

Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales

M. Denden, T. Bettaieb, Alef Salhi & M. Mathlouthi

Keywords: Sodium chloride- Chlorophyll fluorescence- Proline- Flowers production- Ornamental species

Résumé

Trois espèces ornementales (Zinnia elegans, Tagetes patula et Petunia hybrida) ont été soumises à trois traitements salins (0, 2 et 4 g de NaCl.l⁻¹). La réaction des plantes à la salinité a été évaluée par la fluorescence chlorophyllienne, la synthèse de proline et la production florale. L'expérience a montré que la production florale diminue, la fluorescence chlorophyllienne reste indifférente et la teneur en proline augmente avec l'augmentation de la teneur en NaCl de l'eau d'irrigation.

Summary

Effect of Chloride Sodium on Chlorophyll Fluorescence, Plant Proline Content and Flowers Production of Three Ornamental Species

Three ornamental species (Zinnia elegans, Tagetes patula and Petunia hybrida) were used to test sodium chloride effect on chlorophyll fluorescence, plant proline content and flowers production. Three treatments were used in this trial: 0, 2 and 4 g of NaCl.l⁻¹ of irrigation water. The results showed that chlorophyll fluorescence was not affected by sodium chloride treatment but plant proline content increased and flowers production decreased as NaCl doses increase.

Introduction

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures. Dans plusieurs régions de Tunisie, le fleurissement des espaces verts est handicapé par la rareté et la salinité des eaux d'irrigation. Les espèces ornementales conduites en irrigué doivent avoir un certain degré de tolérance à la salinité. Cependant, les caractères physiologiques et génétiques liés à cet aspect sont diversifiés. A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont soit stockés (plantes inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives). La salinité diminue le potentiel osmotique de la solution du sol et réduit par conséquent l'absorption de l'eau par les racines; la turgescence cellulaire est abaissée ce qui entraîne un phénomène de plasmolyse (5, 12). Certains végétaux régulent leur pression osmotique interne par la synthèse d'osmoprotecteurs, principalement des sucres solubles et acides aminés comme la proline et la glycinebétaine (22, 26). La proline, observée chez de nombreuses monocotylédones ou dicotylédones (13) s'accumule aussi bien chez les glycophytes que chez les halophytes sur des cellules en suspension (14) ou des plantes entières (10) pour

restaurer l'équilibre osmotique entre cytoplasme et vacuole (17). La synthèse de proline est une mesure adaptative prise par les plantes et sa teneur est corrélée à la tolérance au NaCl (3). Parallèlement, il est connu que le sel affecte la photosynthèse et réduit, par ce biais, la croissance et la production végétale. Sans passer par l'intensité photosynthétique et en se branchant sur l'extinction de la fluorescence chlorophyllienne (9, 15), outil de diagnostic foliaire en agriculture, on peut quantifier l'action inhibitrice du sel. En effet, lorsque la photosynthèse fonctionne avec un rendement maximum, les photons absorbés sont piégés rapidement par les centres de conversion photochimique, ce qui limite leur dissipation par fluorescence. Sous l'effet du sel qui affecte normalement le rendement de la photosynthèse, les photons absorbés par les chlorophylles s'accumulent en grande partie dans l'antenne chlorophyllienne où ils sont dissipés soit par production de chaleur, soit par fluorescence. L'intensité de la fluorescence est par conséquent liée au fonctionnement de l'appareil photosynthétique. Ainsi, la teneur en proline et la fluorescence chlorophyllienne constituent des paramètres efficaces de détection de la réaction des plantes à la salinité. Ceux-ci sont retenus dans cette étude pour vérifier leur variation avec le sel et en rapport avec la production florale de trois espèces florales saisonnières.

Matériel et méthodes

Le matériel végétal est constitué de trois plantes herbacées ornementales utilisées couramment dans la décoration estivale des massifs: *Petunia hybrida*, *Tagetes patula* et *Zinnia elegans*. La culture des trois espèces en essai est conduite dans des pots en plastique de 12 cm de diamètre et 15 cm de profondeur dont chaque pot contient 100 g de tourbe. Les pots sont placés dans une serre vitrée. Les plantes sont irriguées avec de l'eau chargée en chlorure de sodium selon les concentrations suivantes: 0, 2, 4 g.l⁻¹. Le substrat de culture est maintenu près de sa capacité au champ par des irrigations fréquentes afin d'éviter que l'eau ne soit un facteur limitant. Le dispositif expérimental adopté est un dispositif en bloc aléatoire complet (BAC) avec trois répétitions (trois blocs). Le nombre de plantes par une répétition est 9.

Les semences sont mises en germination en mars dans des germoirs à une température de 24 °C durant 3 jours, puis placées en pots. La conduite de la culture est menée jusqu'en juin.

La fluorescence chlorophyllienne a été mesurée à l'aide d'un fluorimètre portatif: Fluorescence Induction Monitor (FIM 1500) de type ADC (Analytical Development Company Limited). Cet appareil consigne automatiquement les paramètres suivants:

- fluorescence initiale (F0): c'est la valeur minimale de la fluorescence lorsque tous les accepteurs d'électrons du photosystème II (PS II) sont complètement oxydés. La fluorescence initiale F0 a pour origine les chlorophylles qui forment les antennes collectrices du PS II;

- fluorescence maximale (Fm): elle correspond à la valeur maximale de la fluorescence obtenue pour la même intensité lumineuse. Cette valeur est obtenue lorsque toutes les premières quinones accepteurs d'électrons sont complètement réduites;

- rendement quantique: il est exprimé par le rapport $(Fm-F0)/Fm = Fv/Fm$, dans lequel Fv est la fluorescence variable.

Pour mesurer la fluorescence, deux étapes sont

suivies:

- première étape: on place un clip sur une feuille afin de mettre la surface-test à l'obscurité durant 30 minutes. Sur le plan physiologique, l'opération vide la chaîne de transfert d'électrons de photons, tous les transporteurs d'électrons se trouvent à l'état oxydé. Les centres réactionnels sont alors totalement disponibles;

- deuxième étape: on envoie un flash lumineux sur la surface-test. Il se produit une certaine inertie dans la mise en route de toute la chaîne transporteuse d'électrons. Les accepteurs d'électrons du PSII sont saturés. L'énergie lumineuse excédant les possibilités de collecte du PSII est réémise sous forme de fluorescence, l'intensité de fluorescence monte rapidement (1 seconde), d'une valeur initiale (F0) vers une valeur maximale (Fm). Le rendement quantique traduit alors l'efficacité qu'a le PSII à utiliser la lumière pour la conversion photochimique. Pour Eyletters et Bourrié (6), il est environ de 0,8 chez toute plante saine et diminue en cas de stress.

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxylique est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la minhydrine ou tricetohydrindène.

C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaire (5). La mesure de la solution préparée se fait au spectrophotomètre (type S. 2000) à une longueur d'onde de 528 nm. On obtient des absorbances qui sont rapportées sur la courbe d'étalonnage (Figure 1) construite à partir d'une gamme connue de concentrations de proline. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes.

Résultats

La réaction des plantes à la salinité est estimée par la mesure de la teneur en proline, de la fluorescence chlorophyllienne et de la production florale.

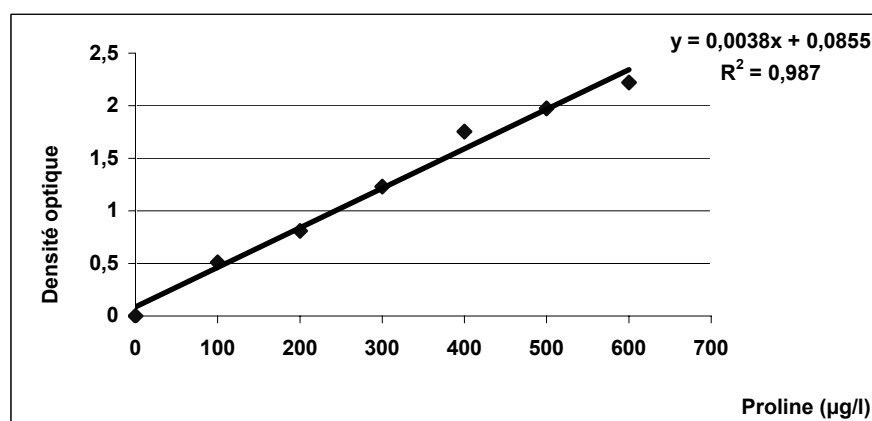


Figure 1: Relation entre la densité optique et la concentration en proline. La courbe est déterminée au laboratoire à partir des concentrations connues de proline.

-Impact de la salinité sur la teneur en proline

Les teneurs en proline sont données au tableau 1. Elle est de $14,2 \mu\text{mol.g}^{-1}$ chez le zinnia, de $28,9 \mu\text{mol.g}^{-1}$ de poids frais (PF) chez le pétunia. La tagète a une teneur en proline plus élevée de 50% que celle observée chez le zinnia et une teneur plus faible par rapport au pétunia. En utilisant une eau d'irrigation non chargée en sel ($T_0 = 0 \text{ mM.l}^{-1}$), on obtient la teneur de proline la plus faible ($12,4 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF), avec 38 mM.l^{-1} de sel la teneur est de $20,4 \mu\text{mol.g}^{-1}$ de PF. Elle est plus élevée que le témoin de $8 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF ou de 39% et plus faible que le traitement 68 mM.l^{-1} de $16,5 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF ou de 80%.

Pour le zinnia, sa teneur en proline augmente du témoin au traitement T1 de $6 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF et du traitement T1 au traitement T2 de $11,2 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF. Chez la tagète, la teneur en proline passe du témoin au traitement T1 de $14,8 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF et du traitement T1 au traitement T2 de $15,3 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF. Quant au pétunia, sa teneur en proline augmente du témoin au traitement T1 de $3,1 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF et du traitement T1 au traitement T2 de $23,1 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF.

La teneur en proline du zinnia au traitement 38 mM.l^{-1} est proche de la teneur en proline de la tagète au traitement témoin. La différence est de $0,6 \mu\text{M.g}^{-1}$ de PF. La teneur en proline du pétunia au témoin et au traitement 38 mM.l^{-1} sont proches de la teneur en proline de la tagète au traitement 38 mM.l^{-1} et du zinnia au traitement 68 mM.l^{-1} . Les deux espèces *Tagetes patula* et *Petunia hybrida* sont plus pourvues en proline lorsqu'elles sont irriguées avec une eau non chargée en sel ce qui leur permet de réagir plus facilement aux doses élevées de sel et notamment à 68 mM.l^{-1} .

-Fluorescence chlorophyllienne

La fluorescence chlorophyllienne F0 est mesurée à l'état initial suite au déchargement des transporteurs d'électrons qui se trouvent à l'état oxydé alors que Fm est mesurée au moment du plein fonctionnement des photosystèmes lorsque les transporteurs d'électrons

sont réduits. Il est évident que la fluorescence F0 est faible en cas de détresse et augmente en cas de stress et inversement pour Fm. Entre les deux limites de fluorescence (F0 et Fm), on peut déduire la composante du rendement quantique qui est toujours inférieure à 1. Le rendement quantique diminue lorsque le taux des inhibiteurs augmente.

Le tableau 2 montre que pour le pétunia, la fluorescence initiale F0 est plus faible que celle du zinnia et de la tagète de 23 ou de 6% et sa fluorescence maximale est plus élevée que celles du zinnia et de la tagète respectivement de 150 et 198 ou de 7 et 9%. Le rendement quantique est élevé, il varie de 82 à 85%. La différence entre les trois genres est faible puisqu'elle ne représente au maximum que 3%.

A travers les traitements, la fluorescence chlorophyllienne initiale F0 la plus élevée est obtenue au témoin et les plus faibles aux traitements 38 mM.l^{-1} et 68 mM.l^{-1} et la fluorescence maximale la plus faible aux traitements témoin et 68 mM.l^{-1} et la plus élevée au traitement 38 mM.l^{-1} . Les différences obtenues entre les trois traitements sont faibles pour la fluorescence initiale ou maximale. Pour les rendements quantiques, ils sont élevés (81,4 à 84,9%). Le sel n'a montré aucun effet significatif sur la fluorescence de même que sur le rendement quantique.

A travers les trois espèces végétales et les trois traitements, la fluorescence ou le rendement quantique restent proches. Le sel n'a montré aucune action efficace sur les chaînes transporteurs d'électrons.

- Formation florale

Pour mieux quantifier l'action du sel sur la floraison, ce sont le nombre, le diamètre et le poids moyens des fleurs qui sont retenus.

Le tableau 3 montre les moyennes des nombres et des diamètres de fleurs des trois espèces végétales et des trois traitements de NaCl. Néanmoins, les mesures prises individuellement apportent certaines explications. Pour *Zinnia elegans*, il n'a fleuri qu'au traitement témoin avec un nombre de fleurs de 0,7

Tableau 1
Teneur en proline ($\mu\text{M.g}^{-1}$ de PF) selon les trois espèces végétales et les trois traitements de NaCl

Traitements	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Tagete patula</i>	<i>Petunia hybrida</i>	Moyenne (n= 27)
T0 (témoin) (n= 9)	$6,4^a \pm 5,7$	$11,8^a \pm 2,5$	$19,1^a \pm 4,5$	$12,4^a \pm 6,7$
T1 (38 mM.l^{-1}) (n= 9)	$12,4^b \pm 6,4$	$26,6^b \pm 4,4$	$22,3^b \pm 13,6$	$20,4^b \pm 10,0$
T2 (68 mM.l^{-1}) (n= 9)	$23,7^c \pm 13,9$	$41,9^c \pm 7,1$	$45,4^c \pm 1,4$	$37,0^c \pm 12,7$
Moyenne (n= 27)	$14,2^a \pm 11,1$	$26,8^b \pm 13,7$	$28,9^b \pm 14,3$	

Les moyennes de la même colonne et qui se suivent de la même lettre ne diffèrent pas au seuil 5%.

Tableau 2
Fluorescence selon les trois espèces végétales et les trois traitements de NaCl

	Fluorescence	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Tagetes patula</i>	<i>Petunia hybrida</i>	Moyenne (n= 27)
T0 (témoin) (n= 9)	F0	392 ^a ± 114	403 ^a ± 48	326 ^a ± 21	374 ^a ± 72
	Fm	1967 ^a ± 171	2072 ^a ± 66	2162 ^a ± 100	2067 ^a ± 134
	Fv/Fm	0,79 ^a ± 0,07	0,80 ^a ± 0,01	0,84 ^a ± 0,007	0,814 ^a ± 0,04
T1 (38 mM.l ⁻¹) (n= 9)	F0	325 ^a ± 21	331 ^a ± 8	343 ^a ± 19	333 ^a ± 17
	Fm	2119 ^a ± 16	2166 ^a ± 52	2283 ^a ± 113	2189 ^a ± 96
	Fv/Fm	0,84 ^a ± 0,006	0,84 ^a ± 0,006	0,85 ^a ± 0,01	0,849 ^a ± 0,007
T2 (68 mM.l ⁻¹) (n= 9)	Fm	350 ^a ± 98	333 ^a ± 32	329 ^a ± 5	338 ^a ± 52
	Fv	2008 ^a ± 178	1999 ^a ± 160	2241 ^a ± 118	2083 ^a ± 178
	Fv/Fm	0,827 ^a ± 0,03	0,83 ^a ± 0,01	0,85 ^a ± 0,005	0,83 ^a ± 0,02
Moyenne (n= 27)	F0	355 ^a ± 81	356 ^a ± 46	333 ^a ± 16	
	Fm	2031 ^a ± 141	2079 ^a ± 116	2229 ^a ± 109	
	Fv/Fm	0,82 ^a ± 0,04	0,82 ^a ± 0,02	0,85 ^a ± 0,007	

Les moyennes de la même ligne et qui se suivent de la même lettre ne diffèrent pas au seuil 5%.

(en moyenne pour les trois traitements, il est de 0,2) et leur diamètre est de 4,5 cm (en moyenne pour les trois traitements, il est de 1,5 cm). Pour *Tagetes patula*, les nombres des fleurs et les diamètres correspondants pour les traitements T0; T1 et T2 sont respectivement 7,0; 4,3 et 1,7 et 3,3; 3,0 et 1,9 cm. Le nombre et le diamètre des fleurs diminuent avec l'augmentation de la salinité, ils passent de 7 fleurs et d'un diamètre de 3,3 cm au témoin à 1,7 fleur et 1,9 cm de diamètre au traitement T3. Pour *Petunia hybrida*, les nombres de fleurs et les diamètres correspondants aux traitements T0, T1 et T2 sont respectivement 16,3; 8,6 et 7,0 et 6,2; 5,2 et 3,7 cm. Le nombre moyen est de 10,8 et le diamètre moyen est 5,0 cm. Aux traitements T1 et T2, le nombre de fleurs est peu différent (7,0 et

8,6) mais le diamètre au traitement T1 est de 5,2 cm et au traitement T2, il est de 3,7 cm.

Pour le poids moyen des fleurs (Tableau 4), le poids le plus faible est obtenu chez pétunia, il est plus faible que celui de la tagète de 0,88 g/fleur et de celui du zinnia de 0,6 g/fleur. Le pétunia forme les fleurs les plus légères. Pour l'action du sel, le poids moyen des fleurs diminue avec l'augmentation de NaCl. Au traitement 38 mM.l⁻¹, le poids moyen est de 0,55 g/fleur, et il est de 0,36 g/fleur à 68 mM.l⁻¹, la diminution est de 0,19 g/fleur. Entre le témoin et 38 mM.l⁻¹, les fleurs perdent en moyenne 1,32 g/fleur. Zinnia n'a pu former des fleurs qu'avec une eau non chargée en sel et tagète s'est montrée plus performante que pétunia.

Tableau 3
Nombre et diamètre moyens des fleurs selon les trois espèces végétales et les trois traitements de NaCl

	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Tagetes patula</i>	<i>Petunia hybrida</i>
Nombre de fleurs (n= 27)	0,2 ^a ± 0,4	4,3 ^{ab} ± 3,0	10,8 ^b ± 5,2
Diamètre des fleurs (n= 27)	1,5 ^a ± 3,0	2,7 ^a ± 0,7	5,0 ^a ± 1,1
	To (0 mM.l ⁻¹) (n= 9)	T1 (38 mM.l ⁻¹) (n= 9)	T2 (68 mM.l ⁻¹) (n= 9)
Nombre de fleurs (n= 27)	8,0 ^a ± 7,2	4,3 ^a ± 4,2	2,9 ^a ± 3,9
Diamètre des fleurs (n= 27)	4,7 ^a ± 2,4	2,7 ^{ab} ± 2,2	1,9 ^b ± 1,5

Les moyennes de la même ligne et qui se suivent de la même lettre ne diffèrent pas au seuil 5%.

Tableau 4
Poids moyens des fleurs (g/fleur) selon les trois espèces végétales et les trois traitements de NaCl

Traitements	<i>Zinnia elegans</i>	<i>Tagetes patula</i>	<i>Petunia hybrida</i>	Moyenne (n= 27)
T0 (0 mM.l ⁻¹) (n= 9)	3,14 ^a ± 2,90	1,93 ^a ± 0,81	0,53 ^a ± 0,11	1,87 ^a ± 1,88
T1 (38 mM.l ⁻¹) (n= 9)		1,213 ^b ± 0,05	0,43 ^b ± 0,11	0,55 ^b ± 0,54
T2 (68 mM.l ⁻¹) (n= 9)		0,76 ^c ± 0,05	0,33 ^c ± 0,05	0,36 ^b ± 0,33
Moyenne (n= 27)	1,04 ^a ± 2,14	1,31 ^a ± 0,65	0,43 ^a ± 0,12	

-Les moyennes de la même ligne et qui se suivent de la même lettre ne diffèrent pas au seuil 5%.

Discussion

La réaction des plantes à la salinité se fait par des modifications adaptatives morphologiques, anatomiques, structurales et métaboliques. Pour détecter la tolérance des plantes à la salinité, il est intéressant de disposer de moyens précis et simples, plus rapides que les mesures phytotechniques traditionnelles. La teneur en proline et la fluorescence chlorophyllienne sont considérées comme des outils rapides et efficaces en agriculture.

La teneur en proline augmente chez les trois espèces ornementales avec l'augmentation de la concentration saline. Ces observations sont similaires à celles d'El Jaafari (5) qui observe une accumulation de proline chez trois variétés de blé en cas de stress salin. Rajaskaran *et al.* (16) ont montré que l'accumulation de la proline en réponse à la salinité n'est pas corrélée avec le degré de tolérance. De même dans cette étude, l'augmentation des teneurs de la solution d'irrigation en sel est accompagnée parallèlement par une augmentation croissante et relativement régulière de proline, mais qui n'est pas liée identiquement à la tolérance des plantes à la salinité. En effet, pour *Zinnia elegans*, les rapports T1/T0 et T2/T1 sont respectivement 1,91 et 1,93

Pour *Tagetes patula*, les mêmes rapports et dans le même ordre sont 1,57 et 2,25 et pour *Petunia hybrida*, ils sont 2,03 et 1,16. Pour les trois genres, le passage de T0 à T1 est accompagné d'une variation de la teneur en proline de 1,16 à 2,25 et de T1 à T2 de 1,57 à 2,03. Le passage du témoin au T1 ou bien de T1 au T2 est suivi relativement d'une double augmentation de la teneur en proline (en moyenne 1,9 fois la teneur). Toutefois, selon El Jaafari (5) le test "proline" très utilisé pour l'évaluation de la tolérance des plantes supérieures vis-à-vis des stress ne manque pas d'empirisme. Ceci est attribué à un manque d'explication physiologique de l'accumulation de proline induite en cas de stress. Venekamp (25) attribue à la proline accumulée un rôle dans la régulation du pH. Steward (21) suggère que l'accumulation de proline consécutive à un stress soit à la fois le résultat d'une diminution de la synthèse protéique et d'une reconversion du glutamate en proline.

Dans cette étude, des mesures de fluorescence chlorophyllienne sont effectuées. En principe, elles reflètent et quantifient le plus judicieusement le stress salin (6). En effet, les centres photochimiques utilisent les électrons provenant de la photolyse de l'eau et les deux photosystèmes (PSII et PSI) sont reliés par une chaîne de transporteurs d'électrons qui permettent la synthèse d'ATP et de NADPH. Un photon de lumière (quantum) absorbé par une chlorophylle quelconque migre très rapidement à travers les pigments vers le centre réactionnel où se fait la conversion photochimique. Les deux pigments actifs, deux centres réactionnels, des deux photosystèmes piègent les photons absorbés, d'énergie plus faible. Cette réémission constitue la fluorescence. La fluorescence contribue donc à dissiper l'énergie lumineuse absorbée par les chlorophylles et, de ce fait, entre en compétition avec la conversion de cette énergie en énergie chimique. Lorsque l'émission d'électrons est perturbée, la chaîne de transport détériorée par exemple par le NaCl, la dissipation d'énergie (chaleur et fluorescence) augmente. L'intensité de la fluorescence est inversement liée au rendement photochimique. Cette relation peut être considérée comme un indicateur intrinsèque précis de la réaction claire de la photosynthèse au niveau du PSII. Bien que les fluorescences traduisent mieux les perturbations photosynthétiques (4) aucun effet de fluorescence dû à l'action du sel n'a été observé pour les trois espèces ornementales et par les trois concentrations salines utilisées. Le rendement quantique est élevé chez les trois espèces (82 à 85%) et pour les trois traitements (81 à 85%).

Ainsi, le dosage d'un seul osmoprotecteur en l'occurrence, la proline paraît insuffisante pour expliquer l'indifférence de la fluorescence face à la salinité. Généralement et suite à l'action du stress salin, les plantes augmentent leurs teneurs en protéines (2, 19, 20, 23), en polyamines telles que la spermidine et la spermine (1, 18, 24) en polyols tels que le sorbitol et le mannitol (7, 11) et en glycines-bétaines (8). Ces osmoprotecteurs sont fortement impliqués dans l'ajustement osmotique pour atténuer

les effets négatifs de NaCl et probablement pour éviter les grandes pertes de photons lumineux par fluorescence.

La sensibilité aux sels des espèces florales étudiées se manifeste clairement à travers la croissance et la production florale. *Zinnia elegans* n'a légèrement fleuri qu'au traitement témoin (0,7 fleur de 4,5 cm de diamètre). La floraison de *Tagetes patula* se réduit avec l'augmentation de la salinité pour donner 4,3 fleurs (de 3,0 cm) au traitement T1 et 1,7 (de 1,9 cm) au traitement T2. *Petunia hybrida* a formé un même nombre de fleurs aux traitements T1 et T2 mais de calibre différent (8,6 fleurs de 5,2 cm et 7,0 fleurs de 3,7 cm). A partir de la formation florale, il semble que

Zinnia elegans soit sensible au sel, *Tagetes patula* soit moins sensible et *Petunia hybrida* soit plus tolérant.

Conclusion

L'action du sel sur trois espèces ornementales en essai s'est traduite par des teneurs en proline qui vont de pair avec la concentration en NaCl. Ces teneurs sont de plus en plus élevées lorsque la concentration en sel augmente. La fluorescence chlorophyllienne a montré ses limites dans cet essai puisqu'elle n'a pas pu détecter la réaction des plantes à la salinité. Bien que, la production florale soit affectée par le sel chez les trois espèces, seules pétunia et tagète ont montré une certaine tolérance vis-à-vis de ce sel.

Références bibliographiques

- Angels B.M., Delamor F., Amaros A., Serrano M., Martinez V. & Cerda A., 2000, Polyamines ethylene and other physico-chemical parameter in tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits as affected by salinity, *Physiologia plantarum*, 109, 428-434.
- Chen C.S. & Plant A.L., 1999, Salt-induced protein synthesis in tomato roots: the role of ABA, *J. Exp. Botany*, 50, 334, 677-687.
- Drouiich A., Ouhsine M., Ouassou A. & Ben Gaddour R., 2001, Effet du NaCl sur l'activité du PEPc foliaire et son rôle sur la synthèse du malate et de la proline chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Science Letters*, 3/3, 20-25.
- Ducret J.M., 1983, La fluorescence chlorophyllienne: un outil de diagnostic en agriculture, *Phytoma*, pp: M 7-10.
- El Jaafari S., 1993, Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Doctorat-Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 214 p.
- Eyletters M. & Bourrié B., 1996, La fluométrie: un outil pour étudier les déficiences nutritionnelles de la vigne et mesurer l'effet des apports d'engrais, *Phytoma*, 489, 58-60
- Gibb J., Dracup M., Greenway H. & Mc Comb J.A., 1989, Effect of high NaCl on growth and internal solutes of tobacco callus, *J. Plant Physiol.* 134, 61-69.
- Hansen A.D. & Burnet M., 1994, Evolution and metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in higher plants. *In: Plants*, eds. Biochemical and cellular mechanisms of stress tolerance by J. H. Cherry, pp: 291-301.
- Hakam N., Khnissadehs, Dell J.R. & Richer C., 2000, Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. *Hort. Science*, 35, 2, 184-186.
- Jain R.K., Jain S., Nainawatee H.S. & Choudhury J.B., 1990, Salt tolerance *Brassica Juncea L. in vitro* selection, agronomic evaluation and genetic stability. *Euphytica*, 45, 141-152.
- Khavari Njad R.A. & Mostafi Y., 1998, Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides and chloroplast ultra structure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica*, 35, 1, 151-154.
- Lachâal M., Abdely C., Seleimi N., Hajji M., Soltani A. & Grignon C., 1997, Recherche de critères physiologiques pour le tri de plantes tolérantes au sel. 6^{ème} journée scientifique du réseau des biotechnologies végétales. AUPELF-UREF, pp: 283-289.
- Leprince A.S., Thierry L. & Savouré A., 2003, Signalisation cellulaire en réponse à la contrainte hydrique chez *Arabidopsis thaliana*. www.agricta.org/pubs/std.
- Nabors M.W., Gibbs S.E., Bernstein C.S. & Neis M.E., 1980, NaCl-tolerant tobacco plants from cultured cells. *Z.P.F. Laufen physiol*, 97, 13-17.
- Piri K., 1991, Contribution à la sélection *in vitro* des plantes androgéniques de blé pour leur tolérance à NaCl. Doctorat-Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 168 p.
- Rajaskaran L.R., Aspinall D. & Paleg L.G., 2000, Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicon* spp. Exposed to salt stress. *Canad. J. Plant. Sci.* 80/1, 151-152.
- Roudani M., 1996, Physiologie comparée de deux espèces de blé en relation avec les conditions de nutrition. Métabolisme racinaire en milieu salé. Thèse d'Uni. Sci. Biol. Univ. Tunis II, 180 p.
- Santa-Cruz A., Acosta M., Rus A., Balarin M.C. & Acosta M., 1997, Effects of NaCl and mannitol iso-osmotic stresses on the free polyamine levels in leaf discs of tomato species differing in salt tolerance, *J. Plant physiol.* 151, 754-758.
- Sasikala D., Potluri P. & Devi Prasad D., 1993, Influence of salinity on axillary bud cultures of six lowland tropical varieties of potato (*Solanum tuberosum*). *Plant Cell Tiss. Org. cult.* 32, 185-191.
- Shiya S.K., 1992, Evaluation of drought and salt resistance of tomato varieties in terms of production, growth and physiological characteristics. This submitted in final form of requirement for the degree of doctor in agricultural sciences, University of Ghent, Belgium, 204 p.
- Steward C.R., 1981, Proline accumulation: biochemical aspects. *In: L.G. Paleg & D. Aspinall* (ed). *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants*. Academic Press, Adelaide.
- Stroey R. & Jones Wyn R.C., 1979, Salt stress and comparative physiology in graminæ, *II*, *Plant Physiol.* 5, 839-850.
- Symarayitis, Neigrotiu I. & Jacobs M., 1992, Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (VIVIANI). *Med/Fac. Landbouw Univer. Gent* 57/4a, 1507-1516.
- Turano F.J. & Kramer G.F., 1993, Effect of metabolic intermediates on the accumulation of polyamines in detached soybean leaves, *Phytochemistry*, 34, 959-968.
- Venekamp J.H., 1989, Regulation of cytosol acidity in plants under conditions of drought. *Physiol. Plant*, 76, 112-117.
- Wyn Jones R.G. & Stroey R., 1978, Salt stress and comparative physiology in the graminæ II. Glycinebetaine and proline accumulation in two salt and water stressed barley varieties. *Aust. J. Plant Physiol.* 5, 817-829.

M. Denden, Tunisien, Ingénieur, Doctorat en Sciences Agronomiques à la Faculté des Sciences Agronomiques et Biologiques Appliquées de Gand-Belgique en 1996, Maître de conférences à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem. Directeur du Département d'Horticulture et de Paysage et responsable du Laboratoire d'agronomie.

T. Bettaieb, Tunisien, Ingénieur, Titulaire d'un doctorat en sciences agronomiques Maître-Assistant à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem.

Alef Salhi, Tunisienne, Ingénieur, Etudiante en cours de préparation de son diplôme de spécialisation à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem.

M. Matlhouthi, Tunisien, Ingénieur, Doctorat en sciences agronomiques, Maître-Assistant à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem. Membre du Département d'Horticulture et de Paysage.