The Effect of *Anabaena variabilis* on some growth parameters of two local bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars

Dr. Rana Nassour*
Dr. Seraoos Mohamad**

(Received 15 / 9 / 2025. Accepted 10 / 2 /2026)

□ ABSTRACT □

The potential of *Anabaena variabilis* as a biofertilizer for two local bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars – Doma 6 (D6) and Bohoth 8 (B8)– was tested. Three treatments were applied to those cultivars: Treatment 1 (T1: control: irrigated with BG11 with $NaNO_3$), Treatment 2 (T2: control- N: irrigated with BG11 without $NaNO_3$), and Treatment T3 (inoculated with *A. variabilis* and irrigated with BG11 without $NaNO_3$). The aim was to evaluate the impact of *A. variabilis* on morphological parameters and on fresh and dry weights. Measurements were taken from 14, 21, 28 and 35-day-old seedlings (three replicates each).

The results showed the positive effect of *A. variabilis* on growth enhancement in both cultivars. That was clearly demonstrated by increases in shoot and root lengths and in the leaf area index, as well as increases in the fresh and dry weights of the shoots and roots, with significantly greater effects observed in the D6 cultivar compared to the B8 cultivar in all the mentioned criteria in the T3 treatment. Regarding the T2 treatment, all the studied parameters decreased in both cultivars.

Keywords: *Anabaena variabilis*, fresh weight, dry weight, morphological parameters, *Triticum aestivum*.

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

* **Assistant Professor, Faculty of Science, Latakia University(formerly Tishreen), Latakia, Syria (rana.nassour@latakia-univ.edu.sy**
****Associate professor, Faculty of Science, Damascus University, Damascus, Syria.**

تأثير بكتيريا ***Anabaena variabilis*** في بعض مؤشرات النمو لصنفين محليين من القمح الطري ***Triticum aestivum* L.**

د. رنا نصور [*]

د. سيراؤوس محمد [**]

(تاريخ الإيداع 15 / 9 / 2025. قبل للنشر في 10 / 2 / 2026)

ملخّص

اختبرت إمكانية استخدام البكتيريا الزرقاء *Anabaena variabilis* كسماد حيوي لصنفين محليين من القمح الطري *Triticum aestivum* L. –دوما 6 (D6) وبحوث 8 (B8)– باستخدام ثلاث معاملات هي: المعاملة الأولى T1 (الشاهد: مروية بمحلول BG11 الحاوي على نترات الصوديوم $NaNO_3$)، المعاملة الثانية T2 (الشاهد –عنصر الآزوت: مروية بمحلول BG11 بدون $NaNO_3$)، والمعاملة الثالثة T3 (مُلقحة ببكتيريا *A. variabilis* ومروية بمحلول BG11 بدون $NaNO_3$) لتقييم تأثير بكتيريا *A. variabilis* في المعايير المورفولوجية والأوزان الرطبة والجافة للصنفين المذكورين، حيث أُخذت القياسات من نباتات بعمر 14 و21 و28 و35 يوماً بمعدل ثلاث مكررات لكل منها. .

أشارت النتائج إلى الدور الإيجابي لبكتيريا *A. variabilis* في تحسين نمو نباتات الصنفين المدروسين D6 وB8 والذي تجلى بشكل واضح من خلال زيادة طول المجموعين الخضري والجذري ومساحة المسطح الورقي وزيادة الأوزان الرطبة والجافة للمجموعين الخضري والجذري، مع تفوق الصنف D6 على الصنف B8 في جميع المعايير المذكورة في المعاملة الثالثة. بينما لوحظ انخفاض قيم جميع المعايير المدروسة لدى الصنفين في المعاملة الثانية.

الكلمات المفتاحية: *Anabaena variabilis*، الوزن الرطب، الوزن الجاف، معايير مورفولوجية، *Triticum aestivum*.

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

[*] **مدرس – كلية العلوم – جامعة اللاذقية(تشرين سابقاً) – اللاذقية– سوريا** (rana.nassour@latakia-univ.edu.sy)

[**] **أستاذ مساعد – كلية العلوم – جامعة دمشق– دمشق، سوريا**

مقدمة:

لعل أكبر تحد تواجهه البشرية للعقود القادمة مسألة الأمن الغذائي، وذلك نتيجة للزيادة السكانية المطردة حيث من المتوقع أن يصل عدد سكان العالم إلى نحو 10.4 مليار نسمة منتصف ثمانينيات القرن الحالي [1، 2]. وهذا يتطلب زيادة المساحات المزروعة من جهة وزيادة انتاجيتها من جهة أخرى، ولتحقيق زيادة الإنتاجية لابد من زيادة المخصبات الكيميائية والمبيدات الحشرية والفطرية والجرثومية والعشبية مما ينعكس سلباً على البيئة، حيث بلغ الاستهلاك الزراعي العالمي من الأسمدة في عام 2023 نحو 111.6 مليون طن سماد نيتروجيني و40.8 مليون طن سماد فوسفوري و37.6 مليون طن سماد بوتاسي [3]. هذا وتعتبر قارة آسيا الأكثر استهلاكاً للأسمدة في العالم لتركز أكبر كثافة سكانية في العالم بمعدل استهلاك 65.3 مليون طن سماد آزوتي و23.98 مليون طن سماد فوسفوري و17.95 مليون طن سماد بوتاسي في عام 2023 [3].

نظراً لهذه التحديات يتجه العالم حالياً لتطبيق سياسات الزراعة الخضراء والحد من التلوث بالمبيدات والأسمدة وزيادة الكفاءة والتقنيات الدقيقة للحفاظ على الأمن الغذائي العالمي، لذا تُبذل جهود حثيثة للبحث عن حلول ناجعة، وفي هذا المجال تأتي البكتيريا الزرقاء Cyanobacteria كأحد أهم الحلول المقترحة لما تتمتع به هذه المجموعة من الأحياء الدقيقة من خصائص فريدة [4–9]. تستطيع البكتيريا سالبة الغرام هذه القيام بعملية التركيب الضوئي وتثبيت الآزوت الجوي معاً بآن واحد، فضلاً عن مرونتها الاستقلابية العالية، واحتياجاتها الغذائية القليلة جداً مقارنة مع غيرها من مجموعات الأحياء الأخرى، وهذا مكنها من الانتشار العالمي والتواجد في جميع البيئات بما فيها تلك البيئات القاسية مثل الينابيع الحارة والكبريتية أو الباردة مثل الجليد القطبي أو الفقيرة بالمغذيات مثل أسطح الصخور العارية التي لا تستطيع الأحياء الأخرى العيش فيها. كما تدخل هذه البكتيريا في حالة تعايش مع الفطريات لتشكل الأشن Lichens، علاوة عن احتواء بعضها على معززات نمو وهرمونات منشطة للنباتات [10، 11].

يتميز النوع *Anabaena variabilis* من البكتيريا الزرقاء بشكله الخيطي السبحي سالب صبغة غرام. يعد شبه محب للحرارة، وثنائي التغذية Diazotrophy ذاتي التغذية الضوئية بوجود الضوء، وغير ذاتي التغذية في الظلام؛ إذ يستعمل الفركتوز كمصدر للطاقة والكربون [12]. يحوي الخيط الواحد ثلاثة أنماط من الخلايا هي: (1) الخلايا الإعاشية Vegetative Cells التي تقوم بعملية التركيب الضوئي، (2) الحويصلات المتباينة Heterocysts التي تتوزع بين الخلايا الإعاشية وتكون مسؤولة عن تثبيت الآزوت الجوي واختزاله على شكل أمونيوم من خلال إنزيم النتروجيناز الداخلي الذي يمتلك ثلاثة أنماط مختلفة تعمل تحت ظروف بيئية مختلفة [12، 13]، (3) أبواغ الأكنيت Akinetes التي لها دور حفظ النوع في الظروف غير المناسبة؛ إذ أنها يمكن أن تبقى في حالة سكون لعشرات السنين محتفظةً بحيويتها لحين عودة الشروط الملائمة للنمو [6، 11، 13، 14]. كما يتميز جدار الخلية بوجود طبقة من عديدات السكريد الدسمة Lipopolysaccharide، فضلاً عن وجود طبقة خارجية من عديدات السكاريد المتجانسة، وتتميز *A. variabilis* بوجود صبغي حلقي مفرد (7.1 Mbp)، ونسبة 41.4% من G+C، وثلاثة بلاسميدات [12].

بينت العديد من الدراسات أهمية إضافة بكتيريا *Anabaena* sp. في تحسين خصائص النباتات واقتُرحت كبديل محتمل للأسمدة الكيماوية؛ إذ أشار الباحثان Saadatnia and Riahi (2009) في دراستهما على نبات الرز إلى زيادة القياسات الموروفولوجية كارتفاع النبات (بنسبة 53%) وطول الجذر (بنسبة 66٪) والأوزان الرطبة والجافة للفروع والجذور (حوالي 58 و80 و125 و150% على الترتيب) بوجود *Anabaena* sp. في وسط النمو [15]. تبين في دراسة أخرى زيادة طول المجموعين الخضري والجذري (17.39 و11.8% على الترتيب) وزيادة الوزنين الرطب

(54.7%) والجاف لجذور (47.6%) بادرات القمح عند تلقيح الوسط ببكتيريا *Anabaena cylindrical* [16]. كما لاحظ الباحثان Mohan and Kumar (2017) زيادة طول المجموع الخضري بوجود *Anabaena oryzae* لبادرات القمح والشعير والذرة الصفراء [17]. في نفس السياق، بينت نتائج Kholssi *et al.* (2022) أن استخدام الكتلة الحيوية لبكتيريا *A. cylindrica* حسّن الوزن الجاف للمجموع الخضري لبادرات القمح بنسبة 40% [8].

تم اختيار نبات القمح في هذا البحث لكونه يعد المحصول الغذائي الأول في العديد من بلدان العالم، إذ يشكل الخبز الغذاء الرئيس لأكثر من ثلاثة أرباع سكان الكرة الأرضية والمادة الأولية لصناعات غذائية عدة. لذا يعتمد الأمن الغذائي لبلدان متنوعة على مدى توفر هذه المادة زراعةً وإنتاجاً وتخزيناً وصولاً إلى الاستهلاك الأمثل لها. يعد القمح ثاني أكبر محصول غذائي بعد الذرة من حيث المساحة المزروعة؛ إذ قدرت المساحة المزروعة بالقمح في عام 2023 بنحو 220.4 مليون هكتار وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة Food and Agriculture Organization (FAO)، وبلغ الإنتاج العالمي له نحو 800 مليون طن [18]. وعلى الرغم من كون القمح غذاء رئيس في القطر العربي السوري إلا أنه وفق إحصائيات الـ FAO فقد تراجعت المساحة المزروعة بالقمح فيه من 1.68 مليون هكتار في عام 2000 إلى 1.34 مليون هكتار في عام 2023، وبالتالي تراجع إنتاج القمح من 3.11 مليون طن إلى 3.08 مليون طن لنفس الفترة الزمنية [18]. كما لوحظ زيادة نسبة نقص التغذية من 7.5% في الفترة ما بين 2000–2002 إلى 39% في الفترة ما بين 2022–2024 [19]. لذا لا بد من زيادة مساحة الأراضي المزروعة بالقمح حتى تلك الفقيرة منها وذلك باستخدام وسائل بسيطة وصديقة للبيئة بغية تحقيق التنمية المستدامة والأمن الغذائي للأعداد المتزايدة من السكان.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه دراسة أولية رائدة في سورية تشكل مع مجموعة أبحاث أخرى مشابهة عالمياً مساهمة في تقديم حل مقترح لمشكلة محلية وعالمية بالغة الخطورة تمس الأمن الغذائي ولاسيما في سورية، حيث تراجع الإنتاج المحلي من القمح وتناقصت المساحات المزروعة لأسباب عدة، وتعد هذه النشرة العلمية الثانية من هذا البحث الذي يعد الأول من نوعه على المستوى المحلي من حيث دراسة تأثير البكتيريا الزرقاء على صنفين من القمح الطري.

يهدف هذا البحث إلى تبيان أثر تلقيح وسط زراعة صنفين محليين من القمح الطري *Triticum aestivum* L. ببكتيريا *Anabaena variabilis* (المعروفة بقدرتها على تثبيت الآزوت الجوي) في المعايير المورفولوجية طول المجموعين الخضري والجذري والوزنين الرطب والجاف لكل منهما.

طرائق البحث ومواده:

سلالة البكتيريا الزرقاء

تم الحصول على بكتيريا *Anabaena variabilis* من معهد زراعة الطحالب في معهد غوتينجن (وحدة عزل وتصنيف الطحالب)– ألمانيا، Goettingen Algal Culture Collection, Germany. تمت تنمية البكتيريا باستخدام وسط BG11 (الخالي من نترات الصوديوم $NaNO_3$) المحضر وفق Rippka and Herdman (1992) [20]، وبعد ذلك حُضنت السلالة البكتيرية بإضاءة 2500 لوكس بمعدل 10/14 ساعة ضوء/ظلام عند درجة حرارة 25±2/16±2 سيليسيوس نهاراً/ليلاً مع التهوية المستمرة لمدة 15 يوماً.

بلغت الكثافة الضوئية للمعلق البكتيري ($O.D_{750}$) بعد تلك المدة حوالي 0.466 بينما كان تركيز اليخضور a حوالي 2.05 ميكروغرام/مل.

الأصناف النباتية والمعاملات والمعايير المدروسة

تم الحصول على صنفين من القمح الطري.*Triticum aestivum* L (دوما 6 (D6) وبحوث 8 (B8)) من الهيئة العامة للبحوث العلمية الزراعية في دمشق، سورية. تم إنبات بذور كلا الصنفين لمدة سبعة أيام على ورق ترشيح، ثم نُقلت البادرات المتساوية بالحجم إلى علب بلاستيكية شفافة (قطرها 12 سم وارتفاعها 5 سم) مملوءة بـ 0.5 كغ بالرمل النقي المغسول والمعقم. طُبقت ثلاث معاملات في هذه الدراسة وهي:

- المعاملة الأولى T1: الشاهد: تم ريها بمحلول BG-11 الكامل (أي مع نترات الصوديوم بتركيز 1.5غ/ل).
- المعاملة الثانية T2: الشاهد–N: تم ريها بمحلول BG-11 الخالي من نترات الصوديوم.
- المعاملة الثالثة T3: معاملة البكتيريا الزرقاء: تم تلقيحها ببكتيريا *A. variabilis* وريها بمحلول BG-11 الخالي من نترات الصوديوم.

زرعت البادرات بظروف بإضاءة 2500 لوكس بمعدل 10/14 ساعة ضوء/ظلام عند درجة حرارة 25±2/16±2 سيليسيوس نهاراً/ليلاً. تم ري كل أصيص يومياً بـ 15 مل من المعاملات المذكورة سابقاً، وأُخذت قراءات المعايير المورفولوجية والوزنين الرطب والجاف من نباتات بأعمار 14، 21، 28، 35 يوماً (بواقع ثلاث مكررات لكل منها).

مقاييس النمو

المعايير المورفولوجية

قدر طول المجموعين الخضري والجذري بالسنتمتر بدءاً من منطقة اتصال الساق بالجذر وحتى نهاية قمة كل منهما، أما مساحة المسطح الورقي فقد قدرت وفقاً لطريقة Al-Ouda (1995) [21] كما يلي:

مساحة المسطح الورقي ($سم^2$) = الطول الأعظمي للورقة (سم) × العرض الأعظمي للورقة (سم) × K

حيث K = معامل ثابت = 0.76 في القمح

الوزنين الرطب والجاف

قُسمت النباتات لمجموعيها الخضري والجذري وغُسلت بلطف للتخلص من حبيبات الرمل، ثم جُففت بالفرن بدرجة حرارة 70 سيليسيوس لمدة 72 ساعة حتى ثبات الوزن، ثم وُزنت العينات بالميللي غرام باستخدام ميزان الكتروني حساس ADAM AFA 210LC.

التحليل الإحصائي

نفذت التجربة وفقاً للتصميم العشوائي الكامل Completely Randomized Design (CRD)، باستخدام تحليل التباين ثلاثي الاتجاه Three-way ANOVA لتقدير كيفية تغير متوسطات المتغيرات الكمية وفقاً لمستويات ثلاث متغيرات فئوية: العامل الأول (المعاملة) والعامل الثاني (الصنف) والعامل الثالث (الزمن) والتفاعل بين الثنائيات (الصنف* المعاملة) و(الصنف* الزمن) و(الزمن* المعاملة) والثلاثية (الصنف*المعاملة* الزمن). كما أجريت الاختبارات الأربعة Duncan وBonferroni وTuky وLSD لتقدير معنوية الفروق الإحصائية بمعدل 72 قراءة لكل عامل مدروس.

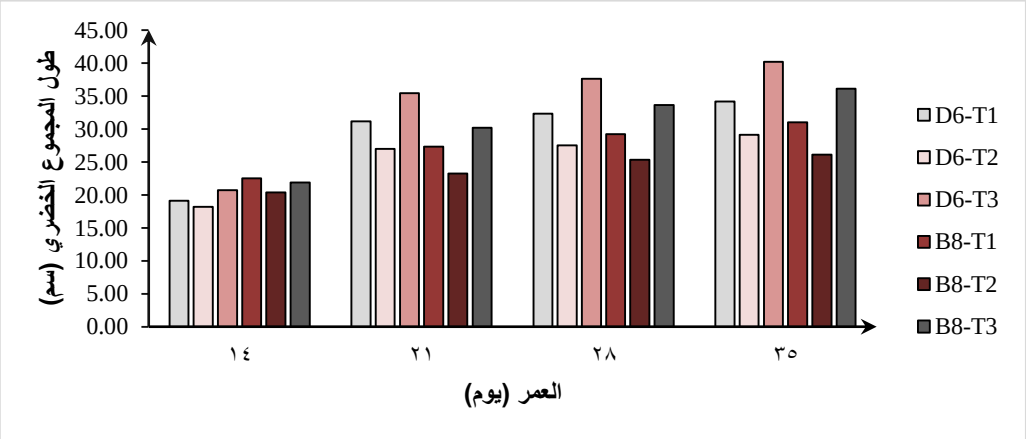
النتائج والمناقشة:

تأثير تلقيح بكتيريا *A. variabilis* في المعايير المورفولوجية

– طول المجموعين الخضري والجذري للقمح الطري

لوحظ التأثير الإيجابي لوجود بكتيريا *A. variabilis* في طول المجموع الخضري والذي كان أكثر وضوحاً في D6 مقارنة بـ B8 (الشكل 1)؛ إذ ازداد في D6-T3 خلال التجربة مسجلاً زيادة بنسبة 17.57% عند عمر 35 يوماً مقارنة بالشاهد، أما بالنسبة للصنف B8 فقد انخفض بشكل طفيف (2.81%) عند عمر 14 يوماً وازداد في المراحل اللاحقة بشكل تدريجي مسجلاً 10.38%، 15.04% و16.45% عند الأيام 21 و28 و35 من عمر النباتات على التوالي (الشكل 1). بينما انخفض طول المجموع الخضري للقمح في المعاملة الثانية T2 لكلا الصنفين المدروسين، مع انخفاض أقل في D6 مقارنة بـ B8 (الشكل 1). أظهرت النتائج انخفاض طول المجموع الخضري للصنف D6 خلال فترات القياس الأربعة ليصل إلى 14.83% عند عمر 35 يوماً مقارنة بالشاهد. كذلك الأمر بالنسبة للصنف B8-T2، فقد انخفض طول المجموع الخضري في جميع فترات القياس وسجل نسبة انخفاض حوالي 15.81% عند عمر 35 يوماً مقارنة بالشاهد.

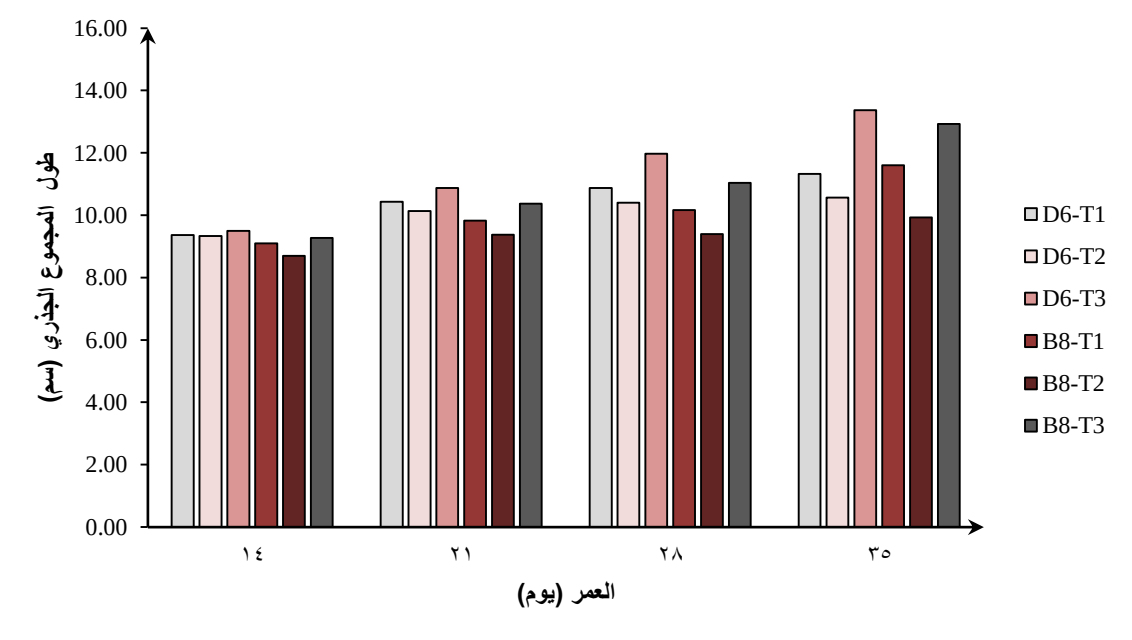
اتضح من التحليل الإحصائي أن عوامل الزمن والمعاملة والصنف كانت ذات تأثير معنوي على طول المجموع الخضري (الجدول 1)، حيث كانت التفاعلات الثنائية (الصنف* الزمن) و(الزمن* المعاملة) معنوية، بينما لم تكن التفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) والثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) معنوية، أي أنه لا يوجد تفاعل بين العوامل الثلاثة بمعنى أن تأثير العوامل الثلاث كان مستقلاً. تمثَّل العامل الأكثر تأثيراً على طول المجموع الخضري بعامل الزمن بنسبة قوية 0.963 أي أن زيادة عمر النبات أدت إلى زيادة معنوية بطول المجموع الخضري، يليه عامل المعاملة بنسبة قوية 0.912 أي أن إضافة بكتيريا *A. variabilis* كان لها تأثير معنوي في طول المجموع الخضري للنبات، بينما كان عامل الصنف العامل الأقل تأثيراً من بين العوامل الثلاث بنسبة 0.567. كما كانت جميع الفروق في طول المجموع الخضري خلال الأعمار الأربعة معنوية، وكذلك الفروق بين تأثير المعاملات T1 وT2 وT3 على طول المجموع الخضري جميعها معنوية وفقاً للاختبارات الأربعة Duncan وBonferroni وTuky و LSD.



الشكل 1: تأثير بكتيريا *A. variabilis* في طول المجموع الخضري لصنفي القمح

لوحظ منحى مشابه بشكل عام في معيار طول المجموع الجذري (الشكل 2)؛ فقد كان لتلقيح وسط نمو صنفي القمح ببكتيريا *A. variabilis* دوراً إيجابياً في طول المجموع الجذري الذي ازداد في فترات القياس الأربعة ليصل إلى

18.01 و11.47% عند العمر 35 يوماً لدى D6 وB8 على التوالي، بينما انخفض طول المجموع الجذري للصنفين في المعاملة T2 مع تفوق الصنف D6 على الصنف B8 مسجلاً الانخفاض الأكبر عند العمر 35 يوماً (6.71% و14.40% على التوالي). أما بالنسبة للمعاملة الثالثة T3، تتفق هذه النتائج مع دراسات سابقة على نبات القمح [8، 22، 23] وعلى نباتات الشعير *Hordeum vulgare* L. والحلبة *Trigonella foenum-graecum* L. [4]. وأظهر التحليل الإحصائي أن لعاملي الزمن والمعاملة تأثير معنوي على طول المجموع الجذري، بينما لم يكن لعامل الصنف أي تأثير معنوي (الجدول 1). كما لم يكن لجميع التفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) و (الصنف* الزمن) و(الزمن* المعاملة) والتفاعلات الثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) تأثيرات معنوية، بمعنى أنه لا يوجد تفاعل بين العوامل الثلاثة وأن تأثير كل عامل مستقل عن الآخر. وكان العامل الأكثر تأثيراً على طول المجموع الجذري هو عامل الزمن بنسبة 0.412، يليه عامل المعاملة بنسبة 0.243، بينما كان العامل الأقل تأثيراً هو عامل الصنف بنسبة ضعيفة جداً 0.063، أي أنه لم يكن للفروقات الوراثية بين الصنفين تأثير يذكر على صفة طول المجموع الجذري وفقاً لظروف هذه التجربة وضوابطها. كما تبين الدراسة الإحصائية أن الفروقات بين القياسات المتتالية لطول المجموع الجذري بالنسبة لعامل الزمن لم تكن معنوية بينما كانت الفروقات بالقياسات بين الفترات غير المتتالية معنوية. بالإضافة لذلك، كان الفرق معنوي بين كل من T1 وT2 وT3 حسب اختبار Duncan، بينما كان الفرق بين T1 وT2 غير معنوي وفقاً لِـ Tuky وLSD، ومعنوي فقط بين المعاملتين T2 وT3 وفقاً لاختبار Bonferroni.



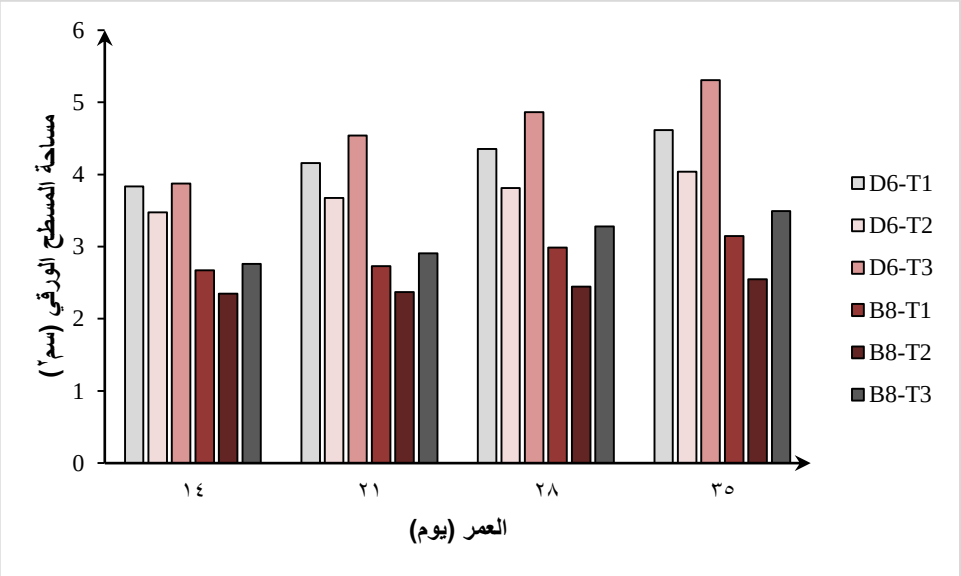
الشكل 2: تأثير بكتيريا *A.variabilis* في طول المجموع الجذري لصنفي القمح

- مساحة المسطح الورقي

لوحظت زيادة مطردة لهذا المعيار في فترات القياس الأربع (14، 21، 28، 35 يوماً من عمر النبات) عند تلقيح وسط النمو ببكتيريا *A. variabilis*، إذ بلغت 1.01% و9.18% و11.72% و15.04% على التوالي لدى نباتات الصنف D6 ووصلت إلى 3.46% و6.45% و9.89% و10.95% على التوالي لدى نباتات الصنف B8. بينما نتج عن غياب الآزوت في المعاملة الثانية T2 انخفاضاً طفيفاً بمساحة المسطح الورقي بلغ بحده الأعلى

12.49 و18.88% عند العمر 35 يوماً بالنسبة لنباتات الصنف D6 وB8 على التوالي (الشكل 3). تختلف هذه النتائج جزئياً مع دراسة Matsuo *et al.* (2022) الذي تحرى عن تأثير الزراعة المشتركة لصنفين من الذرة الصفراء مع بكتيريا *A. cylindrica* وبكتيريا *Azospirillum brasilense* ولاحظ انخفاض مساحة المسطح الورقي عند أحد الأصناف (حوالي 14.51%) وزيادته عند الصنف الآخر بنسبة 64.31% بوجود *A. cylindrica* بينما ازداد هذا المعيار عند الصنفين بوجود *A. brasilense* [24].

على صعيد هذا المعيار بين التحليل الإحصائي أن جميع العوامل: الزمن والمعاملة والصنف ذات تأثير معنوي (الجدول 1)، ولم تكن الفروقات بين القياسات المتتالية بالنسبة لعامل الزمن معنوية بينما كانت الفروقات بين الفترات غير المتتالية معنوية. كذلك لم يكن للتفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) و(الصنف* الزمن) و(الزمن* المعاملة) والتفاعلات الثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) تأثيرات معنوية، أي أنه لا يوجد تفاعل بين العوامل الثلاثة وأن تأثير كل عامل مستقل عن الآخر. فعامل الصنف كان الأعلى تأثيراً بنسبة 0.812، يليه عامل المعاملة بنسبة 0.479، بينما كان تأثير عامل الزمن بنسبة 0.370. من ناحية أخرى، لوحظ أن جميع الاختلافات بين المعاملات معنوية وفقاً للاختبارات الأربعة Duncan و Bonferroni و Tuky و LSD.



الشكل 3: تأثير بكتيريا *A.variabilis* في مساحة المسطح الورقي لصنفي القمح

تأثير تلقيح بكتيريا *A. variabilis* في الوزنين الرطب والجاف

- الوزن الرطب

كان لوجود بكتيريا *A. variabilis* في المعاملة الثالثة T3 تأثير إيجابي متزايد في الوزن الرطب للمجموع الخضري في جميع فترات القياس؛ إذ بلغ معدل 17.13% و14.66% لدى نباتات D6 وB8 على التوالي عند العمر 35 يوماً. بينما تأثر الوزن الرطب لنباتات الصنفين بقسميها الخضري والجذري سلباً بتأثير المعاملة الثانية T2 (الجدول 2). حيث بينت النتائج انخفاض الوزن الرطب للمجموع الخضري بشكل تدريجي ليصل إلى معدل 16.82% عند الصنف D6 عند العمر 35 يوماً و17.32% عند الصنف B8 بنفس العمر.

أظهر التحليل الإحصائي أن للزمن والمعاملة والصنف تأثيراً معنوياً على الوزن الرطب للمجموع الخضري (الجدول 2). كما كانت التفاعلات الثنائية (الصنف* الزمن) و(الزمن* المعاملة) معنوية بينما لم يكن للتفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) والثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) تأثيراً معنوياً، مما يعني وجود تفاعل بين الصنف والزمن، والزمن والمعاملة (وجود تفاعلات ثنائية) مع عدم وجود تفاعل بين الصنف والمعاملة وكذلك بين العوامل الثلاثة. كان تأثير العوامل الثلاثة على الوزن الرطب للمجموع الخضري مستقل كل منها عن الأخر. كما تبين أن التأثير بالدرجة الأولى يعود لعامل لزمن بنسبة 0.914، وبالدرجة الثانية لتأثير عامل الصنف بنسبة 0.846، بينما كان تأثير عامل المعاملة الأقل بنسبة 0.710. كما كانت جميعها الفروق في الوزن الرطب للمجموع الخضري خلال الفترات الزمنية الأربع معنوية، وكذلك بين المعاملات T1 وT2 وT3 جميعها معنوية وفقاً للاختبارات الأربعة Duncan و Bonferroni و Tuky و LSD.

لوحظ منحى مشابه في معيار الوزن الرطب للمجموع الجذري؛ فقد حسن وجود بكتيريا *A. variabilis* في وسط النمو من الوزن الرطب للمجموع الجذري الذي ازداد في فترات القياس الأربعة ليصل إلى معدل 18.27% و9.23% مقارنة بالشواهد في مرحلة القياس الأخيرة لدى نباتات D6 وB8 على التوالي أما بالنسبة للمعاملة الثانية T2، تناقص الوزن الرطب للمجموع الجذري عند الصنفين بشكل مطرد خلال فترة التجربة مسجلاً الانخفاض الأكبر عند العمر 35 يوماً (16.64% و17.67% لدى نباتات الصنفين D6 وB8 على التوالي). ، وبمقارنة نباتات الصنفين لوحظ تفوق الصنف D6 في جميع مراحل القياس مقارنة بالشواهد بالنظر إلى هذا المعيار. تتفق هذه النتائج مع نتائج دراسات سابقة على نبات القمح [22، 23، 25] وعلى نباتات الشعير *H. vulgare* L. والحلبة *T. foenum-graecum* L. [4].

تبين أن للزمن والمعاملة والصنف تأثيراً معنوياً على الوزن الرطب للمجموع الجذري (الجدول 2)، بينما لم يكن للتفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) و(الصنف* الزمن) والثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) تأثير معنوي، بينما كان للتفاعل الثنائي (الزمن* المعاملة) تأثيراً معنوياً، إن العامل الأكثر تأثيراً على الوزن الرطب للمجموع الجذري كان عامل الزمن بنسبة 0.717، يليه عامل المعاملة بنسبة 0.557، بينما كان العامل الأقل تأثيراً هو عامل الصنف بنسبة 0.319. بينت الدراسة الإحصائية أن جميع الفروق في الوزن الرطب للمجموع الجذري خلال الفترات الزمنية الأربع معنوية، وكذلك الأمر بين المعاملات الثلاث T1 وT2 وT3.

- الوزن الجاف

بينت نتائج المعاملة الثالثة T3 ارتفاع الوزن الجاف على نحو متزايد ليصل إلى نسبة 11.78% و19.05% على التوالي للمجموعين الخضري والجذري لدى نباتات الصنف D6 ونسبة 11.47% و10.72 على التوالي لدى نباتات B8. ومن ناحية أخرى تناقص الوزن الجاف للمجموعين الخضري والجذري (الجدول 2) بتأثير المعاملة الثانية T2 لدى نباتات الصنفين خلال التجربة وبلغ عند العمر 35 يوماً معدل 15.40% و13.22% للمجموعين الخضري والجذري على التوالي لدى نباتات الصنف D6 ومعدل 18.37% و11.39% على التوالي لدى نباتات B8. تتفق هذه النتائج مع دراسات سابقة على نبات القمح [8، 22، 23، 25] وعلى نباتات الشعير *H. vulgare* L. والحلبة *T. foenum-graecum* L. [4]، وتختلف جزئياً مع نتائج Matsuo *et al.* (2022) الذي لاحظ انخفاض الوزن الجاف للفروع والجذور عند أحد أصناف نبات الذرة بوجود *A. cylindrica* وزيادته عند الصنف الآخر بوجود *A. brasilense* [24].

وفقاً للتحليل الإحصائي بالنسبة للوزن الجاف للمجموع الخضري فتبين أن العوامل الثلاث: الزمن والمعاملة والصنف ذات تأثير معنوي على هذا المعيار. بينما لم يكن للتفاعلات الثنائية (الصنف* المعاملة) والتفاعلات الثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) أي تأثير معنوي. بالمقابل كانت التفاعلات الثنائية (الزمن* المعاملة) و(الصنف* الزمن) معنوية، وكان العامل الأكثر تأثيراً على الوزن الجاف للمجموع الخضري هو عامل الزمن بنسبة 0.956، يليه عامل الصنف بنسبة 0.795 ثم عامل المعاملة بنسبة 0.733. كانت جميع الفروق في الوزن الجاف للمجموع الخضري خلال الفترات الزمنية الأربع معنوية، وكذلك الأمر بين المعاملات T1 وT2 وT3. من ناحية أخرى، بين التحليل الإحصائي وجود تأثير معنوي لعاملي الزمن والمعاملة على الوزن الجاف للمجموع الجذري، بينما لم يكن لعامل الصنف أي تأثير معنوي. أما التفاعلات الثنائية (الزمن* المعاملة) و(الصنف* الزمن) فكانت معنوية، وبالمقابل لم يكن للتفاعل الثنائي (الصنف* المعاملة) والتفاعلات الثلاثية (الصنف* المعاملة* الزمن) أي تأثير معنوي. تمثل العامل الأكثر تأثيراً على الوزن الجاف للمجموع الجذري بعامل الزمن بنسبة 0.779، تلاه عامل المعاملة بنسبة 0.442، بينما كان تأثير عامل الصنف ضعيف وغير معنوي بنسبة ضئيلة جداً 0.003، كما كانت جميع الفروق في الوزن الجاف للمجموع الجذري خلال الفترات الزمنية الأربع معنوية وكذلك الأمر للفروق بين المعاملات الثلاث T1 وT2 وT3.

يتضح من خلال الجدولين 1 و2 أن النباتات الملقحة ببكتيريا *A. variabilis* أظهرت نتائج جيدة مقارنة مع الشواهد بالنسبة لجميع المعايير المدروسة، وكانت الفروق معنوية إجمالاُ. علاوة على ذلك، كانت استجابة الصنف D6 أفضل من الصنف B8 بالنسبة للعوامل المدروسة. وذلك لأن عنصر الآزوت أهم العناصر المغذية الكبرى لنمو النباتات، وهو ضروري لنجاح الزراعة في الأراضي الجافة والمستصلحة [13]. يُلاحظ تأثير عوز الآزوت على النبات بمناحٍ عدة أهمها تخفيض المحتوى من الأصبغة اليخضورية في المجموع الخضري [26] وتقليل كل من البروتينات البنيوية والوظيفية في الخلية بما فيها تلك الموجودة في الصانعات الخضراء، مما يُضعف قدرة النبات على القيام بعملية التركيب الضوئي مؤدياً إلى تباطؤ النمو.

تحاول النباتات إعادة توزيع الآزوت الداخلي للتغلب على عوز الآزوت كونه من العناصر الأساسية عالية الحركة؛ إذ تعمل على نقله عبر اللحاء من الأنسجة القديمة إلى الأنسجة الأحدث، كما أنها تزيد من امتصاص العناصر المغذية الأخرى لتحقيق أقصى استفادة من العناصر المتاحة. بالرغم من ذلك، غالباً ما تكون هذه الآليات التعويضية غير كافية للحفاظ على الصحة العامة للنبات. وهذا ما ظهر جلياً في نتائج المعاملة الثانية T2 لهذه الدراسة.

من ناحية أخرى، بينت نتائج المعاملة الثالثة T3 تحسن واضح في جميع المعايير المورفولوجية والأوزان الرطبة والجافة لنباتات الصنفين المدروسين بتأثير تلقيح وسط النمو ببكتيريا *A. variabilis*، إلا أن الاستجابة الايجابية لهذه المعاملة في الصنف D6 كانت أفضل من الصنف B8 وقد يعود ذلك إلى التباين الوراثي بين الصنفين المدروسين والخصائص الفيزولوجية لكل منهما. وبشكل عام، يمكن أن تُعزى النتائج التي تم الحصول عليها بوجود بكتيريا *A. variabilis* بالدرجة الأولى إلى قدرتها على تثبيت الآزوت الجوي على نحو حر (لا تعايشي) وبالتالي زيادة نسبة توفره في التربة، الامر الذي يعد ضرورياً للاصطناع الحيوي للأحماض الأمينية التي تعد اللبنات الأساسية للبروتينات، مما يدعم نمو النبات بشكل عام. إضافة لتأثيرها على نوع وكمية البروتينات المتشكلة مما يحسن الجودة الغذائية للقمح [27، 28]. وتعزيز ذوبان وتوافر العناصر المغذية الأساسية في التربة وتحفيز نشاط مختلف الأنزيمات الاستقلابية في

النبات، وزيادة المحتوى من الأصبغة اليخضورية في النبات، إضافة إلى تأثير بكتيريا *A. variabilis* على مسارات استقلاب الكربوهيدرات في النبات مسببةً تعديل في نسب الكربوهيدرات فيه [29، 30]، وتحفيز نمو الجذور، كما أن بكتيريا *A. variabilis* تتآثر على نحو إيجابي مع البكتيريا المُعزِّزة لنمو النبات Plant growth-promoting bacteria (PGPB) الموجودة في التربة، وتزيد قدرة النباتات على تحمل الإجهاد اللاحيوي (المتمثل في هذا البحث بنقص الآزوت) بفضل تحسين الاستجابات الفيزيولوجية مما يسمح للنبات بالحفاظ على نموه في ظل الظروف البيئية غير المواتية [31]، بالإضافة إلى قدرة بكتيريا *A. variabilis* على اصطناع وتحرير العديد من المركبات النشطة بيولوجياً مثل الهرمونات [14، 32، 33]، والمركبات الفينولية والفيتامينات [14، 29، 30]، والأصبغة الكاروتينويدية والفيكوبيلينات [14، 31]، وحاملات الحديد Siderophores [34، 35]، وعديدات السكاريد الخارجية Exopolysaccharides [29، 36–38].

بالنظر إلى ما تقدم، يمكن استخدام الكتلة الحيوية للبكتيريا الزرقاء، على عكس الأسمدة الكيميائية التقليدية، كأسمدة حيوية صديقة للبيئة تعزز خصوبة التربة واستدامتها وزيادة إنتاجية المحاصيل [27، 28، 39].

الجدول 1: نتائج التحليل الإحصائي لتأثير بكتيريا *A.variabilis* في المعايير المورفولوجية لنبات القمح الطري

العمر (يوم)	طول المجموع الخضري (سم)						طول المجموع الجذري (سم)						مساحة المسطح الورقي (سم^2)					
	D6			B8			D6			B8			D6			B8		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
14	19.10^{D}	18.20^{D}	20.70^{D}	22.50^{D}	20.37^{D}	21.87^{D}	9.30^{C}	9.33^{C}	9.50^{C}	9.10^{C}	8.70^{C}	9.27^{C}	3.83^{C}	3.47^{C}	3.87^{C}	2.67^{C}	2.35^{C}	2.76^{C}
21	31.17^{C}	26.97^{C}	35.43^{C}	27.33^{C}	23.23^{C}	30.17^{C}	10.43^{C+B}	10.13^{C+B}	10.87^{C+B}	9.83^{C+B}	9.37^{C+B}	10.37^{C+B}	4.16^{C+B}	3.67^{C+B}	4.53^{C+B}	2.73^{C+B}	2.37^{C+B}	2.91^{C+B}
28	32.33^{B}	27.50^{B}	37.60^{B}	29.23^{B}	25.33^{B}	33.63^{B}	10.87^{A+B}	10.40^{A+B}	10.97^{A+B}	10.17^{A+B}	9.40^{A+B}	11.03^{A+B}	4.35^{A+B}	3.81^{A+B}	4.86^{A+B}	2.99^{A+B}	2.44^{A+B}	3.28^{A+B}
35	34.17^{A}	29.10^{A}	40.17^{A}	31.00^{A}	26.10^{A}	36.10^{A}	11.33^{A}	10.57^{A}	13.37^{A}	11.60^{A}	9.93^{A}	12.93^{A}	4.61^{A}	4.04^{A}	5.31^{A}	3.15^{A}	2.55^{A}	3.49^{A}
Mean	29.19^{B}	25.44^{C}	33.48^{A}	27.52^{B}	23.76^{C}	30.44^{A}	10.50^{A+B}	10.11^{C}	11.43^{A}	10.17^{A+B}	9.35^{C}	10.90^{A}	4.24^{B}	3.75^{C}	4.64^{A}	2.88^{B}	2.43^{C}	3.11^{A}

ملاحظة: تشير الأحرف المختلفة (A, B, C, D) في نفس العمود إلى فروق معنوية وفقاً لاختبار Duncan's و Tukey عند مستوى دلالة إحصائية $P \leq 0.05$، بالنسبة للفترات الزمنية الأربعة التي تم عندها القياس، بينما تشير الأحرف في صف المتوسط Mean إلى الفروق المعنوية بين المعاملات الثلاثة.

الجدول 2: نتائج التحليل الإحصائي لتأثير بكتيريا *A.variabilis* في الوزنين الرطب والجاف لنبات القمح الطري

العمر (يوم)	الوزن الرطب للمجموع الخضري (مغ)						الوزن الرطب للمجموع الجذري (مغ)						الوزن الجاف للمجموع الخضري (مغ)						الوزن الجاف للمجموع الجذري (مغ)					
	B8			D6			B8			D6			B8			D6			B8			D6		
	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1
14	162.77^{D}	154.27^{D}	159.92^{D}	190.98^{D}	176.00^{D}	183.83^{D}	64.80^{D}	61.79^{D}	64.00^{D}	57.04^{D}	53.90^{D}	55.43^{D}	16.56^{D}	15.39^{D}	15.97^{D}	15.64^{D}	14.63^{D}	15.03^{D}	6.17^{D}	5.83^{D}	6.02^{D}	5.13^{D}	4.93^{D}	5.00^{D}
21	190.24^{C}	158.69^{C}	180.34^{C}	251.41^{C}	210.44^{C}	230.10^{C}	71.10^{C}	63.17^{C}	68.07^{C}	68.93^{C}	59.38^{C}	61.87^{C}	20.13^{C}	17.11^{C}	19.04^{C}	25.01^{C}	21.02^{C}	23.03^{C}	6.87^{C}	6.27^{C}	6.60^{C}	6.73^{C}	5.80^{C}	6.03^{C}
28	235.70^{B}	177.04^{B}	210.22^{B}	323.74^{B}	240.20^{B}	280.40^{B}	84.83^{B}	67.86^{B}	78.27^{B}	77.83^{B}	64.03^{B}	69.20^{B}	25.03^{B}	19.03^{B}	23.00^{B}	32.03^{B}	25.03^{B}	29.00^{B}	7.57^{B}	6.47^{B}	7.04^{B}	8.64^{B}	7.20^{B}	7.60^{B}
35	275.30^{A}	198.50^{A}	240.10^{A}	410.28^{A}	291.37^{A}	350.27^{A}	92.70^{A}	69.87^{A}	84.87^{A}	88.78^{A}	62.57^{A}	75.07^{A}	30.10^{A}	22.04^{A}	27.00^{A}	41.00^{A}	31.03^{A}	36.68^{A}	8.75^{A}	7.00^{A}	7.90^{A}	9.60^{A}	7.00^{A}	8.07^{A}
Mean	216.00^{A}	172.12^{C}	197.64^{B}	294.10^{A}	229.50^{C}	261.15^{B}	78.36^{A}	65.67^{C}	73.80^{B}	73.14^{A}	59.97^{C}	65.39^{B}	22.96^{A}	18.39^{C}	21.25^{B}	28.42^{A}	22.93^{C}	25.94^{B}	7.34^{A}	6.40^{C}	6.89^{B}	7.50^{A}	6.23^{C}	6.68^{B}

ملاحظة: تشير الأحرف المختلفة (A, B, C, D) في نفس العمود إلى فروق معنوية وفقاً لاختبار Duncan's و Tukey عند مستوى دلالة إحصائية $P \leq 0.05$، بالنسبة للفترات الزمنية الأربعة التي تم عندها القياس، بينما تشير الأحرف في صف المتوسط Mean إلى الفروق المعنوية بين المعاملات الثلاثة.

الاستنتاجات والتوصيات:

تؤكد النتائج كفاءة بكتيريا *A. variabilis* كسماد حيوي واعد لنبات القمح الطري؛ إذ أنها حسنت من المعايير المورفولوجية (طول المجموعين الخضري والجذري ومساحة المسطح الورقي) والأوزان الرطبة والجافة للمجموعين الخضري والجذري لدى نباتات الصنفين المدروسين D6 وB8 مع تفوق الصنف D6 عموماً في جميع المعايير المدروسة.

خلُصت نتائج هذه الدراسة إلى أنه يمكن اعتبار بكتيريا *A. variabilis* حلاً مستداماً مقترحاً للأراضي الزراعية منخفضة الخصوبة والتي تعاني من عوز الآزوت. إلا أنه لا بد إجراء المزيد من الأبحاث لاختبار تأثيرها في الحقل على مراحل النمو اللاحقة من الإزهار إلى ملء الحبوب والنضج وكذلك لتقييم تأثيرها على الزراعة المتتالية في تلك المناطق.

References:

[1] *United Nations*, "Demographic Yearbook 2022", 73rd issue. 823 pages. Publication Date: November 2023. Available: https://desapublications.un.org/publications/demographic-yearbook-2022 , reviewed at July 20th, 2024.

[2] *United Nations*, "Our growing population" [Online], Available: https://www.un.org/en/global-issues/population, reviewed at Sep. 22th, 2024.

[3] *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, "FAOSTAT: Fertilizers by Nutrient", [Online], Available: https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN, last updated at July 11th, 2025, reviewed at August 15th, 2025.

[4] G. A. Ismail and S. A. Abo-Hamad, "Effect of Different *Anabaena variabilis* (Kütz) Treatments on Some Growth Parameters and Physiological Aspects of *Hordeum vulgare* L. and *Trigonella foenum-graecum* L." *Egypt. J. Bot.*, vol. 57, no. 3, pp. 507 – 516, 2017.

[5] D. Chittora, M. Meena, T. Barupal and P. Swapnil "Cyanobacteria as a source of biofertilizers for sustainable agriculture", *Biochemistry and Biophysics Reports*, no. 22, 100737, 2020.

[6] Z. Zahra, D. H. Choo, H. Lee and A. Parveen, "Cyanobacteria: Review of Current Potentials and Applications", *Environments*, vol. 7, no. 13, 2020, DOI:10.3390/environments7020013.

[7] A. L. Gonçalves, "The use of microalgae and cyanobacteria in the improvement of agricultural practices: a review on their biofertilising, biostimulating, and biopesticide roles", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 2, pp. 1–21, 2021, DOI: https://doi. org/ 10.3390/ app11 020871.

[8] R. Kholssi, E. A. N. Marks, J. Miñón, O. Montero, J. F. Lorentz, A. Debdoubi and C. Rad, "Biofertilizing effects of *Anabaena cylindrica* biomass on the growth and nitrogen uptake of wheat", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 53, no. 10, 2022, DOI: 10.1080/00103624.2022.2043350.

[9] A. M. Abo‐Shady, M. E. H. Osman, R. M. Gaafar, G. A. Ismail and M. M. F. El‐Nagar, "Cyanobacteria as a Valuable Natural Resource for Improved Agriculture, Environment, and Plant Protection", *Water, Air & Soil Pollution*, vol. 234, no. 5, 313, 2023, DOI: 10.1007/s11270-023-06331-7.

[10] J. Pathak, P. R. Singh, R. P. Sinha, and R. P. Rastogi, Evolution and Distribution of Cyanobacteria, in: *Ecophysiology and Biochemistry of Cyanobacteria*, R. P. Rastogi (Ed.), Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021, pp: 1-30.

[11] A. Saraf, H. G. Dawda, and P. Singh, Polyphasic Approach and Cyanobacterial Taxonomy: Some Perspectives and Case Studies, In: *Ecophysiology and Biochemistry of Cyanobacteria*, R. P. Rastogi (Ed.), Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2021, pp: 31-48.

[12] T. Thiel, S. B. Pratte, J. Zhong , G. Lynne, A. Copeland, S. Lucas, C. Han, S. Pitluck, M. L. Land , N. C. Kyrpides and T. Woyke, "Complete genome sequence of *Anabaena variabilis* ATCC 29413" *Standards in Genomic Sciences*, vol. 9, pp. 562-573, 2014. DOI:10.4056/sigs.3899418.

[13] E. Elagamey, M. A. E. Abdellatef and H. E. Flefel, Cyanobacteria – A Futuristic Effective Tool in Sustainable Agriculture, in: A. Tiwari (Ed.), *Cyanobacteria - Recent Advances and New Perspectives*, 2023, DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109829.

[14] J. Kollmen and D. Strieth, "The Beneficial Effects of Cyanobacterial Co-Culture on Plant Growth", *Life*, vol. 12, 223, 2022, DOI: 10.3390/life12020223.

[15] H. Saadatnia and H. Riahi, "Cyanobacteria from paddy fields in Iran as a biofertilizer in rice plants", *Plant, Soil and Environment*, vol. 55, no. 5, pp. 207–212, 2009.

[16] S. F. Gheda and D. A. Ahmed, "Improved soil characteristics and wheat germination as influenced by inoculation of *Nostoc kihlmani* and *Anabaena cylindrical*. *Rendiconti Lincei*" **Scienze Fisiche e Naturali*, vol. 26, pp. 121-131, 2014. DOI 10.1007/s12210-014-0351-8.

[17] A. Mohan and B. Kumar, "Growth Performance and Yield Potential of Cereal Crops (Wheat, Maize and Barley) in Association with Cyanobacteria", *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, vol. 6, no. 10, pp. 744-758, 2017. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.610.091.

[18] *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, "FAOSTAT: Crops and livestock products", [Online], Available: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL, last updated at June 11th, 2025, reviewed at August 14th, 2025.

[19] *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, "Syrian Arab Republic", [Online], Available: https://www.fao.org/faostat/en/#country/212 , reviewed at August 15th, 2025.

[20] R. Rippka, and H. Herdman, *Pasteur Culture Collection of Cyanobacterial Strains in Axenic Culture. Catalogue & Taxonomic Handbook*, Vol. 1. Catalogue of Strains. 103 p., Institut Pasteur, Paris, France, 1992.

[21] A. S. Al-Ouda, "Influence of sodium chloride induced salinity on wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes". Thesis of master of Seience. Banaras Hindu University, Varanasi- 221005- India, 1995.
[22] M. M. El-Shinnawil, A. E. El-Beltagy, F. M. Ghazal, W. M. Hanfy and G. S. Salem, "Colonization of wheat roots (*Triticum aestivum* L.) by N_2-fixing cyanobacteria", *Journal of Arid Land Studies*, vol. 26, no. 3, pp. 161-163, 2016, DOI: 10.14976/jals.26.3_161.
[23] Z. Hakkoum, F. Minaoui, A. Chabili, M. Douma, K. Mouhri and M. Loudiki, "Biofertilizing Effect of Soil Cyanobacterium *Anabaena cylindrica*–Based Formulations on Wheat Growth, Physiology, and Soil Fertility", *Agriculture*, vol. 15, no. 2, 189, 2025, DOI: 10.3390/agriculture15020189.
[24] O. Matsuo, C. Zucareli, E. H. Horácio, L. A. R. Alves and O. J. G. A. Saab, "Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* and *Azospirillum brasilense* during initial growth and chloroplast pigments of corn", *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, vol. 26, no. 2, pp. 97-102, 2022, .DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p97-102.
[25] A. Hussain and S. Hasnain, "Phytostimulation and biofertilization in wheat by cyanobacteria", *J Ind Microbiol Biotechnol* vol. 38, pp.85–92, 2011, DOI: 10.1007/s10295-010-0833-3.
[26] R. Nassour and S. Mohamad, "*Anabaena variabilis* as a Promising Biofertiliser and Biochemical Enhancer of Two Local Bread Wheat Cultivars", *Scientific Journal of King Faisal University: Basic and Applied Sciences* vol. 26, no. 2, pp. 1-6, 2025, DOI: 10.37575/b/agr/250020.
[27] V. K. Singh, N. Kumari, J. Jaiswal and R. P. Sinha, Cyanobacteria: Role and Utilities in Agriculture, Ecosystems and Environmental Sustainability, in: R. P. Sinha, (Ed.), *Cyanobacteria: Life History, Ecology and Impact on Humans*, Nova Science Publishers, Inc., 2022, pp: 79-115, DOI: 10.52305/STKS9486.
[28] M. M. A. Nur, Mahreni, A. W. Murni, T. M. Setyoningrum, F. Hadi, T. W. Widayati, D. Jaya, R. R. E. Sulistyawati, D. A. Puspitaningrum, R. N. Dewi, Hadiyanto and M. Hasanuzzaman, "Innovative strategies for utilizing microalgae as dual-purpose biofertilizers and phycoremediators in agroecosystems", *Biotechnology Reports*, vol. 45, e00870, 2025.
[29] S. Chamizo, G. Mugnai, F. Rossi, G. Certini, and R. De Philippis, "Cyanobacteria Inoculation Improves Soil Stability and Fertility on Different Textured Soils: Gaining Insights for Applicability in Soil Restoration", *Frontiers in Environmental Science*, vol. 6, 49, 2018, DOI: 10.3389/fenvs.2018.00049.
[30] R. P. Sinha, V. K. Singh and S. Mishra, Cyanobacteria and Their Importance: An Overview, in: R. P. Sinha (Ed.), *Cyanobacteria and Their Importance*, Nova Science Publishers, Inc., 2022, pp: 1-17, DOI: 10.52305/ONRA2232.
[31] T. Nawaz, S. Saud, L. Gu, I. Khan, S. Fahad and R. Zhou, "Cyanobacteria: Harnessing the power of microorganisms for plant growth promotion, stress alleviation, and phytoremediation in the era of sustainable agriculture", *Plant Stress*, vol. 11, 100399, 2024.
[32] M. Chua, T. E. Erickson, D. J. Merritt, A. M. Chilton, M. J. K. Ooi and M. Muñoz-Rojas, "Bio-priming seeds with cyanobacteria: effects on native plant growth and soil properties", *Restoration Ecology*, vol. 28, no. 52, pp. S168-S176, 2019, DOI: 10.1111/rec.13040.

[33] C. Álvarez, L. Jiménez-Ríos, M. Iniesta-Pallarés, A. Jurado-Flores, F. P. Molina-Heredia, C. K. Y. Ng and V. Mariscal, "Symbiosis between cyanobacteria and plants: from molecular studies to agronomic applications". *Journal of Experimental Botany*, vol. 74, no. 19, pp. 6145–6157, 2023, DOI: 10.1093/jxb/erad261.
[34] E. Årstøl and M. F. Hohmann-Marriott, "Cyanobacterial Siderophores—Physiology, Structure, Biosynthesis, and Applications", *Marine Drugs*, vol. 17, no.5, 281, 2019, DOI: 10.3390/md17050281.
[35] J. Pathak, J. Jaiswal, R. K. Shukla, D. K. Singh and R. P. Sinha, "Cyanobacterial/algal biofertilizers as plant growth stimulants for green sustainable agriculture. Journal of Medicinal Plants Studies", *Journal of Materials and Physical Sciences*, vol. 12, no. 1, pp. 25-37, 2024, DOI: 10.22271/plants.2024.v12.i1a.1622.
[36] F. M. Ghazal, E. M. Mahdy, M. S. Abd EL- Fattah, A. E. Y. EL-Sadany and N. M. E. Doha, "The Use of Cyanobacteria as Biofertilizer in Wheat Cultivation under Different Nitrogen Rates", *Nature and Science*, vol. 16, no. 4, pp. 30-35, 2018.
[37] A. Mohan, M. Kumar and B. Kumar, "Siderophore production by some soil Cyanobacteria", *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, vol. 15, no. 5, pp. 34-44, 2020.
[38] A. L. Alvarez, S. Weyers, J. M. F. Johnson, and R. D. Gardner, "Soil inoculations with *Anabaena cylindrica* improve aggregate stability and nutrient dynamics in an arable soil and exhibit potential for erosion control", *Journal of Applied Phycology*, vol. 33, pp. 3041–3057, 2021, DOI: 10.1007/s10811-021-02526-9.
[39] M. M. Allaf and H. Peerhossaini, "Cyanobacteria: Model Microorganisms and Beyond", *Microorganisms*, vol. 10, no. 4, 696, 2022, DOI: 10.3390/microorganisms10040696.