

Effet de l'application du biochar et de la litière d'*Acacia mangium* sur la culture du maïs en Alley cropping au plateau de Batéké / RDC

[Effect of the application of biochar and *Acacia mangium* litter on maize in Alley cropping in Bateke plateau / DRC]

Max MUNGYEKO MAYOLA¹, Jean LEYOLY², and Jules ALONI KOMANDA³

¹Faculté des Sciences Agronomiques, Université Kongo, Mbanza Ngungu, RD Congo

²Département de Biologie des organismes, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgique

³Département de Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The management of sandy soil in Bateke plateau to feed Kinshasa population in continued growth, is one of the problems that arises in this urban peripheral agriculture. Agroforestry in time, alternating trees and crops on the same land was used as technical means to increase fertility and production. However, agricultural practice in the long term at Bateke plateau showed that agroforestry was not able alone to ensure continuity of production on the same land. In this study, we tested the effect of biochar associated with litter from an agroforestry system could have on improving maize production in Bateke plateau. We observed that forty one and five months respectively after application of biochar and litter maize production was influenced favorably. Among all combinations of biochar doses (0, 2, 4 and 8 kg / m²) and *Acacia mangium* litter doses (0, 5, 10 and 20 t / ha), the combination of 4 Kg / m² of biochar with 20 t / ha of litter was the best with 2019 kg / ha of maize cobs with spathe. Moreover, the presence of the clipped hedge has had an effect on the stems and maize cobs differently on plants in his neighborhood and those in the middle of the experimental plot.

KEYWORDS: Biochar, litter, *Acacia mangium*, agroforestry, soil management, Bateke Plateau, maize.

RESUME: La gestion des sols sableux du plateau de Batéké, en vue de nourrir la population kinoise en croissance continue, est l'un des problèmes qui se pose à l'agriculture de ce milieu périurbain. L'agroforesterie dans le temps, alternant arbres et cultures sur un même sol, a été utilisée comme moyen technique pour augmenter la fertilité et par ce fait la production. Cependant, la pratique agricole de longue durée au plateau de Batéké a montré que cette agroforesterie n'a pas été capable à elle seule d'assurer la continuité de la production sur un même terrain. Dans cette étude, nous avons testé l'effet que le biochar associé à la litière provenant d'un système agroforestier pouvait avoir sur l'amélioration de la production du maïs au plateau de Batéké. Nous avons observé que 41 et cinq mois après les applications respectivement du biochar et de la litière la production du maïs a été influencée favorablement. De toutes les combinaisons de doses du biochar (0, 2, 4 et 8 kg/m²) et de la litière d'*Acacia mangium* (0, 5, 10 et 20 t/ha), la combinaison de 4 Kg/m² de biochar avec 20t/ha de litière a été la meilleure avec 2019 kg/ha d'épis spathés de maïs. De plus, la présence de la haie tondue a eu de l'effet sur les tiges et les épis de maïs de manière différente sur les plantes de son voisinage et ceux du milieu de la parcelle expérimentale.

MOTS-CLEFS: Biochar, litière, *Acacia mangium*, Agroforesterie, gestion des sols, Plateau de Batéké, maïs.

1 INTRODUCTION

La RDC dispose d'énormes étendues de terres de savane qui représentent 32,7 % du territoire national (MECN-DD et al., 2005). Une grande partie de la population de la RDC vit dans ces espaces et n'ont que ces savanes pour subvenir non seulement à leurs besoins alimentaires mais également aux besoins alimentaires des villes voisines (Van Wambeke, 1996). Tel est le cas du plateau de Batéké qui est un immense territoire de savane (9000 km²) modelé par le passage de feu de brousse périodique. Ces formations géologiques des Batéké s'étendent de la RDC jusqu'au sud-est du Gabon en passant par le Congo-Brazzaville. En RDC, ce plateau occupe une superficie d'environ 7000 km² à l'avant plan du plateau de Kwango à une centaine de kilomètres au sud-est de Kinshasa [1]. Situé en périphérie de la ville de Kinshasa, il est devenu le siège d'intenses activités agricoles dont le but est de nourrir la ville qui compte à ces jours plus de huit millions d'âmes [2]. En effet, actuellement, ces sols sont bradés par des agriculteurs fortunés de Kinshasa qui y pratiquent une mécanisation itinérante malgré les moyens y consacrés.

Or, ces savanes sont développées sur un sol sableux (>90% de sable) du groupe de Kalahari ayant subi en plus la rigueur de la pédogenèse ferrallitique dont le produit final est l'argile du type kaolinite à faible pouvoir de rétention cationique, pauvre, sec et lessivé par les grandes pluies qui caractérisent les régions tropicales, de la plupart des éléments nutritifs mobiles tels que le nitrate et le potassium [3]. Dans ces conditions, l'efficacité de l'application des fertilisants minéraux par ailleurs est peu envisageable et trop onéreuse pour les ruraux. C'est donc ces sols pauvres, fragiles et à fertilité fugace qu'il importe de gérer avec parcimonie techniquement voire scientifiquement [4], pour subvenir aux besoins alimentaires des populations. Cette intervention devra permettre de limiter sinon supprimer l'itinérance agricole pour quête des terres fertiles, pratique courante sous les tropiques qui rend non rentable la mise en place d'infrastructures communautaires (écoles, dispensaires,...) et s'attaque aux forêts existantes, prétendument plus fertiles [5].

C'est dans le but de rendre l'agriculture, actuellement itinérante, rentable et durable dans cette région et la protéger contre des dégradations plus poussées encore qu'une solution efficace et économiquement faisable a été recherchée. Ainsi, l'agroforesterie avec des légumineuses a été utilisée au plateau de Batéké pour gérer les problèmes de durabilité de la fertilité des sols à travers la litière qu'elle apporte et la fixation d'azote.

Le terme agroforesterie désigne les systèmes d'utilisation des terres et les pratiques dans lesquelles les plantes ligneuses vivaces sont délibérément intégrées aux cultures agricoles et / ou à l'élevage, par une association spatiale ou selon une séquence temporelle, pour une variété de bénéfices et de services [6], [7]. Des espèces d'*Acacia* ont été mises à profit pour ce faire dans une agroforesterie temporelle alternant arbres et cultures. Cependant, comme le bénéfice de la matière organique ainsi apportée est rapidement estompé à la suite de sa rapide minéralisation sous les conditions tropicales (température et humidité élevées), seulement une infime quantité de cette matière organique est stabilisée dans le sol sous forme d'humus pour une durée relativement longue. Cet humus sera ensuite progressivement envoyé dans l'atmosphère sous forme de CO₂ [8].

Dans ces conditions, il est souvent difficile de faire plus d'une culture après la coupe des arbres [9]. Le biochar (charbon de bois) a été reconnu capable de contribuer à la gestion de la fertilité de sol et à soutenir la production agricole [10], [11] ; à la suite de la découverte de la grande fertilité des sols anthropogéniques du bassin amazonien du Brésil, appelés *terra preta* qui contenaient ce matériel [12], [9]. Voilà pourquoi le biochar, matériel carbonisé provenant de la combustion incomplète des matériels organiques et contenant des composés aliphatiques et aromatiques, a été utilisé dans nos essais. Le but de cette étude était de tester si le biochar joint à la litière dans un contexte agroforestier avait le pouvoir d'améliorer la production agricole au plateau de Batéké, spécialement celle du maïs qui est très exigeante en fertilité.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée de mars à juin 2013 au site d'Ibi village, compris entre 4°20' et 5°80' de latitude Sud et 15°50' et 16°20' de longitude Est et à 642 m d'altitude sur le plateau des Batéké. Ibi village est située sur la nationale n°1 Kinshasa-Kikwit, à 125 km du centre-ville de Kinshasa dans la commune de Maluku [13].

Sur ce site, l'entreprise Novacel a installé un puits de carbone agroforestier de plus de 1800 ha. Les sols du plateau des Batéké sont de texture sableuse fine. Ils appartiennent au groupe de sables ocres de Kalahari dont la teinte varie par endroits. Les sols sont classifiés comme Rubique Ferrallitique Arenosol (Dystique) selon le système de classification WRB (IUSS Working group WRB, 2006) ; comme quartzipsamment ustoxique Isohyperthermique suivant Soil Taxonomy (Soil

survey staff, 2006). La couche arable de ces sols affiche une composition granulométrique moyenne de 3,4 % d'argile, 5,6 % de limon et 91,0 % de sable. Leur valeur agricole est très limitée à cause de leur faible capacité d'échange cationique ($CEC < 3 \text{ méq}/100\text{g}$), de rétention d'eau et donc un niveau de fertilité chimique très bas. Sans intervention extérieure, le rendement chute dès la seconde culture après la première mise en valeur, ensuite il faut une jachère d'au moins dix ans pour supporter de nouveau une culture [13], [14]. Malheureusement en RDC, la majorité de nos populations n'ont que ces sols, qui ne peuvent pas supporter plus de deux cultures successives, pour emblaver (Van Wambeke, 1996).

Le climat de la région est tropical humide du type AW_4 selon la classification de Köppen : avec une saison sèche de quatre mois sans pluies (juin à septembre), une saison pluvieuse (novembre à avril); mai et octobre constituant des mois de transition (Figure 1). Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 1500 mm réparties sur une centaine de jours, la température moyenne mensuelle est de 24°C avec une humidité relative moyenne de 80%. La végétation est dominée par des savanes herbeuses à *Digitaria longiflora* et *Hyparrhenia diplandra* et arbustives à *Hymenocardia acida*, *Crossopteryx febrifuga*, *Bridelia ferruginea* (Nsielolo, 2016) [15].

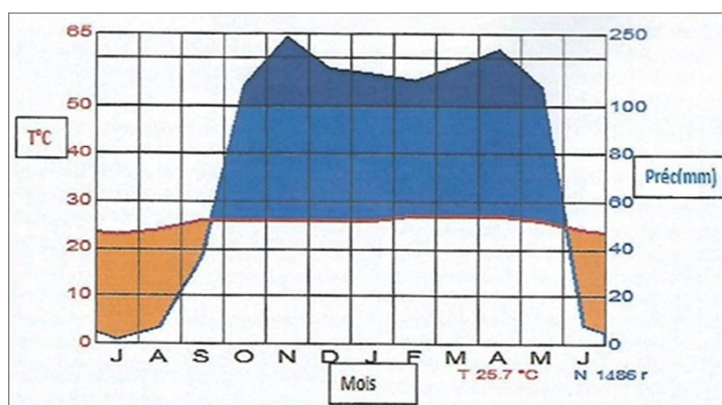


Figure 1. Diagramme ombrothermique de la station de Mbankana

2.2 DESCRIPTION DES MATÉRIELS UTILISÉS

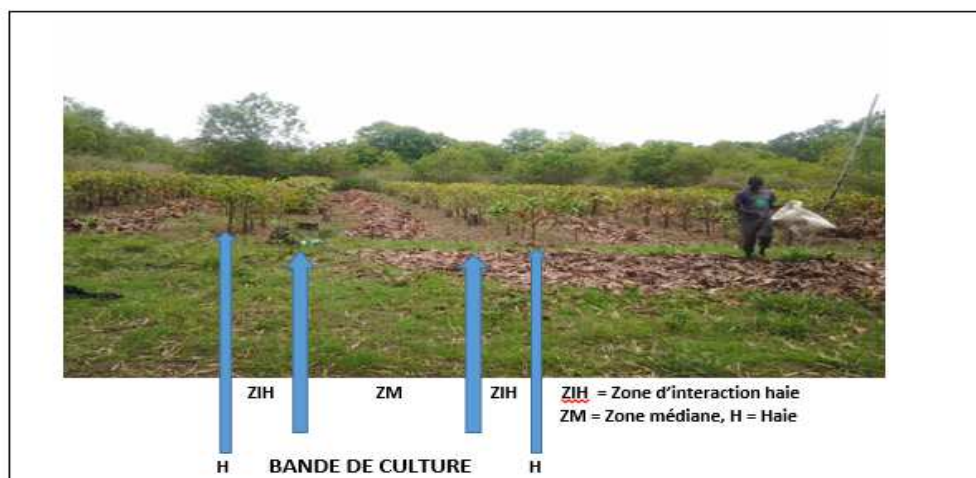
Les matériels suivants ont été utilisés :

- les graines de maïs de la variété SAMARU jaune ont été semées aux écartements de 1 m x 0,4 m à raison de 3 graines par poquet ;
- les plants d'*Acacia mangium* ont été plantés en ligne sous forme de haie aux écartements de 4 m x 1 m depuis deux ans et demi et tondus à 1 m de hauteur et 0,5 m de large à chaque début de saison culturale. Les émondages ainsi obtenus ont été épandus uniformément sur toutes les parcelles ;
- le biochar/ charbon de bois (appelé aussi agrichar) a été fabriqué avec le bois d'*Acacia auriculiformis* âgé de 5 ans dans un four en terre suivant le procédé traditionnel et empirique, qui peut être classifié dans le type conventionnel de pyrolyse lente à température ne dépassant pas 350°C à 400°C [16];
- la litière d'*Acacia mangium* récemment tombée et faiblement décomposée (nature et origine reconnaissables).
- le biochar et la litière ont été appliqués séparément : respectivement 41 mois et 5 mois avant la culture du maïs en expérimentation.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL UTILISÉ

L'expérience a été conduite en agroforesterie en alley cropping avec des haies d'*Acacia mangium*. Le précédent cultural était fait de deux cultures de manioc et d'une culture de maïs. Le dispositif expérimental était en split plot avec comme parcelle principale le niveau de dose de charbon de bois (biochar) et comme sous parcelle le niveau de dose de la litière d'*Acacia mangium*. Les traitements de parcelles principales sont respectivement C0=aucun charbon de bois (témoin), C1= $2\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois, C2= $4\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois et C3= $8\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois ; ceux des sous parcelles sont L0 = sans litière (témoin), L1= 5 tonnes/ha de litière, L2= 10 tonnes/ha de litière et L3= 20 tonnes/ha de litière. La dimension

de sous parcelles était de 5 m x 4 m et celle de parcelles principales de 10 m x 8 m. Le dispositif comprenait trois répétitions et couvrait une superficie de 40 m x 24 m (Figure 2).



2.4 OBSERVATIONS RÉALISÉES

Les observations ont été réalisées sur des pieds non adjacents au vide choisis de manière aléatoire sur les parcelles expérimentales. Le taux de sondage était de 10% à la récolte. Les observations suivantes ont été réalisées sur les plantes :

- La biomasse utile médiane (BUM) : fait référence aux épis de maïs sec avec spathes récoltés dans les lignes au milieu de la parcelle de culture. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse utile en interaction (BUI) : concerne les épis de maïs sec avec spathes récoltés dans les lignes de la parcelle de culture voisines aux haies d'*Acacia mangium*. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse aérienne médiane (BAM) : se rapporte aux tiges et feuilles de plants de maïs récoltés dans les lignes au milieu de la parcelle de culture. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse aérienne en interaction (BAI) : fait référence aux tiges et feuilles de plants de maïs récoltés dans les lignes de la parcelle de culture voisines aux haies d'*Acacia mangium*. Elle est exprimée en kg/ha ;

Toutes les biomasses ont été pesées à la récolte du maïs à l'aide de la balance à ressort de 100 kg, après trois mois de culture.

2.5 ANALYSE STATISTIQUE UTILISÉE

L'ensemble des données a été soumis à une analyse de variance à deux critères de classification. Une comparaison multiple Post-Hoc des moyennes selon le test de Fisher (LSD) au seuil de 5% a été également réalisée. L'analyse du degré d'association entre d'une part les différents paramètres mesurés et d'autre part les différents traitements a été réalisée par le calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson.

Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de -1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens);
- une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire);
- une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels Statistix 8, Origin 6 et Excel.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFET DU BIOCHAR SUR LES PARAMETRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

L'effet du biochar s'est manifesté différemment selon les paramètres observés et les doses utilisées (Figure 3). Le traitement de 8 Kg/m² de biochar avait donné la plus grande valeur avec 1598,8 kg d'épis spathé/ha, le témoin étant le dernier pour la biomasse utile médiane. Tous les traitements de biochar étaient égaux statistiquement avec 1311,8 kg/ha, 1459,5kg/ha et 1601,8 kg/ha respectivement pour 2 kg/ha, 4 kg/ha et 8 kg/ha de biochar mais supérieurs au témoin pour la biomasse utile dans la zone d'interaction de haie.

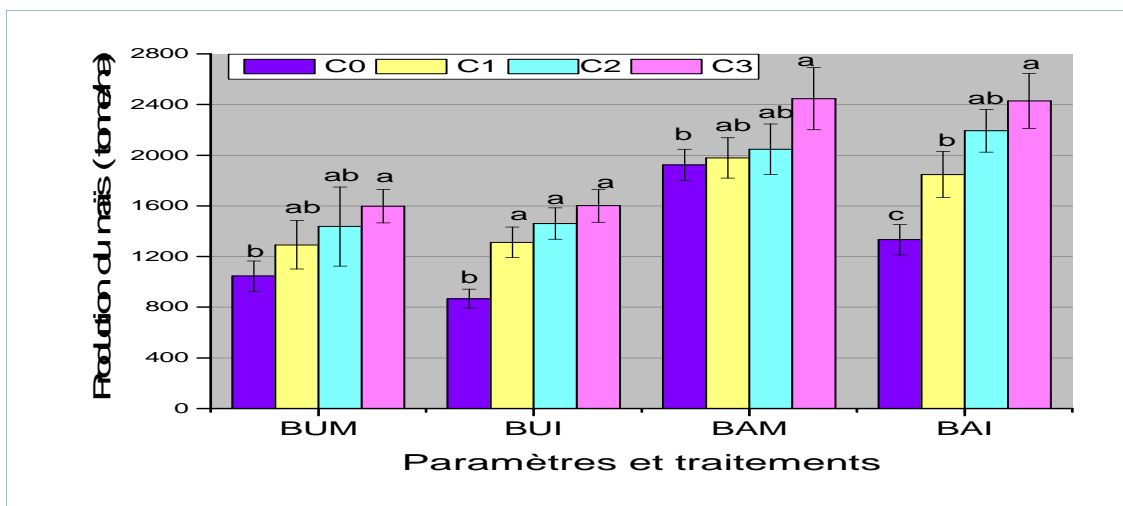


Figure 3. Effet des doses de biochar d'*A. auriculiformis* sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM=Biomasse aérienne médiane, BAI=Biomasse aérienne interaction, BRM=Biomasse racinaire médiane, BRI=Biomasse racinaire interaction, C0= 0 kg/m² de biochar, C0= 2 kg/m² de biochar, C0= 4 kg/m² de biochar, C0= 8 kg/m² de biochar. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) d'après le test de Fisher LSD].

Il apparaît à la Figure 3 que le traitement avec 8 kg/m² de biochar avait donné la plus grande valeur à la fois pour la biomasse aérienne médiane (BAM) et pour la biomasse aérienne en interaction (BAI) de haie avec respectivement 2447,3 kg de tiges par ha et 2428,8 kg/ha de tiges. Le biochar a, de manière générale, influencé positivement les paramètres observés trois ans et demi après son application alors que durant les essais conduits les deux premières années cette influence était très faible.

3.2 EFFET DE LA LITIÈRE SUR LES PARAMETRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

Comme pour le biochar, l'effet de la litière d'*Acacia mangium* sur le maïs dans l'Alley cropping s'est manifesté différemment selon les paramètres et les doses utilisées (Figure 4). Le traitement avec 10 t/ha de litière a donné les plus grandes valeurs à la fois de biomasse utile médiane (BUM) et de biomasse utile interaction (BUI) de haies avec respectivement 1526,2 kg et 1511,6 kg/ha d'épis spathés.

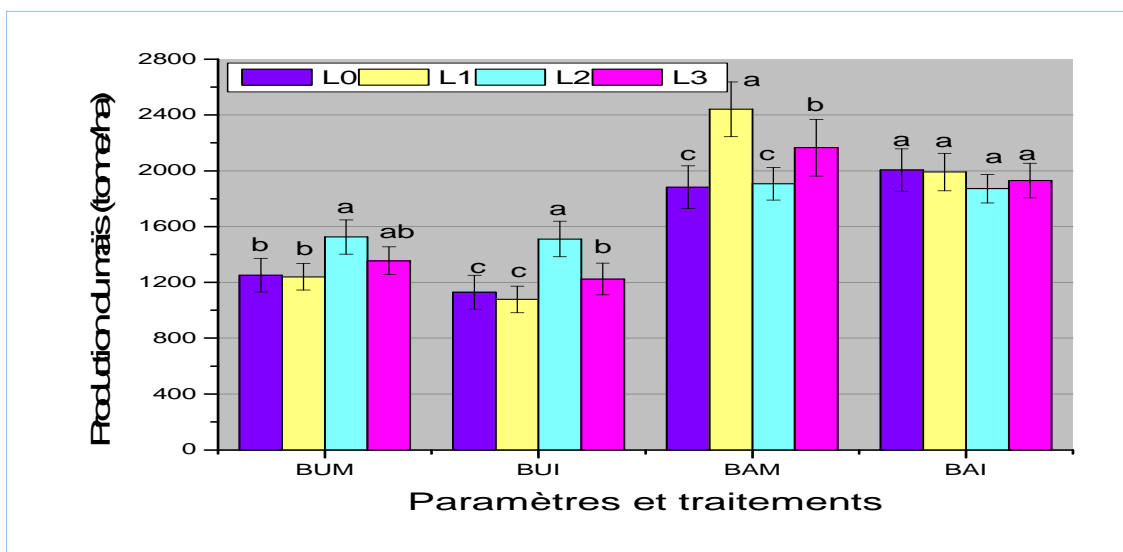


Figure 4. Effet de l'apport de la litière d'*A. mangium* sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM=Biomasse aérienne médiane, BAI=Biomasse aérienne interaction, BRM=Biomasse racinaire médiane, BRI=Biomasse racinaire interaction, L0= 0 t/ha de litière, L1= 5 t/ha de litière, L2= 10 t/ha de litière, L3= 20 t/ha de litière. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) d'après le test de Fisher LSD].

La biomasse aérienne médiane a obtenu la plus grande valeur par le traitement avec 5 t/ha de litière qui avait produit 2441,7 kg/ha suivi du traitement de 20 t/ha de litière avec 2167,3 kg/ha. Pour la biomasse aérienne en interaction avec les haies, tous les traitements ont été statistiquement égaux avec une valeur supérieure de 2005,4 kg par ha. La biomasse des émondes épandues uniformément sur tous les traitements a donc contribué grandement à augmenter le niveau de production du témoin.

3.3 EFFET DE L'INTERACTION BIOCHAR ET LITIÈRE D'*A. MANGIUM* SUR LES PARAMÈTRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

L'interaction entre biochar et litière d'*A. mangium* dans l'Alley cropping présentée à la Figure 5 a été positive et a différé selon les paramètres observés et les doses appliquées. La biomasse utile médiane (BUM) a obtenu les meilleures valeurs avec les doses de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière (2119 kg/ha d'épis spathés) et de 4 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière (2019 kg/ha d'épis spathés). Quant à la biomasse utile dans la zone d'interaction (BUI) avec les haies, les valeurs supérieures à 1700 kg/ha ont été obtenues par les traitements de 8 kg/m² de biochar/10 t/ha de litière, de 8 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière et de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière kg/ha.

Pour la biomasse aérienne médiane (BAM), les plus grandes valeurs ont été respectivement de 2875 kg/ha de tiges avec les doses de 8kg/m² de biochar/ 5 t/ha de litière. La biomasse aérienne dans la zone d'interaction (BAI) avec les haies a manifesté les plus grandes valeurs avec les doses de 8 kg/m² de biochar/5 t/ha de litière (2791,7 kg/ha de tiges) et de 8 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière (2561,7 kg/ha de tiges). La combinaison entre biochar et litière a été très positive et a permis de relever les effets dus au biochar et à la litière seuls.

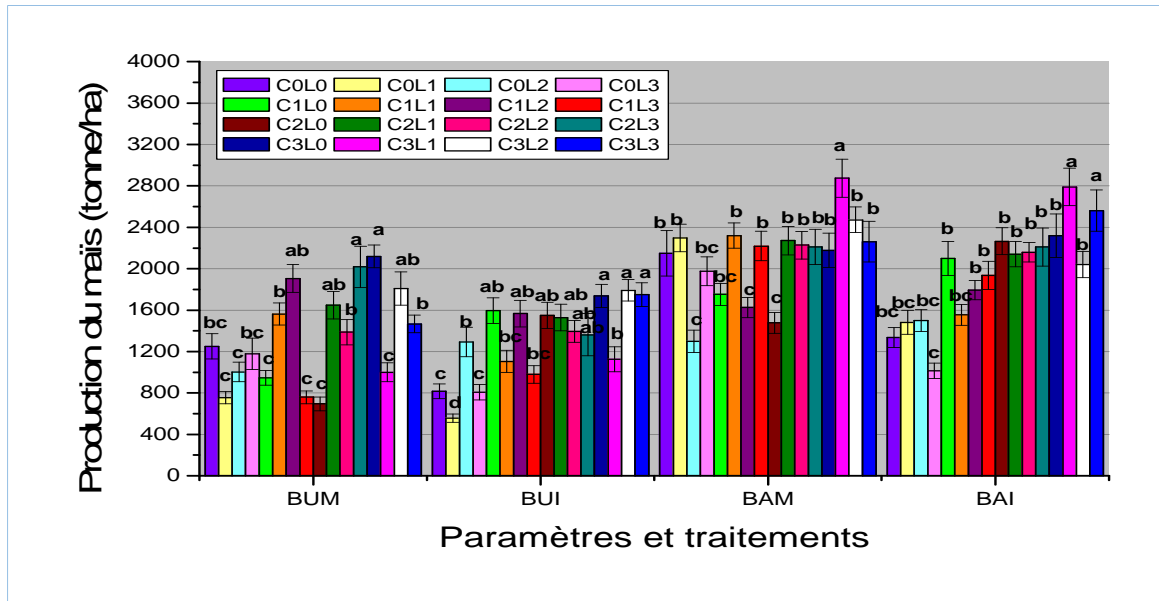


Figure 5. Effet de l'interaction entre la dose du biochar et la litière d'A. mangium sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM= Biomasse aérienne médiane, BAI= Biomasse aérienne interaction, BRM= Biomasse racinaire médiane, BRI= Biomasse racinaire interaction, C0= 0 kg/m² de biochar, C2= 2 kg/m² de biochar, C4= 4 kg/m² de biochar, C8= 8 kg/m² de biochar, L0= 0 t/ha de litière, L1= 5 t/ha de litière, L2= 10 t/ha de litière, L3= 20 t/ha de litière. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives (p<0,05) d'après le test de Fisher LSD].

3.4 EVALUATION DES CORRÉLATIONS

Les coefficients de corrélation entre les différents paramètres observés sont présentés dans le tableau 1. On constate une corrélation positive et significative entre les biomasses utiles, les biomasses aérienne et utile médianes, les biomasses aérienne et utile en interaction avec les haies. En outre, plus les biomasses aériennes sont florissantes plus les productions pondérales d'épis avec spathe sont élevées.

Tableau 1. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre les différents paramètres observés (Différence significative à * $\alpha=0,05$; ns: Différence non-significative.)

	BUM	BUI	BAM	BAI
BUM	1			
BUI	0,57*	1		
BAM	0,41*	0,11ns	1	
BAI	0,15ns	0,47*	0,39*	1

BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM= Biomasse aérienne médiane, BAI= Biomasse aérienne interaction.

En ce qui concerne les doses de biochar (Tableau 2), elles présentent toutes des corrélations négatives et non significatives. Une seule corrélation s'est avérée positive et non significative, il s'agit de la corrélation existant entre la dose de 8 kg/m² de biochar et celle de 0 kg/m² de biochar. Ceci laisse penser qu'en premières années les grandes doses de biochar récentes peuvent ralentir la croissance et se comportait comme le témoin. De même, en ce qui concerne les doses de litière (Tableau 3), elles présentent toutes des corrélations positives et non significatives. Une seule corrélation s'est avérée positive et significative, il s'agit de la corrélation existant entre la dose de 20 t/ha de litière et celle de 5 t/ha de litière.

Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre différentes doses de biochar (Différence significative à : * $\alpha=0,05$; ns Différence non-significative.)

Biochar	0 kg/m ²	2 kg/m ²	4 kg/m ²	8 kg/m ²
0 kg/m ²	1			
2 kg/m ²	-0.1514 ^{ns}	1		
4 kg/m ²	-0.6286 ^{ns}	-0.1943 ^{ns}	1	
8 kg/m ²	0.3440 ^{ns}	-0.4914 ^{ns}	-0.6820 ^{ns}	1

Tableau 3. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre différentes dose de litière (Différence significative à : * $\alpha=0,05$; ns Différence non-significative.)

	L0	L1	L2	L3
L0	1			
L1	0.6175 ^{ns}	1		
L2	0.8443 ^{ns}	0.9226 ^{ns}	1	
L3	0.7050 ^{ns}	0.9839*	0.9298 ^{ns}	1

4 DISCUSSION

Le biochar, en troisième année après son application, a donné des effets significatifs sur le maïs tandis que son effet était faible sur les précédents culturaux (cultures de manioc). Ceci peut s'expliquer par le fait que les substances pyrogéniques nocives et répressives de la croissance ont pu être décomposées et éliminées du milieu cultural au cours de deux premières années d'application du biochar au sol [17]. Le biochar s'est mieux exprimé dans la zone proche des haies que dans la zone médiane spécialement pour les paramètres végétatifs (tiges). Pour le paramètre productif (épis spathés), il s'est mieux exprimé dans les deux milieux avec cependant une expression supérieure dans la zone d'interaction de la haie par rapport à celle de la zone médiane. Il s'agit vraisemblablement là d'un effet pédogénétique des racines (exsudat) et des microorganismes de la rhizosphère sur le biochar et les autres fertilisants organiques qui ont favorisé une meilleure utilisation. Le biochar a ainsi agit comme un facteur amortisseur de l'effet de concurrence des haies sur les cultures.

Plusieurs auteurs ont rapporté que le biochar avait une habilité accrue en production et en utilisation des éléments biogènes plus en présence de la fertilisation qu'étant seul. Car, lorsqu'il est appliqué seul il donne des réponses égales voire inférieures au témoin [18], [19], [20]. Dans cette étude, la dose de 8 kg/m² de biochar pour tous les paramètres observés a été statiquement égale à celle de 4 kg/m².

La litière d'*Acacia mangium* a eu un impact plus évident sur la culture du maïs en deuxième saison de culture après son application alors que le maïs planté lors de l'application de la litière en première saison n'avait pas pu croître normalement. Cet impact traduit un état de décomposition plus avancé qu'en première année et à une libération des éléments biogènes par l'humus. Ceci s'explique par le fait que les premières phases de la décomposition de la matière organique surtout à rapport C/N élevé ne libèrent pas encore des nutriments du fait de la prolifération des microorganismes qui consomment eux-mêmes le carbone énergétique et les éléments minéraux les rendant ainsi indisponible momentanément pour les plantes. Ce qui s'est traduit par des rendements moindres dans les parcelles amendés par rapport au témoin en première année. Ce phénomène d'immobilisation et de réorganisation d'azote, connu aussi sous le nom de la faim de l'azote, signifie que c'est seulement lorsque les microorganismes meurent que les éléments minéraux sont restitués au sol et partant aux cultures [4] (Soltner, 2011). Aussi, dans la pratique, est-il recommandé pour contourner ce problème d'apporter une dose d'azote de 50 kg/ ha lors de l'enfouissement de la litière.

Toujours à ce sujet, la référence [21], dans un essai factoriel associant différentes matières organiques (paille C/N=93, compost C/N=43 et Fumier C/N=15) et de l'urée, est arrivée à la conclusion selon laquelle les apports organiques augmentent le taux de carbone et que l'urée en réduit l'ampleur suite à une perte de CO₂ due à une activité biologique et rhizosphérique plus intense. L'enfouissement des pailles même en présence de l'urée donnerait toujours des rendements faibles contrairement au fumier associé à l'urée. La référence [22] insiste pour sa part sur le fait que dans un sol très sableux le bilan carboné ne peut être maintenu que par l'apport combiné de compost et d'urée.

Les résultats ont montré aussi que la biomasse utile a donné sa plus grande valeur dans la zone d'interaction avec les haies soit 1511 Kg/ha d'épis spathé avec 10 t/ha de litière alors que la biomasse aérienne l'a été dans la zone médiane soit 2441,7 t/ha avec 5 t/ha de litière. Il apparait que l'action de la matière organique, en cette deuxième année de culture après

son application, soit plus prononcée pour les facteurs productifs dans la zone d'interaction avec les haies et pour les facteurs végétatifs au milieu de la parcelle. On peut expliquer ce fait par la limitation de facteurs abiotiques telle que la lumière dans les zones d'interaction de haies qui tend à freiner l'expression des paramètres végétatifs malgré la synergie existant entre la matière organique et la rhizosphère.

La référence [23] a montré sur des sols très sableux qu'un apport de 10 t/ha de fumier enfouies tous les deux ans par le labour favorisait la croissance de racines et en beaucoup plus grande quantité encore que la partie épigée. La fumure organique augmenterait l'activité racinaire et jouerait donc un rôle particulier d'activateur du fonctionnement racinaire des cultures [4], [24]. Ceci a cependant une conséquence majeure sur le bilan minéral dans différents compartiments du sol. Plus la fertilisation azotée ou potassique est appliquée sur une culture, plus sa zone rhizosphérique est stimulée, plus les réserves du sol sont sollicitées et par ce fait la minéralisation rapide de la matière organique est entamée [25], [26]. Dans le même ordre d'idée, la référence [4] estime que la quantité de la matière organique surminéralisée par l'engrais azoté serait équivalente à trois ou quatre fois la dose d'azote appliquée à l'hectare.

Cependant, la fertilisation, qu'elle soit minérale ou organique, a d'une manière générale un effet favorable sur le bilan organique de sol. C'est un puissant moyen d'augmentation des rendements et qui contribue à accroître significativement les entrées carbonées dans le système sol-plante. Cet effet dépend toutefois de l'alimentation hydrique des cultures [4]. Dans notre expérience, sur sol sableux, la dose de 20 t/ha de litière tend à donner les mêmes niveaux de rendements que la dose de 10 t/ha de litière. L'optimum de fertilisation se situerait donc autour de la valeur de 10 t/ha de matière organique comme l'a aussi constaté la référence [23] pour les sols très sableux du Sénégal. Ce qui pourrait signifier également que le volume des décomposeurs par hectare dans ces sols sableux pauvres et secs aurait représenté une activité pour dégrader seulement 10 tonnes pendant le temps d'expérience.

S'agissant de l'interaction entre le biochar et la litière, contrairement à ce qui a été observé dans l'effet de la litière, la biomasse utile comme la biomasse aérienne ont donné leur meilleures valeurs dans la zone médiane, avec respectivement 2119 Kg/ha d'épis spathés pour les doses de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière et 2875 kg/ha pour 8 kg/m² de biochar/5t/ha de litière. Nous pensons que le biochar a modifié l'action de la litière en ce qu'ici les parties aériennes se sont mieux développées dans la zone médiane.

La combinaison du biochar et de la litière semble ainsi atténuer l'effet de la concurrence entre la culture de maïs et la haie tondue d'*Acacia mangium*, certainement à cause d'une disponibilisation suffisante de nutriments par les deux. L'action positive du témoin doit être circonscrite dans ce contexte où une autre forme de matière organique (les émondes des haies d'acacia) a été épandue régulièrement et uniformément dans l'expérience et le charbon de pyrolyse libre a été déposé lors de l'ouverture du terrain avec le feu. Le biochar associé à la fertilisation organique a contribué à accroître la fertilité de sol et la production comme l'ont aussi rapporté les références [19] et [27], Ce qui tendrait à confirmer les conclusions des références [28], [29], [30] selon lesquelles une fertilisation organique ou minérale apportée à côté du biochar aiderait à éliminer ou à servir de contrepois aux effets négatifs d'un biochar fraîchement produits. Notre association biochar/matière organique peut ainsi être comparé avec le compostage du biochar avec la matière organique proposée pour adsorber les nutriments sur la matrice poreuse du biochar [31], de stimuler sa colonisation microbienne [32], de détruire les substances pyrogéniques nocifs [17] et d'augmenter la surface réactive du biochar en accélérant l'oxydation des composés responsables [33].

La référence [34] va dans le même sens ; selon celle-ci, l'amendement au biochar en présence de matière organique en décomposition permettrait une augmentation de 13–26 % la concentration des acides fulviques aqueux et de 15–30 % de composés des acides humiques par rapport à la matière organique en décomposition sans biochar. Autrement dit, le biochar favoriserait la décomposition de la matière organique.

5 CONCLUSION

Dans cette étude, Il a été question d'évaluer l'effet de différentes doses de biochar et de litière d'*Acacia mangium* utilisées seuls ou en association sur les paramètres végétatifs et productifs de la culture de maïs dans un contexte d'Agroforesterie en Alley cropping avec une haie d'*Acacia mangium* tondue régulièrement à 1 m. Les résultats obtenus ont montré que le biochar et la litière appliqués au sol respectivement 41 et 5 mois avant la culture avaient produits des effets significatifs sur la culture de maïs. La production d'épis secs avec spathes ainsi que celle des tiges a été supérieure dans la zone médiane de la parcelle de culture.

A notre avis, la meilleure combinaison de biochar et de litière d'*Acacia mangium* pour la production agricole semble se situer autour des doses de 4 Kg/m² (40 t/ha) de biochar et de 20 t/ha de litière pour le sol sableux du plateau de Batéké. La

dose de 20 t/ha de litière dépasse bien évidemment celle de 10 t/ha préconisée par la référence [23] dans un contexte plus sec et sans biochar.

Dans la pratique, les premières années quand le biochar est nouvellement appliqué on ferait bien d'apporter une forte dose de litière soit 20 t/ha pour contrebalancer les effets négatifs des biochars récents. Mais après, on pourra ramener à 10 t/ha la quantité de litière à apporter au sol ou tout simplement réalimenter le sol une fois ce nombre d'années précisé. Ce nombre d'années a été estimé à au moins deux ans.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la CUD, l'Union Européenne via l'UNESCO et l'ERAIFT, la WBI, l'entreprise NOVACEL et l'ongd GI Agro pour leurs multiples contributions à notre recherche.

REFERENCES

- [1] B.P. Bulakali, J. Aloni, J.C. Palata & G. Mergeai, Performances de trois variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées en association avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz dans les conditions du plateau des Batéké (ville-province de Kinshasa, RDC), *Tropicultura*, No 32, Vol 4, X-Y, 2014.
- [2] N. Lelo, Kinshasa : Ville et environnement, Editions Harmattan, Paris, 284p, 2008
- [3] M.D. Cahn, D.R. Bouldin, M.S. Cravo & W.T. Bowen, Cation and nitrate leaching in an oxisol of the Brazilian Amazon, *Agron J*, No 85, pp 334-340, 1993.
- [4] C. Piéri, Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement, CIRAD, Paris, France, 1989.
- [5] S.A. Vosti, C.L. Carpentier, J. Witcover & J.F. Valentin, Intensified small scale livestock systems in the western Brazilian Amazon. In: Glaser B., Lehmann J. et Zech W.: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal, *Biol Fertil Soils*, No 35, pp 219-230, 2001.
- [6] E. Somarriba, Revisiting the past: an essay on agroforestry definition, *Agroforestry Systems*, vol. 19, n° 3, pp 233-240, 1992.
- [7] *Agroforesterie*, Revue de l'Association française de l'agroforesterie n°1, Paris, 36p, 2008.
- [8] H. Thiessen, E. Cuevas, & P. Chacon, The role of soil organic matter in sustaining soil fertility, *Nature*, No 371, pp 783-785, 1994.
- [9] E. Dubiez, J.N. Marien, F. Bisiaux, V. Freycon, A. Peroches & R. Peltier, La durabilité des systèmes agroforestiers à *Acacia auriculiformis* en Afrique centrale, Les Notes de Perspectives N°7. Capitalisation Makala, Cirad et ibf, 4p, in <http://makala.cirad.fr>., 2014
- [10] E.D. Goldberg, *Black carbon in the environment*. Wiley, New York, 1985.
- [11] M.W.I. Schmidt & A.G. Noack, Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges, *Global Biogeochem Cycles*, No 14, pp 777-793, 2000.
- [12] B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger & W. Zech, The Terra Preta phenomenon – a model for sustainable agriculture in the humid tropics, *Naturwissenschaften* 88:37-41, 2001a.
- [13] K. Koy, Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. Université de GENT, 400p, 2010.
- [14] R.K. Kasongo, E. Van Ranst, A. Verdoort, P. Kanyankogote & G. Baert, Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. *Soil Use and Management*, No 25, pp. 21-27, 2009.
- [15] E. Milau, S. Kachaka, K. Aloni, M. Mvumbi & F. Francis, Incidence de la déforestation sur les catégories écologiques des vers de terre dans le domaine et Réserve de Chasse de Bombo-Lumene (Kinshasa). *Tropicultura*, Vol.3, No 33, pp 11-21, 2015.
- [16] E.N. Chidumayo, Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia, *For Ecol Manage*, No 70, pp 353-357, 1994.
- [17] M. Tuomela, M.A. VikmanHatakka & M. Itävaara, Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.*, No 72, pp 169-183, 2000.
- [18] P. Blackwell, G. Reith Muller & M. Collins, Biochar application to soil. In *Biochar for Environmental Management*. (Eds J Lehmann and S Joseph) pp. 207-226, Earthscan: London, 2009.
- [19] H. Asai, B.K. Samson, H.M Stephan, K. Songyikhangsuthor, K., Homma, Y., Kiyono, Y., Inoue, T., Shiraiwa & T. Horie, Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield, *Field Crop. Res.*, No 111, pp 81-84, 2009.

- [20] J.W. Gaskin, R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris & D.S. Fisher, Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield, *Agronomy Journal*, No 102, pp 623-633, 2010.
- [21] M.P. Sedogo, Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de docteur ingénieur, sciences agronomiques, institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 198p. , 1981.
- [22] C. Feller, F. Bernhardt-Reversat, J.L. Garcia, J.J. Pantier, S. Roussos & B. Van Vliet-Lanoe, Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol.3, No 20, pp 223-238, 1983.
- [23] L.M. Cissé: Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du centre-Nord du Sénégal. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 184 p, 1986.
- [24] J.L. Chopart, Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales du Sénégal (arachide-mil-sorgho-riz pluvial).Thèse de doctorat, productions et qualité des produits, Institut national polytechnique de Toulouse,160p et annexes, 1980.
- [25] F. Ganry, The importance of cultural methods to increase the quantity of nitrogen (N₂) fixed by a groundnut crop in the Sudano sahélien Zone of Senegal. In: Organic recycling in Africa, colloquim FAO-SIDA, Buea, Cameroon, 5-14 December. Rome, FAO, pp 168-175, Soils Bulletin, n°43, 1987.
- [26] C. Pieri, Estimation du bilan des pertes moyennes en eau et en éléments minéraux dans une succession culturale mil-arachide (années 1979 à 1981). Montpellier, IRAT-AIEA, 26p, 1982.
- [27] Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1–18.
- [28] J.A. Alburquerque, P. Salazar, V. Barrón, J. Torrent, M.C., Campillo del, A. Gallardo & R. Villar, Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 3, No 33, pp 475–484, 2012.
- [29] E.W. Bruun, D. Müller-Stöver, P. Ambus & H. Hauggaard-Nielsen, Application of biochar to soil and N₂O emissions: potential effects of blending fast-pyrolysis biochar with anaerobically digested slurry, *Eur. J. Soil Sci.*, No 62, pp 581–589, 2011
- [30] S. Joseph, L. Van Zwieten, C. Chia, S. Kimber, P. Munroe, Y. Lin, C. Marjo, J. Hook, T. Thomas, S. Nielsen, S. Donne & P. Taylor, Designing Specific Biochars to Address Soil Constraints: A Developing Industry. In: N. Ladygina & F. Rineau (Eds.), *Biochar and Soil Biota*, CRC Press, Boca Raton, 2013c.
- [31] C. Steiner, K.C. Das, N. Melear & D. Lakly, D., Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar, *J. Environ. Qual.*, No 39, p 1236, 2010.
- [32] J. Pietikäinen, O. Kiekkilä & H. Fritze, Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus, *Oikos*, No 89, pp 231–242, 2003.
- [33] A.R. Zimmerman, Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar), *Environ. Sci. Technol.*, Vol.44, pp 1295–1301, 2010.
- [34] J. Zhang, Fan Lü, L. Shao & P. Pinjing He, The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge, *Bioresource Technology*, No 168, pp 252–258, 2014.