

DOI: <https://doi.org/10.63359/x4m3h520>

أثر إضافة الفحم النباتي على صفات الترب الفيزيوكيميائية وتعزيز نمو الفول (Vicia faba) تحت ظروف المناطق الصحراوية الجافة

كوثر المدنى على أبو زيان¹ عائشة رمضان محمد^{2,1}

ARTICLE INFO

Vol. 7 No. 3 Dec., 2025

Pages (A 76- 82)

Article history:

Revised form 01 November 2025

Accepted 21 November 2025

Authors affiliation

1. Environmental Science Department, Faculty of Environment and Natural Resource, Wadi Alshatti University.

2. Libyan Center for Studies and Research in Environmental Science and Technology

kawtar0994@gmail.com

Keywords:

biochar, desert soil, Physicochemical of soil, fava bean, Cation exchange capacity (CEC), arid land

الملخص

اجريت هذه الدراسة لتقييم تأثير معاملة ترب المناطق الجافة بمعاملات مختلفة من الفحم الحيوى وهى (T₀ = 0%, T₁ = 2%, T₂ = 4%, T₃ = 8%, T₄ = 15%, T₅ = 30%) على الخصائص الفيزيوكيميائية للترب الصحراوية غير المزروعة والمزروعة بنبات الفول، وذلك في بيئة جافة. أظهرت النتائج أن معاملة 6% من الفحم النباتي كانت الأكثر فاعلية في تعزيز النمو الخضري لنبات الفول، حيث سجلت أعلى معدل طول حضري (32.5 سم) وعدد أوراق (13 ورقة)، بالإضافة إلى أعلى وزن رطب وجاف للكلة الحيوية مقارنة بالشاهد. بينما أظهرت التراكيز العالية (T₄ = 4%, T₅ = 5%) محدوداً على النمو، مما يشير إلى وجود ترکيز مثالي للفحام النباتي في تحسين نمو النبات. فيما يخص التربة غير المزروعة، لوحظ تحسين كبير في السعة المحقية مع زيادة نسبة الفحم النباتي المضاف، حيث بلغت 46% عند ترکيز 30% مقارنة بـ 9% في الشاهد (T₀ = 0%), مما يعكس قدرة الفحم النباتي على تحسين احتباس الماء بفضل مساميته العالية. كما سجلت المادة الضوئية أعلى قيمة عند المعاملة T₅ (30%) وهي 27.8%، في حين أظهرت السعة التبادلية الكاتبونية (CEC) (نطلاً غير خطى)، حيث انخفضت بشكل حاد عند التراكيز المتوسطة ثم ارتفعت مجدداً عند 50% كما بينت النتائج للترية المزروعة وغير المزروعة تغيرات ملحوظة في تراكيز العناصر الغذائية، حيث ارتفع ترکيز Mg و Ca بشكل واضح عند التراكيز العالية، بينما انخفض ترکيز K و Cl في معظم المعاملات مقارنة بالشاهد T₀. كما سجل الفسفور أعلى قيمة له عند المعاملة (T₅ = 5%) وهي 96.02% و هو في التربة غير المزروعة soil g / P µg 282.8 و في التربة المزروعة soil g / P µg 282.8. مما يشير إلى قدرة الفحم النباتي على تعزيز إطلاق الفسفور في التربة، و تؤكد هذه الدراسة أن استخدام الفحم النباتي بمثيل استراتيجية فعالة لتحسين خواص الترب الصحراوية في المناطق الجافة التربة كما أنها تعزز نمو النباتات بها.

Effect of Biochar Amendment on the Physicochemical Properties of Arid Soils and Enhancement of Plant Growth

Kawtar Almadani Ali Abuzayyan¹ Aishah Ramadan Mohamed^{1,2}

This study was conducted to evaluate the effect of treating arid soils with different concentrations of biochar (0%, 2%, 4%, 8%, 15%, and 30%, respectively) on the physicochemical properties of both uncultivated and broad bean-planted desert soils in an arid environment. The results showed that the 2% biochar treatment was the most effective in promoting vegetative growth in broad beans, exhibiting the highest average vegetative length (32.5 cm), number of leaves (13 leaves), and both fresh and dry biomass weights compared to the control. The higher concentrations (15% and 30%, respectively) showed a limited effect on growth, indicating an optimal biochar concentration for enhancing plant development. Regarding uncultivated soil, a significant improvement in field capacity was observed with increasing percentage of added charcoal, reaching 46% at a concentration of 30% compared to 9% in the control (T₀ = 0%), reflecting the ability of charcoal to improve water retention due to its high porosity. Organic matter also recorded its highest value at treatment T₅ (30%), at 27.8%. Cation exchange capacity (CEC) exhibited a non-linear pattern, decreasing sharply at intermediate concentrations and then rising again at T₅ (30%). Results for both cultivated and uncultivated soils showed significant changes in nutrient concentrations. Ca and Mg concentrations increased markedly at higher concentrations, while K and Cl concentrations decreased in most treatments compared to the control (T₀). Phosphorus recorded its highest value at treatment T₅ (30%),

© 2025

Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.



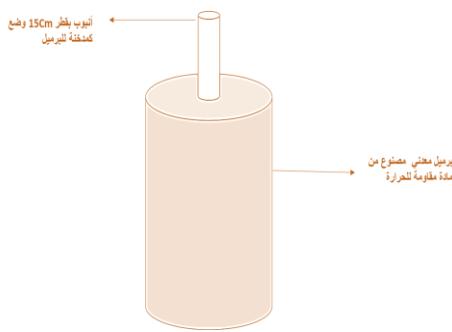
reaching 96.02 $\mu\text{g/g}$ soil in uncultivated soil and 282.8 $\mu\text{g/g}$ soil in cultivated soil. Soil in the cultivated soil, indicating the ability of charcoal to enhance phosphorus release in the soil. This study confirms that the use of charcoal is an effective strategy for improving the properties of desert soils in arid land areas, and it also promotes plant growth in them.

للخلص من الشوائب والجسيمات الكبيرة، وتحضير العينة للتحاليل المعملية، تم إجراء التحاليل للتربة لتحديد الخصائص الفيزيائية والكيميائية التي استخدمت كأساس للدراسة.

جدول 1 يبين نسب مفصولات التربة المستخدمة في الدراسة ونسجتها

تصنيف التربة	نسبة المفصولات	نوع المفصولات	
تربة رملية	%99.53	الرمل	1
	%0.11	الطين	2
	%0.36	السلت	3

الفحم النباتي: تم تجهيز الفحم النباتي بواسطة أنبوبة أنيبوبية مجهزة يدويا لإنتاجه في ظروف محدودة الأكسجين (حرق لاهوائي) كما هو مبين (بالشكل 1).



شكل (1) الانبوبة المجهزة لانتاج الفحم الحيوى

المذور: جُمعت بذور نبات الفول من السوق المختص بالزراعة.

المياه المستخدمة الري :

تم استخدام المياه الجوفية في الاصنع خلال فترة التجربة والجدول (2) يوضح خصائصها.

جدول 2 خصائص المياه المستخدمة في الري الري

مياه الري	الوحدة	العنصر
1.051	(ms)	EC
6.61	/	pH
/	meq/l	CO₃²⁻
5	meq/l	HCO₃⁻
6	meq/l	Cl⁻
3	meq/l	Ca²⁺
1.78	meq/l	Mg²⁺
5.69	meq/l	Na⁺
0.222	meq/l	SO₄²⁻
0.65	meq/l	K⁺

المقدمة
ظهرت الزراعة منذ آلاف السنين لضمانبقاء وتحقيق الأمن الغذائي والتنمية الاقتصادية. ومع الزيادة السكانية المتسارعة، تواجه الترب ضغوطاً متزايدة لتوفير الغذاء والموارد الازمة، خاصة في ظل تغير المناخ وتدهور الترب، واعتماد الزراعة الحديثة على الأسمدة والمبادات الكيميائية مما يؤدي إلى تلوث النظم البيئية المختلفة (Shoudho et al., 2024). ومن اهم التحديات المحيطة بالزراعة هي نوع التربة وتغير التربة الرملية من أكثر أنواع الترب انتشاراً في المناطق الجافة، وتكون من جسيمات معدنية خشنة مثل الجرانيت والحجر الجيري والكلواريت. وتمثل تحدياً لانتاج الرياعي على الاحتفاظ بالماء، مما يقلل من قدرة الجذور على امتصاص المغذيات والرطوبة. لذلك، يمثل تحسين خصائصها الفيزيوكيميائية أولوية بخاصة، خصوصاً مع التوسع الزراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة.

بعد الفحم الحيوى أحد الحلول الوعادة لتحسين خصوبة التربة وزيادة إنتاجية المحاصيل، إلى جانب دوره في تثبيت الكربون وتقليل ابعاثات الغازات الدفيئة، كما يساهم في رفع المادة العضوية وتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة (Pandian et al., 2024). ويتم إنتاج الفحم الحيوى من خلال التحلل الحراري للكتلة الحيوية في ظروف محدودة الأكسجين، مما يتيح مادة غنية بالكربون ذات قدرة امتصاص عالية تساعد على تثبيت الملوثات وتحسين خصوص التربة (Alghamdi, 2018; Kaur et al., 2024). وقد أظهرت الدراسات فعالية الفحم الحيوى في زيادة محتوى التربة من الكربون والحفاظ على خصوبتها بعد الاستخدام الرياعي المكثف (Khan et al., 2024; Shoudho et al., 2024; Nadarajah et al., 2024).

ان استخدام الكتلة الحيوية النباتية يفيد النباتات والتربة بسبب تركيبها الكيميائي وتعتبر من اهم المؤشرات لكافحة وفعالية الفحم الحيوى وفي جنوب ليبية، ينتشر نبات الأفل (Tamarix L.) على نطاق واسع، ويتميز بمقاومته للملوحة والجفاف والحرارة وارواقه غنية بالمعادن مثل الكالسيوم والماغسيوم والصوديوم والبولياسيموم كما يساهم في مكافحة التصحر وتثبيت الرمال وزيادة احتفاظ التربة بالرطوبة. ونظراً لخصائصه الجيدة تم اختياره لاستخدام الجنزوع والأفرع الناتجة عن بقايا الأشجار وعمليات التقليم كمادة خام ، مما يجعله مناسباً لإنتاج الفحم الحيوى من مختلفات التقليم دون الإضرار بالغطاء النباتي، (Britannica, 2019).

فالحاجة الى حلول خضراء لتحسين خصوبة التربة وانتاجيتها أصبحت اكبر الحاجة من اي وقت مضى وبناءً على ذلك، تهدف هذه الدراسة إلى تحسين بعض خصائص التربة الرملية وتعزيز غلو بذات الفول (*Vicia faba* L.), كجزء من الممارسات الزراعية المستدامة في المناطق الجافة الصحراوية.

المواد والطرق:

المواد:
التربة: تم جمع عينة التربة وهي رملية من منطقة زلاف، حيث تم جمع العينات من الطبقة السطحية للتربيه. ونقلت الى المعمل، حيث تم تجفيفها هوايا. ثم غربلتها باستخدام غربال يقطر 2 م

الطرق

تجربة الإناث:

قدرت السعة المخلية للترية حسب ما ورد في (Association of Official Analytical Chemists- AOAC (1975)، الأنس الميدروجيني (pH) : تم قياس الأنس الميدروجيني لعينات المياه ومستخلصات الترية بالقياس المباشر باستخدام Electrical pH meter. الإصالية الكهربائية (EC) باستخدام جهاز قياس التوصيل الكهربائي Conductivity Meter، الاملاح الذائبة الكلية، تم تقديرها بطريقة حساسية (OM) (Rice et. al., 2000). المادة العضوية (Rice et. al., 2000) تم تقديرها في باستخدام طريقة الحرق (Muffle Furnace) في فرن الترميم (Loss on Ignition - LOI) عند درجة حرارة 600 درجة مئوية ولمدة 6 ساعات (Zhang and Wang, 2014). تم تقدير الصوديوم والبوتاسيوم باستخدام مطياف اللهب حسب طريقة Argentometric (et. al., 1995) وقفت الكلوريد (Cl⁻) حسب طريقة AOAC Method (AOAC (1975) حسب ما ورد في) (Richards, 1954) تم المستخلص المائي للترية بطريقة الترسيب باستخدام كلوريد الباريوم (Richards, 1954) تم قياس الكثافة الظاهرية للترية باستخدام طريقة الإزاحة الحجمية، حيث وزن 10 غرام من الترية الجافة وأضيفت إلى 20 مل من الماء في مخبر مدرج، وسجلت زيادة مستوى الماء لحساب حجم الإزاحة مما تم تقدير الفسفور المنافع باستخدام طريقة أولسن وقياس الامتصاصية بجهاز الطيف الضوئي، وقيس السعة النبالية الكاتيونية (CEC) باستخدام طريقة خلات الأمونيوم (بشور & الصايغ، 2007).

النتائج والمناقشة:

نسبة الإناث للبذور تحت الدراسة:

أظهرت النتائج (جدول 3) نسبة الإناث للبذور المستخدمة في الدراسة لتقدير حبيباتها، حيث وُضع في كل طبق 10 بذور من نبات الفول (*Vicia faba L.*) لمدة أسبوع، وتمت مراقبة وتسجيل ملاحظات الإناث يومياً. حيث لم تُظهر بذور الفول أي علامات إناث خلال اليومين الأول والثاني ابتداءً من اليوم الثالث، بدأت بذور الفول في إظهار علامات النمو التدرجي وكانت نسبة الإناث 0%، حيث لوحظت زيادة واضحة في معدل الإناث مع مرور الأيام فكانت في الثالث 0%، في اليوم الرابع بلغت اقصى نسبة للإناث 90% في نهاية الأسبوع، مما يشير إلى جودة جيدة للبذور (Al-Siriti et al., 2025).

جدول 3 نسبة الإناث للبذور تحت الدراسة

النسبة المئوية للإناث (%)	عدد البذور	اليوم
0	0	1
0	0	2
20	2	3
40	4	4
60	6	5
80	8	6
90	9	7

تقدير تأثير الفحم الحيوى على المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول (*Vicia faba L.*)

يوضح (الجدول 4) معدل المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول عند معاملات الفحم الحيوى المختلفة من حيث الطول الوزن الخضري والجذري الجاف والرطب وعدد الأوراق يتضح من الجدول ان معاملة الشاهد (T₀) كان طول الجذر 19 سم وهو متقارب من الطول الجذري الخضري للنبات (19.5) بينما كان عدد الأوراق كان 5 اوراق، وإناتجية النبات أي الوزن الجاف للكليلة الحيوية للنبات تساوى 0.69 جم، مما يشير محدودية النمو ويعكس بيئة

تقييم تأثير الفحم الحيوى على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة الرملية غير المزروعة:

أظهر نتائج الدراسة (المدول 5) تأثير الفحم الحيوى على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة الرملية غير المزروعة. حيث وجد أن إضافة الفحم الحيوى أدت إلى تحسين واضح في الخصائص الفيزيوكيميائية والكليماتية للتربة الرملية غير المزروعة وبدرجة تعتمد على نسبة الإضافة. حيث بلغت أعلى قيمة للسعة الحقلية عند المعاملة (30) T_5 إذ وصلت إلى 46%، مقارنة بمعاملة الشاهد T_0 التي سجلت أدنى قيمة بلغت 8%. وبعزم ذلك إلى الطبيعة المسامية للفحم الحيوى وزيادة قدرته على الاحتفاظ بالماء، كما سجلت أدنى قيمة للكثافة الحقيقية عند المعاملة T_5 وبلغت 1.7 g/cm^3 ، مما يدل على تحسين بناء التربة وزيادة مساميتها. وترواحت قيم الأس الهيدروجيني (pH) في الترب المعاملة بين (6.17-7.10)، وهي ضمن المدى المتعادل تقريباً، بينما سجلت معاملة الشاهد T_0 قيمة 5.86 مما يشير إلى قدرة الفحم الحيوى على تعديل تفاعل التربة، كما أظهرت النتائج تأثير معاملات الفحم الحيوى على قيم إصالية الترب المعاملة، حيث قيمة الإصالية الكهربائية في ترب الشاهد (mS/cm) 7.9، وأصبحت 4.38، على التوالي لمعاملات T_0 ، T_1 ، T_2 ، T_3 ، T_4 ، T_5 على الترتيب نتيجة تحسين ديناميكية الأملاح في التربة المعاملة

اما فيما يخص الكاتيونات (الايونات الموجبة) فقد سجل الكالسيوم قيمة مرتفعة نسبياً في جميع المعاملات، وبلغت أعلى قيمة عند المعاملة T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى في تعزيز توفر هذا العنصر. كما أظهر المغنيسيوم استجابة واضحة لإضافة الفحم الحيوى؛ إذ ارتفع تركيزه من 2.36 ملليمكافى/لتر في الشاهد T_0 إلى قيم أعلى، وسجلت أعلى القيم عند المعاملتين 4 (%)15 و عند المعاملة T_5 (12.2/13) meq/l، وبعزم ذلك إلى المحتوى المعدنى للفحى الحيوى وقدرته على الاحتفاظ بالمعذيات وإطلاقها تدريجياً كما أن التركيز العالى قد تساهم في إطلاق كميات أكبر من الماغنيسيوم المرتبط بالرماد المعدنى للفحم، مما يعزز من خصوصية التربة ويزيد من توفر العناصر المغذية للنباتات. وتفق هذه النتائج مع العديد من الدراسات التي تشير إلى أن الفحم الحيوى، خصوصاً عند تحضيره من مصادر نباتية غنية يمكن أن يكون مصدراً للعناصر الغذائية، مما يساعد في تحسين التوازن الأيوني في التربة الرملية الفقيرة.

كما اخفيض تركيز الصوديوم بشكل ملحوظ مع إضافة الفحم الحيوى؛ إذ سجلت أعلى قيمة في معاملة الشاهد T_0 ، في حين اخفيضت القيم في جميع المعاملات المضافة بالفحى الحيوى، وسجلت أدنى قيمة عند المعاملة (30) %30، مما يدل على دور الفحم الحيوى في إدماص الصوديوم أو دخوله في التبادل الأيوني داخل بنية المسامية (Yang et al., 2024) (الذى أشار إلى ادماص ايون الصوديوم ، حيث أظهر كل من الفحم الحراري المستخرج من قش القمح (3.95-4.94 ملجم/جم Na^+) والفحى الحراري المستخرج من رقاق خشب الحور (0.62-0.70 ملجم/جم Na^+) مما يشير إلى إطلاق وادماص ايون الصوديوم على التوالي. كما لوحظ اخفيض عام في تركيز البوتاسيوم مقارنة بالشاهد، خاصة عند التركيز المنخفضة مما يشير إلى أن الفحم الحيوى في الاضافات المنخفضة قد يكون قد ادماص البوتاسيوم أو ارتبط به داخل بنية المسامية، مما قلل من تركيزه، مع ارتفاع نسبي محدود عند المعاملتين 4 و T_5 ، مما يشير إلى أن الفحم الحيوى، خصوصاً في التركيز العالى، قد يسهم في تحرير جزء من البوتاسيوم المرتبط بالرماد المعدنى أو من خلال التبادل الأيوني وهذا يتوافق مع (Zhao et al., 2014)

اما بالنسبة للإيجيونات السالبة (الإيجيونات)، فقد بلغ أعلى تركيز لأيون الكلوريد في معاملة الشاهد وهو meq/l 130 ، وهي قيمة مرتفعة تعكس ملوحة عالية في التربة الرملية غير المزروعة، مما يُعد مؤشراً سلبياً على جودة التربة ، بينما أدى إضافة الفحم الحيوى إلى اخفيض ملحوظ في تركيزه، وسجلت أعلى قيمة عند المعاملة (30) T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى على تقليل الإيجياد الملحي وتحسين جودة التربة كما ازداد تركيز الكبريتات تدريجياً مع زيادة نسبة الفحم الحيوى مما يدل على أن التركيز المنخفضة والمتوسطة من الفحم الحيوى تسهم في تحسين محتوى الكبريتات في التربة. و هذا يتوافق مع (Zhao and Zhang, 2021) اللذين

نحو فقيرة، كما تشير النتائج الى ان الوزن الجاف للجذور فقط يساوى 0.40 جم مما يشير الى ان النبات اتجه الى دعم نمو المجموع الجذري أكثر من النمو المجموع الخضري لتعويض نقص العناصر والماء في التربة وهذا يفسر قلة عدد الأوراق (جدول 4) وهذا يتفق مع دراسة (Bakhoun et al., 2022) . اما المعاملة T_1 -2 % فقد كانت محفزة لنمو النبات حيث بلغ طول الجزء الخضري 32.5 سم كما بلغ عدد الأوراق 13 ورقة ما يدل على تحسين كبير في النمو الخضري والبناء الضوئي للنباتات حيث كان الوزن الكلى الجاف 1.16 جم وكان الوزن الجاف للجزء الخضري 0.71 جم مما يدل الى ان النمو في الجزء الخضري كان أكبر من النمو في الجزء الجذري عند هذه المعاملة مما يشير الى ان المعاملة T_1 -2 % يدعم نمو أفضلي للجزء الخضري و يرفع معدل انتاج الكتلة الحيوية. اما بالنسبة T_2 فقد لوحظ اخفيض في طول الجذور مقارنة بمعاملة الشاهد مع زيادة الطول الخضري اما بالنسبة لمتوسط عدد الأوراق بلغ 13 ورقة وهو مساوى لعددها في المعاملة T_1 -2 %، اما بالنسبة للوزن الكلى الجاف 0.71 جم وهذا يعتبر مؤشراً مهماً على قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية. و عند المعاملة T_3 %8 فان النتائج تظهر ان النمو الخضري والجذري متوازن أكثر ، متوسط عدد الأوراق فكان اقل ويساوي 11 ورقة ، اما عند المعاملة T_4 %15 فان متوسط طول النباتات كان 18.1 سم و طول الجزء الجذري 9.33 سم و متوسط الوزن الجاف 0.655 جم. بينما في المعاملة T_5 %30 كان متوسط طول النبات 19.25 سم اما متوسط طول الجزء الجذري فكان 13.56 سم اما متوسط الوزن الجاف بلغ 0.783 جم.

ان نتائج الدراسة الحالية تشير الى أن استخدام الفحم النباتي ينتسب معتدلة يمثل استراتيجية فعالة لتحسين خصوبة التربة الرملية وتعزيز نمو النباتات في البيئات الجافة. وتفق النتائج مع ما توصلت إليه (Egamberdieva et. al., 2020) ، أن إضافة الفحم الحيوى المصنوع من النزرة بتركيزين 4% و 6% أدت إلى تحسين نمو نبات الفول العريض (*Vicia faba L.*) سواء في ظروف الري أو الجفاف. فقد زادت الكتلة الجافة للجذور والساق بشكل ملحوظ عند إضافة الفحم الحيوى. وأيضاً إلى ما توصلت إليه (Egamberdieva et. al., 2016) الذي وجد أن نباتات فول الصويا المزروعة في تربة معدلة بفحم الميبروكوري (2%) تعطي أفضلي انتاجية. وكذلك تتفق مع ما وجد (Huynh et al., 2021) الذي وجد ان نباتات المزروع في تربة محشنة بالفحى تكون أكثر ارتفاعاً بمعدل 63% إلى 21% ، كما وجد انماذات مخصوصاً أعلى بنسبة 81% إلى 16% مقارنة بالنباتات المزروعة في التربة الغير معاملة.

جدول 1 يبين تأثير معاملات الفحم الحيوى على المؤشرات الحيوية لنمو نبات الفول (*Vicia faba L.*)

معاملات إضافة الفحم %						المؤشرات الحيوية للنبات	
30	15	8	4	2	شاهد	طول الجزء الجذري	سم
13.56	9.33	12.50	10.00	17.50	19.00	19.00	سم
19.25	18.10	19.00	23.00	32.50	19.50	19.50	سم
29.50	30.41	31.50	33.00	50.00	38.50	38.50	سم
14.00	12.00	11.00	13.00	13.00	5.00	5.00	عدد الأوراق
0.79	1.43	1.50	1.54	2.93	0.57	0.57	وزن جذر رطب
3.05	2.59	1.49	2.26	4.68	0.58	0.58	وزن الأخرس رطب
4.14	4.02	2.99	3.80	7.61	1.15	1.15	وزن الكامل رطب
0.38	0.28	0.27	0.22	0.45	0.40	0.40	وزن جذر جاف
0.41	0.38	0.34	0.49	0.71	0.29	0.29	وزن الخضري جاف
0.78	0.66	0.60	0.71	1.16	0.69	0.69	وزن الكامل جاف

96.02	66.9	18.7	63.6	68	51	$\mu\text{g P/g soil}$	P
27.8	15.4	7.4	4.6	1.4	1.8	(%)	OM
5.29	1.30	1.23	1.23	1.1	5.50	(meq/100g)	CEC

تأثير الفحم الحيوى على الخصائص الكيميائية والفيزيائية للترىة المرزوعة:

أظهرت نتائج الدراسة (الجدول 6) أن إضافة الفحم الحيوى حسنت الخصائص الفيزيائية والكيميائية للترىة المرزوعة بشكل واضح عند زيادة نسبة إضافة الفحم الحيوى. فقد بلغت أعلى قيمة للسعة الخلقية 43% عند المعاملة T_5 مقارنة بالشاهد T_0 30%. الذي سجل 9%، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى على تحسين الاحفاظ بالماء بفضل مساميته العالية وهذا يتواافق مع (Premalatha et al., 2023). كما لوحظ انخفاض قيمة الكثافة الحقيقة إلى 1.25 g/cm^3 عند المعاملة T_5 مقارنة بـ 3.33 g/cm^3 في معاملة الشاهد T_0 ، مما يشير إلى زيادة المسامية وخفيف الترثي، في حين تراوح pH بين 6.26–6.26 مقابلاً T_0 الشاهد. إن نتائج هذه الدراسة تبيّن تأثير الفحم الحيوى على خصائص الترثي المعاملة ، حيث أن الإيصالية الكهربائية EC انخفضت بشكل ملحوظ من 5.32 mS/cm في معاملة الشاهد T_0 إلى 1.59 mS/cm في المعاملات المنخفضة والمتوسطة، مما يدل على دور الفحم الحيوى في تقليل الملوحة والحد من إجهاد الصوديوم على النباتات.

هذه النتائج تتماشى إلى حد كبير مع ما ذكره (Premalatha et al., 2023) الذين أشاروا إلى أن إضافة الفحم إلى الترثي ترفع قيم المسامية وتقلل من قيم الكثافة الحقيقة بفضل الطبيعة شديدة المسامية للفحم الحيوى، مما يحسن الاحفاظ بالماء والحركة الميكانيكية للترثي.

بالنسبة للإيونات الموجبة (الاكتيونات)، فقد سجل الكالسيوم أعلى قيمة عند المعاملتين T_5 ، T_4 مقارنة بالشاهد T_0 5.98 meq/l (24.7–25.5) بينما ارتفع المغسيوم من 5.13 meq/l في T_0 إلى 18.2 meq/l عند T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى على تعزيز توفر العناصر الغذائية. (Ekuya et al., 2022). الصوديوم انخفض من 7.09 meq/l في T_0 إلى 4.10 meq/l (4.37–6.95) عند T_1 – T_2 – T_3 ، ثم ارتفع عند المعاملات العالية T_4 ، T_5 9.01 meq/l (9.01–9.19) مما يعكس إعادة توزيع الصوديوم عبر الامتصاص أو التبادل الأيوني. أما البوتاسيوم فقد ارتفع في المعاملات العالية T_4 ، T_5 (0.42–0.32) meq/l مقارنة بالشاهد (0.28) meq/l (Nastaran et al., 2020).

أما الإيونات السالبة (الأكتيونات)، فقد انخفض الكلوريد من 25.2 meq/l في الشاهد T_0 إلى 8.4 meq/l (9.8–16.7) في كل من المعاملات T_1 – T_2 – T_3 ، بينما بلغ 23.8 meq/l في كل من المعاملتين T_4 ، T_5 مما يدل على قدرة الفحم الحيوى على تحسين بيئة الجذور النباتات. كما تراوحت تركيز الكبريتات من 0.14 meq/l في معاملة الشاهد T_0 إلى 0.89 meq/l في كل من المعاملتين T_4 و T_5 ، مما يعكس تأثير الفحم الحيوى على تحسين توفر الكبريتات في الترثي المعاملة . لم تُسجل كربونات حرة، بينما تراوحت الكربونات بين $(1.6–0.8) \text{ meq/l}$ في المعاملات المنخفضة والمتوسطة وكانت $(2–2.4) \text{ meq/l}$ عند المعاملتين T_4 و T_5 ، مما يشير إلى تعديل التفاعل الكيميائي للترثي (Li et al., 2022) (Dong et al., 2018).

إن النتائج تشير إلى ارتفاع تركيز الفوسفور تدريجياً من $42 \text{ } \mu\text{g P/g soil}$ في معاملة الشاهد T_0 إلى $282 \text{ } \mu\text{g P/g soil}$ عند المعاملة T_5 وذلك بالتوالي مع زيادة المادة العضوية من 62% إلى 25.4% عند T_5 ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى على تعزيز المخصوصة

يبينوا ان الاستخدام المشترك للفحم الحيوى والكربونات بكميات مناسبة يحسن من نمو النبات ويوفر الكبريت في الترثي الجزئية ، و حيث سُجلت أعلى قيمة عند المعاملة (15%) T_4 ، قبل أن تنخفض نسبياً عند T_5 ، ويعزى ذلك إلى مساهمة الرماد المعدني وتعزيز النشاط الميكروبي (Zhao and Zhang, 2021).

بالمقابل لم تسجل تركيزات للكربونات (CO_3^{2-}) في جميع المعاملات، وهو أمر متوقع في الترثي ذات التفاعل المتعادل إلى الحمضى. في المقابل، انخفض تركيز البيكربونات عند التركيز المنخفضة والمتوسطة من الفحم الحيوى، ثم ارتفع عند أعلى نسب الإضافة T_4 و T_5 ، مما يدل على تأثير الفحم الحيوى في ديناميكية الكربون غير العضوي وتعديل تفاعل الترثي وهو ما يتوافق مع (Li et al., 2022) ، ان هذه النتائج تشير إلى أن الفحم الحيوى لم يؤدي إلى تراكم كربونات في الترثي، لكنه أثر بشكل ملحوظ على ديناميكية البيكربونات و خاصة عند التركيز العالى، مما قد يكون له دور في تعديل تفاعل الترثي وتحسين قابليتها لتبادل العناصر الغذائية. وهذا يتفق مع ما توصل إليه (Dong et al., 2018) . أن معدلات تطبيق الفحم الحيوى ارتبطت ارتباطاً إيجابياً بمحنوى الكربون غير العضوي في الترثي. وباستخدام طريقة نظائر الكربون ^{13}C المستقرة، وجد أن الفحم الحيوى يزيد من تكوين الكربون غير العضوي المولود للترثي وليس من خلال الحفاظ على الكربون القديم فقط . كما أظهرت النتائج ارتفاعاً تدريجياً في تركيز الفوسفور مع زيادة نسبة الفحم الحيوى المضاف ، حيث ارتفع من $51 \text{ } \mu\text{g P/g soil}$ في معاملة الشاهد T_0 إلى $96.02 \text{ } \mu\text{g P/g soil}$ عند المعاملة T_5 ، وهذا الارتفاع في التركيز كان بالتوالي مع ارتفاع الماده العضوية للترثي التي ارتفعت من 1.4% إلى 27.8% ، مما يعكس قدرة الفحم الحيوى على الاحفاظ بالفوسفور وتنقیل فقاده إلى ارتفاع في التركيز يعكس قدرة الفحم الحيوى على الاحفاظ بالعناصر الغذائية وتنقیل فقاده إلى ارتفاع في التركيز أو الترسوب العميق، كما يعزز من توفر واتاحة الفوسفور للنباتات مستقلاً وتعزيز خصوبة الترثي (Glaser and Lehr, 2019)

ان نتائج الدراسة تشير إلى تباين قيم السعة التبادلية الكاتيونية في الترثي (CEC) ، إذ سُجلت أعلى قيمة في معاملة الشاهد T_0 ، بينما انخفضت عند الإضافة المنخفضة ثم ارتفعت قيمتها عند المعاملة T_5 وهو ما يتوافق مع (Antonangelo et al., 2024) ، الذين أشاروا إلى أن الفحم الحيوى يؤثر بشكل كبير على السعة التبادلية الكاتيونية للترثي اعتماداً على خصائصه مثل الرماد، مساحة السطح، والمحنوى المعدنى. كما اثنا تواافق مع (Basso et al., 2012) (Zhao et al., 2014) الذين أشاروا إلى أن الفحم الحيوى يمكن أن ينخفض بنسبة 10% ، مما يعكس تأثيره على ديناميكيات العناصر الغذائية وتحسين خصوبة الترثي.

جدول 2 خصائص الفيزيوكيميائية للترثي الغير ممزوجة

المعاملات %						الوحدة	الخاصية
30	15	8	4	2	شاهد		
46.00	33.0	12.00	9.00	8.00	8.00	(%)	FC
4.16	6.40	4.09	4.00	4.38	7.9	(ms)	EC
7.03	6.17	6.23	6.44	7.10	5.86		pH
1.70	2.00	2.00	2.50	3.30	3.30	g/cm^3	ps
24.7	24.4	13.60	14.70	12.70	8.7	meq/l	Ca^{2+}
12.2	13.0	3.55	3.15	4.73	2.36	meq/l	Mg^{2+}
4.28	6.95	5.71	4.63	6.60	22.6	meq/l	Na^+
0.15	0.19	0.10	0.06	0.09	1.89	meq/l	K^+
10.0	22.0	15.00	15.40	21.00	130.00	meq/l	Cl^-
1.09	1.35	0.93	0.83	0.58	0.12	meq/l	SO_4^{2-}
0	0	0	0	0	0	meq/l	CO_3^{2-}
3	2	1.4	1.4	1.8	2	meq/l	HCO_3^-

المراجع:

وتوافر العناصر الغذائية للنباتات (Khan et al., 2019) (Glaser & Lehr, 2019) (2023).

شور، ع.، & الصاباغ، أ. (2007). طرق تحليل تربة المناطق الجافة وشبكة الجافة. الجامعة الأميركية في بيروت، لبنان- reference.blogspot.com/2015/01/blog-post_37.html

Aboelela, D., Saleh, H., Attia, A. M., Elhenawy, Y., Majoz, T., & Bassyouni, M. (2023). Recent advances in biomass pyrolysis processes for bioenergy production: Optimization of operating conditions. *Sustainability*, 15(14), 11238. <https://doi.org/10.3390/su151411238>

Alghamdi, A. G. (2018). Biochar as a potential soil additive for improving soil physical properties—a review. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(24).

Al-Siriti, S. M., Alsbani, A. A., & Mohammed, N. (2025). A study of the effect of soaking faba bean seeds in several treatments on germination, some morphological and physiological growth characteristics, and their tolerance to salt stress. *AlQalam Journal of Medical and Applied Sciences*, 38-52. <https://doi.org/10.54361/ajmas.253s06>

American Public Health Association. (1975). Standard methods for the examination of water and wastewater (12th ed.). New York, NY: Author.

Antonangelo, J. A., Culman, S., & Zhang, H. (2024). Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1371777>

AOAC. (1975). Official methods of analysis (12th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical ChemistsBakhoum, G., Gehan, A. A., & Sadak, M. (2022). Biochemical study of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars under different water regimes in sandy soil. *Egyptian Journal of Chemistry*, 0(0), 0. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2022.117184.5288>

Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., & Westgate, M. (2012). Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5(2), 132–143. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12026>.

Dong, X., Singh, B. P., Li, G., Lin, Q., & Zhao, X. (2018). Biochar increased field soil inorganic carbon content five years after application. *Soil and Tillage Research*, 186, 36–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.013>

Egamberdieva, D., Wirth, S., Behrendt, U., Abd_Allah, E. F., & Berg, G. (2016). Biochar treatment resulted in a combined effect on soybean growth promotion and a shift in plant growth promoting rhizobacteria. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00209>

أما السعة التبادلية الكاتيونية CEC، فقد تغير بشكل غير خطى؛ فكانت T_0 (5.1 meq /100g) عند الإضافات المخفضة (2-4%) T_1-T_2 ، ثم انخفضت عند التراكيز المتوسطة (8-15%) T_3-T_4 إلى 1.1 meq /100g، مما يعكس تأثير خصائص الفحم الحيوى مثل الرماد، مساحة السطح والمحنوى المعدنى على CEC وأيضاً لم تؤد إضافة 3-6% من الفحم الخشبي الصلب إلى التربة الرملية إلى أي تغير ملحوظ في CEC وهذا يتفق مع (Zhao et al., 2012) (Basso et al., 2014)

جدول 3 الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة المزروعة

%30	%15	%8	%4	%2	شاهد	الوحدة	الخاصية
43.00	26.00	15.00	15.00	11.00	9.00	(%)	FC
6.30	5.66	1.75	3.11	1.59	5.32	(ms)	EC
6.72	6.60	6.26	6.30	7.02	6.29	/	pH
1.25	2.00	2.50	2.50	2.50	3.33	g/cm ³	ρs
24.70	25.50	8.70	11.20	5.59	5.98	meq/l	Ca ²⁺
18.20	11.80	2.36	3.55	2.36	5.13	meq/l	Mg ²⁺
9.19	9.01	4.37	6.95	4.10	7.09	meq/l	Na ⁺
0.32	0.42	0.11	0.20	0.09	0.28	meq/l	K ⁺
23.80	23.80	8.40	16.70	9.80	25.20	meq/l	Cl ⁻
0.69	0.89	0.16	0.18	0.14	0.14	meq/l	SO ₄ ²⁻
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	meq/l	CO ₃ ²⁻
2.40	2.00	0.80	1.60	1.20	1.60	meq/l	HCO ₃ ⁻
282.20	87.80	80.30	72.10	54.70	42.00	μg P / g soil	P
25.40	13.00	7.60	5.00	3.20	2.00	(%)	OM
13.00	1.10	1.10	5.10	5.10	6.00	(meq/100g)	CEC

الخلاصة

أظهرت هذه الدراسة أن تطبيق الفحم الحيوى يمكن أن يعزز بشكل كبير الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة الصحراوية ويعزز نمو النباتات في البيئات الجافة. وفقاً للنتائج، فإن الكمييات المعتدلة من الفحم الحيوى هي الأفضل لتحسين خصوبة التربة واحتباس الماء دون أن يكون لها تأثير سلبي. نتيجة لذلك، يعتبر الفحم الحيوى مكملاً مفيداً ومستداماً لزيادة الإنتاج الزراعي وجودة التربة في المناطق الجافة.

الشكر وتقدير

الشكر موصول إلى كل من مديد المساعدة لإنجاز هذا البحث، والله ولي التوفيق. ولا يوجد تعارض مصالح.

- fields in northeast China. *BioResources*, 17(4), 5936–5957. <https://doi.org/10.15376/biores.17.4.5936-5957>
- Nadarajah, K., Asharp, T., & Jeganathan, Y. (2024). Biochar from waste biomass, its fundamentals, engineering aspects, and potential applications: an overview. *Water Science & Technology*, 89(5), 1211–1239. <https://doi.org/10.2166/wst.2024.051>
- Pandian, K., Vijayakumar, S., Mustaffa, M. R. a. F., Subramanian, P., & Chitraputhirapillai, S. (2024). Biochar – a sustainable soil conditioner for improving soil health, crop production and environment under changing climate: a review. *Frontiers in Soil Science*, 4.. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1376159>
- Premalatha, R. P., Bindu, J. P., Nivetha, E., Malarvizhi, P., Manorama, K., Parameswari, E., & Davamani, V. (2023). A review on biochar's effect on soil properties and crop growth. *Frontiers in Energy Research*, 11. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1092637>
- Shoudho, K. N., Khan, T. H., Ara, U. R., Khan, M. R., Shawon, Z. B. Z., & Hoque, M. E. (2024). Biochar in global carbon cycle: Towards sustainable development goals. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 100409. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100409>
- Yang, K., Jing, W., Wang, J., Zhang, K., Li, Y., Xia, M., Zhang, K., & Mao, J. (2024). Structure–Activity mechanism of sodium ion adsorption and release behaviors in biochar. *Agriculture*, 14(8), 1246. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081246>
- Zhang, H., & Wang, J. J. (2014). Loss on ignition method. In *Soil test methods from the southeastern United States* (pp. 155–157).
- Zhao, B., & Zhang, T. (2021). Effects of biochar and sulfate Amendment on plant physiological characteristics, soil properties and sulfur phytoavailability of corn in calcids soil. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(3), 2917–2925. <https://doi.org/10.15244/pjoes/129690>
- Zhao, R., Coles, N., Kong, Z., & Wu, J. (2014). Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions. *Soil and Tillage Research*, 146, 133–138. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.10.014>
- Egamberdieva, D., Zoghi, Z., Nazarov, K., Wirth, S., & Bellingrath-Kimura, S. D. (2020). Plant growth response of broad bean (*Vicia faba* L.) to biochar amendment of loamy sand soil under irrigated and drought conditions. *Environmental Sustainability*, 3(3), 319–324. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00116-y>
- Ekuya, A. L., Luta, J. N., Mande, I. K., & Mbe-Mpie, P. M. (2022). Physico-chemical characteristics of the biochars of *Acacia* sp, *Bambusa* sp, *Eichhornia* crassipes and *Hymenocardia* acida. *Journal of Applied Biosciences*, 170, 17680–17689. <https://doi.org/10.35759/jabs.170.2>
- Glaser, B., & Lehr, V. (2019). Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>
- Huynh, B. P. K., Van Nguyen, T., & Tran, V. M. (2021). THE CHANGE OF SANDY SOIL PROPERTIES AFTER ADDING CHARCOAL PRODUCED FROM a TRADITIONAL KILN IN THE MEKONG DELTA, VIET NAM. *Scientific Journal of Tra Vinh University*, 1(42), 109–115. <https://doi.org/10.35382/18594816.1.42.2021.698>
- Kaur, H., Prince, D., Kaushal, S., & Shubham. (2024). Effectiveness of Soil-amended Biochar in Improving Crop Production, Soil Health and Environmental Aspects. *Asian Research Journal of Agriculture*, 17(2), 284–293. <https://doi.org/10.9734/arja/2024/v17i2449>
- Khan, M. A., Salman, A. Z., & Khan, S. T. (2023). Indigenously produced biochar retains fertility in sandy soil through unique microbial diversity sustenance: a step toward the circular economy. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1158784>
- Khan, S., Irshad, S., Mehmood, K., Hasnain, Z., Nawaz, M., Rais, A., Gul, S., Wahid, M. A., Hashem, A., Abd_Allah, E. F., & Ibrar, D. (2024b). Biochar production and characteristics, its impacts on soil health, crop production, and yield enhancement: a review. *Plants*, 13(2), 166. <https://doi.org/10.3390/plants13020166>
- Li, X., Che, W., Piao, J., Li, X., Jin, F., Yao, T., Li, P., Wang, W., Tan, T., & Shao, X. (2022). Peanut shell biochar's effect on soil physicochemical properties and salt concentration in highly saline-sodic paddy