تأثير التلقيح بـ*Azospirillum* على بعض الخواص الكيميائية لتربة مالحة مزروعة بنبات القطن عند استخدام مستويات مختلفة من السماد العضوي والمعدني

أ.د. عبدالله العيسى[1]–محمود المرعي[2]

هدفت الدراســـة إلى تقييم تأثير تلقيح *Azospirillum* على بعض الخواص الكيميائية في تربة مالحة (8.1ds/m) مزروعة بنبات القطن، عند استخدام مستويات مختلفة من التسميد العضوي (0، 10، 20، 40 طن/هـ) سماد أبقار والتسميد المعدني ((50–100–0)، (100–100–0)، (150–100–0)) كغ/هـ من N–P–K على التوالي في حوض الفرات الأدنى، في عروتين ربيعية وخريفية.

أظهرت النتائج أن التلقيح بـــــ *Azospirillum* أدى إلى تحســـين ملحوظ في خواص التربة الكيميائية؛ إذ تحسنت قيم الـــ pH و انخفض ECe وكربونات الكالسيوم و SAR و ESP، بينما ازداد محتوى التربة من المادة العضـــوية، كما ازدادت ســـعة التبادل الكاتيوني، وتزايد تيســـر بعض العناصـــر الكبرى، كما سجلت المعاملات الملقحة ارتفاعًا في تركيز Ca^{2+} و Mg^{2+} وانخفاضًا في Na^{+} و Cl^{-}.

حقق دمج التلقيح بالـــ *Azospirillum* مع التسميد العضوي بمعدل 20 طن/هـــ سماد عضوي (أبقار) أفضـل اسـتجابة على مسـتوى الخصـائص الكيميائية للتربة، كما تبين أن العروة الربيعية (الموسـم الأول) كانت أكثر ملاءمة من العروة الخريفية (الموسم الثاني) من حيث تأثير التلقيح بالـ *Azosprillium* في خفض الإجهاد الملحي، وتحسّـن محتوى التربة من المادة العضـوية والعناصـر الغذائية وسـعة التبادل الكاتيوني.

أكدت النتائج أن التلقيح بـــ *Azospirillum* مع مستوى سماد نيتروجين مُخَفَض بمقدار 50–60% من التوصـية السـمادية أعطى نتيجةً تُسـاوي أو تتفوق على اسـتخدام 100–150 كغ/هـ سـماد نتروجيني من التوصية دون تلقيح.

كلمات مفتاحية: *Azospirillum*– التربة المالحة– السـماد العضـوي– السـماد المعدني – الخواص الكيميائية.

[1] أستاذ في قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الزراعة – جامعة حمص

[2] طالب دكتوراه في قسم التربة واستصلاح الأراضي- كلية الزراعة- جامعة حمص

The Effect of *Azospirillum* Inoculation on some Chemical Properties of Saline Soil planted with Cotton using different levels of organic and mineral fertilizers.

This study aimed to evaluate the effect of *Azospirillum* inoculation on selected chemical properties of a saline soil (8.1 ds m^{-1}) cultivated with cotton, under different levels of organic fertilization (0, 10, 20, and 40 t ha^{-1} of cattle manure) and mineral fertilization ((50–100–0), (100–100–0), and (150–100–0) kg ha^{-1} N–P–K, respectively). The experiment was conducted in the Lower Euphrates Basin during two growing seasons, spring and autumn.

The results showed that *Azospirillum* inoculation led to a marked improvement in soil chemical characteristics. A notable improvement in pH was observed, accompanied by a marked reduction in electrical conductivity (ECe), calcium carbonate content, sodium adsorption ratio (SAR), and exchangeable sodium percentage (ESP). Conversely soil organic matter content increased. Additionally, cation exchange capacity (CEC) and availability of macro-elements improved. Inoculated treatments recorded higher concentrations of Ca^{2+} and Mg^{2+}, accompanied by a reduction in Na^{+} and Cl^{-} levels.

Integrating *Azospirillum* inoculation with organic fertilization at 20 t ha^{-1} of cattle manure yielded the most favorable response in terms of soil chemical properties. Furthermore, the spring season (first growing cycle) proved more suitable than the autumn season (second cycle) regarding the efficiency of *Azospirillum* in mitigating salinity stress and enhancing soil organic matter, nutrient availability, and cation exchange capacity.

The findings confirm that *Azospirillum* inoculation, combined with a reduced nitrogen fertilizer rate (50–60% of the recommended N dose), achieved performance comparable to or superior to applying 100–150 kg ha^{-1} of nitrogen without inoculation.

Keywords: *Azospirillum* – saline soil – organic fertilizer – mineral fertilizer –chemical properties.

الدراسة مرجعية:

تُعدّ ملوحة التربة من العوامل الأساسية التي تحدد إنتاجية المحاصيل الزراعية، حيث أظهرت الدراسات أن ارتفاع ملوحة التربة يؤدي إلى انخفاض كبير في نمو النبات وإنتاجيته بسبب تأثيرها المباشر على عملية التمثيل الضوئي واستقلاب الكربون والنتروجين، مما يسبّب اختلالات في التغذية النباتية (Santos *et al.*, 2019; Balibrea *et al.*, 2020; Soussi *et al.*, 2021)، وبهذا تُعد مشكلة ملوحة التربة من أبرز التحديات التي تواجه الزراعة (Hassani, 2021) ، مما يستدعي تطوير استراتيجيات فعّالة لتحسين خصوبة التربة ومقاومة المحاصيل المعرضة للإجهاد الملحي (Singh, 2019) .

من الحلول الواعدة للتعامل مع التربة المالحة استخدام بكتيريا الريزوسفير المعزّزة لنمو النباتات Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)، والتي منها الـ *Azospirillum*، التي ثبت أنها تحسّن نمو النباتات تحت ظروف الإجهاد الملحي (Degon, 2023)، تعتمد فعالية الـ *Azospirillum* في إنتاج الهرمونات النباتية، مثل الأوكسينات، والتي تعزز نمو الجذور وتحسّن امتصاص الماء والمغذيات، كما تساهم في تثبيت النيتروجين الجوي مع المحاصيل غير البقولية، مما يقلل من الحاجة لاستخدام الأسمدة النيتروجينية (Bashan and Bashan, 2010; Fukami, 2018)، وزيادة مقاومة النباتات للأمراض من خلال إنتاج مضادات حيوية (Bacilio *et al.*, 2021; Bashan *et al.*, 2022)، تلعب هذه البكتيريا دورًا أساسيًا في تحسين خواص التربة الكيميائية، وزيادة القدرة على الاحتفاظ بالمغذيات، وتحفيز النشاط الميكروبي المفيد في الجذور، كما أظهرت الدراسات أن *Azospirillum* تتكيف مع ظروف الملوحة والحرارة العالية، مما يجعلها خيارًا مثاليًا للزراعة في الأراضي القاحلة أو شبه القاحلة (Barbosa, 2022; Tiwari and Tripathi, 2024) ، إلى جانب ذلك، توفر هذه البكتيريا حماية غير مباشرة للنباتات من الإجهاد البيئي من خلال تحفيز تكوين الأغشية الحيوية Microbial biofilms حول الجذور، ما يساعد على تثبيت النيتروجين بفعّالية أكبر ويقلّل من تأثير الملوحة على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية (Mishra, 2020; Cruz *et al.*, 2022).

يسهم التلقيح بالبكتيريا المثبتة للنتروجين الجوي في الأراضي الملحية القلوية في ترشيد استخدام الأسمدة النيتروجينية، ويقلل تكاليف الإنتاج والتلوث البيئي، كما يعزز إنتاج منشطات

نمو في منطقة الريزوسفير، مما يزيد من امتصاص العناصر الغذائية وتحسين إنتاجية المحاصيل (Ali *et al*., 2022; Bashan *et al*., 2022).

ساهم التلقيح بالـ *Azospirillum* في زيادة استهلاك العناصر الغذائية وتحسين كفاءة استخدامها، ما أدى إلى زيادة العائد بنسبة 15–30% في العديد من الدراسات، خاصة عند الزراعة في ظروف تربة مالحة أو فقيرة بالعناصر الغذائية (Kumar *et al*., 2023).

أظهرت الدراسات أنّ الـ *Azospirillum* يقوم تحت ظروف الإجهاد الملحي بإفراز سكريات متعددة خارجية Exopolysaccharides وسكريات متعددة دهنية Lipopolysaccharides، تعمل هذه المركبات على تثبيت أيونات الصوديوم وتقليل تأثيرها الضار على النبات، مما يعزّز قدرة النباتات على مقاومة ملوحة التربة وتحسين نموها تحت ظروف ملحية عالية.(Barbosa, 2022 ;Fukami and Hungria, 2018) استنتج (Kim *et al*., 2010) أن التلقيح بالـ *Azospirillium* زاد من قدرة النباتات على امتصاص العناصر الغذائية الكبرى والصغرى.

حسّن التلقيح بالـ *Azospirillum* عند زراعة نبات الأرز في تربة مالحة امتصاص العناصر الغذائية (Degon, 2023)، وأشار (Egamberdieva, 2019; Hafez*et al*., 2021 ; Mariotti*et al*., 2021; Omer, 2022; Hoque, 2022 ; Zhang, 2023) أن التلقيح بـ *Azospirillum* عند دمجه بالأسمدة العضوية قد زاد النشاط الأنزيمي، وازدادات في الوقت ذاته من إتاحة العناصر الكبرى والصغرى وسعة التبادل الكاتيوني CEC وخفض ECe– ESP ، كما وجد (Ferreira, 2013;Yadav, 2020) أن دمج التلقيح بالـ *Azospirillum* مع السماد العضوي أعطى تحسناً في الإنتاجية مع احتمال تقليل الحاجة إلى النتروجين المعدني.

أكد (Xinjiang, 2025) أن الأسمدة البيو–عضوية تقلل قلوية وملوحة التربة، وتزيد من المادة العضوية والعناصر الكبرى وتحسّن إنتاجية القطن (Heng, 2022) ، أشارت دراسة إقليمية على ترب حوض الفرات إلى انخفاض الملوحة بعد تطبيق السماد البلدي مع الأسمدة الحيوية (Al–Khateeb, 2008).

توصّل كل من (Hassan, 2017; Shah *et al*., 2018; Ahmad*et al*., 2019; Mansour and Ahmed, 2019) إلى أن استخدام *Azospirillum* ساهم بشكل كبير في

تحسين الخصائص الكيميائية للتربة وزيادة إنتاجية المحصول، و أدى استخدام الأسمدة الحيوية، بما في ذلك *Azospirillum*، في ظروف التربة المالحة إلى زيادة محتوى العناصر الغذائية مثل NPK (Abdelhamid and Ibrahim, 2018)، وزاد من محتوى الكالسيوم والمغنزيوم في التربة (Khan, 2019; Ghosh, 2021). أوضح كل من (Aly, 2017; Zahran and Abdel-Samad, 2018; Mahmoud and El-Naggar, 2019; El-Sayed, 2020; Naseem, 2020; Alam and Rauf, 2021) أن الجمع بين الأسمدة العضوية والحيوية، وخاصة *Azospirillum* أدى إلى تحسن كبير في خصائص التربة الكيميائية، وتقليل تأثير الملوحة وزيادة مستوى العناصر الغذائية في التربة.

أهمية ومبررات البحث:

تعاني ترب حوض الفرات من مشكلة الملوحة ومن انخفاض محتواها من العناصر المغذية، الأمر الذي يستدعي البحث عن إيجاد طرائق علمية مختلفة لإدارة هذه الأراضي، ومن هنا فإن دراسة تأثير التلقيح بالـ*Azospirillum* في ظروف الإجهاد الملحي، ربما يسهم في التخفيف من التأثيرات السلبية لملوحة التربة على النبات، ويعمل على تحسين خواصها الكيميائية إلى جانب الاستفادة من الآزوت البيولوجي المثبت من *Azospirillum* spp في تزويد النبات في بعض احتياجاته من النتروجين وإتاحة العناصر الغذائية الأخرى، مما يخفض تكاليف الإنتاج، ويقلّل التلوّث البيئي، ويحسّن إنتاجية النبات.

علاوة على ذلك فإنّ هناك ندرة في الأبحاث المحلية التي درست تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* spp في الترب المالحة السورية على الخواص الكيميائية للتربة.

هدف البحث إلى: دراسة تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* spp على بعض الخواص الكيميائية للتربة المالحة عند زراعة نبات القطن في ظروف حوض الفرات الأدنى.

مواد وطرائق البحث:

تمّ عزل الـ *Azospirillum* من ترب متدرجة الملوحة من حوض الفرات الأدنى، ومن ثمَّ لُقّحت بذور نباتات القطن بتلك البكتيريا (العيسى، 2005) في تربة ذات درجة ملوحة 8.1 dS/m، تمّ إجراء البحث في محافظة دير الزور خلال موسمي العروة الربيعية والعروة الخريفية،

في تربة مزروعة بالقطن صنف دير 22، حيث تم حراثة الأرض وتنعيمها وتسويتها وتقسيمها إلى قسمين: قسم ترك لدراسته في العام التالي، وقسم ثاني تمّ تقسيمه إلى قطاعات عشوائية متكاملة بمساحة (8 م^2) وبمقدار 25 نبات في كل قطعة تجريبية وبواقع 3 مكرّرات، وزراعته على خطوط المسافة بين الخطوط 60 سم والمسافة بين النبات والأخر70 سم بذلك تكون المساحة الكليّة للتجربة مع الفواصل =500 م^2، وتم إضافة السماد المعدني على الشكل المبيّن في الجدول(1)، وأضيف السماد العضوي (روث الأبقار بمعدّلات (0– 10– 20– 40) طن/هـ، وضعت الأسمدة الكيميائية بشكل متساو(عدا الأسمدة النتروجينية) لكل معاملات التجربة، وذلك حسب توصيات وزارة الزراعة السورية (Deeb, 1993). إذ خُفّضت كمية الأسمدة النتروجينية إلى 60% في المعاملات الملقّحة بالأجناس البكتيرية المثبّته للنتروجين الجوي، باعتبار أن الأخيرة يجب أن تقوم بعملية تثبيت النتروجين الجوي، علماً بأنّ الأسمدة النتروجينية المستخدمة هي اليوريا، والفوسفاتية هي السوبر فوسفات.

جدول–1 مستويات الأسمدة المعدنية المضافة

السماد المعدني(كغ/هـ)	أزوت N	فوسفور P_2O_5	بوتاسيوم
مستوى أول	50	100	–
مستوى ثان	100	100	–
مستوى ثالث (الموصى به)	150	100	–

التحاليل الأساسية للتربة: (في عودة وشمشم، 2007) تم تقدير درجة تفاعل التربة بجهاز الـ(pH) ميتر، ومحتوى التربة من المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة بديكرومات البوتاسيوم، ودرجة الناقلية الكهربائية بجهاز قياس(ECe) في مستخلص العجينة المشبعة وحساب TDS(mg/l)=EC(ds/m)×640، ومحتوى التربة من الكربونات الكلية بجهاز الكالسيميتر، وتقدير سعة التبادل الكاتيوني (الـ CEC)، ومحتوى التربة من الآزوت الكلي بطريقة كلداهل، و الفوسفور المتاح بطريقة (Olsen) باستخدام جهاز (Spectrophotometer) (Olsen *et al.*, 1954)، وكمية البوتاسيوم المتاح باستخدام جهاز اللهب (Flam–photometer)، وكمية الكالسيوم والمغنزيوم الذوابين بطريقة المعايرة بـ EDTA ، وتركيز الصوديوم الذواب بطريقة اللهب، والكلور الذواب بطريقة المعايرة بنترات الفضة ($AgNO_3$)

و SAR– ESP تم حساب قيم SAR بناءً على تراكيز الكاتيونات الذائبة المقاسة في مستخلص العجينة المشبعة، بينما تم تقدير قيم ESP حسابياً بالاعتماد على قيم SAR المقاسة، وذلك باستخدام المعادلة الرياضية المعتمدة عالمياً من قبل مختبر الملوحة الأمريكي، والتي تربط بدقة بين المؤشرين في الترب المتأثرة بالأملاح.(Essington, 2015)

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \qquad ESP = \frac{100\,(-0.0126+0.01475\times SAR)}{1+(-0.0126\times+0.0147\times SAR)}$$

أمّا التحاليل الكيميائية للسماد العضوي فتمّ تقدير المادة العضوية بطريقة الحرق بالترميد، وتقدير النتروجين الكلي بطريقة كلداهل، والفوسفور باستخدام جهاز الطيف الضوئي، والبوتاسيوم باستخدام جهاز اللهب، وتقدير الـ EC بجهاز الموصلية الكهربائية بمستخلص (1:10)

جدول(2) بعض الخصائص الكيميائية للسماد العضوي (الأبقار) المستخدم

1.8	EC dS/m	49.5	TOM
1.2	K(%)	1.47	N%
19.5/1	C/N	0.8	P(%)

جدول (3) الخصائص الأساسية للتربة المدروسة في الموسمين

مواسم الزراعة / الخصائص الكيميائية	الموسم الأول	الموسم الثاني
PH(1:2.5)	8.30	8.35
Ece dS/m عجينة مشبعة	8.12	8.16
OM %	0.58	0.62
$CaCO_3$ %	25.60	26.80
SAR	18.12	18.40
CEC meq/100 g soil	11.46	11.87
Ca^{++} meq/l الذواب	20.80	21.60
Mg^{++} meq/l الذواب	12.70	13.20
Na^{+} meq/l الذواب	57.71	58.5
Cl^{-} meq/l الذواب	33.60	35.30
N g/kg الكلي	0. 50	0. 55
p ppm المتاح	10.20	11.00
K mg/kg المتاح	185.00	192.00

Cu^{+} mg/kg المتاح	0.16	0.12
Zn^{+} mg/kg المتاح	0.56	0.44
Fe^{+} mg/kg المتاح	0.85	0.76
Mn^{+} mg/kg المتاح	0.32	0.30

يبين الجدول (3) أن pH التربة تراوح بين 8.30–8.35 تدل هذه القيم على أن التربة متوسطة القلوية، أما الناقلية الكهربائية فكانت (ECe = 8.12 – 8.16 dS/m) مما يشير إلى أن التربة مصنفة ضمن نطاق التربة المالحة. بينما تراوحت (SAR = 18.12 – 18.40) وبهذه الدرجة تسبب خطر متوسط، قد تسبب مشاكل في الترب الطينية، وتصنف مالحة صودية ≤ 15 (راين وأخرون، 2003; Essington, 2015) ، وكانت سعة التبادل الكاتيوني (CEC = 11.46 – 11.87 meq/100 g) وهي بذلك قيمة منخفضة نسبياً إلى متوسطة، في حين وجد أن نسبة كربونات الكالسيوم($CaCO_3$ = 25.6 – 25.8 %) وهذا يدل على وجود نسبة كبيرة نسبيًا من الجير في التربة، وكان تركيز Na^{+} (57.71 → 58.5 meq/L) مرتفعاً ، و تواجد كل Ca^{2+} وMg^{2+} بتراكيز كافية لدعم توازن الكاتيونات في التربة، ووجد تركيز كبير من أيونات الكلور Cl^{-} (33.6 → 35.3 meq/L) ، واحتوت التربة المدروسة على كمية منخفضة من النيتروجين الكلي % 0.055 → 0.050 وكمية متوسطة من الفوسفور المتاح (10.20 → 11 ppm)، ومستوى جيد من البوتاسيوم المتاح (185 → 192 ppm)، أما العناصر الصغرى المتاحة Cu ، Zn، Fe، Mn فكان محتواها في التربة منخفضاً.

التحليل الإحصائي:

صمّمت التجربة بطريقة القطاعات العشوائية الكاملة، وأعطيت معاملات التجربة الرموز التالية: المعاملات الملقحة: I ، المعاملات غير الملقحة: n، سماد عضوي: o، سماد معدني: m وبذلك يكون عدد معاملات البحث = 14 معاملة، عدد مكررات= 3 ، فيكون عدد القطع التجريبية في كل تجربة 42 على النحو التالي:

جدول (4) معاملات التجربة

رقم المعاملة	رمز المعاملة	الأسمدة المضافة
1	I	شاهد ملقّح بدون إضافة سماد عضوي ومعدني
2	io_1	ملقحة+ (10 طن/هـ سماد عضوي بقري)
3	io_2	ملقحة+ (20 طن/هـ سماد عضوي بقري)

4	io_3	ملقحة+ (40 طن/هـ سماد عضوي بقري)
5	im_1	ملقحة+ (150 –100 –0) كغ/هـ على التوالي (K – P– N)
6	im_2	ملقحة+ (100 –100 –0) كغ/هـ
7	im_3	ملقحة+ (50 –100 –0) كغ/هـ
8	n	شاهد غير ملقح بدون إضافة سماد معدني وعضوي
9	no_1	غير ملقحة+ (10 طن/هـ سماد عضوي بقري)
10	no_2	غير ملقحة+ (20 طن/هـ سماد عضوي بقري)
11	no_3	غير ملقحة+ (40 طن/هـ سماد عضوي بقري)
12	nm_1	غير ملقحة+ (150 –100 –0) كغ/هـ (K – P– N)
13	nm_2	غير ملقحة+ (100 –100 –0) كغ/هـ
14	nm_3	غير ملقحة+ (50 –100 –0) كغ/هـ

النتائج والمناقشة

أولاً: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على pH التربة والمادة العضوية في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

عند دراسة تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum* في تركيز درجة تفاعل التربة (الـ pH) كما هو واضح في (الجدول–5) لوحظ انخفاض في قيمه في جميع المعاملات الملقحة سواء أكانت مسمدة عضوياً أو معدنياً تحت مستويات التسميد المختلفة مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح، وبلغ الانخفاض أشده في المعاملة الملقحة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي ووصل قيم الـ pH إلى 7.88، وذات المستوى 10 طن/هـ حيث بلغت 7.97 حيث كان انخفاضهما معنوياً مقارنة مع المعاملات الأخرى، هذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه (Ghosh*et al.*, 2011) الذي أشار أن للقاحات الميكروبية دور في خفض درجة تفاعل الـ pH وذلك عن طريق إنتاجها للأحماض العضوية كنواتج لتحلل المركبات العضوية المختلفة، كما تعمل على خلب الأيونات الثنائية الموجبة المسؤولة عن تثبيت الفوسفور في التربة الكلسية والقاعدية وإنتاج أحماض عضوية معقّدة. من جهة أخرى انخفضت قيمها في المعاملات الملقّحة والتي خفّض فيها المستوى النتروحيني إلى 60% من التوصية السمادية المقررة حيث وصلت إلى 7.99، على الرغم من أن

التسميد المعدني قد يرفع درجة تفاعل التربة (Zhong,*etal.*,2010) ، وأيضاً ربما ذلك عائد إلى قدرة الـ *Azospirillum* على تحفيز وتنشيط ريزوسفير القطن وبالتالي زيادة المفرزات الجذرية لإنتاج الحموض العضوية التي من شأنها خفض درجة تفاعل التربة وجعل البيئة مناسبة لامتصاص العناصر الغذائية (Naqqash*et al.*, 2022). من جهة أخرى لم يلحظ أيه اختلافات معنوية في درجة تفاعل التربة في المعاملات غير الملقحة والتي أضيفت إليها مستويات مختلفة من التسميد المعدني، في حين انخفضت قيمها في المعاملات غير الملقحة المضاف إليها أسمدة عضوية وبلغ الانخفاض أشده في المعاملة 40 طن/هـ حيث بلغت درجة تفاعل التربة 8.10 إلا أنها بقيت أعلى من قيمها عند ذات المستوى في المعاملة الملقحة، ويعود ذلك إلى ارتفاع نسبة المادة العضوية في ترب تلك المعاملات التي تنتج أحماضاً عضوية بفعل النشاط الميكروبي وهذا بدوره يخفض درجة تفاعل التربة. حيث أشار كل من(Emad, 2009) إلى أن التغيير في قيم درجة تفاعل التربة عقب إضافة المخلفات العضوية يعتمد بشكل أساسي على الخصائص النوعية للمادة المضافة، ولاسيما درجة تفاعلها الأولية ومسار تحللها الحيوي، فضلاً عن السعة التنظيمية للتربة الأصلية، و تُظهر النتائج حساسية الترب الملحية– الكلسية لإضافة المادة العضوية، وهو ما يُعزى إلى انخفاض سعتها التنظيمية في ظل الظروف الملحية. وقد أظهر السماد العضوي المستخدم كفاءة أعلى على خفض قيم درجة تفاعل التربة مقارنة مع التسميد المعدني، ويعود ذلك إلى تحرر الأحماض العضوية و تصاعد ثاني أكسيد الكربون أثناء عمليات التمعدن، مما يساهم في معادلة جزء من قلوية التربة.

أما في المعاملات غير الملقّحة، فقد لوحظ أن انخفاض درجة تفاعل التربة كان أقل وضوحاً، حتى عند إضافة الأسمدة العضوية، حيث بقيت درجة تفاعل التربة أعلى مقارنة بالمعاملات الملقحة، وذلك بسبب عدم التلقيح بالـ *Azospirillum* مما قلّل من إنتاج الأحماض العضوية في الريزوسفير (Emad, 2009) ، كما أشارت النتائج إلى أن السماد العضوي كان أكثر فاعلية من السماد المعدني في خفض درجة تفاعل التربة، وذلك لاحتوائه على مواد عضوية يمكن تحللها ميكروبياً لإنتاج الأحماض العضوية (العيسى،2007). لدى مقارنة نتائج الموسمين كان الفرق في درجة تفاعل التربة غير معنوي وتقع الترب ضمن الترب (متوسطة القلوية) الشائعة في حوض الفرات بسبب الطبيعة الكلسية والتي غالباً لا يتغير pH كثيراً بين المواسم لأنه مرتبط أساساً بالكربونات الكلية والبيئة شبه الجافة، من ناحية أخرى كانت قيم الـ pH مناسبة لنمو الـ *Azospirillum* كما

أشار إليها (Fares and Mohammad, 2009) بأن لـ *Azospirillum* القدرة على استيطان البيئات المالحة ذات درجة التفاعل العالية.

جدول (5) تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* على درجة الـpH والمادة العضوية في التربة

المعاملة	pH			المادة العضوية للتربة %		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	8.20	8.27	8.24^{ab}	0.77	0.73	0.75^{h}
io_1	7.95	7.98	7.97^{bc}	1.25	1.20	1.225^{b}
io_2	7.85	7.90	7.88^{c}	1.42	1.39	1.405^{a}
io_3	8.04	8.05	8.05^{abc}	1.10	0.98	1.04^{d}
im_1	8.17	8.19	8.18^{abc}	0.85	0.79	0.82^{fg}
im_2	8.05	8.09	8.07^{abc}	0.90	0.85	0.875^{f}
im_3	7.97	8.00	7.99^{bc}	0.98	0.95	0.965^{e}
n	8.30	8.35	8.33^{a}	0.62	0.60	0.61^{i}
no_1	8.20	8.23	8.22^{ab}	0.90	0.86	0.88^{f}
no_2	8.09	8.18	8.14^{abc}	1.01	0.98	0.995^{de}
no_3	8.02	8.18	8.1^{abc}	1.15	1.12	1.135^{c}
nm_1	8.20	8.32	8.26^{ab}	0.78	0.74	0.76^{gh}
nm_2	8.19	8.25	8.22^{ab}	0.80	0.76	0.78^{gh}
nm_3	8.22	8.25	8.24^{ab}	0.75	0.71	0.73^{h}
L.S.D 5%	0.33	0.33	0.33	0.04	0.08	0.06

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

يمكن تفسير الزيادة المعنوية في كمية المادة العضوية في ترب المعاملات الملقحة بالـ *Azospirillum* بأنها ناتجة عن التأثير المتعدد الجوانب لهذه البكتيريا على النشاط الفيزيولوجي

والعمليات البيوكيميائية في التربة. إذ تعمل *Azospirillum* على تحفيز تحلل المواد العضوية المعقدة إلى مركبات أبسط قابلة للامتصاص من قبل النباتات، كما أنها تفرز أنزيمات مختصة مثل الليباز واليورياز والفوسفوتاز التي تعزز من تفكك الكربوهيدرات والبروتينات والفوسفور العضوي، مما يسهم في زيادة تراكم المادة العضوية المستقرة في التربة، إضافة إلى ذلك، فإن التلقيح الميكروبي يزيد من كثافة المجتمعات الميكروبية المفيدة، التي تعزّز دورة العناصر الغذائية وتحسّن قدرة التربة على الاحتفاظ بالمادة العضوية والماء، وهو ما يرفع من خصوبة التربة بشكل عام(Kim *et al.*, 2010) ، حيث تشير النتائج المبوّبة في (الجدول-5) إلى أن أعلى محتوى المادة العضوية سجّلت في المعاملات الملقحة عند مستوى 20 طن/هـ للسماد العضوي، حيث بلغت 1.41%، بينما سجّلت المعاملة غير الملقحة عند نفس المستوى نسبة أقل بلغت 0.96%. ويعكس هذا التفاوت دور التلقيح في زيادة فعّالية تحلل السماد العضوي وتحويله إلى مركبات مستقرة تساهم في رفع محتوى المادة العضوية، وهو ما يتوافق مع ما ذكره كل من (Schioing, 2004 ; Magdoof and Weil, 2004)، الذين أشاروا إلى تفوق الأسمدة العضوية على المعدنية في رفع محتوى التربة من المادة العضوية، وخصوصاً عند مستويات إضافة مرتفعة. من ناحية أخرى إن إضافة الأسمدة المعدنية يمكن أن يشجع على زيادة تمعدن المادة العضوية في التربة من خلال زيادة النشاط الحيوي، مما يؤدي إلى انخفاض محتواها من المادة العضوية وهذا ما قد يفسر تدني نسبة المادة العضوية في ترب المعاملات غير الملقحة والتي خضعت لتأثير مستويات مختلفة من التسميد المعدني عن بقية المعاملات كما أشار إلى ذلك (Bünemann*et al.,* 2021). لدى مقارنة نتائج الموسمين لوحظ زيادة طفيفة بالموسم الأول، قد تكون ناتجة عن الظروف البيئية المناسبة لتحلّل السماد العضوي في الزراعة الربيعية، و ملاءمة الظروف المناخية من حرارة و رطوبة، والتي شكلت بيئة مثالية لتحفيز النشاط الإنزيمي والميكروبي للـ *Azospirillum* هذا النشاط أدى إلى تحسّن تحلل المادة العضوية، أما في العروة الخريفية، فإن انخفاض درجات الحرارة يؤدي عادةً إلى تباطؤ العمليات الحيوية وقد يؤدي إلى انخفاض محتواها.

ثانيا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على الناقلية الكهربائية في مستخلص العجينة المشـــبعة وكمية الأملاح الكلية الذائبة في التربة المزروعة بمحصـــول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

بيّنت النتائج الموضَّحة في الجدول(6) انخفاض قيم الناقلية الكهربائية لمستخلص العجينة المشبعة في ترب كافة المعاملات الملقّحة بـ *Azospirillum* مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح وذلك بغض النظر عن نوع السماد ومستواه؛ وبلغت أدنى قيمة للناقلية الكهربائية في المعاملة الملقحة ذات مستوى 20 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى 7.33 ds/m في مستخلص العجينة المشبعة، يليها المعاملة ذات مستوى 10 طن/هـ حيث بلغت 7.53 ds/m، ثم المعاملة المسمدة معدنياً ذات (50-100-0) كغ/هـ N-P-K والتي وصلت إلى 7.74 ds/m، ويعود انخفاض قيم الناقلية الكهربائية إلى قدرة *Azospirillum* على خفض نسبة الأملاح الكلية الذائبة من خلال إفراز الـ *Azospirillum* سكريات متعددة خارجية Exopolysaccharide وسكريات متعددة دهنية Lipopolysaccharide حيث تعمل هذه المركبات على ربط أيون الصوديوم وبالتالي تزيد تحمّل النباتات لملوحة التربة من خلال تحسين نفاذية التربة وتجميع حبيباتها (Fisher*et al.*, 2003; Saberi,*et al.*, 2021; Alhoqail, 2026). أيضاً يمكن ملاحظة تفوق المعاملة io2 على المعاملة io3 بانخفاض كمية الأملاح الكلية الذائبة، تتفق مع النتيجة التي أشار إليه (Gonçalo,*atal.*, 2019) إن الجرعات العالية من الأسمدة العضوية عند اقترانها بنشاط ميكروبي نتيجة التلقيح، قد تؤدي إلى تحرر سريع للأملاح الكامنة في السماد نفسه، مما يرفع الملوحة مؤقتاً ويخلق ضغطاً إسموزياً يقلل من كفاءة الغسل. وبذلك، فإن فاعلية المستويات العالية من المادة العضوية ترتبط إرتباطاً وثيقاً بمعدل التحلل الحيوي، حيث تبرز أهمية المستوى المتوسط 20 طن/هـ عند استخدام اللقاحات الحيوية لضمان التوازن بين تحسين بناء التربة، وتجنب زيادة الملوحة الناتجة عن السماد.

تجدر الإشارة أن قيم الناقلية الكهربائية تدنت في ترب المعاملات غير الملقحة مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح (8.14) ds/m وتفوقت المعاملة ذات المستوى 40 طن/هـ و20 طن/هـ سماد عضوي على بقية المعاملات (7.7- 7.64) ds/m على التوالي، و يُعزى ذلك إلى غياب التلقيح جعل عملية تحلل المادة العضوية تسير ببطء، مما سمح للأحماض العضوية

والمركبات الدبالية الناتجة تحسن من نفاذية التربة وتسهل حركة المياه وغسل الأملاح تدريجياً دون حدوث إجهاداً نتيجة سرعة التحلل(Hoque.2022) ، في حين لم يسجل التحليل الإحصائي أية فروق معنوية واضحة بين ترب المعاملات المسمدة معدنياً بكافة مستوياتها فيما يتعلق بقيم الناقلية الكهربائية، في الوقت ذاته فاق أثر السماد العضوي تأثير السماد المعدني في خفض نسبة الملوحة. لدى مقارنة الموسمين، لوحظ أن قيم الناقلية الكهربائية كانت أعلى قليلاً في العروة الخريفية، ربما بسبب زيادة التراكم الملحي الناتج عن التبخر العالي الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة في تلك العروة.

جدول (6) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على قيم الناقلية الكهربائية وكمية الأملاح الكلية الذائبة في مستخلص العجينة المشبعة في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني)

المعاملة	الناقلية الكهربائية Ece ds/m			TDS (mg/L)		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
l	8.02	8.26	8.14^{abc}	5133	5286	5210^{bc}
io_1	7.46	7.59	7.53^{f}	4774	4858	4819^{i}
io_2	7.23	7.43	7.33^{g}	4627	4755	4691^{j}
io_3	7.75	7.98	7.87^{bcde}	4960	5107	5037^{ef}
im_1	7.92	8.16	8.04^{abcd}	5069	5222	5146^{cd}
im_2	7.82	8.01	7.92^{bcde}	5005	5126	5069^{e}
im_3	7.62	7.85	7.74^{cdef}	4877	5024	4954^{fg}
n	8.12	8.16	8.14^{abc}	5197	5222	5210^{bc}
no_1	7.82	8.06	7.94^{bcde}	5005	5158	5082^{de}
no_2	7.62	7.78	7.7^{def}	4877	4979	4928^{gh}

4890^{h}	4896	4877	7.64^{ef}	7.65	7.62	no_3
5338^{a}	5414	5261	8.34^{a}	8.46	8.22	nm_1
5286^{ab}	5350	5216	8.26^{ab}	8.36	8.15	nm_2
5216^{bc}	5235	5197	8.15^{abc}	8.18	8.12	nm_3
105.4	109.4	101.39	0.53	0.59	0.48	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

ثالثا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على نسبة الكربونات الكلية وسعة التبادل الكاتيوني في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تأثرت محتوى التربة من الكربونات الكلية في التربة بشكل طفيف وبصورة غير معنوية بغض النظر عن إضافة اللقاح البكتيري أو عدم إضافته، لوحظ انخفاض طفيف لنسبة الكربونات الكلية في ترب تلك المواقع (جدول–7)، وانسحب ذلك على بقية المعاملات خاصة الخاضعة لتأثير السماد العضوي، ولم تسجل ترب المعاملات غير الملقحة الخاضعة لتأثير السماد المعدني أية فروقات مع الشاهد فيما يتعلق بمحتواها من الكربونات الكلية، وهذا عائد لتأثير الـ *Azospirillum* على إنتاج أحماض عضوية ومركبات وسيطة من شأنها التأثير على درجة تفاعل التربة وخفض نسبة الكربونات الكلية. ولدى مقارنة تراكيز الكربونات الكلية بين المعاملات الملقحة وغير الملقحة من ناحية، ونوع السماد المستخدم من ناحية أخرى، انخفضت تراكيز الكربونات الكلية في المعاملات الملقحة وكذلك في معاملات السماد العضوي مقارنة مع تراكيزها في المعاملات غير الملقحة مع السماد المعدني.

يمكن تفسير التغيرات في نسبة الكربونات الكلية في التربة بشكل عكسي مع درجة تفاعل التربة وكمية المادة العضوية، بأن الـ *Azospirillum* تلعب دورًا فعالًا في تعديل الوسط الكيميائي للتربة من خلال إنتاج أحماض عضوية ومركبات وسيطة تؤثر على درجة تفاعل التربة وتخفض تراكم الكربونات الكليّة، وعند انخفاض قيم تفاعل التربة وازدياد المادة العضوية، كما هو الحال في المعاملة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي، لوحظ انخفاض غير معنوي في نسبة الكربونات الكلية. وعند المقارنة بين المعاملات الملقحة وغير الملقحة ونوع السماد المستخدم، لوحظ انخفاض تراكيز الكربونات الكلية في المعاملات الملقّحة وبالأخص عند استخدام السماد العضوي، ما يدل على الدور التكاملي للـ *Azospirillum* والسماد العضوي في تعديل الخصائص الكيميائية للتربة

وتحسين كفاءتها البيوكيميائية والفيزيولوجية لدعم نمو النبات في ظروف ملحية. لدى مقارنة الموسمين لوحظ زيادة غير معنوية في نسبة الكربونات الكلية بالموسم الثاني. أثر التلقيح بالـ *Azospirillum* على قيم سعة التبادل الكاتيوني إيجابياً؛ فزادت قيمها في كافة المعاملات مقارنة مع الشاهد غير الملقح بغض النظر عن تأثير السماد ومستواه المضاف (جدول-7)، وتفوقت قيمته في المعاملة الملقحة بمعدل 20 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى 16.9 meq/100 g soil، في حين تقاربت قيمها في ترب المعاملات الملقحة الخاضعة لتأثير السماد المعدني فسجلت نسباً (13.28-13.98-14.78) meq/100 g soil على التوالي وفقاً للمستويات المضافة، وهذا يتفق مع ما ذكره (Abdo, 2007; Richardson, 2009) من أن التسميد الحيوي يرفع من معدل التحرّر البطيء للمغذيات ويجعلها في صورة صالحة للامتصاص من قبل النبات. بالمقابل ارتفعت قيم CEC في ترب المعاملات غير الملقحة والتي أضيفت إليها مستويات مختلفة من السماد العضوي مقارنة مع الشاهد غير الملقح وبلغت أعلى قيمة لها في المعاملة 40 طن/هـ حيث بلغت 13.98 meq/100 g soil، إلا أنها بقيت أقل من المعاملة الملقحة عند ذات المستوى 40 طن/هـ، في حين لم تبدِ قيمها أيه اختلافات واضحة في ترب المعاملات غير الملقحة الخاضعة لتأثير مستويات مختلفة من التسميد المعدني، حيث أثرت على ما يبدو ملوحة التربة سلباً في تلك المواقع على سعة التبادل الكاتيوني (Saidi, 2012).

جدول(7) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في نسبة الكربونات الكلية وسعة التبادل الكاتيوني في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	الكربونات الكلية %			CEC(meq/100 g soil)		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	23.62	24.75	24.19^{bcde}	13.3	12.85	13.08^{fg}
io_1	22.63	22.43	22.53^{fgh}	15.95	15.42	15.69^{b}
io_2	21.65	21.9	21.78^{h}	17.27	16.71	16.99^{a}
io_3	22.14	21.82	21.98^{gh}	14.52	14.04	14.28^{cd}
im_1	23.13	22.24	22.69^{efg}	13.5	13.05	13.28^{ef}
im_2	21.93	22.2	22.07^{gh}	14.21	13.74	13.98^{cde}

14.78^{bc}	14.53	15.03	21.76^{h}	21.7	21.83	im_3
11.67^{i}	11.46	11.87	25.70^{ab}	25.79	25.6	n
12.17^{hi}	11.96	12.38	24.70^{abcd}	25.28	24.11	no_1
13.38^{def}	13.15	13.6	23.99^{cde}	24.57	23.41	no_2
13.98^{cde}	13.74	14.21	23.19^{def}	23.75	22.62	no_3
12.58^{gh}	12.36	12.79	25.6^{abc}	26.2	25	nm_1
12.27^{hi}	12.06	12.48	25.86^{ab}	26.51	25.2	nm_2
11.87^{i}	11.66	12.07	26.15^{a}	26.7	25.6	nm_3
1.05	0.94	1.15	2.58	2.84	2.31	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

ظهر تأثير السماد العضوي إيجابياً في قيم الـ CEC مقارنة مع السماد المعدني، وهذا يتفق مع ما أشار إليه (Balah,etal.,2024) بأن وجود المادة العضوية تزيد من سعة التبادل الكاتيوني للتربة، من ناحية أخرى تتحلّل الأسمدة العضوية على نحو بطيء وتزود النبات بالمواد الغذائية على نحو متوازن طيلة فترة النمو الأمر الذي يرفع من قيم CEC. يمكن تفسير الزيادة الملحوظة في سعة التبادل الكاتيوني (CEC) في المعاملات الملقحة بالـ *Azospirillum* على أنها نتيجة مباشرة للنشاط الميكروبي المكثّف الذي يحدث في منطقة الجذور (rhizosphere) إذ تعمل هذه البكتيريا على تعزيز تفكّك المواد العضوية وتحويل المركبات المعقدة إلى أشكال قابلة للامتصاص من العناصر الغذائية، بما في ذلك الكاتيونات الأساسية مثل الكالسيوم والمغنزيوم والبوتاسيوم، هذا النشاط لا يزيد فقط من محتوى التربة من المواد العضوية المتحللة بل يحسّن أيضًا توازن الشحنات الكهربائية على سطح جزيئات التربة، مما يعزز قدرة التربة على امتصاص الكاتيونات وتخزينها(Khanna,*etal.*,2019) . علاوة على ذلك، يمكن ربط الزيادة في CEC مع انخفاض نسب الصوديوم المدمص (جدول–11) وانخفاض الكربونات الكلية (جدول–7)، حيث تساهم التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية التي تنشطها البكتريا في تحرير الكاتيونات المفيدة وتقليل تأثير الأيونات الضارة على النباتات، مما يعكس قدرة *Azospirillum* على تحسين الخصائص الكيميائية للتربة في الظروف الملحية(Abdo, 2007; Richardson, 2009) ، كما أن تفوّق تأثير السماد العضوي على السماد المعدني في زيادة CEC يعكس دور *Azospirillum* في

زيادة CEC قدرتها العالية على تنشيط تحلّل المادة العضوية المضافة، وتحويلها إلى مادة عضوية نشطة حيوياً، حيث تعمل الإفرازات البكترية و الأحماض العضوية الناتجة عن النشاط الميكروبي على تنشيط المجموعات الوظيفية المرتبطة بالمادة العضوية، مما يخلق مواقع تبادل جديدة تحسّن من قدرة التربة على الاحتفاظ بالكاتيونات وتنظيم تحريرها ببطء في التربة، والتي تعتبر وسيطًا فعالًا في تبادل الكاتيونات وتنظيم تحريرها ببطء بما يتوافق مع احتياجات النبات، وهو ما يتفق مع (Lal, 2020) التي أكدت أن المادة العضوية لا تعمل فقط كمصدر للعناصر الغذائية، بل كمنظم كيميائي يزيد من كفاءة احتفاظ التربة بالكاتيونات الضرورية، مما يدعم نمو النباتات بشكل دائم مقارنة مع الأسمدة المعدنية سريعة الذوبان

في الوقت نفسه، يظهر تأثير السماد العضوي تفوقًا على السماد المعدني في تحسين الـ CEC، حيث يزيد من المادة العضوية في التربة، ويحفز النشاط الميكروبي لتحويل المركبات العضوية المعقدة إلى أشكال مغذية قابلة للامتصاص، ما يسهم في خفض محتوى التربة من الكربونات الكلية وتحسين التوازن الأيوني، إن العلاقة التبادلية بين *Azospirillum* والسماد العضوي تؤكد فعالية التسميد الحيوي في تحسين الخصائص الكيميائية للتربة، خصوصًا في الأراضي الملحية أو منخفضة الخصوبة (Schioing., 2004; Magdoof & Weil, 2004; ; Abdo, 2007; Richardson *et al.*, 2009)، من جهة أخرى سجلت سعة التبادل الكاتيوني CEC ارتفاعاً نسبياً خلال العروة الربيعية مقارنة بالعروة الخريفية، و يُعزى ذلك إلى ملاءمة الظروف المناخية السائدة التي حفّزت العمليات الحيوية و النشاط الإنزيمي للميكروبات الملقحة مما أدى إلى تسريع عمليات التمعدن للمادة العضوية المضافة، مما ساهم في تحرير كميات أكبر من المغذيات في محلول التربة، وزيادة المواقع النشطة على مواقع التبادل خلال هذا الموسم.

خامسا: تأثير التلقيح بالـــ *Azospirillum*.spp في النتروجين الكلي والفوسفور المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تظهر النتائج (جدول-8) أن التلقيح بالـــ *Azospirillum* قد زاد من كمية النتروجين الكلي في ترب كافة المعاملات الملقّحة مقارنة مع الشـــاهد غير الملقح بغض النظر عن نوع الســـماد المسـتخدم ومسـتوى إضـافته، وبلغ أشـده في تربة المعاملة الملقحة التي أضـيفت إليها السـماد العضـوي بمعدل 20 طن/هـــ حيث وصـلت نسـبته إلى 1.30 g/kg ، تلتها المعاملة الملقحة بمستوى 10طن/هـ والتي بلغت 1.19 g/kg، وتشير النتائج إلى أن التلقيح بالـ *Azospirillum*

ساهم في تحسين محتوى التربة من النتروجين الكلي، مما يشير إلى الفرضية القائلة بإمكانية المساهمة في تقليل الاعتماد الكلي على الأسمدة المعدنية. إن وصول نسبة النتروجين إلى g/kg 1.17 عند التسميد بـــ 60% من التوصية مع التلقيح الحيوي قد يساهم في ترشيد استخدام الأسمدة النتروجينية في الدورات الزراعية، حيث تعمل الـــ *Azospirillum* كعامل مكمّل يوفر جزءاً من احتياجات التربة، وهو ما يتوافق مع تواجهات الزراعة المســـتدامة (Abdo, 2016)، وبصـــورة مشـــابهة ازدادت كمية النتروجين في المعاملات غير الملقحة بغض النظر عن نوع السماد مقارنة مع معاملة الشاهد غير الملقح، إذ تفوقت المعاملة 40 طن/هـ سماد عضوي حيث وصلت إلى g/kg1.06 ، تلتها المعاملة غير الملقحة مع (150-100-0) كغ/هـ سماد معدني N-P-K حيث وصلت إلى g/kg 1.03، ولم يلحظ تغيرات واضحة فيما بين بقية المعاملات المســـمدة معدنياً بما يتعلق بكمية النتروجين الكلي في التربة. ويشـــير (Choudhary and Yaduvanshi, 2022) أنه قد يؤدي اســـتخدام جرعات عالية من الأســـمدة المعدنية في التربة المتملّحة إلى تفاقم حالة الملوحة، الأمر الذي يقلّل من امتصـــاص النتروجين الكلي. وهكذا فقد أظهرت النتائج فروقًا ذات دلالة إحصـائية في محتوى النتروجين الكلي في التربة بين المعاملات المختلفة للأسمدة العضوية والمعدنية بمستوياتها المختلفة عند تطبيق التلقيح مقارنة بعدم تطبيقه، وقد تبين أن الجمع بين السماد العضوي والتلقيح ساهم بشكل أكبر في تعزيز محتوى النيتروجين الكلي، متفوقًا على تأثير السـماد المعدني مع التلقيح، مما يشـير إلى الفعالية المتكاملة للأسـمدة العضوية مع التلقيح في تحسين خصوبة التربة.

جدول (8) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في النتروجين الكلي والفوسفور المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	N g/kg			P ppm		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	0.75	0.68	0.72^{i}	14	13	13.5^{h}
io_1	1.2	1.18	1.19^{b}	19.8	19	19.4^{b}
io_2	1.32	1.27	1.30^{a}	22.2	21	21.6^{a}

17.5^{d}	17	18	1.10^{cd}	1.09	1.1	io_3
15.3^{f}	15	15.6	1.08^{d}	1.05	1.1	im_1
16.2^{e}	16	16.4	1.14^{bc}	1.12	1.15	im_2
17.6^{cd}	17	18.2	1.17^{b}	1.15	1.18	im_3
9.6^{i}	9	10	0.56^{j}	0.52	0.6	n
13^{h}	13	12.8	0.86^{h}	0.84	0.88	no_1
15.7^{ef}	15	16.4	0.99^{fg}	0.97	1.02	no_2
18.6^{bc}	19	18.2	1.06^{de}	1.04	1.08	no_3
17.7^{cd}	18	17.4	1.03^{ef}	1.05	1	nm_1
17.8^{cd}	17	18.2	0.98^{g}	0.96	1	nm_2
14.5^{g}	15	13.8	0.96^{g}	0.94	0.98	nm_3
1.255	1	1.47	0.03	0.03	0.03	L.S.D 5%

تدل أحرف الدلالات الإحصائية على المعاملات المعنوية حسب الترتيب الأبجدي اعتماداً على L.S.D5%

تشير النتائج (جدول-8) أن محتوى التربة من **الفوسفور المتاح** قد ارتفع عموماً مع زيادة المستويات المستخدمة من الأسمدة العضوية والمعدنية الخاضعة للتلقيح بالـ *Azospirillum* ، وقد أشار التحليل الإحصائي إلى وجود فروق معنوية ما بين مستويات الأسمدة العضوية إذ بلغ أعلى معدل للفوسفور المتاح 21.6 ppm عند المعاملة الملقحة مع 20 طن/هـ سماد عضوي، يليه 19.4 ppm عند المعاملة الملقحة مع 10 طن/هـ سماد عضوي، ثم المعاملة الملقحة التي خُفّضَ فيها نسبة النتروجين إلى 60% من التوصية السمادية المقترحة للقطن حيث وصلت إلى 17.6 ppm ، و سجلت فروقات معنوية في كمية الفوسفور المتاح ذات دلالة احصائية في المعاملات الملقحة عن غير الملقحة مع السمادين العضوي والمعدني؛ ذلك يتفق مع ما توصل إليه (Abdo, 2007) الذي أكد إمكانية الـ *Azospirillum* على إتاحة الفوسفور بكفاءة أعلى، ذلك لما يتعرض له السماد الفوسفاتي المضاف إلى التربة لعمليات الامتزاز والترسيب في الترب الكلسية والتي تسود بها معادن الكربونات، ويرجع الدور الأساسي للـ *Azospirillum* في تنشيط وتحفيز البكتريا المذيبة للفوسفات والمساهمة معها في إذابة الفوسفور وجعله متاحاً وجاهز في التربة من خلال أليات مختلفة تؤثر بطريقة غير مباشرة منها خفض pH التربة في الريزوسفير (العيسى،2007) وبذلك يتم تسريع تحلل الفوسفور العضوي وغير العضوي، حيث أن عملية إذابة الفوسفات هي نتيجة التأثير المشترك لانخفاض الـ pH وإنتاج أحماض عضوية

(Abdo,2007) ارتفعت نسبة الفوسفور المتاح بشكل مشابه في ترب المعاملات غير الملقحة 40 طن/هـ سماد عضوي على بقية المعاملات غير الملقحة تحت تأثير مستويات مختلفة من الأسمدة المضافة والتي وصلت إلى 18.6 ppm، وذلك بسبب غنى هذا السماد بعنصر الفوسفور إضافة إلى معدنة الفوسفور وتحويله إلى فوسفور جاهز للنبات وأن الأثر غير المباشر للمادة العضوية يكون من خلال خفض الـ pH مما يؤدي إلى زيادة جاهزية الفوسفور لأطول مدة من عمر النبات مقارنة مع الأسمدة المعدنية لوحدها. في حين سجلت المعاملة غير الملقحة (50-0-100) كغ/هـ أدنى قيمة وصلت إلى 14.5 ppm، ولم يلحظ أية فروق معنوية واضحة في بقية المعاملات فيما يتعلق بكمية الفوسفور المتاح، وكنتيجة عامة فإن كمية الفوسفور المتاح في ترب المعاملات الملقحة فاقت كميتها في ترب المعاملات غير الملقحة، و أثبت (Blaise,*et al.*, 2006) أن محتوى التربة من الفوسفور والبوتاسيوم زاد بشكل معنوي في الترب التي تلقت سماداً عضوياً مقارنة مع الترب التي تلقت سماداً معدنياً. لدى مقارنة الموسمين لوحظ تفوقاً في محتوى التربة من النتروجين الكلي والفوسفور المتاح خلال موسم العروة الربيعية مقارنة موسم العروة الخريفية؛ ويُعزى هذا التباين إلى ملائمة الظروف المناخية السائدة (متوسط حرارة 27 درجة مئوية، ورطوبة 48 %)، والتي وفرت بيئة مثالية حفّزت النشاط الإنزيمي والميكروبي لـ *Azospirillum*. هذا النشاط أدى إلى تسريع معدلات تمعدن المادة العضوية المضافة، مما نتج عنه تحرير مكثف للعناصر الغذائية وزيادة إتاحتها في محلول التربة خلال الموسم الأول.

سادسا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على البوتاسيوم المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تشير النتائج (جدول-9) أن محتوى التربة من البوتاسيوم المتاح قد تأثر بشكل معنوي بنوع ومستوى التسميد المضاف. حيث ارتفعت القيم طردياً مع زيادة مستويات الأسمدة العضوية والمعدنية. وقد سجلت المعاملات الملقحة بـ *Azospirillum* والمضاف إليها سماد عضوي بمعدل 20 طن/هـ من السماد العضوي(io2) أعلى محتوى للبوتاسيوم المتاح بلغ 475.85 mg/kg كمتوسط للموسمين، تلتها المعاملة الملقحة مع 10 طن/هـ (io1) بمعدل 424.73 mg/kg. وهذا عائد إلى أن التسميد الحيوي يزيد من تركيز البوتاسيوم من ناحية، وأن أقصى امتصاص للبوتاسيوم يكون مرتبطاً بجاهزية وامتصاص عنصري N وP كما أشار إليه Moretti *et*

(*al.*,2024). من الملاحظ إحصائياً أن المعاملات العضوية غير الملقحة مثل (no3) ذات معدل 40 طن/هـ بلغت 232.8 mg/kg قد تفوقت على المعاملة المعدنية الملقحة (im3) حيث سجلت 210.1 ppm؛ وهذا يعود ربما إلى أن سماد الأبقار المستخدم يُعد مصدراً مباشراً وغنياً لعنصر البوتاسيوم المتاح، بالإضافة إلى دوره في زيادة سعة التبادل الكاتيوني CEC مما يحسّن من قدرة التربة على مسك أيونات البوتاسيوم وحمايتها من الغسيل أو التثبيت (Mam–Rasul, 2020)، وتؤكد الدراسات (Singh, 2013; Maheshwari, 2014) أن التسميد العضوي لا يزيد فقط من المحتوى الإجمالي للبوتاسيوم، بل يحسّن أيضًا تيسره وتوفره للنباتات. أما بخصوص دور التلقيح بـ *Azospirillum*، بالرغم من أنها بكتريا غير متخصصة في إذابة البوتاسيوم، إلا أن تأثيرها الإيجابي في المعاملات المعدنية im يعزى إلى آليات غير مباشرة؛ حيث تعمل الإفرازات المنشطة للنمو الجذري عى زيادة سطح الامتصاص وتنشيط الميكروبات الأخرى في منطقة الريزوسفير، مما يحسّن من عمليات التبادل بين أشكال البوتاسيوم في التربة (Rhodes, 2010). وتتفق هذه النتائج مع ما توصل إليه (Chen*et al.*, 2024) بأن الإضافات العضوية لا تكتفي بزيادة المخزون الكلي، بل تحسن من درجة تيسر العنصر عبر تقليل قوى الارتباط بين الأيونات ومعادن الطين. وعند مقارنة الموسمين، سجلت النتائج تبايناً موسمياً في محتوى التربة من البوتاسيوم المتاح حيث ظهر انخفاض في قيم العروة الخريفية مقارنة بالعروة الربيعية، وقد تركز هذا الانخفاض في المعاملات الملقحة حيوياً والمسمدة عضوياً، و ربما يعود ذلك إلى ظاهرة الاستنزاف المحصولي الكثيف، إذ يُصنف القطن من المحاصيل الشرهة جداً للبوتاسيوم، خاصة في مراحل النمو النشط خلال الموسم الأول الذي تميز بظروف مناخية مثالية (حرارة ورطوبة) التي ساهمت في تنشيط الإنزيمي والحيوي لـ *Azospirillum* ، إن التداخل بين التلقيح الحيوي والمادة العضوية في الموسم الأول أدى إلى تحرير مكثف لأيونات البوتاسيوم المرتبطة بالمعقد العضوي نتيجة إفراز الأحماض العضوية وتحسين سعة التبادل الكاتيوني مما استنزف المخزون الميسر سريعاً.

جدول (9) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على البوتاسيوم المتاح في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	K^+ mg/kg		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	202.77	195	198.89^{e}
io_1	436.96	412.5	424.73^{b}

io_2	486.19	465.5	475.85[a]
io_3	423.63	411.25	417.44[b]
im_1	206.93	199	202.97[de]
im_2	212.13	204	208.07[d]
im_3	214.21	206	210.11[d]
n	192.38	185	188.69[f]
no_1	213.17	205	209.09[d]
no_2	216.29	220	218.15[cd]
no_3	230.5	235	232.75[c]
nm_1	190	188	189.00[f]
nm_2	194.53	189	191.77[ef]
nm_3	194.46	187	190.73[f]
L.S.D 5%	6.7	6.57	6.6

سابعا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في العناصر الغذائية (Ca^{++} و Mg^{++} و Na^{+} وCl^{-}) في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

تُظهر نتائج (جدول–10) تبايناً في تراكيز شوارد كل من Ca^{2+} و Mg^{2+} و Na^{+} و Cl^{-} تبعاً لنوع التسميد والتلقيح بـ *Azospirillum*، فقد سجلت المعاملة الملقحة و المضاف إليها 20 طن/هـ سماد عضوي أعلى تراكيز للكالسيوم والمغنزيوم الذائبين، حيث بلغت 17.84 و 11.38 مليمكافئ/ل لكلا التركيزين Ca^{2+} و Mg^{2+} على التوالي، يقابلها انخفاض واضح في تراكيز الصوديوم والكلور لتصل 46.35 و32.8 مليمكافئ/ ل على التوالي. إن زيادة كل من Ca^{2+} و Mg^{2+} في المعاملة الملقحة والمضاف إليها 20 طن/هـ سماد عضوي، يعود للدور التآزري بين الـ *Azospirillum* والمادة العضوية؛ حيث تعمل الأحماض العضوية الناتجة عن التحلل الميكروبي على خفض درجة تفاعل التربة pH، مما يحفز إذابة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم السائدة في هذه ترب حوض الفرات وتحويلها إلى صورة ذائبة في محلول التربة (Liu*etal.*, 2022)، إن وفرة الكالسيوم الذائب في المحلول تؤدي إلى إزاحة الصوديوم عن مواقع التبادل على غرويات التربة وإحلال الكالسيوم محلها، مما يسهل غسل الصوديوم الحرّ بعيداً عن الريزوسفير ويخفض من تراكيزه (Porter, 2005)، و كذلك لدور *Azospirillum* من خلال إفراز السكريات المتعددة الخارجية (EPS) والدهنية (LPS) التي تساهم في تحسين الخصائص

الفيزيائية وبنية التربة وتجميع حبيباتها، مما يخلق بيئة مسامية تسمح بحركة المياه وغسل أيونات الصوديوم والكلور بكفاءة أعلى، ويقلل من تراكمها السام حول الجذور.

.(Eid, 2002; Mahmoud and Mahmoud,2008; Bashan and Bashan,2010)

جدول (10) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في متوسطات الموسمين للعناصر الغذائية (Ca^{2+} - - Na^{+} Mg^{2+}-Cl^{-})الذوابة بـ مليمكافئ/ ل في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني أليس من الأفضل الاعتماد على واحد مليمكافئ/100 غ تربة بدلاً من هذه الواحد؟

Cl^{-}	Na^{+}	Mg^{2+}	Ca^{2+}	المعاملة
36.81^{a}	57.13^{ab}	9.19^{cde}	12.84^{efg}	I
32.77^{cde}	48.98^{f}	10.02^{bcd}	15.83^{b}	io_1
32.8^{defg}	46.35^{g}	11.38^{a}	17.84^{a}	io_2
36.61^{a}	51.21^{ef}	9.39^{cde}	13.66^{cd}	io_3
36.2^{a}	56.32^{abc}	9.81^{bcde}	13.15^{def}	im_1
34.77^{ab}	54.68^{bcde}	10.23^{abc}	13.56^{cde}	im_2
31.51^{fg}	53.26^{def}	9.81^{bcde}	13.15^{def}	im_3
34.47^{abc}	58.11^{a}	8.35^{f}	11.31^{i}	n
33.35^{cdef}	55.88^{abcd}	9.29^{cde}	12.36^{gh}	no_1
32.53^{efg}	54.45^{cde}	9.81^{bcde}	12.56^{fg}	no_2
30.8^{g}	53.11^{def}	10.75^{ab}	14.29^{c}	no_3
34.16^{abcd}	56.14^{abc}	9.81^{bcde}	13.76^{cd}	nm_1
33.86^{bcde}	54.84^{bcde}	8.98^{de}	12.84^{efg}	nm_2
33.65^{bcd}	57.13^{ab}	8.66^{ef}	12.23h	nm_3
1.79	3.99	1.16	1.24	L.S.D 5%

من جهة أخرى لُوحظ تفوق المعاملة غير الملقحة ذات معدل 40 طن/هـ سماد عضوي في رفع محتوى التربة من الكالسيوم والمغنزيوم (14.29 و10.75 مليمكافئ/ل على التوالي) مقارنة بالمعاملات غير الملقحة الأخرى، وحتى مع معاملات التسميد المعدني الملقحة، و يُعزى ذلك إلى الدور المهم للمادة العضوية، حيث يؤدي تحلّلها وتنشيطها للمجموعات الميكروبية الأصلية إلى تحرير الأحماض العضوية وثاني أكسيد الكربون، تعمل هذه النواتج على خفض درجة تفاعل التربة، مما يحفز إذابة كربونات الكالسيوم والمغنزيوم السائدة في التربة الملحية الكلسية(Fisher*et al.*, 2003). وبمقارنة الموسمين، لوحظ استقرار نسبي في تراكيز الكالسيوم والمغنزيوم مع ميل بسيط للانخفاض في الموسم الثاني، بينما سجل الصوديوم والكلور ارتفاعاً طفيفاً في العروة الخريفية

مقارنة بالربيعية، ولا يعود ذلك إلى النشاط الميكروبي فحسب، بل يتأثر بالظروف المناخية، حيث تؤدي زيادة معدلات التبخر في نهاية الموسم إلى سحب الأملاح نحو السطح (Fisher*et al.*, 2003; Bashan and Bashan, 2010)

ثامنا: تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp في SAR في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني:

أدى التلقيح بالـ *Azospirillum* إلى خفض نسبة الصوديوم المدمص (SAR) في المعاملات الملقحة التي خضعت لتأثير مستويات متفاوتة من السماد العضوي، وبنسبة أقل في المعاملات الخاضعة لتأثير السماد المعدني مقارنة مع معاملة الشاهد(جدول-11)، وبلغت أدنى نسبة للـ SAR في المعاملة الملقحة ذات المستوى 20 طن/هـ سماد عضوي حيث سجلت 12.22 كمتوسط للموسمين مقارنة بالشاهد غير الملقح 18.69، ويعزى هذا الانخفاض لما أشار إليه كل من (Eid,2002; Mahmoud and Mahmoud,2008; Bashan and Bashan,2010) إلى الدور التكاملي بين *Azospirillum* و المادة العضوية في تحرير الكاتيونات ثنائي التكافؤ (الكالسيوم والمغنزيوم)، حيث ساهمت الأحماض العضوية الناتجة عن التحلل في إذابة كربونات الكالسيوم، مما رفع من تركيز الكالسيوم في محلول التربة، وأدى كيميائياً إلى إزاحة أيونات الصوديوم عن معقد التبادل وإحلال الكالسيوم محلها.

تراوحت قيم نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) بين 14.35%- 20.83% ، حيث سجل الشاهد غير الملقح أعلى قيمة (20.83%)، وهي قيم مرتفعة نسبيًا وتشير إلى وجود مشكلة صودية واضحة في التربة، خاصة أن القيمة الحرجة التي تبدأ بعدها التأثيرات السلبية هي ESP > 15، وهو ما يعكس غياب أي تأثير للتسميد، وارتفاع تركيز الصوديوم المتبادل على حساب الكاتيونات الأخرى Ca^{2+} وMg^{2+} . في المقابل أظهرت المعاملات الملقحة بمستوى 20 طن/هـ سماد عضوي انخفاضًا واضحًا فسجل ESP= 14.35%، وذلك يعكس دور الـ *Azospirillum* في تخفيف هذا الإجهاد لا يقتصر على ربط الأيونات وتحسين توازن الكاتيونات في التربة، حيث تعمل كمنظم أيوني في منطقة الريزوسفير، و تفرز بوليمرات حيوية معقدة تشمل السكريات المتعددة الخارجية (ESP) والسكريات الدهنية (LPS). التي من شأنها تحسين البنية الفيزيائية وتحسين نفاذية التربة، هذه الآلية الحيوية تفسر الانخفاض المعنوي في قيم SAR و ESP الذي لوحظ في المعاملات الملقحة io2 ، مما أتاح للنبات الحفاظ على

توزان أسموزي أمثل بزيادة امتصاص الكاتيونات المفيدة مثل الكاالسيوم والبوتاسيوم. إلى جانب التأثير الكيميائي، ساهمت الإفرازات البكتيرية في تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة عبر تعزيز تجميع الحبيبات، هذا التحسن في بناء التربة زاد من مساميتها ونفاذيتها، مما خلق بيئة مواتية لغسل الأملاح بعيداً عن منطقة الجذور (Alhoqail,2026).

جدول (11) تأثير التلقيح بالـ *Azospirillum*.spp على الصوديوم المدمص والمتبادل (SAR-ESP) في التربة المزروعة بمحصول القطن تحت ظروف التسميد العضوي والمعدني

المعاملة	SAR			ESP %		
	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط	الموسم الأول	الموسم الثاني	المتوسط
I	17.55	17.13	17.34^{bc}	19.76	19.36	19.56^{bc}
io_1	13.51	13.74	13.62^{i}	15.73	15.97	15.85^{i}
io_2	11.76	12.67	12.22^{j}	13.86	14.84	14.35^{j}
io_3	15.08	15.31	15.2^{h}	17.34	17.57	17.46^{h}
im_1	16.66	16.83	16.75^{cde}	18.91	19.07	18.99^{de}
im_2	15.9	16.05	15.97^{efg}	18.16	18.31	18.24^{fg}
im_3	16.04	15.62	15.83^{fg}	18.30	17.88	18.09^{g}
n	18.18	19.2	18.69^{a}	20.35	21.30	20.83^{a}
no_1	16.86	17.39	17.12^{bcd}	19.10	19.61	19.35^{cd}
no_2	16.16	16.67	16.41^{def}	18.42	18.92	18.67^{ef}
no_3	14.88	15.59	15.24^{gh}	17.14	17.85	17.50^{h}
nm_1	16.23	16.73	16.48^{def}	18.49	18.97	18.73^{ef}
nm_2	16.77	16.68	16.72^{cde}	19.01	18.93	18.97^{de}
nm_3	17.21	18.43	17.82^{b}	19.44	20.59	20.01^{b}
L.S.D 5%	1.21	0.72	0.97	0.62	0.7	0.66

من ناحية أخرى تعزى فاعلية المعاملة الملقحة مع 20 طن/هـ وتفوقها على المعاملة الملقحة مع 40 طن/هـ إلى ظاهرة التوازن الأيوني والضغط الأسموزي في محلول التربة، فعلى الرغم من أن زيادة المادة العضوية ترفع من سعة التبادل الكاتيوني إلا أن إضافة 40 طن/هـ قد تؤدي إلى تحرر كميات كبيرة من الأملاح الذائبة، مما يرفع من EC لمحلول التربة ويؤدي إلى تأثير عكسي يقلل من كفاءة إزاحة الصوديوم، وبالتالي يمثل المستوى 20 طن/هـ نقطة توازن بين تحرير الكالسيوم وإحاله محل الصوديوم وبين الحفاظ على نفاذية جيدة للتربة تسمح بالتخلص من الأملاح، وهو ما يتوافق مع مبدأ استجابة المحاصيل والتربة التي لا تتبع دائماً

منحني خطياً مع زيادة الإضافات العضوية (Gonçalo,*etal.*,2019)، أما التباين الموسمي المتمثل في ارتفاع قيم SAR– ESP في الموسم الثاني مقارنة بالربيعي، فيمكن أن يعود إلى تراكم أيونات الصوديوم نتيجة عمليات التبخر في العروة الخريفية، إضافة إلى احتمالية تذبذب مياه الري أو انخفاض كفاءة الغسل مقارنة بالدفعة القوية من العناصر التي تحررت في العروة الربيعية، مما يستدعي استمرارية التعديلات العضوية والحيوية للحفاظ على توازن الأيونات (hafez, 2021).

الاستنتاجات:

لدى دراسة تأثير التلقيح بـ *Azospirillum* على القطن في التربة المالحة في ظل ظروف التسميد العضوي والمعدني يمكن الخلوص الى ما يلي:

- ساهمت التوليفة السمادية المكونة من التلقيح الحيوي بـ *Azospirillum* مع إضافة 20 طن/هـ سماد عضوي في تحسين الحالة الكيميائية والخصوبية للتربة الملحية، إذ خفضت معاملات التلقيح نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) ، ورفع سعة التبادل الكاتيوني (CEC) وتيسّر العناصر الكبرى (N, P, K) مقارنةً بمعاملات التسميد المعدني المنفردة.
- ساهم التلقيح بالـ *Azospirillum* في كفاءة استخدام المغذيات من خلال زيادة توافر النيتروجين، وإتاحة البوتاسيوم والفوسفور بنسبة 25% مقارنة بالمعاملات غير الملقحة.
- أدى التلقيح مع 20 طن/هـ مادة عضوية إلى خفض نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) بمقدار 31.11% مقارنة بمعاملة الشاهد غير الملقح، بما ينسجم مع دراسات أظهرت إمكانية خفض ESP بأكثر من 50–75% مع أنظمة التسميد الحيوي العضوي، مما يعزز استدامة استصلاح التربة، ويحدّ من اللجوء إلى الأسمدة الكيميائية.
- إن التلقيح بالـ *Azospirillum* مع مستوى نيتروجين معدني يُقدّر بـ 50–60% فقط من الكميّة الموصى بها من النتروجين المعدني على قدرة استبدال جزء معتبر من السماد المعدني مع الحفاظ على مستوى إنتاجي مماثل أو متفوق على استخدام 100–150 كغ/هـ نتروجين دون تلقيح، مما يفتح أفاقاً لتقليل التلوث البيئي، وخفض تكاليف الإنتاج دون المساس بالغلة الاقتصادية.

- بينت النتائج عن استجابة متباينة بين المواسم. حيث كانت العروة الربيعية (الموسم الأول) أكثر ملاءمة من العروة الخريفية (الموسم الثاني) من حيث خفض الإجهاد الملحي وتقليل الـ ECe–SAR، وزيادة محتوى التربة من المادة العضوية والعناصر الغذائية الكبرى وكذا سعة التبادل الكاتيوني نتيجة تحسن الظروف المناخية (حرارة ورطوبة امناسبة) في تلك العروة.

المقترحات: يُنصح باعتماد التلقيح بـ *Azospirillum* كتقنية حيوية مكمّلة لاستصلاح الترب المتأثرة بالأملاح في منطقة حوض الفرات، كما نشدد على أهمية إجراء دراسات اقتصادية ميدانية لنموذج الدمج بين التلقيح الحيوي والتسميد العضوي بمعدل 20 طن/هـ لضمان الجدوى الاقتصادية للمزارعين، علاوة على ذلك، نقترح التوسع في البحث لدراسة أثر هذا التلقيح على كفاءة امتصاص العناصر الصغرى (Micronutrients)، وتأثير ذلك على صفات الجودة لتيلة القطن الناتج تحت ظروف الإجهاد الملحي.

المراجع العربية:

1. **راين، جون، و إسطفان، جورج، وعبدالرشيد.** (2003) *تحليل التربة والنبات دليل مختبري*. المركز الدولي للبحوث الزراعية في المناطق الجافة (الإيكاردا)، حلب، سورية، (172 ص).
2. **عودة، محمود، وشمشم، سمير .(2007)** *خصوبة التربة وتغذية النبات*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.
3. **العيسى، عبد الله .(2005)** *علم الأحياء الدقيقة*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.
4. **العيسى، عبد الله .(2007)** *ميكروبيولوجيا التربة*. منشورات جامعة حمص، كلية الهندسة الزراعية، حمص، سوريا.

References:

1. Abdelhamid, M. T., Ibrahim, M. A,.(2018). Effects of biofertilizers and fertilization methods on soil chemical properties and cotton growth in saline soils .Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 18(3), 819-833 .
2. Abdo, Z, (2007). Effects of biofertilizers on soil cation exchange capacity and plant nutrition. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 39, Issue 10, 2431–2439.
3. Abdo, Z, (2016) Effects of *Azospirillum* inoculation on nitrogen and phosphorus availability in soils. Soil Biology and Biochemistry, Vol. 96, 45–53.
4. Ahmed, S. M,(2019) - Salinity mitigation in cotton using biofertilizers and organic inputs .Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 182(2), 245-256.
5. Alhoqail, W. A. (2026). Exopolysaccharide-producing PGPR: mechanisms for alleviating salinity-induced plant stress. Polish Journal of Environmental Studies, 35(1), 501-518.
6. Ali, N.A.A., Darwish, S.D., Mansour, S.M, (2002) .Effect of *Azotobacter chroococcum* and *Azospirillum brasilense* inoculation and anhydrous ammonia on root colonization, plant growth and yield of wheat plant under saline alkaline conditions. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., Vol. 27, Issue 8, 5575–5591.
7. AL-Khateeb, H.A., (2008). Impact of organic manures and biofertilizers on saline soils in the EupHrates Basin. Arab Journal of Plant Protection, Vol. 26, No. 2, pp. 145-153.
8. Aly, A. A.,(2017) . Effects of biofertilizers and salinity levels on soil properties and cotton productivity .Journal of Agricultural Science, 9(5), 123-134
9. Bacilio, M., Gutierrez-Rojas, M., Bashan, Y, (2021). Plant growth-promoting bacteria as biostimulants under stress conditions. Applied Soil Ecology, Vol. 158, 103789.
10. Balibrea, M.E., Munoz, R., Perez, J.A, (2020) . Impact of soil salinity on crop pHysiology. Agronomy, Vol. 10, Issue 7, 1023.
11. Barbosa, J.Z, (2022). Meta-analysis of *Azospirillum* inoculation efficiency in crops. Journal of Plant Growth Regulation, Vol. 41, Issue 3, 745–758.
12. Bashan, Y., Bashan, L.E, (2010). How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth: A critical assessment. Advances in Agronomy, Vol. 108, p. 77–136.
13. Bashan, Y., De-Bashan, L.E., Prabhu, S.R., Hernandez, J.P, (2022). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculants for sustainable agriculture. Microbiological Research, Vol. 256, 126967.
14. Balah, O. E. B., Thomas, R., & Ogallo, L. (2024). Effects of Organic Amendments and NPK on Soil Chemical Properties in Kano Plains, Kisumu, Kenya. *International Journal of Plant & Soil Science*, *36*(8), 1113–1137.

15. Blaise, D., (2006). Organic versus mineral fertilization: impact on soil Phosphorus and potassium availability. Agriculture, Ecosystems Environment, Vol. 116, Issues 3-4, 263–269.
16. Bünemann, E. K., Oberson, A., Frossard, E, (2010). Soil Organic Matter: Key to Soil Fertility and Sustainable Agriculture. In Soil Fertility and Fertilizers (pp. 85-106).
17. Chen, X., Smith, J. A., Johnson, M. T, (2024). Dairy manure influences soil properties, plant nutrient uptake, and tuber quality in potatoes. Agronomy Journal, Vol. 116, 345–357.
18. Cruz, A., Martinez, F., Lopez, M, (2022). MorpHological and pHysiological characterization of *Azospirillum* strains under stress conditions. Microbial Ecology, Vol. 83, Issue 2, 456–470.
19. Deeb, B. M, (1993). Fertilizer Chemistry– Damascus University Publications, Damascus, Syria.
20. Degon, Z , (2023).- *Azospirillum brasilense* improves rice growth under salt stress by regulating expression of key genes. Frontiers in Agronomy, Vol. 5, Article 1216503.
21. Egamberdieva,D.,(2019)-Salt-Tolerant Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Crop Productivity in Saline Soil, Frontiers in Microbiology, Vol. 10, Article 1244.
22. Eid, E, (2002) – Exopolysaccharide production by *Azospirillum* and its role in salt tolerance. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 18(3), 271–276.
23. EL-Sayed, A. A.,(2020) .Interactive effects of organic and inorganic fertilization and bioinoculants on saline soil productivity and cotton growth . Soil Tillage Research, 197, 104471
24. Emad, H, (2009) . Organic matter effects on soil chemical properties under saline conditions. Journal of Soil and Water Conservation, 64(3), 175–182.
25. Essington, M. E. (2015). *Soil and water chemistry: An integrative approach* (2nd ed.). CRC Press. Boca Raton, FL.P-945.
26. Fares, A., Mohammad, S, (2009). *Azospirillum* survival and activity under saline and alkaline conditions. Journal of Applied Microbiology, 106(1), 212–219.
27. Ferreira, A.S., (2013). Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and N-fertilizer on nutrient uptake and yield. Plant and Soil, Vol. 372, No. 1-2, pp. 211-225.
28. Fisher, S. E., Miguel, M. J., Mori, G. B,(2003). Effect of root exudates on the exopolysaccharide composition and lipopolysaccharide profile of *Azospirillum brasilense* Cd under saline stress. FEMS Microbiology Letters, 219(1), 53-62.

29. Fukami, J., Hungria, M, (2018). Azospirillum: Benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express.
30. Ghosh, P., (2011) . Microbial inoculants and soil pH regulation in crop Rhizosphere. Applied Soil Ecology, 48, 53–61.
31. Ghosh, S.(2021) Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on soil chemical properties and cotton production in saline environments . Biocontrol Science and Technology, 31(1), 45-63 .
32. Gonçalo Filho, F., de Sousa, J. R. M., Dias, A. S., de Oliveira Santos, R. C., & dos Santos, J. B. (2019). Reclaiming tropical saline-sodic soils with gypsum and cow manure. *Water*, *12*(1), 57.
33. Hafez, M, (2021). Organic Amendments Combined with PGPR: A Sustainable Approach to Soil Remediation. Proceedings of the International Conference on Sustainable Agriculture, pp. 45-50.
34. Hafez, M., Abo EL-Ezz, S.F., Popov, A.I., Rashad, M, (2021). Organic Amendments Combined with Plant Growth‐Promoting Rhizobacteria (*Azospirillum brasilense*) as an Eco‐Friendly By‐Product to Remediate and Enhance the Fertility of Saline Sodic‐Soils in Egypt. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 52, No. 16, pp. 1969-1983.
35. Hafez, M., Zhang, Z., Younis, M., Abdelhamid, M. A., & Rashad, M, (2025).Enhancing Micronutrient Availability Through Humic Substances and Vermicompost While Growing Artichoke Plants in Calcareous Soil: Insights from a Two-Year Field Study. Plants, 14(8), 1224.
36. Hassan, M.,.(2017). Biological approaches to improve saline soil fertility for cotton cultivation .Environmental Science and Pollution Research, 24, 12430-12441 .
37. Hassani, A., (2021). Global predictions of primary soil salinization under climate change. Nature Communications, 12, 1–9.
38. Heng, T., (2022)- Linking microbial community compositions to cotton yield under salt stress. Agricultural Microbiology, Vol. 12, No. 2, pp. 145-157.
39. Hoque, M.N., (2022). Organic Amendments for Mitigation of Salinity Stress in Crops. Plants, Vol. 11, No. 5, Article 657.International Journal of Agriculture Biology, 20(8), 1761-1770 .
40. Khan, M. A.(2019) .Role of *Azospirillum brasilense* in improving soil chemical properties and crop yield under salt stress.Agriculture Sciences, 10(4), 563-575.
41. Khanna, R., Pawar, J., Gupta, S., Verma, H.R., Himanshu, Trivedi, Kumar, P., & Kumar, R. (2019). Efficiency of biofertilizers in increasing the production potential of cereals and pulses: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2019; 8(2): 183-188.

42. Kim, K. Y., Boruah, H. P. D., Kim, C. W., Shagol, C. C., SA, T. M ,(2010). Isolation and evaluation of inoculation effect of *Azospirillum spp*. on growth colonization and nutrient uptake of crops under greenhouse condition. Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science, Brisbane, Australia, 1-6.
43. Kumar, S., Singh, R., Sharma, P ,(2023). Impact of *Azospirillum* inoculation on pHysicochemical and biological properties of saline soils and cotton productivity. Agronomy , Vol. 13, No. 10, 2486.
44. Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. Journal of Soil and Water Conservation, 75(2), 27A-32A.
45. lam, S., Rauf, M. A, (2021) .Assessment of *Azospirillum* inoculation on soil chemical properties and cotton productivity under saline irrigation .Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 58(1), 95-105 .
46. Liu, Y.,(2022) – Synergistic effects of organic amendments and bioinoculants on saline soil remediation and cotton yield .Environmental Research, 213, 113749 .
47. Magdoof, F Weil, R (2004). Soil organic matter management and soil fertility: Effects on chemical and biological properties. Soil Science Society of America Journal , Vol. 68, No. 1, 256–267.
48. Maheshwari, D. K., (2014). Enhancement of potassium uptake in crops through biofertilizers. Agronomy Journal, 106(4), 1310–1319.
49. Mahmoud, A Mahmoud, H (2008) . *Azospirillum* inoculation and salt stress mitigation in maize. Journal of Plant Nutrition , Vol. 31, No. 7, 1234–1248.
50. Mahmoud, H. S., EL-Naggar, S. A, (.2019) Impact of *Azospirillum* inoculation and organic amendments on salt-affected soils .Egyptian Journal of Soil Science, 59(2), 201-213 .
51. Mam-Rasul, G. A. (2020). Potassium adsorption in calcareous soils of Kurdistan region of Iraq. Iraqi Journal of Agricultural Sciences, 51 (Special Issue), 42-52.
52. Mansour, S., Ahmed, N. (2019) -Impact of inoculation with *Azospirillum* on soil nutrients and cotton growth in saline soils .International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 12 .(2)
53. Mariotti, L., (2021). *Azospirillum baldaniorum* Sp245 induces pHysiological changes in plants. Microorganisms, Vol. 9, No. 4, Article 847.
54. Mishra, P, (2020). Advances in nitrogen fixation: PHysiology and molecular regulation. Current Opinion in Microbiology , Vol. 57, 33–42.
55. Moretti, L. G., Crusciol, C. A. C., Leite, M. F. A., Momesso, L., Costa, O. Y. A., Hungria, M., Kuramae, E. E, (2024). Diverse bacterial consortia: key drivers of rhizosoil fertility modulating microbiome functions, plant physiology, nutrition, and soybean grain yield. Environmental Microbiome, Vol. 19, Article 50.

56. Naqqash, T., Rehman, S., Ali, S., Imran, A., Khan, A. G., Wan, W., & Rasool, S. (2022). *Inoculation With Azospirillum spp. Acts as the Liming-Like Agent to Rehabilitate Saline–Alkali Soil*. *Frontiers in Plant Science*, 13, 929114.
57. Naseem, M.,.(2020) Biological enhancement of saline soils with plant growth-promoting bacteria and organic manure .International Journal of Agriculture Biology, 22(3), 489-499 .
58. Olsen, S.R., Colle, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A, (1954). Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium carbonate. U.S. Department of Agriculture Circular 939.
59. Omer, A.M., (2022). Inoculation with *Azospirillum brasilense* and/or organic amendments mitigates salinity effects. Journal of Environmental Management, Vol. 302, Article 113967.
60. Porter, P, (2005). Microbial interactions and micronutrient availability in soils. Soil Science Society of America Journal, 69(3), 712–720.
61. Rhodes, D., (2010). Microbial inoculants and nutrient cycling: Effects on potassium availability in soils. Soil Biology & Biochemistry, 42(9), 1550–1558.
62. Richardson, A. E, (2009). Soil microbial inoculants and nutrient availability: mechanisms and applications. Plant and Soil, Vol. 321, 5–33.
63. Saberi -Riseh, R., Ebrahimi-Zarandi, M., Tamanadar, E., Moradi pour, M., & Thakur, V. K. (2021). *Salinity Stress: Toward Sustainable Plant Strategies and Using Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Encapsulation for Reducing It*. *Sustainability*, 13 (22), 12758.
64. Saidi, D. (2012). Importance and role of cation exchange capacity on the physical properties of the Cheliff saline soils (Algeria). Procedia Engineering, 33, 435–449.
65. Santos, D., Gomes, L., Pereira, P,(2019). Microbial responses to soil salinity: Implications for nitrogen fixation. Soil Biology Biochemistry, Vol. 137, 107557.
66. Schioing, G.,(2004). Organic amendments and soil chemical properties: implications for nutrient availability. Agriculture, Ecosystems Environment, Vol. 104, 199–212.
67. Shah, A. A., et al.(2018) .Effectiveness of biofertilizers in saline soils: A review .International Journal of Agriculture Biology, 20(8), 1761-1770 .
68. Singh, R., (2013) Organic amendments and potassium dynamics in soils. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 176(3), 417–426.
69. Singh, S., (2019). Soil salinity: A global threat to sustainable development. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 26, 1–17.
70. Soussi, M., EL Khalloufi, F., Achbani, E. H, (2021). Salinity effects on plant growth and nitrogen metabolism. Journal of Plant PHysiology, Vol. 258, 153361.

71. Tiwari, N., Tripathi, A.K. (2024). Biosynthesis of carotenoids in Azospirillum brasilense Cd is mediated via squalene (C30) route. Biochemical and Biophysical Research Communications, Vol. 722, 150–154.
72. Xinjiang Field Study.X, (2025). Applying bio-organic fertilizer improved saline alkaline soil properties and cotton yield. ,Journal of Soil Science and Plant Nutrition, Vol. 25, No. 1, pp. 1-15.
73. Yadav, S.,(2020) -Interactions between organic fertilization, bioinoculants, and soil salinity on cotton growth .Crop Pasture Science, 71(5), 398-408 .
74. Zahran, M., Abdel-samad, A.(2018) -Salinity tolerance and biofertilizer effects on cotton in saline soils .Environmental Monitoring and Assessment, 190, 425 .
75. Zhang, D., 2023- Mitigating Salinity Stress and Improving Cotton Productivity: A Review in Agronomy. Agronomy, Vol. 13, No. 7, Article 1620.
76. Zhong, W., Gu, T., Wang, W. (2010) The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant Soil* 326, 511–522 (2010).