

Influence métabolique du CO₂ atmosphérique sur la tomate cultivée en milieu saumâtre

Taleb-khyar Ould Djeh
Najeh Dali
Taoufik Bettaieb
Abderraouf Ben Salah

Institut national agronomique de Tunisie (Inat),
Département AAPV,
Laboratoire des cultures maraîchères et florales,
43, Avenue Charles Nicolle,
1082 Tunis-Mahrajène
<bettaieb.taoufik@iresa.agrinet.tn>

Résumé

L'objectif est d'étudier les effets de l'enrichissement carboné sur une culture de tomate hors saison, irriguée par une solution fertilisante à composition chimique comparable aux eaux saumâtres géothermales. Une variété de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill : hybride Dolar F248) a été cultivée en hors-sol et irriguée par une solution à base saumâtre, dans une atmosphère enrichie en CO₂ jusqu'à 600 pp. Au terme de cette expérience, les résultats observés peuvent être caractérisés généralement par une atténuation des effets dépressifs de la salinité sur la culture après enrichissement carboné qui a entraîné : une augmentation de 44 % de la force de l'organe source (feuille adulte) et de 181 % des organes puits (fruits) ; au stade reproductif, une accumulation des carbohydrates (glucose et amidon) au niveau des feuilles ; en fin du stade reproductif, une baisse de l'activité photochimique du PSII exprimée par une diminution de 7 % du rapport F_v/F_m, accompagnée d'une augmentation du rapport chl *a*/chl *b* et d'une adaptation de l'appareil photosynthétique ; une faible production de la proline par rapport au témoin et cela quel que soit le stade de développement de la plante. Au stade reproductif, l'enrichissement carboné a provoqué, aussi, un « effet puits » sur les régulations métaboliques des sucres réducteurs au niveau de la feuille, ce qui s'est manifesté par une augmentation de 7 % de l'activité de l'invertase au niveau des feuilles « organe source ».

Mots clés : tomate ; culture sans sol ; salinité ; dioxyde de carbone ; photosystème.

Thèmes : métabolisme ; productions végétales ; eau.

Abstract

Effects of atmospheric CO₂ enrichment on a tomato crop irrigated by a saline solution

The aim of this study was to examine the beneficial effects of carbon dioxide enrichment on an out-of-season tomato crop, irrigated by a fertilizing solution whose chemical composition was similar to that of brackish geothermal waters. A hybrid tomato variety (*Lycopersicon esculentum* Mill. the hybrid Dolar F248) was cultivated soilless and irrigated by the saline solution, in CO₂ enriched atmosphere (600 ppm). At the end of this experiment the results observed generally showed a remedial of the depressive effects of salinity on the culture and that the CO₂ enrichment resulted in: i) an increase of the strength of the organ source (adult leaf) of 44% and of 181% for some sink organs (fruits); ii) at the reproductive stage, an accumulation of the carbohydrates (glucose and starch) in leaves; iii) at the end of the reproductive stage, a decrease of the photochemical efficiency of PSII expressed by a reduction of 7% of F_v/F_m, accompanied by an increase of the ratio chl *a*/chl *b*. This result suggested an adaptation of the photosynthetic apparatus along with a slightly increased production of proline compared to the control and regardless of the stage of development of the plant. Also, at the reproductive stage, CO₂ enrichment provoked a «sink effect» on the metabolic regulation of the reducing sugars in the leaf, as indicated by a 7% increase of the invertase activity in the leaves «source organ».

Key words: tomatoes; soilless; culture; salinity; carbon dioxide; photosystems.

Subjects: metabolism; vegetal productions; water.

Les conditions défavorables de l'environnement, telles que la salinité et la sécheresse, peuvent affecter la physiologie de la plante en altérant l'état fonctionnel et le bon développement de ses différents appareils. Bien que la tomate soit classée parmi les groupes de plantes tolérantes aux sels, elle présente des comportements variables.

En Tunisie, le secteur géothermal est une ressource principale d'eau qui s'étale sur une superficie de 77,5 hectares dans la région du Sud. Les eaux de ce secteur sont caractérisées par une disproportion de la balance minérale et une conductivité électrique élevée due à une grande concentration en sels, particulièrement en NaCl. Ces facteurs entraînent une mauvaise nutrition minérale affectant les paramètres écophysologiques et agronomiques des plantes induisant une baisse de la productivité des cultures dans ces régions.

La bonne maîtrise des conditions environnementales permet d'optimiser la croissance, le développement et le rendement des plantes ; or le dioxyde de carbone est l'un des plus importants facteurs de l'atmosphère serricole, surtout si la lumière n'est pas limitante. Par ailleurs, les travaux de recherche ont démontré que l'augmentation de CO₂ combinée avec l'étude du métabolisme carboné pourrait avoir un grand intérêt pour les horticulteurs. C'est ainsi que dans le présent travail un enrichissement de l'atmosphère en CO₂ a été proposé pour voir la nature de l'interaction entre l'enrichissement carboné et la salinité en se basant sur l'étude d'un certain nombre de paramètres écophysologiques et métaboliques.

Matériel et méthode

L'essai a été conduit dans une serre multi-chapelle compartimentée, couverte par une double paroi en polycarbonate. La variété de tomate utilisée est l'hybride

FIDOLAR (F248). Le semis a été effectué dans des plaques à alvéoles remplies de tourbe, puis le repiquage a eu lieu au stade 3 feuilles. La culture est menée en hors-sol, dans des sacs remplis de sable grossier.

Au cours de cette expérience, deux solutions ont été utilisées : la première (S1) est une solution fertilisante témoin, la seconde (S2) est une solution fertilisante enrichie en NaCl comparable aux eaux saumâtres des eaux géothermales (tableau 1). Un système goutte à goutte, de type linéaire, a été utilisé pour la fertigation.

Le compartiment de la serre où a lieu l'enrichissement carboné est alimenté par le CO₂ en provenance d'une bouteille de gaz liquéfié à 49,5 bars à 15 °C (équilibre gaz/liquide). Le débit de CO₂ injecté est régulé par une électrovanne automatique. À l'intérieur du compartiment, le CO₂ circule dans des gaines de polyéthylène microperforées parallèles aux lignes de cultures.

L'analyse de CO₂ à l'intérieur de la serre est faite par un appareil de marque Siemens (M52080-A74-A). Cet appareil est un contrôleur-analyseur qui prélève l'air contenu dans la serre. L'analyse de cet air repose sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge lointain par le CO₂.

Dans notre expérience, le débit a été régulé à 600 ppm pendant 4 heures par jour (9 heures à 13 heures). L'injection de CO₂ a débuté en même temps que l'irrigation avec la solution saline.

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés particulièrement au glucose et à l'amidon au niveau de la cinquième feuille. Pour l'extraction de ces éléments, la méthode d'éthanol 95° a été utilisée ; le dosage du glucose libre dans l'échantillon et du glucose issu de l'hydrolyse de l'amidon est obtenu par la méthode enzymatique glucose oxydase (GOD). La force des organes source et puits a ensuite été déduite en utilisant la formule de Warren-Wilson (1972) :

$$\text{Puissance (puits, source)} = \text{taille (puits, source)} \times \text{activité (puits, source)}$$

Pour calculer ce paramètre nous avons pris la surface de l'organe (feuille au stade reproduction, surface du fruit) comme taille, alors que pour l'activité, celle-ci a été exprimée en termes de quantité de glucose libre dans l'organe et en termes de quantité d'amidon stocké dans l'organe.

Les paramètres de la fluorescence chlorophyllienne ont été calculés en utilisant un fluorimètre de type F.I.M 1500, ADC (*fluorescence induction monitor 1500, Analytical Development Limited*) qui donne automatiquement les paramètres suivants :

- F₀ : fluorescence minimale émise par la chlorophylle *a* excitée des photosystèmes II (PSII) ; elle est enregistrée lors de l'oxydation complète du premier accepteur d'électrons du PSII que sont les quinones (QA) ;

- F_m : fluorescence maximale, mesurée quand les QA sont complètement réduites ;

- F_v : fluorescence variable (F_v = F_m - F₀).

- F_v/F_m : ce rapport nous renseigne sur le rendement quantique maximal du PSII.

Dans le but de calculer les chlorophylles *a* et *b*, la quantité de chlorophylle (*a* et *b*) a été déterminée en utilisant le principe de dosage décrit selon Arnon (1949), par les formules :

$$Ca = 12,7 * DO_{663} - 2,59 * DO_{645}$$

et

$$Cb = 22,9 * DO_{645} - 4,68 * DO_{663}$$

Où :

- Ca : concentration en chlorophylle *a* en mg/L ;

- Cb : concentration en chlorophylle *b* en mg/L ;

- DO : densité optique en nm.

Chez la tomate en production, la cinquième feuille est généralement une feuille qui a dépassé le stade puits (jeune feuille) vers celui de source ; son activité doit être intense pour assurer de nouvelles fonctions. De ce fait, les paramètres métaboliques (activité enzymatique, produits de synthèse...) doivent être en plein fonctionnement et leurs dosages doivent permettre de voir les effets des traite-

Tableau 1. Composition chimique des solutions S₁ et S₂.

Table 1. Chemical composition of solutions S₁ and S₂.

| | pH | CE | Éléments minéraux en meq | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | | NO ₃ ⁻ | NH ₄ ⁺ | HPO ₄ ⁻ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | SO ₄ ⁻ | Na ⁺ | Cl ⁻ |
| S ₁ | 5,98 | 2,90 | 12 | 2,3 | 1,25 | 8,25 | 8,3 | 4 | 8,95 | 9,5 | 8,5 |
| S ₂ | 6 | 5,10 | 12,4 | 2,3 | 1,25 | 8,8 | 17,2 | 8 | 12,6 | 16 | 15 |

ments (salinité et/ou enrichissement carboné), au niveau de la cinquième feuille, et d'en déduire l'état général de la plante. Dans cette expérience, la proline foliaire a été dosée aux stades végétatif et reproductif. Pour l'extraction et le dosage de cet acide aminé le protocole utilisé par El jaafari (1993) a été adopté. Enfin, nous avons mis en évidence une activité des fractions solubles de l'invertase dans la feuille de tomate à différents stades de développement.

Pour l'extraction d'enzyme, la méthode utilisée par Dali *et al.* (1991) a été adoptée.

L'activité invertase est déterminée à 37° dans un tampon d'acétate de sodium 0,2 M, à pH 4 contenant un excès de saccharose 0,5 M. Le volume réactionnel est de 1,2 mL (0,025 mL d'enzyme, 0,175 mL de tampon d'extraction et 1 mL de solution de saccharose); la réaction est arrêtée par addition de 2 mL de NaOH (N/2).

L'hydrolyse du saccharose est suivie en dosant le glucose formé par la méthode colorimétrique au glucose oxydase (GOD). Le taux de protéine total dans l'extrait est estimé par la méthode BIORAD.

Pour l'analyse statistique des données, le logiciel Statview a été utilisé pour chacun des paramètres en faisant l'analyse de la variance à un ou deux facteurs moyennant la procédure Anova (*analysis of variance*).

Résultats et discussion

Dosage du glucose et de l'amidon foliaire

Au stade 50 jours après repiquage, la quantité de glucose diminue quel que soit le traitement appliqué aux plants (*figure 1*). Pour les plants traités par la solution normale, le taux de glucose a diminué de 4 % par rapport au stade 20 jours après repiquage. Quant aux autres plants, la diminution de glucose foliaire est de 67, 46 et 32 % respectivement pour les traitements salin (S₂), normal + CO₂ et salinité + CO₂. Les diminutions de ce métabolite témoignent de sa forte translocation vers les organes en pleine croissance, pour y être métabolisé et servir à d'autres besoins. Cela explique le rythme rapide de croissance des plants affectés par ses traitements.

Cependant, l'amidon foliaire des plants sous traitement salin (S₂), traitement normal + CO₂ et traitement salin + CO₂ présentent des diminutions respectives de 80, 68 et 65 % par rapport à la normale. Ces faibles doses d'amidon dans les feuilles témoignent d'une forte translocation des photoassimilats vers les organes en voie de développement imposant ainsi un rythme rapide de croissance.

Au stade 115 jours après repiquage, le taux de glucose foliaire ne continue à diminuer que chez les plants sous traitement normal, car ils sont encore en fin de stade végétatif. Pour les autres traitements, le taux de glucose foliaire augmente : il est multiplié par 4 pour les traitements salin + CO₂, par 2,5 pour le traitement normal + CO₂ et par 2 pour le traitement salin. Ces résultats rejoignent ceux de Huber *et al.* (1984) et de Yelle *et al.* (1987); ces auteurs ont rapporté que la concentration en sucres réducteurs est augmentée suite à un enrichissement carboné. Ces résultats suggèrent qu'à ce stade, soit le flux de formation de glucose est important c'est-à-dire qu'on a une forte activité de l'invertase et/ou amylase, soit on a une faible vitesse de formation de saccharose, ce qui se répercuterait sur la translocation des assimilats vers les organes puits. Ces résultats montrent que la salinité combinée avec l'enrichissement carboné présente une action synergique sur la production de glucose au niveau de la cinquième feuille.

Cependant, la diminution de 10 % du taux d'amidon foliaire des plants sous traitement salinité + CO₂ (*figure 2*) pourrait être expliquée soit par une forte translocation des photosynthétats vers les organes puits et/ou par une altération du processus de synthèse d'amidon soit par un manque de pouvoir énergétique (ATP) utile pour les carboxylations au niveau du cycle de Calvin ou par un manque de pouvoir réducteur (NADPH) témoignant d'une plausible altération du flux électronique au niveau des thylacoïdes des chloroplastes.

Force des organes sources et puits

Les résultats présentés dans le *tableau 2* montrent une augmentation de 166 % et 51 % de la puissance des organes source des plants sous traitements normal et salin du compartiment enrichi avec le CO₂. Ces résultats suggèrent que la photosynthèse de ces organes est en forte activité pour répondre à la demande des organes en photoassimilats. Ces résultats sont en accord avec ceux de Kimball et Isdo (1983) qui ont montré que l'enrichissement carboné augmente le taux de photosynthèse chez les espèces de type C₃ et C₄.

Les résultats du *tableau 2* montrent une forte activité des organes puits des plants des traitements S₁ + CO₂ et S₂ + CO₂ par rapport aux plants traités par S₁; en

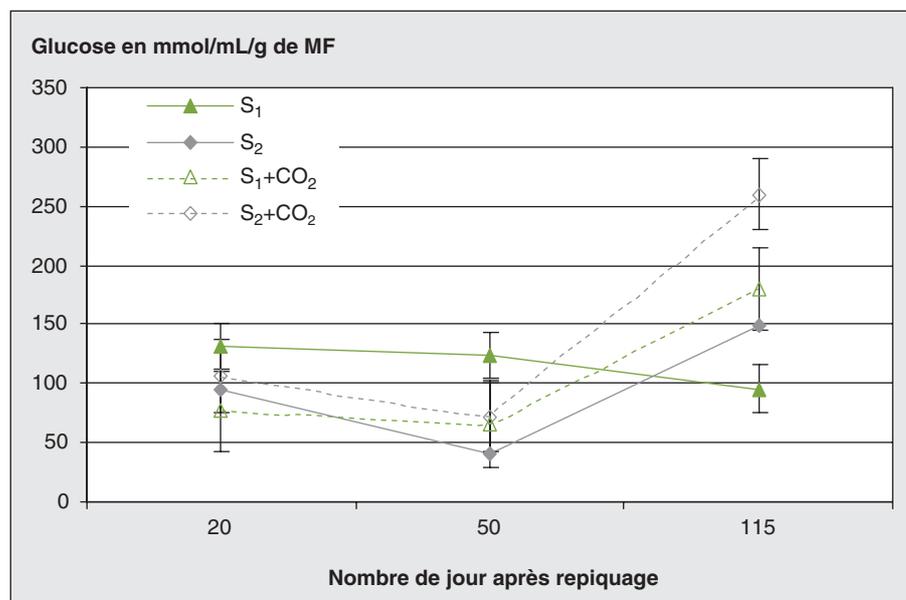


Figure 1. Évolution de la teneur du glucose dans la cinquième feuille.

Figure 1. Evolution of the glucose content in the fifth leaf. MF : matière fraîche.

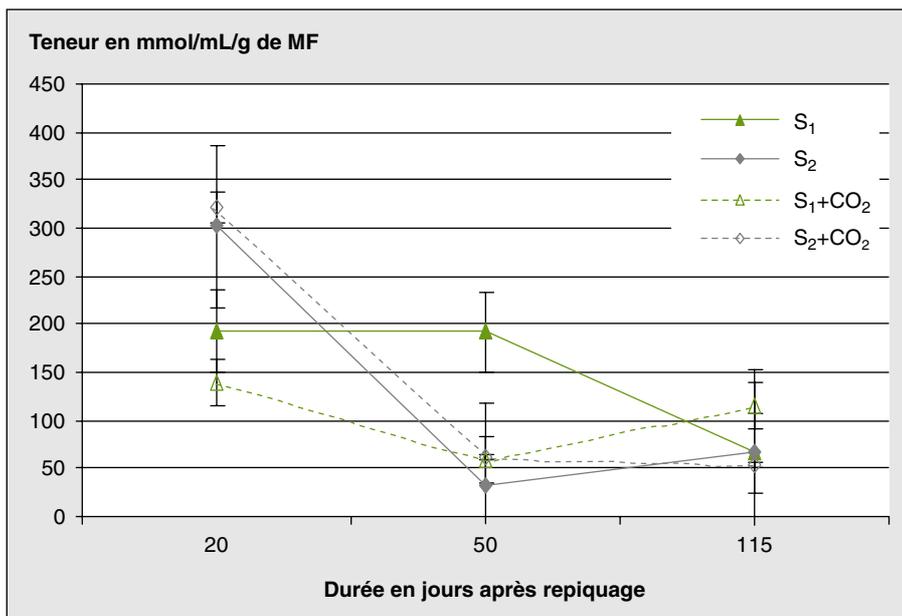


Figure 2. Teneur en amidon exprimé en termes de glucose débranché par hydrolyse d'amidon.

Figure 2. Starch content expressed in terms of glucose isolated by starch hydrolysis. MF : matière fraîche.

revanche, les plants du traitement salinité seule montrent une diminution des puissances des organes puits. Cette forte activité des organes puits est le résultat des réactions métaboliques localisées dans ces organes. Cela confirme les résultats obtenus par Dali *et al.* (1991) montrant que dans les fruits de tomate, l'activité des enzymes impliquées dans le métabolisme des glucides (invertase, sucrose synthase...) est d'une importance majeure pour ces organes car celles-ci sont en partie responsables de la détermination de la quantité des glucides dans le fruit. Ces résultats montrent les interactions entre les organes source et puits, la teneur en photosynthétats foliaire variant en fonction de la demande des organes puits et les organes en voie de développement exerçant une certaine régulation sur la photosynthèse.

Fluorescence chlorophyllienne

La figure 3 montre les fluctuations du rapport F_v/F_m durant 135 jours du cycle du plant de tomate variété (Dolar F248). Ce rapport augmente en fonction du temps pour tous les plants quel que soit le traitement. Au stade 70 jours après repiquage, ce rapport commence à diminuer pour les plants traités par S₁ et S₂ pour atteindre 0,84 au stade 135 jours. Cependant, les plants traités par S₁ + CO₂ et S₂ + CO₂ ont montré une augmentation de ce rapport jusqu'au stade 102 jours. Pour les plants traités par S₁ + CO₂, ce rapport a diminué pour atteindre la valeur 0,81 au stade 135 jours, alors que chez les plants traités par S₂ + CO₂, le rapport a atteint la valeur de 0,75 au stade

135 jours, ce qui correspond à une diminution de 9 % par rapport au traitement normal.

Ces résultats permettent de dire que l'acte photochimique des photosystèmes II (différents processus de captation de la lumière et transfert des électrons en provenance de la photolyse de l'eau) des plants traités par la salinité + CO₂ et leur *turnover* présentent des perturbations qui pourraient être attribuées aux fortes concentrations des assimilats dans les feuilles. Ces derniers exercent une répression sur les chloroplastes en perturbant ainsi le bon déroulement de l'acte photochimique des photosystèmes II. En effet, Ayari *et al.* (2000) ont montré que l'accumulation des hydrates de carbonnes affecte la régulation du transport des électrons au niveau des chloroplastes de la feuille de tomate.

Évolution du rapport chlorophylle a/chlorophylle b

Les résultats présentés sur la figure 4 montrent les variations du rapport chlorophylle a sur la chlorophylle b en fonction du temps pour les différents traitements. Au stade végétatif (70 jours) ce rapport augmente pour tous les plants bien qu'il montre une différence de 14, 23 et 29 % respectivement pour les traitements S₁ + CO₂, S₂ et S₂ + CO₂. Au stade 135 jours après repiquage, ce rapport montre une augmentation de 17 et 11 % pour les traitements salin et salin + CO₂ et une diminution de 10 % pour le traitement normal + CO₂. Ces résultats suggèrent que l'appareil photosynthétique des plants présente une adaptation par une augmentation du rapport chlorophylle a/chlorophylle b. Ce rapport augmente généralement si F_v/F_m diminue, assurant ainsi une bonne canalisation du flux électronique vers les sites de réduction et/ou de photophosphorylation d'où l'adaptation de l'appareil photosynthétique.

Tableau 2. Variation de la puissance des organes source et puits en fonction des traitements.

Table 2. The source and sink organ strength variation according to the treatments.

| Traitement | Surface (cm ²) Source puits | | Activité Source puits | | Force Source puits | | % de force Source puits | |
|----------------------------------|--|-------|--------------------------|--------|-----------------------|---------|----------------------------|------|
| S ₁ | 347 | 8,94 | 6 270 | 27 840 | 2 175 690 | 248 889 | * | * |
| S ₂ | 203 | 5,38 | 10 064 | 32 226 | 2 042 992 | 173 375 | -6 | -30 |
| S ₁ + CO ₂ | 278 | 19,78 | 20 880 | 49 928 | 5 804 640 | 287 575 | +166 | +296 |
| S ₂ + CO ₂ | 235 | 18,08 | 14 040 | 43 920 | 3 299 400 | 794 073 | +51 | +219 |

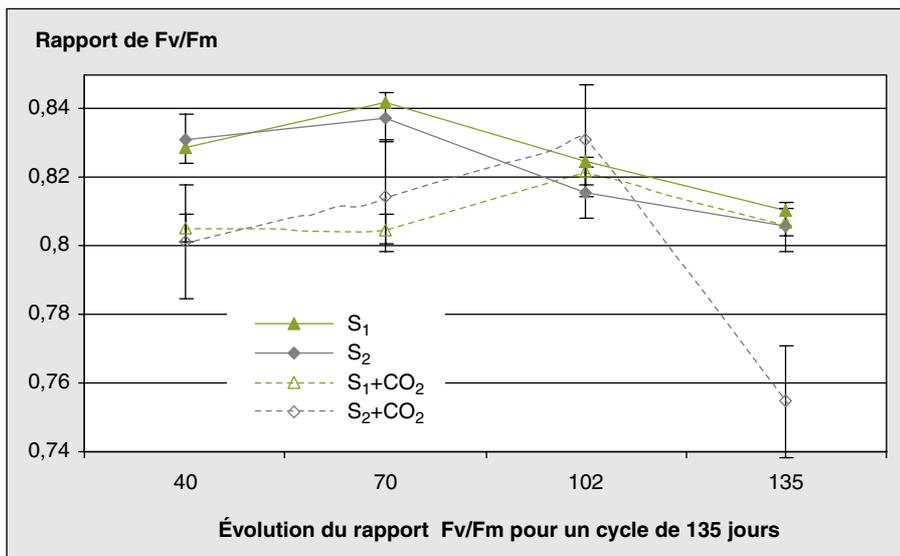


Figure 3. Évolution du rapport F_v/F_m .

Figure 3. Evolution of the F_v/F_m ratio.
MF : matière fraîche.

Évolution de l'accumulation de la proline aux stades végétatif et reproduction chez la variété Dolar (F248)

Au stade végétatif, les plants sous traitement salin (S₂) montrent une augmentation de 48 % de la proline par rapport au stade pépinière (3,8 µg/g de matière fraîche). Le traitement normal n'a engendré

qu'une augmentation de 1 % alors que les plants sous traitement salinité + CO₂ ont montré une diminution de 18 % de la quantité de proline foliaire (figure 5). Toutefois, quel que soit le traitement appliqué, on remarque une accumulation significative de la proline chez tous les plants par rapport au stade pépinière, soit des augmentations d'un facteur 6 pour S₁, d'un facteur 10 pour S₂, d'un facteur 6,5 pour S₁ + CO₂, et d'un facteur 5,5 pour

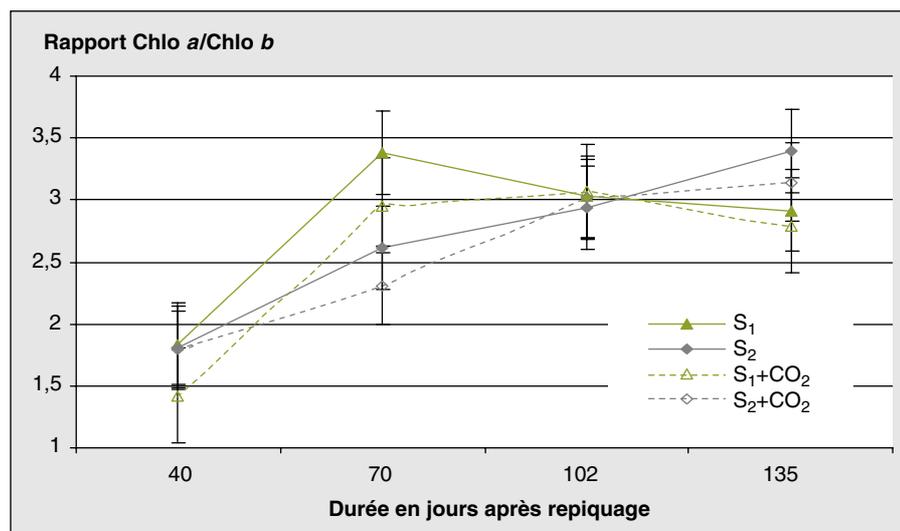


Figure 4. Évolution du rapport Chl a/Chl b sur un cycle de 135 jours.

Figure 4. Evolution of the Chl a/Chl b ratio on a 135-day cycle.

S₂ + CO₂. Ces augmentations pourraient être attribuées au développement des plants et de leurs besoins en composés azotés, dont la proline, qui, en cas de besoin, représente l'un des composés les plus facilement mobilisables.

Au stade reproduction, la quantité de proline a augmenté par rapport au stade végétatif de 7, 19, 17 et 10 µg dans la feuille respectivement pour les plants sous traitement S₁, S₂, S₁ + CO₂ et S₂ + CO₂. Ces résultats montrent que les plants du traitement salinité + CO₂ (S₂ + CO₂) disposent toujours d'une quantité de proline moins importante que les plants traités par S₂ et S₁ + CO₂; cela pourrait être dû à une hydratation faible des plants à cause des osmolytes accumulés dans la feuille assurant ainsi une pression osmotique élevée pour une meilleure succion possible. Les composés glucidiques sont donc métabolisés d'une façon modérée en diminuant ainsi le flux de synthèse des corps cétoniques et par conséquent n'impliquant qu'une faible synthèse de la proline. Cette faible production de la proline pourrait être attribuée aussi à une faible activité de la nitrate réductase foliaire, due à la présence de NaCl dans le milieu en plus de la faible hydratation de la feuille, ce qui rejoint les résultats de Aslam *et al.* (1984) qui ont montré que le NaCl affecte d'avantage l'activité nitrate réductase *in vitro* qu'*in vivo*. La proline est aussi un acide aminé gluconéoformateur, sa diminution pourrait être expliquée aussi par une forte synthèse glucidique.

Ces résultats suggèrent une corrélation importante entre le métabolisme azoté et carboné. En effet, au stade végétatif, la production de la proline est accompagnée d'une faible concentration de glucose foliaire. Le catabolisme de glucose dans les racines et feuilles fournit à la plante les composés cétoniques essentiels à la synthèse des composés azotés. Ces résultats confirment ceux de Laouar (1977) qui a montré qu'au niveau de la feuille, l'accumulation de la proline semble être reliée au facteur lumière et à un niveau important de glucides. Ces résultats montrent que l'augmentation de la concentration de la proline au stade reproduction est accompagnée d'une augmentation du taux de glucose au niveau de la feuille. En effet, durant ce stade, on assiste généralement à une certaine réduction des racines à cause du phénomène « limitation puits » qui s'accompagne d'une accumulation des carbohydrates dans les feuilles (Schaffer *et al.*, 1999).

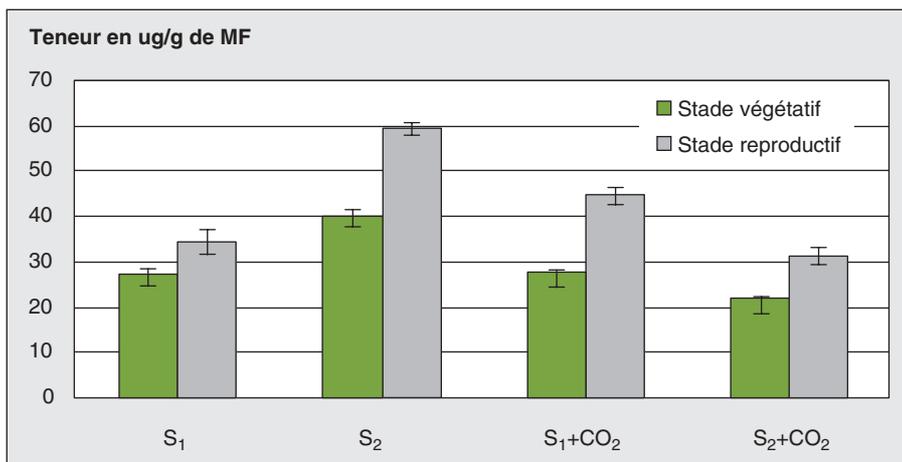


Figure 5. Évolution de la teneur en proline pour la variété Dolar aux stades végétatif et reproductif.

Figure 5. Evolution of the proline content in the Dolar cultivar at the vegetative and the reproductive stages.

MF : matière fraîche.

Activité des fractions solubles d'invertase dans la feuille de tomate

Les résultats du *tableau 3* montrent qu'au stade pépinière l'activité de l'invertase est très importante par rapport au témoin au stade végétatif (7,84 µg/mg/min) car les organes sont en voie de développement, ce qui nécessite des taux élevés de glucose (source d'énergie) et fructose (précurseur des riboses) pour assurer leur métabolisme.

Activité invertasique aux stades végétatif et reproductif

Les résultats présentés dans le *tableau 4*, montrent qu'en présence de la salinité l'activité de l'invertase est presque triplée par rapport au témoin normal. En présence de CO₂, l'activité a augmenté de 42 %.

Ces résultats montrent aussi qu'au stade végétatif l'activité a diminué de presque 50 % par rapport au stade pépinière, une diminution qui pourrait expliquer la diminution du taux de croissance des plants sous traitement S₁ par rapport aux autres traitements.

En présence de sel, la plante a besoin d'osmolytes et doit assurer aussi son métabolisme pour le bon déroulement de sa croissance. Pour assurer ces fonctions le glucose et le fructose qui sont les produits de l'invertase sont des métabolites facilement dégradables par la plante.

L'enrichissement en CO₂, en présence ou en absence de salinité, semble mettre la plante dans de meilleures conditions pour la photosynthèse, ce qui augmente le flux de saccharose vers les organes en pleine croissance mais nécessite aussi une activité invertasique élevée pour que le saccharose soit métabolisé. L'activité invertasique des plants traités par S₂ + CO₂ est comparable à celle du témoin traité par S₁ + CO₂. D'une façon générale, le CO₂ augmente l'activité invertasique — des résultats qui sont en accord avec ceux d'Islam *et al.*

(1995) qui ont montré que l'enrichissement carboné augmente l'activité invertasique du fruit de tomate lors de son développement.

Les résultats du *tableau 4* montrent, qu'au stade reproductif, l'activité invertasique est élevée dans toutes les conditions. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, à ce stade, la feuille est en pleine activité pour remplir la forte demande des organes puits ; elle a donc besoin de sucres simples (glucose et fructose) pour assurer son propre métabolisme et pour assurer une bonne importation des photoassimilats.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Ho *et al.* (1997) signalant, d'une manière générale, que la localisation de l'hydrolyse du saccharose constitue l'élément le plus important de la régulation de l'importation des photoassimilats (Dali *et al.* 1991).

Conclusion

Les observations et mesures qui ont été réalisées, ont permis de constater :

- une diminution du glucose foliaire (sucres réducteurs) au stade végétatif de 32 % et 35 % chez les plants du traitement salinité + CO₂ par rapport aux témoins normal (S₁) et salin (S₂) et une diminution de 65 % par rapport au témoin normal et une augmentation de 15 % par rapport au

Tableau 3. Activité spécifique de l'invertase dans la feuille de tomate au stade pépinière.

Table 3. Specific activity of the invertase in the tomato leaf at the seedbed stage.

| Stade | Activité spécifique en µg/mg/min |
|-----------------|----------------------------------|
| Stade pépinière | 15,23 |

Tableau 4. Activité spécifique de l'invertase dans la feuille de tomate au stade végétatif affectée par les différents traitements.

Table 4. Effects of treatments on the invertase specific activity in the tomato leaf at the vegetative stage.

| Traitements | Stade végétatif | Stade reproduction |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Activité spécifique en µg/mg/min | Activité spécifique en µg/mg/min |
| S ₁ | 7,84 | 21,05 |
| S ₂ | 20,55 | 28,50 |
| S ₁ + CO ₂ | 10,25 | 20,63 |
| S ₂ + CO ₂ | 10,98 | 34,52 |

témoin salin. Au stade reproductif, la quantité de glucose foliaire a augmenté d'un facteur 4 par rapport au témoin normal et de deux fois par rapport au témoin salin. L'amidon, à ce stade, a diminué de 10 et 40 % respectivement par rapport au témoin normal et salin ;

– une forte activité des organes source et puits au stade reproductif, qui s'est exprimée par une forte puissance de ces organes. L'action synergique de la salinité et du CO₂ sur les organes source et puits se manifeste par un métabolisme plus élevé de 51 % et 44 % que chez les témoins normal et salin pour les organes source, et de 219 et 189 % pour les organes puits. Cela montre une certaine régulation des organes puits sur la photosynthèse.

– la non-perturbation de l'acte photochimique des photosystèmes II des plants sous salinité combinée à l'enrichissement carboné, jusqu'en fin de cycle reproductif où on note une diminution du rapport F_v/F_m , mais on a un rapport (chlorophylle *a*/chlorophylle *b*) élevé, témoin d'une bonne adaptation de l'appareil photosynthétique des plants. La perturbation de l'acte photochimique est attribuée à l'effet à long terme de CO₂ plutôt qu'à celui de la salinité ;

– une diminution de la quantité de proline foliaire, quel que soit le stade de

développement de la plante, par rapport au témoin salin. Au stade reproductif, cette diminution du taux de production de proline foliaire est de 18 %, accompagnant l'augmentation de glucose foliaire et par conséquent une diminution des corps cétoniques (en provenance de la dégradation de glucose) ;

– une bonne activité invertasique au niveau de la feuille, surtout aux stades pépinière et reproductif. ■

Références

Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiol* 1949 ; 24 : 1-15.

Aslam M, Huffaker RC, Rains DW. Early effects of salinity on nitrate assimilation in barley seedlings. *Plant Physiol* 1984 ; 76 : 321-5.

Ayari O, Dorsais M, Gosselin A. Daily variations of photosynthetic efficiency of greenhouse tomato plants during winter and spring. *J Am Soc Hort Sci* 2000 ; 125 : 235-41.

Dali N, Dominique M, Yelle S. Evidence for the involvement of sucrose phosphate synthase in the pathway of sugar accumulation in sucrose-accumulating tomato fruits. *Plant Physiol* 1991 ; 99 : 434-8.

El Jaafari S. *Contribution à l'étude des mécanismes biophysique et biochimique de résistance à la sécheresse chez le blé*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, faculté des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 1993.

Ho Lee T, Sugiyama A, Anim JO, Takeno K, Ohno H, Yamaki S. Activation of sucrose metabolizing enzymes and stimulation of sucrose uptake by auxine and sucrose in Eggplant (*Solanum melongena* L.). *Plant Physiol* 1997 ; 50 : 293-301.

Huber SC, Rogers HH, Mowry FL. Effects of water stress on photosynthesis and carbon partitioning in soybean. *Plant Physiol* 1984 ; 76 : 244-9.

Islam MS, Matsui T, Yoshida Y. Effects of pre-harvest carbon dioxide enrichment on the post-harvest quality of tomatoes. *J Jap Soc Hort Sci* 1995 ; 64 : 649-55.

Kimball BA, Idso SB. Increasing atmospheric CO₂. Effects on crop yield, water use and climate. *Agric Water Manage* 1983 ; 7 : 55-72.

Laouar S. *Caractéristiques écophysiological et aspects de l'économie de l'eau de l'olivier (Olea europea L.) et de l'oranger (Citrus sinensis L. Obsbeck)*. Thèse de doctorat d'État ès sciences, université de Paris-VII, 1977.

Schaffer B, Whaley AW, Searle C. Atmospheric CO₂ enrichment, root restriction, photosynthesis, and dry-matter partitioning in subtropical and tropical fruits crops. *HortScience* 1999 ; 34 : 1033-7.

Warren-Wilson J. In : Reesa R, ed. *Crop processing in controlled environments*. London : Acod Press, 1972.

Yelle S, Gosselin A, Trudel MJ. Effect of atmospheric CO₂ concentration and root-zone temperature on growth, mineral nutrition, and nitrate reductase activity of greenhouse tomato. *J Am Soc Hort Sci* 1987 ; 112 : 1036-40.