

The effect of amendment with different rates of biochar on physical and hydrodynamical soil characteristics and in soybean (*Glycine max.L*) productivity

Dr. Jihad Ibrahim*
Dr. Samar Hasan**
Dr. Ola Kajo***
Evan Dayoub****

(Received 25 / 10 / 2023. Accepted 4 / 1 /2024)

□ ABSTRACT □

This research was conducted in Latakia governate /Fideo cows farming / in 2022 to study the effect of four biochar rates (0-100-300-600 Kg. dunum⁻¹) in soil physical characteristics and soybean productivity growing in a loamy soil.

The study showed a significant decrease in the bulk density of the loamy studied soil in both depths (0-20 and 20-40 cm) with increasing biochar rates compared to the control. Generally, soil total porosity increased significantly in both depths with increasing biochar rates reaching the highest value at a rate of 600 kg. dunum⁻¹ with increments of 7.25% and 9.47% respectively compared to the control.

The pores containing available water (0.2-10 μm) for depth (0-20 cm) rose with increasing biochar supply to 300 and 600 kg. dunum⁻¹ significantly by 2.09%, 4.38% and by 2, 3.58% for depth (20-40cm) in comparison with the control.

Soil's experimental constants (a and b) increased in both soil depths (0-20 and 20-40cm) with increasing biochar amendment rates causing improvement in waster movement and its absorption by plant. The improvement in soil physical properties caused increasing soybean productivity markedly after biochar supply (100-300-600 kg. dunum⁻¹) by (8.2-25.3-33.85%) as a percentage control respectively.

Keywords: biochar-bulk density-moisture tension-hydrodynamical constants--plant available water-soybean

Copyright  :Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Soil and Water Sciences (soil physics), Faculty of Agricultural engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. jihad.ibrahim @ tishreen.edu.sy.

** Agricultural Scientific research Center (mathematical modelling of the solutions movement in soils), Lattakia, Syria. Samar490@yahoo.com.

*** Assistant Professor, Department of Field Crops(oil crops), Faculty of Agricultural engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.olakajo0932@yahoo.com.

****Postgraduate Student, Department of Soil and Water Sciences, Faculty of Agricultural engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. dayoubevan@gmail.com.

أثر إضافة مستويات مختلفة من الفحم الحيوي (Biochar) على خواص التربة الفيزيائية والهيدروديناميكية وإنتاجية فول الصويا (*Glycine max.L*)

د. جهاد إبراهيم*

د. سمر حسن**

د. أولاً قاجو***

إيفان ديوب****

(تاريخ الإيداع 25 / 10 / 2023. قبل للنشر في 4 / 1 / 2024)

□ ملخص □

نفذ البحث في محافظة اللاذقية / مبقرة فديو/ في عام 2022م لدراسة تأثير إضافة أربع معدلات من الفحم الحيوي (0-100-300-600 كغ. دونم⁻¹) في خصائص التربة الفيزيائية وإنتاجية نبات فول الصويا المزروع في تربة لومية. أظهرت الدراسة انخفاض الكثافة الظاهرية معنوياً في كلا العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) للتربة المدروسة مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي مقارنة بالشاهد. كما ارتفعت المسامية الكلية للتربة المدروسة معنوياً عموماً عند كلا العمقين مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي لتبلغ أعلاها عند معدل إضافة 600 كغ. دونم⁻¹ بزيادة مقدارها 7.25% للعمق (0-20 سم) و 9.47% للعمق (20-40 سم) على التوالي مقارنة بالشاهد. إضافة إلى ذلك، ارتفع حجم المسامات الحاوية على الماء المتاح (0.2-10 μm) للعمق (0-20 سم) مع زيادة كمية الفحم الحيوي المضافة إلى 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ معنوياً بمقدار 2.09 و 4.38% و 2 و 3.58% للعمق (20-40 سم) مقارنة بالشاهد. ازدادت الثوابت التجريبية للتربة (a) و (b) في كلا عمقي التربة (0-20 و 20-40 سم) مع زيادة معدل الإضافة من الفحم الحيوي مشيرة لتحسن في حركة الماء وسهولة امتصاصه من قبل النبات. أدى التحسن في الخصائص الفيزيائية السابقة إلى ارتفاع إنتاجية نبات فول الصويا بعد إضافة الفحم الحيوي (100-300-600 كغ. دونم⁻¹) معنوياً بمقدار (8.2-25.3-33.85%) كنسبة مئوية مقارنة بالشاهد على التوالي.

الكلمات المفتاحية: الفحم الحيوي - الكثافة الظاهرية - الشد الرطوبي - ثوابت هيدروديناميكية - الماء المتاح - فول الصويا

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين - سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم علوم التربة والمياه (فيزياء تربة) كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. jihad.ibrahim @ tishreen.edu.sy
** مركز البحوث العلمية الزراعية (النمذجة الرياضية لانتقال المحاليل في الترب) اللاذقية - سورية. Samar490@yahoo.com
*** مدرسة - قسم المحاصيل الحقلية (محاصيل زيتية) كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. olakajo0932@yahoo.com
**** طالب (دكتوراة) - قسم علوم التربة والمياه كلية الهندسة الزراعية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية. dayoubevan@gmail.com

مقدمة:

يعتبر الفحم الحيوي مادة غنية بالكربون تتمتع بخصائص فيزيوكيميائية مميزة (Jeyasubramanian *et al.*, 2021). تؤثر كل من نوع المادة الأولية المستخدمة ودرجة حرارة التحلل الحراري، الزمن بعد ثبات درجة الحرارة، وتصميم المفحم جميعها جوهرياً على الخصائص السابقة لمنتج الفحم النهائي (Mimmo *et al.*, 2014). يُنتج الفحم الحيوي عن طريق التحلل الحراري (تحلل المخلفات الحيوية عند درجات حرارة عالية بدون أو بقلّة توفر الاكسجين (Lehmann, 2007)). على كل حال يُنتج عادة على درجات حرارة تقع بين 250-1200 °C في منشآت صناعية أو أفران بسيطة (Das and Sarmah, 2015; Kinney *et al.*, 2012). يمتلك سعة احتفاظ بالماء من ضعف إلى ضعفين أكبر من الترب العضوية (Accardi-Dey and Gschwend, 2002). كما يمتلك مقدرة عالية لمقاومة التفكك الحيوي، لذلك المركبات الكربونية للفحم الحيوي لا تتفكك بسهولة (Singh *et al.*, 2012; Solomon *et al.*, 2007) بسبب محتواها العالي من الكربون المستقر (Sohi *et al.*, 2010; Kimetu and Lehmann, 2010; Cross and Sohi, 2011). أُخذين بعين الاعتبار الخواص الجيدة للفحم الحيوي متضمنة المسامية العالية، السطح النوعي العالي، الكثافة المنخفضة ومميزات أخرى أثبتت أنه يمتلك القدرة على تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (Sohi *et al.*, 2010). خفضت إضافة الفحم الحيوي الكثافة الظاهرية للترب خفيفة وناعمة القوام بمقدار 14.2% و 9.2% (Blanco-Canqui, 2017). ووفقاً ل (Razzaghi *et al.*, 2020) عزز الفحم الحيوي الماء المتاح للنبات في الترب الخفيفة المتوسطة وناعمة القوام بمقدار 45%، 21% و 14% على التوالي. إضافة لذلك استجابت الترب خفيفة ومتوسطة القوام لإضافات الفحم الحيوي بغض النظر عن المادة الأولية للفحم ودرجات حرارة التحلل الحراري مُسببة زيادات في الشد الرطوبي للتربة بينما لم تظهر الترب الطينية أي تغير في شدها الرطوبي (Du *et al.*, 2016; Esmaeelnejad *et al.*, 2016; Gamage *et al.*, 2016; Głab *et al.*, 2016; Kameyama *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2016; Sorrenti and Toselli, 2016; Andrenelli *et al.*, 2016). إن استخدام الفحم الحيوي ب (معدلات، مواد أولية ودرجات حرارة تفحيم مختلفة) كإضافة أرضية للتربة يزيد المسامية الكلية للتربة في الدراسات قصيرة وطويلة الأمد للترب الرملية (خفيفة القوام) (Dayoub *et al.*, 2023). يعتبر استخدام مواد عضوية مقاومة للتحلل كالفحم الحيوي قادرة على تحسين الخواص الفيزيائية للترب الفقيرة خفيفة القوام (كثافة ظاهرية، مسامية، ماء متاح والقدرة على الاحتفاظ بالماء) ذات أهمية بالغة لإنتاج المحاصيل مثل فول الصويا في المناطق شبه الجافة. يعتبر محصول فول الصويا محصول متعدد الاستخدامات حيث يعتمد عليه كغذاء للإنسان ويستخدم كعلف للحيوانات بأشكال مختلفة كعلف أخضر أو سيلاج (Myaka *et al.*, 2005)، وهو نبات متأثر بظروف التربة وطبيعتها حيث ارتفعت إنتاجيته من 2030 كغ. ه⁻¹ في العام 2014 إلى 2120 كغ. ه⁻¹ في العام 2015 أي زادت بمعدل 4.5% نتيجة تحسين خواص التربة وإضافة الأسمدة المناسبة (Kristanti *et al.*, 2018). وفقاً لذلك إن إضافة 1 طن للدونم من الفحم الحيوي زادت عدد القرون بالنبات مقارنة بالشاهد كما انخفض عدد القرون الفارغة (Barus *et al.*, 2016).

أهمية البحث وأهدافه:

تبرز أهمية هذا البحث من خلال تحويل مخلفات التقليم التجديدي لشجرة الزيتون إلى فحم حيوي قادر على إمداد ترب المناطق الساحلية الفقيرة بمادة عضوية مقاومة للتحلل الميكروبي في ظروف المناطق شبه الجافة وبنفس الوقت محسنة

لخواص التربة الفيزيائية على سبيل المثال: الكثافة الظاهرية، الماء المتاح والقدرة على الاحتفاظ بالماء. كل ما سبق يسهم في رفع إنتاجية المحاصيل في ظل الزراعة المستدامة وتقليل الاعتماد على المخصبات المعدنية.

أهداف البحث :

- 1-تحديد معدل الإضافة الأمثل من الفحم الحيوي في تحسين بعض الخواص الفيزيائية للتربة.
- 2-تأثير الفحم الحيوي في إنتاجية نبات فول الصويا sb44.
- 3-تحديد الثوابت الهيدروديناميكية للتربة المدروسة عند معدلات الإضافة من الفحم الحيوي.

طرائق البحث ومواده:

1- مواد التجربة:

نُفذ البحث في محافظة اللاذقية مبقرة فديو في تربة لومية حيث خضعت تربة الدراسة لمجموعة من التحاليل المخبرية لتحديد بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية (جدول 1).

جدول (1): أهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة.

الطريقة المستخدمة	20-40 سم	0-20 سم	العمق
طريقة الماصة (BERNHARAT, 1967)	23.32	21.91	طين (أقل من 2 ميكرون)
	5.03	11.15	سلت ناعم (2-6.3 ميكرون)
	8.13	5.15	سلت متوسط (6.3-20 ميكرون)
	6.91	5.95	سلت خشن (20-63 ميكرون)
	20.07	22.25	السلت الكلي (2-63 ميكرون)
	18.7	19	رمل ناعم (63-200 ميكرون)
	17	18.04	رمل متوسط (200-630 ميكرون)
	20.91	18.8	رمل خشن (630-2000 ميكرون)
	56.61	55.84	الرمل الكلي (63-2000 ميكرون)
مثلث القوام الألماني (TGL,1985)	لومية L	لومية L	نوع التربة
((RYAN, et al.2003) (الهضم الرطب)	1.3	2.2	نسبة المادة العضوية %
((RYAN, et al.2003) (المعايرة)	15.7	16.25	كربونات الكالسيوم الكلية %
((RYAN, et al.2003) (دورينو)	6.3	5.5	كربونات الكالسيوم الفعالة %
(RYAN, et al.2003) (خلات الصوديوم)	24.80	23.88	السعة التبادلية الكاتيونية (م م 100 غ تربة)
Eijklkamp Agrisearch (جهاز الضغط الغشائي) (Equipment 6987 ZG Giesbeek-The Netherlands)	34.4	31.7	السعة الحقلية حجماً
	13.5	13	نقطة الذبول الدائم وزناً
البكنومتر)ابراهيم وبركات(2013.,	2.64	2.62	الكثافة الحقيقية

المادة النباتية: استُخدم صنف فول الصويا sb44 من مركز البحوث الزراعية في دمشق.



صورة (1) جهاز التفحيم الكهربائي

الفحم الحيوي: فُحم خشب زيتون صنف الخلخالي ناتج عن تقليم تجديدي لبستان مزروع في قرية كفرية الفوقانية محافظة اللاذقية تفحيماً بطيئاً باستخدام جهاز التفحيم الكهربائي بعد تصميمه واختباره لعدة مرات في مشتل جامعة تشرين.

جدول (2) ظروف عملية التفحيم البطيء لخشب الزيتون.

مردودية الفحم كنسبة مئوية من المادة الأصل	زمن التفحيم (دقيقة)	°C درجة الحرارة
33.417	60	500

جدول (3): أهم الخصائص الفيزيائية للفحم الحيوي.

الرطوبة الجافة هوائياً	المسامية الكلية	الكثافة الحقيقية غ. سم ⁻³	الكثافة الظاهرية غ. سم ⁻³	التوزيع الحجمي للحبيبات %				
				أقل 63 µm من	125-63 µm	500-125 µm	1000-500µm	1000><2 000 µm
4.95%	50.74	1.34	0.66	%2.165	%7.57	%56.035	%22.16	%12.07

تصميم التجربة:

تضمن تصميم التجربة العاملية دراسة تأثير 4 معدلات من الفحم الحيوي (0-100-300-600 كغ. دونم⁻¹)، ولكل معاملة ثلاث مكررات، وزعت المعاملات وفق تصميم العشوائية الكاملة مع الإشارة إلى أن مساحة كل معاملة 3 م² وفق التالي:

جدول (4): تصميم التجربة

C0	C1	C2	C3
C1	C2	C3	C0
C2	C3	C0	C1

تحضير تربة البحث للزراعة:

تم تتعيم سطح التربة بواسطة العزاقة الدورانية بعد الفلاحة العميقة 30 سم لإعداد القطع التجريبية بمساحة 3 م². كل قطعة تحوي 3 خطوط والمسافة بين الخط والآخر 50 سم و 20 سم بين النباتات في كل صف. أضيفت الأسمدة الفوسفورية والبوتاسية وبكامل الجرعة السمادية محسوبة تبعاً للمعادلة السمادية للهكتار الواحد (ROKAIA *et al.*, 2005)(N)-230- 70(P₂O₅)_ 60(K₂O)، ثم أضيف الفحم الحيوي نثراً مع الأسمدة المعدنية قبل الزراعة وتم تجهيز مرقد البذور وخطوط الزراعة. تمت زراعة بذور فول الصويا Sb44 في جور على عمق 2-2.5 سم وذلك بتاريخ 2022/6/7 بمعدل 3 بذور لكل جورة. تمت إضافة جرعة التسميد الأزوتي الأولى على صورة يوريا 46% N (ثلث الكمية) من الكمية الأساسية 230 كغ. ه⁻¹ وتم الري بعدها مباشرة. بدأ الإنبات بعد خمسة أيام واستمر حتى اكتماله 10 أيام حيث تم الترقيع إلى نبات في كل جورة كما أضيفت الجرعة الثانية (ثلث الكمية) من السماد الأزوتي. وأضيفت الجرعة الثالثة (ثلث الكمية) من الأزوت عند بداية الأزهار.

العناية بالتجربة:

رويبت النباتات بالخطوط أسبوعياً رياً سطحياً على خطوط عند رطوبة تعادل 80% من السعة الحقلية. كما رُشت بمبيد حشري جهازي ومبيد فطري (توبسين) بعد شهر من الزراعة بشكل منفصل أسبوعياً. ابتداءً من 2022/7/5 رُشت النباتات بالعناصر الصغرى ورقياً ثلاث مرات بفواصل عشرة أيام. استُخدمت مبيدات الأكاروسات من 2022/8/11 بفواصل 20 يوم بين كل رشنة حتى موعد الحصاد.

إجراءات الحصاد:

حُصدت النباتات عند النضج الفيزيولوجي بعد 4 شهور و 20 يوماً من الزراعة تم فصل القرون عن النباتات بعد عدها لكل نبات وأخذ وزن القرون لكل نبات، الإنتاجية ووزن ال 100 بذرة.



صورة (2) نباتات وقرون فول الصويا المحصودة

بعد الحصاد أخذت عينات غير مخزية البناء بواسطة أسطوانات معدنية من جميع المعاملات بواقع ثلاث مكررات من كل معاملة لتحديد:

- 1- الكثافة الظاهرية للتربة على العمقين (0-20 سم و 0-40 سم) عند معدلات متزايدة من الفحم الحيوي.
 - 2- توزيع النظام المسامي للتربة (0-20 سم و 0-40 سم) عند معدلات متزايدة من الفحم الحيوي.
- وقد تم تحديدها في جهاز الضغط الغشائي وفق القانون:

$$P_m = 4\sigma_w/d \quad (\text{ابراهيم وبركات، 2013})$$

P_m : الضغط (باسكال)

d : قطر المسام (م)

σ_w : التوتر السطحي للماء نيوتن/م

بعد ذلك يتم تحديد حجم المجموعات المسامية كما يأتي :

$$PV \% > 50\mu m = PV\% - Wvol. pF_{1.8}$$

$$PV \% > 10\mu m = PV\% - Wvol. pF_{2.5}$$

$$PV \% (10-50) \mu m = Wvol. pF_{1.8} - Wvol. pF_{2.5}$$

$$PV \% (0.2-10) \mu m = Wvol. pF_{2.5} - Wvol. pF_{4.2}$$

$$PV \% < 0.2 \mu m = Wvol. pF_{4.2}$$

$Wvol/pF_{1.8}$ هي الرطوبة الحجمية عند نهاية الضغط المعادل ل $pF_{1.8}$ إذ إن

$PV\%$: حجم المسامية الكلية للتربة وتحدد كما يلي

$$PV \% = (1 - qd/qs) * 100$$

إذ إن dq : الكثافة الظاهرية غ.سم⁻³ Sq : الكثافة الحقيقية للتربة غ.سم⁻³

3- منحنيات الشد الرطوبي عند معدلات متزايدة من الفحم الحيوي في جهاز الضغط الغشائي.

حُددت منحنيات الشد الرطوبي باستخدام جهاز الضغط الغشائي وذلك بتطبيق ضغوط متزايدة بدءاً من الضغط $pF_{1.8}$ و $pF_{2.5}$ و pF_{3} و $pF_{3.5}$ و $pF_{4.2}$ وذلك باستخدام أسطوانات تربة ارتفاعها 4 سم، إذ يتم حساب المحتوى الرطوبي عند مستويات شد رطوبي مختلفة، ويتم تحديد متوسطات الرطوبة المقابلة لها، ويتم معالجة هذه القيم حاسوبياً، فكانت العلاقة بين ψ و θ من الشكل: $\psi = a\theta^b$ ، وهي تُمثل الشكل الأكثر استخداماً من قبل العديد

من الباحثين ومنهم (Gardner, 1960)، ويعد تحديد المحتوى الرطوبي عند مستويات مختلفة من الضغط تم التوصل إلى المعادلات والثوابت التجريبية عند جميع معدلات الإضافة من الفحم الحيوي.

-التحليل الإحصائي:

خضعت معطيات التجربة لتحليل التباين من الدرجة الأولى، تم فصل المتوسطات وحساب أقل فرق معنوي LSD عند مستوى معنوية 5%.

النتائج والمناقشة:

-تأثير إضافة مستويات مختلفة من الفحم الحيوي على الكثافة الظاهرية للتربة:

يملك الفحم الحيوي تأثيراً فعالاً في تحسين الكثافة الظاهرية للتربة حسب معدلات إضافة، ومصدر الفحم ودرجات حرارة التخمير المختلفة (Lentz *et al.*, 2019).

انخفضت الكثافة الظاهرية معنوياً في كلا العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) للتربة اللومية المدروسة مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي. كان الانخفاض الأكبر عند معدل الإضافة الأعلى من الفحم الحيوي 600 كغ. دونم¹ بمقدار (0.18 و 0.25 غ. سم³) على التوالي للعمقين (0-20 سم و 20-40 سم). كما لوحظ انخفاضاً معنوياً لقيم الكثافة الظاهرية للعمقين (0-20 سم و 20-40 سم) مع زيادة معدل الإضافة من الفحم الحيوي من 100 إلى 300 كغ. دونم¹ ومن 300 إلى 600 كغ. دونم¹ جدول (5). يعود هذا الانخفاض لقيمة الكثافة الظاهرية المنخفضة للفحم الحيوي لدينا 0.66 غ. سم³ جدول (3) حيث تتراوح قيم الكثافة الظاهرية للفحم الحيوي بين 0.4 و 0.6 غ. سم³ وهي أخفض من كثافات الترب الزراعية (Gwenzi *et al.*, 2015). علاوة على ذلك، قد يؤثر الفحم الحيوي بشكل غير مباشر على الكثافة الظاهرية من خلال التأثير على ثباتية حبيبات التربة (Verheijen *et al.*, 2019).

جدول (5): تغيرات الكثافة الظاهرية (غ سم³) للتربة عند العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) تحت تأثير الفحم الحيوي.

المعاملة	العمق 0-20 سم	العمق 20-40 سم
C ₀	1.35	1.55
C ₁	1.30	1.52
C ₂	1.23	1.40
C ₃	1.17	1.30
LSD _{0.05}	0.012	0.039

- تأثير إضافة مستويات مختلفة من الفحم الحيوي في توزيع النظام المسامي في التربة:

ترتبط مسامية التربة بشكل وثيق مع سلوكها الفيزيائي، وحركة الماء في التربة (Pagilai and vignozzi, 2002; sasal *et al.*, 2006). ارتفعت المسامية الكلية للتربة المدروسة معنوياً عند العمق (0-20 سم) مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي لتبلغ أعلاها عند معدل إضافة 600 كغ. دونم¹ بزيادة مقدارها 7.25% مقارنة بالشاهد. بينما ظهرت أول استجابة معنوية لحجم المسامات PV>50 μm عند معدل الإضافة 300 كغ. دونم¹ بمقدار 4.03% لتصل ذروتها عند معدل الإضافة الأعلى من الفحم الحيوي (600 كغ. دونم¹) 17.31%. وبصورة مشابهة ارتفع حجم المسامات PV>10 μm معنوياً عند معدل إضافة 300 كغ. دونم¹ على الرغم من ذلك كانت زيادة حجم المسامات PV>10 μm مع زيادة معدل إضافة الفحم الحيوي إلى 600 كغ. دونم¹ ظاهرية فقط. كما ازداد حجم المسامات التي

تحتوي على الماء المتاح ($0.2-10 \mu\text{m}$) مع زيادة كمية الفحم الحيوي المضافة ارتفع الماء المتاح معنوياً بمقدار 2.09 و 4.38 على التوالي مقارنة بالشاهد. تميز معدل الإضافة الأعلى من الفحم الحيوي 600 كغ. دونم⁻¹ بزيادة معنوية عن المعدل السابق (300 كغ. دونم⁻¹). على العكس مما سبق انخفض حجم المسامات $PV < 0.2 \mu\text{m}$ معنوياً مع زيادة معدل الإضافة من الفحم الحيوي ليبلغ أقل حجم من هذه المسامات عند معدل الإضافة (600 كغ. دونم⁻¹) جدول (6). بينما يشير الجدول (7) عند العمق (20-40 سم) أن زيادة معدل الإضافة من الفحم الحيوي إلى 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ أحدث ارتفاعاً معنوياً بمقدار 5.68 و 9.47% لتبلغ المسامية الكلية للتربة أعلى قيمة لها عند معدل الإضافة 600 كغ. دونم⁻¹. وبصورة مشابهة زيادة معدل الإضافة إلى 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ أحدث زيادة معنوية قدرها 4.54 و 3.79% عند مقارنة كل معدل إضافة بسابقه. أحدثت إضافة 600 كغ. دونم⁻¹ من الفحم الحيوي للتربة زيادة معنوية قدرها (7.77%) لتبلغ حجم مسامات $PV > 50 \mu\text{m}$ (10.85%) مقارنة بالشاهد. أدى تطبيق معدلات أعلى (300-600 كغ. دونم⁻¹) إلى زيادة معنوية في حجم المسامات $PV > 10 \mu\text{m}$ بمقدار 5.71 و 9.33% على التوالي ليصل إلى ذروته (16.18%) عند 600 كغ. دونم⁻¹ مقارنة بالشاهد. ازداد حجم المسامات الحاوية على الماء المتاح معنوياً عند أول معدل من الفحم الحيوي 100 كغ. دونم⁻¹ وتابع الزيادة عند المعدلين التاليين 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ بمقدار (0.84-2 و 3.58%) على التوالي وكان أعلى حجم من الماء المتاح (17.08%) عند معاملة الفحم الحيوي 600 كغ. دونم⁻¹ كذلك الأمر كانت الزيادة بين معدلي الإضافة 100 و 300 كغ. دونم⁻¹ في الماء المتاح معنوية بمقدار 1.16% وبين 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ بمقدار 1.58%. بدأ الانخفاض المعنوي في حجم المسامات $< 0.2 \mu\text{m}$ عند معدل الإضافة 300 كغ. دونم⁻¹ واستمر حتى معدل الأضافة الأعلى 600 كغ. دونم⁻¹ بمقدار 2.03 و 3.8% على التوالي. كما لوحظ انخفاضاً معنوياً في حجم المسامات $< 0.2 \mu\text{m}$ عند إضافة الفحم الحيوي بين المعدلين 100 و 300 كغ. دونم⁻¹ وكذلك بين 300 و 600 كغ. دونم⁻¹. يمكن أن تنسب الزيادة في المسامية الكلية إلى تحسين توزيع النظام المسامي نتيجة للمسامية العالية للفحم الحيوي (53.74%) جدول (3) وإلى تحسين ثباتية البناء للتربة (Liu et al., 2017).

جدول (6): تغيرات النظام المسامي للتربة عند العمق (0-20 سم) تحت تأثير الفحم الحيوي.

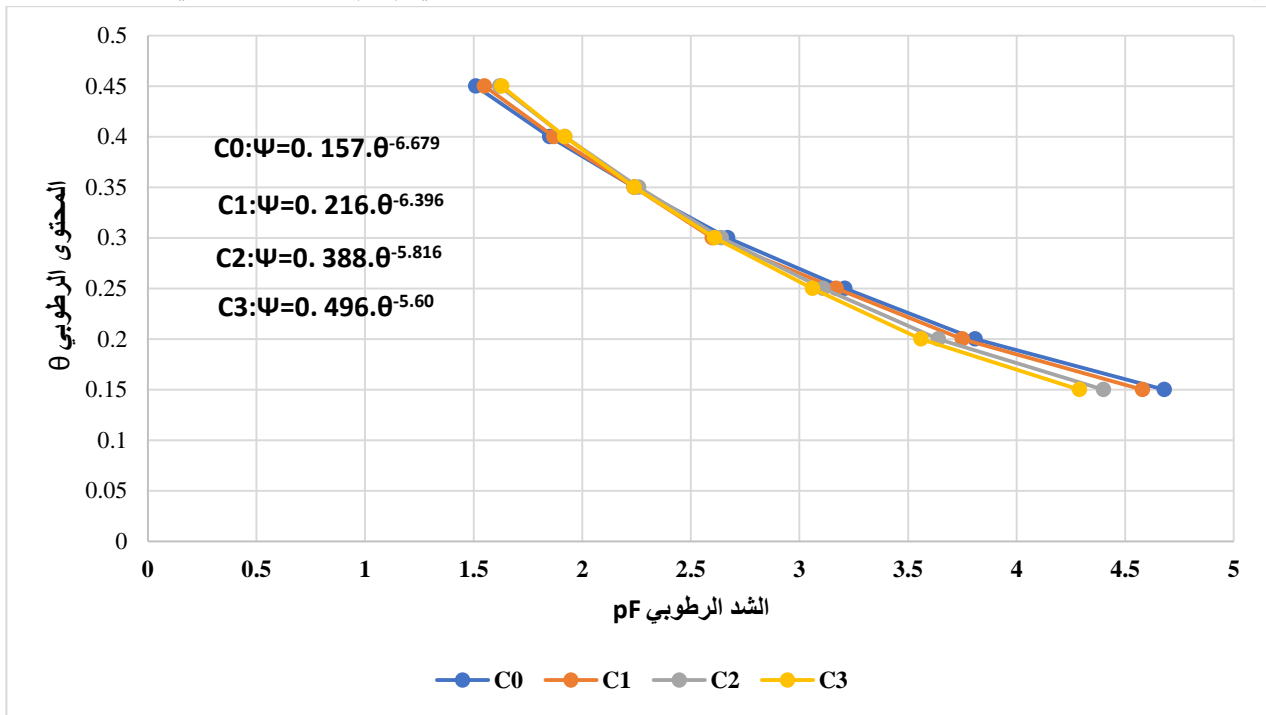
المعاملة	PV%	$PV > 50 \mu\text{m}$	$PV > 10 \mu\text{m}$	PV (0.2 - 10 μm)	$PV < 0.2 \mu\text{m}$
C ₀	48.47	8.34	16.7	14.22	17.55
C ₁	50.38	10.78	18.38	15.1	16.9
C ₂	53.1	12.37	20.8	16.31	15.99
C ₃	55.72	17.31	21.91	18.6	15.21
LSD _{0.05}	1.46	3.04	2.31	1.34	0.48

جدول (7): تغيرات النظام المسامي للتربة عند العمق (20-40 سم) تحت تأثير الفحم الحيوي.

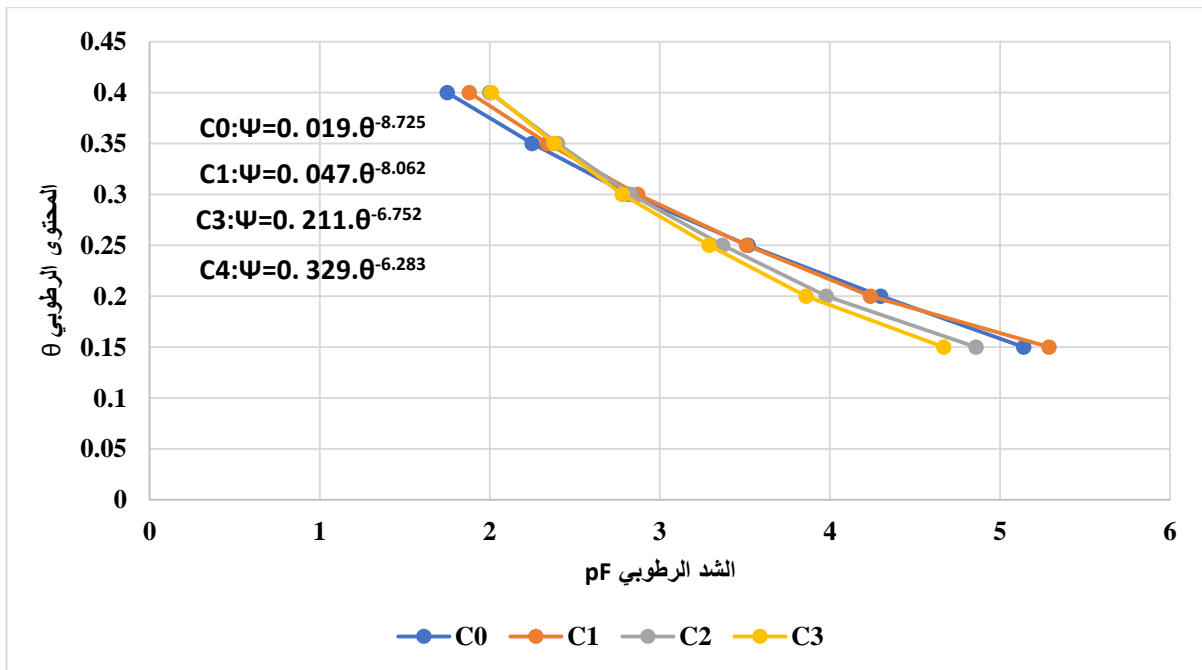
المعاملة	PV%	$PV > 50 \mu\text{m}$	$PV > 10 \mu\text{m}$	PV (0.2 - 10 μm)	$PV < 0.2 \mu\text{m}$
C ₀	41.28	3.08	6.85	13.5	20.93
C ₁	42.42	2.66	7.56	14.34	20.52
C ₂	46.96	4.53	12.56	15.5	18.9
C ₃	50.75	10.85	16.18	17.08	17.55
LSD _{0.05}	1.22	2.85	2.15	0.698	0.83

-تأثير إضافة مستويات مختلفة الفحم الحيوي في منحنيات الشد الرطوبي والثوابت التجريبية للتربة:

تم التوصل إلى الاشكال البيانية والمعادلات التالية بعد تحديد العلاقة بين الشد الرطوبي (pF) والمحتوى الرطوبي للتربة:



الشكل (5) منحنيات الشد الرطوبي عند معدلات مختلفة من الفحم الحيوي عند العمق 0-20 سم



الشكل (6) منحنيات الشد الرطوبي عند معدلات مختلفة من الفحم الحيوي عند العمق 20-40 سم

يشير الشكل (5) لمنحنيات الشد الرطوبي للتربة اللومية المدروسة تحت تأثير الإضافات المتزايدة من الفحم الحيوي حيث تناقص المحتوى الرطوبي للتربة مع زيادة الشد الرطوبي لكل المعاملات المدروسة ولكن عند pF أقل من 2.5 ازداد الشد الرطوبي مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي بشكل واضح عند معدلات الإضافة 300-600 كغ.

دونم⁻¹. تغير الشد الرطوبي عند الشد الرطوبي pF أكبر من 2.5 حيث ازداد في الشاهد مقارنة بمعاملات إضافة الفحم الحيوي. بمعنى آخر زادت قوة مسك الماء بالتربة عند عدم توفر الفحم الحيوي. مما يشير لقدرة الفحم الحيوي لتحرير الماء للنبات عند الشد الرطوبي الأعلى والمحتوى الرطوبي الأقل. تشير المعادلات في الجدول (8) إلى أن الثوابت التجريبية للتربة (a) و (b) تزداد مع زيادة معدل الإضافة من الفحم الحيوي وهذا يعني أنه عند نفس الشد الرطوبي تزداد كمية الماء المتاح للنبات ويصبح هذا الماء أقل سهولة للامتصاص من قبل النبات، وهذا له أثر كبير وإيجابي على نمو النبات وإنتاجيته.

يُحسن الفحم الحيوي من الماء المتاح عند نفس الشد الرطوبي للتربة عن طريق تعديل أحجام وأشكال مسامات التربة محسناً بذلك المسامية الكلية وثباتية بناء التربة (Liu *et al.*, 2017) ، وهو ما سينعكس إيجاباً على نمو النباتات وإنتاجيته (Lawlor *et al.*, 2004) .

جدول (8): المعادلات والثوابت التجريبية ومعاملات التحديد لمنحنيات الشد الرطوبي عند العمقين (0-20 و 20-40سم)

العمق 20-40سم				العمق 0-20 سم				
الثوابت التجريبية		معامل التحديد	المعادلة	الثوابت التجريبية		معامل التحديد	المعادلة	المعاملة
b	a			b	a			
-8.725	0.019	r ² =0.98	$\psi=0.019.\theta^{-8.725}$	-6.679	0.157	r ² =0.99	$\psi=0.157.\theta^{-6.679}$	C ₀
-8.062	0.047	r ² =0.99	$\psi=0.047.\theta^{-8.062}$	-6.396	0.216	r ² =0.98	$\psi=0.216.\theta^{-6.396}$	C ₁
-6.752	0.211	r ² =0.99	$\psi=0.211.\theta^{-6.752}$	-5.816	0.388	r ² =0.98	$\psi=0.388.\theta^{-5.816}$	C ₂
-6.283	0.329	r ² =0.98	$\psi=0.329.\theta^{-6.283}$	-5.60	0.49	r ² =0.97	$\psi=0.496.\theta^{-5.60}$	C ₃

- تأثير إضافة مستويات مختلفة الفحم الحيوي في إنتاجية نبات فول الصويا sb44 (كغ. دونم⁻¹):

حُسب متوسط إنتاجية وحدة المساحة من فول الصويا كغ. دونم⁻¹ بعد جني المحصول وكانت النتائج موضحة في الجدول (9) كانت العلاقة بين الإضافات المتزايدة من الفحم الحيوي والإنتاجية علاقة خطية معنوية ابتداءً من معدل الإضافة الأقل حيث ارتفعت إنتاجية نبات فول الصويا بعد إضافة الفحم الحيوي (100-300-600 كغ. دونم⁻¹) بمقدار (16.4-50.7-67.87 كغ. دونم⁻¹) على التوالي وبلغت أقصاها (268.37 كغ. دونم⁻¹) عند المعدل 600 كغ. دونم⁻¹ ولكن بلغ مقدار الزيادة في الإنتاجية بين المعدلين 100 و 300 كغ. دونم⁻¹ 34.3 كغ. دونم⁻¹ مقارنة ب 17.7 كغ. دونم⁻¹ فقط بين المعدلين 300 و 600 كغ. دونم⁻¹. بلغت الزيادة كنسبة مئوية من الشاهد عند إضافة الفحم الحيوي (100-300-600 كغ. دونم⁻¹) (8.2-25.3-33.85%) على التوالي، بصورة مشابهة للسابق كان مقدار الزيادة كنسبة مئوية بين المعدلين 100 و 300 كغ. دونم⁻¹ 17.1% مقارنة ب 8.55% فقط بين المعدلين 300 و 600 كغ. دونم⁻¹. في نفس السياق ازداد حاصل الحبوب بمقدار 31% لصنف فول الصويا L13 و 51% عند إضافة الفحم الحيوي بمعدل 5% و 10% على التوالي الذي يعود للزيادة في الكتلة الحيوية للنبات وامتصاص الفوسفور (ZHU *et al.*, 2019).

جدول (9): إنتاجية نبات فول الصويا sb44 (كغ. دونم⁻¹) عند معدلات مختلفة من الفحم الحيوي

المعاملة	الإنتاجية كغ. دونم ⁻¹	الإنتاجية %
C ₀	200.5	100
C ₁	216.9	108.2
C ₂	251.2	125.3
C ₃	268.37	133.85
LSD _{0.05}	15.29	7.63

الاستنتاجات والتوصيات:

1- تبين النتائج أن إضافة الفحم الحيوي من أصل خشبي (100-300-600 كغ. دونم⁻¹) خلطاً مع الطبقة السطحية للتربة أدت إلى ارتفاع إنتاجية نبات فول الصويا معنوياً بمقدار (16.4-50.7-67.87 كغ. دونم⁻¹) على التوالي وبلغت أقصاها (268.37 كغ. دونم⁻¹) عند المعدل 600 كغ. دونم⁻¹ نتيجة للتحسن الواضح في الخواص الفيزيائية للتربة اللومية المدروسة.

2- أدت إضافة الفحم الحيوي إلى انخفاض معنوي في الكثافة الظاهرية في كلا العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) للتربة اللومية المدروسة مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي. بلغ الانخفاض الأكبر مقدار 0.18 و 0.25 غ. سم⁻³ عند معدل الإضافة الأعلى (600 كغ. دونم⁻¹) من الفحم الحيوي على التوالي للعمقين (0-20 سم و 0-40 سم).

3- ارتفعت المسامية الكلية للتربة المدروسة عموماً معنوياً عند كلا العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) مع زيادة معدلات الإضافة من الفحم الحيوي لتبلغ أعلاها عند معدل إضافة 600 كغ. دونم⁻¹ بزيادة مقدارها 7.25% و 9.47% مقارنة بالشاهد لكل من العمقين (0-20 سم و 20-40 سم) على التوالي. كما ازداد الماء المتاح (0.2-10 µm) معنوياً مع زيادة كمية الفحم الحيوي المضافة إلى 300 و 600 كغ. دونم⁻¹ بمقدار (2.09 و 4.38%) و (2 و 3.58%) على التوالي لكل من العمقين مقارنة بالشاهد.

وانطلاقاً من ذلك نوصي بما يلي:

1- التوصية بالتسميد بالفحم الحيوي من أصل خشبي خلطاً مع الطبقة السطحية للتربة بمعدل 600 كغ. دونم⁻¹ على تربة لومية لتحسين خصائص التربة الفيزيائية وزيادة إنتاجيتها.

2- إجراء الدراسة باستخدام هذا النوع من الفحم الحيوي وأنواع مختلفة على أنواع أخرى من الترب لمعرفة معدل الإضافة المناسب من الفحم الحيوي في تحسين الخواص الفيزيائية للتربة.

References:

- ابراهيم، جهاد، بركات، منى. فيزياء التربة، منشور رت جامعة تشرين، 2013.
- Ibrahim, jihad, Barakat, Mona. Soil Physics, Tishreen University Publications, 2013
- 1-Accardi-Dey A, Gschwend PM. Assessing the Combined Roles of Natural Organic Matter and Black Carbon as Sorbents in Sediments. Environ Sci Tech-Nology ,2002 ,(36)21-9.
- 2-Barus J, Alam P, B R, Lampung. Soil Chemical Properties and Soybean Yield Due to Application of Biochar and Compost of Plant Waste. J Trop Soils ,2016,(21)1-7.
- 3-BERNHARAT C. Uber die Berechnung der Fahhgeschwindigkeit Kugelformiger Teilcheninzahen Medic_Bergakademie2 1967.
- 4-Blanco-Canqui H. Biochar and Soil Physical Properties. Soil Sci Soc Am J ,2017, (81)687.
- 5-Brewer R. Fabric and Mineral Analysis of Soils. Soil Sci 1965;100:73.
- 6-Cross A, Sohi SP. The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status. Soil Biol Biochem ,2011, (43)2127-34.
- 7-Das O, Sarmah AK. The love-hate relationship of pyrolysis biochar and water: a perspective. Sci Total Env 2015;512-513:682-5.
- 8-Dayoub EB, Tóth Z, Anda A. Biochar and its effects on soil properties and evapotranspiration: A sustainable solution for plant growth. Cogent Food Agric ,2023,9:2256136,. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2256136>.

- 9-Du Z, Chen X, Qi X, Li Z, Nan J, Deng J. The effects of biochar and hogger biogas slurry on fluvo-aquic soil physical and hydraulic properties: A field study of four consecutive wheat–maize rotations. *J Soils Sediments* ,2016,16:2050–8. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1402-9>.
- 10-Esmaeelnejad L, Shorafa M, Gorji M, Hosseini SM. Enhancement of physical and hydrological properties of a sandy loam soil via application of different biochar particle sizes during incubation period. *Span J Agric Res* ,2016,(14) <https://doi.org/10.5424/sjar/2016142-9190>.
- 11-Gamage DN, Mapa RB, Dharmakeerthi RS, Biswas A. 2016.
- 12-Gardner WR. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci* ,1960,(89)63–73. <https://doi.org/10.1097/00010694-196002000-00001>.
- 13-Głąb T, Palmowska J, Zaleski T, Gondek K. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* ,2016,(281)11–20.
- 14-Gwenzi W, Chaukura N, Mukome FN, Machado S, Nyamasoka B. Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities, constraints, risks and uncertainties. *J Environ Manage* ,2015 ,150:250–61.
- 15-Jeyasubramanian K, Thangagiri B, Sakthivel A, Dhaweethu Raja J, Seenivasan S, Valinayagam P. A Complete Review on Biochar: Production, Property, Multi-faceted Applications. *Interact Mech Comput Approach Fuel* ,2021,292:120243. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120243>.
- 16-Kameyama K, Miyamoto T, Iwata Y, Shiono T. Effects of biochar produced from sugarcane bagasse at different pyrolysis temperatures on water retention of a calcareous dark red soil. *Soil Sci* ,2016,181:20–8. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000123>.
- 17-Kimetu JM, Lehmann J. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Soil Res* 2010;48:577–85.
- 18-Kinney TJ, Masiello CA, Dugan B, Hockaday WC, Dean MR, Zygourakis K, et al. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass Bioenergy* ,2012,(41)34–43.
- 19-Kristanti, N.E.,Rahmawati,F.,and Maksum,M.Analysis of productivity of Soybean Glycine max (L.)Merr) for production for farmers in. *Indones Life Sci* ,2018,(4).
- 20-Lawlor DW, Mengel K, Kirkby EA. Principles of plant nutrition. *Ann Bot* ,2004 ,93:479–80. <https://doi.org/10.1093/aob/mch063>.
- 21-Lehmann J. A handful of carbon. *Nature* ,2007 ,447:143–4.
- 22-Lehmann J, Joseph S. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge, 2015.
- 23-Lei O, Zhang R. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical and hydraulic properties. *J Soils Sedi-Ments* ,2013 ,13 :1561–72. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0738-7>.
- 24-Lentz RD, Ippolito JA, Lehrs GA. Biochar, manure, and sawdust alter long-term water retention dynamics in degraded soil. *Soil Sci Soc Am J* ,2019,83:1491–501. <https://doi.org/10.2136/sssaj2019.04.0115>.
- 25-Liu Z, Dugan B, Masiello CA, Gonnermann HM. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS One* ,2017,(12)1–19.
- 26-M. P, N V. Soil pore system as an indicator of soil quality. *Adv Geocology* ,2002,35:69–80.

- 27-Ma N, Zhang L, Zhang Y, Yang L, Yu C, Yin G. Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *PLoS One* ,2016,(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154091>.
- 28-M.C. S, A.E. A, M.A T. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas. *Soil Tillage Res* ,2006,87:9–18.
- 29-Mimmo T, Panzacchi P, Baratieri M, Davies CA, Tonon G, A. Z, et al. Effect of pyrolysis temperature on miscanthus (*Miscanthus × giganteus*) bioCross. *Biochar Eur. Soils Agric. Sci. Pract.*, London, UK: Routledge, 2014, p. 73–98.
- 30-Myaka FA, Kirenga G, Malema B. Proceedings of the First National Soybean Stakeholders Workshop,10-11 November ,2005, Morogoro, Tanzania n.d.
- 31-Pudasaini K, Walsh KB, Ashwath N, Bhattarai T. Effects of biochar addition on plant available water of a loamy sandy soil and consequences on cowpea growth. *Acta Horti* ,2016,357–64. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2016.1112.48>.
- 32-Razzaghi F, Obour PB, Arthur E. Does biochar improve soil water retention? A systematic review and meta-analysis. *Geoderma* ,2020,361:114055. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114055>.
- 33-ROKAI A N, M.A.ABDULAZIZ I, ABDULHAMID SSALAMEH, Y.MOHAMMED TALIDIB, F.S.A.A.D. Field crop production ,2005.
- 34-RYAN J. ESTEFAN,G,and RASHID ,A .Soil and Plant Analysis Laboratory Manual2.
- 35-ICARDA NARC2003172p, 2003.
- Singh N, Abiven S, Torn MS, Schmidt MWI. Firederived organic carbon in soil turns over on a centennial scale. *Biogeosciences* ,2012,9:2847–57. <https://doi.org/10.5194/bg-9-2847-2012>.
- 36-Sohi SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R. Chapter 2 - a review of biochar and its use and function in soil. *Adv Agron* ,2010 ,105:47–82.
- 37-Solomon D, Lehmann J, Thies J, Schäfer T, Liang B, Kinyangi J, et al. Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. *Geochim Cosmochim Acta* ,2007,71:2285–98. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.02.014>.
- 38-Sorrenti G, Toselli M. Soil leaching as affected by the amendment with biochar and compost. *Agric Ecosyst Env* ,2016,226:56–64. <https://doi.org/10.1016/j>.
- 39-TGL 24300/05:Aufnahme landwirtschaftlich genutzter standorten,Kornungsarten undskelettgehalt_6S.,Akad.landw.wiss,Berlin,1985.
- 40-Verheijen F, ZG A, Silva A, AF C, Ben-Hur A, M KJJ. The influence of biochar particle size and concentration on bulk density and maximum water holding capacity of sandy vs sandy loam soil in a column experiment. *Geoderma* ,2019,(347)194–202. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.03.044>.
- 41-ZHU Q, KONG L, SHAN Y, YAO X, ZHANG H, XIE F, et al. Effect of biochar on grain yield and leaf photosynthetic physiology of soybean cultivars with different phosphorus efficiencies. *J Integr Agric* ,2019,18:2242–54.