

AMELIORATION DE LA GÉRMINATION ET DE LA RÉSISTANCE DU HARICOT (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) À LA SALINITÉ PAR LA TECHNIQUE DE PRIMING

BAAZIZE Nawel^{1*}, SNOUSSI Sid-Ahmed¹ et SALADIN Gaëlle²

1. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Département de Biotechnologie, Faculté SNV, Université de Blida1, Algérie
 2. Laboratoire PEIRENE, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, Limoges. France.

Reçu le 23/01/2021, Révisé le 01/04/2021, Accepté le 22/04/2021

Résumé

Description du sujet : Le priming ou amorçage est une technique de traitement prégerminatif des semences qui consiste à faire subir aux graines différents traitements, (osmotique : osmopriming), (hormonal : hormopriming), (hydrique : hydropriming) ou (thermique : thermopriming), pour l'amélioration de la germination et de la croissance en conditions de stress abiotique.

Objectifs : Notre travail consiste à étudier l'effet du priming sur le pouvoir germinatif des graines du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) et la croissance face au stress salin.

Méthodes : Les graines du haricot vert (*P. vulgaris*) ont subi un amorçage avant leur mise en germination dans des milieux salins afin d'identifier l'impact du priming sur la germination, l'index de vigueur des semences, la fuite d'électrolytes, la teneur relative en eau et la teneur en proline des jeunes plantules de haricot.

Résultats : les résultats obtenus montrent que le priming améliore le taux de germination et la qualité des semences de *P. vulgaris*. Les meilleurs résultats ont été enregistrés par les traitements à base d'H₂O, de CaCl₂ et d'hormone IAA et ce pour la majorité des paramètres mesurés.

Conclusion : le priming appliqué sur les graines du haricot améliore significativement la germination et la vigueur des semences. Il améliore ainsi le maintien du statut hydrique des plantules et empêche les dommages membranaires des cellules causés par le stress salin comparativement aux graines non traitées (Témoin).

Mots clés : Priming, germination, *Phaseolus vulgaris* L., fuite d'électrolyte, teneur relative en eau, proline salinité.

IMPROVED GERMINATION AND RESISTANCE OF BEAN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) TO SALINITY BY PRIMING TECHNIQUE

Abstract

Description of the subject: Priming is a pre-germinating seed treatment technique. It consists to soaking seeds with osmotic (osmopriming), hormonal (hormopriming), water (hydropriming) or even thermal (thermopriming) treatments. This allows the improvement of germination and growth under abiotic stress.

Objective: The aim of our work is to study the effect of priming on the germination performance of green bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) as well as on the tolerance of the primed seedlings to salt stress.

Methods: *Phaseolus vulgaris* L. seeds were primed before germination under salt stress conditions to assess the effect of priming on seed germination and vigour index, electrolyte leakage, relative water content and proline.

Results: Results show that priming improves germination rate and seed quality of *P. vulgaris* and the best results were recorded by the treatments T1 (H₂O), T3 (CaCl₂) and T5 (IAA) for the majority of studied parameters.

Conclusion: Priming applied to bean seeds improves seeds germination, seed vigour, enhances the RWC of seedlings, and prevents membrane damages caused by salt stress compared to untreated seeds (Control).

Keywords: Priming, germination, *Phaseolus vulgaris* L., electrolyte leakage; relative water content, salinity.

* Auteur correspondant : BAAZIZE Nawel, E-mail: hamidinawel1008@yahoo.fr

INTRODUCTION

La salinité du sol est un des facteurs du stress abiotique qui affectent négativement la germination, la croissance et la productivité de nombreuses cultures en raison des effets de toxicité osmotique et ionique [1]. La germination des semences est une étape cruciale dans le cycle de vie des végétaux supérieurs. Il est particulièrement important que les graines germent rapidement et uniformément, tolèrent des conditions de germination défavorables et produisent des plantules de bonne qualité pour une production agricole meilleure [2]. L'application d'un traitement prégerminatif permettra de modifier le déroulement de la germination, de rehausser la qualité des lots de graines et d'améliorer le développement et le rendement des espèces végétales [3]. Parmi les prétraitements les plus utilisés, il y a l'amorçage ou le priming. C'est une technique d'hydratation qui consiste à faire tremper les semences dans de l'eau ou dans une solution, dans des conditions qui ne permettent pas l'expansion de la radicule [4]. Ceci permettra l'activation de certains processus métaboliques prégerminatifs (physiologiques et chimiques). Ce trempage est suivi d'une déshydratation pendant une courte période jusqu'à ce que les graines reprennent leur poids initial d'avant le semis [5]. L'amorçage est un procédé agronomique pratique, principalement en cas de conditions environnementales défavorables, telles que les contraintes de stress salin et de stress thermique [6 et 7]. L'application de cette méthode améliore avec succès la germination des graines de nombreuses espèces agricoles, en particulier les espèces maraichères telles que la tomate et le haricot, et les espèces des grandes cultures telles que la betterave sucrière, l'orge, le maïs, le colza et le riz [8-11]. L'objectif de notre travail est d'étudier l'impact de la technique du

priming sur le pouvoir germinatif des graines du haricot « *Phaseolus vulgaris* L. variété El Djidida » et de leur croissance dans un milieu salin naturel avec le procédé hors sol.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Matériel végétal

Notre travail s'est porté sur des graines du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) variété Djadida, dont les semences proviennent de l'Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles (ITCMI) de Staouali, Algérie. Le choix de cette espèce repose essentiellement sur ses réactions rapides aux changements du milieu, sa sensibilité à la salinité et sa rapidité de croissance.

2. Protocole expérimental

2.1. Méthodes du priming

Les graines du haricot ont été trempées dans les solutions d'amorçage pendant une durée définie au préalable pour chaque traitement. Ensuite ces graines ont été retirées et rincées à l'eau distillée et déshydratées à 25°C jusqu'à ce qu'elles atteignent leur humidité initiale, c'est-à-dire le taux l'humidité qu'elles avaient avant le trempage [12].

2.2. Traitements utilisés pour le priming

Dans notre expérimentation, nous avons divisé les graines du haricot en six lots de semences. Le premier lot T0 (Témoin) n'ayant subi aucun traitement, le deuxième lot T1 ayant subi 3 heures d'hydropriming, qui consistait à tremper les semences dans de l'eau distillée. Le troisième, le quatrième et le cinquième lot ayant subi un osmopriming d'une concentration de 90 mmol/l de KCl, CaCl₂ et ZnSO₄, et ceci pendant une durée de 6h, 12h et 6h respectivement. Le dernier lot de semence a subi un hormopriming (qui consiste à imbiber les graines par une solution hormonale) par l'auxine (IAA) à 10 µmol pendant 24h.

Tableau 1 : Description des traitements utilisés

Traitements	Description	Concentration	Durée de trempage
T ₀	Témoin (aucun traitement)		/
T ₁	H ₂ O distillée		24h
T ₂	KCl	90 mmol / 2%	6h
T ₃	CaCl ₂	90 mmol / 1%	12h
T ₄	ZnSO ₄	90 mmol / 1,46%	6h
T ₅	Auxine (IAA)	10 µmol	24h

2.3. Essais de germination

Avant la mise en germination, les graines du haricot ont été désinfectées à l'hypochlorite de sodium à 2,5% pendant 10min, puis rincées rigoureusement à l'eau distillée pour éliminer les traces de chlore. Après avoir traité les lots de semence par les différentes concentrations du priming (trempage des graines dans les traitements). Les graines sont ensuite séchées sur papier filtre stérile avant d'être déposées dans des boîtes de Pétri de 90mm de diamètre tapissées de deux couches de papier filtre stérile

imbibées par une eau saline et mises dans une étuve à 25°C.

2.4. Composition de la solution d'irrigation

Pour la préparation de la solution saline, on a reconstitué l'eau d'Oued Cheliff qui est naturellement saline avec l'eau de Blida qui renferme des teneurs supérieures aux besoins de certaines espèces. On a apporté des éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale, tout en prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida.

Tableau 2 : Composition de l'eau saline reconstituée à partir de l'eau de Blida en meq/l

Élément	K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	pH
Eau de Blida	00	2,80	1,30	1,80	00	0,35	0,80	0,60	4,08	7,52
Éléments ajoutés	0,35	6,45	8,60	7,40	-	-	8,55	14,26	-	-
Eau de Oued Chleff	0,35	9,25	9,90	9,20	00	0,35	9,35	14,86	4,08	7,8

3. Analyses statistiques

Les résultats obtenues ont été traités par analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel STATGRAPHICS-CENTURION XVI (version 16.1.18) et les moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

RÉSULTATS

1. Taux de germination

Les résultats de la figure 1 illustrent l'effet des priming sur le pourcentage de la germination des graines du haricot vert (*Phaseolus vulgaris* L.) dans des conditions de stress salin.

L'analyse de la variance a révélé une différence significative ($p < 0,01$) du facteur traitement sur le taux de germination des graines. Les résultats obtenus montrent que le prétraitement par l'auxine (T5) et par le CaCl₂ (T3) a donné le pourcentage de germination le plus important avec un taux de 100% et 90% respectivement, suivis par les traitements T1 (H₂O distillée) et T4 (ZnSO₄) avec un pourcentage de graines germées de 85 et 80% respectivement, et ceux en comparaison avec le témoin non traité (T0) qui a révélé la moyenne de taux de germination le plus faible avec une valeur de 66,66%.

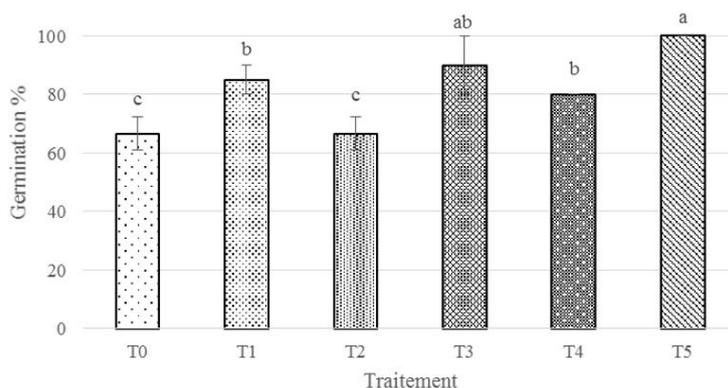


Figure 1 : Variation des taux de germination des graine du *Phaseolus vulgaris* L. sous stress salin

2. Index de vigueur des semences

Les résultats présentés dans la figure 2 montrent que la technique de priming améliore la performance des graines traitées après plantation dans un milieu salin et cela par l'augmentation de l'index de vigueur des semences qui représente le rapport entre la taille

des plantules et le taux de germination. L'analyse statistique indique une différence significative ($p < 0,01$) entre les prétraitements des graines sur l'index de vigueur des semences du haricot vert plantées dans des conditions de stress salin.

L'index de vigueur le plus important est observé chez les semences prétraitées par l'auxine (T5) et par le CaCl_2 (T3) avec les valeurs de 602,1 et 538,11 respectivement, suivis par les semences amorcées par l'eau distillée (T1) avec une valeur de 482,55.

En revanche, l'osmoprimum par le ZnSO_4 (T4) a donné la performance des semences la plus faible et inférieure à celle enregistrée par les semences non traitées (T0) avec une moyenne d'index de vigueur de 88,14 et 103,89 respectivement.

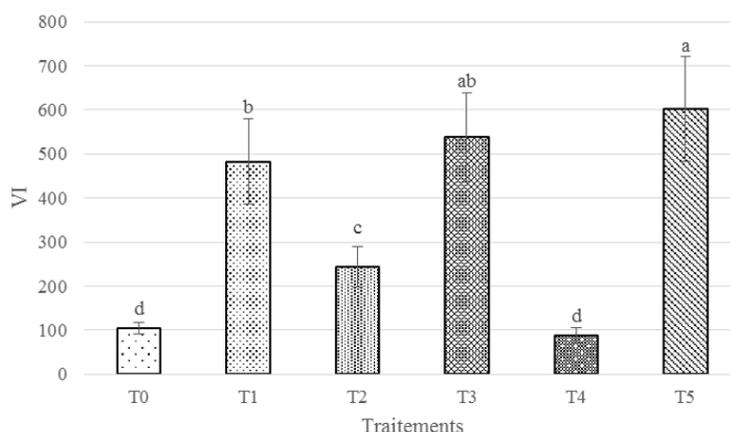


Figure 2 : Variation des moyennes de l'index de vigueur des semences du *Phaseolus vulgaris* L. sous stress salin

3. Fuite d'électrolytes (EL)

Les résultats obtenus et nos analyses statistiques indiquent que les traitements prégerminatifs permettent une amélioration de la structure membranaire des cellules des plants irrigués par une solution saline naturelle par l'inhibition de la libération des électrolytes. Sous l'effet du stress salin, les résultats de la figure 3 montrent que le priming par le ZnSO_4 (T4) n'a pas d'effet sur le paramètre mesuré, avec un pourcentage de la fuite des électrolytes semblable à celui

enregistré chez les plantes issues des graines non traitées (T0) avec un taux de 71 et 73,43% respectivement, suivi par les plantes issues du traitement T2 (KCl) avec une fuite de 62,18%. En revanche, les taux de fuite d'électrolytes les plus faibles sont obtenus chez les plantes issues des graines amorcées par l'auxine (T5), le CaCl_2 (T3) et l' H_2O distillée (T1), avec des pourcentages de 48,4%, 51,38% et 53,56% respectivement.

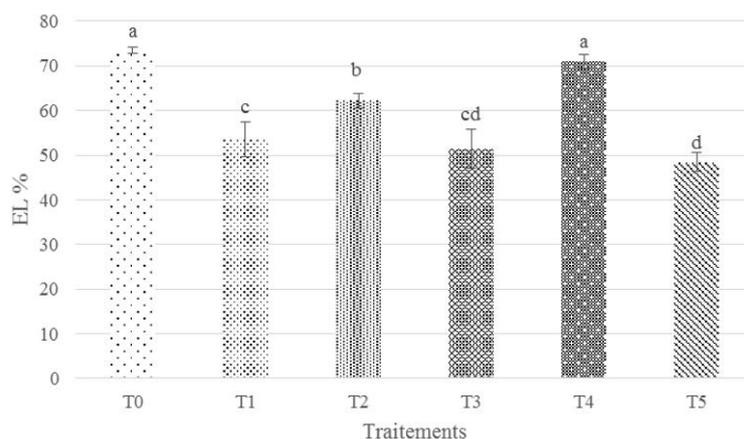


Figure 3 : Variation des moyennes de fuite d'électrolytes chez les plantes du *Phaseolus vulgaris* L. sous stress salin

4. Teneur relative en eau (RWC)

La teneur relative en eau est un excellent indicateur, très utilisé pour mettre en évidence l'état du statut hydrique d'une plante. Les résultats de la figure 4 montrent que le prétraitement des graines affecte positivement l'état hydrique des plantes du haricot

(*Phaseolus vulgaris* L.) irriguées par une eau saline naturelle. L'analyse de la variance a révélé une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les différents traitements sur la teneur relative en eau des plantes. Les valeurs de la teneur en eau les plus importantes sont remarquées chez les plantes issues des graines

prétraitées par le CaCl_2 (T3), l' H_2O distillée (T1) et l'auxine (T5) avec une teneur de 67,57%, 65,87% et 65,22% respectivement, suivi par les plantes amorçées par le KCl (T2) et ZnSO_4 (T4) avec une teneur de 58%.

En revanche, la salinité diminue le statut hydrique des plantes issues des graines non traitées (T0) qui enregistrent la teneur en eau la plus faible (46,18%).

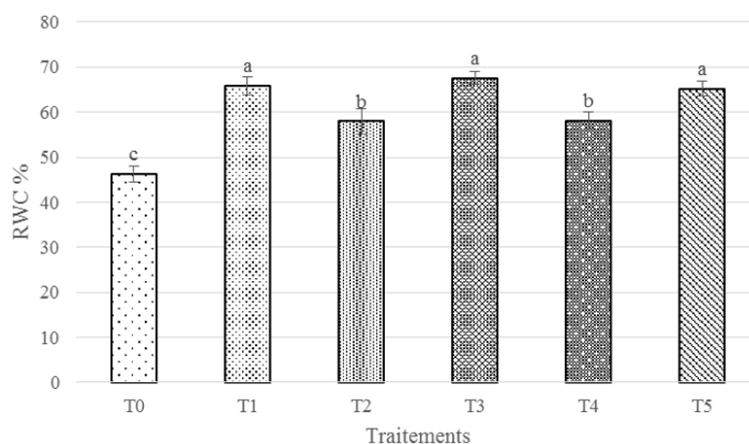


Figure 4 : Variation des moyennes de la teneur relative en eau des plantes du *Phaseolus vulgaris* L. sous stress salin

5. Teneur en proline

Les résultats obtenus dans notre expérimentation (Fig. 5) montrent que l'amorçage a un effet positif sur l'accumulation de la proline qui est considérée comme métabolite du stress chez les plantes supérieures. L'analyse de la variance des résultats a révélé une différence hautement significative ($p < 0,01$) du priming sur l'accumulation de la proline dans les feuilles du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.). La teneur en proline la plus faible est enregistrée au niveau des plantes issues des graines non traitées (T0) et les plantes amorçées par le ZnSO_4 (T4) avec

une valeur de 0,044 $\mu\text{g/gMF}$ pour les deux traitements. Par contre, les plantes issues des graines qui ont subi un amorçage, accumulent plus de prolines dans leurs tissus par rapport aux plantes témoins. Les teneurs de la proline les plus élevées sont données par les traitements T1 (H_2O distillée), T5 (auxine) et T3 (CaCl_2) avec les moyennes de 0,0661, 0,0653 et 0,060 $\mu\text{g/gMF}$ respectivement. Tandis que, une légère augmentation de l'accumulation de proline est enregistrée chez les plantes issues des graines prétraitées par le KCl (T2) avec une teneur de 0,0494 $\mu\text{g/gMF}$.

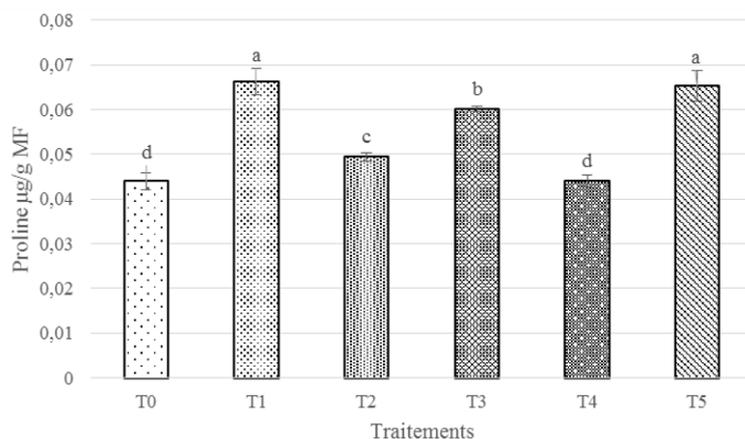


Figure 5 : Variation des moyennes de la teneur en proline des plantes du *Phaseolus vulgaris* L. sous stress salin

DISCUSSION

D'après les résultats obtenus dans notre étude, nous constatons que, quel que soit le type de prétraitement, le priming améliore le pouvoir germinatif et la performance des plantules après

transplantation des semences du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) dans un milieu salin naturel. Généralement, lorsque les graines sont soumises à des contraintes abiotiques, des faibles taux de germination sont attendus [13].

L'application des prétraitements aux graines augmente ces aptitudes à germer surtout en cas d'utilisation des eaux salines pour l'irrigation [14]. Nos résultats sont en accord avec ceux de Miladinov et al. [15] qui ont confirmé que l'hydropriming (H_2O), l'osmopriming (KNO_3) et l'hormopriming améliorent la germination et la vigueur des semences du soja (*Glycin max* L.). Wang et al. [16], ajoutent que le prétraitement des graines améliore de 60% le taux de germination par une accumulation de douze protéines nécessaires à la germination. Gerra et al. [14], affirment que l'utilisation de l'hormopriming comme traitement des graines est bénéfique pour la germination et la vigueur des plantules dans des conditions du stress abiotique. En effet, les graines qui ont subi un prétraitement présentaient une imbibition plus rapide que les graines non amorcées. Dans cette tendance, Nagarajan et al. [17], ont également signalé que l'amélioration de la germination par la technique de priming pourrait être directement liée à la modification des relations entre les semences et l'eau. En outre, l'étude de Salah et al. [18], a suggéré que les vacuums créés à l'intérieur de la graine suite à l'amorçage ont facilité le débit d'eau et contribué ainsi à l'hydratation des tissus et par conséquent le déclenchement du processus de la germination. En effet, la vigueur des semences est un élément important de la qualité des graines et ses niveaux satisfaisants sont nécessaires en plus des critères de qualité traditionnels d'humidité, de pureté, de germination et de la santé des semences pour obtenir un support végétal optimal et une production élevée de cultures [18-20]. La fuite d'électrolyte est une caractéristique de la réponse au stress dans les cellules végétales intactes. Ce phénomène est largement utilisé comme un test pour les blessures des tissus des plantes causés par le stress et une mesure de la tolérance du végétal aux stress [21]. Dans notre expérimentation, l'indice de stabilité membranaire (EL) des feuilles du haricot (*P. vulgaris* L.) a été affecté par la salinité et le priming ($p < 0,05$), ce qui indique l'effet positif de l'hormopriming (T5), l'hydropriming (T1) et l'osmopriming (T3) sur la résistance des plantes à la salinité. Puisque la membrane est la première ligne de défense, car elle dispose de nombreux capteurs sensibles qui aident la plante à activer son mécanisme de défense bien à l'avance contre les stress,

l'intégrité de la membrane est l'un des paramètres les plus importants pour la résistance des plantes dans les conditions défavorables [22]. Nos résultats sont en accord avec les résultats obtenus par Mahmoudi et al. [23], qui montrent que les plantes de laitue issues des graines qui ont subi un hydropriming et un osmopriming présentent des valeurs de fuite d'électrolytes très faibles par rapport aux plantes non amorcées à une concentration de 200mM de NaCl. Les travaux de Ma et al. [24], sur les mécanismes d'adaptation de l'orge à la salinité indiquent que la fuite d'électrolytes et les dommages membranaires sont induits par la salinité, et les valeurs de la fuite d'électrolytes sont en corrélation positive avec l'intensité du stress salin. Par conséquent, la stabilité de la membrane a entraîné une diminution des fuites d'électrolytes de ses tissus sous stress salin [25]. La teneur relative en eau (RWC) a été utilisée comme méthode efficace pour calculer la tolérance des plantes au stress salin [26]. Dans notre étude, la salinité diminue la teneur relative en eau des feuilles du haricot (*P. vulgaris* L.) surtout pour les plantes issues des graines non traitées (T0). Cela a vérifié les résultats déjà rapportés qu'une baisse de la teneur relative en eau du maïs et de l'orge sous stress salin [27 et 28]. L'amorçage par l' H_2O distillée, le $CaCl_2$ et l'IAA (auxine) a augmenté la teneur relative en eau des feuilles du haricot ce qui a montré que ces prétraitements pourraient jouer un rôle important dans la relation eau/haricot sous stress salin et maintenir la capacité de rétention d'eau des plantes pour lutter contre la salinité. Cela permet de maintenir un potentiel hydrique élevé qui est considéré comme un mécanisme développé par la plante pour éviter la déshydratation [29]. Les travaux de Shah et al. [30], sur le priming par les nanoparticules et l'hydropriming affirment que la technique du priming améliore significativement la teneur relative en eau du *Zea mays* L. sous stress salin. La proline est une molécule à plusieurs fonctions vitales. L'augmentation de sa concentration et son accumulation dans les cellules végétales permet la régulation du potentiel osmotique, l'élimination des radicaux libres, le maintien de l'intégrité de la membrane et la réponse adaptative au stress abiotique comme la salinité [31]. En tant qu'osmolyte, la proline a un rôle dans les réponses des plantes aux stress abiotiques, y compris la transduction des signaux, l'osmorégulation et l'activation du système antioxydant [32].

Dans le présent travail de recherche, l'accumulation de proline dans les feuilles du haricot (*P. vulgaris* L.) est plus élevée chez les plantes issues des graines amorcées sous stress salin. Ce qui est en accord avec des travaux précédents sur ce sujet. Le priming par l'auxine et le H₂O distillée augmente considérablement la teneur en proline dans les feuilles du haricot (figure 5) sous stress salin, ce qui montre que ces prétraitements soulagent le stress salin en augmentant la production de proline et en réduisant sa dégradation [31 et 33]. Ces résultats sont en parfait accord avec les travaux de Shah et al. [30] qui montrent que le priming a un effet positif sur l'accumulation de la proline chez les plantes ce qui permet leurs adaptations à la salinité et les valeurs réduites de la fuite d'électrolytes prouvent que cet acide aminé est impliqué dans la stabilité membranaire des cellules. Les valeurs faibles de la proline chez les plantes issues des graines non traitées (T0) indiquent que le haricot est une espèce sensible à la salinité. Demiral et Türkan [34] et Muzammil et al. [35], confirment que l'accumulation de proline dans des plantes stressées par le sel est une réponse de défense essentielle pour maintenir la pression osmotique dans une cellule, ce qui caractérise les cultivars tolérants.

CONCLUSION

Les résultats obtenus dans notre étude montrent que la salinité provoque une réduction du taux de germination et conduit à une altération de la croissance des plantules, diminue la teneur relative en eau et cause des dommages au niveau des membranes cellulaires des plantes du haricot (*P. vulgaris*). La technique du priming et particulièrement l'hydropriming (H₂O distillée) et l'hormoprimer (IAA) ont un effet positif sur le taux de germination et la qualité (vigueur) des semences. Ces derniers ont diminué l'effet néfaste du stress salin sur le haricot par l'accumulation élevée de la proline, le maintien de la turgescence, le statut hydrique et une stabilité membranaire par la diminution de la fuite d'électrolytes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Khajeh H.M., Powell A.A. & Bingham I.J. (2003). The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soybean seeds. *Seed Sci. Technol.* 31(3): 715-725.
- [2]. Cheng Z. & Bradford K.J. (1999). Hydrothermal time analysis of tomato seed germination responses to priming treatments. *J. Exp. Bot.*, 330: 89-99.
- [3]. Gaudreault M. (2005). Amorçage et séparation des graines d'épinette noire (*Picea mariana* [mill.] B.s.p.) : Amélioration de la germination des lots de semences forestières. Mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi comme exigence partielle de la maîtrise en ressources renouvelables, Québec. p. 99.
- [4]. Bradford K.J., Steiner J.J. & Trawatha S.E. (1990). Seed priming influence on germination and emergence of pepper seed lots. *Crop Science*, 30 : 718-721.
- [5]. Farooq M., Basra S.M.A., Afzal I. & Khaliq A. (2006). Optimization of hydropriming techniques for rice seed invigoration. *Seed Sci. Technol.*, 34: 507-512.
- [6]. Dezfuli P., Sharif-Zadeh F. & Janmohammadi M. (2008). Influence of priming techniques on seed germination behavior of maize inbred lines (*Zea mays* L.). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 3: 22-25.
- [7]. Wahid A. & Shabbir A. (2005). Induction of heat stress tolerance in barley seedlings by presowing seed treatment with glycine betaine. *Plant Growth Regulation*, 46: 133-141.
- [8]. Arif M., Jan, M.T., Marvat K.B. & Khan M.A. (2007). Seed priming improves emergence and yield of soybean. *Pakistan Journal of Botany*, 40: 1169-1177.
- [9]. Sadeghian S.Y. & Yavari N. (2004). Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet. *Journal Agronomy and Crop Science*, 190: 138-144.
- [10]. Abdulrahmani B.K., Ghassemi-Golezani K., Valizadeh M. & Feizi-Asl V. (2007). Seed priming and seedling establishment of barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5: 179-184.
- [11]. Ghassemi-Golezani K., Jabbarpour S., Zehtab-Salmasi S., Mohammadi A. (2010). Response of winter rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars to salt priming of seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 5: 1089-1094.
- [12]. Ahmadvand G., Soleimani F., Bijan Saadatian B. & Pouya M. (2012). Effects of seed priming on germination and emergence traits of two soybean cultivars under salinity stress. *J. Basic Appl. Sci. Res.* 3: 234-241.
- [13]. Marcos-Filho J. (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2. Ed. Londrina: ABRATES, pp. 660.
- [14]. Guirra K.S., Torres S.B., Leite M.S., Guirra B.S., Nogueira Neto F.A. & Rêgo A.L.B. (2020). Phytohormones on the germination and initial growth of pumpkin seedlings under different types of water. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 24(12): 827-83.
- [15]. Miladinov Z., Balešević Tubić S., Đorđević V., Đukić V., Ilić A. & Čobanović L. (2014). Effect of Soybean Seed Priming on Germination and Vigour Depending on the Seed Lot and Sowing Date. *Ratar. Povrt.* 51(2): 110-115.
- [16]. Wang W.Q., Song B.Y., Deng Z.J., Wang Y., Liu S.J., Møller I.M. & Song S.Q. (2015). Proteomic Analysis of Lettuce Seed Germination and Thermoinhibition by Sampling of Individual Seeds at Germination and Removal of Storage Proteins by Polyethylene Glycol Fractionation1. *Plant Physiol.* 167: 1332-1350

- [17]. Nagarajan S., Pandita V.K., Joshi D.K., Sinha J.P. & Modi B.S. (2005). Characterization of water status in primed seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) by sorption properties and NMR relaxation times. *Seed Sci. Res.* 15: 99–111.
- [18]. Salah S., Yajing G., Dongdong C., Li Jie L., Nawaz Aamir N., Qijuan H., Weimin H., Ning Mingyu N. & Jin H. (2015). Seed priming with polyethylene glycol regulating the physiological and molecular mechanism in rice (*Oryza sativa* L.) under nano-ZnO stress. *Sci Rep* 5: 14278.
- [19]. Febri D., Anizan I., Che Z., Ahmad S., Muhammad H. & Wan Y. (2014). Enhancement of Rice Seed Germination and Vigour by *Trichoderma* spp.. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology.* 7 : 4547-4552.
- [20]. Eskandari H. & Alizadeh-Amraie A. (2014). Improvement of lentil germination performance under salt and drought conditions using seed priming treatments. *Seed Sci. & Technol.*, 42: 87-91.
- [21]. Demidchik V., Straltsova D., Medvedev S.S., Pozhvanov G.A., Sokolik A. & Yurin V. (2014). Stress-induced electrolyte leakage: the role of K⁺-permeable channels and involvement in programmed cell death and metabolic adjustment. *Journal of Experimental Botany*, 65(5): 1259–1270.
- [22]. Dastborhan S., Ghassemi-Golezani K. (2015). Influence of seed priming and water stress on selected physiological traits of borage. *Folia Hort.* 27(2): 151-159.
- [23]. Mahmoudi H., Ben Massoud R., Baatour O, Tarchoune I, Ben Salah I, Nasri N, Abidi W., Kaddour R., Hannoufa A., Lachaâl M. & Ouerghi Z. (2012). Influence of different seed priming methods for improving salt stress tolerance in lettuce plants. *Journal of Plant Nutrition*, 35(12): 1910-1922.
- [24]. Ma Y., Wang P., Chen Z., Gu Z., Yang R. (2019). NaCl stress on physio-biochemical metabolism and antioxidant capacity in germinated hullless barley (*Hordeum vulgare* L.). *J. Sci. Food Agric.*, 99: 1755-1764.
- [25]. Elsayy H.I.A., Mekawy A.M.M., Elhity M.A., Abdel-dayem S.M., Nagy Abdelaziz M., Assaha D.V.M., Ueda A. & Saneoka H. (2018). Differential responses of two Egyptian barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 127: 425-435.
- [26]. Suriya-arunroj D., Supapoj N., Toojinda T. & Vanavichit A. (2004). Relative leaf water content as an efficient method for evaluating rice cultivars for tolerance to salt stress. *Sci. Asia*, 30:411–415.
- [27]. Abbasi G.H., Akhtar J., Anwar-ul-Haq M., Ali S., Chen Z. & Malik W. (2014). Exogenous potassium differentially mitigates salt stress in tolerant and sensitive maize hybrids. *Pak. J. Bot.* 46: 135–146.
- [28]. Temel A. & Gozukirmizi N. (2015). Physiological and Molecular Changes in Barley and Wheat Under Salinity. *Appl Biochem Biotechnol* 175 : 2950–2960.
- [29]. Houasli C., Nasserlhaq N., Elboughmadi K., Mahboub S. & Sripada U. (2014). Effet du stress hydrique sur les critères physiologiques et biochimiques chez neuf génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Revue « Nature & Technologie ».* B- Sciences Agronomiques et Biologiques, 11 : 08 - 16.
- [30]. Shah T., Latif S., Saeed F., Ali I, Ullah S., Abdullah Alsahli A., Jan S. & Ahmad P. (2021). Seed priming with titanium dioxide nanoparticles enhances seed vigor, leaf water status, and antioxidant enzyme activities in maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Journal of King Saud University - Science*, V33, Iss 1, 101207: 01-07
- [31]. Kishor P.B.K. & Sreenivasulu N. (2014). Is proline accumulation per se correlated with stress tolerance or is proline homeostasis a more critical issue? *Plant, Cell Environ.* 37: 300–311.
- [32]. Kesari R., Lasky J.R., Villamor J.G., Des Marais D.L., Chen Y.J., Liu T.W., Lin W., Juenger T.E. & Verslues P.E. (2012). Intron-mediated alternative splicing of Arabidopsis P5CS1 and its association with natural variation in proline and climate adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109: 9197-9202.
- [33]. Mehr Z., Khajeh H., Bahabadi S.E. & Sabbagh S. (2012). Changes on proline, phenolic compounds and activity of antioxidant enzymes in *Anethum graveolens* L. under salt stress. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 3: 710–715.
- [34]. Demiral T. & Türkan İ. (2005). Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.*, 53: 247-257.
- [35]. Muzammil S., Shrestha A., Dadshani S., Pillen K., Siddique S., Léon J. & Naza A.A. (2018). An Ancestral Allele of Pyrroline-5-carboxylate synthase1 Promotes Proline Accumulation and Drought Adaptation in Cultivated Barley. *Plant Physiol.* 178: 771–782.