

13 JUL. 1971

[Des. C. N. R. S. Centre de Pédologie biologique, B. P. 5, 54-Vandoeuvre-les-Nancy
(France)]

Influence de l'Intensité d'Éclairage et de l'Âge de la Plante sur la Sulfato-Reduction Rhizosphérique

Influence of Light Intensity and Age of the Plant on Sulfate Reduction in the Rhizosphere of Maize

V. Jacq et Y. Dommergues¹⁾

Avec une figure

Summary

When maize was grown in an alluvial saline soil from Tunisia at two light intensities, equivalent to 3000 lx and 8000 lx, the accumulation of sulfides in the rhizosphere reached $8 \times 10^{-6} \text{S} =$ and $32 \times 10^{-6} \text{S} =$, respectively, at the 16th day, the plant being still in its phase of active growth.

After approximately the 23th day the accumulation of sulfides in the rhizosphere induced the death of the plant; then the content of sulfides along the root increased again to $20 \times 10^{-6} \text{S} =$ and $42 \times 10^{-6} \text{S} =$ at 3000 and 8000 lx, respectively. Sulfate reduction during the phase of decay of the plant did not seem to depend on root exudates but on moribund root cells.

In addition to sulfide determination, sulfate reducers were enumerated.

The results of this laboratory experiment suggest that high light intensities enhance the sulfate reduction in rhizosphere through a stimulation of exudation. In soils rich in sulfate — such as saline soils of Northern Africa — consequently rhizosphere sulfate reduction is more dangerous under sunny climates — such as mediterranean one — than under cloudy one.

Au cours de précédentes notes (1, 2, 3, 4), nous avons précisé les conditions nécessaires à la manifestation de la sulfato-réduction rhizosphérique, c'est-à-dire de l'accumulation, dans la rhizosphère, de sulfures résultant d'une activité anormalement élevée des bactéries sulfato-réductrices. Ces conditions sont les suivantes:

1. présence de sulfates en quantité suffisante dans le sol;
2. anaérobiose stricte;
3. présence d'exsudats en quantité suffisante.

La première condition est réalisée dans les sols spontanément riches en sulfates, ou enrichis par l'irrigation (5, 6).

La seconde condition est plus rarement réalisée; l'anaérobiose stricte qui, on le sait, correspond au blocage de la diffusion de l'oxygène libre dans le sol, apparaît seulement lorsque le sol est engorgé et lorsque sa densité apparente est anormalement élevée (7).

La troisième condition semble souvent remplie dans la rhizosphère, mais on connaît mal les facteurs qui régissent la production d'exsudats rhizosphériques. Parmi ceux-ci, l'éclairage des plantes semble jouer un rôle majeur. En effet, les premières

¹⁾ Avec la collaboration technique de PIERRETTE WEINHARD et MARIE-CLAUDE JEANMAIRE.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 4838

observations, que l'un de nous a effectuées in situ, montrent que la sulfato-réduction apparaît lorsqu'à une période de nébulosité succède une période de forte insolation (1). On sait, d'autre part, que la lumière agit sur l'abondance et la nature des exsudats (8).

La présente étude a pour but de vérifier expérimentalement si la lumière favorise effectivement l'accumulation de sulfures et la prolifération des bactéries sulfato-réductrices dans la rhizosphère.

I. Matériel expérimental et Méthodes d'Étude

Nous utilisons de jeunes plants de maïs hybride, variété I.N.R.A. 420, cultivés sur un sol salin tunisien en provenance de Nakta, réparti dans des colonnes transparentes de chlorure de polyvinyle (P. C. V.) de $200 \times 50 \times 15$ mm. Ce sol est tassé, de sorte que la densité apparente soit comprise entre 1,35 et 1,55.

Chaque graine préalablement stérilisée est mise à germer sur gélose avant d'être introduite dans le sol. L'humidité du sol est maintenue à une valeur proche de la capacité au champ pendant une semaine, temps nécessaire pour obtenir des pousses atteignant 10 cm de hauteur. On provoque alors l'engorgement du sol en le submergeant.

L'expérience est conduite dans une salle climatisée où la température est maintenue constamment à 28 °C. L'éclairement des jeunes plants est assuré, 12 heures par jour, par des rampes de tubes „Sylvania Gro-Lux Standard“. Les plantes sont séparées en deux lots soumis, l'un à une intensité d'éclairement de 3000 lx, l'autre à une intensité d'éclairement de 8000 lx.

Dans le sol, au moment du semis, puis dans la rhizosphère, aux 9ème, 16ème, 23ème et 30ème jours après le semis, nous dosons les sulfures suivant la méthode de CHAUDHRY et CORNFIELD (9) et dénombrons les bactéries sulfato-réductrices sur le milieu liquide de STARKEY (10).

Pour effectuer l'analyse statistique des résultats, nous avons considéré deux ensembles de données: un premier ensemble correspond à la phase de croissance active de la plante (du 1er au 16ème jour inclus); un deuxième ensemble correspond à la phase de dépérissement (du 16ème au 30ème jour). Chacun de ces ensembles constitue un dispositif de type factoriel 3×2 à 3 répétitions, dans lequel l'âge de la plante intervient à 3 niveaux et l'intensité d'éclairement à 2 niveaux. Les calculs sont effectués suivant la méthode rapide décrite par ailleurs (11).

II. Résultats

1. Phase de croissance active de la plante

A. Teneur de la rhizosphère en sulfures (exprimée en 10^{-6} S=)

L'analyse statistique des résultats exposés au tableau 1 révèle l'existence d'une interaction „intensité d'éclairement \times âge de la plante“, hautement significative, se décomposant comme suit:

| | | Eclairement | |
|----------------|---------|-------------|---------|
| | | 3000 lx | 8000 lx |
| Age (en jours) | 1 | 0,07 | 0,07 |
| | 9 et 16 | 4,35 | 16,16 |
| | | Eclairement | |
| | | 3000 lx | 8000 lx |
| Age (en jours) | 9 | 0,42 | 0,24 |
| | 16 | 8,25 | 32,08 |

Le premier jour, la teneur en sulfures est négligeable, et bien entendu, la lumière n'a exercé aucun effet, ces mesures pouvant être considérées comme des mesures-témoins. L'effet de l'intensité de l'éclairage est très marqué le 16ème jour : sous 8000 lx, les sulfures sont 4 fois plus abondants que sous 3000 lx.

Tableau 1

Influence de l'intensité de l'éclairage sur la teneur en sulfures de la rhizosphère d'un maïs cultivé sur sol salin engorgé (phase de croissance active).

Table 1

Influence of light intensity on the content of sulfides in the rhizosphere of maize grown in a waterlogged saline soil (phase of active growth).

| Age de la plante (en jours) | Régime hydrique | Teneur en sulfures (en $10^{-6} S=$) sous une intensité d'éclairage de | |
|-----------------------------|-------------------|---|---------|
| | | 3000 lx | 8000 lx |
| 0 (semis) | capacité au champ | 0,07 | 0,08 |
| | | 0,09 | 0,09 |
| | | 0,05 | 0,04 |
| | | 0,07 | 0,07 |
| 9 | engorgement | 0,39 | 0,42 |
| | | 0,18 | 0,22 |
| | | 0,69 | 0,08 |
| | | 0,42 | 0,24 |
| 16 | engorgement | 6,87 | 30,54 |
| | | 6,61 | 31,40 |
| | | 11,27 | 34,60 |
| | | 8,25 | 32,08 |

N. B. L'engorgement est provoqué le 8ème jour.

Les moyennes sont en italique. *caractères gras.*

B. Densité des bactéries sulfato-réductrices (exprimée en \log_{10})

L'analyse statistique des résultats exposés au tableau 2 montre:

a) L'absence d'effet principal significatif du facteur „intensité de l'éclairage“ sur la micropopulation sulfato-réductrice, quelle que soit la date considérée.

b) L'existence d'un effet principal significatif du facteur „âge de la plante“ sur la densité des bactéries sulfato-réductrices. Cet effet principal est décomposable ainsi:

| Age (en jours) | | Age (en jours) | |
|----------------|---------|----------------|------|
| 1 | 9 et 16 | 9 | 16 |
| 4,89 | 7,18 | 7,70 | 6,59 |

La densité des bactéries sulfato-réductrices qui, à l'origine, est assez élevée (environ 100 000/g sol sec), augmente considérablement au 8ème jour (c'est-à-dire après l'engorgement) puis diminue légèrement du 9ème au 16ème jour.

Tableau 2

Influence de l'intensité de l'éclairement sur la densité des bactéries sulfato-réductrices dans la rhizosphère d'un maïs cultivé sur sol salin engorgé (phase de croissance active).

Table 2

Influence of light intensity on the number of sulfate reducers in the rhizosphere of maize grown in a water-logged saline soil (phase of active growth).

| Age de la plante (en jours) | Régime hydrique | Densité des bactéries sulfato-réductrices (en \log_{10}) sous une intensité d'éclairement de: | |
|--------------------------------|----------------------|--|---------|
| | | 3000 lx | 8000 lx |
| 0 (semis) | capacité au champ | 5,16 | 4,72 |
| | | 4,60 | 5,01 |
| | | 4,94 | 4,91 |
| | | 4,90 | 4,88 |
| 9 | engorgement | 7,59 | 8,77 |
| | | 7,75 | 6,82 |
| | | 8,12 | 7,57 |
| | | 7,82 | 7,72 |
| 16 | engorgement | 6,02 | 7,70 |
| | | 6,40 | 6,44 |
| | | 6,21 | 6,74 |
| | | 6,21 | 6,96 |

N. B. L'engorgement est provoqué le 8ème jour.
Les moyennes sont en italique.

caractères gras

2. Phase de dépérissement

A. Teneur de la rhizosphère en sulfures (exprimée en 10^{-6} S=)

L'analyse statistique des résultats exposés au tableau 3 révèle l'existence de deux effets principaux, libres de toute interaction, et hautement significatifs, pour les facteurs: „intensité de l'éclairement“ et „âge de la plante“.

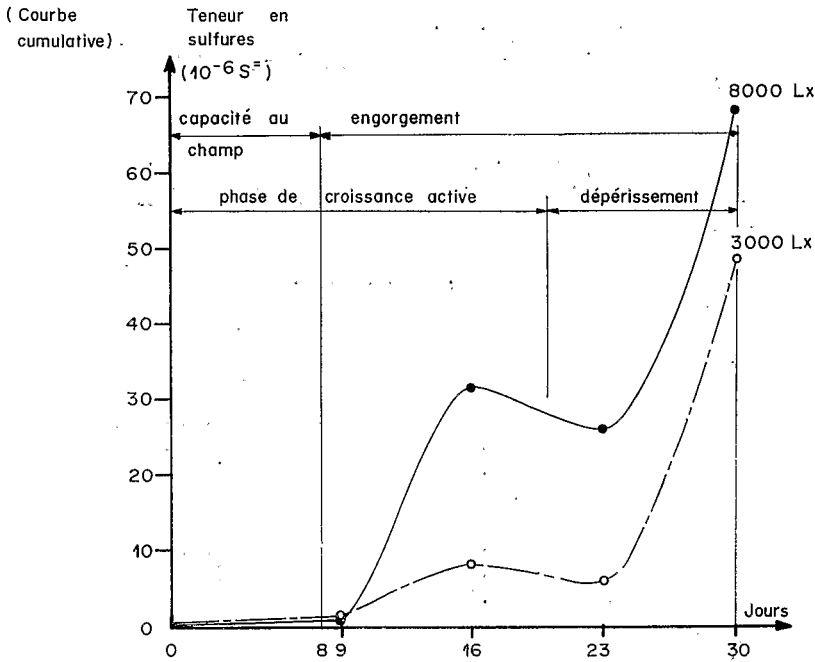


Figure 1
Influence de l'intensité d'éclaircissement sur la teneur en sulfures du sol de la rhizosphère (maïs cultivé sur un sol salin engorgé)

a) Effet de l'intensité d'éclaircissement:

| Eclaircissement | |
|-----------------|---------|
| 3000 lx | 8000 lx |
| 21,00 | 42,38 |

Sous une intensité d'éclaircissement de 8000 lx, la quantité de sulfures accumulés est, en moyenne, deux fois plus élevée que sous une intensité d'éclaircissement de 3000 lx.

b) Effet de l'âge de la plante:

| Age (en jours) | | |
|----------------|-------|-------|
| 16 | 23 | 30 |
| 20,17 | 15,75 | 59,15 |

La production de sulfures marque un palier entre les 16ème et 23ème jours, mais croît rapidement ensuite.

B. Densité des bactéries sulfato-réductrices (exprimée en \log_{10})

L'analyse statistique des résultats exposés au tableau 4 montre l'existence de ces deux mêmes effets principaux, toujours libérés de toute interaction, et hautement significatifs.

Tableau 3

Influence de l'intensité de l'éclairage sur la teneur en sulfures de la rhizosphère d'un maïs cultivé sur sol salin engorgé (phase de dépérissement)

Table 3

Influence of light intensity on the content of sulfides in the rhizosphere of maize grown in a waterlogged saline soil (phase of decay)

| Age de la plante (en jours) | Sous une intensité d'éclairage de | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|
| | 3000 lx | | 8000 lx | |
| | Sulfures (en 10^{-6} S=) | Etat de la plante | Sulfures (en 10^{-6} S=) | Etat de la plante |
| 16 | 6,87 | saine | 30,54 | dépérisante |
| | 6,61 | saine | 31,10 | dépérisante |
| | 11,27 | saine | 34,60 | dépérisante |
| | 8,25 | | 32,08 | |
| 23 | 5,40 | saine | 14,80 | dépérisante |
| | 5,20 | saine | 20,15 | dépérisante |
| | 6,65 | saine | 42,30 | morte |
| | 5,75 | | 25,75 | |
| 30 | 30,60 | dépérisante | 77,80 | morte |
| | 55,30 | morte | 67,90 | morte |
| | 61,10 | morte | 62,20 | morte |
| | 49,00 | | 69,30 | |

N. B. L'engorgement est provoqué le 8ème jour.

Les moyennes sont en italique. *caractères gras*.

a) Effet de l'intensité d'éclairage:

| Eclairage | |
|-----------|---------|
| 3000 lx | 8000 lx |
| 4,90 | 5,92 |

Une intensité d'éclairage forte favorise les bactéries sulfato-réductrices.

b) Effet de l'âge de la plante:

| Age (en jours) | | |
|----------------|------|------|
| 16 | 23 | 30 |
| 6,59 | 5,53 | 4,30 |

La baisse de la densité des bactéries sulfato-réductrices amorcée entre les 9ème et 16ème jours se poursuit régulièrement.

Tableau 4

Influence de l'intensité de l'éclairage sur la densité des bactéries sulfato-réductrices dans la rhizosphère d'un maïs cultivé sur sol salin engorgé (phase de dépérissement)

Table 4

Influence of light intensity on the number of sulfate reducers in the rhizosphere of maize grown in a waterlogged saline soil (phase of decay)

| Age de la plante (en jours) | Sous une intensité d'éclairage de 3 000 lx | | 8 000 lx | |
|--------------------------------|---|----------------------|---|----------------------|
| | Sulfato- réducteurs (en log ₁₀) | Etat de la plante | Sulfato- réducteurs (en log ₁₀) | Etat de la plante |
| 16 | 6,02 | saine | 7,70 | dépérisante |
| | 6,40 | saine | 6,44 | dépérisante |
| | 6,21 | saine | 6,74 | dépérisante |
| | 6,21 | | 6,96 | |
| 23 | 5,74 | saine | 5,63 | dépérisante |
| | 5,41 | saine | 5,55 | dépérisante |
| | 4,12 | saine | 5,53 | morte |
| | 5,09 | | 5,57 | |
| 30 | 3,00 | dépérisante | 5,00 | morte |
| | 4,17 | morte | 5,72 | morte |
| | 3,00 | morte | 4,94 | morte |
| | 3,39 | | 5,22 | |

N. B. L'engorgement est provoqué le 8ème jour.
Les moyennes sont en italique. *caractéristiques fra-*

III. Conclusions

1. Effet de l'intensité de l'éclairage sur l'accumulation de sulfures dans la rhizosphère

L'intensité d'éclairage de la plante exerce un effet très marqué sur l'accumulation de sulfures dans le sol rhizosphérique. Comme le montre la figure 1, cet effet se fait sentir dès que le sol est engorgé.

Pendant la phase de croissance active, l'accumulation de sulfures est quatre fois plus importante dans la rhizosphère des plantes éclairées par 8000 lx que dans celle des plantes soumises à un éclairage de 3000 lx.

Pendant la phase de dépérissement, la rhizosphère des plantes éclairées par 8000 lx est seulement deux fois plus riche en sulfures que celle des plantes moins éclairées (3000 lx). La stimulation de la sulfato-réduction observée dans cette phase est due au fait que les racines des plantes intoxiquées par les sulfures se décomposent et libèrent ainsi de nouvelles quantités de substrats.

2. Effet de l'intensité de l'éclairement sur la densité des bactéries sulfato-réductrices

L'intensité de l'éclairement exerce sur la densité des bactéries sulfato-réductrices un effet moins marqué que sur l'accumulation des sulfures, mais cet effet est encore significatif. Toutefois, il n'y a pas parallélisme entre la densité des bactéries sulfato-réductrices dans la rhizosphère et la production de sulfures, vraisemblablement par suite de l'effet inhibiteur vis-à-vis des bactéries sulfato-réductrices des sulfures accumulés (12).

En définitive, dans les sols riches en sulfates et engorgés, un fort éclairement de la plante accélère les processus de sulfato-réduction rhizosphérique, en stimulant l'exsudation racinaire. Il en résulte que la sulfato-réduction rhizosphérique est beaucoup plus à craindre sous des climats à fort ensoleillement, où l'intensité de l'éclairement peut atteindre 100 000 lx (ce qui est le cas des régions méditerranéennes, par exemple), que sous des climats à faible ensoleillement.

Zusammenfassung

Mais wurde in einem alluvialen Salzboden aus Tunesien angebaut. Unter dem Einfluß einer Lichtintensität von 3000 Lux bzw. 8000 Lux wurde am 16. Tag in der Rhizosphäre eine Sulfidkonzentration von $8 \cdot 10^{-6}$ und $32 \cdot 10^{-6}$ Mol gefunden. Die Pflanzen befanden sich zu dieser Zeit noch in einer aktiven Vegetationsphase.

Nach etwa 23 Tagen verursachte die Anhäufung von Sulfiden in der Rhizosphäre das Absterben der Pflanzen. Der Gehalt an Sulfiden betrug $20 \cdot 10^{-6}$ Mol in der Rhizosphäre der mit 3000 Lux und $42 \cdot 10^{-6}$ Mol in der Rhizosphäre der mit 8000 Lux bestrahlten Pflanzen. Die Reduktion der Sulfate in der Phase des Absterbens hing nicht von den Wurzelabscheidungen, wohl aber vom Absterben der Wurzelzellen ab.

Als Ergänzung zur Ermittlung der Sulfatreduktion wurden auch die sulfatreduzierenden Mikroben zahlenmäßig erfaßt.

Diese Ergebnisse der Laborversuche lassen vermuten, daß in sulfatreichen Böden, wie sie in Nordafrika anzutreffen sind, hohe Lichtintensität die Sulfatreduktion durch Stimulierung der Ausscheidung von Wurzelsekreten beschleunigt. Folglich ist die Sulfatreduktion in der Rhizosphäre im sonnigen Klima gefährlicher als im „Wolken-Klima“.

Littérature.

1. DOMMERGUES, Y., COMBREMONT, R., BECK, G., et OLLAT, C.: Note préliminaire concernant la sulfato-réduction rhizosphérique dans un sol salin tunisien. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 6 (1969), 115—129. — 2. DOMMERGUES, Y., JACQ, V., BALANDREAU, J., and COMBREMONT, R.: Rhizospherical and spermatospherical sulfate reduction and rhizospherical nitrogen fixation in a saline soil. *Proc. IIIrd Conf. on Global Impacts of Applied Microbiology (G. I. A. M. III)*, Bombay 1969 (sous presse). — 3. DOMMERGUES, Y., JACQ, V., et BECK, G.: Influence de l'engorgement sur la sulfato-réduction rhizosphérique dans un sol salin. *C. R. Acad. Sci. Paris* 268 (1969), 605—608. — 4. JACQ, V.: Etude de la sulfato-réduction rhizosphérique dans un sol salin tunisien. D. E. A., Fac. Sci., Nancy 1969 (doc. ronéo.). — 5. AUBERT, G., et OLLAT, C.: Observations sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation, et sur l'amélioration des sols salés. *C. R. Acad. Agric. Fr.* 55 (1969), 244—264. — 6. VAN HOORN, J. W.: Recherches sur l'utilisation de l'eau salée en irrigation en Tunisie. *Nature and Recourses* 2 (1966), 3—7. — 7. JACQ, V., et DOMMERGUES, Y.: Sulfato-réductions rhizosphérique et spermosphérique: influence de la densité apparente du sol. *C. R. Acad. Agric. Fr.* (1970) (sous presse). — 8. ROVIRA, A. D.: Interactions between plant roots and soil microorganisms. *Annual Rev. Microbiol.* 19 (1965), 241—266. — 9. CHAUDHRY, I. A., and CORNFIELD, A. H.: Determination of sulphide in waterlogged soils. *Pl. Soil* 25 (1966), 474—479. — 10. PICHINOTY, F.: Mesure de

l'activité de quelques réductases de microorganismes. Oxidative phosphorylation and terminal electron transport. Information exchange group n° 1. Scientific memo. n° 555 (1966), 1—13. — 11. BECK, G., DOMMERGUES, Y., et VAN DEN DRIESSCHE, R.: L'effet litière II. Etude expérimentale du pouvoir inhibiteur des composés hydrosolubles des feuilles et des litières forestières vis-à-vis de la microflore tellurique. *Oecol. Plant.* 4 (1969), 237—266. — 12. POSTGATE, J. R.: Recent advances in the study of the sulphate reducing bacteria. *Bact. Rev.* 29, 1 (1965), 425—441.

Adresse des Auteurs:

V. Jacq et Y. Dommergues, C. N. R. S., Centre de Pédologie biologique, B. P. 5, 54-Vandœuvre-les-Nancy (France).

Sonderdruck
aus der Zeitschrift

ZENTRALBLATT
für Bakteriologie, Parasitenkunde,
Infektionskrankheiten und Hygiene

Zweite - naturwissenschaftliche - Abteilung /

Band 125 · Heft 7 1970



VEB GUSTAV FISCHER VERLAG JENA