



## Influence du Biochar et du Mycotri sur le développement de la grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.) et la densité de population des nématodes à galles sous serre

Octave BEHOUNDJA-KOTOKO<sup>ID</sup>, Fabert SOMAKOU, Néhal T. M. DJAOUGA MAMADOU\*<sup>ID</sup>,  
Manzidath ALAGBA, Ruffin DOSSOU AGBEDE, Hugues BAIMEY<sup>ID</sup>

Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin

Emails : [bekoct@gmail.com](mailto:bekoct@gmail.com) ; [tinondjaouga@gmail.com](mailto:tinondjaouga@gmail.com) ; [baimeyhugues@gmail.com](mailto:baimeyhugues@gmail.com)

Reçu le 11 Juin 2022 - Accepté le 15 Décembre 2022 - Publié le 31 Décembre 2022

**Résumé** : Afin de réduire les effets néfastes de l'utilisation des pesticides chimiques sur l'environnement et la qualité des aliments, de nouvelles alternatives sont recherchées pour lutter contre les nématodes à galles en culture maraîchère. La présente étude analyse l'effet du biochar et d'une formulation (le Mycotri) à base de champignons et de bactéries parasites des nématodes à galles en culture de la grande morelle. Elle a été réalisée en conditions de serre dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet comportant huit traitements répétés chacun six fois. Les différents traitements étaient : le biochar (26,6 g/kg de sol stérilisé), le Mycotri (2,6 g/kg de sol stérilisé) ou leur combinaison (40 g de biochar et 4 g de Mycotri pour 1456 g de sol stérilisé). Les résultats montrent que le biochar, le Mycotri et leur combinaison améliorent le pH du sol. Le biochar et sa combinaison au Mycotri favorise l'augmentation de la surface foliaire des plants et de la masse des feuilles et racines. L'indice de galles, le nombre de galles et la densité de la population des nématodes dans le sol sont plus élevés au niveau des traitements avec biochar, tandis que la densité de la population de nématodes a diminué dans les racines en présence du Mycotri. Toutefois, l'amendement du biochar combiné au Mycotri mérite une attention particulière dans la lutte contre les nématodes à galles.

**Mots clés** : Biochar, grande morelle, Mycotri, nématode à galles, Bénin.

### Influence of Biochar and Mycotri on the development of nightshade (*Solanum macrocarpon* L.) and the population density of root-knot nematodes under greenhouse

**Abstract**: In order to reduce the degrading effects of chemical pesticides on the environment and food quality, new alternatives are being sought to control root-knot nematodes in vegetable crops. The present study analyzes the effect of biochar and a formulation (Mycotri) based on fungi and bacteria parasitizing root-knot nematodes in nightshade crops. It was carried out under greenhouse conditions in a complete randomized block design with eight treatments each repeated six times. The different treatments were: biochar (26.6 g/kg sterilized soil), Mycotri (2.6 g/kg sterilized soil) or their combination (40 g biochar and 4 g Mycotri for 1456 g sterilized soil). The results show that biochar, Mycotri and their combination improve soil pH. Biochar and its combination with Mycotri favor the increase of the leaf area of the plants and the mass of the leaves and roots. The gall index, number of galls and nematode population density in the soil were higher in the biochar treatments,

while the nematode population density decreased in the roots in the presence of Mycotri. However, the amendment of biochar combined with Mycotri deserves special attention in the control of root-knot nematodes.

**Keywords:** Biochar, nightshade, Mycotri, root-knot nematode, Benin.

## 1. Introduction

Au Bénin, la production maraîchère constitue une composante importante de l'agriculture urbaine et périurbaine. Elle est constituée d'une part des cultures traditionnelles (tomate, piment, gombo, oignon...) et d'autre part des légumes feuilles et les cultures exotiques (grande morelle, chou, laitue, carotte, concombre, poireau, haricot vert etc...) (Tokannou & Quenum, 2007). Ainsi, la production maraîchère et surtout celle des légumes feuilles a pris une importance capitale dans les activités agricoles des villes, en particulier, au Sud-Bénin (Anihouvi et al., 2007).

La grande morelle, *Solanum macrocarpon* L. communément appelée 'Gboma' au Bénin est l'un des légumes feuilles les plus produits dans cette forme d'agriculture et constitue une source importante de revenus aux maraîchers qui le cultivent (Anihouvi et al., 2007). Cependant, la production de la grande morelle est souvent confrontée à de nombreux problèmes parmi lesquels existent les attaques de ravageurs qui sont généralement mal connues et gérées par les producteurs (Mondédji, 2010). Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.), sont particulièrement des ravageurs très redoutables en maraîchage (Sikora & Fernández, 2005, James et al., 2010). Leurs attaques sont généralement localisées sur les parties souterraines de la plante, à savoir les racines et les radicelles. Sur la grande morelle, les nématodes provoquent des galles sur les racines des plants attaqués, le jaunissement des feuilles, le retard de croissance des plants, l'amincissement des feuilles et le flétrissement (James et al., 2010). Ils occasionnent des dégâts à l'origine de 60% des pertes de récoltes (Afouda et al., 2012).

Pour pallier aux attaques de nématodes, les producteurs optent pour l'utilisation des nématicides chimiques qui contaminent les eaux et les récoltes. Parmi les alternatives à l'utilisation des pesticides chimiques, les amendements du sol tels qu'avec le biochar (Djaouga et al., 2020) appliqué seul ou en combinaison avec les agents de lutte biologique tels que les champignons et les bactéries parasites des nématodes (Mukhtar et al., 2013 ; Seenivasan, 2011) s'avèrent être efficaces contre les nématodes à galles et certains pathogènes du sol.

Le biochar réduit la mobilité des polluants organiques comme les pesticides (Jones et al., 2011 ; Xu et

al., 2013) et diminue le risque lié à la contamination des eaux. Aussi, il a été observé une meilleure rétention de nutriments comme les nitrates ou les phosphates dans les horizons de sols amendés au biochar (Yao et al., 2012). Le biochar contribue ainsi de façon directe ou indirecte, par l'intermédiaire des microorganismes, à l'amélioration de la résistance des plantes au stress hydrique en améliorant l'humidité du sol (Djaouga et al., 2020). Il favorise un meilleur développement de la plante dû à la modification de la composition des communautés bactériennes ou fongiques bénéfiques pour la plante et de l'activité de la faune du sol (Lehmann et al., 2011).

Les champignons nématophages tels que *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, et la bactérie *Pseudomonas fluorescens* sont de plus en plus utilisés comme alternatives aux pesticides chimiques dans la lutte contre les nématodes à galles (Wang et al., 2010 ; Affokpon et al., 2011 ; Seenivasan, 2011 ; Mukhtar et al., 2013). Des études antérieures ont montré que *P. lilacinus* (Esfahani & Pour, 2006 ; Mukhtar et al., 2013), *P. fluorescens* (Seenivasan, 2011), *T. viride* et *T. harzianum* (Mukhtar et al., 2013) favorisent la croissance des plantes tout en inhibant la reproduction des nématodes du genre *Meloidogyne* et la formation des galles par ces derniers. Mais les données sur les effets de ces champignons en combinaison au biochar sur la croissance des plants et les densités de population des nématodes à galles sont insuffisantes.

La présente étude a pour objectif de mesurer l'effet du biochar et du Mycotri sur le développement de la grande morelle et la densité de population des nématodes à galles associés à la grande morelle en conditions de serre. Par une expérimentation en serre, les résultats de ce travail permettront d'avoir une connaissance des effets du biochar et de sa combinaison aux champignons sur la croissance des plantes. Aussi ces résultats permettront de prendre des décisions quant à l'utilisation du biochar en combinaison aux champignons sur la densité de population des nématodes à galles.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Milieu d'étude

L'essai a été réalisé dans une serre de la Faculté d'agronomie de l'Université de Parakou (Latitude : N 09°18.908', Longitude : E 002°42.106', Altitude par rapport au niveau de la mer : 369 m). Le climat y est de

type tropical, avec une période très chaude et sèche de novembre à mars et une période pluvieuse d'avril à octobre. La température au cours de la période de l'essai a entre de 30°(max) et 22°(min).

## 2.2. Matériel végétal

La variété « GBOMA KOMBARA » de grande morelle (*Solanum macrocarpon* L.), a servi de matériel végétal pour cette étude. Elle est cultivée principalement pour ses feuilles succulentes, mais pour ses fruits amers. Les parties comestibles de *S. macrocarpon* sont nourrissantes et contiennent des glucides, de la cellulose, du calcium, des matières grasses, des protéines et de l'eau.

## 2.3. Matériel animal

Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) préalablement multipliés sur la grande morelle dans la serre ont été utilisés. Les racines infestées des plants de grande morelle ont été utilisées pour l'extraction des juvéniles de nématodes à galles par la collecte des masses d'œufs. Ces masses d'œufs après avoir été conservé des boîtes de Petri afin de permettre aux juvéniles de nématodes d'éclore. Les juvéniles ont ensuite été utilisés pour l'infestation des plants de grande morelle.

## 2.4. Matériel technique

Le biochar utilisé dans cette étude provenait de la pyrolyse de rafles de maïs dans un four de fabrication artisanal à 350-400°C pendant une heure et le Mycotri acheté dans un centre de vente de produits phytosanitaires. Le Mycotri est une poudre biologique à base de spores de quatre champignons et d'une bactérie. Il s'agit des champignons *Paecilomyces lilacinus*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride*, *Pleurotus tuberregium* et de la bactérie *Pseudomonas fluorescens*.

## 2.5. Installation de l'essai

Après une pépinière qui a duré trois semaines, les plantules de grande morelle les plus vigoureuses et ayant cinq à six feuilles ont été repiquées dans des pots de contenance 2 L. Ces pots ont été préalablement remplis chacun avec du sol ferrugineux tropical stérilisé (85°C, 72h, 1496 g/pot) et les différents traitements contenant le biochar (26,6 g/kg de sol stérilisé), le Mycotri (2,6 g/kg de sol stérilisé) ou leur combinaison (26,6 g de biochar et 2,6 g/kg de sol stérilisé) ont été appliqués six jours avant le repiquage puis arrosés. Les pots représentant le traitement Témoin ont été remplis seulement avec 1500 g de sol stérilisé. Ces traitements étaient : Témoin, Biochar, Biochar + nématodes à galles, Biochar + Mycotri, Nématodes à galles, Nématodes à galles + Mycotri, Mycotri, Biochar + nématodes à galles + Mycotri.

Les pots ont été arrangés dans un dispositif en bloc aléatoire simple à randomisation totale composé de huit traitements répétés chacun six fois. Chaque pot

contenant un type de traitement constituait l'unité expérimentale.

## 2.6. Collecte des données

Les données ont été collectées tous les quinze jours. Les variables collectées concernent t le pH, l'humidité des sols et les paramètres de croissance de la plante (la hauteur des plants, la masse des fruits, la biomasse racinaire et la masse des feuilles et tiges). Le pH du sol a été mesuré avec un pH-mètre de marque PICCOLO de HANNA, et l'humidité du sol a été mesurée avec un hydro-pH-mètre de marque green Tower. La longueur et la largeur des feuilles ont été mesurées à l'aide d'une règle de 30 cm de longueur. La longueur d'une feuille a été mesurée à partir du nœud de son insertion entre la tige et le pétiole jusqu'à son bout final. La largeur a été mesurée au niveau de la partie la plus large de la feuille. La formule de Guevara & Gomez-Pompa (1972) a été utilisée pour estimer la surface foliaire. Ainsi :

$Surface\ foliaire = Longueur \times Largeur \times k$  avec une constante  $k = 0,67$

La hauteur de chaque plant a été mesurée avec un centimètre à partir de son collet jusqu'au niveau du point d'insertion de ses dernières feuilles. La masse des fruits au cours du développement des plants : les fruits produits par plant ont été collectés et pesés au fur et à mesure qu'ils atteignent la maturité physiologique. La masse des racines, des feuilles et des tiges des plants à la récolte, trois mois après repiquage : les plants ont été soigneusement arrachés à la récolte. Pour chaque plant, les racines ont été coupées et lavées à l'eau de robinet puis sécher à l'air libre pendant 15 minutes pour retirer l'eau avant d'être pesées. Les feuilles et tiges ont été coupées et pesées séparément.

Des paramètres relatifs à la densité de population des nématodes et aux dégâts causés par ces derniers aux plants ont été évalués à la récolte. Les racines coupées et lavées à l'eau de robinet ont été utilisées pour l'extraction des nématodes. Ceci a été fait uniquement pour les pots ayant reçu l'inoculum de nématodes. Les racines lavées ont été finement coupées (1cm de long environ) à l'aide d'une paire de ciseaux. Les morceaux de racines ont été soigneusement mélangés et un sous-échantillon de 5 g de racines a été prélevé par plant pour l'extraction des nématodes en utilisant le dispositif modifié de Baermann (Coyne et al., 2018). Les nématodes ont été aussi extraits de 50 g de sol prélevé de chaque pot en utilisant le même dispositif. Pour ce faire, le sol contenu dans chaque pot a été soigneusement mélangé avant qu'un sous-échantillon de 50 g ait été pris. Dans les deux cas (des racines et du sol), chaque sous-échantillon a été mis dans un tamis tapissé à l'intérieur de papier filtre et le tout a été placé dans une assiette en plastique. Ensuite, 150 ml d'eau ont été rajoutés jusqu'à couvrir légèrement l'échantillon de sol ou de racines afin de favoriser la migration des nématodes des échantillons vers l'eau qui constitue le milieu d'extraction.

Après 72 h, le tamis contenant le papier filtre sur lequel est déposé chaque échantillon a été retiré délicatement de l'assiette. Les suspensions de nématodes contenues dans les différentes assiettes ont été collectées et transférées dans des béchers gradués et après 30 min de décantation, ensuite, les suspensions contenues dans les béchers ont été ramenées à 50 ml en éliminant les surnageants. Pour chaque suspension, les nématodes ont été comptés trois fois (avec remise chaque fois) au binoculaire à un grossissement de 40x dans 5 ml de suspension à l'aide d'une boîte de Petri de 9 cm de diamètre quadrillée et la densité de population des nématodes par gramme de sol ou de racines a été calculée par extrapolation.

L'indice de galles causées par les nématodes a été déterminé à l'aide de la table d'indexation pour les nématodes à galles dont l'échelle est de 0 à 10 avec pour 0 = pas de galles et 10 = toutes les racines ont des galles, généralement plant mort (Coyne et al., 2018). Le nombre de galles a été déterminé par comptage des galles présentes dans 1 g de racines finement découpées au préalable à la binoculaire de marque Ceti (Medline Scientific™ 7500.9000M).

## 2.7. Analyse des données

Les données collectées ont été saisies à l'aide du tableur Excel. Les paramètres de croissance et de développement, les propriétés physico-chimiques (pH et humidité) du sol et les densités de populations des nématodes ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à trois facteurs (biochar, Mycotri et nématodes) avec le logiciel R version 4.1.2. Le test de SNK a permis de faire la comparaison deux à deux en cas de différences significatives entre les moyennes au seuil de 5%.

## 3. Résultats

### 3.1 Influence du biochar et du Mycotri sur les propriétés physico-chimiques (pH et humidité) du sol

Le Tableau 1 ci-dessous montre que le pH du sol varie significativement ( $p < 0,05$ ) en fonction des différents traitements. En effet, le pH était plus élevé au niveau du traitement d'apport combiné du biochar et du Mycotri comparativement au témoin et aux traitements Mycotri. De même, aucune différence l'humidité du sol n'était observée entre traitement. Le pH et l'humidité étaient généralement plus élevés pour la combinaison du biochar et du Mycotri que le Mycotri seul, où le pH et l'humidité étaient contrairement plus faibles que celles du traitement témoin.

Tableau 1 : Effet du biochar, du Mycotri et de leur combinaison sur le pH et l'humidité du sol

Table 1: Effect of biochar, Mycotri and their combination on soil pH and moisture

Traitements	pH	Humidité (%)
Témoin	7,42±0,03a	48,35±4,10a
Biochar	7,45±0,04a	54,23±9,43a
Biochar + Nématodes	7,46±0,04a	48,83±7,05a
Biochar + Mycotri	7,77±0,04b	56,47±10,10a
Nématodes	7,45±0,03a	47,90±8,24a
Nématodes + Mycotri	7,53±0,27a	56,38±7,49a
Mycotri	7,37±0,03a	44,16±7,33a
Biochar + Mycotri + Nématodes	7,52±0,05a	53,95±8,57a
<i>P</i>	0,002 **	0,29

NB : Dans chaque colonne les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

### 3.2 Effet du biochar, du Mycotri et de leur combinaison sur quelques paramètres agro-morphologiques (hauteur des plants, surface foliaire, masse des feuilles, des tiges, des racines et des fruits) de la grande morelle

Le Tableau 2 ci-dessus résume les valeurs moyennes de quelques paramètres agro-morphologiques mesurés sur les plants de grande morelle en fonction des différents traitements. Tous les paramètres mesurés, hormis la masse des tiges ont été significativement ( $p > 0,05$ ) affectés par les différents facteurs. En comparant les moyennes des différents paramètres pour le Biochar et le Mycotri appliqués séparément, seules celles de la masse des racines montrent de différences significatives avec les moyennes du traitement témoin. La même chose a été observée avec les traitements Témoin et Nématodes. La combinaison Biochar + Mycotri + Nématodes a permis d'avoir des hauteurs, des surfaces foliaires et des masses de fruits significativement supérieures à celles obtenues avec les traitements Nématodes et Témoin. Le Biochar seul et le Mycotri seul appliqués avec les nématodes montrent de différences significatives uniquement au niveau de la masse des racines et des fruits. La hauteur, la surface foliaire et la masse des feuilles étaient significativement supérieures avec la combinaison Biochar + Mycotri à celles obtenues avec les deux amendements appliqués séparément. Pour les trois traitements, les masses de tiges, de racines et de fruits ne sont pas statistiquement différentes.

Tableau 2 : Effet du biochar, du Mycotri et de leur combinaison sur quelques paramètres agro-morphologiques (hauteur, surface foliaire, masse des feuilles, racines et fruits) de la grande morelle

Table 2: Effect of biochar, Mycotri and their combination on some agro-morphological parameters (height, leaf area, leaf, root and fruit mass) of nightshade

Traitement	Hauteur (cm)	Surface foliaire (cm <sup>2</sup> )	Biomasse feuilles (g)	Masse des tiges (g)	Biomasse racinaire (g)	Masse des fruits (g)
Témoin	13,50±1,02ab	83,02±22,67a	21,26±2,94a	8,28±1,74a	21,70±4,86d	12,68±6,68a
Biochar	14,80±1,50b	81,63±19,31a	27,61±3,32ab	9,15±1,46a	24,43±5,37c	21,08±11,95ab
Biochar + Nématodes	14,70±2,47b	145,34±116,25b	27,94±2,86ab	7,66±0,88a	38,30±4,44a	13,20±4,03a
Biochar + Mycotri	17,61±2,5c	112,01±22,29b	29,86±4,81b	9,60±1,32a	27,86±5,76c	16,98±11,56a
Nématodes	11,33±3,61a	88,40±24,23a	22,03±1,06a	8,00±0,83a	33,5±4,56b	15,60±0,56a
Nématodes + Mycotri	15,83±0,75b	97,09±26,63ab	28,31±2,07ab	8,36±0,97a	34,10±5,77b	27,60±5,62b
Mycotri	15±1,41b	80,85±14,04a	23,28±3,93a	8,13±2,12a	15,30±4,64e	16,50±6,28a
Biochar + Mycotri + Nématodes	16,33±1,21c	111,79±21,65b	26,49±1,71ab	7,81±1,36a	26,90±4,43c	26,08±11,90b
<i>p</i>	0,05*	0,05*	0,008 **	0,54	0,04*	0,04*

NB : Dans chaque colonne les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%

### 3.3 Effet du Biochar, du Mycotri et de leur combinaison sur l'indice de galles, le nombre de galles et la densité de population des nématodes (DPN) dans le sol et dans les racines

Des différences significatives ( $p < 0,05$ ) ont été observées au niveau des valeurs moyennes de l'indice de galles, le nombre de galles, la densité de population des nématodes dans le sol et les racines en fonction des différents traitements (Tableau 3). La densité de population des nématodes dans les racines était faible dans le traitement ajout de Mycotri (69,22±29,70 nématodes/g de racines,  $p = 0,0206$ ) comparativement au Témoin (sans Mycotri ni Biochar) (279,02±181,44 nématodes/g de racines,  $p = 0,0206$ ) ou avec l'apport du Biochar (320,44±251,36 nématodes/g de racines,  $p = 0,0206$ ). La

multiplication des nématodes dans les racines et les sols était maximale avec les traitements biochar seul et biochar combiné au Mycotri.

Le biochar et le Mycotri appliqués séparément n'ont pas affecté significativement l'indice de galles observées sur les systèmes racinaires des plants. Mais la combinaison biochar et le Mycotri a donné un indice moyen de galles (4,66±1,32 ;  $p < 0,001$ ) significativement inférieur à celui du traitement témoin (6,50±1,26 ;  $p < 0,001$ ). Par contre, le nombre de galles a été significativement inférieur au niveau des plants ayant reçu Mycotri + nématodes comparativement à ceux ayant obtenu une application de nématodes seuls. Les combinaisons Biochar + nématodes, Mycotri + nématodes et Biochar + Mycotri + nématodes ont donné des valeurs d'indice de galles et de nombre de galles similaires ( $p \leq 0,05$ ).

Tableau 3 : Effet des différents traitements sur l'indice de galle, le nombre de galle et la densité de population des nématodes dans le sol et les racines.

Table 3: Effect of different treatments on gall index, gall number and nematodes population density of in soil and roots

Traitement	DPN dans les racines	DPN dans le sol	Indice de galles	Nombre de galles
Biochar + Nématodes	320,44±251,36b	214,27±85,94b	5,33±0,54ab	207±27,29ab
Nématodes	279,02±181,44ab	187,72±104,80ab	6,50±1,26b	264,5±79,17b
Mycotri + Nématodes	69,22±29,70a	152,72±53,62ab	5,33±1,47ab	139,5±25,42a
Biochar + Mycotri + Nématodes	99±44,54ab	77±37,10a	4,66±1,32a	198,66±66,93ab
<i>P</i>	0,0206 *	0,0272 *	<0,001 **	<0,001 ***

NB : DPN : Densité de population des nématodes. Dans chaque colonne les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

## 4. Discussion

Les résultats de cette expérience montrent une augmentation du pH du sol dans tous les pots ayant reçu la combinaison du Biochar et du Mycotri. Cette augmentation pourrait s'expliquer par le fait que le biochar est généralement alcalin, à cause de la présence de minéraux inorganiques tels que les carbonates et les phosphates, et aux cendres formées lors de la pyrolyse et de la carbonisation (Wang et al. 2011). De plus, le biochar utilisé dans cette étude provenait de la pyrolyse de rafles de maïs de nature basique (pH=9,44) alors une fois appliqué au sol, il lui aurait conféré sa propriété. Ceci corrobore les résultats de recherches antérieures qui ont montré que le biochar améliore le rendement des cultures dans les sols tropicaux acides en diminuant le taux d'aluminium biodisponible et en réduisant l'acidité du sol (Major et al., 2010). En effet, une disponibilité suffisante en carbone, apportée par le biochar, stimulerait l'activité biologique du sol tout en améliorant le cycle de l'Azote, grâce à une moindre fixation des nitrates (Steiner et al., 2007).

Les résultats montrent par ailleurs que la surface foliaire, la biomasse feuille et racinaire ont augmenté avec l'apport du biochar bien que la hauteur des plantes, la biomasse tige et fruit n'aient pas changé en fonction des différents traitements. Cette augmentation pourrait être expliquée par la capacité du biochar à favoriser de bonnes conditions de croissance aux plantes par l'amélioration de la porosité du sol et la disponibilité des éléments nutritifs qui sont libérés progressivement. Ces résultats sont similaires à celles de recherches antérieures qui ont montré que l'amendement au biochar permet d'accroître la biomasse racinaire, la masse et le rendement en grains du haricot (Alburquerque et al., 2014). Par ailleurs, la hauteur, la biomasse tige et fruit n'ont peut-être pas été impacté car la grande morelle étant une culture basse n'a pas réellement changé en termes de hauteur. Par ailleurs, l'apparition des fruits n'a pas été très abondante ce qui n'a pas favoriser une grande variabilité pour faciliter la comparaison des traitements.

L'indice de galles, le nombre de galles et la densité de population des nématodes dans le sol a connu une croissance avec l'apport du biochar. Cela pourrait expliquer l'augmentation de la biomasse racinaire observée par apport du biochar. En effet, l'abondance des racines facilitera son exploitation par les nématodes expliquant l'indice de galles et le nombre de galles. Cependant, la densité de population des nématodes dans les racines a baissé avec l'apport du Mycotri. Cela pourrait s'expliquer par la présence dans le Mycotri de champignons et bactéries parasites de nématodes et de leurs œufs. En effet, *P. lilacinus* contenu dans le Mycotri favorise la croissance des plantes en réduisant la pathogénicité de *Meloidogyne javanica* par la suppression de ses galles (Esfahani & Pour, 2006), de même pour *Meloidogyne incognita* (Oclarit et al., 2009).

Aussi, Mukhtar et al. (2013) ont démontré que *Paecilomyces lilacinus* et *Trichoderma harzianum* contribuent à une réduction maximum du nombre de galles, d'œufs et de la fécondité de *M. incognita* en culture de gombo.

## 5. Conclusion

En somme, les résultats de notre étude montrent que le biochar combiné au Mycotri peut être utilisé dans l'amélioration du pH des sols tandis que le Mycotri seul permet de lutter efficacement contre les nématodes. La combinaison du Mycotri et du biochar n'a eu aucun effet significatif sur les différents paramètres étudiés. Cependant, l'utilisation de cette combinaison contre les nématodes nécessite des recherches plus approfondies car pourrait présenter de nombreux avantages pour le sol, les plantes et les microorganismes du sol. Ces résultats permettent de prendre des décisions quant à l'utilisation du biochar en combinaison aux champignons sur la densité de population des nématodes à galles.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions le projet ProSol (Projet de Protection et Réhabilitation des Sols pour améliorer la Sécurité Alimentaire (ProSol)/GIZ) qui a financé cette recherche et les techniciens de laboratoire pour leur assistance.

## CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Rôles	Noms des auteurs
Conception de l'étude	HB, NDTM, OBK, MA, RDA, FS
Gestion des données	NDTM, MA, RDA, FS
Analyse formelle	NDTM, HB, OBK
Acquisition de financement	HB, OBK
Enquête / collecte	NDTM, MA, RDA, FS
Méthodologie	HB, NDTM, OBK, MA, RDA, FS
Administration de projet	HB, NDTM, OBK, RDA
Ressources	HB, OBK
Logiciel	NDTM, HB, FS
Surveillance	NDTM, MA, RDA, FS
Validation	HB, NDTM, OBK, MA, RDA, FS
Visualisation	HB, NDTM, OBK, MA, RDA, FS
Rédaction - brouillon original	HB, NDTM, OBK
Rédaction - révision et édition	HB, NDTM, OBK

## CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

## REFERENCES

- Afouda, L., Baimey, H., Bachabi, F.X., Sero-Kpera, D.H. B. R. (2012). Effet de l'hyptis (*Hyptis suaveolens*), du neem (*Azadirachta indica*), du vernonia (*Vernonia amygdalina*), et de l'amarante (*Amaranthus* Spp.) sur les nématodes à Galles (*Meloidogyne* spp.) en cultures maraîchères, *Agronomie Africaine*, 24(3),209–218. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/view/87010/76776>.
- Affokpon, A., Coyne, D. L., Htay, C. C., Agbèdè, R. D., Lawouin, L. & Coosemans, J. (2011). Biocontrol potential of native Trichoderma isolates against root-knot nematodes in West African vegetable production systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 43, 600-608.
- Albuquerque, J. A., Calero, J. M., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2014). Effects of biochars produced from different feedstocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of plant nutrition and soil science*, 177(1), 16-25.
- Assogba-Komlan, F., Anihouvi, P., Achigan, E., Sikirou, R., Boko, A., Adje, C., & Ayémou, A. (2007). Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du Solanum macrocarpum au sud du Bénin. *African journal of food, agriculture, nutrition and development*, 7(4), 1-21.
- Coyne, D. L., Nicol, J. M. & Claudius-Cole, B. (2018). Practical plant nematology: A field and laboratory guide. 3rd edition, *International Institute of Tropical Agriculture (IITA)*, Ibadan, Nigeria, 82p.
- Djaouga, N. T., Diogo, R. V. C., Baimey, H., & Godau, T. (2020). Développement du gboma (*Solanum macrocarpon* L.) sous l'influence du biochar, de la fréquence d'arrosage et des nématodes à galles en conditions de serre. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 10(1), 33-40.
- Guevara, S. S., & Gomez-Pompa, A. (1972). Seeds from surface soils in a tropical region of Veracruz, Mexico. *Journal of the Arnold Arboretum*, 53(3), 312-335.
- James, B., Atcha-Ahowé, C., Godonou, I., Baimey, H., Goergen, G., Sikirou R. & Toko M. 2010. Gestion intégrée des nuisibles en production maraîchère : Guide pour les agents de vulgarisation en Afrique de l'Ouest. *Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA)*, Ibadan, Nigeria, 120 p.
- Jones, D. L., Murphy, D. V., Khalid, M., Ahmad, W., Edwards-Jones, G., & DeLuca, T. H. (2011). Short-term biochar-induced increase in soil CO<sub>2</sub> release is both biotically and abiotically mediated. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(8), 1723-1731.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Major, J. (2010). Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. *International Biochar Initiative*, 8, 5-7.
- Mondédji, A. D. (2010). Potentiel d'utilisation d'extraits de feuilles de neem (*Azadirachta indica* A. Juss et de *Carica papaya* L.) dans le contrôle des insectes ravageurs du chou (*Brassica oleracea* L.) en zones urbaines et périurbaines au sud du Togo. Thèse de doctorat, Université de Lomé, Togo, 193p.
- Mukhtar, T., Arshad Hussain, M., & Zameer Kayani, M. (2013). Biocontrol potential of *Pasteuria penetrans*, *Pochonia chlamydosporia*, *Paecilomyces lilacinus* and *Trichoderma harzianum* against *Meloidogyne incognita* in okra. *Phytopathologia Mediterranea*, 66-76.
- Oclarit, E., & Cumagun, C. (2009). Evaluation of efficacy of *Paecilomyces lilacinus* as biological control agent of *Meloidogyne incognita* attacking tomato. *Journal of Plant Protection Research*, 49(4), 337-340
- Seenivasan, N. (2011). Efficacy of *Pseudomonas fluorescens* and *Paecilomyces lilacinus* against *Meloidogyne graminicola* infecting rice under system of rice intensification. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 44(15), 1467-1482.
- Sikora, R. A., & Fernandez, E. (2005). Nematode parasites of vegetables. Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture, (Ed. 2), 319-392.
- Steiner, C. (2008). Biochar carbon sequestration. *University of Georgia, Biorefining and Carbon Cycling Program, Athens, GA, 30602, USA*, 8p.
- Tokannou, R., & Quenum, R. (2007). Rapport de l'étude sur le sous-secteur du maraîchage au Sud-Bénin. *Rapport provisoire. MAEP, République du Bénin*. 25p.
- Wang, J., Pan, X., Liu, Y., Zhang, X., & Xiong, Z. (2012). Effects of biochar amendment in two soils on greenhouse gas emissions and crop production. *Plant and soil*, 360(1), 287-298.
- Wang, J., Wang, J., Liu, F., & Pan, C. (2010). Enhancing the virulence of *Paecilomyces lilacinus* against *Meloidogyne incognita* eggs by overexpression of a serine protease. *Biotechnology letters*, 32(8), 1159-1166.

- Xu, G., Wei, L. L., Sun, J. N., Shao, H. B., & Chang, S. X. (2013). What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism? *Ecological engineering*, 52, 119-124.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89(11), 1467-1471.

Cet article en libre accès est distribué sous une licence Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

© Le(s) Auteur(s).

La propriété des droits d'auteurs sur le contenu des articles publiés dans les Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie » (AUP-SNA) demeure à leurs auteurs. Ils sont libres de partager - copier et redistribuer le matériel sur n'importe quel support ou format.

La Série « Sciences Naturelles et Agronomie » (ISSN : 1840-8494 / eISSN : 1840-8508) des Annales de l'Université de Parakou est publiée par l'Université de Parakou au Bénin.

Publier avec la revue AUP-SNA garantit :

- Une rapidité du processus éditorial grâce à sa gestion entièrement en ligne ;
- Un accès immédiat à votre article dès sa publication en ligne ;
- Un lien durable et permanent à votre article grâce au DOI ;
- Une grande visibilité sur Internet ;
- La conservation des droits d'auteur de votre article ;
- La possibilité de partager votre article dans vos réseaux, sans restriction ;
- Des frais de publications très réduits ;
- Des remises sur les frais de publications pour les évaluateurs de la revue.

---

The logo for the journal 'SNA' (Sciences Naturelles et Agronomie) consists of the letters 'S', 'N', and 'A' in a bold, green, sans-serif font, spaced out horizontally.

---

**Soumettez votre manuscrit**  
sur <https://sna.fa-up.bj/>