

Des engrais verts pour lutter contre les maladies du sol

Vincent MICHEL, Habib AHMED et Sharmila DAHAL, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre de recherche Conthey, 1964 Conthey

Renseignements: Vincent Michel, e-mail: vincent.michel@acw.admin.ch, tél.+41 27 345 35 11



Evaluation de variétés de moutarde comme engrais vert en Italie. (Photo ACW)

Introduction

En Suisse, les engrais verts sont utilisés avant tout pour couvrir le sol pendant l'automne et l'hiver. Des plantes à croissance rapide et système racinaire profond sont semées pour empêcher le lessivage du nitrate (Thorup-Kristensen *et al.* 2003). D'autres qui couvrent rapidement le sol servent à réduire l'érosion. Leur usage contre les maladies du sol est moins connu (Abawi et Widmer 2000).

Beaucoup de pathogènes du sol ne sont pas très sélectifs et ont de nombreuses plantes hôtes. Des méthodes de lutte contre ces maladies sont nombreuses, mais leur utilisation est souvent limitée. L'application de produits chimiques est fortement restreinte voire interdite pour des aspects environnementaux ou de santé. La désinfection du sol à la chaleur est souvent trop chère et les variétés résistantes ont parfois d'autres caractères non souhaités. L'enfouissement d'engrais verts reste une solution possible.

L'effet des engrais verts sur le niveau d'infestation d'un sol par des pathogènes repose sur le dégagement de substances toxiques lors de leur décomposition après enfouissement. Depuis quelques années, la méthode de biofumigation est proposée aux producteurs pour lutter contre certaines maladies du sol par libération d'isothiocyanates (Michel 2008). Certaines graminées génèrent également des substances toxiques lors de leur décomposition, telles que des composés phénoliques ou des acides aminés (Börner 1960; Patrick et Koch 1958).

De plus, l'enfouissement d'engrais verts dans le sol stimule l'activité des micro-organismes du sol par l'apport de substances facilement dégradables. L'effet bénéfique d'une augmentation de l'activité micro-biologique du substrat a été constaté dans le cas de poinsettias infectés par *Pythium ultimum* (Boehm et Hoitink 1992).

Cette étude présente les résultats de l'utilisation de plusieurs engrais verts pour lutter contre la verticilliose et la maladie des racines liégeuses, deux maladies du sol très répandues en Suisse.

Matériel et méthodes

Engrais verts utilisés

Deux types d'engrais verts ont été testés (tabl.1). Des variétés de moutarde brune (*Brassica juncea*) ou de colza (*Brassica napus*) sont utilisées pour éviter le lessivage de nitrate en automne (Kristensen et Thorup-Kristensen 2004), mais aussi pour la biofumigation (Patalano 2004). Le seigle (*Secale cereale*) est en revanche cultivé comme couverture du sol ou comme culture dérobée.

Les engrais verts ont été semés dans des pots de trois litres remplis d'un substrat commercial à base de tourbe, enrichi avec des nutriments (Brill 1 Tonerde). Ces pots ont été placés dans une serre pendant six à huit semaines jusqu'au début des essais. Pour favoriser la formation de glucosinolates, les moutardes ont été irriguées avec une solution de 0,1 M de sulfate d'ammonium, deux et quatre semaines après le semis.

Tableau 1 | Engrais verts utilisés dans les essais en pots

Espèce	Variété	Teneur en glucosinolates
Moutarde brune	ISCI-20, ISCI-99	riche, très riche
Moutarde brune	Arid	pauvre
Colza	Talent	pauvre
Seigle	Wiandi	nulle

Résumé La moutarde brune, le colza et le seigle ont été testés dans des essais en pot pour lutter contre deux maladies du sol, la verticilliose (causée par *Verticillium dahliae*) et la maladie des racines liégeuses (*Pyrenochaeta lycopersici*). Les engrais verts ont permis de réduire en moyenne 50 % des microsclérotos de *V. dahliae*. L'effet a été fortement influencé par l'espèce d'engrais vert, mais aussi par le type de sol. La stimulation de l'activité microbologique du sol par les engrais verts a induit une diminution du nombre de microsclérotos de *V. dahliae*. L'enfouissement d'une moutarde riche en glucosinolates s'est montré aussi efficace contre la maladie des racines liégeuses qu'une stérilisation du sol à la vapeur. Le seigle, en revanche, n'a eu aucun effet contre cette maladie.

Deux amendements organiques ont été ajoutés aux essais en pots, Biofence et Agrobiosol. Le Biofence est un engrais organique à base de tourteau de moutarde en pellets. Les glucosinolates contenus dans les pellets se décomposent en isothiocyanates, produisant ainsi un effet de biofumigation (Lazzeri et al. 2004). L'Agrobiosol est un engrais organique composé principalement de chitine issue de la production d'antibiotique. Un enrichissement du sol avec de la chitine stimule la microflore du sol antagoniste des pathogènes fongiques (Heller et al. 2006).

Pathogènes étudiés

La verticilliose causée par *Verticillium dahliae* est une maladie du sol atteignant un nombre très élevé de plantes hôtes (Pegg et Brady 2002). Le pathogène survit plusieurs années dans le sol. Il envahit le réseau vasculaire de la plante après pénétration par les racines. En obstruant ces vaisseaux, il provoque des symptômes de flétrissement et peut, en cas de forte attaque, causer la mort de la plante. Dans les débris de la plante, *V. dahliae* forme des microsclérotos, qui lui servent d'organes de survie dans le sol pendant plusieurs années.

La maladie des racines liégeuses est causée par le champignon *Pyrenochaeta lycopersici* et attaque plusieurs cultures maraîchères importantes telles que la tomate, l'aubergine, le concombre et la salade. Contrai-

rement à la verticilliose, elle reste restreinte aux racines et n'envahit pas l'intérieur de la plante. Les racines atteintes prennent un aspect liégeux (fig.1); le pathogène survit également dans le sol pendant plusieurs années sous forme de microsclérotés (Shishkoff et Campbell 1990). Cette détérioration de la racine réduit l'approvisionnement de la plante en eau et en nutriments et, par conséquent, la productivité de la plante.

Sols

Des sols naturellement infestés avec les deux pathogènes ont été utilisés pour les essais en pots (tabl.2). Deux sols contenant *V. dahliae* ont été collectés. L'un provenait d'une parcelle aux Epines (centre de Conthey ACW) où le pathogène a été détecté après des attaques de verticilliose sur l'armoise annuelle (*Artemisia annua*). L'autre a été prélevé sur une exploitation biologique à Riddes dont l'historique de verticilliose sur poi-



Figure 1 | Symptômes de la maladie des racines liégeuses sur racines de tomate. (Photo ACW)

Tableau 2 | Sols utilisés pour les essais en pots. Sol «serre H3» naturellement infesté par *Pyrenochaeta lycopersici*, sols «Epines» et «Riddes» par *Verticillium dahliae*

Nom	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	MO (%)	pH (H ₂ O)
Serre H3	20,5	29,6	49,9	4,8	7,4
Epines	6,0	18,6	75,4	2,2	7,9
Riddes	9,5	48,1	42,4	2,2	8,0

MO = matière organique.

vrons est avéré depuis plusieurs années. Pour les essais avec *P. lycopersici*, le sol a été collecté dans la serre H3 du centre de Conthey où des tomates sont cultivées depuis de nombreuses années. Les sols ont été prélevés quelques mois avant la réalisation des essais en pots et conservés au frigo à 4 °C dans des sacs en plastique fermés pour les maintenir humides.

Essais en pots

Deux séries d'essais en pots ont été réalisées entre 2006 et 2008. Dans une série de deux essais, l'effet des moutardes riche et pauvre en glucosinolates, du seigle et de Biofence sur la survie de *V. dahliae* dans deux sols a été mesuré (tabl.3). L'effet de la moutarde riche en glucosinolates, du colza, du seigle, des deux amendements Agrobiosol et Biofence ainsi que de la stérilisation à la vapeur pour lutter contre la maladie des racines liégeuses a été évalué dans une autre série de deux essais.

La partie aérienne des engrais verts a été récoltée au stade début floraison (moutarde et colza) ou au stade plein tallage (seigle). Ces parties ont été très finement coupées avec un hachoir à oignon ou un mixer avant d'être mélangées avec le sol. Le rapport engrais vert : sol était de 10 % (poids matière fraîche/volume sol humide). Des amendements organiques ont été mélangés avec les sols selon un rapport de 0,2 % (poids amendement/volume sol humide). Une partie du sol contenant du *P. lycopersici* a été stérilisée dans un autoclave pendant trente minutes. Des pots d'un volume de 0,7l ont été remplis avec le mélange et irrigués jusqu'à saturation du sol. Après le remplissage, les pots ont été placés dans un local sans lumière à une température d'environ 21 °C.

Après une semaine d'incubation à l'obscurité, la suite des essais a varié selon le pathogène testé. Pour *V. dahliae*, un échantillon de sol a été prélevé de chaque

Tableau 3 | Procédés testés dans les essais en pots

Procédé	Essai verticilliose	Essai racines liégeuses
Moutarde, riche GSL	oui	oui
Moutarde, pauvre GSL	oui	non
Colza	non	oui
Seigle	oui	oui
Agrobiosol	non	oui
Biofence	oui	oui
Stérilisation vapeur	non	oui
Essai 1	4 pots/modalité	7 pots/modalité
Essai 2	4 pots/modalité	10 pots/modalité

GSL = glucosinolates.

pot et a été séché à l'air pendant six semaines. Le nombre de microsclérotos vivants par gramme de sol a été déterminé avec une méthode de répartition sèche du sol (Butterfield et DeVay 1977) sur un milieu sélectif (Kabir *et al.* 2004). Pour mesurer l'effet sur la maladie des racines liégeuses, un biotest a été utilisé car la détection des microsclérotos de *P. lycopersici* avec une méthode de laboratoire est extrêmement laborieuse. Un planton de tomate de la variété Montfavet H 63-5 F1, très sensible à *P. lycopersici*, a été repiqué dans chaque pot. Après trois semaines de croissance, les plantes ont été coupées au-dessus de la première vraie feuille. Quatre semaines plus tard, la partie aérienne de la repousse a été récoltée et le poids sec a été déterminé. Pendant toute la période de la plantation à la récolte finale, les plantes ont été arrosées avec une solution nutritive pour neutraliser l'apport d'éléments nutritifs par les engrais verts ou amendements organiques.

Pour connaître l'impact des engrais verts sur la microflore des deux sols utilisés dans le deuxième essai verticilliose, des échantillons ont été prélevés à la fin de la semaine d'incubation des pots et leur activité microbologique a été mesurée à l'aide de la méthode FDA (Schnürer et Rosswall 1982).

Résultats

Les engrais verts ont diminué le nombre de microsclérotos de *V. dahliae* de 50 % en moyenne (fig. 2). En revanche, l'engrais organique Biofence n'a pas eu d'effet sur les microsclérotos. Dans le sol plutôt limoneux de Riddes, les moutardes ont eu le meilleur effet, avec une diminution moyenne du nombre de microsclérotos de 62 %, et le seigle un effet intermédiaire avec une diminution de 20 %. Dans le sol sableux des Epines, la situation a été inverse, le seigle a réduit les microsclérotos de presque 90 %, la moutarde avec peu de glucosinolates de 45 % et celle riche en glucosinolates de 25 %. La survie des microsclérotos de *V. dahliae* a été clairement influencée par l'activité microbologique du sol (fig. 3). Le nombre de microsclérotos vivants diminuait avec l'augmentation de cette activité.

La moutarde brune a fourni le meilleur effet sur la maladie des racines liégeuses (fig. 4), la quantité de matière sèche des tomates étant aussi élevée après enfouissement de moutarde qu'après la stérilisation du sol à la vapeur. L'effet a été intermédiaire pour le colza et les deux engrais organiques Agrobiosol et Biofence, et absent pour le seigle comparé au sol témoin non stérilisé.

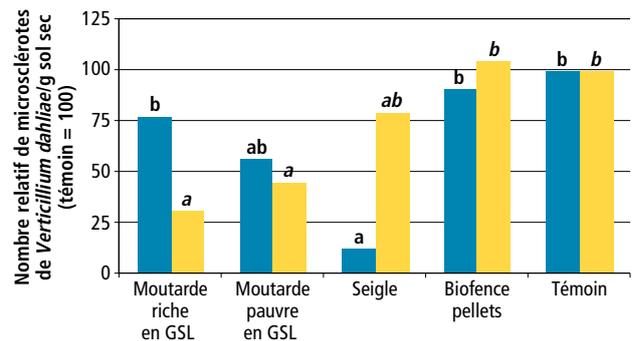


Figure 2 | Nombre relatif de microsclérotos de *Verticillium dahliae* dans le sol après incorporation de différents engrais verts et amendement organique (moyenne de deux essais).

GSL = glucosinolates. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les procédés.

En bleu = sol «Epines»; en jaune = sol «Riddes» (Tukey-test à 5 %).

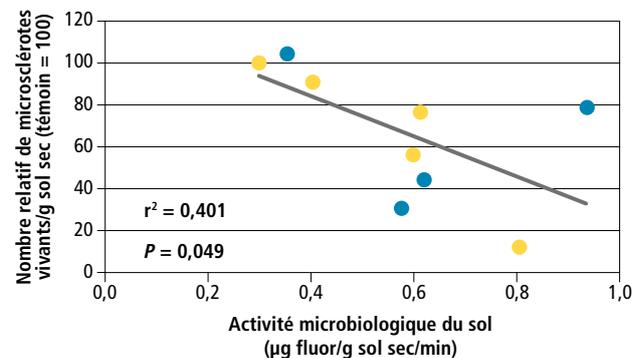


Figure 3 | Corrélation entre le nombre relatif de microsclérotos de *Verticillium dahliae* dans le sol et l'activité microbologique du sol (données d'un essai). Une valeur plus élevée sur l'abscisse indique une plus grande activité microbologique du sol.

Couleur des symboles: jaune = sol «Epines», bleu = sol «Riddes».

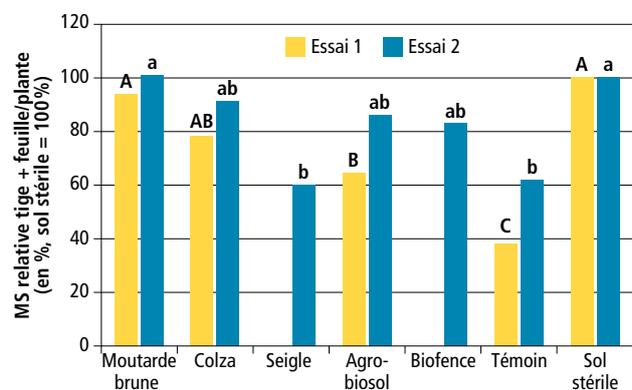


Figure 4 | Matière sèche relative de plante de tomate utilisée comme biotest pour évaluer l'effet de l'incorporation de différents engrais verts et amendements organiques dans un sol fortement infesté par *Pyrenochaeta lycopersici*, l'agent de la maladie des racines liégeuses.

Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les procédés. Lettres majuscules = essai 1; lettres minuscules = essai 2 (Tukey-test à 5 %).

Discussion

La relativement faible réduction du nombre de microscélérotés de *V. dahliae* par les moutardes peut être en partie expliquée par la forte résistance de ce pathogène aux substances toxiques. En effet, pour obtenir une mortalité de 90 % de *V. dahliae* par l'application de méthyl-isothiocyanate, il faut un dosage quatre fois plus élevé que pour *Phytophthora cactorum* ou *Pythium ultimum*, deux pathogènes du sol largement répandus (Klose *et al.* 2008). Statistiquement, la moutarde riche en glucosinolates, qui dégage plus d'isothiocyanates, n'a pas eu plus d'effet que la moutarde pauvre en glucosinolates ou le seigle (fig. 2). L'absence d'effet du Biofence, dont l'activité antifongique est basée sur sa teneur en glucosinolates se transformant en isothiocyanates, confirme l'absence d'un effet de biofumigation contre *V. dahliae*. L'augmentation de l'activité microbiologique par les engrais verts (fig. 3) pourrait expliquer leur effet contre la verticilliose. Un tel effet contre *P. ultimum* a été observé par Boehm et Hoitink (1992). Contre *P. lycopersici*, en revanche, la moutarde riche en glucosinolates a été plus efficace que le seigle (fig. 4). Cet effet «biofumigation» est confirmé par l'efficacité intermédiaire de Biofence.

Pour lutter contre la verticilliose dans des sols fortement infestés, l'effet des engrais verts est insuffisant. Toutefois, leur utilisation régulière pourrait être intéressante dans les sols à faible pression de maladies. Pour les cultures semées en automne, leur faculté de passer l'hiver est très importante. Des engrais verts qui gèlent en hiver donnent moins de travail pour leur enfouissement au printemps, mais leur effet stimulateur sur la microflore du sol est probablement fortement réduit.

Sous serre ou sous tunnel, où l'occupation du sol par un engrais vert pendant deux mois est une forte contrainte économique, l'utilisation d'engrais verts sous forme de plantes séchées (foin) est éventuellement envisageable. Après le séchage de différentes plantes utilisées pour la biofumigation, Lazzeri *et al.* (2004) indiquent que plus de la moitié des glucosinolates reste préservée dans certaines espèces.

L'inconvénient majeur des engrais verts est leur effet variable selon le type de sol, surtout pour la moutarde riche en glucosinolates et le seigle (fig. 2 et 4). Le type de sol peut influencer l'efficacité de la biofumigation (Matthiessen et Shackleton 2005). Dans des sols riches en matière organique, les isothiocyanates sont absorbés par celle-ci, réduisant ainsi l'effet de la biofumigation. Dans les essais verticilliose, la teneur en matière organique des deux sols était identique (tabl. 2). Par contre, le taux de sable élevé du sol «Epines» pourrait expliquer l'efficacité réduite de la moutarde riche en glucosinolates. Dans un tel sol, des pertes d'isothiocyanates par volatilisation (Kirkegaard 2009) pourraient être importantes.

Conclusions

- Les engrais verts testés, moutarde, colza et seigle, ont un effet variable contre les deux maladies du sol, la verticilliose et la maladie des racines liégeuses. De plus, l'effet est influencé par le type de sol.
- Contre la verticilliose, l'effet de biofumigation des moutardes est probablement négligeable mais l'activité microbiologique du sol peut expliquer l'efficacité des engrais verts contre la verticilliose.
- Contre la maladie des racines liégeuses, la biofumigation avec des moutardes riches en glucosinolates est très efficace. ■

Remerciements

Un grand merci à M. L. Favre, producteur biologique à Riddes, pour la mise à disposition de sol pour les essais sur la verticilliose.

Bibliographie

- Abawi G. S. & Widmer T. L., 2000. Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Appl. Soil Ecol.* **15**, 37–47.
- Boehm M. J. & Hoitink H. A. J., 1992. Sustainment of microbial activity in potting mixes and its impact on severity of *Pythium* root rot on Poinsettia. *Phytopathology* **82**, 259–264.
- Börner H., 1960. Liberation of organic substances from higher plants and their role in the soil sickness problem. *Bot. Rev.* **26**, 393–424.
- Butterfield E. J. & DeVay J. E., 1977. Reassessment of soil assays for *Verticillium dahliae*. *Phytopathology* **67**, 1073–1078.
- Heller W. E., Neuweiler R. & Krauss J., 2006. Premières expériences avec la chitine pour lutter contre l'hernie du chou. *Le Maraîcher* **6**, 17.
- Kabir Z., Bhat R. G. & Subbarao K. V., 2004. Comparison of media for recovery of *Verticillium dahliae* from soil. *Plant Dis.* **88**, 49–55.
- Kirkegaard J., 2009. Biofumigation for plant disease control – from the fundamentals to the farming system. In: Walters D. (ed.). *Disease control in crops: Biological and environmentally friendly approaches*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, 172–193.
- Klose S., Ajwa, H. A., Browne G. T., Subbarao K. V., Martin F. N., Fennimore S. A. & Westerdahl B. B., 2008. Dose response of weed seeds, plant-parasitic nematodes, and pathogens to twelve rates of metam sodium in a California soil. *Plant Dis.* **92**, 1537–1546.

Summary ■ **Green manures to control soilborne diseases**
Brown mustard, canola and rye were used to control two soilborne diseases, *Verticillium wilt* (caused by *Verticillium dahliae*) and corky root (*Pyrenochaeta lycopersici*) in a series of pot trials. The average reduction of the number of *V. dahliae* microsclerotia by the green manures was 50 %. This reduction was strongly influenced by the green manure species, but also by the soil type. The microbial activity of the soil, enhanced by the green manures, led to a diminution of *V. dahliae* microsclerotia. For the control of corky root, the efficacy of a brown mustard with a high glucosinolate content was similar to steam sterilizing the soil. In contrast, rye had no effect against this disease.

Key words: biofumigation, corky root, microbial activity, soil type, *Verticillium dahliae*.

■ **Einsatz von Gründüngern zur Bekämpfung bodenbürtiger Krankheiten**
Brauner Senf, Raps und Roggen wurden in Topfversuchen für ihren Einsatz zur Bekämpfung der *Verticillium*-Welke (verursacht durch *Verticillium dahliae*) und der Korkwurzelkrankheit (*Pyrenochaeta lycopersici*) geprüft. Die Gründünger verringerten im Durchschnitt die Anzahl der *V. dahliae*-Mikrosklerotien um 50 %. Diese Verringerung wurde stark durch die Gründünger-Art, aber auch den Bodentyp beeinflusst. Dabei spielte die mikrobiologische Aktivität des Bodens, welche durch die Gründünger angeregt wurde, eine wichtige Rolle. Mit einer Zunahme dieser Aktivität kam es zu einer Abnahme der Anzahl *V. dahliae*-Mikrosklerotien. Gegen die Korkwurzelkrankheit wies der braune Senf mit einem hohen Glukosinolat-Gehalt eine mit einer Dampfsterilisierung des Bodens vergleichbare Wirkung auf. Der Roggen hingegen hatte keine Wirkung gegen *P. lycopersici*.

■ **Riassunto** ■ **Uso di sovesci per lottare contro le malattie del suolo**
Senape marrone, colza e segale sono state testate nell'ambito di prove svolte in vaso per lottare contro due malattie del suolo, la verticillosi (causata da *Verticillium dahliae*) e la malattia della radice suberosa (*Pyrenochaeta lycopersici*). Mediante l'uso di sovesci si è raggiunta una riduzione media del 50 % dei microsclerozi di *V. dahliae*. Questa riduzione è stata fortemente influenzata dal tipo di sovescio, ma pure dal tipo di suolo. L'attività microbiologica del suolo, stimolata dal sovescio, ha ricoperto un ruolo importante. Con l'aumento di quest'attività, il numero dei microsclerozi di *V. dahliae* è diminuito. Contro la malattia della radice suberosa l'interramento di una senape ricca in glucosinolato ha ottenuto un eccellente effetto, paragonabile ad una sterilizzazione del suolo mediante vapore. Per contro, la segale non ha avuto nessun effetto contro questa malattia.

- Kristensen H. L. & Thorup-Kristensen K., 2004. Root growth and nitrate uptake of three different catch crops in deep soil layers. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **68**, 529–537.
- Lazzeri L., Leoni O. & Manici L. M., 2004. Biocidal plant dried pellets for biofumigation. *Industrial Crops Prod.* **20**, 59–65.
- Matthiessen J. N. & Shackleton M. A., 2005. Biofumigation: environmental impacts on the biological activity of diverse pure and plant-derived isothiocyanates. *Pest Manag. Sci.* **61**, 1043–1051.
- Michel V., 2008. Biofumigation, principe et application. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **40**, 95–99.
- Patalano G., 2004. New practical perspectives for vegetable biocidal molecules in Italian agriculture: Bluformula brand for commercialisation of biocidal green manure and meal formulations. *Agroindustria* **3**, 409–412.
- Patrick Z. A. & Koch L. W., 1958. Inhibition of respiration, germination, and growth by substances arising during the decomposition of certain plant residues in the soil. *Can. J. Bot.* **36**, 621–647.
- Pegg G. F. & Brady B. L., 2002. *Verticillium* wilts. CABI Publishing, Wallingford (UK), 552 p.
- Schnürer J. & Rosswall T., 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Appl. Environ. Microbiol.* **43**, 1256–1261.
- Shishkoff N. & Campbell R. N., 1990. Survival of *Pyrenochaeta lycopersici* and the influence of temperature and cultivar resistance on the development of corky root of tomato. *Plant Dis.* **74**, 889–894.
- Thorup-Kristensen K., Magid J. & Stoumann Jensen L., 2003. Catch crop and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Adv. Agron.* **79**, 227–302.