

Effet comparé de la fertilisation à base de biochar, engrais organique et engrais chimique sur les éléments minéraux et la production de l'oignon (*Allium cepa* L.)

Moustapha Maman Mounirou, PhD
Université d'Ankara, Ankara, Turquie

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n24p47](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p47)

Submitted: 01 February 2022

Accepted: 19 July 2022

Published: 31 July 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Mounirou M.M. (2022). *Effet comparé de la fertilisation à base de biochar, engrais organique et engrais chimique sur les éléments minéraux et la production de l'oignon (Allium cepa L.)*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (24), 47. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n24p47>

Résumé

Au cours des dernières décennies, il y a de plus en plus des études universitaires sur l'importance du biochar. Ce dernier constitue un moyen efficace pour la valorisation des déchets agricoles et forestiers. Cette étude qui s'inscrit dans le même contexte a pour objectif principal de déterminer les effets combinés du fumier de chèvre (FC, 5 t ha⁻¹) et de son biochar (BC 10 t ha⁻¹) sur l'efficacité d'utilisation des engrais chimiques (EC) sous différents ratios (100%, 50% et 0%), avec la variété d'oignon Metan 88. Pour ce faire, des essais ont été conduits en plein champ, dans le Centre de Recherche Horticole (CRH Ayas) de l'Université d'Ankara. En effet, le dispositif expérimental est un bloc complet randomisé comportant douze (12) traitements en quatre (4) répétitions, soit quarante-huit (48) parcelles. Les différentes mesures et analyses effectuées ont permis la détermination des paramètres tels que ; le poids frais et sec, le rendement total, la chlorophylle relative, l'acide ascorbique, ainsi que les concentrations des N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu et Mn. Les résultats obtenus ont montré que le rendement total de l'oignon a augmenté de manière significative avec l'application du biochar, du fumier ainsi que leur combinaison. Tous les traitements d'engrais organiques et inorganiques ont considérablement augmenté les concentrations en N, P et K respectivement 38,8, 2,81 et 42,2 g Kg⁻¹ par rapport aux témoins 33,8, 2,32 et 35,6 g Kg⁻¹. Les concentrations en Ca et Mg respectivement 7,31 et 6,69 g kg⁻¹ ont été augmentées avec l'engrais organique par rapport aux témoins 6,43 et

5,10 g kg⁻¹. Le Biochar et le fumier ont donné la concentration la plus élevée de chlorophylle relative avec 297 et 294 respectivement. En conclusion , la combinaison du BC+FC a permis d'obtenir une croissance optimale de l'oignon.

Mots-clés: Biochar, matière organique, fertilisation, oignon, NPK

Comparative effect of fertilization based on biochar, organic fertilizer and chemical fertilizer on the mineral elements and the production of onion (*Allium cepa* L.)

Moustapha Maman Mounirou, PhD
Ankara University, Ankara, Turkey

Abstract

In recent decades, numerous academic studies were carried out in order to determine the importance of biochar. The latter constitutes an effective means for valuing the agricultural and forestry waste. The main objective of the present study was to determine the combined effects of goat manure (GM, 5 t ha⁻¹) and its biochar (BC 10 t ha⁻¹) on use efficiency of chemical fertilizers (CF) in different ratios (100%, 50% and 0%), in the Metan 88 variety of onion. The , trials were carried out in the open field at the Horticultural Research Center at Ankara University. The experimental device is a complete randomized block comprising twelve (12) treatments in four (4) repetitions, forty-eight (48) plots. The various measurements and analyses carried out allowed the determination of parameters such as fresh and dry weight, total yield, relative chlorophyll, ascorbic acid, the concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu and Mn, as well . The obtained results showed that the total yield of onion increased significantly with biochar, manure as well as their combination. All organic and inorganic fertilizer treatments significantly increased N, P and K concentrations 38.8, 2.81 and 42.2 g Kg⁻¹ respectively compared to controls 33.8, 2.32 and 35, 6g Kg-1. As for the concentrations of Ca and Mg 7.31 and 6.69 g kg-1 they were increased with the organic fertilizer compared to the controls 6.43 and 5.10 g kg-1 respectively.. Biochar and manure gave the highest concentration of relative chlorophyll with 297 and 294 respectively. In conclusion , the combination of BC + CF resulted in optimal onion growth.

Keywords: Biochar, Organic matter, fertilisation, onion, NPK

1. Introduction

De nos jours, pour lutter contre l'effet du changement climatique mondial et l'augmentation des coûts énergétiques, l'obtention des engrais et d'énergie à partir de déchets organiques fait partie des sujets actuels et prioritaires. D'un autre côté, la population mondiale croît rapidement et, en raison de l'augmentation de la demande alimentaire causée par les habitudes alimentaires et une diminution des terres agricoles arables, les engrais semblent être l'un des intrants les plus importants d'une agriculture durable (Eraslan et al., 2010). Dans ces conditions, il est impérativement nécessaire de promouvoir le développement des nouvelles technologies en termes de transformation des engrais organiques et leur utilisation dans les zones agricoles. Le développement de ces technologies, devraient intégrer les techniques prometteuses permettant la réduction de l'émission dans l'atmosphère des gaz dont les effets se traduisent par le réchauffement climatique, le dégagement des odeurs désagréables, le développement des maladies et des facteurs nocifs, tout en optimisant l'utilisation des nutriments par les plantes (Gunes, 2012). Les engrais issus des animaux d'élevage sont appliqués dans les zones agricoles sans aucun traitement ne serait-ce que le compostage dans des environnements aérobies et anaérobies. Cependant, ces matières organiques se décomposent en peu de temps dans des conditions climatiques semi-arides et arides et émettent des niveaux élevés de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère (Fearnside, 2000). Pour cette raison, l'utilisation de matières organiques pyrolysées émettant moins de CO₂ dans l'atmosphère, à haute teneur en carbone organique, gagne en importance dans les zones où les conditions climatiques sont sèches et semi-arides. La conversion du fumier animal en biochar par pyrolyse présente de nombreux aspects positifs par rapport à une application directe. En effet, les volumes des déchets agricoles se réduisent par pyrolyse, les risques d'agents pathogènes sont également réduits, la stabilisation du carbone est réalisée dans les sols et les émissions de gaz dans l'atmosphère sont réduites (Wang et al., 2012).

Le biochar tient son nom du terme « bio » en référence à des résidus organiques et « char » pour charbon. En effet, ce fertilisant est une autre forme d'engrais organique qui contient des éléments minéraux nécessaires pour l'enrichissement du sol. Il est produit à partir des résidus des cultures, de biomasse, des mauvaises herbes, des déjections animales ou de forêt (bois) à travers une méthode de pyrolyse. Afin de le différencier du charbon de bois, la définition adoptée par International Biochar Initiative (IBI) spécifie que, la finalité de cette substance est son utilisation en tant qu'amendement pour les sols (Sohi et al., 2010). Le biochar est un matériel qui se présente sous forme de fragments noirs, légers, poreux, sec et facile à transporter. Depuis quelques années, cet engrais suscite l'engouement de la communauté scientifique qui le considère comme un moyen permettant de lutter contre le changement

climatique global tout en améliorant la fertilité des sols (Lehmann et al., 2006). En effet, le biochar est un produit chimiquement et biologiquement récalcitrant dont le temps de résidence dans les sols peut atteindre plus de 1 000 ans (Lehmann, 2007). Dès lors, l'incorporation de biochar dans le sol permet de séquestrer du carbone atmosphérique fixé photosynthétiquement par la biomasse. Par ailleurs, l'apport de biochar dans le sol augmente généralement la rétention en éléments nutritifs, notamment grâce à sa surface spécifique élevée couplée à la présence de nombreux groupes fonctionnels superficiels qui accroissent la capacité d'échange cationique (CEC) du système sol-biochar (Sohi et al., 2010 ; Verheijen et al., 2010 ; Kookana et al., 2011). Il a également été démontré que son application pouvait améliorer la rétention en eau utile, diminuer la toxicité de certains polluants et favoriser la biodiversité de la macro et microfaune dans les sols (Lehmann et al., 2011 ; Rees et al., 2014). En conséquence, un accroissement de la productivité des cultures est habituellement observé en présence de biochar (Manyà, 2012 ; Biederman et Harpole, 2013), même si d'autres études mettent également en évidence des effets plus nuancés (Jeffery et al., 2011) ou suggèrent un potentiel impact négatif sur certaines propriétés agronomiques du sol (augmentation de la salinité, enrichissement en contaminants, etc.). De plus, il y a un engouement pour le biochar en agriculture et en environnement puisqu'on lui confère des propriétés intéressantes pour la croissance végétale, la séquestration du carbone et l'interception de contaminants (Verheijen et Coll., 2010 ; Montanarella, 2013). Cet engouement provient du fait que les biochars amélioreraient la fertilité, la teneur en eau et la vie microbienne des sols, augmentant du coup la productivité végétale qu'elle soit en sols agricoles, artificiels ou en sols dégradés (Allaire et Lange, 2013). Ces vertus semblent toutefois varier selon leurs propriétés, le type de sol, l'espèce végétale et le climat. Pour en faire le meilleur usage, on doit bien connaître les propriétés de ces biochars en lien avec la matière première et la méthode de pyrolyse ayant servi à les fabriquer.

L'avantage de la technique de pyrolyse est qu'elle apporte plus facilement les éléments nutritifs au sol contrairement à la méthode classique qui consiste à laisser sur place les résidus des cultures dont la minéralisation peut prendre des années en fonction des caractéristiques intrinsèques du sol. Le biochar peut être utilisé seul ou associé avec des engrais organiques ou minéraux pour améliorer la productivité et la fertilité des sols. L'objectif de ce travail vise à évaluer l'efficacité du biochar, du fumier et d'engrais chimique sous différents ratios (100%, 50% et 0%) ainsi que leur combinaison sur la culture de l'oignon.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Sites d'études

L'essai agronomique s'est déroulé dans le Centre de Recherche Horticole (CRH Ayas) situé aux coordonnées : N 40.02794, E 32.24036 de l'Université d'Ankara (figure 1). Les échantillons prélevés du sol de ce site d'étude ont été analysés au laboratoire des Sciences du Sol et Nutrition des Plantes de la Faculté d'Agronomie de l'Université d'Ankara Turquie pour déterminer les caractéristiques physico-chimiques. Ces sols sont de texture argilo-limoneuse et présentent comme principales contraintes sa forte proportion en calcaire et la faible teneur en matière organique (tableau 1).

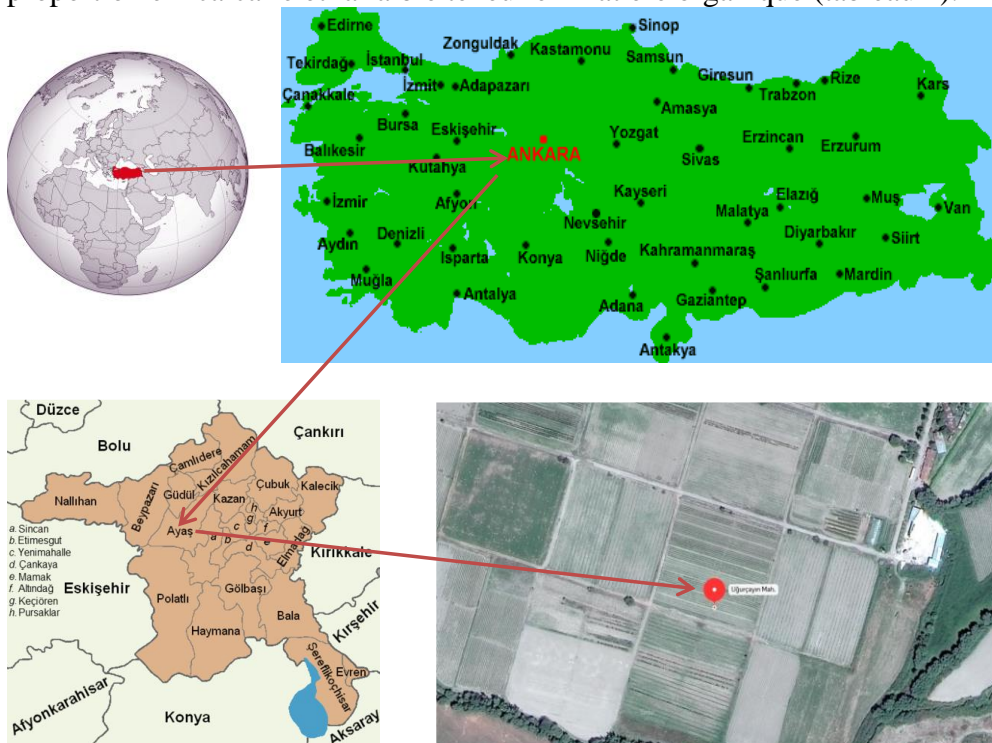


Figure 1: Carte de localisation du site d'étude

Tableau 1: Caractéristiques physico-chimiques des sols du site d'étude

Caractéristiques		CRH Ayaş
Sable, %		30,11
Limon, %		38,87
Argile, %		31,02
Texture		Argilo-limoneux
pH (1:2,5 eau)		8,22
EC, $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1 :2,5 eau)		358,0
Calcaire CaCO_3 , g kg^{-1}		153,2
Matière organique, g kg^{-1}		14,43
Azote total (N), g kg^{-1}		0,83
Exchangeable	Potassium (K), mg kg^{-1}	743
	Calcium (Ca), mg kg^{-1}	5653
	Magnésium (Mg), mg kg^{-1}	2387
Assimilable	Phosphore (P), mg kg^{-1}	5,90
	Fer (Fe), mg kg^{-1}	3,22
	Zinc (Zn), mg kg^{-1}	0,55
	Cuivre (Cu), mg kg^{-1}	1,43
	Manganèse (Mn), mg kg^{-1}	11,6

2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est la variété d'oignon Metan 88. C'est une variété précoce à haut rendement adaptée aux conditions climatiques Turques. Elle est très commerciale avec une longue durée de stockage et de conservation.

2.3. Production de biochar

Le fumier de chèvre utilisé dans le cadre de ce travail a été séché à l'ombre, tamisé à 2 mm et préparé pour être utilisé dans cette expérience (figure 2). Afin d'obtenir du biochar (figure 3), un seau à combustion cylindrique en tôle d'acier d'une hauteur de 50 cm et d'un diamètre de 32 cm hermétiquement fermé a été utilisé. Cinq (5) kg de fumier de chèvre ont été mis dans le seau à chaque fois, du feu de bois brûlé sous le seau posé horizontalement pendant un total de 3 heures en le faisant tourner toutes les 30 minutes. Au bout de 3 heures, le seau est sorti du feu et déposé sous l'ombre jusqu'à se refroidir avant d'ouvrir. Avant et après la combustion, les matériaux ont été pesés et le rendement en biochar a été calculé.

Pour calculer le rendement en biochar, la masse du biochar obtenue à la suite de la pyrolyse a été divisée par la masse du fumier de chèvre initial, multipliée par 100. Le rendement en biochar a été calculé en prenant la

moyenne des 20 seaux dans lesquels la combustion a été effectuée. La formule utilisée est la suivante :

$$\text{Rendement du biochar (\%)} = \frac{\text{Masse de biochar (g)}}{\text{Masse de fumier (g)}} * 100$$

$$\text{Rendement du biochar (\%)} = \frac{2686 \text{ (g)}}{4820 \text{ (g)}} * 100 = 55.72 \sim \%56$$



Figure 2 : Fumier de Chèvre tamisé à 2mm



Figure 3 : Biochar obtenu

Les caractéristiques du biochar et du fumier sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2: Caractéristiques du biochar et du fumier

Caractéristiques	Fumier de Chèvre (FC)	Biochar (BC)
pH eau	9,22	12,2
EC, mS cm ⁻¹	16,3	26,0
M.O, %	65,9	41,3
C, g kg ⁻¹	273	281
N, g kg ⁻¹	26,8	17,8
P, g kg ⁻¹	8,46	15,9
K, g kg ⁻¹	34,5	69,4
Ca, g kg ⁻¹	41,7	64,7
Mg, g kg ⁻¹	9,25	12,6
S, g kg ⁻¹	6,60	7,85
Fe, g kg ⁻¹	5103	7860
Zn, g kg ⁻¹	220	410
Cu, g kg ⁻¹	50,0	92,0
Mn, g kg ⁻¹	341	609

2.4. Dispositif expérimental

L'expérience a été menée sur le site de Centre de Recherche Horticole (CRH Ayas) de l'Université d'Ankara en 2018. Le dispositif expérimental est un bloc complet randomisé avec douze traitements en quatre (4) répétitions,

soit au total 48 parcelles. Les différentes doses utilisées sont consignées dans le tableau 2 ci-après:

Tableau 3: Différentes doses utilisées pour la conduite de la culture

Engrais Organique (EO)	Engrais Chimique (EC) N-P-K 15-15-15
Control	100% (10 kg N, 10 kg P ₂ O ₅ , 10 kg K ₂ O da ⁻¹)
FC=Fumier de Chèvre 5 t ha ⁻¹	50%
BC=Biochar 10 t ha ⁻¹	0%
FC+BC	

1 kg ha⁻¹= 10 kg da⁻¹

2.5. Conduite des cultures

Les graines de l'oignon ont été semées sur une superficie de 1 m² avec un espacement de 10 cm. Une quantité de semence de 0,5 kg ha⁻¹ a été utilisée. Les semis ont été réalisés le 04 avril 2018. Les plants de l'oignon ont été arrosés manuellement à l'aide d'un arrosoir en laissant un espace de 0,5 cm entre les sous-parcelles pour éviter que l'applications ne soient affectées les unes par les autres. Au printemps, les plants d'oignon étaient arrosés trois fois par semaine et environ 5 L par sous-parcelle compte tenu de la faible quantité des précipitations. Les oignons ont été récoltés deux mois et demi après la mise en culture. La récolte a été réalisée le 21 juin 2018.

2.6. Mesures et observations agronomiques

Les paramètres suivants ont été déterminés : Poids frais et sec de la plante, rendement total, concentration relative en chlorophylle, acide ascorbique ou vitamine C ainsi que les concentrations des éléments minéraux N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu et Mn de l'oignon. Toutes les mesures, les observations et les analyses ont été effectuées aux laboratoires des Sciences du Sol et Nutrition des Plantes de l'Université d'Ankara Turquie.

2.7. Analyses statistiques des données

L'analyse de la variance des données obtenues à la suite des expériences a été réalisée à l'aide du logiciel Minitab 17 et les différences entre les traitements ont été déterminées par le test de Duncan au seuil de 5%. Le programme Mstact-C a servi la détermination des lettres au niveau de chaque traitement.

3. Resultats et Discussions

3.1. Résultats

3.1.1. Effets du biochar, du fumier et du NPK sur le poids frais, poids sec et rendement de la culture

Le tableau 4 présente le poids frais, sec et rendement de la culture d'oignon. L'analyse de ce tableau montre que, à 50 et 100% d'application

d'engrais chimique, tous les traitement ont donné des résultats statistiquement identiques du poids frais et sec comparé à leur témoin. Le poids frais et sec les plus élevés sont obtenus avec le traitement du biochar seul. Tous les traitements des engrais organiques ont augmenté le poids frais de l'oignon comparé au témoin.

L'effet d'interaction EC x EO et des engrais organiques sur le rendement est significatif. Dans la catégorie de 100% EC, les traitements de BC et BC+FC, ont augmenté de manière très significative le rendement de l'oignon. Tous les traitements de la catégorie 50 % EC sont identiques à ceux de la catégorie 100%. A 0% EC sans engrais chimique, tous les traitements ont donné un résultat très satisfaisant par rapport au témoin. Ces résultats sont statistiquement identiques à ceux des catégories 100 et 50% EC. L'analyse du tableau montre que la culture d'oignon peut se faire sans utilisation des engrais chimiques. Le rendement le plus important et plus élevé est obtenu avec la combinaison de traitement BC+FC du biochar et du fumier. Ces travaux de recherche ont montré que le biochar seul a augmenté le rendement de l'oignon trois (3) fois supérieure à celui du témoin et même quatre (4) fois supérieures lorsqu'il est combiné avec le fumier de chèvre.

Tableau 4: Effets des engrais organiques et chimiques sur le poids frais, poids sec et rendement de l'oignon

POIDS FRAIS (g plante⁻¹)			
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)		
	100%	50%	0%
Control	6,25±0,59 b	6,93±0,34 ab	4,64±0,22 c
Biochar (BC)	6,83±0,20 ab	7,33±0,17 ab	7,73±0,48 a
Fumier (FC)	7,35±0,33 ab	7,48±0,50 ab	6,96±0,20 ab
BC+FC	7,45±0,34 ab	7,58±0,64 ab	6,98±0,44 ab
F	Engrais Chimique (EC)	3,52*	
	Engrais Organique (EO)	8,67**	
	EC x EO	2,49*	
POIDS SEC (g plante⁻¹)			
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)		
	100%	50%	0%
Control	0,57±0,02 ab	0,60±0,02 a	0,39±0,01 c
Biochar (BC)	0,49±0,04 b	0,55±0,02 ab	0,63±0,05 a
Fumier (FC)	0,55±0,01 ab	0,59±0,03 ab	0,57±0,02 ab
BC+FC	0,56±0,04 ab	0,59±0,06 ab	0,56±0,03 ab
F	Engrais Chimique (EC)	2,52 ^{NS}	
	Engrais Organique (EO)	1,53 ^{NS}	
	EC x EO	5,08**	
RENDEMENT (kg da⁻¹)			
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)		
	100%	50%	0%
Control	993±93,3 bc	1029±146 bc	504±26,1 c
Biochar (BC)	1718±221 a	1708±198 a	1771±206 a
Fumier (FC)	925±69,9 bc	1124±141 b	1777±220 a

BC+FC	1748±337 a	1738±225 a	2051±236 a
F	EngraisChimique (EC)	0,90 ^{NS}	
	EngraisOrganique (EO)	16,77**	
	EC x EO	2,50*	

^{NS}: non significatif, *p<0,05, **p<0,01

3.1.2. Effets du biochar, du fumier et du NPK sur la concentration relative en chlorophylle et en acide ascorbique de la culture

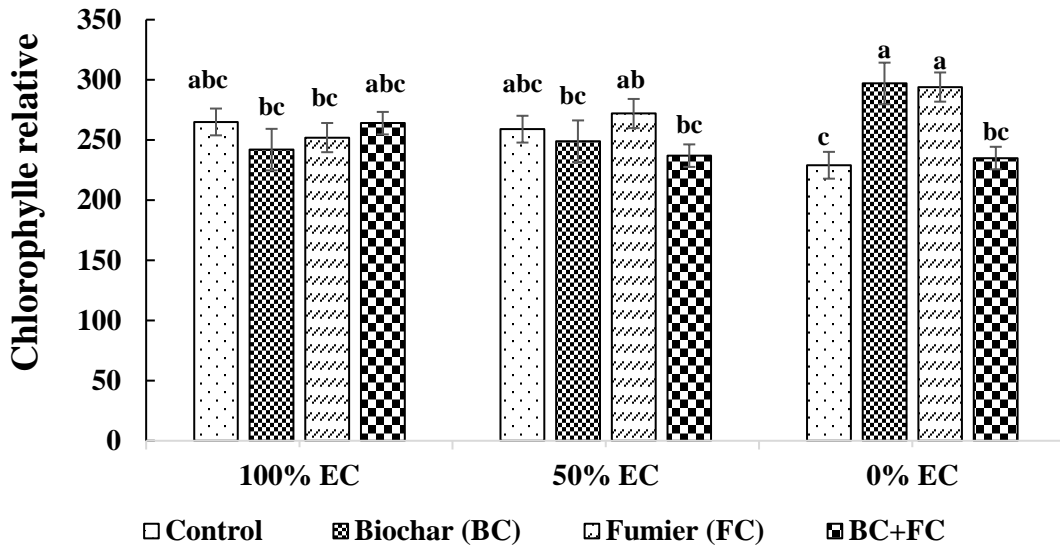


Figure 4 : Effets des engrais organiques et chimiques sur la concentration relative en chlorophylle de l'oignon

L'effet des traitements d'engrais organiques et inorganiques sur la teneur relative en chlorophylle des plantes est statistiquement non significatif, mais l'effet de l'interaction EO x EC est significatif. Avec les traitements des engrais chimiques 100% et 50%, le biochar et le fumier n'ont pas affecté statistiquement la quantité relative de chlorophylle, mais dans les plantes sans application d'engrais inorganique, la quantité relative de chlorophylle a augmenté de manière significative par rapport au témoin. Le traitement de biochar et celui de fumier ont donné une concentration la plus élevée de chlorophylle relative. Ce qui montre que les plants qui ont reçu le traitement avec le biochar et le fumier sont plus colorés en vert par rapport aux autres traitements.

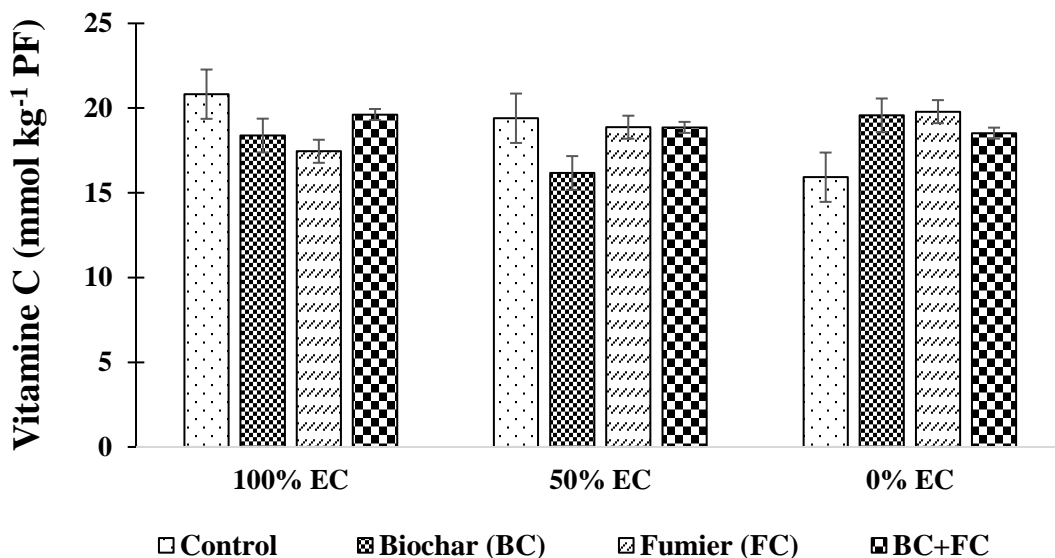


Figure 5 : Effets des engrais organiques et chimiques sur la concentration en vitamine C ou acide ascorbique de l'oignon

Les effets des engrais organiques et inorganiques sur la teneur en acide ascorbique des plants d'oignons sont présentés dans la figure 5.

Comme le montre la figure, l'effet des traitements sur la teneur en acide ascorbique de l'oignon est statistiquement non significatif. La teneur en acide ascorbique de tous les traitements est comprise entre 15,92 et 20,82 mmol kg⁻¹ PF (poids frais).

3.1.3. Effets du biochar, du fumier et du NPK sur les concentrations des éléments minéraux N-P-K de la culture

Le tableau 5 montre les effets du biochar, du fumier et de l'engrais chimique NPK sur les concentrations de N-P-K total de l'oignon cultivée sur le site expérimental du centre de recherche CRH. L'analyse de ce tableau fait ressortir que, les traitements des engrais organiques et chimique ont un effet significatif sur les concentrations en N-P-K tandis que leur interaction est non significative. Les concentrations en azote, en phosphore et en potassium les plus élevées sont obtenues avec la combinaison de traitement biochar-fumier. Le traitement 50% EC a augmenté de manière significative la teneur en N-P-K total de l'oignon. Cet traitement donne un résultat identique à celui de 100% EC. Cela permettrait de réduire l'application des engrais chimiques sur la culture de l'oignon. Le traitement du biochar et celui du fumier ont donné un résultat statistiquement identique pour l'azote, le phosphore et potassium total de l'oignon.

Tableau 5: Effets des engrais organiques et chimiques sur les concentrations d'Azote, Phosphore et Potassium total de l'oignon

AZOT (g kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			Moyenne
	100%	50%	0%	
Control	35,5±1,38	33,2±1,37	32,8±0,30	33,8±0,70 c
Biochar (BC)	38,1±0,54	37,9±0,62	32,8±1,16	36,3±0,85 b
Fumier (FC)	37,2±0,70	37,3±0,24	34,5±0,51	36,3±0,48 b
BC+FC	40,0±0,91	38,2±1,30	38,3±0,38	38,8±0,55 a
Moyenne	37±0,59 a	36.7 ±0,69 a	34,6±0,64 b	
F	Engrais Chimique (EC)		12,81**	
	Engrais Organique (EO)		15,98**	
	EC x EO		2,03 ^{NS}	
PHOSPHORE (g kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			Moyenne
	100%	50%	0%	
Control	2,34±0,08	2,36±0,06	2,25±0,02	2,32±0,03 c
Biochar (BC)	2,59±0,08	2,72±0,12	2,48±0,08	2,60±0,06 b
Fumier (FC)	2,70±0,11	2,63±0,08	2,55±0,04	2,63±0,05 b
BC+FC	2,91±0,09	2,87±0,05	2,65±0,07	2,81±0,05 a
Moyenne	2,64±0,07 a	2,65±0,06 a	2,48±0,05 b	
F	Engrais Chimique (EC)		5.42**	
	Engrais Organique (EO)		19.41**	
	EC x EO		0.55 ^{NS}	
POTASSIUM (g kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			Moyenne
	100%	50%	0%	
Control	37,8±1,25	34,9±1,76	34,1±1,63	35,6±0,95 c
Biochar (BC)	40,3±2,04	42,3±2,08	36,0±1,88	39,5±1,31 ab
Fumier (FC)	40,8±0,87	40,3±1,04	36,1±0,95	39,1±0,81 b
BC+FC	44,8±1,67	41,2±2,42	40,6±1,23	42,2±1,11 a
Moyenne	40,9±0,94 a	39,7±1,12 a	36,7±0,90 b	
F	Engrais Chimique (EC)		7,02**	
	Engrais Organique (EO)		8,26**	
	EC x EO		0,89 ^{NS}	

^{NS} : non significatif, **p<0,01

3.1.4. Effets du biochar, du fumier et du NPK sur les concentrations des éléments minéraux Ca-Mg de la culture

Tableau 6: Effets des engrais organiques et chimiques sur les concentrations de Calcium et Magnésium total de l'oignon

CALCIUM (g kg ⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			Moyenne
	100%	50%	0%	
Control	6,35±0,19	6,74±0,36	6,19±0,09	6,43±0,14 b
Biochar (BC)	7,56±0,29	7,19±0,45	7,39±0,55	7,38±0,26 a
Fumier (FC)	7,46±0,49	7,06±0,65	6,24±0,56	6,92±0,33 ab
BC+FC	7,17±0,35	6,74±0,69	8,02±0,07	7,31±0,28 a
F	Engrais Chimique (EC)		0,25 ^{NS}	
	Engrais Organique (EO)		2,94*	
	EC x EO		1,50 ^{NS}	
MAGNESIUM (g kg ⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			Moyenne
	100%	50%	0%	
Control	4,76±0,52	4,80±0,18	5,74±0,10	5,10±0,22 b
Biochar (BC)	6,75±0,11	6,40±0,14	6,75±0,20	6,63±0,09 a
Fumier (FC)	6,68±0,26	6,46±0,14	6,44±0,23	6,53±0,17 a
BC+FC	6,70±0,14	6,83±0,24	6,52±0,15	6,69±0,10 a
F	Engrais Chimique (EC)		1,15 ^{NS}	
	Engrais Organique (EO)		33,7**	
	EC x EO		2,15 ^{NS}	

^{NS}: non significatif, *p<0,05, **p<0,01

Les effets du biochar, fumier et du NPK 15 15 15 sur les concentrations de Calcium et Magnésium total sont consignés dans le tableau 6. L'analyse de ce tableau montre que, seuls les traitements des engrais organiques ont un effet significatif. Ce tableau montre que le fumier a donné statistiquement une concentration en Ca identique à celle du témoin, tandis que avec Mg a augmenté de manière significative. La concentration en Ca et Mg a été augmenté très significativement avec le traitement de biochar (tableau 6). Cette concentration de Ca et Mg avec le biochar est identique à celle de la combinaison BC+FC.

3.1.5. Effets du biochar, du fumier et du NPK sur les concentrations des éléments minéraux en Fe-Zn-Cu et Mn de la culture

Tableau 7: Effets des engrais organiques et chimiques sur les concentrations de Fer, Zinc, Cuivre et Manganèse de l'oignon

FER (mg kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			
	100%	50%	0%	
Control	187,5±19,3 cde	201,0±10,2 bcde	205,5±13,4 bcd	
Biochar (BC)	228,5±10,7 abc	246,5±23,1 abc	138,0±1,55 e	
Fumier (FC)	222,5±19,2 abc	248,8±36,6 abc	154,3±9,41 de	
BC+FC	209,8±17,4 bcd	266,0±35,5 ab	288,8±25,0 a	
F	Engrais Chimique (EC)	4,52*		
	Engrais Organique (EO)	4,60*		
	EC x EO	4,18**		
ZINC (mg kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			
	100%	50%	0%	
Control	14,29±1,61 cd	20,03±1,81 ab	17,08±1,79 abc	
Biochar (BC)	17,60±1,94 abc	21,05±3,35 a	11,75±0,38 d	
Fumier (FC)	16,73±1,11abcd	15,25±1,17 bcd	13,65±0,79 cd	
BC+FC	18,03±1,12 abc	15,95±1,23 abcd	16,95±0,25 abc	
F	Engrais Chimique (EC)	4,12*		
	Engrais Organique (EO)	0,94 ^{NS}		
	EC x EO	3,10*		
CUIVRE (mg kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			
	100%	50%	0%	
Control	15,28±1,79	12,97±1,62	13,07±0,27	
Biochar (BC)	14,60±1,24	15,00±0,89	16,40±0,55	
Fumier (FC)	14,13±1,52	15,80±1,52	15,83±1,55	
BC+FC	15,80±0,04	13,45±0,97	14,20±1,31	
F	Engrais Chimique (EC)	0,33 ^{NS}		
	Engrais Organique (EO)	1,07 ^{NS}		
	EC x EO	0,99 ^{NS}		
MANGANESE (mg kg⁻¹)				
Engrais Organique	Engrais Chimique (EC)			
	100%	50%	0% Moyenne	
Control	86,08±4,23	86,93±3,99	88,85±2,26	87,28±1,91 b
Biochar (BC)	84,60±5,26	84,88±6,71	83,63±4,32	84,37±2,89 b
Fumier (FC)	91,58±3,97	90,68±3,02	87,33±3,80	89,86±1,97ab
BC+FC	101,0±2,64	95,33±1,64	90,18±2,92	95,48±1,85 a
F	Engrais Chimique (EC)	0,71 ^{NS}		
	Engrais Organique (EO)	4,28*		
	EC x EO	0,54 ^{NS}		

^{NS} : non significatif, *p<0.05, **p<0.01

Le traitement BC de biochar a réduit considérablement la concentration en Fe de l'oignon tandis que BC+FC l'a augmentée. Ce dernier

a donné la teneur la plus élevée de Fe des plants d'oignon. Tous les traitements des engrais organiques avec utilisation de 50 et 100% EC sont statistiquement similaires.

Le même constat s'observe avec les traitements du biochar, fumier et de leur combinaison avec 100 et 50% EC qui affichent des résultats statistiquement identiques. Le traitement BC+50% EC a donné une concentration en Zn la plus élevée (tableau 7).

Le tableau 7 montre que, tous les traitements ont donné un résultat non significatif de la concentration en cuivre de l'oignon. Les teneurs en cuivre de tous les traitements varient de 12,97-16,40 mg kg⁻¹. Pour la concentration en Manganèse, seuls les traitements des engrais organiques ont été significatifs. La combinaison biochar plus fumier a donnée la concentration la plus élevée en Mn. Le traitement individuel du biochar ainsi que celui de fumier ont donné des résultats statistiquement identiques à celui du témoin.

Discussion

Plusieurs travaux sur le biochar obtenu à partir du bois ont été réalisés par différents auteurs (Lentz et Ippolito 2012 ; Borchard et al., 2012 ; Schomberg et al., 2012 ; Hansen et al., 2016). Par ailleurs, Sarmento et al. (2019) ont étudié les effets de l'application de fumier de chèvre et du biochar sur le développement et le rendement des plants de laitue au Brésil. L'application d'engrais organiques augmente le rendement de la laitue. De plus, ces amendements organiques ont amélioré les quantités des éléments nutritifs de la plante, la capacité de rétention d'eau du sol, la densité apparente et la capacité d'échange cationique. Yadav et al. (2019) ont indiqué que, l'application du biochar avec des engrais inorganiques augmentait la biomasse, tandis que l'application de fumier de ferme combiné à des engrais inorganiques réduisait cette biomasse. Cela montre l'importance de la réduction d'utilisation des engrais chimiques sur les cultures comme l'indique cette étude. L'utilisation du biochar et du fumier de chèvre dans un sol calcaire a augmenté de manière significative le rendement de l'oignon. Également, les poids frais et sec les plus élevés sont obtenus avec le traitement de biochar seul. Ceci montre l'importance de l'utilisation de biochar avec la non utilisation des engrais chimiques en culture d'oignon. De même Gunes et al. (2014), Inal et al. (2015), Sahin et al. (2017) et Najafi-Ghiri et al. (2019) ont indiqué que l'application du biochar a augmenté le rendement de l'orge. Mandal et al. (1988) ont déclaré que l'application du biochar augmente la matière organique du sol, ce qui augmente les rendements des cultures. Selon Uzoma et al. (2011), l'application du biochar obtenu à partir de fumier de bétail sur un sol sablonneux avec une dose de 15 et 20 t ha⁻¹ a augmenté respectivement le rendement en grains de maïs de 150% et 98%. Selon Smith (1999), l'application du biochar a fait augmenter de 3 fois le rendement du

papayer et du manguier dans les sols peu fertiles. En outre, Kamman et al. (2011) ont trouvé que l'application du biochar sur sol sableux à 0, 100 et 200 t ha⁻¹ augmente le développement de la plante et la teneur en N des feuilles en conditions de serre.

Le traitement de biochar et celui de fumier ont donné une concentration la plus élevée de chlorophylle relative. Ce qui montre que les plants qui ont reçu le traitement avec le biochar et le fumier sont plus colorés en vert par rapport aux autres traitements. Ce qui indique un rôle important dans la photosynthèse.

Les traitements d'engrais organiques et inorganiques ont considérablement augmenté les concentrations en N, P et K dans cette étude, tandis que les concentrations en Ca et Mg ont été augmentées avec les traitements organiques. Spokas et al. (2012) ont mentionné que le biochar agit comme un piège à N dans le sol, ce qui augmente le taux d'utilisation de l'azote des plantes. Jones et al. (2012) ont souligné que, l'application du biochar augmentait significativement la teneur en N de la prairie et Deluca et al. (2009) ont expliqué que la conversion de la matière organique en biochar présente une teneur élevée en P soluble, ce qui augmente de manière significative la concentration en phosphore végétal. De plus, Wang et al. (2018) notent que, l'application de biochar préparé à 450 °C avec des doses 0, 5, 10 et 25 g kg⁻¹ augmente la concentration de la plante en potassium. Gunes et al (2014, 2015) déclarent que l'application du biochar et du phosphore améliore les concentrations en N, P, K de la laitue et l'application du biochar de fumier de poulet obtenu à différentes températures augmente les concentrations en P et K et le rendement total de la laitue et du maïs. Major et al. (2010) ont trouvé que l'application de biochar (0, 8 et 20 t ha⁻¹) augmente l'apport en calcium de la plante et Lehmann et al. (2006) ont mentionné que, l'utilisation du biochar dans les zones tropicales augmente l'absorption du P, K Ca par les plantes.

D'autre part, Rees et al. (2014) et Zhou et al. (2017) et Gunes et al. (2014) ont indiqué que l'apport de microéléments diminuait avec l'application de biochar dans les sols légèrement alcalins et Mielki et al. (2016) ont déclaré que l'application du biochar augmente le pH du sol en diminuant la concentration en Fe, ce qui diminue la concentration en fer dans la plante. Gunes et al. (2015) ont découvert que l'application du biochar entraînait une diminution de la concentration en fer dans les plants de la laitue et Salmani et al. (2014) ont noté que l'application du biochar réduit l'absorption du cuivre de la plante car il adsorbe la quantité de cuivre utile dans le sol. Karami et al. (2011) ont découvert que l'application du biochar réduit la concentration en cuivre de la palnte. De même, Park et al. (2011) ont rapporté que l'application du biochar sur le chou réduit la concentration de cuivre et Güneş et al. (2015) ont mentionné que le développement du biochar obtenu à partir du fumier de poulet à différentes températures sur la plante de laitue augmente la concentration de la plante en Zn avec le biochar obtenu à 300 °C et 350 °C.

Lentz et Ippolito (2012) ont montré que, le biochar à la dose de 22,4 t ha⁻¹ a augmenté la quantité de Mn 1,5 fois supérieur que le témoin. Peng et al. (2011) et Dong et al. (2011) ont noté que l'application du biochar diminue l'utilité de certains microéléments en augmentant le pH du sol en fonction du matériau utilisé pour produire le biochar.

Conclusion

Cette étude examine non seulement les effets du biochar, du fumier et de l'engrais minéral NPK 15-15-15 ainsi que leur combinaison sur la culture d'oignon, mais aussi évalue les concentrations minérales de cette plante. Les résultats ont montré que la combinaison des engrais organiques biochar et fumier sans utilisation d'engrais minéral a permis d'optimiser la production de l'oignon. Les résultats ont fait ressortir également que, tous les engrais organiques ont augmenté de manière significative la teneur en N, P, K et Ca des plantes. La teneur en Fe, Zn, Cu et Mn qui, varie selon les applications tend à diminuer partiellement avec les applications du biochar.

En générale, le biochar a eu un effet positif sur les paramètres de développement de la plante étudiée, sur le rendement et sur la teneur en éléments nutritifs.

L'application du biochar ou du fumier, en particulier dans les sols à faible teneur en matière organique, serait plus efficace pour réguler les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et améliorer la production agricole.

References:

1. Allaire, S. E., & Lange, S. (2013). Le biochar dans les milieux poreux: une solution miracle en environnement? Vecteur Environnement: 58-67.
2. Biederman, L. A., Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. GCB Bioenergy 5, 202-214.
3. Borchard, N., Wolf, A., Laabs, V., Aeckersberg, R., Scherer, H. W., Moeller, A., Amelung, W. (2012). Physical activation of biochar and its meaning for soil fertility and nutrient leaching a greenhouse experiment. Soil Use and Management, 28, 177-184.
4. Chirenje, T., Ma, L. Q. 2002. Impact of high-volume wood-fired boiler ash amendment on soil properties and nutrients. Commun Soil Sci Plant Anal., 33, 1-17.
5. Deluca, T. H., MacKenzie, M. D., Gundale, M. J. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformations. pp. 251-270. In Lehmann, J., Joseph, S. (eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London, UK.

6. Dong, X., Ma, L. Q., Li, Y. (2011). Characteristics and mechanisms of hexavalent chromium removal by biochar from sugar beet tailing. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 909-915.
7. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Erdal, I., Coskan, A. (2010). Türkiye’de kimyasal gübre üretim ve tüketim durumu, sorunlar, çözüm önerileri ve yenilikler. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15 Ocak 2010, Ankara.
8. Fearnside, P. M. (2000). Global warming and tropical land-use change: Greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Climatic Change*, 46(1-2), 115-158.
9. Gunes, A. (2012). Technical assistance for the implementation of nitrate directive. Task 6: Prepare an Action Plan for Nitrate Directive. Output 6.2. Draft Manure Management Plan. Vakakis International S.A. Athens, Greece.
10. Gunes A., Inal A., Taskin, M. B., Sahin O., Kaya E. C., Atakol A. (2014). Effect of phosphorus enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. *Soil Use and Management*, 30, 182-184.
11. Gunes, A., Inal, A., Sahin, O., Taskin, M. B., Atakol, O., Yılmaz, N. (2015). Variations in mineral element concentrations of poultry manure biochar obtained at different pyrolysis temperatures, and their effects on crop growth and mineral nutrition. *Soil Use and Management*, 31, 429-437.
12. Hansen, V., Hauggaard-Nielsen, H., Petersen, C. T., Mikkelsen, T. N., & Müller-Stöver, D. (2016). Effects of gasification biochar on plant-available water capacity and plant growth in two contrasting soil types. *Soil and Tillage Research*, 161, 1-9.
13. Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B., Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management* 31, 106-113.
14. Jones, D. L., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T. H., Murphy, D.V. (2012). Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil biology and Biochemistry*, 45, 113-124.
15. Kamman, C. I., Linsel, S., Gossling, J. W., Koyro, H. W. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of chenopodium quinoa wild and on soil-plant relations. *Plant and Soil*, 195-210.
16. Karami, N., Clemente, R., Moreno-Jiménez, E., Lepp, N., & Beesley, L. (2011). Efficiency of green waste compost and biochar soil

- amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass (*Lolium perenne*). *J. Hazard. Mater.*,191, 41-48.
17. Kookana, R., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Singh, B. (2011). Biochar application to soil: Agronomic and environment benefits and unintended consequences. *Advance in Agronomy*. 112:103-143.
 18. Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 11(2), 403-427.
 19. Lehmann, J. (2007). Bio-Energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 381-387.
 20. Lehmann, J., Rilling 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, 1812-1836.
 21. Lentz, R. D., and Ippolito, J. A. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1033-1043.
 22. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition after 4 years of doing biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333, 117-128.
 23. Mandal, B., Hazra, G. C., & Pal, A. K. (1988). Transformation of zinc in soils under submerged conditions and its relation with zinc nutrition of rice. *Plant and Soil*, 106, 121-126.
 24. Mielki, G. F., Novais, R. F., Ker C., Vergütz, L. & Castro, G. F. (2016). Iron availability in tropical soils and iron uptake by plants. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 40, 1-14.
 25. Najafi-Ghiri, M., Razeghizadeh, T., Taghizadeh, M. S., & Boostani, H. R. (2019). Effect of sheep manure and its produced vermicompost and biochar on the properties of a calcareous soil after barley harvest. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20), 2610-2625.
 26. Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and Soil*, 348, 439-451.
 27. Rees F., Simonnot, M. O., Morel, J. L. (2014). Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase. *European Journal of Soil Science*, 65, 149-161.
 28. Sahin, O., Taskin, M. B., Kaya, E. C., Atakol, O., Emir, E., Inal, A., & Gunes, A. (2017). Effect of acid modification of biochar on nutrient availability and maize growth in a calcareous soil. *Soil Use and Management*, 33(3), 447-456.

29. Salmani, M. S., Khorsandi, F., Yasrebi, J., Karimian, N. (2014). Biochar effects on copper availability and uptake by sunflower in a copper contaminated calcareous soil. *International journal of plant, Animal and Environmental Sciences*, 4, 389-294.
30. Sarmiento, J. A., Costa, C. C., Dantas, M. V., Lopes, K. P., De Macedo, I. C., Bomfim, M. P., Barbosa Da, W. S. (2019). Productivity of lettuce under organic fertilization. *Journal of Agricultural Science*, 11(1), 333-343.
31. Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in agronomy*, 105, 47-82.
32. Schomberg, H. H., Gaskin, J. W., Harris, K., Das, K. C., Novak, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Woodroof, R. H., Lima, I. M., Ahmedna, M., Rehrh, D., Xing, B. S. (2012). Influence of biochar on nitrogen fractions in a coastal plain soil. *Journal of Environmental Quality*, 41(4), 1087-1095.
33. Smith, J.H., (1999). *The Amazon River Forest: A Natural History of Plants, Animals and People*. Oxford University Press, New York.
34. Spokas, K. A., Novak, J. M., Venterea, R. T. (2012). Biochar's role as an alternative N-fertilizer: ammonia capture. *Plant and Soil*, 350, 35-42.
35. Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E. (2011). Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use and Management*, 27, 205-212.
36. Verheijen, F., Jefferey, S., Bastos, A. C., Velde, M., Diafas, I. (2010). Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. EUR 24099 EN. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
37. Wang, T., Arbestan, M. C., Hedley, M., Bishop, P. (2012). Predicting phosphorus bioavailability from high-ash biochars. *Plant and Soil*, 357, 173-187.
38. Wang, L., Xue C., Nie, X., Liu, Y., Chen F. (2018). Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 181, 635-643.
39. Zhou, D., Liu, D., Gao, F., Li, M., Luo, X. (2017). Effects of biochar-derived sewage sludge on heavy metal adsorption and immobilization in soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 681-696.