تأثير التكامل بين الفحم الحيوي (Biochar) والتسميد المعدني في إنتاج القمح ونسبة البروتين في الحبوب

د. علي زيدان*

د. عمر ابراهيم جزدان **

علي محمد حيدر ***

(تاريخ الإيداع 24 / 2 / 2021. قبل للنشر في 6 / 7 / 2021)

□ ملخّص □

نفذ هذا البحث في محطة بحوث (اكساد)، في منطقة خربة التين – محافظة حمص، وهو عبارة عن تجربة حقلية، تتكون من (12) معاملة، ناتجة عن التداخل بين ثلاث مستويات (0، 1/2، 1) من المعادلة السمادية المعتمدة لمحصول القمح، وأربع مستويات من الفحم الحيوي لبقايا عصر ثمار الزيتون (0، 1، 2، 4%) على أساس وزن التربة في الطبقة السطحية بعمق (15 سم)، حيث زرعت بمحصول القمح القاسي صنف (اكساد 1105)، وتم الحصاد في حزيران 2020. قدر الانتاج من الحبوب ونسبة البروتين فيها، ثم حسبت الكفاءة التسميدية (FUE) والكفاءة الانتاجية للفحم الحيوي (BPE).

أظهرت النتائج أن الإضافات المنفردة لكل من الأسمدة المعدنية والفحم الحيوي أدت إلى زيادة المحصول الحبي ونسبة البروتين في الحبوب بدرجة عالية المعنوية (***)، كما أظهرت النتائج أيضا أن (FUE) (كغ حب/كغ سماد)، قد ارتفعت بشكل معنوي بوجود الفحم الحيوي في التربة الى جانب التسميد المعدني، حيث ارتفع الإنتاج الحبّي في المعاملة (F_1) بحدود (79.7%) بوجود الفحم الحيوي. وبحدود (19.2 و 4.4%) في المعاملة (F_2).

وحققت الـ (BPE) تأثيرا إيجابيا في زيادة الانتاج الحبي بوجود التسميد المعدني عند المستويين (F_2, F_1) بحدود (0.366 – 1.1 طن هـ−1) مقارنة بالشاهد (F0B0).

الكلمات المفتاحية: الفحم الحيوي، التسميد المعدني، القمح، نسبة البروتين، الكفاءة التسميدية، الكفاءة الإنتاجية

* أستاذ – قسم علوم التربة والمياه–كلية الزراعة–جامعة تشرين– اللاذقية– zidannet13@yahoo.com

** باحث لدى المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) – omarj62@hotmail.com

*** طالب دكتوراه في قسم علوم التربة والمياه–كلية الزراعة–جامعة تشرين– اللاذقية – ali-haider90@hotmail.com

The effect of integration between biochar and mineral fertilization on wheat yield and protein content in seeds.

Dr. Ali Zidan*
Dr. omar juzdan **
Ali Hider***

(Received 24 / 2 / 2021. Accepted 6 / 7 /2021)

□ ABSTRACT □

This research was carried out at (ACSAD) research station in the Khirbet al-Tin area - Homs Governorate, and is a field experiment consisting of (12) treatments, resulting from the overlap between three levels (0, 1/2 and 1) of the fertilizer formula adopted for wheat crop, and four levels of biochar of olive mill residues (0, 1, 2 and 4%), based on the weight of the soil, in the surface layer with a depth of (15 cm), where it was sown with durum wheat seeds, variety (ACSAD 1105), the harvest took place in June 2020. The yield production of grains and protein content, were estimated, then the Fertilizer Use Efficiency (FUE), and (Biochar Productivity Efficiency (BPE) were calculated.

The results showed that the individual additions according to the stated levels of the mineral fertilizers and the biochar, led to an increase in the grain yield and protein content with a high degree of significance (***). Also, (FUE) in terms of seeds production (kg seeds/kg fert), increased significantly with the increase in the levels of biochar about (79.7%) at (F_1) level, and (19.2 or 4.4%), at (F_2) level of miniral fertilization.

(BPE) also, achieved an extra yield of (0.366 - 1.1 tons h-1) in presence of the mineral fertilization at (F_1 and F_2) levels, comparative with the control (F_0 B_0).

Key words: biochar, mineral fertilization, wheat, protein content, fertilizer use efficiency, productivity efficiency.

***Prof. soil fertility & plant nutrition, Faculty of Agriculture, Tishreen University- zidannet13@yahoo.com.**

****Researcher , Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD) - omarj62@hotmail.com .**

*****Ph.D student, Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Tishreen University- ali-haider90@hotmail.com.**

مقدمة

تنتشر ظاهرة تدهور الترب في معظم دول العالم، بمعدلات مرتفعة، وهي مترافقة غالباً مع تأثيرات سلبية على خصائص النظام البيئي للتربة، ويظهر تأثير ذلك على شكل تراجع في إنتاجية الأراضي المتأثرة بالتدهور بالرغم من الاستخدام المكثف للكيماويات الزراعية على مستوى العالم، فضلا عن الآثار السلبية على البيئة والموارد المائية والأرضية.

ازداد مؤخراً، الاهتمام بالنظم الزراعية في منطقة حوض البحر الأبيض المتوسط، حيث الترب فقيرة بالمادة العضوية بشكل عام، مما يحد من خصوبتها، وساهم تكثيف الأنشطة الزراعية، في تسريع عمليات التدهور وفقدان الخصوبة، وبالتالي زيادة تكاليف الإنتاج لتعويض الخصوبة المتراجعة والحفاظ على إنتاجية التربة واستدامتها. (Pascual, *et al*,. 1999).

وجدت العديد من الدراسات أن الفحم الحيوي (Biochar) قادر على لعب دوراً رئيسياً في الإدارة المستدامة للتربة من خلال الإدارة الأفضل للعمليات الزراعية، لتحسين إنتاجيتها وخصوبتها ومردودية المحاصيل (Atkinson, *et al*,. 2010; Stavi and Lal,. 2013).

كما أنه قادر على خفض التأثيرات السلبية على الموارد الطبيعية والبيئة، كالحد من انبعاثات غازات الدفيئة، وزيادة تثبيت أو عزل الكربون في التربة.

يعرّف الفحم الحيوي (Biochar) بأنّه مادة حبيبية، غنية بالكربون، ذو مسامية عالية، يتم إنتاجه عن طريق ما يسمى "التحلل الحراري" (Pyrolysis) للمواد العضوية (كالخشب والروث وبقايا المحاصيل) في درجات حرارة (400–700م°)، وفي ظروف معدومة أو قليلة الأوكسجين.

يتم تحديد الآثار المفيدة لـ biochar في المقام الأول من بعض خواصه الفيزيائية والكيميائية، كالمسامية العالية المسؤولة عن القدرة على الاحتفاظ بالماء، وسعة التبادل الايونية العالية، لاحتوائها على سطوح الادمصاص الكاتيونية (CEC) والأنيونية (AEC)، مما يجعله مستودعا للعناصر الغذائية ويخفف إلى حد كبير من انغسال الأسمدة المعدنية والشوارد الموجبة والسالبة خارج مستوى الجذور ونحو المياه الجوفية، مما يعزز الاحتفاظ بالمغذيات ويمنع خسارتها، إضافة إلى الاتاحة المباشر للمغذيات، والقدرة على أن يكون بيئة حاضنة ومفيدة لنشاطات الكائنات الحية الدقيقة، التي يمكن أن تعزز إتاحة وامتصاص العناصر الغذائية للنباتات (Sohi, *et al*,. 2010).

وجد (Dias, *et al*,. 2009) و (Hua, *et al*,. 2009) أن تطبيق الفحم الحيوي مع أسمدة أخرى يزيد فعاليتها وكفاءة استخدامها ويقلل من خسارة الآزوت من التربة، تأكيدا لما وجده (Chan, *et al*,. 2007)، حول قدرة الفحم الحيوي على زيادة فعالية الأسمدة الآزوتية في تربة مزروعة بنبات الفجل. وفي دراسة لـ (Hmid, *et al*,. 2014) في ايطاليا، أظهرت أن الفحم الحيوي لبقايا عصر الزيتون المضاف للتربة ساهم في زيادة نسبة البروتين في ثمار الفاصولياء المزروعة في هذه التربة، وزاد من نشاط أحياء التربة الدقيقة ومن نشاط ديدان الأرض.

أظهرت الكثير من الدراسات والبحوث العلمية أن إضافة الفحم الحيوي biochar للتربة يمكن أن يعزز نمو النبات وفق آليتين: إما بشكل مباشر من خلال المساهمة في توفير المغذيات المعدنية في التربة، مثل Ca و Mg و P

و K و S وغيرها، أو بشكل غير مباشرة من خلال تحسين خواص التربة الفيزيائية، والكيميائية والحيوية (Cheng Enders *et al*., 2012; *et al*., 2012).

وجد (Atkinson, *et al*,. 2010)، أن خلط الفحم الحيوي مع التربة يؤثر إيجاباً في بنيتها، وملمسها، ومساميتها، وكثافتها الظاهرية. وإن الميزة الفيزيائية الرئيسية للفحم الحيوي هي هيكله المسامي ومساحة سطوح جزيئاته الكبيرة حيث يُظهر تركيبه الجزيئي درجة عالية من الاستقرار الكيميائي والميكروبي، حيث أن هذه البنية يمكن أن توفر بيئة مناسبة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة مثل الميكورايزا والبكتيريا، وتؤثر على ارتباط الكاتيونات والأنيونات المغذية حيث يعزز هذا الربط توافر عناصر معدنية كالآزوت والفوسفور وتشمل التغيرات الأخرى في التربة كدرجة الـ pH، والتوصيل الكهربائي (EC) وسعة التبادل الكاتيونية (CEC)، وقد تبين أن انغسال النترات قد انخفض أيضاً، إلى جانب انخفاض انبعاثات أكسيد النيتروز في التربة.

كما وجد (Gong, *et al*,. 2017)، أن إضافة الفحم الحيوي للتربة، زاد من ادمصاص شوارد الفوسفات والنترات (PO_4^{-3} و NO_3^-)، وقلل من انغسال هذه الشوارد واعتبر ذلك حلاً معقولاً لمشكلة الإثراء الغذائي. وفي دراسة أجريت على تربة من نوع (Colombian Oxisol) من قبل (Major, *et al*,. 2010)، وجدوا فيها أن الكتلة الحيوية للمجموع الخضري للذرة الصفراء ازدادت بنسبة 189% مع تطبيق الفحم الحيوي بمعدّل 32.2 طن/هـ.

يعتمد معدّل تطبيق الفحم الحيوي على نوع التربة والمحصول، وعلى الرغم من أنه لا يوجد حتى الآن معدّلات دقيقة متفق عليها، إلا أن التجارب والملاحظات اسفرت عن أن تطبيق 5 – 20% من حجم التربة دفعة واحدة أو على دفعات اعطت نتائج إيجابية، كما وجد أن معدلات تطبيق المستويات المنخفضة أعطت نتائج إيجابية أيضا (Glaser, *et al*,. 2002).

ولما كان الفحم الحيوي مقاوما للتحلل الميكروبي والحراري في التربة فإن أثره التراكمي قد يدوم لآلاف السنين، (Cheng, *et al*,. 2008) و (Liang, *et al*,. 2008)، وبالتالي فان أي إضافة سنوية منه للتربة مهما كانت قليلة سيكون لها أثرا تراكمياً بمرور الزمن سيظهر أكثر وضوحاً عندما يتجاوز أرقاما صحيحة كنسبة مئوية في التربة.

أهمية البحث وأهدافه

تأتي أهمية هذا البحث من خلال دراسة دور الفحم الحيوي في زيادة كفاءة استخدام الأسمدة المعدنية من خلال تقليل فقد العناصر المغذية، وتحسين خواص التربة، مما ينعكس إيجابا على الإنتاج من الحبوب ونسبة البروتين، وبالتالي توفير في تكلفة الإنتاج الزراعي وزيادة الربحية فضلا عن الآثار البيئية الإيجابية المرافقة لذلك.

طرائق البحث ومواده

المادة الأولية:

استخدم في هذه الدراسة الفحم الحيوي المحضر من الكتلة الحيوية لمخلفات عصر ثمار الزيتون (العرجوم أو تمز الزيتون) كمادة أولية، باستخدام تقانة محلية عن طريق وضع هذه المخلفات في برميل ذو غطاء مثقب لخروج الأبخرة والغازات وتعريضه لدرجة حرارة بين 400–700 م^{o} بوجود كمية محدودة من الأكسجين. مع الإشارة الى أنه يضاف

للتربة كمحسن لخصائصها الإنتاجية لمرة واحدة خلال قرون من الزمن، وإن اضيف مرة أخرى بأي نسبة، فان أثره التراكمي يشكل قيمة مضافة تمتد لآلاف السنين، نظراً لمقاومته العالية للتحلل (Kuzyakov, *et al*,. 2009).
كما استخدم السماد المعدني المتوفر محلياً (يوريا كمصدر للآزوت بمعدل 150 كغ هـ$^{-1}$ وسوبر فوسفات ثلاثي كمصدر للفوسفور بمعدل 150كغ.هـ$^{-1}$ وسلفات البوتاسيوم كمصدر للبوتاسيوم بمعدل 50 كغ هـ$^{-1}$) وفق المعادلة السمادية المعتمدة لمحصول القمح في حقول أكساد.

موقع تنفيذ البحث:

نفذ هذا البحث في محطة البحوث العلمية للمركز العربي لدراسات الأراضي الجافة والمناطق القاحلة (**أكساد**)، في منطقة خربة التين بريف حمص، حيث مواصفات تربة الموقع مبينة في الجدول(1).

جدول (1): يبين بعض التحاليل الفيزيائية والكيميائية للتربة المدروسة في خربة التين (ريف حمص).

$pH_{5/1}$	8.58	OM %	1.99
$EC_{5\backslash1}$ m.S/cm^3	0.5	كظ غاسم^3	0.88
كلية $CaCO_3$%	49.13	كح غاسم^3	1.96
فعالة $CaCO_3$%	20	المسامية الكلية % (مخبرياً)	54.97
CEC meq/100g-soil	38	السعة الحقلية حجماً %	47.42
القوام	طيني		

تصميم التجربة:

هذا البحث، عبارة عن تجربة حقلية، تتكون من (12) معاملة وثلاث مكررات ناتجة عن التداخل بين ثلاث مستويات من السماد المعدني (**0، $^1/_2$، 1**) من المعادلة السمادية المعتمدة لمحصول القمح في حقول أكساد، وأربع مستويات من الفحم الحيوي (**0، 1، 2، 4%**) على أساس وزن التربة في الطبقة السطحية حتى عمق بحدود (15 سم)، وبالتالي يكون عدد المعاملات (4 × 3 = 12) معاملة، بثلاث مكررات لكل معاملة، مما يجعل عدد القطع التجريبية (12 × 3 = 36)، يبين الجدول (2) توزع المعاملات الفردية والمتداخلة لكل مكرر.

جدول (2): يبين رموز المعاملات وتداخلاتها وتوزعها في كل مكرر.

مستوى السماد المعدني F	مستوى الفحم الحيوي B			
	B_0	B_1	B_2	B_3
F_0	B_0F_0	B_1F_0	B_2F_0	B_3F_0
F_1	B_0F_1	B_1F_1	B_2F_1	B_3F_1
F_2	B_0F_2	B_1F_2	B_2F_2	B_3F_2

حيث:

- **B_0F_0:** (بدون سماد معدني + 0% فحم حيوي) .
- **B_1F_0:** (بدون سماد معدني + 1% فحم حيوي).
- **B_2F_0:** (بدون سماد معدني + 2% فحم حيوي).

- **B_3F_0:** (بدون سماد معدني + 4% فحم حيوي).
- **B_0F_1:** (2/1 المعادلة السمادية سماد معدني + 0% فحم حيوي).
- **B_1F_1:** (2/1 المعادلة السمادية سماد معدني + 1% فحم حيوي).
- **B_2F_1:** (2/1 المعادلة السمادية سماد معدني + 2% فحم حيوي).
- **B_3F_1:** (2/1 المعادلة السمادية سماد معدني + 4% فحم حيوي).
- **B_0F_2:** (كامل المعادلة السمادية سماد معدني + 0% فحم حيوي).
- **B_1F_2:** (كامل المعادلة السمادية سماد معدني + 1% فحم حيوي).
- **B_2F_2:** (كامل المعادلة السمادية سماد معدني + 2% فحم حيوي).
- **B_3F_2:** (كامل المعادلة السمادية سماد معدني + 4% فحم حيوي).

الزراعة والمتابعة:

•تمت حراثة الأرض وتمهيدها وتقسيمها إلى قطع تجريبية بمساحة (12 م^2) لكل قطعة، وتمت إضافة الفحم الحيوي ضمن الكميات المحددة لكل مستوى، وخلطها مع التربة السطحية بعمق (0–15سم)، كما تمت أضافة المعاملات السمادية وفق المعاملات ضمن الكميات المحددة لكل مستوى، وبعد إعطاء رية للمساكب للمساهمة في استقرار التربة وتركين المهد، زرعت بذور القمح القاسي صنف (اكساد 1105) رشاً في كامل المسكبة في (تشرين الثاني 2019)، وغطيت بطبقة من التربة من نفس المسكبة بسماكة حوالي (5 سم)، وتم رش مبيد أعشاب اختياري خلال مرحلة النمو الخضري ضمن القطع التجريبية وفي الممرات. تم الاعتماد على الزراعة البعلية في هذه التجربة وفق ما هو سائد في المنطقة.

• نفذ الحصاد عند تمام النضج واصفرار النباتات في (حزيران 2020)، بعد فصل من النمو قليل الأمطار وفق النشرة المناخية المسجلة في المحطة، وتمت عملية دراسة نواتج الحصاد وفصل الحبوب عن القش، وتسجيل وزن الإنتاج من الحب وتقدير نسبة البروتين في الحبوب الناتجة عن المعاملات المختلفة وتم حساب الكفاءة التسميدية (Fertilizer Use Efficiency, FUE) على أساس (كغ حب\كغ سماد) للمعاملات المختلفة وفق منظمة الفاو (FAO, 2017). على الشكل التالي:

$$FUE = (Y - Y_0)/F$$

حيث أن: (Y) هي محصول المعاملة المسمدة كغ هـ$^{-1}$، (Y_0) هي محصول المعاملة بدون سماد كغ هـ$^{-1}$، (F) هي كمية السماد المضاف كغ هـ$^{-1}$.

كما تم حساب الكفاءة الإنتاجية للفحم الحيوي طن هـ$^{-1}$ (Biochar Productivity Efficiency, BPE)، من المعادلة التالية:

$$BPE = Y_B - Y_{Bo}$$

حيث أن: (Y_B) هي محصول الحب للمعاملة المضاف لها فحم حيوي طن هـ$^{-1}$، و (Y_{Bo}) محصول الحب للمعاملة بدون فحم حيوي طن هـ$^{-1}$.

التحليل الاحصائي:

خضعت نتائج التجربة لتحليل التباين (Two ways ANOVA)، وجرى حساب أقل فرق معنوي (LSD)، عند مستوى معنوية (5%)، لمتوسطات المعاملات وتداخلاتها وذلك باستخدام البرنامج الإحصائي Genstat، الإصدار الثاني عشر (NULL Corporation, 2009).

النتائج والمناقشة

يبين الجدول (3)، تحليل الاختلاف (ANOVA) بين تأثير المعاملات، حيث أن المستويات المختلفة للفحم الحيوي والسماد المعدني وتداخلاتهما أثرت بدرجة عالية من المعنوية (***) في إنتاجية الهكتار من المحصول الحبي للقمح ونسبة البروتين في الحبوب مع ملاحظة أن التداخل بينهما (التأثير المشترك) أيضا، كان له تأثيراً إيجابياً في نسبة البروتين لكنه لم يصل الى درجة المعنوية. أما إضافتهما للتربة سواء بشكل افرادي او مشترك فقد كان لها تأثيراً عالي المعنوية أيضا (***) في الانتاج الحبي ونسبة البروتين فيها.

جدول(3): يبين مستوى المعنوية لتأثير المعاملات المختلفة وفق التحليل الإحصائي وقيمة (F.pr) في انتاج الحبوب ونسبة البروتين فيها.

الصفة	B	F	B x F
وزن الحب طن.هـ$^{-1}$	*** >	*** >	*** >
الـ % للبروتين في الحب	*** >	*** >	NS
كفاءة استخدام السماد FUE كغ حب\كغ سماد	*** >	*** >	*** >
الكفاءة الانتاجية للفحم الحيوي BPE طن.هـ$^{-1}$	*** >	*** >	*** >
درجة المعنوية: غير معنوي = NS, *** = <0.001, ** = <0.01, * = < 0.05			

جدول (4): يبين متوسطات تأثير المعاملات المختلفة في الانتاج من الحب ونسبة البروتين والكفاءة التسميدية والكفاءة الانتاجية للفحم الحيوي.

المعاملة	الحب طن هـ$^{-1}$	البروتين %	الكفاءة التسميدية كغ حب\كغ سماد	الكفاءة الإنتاجية للفحم الحيوي طن هـ$^{-1}$
$F_0 B_0$	0.69 i	8.17 g	0 f	0 g
$F_0 B_1$	0.858 hi	8.33 fg	0 f	0.168 f
F_0B_2	0.914 h	8.72 f	0 f	0.224 ef
F_0B_3	1.282 g	8.88 f	0 f	0.592 bc
F_1B_0	1.294 g	11.07 e	3.45 e	0 g
F_1B_1	1.66 f	11.76 d	4.58 d	0.366 de
F_1B_2	2.009 e	11.74 d	6.26 ab	0.715 b
F_1B_3	2.367 d	12.01 cd	6.20 abc	1.073 a

0 g	5.51 c	12.33 bc	2.617 c	F_2B_0
0.456 cd	6.33 ab	12.56 b	3.073 b	F_2B_1
0.595 bc	6.57 a	12.70 b	3.212 a	F_2B_2
0.675 b	5.75 bc	13.31 a	3.292 a	F_2B_3
0.165	0.741	0.405	0.183	$LSD_{0.05}$

كما يبين الجدول (4)، متوسطات المعاملات المختلفة للمحصول الحبي ونسبة البروتين في الحبوب والكفاءة التسميدية والكفاءة الانتاجية للفحم الحيوي. حيث تظهر النتائج في هذا الجدول تأثير المعاملات المذكورة في تغير الانتاج من الحبوب ونسبة البروتين فيها كما يبين تأثير التسميد المعدني بمستوييه المحددين بنصف المعادلة السمادية وكامل المعادلة السمادية المعتمدة في تربة محطة أكساد المذكورة مع حساب الكفاءة التسميدية (FUE) في انتاج الحبوب (كغ حب\كغ سماد) كمؤشر لدرجة الاستفادة من السماد في الحصول على الإنتاج الأفضل للتسميد بالتداخل مع المستويات المختلفة للفحم الحيوي في التربة، فضلاً عن حساب الكفاءة الإنتاجية للفحم الحيوي (BPE) من الحبوب (طن $هـ^{-1}$) لتحديد القيمة المضافة المحققة باضافته للتربة وتغير ذلك بتغير مستوى الاضافة وفق التالي:

أ- تأثير التكامل بين الفحم الحيوي والسماد المعدني المضاف للتربة في الإنتاج ونسبة البروتين:

يبين الجدول (4)، أن الإضافات المنفردة للفحم الحيوي أوالسماد المعدني للتربة، قد حققت زيادات واضحة في إنتاجية القمح، حيث حقق الفحم الحيوي بالمستوى الأول F_0B_1 الذي يعادل 1% من وزن التربة، زيادة معنوية ملحوظة تعادل (0.168 طن $هـ^{-1}$) وهي تزيد بمقدار (24.35%) مقارنة بإنتاجية الشاهد بدون أي إضافة للفحم الحيوي F_0B_0 (0.69 طن $هـ^{-1}$)، كما حقق المستوى الثاني من الفحم الحيوي F_0B_2 (0.224 طن $هـ^{-1}$)، زيادة في الإنتاج أعلى من المستوى الأول بحوالي (8.12 %) وأعلى من الشاهد بحوالي (32.5 %)، في حين أعطى المستوى الثالث من الفحم الحيوي الذي يعادل 4% من وزن التربة F_0B_3، زيادة في الانتاج بحدود (0.592 طن $هـ^{-1}$) والتي تعادل حوالي (86%) مقارنة بالشاهد بدون أي إضافة للفحم الحيوي. وكذلك أعطت إضافات السماد المعدني المنفردة زيادات معنوية واضحة وكبيرة في إنتاج القمح حيث سجل المستوى الأول F_1B_0 الذي يعادل نصف المعادلة السمادية المعتمدة لتربة محطة أكساد قيمة (1.294 طن.$هـ^{-1}$) بزيادة (87.5 %) عن الشاهد بدون تسميد، وأعطى المستوى الثاني منها الذي يعادل المعادلة السمادية المعتمدة في المعاملة F_2B_0 (2.617 طن $هـ^{-1}$) بزيادة (279.3%) عن الشاهد بدون تسميد.

أما الإضافات المشتركة للفحم والتسميد المعدني معاً فقد أعطت تأثيراً تكاملياً واضحاً لكل منهما، وعزز الفحم الحيوي التأثير الإيجابي للتسميد المعدني على الإنتاج الحبي حيث أن المعاملة F_1B_1 سجلت متوسطاً للإنتاج الحبي قدره (1.66 طن $هـ^{-1}$) بزيادة (140.6%) عن الشاهد، وبزيادة (93.5%) عن المستوى الأول للفحم منفرداً F_0B_1 (0.858 طن $هـ^{-1}$)، وزيادة (32.9%) عن المستوى الأول من السماد المعدني المضاف بشكل منفرد F_1B_0 (1.249طن $هـ^{-1}$)، وحققت معاملة التأثير المشترك للمستويين الأعلى لكل منهما F_2B_2 و F_2B_3 إنتاجا قدره (3.212 و 3.292 طن $هـ^{-1}$) وهما المستويان الأعلى للإنتاجية الحبية بين جميع المعاملات بزيادة سجلت بحدود (366 % و 377%) عن الشاهد وبحدود (251 و 157 %) عن المستويين الثاني والثالث من الفحم الحيوي بمفرده

F_0B_2 و F_0B_3 (0.914 و 1.282 طن هـ$^{-1}$)، و (23 و 26 %) عن المستوى الثاني من السماد المعدني بمفرده F_2B_0 (2.617 طن هـ$^{-1}$).

جاءت هذه النتائج منسجمة مع نتائج (Pandit, *et al.* 2018)، حيث زاد انتاج الكتلة الحيوية للذرة الصفراء بزيادة مستوى الفحم الحيوي في التربة، وجاءت منسجمة أيضاً مع نتائج العديد من الباحثين (Major, *et al*,. 2005) حول دور الفحم الحيوي في التربة في تحسين النمو وزيادة الإنتاج. توافقا مع ما وجده باحثون آخرون مثل (Atkinson, *et al*,. 2010)، الذين أشاروا الى قدرة الفحم الحيوي في تحسين إنتاجية وخصوبة التربة ومردودية المحاصيل المزروعة فيها، توافقا مع نتائج (Akhtar, *et al*., 2015)، و (Metwaly, *et al*., 2020) ، الذين عزو مساهمة الفحم الحيوي في زيادة المحصول الى تحسين ظروف التغذية في التربة من خلال تعزيز اتاحة وامتصاص العناصر الغذائية للنباتات وتأكيدا لما أشارت اليه نتائج أخرى لـ (Cheng, *et al*., 2012) حول دور الفحم الحيوي في تعزيز نمو النبات من خلال تحسين خواص التربة الفيزيائية، والكيميائية والحيوية.

أما بالنسبة لتأثير التكامل بين الفحم الحيوي والسماد المعدني في زيادة نسبة البروتين في القمح فقد أظهر الجدول (3) أن نتائج المعاملات الإفرادية للفحم الحيوي بدون تسميد معدني (F_0B_3 , F_0B_2 , F_0 B_1)، قد أظهرت زيادة تدريجية في نسبة البروتين وصلت الى (8.88%) وبشكل معنوي مقارنة مع الشاهد (F_0 B_0) الذي سجل قيمة (8.17%)، وسجلت المعاملات الإفرادية للتسميد المعدني بدون الفحم الحيوي (F_2B_0, F_1B_0) زيادة عالية المعنوية من (8.17%) في الشاهد الى (11.07% و 12.33%) في المستوبين الأول والثاني وهو فعل متوقع لأن السماد المعدني يؤمن احتياجات النبات من الآزوت اللازم لتصنيع البروتين. في حين أن تأثير التداخل بين معاملات الفحم الحيوي والتسميد المعدني ساهم بشكل معنوي في زيادة نسبة البروتين الى (12.56%) في المستوى (F_2B_1) والى (12.7%) في المستوى (F_2B_2) والى (13.31%) في المستوى (F_2B_3)، وبهذا التزايد التدريجي في نسبة البروتين يظهر الفحم الحيوي قدرة ملفتة في زيادة كفاءة استخدام السماد المعدني.

توافقت هذه النتائج مع نتائج Alburquerque وزملائه (2013)، حيث وجدو أن الفحم الحيوي حقق مع التسميد المعدني زيادة في إنتاج حبوب القمح القاسي بمقدار (20–30 %) مقارنة بالتسميد المعدني لوحده بدون فحم حيوي. وجاءت هذه النتائج متشابهة أيضا مع نتائج دراسة لـ (Hmid, *et al*., 2014)، حول قدرة الفحم الحيوي لبقايا عصر ثمار الزيتون المضاف للتربة في زيادة نسبة البروتين في ثمار الفاصولياء، عزي ذلك من قبل (Gong, *et al*., 2017)، الى مساهمة الفحم الحيوي في ربط العناصر الغذائية ومنع انغسالها من التربة ومنها النترات والفوسفات (PO_4^{-3} و NO_3^-)، مما يعزز استمرار توفرها واتاحتها للنبات وبالتالي المساهمة في تأمين الآزوت الضروري لتشكل البروتين. وهذا ما وجده أيضا (Zhang, *et al*., 2014)، في إنتاج محصول الأرز حيث عمل الفحم الحيوي على توفير إمداد مستمر للنبات بعنصر الآزوت الضروري لتصنيع البروتين.

ب- تأثير إضافة الفحم الحيوي للتربة في كفاءة استخدام السماد المعدني (FUE):

تشير النتائج في الجدول (4) أن كفاءة استخدام السماد المعدني من ناحية الإنتاج الحبي (كغ حب\كغ سماد) قد ارتفعت من (3.45 كغ) في المعاملة (F_1B_0) في المستوى الأول للسماد المعدني بغياب الفحم الحيوي الى (6.2 كغ) في المعاملة (F_1B_3) بزيادة تقدر بـ (79.7%) برفع مستوى الفحم الحيوي الى (B_3) عند نفس المستوى من التسميد المعدني، وكان للفحم الحيوي تأثيراً مشابهاً عند المستوى الثاني للسماد المعدني (F2)، حيث ارتفعت كفاءة استخدام

السماد المعدني من (5.51 كغ) في المعاملة (F_2B_0) بغياب الفحم الحيوي الى (6.57 كغ) و (5.75 كغ) بزيادة تقدر بحدود (19.2 – 4.4%) عند المستويين (B_2 و B_3) للفحم الحيوي في المعاملتين (F_2B_2 و F_2B_3).

تنسجم هذه النتائج مع ما وجده (Dias, *et al.*, 2009) و (Hua, *et al.*, 2009)، الذين أكدوا مساهمة الفحم الحيوي في زيادة فعالية الأسمدة المعدنية ورفع كفاءة استخدامها من خلال تقليل ضياع عناصرها من التربة وخصوصاً الآزوت، توافقاً مع نتائج (Chan, *et al.*, 2007)، و (Amin and Eissa*, et al.*, 2017)، حول دور الفحم الحيوي في زيادة كفاءة الأسمدة الآزوتية في التربة في العملية الإنتاجية. أما (Graber, *et al.*, 2010)، فقد وجدوا أن إضافة الفحم الحيوي إلى الأسمدة المعدنية أدت إلى زيادة نمو النبات بشكل ملحوظ، هذا وقد تم تأكيد الدور التآزري للفحم الحيوي مع الأسمدة المعدنية من قبل (Walter and Rao. 2015)، حيث وجدا أن الاستخدام المشترك لهما في زراعة البطاطا، أدى إلى زيادة إنتاج الدرنات بنسبة (100%) وزيادة الكتلة الحيوية للمجموع الخضري بنسبة (75 %).

ت–دراسة الكفاءة الإنتاجية للفحم الحيوي في إنتاجية القمح (BPE):

نظراً لأن الفحم الحيوي يضاف للتربة كمحسن لخصائصها الإنتاجية، لمرة واحدة خلال قرون من الزمن، لذلك فان تكاليف اضافته وان كانت عالية في السنة الأولى فإنها تتلاشى أمام الزمن الطويل خصوصاً وأن أثره المتبقي يمتد لآلاف السنين، وإن حساب الكفاءة الإنتاجية لوجوده بنسبة معينة في التربة يعطي فكرة عن القيمة المضافة لنسبة وجوده في التربة. وعلى هذا الأساس يبين الجدول (4) أن إضافة الفحم الحيوي بأي نسبة كانت تساهم في تحسين ظروف النمو وزيادة الإنتاج، وقد أظهرت المستويات المستخدمة من الفحم الحيوي في هذه الدراسة إلى إعطاء قيمة مضافة لإنتاج محصول القمح، حيث أن اضافته بالمستويات (B_3, B_2, B_1) المعادلة لـ (1، 2، 4%) من الطبقة السطحية للتربة وزناً، سجلت زيادة في الإنتاج من الحبوب بحدود (0.168، 0.224، 0.592 طن هـ$^{-1}$) بغياب التسميد المعدني مقارنة مع الشاهد بدون فحم (F_0B_0)، وكانت الكفاءة الإنتاجية أعلى من ذلك وعالية المعنوية عند المستوى الأول من التسميد المعدني (F_1) حيث سجلت (0.366، 0.715، 1.073 طن هـ$^{-1}$) بالمقارنة مع معاملة المستوى الأول للتسميد المعدني بغياب الفحم (F_1B_0)، كما سجلت عند المستوى الثاني من التسميد المعدني (F_2) زيادة في الإنتاج بحدود (0.456، 0.295، 0.675 طن هـ$^{-1}$) لنفس المستويات من الفحم الحيوي مقارنة بالمعاملة (F_2B_0) لمستوى التسميد المعدني الثاني بغياب الفحم الحيوي.

هذا إن دلَّ على شيء فإنه يعتبر مؤشراً الى قدرة الفحم الحيوي تحت أي مستوى على تحقيق تحسن في الإنتاج الزراعي الناجم أصلاً عن قدرته في تحسين خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والحيوية (Enders *et al.*, 2012)، كما أن تركيبه الجزيئي عالي الثبات يظهر درجة عالية من الاستقرار الكيميائي والميكروبي، حيث أن هذه البنية يمكن أن توفر بيئة مناسبة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة المفيدة في التربة (Atkinson, *et al.*, 2010) فضلاً عن قدرته على لعب دوراً رئيسياً في الإدارة المستدامة للتربة من خلال الإدارة الأفضل للعمليات الزراعية، لتحسين إنتاجيتها وخصوبتها ومردودية المحاصيل المزروعة فيها (Stavi and Lal,. 2013).

الاستنتاجات والتوصيات

- أثبت الفحم الحيوي في التربة قدرته على زيادة كل من الإنتاج الحبي ونسبة البروتين في الحبوب بشكل ملحوظ.
- ساهم تطبيق المستويات المختلفة من الفحم الحيوي مع التسميد المعدني في زيادة كفاءة استخدام السماد المعدني من ناحية الإنتاج الحبّي.
- ظهر تأثير التداخل بين الفحم الحيوي والسماد المعدني بشكل واضح ومعنوي في الإنتاج الحبّي، لكن تأثيره الإيجابي في زيادة نسبة البروتين لم يصل إلى درجة المعنوية.
- بناء على ذلك ينصح بإدخال تقانة إضافة الفحم الحيوي للتربة لمرة واحدة على الأقل ضمن استراتيجية زراعة محصول القمح أو إعادة تدوير بقايا المحصول بعد تفحيمها بشكل سنوي لضمان استدامة خصوبة التربة وزيادة كفاءة استخدام الأسمدة المعدنية وبالتالي تقليل تكاليف الإنتاج وزيادة الربحية.

References

1- AKHTAR, S. S.; ANDERSEN, M. N and LIU, F. *Biochar Mitigates Salinity Stress in Potato*. Journal of Agronomy and Crop Science, Vol (201), No (5), 2015, 368–378.

2- Alburquerque, JA; Salazar, P; Barrón, V; Torrent, J; Campillo, MC; Gallardo, A and R, Villar. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. Agro Sustain, 33, 2013, 475–484.

3- AMIN, A. E AND EISSA, M. A. *Biochar effects on nitrogen and phosphorus use efficiencies of zucchini plants grown in a calcareous sandy soil.* J. Soil Sci. Plant Nutr, No (17), 2017, 912–921.

4- ATKINSON, CJ.; FITZGERALD, JD and NA, HIPPS. *Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review*. Plant Soil, No (33), 2010, 1–18.

5- CHAN, K. Y.; VAN ZWIETEN, L.; MESZAROS, I.; DOWNIE, A and S, JOSEPH. *Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment*. Australian Journal of Soil Research, No (45), 2007, 629.

6- CHENG, C.; LEHMANN, J.; THIES, J.E and S, BURTON. *Stability of black carbon in soils across a climatic gradient.* Journal of Geophysical Research, No (113), 2008, G02027.

7- CHENG, Y.; CAI, Z.; CHANG, S.; WANG, J and J, ZHANG. *Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and N_2O production in a cultivated Black Chernozem.* Biol. Fer. Soil. No (48), 2012, 941–946.

8- DIAS, B.O.; SILVA, C.A.; HIGASHIKAWA, F.S.; ROIG, A and M.A, SANCHEZ-MONEDERO. *Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification*. Bioresource Technology, No (101), 2009, 1239-1246.

9- ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S and J, LEHMANN. *Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance*. Bio-resour. Technol. No (114), 2012, 644–653.

10- FAO. *Productivity and Efficiency Measurement in Agriculture Literature Review and Gaps Analysis.* Publication prepared in the framework of the Global Strategy to improve Agricultural and Rural Statistics, 2017.

11- GLASER, B.; J. LEHMANN and W. ZECH. *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal.* A Review. Biology and Fertility of Soils, No (35), 2002, 219–230.

12- GONG,Y.; XIONG, Z and L, CHENG. *Phosphate and ammonium adsorption of the modified biochar based on Phragmitesaustralis after phytoremediation*. Environmental Science and Pollution Research, No (11), 2017, 9-24.

13- GRABER, E.R.; HAREL, Y.M.; KOLTON, M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M. and Y, ELAD. *Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media*. Plant Soil, No (337), 2010, 481- 496.

14- HMID, A.; AL CHAMI, Z.; SILLEN, W.; DE VOCHT, A and J, VANGRONSVELD. *Olive mill waste biochar: a promising soil amendment for metal immobilization in contaminated soils*. Envi. Sci. Poll. Res., 2014, 1e13.

15- HUA, L.; WU, W.X.; LIU, Y.X.; MCBRIDE, M and Y.X, CHEN. *Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment*. Envi. Sci. Poll. Res., No (16), 2009, 1-9.

16- KUZYAKOV, Y.; SUBBOTINA, I.; CHEN, H.; BOGOMOLOVA, I. and X, XU. *Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial bio-mass estimated by 14C labeling*. Soil Biol. Biochem., vol (41) No (2), 2009, 210–219.

17- LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; SOHI, S.; THIES, J.E.; SKJEMSTAD, J.O.; LUIZAO, F.J.; ENGELHARD, M.H.; NEVES, E.G and S. WIRICK. *Stability of biomass derived black carbon in soils*. Geochimica et Cosmochimica. Acta 72, 2008, 6096–6078.

18- MAJOR, J.; C. STEINER, A.; DITOMMASO, N.P.S.; FALCAO, and J. LEHMANN. *Weed composition and cover afterthree years of soil fertility management in the centralBrazilian Amazon; compost, fertilizer, manure andcharcoal applications*. Weed Biology and Management, No (5), 2005, 69–76.

19- MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J and J. LEHMANN. *Maize yield and nutrition after 4 years of doing biochar application to a Colombian savanna oxisol.* Plant and Soil, No (333), 2010, 117–128.

20- METWALY, H. *Response of Potato Growth, Yield and Quality to Fulvic Acid and Biochar Applications under Different Levels of Chemical Fertilization*. Journal of plant production. No (11), 2020, 145-151.

21- NULL CORPORATION. *Genstat Twelfth Edition, Procedure Library Release, PL12.1,* VSN International Ltd. 2009.

22- PANDIT, NR.; MULDER, J.; HALE, SE.; MARTINSEN, V.; SCHMIDT, HP and G. Cornelissen. *Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil*. Science of The Total Environment. No (625), 2018, 1380-1389.

23- PASCUAL, JA.; GARCÍA, C and T, HERNANDEZ. *Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil*. Bio. Fert. Soils, No (30), 1999, 1–6.

24- STAVI, I and R, LAL. *Agroforestry and biochar to offset climate change*: A Review. Agro. Sustain. Dev. No (33), 2013, 81–96.

25- SOHI, SP.; KRULL, E.; LÓPEZ-CAPEL, E and R, BOL. *A review of biochar and its use and function in soil*. Adv. Agro. No (105), 2010, 47–82.

26- WALTER, R. and B, RAO. *Biochars influence sweet-potato yield and nutrient uptake in tropical Papua New Guinea*. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Vol (178), No (3), 2015, 393–400.

27- ZHANG, L.; SUN, X.; TIAN, Y. and X, GONG. *Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis*. Scientia Horticulture, No (176), 2014, 70–78.