The Effect of biofertilization with Rhizobium bacteria and two types of PGPR bacteria on the formation of root nodules and .the growth and production of *Vicia Faba* L.plants

Dr. Yaser Hammad*
Dr. Mohammad Ibrahim**

(Received 11 / 8 / 2024. Accepted 10 / 10 /2024)

□ ABSTRACT □

Biofertilizers are products that contain microorganisms necessary for soil fertility and plant growth when added to the soil. They colonize the root zone when seeds or soil are inoculated with them, and stimulate plant growth by controlling the amount or availability of nutrients, by fixing atmospheric nitrogen, and dissolving Phosphorus, increasing organic matter in the soil and making it available to plants.

The research aimed to study the effectiveness of inoculation with some types of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on *Vicia Faba* L. plant growth and root nodule formation: Growth indicators (plant height, fresh and dry weight of shoot and root shoots, number of effective and ineffective root nodules) were measured. And some soil chemical properties: pH, organic matter, total nitrogen, available phosphorus and potassium. The research was carried out in the 2023/2024 season in the nursery of the Faculty of Agricultural Engineering at Tishreen University.

The results showed that inoculation with bacteria, singly or mixed, led to a significant increase in all treatments studied compared to the control not inoculated with bacteria. The best results were when inoculated with a mixture of the three types of RBF, with significant differences, as the plant height reached (83.21 cm/plant), and the fresh and dry weight of the shoot (637.6 and 159.6 g/plant), respectively, and the fresh and dry weight of the root (31.8 and 22.4 g/plant), respectively. The number of effective root nodes reached (144.8) effective nodes, and the average production was (599.83 g/m2), while the percentage of organic matter was (3.62%), total nitrogen (0.198%), available phosphorus (41.11 mg/kg), and available potassium (717.6 mg/kg) compared to the healthy control not inoculated with bacteria.

Keywords: PGPR, Biofertelizer, *Vicia Faba L.*, Root Nodes, Soil.

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

* **Associate Professor of Microbiology, Faculty of Agricultural Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.** yaser.hammad@tishreen.edu.sy
****Ministry of Agriculture and Agrarian Reform, Tartous Agriculture Directorate, Syria.** mohammad.ibrahim@tishreen.edu.sy

تأثير التسميد الحيوي ببكتريا الرايزوبيوم ونوعين من بكتيريا PGPR في تشكل العقد الجذرية ونمو وإنتاج نبات الفول

د. ياسر حماد*

د. محمد ابراهيم**

(تاريخ الإيداع 11 / 8 / 2024. قبل للنشر في 10 / 10 / 2024)

□ ملخّص □

الأسمدة الحيوية هي منتجات تحتوي على كائنات حية دقيقة ضرورية لخصوبة التربة ونمو النباتات عند إضافتها إلى التربة، حيث تستعمر منطقة الجذور عند تلقيح البذور أو التربة بها، وتحفز نمو النباتات عن طريق التحكم في كمية أو توافر العناصر الغذائية، عن طريق تثبيت الآزوت الجوي، وإذابة الفوسفور، وزيادة المواد العضوية في التربة واتاحتها للنبات.

هدف البحث إلى دراسة فعالية التلقيح ببعض أنواع الريزوبكتيريا المحفزة لنمو النبات (PGPR) في نمو نبات الفول وتشكل العقد الجذرية. تم قياس مؤشرات النمو: طول النبات، والوزن الطازج والجاف للمجموع الخضري والجذري، وعدد العقد الجذرية الفعالة وغير الفعالة، وبعض خواص التربة الكيميائية: درجة الـ pH، المادة العضوية، الآزوت الكلي، الفوسفور والبوتاسيوم المتاح، نفذ البحث في موسم 2024/2023 في مشتل كلية الهندسة الزراعية في جامعة تشرين

أظهرت النتائج أن التلقيح بالبكتريا بشكل مفرد أو مختلط أدى إلى زيادة معنوية في جميع المعاملات المدروسة بالمقارنة مع الشاهد غير الملقح بالبكتريا، وكانت أفضل النتائج عند معاملة التلقيح بمزيج من الأنواع الثلاثة RBF وبفروق معنوية، إذ بلغ ارتفاع النبات (83.21 سم/نبات)، والوزن الطازج والجاف للمجموع الخضري (637.6 و 159.6 غ/نبات) على التوالي، والوزن الطازج والجاف للمجموع الجذري (31.8 و 22.4 غ/نبات) على التوالي، ووصل عدد العقد الجذرية الفعالة إلى (144.8) عقدة فعالة، ومتوسط الإنتاج (599.83 غ/م^2)، في حين بلغت نسبة المادة العضوية (3.62%)، والآزوت الكلي (0.198%)، والفوسفور المتاح (41.11 مغ/كغ)، والبوتاسيوم المتاح (717.6 مغ/كغ) بالمقارنة مع الشاهد. تشير هذه النتائج إلى فعالية الأنواع البكتيرية المدروسة وأهمية استخدامها في تحسين خصوبة التربة وتحفيز نمو النبات وتشكل العقد الجذرية الفعالة في تثبيت الآزوت الجوي، ما يسهم في النهاية في زيادة إنتاجية نبات الفول

الكلمات المفتاحية: بكتريا محفزة لنمو النبات (PGPR)، مخصبات حيوية، فول، عقد جذرية، تربة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* أستاذ مساعد –الأحياء الدقيقة ، كلية الهندسة الزراعية– جامعة تشرين– اللاذقية – سورية. Yaser.hammad@tishreen.edu.sy

** وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، مديرية زراعة طرطوس – سورية mohammad.ibrahim@tishreen.edu.sy

مقدمة:

ينتمي الفول *Vicia faba* L. إلى العائلة Fabaceae، وهو أقدم البقوليات في العالم (Çirka, 2022) وله أهمية كبيرة في تغذية الإنسان والحيوان، ويعتبر مصدراً جيداً للبروتين بنسبة تتراوح بين 25 و 35% (Nachi and Le Guen 1996)، بلغت المساحة المزوعة بالفول على مستوى العالم 2671.497 هكتاراً، بإجمالي إنتاج وصل إلى 5669185 طناً (FAO, 2020)، ووصلت المساحة الإجمالية المزروعة بالفول الاخضر في سورية إلى 8751 هتكاراً لموسم 2022، وكان الإنتاج الإجمالي للموسم نفسه 52218 طناً، وقدرت المساحة المزروعة بالفول في محافظة طرطوس واللاذقية بـ 729 و 374 هكتار، أعطت 5954 و 2965 طناً، على التوالي (المجموعة الإحصائية السنوية، 2022).

تعد التأثيرات المتزايدة في البيئة الناجمة عن الممارسات الزراعية في العالم كاستخدام الأسمدة المعدنية على فترات طويلة في إنتاج محاصيل الخضار مصدر تلوث للبيئة والمياه ولانتشار الكثير من الأمراض التي تصيب الإنسان، حيث أثرت تدريجياً في نمو النباتات ونوعية التربة من حيث التركيب والتوازن البيولوجي، الأمر الذي تطلب تطوير ممارسات بديلة لتقليل وتخفيف تلك التأثيرات بالتوازي مع تحسين التربة، والعائد لكل مساحة مزروعة والفوائد الاقتصادية للمزارعين (Zaidi *et al.*, 2017). هذا الأمر شجع على خلق خيارات جديدة للممارسات الزراعية، والتي تميل إلى أن تكون أقل تلوث للبيئة، وأرخص من التقنيات التقليدية، وقادرة على زيادة الكفاءة بتكاليف منخفضة، وأكثر سهولة في الاستخدام والتنفيذ وبالتالي الحصول على خصائص أفضل للمحاصيل. لذلك ظهرت تقنيات مثل التسميد الحيوي لتقليل التأثيرات البيئية والاستفادة من الموارد المتاحة في هذا المجال (Carvajal-Muñoz and Carmona-Garcia, 2012).

تعرف الأسمدة الحيوية بأنها مجموعة متنوعة من الميكروبات القادرة على تحسين قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية عن طريق استعمار منطقة الجذور وجعل العناصر الغذائية متاحة بسهولة لشعيرات جذور النبات، وتتميز الأسمدة الحيوية بفعاليتها وقلة تكاليفها وطبيعة تكوينها الصديقة للبيئة، لذا تعتبر بدائل فعالة وآمنة للأسمدة الكيميائية الخطرة (Dasgupta *et al.*, 2021).

تلعب الريزوبكتيريا المحفزة لنمو النباتات(Plant Growth Promoting Rhizobacteria :PGPR) دورًا مهمًا في تنظيم ديناميكيات العمليات المختلفة في التربة مثل تحلل المادة العضوية، وإمكانية إتاحة العناصر الغذائية المختلفة للنباتات مثل الحديد والمغنيسيوم والنيتروجين والبوتاسيوم والفوسفور، وتحسين نمو النباتات من خلال آليات مباشرة مثل تثبيت الآزوت الجوي، وإنتاج الجبريلينات والسايتوكينينات والاثيلين وحاملات الحديد Siderophores، وآليات غير مباشرة مثل إنتاج المضادات الحيوية وغاز السيانيد وبعض الأنزيمات. وبالتالي فهي تشكل العنصر الرئيسي للإدارة المتكاملة للمغذيات ما يحقق الزراعة المستدامة (Kour *et al.*, 2020).

بينت دراسة تلقح نباتات الفول بمجموعة من البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات، زيادة في نمو وإنتاجية نباتات الفول البلدي، حيث بلغ متوسط الزيادة في الكتلة الحيوية للقش 105.2 % والبذور 31.9 % وإجمالي الانتاجية 56.8 ٪، وزيادة في عدد العقد الجذرية الفعالة بنسبة زيادة تراوحت من 46.7% الى 121.7% مقارنة بالشاهد غير الملقح بالبكتريا (El-Azeem *et al.*, 2007). كما أدى تلقيح نباتات الفول والبازيلاء ببكتريا مذيبة للفوسفور إلى زيادة في خصوبة التربة عن طريق زيادة المواد العضوية في التربة من 0.61 % إلى 0.70 %، وخفض درجة pH التربة من 7.74 إلى 7.68، وزيادة إجمالي الآزوت في التربة من 0.04 % إلى 0.09 % مقارنة مع الشاهد

(Janati *et al.,* 2023). وهذا يتوافق مع هدف الدراسة ويبرر اختيار العمل باستخدام التسميد الحيوي ببعض أنواع من البكتيريا PGPR في نمو وانتاج نباتات الفول.

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من الأهمية الاقتصادية والغذائية الواسعة لنبات الفول في سورية ومن الآثار الخطيرة للتسميد المعدني الزائد على البيئة وصحة الإنسان ومن التأثير الواعد للتسميد الحيوي ببكتيريا PGPR في تنشيط وتحفيز نمو النبات وزيادة إنتاجيته، والتخفيض من استخدام الأسمدة الكيميائية مع المحافظة على الانتاجية الجيدة من خلال قدرتها على تحويل العناصر الغذائية غير المتاحة للنبات بعمليات بيولوجية إلى الشكل المتاح للامتصاص.

أهداف البحث

هدف البحث إلى اختبار فعالية التلقيح بالأنواع البكتيرية (*Bacillus megaterium, Frateuria aurantia, Rhizobium leguminosarum*) بشكل مفرد أو مختلط في تحسين خواص التربة وإتاحة العناصر الكبرى (NPK)، وتحسين نمو نباتات الفول، من خلال دراسة بعض مؤشرات النمو مثل: طول النبات والوزن الطازج والجاف للمجموعين الخضري والجذري وعدد العقد الجذرية والانتاج.

طرائق البحث ومواده:

موقع الدراسة: نفذ البحث في موسم 2024/2023 في المشتل الزراعي في جامعة تشرين، وأجريت الاختبارات في مخبر أبحاث علوم التربة والمياه ومخبر الأحياء الدقيقة في كلية الهندسة الزراعية – جامعة تشرين.

المادة النباتية: نبات الفول (*Vicia Faba L.*)، إسباني المنشأ.

التربة المستخدمة والعمليات الزراعية: استخدمت تربة من مشتل كلية الهندسة الزراعية، وحضرت الأرض للزراعة بحراثتها حراثة خريفية عميقة وأخذت عينة تربة للتحليل قبل الزراعة، ومن خلال النتائج جدول (1) تبين أن التربة رملية طينية.

تم تخطيط الأرض لقطاعات تجريبية بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة بدون أي إضافات سمادية، وتمت الزراعة في منتصف شهر تشرين الأول (2023/10/15)، وتم تقديم عمليات الخدمة الضروريةمن ري ومكافحة وتعشيب بشكل دوري.

جدول (1) نتائج التحليل الميكانيكي والكيميائي للتربة قبل الزراعة

التحليل الكيميائي					التحليل الميكانيكي		
pH	OM%	آزوت ppm	فوسفور ppm	بوتاسيوم ppm	رمل%	سلت%	طين%
7.66	3.08	0.155	30.96	562.67	46	24	30

الأنواع البكتيرية المستخدمة:

استخدمت ثلاثة أنواع بكتيرية موصفة ومحفوظة في مخبر أبحاث علوم التربة والمياه في كلية الهندسة الزراعية بجامعة تشرين وهي: النوع *Rhizobium leguminosarum* : مثبتة للآزوت تكافليا. (المغربي وآخرون، 2016)، والنوع *Bacillus megaterium*: مذيبة وميسرة للفوسفور، والنوع *Frateuria aurantia*: ميسرة للبوتاسيوم (حماد والشامي، 2017).

تنشيط البكتيريا وتحضير اللقاح البكتيري وإضافته:

نشطت الأنواع البكتيرية المستخدمة بإعادة زراعتها على بيئات متخصصة للحصول على خلايا حديثة في أوج نشاطها الحيوي (حماد والشامي، 2017). أضيف اللقاح البكتيري المحضر من الأنواع البكتيرية الثلاثة بشكل مفرد ومختلط (معلقات بتركيز 10^9 خلية/مل) إلى البذور بنقعها لمدة 3 ساعات، ونقعت بذور الشاهد بالماء المقطر المعقم، أضيفت اللقاحات البكتيرية المحضرة بمعدل 10 مل/نبات من كل لقاح عند الزراعة وفق المعاملات المدروسة (Jarak *et al.*, 2010).

التحاليل والصفات المدروسة:

- **ارتفاع النبات (سم):** تم قياس طول كل نبات بدءاً من منطقة التاج وحتى قمة الساق الرئيسة في النبات بالسنتمتر.
- **متوسط الوزن الطازج للمجموع الخضري والجذري للنبات (غ/نبات):** تم استخدم ميزان إلكتروني حساس لقياس الوزن الطازج للمجموع الخضري والجذري، بعد قلع النبات الأخضر، وفصل المجموع الخضري عن الجذر عند منطقة التاج، وغسل الجذور بالماء لتنظيفها من التربة، وتنشيفها قبل وزنها.
- **الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري للنبات (غ/نبات):** استخدم ميزان إلكتروني حساس لقياس الوزن الجاف للمجموع الخضري والجذري، بعد قلع النبات الأخضر، وفصل المجموع الخضري عن الجذر عند منطقة التاج، وغسل الجذور بالماء لتنظيفها من التربة وتنشيفها قبل وزنها، وتم التجفيف على درجة حرارة 70مْ لمدة 72 ساعة حتى ثبات الوزن.
- **عدد العقد الجذرية (الفعالة/غير الفعالة):** استخدمت مكبرة يدوية لتحديد العقد وتمييزها، كانت العقد الجذرية الفعالة ذات لون وردي، والعقد الجذرية غير الفعالة بلون أبيض أو رمادي.
- **الإنتاج الكلي من القرون الخضراء:** تم أخذ وزن القطفات وحساب المجموع الكلي لإنتاج النبات.

تحليل التربة: تم تحليل التربة قبل الزراعة وبعد قلع المحصول حيث أجريت التحاليل الآتية:

- قياس درجة ال pH بطريقة pH–meter
- تقدير المادة العضوية بطريقة الهضم الرطب (Walkley, 1947)
- تقدير الفوسفور بطريقة مولبيدات الأمونيوم (Olsen and Sommers, 1982)
- تقدير البوتاسيوم باستخدام جهاز اللهب (Richards, 1954)
- تقدير الأزوت باستخدام جهاز كلداهل (Bremner and Mulvany, 1982)
- تحديد قوام التربة بالتحليل الميكانيكي للتربة باستخدام طريقة الماصة (Day, 1965)

تصميم التجربة:

صممت التجربة وفق نظام القطاعات العشوائية الكاملة، بخمس معاملات (جدول 2) وثلاث مكررات لكل معاملة، كان عدد القطع التجريبية (15) قطعة، تمت الزراعة وفق مخطط البحث ضمن مساكب (80×120)سم^2، البعد بين المساكب ضمن القطاع الواحد وبين القطاعات (50) سم، وزرعت البذور على عمق (5–7)سم، والمسافة بين البذرة والأخرى (60)سم.

معاملات التجربة: تضمنت الدراسة أربع معاملات والشاهد (جدول2)

جدول(2) توزع المعاملات وفق الأنواع البكتيرية المستخدمة في كل معاملة

المعاملة	الأنواع البكتيرية المستخدمة
R	***R**hizobium leguminosarum*
RB	***R**hizobium leguminosarum* + ***B**acillus megaterium*
RF	***R**hizobium leguminosarum*+ ***F**rateuria aurantia*
RBF	**R**. leguminosarum + ***B**. megaterium*+ ***F**. aurantia*
C	**C**ontrol

حللت النتائج إحصائياً باستخدام برنامج Genstat-12، واختبار One-way ANOVA (no Bloking)، ومقارنة الفروق بين المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي $LSD_{0.05}$ واختبار دانكان.

النتائج والمناقشة:

تأثير التسميد الحيوي في بعض خصائص نمو نباتات الفول

- **متوسط ارتفاع النبات (سم):**

أظهرت النتائج الموضحة في الجدول (3) عند دراسة بعض خصائص نمو نبات الفول، وذلك وفق التلقيح بثلاثة أنواع من البكتيريا بشكل مفرد أو مختلط، زيادة في ارتفاع النبات والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذري وبفروق معنوية في جميع المعاملات المدروسة بالمقارنة مع الشاهد غير الملقح بالبكتيريا، حيث حققت معاملة التلقيح المفردة بالبكتريا *Rhizobium leguminosarum* (R) زيادة في قيمة متوسط ارتفاع النبات 70.54 سم/نبات، والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري (230 و 53.5 غ/نبات) والجذري (20.5 و 9.5 غ/نبات)، على التوالي، مقارنة مع الشاهد.

جدول(3): متوسط ارتفاع النبات والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذري وفق المعاملات المدروسة

المعاملة	متوسط طول النبات سم/نبات	المجموع الخضري غ/نبات		المجموع الجذري غ/نبات	
		رطب	جلف	رطب	جاف
c	61.85a	189.7a	43.66a	16.33a	6a
R	70.54b	230b	53.5b	20.5b	9.5b
RB	73.68c	270.7c	64.66c	22.33c	10.5b
RF	74.96c	328d	67.33c	29d	13.66c
RBF	83.21d	637.6e	159.6d	31.8e	22.4d
$LSD_{0.05}$	1.819	36.39	5.458	1.819	2.729

(C)=Control, (R)= *Rhizobium leguminosarum*,(RB)= *Rhizobium leguminosarum*+ *Bacillus megaterium*, (RF)= *Rhizobium leguminosarum*+*Frateuria aurantia*, (RBF)= R. leguminosarum+*B. megaterium*+*F. aurantia.*

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

أما عند معاملات التلقيح المختلط بنوعين من البكتيريا، تفوقت المعاملة (RF) على المعاملة (RB) وعلى المعاملة المفردة (R) وبفروق معنوية واضحة في متوسط ارتفاع النبات 74.96سم/نبات، والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري(328 و 67.33 غ/نبات)، والوزن الرطب والجاف للمجموع الجذري (29 و 13.66 غ/نبات)، على التوالي.

في حين حققت المعاملة المختلطة بالأنواع البكتيرية الثلاثة (RBF) أكبر قيمة في متوسط ارتفاع النبات 83.21 سم/نبات والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري(637.6 و 159.6 غ/نبات)، والوزن الرطب والجاف للمجموع الجذري (31.8 و 22.4غ/نبات)، على التوالي، وتفوقت على باقي المعاملات والشاهد.

- **متوسط عدد العقد الجذرية والانتاج:**

تبين النتائج الموضحة بالجدول (4) أن جميع المعاملات المدروسة والملقحة بالأنواع البكتيرية الثلاثة بشكل مفرد أو مختلط تفوقت معنوياً في متوسط عدد العقد الجذرية والإنتاج مقارنة مع الشاهد غير المعامل. لوحظ تفوق معاملة التلقيح المفرد ببكتريا *Rhizobium leguminosarum* (R) على معاملة الشاهد في عدد العقد الجذرية 83.16 عقدة أما فيما يخص معاملات التلقيح المختلطة RB و RF و RBF فقد تفوقت معنوياً على جميع المعاملة المفردة والشاهد في عدد العقد الجذرية الفعالة والإنتاج، في حين سجلت المعاملة المختلطة بالأنواع البكتيرية الثلاثة (RBF) أعلى قيمة في متوسط عدد العقد الجذرية الفعالة والإنتاج متفوقة بذلك على جميع المعاملات بما فيه الشاهد، اذ بلغ متوسط عدد العقد الجذرية الفعالة 144.8 عقدة، وبنسبة زيادة 122.7%، وكان متوسط الإنتاج 599.83غ/م2، وبنسبة زيادة 326.4% قياساً بمعاملة الشاهد غير الملقح.

جدول(4): متوسط عدد العقد الجذرية والانتاج وفق المعاملات المدروسة

المعاملة	عدد العقد الجذرية		الانتاج غ/م2
	فعالة	غير فعالة	
C	65.0a	95.5d	140.66a
R	83.16b	78.2c	273.18b
RB	88.5bc	74.3b	283.00b
RF	96.0c	71a	301.70c
RBF	144.8d	68.8a	599.83d
$LSD_{0.05}$	8.78	2.729	18.19

(C)=Control, (R)= *Rhizobium leguminosarum*,(RB)= *Rhizobium leguminosarum*+ *Bacillus megaterium*, (RF)= *Rhizobium leguminosarum*+*Frateuria aurantia*, (RBF)= R. leguminosarum+*B. megaterium*+*F. aurantia*.

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

يمكن أن تعزى الزيادة في قيم مؤشرات النمو إلى زيادة التجمعات الميكروبية الفعالة في التربة القادرة على إنتاج حمض الأندول الخلي Indole Acetic Acid (IAA) ومركبات السيدرفور Siderophores (Dastager *et al.*, 2011) وبعض الهرمونات مثل الأوكسينات، الجبريليك والفيتامينات وإذابة الفوسفور المعدني غير الذواب ; Singh, 2013) .Saharan and Nehra, 2011)

حيث أظهرت دراسة عند تلقح نباتات الفول بـ 56 سلالة من البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات، زيادة في تحفيز نمو وإنتاجية نباتات الفول البلدي حيث بلغ متوسط الزيادة في الكتلة الحيوية 105.2% و 31.9% و56.8% للقش والبذور وإجمالي الانتاجية على التوالي ، وزيادة في عدد العقد الجذرية الفعالة بنسبة تراوحت من 46.7% الى 121.7 % مقارنة بالشاهد غير الملقح بالبكتريا (El-Azeem *et al.*, 2007). في حين أدى تلقيح نباتات الفاصولياء والفول ببكتريا *Azospirillum brasilense* و*Rhizobium* spp تحريض الإشارة المسؤولة عن جينات الإيماءة (جين العقد الجذرية) عن طريق إفراز جزيئات الإيزوفلافون والفلافانون

وحقق التلقيح (Va´zquez *et al*., 1991 ; Dakora *et al*., 1993 ; Hungria *et al*., 1991) بـ *Azospirillum brasilense* Hعلى زيادة في تحريض نشاط جين الايماءة وأعطت أعلى مستويات من الفلافونويد ما أدى إلى تحقيق زيادة في كثافة جذور شتلات الفول بنسبة 66%، وفي العدد الاجمالي من العقد الجذرية بنسبة تراوحت بين 14.2 و 17.3% مقارنة مع الشاهد غير الملقح بالبكتيريا (Burdman *et al*., 1996). وتفوقت نباتات الفول والبازيلاء الملقحة بخمس عزلات من البكتيريا المذيبة للفوسفور على الشاهد من حيث نمو النباتات بنسبة زيادة تراوحت بين 77.78 إلى 88.88%، وفي محتوى النبات من الآزوت والفوسفور (67.50%، 23.11%)، على التوالي. كما لوحظ زيادة في الوزن الطازج والجاف للمجموع الخضري بنسبة (41.17%، 38.57%) ووزن الجذور بنسبة زيادة (56.6%، 42.28%)، على التوالي (Janati *et al*., 2023). وأدى تلقيح نباتات الفول والقمح ببكتريا Rhizobia و PGPR بشكل مفرد أو مختلط في نمو وامتصاص الفوسفور، زيادة في الوزن الجاف للمجموع الجذري بالإضافة إلى وزن قرون الفول وسنابل القمح، وكان تركيز الفسفور والبوتاسيوم وحمض الاندول الخلي والسكريات الخارجية أعلى في النباتات الملقحة، وحقق التلقيح بواسطة الريزوبيا وحدها أو عن طريق مزيج من سلالات PGPR والريزوبيا نتائج أفضل من التلقيح بـ PGPR وحده. (Noura *et al*., 2019)

تأثير التلقيح البكتيري في بعض خواص التربة:

تبين النتائج في الجدول (5) أن جميع المعاملات الملقحة بالبكتريا بشكل مفرد أو مختلط أدت إلى زيادة في قيم مؤشرات الخصوبة لبعض خواص التربة وبفروق معنوية قياساً مع تربة الشاهد غير الملقح بالبكتريا.

حيث لوحظ انخفاض في درجة pH التربة لجميع المعاملات الملقحة بالبكتيريا، وكان أعلى قيمة انخفاض عند المعاملة المختلطة RBF حيث بلغت درجة الـ pH = 7.15 بالمقارنة مع الشاهد 7.55. وأعطت أعلى قيمة في نسبة المادة العضوية 3.62% وفي محتوى التربة من الآزوت 0.198 % والفوسفور الكلي 41.11 مغ/كغ والبوتاسيوم الكلي 717.6 مغ/كغ مقارنة مع الشاهد غير الملقح بالبكتريا، وتعزى هذه الزيادة إلى دور هذه البكتريا في تيسير الآزوت والفوسفور والبوتاسيوم (حماد والشامي، 2017).

جدول (5): التحاليل الكيميائية للتربة بعد قلع المحصول وفق المعاملات المدروسة

المعاملة	pH	المادة العضوية%	الآزوت الكلي %	الفوسفور المتاح مغ/كغ	البوتاسيوم المتاح مغ/كغ
c	7.55d	3.15c	0.151a	30.45a	590.64a
R	7.41c	3.28b	0.167b	34.27b	664.76b
RB	7.33bc	3.36b	0.178c	36.32b	683.32c
RF	7.31b	3.51c	0.186d	39.96c	694.21c
RBF	7.15a	3.62d	0.198e	41.11c	717.6d
$LSD_{0.05}$	0.0910	0.0818	0.01819	3.044	18.19

(C)=Control, (R)= *Rhizobium leguminosarum*,(RB)= *Rhizobium leguminosarum*+ *Bacillus megaterium*, (RF)= *Rhizobium leguminosarum*+*Frateuria aurantia*, (RBF)= R. leguminosarum+*B. megaterium*+*F. aurantia*.

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

لوحظ تفوق معاملة التلقيح المفرد ببكتريا *Rhizobium leguminosarum* (R) على معاملة الشاهد في نسبة المادة العضوية 3.28% وفي محتوى التربة من الآزوت الكلي والفوسفور المتاح والبوتاسيوم المتاح

(0.167 %و 34.24 مع/كغ و 664.76مغ/كغ) على التوالي، وفي قيمة الـ pH (7.41) مقارنة مع الشاهد غير الملقح. وقد تعود هذه الزيادة الى دور البكتريا الفعال في توفير وإتاحة العناصر الغذائية للنبات ما سمح بتحسين النمو بزيادة ارتفاع النبات وعدد العقد الجذرية الفعالة وزيادة الإنتاج (جدول3 و4)، حيث أكدت دراسات سابقة أن هذا الانخفاض في pH التربة والزيادة في المادة العضوية ومحتوى التربة من NPK يعود إلى دور البكتريا المستخدمة في إنتاج مركبات السيدرفور Siderophores (Dastager *et al*., 2011) والأوكسينات والجبريلينات والفيتامينات وإذابة الفوسفور المعدني غير الذواب (Singh, 2013 ; Saharan and Nehra, 2011) كما تحسنت خواص التربة وزاد نمو النباتات عند التلقيح ببكتريا *Bacillus amyloliquefaciens* بفضل إنتاج البكتيريا لأحماض عضوية منها السترات واللاكتات وخفضت من pH التربة وبالتالي زادت نسبة المادة العضوية وحسنت من NPK و Ca وMg في التربة (Jamal *et al*., 2018)، وهذا ما أكده Janati وآخرون عام (2023) عند تلقيح نباتات الفول والبازيلاء ببكتريا مذيبة للفوسفور، حيث حسن التلقيح بالبكتريا من خصوبة التربة عن طريق زيادة المواد العضوية في التربة من 0.61% إلى 0.70%، وخفض pH التربة من 7.74 إلى 7.68، وزيادة إجمالي الآزوت في التربة من 0.04 % إلى 0.09 % مقارنة مع الشاهد، وأدت إلى زيادة في نشاط أنزيم ديامينار ACCD، حيث يعمل إنزيم ACCD على تقليل مستوى ACC في الإفرازات الجذرية، ما يسمح بقليل تركيز الإيثيلين في جذور النباتات، ما يساعد في طول الجذر وبالتالي زيادة كفاءة النبات في امتصاص العناصر الغذائية (Janati *et al*., 2023 ،Sagar *et al*. ;.2022; Saleem *et al*., 2018). وزادت من أنزيم الكيتيناز Chitinase enzymes ما يشير إلى غنى التربة بالمادة العضوية التي يمكن أن تتحلل وتوفر الغذاء للنبات والكائنات الحية المفيدة (Kim *et al*., 1997). في حين أدى تلقيح النباتات بثلاث سلالات من بكتيريا *Bacillus subtilis* و *Bacillus cereus* و *Serratia* sp. بشكل مختلط إلى تحسين الخصائص الكيميائية للتربة وجودة الثمار، وارتبطت إيجاباً بزيادة الكربون العضوي الكلي والنتروجين الكلي والأمونيا والبوتاسيوم الكلي ومحتوى الفوسور المتاح (Zhang *et al*., 2019)، حيث كانت هناك بعض الأنواع البكتيرية لها قدرة على إنتاج أنزيم الفايتيز Phytase enzymes والذي له دور في تيسير الفوسفور المتاح للنبات عن طريق تمعدن الفيتات بوساطة هذا الأنزيم (Jorquera *et al*., 2008 ; Lim *et al*., 2007).

الاستنتاجات والتوصيات

أدى تلقيح نبات الفول بالأنواع البكتيرية *Bacillus megaterium, Frateuria aurantia, Rhizobium leguminosarum* بشكل مفرد أو مختلط إلى:

- تحسين خواص التربة الكيميائية وزيادة محتواها من العناصر الغذائية والمادة العضوية.
- تحسين نمو نباتات الفول عن طريق زيادة ارتفاع النباتات والوزن الرطب والجاف للمجموع الخضري والجذري وعدد العقد الجذرية الفعالة ومتوسط الانتاجية.
- أعطى التلقيح المختلط بالأنواع البكترية الثلاثة (RBF) أعلى زيادة في محتوى التربة من المادة العضوية والعناصر الغذائية وفي قيم مؤشرات النمو المدروسة مقارنة مع الشاهد.
- نوصي باستخدام التسميد الحيوي بالأنواع البكتيرية الثلاثة معاً لتلقيح بذور وشتول نباتات الفول لتحقيق زيادة في نمو إنتاجية نباتات الفول.

References:

- حمادي، الشامي ر. توصيف بعض أنواع بكتريا الرايزوسفير المحفزة لنمو النبات من بعض الأسمدة الحيوية والترية. مجلة جامعة البعث. 2017؛ 39: 1-25.

- Hammad Y, Al-Shami R. Characterization of some types of rhizosphere bacteria that stimulate plant growth from some biofertilizers and soil. Al-Baath University Journal. 2017; 39:1-25.

- المغربي ص، حماد ي، رزق ب. دراسة تأثير بكتيريا Rhizobium leguminosarum في نمو الفطر Fusarium oxysporum f.sp.lycopersici مخبرياً. مجلة وقاية النبات العربية. 2016؛ 34(2): 135-141.

- Al-Maghribi S, Hammad Y, Rezk B. Effect of Rhizobium leguminosarum on growth of Fusarium oxysporum f.sp. lycopersici in vitro. Arab Journal of Plant Protection. 2016; 34(2): 135-141.

- المجموعة الإحصائية الزراعية السنوية. مديرية الإحصاء والتخطيط، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، الجمهورية العربية السورية. 2022.

- Annual agricultural statistical collection. Issued by the Ministry of Agriculture and Agrarian Reform in Syria. 2022.

1- Nachi N, Le Guen J. Dry matter accumulation and seed yield in faba bean (Vicia faba L) genotypes. Agronomie. 1996; 16(1): 47–59.

2- Çirka M. Determination of the effects of PGPR isolates and algae on plant growth in broad bean (Vicia faba L.) grown under water stress conditions. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus. 2022; 21(6): 103-113.

3- FAO. http://www.fao.org/faostat/en/data/QCL/visualize [date of access: 15.12.2021].

4- El-Azeem A, Mehana T, Shabayek A. Response of faba bean (Vicia faba L.) to inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria. Catrina: The International Journal of Environmental Sciences. 2007; 2(1): 67-75.

5- Burdman SAUL, Volpin HANNE, Kigel JAIME, Kapulnik YORAM, Okon YAACOV. Promotion of nod gene inducers and nodulation in common bean (Phaseolus vulgaris) roots inoculated with Azospirillum brasilense Cd. Applied and Environmental Microbiology. 1996; 62(8): 3030-3033.

6- Dakora FD, Joseph CM, Phillips DA. Common bean root exudates contain elevated levels of daidzein and coumestrol in response to Rhizobium inoculation. Mol. Plant-Microbe Interact. 1993; 6: 665–668.

7- Hungria M, Joseph CM, Phillips DA. Rhizobium nod gene inducers exuded naturally from roots of common bean (Phaseolus vulgaris L.). Plant Physiol (Bethesda). 1991; 97: 759–764.

8- Va´zquez M, Da´valos A, de las Pen˜as A, Sa´nchez F, Quinto C. Novel organization of the common nodulation genes in Rhizobium leguminosarum bv. phaseoli strains. J. Bacteriol. 1991; 173: 1250–1258.

9- Sagar A, Sayyed RZ, Ramteke PW, Ramakrishna W, Poczai P, Al Obaid S. Synergistic effect of Azotobacter nigricans and nitrogen phosphorus potassium fertilizer on agronomic and yield traits of maize (Zea mays L.). Front. Plant Sci. 2022; 13: 1-12.

10- Saleem AR, Brunetti C, Khalid A, Della Rocca G, Raio A, Emiliani G. Drought response of Mucuna pruriens (L.) DC. Inoculated with ACC deaminase and IAA producing rhizobacteria. PLOS ONE. 2018; 13(2): 1-18.

11- Janati W, Mikou K, El Ghadraoui L, Errachidi F. Growth stimulation of two legumes (Vicia faba and Pisum sativum) using phosphate-solubilizing bacteria inoculation. Frontiers in Microbiology. 2023; 14: 1-15.
12- Noura BN, Raklami A, Tahiri AI, Benidire L, El Alaoui A, Meddich A, Oufdou K. Characterization of plant growth promoting rhizobacteria and their benefits on growth and phosphate nutrition of faba bean and wheat. Biology Open. 2019; 8(7): 1-8.
13- Kour D, Rana KL, Yadav AN, Yadav N, Kumar M, Kumar V, Saxena AK. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020; 23: 101487.
14- Jarak MN, Duric SS, Dordevic BD. Benefits of inoculation with Azotobacter in the growth production of tomato and pepper. Proc. Nat. Sci, Matica Srpska Novi Sad. Serbia. 2010; 119: 71-76.
15- Walkley A. A critical examination of a rapid method for determining of organic soil constituents. Soil. Sci. 1947; 63: 251-263.
16- Olsen SR, Sommers LE. Methods of soil analysis, part 2. Am. Soc. Agron. Madison WI, USA. 1982; 403-430.
17- Bremner JM, Mulvaney CS. Methods of soil analysis part 2. Am. Soc. Agron. Madison WI, USA; 1982. p. 595-624.
18- Day PR. Methods of soil analysis, part 1. Am. Soc. Agron. Madison WI, USA; 1965. p. 546-566.
19- Dastager S, Deepa C, Pandey A. Growth enhancement of black pepper (Piper nigrum) by a newly isolated Bacillus tequilensis NII-0943. Cell Mol Biol. India; 2011. 66(5): 801.
20- Singh JS. Plant growth promoting rhizobacteria potential microbes for sustainable agriculture. Central University, Raibarely Road, Lucknow 226025, Uttar Pradesh, India; 2013. p. 7.
21- Saharan BS, Nehra V. Plant growth promoting rhizobacteria: A critical review. Life Sci Med Res. 2011; 21(1): 1-30.
22- Jamal Q, Yong SL, Hyeon DJ, Kil YK. Effect of plant growth promoting bacteria Bacillus amyloliquefaciens Y1 on soil properties, pepper seedling growth, rhizosphere bacterial flora and soil enzymes. Plant Protect Sci. 2018; 54(3): 129-137.
23- Kim K, Jordan D, McDonald G. Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biol Fertil Soils. 1997; 26: 79–87.
24- Zhang LI, Cheng NA, Qiang DAW, Xiang-Qun H, Yue-Sheng D, Qing X, Hua-Mei L, Jian-Hua LG. Consortium of plant growth-promoting rhizobacteria strains suppresses sweet pepper disease by altering the rhizosphere microbiota. Plants. 2019; 10: 1668.
25- Jorquera MA, Hernández MT, Rengel Z, Marschner P, Mora ML. Isolation of culturable phosphobacteria with both phytate-mineralization and phosphate-solubilization activity from the rhizosphere of plants grown in a volcanic soil. Biol Fertil Soils. 2008; 44: 1025-1034.
26- Lim BL, Yeung P, Cheng C, Hill JE. Distribution and diversity of phytate-mineralizing bacteria. ISME J. 2007; 1: 321-330.
27- Dasgupta D, Kulbhushan K, Rashi M, Rojita M, Amrita KP, Satpal SB. Microbial biofertilizers: Recent trends and future outlook. In: Recent Advancement in Microbial Biotechnology. 2021. p. 1-26.
28- Zaidi A, Khan MS, Rizvi A, Saif S, Ahmad B, Shahid M. Role of phosphate-solubilizing bacteria in legume improvement. In: Zaidi A, Khan MS, Musarrat J, editors. Microbes for legume improvement. Springer International Publishing; 2017. p. 175–197.
29- Carvajal-Muñoz JS, Carmona-Garcia CE. Benefits and limitations of biofertilization in agricultural practices. Livest Res Rural Dev. 2012; 24(3): 1-8.