l'accumulation de sucres solubles chez les plantes de basilic cultivées sous stress salin.



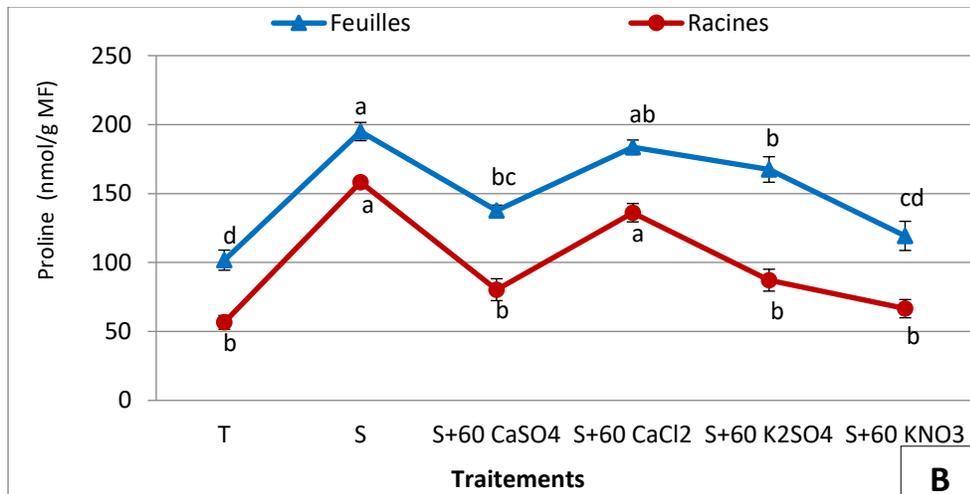


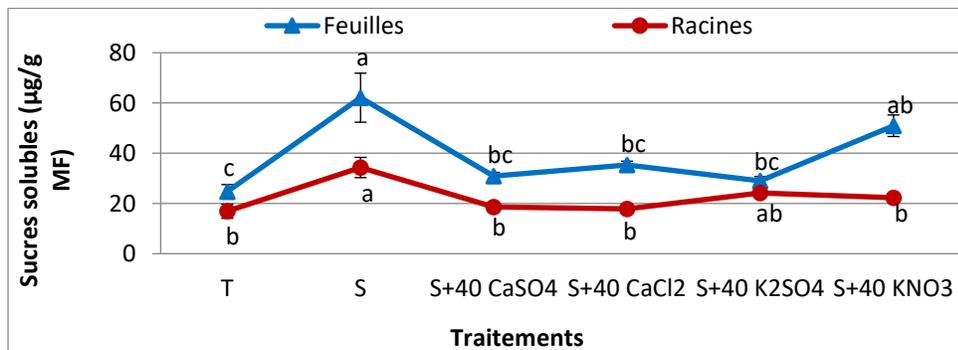
Figure 6 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la teneur en proline (nmol/g MF) dans les feuilles et les racines des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés.

Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

DISCUSSION

Effet du NaCl et de l'application exogène du calcium et du potassium sur la croissance des plantes : Le stress salin a provoqué une réduction de la croissance de tous les paramètres de la partie aérienne et de la partie racinaire des plantes de basilic africain. A 40 mM le CaSO_4 a été le plus efficace pour atténuer l'effet néfaste du NaCl sur la croissance des plantes. Ces résultats indiquent qu'entre les deux formes de calcium, le CaSO_4 a été plus efficace que le CaCl_2 pour atténuer l'effet néfaste du NaCl sur la croissance des plantes. Des résultats similaires ont été rapportés chez l'amarante (Omami et Hammes,

2006 ; Atou *et al.*, 2020) et la tomate (Henry *et al.*, 2021) où les auteurs ont justifié cette différence par l'apport supplémentaire de Cl^- par CaCl_2 qui est lui-même toxique pour les plantes. Cependant, il a été rapporté chez le tournesol que la supplémentation en calcium n'était pas en mesure d'améliorer les dommages causés par le NaCl (Sohan *et al.*, 1999). Ce résultat indique que l'effet améliorateur du calcium sur les dommages causés par le NaCl chez le basilic africain dépend de la forme sous laquelle il est apporté.



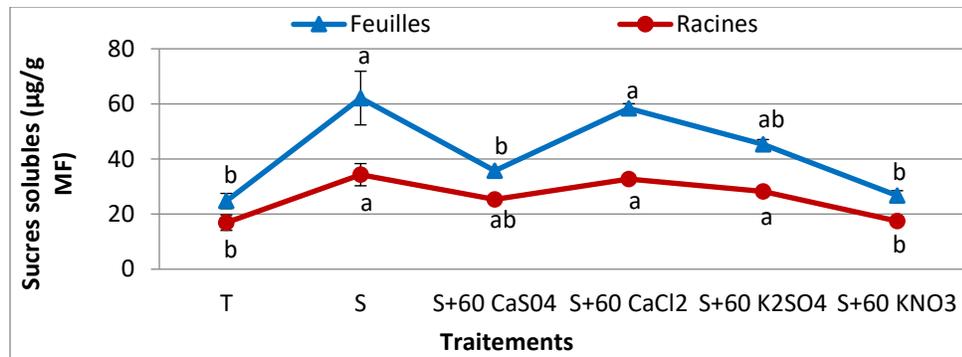


Figure 7 : Effet du stress salin et de l'apport de calcium et de potassium sous différentes formes sur la teneur en sucres solubles ($\mu\text{g/g}$ MF) dans les feuilles et les racines des plantes de basilic africain (A) : Apport de 40 mM des différents composés ; (B) : Apport de 60 mM des différents composés. Les moyennes suivies par des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

Zoghلامي et al. (2006) ont démontré que l'augmentation de la dose de calcium dans la solution nutritive améliore la croissance des différentes parties de la plante de tomate. Cela ne semble pas être le cas chez le basilic africain puisque les effets améliorateurs du CaSO_4 et du CaCl_2 à 40 mM ont été meilleurs qu'à 60 mM pour les principaux paramètres de croissance pris en compte, et notamment de la partie aérienne. Les deux formes de potassium (K_2SO_4 et KNO_3) appliquées à 40 mM sur les plantes de basilic africain ont également amélioré la croissance de la partie aérienne et celle de la partie racinaire des plantes mais à 40 mM K_2SO_4 , a été plus efficace que KNO_3 , alors qu'à 60 mM le KNO_3 a été plus efficace. Ces résultats montrent que l'effet améliorateur du potassium sur la croissance des plantes de basilic africain dépend aussi bien de la forme sous laquelle il est apporté que de la dose appliquée. Or, chez l'amarante il a été montré que c'est uniquement sous forme de KNO_3 que le potassium améliore la croissance de la partie aérienne des plantes (Atou et al., 2020). Par ailleurs, il est important de noter qu'à 40 mM, le K_2SO_4 a été plus efficace qu'à 60 mM, alors que pour le KNO_3 , 60 mM a été largement plus efficace que 40 mM. Cette observation indique que l'effet de l'augmentation de dose de potassium dépend du composé considéré.

Implication de l'accumulation des ions dans l'effet améliorateur du calcium et du

potassium : Nos résultats indiquent que le stress salin a induit une augmentation de la teneur en sodium et une diminution de celle en potassium dans les feuilles et les racines induisant par conséquent une diminution du rapport de sélectivité ionique K/Na des plantes. Ce sont des tendances généralement rapportées chez les plantes soumises au stress salin (Prodjinoto et al., 2018 ; Wouyou et al., 2019 ; Gouveitcha et al., 2021). L'effet améliorateur d'une application exogène de calcium ou de potassium sur les dommages induits par la salinité a généralement été associé au maintien d'un rapport K^+/Na^+ optimal et d'une homéostasie dans le cytosol en relation avec une inhibition de l'influx de Na^+ , de l'efflux de K^+ ou de la promotion de l'efflux de Na^+ (sortie de la cellule) et l'influx de K^+ (entrée dans la cellule) à travers la membrane plasmique (Elphick et al., 2001 ; Demidchik et Tester, 2002; Shalaba et al., 2006 ; Hussain et al., 2013 ; Chakraborty et al., 2016). Les résultats ont montré qu'à 40 mM, les apports de CaSO_4 ; K_2SO_4 et CaCl_2 ont eu les meilleurs effets améliorateurs sur la nutrition minérale des plantes à la fois au niveau de la partie aérienne et de la partie racinaire (diminution de Na^+ et augmentation du rapport K/Na par rapport aux plantes stressées). A 60 mM, seul le KNO_3 a eu des effets similaires, suivi par le CaSO_4 . L'amélioration de l'absorption du K^+ n'a été observée qu'au niveau racinaire. Ainsi,

le CaCl_2 qui n'a eu que très peu d'effet sur la croissance des plantes notamment au niveau de la partie aérienne a induit une exclusion des ions Na^+ des feuilles. Ces résultats indiquent que l'efficacité du CaSO_4 , KNO_3 et K_2SO_4 à atténuer les effets négatifs de la salinité notamment au niveau de la partie aérienne est associée principalement au maintien d'un rapport K^+/Na^+ plus élevé. Cette idée est confirmée par le fait qu'à 60 mM, seul le KNO_3 qui a eu le meilleur effet améliorateur sur la croissance a eu également le meilleur effet améliorateur sur le rapport K/Na des feuilles, alors que son effet améliorateur sur l'exclusion du Na^+ des feuilles est similaire à celui du CaSO_4 . Ainsi, le maintien d'un rapport de sélectivité ionique K/Na élevé au niveau des feuilles est la première stratégie physiologique d'intervention des composés apportés pour l'atténuation des effets néfastes de la salinité sur les plantes de basilic africain ; l'exclusion du Na^+ des feuilles vient pour renforcer cette stratégie. Le rôle du potassium seul apparaît minime, puisqu'aucune amélioration de sa teneur n'a été notée au niveau des feuilles pour aucun des composés apportés. Cependant, l'importance de l'accumulation de K^+ associée à la promotion de l'exclusion de Na^+ des feuilles dans l'effet améliorateur de la réponse à la salinité de l'application externe de potassium a été rapportée chez les cultivars d'arachide (Chakraborty *et al.*, 2016).

Implication de l'accumulation de la proline et des sucres solubles dans l'effet améliorateur du calcium et du potassium :

Le stress salin a induit une augmentation de la teneur en proline et en sucres solubles dans les feuilles et les racines comme c'est généralement le cas chez les plantes soumises au stress salin (Bouassaba and Chougui, 2018 ; Wouyou *et al.*, 2019 ; Gouveitcha *et al.*, 2021). Nos résultats ont montré que l'application de

calcium et de potassium a réduit la teneur en proline et en sucres solubles par rapport aux plantes stressées par le sel que ce soit dans les feuilles ou dans les racines, indiquant que ces solutés organiques ne sont pas impliqués dans l'effet améliorateur des composés utilisés. Des résultats similaires ont été observés chez deux cultivars d'arachide où l'apport externe de potassium dans un environnement salin a réduit l'accumulation de proline par rapport aux plantes stressées, en particulier avec le cultivar tolérant (Chakraborty *et al.*, 2016). Certains auteurs ont évoqué la proline comme étant un symptôme du stress salin dans la mesure où son accumulation dans les feuilles était plus importante chez les variétés ou cultivars sensibles que ceux résistants. Ça a été le cas chez la tomate (Perez-Alfocea *et al.*, 1994 ; Ruz-Alvarez and Guerrier, 1994), le riz (Lutts *et al.*, 1996a) et la canne à sucre (Gandonou *et al.*, 2011). Le comportement des plantes de basilic africain en ce qui concerne leur teneur en proline en présence des différents traitements laisse penser que la proline est un indicateur de stress chez cette plante. En effet, les teneurs en proline les plus élevées ont été observées avec le NaCl seul ; et les teneurs en proline avec les composés apportés sont d'autant plus élevées que le composé est inefficace sur l'amélioration de la croissance des plantes. Ainsi, à 40 mM, les teneurs les plus élevées de proline ont été obtenues avec le KNO_3 aussi bien dans les feuilles que dans les racines, suivi par le CaCl_2 alors que les plus faibles ont été obtenues avec le CaSO_4 . A 60 mM, les teneurs en proline les plus élevées ont été obtenues avec le CaCl_2 aussi bien dans les feuilles que dans les racines, suivi du K_2SO_4 et du CaSO_4 et les plus faibles avec le KNO_3 . La proline apparaît donc comme un indicateur du stress subi par les plantes de basilic africain.

CONCLUSION

Le stress salin a induit une réduction significative de la croissance des plantes de basilic africain et l'application exogène de calcium et de potassium a atténué les effets causés par la salinité sur la croissance des plantes. L'effet améliorateur de ces composés dépend non seulement de la forme sous laquelle ils sont appliqués, de la dose appliquée et des organes végétaux pris en compte. Dans l'ensemble, le CaSO₄ a été le composé le plus efficace à 40 mM pour atténuer les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes, suivi par le K₂SO₄; tandis que le KNO₃ a été le plus efficace à 60 mM, suivi par le CaSO₄. Par conséquent, le CaSO₄ (40 mM)

et le KNO₃ (60 mM) apparaissent comme les meilleurs candidats pour atténuer les effets de la salinité chez le basilic africain suivi du K₂SO₄. Cet effet améliorateur est dû principalement au maintien d'un rapport de sélectivité ionique K/Na dans les feuilles associé à une exclusion du Na⁺ des feuilles. La proline et les sucres solubles ne semblent pas impliqués dans cet effet améliorateur chez le basilic africain et la proline apparaît comme un symptôme du stress subi par les plantes. L'application de ces résultats en milieu paysan nécessite une étude préalable en milieu réel afin de déterminer les conditions d'application et les doses à appliquer dans chaque cas.

REMERCIEMENTS

Les présents travaux ont été financés en partie par le Projet d'Appui au Développement du Maraîchage au Bénin (PADMAR/ProCaR).

REFERENCES

- Acosta-Motos JR, Álvarez S, Barba-Espín G, Hernández JA, Sánchez-Blanco MJ, 2014. Salts and nutrients present in regenerated waters induce changes in water relations, antioxidative metabolism, ion accumulation and restricted ion uptake in *Myrtus communis* L. plants. *Plant Physiol. Biochem.* 85: 41-50.
- Ahmad P, Prasad MNV, 2012. *Environmental Adaptations and Stress Tolerance in Plants in the Era of Climate Change*. Springer Science + Business Media, New York.
- Atou R, Henry E, Mensah ACG, Gouveitcha BG, Loko B, Wouyou AD, Assogba Komlan F, Gandonou CB, 2020. Effet améliorateur d'un apport extérieur de calcium et de potassium sous différentes formes sur la tolérance à la salinité de l'amarante (*Amaranthus cruentus* L.). *Journal of Applied Biosciences.* 146: 15025 – 15039
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID, 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil.* 39: 205-207.
- Behra PRK, Pettersson BMF, Ramesh M, Das S, Dasgupta S, Kirsebom LA, 2022. Comparative genome analysis of *mycobacteria* focusing on Trna and non-coding RNA. *BMC Genomics.* 23:704.
- Benabderrahmane S, 2021. Réponse biochimique et phytochimique d'une Fabacée soumise au stress salin, cas de *Vicia faba* L. These de Doctorat. Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes p, 144.
- Bouassaba K, Chougui S, 2018. Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum annuum* L.) À Mila /Algérie. *European Scientific Journal*, 14(15), 159.
- Bourgeois-Chaillou P, Guerrier G, 1992. Salt-Responses in *Lycopersicon esculentum*

- calli and whole plants. *Journal of Plant Physiology*. 140:494-501.
- Chakraborty K, Bhaduri D, Meena HN, Kalariya K, 2016. External potassium (K^p) application improves salinity tolerance by promoting Na⁺ exclusion, K⁺ accumulation and osmotic adjustment in contrasting peanut cultivars. *Plant Physiology and Biochemistry*. 103:143–153.
- Dansi A, Adjatin A, Adoukonou-Sagbadja H, Faladé V, Yedomonhan H, Odou D, Dossou B, 2008. Traditional leafy vegetables and their use in the Benin Republic. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 55: 1239-1256.
- Demidchik V, Tester M, 2002. Sodium fluxes through nonselective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from *Arabidopsis root*. *Plant physiology*.128: 379-387.
- Elphick CH, Sanders D, Maathuis FJM, 2001. Critical role of divalent cations and Na⁺ efflux in *Arabidopsis thaliana* salt tolerance. *Plant, Cell and Environment*. 24: 733-740.
- FAOSTAT, 2020. Statistical database. www.aginternetwork.org. Accessed 20 May 2021. Flowers, T., Troke, P., Yeo, A (1977). The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*. 28: 89-121.
- Gandonou CB, Bada F, Abrini J, Skali-Senhaji N, 2011. Implication of proline, soluble sugars and soluble proteins in sugarcane (*saccharum sp.*) in vitro salt-tolerance. *rev. Cames-série a*. 12 (1) : 46-51
- Glenn RR, Follmij K, Riggs SR, Baturin NG, Grimm KA, Trappe J, Abed AM, Gallio-Olivier C, Garrison RE, Ilyin AV, Jehl C, Rohrllich V, Sadaqah RMY, Schidlowski M, Sheldon RE, Siegmund H, 1994. Phosphorus and phosphorites: Sedimentology and environments of formation. *Eclogae geol. Helv*. 87(3) : 747- 788.
- Gouveitcha MBG, 2022. Diagnostic salin des eaux d'irrigation et réponse agrophysiologique à la salinité de cultivars de gombo (*Abelmoschus esculentus*) produits au Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, p218.
- Gouveitcha MBG, Kpinkoun JK, Mensah ACG, Gandonou GCB, 2021. Salinity resistance strategy of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) cultivars produced in Benin Republic. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 13(1):19-29.
- Henry EEY, Kinsou E, Mensah ACG, Assogba Komlan F, Gandonou CB, 2021. Réponse des plantes de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivées sous stress salin à une application exogène de calcium et de potassium. *Journal of Applied Biosciences* 159:16363-16370.
- Hussain Z, Khattak RA, Irshad M, Eneji AE, 2013. Ameliorative effect of potassium sulphate on the growth and chemical composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) in salt-affected soils. *J. Soil Sci. Plant Nutr*. 13 (2):401-415.
- Lavini A, Pulvento C, d'Andria R, Riccardi M, 2016. Effects of saline irrigation on yield and qualitative characterization of seed of an amaranth accession grown under Mediterranean conditions. *J. Agric. Sci.*, 154 (5): 858-869.
- Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J, 1996a. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Growth Regulation* 19: 207-218.
- Martinez U, Lâuchli A, 1993. Effect of Ca⁺⁺ on the salt-stress response of barley roots as observed by in vivo 31P-

- nuclear magnetic resonance and in vitro analysis. *Planta*, 190:519-524.
- Martinez U, Lâuchli A, 1991. Phosphorus translocation in salt stress cotton. *physiol. Plant*, 83: 626-632.
- Munns R, 2011. Plant Adaptations to Salt and Water Stress : Differences and Commonalities. *Advances in Botanical Research*. 57 : 1-32.
- Negrão S, Schmöckel SM, Tester M, 2017. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany*. 119(1) :1-11.
- Niu G, Rodriguez DS, Starman T, 2010. Response of bedding plants to saline water irrigation. *Hort Science*. 45 (4): 628-636.
- Ojo OA, Ojo AB, Oyinloye BE, Ajiboye BO, Anifowose OO, Akawa A, Olaiya OE, Olasehinde OR, Kappo AP, 2019. *Ocimum gratissimum* Linn. Leaves reduce the key enzymes activities relevant to erectile dysfunction in isolated penile and testicular tissues of rats. *BMC Complementary and Alternative Medicine*.19 :71.
- Omami EN, Hammes PS, 2006. Ameliorative effects of calcium on growth and mineral uptake of salt-stressed amaranth, *South African Journal of Plant and Soil*. 23(3) : 197-202.
- Perez-Alfocea F, Santa-Cruz A, Guerrier G, Bolarin C, 1994. NaCl stress-induced organic solute changes on leaves and calli of *Lycopersicon esculentum*, L. pennellii and their interspecific hybrid. *Journal of Plant Physiology*. 143: 106-111.
- Pérez-Pérez JG, Robles JM, García-Sánchez F, Botía P, 2016. Comparison of deficit and saline irrigation strategies to confront water restriction in lemon trees grown in semi-arid regions. *Agric. Water Manag.* 164: 46–57.
- Prodjinoto H, Gandonou C, Lutts S, 2018. Screening for salinity tolerance of *Oryza glaberrima* Steud. Seedlings. *Afr J Agric Res*. 133:561-583.
- Rahim-Guealia H, Belkhodja M, Reguiegysaad HA, Babou F, 2017. Water and physiological responses of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) under saline stress grown on a bentonized substrate. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 9(3): 1395-1412.
- Rengel Z, 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant.Cell. Environ.*15 : 625-632
- Rus-Alvarez A, Guerrier G, 1994. Proline metabolic pathways in calli from *Lycopersicon esculentum* and L. Pennellii under salt stress. *Biologia Plantarum*. 36 (2): 277- 284.
- Seleiman M, Kheir AMS, 2018. Saline soil properties, quality and productivity of wheat grown with bagasse ash and thiourea in different climatic zones. *Chemosphere*. 193: 538-546.
- Seleiman MF, Ali S, Refay Y, Rizwan M, Alhammad BA, El-Hendawy SE, 2020. Chromium resistant microbes and melatonin reduced Cr uptake and toxicity, improved physio-biochemical traits and yield of wheat in contaminated soil. *Chemosphere*, 250: 126239.
- Shalaba S, Demidchik V, Shalaba L, Cui TA, Smith SJ, Miller AJ, Davies JM, Newman IA, 2006. Extracellular Ca²⁺ ameliorates NaCl- induced K⁺ loss from Arabidopsis root and leaf cells by controlling plasma membrane K⁺ permeable channels. *Plant Physiology*. 141: 1653- 1665.
- Sohan D, Jasoni R, Zajicek J, 1999. Plant-water relations of NaCl and calcium-treated sunflower plants. *Environ. Exp. Bot.* 42: 105-111.
- Subbarao GV, Johansen C, Jana MK, Kumar Rao JVDK, 1990. Physiological Basis of Differences in Salinity Tolerance of

- Pigeonpea and its Related Wild Species. J. Plant Physiol. 137: 64-71.
- Watanabe S, Kojima K, Ide Y, Sasaki S, 2000. Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant Cell Tiss Org Cult. 63: 199-206.
- Wouyou A, Prodjinoto H, Zanklan AS, Vanpee B, Lutts S, Gandonou CB, 2019. Implication of ions and organic solutés accumulation in amaranth (*Amaranthus cruentus* L.) salinity resistance. American Journal of Plant Sciences 10: 2335-2353.
- Yarou BB, Silvie P, Assogba Komlan F, Mensah A, Alabi T, Verheggen F, Francis F, 2017. Plantes pesticides et protection des cultures maraichères en Afrique de l'Ouest (synthèse bibliographique), Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 21(4): 288-304.
- Yücel N, Heybet E, 2016. Salicylic Acid and Calcium Treatments Improves Wheat Vigor, Lipids and Phenolics under High Salinity. Acta Chim. Slov. 63: 738-746.
- Zafar S, Hasnain Z, Aslam N, Mumtaz S, Jaafar HZ, Wahab PEM, Qayum M, Ormenisan AN, 2021. Impact of Zn Nanoparticles Synthesized via Green and Chemical Approach on Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Growth under Salt Stress. Sustainability. 13(7): 3694.
- Zafar S, Perveen S, Kamran Khan M, Shaheen MR, Hussain R, Sarwar N, 2022. Effect of zinc nanoparticles seed priming and foliar application on the growth and physio-biochemical indices of spinach (*Spinacia oleracea* L.) under salt stress. PLoS ONE 17(2): e0263194.
- Zoghlami LB, Djebali W, Chaibi W, Ghorbel MH, 2006. Modifications physiologiques et structurales induites par l'interaction cadmium-calcium chez la tomate (*Lycopersicon esculentum*). C. R. Biologies 329: 702-711.