تقييم دور الكربون الحيوي والفطر الميكوريزي *Glomus mosseae* في إنبات ونمو نبات الفاصولياء الشائعة (*Phaseolus vulgaris*) المصاب بالفطر *Rhizoctonia solani*

رباب مجيد عبد

قسم علوم الحياة، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة ديالى، العراق.

البريد الالكتروني للباحث المراسل: rabab.abed@uodiyala.edu.iq

الملخص

عبد، رباب مجيد. 2024. تقييم دور الكربون الحيوي والفطر الميكوريزي *Glomus mosseae* في انبات ونمو نبات الفاصولياء الشائعة (*Phaseolus vulgaris*) المصاب بالفطر *Rhizoctonia solani*. مجلة وقاية النبات العربية، 42(2): 215–223.

https://doi.org/10.22268/AJPP-001232

هدفت الدراسة الحالية إلى تقويم فعالية الكربون الحيوي وتداخله مع فطر الميكوريزا *Glomus mosseae* في تعزيز نمو نبات الفاصولياء الشائعة (*Phaseolus vulgaris*) النامي تحت الإجهاد الحيوي بالفطر الممرض *Rhizoctonia solani*. أدّت إضافة الكربون الحيوي والمعاملة بفطر الميكوريزا والتداخل بينهما إلى اختزال كبير في نسبة موت البادرات وشدة إصابة جذور نبات الفاصولياء الشائعة بمرض موت البادرات المتسبب عن الإصابة بالفطر *Rhizoctonia solani*. وأعطت معاملة التداخل بين الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا أقل نسبة لموت البادرات وشدة الإصابة بالفطر الممرض وكانت 11.67 و 16.21%، على التوالي. انعكس الانخفاض الحاصل في المرض ايجابياً على صفات النمو الخضري والجذري ومحتوى النبات من العناصر الغذائية، إذ سجلت معاملة الكربون الحيوي بوجود الفطر الممرض أعلى معدل لعدد الاوراق والوزن الطري والجاف للمجموع الخضري وطول الجذر. كما أعطت معاملة فطر الميكوريزا بوجود الفطر الممرض أعلى معدل للوزن الطري والجاف للمجموع الجذري. كما بينت النتائج حصول زيادة في محتوى النبات من العناصر الغذائية مثل الفوسفور والبوتاسيوم والنتروجين سواءً بوجود أو عدم وجود الفطر الممرض. تعدّ هذه الدراسة كخطوة واعدة لتطبيق استخدام الكربون الحيوي، وهو نفسه الرماد الناتج عن حرق البقايا النباتية عند حرارة 500°س تحت ظروف لاهوائية، كبديل عن المبيدات الكيميائية لمكافحة مرض موت بادرات الفاصولياء.

كلمات مفتاحية: الكربون الحيوي، الفاصولياء الشائعة، *Rhizoctonia solani*، *Glomus mosseae*، ميكوريزا.

المقدمة

يعدّ نبات الفاصولياء البيضاء أو ما يعرف بالفاصولياء الشائعة (*Phaseolus vulgaris* L.) من البقوليات المهمة التي تزرع على نطاق واسع في العالم لما له من قيمة غذائية عالية (Ranalli, 1997 & Graham)، وهو ثالث أهم المحاصيل البقولية عالمياً (Schwartz *et al.*, 2005). يصاب هذا المحصول بالعديد من الأمراض، منها أمراض تعفن الجذور وسقوط البادرات وتعفن البذور الناتجة عن الإصابة بالفطر الممرض *Rhizoctonia solani* (Mahmoud *et al.*, 2013). ويعدّ تعفن الجذور الناتج عن الإصابة بهذا الفطر أحد أهم الممرضات التي تؤثر على انتاجية هذا المحصول (Naseri, 2013). ويعدّ الفطر *R. solani* من أشد المسببات المرضية تدميراً للعائل لامتلاكه العديد من عوامل الضراوة كالأنزيمات والسموم الفطرية (Bertagnolli *et al.*, 1996).

إن استعمال الطرائق التقليدية للتخلص من مشكلة المسببات المرضية كالدورات الزراعية والمبيدات الكيميائية أصبحت لا تجدي نفعاً، فضلاً عن الأضرار الكبيرة للاستعمال المفرط والمتكرر للمبيدات الكيميائية (Vinale *et al.*, 2008). في الوقت الحاضر، تتطلب الزراعة استخدام استراتيجيات آمنة وصديقة للبيئة للتقليل من استخدام الاسمدة والمبيدات الكيماوية، وفي هذا الصدد، أثبتت العديد من أحياء التربة المجهرية قدرتها على تحسين نمو النبات من جهة والسيطرة على المسببات المرضية للنبات من جهة أخرى، ومن هذه الأحياء فطور الميكوريزا الشجيرية (Arbuscular mycorrhizal fungi) وهي من أحياء التربة المجهرية التي تتعايش بشكل تكافلي مع النباتات (Soudzilovskaia *et al.*, 2020)، فهي تعمل على توفير المغذيات الأساسية للنبات (Kazadi *et al.*, 2020) وزيادة مقاومة النبات للإجهادات غير الحيوية (Hu *et al.*, 2022 ؛Al-Amri, 2021) والحيوية (Weng *et al.*, 2022 ؛Bell *et al.*, 2023) فضلاً عن تحسين خصائص

https://doi.org/10.22268/AJPP-001232
© 2024 الجمعية العربية لوقاية النبات Arab Society for Plant Protection

التربة الفيزيائية والكيميائية (Sato *et al*., 2015)، لذا فهي تعدّ أحد البدائل التي يعتمد عليها للتقليل من استخدام الأسمدة الكيميائية. ومن التطبيقات التي تحتاج إلى تسليط الضوء عليها على نحوٍ أوسع يبرز استخدام الكربون الحيوي (Biochar) لتحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية وبالتالي تحسين نمو النبات (Abed, 2018). فقد بينت بعض الدراسات بأن إضافة الكربون الحيوي إلى التربة يؤثر إيجابياً في نمو النبات من خلال زيادة توفر المغذيات وتقليل الضرر الناتج عن تلوث التربة بالمعادن الثقيلة فضلاً عن دوره الايجابي في توفير بيئةٍ مناسبة لنمو الأحياء المجهرية المفيدة للنبات في التربة (Van Zwieten *et al*., 2010). إلا أنّه ثمّة القليل من الدراسات التي تناولت دور الكربون الحيوي في مقاومة النبات للمسببات المرضية الفطرية، لذلك هدفت الدراسة الحالية إلى الكشف عن الدور المحتمل للكربون الحيوي وتداخله مع فطر الميكوريزا *Glomus mosseae* في تحسين نمو نبات الفاصولياء الشائعة النامي تحت الإجهاد الحيوي بالفطر الممرض *Rhizoctonia solani*.

مواد البحث وطرائقه

نفّذت الدراسة الحالية في البيت البلاستيكي خلال الموسم الزراعي 2021–2022 باستعمال تربة مزيجية – رملية وبتموس بواقع 2 تربة إلى 1 بتموس.

تحضير الكربون الحيوي (Biochar)

استخدمت أفرع نبات اليوكالبتوس لانتاج الكربون الحيوي، وذلك بعد تقطيعها ووضعها في فرن furnace من نوع (PLF 110/10) عند حرارة 500°س لمدة 5 ساعات، حيث تمّ حرق الأفرع في ظروف خالية من الاوكسجين لإنتاج الكربون الحيوي حسب ما وصف سابقاً (Lehmann, 2007)، وبعد الانتهاء من حرق الأفرع تركت في الفرن ليلة كاملة لتبرد، طحنت بعدها ومرر الناتج عبر منخل فتحاته بقياس 2 مم، واستخدم في هذه الدراسة التركيز 1%.

تحضير لقاح فطر الميكوريزا

تم الحصول على لقاح جاهز لفطر الميكوريزا *Glomus mosseae* عزلة رقم 5 من مختبر الميكوريزا في دائرة البحوث الزراعية في الزعفرانية، العراق. يتألف هذا اللقاح من أبواغ خارجية + جذور ميكوريزية + تربة محيط الجذور، وتمّت إضافته إلى التربة بواقع 10 غ لقاح/نبات قبل الزراعة بثلاث أيام.

عزل الفطر الممرض *Rhizoctonia solani*

تمّ عزل الفطر الممرض من نباتات فاصولياء خضراء ظهرت عليها أعراض تعفن الجذور وذلك بعد غسل الجذور بالماء الجاري لإزالة الأتربة ومن ثم تعقيمها سطحياً باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز 1% لمدة دقيقتين. بعد ذلك غسلت القطع بالماء المقطر المعقم وتركت لتجف على أوراق ترشيح معقمة، ثم نقلت القطع إلى أطباق بلاستيكية تحتوي على وسط Subaruet dextrose agar الحاوي على المضاد الحيوي الكلورامفنيكول بتركيز 50 مغ/ليتر بواقع 3 قطع لكل طبق. حضنت الأطباق في الحاضنة عند حرارة 26±2°س إلى حين ظهور النموات الفطرية، بعدها تم التشخيص حسب الصفات الموصوفة من قبل Parmeter & Whitney (1970). أضيف الفطر الممرض إلى التربة بعد تنميته على بذور القمح بواقع 1 غ/كغ تربة.

تنفيذ التجربة

نفذت التجربة في البيت البلاستيكي بهدف الكشف عن تأثير الكربون الحيوي بتركيز 1% وتداخلها مع التلقيح بفطر الميكوريزا *G. mosseae* في نمو نبات الفاصولياء الشائعة (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت الإجهاد الحيوي بوجود الفطر الممرض *R. solani*. تم تنفيذ التجربة في الأصص البلاستيكية بحجم 3 كغ واستخدمت تربة مزيجية–رملية وبتموس تم تعقيمها باستعمال جهاز المؤصدة وتمت اضافة الفطر الممرض إلى التربة قبل يومين من الزراعة، وزرعت بذور الفاصولياء الشائعة بواقع 3 بذور/أصيص، ولاحقاً تمّ خفّ النباتات ليبقى نبات واحد/أصيص، وبعد شهرين من الزراعة تم أخذ القراءات التالية:

النسبة المئوية لموت البادرات (Stanghellini & Philips, 1975):

$$\text{موت البادرات (\%)} = \frac{\text{عدد النباتات الميتة}}{\text{العدد الكلي للنباتات النابتة}} \times 100$$

شدة الإصابة بالفطر الممرض *R. solani* وتم حسابها بالاعتماد على الدليل المرضي المقترح من قبل McKinney (1923) والمعادلة المقترحة من قبل Krause & Webster (1973) على الشكل التالي:

$$\text{شدة الإصابة بالممرض} = \frac{\text{مجموع (عدد النباتات المصابة في كل درجة} \times \text{درجة الإصابة)}}{\text{العدد الكلي للنباتات المفحوصة} \times \text{أعلى درجة إصابة}} \times 100$$

قراءات الصفات الحيوية المتعلقة بالميكوريزا

حسب معدل أبواغ فطر الميكوريزا في التربة وفق Gaur & Adholya (1994) باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{عدد الأبواغ/10 غ تربة} = A \times B$$

حيث: A= معدل عدد الأبواغ في 1 مل، B= الحجم النهائي للمعلق

حسبت نسبة وشدة الإصابة بفطر الميكوريزا واتبعت طريقة Ink & Vinegar (Vierheilig & Piché, 1998)، حيث تمّ حساب النسبة المئوية للإصابة بفطر الميكوريزا حسب المعادلة الموصوفة في Giovannetti & Mosse (1980) وكانت على الشكل التالي:

$$\% \text{ للإصابة بفطر الميكوريزا} = \frac{\text{عدد القطع الجذرية المصابة}}{\text{العدد الكلي للقطع}} \times 100$$

أما شدة الإصابة فتم حسابها حسب دليل الذهيبي (2015) وفق المعادلة التالية (McKinney, 1923):

$$\text{شدة الإصابة بفطر الميكوريزا} = \frac{\text{مجموع (عدد القطع المصابة} \times \text{درجة الإصابة)}}{\text{العدد الكلي للقطع المفحوصة} \times \text{أعلى درجة إصابة}} \times 100$$

أُخذت مؤشرات نمو المجموع الخضري والمتضمنة ارتفاع النباتات (سم)، الوزن الطري والجاف (غرام)، حسب ما أشار إليه الصحاف (1989)، وعدد الأوراق/النبات كذلك مؤشرات النمو للمجموع الجذري والتي تضمن طول المجموع الجذري والوزن الرطب والجاف للمجموع الجذري. تم حساب تركيز العناصر الغذائية في النبات والتي تضمنت الفوسفور والبوتاسيوم (Anonymous,1989) باستخدام جهاز المطياف الضوئي وباستخدام جهاز ICP – OES موديل CT 06484 انتاج شركة Perkin Elmer الأمريكية، وتمّ قياس البوتاسيوم والعناصر الصغرى الحديد، النحاس، المنغنيز والزنك حسب ما نشر سابقاً (Donohue *et al.*, 1992). أما النتروجين، فتم قياسه حسب ما أشار إليه Grant *et al.* (2001) باستخدام جهاز NC Analyser موديل Flash 2000 من انتاج شركة Thermo الايطالية.

التحليل الاحصائي

نفذت التجربة حسب تصميم القطاعات العشوائية الكاملة، وتمت مقارنة المتوسطات بحساب الخطأ المعياري وحساب واجراء اختبار دنكن عند مستوى احتمال 5% وذلك باستخدام برنامج SPSS اصدار 28.

النتائج والمناقشة

نسبة موت البادرات وشدة الإصابة بالفطر الممرض *R. solani*

أظهرت النتائج (جدول 1) حصول اختزال كبير في نسبة موت البادرات وشدة إصابة نبات الفاصولياء الشائعة بالفطر الممرض حيث كانت الأقل في معاملة التداخل بين الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا *G. mosseae* وبلغت 11.67 و 16.21%، على التوالي، وهي بذلك تفوقت على معاملة الاضافة المنفردة لكل من الكربون الحيوي التي بلغت 18.6 و 18.59%، على التوالي، ومعاملة فطر الميكوريزا التي بلغت 16.67 و 21.7%، على التوالي وذلك بالمقارنة مع نسبة موت البادرات وشدة الإصابة بالمرض في معاملة الفطر الممرض بدون معاملة (شاهد) والتي بلغت 78.33 و 57.33%، على التوالي. أكدت النتائج قدرة فطر الميكوريزا على استحثاث مقاومة النبات تجاه الفطر الممرض وهذا ما أكدته دراسة سابقة (الذهيبي، 2015؛ عبد وآخرون، 2017)، كما أن الحالة الغذائية للنبات لعبت دوراً مهماً في زيادة قدرة النبات على مقاومة أو تحمل المسببات المرضية من خلال تعويض الضرر الناجم عن المسبب المرضي. وجاءت النتائج متفقة مع ما أشار إليه Wang *et al.* (2019) التي بينت أن للكربون الحيوي القدرة على تحسين نمو بادرات التفاح وتثبيط امراضية بعض فطور التربة الممرضة. كذلك بين Rasool *et al.* (2021) أن اضافة الكربون الحيوي إلى التربة أدى إلى اختزال للإصابة بالفطر الممرض *R. solani* على نباتات البندورة/الطماطم. كما تتفق نتائج الدراسة الحالية مع عدة دراسات سابقة أخرى (Copley *et al.*, 2017؛ Weng *et al.*, 2022؛ Wu *et al.*, 2021).

مؤشرات النمو الخضري والجذري لنبات الفاصولياء الشائعة

أظهرت النتائج (جدول 2) حصول زيادة معنوية في ارتفاع نبات الفاصولياء الشائعة عند معاملته بالكربون الحيوي وفطر الميكوريزا والتداخل بينهما، وقد تفوقت معاملة إضافة الكربون الحيوي على بقية المعاملات إذ سجلت النباتات ارتفاع 35.66 سم وبنسبة زيادة مقدارها 12.703%. وقد سجلت معاملة الفطر الممرض *R. solani* فقط أقل مستوى للنمو وكانت 21.93 سم بالمقارنة مع معاملة الشاهد (31.13 سم). وقد حققت جميع المعاملات زيادة معنوية في ارتفاع النباتات بوجود الفطر الممرض.

جدول 1. تأثير الكربون الحيوي وتداخله مع الفطر *G. mosseae* في النسبة المئوية لموت البادرات وشدة إصابة جذور نبات الفاصولياء الشائعة بالفطر الممرض *R. solani*.

Table 1. Effect of biochar and its interaction with inoculation with *G. mosseae* fungus on the seedlings mortality rate and severity of infection of the roots of the common bean plant infected with the pathogenic fungus *R. solani*.

شدة الإصابة بالفطر الممرض (%) Disease severity (%)	نسبة موت البادرات (%) Seedlings death rate (%)	المعاملات Treatments
57.33 c	78.33 b	*R. solani* only
21.7 b	16.67 a	*R. solani* + *G. mosseae*
18.59 a	18.6 a	*R. solani* + BioChar
16.21 a	11.67 a	*R. solani* + *G. mosseae* + BioChar

القيم التي يتبعها نفس الأحرف في نفس العمود لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

جدول 2. تأثير الكربون الحيوي وتداخله مع الفطر *G. mosseae* في صفات النمو الخضري لنبات الفاصولياء الشائعة النامي تحت الإجهاد الحيوي بالفطر الممرض *R. solani*.

Table 2. Effect of biochar and its interaction with the fungus *G. mosseae* on the vegetative growth of the common bean plant grown under biological stress infected with the pathogenic fungus *R. solani*.

مع *R. solani* With *R. solani*				**بدون *R. solani* Without *R. solani***				
الوزن الجاف (غ) Dry weight (g)	**معدل عدد الأوراق Mean leaves number**	**الوزن الطري (غ) Fresh weight (g)**	**ارتفاع النبات (سم) Plant height (cm)**	**الوزن الجاف (غ) Dry weight (g)**	**معدل عدد الأوراق Mean leaves number**	**الوزن الطري (غ) Fresh weight (g)**	**ارتفاع النبات (سم) Plant height (cm)**	**المعاملات Treatments**
0.86 a	10.6 a	7.69 a	21.93 a	1.01 ab	10.6 a	9.44 a	31.13 b	الشاهد Control
1.82 abc	14.3 b	14.43 bc	32.70 c	1.75 abc	13.3 b	12.72 b	32.63 c	*G. mosseae*
2.54 c	16.0 c	14.85 c	34.45 d	1.94 bc	14.0 b	14.70 bc	35.66 e	Biochar
1.76 abc	14.0 b	13.48 bc	32.46 c	1.89 abc	14.3 b	13.37 bc	33.80 d	Biochar + *G. mosseae*

القيم التي يتبعها نفس الأحرف لنفس الصفة لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters for the same trait are not significantly different at P=0.05.

كما أظهرت النتائج حصول زيادة معنوية في معدل عدد الأوراق بالمقارنة مع معاملة الشاهد بدون فطر التي كانت 10.6 ورقة ومعاملة إضافة الفطر الممرض فقط التي كانت 10.6 ورقة، كما أن معاملة إضافة الكربون الحيوي بوجود الفطر الممرض سجلت أعلى معدل لعدد الأوراق (16 ورقة) بالمقارنة مع بقية المعاملات. وفيما يخصّ الوزنين الطري والجاف للمجموع الخضري فقد أظهرت النتائج تفوق معاملة إضافة الكربون الحيوي بوجود الفطر الممرض على بقية المعاملات إذ سجلت 14.85 و 2.54 غ، على التوالي، وذلك بالمقارنة مع معاملة الشاهد بدون فطر ممرض وكانت 9.44 و 1.01 غ، على التوالي، ومعاملة الشاهد بوجود الفطر الممرض التي كانت 7.69 و 0.86 غ، على التوالي.

إن النتائج أعلاه تؤكد امكانية الاعتماد على إضافة الكربون الحيوي إلى التربة لتحسين نمو النبات تحت ظروف الإجهاد الحيوي بوجود الفطر الممرض *R. solani* المعروف بضراوته العالية وسرعة فتكه بالعائل. يمكن أن يعزى ذلك إلى التأثير المباشر للكربون الحيوي في استحثاث المقاومة المكتسبة في النبات (Meller *et al.*, 2012)، أو بصورة غير مباشرة من خلال تأثير الكربون الحيوي في المحتوى الحيوي للتربة بما يسهم في تحسين نمو النبات (Warnock *et al.*, 2010). إن الزيادة الحاصلة في مؤشرات النمو الخضري لنبات الفاصولياء الشائعة نتيجة المعاملة بفطر الميكوريزا *G. mosseae* وتداخله مع الكربون الحيوي يتفق مع ما أشار إليه عبد وآخرون (2017) في دراسة سابقة. كما تتفق نتائج الدراسة الحالية مع دراسة Al-Amri (2021) التي بينت أن معاملة التربة بفطر الميكوريزا *G. mosseae* أدت إلى حصول زيادة معنوية في صفات النمو الخضري لنبات الفاصولياء الشائعة النامية تحت ظروف الإجهاد المائي. وهذا ما يؤكد قدرة فطور الميكوريزا على زيادة قدرة النبات على تحمل الإجهاد الحيوي وغير الحيوي والذي ينعكس ايجابياً على نمو النبات.

كذلك أظهرت النتائج (جدول 3) أن المعاملة بالكربون الحيوي وفطر الميكوريزا *G. mosseae* والتداخل بينهما أدى إلى تحسين نمو النبات وزيادة مقاومته للإجهاد الحيوي الناتج عن الفطر الممرض *R. solani* حيث لوحظ حصول زيادة في صفات نمو المجموع الجذري والمتضمنة طول المجموع الجذري والوزنين الطري والجاف، وقد تفوقت معاملة إضافة الكربون الحيوي في تأثيرها على طول المجموع الجذري على بقية المعاملات بدون ومع وجود الفطر الممرض وكانت 54.60 سم، مقارنة مع معاملة الشاهد بدون الفطر الممرض التي بلغت 42.55 سم ومع الفطر الممرض 36.40 سم. كما أظهرت النتائج أيضاً أن التداخل بين الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا كان ايجابياً مما انعكس على النمو الجذري إذ سجلت معاملة التداخل بدون الفطر الممرض 51.15 سم ومعاملة التداخل مع الفطر الممرض 51.60 سم.

كما أظهرت النتائج (جدول 4) حصول زيادة معنوية في الوزنين الطري والجاف للمجموع الجذري مع تفوق معاملة الكربون الحيوي بوجود الفطر الممرض على بقية المعاملات، إذ بلغ الوزن الطري للجذر 8.45 غ والوزن الجاف للجذر 1.068 غ، فيما سجلت معاملة الشاهد بدون الفطر الممرض 5.05 غ وبوجود الفطر الممرض 4.20 غ للوزن الطري للجذر و 0.790 و 0.525 غ للوزن الجاف للجذر، على التوالي.

إن الزيادة الحاصلة في نمو المجموع الجذري بوجود الفطر الممرض تؤكد الدور الذي يعكسه إضافة الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا في زيادة قدرة النبات على مقاومة المسبب المرضي. إذ أن زيادة المجموع الجذري وزيادة تفرعاته ومساحته السطحية تعني إمكانية وصول النبات إلى مغذيات أكثر وبالتالي نمو النبات بشكل أفضل وهذا ما أكدته دراسة سابقة على نبات الذرة (Abiven *et al.*, 2015). وتتفق نتائج الدراسة

الحالية مع دراسات سابقة (Kasiamdari *et al*., 2002؛ Rasool *et al*., 2021) أكدت أن إضافة الكربون الحيوي إلى التربة بوجود الفطر الممرض *R. solani* أدى إلى تحسين نمو نبات البندورة/الطماطم من خلال زيادة تحمل المرض مما انعكس ايجابياً على نمو النبات.

تركيز العناصر الغذائية في نبات الفاصولياء الشائعة

بينت النتائج (جدول 4) أن إضافة الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا والتداخل بينهما أدى إلى زيادة محتوى نبات الفاصولياء الشائعة من العناصر الغذائية عند غياب أو وجود الفطر الممرض، حيث أعطت معاملة التداخل بغياب المسبب المرضي أعلى تركيز من الفوسفور في المجموع الخضري وكانت 0.534%، يليها معاملة الكربون الحيوي بوجود الفطر الممرض 0.462%، كذلك تفوقت بقية المعاملات على معاملتي الشاهد بدون أو بوجود الفطر الممرض وبلغت 0.221 و 0.138%، على التوالي. كما أن أعلى تركيز للبوتاسيوم كان في معاملة الكربون الحيوي بغياب أو وجود الفطر الممرض، إذ سجلت هاتان المعاملتين تركيز مقداره 4.676 و 4.246%، على التوالي. وقد سجلت معاملة الفطر الممرض أقل تركيز للبوتاسيوم وكانت 0.323% وهي أقل معنوياً من معاملة الشاهد التي سجلت 0.669%.

كما بينت النتائج حصول زيادة معنوية في تركيز النتروجين في جميع المعاملات عند وجود المسبب المرضي معنوياً على بقية المعاملات عند غياب المسبب المرضي، وقد تفوقت معاملة فطر الميكوريزا بوجود المسبب المرضي على بقية المعاملات معنوياً في محتواها من النتروجين وكانت 3.952%، تليها معاملة التداخل عند وجود المسبب المرضي 3.458%، ومن ثم معاملة الكربون الحيوي عند وجود المسبب المرضي 2.482%، وكان أقل تركيز للنتروجين في معاملة الفطر الممرض 1.148% والتي كانت أقلّ معنوياً من معاملة الشاهد التي بلغت 1.679%.

جدول 3. تأثير الكربون الحيوي وتداخله مع التلقيح بفطر الميكوريزا *G. mosseae* في صفات نمو المجموع الجذري لنبات الفاصولياء الشائعة النامي تحت إجهاد الفطر الممرض *R. solani*.

Table 3. Effect of biochar and its interaction with *G. mosseae* inoculation on the growth characteristics of the root system of common bean plant grown under biological stress caused by the pathogenic fungus *R. solani*.

الوزن الجاف (غ) Dry weight (g)		الوزن الطري (غ) Fresh weight (g)		طول الجذر(سم) Root length (cm)		المعاملات Treatments	
مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*	مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*	مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*		
0.525 a	0.790 b	4.20 a	5.05 a	36.40 a	42.55 b	Control	الشاهد
1.068 c	1.027 c	08.45 d	7.75 cd	48.70 d	45.93 c	*G. mosseae*	
1.039 c	1.034 c	7.48 cd	6.48 b	54.60 f	48.33 d	Biochar	
1.019 c	1.027 c	7.76 cd	7.26 bc	51.60 e	51.15 e	Biochar + *G. mosseae*	

القيم التي يتبعها الأحرف نفسها للصفة ذاتها لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters for the same trait are not significantly different at P=0.05.

جدول 4. تأثير الكربون الحيوي وتداخله مع التلقيح بفطر الميكوريزا *G. mosseae* في محتوى المجموع الخضري من العناصر الغذائية (الفوسفور، البوتاسيوم، النتروجين) لنبات الفاصولياء الشائعة النامي تحت الإجهاد الحيوي بالفطر الممرض *R. solani*.

Table 4. Effect of biochar and its interaction with *G. mosseae* inoculation on shoot content of nutrients (phosphorus, potassium, nitrogen) of common bean plant grown under biological stress with the pathogenic fungus *R. solani*.

النتروجين % Nitrogen %		البوتاسيوم % Potassium %		الفوسفور % Phosphorus %		المعاملات Treatments	
مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*	مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*	مع *R. solani* With *R. solani*	بدون *R. solani* Without *R. solani*		
1.148 a	1.679 b	0.323 a	0.669 b	0.138 a	0.221 b	Control	الشاهد
3.952 f	3.067 d	2.306 d	2.587 e	0.357 c	0.326 c	*G. mosseae*	
2.482 c	2.473 c	4.246 g	4.676 h	0.462 d	0.330 c	Biochar	
3.458 e	2.506 c	2.188 c	3.140 f	0.460 d	0.534 e	Biochar + *G. mosseae*	

القيم التي يتبعها الأحرف نفسها للعنصر الغذائي نفسه لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters for the same nutrient element are not significantly different at P=0.05.

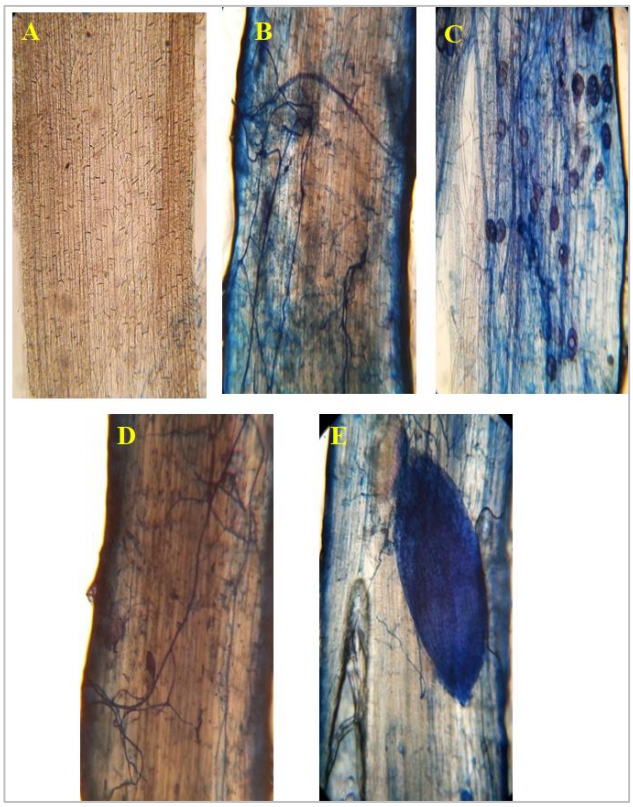
إن الزيادة الحاصلة في محتوى النبات من العناصر الغذائية يعزى إلى قدرة فطر الميكوريزا على زيادة إتاحة العناصر الغذائية في التربة وبالتالي تحسين نمو النبات. كذلك ساعد الكربون الحيوي على تحسين نمو المجموع الجذري وزيادة ادمصاص العناصر الغذائية على سطحه مما يزيد من جاهزيتها لتغذية النبات. وهذا ما أكدته دراسة Martinsen *et al.* (2014) التي سجلت حصول زيادة في محتوى نبات الذرة من البوتاسيوم عند اضافة الكربون الحيوي الى التربة كما ازدادت جاهزية هذا العنصر في التربة. كما بينت دراسة Van Zwieten *et al.* (2015) أن اضافة الكربون الحيوي إلى تربة الزراعة أدت إلى حصول زيادة في نمو نبات الفول وزيادة محتواه من الفوسفور، كما ازدادت نسبة تثبيت النتروجين بوجود الكربون الحيوي. وأشارت دراسة de Medeiros (2021) إلى أن إضافة الكربون الحيوي إلى التربة يحسن من خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية ويسهم في زيادة جاهزية العناصر الغذائية للنبات كالنتروجين والبوتاسيوم والفسفور. وتسهم فطور الميكوريزا في زيادة جاهزية الفسفور وزيادة محتوى النبات من هذا العنصر أكثر من الكربون الحيوي وهذا ما بينته دراسة سابقة (Vanek & Lehmann, 2015)، إذ تعمل فطور الميكوريزا على انتاج العديد من المركبات المخلبية التي تزيد من جاهزية العناصر الغذائية كما يحفز وجودها على نمو الأحياء الدقيقة المذيبة للفوسفات (Fall *et al.*, 2022).

تأثيرات وجود فطر الميكوريزا

يبين شكل 1 التراكيب الميكوريزية بوجود وغياب الفطر الممرض ولوحظ حصول تغير في طبيعة التراكيب الميكوريزية، حيث تغير عدد وحجم التراكيب الحويصلية بوجود المسبب المرضي وهذا ما يؤكد مدى حدة التنافس بين فطر الميكوريزا والفطر الممرض.

يوضح جدول 5 حصول انخفاض واضح في جميع الصفات الميكوريزية المدروسة عند وجود الفطر الممرض *R. solani* حيث سجلت معاملة التداخل أقل مستوى للصفات الميكوريزية المدروسة، والتي تضمنت نسبة الإصابة وشدة الإصابة وعدد الأبواغ التي بلغت 55، 46 و 475.67 بوغ/10 غ تربة، على التوالي، بالمقارنة مع معاملة فطر الميكوريزا بدون الفطر الممرض التي بلغت 86، 65 و 577.33 بوغ/10 غ تربة، على التوالي. إن الانخفاض الحاصل في الصفات الميكوريزية المدروسة عند وجود الفطر الممرض ربما يعزى إلى حالة التنافس بين فطر الميكوريزا والفطر الممرض، وهذا يتفق مع عدة دراسات سابقة مثل Al-Askar & Rashad (2010) والذهيبي (2015).

بناءً على نتائج هذه الدراسة والتي أكدت وجود دورٍ محتملٍ للكربون الحيوي في الحدّ من أحد المشاكل المهمة التي تهدد إنتاج المحاصيل الزراعية والمتمثلة بوجود الفطور الممرضة للنبات في التربة، وبينت تأثير إضافة الكربون الحيوي إلى التربة الزراعية للحدّ من الضرر الناتج عن وجود الفطر الممرض *R. solani* من خلال تحسين نمو النبات وتعزيز نمو الأحياء المجهرية النافعة في التربة. وتوصي الدراسة بإجراء دراسات مستفيضة على الكربون الحيوي واستعماله بتراكيز مختلفة على نباتات مختلفة، ودراسة تأثير التداخل بين الكربون الحيوي والتسميد الحيوي في نمو النبات من جهة وجعل النبات أكثر مقاومة للأمراض من جهة أخرى.



شكل 1. تأثير التداخل بين فطر الميكوريزا *G. mosseae* والكربون الحيوي عند وجود الفطر الممرض *R. solani* في التراكيب المايكورايزية وشدة الإصابة بفطر الميكوريزا في جذور نبات الفاصولياء الشائعة (قوة تكبير × 10). (A) معاملة الشاهد، (B) معاملة فطر الميكوريزا *G. mosseae* بدون الفطر الممرض، (C) معاملة فطر الميكوريزا *G. mosseae* مع الفطر الممرض، (D) معاملة التداخل بين الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا بدون الفطر الممرض، (E) معاملة التداخل بين الكربون الحيوي وفطر الميكوريزا مع الفطر الممرض.

Figure 1. Effect of the interaction between the mycorrhizal fungus *G. mosseae* and biochar in the presence of pathogenic fungus *R. solani* on the mycorrhizal structures and the severity of infection with the mycorrhizal fungus in the roots of the common bean plant at 10× magnification. (A) control treatment, (B) treatment with mycorrhizal fungus *G. mosseae* in the absence of the pathogenic fungus, (C) treatment with mycorrhizal fungus *G. mosseae* in the presence of the pathogenic fungus, (D) interaction of biochar and mycorrhizal fungus *G. mosseae* in the absence of the pathogenic fungus, (E) interaction of biochar and mycorrhizal fungus *G. mosseae* in the presence of the pathogenic fungus.

جدول 5. تأثير الكربون الحيوي في الصفات الميكوريزية (نسبة وشدة الإصابة) للفطر *G. mosseae* في نبات الفاصولياء الشائعة النامي تحت الإجهاد الحيوي للفطر الممرض *R. solani*.

Table 5. Effect of biochar on the mycorrhizal traits (infection rate and severity) of the fungus *G. mosseae* in the common bean plant grown under biological stress of infection with the pathogenic fungus *R. solani.*

عدد الأبواغ (بوغ/10 غ تربة) No. of spores (spore/10 g soil)		شدة الإصابة % Infection severity %		نسبة الإصابة % Infection rate %		المعاملات
R. solani مع With *R. solani*	*R. solani* بدون Without *R. solani*	*R. solani* مع With *R. solani*	*R. solani* بدون Without *R. solani*	*R. solani* مع With *R. solani*	*R. solani* بدون Without *R. solani*	Treatments
605.67 c	577.33 c	50 a	65 b	70 bc	86 c	*G. mosseae*
475.67 a	542.00 b	46 a	53 a	55 a	75 b	Biochar + *G. mosseae*

القيم التي يتبعها الأحرف نفسها في العمود نفسه لا يوجد بينها فرق معنوي عند مستوى احتمال 5%.

Values followed by the same letters in the same column are not significantly different at P=0.05.

Abstract

Abed, R.M. 2024. Evaluation of Enhancing Biochar and the fungus *Glomus mosseae* in the Growth of Common Bean, *Phaseolus vulgaris* infected with *Rhizoctonia solani*. Arab Journal of Plant Protection, 42(2): 215-223.
https://doi.org/10.22268/AJPP-001232

The possible role of biochar and its interaction with the fungus *Glomus mosseae* in promoting the growth of the common bean plant, *Phaseolus vulgaris* L., grown under biological stress of infection with the pathogenic fungus, *Rhizoctonia solani* was investigated. The results showed that the addition of biochar and the treatment with mycorrhizal fungus, and the interaction between them, led to a significant reduction in the seedling mortality and the severity of root rot disease of the common bean plant. The results obtained showed that the mycorrhizal traits, which included infection rate, severity of infection, and number of spores, were affected by the presence of the pathogenic fungus, as all the studied mycorrhizal traits decreased, compared to the treatment of the mycorrhizal fungus in the absence of the root rot fungus. The results obtained also showed that the decrease in the disease had a positive effect on the vegetative and root plant growth and nutrients content. The results obtained encourages the application of biochar as an alternative to chemical pesticides for the control of common bean root rot.

Keywords: BioChar, common bean, *Rhizoctonia solani*, *Glomus mosseae*, mycorrhiza.

Affiliation of author: *R.M. Abed, Department of Biology, Education of Basic Sciences Faculty, Diala University, Iraq. Email address of the corresponding author: rabab.abed@uodiyala.edu.iq*

References

المراجع

الصحاف، فاضل حسين. 1989. تغذية النبات التطبيقي. وزارة التعليم والبحث العلمي. جامعة بغداد. العراق. 258 صفحة.

*[**El-Sahaf, F.H.** 1989. Applied Plant Nutrition. Ministry of Education and Scientific Research, University of Baghdad, Iraq. 258 pp. (In: Arabic).]*

الذهيبي، رباب مجيد عبد. 2015. آليات استحثاث المقاومة في نبات الخيار بواسطة *Trichoderma harzianum*، *Bacillus subtilis* و *Glomus mosseae* اتجاه الفطر *Rhizoctonia solani* المسبب لمرض سقوط البادرات. أطروحة دكتوراه، كلية العلوم للبنات، جامعة بغداد، العراق. 190 صفحة.

*[**Al-Thehaby, R.M.A.** 2015. Mechanisms of induced resistance in cucumber plants by Trichoderma harizanum, Glomus mosseae and Bacillus subtilis against Rhizoctonia solani causing seedlings damping off. PhD thesis, Faculty of Sciences for Women, Baghdad University, Iraq. 190 pp. (In: Arabic).]*

عبد، رباب مجيد، هادي مهدي عبود وعلي هاشم الموسوي. 2017. دور بعض عوامل المقاومة الأحيائية الفطرية والبكتيرية في استحثاث مقاومة نبات الخيار إزاء الفطر *Rhizoctonia solani*. مجلة وقاية النبات العربية، 35(2):93-102.
https://doi.org/10.22268/AJPP-035.2.093102

*[**Abed, R.M., H.M. Aboud and A.H. El-Mousawy.** 2017. The role of some fungal and bacterial biological control agents in inducing resistance to the fungal pathogen Rhizoctonia solani in cucumber plants. Arab Journal of Plant Protection, 35(2):93-102. (In: Arabic)]*
https://doi.org/10.22268/AJPP-035.2.093102

Abed, R.M. 2018. Effect of biochar and arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus Mosseae*) on activity and growth of sweet corn plant. Journal of University of Anbar for Pure Sciences, 12(1):19-27.

Abiven, S., A. Hund, V. Martinsen and G. Cornelissen. 2015. Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. Plant and Soil, 395:45-55.
https://doi.org/10.1007/s11104-015-2533-2

Al-Amri, S.M. 2021. Application of bio-fertilizers for enhancing growth and yield of common bean plants grown under water stress conditions. Saudi Journal of Biological Sciences, 28(7):3901-3908.
https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.03.064

Al-Askar, A. and Y. Rashad. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi: a biocontrol agent against common bean Fusarium root rot. Plant Pathology Journal, 9(1):31-38.
https://doi.org/10.3923/ppj.2010.31.38

Anonymous. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC, USA. 541pp.

Bell, C.A., E. Magkourilou, H. Barker, A. Barker, P.E. Urwin and K.J. Field. 2023. Arbuscular mycorrhizal fungalinduced tolerance is determined by fungal

Kasiamdari, R.S., S. E. Smith, F. A. Smith and E. S. Scott. 2002. Influence of the mycorrhizal fungus, *Glomus coronatum*, and soil phosphorus on infection and disease caused by binucleate Rhizoctonia and *Rhizoctonia solani* on mung bean (*Vigna radiata*). Plant and Soil, 238:235-244. https://doi.org/10.1023/A:1014400701819

Kazadi, A.T., G. Baert, J.L.Wa Lwalaba, B.K. Ansey, G. Haesaert and R.P.M. Mundende. 2020. Increasing of NPK fertilizer efficiency by arbuscular mycorrhiza in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Gesunde Pflanzen, 72(4):303-310. https://doi.org/10.1007/s10343-020-00513-7

Krause, R. and R.K. Webster. 1973. Stem rot of Rice in California. Phytopathology, 63(4), 518-823. https://doi.org/10.1094/phyto-63-518

Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment, 5(7):381-387. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2

Mahmoud, S.Y., M.H. Hosseny and A.H. Obiadalla. 2013. Seed borne fungal pathogens associated with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds and their impact on germination. Journal of Environmental Studies, 11(1):19-26.

Martinsen, V., J. Mulder, V. Shitumbanuma, M. Sparrevik, T. Børresen and G. Cornelissen. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 177(5):681-695. https://doi.org/10.1002/jpln.201300590

McKinney, H. 1923. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum.* Journal of Agricultural Research, 26:195-217.

Meller Harel, Y., Y. Elad, D. Rav-David, M. Borenstein, R. Shulchani, B. Lew and F. R. Graber. 2012. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. Plant and Soil, 357:245-257. https://doi.org/10.1007/s11104-012-1129-3

Naseri, B. 2013. Epidemics of Rhizoctonia root rot in association with biological and physicochemical properties of field soil in bean crops. Journal of Phytopathology, 161(6):397-404. https://doi.org/10.1111/jph.12077

Parmeter, J.R. and H.S. Whitney. 1970. Taxonomy and Nomenclature of the imperfect stage. Pages: 7-19 In*: Rhizoctonia solani*, Biology and Pathology. University of California Barkley, Los Angeles.

Rasool, M., A. Akhter and M.S. Haider. 2021. Molecular and biochemical insight into biochar and Bacillus subtilis induced defense in tomatoes against *Alternaria solani.* Scientia Horticulturae, 285:110203. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110203

Sato, T., T. Ezawa, W. Cheng and K. Tawaraya. 2015. Release of acid phosphatase from extraradical hyphae of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus clarus*. Soil Science and Plant Nutrition, 61(2):269-274. https://doi.org/10.1080/00380768.2014.993298

Schwartz, H.F., J.R. Steadman, R. Hall and R.L. Forster. 2005. Compendium of bean diseases (2nd Edition). identity and pathogen density. Plants, People, Planet, 5(2):241-253. https://doi.org/10.1002/ppp3.10338

Bertagnolli, B.L., F.K. Dal Soglio and J.B. Sinclair. 1996. Extracellular enzyme profiles of the fungal pathogen *Rhizoctonia solani* isolate 2B-12 and of two antagonists, *Bacillus megaterium* strain B153-2-2 and *Trichoderma harzianum* isolate Th008. I. Possible correlations with inhibition of growth and biocontrol. Physiological and Molecular Plant Pathology, 48(3):145-160. https://doi.org/10.1006/pmpp.1996.0013

Copley, T., S. Bayen and S. Jabaji. 2017. Biochar amendment modifies expression of soybean and *Rhizoctonia solani* genes leading to increased severity of Rhizoctonia foliar blight. Frontiers in Plant Science, 8:221. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00221

de Medeiros, E.V., N.T. Lima, J.R. de Sousa Lima, K.M. S. Pinto, D.P. da Costa, C.L. Franco Junior, R.M.S. Souza and C. Hammecker. 2021. Biochar as a strategy to manage plant diseases caused by pathogens inhabiting the soil: a critical review. Phytoparasitica, 49(4):713-726. https://doi.org/10.1007/s12600-021-00887-y

Donohue, S.J., D.W. Aho and C.O. Plank. 1992. Determination of P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, B, Cu, and Zn in plant tissue by inductively coupled plasma (ICP) emission spectroscopy. Plant analysis reference procedures for the southern region of the United States, Southern Cooperative Series Bulletin, 368:34-37.

Fall, A.F., G. Nakabonge, J. Ssekandi, H. Founoune-Mboup, S.O. Apori, A. Ndiaye, A. Badji and K. Ngom. 2022. Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on soil fertility: Contribution in the improvement of physical, chemical, and biological properties of the soil. Frontiers in Fungal Biology, 3:723892. https://doi.org/10.3389/ffunb.2022.723892

Gaur, A. and A. Adholeya. 1994. Estimation of VAMF spores in soil: a modified method. Mycorrhiza news, 6(1):10-11.

Giovannetti, M. and B. Mosse. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist, 84(3):489-500. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x

Graham, P.H. and P. Ranalli. 1997. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Field Crops Research, 53(1-3):131-146. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00112-3

Grant, R.F., N.G. Juma, J.A. Robertson, R.C. Izaurralde and W.B. McGill. 2001. Long-term changes in soil carbon under different fertilizer, manure, and rotation: Testing the mathematical model ecosys with data from the Breton plots. Soil Science Society of America Journal, 65(1):205-214. https://doi.org/10.2136/sssaj2001.651205x

Hu, Y., A.K. Pandey, X. Wu, P. Fang and P. Xu. 2022. The role of arbuscular mycorrhiza fungi in drought tolerance in legume crops: A review. Legume Research, 45(1):1-9. https://doi.org/10.18805/lrf-660

Biochemistry, 40(1):1-10. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.07.002

Vierheilig, H. and Y. Piché. 1998. A modified procedure for staining arbuscular mycorrhizal fungi in roots. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 161(5):601-602. https://doi.org/10.1002/jpln.1998.3581610515

Wang, Y., Z. Ma, X. Wang, Q. Sun, H. Dong, G. Wang, X. Chen, C. Yin, Z. Han and Z. Mao. 2019. Effects of biochar on the growth of apple seedlings, soil enzyme activities and fungal communities in replant disease soil. Scientia Horticulturae, 256:108641. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108641

Warnock, D.D., D.L. Mummey, B. McBride, J. Major, J. Lehmann and M. C. Rillig. 2010. Influences of non-herbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth-chamber and field experiments. Applied Soil Ecology, 46(3):450-456. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.09.002

Weng, W., J. Yan, M. Zhou, X. Yao, A. Gao, C. Ma, J. Cheng and J. Ruan. 2022. Roles of *Arbuscular mycorrhizal* fungi as a biocontrol agent in the control of plant diseases. Microorganisms, 10(7):1266. https://doi.org/10.3390%2Fmicroorganisms10071266

Wu, M., Y. Yan, Y. Wang, Q. Mao, Y. Fu, X. Peng, Z. Yang, J. Ren, A. Liu, S. Chen and G.J. Ahammed. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to *Rhizoctonia solani* in watermelon by alleviating oxidative stress. Biological Control, 152:104433. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104433

American Phytopathological Society (APS Press), USA. 109 pp.

Soudzilovskaia, N.A., S. Vaessen, M. Barcelo, J. He, S. Rahimlou, K. Abarenkov, M.C. Brundrett, S. L. Gomes, V. Merckx and L. Tedersoo. 2020. FungalRoot: global online database of plant mycorrhizal associations. New Phytologist, 227(3):955-966. https://doi.org/10.1111/nph.16569

Stanghellini, M.E. and J.M. Phillips. 1975. *Pythium aphanidermatum*: Its occurrence and control with pyroxychlor in the Arabian desert at Abu-Dhabi. Plant Disease Reporter, 59(7):559-563.

Van Zwieten, L., S. Kimber, S. Morris, K.Y. Chan, A. Downie, J. Rust, S. Joseph and A. Cowie. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant and Soil, 327:235-246. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x

Van Zwieten, L., T. Rose, D. Herridge, S. Kimber, J. Rust, A. Cowie and S. Morris. 2015. Enhanced biological N_2 fixation and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in an acid soil following biochar addition: dissection of causal mechanisms. Plant and Soil, 395:7-20. https://doi.org/10.1007/s11104-015-2427-3

Vanek, S.J. and J. Lehmann. 2015. Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. Plant and Soil, 395:105-123. https://doi.org/10.1007/s11104-014-2246-y

Vinale, F., K. Sivasithamparam, E.L. Ghisalberti, R. Marra, S.L. Woo and M. Lorito. 2008. Trichoderma–plant–pathogen interactions. Soil Biology and

Received: April 25, 2023; Accepted: June 26, 2023

تاريخ الاستلام: 2023/4/25؛ تاريخ الموافقة على النشر: 2023/6/26