

Effet du stress salin sur le comportement physiologique du piment de Cayenne (*Capsicum frutescens*)

F. MANI*ET C. HANNACHI

Institut Supérieur Agronomique Chott Mariem. Laboratoire des Sciences Horticoles et de Culture in Vitro, Chott Mariem, Sousse, 4042, Tunisia

* Corresponding author: ferdaousmani78@yahoo.fr

Abstract - In this essay 5 varieties of chili pepper: Tébourba, Souk Jedid, Somâa, Korba and Awled Haffouz are grown in pots for 3 months (March to May) and sprinkled with water containing NaCl (0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 g / l). The results showed that increasing the salt stress affects the growth of the plant for all varieties by reducing the length of roots, plant height, leaf number, leaf area and biomass production (Fresh and dry matter of roots). We notice that more water is loaded in salt (12 g / l) more the synthesis of chlorophylls a and b is reduced. Furthermore, the mineral analysis indicated that roots are enriched in Na⁺ deplete and simultaneously Ca²⁺ and K⁺. Consequently, we conclude that the Korba variety is the most tolerant to salt stress (12 g / l Na⁺ = 4.13 meq / g DM, K⁺ 0.33 meq / g DM, Ca²⁺ = 0.55 meq / g DM).

Key words :Chili pepper,salt stress, physiology,mineral analysis.

Résumé - Dans cet essai 5 variétés de piment de Cayenne : Tébourba, Souk Jedid, Somâa, Korba et Awled Haffouz sont cultivées en pots durant 3mois (de Mars à Mai) et arrosées d'eau chargée en NaCl (0, 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l). Les résultats obtenus ont montré que l'augmentation du stress salin affecte la croissance de la plante chez toutes les variétés en diminuant la longueur des racines, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles, la surface foliaire et la production de biomasse (matières fraîches et sèches des racines). En effet, plus l'eau est chargée en sel (12 g/l), plus la synthèse des chlorophylles a et b est diminué. Outre, l'analyse minérale a montré que les racines s'enrichissent en ions Na⁺ et s'appauvrissent simultanément en ions Ca²⁺ et K⁺. Il ressort de ces résultats que la variété Korba est la plus tolérante au stress salin (à 12 g / l, Na⁺ = 4.13 meq/g MS, K⁺ 0.33 meq/g MS, Ca²⁺ = 0.55 meq/g MS).

Mots clés : Piment de Cayenne, stress salin, physiologie, analyse minérale.

1. Introduction

Le Piment est un légume cultivé partout dans le monde et dont l'importance dans l'alimentation humaine est capital (Jin *et al.*, 2009 ; Dias *et al.*, 2013 ; Wahyuni *et al.*, 2013). Le piment du genre *Capsicum* compte plus de 25 espèces dont seulement cinq (*C. annum* L., *C. chinense* Jacq., *C. frutescens* L., *C. baccatum* L. et *C. pubescens* Garder.) sont les plus cultivées (Bosland *et al.*, 2000 ; Costa *et al.*, 2009). Les problèmes dus aux croisements interspécifiques naturels entravent la caractérisation des formes intermédiaires, ainsi on se limite généralement à définir quatre groupes qui sont: groupe chinense, groupe *frutescens*, groupe *annuum* et le groupe de poivron. Le Piment est consommé frais, séché ou en poudre. Ce fruit est riche en protéines, lipides, glucides, fibres, sels minéraux (Ca, P, Fe) et en vitamines A, D3, E, C, K, B2 et B12. Certes, le piment est une excellente source de composés phytochimiques liés à la santé, tels que l'acide ascorbique (vitamine C), les caroténoïdes (provitamine A), tocophérols (vitamine E), flavonoïdes, et capsaïcinoïdes qui sont très importants dans la prévention des maladies chroniques telles que le cancer, l'asthme, la toux, des maux la gorge, les maux de dents les maladies cardiovasculaires et le diabète (Zhang *et al.*, 2012). En effet, de nombreuses recherches confirment que la consommation de piment frais facilite la digestion des féculents (Bhattachayara *et al.*, 2010 ; Dansi *et al.*, 2010). De plus, il



a été constaté que piment possède des propriétés antioxydantes, anti-mutagenèse, hypocholestérolémiantes et propriétés immunosuppressives ; il inhibe également la croissance bactérienne et l'agglomération des plaquettes. D'autres travaux indiquent que le piment est l'une des épices qui génèrent d'énormes revenus pour les producteurs et contribue à la réduction de la pauvreté et l'amélioration de statut social des femmes (Oboh *et al.*, 2010). Cela dit, le piment reste dans de nombreux pays une culture marginale qui est rarement une priorité nationale en termes de développement agricole (FAO, 2010). De plus, sa culture est encore très traditionnelle et fait face à de nombreux stress biotiques (ravageurs, maladies) et abiotiques (sécheresse, salinité) qui causent de graves pertes de rendement (Othman *et al.*, Zhuang *et al.*, 2012). Dans les pays en développement et en particulier dans les régions semi-arides et arides comme la Tunisie, la salinité est le principal facteur qui réduit le rendement et ses composantes. Dans ce contexte, l'utilisation de variétés résistantes ou adaptées est recommandé (Alvarez *et al.*, 2011). En revanche, une bonne connaissance de la diversité variétale existante et des performances agronomiques des variétés locales est nécessaire pour améliorer le rendement (Nascimento *et al.*, 2013). En Tunisie, le piment est culture stratégique. Il est cultivé en plein air et sous serre. Toutefois, cette culture fait face à plusieurs contraintes dont essentiellement la salinité. Dans ce contexte, cette étude a été menée dans le but de tester la tolérance au sel (Na Cl) de cinq variétés locales de Piment de Cayenne.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Site expérimental

L'essai a été réalisé sous serre à l'Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem. La région de Chott Mariem est caractérisée par un climat méditerranéen. Elle se situe dans l'étage bioclimatique semi-aride qui est caractérisé par un hiver doux et court et un été frais. La température moyenne est de l'ordre de 19°C, variant de 20°C au mois de Mars à 26°C au mois de Mai. Les vents dominants provenant du Nord et Nord-Ouest. Ces vents sont froids vers la fin d'automne et pendant la période hivernale. Le sirocco souffle à partir du mois d'Avril jusqu'à Septembre à raison de 20j/ an en moyenne. L'humidité relative dépend en particulier de la température ; elle peut dépasser 80 % lors des passages d'orages. Mais, elle chute brusquement jusqu'à 20% en cas de sirocco. L'humidité relative dans cette région est généralement élevée (60 – 70%). L'eau provient du barrage de Nabhanna (Délégation Chbika ; Gouvernorat de Kairouan) et qui se caractérise par une salinité de l'ordre de 1g/l et un pH de 6,7. Le sol est de texture sablo-argileux, pauvre en matière organique et riche en calcaire. Sa capacité de rétention est de 12% et son point de flétrissement est d'environ 8.

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de graines de 5 variétés de piment de Cayenne collectées de cinq régions de la Tunisie : Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz, Souk Jédid. Ces semences proviennent des plantes cultivées dans la région de Chott Mariem après avoir été séchées.

2.3. Conduite de la culture

Afin d'étudier le comportement des différentes variétés de piment de Cayenne vis-à-vis la salinité (NaCl), un essai a été réalisé sous serre de 170m² (20m * 8.5m) couverte par un film plastique Poyéthylène basse densité et cimentée à ses côtés. Ainsi, des gaines des 5 variétés ont été semées dans des pots en plastique (20*25cm) remplis de tourbe, terre végétale et sable (1/3 : 1/3 : 1/3) et du gravier. Ces pots sont été repartis sous des briques et on compte 5 graines par pot. Une fois les graines sont germées, on garde une seule plante sur laquelle on continue l'essai. L'irrigation a été faite à raison de 3 fois par semaine avec de l'eau chargée en NaCl (0, 2, 4, 6, 8, 10 et 12g/l) pendant deux mois (Avril et Mai). Au cours de la culture, les plantes n'ont été pas fertilisées mais on été traitées par le Talastar (80 cc/hl) préventivement et curativement contre les pucerons à l'aide d'un pulvérisateur à dos.

2. 4. Paramètres mesurés

Les paramètres réalisés ont concerné la hauteur de la plante, le nombre de feuilles, la longueur de la première ramification, et la longueur de la racine. La surface foliaire est mesurée par un planimètre de

type Area Mètre Model 3100. Aussi, la biomasse fraîche des racines est faite à l'aide d'une balance numérique, ainsi que la matière sèche après séjours de 48 h dans une étuve à 80°C. Aussi, le teneur en chlorophylles est déterminée comme suit : on commence par la pesée de 0,1g de feuilles, coupé en petits morceaux et broyé dans un mortier avec 10ml d'acétone 80% (CH₃COCH₃) et une pincée de sable pour faciliter le broyage. Après broyage, la solution est filtrée et conservée à l'obscurité dans des boîtes noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière. Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution qu'on met dans une cuve dans un spectrophotomètre de type UV-visible spectrophotomètre. La lecture se fait à deux longueurs d'ondes 645 et 663 nm, l'étalonnage de l'appareil se fait par la solution témoin d'acétone 80 %. Le calcul sera comme suit (Porra, 2002) :

$$\text{Chla} = 12,7 (\text{DO } 663) - 2,69 (\text{DO } 645)$$

$$\text{Chlb} = 22,9 (\text{DO } 645) - 4,86 (\text{DO } 663)$$

$$\text{Chla} + \text{Chlb} = 8,02 (\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645)$$

Enfin, après séchage des divers organes de la plante dans une étuve à 80°C pendant 48h, l'échantillon du broyat obtenu est mis dans des piluliers contenant 25 ml d'acide nitrique 0,1N. L'extraction des ions a lieu à la température ambiante du laboratoire pendant au moins 48h. Après filtration, les cations K⁺ et Na⁺ sont dosés par spectrophotométrie de flamme en émission.

2.5. Protocole expérimental

L'essai est conduit en blocs aléatoires complets avec trois traitements : la variété à 5 niveaux (Tébourba, Korba, Somâa, Awlad Haffouz et Souk Jedid) et la concentration de NaCl à 7 niveaux (0, 2, 4, 6, 8, 10 et 12g/l). Chaque traitement est répétés trois fois soit 35 plantes au total.

2.6. Analyses statistiques

Pour dégager les effets du traitement salin sur les différentes variétés étudiées, nous avons procédé à l'analyse de la variance avec le logiciel « SPSS for Windows version 10.00 » et la comparaison de la moyenne a été effectuée par le test Duncun au seuil de 5%.

3. Résultats

3.1. Surface foliaire

D'après le tableau 1, on remarque que le stress salin agit sur la surface foliaire chez la plante de piment. En effet, en condition témoin, la surface foliaire varie de 10.93 cm² chez le cas de la variété Souk-Jdid à 20.26 cm² chez la variété Tébourba. En ajoutant le sel, la surface foliaire diminue à 9,89 et 17.11 cm² respectivement chez la variété Souk-Jédid et Tébourba. Cette chute augmente au fur et à mesure qu'on augmente la dose de NaCl dans l'eau. A la plus forte concentration, la surface de la feuille ne dépasse pas 1,5 cm² chez Souk-Jédid, 2.5 cm² chez Awlad Haffouz et 5.39 cm² chez Tébourba. L'effet variétal ainsi que le stress salin sont hautement significatif.

Surface foliaire (cm ²)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	20.26*	17.11	15.11*	8.47	7.81	6.27*	5.39*
Somâa	16.31*	13.47	8.91	9.65	7.74	6.61	2.72
Korba	18.17*	17.51	13.85	10.23*	8.43	5.29*	4.56*
Awled Haffouz	22.86*	18.73*	14.47	13.37	9.29	8.53	2.58
Souk Jédid	10.93	9.89	9.33	7.71	5.18	4.10	1.51

*Différence significative au seuil de p ≤ 0.05

3.2. Nombre de feuilles

Le Tableau 2 nous montre que la salinité agit sur le nombre de feuille chez la plante de piment. En condition témoin, le nombre varie de 18 feuilles chez la variété Tébourba à 27 feuilles chez la variété Souk-Jédid. En additionnant le sel, le nombre diminue légèrement à la concentration 2g/l de NaCl dans l'eau. Cette diminution devient plus significative avec l'augmentation du stress. En effet à la plus forte concentration (12g/l) la plante n'émet que 9 feuilles chez la variété souk Jdid soit une différence de 66%.

Tableau 2 : Nombre de feuilles chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Nombre de feuilles	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	18	17	17	15	15	14	10
Somâa	26*	22	19*	17	16	15	12
Korba	21	21*	18	18	17	15	11
Awled Haffouz	25*	19*	20*	16	16	14	12
Souk Jédid	27	34	25	17	16	17	9

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.3. Longueur de la première ramification

On constate d'après le Tableau 3 que la longueur de la tige augmente significativement lorsque la concentration de sel augmente dans l'eau d'irrigation. En effet, dès qu'on ajoute du sel dans l'eau d'irrigation (2g/l), la longueur de la tige augmente à 2,99 ; 3,7 ; 3,66 ; 3,73 et 3,26 cm respectivement chez la variété Tébourba, Somâa, Korba et Souk- Jédid par rapport au témoin. Cette diminution est encore plus prononcée surtout à la plus forte concentration. Chez toutes les variétés : cet effet significatif réalisé est prononcé surtout chez la variété Tébourba (31%).

Tableau 3 : Longueur de la tige (cm) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Longueur de la tige (cm)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	2.81	2.99	2.51	3.13	3.26	3.52	3.91
Somâa	3.27*	3.75	3.54	3.61	3.96	4.15	4.43
Korba	3.13	3.66	3.63	3.76	4.17	3.94	4.92
Awled Haffouz	3.64*	3.73	3.78	3.89	4.25	4.67	5.03
Souk Jédid	2.18*	3.26	3.89	3.97	4.32	4.38	4.81

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.4. Hauteur de la plante

La détermination de la hauteur de la plante chez les 5 variétés du piment de Cayenne étudié à la différente concentration de NaCl montre une différence significative aussi bien de la variété que du degré de stress. En effet, en condition témoin, la plante mesure entre 22.6 cm (variété Somâa) 31 cm (variété Awlad Haffouz). En irrigant avec une eau chargée (2g/l), la hauteur de la plante diminue légèrement pour atteindre sa valeur la plus faible à la plus forte concentration ou la hauteur plante ne dépasse pas 13.3 cm chez la variété Korba enregistre une diminution de l'ordre de 56% (Tableau 4).

Tableau 4 : Hauteur de la plante (cm) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Hauteur de la plante (cm)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	24.9	24.5	17.8	15.9	14.2	13.2	11.3
Somâa	22.6*	23.7	22.1	21.7	20.2	17.3*	12.4
Korba	28.7	22.9	26.3	13.3	11.9	11.7	13.3
Awled Haffouz	31.4	28.3	21.5	20.4	16.7	15.6	14.9
Souk Jédid	29.3	27.1*	26.6*	22.1	15.1	14.4	10.2

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.5. Longueur de la racine principale

D'après le Tableau 5, on remarque que le milieu dépourvu de sel, la longueur de la racine principale varie de 12.5 cm pour la variété Souk Jédid à 8.8 cm pour la variété Somâa. La présence de chlorure de sodium dans le milieu de culture provoque une réduction significative de la longueur de la racine principale chez toutes les variétés. Cette réduction devient plus prononcée à la plus forte concentration de sel. Ainsi, à 12g/l de NaCl, la racine est raccourcie de 12 % (variété Korba) à 50% (variété tébourba) par rapport au témoin.

Tableau 5 : Longueur de la Racine Principale (cm) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Longueur de la Racine	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	13.7*	11.4*	10.1*	9.6	8.5	6.7	4.8*
Somâa	8.8	6.5	5.7	4.5	3.8	3.2	2.5
Korba	9.1	8.9	6.4	5.4	5.9	4.2	4.1
Awled Haffouz	14.4*	7.1	6.5	5.8	4.6	2.1	2.3
Souk Jédid	12.5	11.3	7.1	6.6	5.1	4.5	2.1

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3. 6. Production de biomasse

Chez les plantes témoins, le système racinaire de la plante de piment pèse de 13 g (variété Somâa) à 25.66 g (Souk Jédid). La présence de NaCl s'accompagne d'une réduction significative de la matière fraîche des racines indépendamment de la variété (Tableau 6). Cette réduction devient plus importante à la plus forte concentration de chlorure de sodium où la matière fraîche atteint 6g chez la variété Souk Jédid, 6g chez Somâa, 7,33 g chez Tébourba, 6g chez Korba et 10.6 g chez Awlad Haffouz soit des taux de réduction respectifs de 86%, 90% ; 90%, 83% et 84%.

Tableau 6 : Poids Frais des Racines (g) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Poids Frais des Racines (g)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	23.71	17.16	17.53	15.13	8.33	9.13	7.33
Somâa	13.13	11.30	11.18	10.51	9.47	7.82	6.71
Korba	17.34	16.47	14.51	12.91	11.01	10.46	6.45
Awled Haffouz	32.45	18.51	15.23	13.43	10.74	9.91	10.61
Souk Jédid	25.66	19.21	18.81	17.71	9.52	7.68	6.81

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

Concernant la matière sèche, on constate d'après le tableau 7, qu'en absence de NaCl dans l'eau d'irrigation la variété Awlad Haffouz donne le rendement le plus élevé en terme de matière sèche. En présence du NaCl dans l'eau, cette production de matière sèche baisse chez toutes les variétés surtout à la plus forte concentration où le poids sec est compris entre 0,4 g chez la variété Tébourba et 0,76g chez la variété Awlad Haffouz soit une différence significative respective de 74% et 70%.

Tableau 7 : Poids Sec des Racines (g) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Poids Sec des Racines (g)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	1.41	1.43	1.31	0.81	1.12*	0.71	0.40
Somâa	1.22	0.98	0.73	0.64	0.64	0.51	0.51
Korba	1.23	0.97	0.82	0.78	0.55	0.43	0.67
Awled Haffouz	2.65	1.25*	1.54	0.89*	0.49	0.67	0.76
Souk Jédid	1.63	1.56	1.39	0.71	0.66	0.54	0.51

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.7. Teneurs en chlorophylles

Chez les cinq variétés de piment de Cayenne étudiés les feuilles des plantes témoin contiennent environ 3.79 μg (variété Souk-Jédid) à 3.45 μg (variété Somâa) de chlorophylles (a + b). L'irrigation avec une eau riche en NaCl réduit significativement (annexe 8) la teneur de chlorophylles a, b et + b, chez toutes les variétés de piment étudiées. Cette réduction est en fonction de la concentration de sel. Puisque c'est la plus forte concentration (12g/l), que cette teneur est très faible ce qui se traduit par une chlorose au niveau des feuilles illustrés au niveau de le Tableau 8, 9 et 10.

Tableau 8 : Teneur en Chlorophylle a ($\mu\text{g/ml}$) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en Chlorophylle a	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	3.41	2.71*	2.11*	1.89	1.67	0.56	0.21
Somâa	3.45	3.23	2.62	1.31	0.79	0.41	0.32
Korba	3.36	1.34	1.03	0.71	0.78*	0.54	0.49
Awled Haffouz	1.48	1.45	1.21	1.12	0.56	0.47	0.38
Souk Jédid	3.79	3.69	3.44	2.93	1.51	0.51	0.26

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

Tableau 9 : Teneur en Chlorophylle b ($\mu\text{g/ml}$) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en Chlorophylle b	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	1.95	1.71	1.52	0.81	0.58	0.31	0.15
Somâa	1.84	1.54	1.21	0.83	0.46	0.33	0.16
Korba	1.73*	0.67	0.43	0.47	0.32	0.15	0.14
Awled Haffouz	1.42	0.61	0.45	0.39	0.11	0.05	0.07
Souk Jédid	3.71	1.62	1.34	0.91*	0.89	0.71	0.21

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

Tableau 10 : Teneur en Chlorophylles a+b ($\mu\text{g/ml}$) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en Chlorophylles a+b	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	2.73	1.84	1.74	1.65	1.51	0.81	0.67
Somâa	2.94	2.85	2.32	1.76	1.54	0.97	0.69
Korba	2.79	2.11	1.21	1.17	0.71	0.72	0.45
Awled Haffouz	2.81	2.23	1.89	1.58	0.63	0.63	0.38
Souk Jédid	2.72	2.65	1.71*	1.91	1.72	1.51	0.72

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.8. Teneurs en sodium

En absence de chlorure de sodium dans le milieu de culture, les racines de cinq variétés de piment contiennent le sodium en faibles quantités (Tableau 11), cette teneur varie de 0.5 meq/gMS (variété Somâa) en présence de sel (8g/l), la teneur en cet élément varie de 4.87 μg MS (variété Somâa) à 3.1 $\mu\text{g/g}$ de matière sèche (variété Souk-Jédid) soit une différence significative respective de 114% et 93% par rapport au témoin.

Tableau 11 : Teneur en Na^+ ($\mu\text{g/g}$ MS) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en Na^+ ($\mu\text{g/g}$ MS)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	1.51	1.97	2.21	2.41	3.41	3.56*	3.61*
Somâa	0.51	0.57	0.84	1.51	4.87	3.67	4.21
Korba	0.72	0.82*	1.36	1.82	2.12	3.92	4.13
Awled Haffouz	0.45	0.61	0.75	0.99	2.64	2.83	3.54
Souk Jédid	0.64	0.73	0.84	1.11	3.13	2.65	3.19

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.9. Teneurs en potassium

Le stress salin agit négativement sur la teneur en potassium quelque soit la variété du piment de Cayenne cultivé (Tableau 12). En effet, en condition témoin la teneur en potassium est comprise entre 0.85 meq/g MS chez la variété Tébourba et 1.53 meq/g MS chez la variété Awlad Haffouz. En présence de NaCl la teneur en potassium diminue, cette diminution est encore plus significative si la charge saline s'élève. En effet à la plus forte concentration, la teneur en potassium attend sa valeur la plus faible surtout chez la variété Souk Jédid (0.26 meq/g MS).

Tableau 12 : Teneur en K⁺ (meq/g MS) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en K ⁺ (meq/g MS)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	0.85	0.83	0.75	0.51	0.43	0.31	0.29
Somâa	0.91	0.81	0.66	0.59	0.49	0.41	0.35
Korba	1.16	1.03	0.62	0.58	0.45	0.39	0.33
Awled Haffouz	1.53	1.34	1.19	0.94	0.58	0.42	0.37
Souk Jédid	0.93	0.71	0.63	0.54	0.29	0.21	0.26

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

3.10. Teneur en calcium

Concernant la teneur en calcium, l'augmentation de NaCl s'accompagne d'une diminution de la concentration de cet élément chez toutes les variétés. De ce fait, la teneur la plus faible est notée à la plus forte concentration chez la variété Souk Jédid soit 0.42 meq/g MS (Tableau 13).

Tableau 13 : Teneur en Ca²⁺ (meq/g MS) chez les variétés Tébourba, Somâa, Korba, Awled Haffouz et Souk Jedid en présence de 2, 4, 6, 8, 10 et 12 g/l de NaCl.

Teneur en Ca ²⁺ (meq/g MS)	0	2	4	6	8	10	12
Tébourba	0.84	0.78	0.74	0.71	0.65	0.62	0.56
Somâa	0.85	0.81	0.76	0.72	0.68	0.63	0.54
Korba	0.87	0.80	0.75	0.71	0.65	0.61	0.55
Awled Haffouz	0.89	0.82	0.80	0.74	0.69	0.62	0.53
Souk Jédid	0.92	0.81	0.74	0.71	0.68	0.64	0.42

*Différence significative au seuil de $p \leq 0.05$

4. Discussion

Chez les cinq variétés de piment de Cayenne (Tébourba, Korba, Somâa, Awlad Haffouz et Souk Jédid) cultivés sous stress salin (NaCl : 2 à 12g/l) ; la croissance de la plante se trouve atténuée. En effet, la racine principale, la hauteur de la plante et la tige principale se raccourcissent, les feuilles sont limitées en nombre et en surface). Cette diminution de dimensions de ces différents organes est en fonction de la concentration de sel. Ainsi, en présence de la plus forte concentration (12g/l) ; les réductions de ces organes notées chez les plantes stressées par rapport aux plantes témoins sont : racine : -88% pour la surface foliaire (variété Awlad Haffouz), -65% au niveau du nombre de feuilles (variété souk Jédid), -53% pour la hauteur de la plante (variété souk Jédid). Des résultats similaires ont été constatés chez l'aubergine (Kaya *et al.*, 2003). Selon Ashraf et Foolad (2007), la diminution de la longueur de la plante et de la surface foliaire serait la conséquence de la réduction de la taille des cellules exposées au stress salin. En plus, sous contrainte saline, les rendements en matières fraîches et sèche des racines diminuent également lorsque la concentration de NaCl augmente dans le milieu de culture. Cette forte réduction de la biomasse (fraîche ou sèche) de la plante par exposition à NaCl a été notée également chez d'autres variétés de piment (Khan *et al.*, 2009). Toutefois, la variété Korba reste la moins affectée par le sel. Par ailleurs, une telle réduction significative de la biomasse, ayant affectée les cinq variétés étudiées, serait une conséquence de la réduction des teneurs en chlorophylles surtout la chlorophylle a, siège de la photosynthèse et la production de matières sèches solubles. Un tel résultat confirme celui de Zhen *et al.* (2008) ayant montré, l'action négative de la salinité sur le taux de chlorophylles a et élimination totale dans le mésophile.

L'analyse minérale de la plante soumise à la contrainte saline montre que ces plantes (cultivées en présence de NaCl) sont fortement envahies par les ions Na⁺ dont les teneurs augmentent en fonction de la concentration du sel. Ces résultats sont en concordance avec ceux trouvés par Sultana *et al.* (2001) et Turhan et Eris (2007). Par contre, les teneurs en K⁺ et Ca²⁺ diminuent en fonction de la concentration de NaCl pour atteindre les valeurs les plus faibles à la plus forte concentration. Malgré cet appauvrissement en K⁺ élément utile à la croissance, les plantes de la variété Korba en restent les plus riches. La diminution de la matière fraîche sous stress salin est probablement due à une diminution de l'eau dans la feuille et du potentiel osmotique de la plantes stressée. Cette diminution s'accompagne d'une diminution de la photosynthèse pendant la période de stress hydrique par rapport à des plantes témoin. De nombreuses

études suggèrent que durant la croissance végétative, le stress salin réduit de manière significative les paramètres de croissance tels que le nombre de fleurs par plant et le rendement total de la plante. Ces paramètres ont diminué et cette diminution est d'autant plus importante que le stress salin est important (Ferrara *et al.*, 2011 ; Sam *et al.*, 2013).

5. Conclusion

A la lumière des résultats obtenus, sous stress salin (NaCl : 2 à 8 g/l) la croissance diminue en fonction de la concentration de NaCl, en termes de biomasse (matière fraîche et sèche) et de dimensions des organes (feuilles, tiges, racines). Toutefois, la variété Korba reste plus performante même en présence de la plus forte concentration (12g/l). L'envahissement de tous les organes de la plante par les ions Na⁺ est fait aux dépens du potassium et calcium. Ces résultats autorisent agronomiquement l'irrigation avec les eaux saumâtres (3 à 4 g/l) en cas d'un semis direct (cas du sud tunisien, sous serre) et de cultures aux champs. La variété Korba s'est avérée la plus intéressante et les résultats obtenus seront plus intéressantes si les travaux continuent à des stades ultérieurs jusqu'à la fructification pour savoir si la plante pourrait encore tolérer encore plus le stress salin.

Références

- Alvarez-Parrilla, L.A. la Rosa, R. Amarowicz, F. Shahidi, 2011.** Antioxidant activity of fresh and processed jalapeño and Serrano peppers. *J. Agric. Food Chem.* 2011, 59, 163–173.
- Ashraf, M. and M.A. Foolad. 2007.** Improving plant abiotic stress resistance by exogenous application of osmoprotectants glycine betaine and proline. *Environ. Exp. Bot.*, 59: 206-216.
- Bhattacharya A.A. Chattopadhyay, D. Mazumdar, A. Chakravarty, S. Pal, 2010.** Antioxidant Constituents and Enzyme Activities in Chilli Peppers. *International journal of vegetable science*, 16, 201 – 211.
- Bosland P.W., E.J. Botava, 2000.** Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI. Publishing, Wallingford, United Kingdom, 204.
- Costa, R. Lopes, M.T.J. Lopes, A.F. de Figueiredo, W.S. Barros, S.R.M. Alves, 2009.** Cross compatibility of domesticated hot pepper and cultivated sweet pepper. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 9: 37-44.
- Dansi A., H. Adoukonou-Sagbadja, R. Vodouhe, 2010.** Diversity, conservation and related wild species of Fonio millet (*Digitaria spp.*) in the northwest of Benin. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 57: 827-839.
- Dias G.B., V.M. Gomes, T.M. Moraes, U.P. Zottich, G.R. Rabelo, A.O. Carvalho, M. Moulin L.S. Gonçalves, R. Rodrigues, M. Da Cunha, 2013.** Characterization of Capsicum species using anatomical and molecular data. *Genet Mol Res.* (Online first).
- FAO, 2010.** FAOSTAT Database. Food and Agriculture Organization, Roma, Italy. Available online at URL: www.fao.org.
- Ferrara A., S. Lovelli, T. Di Tomasso, and M. Perniole, 2011.** Flowering, Growth and fruit setting in greenhouse Bell pepper under water stress. *Journal of Agronomy*, 10 (1), 12-19.
- Jin J.R., P. Huiming, X. Beibei, Z.X. Xia, 2009.** Separation and quantitative analysis of capsaicinoids in chili peppers by reversed-phase argentation LC. *Chromatographia*, 70, 1011–1013.
- Kaya C., AK B.E., Higgs D. 2003.** Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. *J. PLANT. NUTR.* 26(3): 543-560.
- Khan, N.A., R. Nazar and N.A. Anjum. 2009.** Growth, photosynthesis and antioxidant metabolism in mustard (*Brassica juncea* L.) cultivars differing in ATP-sulfurylase activity under salinity stress. *Sci Hort.*, 122: 455-460.
- Nascimento P.L.A., T.C.E.S. Nascimento, N.S.M. Ramos, G.R. Silva, C.A. Câmara, T.M.S.**
- Oboh G., O.O. Ogunraku, 2010.** Cyclophosphamide-induced oxidative stress in brain: Protective effect of hot short pepper (*Capsicum frutescens* L. var. abbreviatum). *Exp. Toxicol. Pathol.*, 62, 227–233.
- Othman Z.A.A., Y.B.H. Ahmed, M.A. Habila, A.A. Ghafar, 2011.** Determination of Capsaicin and Dihydrocapsaicin in Capsicum Fruit Samples using High Performance Liquid Chromatography. *Molecules*, 16, 8919–8929.

- Porra, R.J., 2002** The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b*. *Photosynthesis Research* 73: 149 – 156.
- Sam-Amoah L.K., R. Darko Opoku, J.D. Owusu-Sekyere, 2013.** Water requirement, deficit irrigation and crop coefficient of hot pepper (*Capsicum frutescens* var *legon18*) using irrigation interval of two days *Journal of Agricultural & Biological Science*, 8 (2), 13.
- Silva, K.A. Moreira,A.L.F. Porto, 2013.** Antimicrobial and antioxidant activities of pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*). *Afr. J. Microbiol. Res.* 7, 3526–3533.
- Sultana N., Ikeda T., Kashem M.A. 2001.** Effect of foliar spray of nutrient solutions on photosynthesis, dry matter accumulation and yield in seawater-stressed rice. *ENVIRON. EXP. BOT.* 46: 129-140.
- Turhan E., Eris A. 2007.** Growth and stomatal behaviour of two strawberry cultivars under long-term salinity stress. *TURK. J. AGRIC. FOR.* 31: 55-61.
- Wahyuni Y., A.R.Ballester, E. Sudarmonowati, R.J.Bino, A.G.Bovy, 2013 .**Secondary Metabolites of Capsicum Species and Their Importance in the Human Diet. *J. Nat. Prod.*, ,DOI: 10.1021/np300898z (online first).
- Zhang H., Q. Wang, P.Wang, C.Cai, L.Liu, 2012.** Current situation of hot pepper production and its development mentality in Guizhou. *Guangdong Agricultural Sciences*, 03 : 5-12.
- Zhani K., N. Hermans, R. Ahmad, C. Hannachi, 2013.** Evaluation of Salt Tolerance (NaCl) in Tunisian Chili Pepper (*Capsicum frutescens* L.) on Growth, Mineral Analysis and Solutes Synthesis. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 9(1):209-228.
- Zheng, Y., J. Aijun, N. Tangyuan, X. Jialin, L. Zengjia and J. Gaoming. 2008.** Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *J. Plant Physiol.*, 165: 1455-1465.
- Zhuang Y., L. Chen, L. Sun, J. Cao, 2012.** Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *J. Funct. Foods*, 4, 331–338.