

دراسة بعض مؤشرات النشاط البيولوجي لترب معرضة للإجهاد الملحي ومزروعة بالقطن في حوض الفرات الأدنى في سورية

محمود المرعي^{1*} و عبدالله العيسى²



¹ جامعة حمص، سورية.

(*للمراسلة: محمود المرعي، البريد الإلكتروني: mahmoudalmarei4040@gmail.com هاتف 00963982214066)

تاريخ القبول: 2026 / 6 / 8

تاريخ الاستلام: 2026 / 4 / 10

الملخص

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير تراكيز مختلفة من ملوحة التربة (1.8-2.8-4.2-8.1-9.5-11.3-12.7 ds/m) في بعض المؤشرات الحيوية لترب حوض الفرات الأدنى - دير الزور - ناحية الميادين - قرية محكان - 2013، مع مقارنة الاستجابة بين ترب مزروعة بمحصول القطن وأخرى غير مزروعة. تم تقدير أعداد المجاميع الفيزيولوجية الرئيسة للكائنات الحية الدقيقة، إلى جانب قياس شدة تنفس التربة ونشاط الديهيدروجيناز كمؤشرات حيوية. أظهرت النتائج انخفاضاً معنوياً ومتدرجاً في أعداد كل من البكتيريا متباينة التغذية، والبكتيريا المستخدمة للأزوت المعدني والفطريات والأكتينومايسيتات، والبكتيريا المذيبة للفوسفات مع زيادة قيم التوصيل الكهربائي EC، حيث تم تحديد عتبة حرجية عند 4.2 ds/m لبعض المجموعات الميكروبية، كما سجلت البكتيريا المتبوعة قدرة تحمل نسبية أعلى مقارنة بالمجاميع الأخرى، وأظهرت Azospirillum تحملاً أعلى للإجهاد الملحي مقارنة بـ Azobacter خاصة في الترب المزروعة بالقطن. سُجل انخفاض واضح في كل من شدة تنفس التربة ونشاط الديهيدروجيناز مع ازدياد مستويات الملوحة، بينما حافظت الترب المزروعة على مستويات نشاط حيوي أعلى نسبياً مقارنة بغير المزروعة.

الكلمات المفتاحية: حوض الفرات - المجاميع الفيزيولوجية للكائنات الحية الدقيقة - الترب المالحة - الديهيدروجيناز - تنفس التربة - القطن.

المقدمة:

تعدّ ملوحة التربة من أكثر الضغوط اللاحيوية تأثيراً على النظم الزراعية، إذ يمارس الإجهاد الإسموزي والسميّة الأيونية (خاصة Na^+ و Cl^-) ضغطاً مباشراً يثبط العمليات البيولوجية ودورة المغذيات، مما يؤدي لتدهور خصوبة التربة وإنتاجيتها (Haj-Amor *et al.*, 2022)، وتعتبر الكائنات الحية الدقيقة مؤشرات حساسة للتدهور، كون الملوحة هي العامل البيئي الرئيس المحدّد لتركيبية المجتمع الميكروبي (Andronov *et al.*, 2012).

أظهرت معظم الدراسات وجود علاقة عكسية بين الموصلية الكهربائية EC وكلّ من الكتلة الحيوية الميكروبية، ومعدلات تمعدن العناصر (C, N, P) مع ارتفاع نسبة C: N، مما يشير إلى تراجع كفاءة استخدام الركائز substrates العضوية تحت ظروف الإجهاد (Mavi and Marschner, 2013). ويرافق زيادة ملوحة التربة تحوّل نوعي من الميكروبات الحساسة للملوحة إلى الأنواع المتحملة أو المحبة للملوحة (Halophilic)، مع انخفاض معنوي في الأعداد الكلية والنشاط الاستقلابي (Yang *et al.*, 2025). وتُظهر

المجموعات الوظيفية الميكروبية استجابات غير متجانسة للملوحة؛ حيث تتأثر البكتريا متباينة التغذية وبكتريا النترجة، ومذيبات الفوسفور بشدة، حيث تنخفض وفرتها وتراجع العمليات الحيوية فيما بينها (Li *et al.*, 2024)، بينما تزداد أعداد بعض أعداد البكتريا اللاهوائية والمختزلة للكبريتات مما يسبب اختلالاً في دورة المغذيات (Das *et al.*, 2025)، في حين تتراجع المجاميع البكتيرية بسرعة، تُظهر الفطريات غالباً قدرة تحمّل نسبية أعلى (Hou *et al.*, 2021). تُعدّ الأنشطة الإنزيمية وتنفس التربة من أكثر المؤشرات حساسية لتغيرات الملوحة، حيث يرتبط التوصيل الكهربائي عكسياً بنشاط إنزيمات الفوسفاتاز، اليورياز، والديهيدروجيناز، بينما يرتبط إيجابياً بمحتوى الكربون العضوي (Choudhary *et al.*, 2023)، وقد سجلت معدلات تنفس التربة انخفاضاً تجاوز 50% في بعض النظم الملحية نتيجة تثبيط النشاط الاستقلابي (Qadeer *et al.*, 2022). على الرغم من هذا التثبيط تمتلك الميكروبات المتحملة أليات تكيف تشمل إنتاج سكريات متعددة خارج الخلية، واستراتيجيات دفاع مضادة للأكسدة المرتبطة بالإجهاد (Fazal *et al.*, 2025). من هنا، تبرز البكتريا المعززة لنمو النبات (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) كوسيلة مؤهلة للتغلب على آثار الإجهاد الملحي، من خلال إنتاج واقيات إسموزية كالبرولين والتريهالوز، فضلاً عن دورها في تثبيت النروجين الجوي، وإذابة الفوسفات، مما يفتح أفقاً لتطوير استراتيجيات جديدة لمقاومة التملح وتحسين مقاومة المحاصيل للإجهاد (Malal *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2020).

أهمية ومبررات البحث:

تعاني ترب حوض الفرات الأدنى من تزايد مستمر في مستويات الملوحة نتيجة الاعتماد على الري بمياه متوسطة إلى عالية الملوحة، وارتفاع منسوب الماء الأرضي، وضعف كفاءة شبكات الصرف، وقد أدى ذلك إلى تدهور الخصائص البيولوجية للترب، على الرغم من كثرة الدراسات التي تناولت تأثير الملوحة على بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية، لكن لا تزال هناك فجوة بحثية تتعلق بفهم استجابة المجاميع الفيزيولوجية للكائنات الحية الدقيقة لمستويات مختلفة من الملوحة، ومعرفة المتحمّل منها للملوحة بغية عزله مستقبلاً لاستخدامه كأسمدة حيوية محتملة لتخفيف الآثار الضارة للملوحة، فضلاً عن أهمية دراسة بعض المؤشرات الحيوية كتنفس التربة ونشاط أنزيم الديهيدروجيناز والتي تُعدّ مؤشرات لتقييم الترب المدروسة وتدهورها.

هدف البحث:

دراسة تأثير مستويات مختلفة من ملوحة التربة على أعداد بعض المجاميع الفيزيولوجية في التربة، وعلى بعض المؤشرات الحيوية (تنفس التربة - نشاط أنزيم الديهيدروجيناز) لمعرفة أكثر المجموعات الميكروبية تحملاً للملوحة في ظروف حوض الفرات الأدنى تمهيداً لإجراء المزيد من الدراسات مستقبلاً لمعرفة دورها الوظيفي في التخفيف من آثار الملوحة.

مواد البحث وطرقه:

أُخذت ترب من حوض الفرات مندرجة الملوحة (1.8 - 4.2 - 8.1 - 9.5 - 11.3 - 12.7) بعد قياس قيم الناقلية الكهربائية لها EC (ds/m)، وتم دراسة أعداد الكائنات الحية الدقيقة تحت ظروف درجات الملوحة في الترب المدروسة، أُجري البحث في حوض الفرات الأدنى - محافظة دير الزور - ناحية الميادين، في مواقع مزروعة بمحصول القطن ومواقع أخرى في تربة غير مزروعة وذلك لدراسة تأثير النبات على الخواص البيولوجية المدروسة، ومدى استجابة المجاميع الميكروبية للإجهاد الملحي في الريزوسفير وخارجه.

التحليل الفيزيائية:

(في القرواني وآخرون، 2000) تحديد قوام التربة عن طريق التحليل الميكانيكي للتربة بطريقة الهيدروميتر.

التحليل الكيميائي للتربة المدروسة:

(في العودة وشمش، 2007) تم تحديد الناقلية الكهربائية ECE في مستخلص العجينة المشبعة، وقياس درجة الحموضة pH في مستخلص التربة 1:2.5، وتقدير المادة العضوية بطريقة الأكسدة الرطبة باستخدام ثنائي كرومات البوتاسيوم، وتقدير الكربونات الكلية %CaCO₃ بطريقة الكالسيوم، وتقدير الآزوت الكلي بطريقة كداهل، وتقدير الفوسفور المتاح باستخدام طريقة أولسن، وقياس البوتاسيوم المتاح بواسطة جهاز اللهب، تقدير تراكيز الكالسيوم والمغنيزيوم المتاحين بطريقة المعايرة بمعد EDTA. تقدير تراكيز الصوديوم والكلوريد الذائبين في مستخلص العجينة المشبعة، حساب الصوديوم المدمص SAR

التحليل الميكروبيولوجية:

أُجريت على تربة من ريزوسفير القطن، وأخرى في تربة غير مزروعة على عمق من 0-30 سم، وذلك باستخدام أوساط سائلة ونصف سائلة وصلبة على النحو التالي: تم دراسة بعض المجموعات الفيزيولوجية للأحياء الدقيقة بطريقة الأطباق المصبوبة (في العيسى وعلوش، 2006، العيسى، 2012) وهي: البكتيريا غير ذاتية (متباينة) التغذية على بيئة الآغار المغذي، والبكتيريا المستخدمة للأزوت المعدني على بيئة نشوية نشادرية، والفطريات على بيئة المالت المغذي، والأكتينومييسيتات تم تحديدها من خلال الخواص المورفولوجية للمستعمرات النامية على البيئة النشوية النشادرية، والبكتيريا المذيبة للفوسفات على بيئة بيكوفسكا والبكتيريا المتبوعة على بيئة الآغار المغذي بعد قتل الخلايا الخضرية في التخفيف المناسب باستخدام حمام مائي عند درجة حرارة 80 مئوية لمدة 15 دقيقة. تم دراسة بعض البكتيريا المثبتة للنترجين الجوي بطريقة العدد الأرجح MPN technique وهي: *Azotobacter* على البيئة السائلة Ashby، *Azospirillum* على البيئة نصف السائلة، *Clostridium* على البيئة السائلة المسماة بيئة Winogradsky. وتم دراسة بعض المؤشرات الحيوية شدة تنفس التربة بطريقة المعايرة بكمض كلور الماء، وتقدير نشاط الديهيدروجيناز باستخدام طريقة (TTC) Triphenyl tetrazolium chloride، تقوم إنزيمات الديهيدروجيناز بتحويل مركب TTC إلى TFP (تريفنيل فورمازان) ويُقاس TFP المتكونة لونياً في جهاز السبكتروفوتومتر عند طول موجة 546 (Thalman, 1968).

التحليل الإحصائي:

تم تحليل البيانات وفق تحليل التباين أحادي الاتجاه (One-Way ANOVA) لدراسة تأثير مستويات الملوحة المختلفة في المتغيرات المدروسة، كما تم مقارنة المتوسطات باستخدام اختبار أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى معنوية 0.05، باستخدام البرنامج الإحصائي SPSS.

النتائج والمناقشة:

1. بعض الخصائص الفيزيائية للتربة المدروسة:

يبين الجدول (1) اختلاف قوام التربة تبعاً لزيادة الملوحة، فقد سُجلت المستويات المنخفضة والمتوسطة من الملوحة (1.8-8.1 dS/m) في تربة مزروعة بالقطن ارتفاع نسبي في مستوى الطين وانخفاض نسبة الرمل، مما أكسبها قواماً طينياً إلى طيني لومي. في المقابل، ظهرت المستويات المرتفعة من الملوحة (9.5-12.7 dS/m) في تربة غير مزروعة ارتفاعاً في نسبة الرمل وانخفاض محتوى الطين، لتتحول إلى تربة لومية، وتشير هذه النتائج إلى وجود ارتباط بين ارتفاع الملوحة وتدهور الخصائص الفيزيائية للتربة، إضافة إلى تراجع ملائمتها للزراعة عند المستويات المرتفعة من الملوحة (Luo et al., 2024).

الجدول (1): قوام التربة في الترب المدروسة

قوام التربة	نسبة الطين %	نسبة الملت %	نسبة الرمل %	الاستخدام الزراعي	ECe (dS/m)
طينية	41.5	35	23.5	قطن	1.8
طينية	39.8	35.5	24.7	قطن	2.8
طينية لومية	38.2	33.8	28	قطن	4.2
طينية لومية	33.5	35	31.5	قطن	8.1
لومية	21.5	37	41.5	غير مزروعة	9.5
لومية	17.5	39	43.5	غير مزروعة	11.3
لومية	11.7	41	47.3	غير مزروعة	12.7

2. بعض الخواص الكيميائية للترب المدروسة:

تظهر نتائج الجدول (2) تغيرات في الخواص الكيميائية للترب المدروسة استجابة لتدرج مستويات الملوحة، حيث سُجل ارتفاع مطرد في قيم الـ pH (من 7.8 إلى 8.6) بالتوازي مع زيادة الناقلية الكهربائية (EC)، ويعزى هذا السلوك القلوي إلى اختلال توازن الكاتيونات وزيادة تركيز أيونات الصوديوم ذات التأثير القاعدي القوي (Al-Busaidi and Cookson, 2003)، وينعكس هذا الارتفاع في الـ pH سلباً على جاهزية العناصر الغذائية، لا سيما الفوسفور والنيتروجين نتيجة تحوّل المركبات الفوسفاتية إلى مركبات أقل ذواباً وتوافراً للنبات (Minai *et al.*, 2009). من ناحية أخرى انخفضت كمية المادة العضوية تبعاً لزيادة الناقلية الكهربائية، حيث يحدّ الإجهاد الإسموزي من قدرة الكائنات الدقيقة على تحلل البقايا العضوية، إن تراجع المادة العضوية لا يقلل من سعة التبادل الكاتيوني فحسب، بل يضعف قدرة التربة على الاحتفاظ بالعناصر الغذائية وإمدادها للنباتات (Yang, *et al.* 2025).

الجدول (2): بعض الخواص الكيميائية للترب الأساسية

SAR	Cl ⁻ (meq/L)	Na ⁺ (meq/L)	Mg ²⁺ (meq/L)	Ca ²⁺ (meq/L)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	CaCO ₃ (%)	OM (%)	pH	الاستخدام الزراعي	ECe (dS/m)
4.73	6.78	12.91	6.21	8.66	282	35.6	1.9	20.6	1.75	7.8	قطن	1.8
7.19	10.54	20.08	6.51	9.08	246	28.7	1.4	21.2	1.22	7.9	قطن	2.8
10.46	15.81	30.13	6.93	9.67	215	18.5	0.9	22.4	0.79	8.1	قطن	4.2
18.26	33.5	58.1	12.95	21.2	189	10.6	0.6	26.2	0.58	8.3	قطن	8.1
22.6	35.77	68.14	7.5	10.68	143	8.05	0.5	28.4	0.55	8.4	غير مزروعة	9.5
28.48	42.55	81.05	7	9.2	127	7.13	0.4	29.4	0.45	8.5	غير مزروعة	11.3
33.05	47.82	91.1	6.8	8.4	115	6.48	0.3	30.6	0.39	8.6	غير مزروعة	12.7

وفي المقابل، ارتفعت نسب كربونات الكالسيوم وقيم نسبة ادمصاص الصوديوم (SAR) لتصل ذروتها 33.05 عند موصلية كهربائية 12.7 dS/m، مما يؤكد قدرة الملوحة المرتفعة على ترسيب الكربونات وزيادة معدلات الصوديوم المدمص (Moras *et al.*, 2014; Ganjegunte *et al.*, 2024)، أدى تراكم أيونات الصوديوم والكلور التي بلغت (91.1-47.82 meq/L) على التوالي عند مستوى 12.7 dS/m مقابل انخفاض الكالسيوم والمغنيزيوم إلى اختلال التوازن الأيوني وزيادة التشتت الغروي Colloidal dispersion مما يؤثر سلباً على مسامية التربة وتهويتها ونفاذيتها للماء، كما تظهر نتائج الجدول (2) انخفاض حاد في محتوى

العناصر الغذائية الكبرى (K - P - N) مع ارتفاع الملوحة، مما يثبط العمليات الاستقلابية والتمثيل الضوئي ويعيق امتصاص الماء والمغذيات نتيجة الضغط الأسموزي المرتفع حول الجذور (Sharma *etal.*, 2022; Talei *etal.*, 2012)

3. تأثير الإجهاد الملحي على أعداد بعض الكائنات الحية النقية في ترب متدرجة الملوحة في حوض الفرات الأدنى لترب مزروعة بالقطن وغير مزروعة:

- البكتريا متباينة التغذية (غير ذاتية التغذية) والبكتيريا المستخدمة للأزوت المعني:

تبين نتائج الجدول (3) انخفاضاً تدريجياً ومعنوياً في أعداد البكتيريا متباينة التغذية مع تزايد ملوحة التربة، إذا أظهرت أعداداً أعلى في الترب ذات الملوحة المنخفضة والمتوسطة 1.8-2.8 ds/m مسجلة 2.39-1.98 مليون خلية/غ تربة جافة على التوالي، ويعكس هذا الارتفاع توازناً أيونياً يسمح بنشاط الأنزيمات المحللة للمادة العضوية مما يحافظ على إطلاق العناصر الغذائية (Wu, *etal.*, 2015). ومع تجاوز الملوحة عتبة 4 ds/m، حدث انخفاض حاد في الأعداد نتيجة الضغط الأسموزي وسمية أيونات الصوديوم والكلور، مما أعاق امتصاص الماء وأحدث خللاً أيونياً داخل الخلايا، أدى بدوره إلى تثبيط الإنزيمات الحيوية مثل الأميلاز والبروتيناز (yan *etal.*, 2015)، وعند المستويات العليا (9.5 ds/m $\geq$)، فُيلاحظ انهيار شبه تام في أعداد البكتيريا متباينة التغذية، حيث انخفضت الأعداد إلى أدنى مستوياتها (0.098 مليون خلية/غ تربة جافة) عند مستوى ملوحة 12.7 ds/m، وهو ما يفسره الارتباط العكسي بين الناقلية الكهربائية (EC) وتحلل المادة العضوية وتباطؤ دورة العناصر (Yang *etal.*, 2025; Haj-Amor *etal.*, 2022). كما ساهم ارتفاع نسبة الصوديوم المدمص (SAR) في تشتت الغرويات، مما حدّ من توفر المغذيات الضرورية لهذه المجموعة (Elmajdoub, 2014)، أما فيما يخص تأثير الغطاء النباتي، فقد أثبت النتائج دور الريزوسفير كمناطق عازلة جزئياً؛ حيث وفرت إفرازات جذور القطن مصادر كربونية جاهزة دعمت أعداد هذه المجموعة الميكروبية مقارنة بالترب غير المزروعة (Feng *etal.*, 2024). وفي المقابل، أدى غياب النبات والمركبات العضوية التي تؤمن الكربون والطاقة في الترب غير المزروعة إلى مضاعفة التأثير السلبي للملوحة، مما جعل المجموعات البكتيرية أكثر عرضة للانهيار العددي تحت الإجهاد الملحي المباشر (Vriezen *etal.*, 2007).

تشابهت التغيرات التي طرأت على أعداد البكتيريا المستخدمة للأزوت المعدني مع تلك المسجلة للبكتيريا متباينة التغذية، وذلك بسبب التكامل الغذائي بين هاتين المجموعتين الميكروبيتين إذ تؤمن البكتيريا متباينة التغذية مصادر الأزوت اللازمة للبكتيريا المستخدمة للأزوت المعدني (العيسى، 2007). ومع ذلك، كان الانحدار في أعداد بكتيريا الأزوت أكثر حدة مع زيادة الناقلية الكهربائية (EC) حيث بدأ الانخفاض المعنوي عند العتبة الحرجة 4.2 ds/m (0.75 مليون خلية/غ تربة) ليصل إلى أدنى مستوياته (0.031 مليون خلية/غ) عند 12.7 ds/m، وتُعزى هذه الحساسية العالية إلى تعقيد التفاعلات الإنزيمية المرتبطة بدورة الأزوت، وتأثر تفاعلات الأكسدة والاختزال مباشرة بالإجهاد الأسموزي واختلال التوازن الأيوني (chang *etal.*, 2025; Figueroa *etal.*, 2024). كما يؤدي تراكم الأملاح إلى تثبيط عمليات النترجة، وربما تراكم النترات السام، مما يغير مسارات التحول الحيوي للنترجين من التثبيت إلى التمدن تحت الظروف القاسية، وينعكس سلباً على كفاءة دورة النترجين ككل (Li *etal.*, 2020; Zhao *etal.*, 2013). وفيما يخص الغطاء النباتي، حافظت الترب المزروعة بالقطن على أعداد أعلى مقارنة بالترب غير المزروعة عبر كافة مستويات الملوحة، ويُفسر ذلك دور الإفرازات الجذرية (سكريات وأحماض أمينية) في توفير طاقة سهلة الاستعمال الميكروبي، وتخفيف الضغط الأسموزي، وتثبيط إنزيمات دورة الأزوت في منطقة الريزوسفير (Paul, 2015). في المقابل، أدى غياب هذه الإفرازات ونقص

الكربون المتاح في الترب غير المزروعة إلى تراجع حاد في القدرة التنافسية لتلك البكتريا، مما يجعلها أكثر عرضة للتثبيط الملحي المباشر (schimel *et al.*, 2007).

الجدول (3): تأثير الإجهاد الملحي في أعداد البكتريا متباينة التغذية (غير ذاتية التغذية) والبكتيريا المستخدمة للأزوت المعدني في حوض الفرات الأدنى لترب مزروعة بالقطن وغير مزروعة (مليون/ 1 غ تربة جافة تماماً)

المعاملات	Ece (dS/m)	عجينة مشبعة	الاستخدام الزراعي	البكتريا متباينة التغذية	البكتريا المستخدمة للأزوت المعدني
		1.8	القطن	2.39	1.56
		2.8		1.98	1.28
		4.2		1.23	0.75
		8.1		0.9	0.45
		9.5	غير مزروعة	0.42	0.23
		11.3		0.211	0.115
		12.7		0.098	0.031
		LSD 5%		0.13	0.19

- الفطريات والأكتينومايسيتات:

تُظهر النتائج الواردة الجدول (4) تناقصاً معنوياً لأعداد الفطريات مع ارتفاع الناقلية الكهربائية EC، حيث سُجلت أعلى كثافة (116.6 ألف خلية/1 غ تربة) عند الملوحة المنخفضة (1.8 ds/m) نتيجة استقرار النشاط الأنزيمي وتوافر المادة العضوية، ومع تجاوز الملوحة عتبة 4 ds/m بدأ التأثير السلبي المباشر على نمو الهيفات الفطرية (Kumawat *et al.*, 2022)، ليصل إلى انحدار حاد عند المستويات العليا (8.1-9.5 ds/m)، ويعزى ذلك إلى التأثير التراكمي للإجهاد الإسموزي وتثبيط الإنزيمات الأساسية كالسيلولاز والليغيناز، مما أدى لتراجع كفاءة التحلل الحيوي وإعادة تدوير الكربون والنيتروجين (Hou *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2019). وعلى الرغم من هذا التراجع، أبدت الفطريات تحملاً نسبياً مقارنة بالبكتريا؛ بفضل بنية الجدار الكيتينوي وطبيعتها الخيطية التي تسهل نقل الماء (Rath *et al.*, 2019). إلا أن سيادة الأنواع المتحملة جاءت على حساب التنوع الكلي، خاصة عند غياب الغطاء النباتي في الترب غير المزروعة التي سجلت أدنى أعدادها (1.2 ألف خلية/ غ تربة) نتيجة غياب الإفرازات الجذرية والمادة العضوية (Frey, 2019). وفي المقابل، ساهم محصول القطن في دعم بقاء المجتمعات الفطرية عبر تأثير الريزوسفير وتوفير الكربون العضوي الذي زاد النشاط الفطري تحت الإجهاد (Cong *et al.*, 2025; Ruzzi and Aroca, 2015). وسجلت الأكتينومايسيتات استجابة عكسية حادة مع تزايد الملوحة وبلغت ذروتها (735.7 ألف خلية/1 غ) عند 1.8 ds/m إلى أدنى مستوياتها (25.8 ألف خلية/1 غ تربة) عند 12.7 ds/m مسجلة. ويُفسر هذا الانهيار العددي باستهلاك الطاقة في تصنيع الأسمولات الداخلية (Osmolytes) وهي مركبات عضوية صغيرة تتراكم في الخلايا تحت ظروف الإجهاد الأسموزي، وتعمل على المحافظة على الضغط الأسموزي وحماية الخلايا من الجفاف والإجهاد مما يضمن استقرار الاتزان الخلوي، بالإضافة إلى السمية الأيونية المباشرة لأيونات الصوديوم والكلور وتثبيط إنزيمات البروتيناز والليباز (Sadeghi *et al.*, 2022; Nan Yan *et al.*, 2015)، كما حدّ الارتفاع التدريجي في قيم SAR وتراجع المادة العضوية من توافر الركائز الكربونية Carbon Substrates والطاقة اللازمة لنمو الأكتينومايسيتات (Wang *et al.*, 2024). وقد أسهمت إفرازات جذور القطن في تحسين أعداد الأكتينومايسيتات نسبياً عند مستويات الملوحة المنخفضة والمتوسطة، لدورها في توفير مصادر كربونية سهلة التحلل وتحسين نمو النبات عبر إذابة الفوسفات وإنتاج الهرمونات النباتية (Djebaili *et al.*, 2020). ومع ذلك، تلاشى هذا التأثير الإيجابي تدريجياً مع ارتفاع الملوحة فوق 8.1 ds/m حيث طغى الإجهاد الملحي والقلوي على الفوائد المرتبطة بالريزوسفير، مما أدى إلى تثبيط الوظائف الحيوية لهذه المجموعة الميكروبية (Al-Kalbani *et al.*, 2025).

الجدول (4): تأثير الإجهاد الملحي في أعداد الفطريات والأكتينومايسيتات في حوض الفرات الأدنى لترب مزروعة بالقطن وغير مزروعة (ألف خلية / 1 غ تربة جافة)

المعاملات	الاستخدام الزراعي	الفطريات	الأكتينومايسيتات
ECe (ds/m)			
عجينة مشبعة			
1.8	القطن	116.6	735.7
2.8		92.8	630.5
4.2		48.8	520.6
8.1		19.5	340.2
9.5	غير مزروعة	7.3	135.9
11.3		5	65.7
12.7		1.2	25.8
LSD 5%		0.87	8.65

- البكتريا المنبوية للفوسفات (PSB) والبكتريا المتبوعة *Bacillus* :

أظهرت النتائج الجدول (5) انخفاضاً معنوياً ومتدرجاً في أعداد (PSB) مع زيادة الملوحة، حيث تراجعت من 210.2 ألف خلية/غ تربة عند ملوحة 1.8 ds/m إلى أدنى مستوياتها 12.2 ألف خلية/غ عند الملوحة المرتفعة 12.7 ds/m، ويعزى هذا التدهور إلى التثبيط الحيوي تحت تأثير الملوحة والتي تضعف قدرة هذه البكتريا على إفراز الأحماض العضوية منخفضة الوزن الجزيئي (كالستريك والغلوكونيك)، وإنخفاض نشاط إنزيمات الفوسفاتاز نتيجة إعادة توجيه الطاقة الخلوية من عمليات إذابة الفوسفور إلى آليات البقاء والمحافظة على الإلتزان الأسموزي (Dey *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2022)، إضافة إلى ذلك فإن الملوحة المرتفعة تسهم في تقليل توافر الفوسفور من خلال زيادة ترسيبه في صورة مركبات غير ذائبة. من جهة أخرى حافظت التربة المزروعة بالقطن على كثافة بكتيرية أعلى مقارنة بالتربة غير المزروعة نتيجة وجود الإفرازات الجذرية، إلا أن هذا التأثير الإيجابي تلاشى عند تجاوز الملوحة عتبة 8-9 ds/m مما يشير إلى أن الإجهاد الملحي أصبح هو العامل المحدد (Limiting Factor) متجاوزاً دعم الجذور (Hidayahtulloh and Setiawati, 2022).

تُظهر نتائج الجدول (5) انخفاضاً تدريجياً ومعنوياً في أعداد البكتريا المتبوعة *Bacillus* مع ازدياد مستويات الملوحة؛ فقد سُجلت أعلى كثافة عددية عند مستوى ملوحة منخفض نسبياً 1.8 ds/m (465 ألف خلية/1 غ تربة جافة)، وهو ما قد يعكس ظروفًا ملائمة نسبياً للنشاط الحيوي لتلك البكتريا مما يزيد قدرتها على الانقسام وازدياد أعدادها، ولكن عند مستويات أعلى للملوحة 8.1-9.5 ds/m أصبح الانخفاض أكثر حدة، حيث تراجعت البكتريا المتبوعة لتصل إلى 112-198 ألف خلية/1 غ تربة على التوالي، مما يعكس انتقالها من حالة النمو النشط (الشكل الإعاشي) إلى مرحلة التَبَوُّغ، ففي هذه المرحلة، يُعاد توجيه الطاقة الخلوية نحو آليات البقاء مثل تعديل تركيب الأغشية الخلوية على حساب الانقسام الخلوي كما أوضحه (Valencia *et al.*, 2023; Gregory and Boyd, 2021)، في حين سُجلت البكتريا المتبوعة أدنى كثافة عددية في التربة غير المزروعة وذات مستوى ملوحة مرتفع جداً 11.3-12.7 ds/m مسجلة 23.5-63.6 ألف خلية/1 غ تربة جافة على التوالي، ويعكس هذا التراجع الحاد تأثيراً تراكمياً يتمثل في شدة الإجهاد الملحي من ناحية، وغياب تأثير الريزوسفير كمصدر للكربون والطاقة من جهة أخرى (Villarreal *et al.*, 2021; Xiong *et al.*, 2020)، ولعل وجود البكتريا المتبوعة عند مستويات ملوحة مرتفعة عائد إلى قدرتها على تكوين الأبواغ، وهي آلية بقاء فعالة - كما هو معروف - في ظروف الإجهادات البيئية (Valencia *et al.*, 2023). في حين، سُجلت أدنى أعداداً لها في التربة غير المزروعة، مما يؤكد أن غياب الغطاء النباتي (مصدر الكربون) يفاقم من حدة الإجهاد الأسموزي، مما يدفع البكتريا إلى سكون طويل الأمد يحذ من دورها في تحلل المادة العضوية (Xiong *et al.*, 2020).

الجدول (5): تأثير الإجهاد الملحي في أعداد البكتيريا المذيبة للفوسفات والبكتيريا المتبوعة *Bacillus* في حوض الفرات الأدنى لترى مزروعة بالقطن وغير مزروعة ألف خلية /1 غ تربة جافة

المعاملات	الاستخدام الزراعي	البكتيريا المذيبة للفوسفات	<i>Bacillus</i> البكتيريا المتبوعة
E _{Ce} (ds/m)			
عجينة مشبعة			
1.8	القطن	210.2	465
2.8		180.6	340
4.2		113.5	243
8.1		96.5	198
9.5	غير مزروعة	56.2	112
11.3		23.1	63.6
12.7		12.2	23.5
LSD 5%		6.92	13.02

- البكتيريا المثبتة للأزوت الجوي *Azotobacter* و *Azospirillum* و *Clostridium*:

تظهر نتائج بيانات الجدول (6) انخفاض معنوي واحد في أعداد كل من ال *Azotobacter* و *Azospirillum* و *Clostridium* استجابة للارتفاع التدريجي في ملوحة التربة EC، فبعد تسجيلها أعلى مستوياتها عند 1.8 ds/m (36.5-53.6 ألف خلية /1 غ تربة) عالتوالي لكل من ال *Azotobacter* و *Azospirillum* ، بدأت الأعداد بالتراجع ابتداءً من العتبة الحرجة مستوى 4.2 ds/m حيث سجلا 23.3-27.2 ألف خلية /1 غ تربة جافة على التوالي، وصولاً إلى أدنى قيمة لهما عند المستوى 12.7 ds/m، ويُعزى هذا الانخفاض إلى الحساسية العالية لهذه المجموعات الميكروبية للإجهاد الاسموزي الذي يحث من بقائها ونشاطها الاستقلابي (Kayasth *et al.*, 2014). ومع ذلك، أظهرت النتائج تفوقاً نسبياً لجنس *Azospirillum* في تحمل الملوحة مقارنة بـ *Azotobacter* عبر جميع المستويات المدروسة؛ حيث حافظت الأولى على كثافة عددية (8.4 ألف خلية/غ تربة) مقابل 4.5 ألف خلية/غ تربة للثانية عند أقصى إجهاد ملحي. يكمن سبب هذا التفوق في تباين استراتيجيات التكيف الفيزيولوجي حيث تمتلك سلالات ال *Azospirillum* قدرة أعلى على تفعيل آليات التوازن الاسموزي عبر مرحلتين هما الامتصاص السريع لأيونات البوتاسيوم، يليه تراكم المذيبات المتوافقة (Compatible solutes) مثل الجليسين بيتاين والبرولين التي تحمي البنية الخلوية دون تدخل مع النشاط الإنزيمي (Paul, 2013). في حين يثبط الملح التخليق الحيوي لإنزيم النتروجيناز في *Azospirillum*، إلا أن نشاط الإنزيم القائم يظل فعالاً جزئياً (Chowdhury *et al.*, 2007)، على عكس *Azotobacter* التي تظهر حساسية سمية مباشرة لأيونات الصوديوم تؤدي لتثبيط نشاط النتروجيناز وتراجع حاد في نمو الخلايا (Ninawe and Raj, 2003).

على النقيض من مثبتات النتروجين، أظهرت بكتيريا *Clostridium* تراجعاً حاداً مع زيادة الملوحة، حيث انخفضت أعدادها من 8.9 ألف خلية/غ تربة عند الملوحة المنخفضة إلى قيم شبه معدومة 0.1 ألف/غ تربة عند مستوى 12.7 ds/m (LSD_{0.05}=0.018). ويشير هذا الانهيار إلى أن الإجهاد الاسموزي في البيئات المالحة يسبب جفافاً سيتوبلازمياً واضطراباً في نفاذية الغشاء الخلوي للـ *Clostridium* بشكل يفوق قدرتها على التعافي، مما يؤدي لتثبيط الأنظمة الإنزيمية المسؤولة عن تمثيل الكربون والنتروجين (Li *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2019). ورغم قدرة بعض السلالات الهوائية على العمل في بيئات ملحية، إلا أن النتائج تؤكد أن قدرة التكيف لدى الـ *Clostridium* في هذه التربة تظل محدودة ونوعية (Michel *et al.*, 2022; Oren *et al.*, 2004).

أثبتت المقارنة بين الترب المزروعة وغير المزروعة دوراً مهماً للنظام الجذري للقطن في تخفيف حدة الإجهاد الملحي؛ حيث حافظت الترب المزروعة على كثافة ميكروبية أعلى للمجموعات الميكروبية الثلاث، فالنسبة لـ *Azospirillum* و *Azotobacter* عملت الإفرازات الجذرية كإشارات كيميائية جذابة (chemotaxis) ومصدر كربوني عزز من استعمار الريزوسفير (Chen *et al.*, 2024; O'Neal *et al.*, 2020)، في حين وفرت بقايا الجذور المتحللة والمناطق محدودة الأوكسجين حول الجذور بيئة مثالية للنشاط اللاهوائي لـ *Clostridium* (Ueno *et al.*, 2016).

الجدول (6): تأثير الإجهاد الملحي في أعداد البكتيريا الـ *Azotobacter* والـ *Azospirillum* والـ *Clostridium* في حوض الفرات الأدنى لترب مزروعة بالقطن وغير مزروعة ألف خلية / 1 غ تربة جافة

<i>Clostridium</i>	<i>Azospirillum</i>	<i>Azotobacter</i>	الاستخدام الزراعي	المعاملات
				Ece (ds/m)
				عجينة مشبعة
8.9	53.6	36.5	القطن	1.8
6.4	36.4	31.2		2.8
5.9	27.2	23.3		4.2
2.5	19.5	16.2		8.1
1.2	14.9	10.8		9.5
0.3	11.2	7.3	غير مزروعة	11.3
0.1	8.4	4.5		12.7
0.018	2.11	2.61		LSD 5%

4. تأثير الإجهاد الملحي في بعض المؤشرات الحيوية مثل شدة تنفس التربة ونشاط الديهيدروجيناز:

تُظهر نتائج الجدول (7) انخفاضاً تدريجياً ومعنوياً في شدة تنفس التربة (انطلاق CO_2) مع ازدياد ملوحتها، حيث سجلت الترب غير المزروعة عند مستويات الملوحة الحرجة 11.3-12.7 ds/m أدنى معدلات انبعاث CO_2 (0.16-0.29 ملغ CO_2 /كغ تربة/ساعة على التوالي)، مقارنة بأعلى قيمة سجلت في التربة منخفضة الملوحة 1.8 ds/m، ووصلت إلى (1.49 ملغ CO_2 /كغ تربة/ساعة)، حيث يعكس تراجع مؤشر تنفس التربة (انطلاق CO_2) التأثير المثبط للإجهاد الأسموزي وسمية الأيونات على النشاط الميكروبي، مما يقلل كفاءة التحلل الحيوي للمادة العضوية (Yang *et al.*, 2018; Zeng *et al.*, 2013)، ويرتبط هذا النشاط إيجاباً بمحتوى التربة من الكربون العضوي الجدول (2)، حيث تؤدي الملوحة المرتفعة إلى تحولات في بنية المجتمع الميكروبي وتحد من النشاط التنفسي حتى في حال بقاء كتلته الحيوية ثابتة Wong *et al.*, 2008 أن ارتفاع نسبة الصوديوم يؤدي لتشتت حبيبات التربة وبعثرتها وفقدان المادة العضوية وتعرضها للتحلل الميكروبي السريع، ويتفاقم هذا الخطر في الترب عالية الملوحة مثل 9.5-12.7 ds/m، وبالتالي فإن الجمع بين تشتت التربة بسبب الصوديوم وانعدام الغطاء النباتي يفسر انخفاض الكربون العضوي وتراجع خصوبة هذه الترب (Mavi *et al.*, 2012). وأظهرت الدراسة أن وجود نبات القطن ساهم في رفع شدة التنفس مقارنة بالترب غير المزروعة عند مستويات الملوحة المتقاربة، ويعزى ذلك إلى دور إفرازات الجذور وبقاياها كمصدر كربوني سريع التمثيل (Easily available carbon)، مما يزيد النشاط الاستقلابي للميكروبات (العيسى، 2007؛ Cheng and Kuzyakov, 2005). وإن شدة التنفس في الترب المزروعة هو محصلة متزامنة لتنفس الجذور والتحلل الميكروبي؛ حيث تشير الدراسات إلى أن مساهمة الجذور قد تشكل قرابة نصف الزيادة الكلية في النشاط التنفسي مقارنة بالبكتيريا غيرية التغذية (Heterotrophic bacteria) وحدها (Kotroczko *et al.*, 2023)، وهو ما يفسر تفوق القيم المسجلة في ترب القطن (1.09-1.49 ملغ CO_2 /كغ تربة/ساعة) مقابل انخفاضها في الترب غير المزروعة. انخفض نشاط الديهيدروجيناز DHA بالتوازي مع ارتفاع ملوحة التربة الجدول (7)، حيث بدأ الانخفاض المعنوي من مستوى ناقليّة كهربائية عند 4.2 ds/m بمعدل (54.5 $\mu\text{g TPF/g dw/24h}$)، وصولاً إلى أدنى مستوياته

في التربة غير المزروعة عند مستوى 12.7 ds/m مسجلاً ($10.7 \mu\text{g TPF/g dw/24h}$)، ويعزى التدهور الإنزيمي إلى التأثير السلبي المباشر للملوحة؛ إذ يؤدي الارتفاع في الضغط الإسموزي إلى سحب المياه من الخلايا الميكروبية، مما يعطل المسارات الاستقلابية و إفراز الإنزيمات، وعلاوة على ذلك، فإن تراكم أيونات الصوديوم والكلوريد الجدول (2) يتسبب في سمية مباشرة تؤدي إلى فقدان استقرار البروتينات والإنزيمات، وتقليل توافر العناصر الغذائية الضرورية للنشاط الميكروبي (Filipovic *et al.*, 2020). تُظهر النتائج أن وجود القطن عمل كمخفف للأثر السلبي للملوحة على هذا الأنزيم؛ حيث حافظت الترب المزروعة على مستويات أعلى من نشاط DHA ($54.5 - 98.7 - 135.5 \mu\text{g TPF/g dw/24h}$) عند مستويات ملوحة 4.2-2.8-1.8 ds/m على التوالي، ويُعزى هذا التفوق إلى تأثير الريزوسفير، حيث توفر الإفرازات الجذرية والمخلفات النباتية مصادر كربونية و طاقة حيوية تدعم الاستقرار الأنزيمي، وتوفر غطاءً حيوياً يقلل من حدة الإجهاد الملحي (Song *et al.*, 2025). بالرغم من الدور الداعم للجذور، إلا أن مستويات الملوحة المرتفعة 11.3-12.7 ds/m سجلت انخفاضاً في النشاط الإنزيمي ($14 - 10.7 \mu\text{g TPF/g dw/24h}$ على التوالي)، مما يشير إلى أن الإجهاد الملحي في هذه المرحلة يصبح هو العامل المسيطر الذي يتجاوز القدرة التخفيفية للنبات ويقيد النشاط الإنزيمي بغض النظر عن توفر المادة العضوية (Sritongon *et al.*, 2022).

الجدول (7): تأثير الإجهاد الملحي في شدة تنفس التربة والديهيدروجيناز في حوض الفرات الأدنى لترب مزروعة بالقطن وغير مزروعة

المعاملات	Ece (ds/m)	عجينة مشبعة	الاستخدام الزراعي	تنفس التربة (CO_2 ملغ/كغ تربة/ساعة)	الديهيدروجيناز (DHA) $\mu\text{g TPF/g dw/24h}$
	1.8		القطن	1.49	135.5
	2.8			1.09	98.7
	4.2			0.81	54.5
	8.1			0.44	23.0
	9.5			0.36	20.9
	11.3		غير مزروعة	0.29	14.0
	12.7			0.16	10.7
	LSD 5%			0.29	6.20

الاستنتاجات:

- 1- وجود تأثير معنوي متدرج لملوحة التربة 1.8-12.7 ds/m في أعداد المجاميع الفيزيولوجية للكائنات الحية الدقيقة في ترب حوض الفرات الأدنى، سواء المزروعة بالقطن أو غير المزروعة.
- 2- سجلت البكتريا متباينة التغذية أعلى كثافة عددية عند مستويات الملوحة المنخفضة إلى المتوسطة ($\leq 4.2 \text{ ds/m}$)، ثم انخفضت أعدادها تدريجياً مع ارتفاع قيم Ece، وكان الانخفاض أكثر وضوحاً في الترب غير المزروعة.
- 3- أظهرت البكتريا المستخدمة للأزوت المعدني حساسية مرتفعة للإجهاد الملحي، حيث تناقصت أعدادها بصورة معنوية مع زيادة الملوحة.
- 4- تبين وجود عتبة حرجة لأعداد الفطريات عند مستوى 4.2 ds/m، حيث بدأت بعدها أعدادها بالتراجع المتسارع، خاصة في الترب غير المزروعة. أما الأكتينومايسيتات فقد أظهرت انخفاضاً منتظماً ومتدرجاً مع زيادة الملوحة.
- 5- أظهرت البكتريا المذيبة للفوسفات انخفاضاً معنوياً في أعدادها مع ارتفاع الملوحة، وكان التراجع أكثر وضوحاً عند القيم الأعلى من 8 ds/m، في حين حافظت الترب المزروعة على كثافة نسبية أعلى مقارنة بغير المزروعة.

- 6- تأثرت البكتيريا المتبوعة سلباً بارتفاع الملوحة، إلا أن معدل انخفاضها كان أقل مقارنة بالمجاميع غير المتبوعة، مما يشير إلى امتلاكها ميزة بقاء تحت ظروف الإجهاد الملحي.
- 7- أظهرت *Azospirillum* قدرة تحمل أعلى مقارنة بـ *Azotobacter*، ولا سيما في الترب المزروعة بالقطن، حيث سجلت أعداداً أعلى عبر جميع مستويات الملوحة المدروسة، كما انخفضت أعداد *Clostridium* مع زيادة الملوحة، مع تسجيل كثافة أعلى في الترب المزروعة مقارنة بغير المزروعة، إلا أن القيم المرتفعة من ECE أدت إلى تثبيط واضح بغض النظر عن وجود الغطاء النباتي.
- 8- انخفضت شدة تنفس التربة تدريجياً مع ارتفاع الملوحة، وسجلت أعلى القيم عند المستويات المنخفضة من ECE كما ارتبط نشاط الديهيدروجيناز عكسياً مع زيادة الملوحة، مع تسجيل نشاط أعلى في الترب المزروعة مقارنة بغير المزروعة في جميع المعاملات.

المقترح:

الحصول على عزلات من الـ *Azotobacter* والـ *Azospirillum* من الترب ذات الملوحة العالية، لدراسة إمكانية استخدامها كسماد حيوي محتمل في الترب المعرضة للإجهاد الملحي، ويوصى باعتماد برامج متكاملة للاستصلاح الحيوي للترب الملحية تجمع بين التسميد العضوي والتلقيح الحيوي، بالتزامن مع زراعة نباتات متحملة للملوحة.

المراجع:

- عودة، محمود؛ وشمشم، سمير (2007). خصوبة التربة وتغذية النبات (الجزء العملي)، جامعة حمص، مديرية الكتب والمطبوعات الجامعية، حمص، سورية، ص 329.
- العيسى، عبد الله؛ وعلوش، ميساء (2006). أساسيات علم الأحياء الدقيقة (الجزء العملي)، جامعة حمص، مديرية الكتب والمطبوعات، حمص، سورية، ص 442.
- العيسى، عبد الله (2007): ميكروبيولوجيا التربة، كلية الزراعة - منشورات جامعة حمص، حمص، سورية، ص 360.
- العيسى، عبد الله (2012). تأثير الإجهاد الملحي على بعض الأجناس البكتيرية المثبتة للنتروجين الجوي بالشكل الحر في التربة - قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة حمص، حمص، سورية.
- القرواني، محي الدين؛ وعجوي، عزيزة؛ والجاسم، فاطمة؛ وقصاص، هناء؛ وواعظ، أحمد (2000). الخصوبة وتغذية النبات (القسم العملي)، كلية الزراعة، منشورات جامعة حلب.
- Al-Busaidi, A.S., and Cookson, P. (2003). Salinity-pH Relationships in Calcareous Soils. Journal of Agricultural and Marine Sciences, 8, 41-46.
- Al-Kalbani, A.; Menezes-Blackburn, D.; and Waladwadi, J. (2025). NaCl-induced soil stress regulates the diversity of soil bacteria and their ability to metabolize low molecular weight organic acids. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 24, 30.
- Andronov, E. E.; Petrova, S. N.; Pinaev, A. G.; Pershina, E. V.; Rakhimgalieva, S. Z.; Akhmedenov, K. M., and Sergaliev, N. K. (2012). Analysis of the structure of microbial community in soils with different degrees of salinization using T-RFLP and real-time PCR techniques. Eurasian Soil Science, 45 (2), 147-156.

- Elmajdoub, B. (2014). Microbial activity and biomass in saline soils as affected by carbon availability (Ph.D. Thesis). Department of Soil Science, Faculty of Sciences, University of Adelaide, Adelaide, Australia. Pp 162.
- Chang, R.; Ao, L.; Zhang, Z.; Qin, Q.; Hu, X.; Liao, G.; Zhou, Y.; He, Y., and Xu, H. (2025). Mechanisms of Nitrogen Cycling Driven by Salinity in Inland Plateau Lakes, based on a Haline Gradient Experiment Using Pangong Tso Sediment. *Water*, 17(12), 1797.
- Chen L and Liu Y. (2024). The Function of Root Exudates in the Root Colonization by Beneficial Soil Rhizobacteria. *Biology (Basel)*, 13(2):95.
- Cheng, W., and Kuzyakov, Y. (2005). Root Effects on Soil Organic Matter Decomposition. *Agronomy Monograph*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA. No 48.
- Choudhary, M.; Jat, H.S.; Mukhopadhyay, R.; Kakraliya, M.; Poonia, T.; Phogat, A.; Dixit, B.; Kumar, R.; Arora, S.; Yadav, R.K.; Krishnamurthy, S.L., and Sharma, P.C. (2023). Functional diversity and behavioral changes of microbial communities under salt affected soils. *Applied Soil Ecology*, 190, Article 105017.
- Chowdhury, S.P.; Nagarajan, T.; Tripathi, R.; Mishra, M.N.; le Rudulier, D., and Tripathi, A.K. (2007). Strain-specific salt tolerance and osmoregulatory mechanisms in *Azospirillum brasilense*. *FEMS microbiology letters*, 267 (1), 72-79
- Cong, P.; Huang, P. and Huang, Z. (2025). The response of soil microbial community to application of organic amendment to saline land. *Frontiers in Microbiology*. Volume 15, 1481156.
- Das, S.; Nayem, M.R.; Hira, K.N.; Shermin, R.; Hosen, M.R.; Hossain, M.A.; Tariquzzaman, M.; Biswas, R.; Rahman, F.A.; Saha, M.K.; and Rabbi, M.F. (2025). Impact of Soil Salinity on Microbial Community Composition in Coastal Agricultural lands of Bangladesh: A Metagenomic Approach. *bioRxiv*. Corpus ID: 276259749, 20. <https://doi.org/10.1101/2025.02.08.637242>.
- Dey, G.; Banerjee, P.; Sharma, R. K.; Maity, J. P.; Etesami, H.; Shaw, A. K.; Huang, Y.-H.; Huang, H.-B., and Chen, C.-Y. (2021). Management of Phosphorus in Salinity-Stressed Agriculture for Sustainable Crop Production by Salt-Tolerant Phosphate-Solubilizing Bacteria – A Review. *Agronomy*, 11(8), 1552.
- Djebaili, R.; Pellegrini, M.; Smati, M.; Del Gallo, M. and Kitouni, M. (2020). Actinomycete strains isolated from saline soils: Plant-growth-promoting traits and inoculation effects on *Solanum lycopersicum*. *Sustainability*, 12(11), 4617.
- Fazal, F.; Amin, A., and Barq, M.G. (2025). Microbial Resilience in Arid Soils: Ecological Responses to Drought and Salinity Stress. *Current Microbiology*, 82 (12):576.
- Feng, G., Wu, Y., Yang, C., Zhang, Q., Wang, S., Dong, M., ... & Guo, L. (2024). Effects of coastal saline-alkali soil on rhizosphere microbial community and crop yield of cotton at different growth stages. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1359698.
- Figuerola-Galvis, I.; Mestanza, O.; Muñoz, A.; Ramos-Duarte, V., and Vanegas, J. (2024). High salinity suppresses nitrogen cycle genes and shifts nitrifier communities in the black mangrove rhizosphere. *Rhizosphere*, volume 29, 100846.
- Filipovic, L.; Romić, M.; Sikora, S.; Huić Babić, K.; Filipović, V.; Gerke, H. H. and Romić, D. (2020). Response of Soil Dehydrogenase Activity to Salinity and Cadmium Species. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 530–536
- Frey, S. D. (2019). Mycorrhizal fungi as mediators of soil organic matter dynamics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 50, 237-259.
- Ganjegunte, G.K.; Sheng, Z., and Clark, J.A. (2014). Soil salinity and sodicity appraisal by electromagnetic induction in soils irrigated to grow cotton. *Land Degradation & Development*, 25(3).228-235.

- Gregory, G. J. and Boyd, E. F. (2021). Stressed out: Bacterial response to high salinity using compatible solute biosynthesis and uptake systems, lessons from Vibrionaceae. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 19, 1014-1027.
- Haj-Amor, Z.; Araya, T.; Kim, D.; Bouri, S.; Lee, J.; Ghiloufi, W.; Yang, Y.; Kang, H.; Jhariya, M.K.; Banerjee, A., and Lal, R. (2022). Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification: A review. *Science of the total environment*, 156946. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.156946.
- Hidayatulloh, N. and Setiawati, T. C. (2022). Uji aktivitas bakteri pelarut fosfat terhadap kelarutan fosfat pada tanah salin. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 9(2), 201-212.
- Hou, Y.; Zeng, W.; Hou, M.; Wang, Z.; Luo, Y.; Lei, G.; Zhou, B., and Huang, J. (2021). Responses of the Soil Microbial Community to Salinity Stress in Maize Fields. *Biology*, 10 (11):1114.
- Kayasth, M.; Gera, R.K.; Dudeja, S.S.; Sharma, P., and Kumar, V. (2014). Studies on salinization in Haryana soils on free-living nitrogen-fixing bacterial populations and their activity. *Journal of Basic Microbiology*, 54(3):170-9.
- Kotrocz, Z.; Makádi, M.; Kocsis, T.; Béni, Á.; Várbíró, G., and Fekete, I. (2023). Long-Term Changes in Organic Matter Content and Soil Moisture Determine the Degree of Root and Soil Respiration. *Plants*, 12(2), 251.
- Kumar A; Singh S; Gaurav AK; Srivastava S and Verma JP (2020) Plant Growth-Promoting Bacteria: Biological Tools for the Mitigation of Salinity Stress in Plants. *Front. Microbiol.* 11:1216. doi: 10.3389/fmicb.2020.01216
- Kumawat, C.; Kumar, A.; Parshad, J.; Sharma, S. S.; Patra, A.; Dogra, P.; Yadav, G. K.; Dadhich, S. K.; Verma, R. and Kumawat, G. L. (2022). Microbial diversity and adaptation under salt-affected soils: A review. *Sustainability*, 14(14), 9280.
- Li, H.; Yao, R.; Yang, J.; Wang, X.; Zheng, F.; Chen, Q.; Xie, W., and Zhang, X. (2020). [Influencing mechanism of soil salinization on nitrogen transformation processes and efficiency improving methods for high efficient utilization of nitrogen in salinized farmland. *Ying yong sheng tai xue bao - The journal of applied ecology*, 31 11, 3915-3924.
- Li, X.; Wang, A.; Wan, W.; Luo, X.; Zheng, L.; He, G.; Huang, D.; Chen, W., and Huang, Q. (2021). High salinity inhibits soil bacterial community mediating nitrogen cycling. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(21), e0136621.
- Li, Y.; Li, W.; Jiang, L.; Li, E.; Yang, X., and Yang, J. (2024). Salinity affects microbial function genes related to nutrient cycling in arid regions. *Frontiers in Microbiology*, 15:1407760. doi: 10.3389/fmicb.2024.1407760.
- Luo, X. J.; Zhang, X.; Zhang, L.; Guo, L. L.; Nie, Z. Y.; Zhou, J.; Wang, R. Z.; Zhang, T. Y.; Miao, Y.; Ma, L.; Wang, Z. C., and Yang, F. (2024). Characteristics of clay dispersion and its influencing factors in saline-sodic soils of Songnen Plain, China. *Agricultural Water Management*, 303, Article 109033.
- Malal H; Garcia JA; Marrs A; Ait Hamza M; Emerson C; Nocco M; Lakhtar H and Lazcano C (2025) Organic and inorganic fertilizers modulate the response of the soil microbiome to salinity stress. *Front. Microbiol.* 16:1551586. doi: 10.3389/fmicb.2025.1551586.
- Mavi, M.S.; Marschner, P.; Chittleborough, D.J.; Cox, J.W.; and Sanderman, J. (2012). Salinity and sodicity affect soil respiration and dissolved organic matter dynamics differentially in soils varying in texture. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 45, Pages 8-13
- Mavi, M.S., and Marschner, P. (2013). Salinity affects the response of soil microbial activity and biomass to addition of carbon and nitrogen. *Soil Research*, 51, 68-75.
- Michel, A.-M.; Borrero-de Acuña, J. M.; Molinari, G.; Ünal, C. M.; Will, S.; Derksen, E.; Barthels, S.; Bartram, W.; Schrader, M.; Rohde, M.; Zhang, H.; Hoffmann, T.; Neumann-Schaal, M.; Bremer, E. and Jahn, D. (2022). Cellular adaptation of *Clostridioides difficile* to high salinity

- encompasses a compatible solute-responsive change in cell morphology. *Environmental Microbiology*, 24(3), 1499–1517.
- Minai-Tehrani, D.; Minoui, S., and Herfatmanesh, A. (2009). Effect of Salinity on Biodegradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) of Heavy Crude Oil in Soil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82, 179-184.
- Moras, C.A.; Cyronak, T.; Bach, L.T.; Joannes-Boyau, R., and Schulz, K.G. (2024). Effects of grain size and seawater salinity on magnesium hydroxide dissolution and secondary calcium carbonate precipitation kinetics: implications for ocean alkalinity enhancement. *Biogeosciences*. Volume 21, issue 14, BG,21,3463-3475.
- Yan, N.; Marschner, P.; Cao, W.; Zuo, C.; and Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms, *International Soil and Water Conservation Research*, Volume 3, Issue 4, Pages 316-323,
- Ninawe, A. S. and Raj, R. P. (2003). Effect of salinity on the growth and nitrogen fixation of *Azotobacter beijerinckii*. *Journal of Aquaculture*, 11, 7-17.
- O'Neal, L.; Vo, L., and Alexandre, G. (2020). Specific root exudate compounds sensed by dedicated chemoreceptors shape *Azospirillum brasilense* chemotaxis in the rhizosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(15),
- Oren, A. (2004). Anaerobic degradation of organic compounds at high salt concentrations. *Antonie van Leeuwenhoek*, 54, 267-277.
- Paul, D. (2013). Osmotic stress adaptations in rhizobacteria. *Journal of Basic Microbiology*, 53(2):101-10.
- Paul-E, A. (2015). *Soil microbiology, ecology and biochemistry* (4th ed.). Academic Press. pp535
- Qadeer, A.; Wakeel, A.; Cheema, S. A. and Sanaullah, M. (2022). Interactive effects of salinity and drought stresses on soil respiration and microbial activities. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 59(1), 35-42.
- Rath, K.M.; Murphy, D.V., and Rousk, J. (2019). The microbial community size, structure, and process rates along natural gradients of soil salinity. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 138, 107607.
- Ruzzi, M. and Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 124-134.
- Sadeghi, E.; Ghorbani Nasrabadi, R.; Movahedi, S.A.; et al. (2022). Actinobacterial and fungal strain-enriched wheat straw as an effective strategy for alleviating the effect of salinity stress on soil chemical and biochemical properties. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 9, 90.
- Schimel, J.; Balser, T.C., and Wallenstein, M.D. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88 6, 1386-94
- Sharma, A.; Devi, Y. B. and Meetei, T. T. (2022). A review on impact of salt stress in soil health and its suitable control measures. *Environment Conservation Journal*, 23(3), 412-424.
- Song, J.; Guan, X.; Cui, H.; Liu, L.; Li, Y.; Li, Y. and Ma, S. (2025). The impact of salt-tolerant plants on soil nutrients and microbial communities in soda saline-alkali lands of the Songnen plain. *Frontiers in Microbiology*, 16:1592834. doi: 10.3389/fmicb.2025.1592834.
- Sritongon N; Sarin P; Theerakulpisut P; and Riddech N. (2022). The effect of salinity on soil chemical characteristics, enzyme activity and bacterial community composition in rice rhizospheres in Northeastern Thailand. *Scientific Reports*. 27;12(1):20360.
- Talei, D.; Kadir, M.A.; Yusop, M.K.; Abdullah, M.P.; and Valdiani, A. (2012). Salinity effects on macro and micro nutrients uptake in medicinal plant king of bitters (*Andrographis paniculata* Nees. *Plant Omics*, 5, 271-278.
- Thalmann, A. (1968). Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtschaftliche Forschung*, 21, 249-258.

- Ueno, A.; Shimizu, S.; Tamamura, S.; Okuyama, H.; Naganuma, T.; and Kaneko, K. (2016). Anaerobic decomposition of humic substances by *Clostridium* from the deep subsurface. *Scientific Reports*, 6, Article 18990.
- Valencia-Marín, M.F.; Chávez-Avila, S.; Guzmán-Guzmán, P.; del Carmen Orozco-Mosqueda, M.; de los Santos-Villalobos, S.; Glick, B.R.; and Santoyo, G. (2023). Survival strategies of *Bacillus* spp. in saline soils: Key factors to promote plant growth and health. *Biotechnology advances*, 70:108303.
- Villarreal, A. L.; Gándara-Ledezma, A.; Godoy-Flores, A. D.; Herrera-Sepúlveda, A.; Díaz-Rodríguez, A. M.; Parra-Cota, F. I. and de los Santos-Villalobos, S. (2021). Salt-tolerant *Bacillus* species as a promising strategy to mitigate the salinity stress in wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*). *Journal of Arid Environments*, 186, 104399.
- Vriezen, J.A.C.; de Bruijn, F.J.; and Nüsslein, K. (2007). Responses of rhizobia to desiccation in relation to osmotic stress, oxygen, and temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3451–3459.
- Wang, W.; Zhang, D.; Kong, H.; Zhang, G.; Shen, F.; and Huang, Z. (2024). Effects of Salinity Accumulation on Physical, Chemical, and Microbial Properties of Soil under Rural Domestic Sewage Irrigation. *Agronomy*, 14(3), 514. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030514>
- Wu, T.; Milner, H.; Díaz-Pérez, J. C.; and Ji, P. (2015). Effects of soil management practices on soil microbial communities and development of southern blight in vegetable production. *Applied Soil Ecology*, 91, 58-67.
- Xie, W.; Yang, J.; Gao, S.; Yao, R.; and Wang, X. (2022) The Effect and Influence Mechanism of Soil Salinity on Phosphorus Availability in Coastal Salt-Affected Soils. *Water*, 14, 2804.
- Xiong YW; Li XW; Wang TT; Gong Y; Zhang CM; Xing K; and Qin S. (2020) Root exudates-driven rhizosphere recruitment of the plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus flexus* KLBMP 4941 and its growth-promoting effect on the coastal halophyte *Limonium sinense* under salt stress. *Ecotoxicol Environ Saf.* 194, 110374.
- Yan, N.; Marschner, P.; Cao, W.; Zuo, C.; and Qin, W. (2015). Influence of salinity and water content on soil microorganisms. *International soil and water conservation Research*, 3(4), 316-323.
- Yang, C.; Chen, Y.; Sun, W.; Zhang, Q.; Diao, M.; and Sun, J. (2025). EXTREME SOIL SALINITY REDUCES N AND P METABOLISM AND RELATED MICROBIAL NETWORK COMPLEXITY AND COMMUNITY IMMIGRATION RATE. *ENVIRON RES.* 1;264(Pt 1):120361. DOI: 10.1016/J.ENVRES.2024.120361.
- Yang, J.; Zhan, C.; Li, Y.; Zhou, D.; Yu, Y.; and Yu, J. (2018). Effect of salinity on soil respiration in relation to dissolved organic carbon and microbial characteristics of a wetland in the Liaohe River estuary, Northeast China. *The Science of the total environment*, 642, 946-953.
- Zhang, W.; Wang, C.; Xue, R.; and Wang, L. (2019). Effects of salinity on the soil microbial community and soil fertility. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(6), 1360-1368.
- Zhao, W.; Wang, Y.; Liu, S.; Pan, M.; Yang, J.; and Chen, S. (2013). Denitrification activities and N₂O production under salt stress with varying COD/N ratios and terminal electron acceptors- *Chemical Engineering Journal-Volumes* 215–216, Pages 252-260.

Study of some biological activity indicators of soils exposed salinity stress and cultivated with cotton under in the Lower Euphrates basin in Syria

Mahmoud AlMarei^{1*} and Abdulla Al-Issa²

¹ University of Homs, Homs, Syria.



(*Corresponding author: Mahmoud AlMarei, Email: mahmoudalmarei4040@gmail.com Phone: 00963982214066)

Received: 10/ 4/ 2026

Accepted: 8/ 6/ 2026

Abstract

This study investigated the effects of varying soil salinity levels (1.8- 2.8- 4.2- 8.1- 9.5- 11.3- and 12.7 dS/m on key biological activity indicators in soils of the Lower Euphrates Basin- Syria, Deir -Zor, Al- Mayadin District, Mahkan Village. A comparative analysis was performed between soils cultivated with cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and uncultivated soils. The populations of major physiological microbial groups were quantified, and soil respiration intensity along with dehydrogenase activity were assessed as principal biochemical indicators of soil biological activity. The results demonstrated a significant and progressive decline in the populations of heterotrophic bacteria, mineral nitrogen-utilizing bacteria, fungi, actinomycetes, and phosphate-solubilizing bacteria (PSB) with increasing electrical conductivity (EC) values. A critical inhibitory threshold for several microbial groups was identified at 4.2 dS/m. Spore-forming bacteria exhibited comparatively greater halotolerance than other microbial groups. Notably, *Azospirillum* spp. demonstrated superior resilience to salinity stress relative to *Azotobacter* spp., particularly in cotton-cultivated soils. A pronounced reduction in both soil respiration intensity and dehydrogenase activity was observed with increasing salinity levels; however, cultivated soils maintained relatively higher biological activity levels compared to their uncultivated counterparts.

Keywords: Euphrates Basin, Physiological Microbial Groups, Saline Soils, Dehydrogenase, Soil Respiration, Cotton.