



Available online at <http://www.ifgdg.org>

Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(4): 1829-1839, August 2017

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

**International Journal
of Biological and
Chemical Sciences**

Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Influence du charbon de bois activé et de la densité de semis sur l'évolution de quelques paramètres de croissance et de développement d'une variété locale du gombo (*Abelmoschus caillei*)

Jacob N'dri KOUASSI, N'guessan KOUAME^{*}, Marie Hélène Ahébé KOFFI, Alain N'guessan N'GUESSAN et Justin Kouadio YATTY

Unité d'Enseignement de Physiologie Végétale et Biotechnologie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon GUEDE (UJLoG), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

**Auteur correspondant ; E-mail : maximekouamelma@yahoo.fr; Tel : (+225) 09240126*

RESUME

Le gombo est une plante riche en éléments nutritifs à l'instar de la plupart des vivriers et est très bien consommé en Côte d'Ivoire. En dépit de ses nombreux bienfaits, la production de ce légume reste encore faible dans notre pays. Les raisons qui limitent cette production sont entre autre l'insuffisance de la sélection variétale, le coût élevé des intrants et la pauvreté des sols destinés à sa culture. Une des alternatives pour une production soutenue est de résoudre le problème de la fertilité des sols. Dans le cas de nos travaux, le but recherché était d'améliorer le rendement du gombo. Pour atteindre ce but, des expérimentations ont été entreprises pour évaluer l'impact du charbon activé sur des paramètres morphologiques d'une variété locale de gombo. A cet effet, le charbon utilisé a été activé en trois différents temps (temps d'activation égal à 0 jour, 15 jours et 30 jours). Le dispositif expérimental utilisé était un split-plot avec trois répétitions comportant chacune 12 parcelles élémentaires. Les différents charbons ont été enfouis le même jour. Ensuite, le semis de graines a été effectué avec trois différentes densités à savoir 20 cm x 20 cm, 30 cm x 30 cm et 40 cm x 40 cm. Les observations ont porté sur 360 plantes. Une analyse des variances a été réalisée sur les paramètres morphologiques. La masse des fruits a été la variable la plus influencée par le charbon activé. Ainsi, la plus grande valeur de la masse a été obtenue avec le charbon CA0, sous la densité D40x40. De ce fait, nous pouvons dire que le charbon activé à 0 jour avec une densité D40x40 permet une bonne croissance et un développement maximum du gombo.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Charbon activé, gombo, densité, paramètres morphologiques.

Influence of activated charcoal and seedling density on the evolution of some growth and development parameters of a local Okra variety (*Abelmoschus caillei*)

ABSTRACT

Okra is a plant rich in nutrients like most food crops and is very well consumed in Côte d'Ivoire. Despite its many benefits, the production of this vegetable is still weak in our country. The reasons for this include the inadequate selection of varieties, the high cost of inputs and the poverty of the soil for its cultivation. One of the alternatives for sustained production is to solve the problem of soil fertility. In the case

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

3061-IJBCS

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.32>

of our work, the aim was to improve the yield of okra. To achieve this goal, experiments were undertaken to evaluate the impact of activated charcoal on morphological parameters of a local okra variety. For this purpose, the coal used was activated in three different times (activation time equal to 0 days, 15 days and 30 days). The experimental device used was a split-plot with three repetitions, each comprising 12 elementary plots. The various coals were buried the same day. Then, the seedling was done with three different densities namely 20 cm x 20 cm, 30 cm x 30 cm and 40 cm x 40 cm. Observations were made on 360 plants. An analysis of the variances was carried out on the morphological parameters. Fruit mass has been the variable most influenced by activated charcoal. Thus, the greatest value of the mass was obtained with the charcoal CA0, with the density D40x40. Therefore, we can say that activated carbon at 0 days with a D40x40 density allows good growth and maximum development of okra.

© 2017 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Activated charcoal, okra, density, morphological parameters.

INTRODUCTION

Le secteur agricole a constitué la base du développement économique de la Côte d'Ivoire dès son accession à l'indépendance. Ainsi, pour tirer profit de ce secteur, l'Etat ivoirien a mis l'accent sur le développement des cultures industrielles notamment la filière café-cacao. À partir des années 2000, il a contribué au développement des filières hévéa, coton-anacarde et palmier à huile (Fondio et al., 2011). Mais, les cultures vivrières qui constituent la base de l'alimentation directe des ivoiriens, sont toutes fois restées à l'écart des investissements publics. Elles ne bénéficient d'aucune réforme d'encadrement et d'organisation particulières (Fondio et al., 2011). De ce fait, on assiste souvent à une faible production voire aux rejets de certaines cultures, dont le gombo. En effet, le gombo est fortement consommé sous deux formes (fraîche et sèche) en Côte d'Ivoire en raison de 5,5 kg par habitant (CNRA, 2007). Au niveau nutritionnel, le gombo est riche en composé glucidique (7 à 8% de matière sèche) et en protéine (1,8% de matière sèche), il contient également 0,056% de phosphore, 0,043% de magnésium, 0,09% de calcium et ses graines sont très riches en protéine (20%) et lipide (14%). Ses vertus sanitaires sont multiples : il est un anti-inflammatoire, un diurétique, un antiseptique et un antispasmodique. Le gombo entre dans la composition d'un sirop utilisé contre les rhumes et les problèmes bronchiques. Sa tige est utilisée pour la fabrication de la pâte à papier et la confection de cordelettes (FAO, 2009). Malgré, son

importance sociale et économique, la culture du gombo reste encore faible dans notre pays. Cependant, la faible production du gombo peut résulter de plusieurs paramètres à savoir : le manque d'intrants adéquats, le manque de main d'œuvre qualifiée, la mauvaise pratique culturale et surtout le niveau de fertilité des sols. Le lessivage des milieux de culture entraîne des conséquences telles que l'acidification des sols, l'augmentation des coûts de fertilisation, la perte des éléments mobiles et la menace de la santé environnementale (Yao et al., 2012). Pour pallier à cela l'on doit mettre en place des alternatifs susceptibles d'influencer l'évolution des sols agricoles. Ils doivent être capables de contribuer à la fixation des nutriments et les mettre à la disposition des plantes. Le charbon de bois activé paraît, donc un moyen pour répondre à cette préoccupation. En effet, le charbon est doté de grandes propriétés capables d'améliorer l'état des sols agricoles. Il participe à la réduction de l'acidité du sol (Yao et al., 2012), accélère l'activité des microorganismes (Warnock et al., 2007). Le charbon concourt à l'immobilisation de l'azote (Lehman et al., 2006). En fait, l'ajout de charbon de bois dans les sols tropicaux fortement fragilisés améliore leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques (Glaser et al., 2002). De ce fait, ces sols peuvent acquérir des bonnes capacités d'échange cationique (CEC) et de meilleures aptitudes à retenir et recycler les éléments nutritifs sur de longues périodes de culture (Laird et al., 2010). Le charbon influence également la communauté

biologique du sol par sa composition et son abondance (Liang et al., 2010). En effet, il possède un fort ratio surface/volume et une forte affinité pour les ions inorganiques. De plus sa composition en composés aromatiques récalcitrants lui offrant une excellente résistance à la dégradation et un grand pouvoir d'adsorption (Lehmann et Joseph, 2009). Généralement, le charbon activé est alcalin, mais peut présenter un pH de 4 à 12 selon les conditions entourant le processus de fabrication (Lehmann, 2007; Cheng et al., 2006). Son usage dans les systèmes de culture contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (Gaunt et Lehmann, 2008). L'incorporation du charbon activé au sol modifie son état hydrique et influence le développement racinaire des plantes ainsi que la faune du sol (Major et al., 2009). Il joue le rôle d'un complexe adsorbant d'éléments nutritifs. Ainsi, et aide le sol à fixer les éléments nutritifs comme le carbone, l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium (Sohi, 2012). Ce travail se situe dans un contexte d'amélioration de revenus des paysans par la réduction des coûts des intrants. Il a pour objectif d'améliorer le rendement d'une variété locale de gombo, encore appelée *Soudé* : *Abelmoschus caillei*. Il a consisté à l'évaluation de l'effet du charbon activé sur les paramètres morphologiques de *Abelmoschus caillei*.

MATERIEL ET METHODES

Site d'étude

L'étude a été menée à Zakoua, un village situé 5 km de Daloa (Haut-Sassandra). Zakoua a un climat de type tropical et enregistre 1317 mm de pluies par an avec une température variant de 18 à 32 °C. Les coordonnées géographiques de cette localité sont : 06°48'06.24''N et 06°27'07.58''W. Le site d'étude est situé en bordure d'un bas fond. C'est un sol profond à accès facile à toute saison et à tout moyen de déplacement. Le terrain a une faible pente, il est bien drainé et sablo-limoneux. Le sol s'humidifie rapidement sous de petites quantités de pluies. Cependant, il s'essuie aussitôt et se réchauffe très rapidement. Le maïs est la précédente culture

réalisée sur ce site bordé par un bas fond. La végétation de Zakoua est actuellement dominée par la jachère.

Matériel végétal

La variété Tomi (*Abelmoschus caillei*) (Fondio et al., 2011) communément appelé "soundé" a été utilisée. Les semences nous ont été fournies par un paysan de Daloa. En effet, les populations font beaucoup recourt à cette variété. Ce légume offre une meilleure qualité et une grande possibilité consommation sous la forme séchée.

Activation du charbon

L'activation du charbon a consisté à mélanger des volumes équivalents de poudre de charbon et de litière de poules pondeuses. Trois charbons ont été activés. Pour chacun, 36 seaux de 4 litres de charbon ont été mélangés à un même volume de litière de poules pondeuses. Ces mélanges ont été étalés sur des surfaces de 2 m². Ils ont été bien humidifiés puis recouverts de rames de palmier pour conserver l'humidité. Chaque 7 jours, les mélanges ont été remués, humidifiés et recouverts. Cette opération a duré 30 jours. En effet, la mise en activation des charbons a été effectuée progressivement en fonction de l'âge du charbon activé attendu. Ainsi, le charbon activé pendant 30 jours (CA30) été d'abord mis en activation. Ensuite, à compter du 16^e jour, l'activation de celui de 15 jours (CA15) a été déclenché. Enfin, le charbon CA0 a été activé le même jour d'incorporation de tous les trois charbons au sol.

Dispositif expérimental

La parcelle a été désherbée à la machette puis sarclée à la daba. Ensuite, elle a été labourée à environ 30 cm de profondeur et émietlée. Enfin des planches 2 m² ont été confectionnées. Toutes ces opérations sont destinées à offrir un meilleur cadre au développement des plantes. Après l'activation, le charbon activé a été distribué sur les planches. Pour permettre une distribution équitable un seau de 4 litres a été utilisé pour la distribution. Ainsi, 4 seaux de charbon activé ont été uniformément étalés à la surface

de chaque planche. Enfin, les planches ont été superficiellement labourées afin de permettre l'adhésion du charbon. La parcelle a été découpée en trois blocs distants les uns des autres de 2 m. Chaque bloc long de 9,5 m et large de 4 m et a comporté 12 parcelles élémentaires. Ces parcelles élémentaires ont été élargies de 1 m, allongées de 2 m et espacées de 0,5 m. Au sein de chaque bloc, quatre traitements ont été effectués. A savoir Te (témoin absolu), CA0 (charbon activé en une seule journée), CA15 (charbon activé pendant 15 jours), CA30 (charbon activé pendant 30 jours). Pour évaluer l'effet de ces temps d'activation du charbon, trois densités de semis ont été choisies à savoir : D20x20 cm ; D30x30 cm et D40x40 cm. La disposition des parcelles élémentaire s'est faite selon le model split plot. Le semis des graines s'est effectué en disposant 5 graines dans chaque poquet ayant une profondeur d'environ 0,02 m.

Collecte de données

Les données ont été relevées sur 10 plantes choisies au hasard sur chaque parcelle élémentaire. La récolte des fruits a été effectuée à la maturité physiologique. Elle a

été effectuée deux fois par semaine. Les fruits ont été groupés par plante, par densité, par traitement et bloc à chaque récolte. La circonférence, le nombre de feuilles et la taille ont été relevés sur chacune de ces plantes. La masse moyenne des fruits a été prise juste quelques heures après leur détachement de la plante. Les paramètres mesures et les méthodes de mesures sont consignés dans le Tableau 1.

Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA 2) a été utilisée pour évaluer l'effet du charbon activé et de la densité de semis sur les paramètres étudiés. Lorsqu'une différence significative a été observée ($P < 0,05$) entre les différents facteurs étudiés pour un paramètre donné, des comparaisons multiples ont été effectuées en utilisant le test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS). Ce test a permis d'identifier le ou les facteurs qui induisent significativement cette différence. Tous les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel (SAS, 1999).

Tableau 1 : Méthodes de mesures et paramètres étudiés.

Paramètres mesurés	Méthodes de mesures
Masse moyenne (Ma)	Mesure du poids moyen des fruits par plante ; effectuée sur 10 plantes
Hauteur de la plante : Tail	Mesure de la distance séparant la surface du sol de la feuille plus éloignée ; effectuée sur 10 plantes
Nombre de Feuilles : NbreFeui	Le nombre de feuilles a été évalué en comptant l'ensemble des feuilles ; effectuée sur 10 plantes
Nombre de fruits : NbreF	Le nombre de fruits a été évalué en comptant l'ensemble des fruits ; effectuée sur 10 plantes
Circonférence 1 : C1	Mesure de la grosseur de la tige principale à partir de la section au niveau de de l'insertion de la première feuille ; effectuée sur 10 plantes
Circonférence 2 : C2	Mesure de la grosseur de la tige principale à partir de la section au niveau de de l'insertion de la dernière feuille ; effectuée sur 10 plantes

RÉSULTATS

L'analyse statistique du Tableau 2 a montré que l'effet des variables telles que la masse, la taille, le nombre de fruits, le nombre de feuilles, la circonférence 1 et la circonférence 2 ont été significativement influencés par le charbon activé et la densité ($p < 0,05$). En effet, 5 variables sur 6 (soit 83%) ont été influencées par le type de charbon activé et la densité de semis des plantes. Cependant, les doubles interactions n'ont pas significativement influencé toutes les variables. Néanmoins, la masse des fruits a été influencée par toutes les doubles interactions ($P < 0,05$).

Influence du charbon de bois activé sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

Les moyennes des caractères morphologiques ont été mesurées sur le charbon activé et sur le témoin absolu. L'influence des différents charbons activés a été observée sur cinq (5) des six (6) caractères analysés. Il s'agit de la masse, du nombre de fruits, de la taille, du nombre de feuilles et de la circonférence 1. Les valeurs les plus élevées de la masse, de la taille, du nombre de fruits, du nombre de feuilles et de la circonférence 1 ont été observées avec le charbon activé âgé de zéro jour (CA0). En effet, CA0 a permis une augmentation de la masse de 171,56 g par plante. La taille de chaque plante a été augmentée de 49,22 cm. Le nombre de fruits et le nombre de feuilles ont connu également une augmentation respective de 5 fruits et 3 feuilles. Ces valeurs décroissent lorsque le temps d'activation du charbon augmente. Cependant, l'augmentation de la taille (28,72 g), du nombre de feuilles (2 feuilles) et la circonférence 1 (1,16 cm) par T15 ont été statistiquement identiques à CA30. Par ailleurs, La circonférence 2 des plantes n'a pas permis de différencier les trois charbons activés et le témoin absolu ($P > 0,05$). L'analyse

de l'influence du charbon sur les paramètres morphologiques a été présentée par le Tableau 3.

Influence de la densité de semis sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

Les variables que sont la masse, la taille, le nombre de fruits, le nombre de feuilles, la circonférence 1 et la circonférence 2 ont été mesurées et analysées sur les trois densités de semis. Il ressort de cette analyse que la densité de semis a fait varier significativement la masse, le nombre de fruits, le nombre de feuilles et les deux circonférences ($P < 0,05$). Ainsi, la masse et le nombre de feuilles ont été respectivement augmentés de 50,88 g et 2 feuilles par la densité de semis 40x40 cm. Le nombre de fruits est passé de 3 densité 20x20 cm et à 4 avec la densité 40x40 cm. Les circonférences 1 et 2 ont été également augmentées par la diminution de la densité de semis. En effet, la densité 40x40 cm a augmenté la circonférence 1 de 1,9 cm et la circonférence 2 de 0,34 cm. Par ailleurs, la masse et la circonférence 1 ont été les plus influencées par les différentes densités de semis. Cependant, à l'instar de la taille des plantes, les valeurs des autres variables décroissent lorsque la densité de semis augmente. Ainsi, les valeurs de ces variables ont été plus élevées au niveau de la densité de semis 40x40 cm suivie de la densité 30x30 cm et enfin la densité de semis 20x20 cm (Tableau 4). Par conséquent, aucune différence significative n'a été observée entre les trois densités pour la taille moyenne des plantes.

Influence de l'interaction charbon de bois activé-densité de semis sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

Les résultats des analyses statistiques de l'interaction charbon activé-densité de

semis présentés dans le Tableau 5 ont montré que cette interaction a augmenté la masse des fruits. En effet, la masse est passée de 29,73 g à partir du témoin absolu à 44,33 g obtenue avec l'interaction CA30-D20x20 cm. Par ailleurs, la masse des fruits a été augmentée encore plus lorsque la densité de semis et le temps d'activation du charbon ont diminués. Ainsi, la masse est passée de 44,33 g par plante en interaction CA30-D20x20 cm à 276,55 g par plante sous l'interaction CA0-D40x40 cm. Cependant, chaque charbon

activé (CA0, CA15, CA30), a mieux augmenté la masse des fruits lorsqu'il a été associé à la densité de semis D40x40 cm. En effet, l'interaction entre D40x40 cm et CA0, CA15, CA30 a augmenté la masse des fruits respectivement jusqu'à 276,55 g, 67,94 g, et 52,46 g. Par ailleurs, l'interaction charbon activé-densité n'a eu aucune influence significative sur la taille, le nombre de feuilles, le nombre de fruits et sur les circonférences 1 et 2.

Tableau 2 : Analyse statistique.

VARIABLES	CA		DENSI		CA-DENSI	
	F	P	F	P	F	P
Ma	847,49	<0,0001	172,49	<0,0001	126,33	<0,0001
NbreF	500,56	<0,0001	8,82	0,0002	1,81	0,0954
Tail	114,92	<0,0001	0,61	0,5466	1,90	0,0796
NbreFeui	19,13	<0,0001	6,84	0,0012	1,35	0,2339
C1	54,94	<0,0001	18,85	<0,0001	0,74	0,6182
C2	2,36	0,0715	14,35	<0,0001	1,49	0,1803

Ma : Masse des fruits par plante ; NbreF : Nombre de fruits par plante ; Tail : hauteur de la plante ; NbreFeui : Nombre de feuilles par plante ; C1 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la première feuille sur la plante ; C2 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la dernière feuille sur la plante ; CA : charbon activé ; DENSI (Densité) : Espacement entre les plantes

Tableau 3 : Caractères morphologiques mesurés sur le charbon activé.

VARIABLE	Moyennes (\pm écart-type)				Statistiques	
	CA0	CA15	CA30	Te	F	P
Ma	174,22 \pm 85,5 7 ^a	63,70 \pm 17,44 ^b	49,46 \pm 18,55 ^c	2.66 \pm 0,53 ^d	847,49	<0,0001
NbreF	6,53 \pm 1,05 ^a	3,60 \pm 1,16 ^b	2,73 \pm 0,80 ^c	1.50 \pm 0,75 ^d	500,56	<0,0001
Tail	66,53 \pm 25,52 ^a	46,03 \pm 19,51 ^b	43,63 \pm 14,84 ^b	17.31 \pm 9,19 ^c	114,92	<0,0001
NbreFeui	14,35 \pm 2,74 ^a	13,15 \pm 2,57 ^b	13,17 \pm 2,62 ^b	11.47 \pm 2,79 ^c	19,13	<0,0001
C1	5,94 \pm 1,43 ^a	4,89 \pm 0,95 ^b	5,178 \pm 1,52 ^b	3.73 \pm 1,05 ^c	54,94	<0,0001
C2	2,65 \pm 0,52 ^a	2,48 \pm 0,36 ^a	2,66 \pm 0,53 ^a	2.64 \pm 0,65 ^a	2,36	0,0715

Pour chaque variable, les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne sont statistiquement identiques.

Ma : Masse des fruits par plante ; NbreF : Nombre de fruits par plante ; Tail : hauteur de la plante ; NbreFeui : Nombre de feuilles par plante ; C1 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la première feuille sur la plante; C2 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la dernière feuille sur la plante ; Te :Témoin absolu ; CA0 charbon activé pendant 0 jour ; CA15 charbon activé pendant 15 jours ; CA30 charbon activé pendant 30 jours

Tableau 4: Caractères morphologiques mesurés sur les trois densités de semis.

VARIABLE	Moyennes (\pm écart-type)			Statistiques	
	D20x20	D30x30	D40x40	F	P
Ma	55,18 \pm 33,52 ^c	72,82 \pm 48,45 ^b	106,06 \pm 105,77 ^a	172,49	<0,0001
NbreF	3,39 \pm 1,88 ^b	3,5 \pm 1,98 ^b	3,86 \pm 2,35 ^a	8,82	0,0002
Tail	44,39 \pm 22,71 ^a	43,79 \pm 28,25 ^a	41,95 \pm 24,63 ^a	0,61	0,5466
NbreFeui	12,35 \pm 2,37 ^b	13,25 \pm 2,70 ^a	13,51 \pm 3,31 ^a	6,84	0,0012
C1	4,43 \pm 1,08 ^c	5,04 \pm 1,60 ^b	5,34 \pm 1,57 ^a	18,85	<0,0001
C2	2,42 \pm 0,48 ^b	2,64 \pm 0,42 ^a	2,76 \pm 0,60 ^a	14,35	<0,0001

Pour chaque variable, les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne sont statistiquement identiques.

Ma : Masse des fruits par plante ; NbreF : Nombre de fruits par plante ; Tail : hauteur de la plante ; NbreFeui : Nombre de feuilles par plante ; C1 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la première feuille sur la plante; C2 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la dernière feuille sur la plante ; D20x20 : Espacement de 20 cm sur et entre les lignes de semis ; D30x30 : Espacement de 30 cm sur et entre les lignes de semis ; D40x40 : Espacement de 40 cm sur et entre les lignes de semis.

Tableau 5: Caractères morphologiques mesurés sur l'interaction charbon activé-densité de semis.

VARIABLE	Moyennes (\pm écart-type)												Statistiques	
	CA0			CA15			CA30			Te			F	P
	D20x20	D30x30	D40x0	D20x20	D30x30	D40x40	D20x20	D30X30	D40X40	D20x20	D30x30	D40x40		
Ma	98,47 $\pm 22,96^c$	147,65 $\pm 29,59^b$	276,55 $\pm 59,76^a$	60,84 $\pm 12,72^c$	62,31 $\pm 14,28^c$	67,94 $\pm 23,22^d$	44,33 $\pm 17,50^f$	51,58 $\pm 10,21^f$	52,46 $\pm 24,59^f$	17,10 $\pm 4,78^h$	29,73 $\pm 12,48^g$	27,31 $\pm 15,34^g$	126,33	<0,00 01
NbreF	6,13 $\pm 0,89^a$	6,33 $\pm 1,18^a$	7,13 $\pm 0,77^a$	3,40 $\pm 0,72^a$	3,46 $\pm 0,81^a$	3,93 $\pm 1,68^a$	2,60 $\pm 0,72^a$	2,70 $\pm 0,59^a$	2,90 $\pm 1,02^a$	1,43 $\pm 0,56^a$	1,56 $\pm 0,93^a$	1,50 $\pm 0,73^a$	1,81	0,0954
Tail	68,62 $\pm 13,93^a$	72,51 $\pm 31,72^a$	58,47 $\pm 26,25^a$	48,49 $\pm 12,56^a$	43,52 $\pm 17,38^a$	46,09 $\pm 26,37^a$	44,77 $\pm 14,63^a$	43,33 $\pm 15,68^a$	42,79 $\pm 14,63^a$	15,69 $\pm 8,58^a$	15,80 $\pm 7,59^a$	20,46 $\pm 10,61^a$	1,90	0,0796
NbreFeui	13,30 $\pm 2,53^a$	14,90 $\pm 2,39^a$	14,86 $\pm 3,03^a$	12,90 $\pm 1,56^a$	13,33 $\pm 2,21^a$	13,23 $\pm 3,59^a$	13,00 $\pm 2,00^a$	12,76 $\pm 2,93^a$	13,76 $\pm 2,81^a$	10,20 $\pm 1,97^a$	12,03 $\pm 2,49^a$	12,20 $\pm 3,35^a$	1,35	0,2339
C1	5,22 $\pm 1,10^a$	6,01 $\pm 1,31^a$	6,60 $\pm 1,52^a$	4,42 $\pm 0,63^a$	4,96 $\pm 0,80^a$	5,31 $\pm 1,14^a$	4,70 $\pm 0,84^a$	5,42 $\pm 2,12^a$	5,41 $\pm 1,23^a$	3,37 $\pm 0,81^a$	3,77 $\pm 0,91^a$	4,04 $\pm 1,29^a$	0,74	0,6182
C2	2,38 $\pm 0,44^a$	2,63 $\pm 0,44^a$	2,93 $\pm 0,54^a$	2,27 $\pm 0,30^a$	2,58 $\pm 0,31^a$	2,61 $\pm 0,37^a$	2,61 $\pm 0,41^a$	2,60 $\pm 0,39^a$	2,78 $\pm 0,73^a$	2,40 $\pm 0,67^a$	2,78 $\pm 0,52^a$	2,73 $\pm 0,69^a$	1,49	0,1803

Pour chaque variable, les valeurs portant les mêmes lettres sur la ligne sont statistiquement égales.

Ma : Masse des fruits par plante ; NbreF : Nombre de fruits par plante ; Tail : hauteur de la plante ; NbreFeui : Nombre de feuilles par plante ; C1 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la première feuille sur la plante ; C2 : Circonférence de la plante mesurée au niveau de l'insertion de la dernière feuille sur la plante ; CA0 : charbon activé et âgé de 0 jour ; CA15 : charbon activé et âgé de 15 jours ; CA30 : charbon activé et âgé de 30 jours ; Te : témoin absolu ; D20x20 : Espacement de 20 cm sur et entre les lignes de semis ; D30x30 : Espacement de 30 cm sur et entre les lignes de semis ; D40x40 : Espacement de 40 cm sur et entre les lignes de semi.

DISCUSSION

Influence du charbon de bois activé sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

Les valeurs respectives de la masse, du nombre de fruits, du nombre feuilles, la taille et la circonférence 1 ont été diminuées lorsque le temps d'activation du charbon a été augmenté. Ainsi, une différence totale au niveau de la masse a été observée. Mais, la variation du nombre de fruits, du nombre de feuilles, de la taille et de la circonférence 1 a été partielle lorsque le temps d'activation du charbon a été varié. Par ailleurs, la grande valeur de la masse par plante a été obtenue avec CA0. Cette augmentation significative de la masse pourrait être due à la libération des éléments nutritifs apportés par la litière et également au rôle du charbon dans le sol. En effet, au cours de l'activation du charbon, la litière libère des éléments nutritifs. Certains de ces éléments nutritifs sont fixés par le charbon. Ainsi, une fixation des éléments nutritifs tels que le calcium, le phosphore, l'azote et le potassium qui sont très importants au fonctionnement harmonieux des a été rapportée par Sara (2015). Mais, lorsque le temps d'activation du charbon s'allonge, l'ajout d'eau au charbon suivi du mélange et du recouvrement accélère la décomposition de la litière. Cette décomposition entraîne la libération des éléments nutritifs qui peuvent être perdus avant l'apport du charbon au sol. Par ailleurs, même si ces éléments ne sont pas perdus avant l'apport du charbon au sol, ils seraient rapidement libérés avant le besoin actif des plantes qui se situe généralement pendant la phase de remplissage des fruits à environ 60 jours à compter du semis. De ce fait, il ne fixerait pas les cations qui sont très importants au fonctionnement harmonieux des plantes, mais, favoriserait l'activité biologique. En effet, l'utilisation du charbon par les microorganismes comme source d'énergie a été montrée par Anderson et al. (2011). Cependant, lorsque le mélange est apporté au sol juste après sa constitution (CA0), le charbon par sa charge négative, fixerait les anions du sol et laisserait les cations floculer. De plus la litière aurait libéré

les éléments de façon progressive en fonction de son niveau de décomposition. En effet, des travaux réalisés sur le charbon par Gaunt et al. (2006) ont montré aussi que le charbon immobilise les anions à sa surface. Ces résultats corroborent aussi ceux de Zue (2012) qui a montré que le charbon est un bon adsorbant pour les métaux traces. D'une manière générale, jusqu'à une durée de 30 jours d'activation, le charbon a contribué à l'augmentation du rendement du gombo. En effet, la masse obtenue avec CA30 a été plus élevée que celle donnée par le témoin absolu.

Influences de la densité de semis sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

La masse estimée par plante a été diminuée avec l'augmentation de la densité de semis. Ainsi, la densité de semis D40x40 a produit le poids et le nombre de fruits les plus élevés par plante. Ces valeurs décroissent avec l'augmentation de la densité de semis. Ce poids de fruits élevé est dû au nombre élevé de fruits produit par plante sous la densité de semis D40x40. Une telle réduction du poids des fruits par plante associée à l'augmentation de la densité de semis avait été rapportée chez deux cultivars de gombo principalement cultivés en Côte d'Ivoire que sont Tomi et Koto (Fondio et al., 2012). Deux hypothèses sont généralement utilisées pour expliquer cette augmentation de la productivité des plantes en faible densité de semis à savoir : la disponibilité des ressources et la faible concurrence intra-plantes. L'effet positif de l'espacement des plantes sur la productivité par plante chez le gombo pourrait ainsi être dû au fait qu'en faibles densités (D40x40), la plante peut facilement se développer et s'étendre à la surface du sol. Cette croissance se fait avec une faible compétition pour l'acquisition des ressources (lumière, humidité, éléments nutritifs); ce qui aurait pour conséquence une meilleure formation ainsi qu'un poids élevé des fruits. Pour le morphotype tomi utilisé dans la présente étude, les espacements de 20x20 cm suivis de 30x30 cm étaient trop réduits de sorte que la concurrence pour l'espace physique était

élevée. En effet, les plantes entrent en compétition pour la lumière, l'humidité et les éléments nutritifs; engendrant une faible assimilation de la quantité de matière sèche pendant la période de la formation et de remplissage des fruits (Dje et al., 2011). Par ailleurs, une relation directe a été observée entre la densité de semis, les deux circonférences et le nombre de feuilles. Nous avons une différence partielle au niveau du nombre de feuilles et de la circonférence 2 mais une différence totale au niveau de la circonférence 1. Cette différence élevée pourrait s'expliquer par une concurrence en nutriments lorsque la densité de semis augmente.

Influence de l'interaction charbon de bois activé-densité de semis sur l'évolution de certains paramètres de croissance et de développement

L'interaction charbon activé-densité a généré une action bénéfique sur la masse. Cette interaction a contribué à l'augmentation de la masse lorsque la densité et le temps d'activation du charbon diminuent (D40x40, CA0). En effet, le charbon crée un climat favorable au développement des plantes (Sara, 2015) tandis que la litière apporte des éléments nutritifs pour combler le besoin de ces dernières. Il a été ainsi démontré que l'apport de carbone a avant tout un rôle énergétique pour tous les êtres vivants du sol, des microorganismes (bactéries, champignons) à la macrofaune, dont le ver de terre est l'acteur le plus important pour le bon fonctionnement du sol (drainage, aération, remontée et concentration en éléments minéraux). De plus, le rôle des matières organiques sur les propriétés du sol est primordial car elles augmentent l'aération, la rétention en eau, la stabilité de la structure, la capacité d'échange cationique (CEC) et diminuent la dureté du sol (Charles et François, 2012).

Conclusion

Il en ressort donc de cette étude que le charbon activé de zéro jour est bénéfique pour la culture du gombo sur le sol sablo-limoneux. Du point de vue environnemental et

économique, le charbon activé apparaît comme un bon produit de remplacement des intrants chimiques. Il faut néanmoins être en mesure de bien caractériser le charbon activé et l'utiliser dans les systèmes de culture. De plus, le charbon associé à la densité des plantes a permis une meilleure disponibilité et utilisation des éléments nutritifs par la culture.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Pour ces travaux, JKN et ANN ont réalisé l'échantillonnage tout entier et pris une part active dans le traitement des données et l'élaboration du document. Quant à NK et MHAK ils ont été très présents dans le traitement des données et l'élaboration du document final. JKY a mis à la disposition de l'équipe son laboratoire de recherches et fourni le matériel de travail.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit des autorités de l'Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa (Côte d'Ivoire) et du groupe de recherche de physiologie végétale de cette Université pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- Anderson C, Condron M, Clough J, Fiers M, Stewart A, Hill R, Sherlock R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia*, **54** : 309-320. DOI: 10.1016/j.pedobi.2011.07.005
- Charles H, François L. 2012. Le point sur les expérimentations menées à la ferme du Bec Hellouin, 6 p.
- Cheng, Lehmann, Thies, Burton, Engelhard 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, **37**: 1477-1488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>

- CNRA, 2007. Bien cultiver le gombo en Côte d'Ivoire, Centre National de Recherche Agronomique. Fiche technique, 4 p.
- Dje B, Kouamé K, Baudoin J, Zoro B. 2011. Effets de la saison de culture et de la densité des plants sur les adventices et la production de la cucurbité oléagineuse *citrullus lanatus* (thunberg) ; *Sciences & Nature*, **8** : 85–93. DOI : <https://www.ajol.info/index.php/scinat>
- FAO, 2009. Rapport national sur l'état des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, 11 p.
- Fondio L, Christophe K, André D, Traoré D. 2011. Caractérisation des systèmes de culture intégrant le Gombo dans le maraichage urbain et périurbain de Bouaké dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**: 1178-1189. DOI : <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- Fondio L, Christophe K, André D, Traoré D. 2012. Densité de semis, croissance et production de deux lignées de gombo (*Abelmoschus spp*) en Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, **1** : 13-27. DOI : <https://www.ajol.info/index.php/aga>
- Gaunt, Lehmann 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. *Environmental Science & Technology*, **42**: 4152-4158. DOI: 10.1021/acs.est.6b05598
- Gaunt J, Lehmann J, Rondon M. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems - a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **11**: 395-419. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9006-5>
- Glaser, Lehmann, Zech 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils*, **35**: 219-230. DOI 10.1007/s00374-002-0466-4
- Laird, Fleming, Wang, Horton, Karlen 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil; *Geoderma*, **158**: 436-442. DOI:10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **5**: 381-387. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5
- Lehmann J, Joseph 2009. Biochar for environmental management: science and technology. *Earthscan*, 405 p.
- Liang B, Lehmann J, Sohi, Thies J, O'Neill B, Trujillo L, Gaunt J, Solomon D, Grossman J, Neves E, Luizão F. 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, **41**: 206-213.
- Major J, Steiner C, Downie A, Lehmann J. 2009. Biochar effects on nutrient leaching; Soil fertility Management et soil Biogeochemistry, 32 p.
- Sara L. 2015. Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomate sous serre : rétention des nutriments, activités biologiques, et régie de fertilisation. *Advances in Agronomy*, **5**: 9-14.
- Sohi S. 2012. Carbon storage with benefits. *Science*, **338**: 1034-1035. DOI: 10.1126/science.1225987
- Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, Rillig MC. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, **300**: 9-20. DOI: 10.1007/s11104-007-9391-5.
- Yao Y, Gao B, Zhang M, Inyang M, Zimmerman A. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, **89** : 1467-1471. DOI:10.1016/j.chemosphere.2012.06.002
- Zue M. 2012. Élimination des ions Mn (II) des solutions aqueuses par adsorption sur des charbons actifs préparés à partir des coques de noix de noisette ; *Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master ès Sciences Spécialité : Chimie. Option : Chimie des Matériaux*. Université des Sciences et Techniques de Masuku (Gabon), 74 p.