مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية
Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences
تصدر عن– جامعة بني وليد – ليبيا
Website:https://jhas-bwu.com/index.php/bwjhas/index
ISSN 3005-3900 الصفحات (376 -382) المجلد الحادي عشر – العدد الثالث – 2026

Changes in the population of Actinobacteria during the decomposition of brown needle leaves of Juniperus phoenicea in Al-Jabal Al-Akhdar region - Libya"

Marea Ali Mousa *
Department of Soil and Water, Faculty of Agriculture, Omar Al-Mukhtar University, Al-Bayda, Libya
mareaali@omu.edu.ly

التغير في أعداد بكتيريا اكتينوباكتريا خلال تحلل الأوراق الأبرية البنية للعرعر الفينيقي في منطقة الجبل الاخضر- ليبيا

مرعيه علي موسى*
قسم التربة و المياه، كلية الزراعة، جامعة عمر المختار، البيضاء، ليبيا

Received: 07-04-2026	Accepted: 15-05-2026	Published: 21-05-2026
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

الملخص:
تناولت هذه الدراسة دور الأكتينوباكتيريا في تحلل أوراق العرعر الفينيقي في الجبل الأخضر، ليبيا. وُضعت أكياس البقايا النباتية (0.5 غرام) في موقعين لمدة 24 شهرًا ،وأظهرت النتائج تغيرات مع الزمن في أعداد الأكتينوباكتيريا، ولكن لم تُلاحظ تأثيرات معنوية للزمن أو الموقع أو التفاعل بينهما، وتشير هذه النتائج إلى دور الزمن في ديناميكية الأكتينوباكتيريا خلال عملية التحلل في هذا النظام البيئي.

الكلمات الدالة: التحلل، الأكتينوباكتيريا، العرعر الفينيقي، الأوراق الإبرية، الجبل الأخضر، ليبيا.

Abstract
This study examined Actinobacteria in the decomposition of Juniperus phoenicea leaves in Al-Jabal Al-Akhdar, Libya. Litter bags (0.5 g) were placed at two sites for 24 months. Results showed temporal fluctuations in populations, but no significant effects of time, site, or interaction. Findings suggest a temporal role in Actinobacteria dynamics during decomposition in this ecosystem.

Keywords: Decomposition, Actinobacteria, Juniperus phoenicea, Needle leaves, Al-Jabal Al-Akhdar, Libya.

المقدمة

يُعدّ تحلل مخلفات النباتات ذا أهمية بيئية بالغة، إذ يلعب دورًا أساسيًا في دورة الكربون والمغذيات داخل نظام التربة. خلال هذه العملية، تتحول المواد العضوية المعقدة إلى مركبات أبسط يمكن للكائنات الدقيقة والنباتات إعادة استخدامها. وهذا ما يجعل التحلل ضروريًا للحفاظ على خصوبة التربة واستدامة إنتاجية النظام البيئي (Tuomi *et al.*, 2009). تُعتبر الكائنات الدقيقة في التربة، ولا سيما البكتيريا والفطريات، المحرك الرئيسي لهذه العملية، حيث تُحوّل المواد العضوية المعقدة إلى مواد أبسط (Khomutovska *et al.*, 2024;

Schroeter *et al*., 2022). لا يعتمد معدل تحلل مخلفات النباتات على العوامل الحيوية في المناطق القاحلة فحسب، بل يتأثر أيضًا بعوامل غير حيوية، مثل حرارة الشمس، التي تُسرّع عملية التحلل. مع ذلك، يبقى التحلل الميكروبي العامل الأساسي في تفكيك المركبات العضوية المعقدة وتحويلها إلى أشكال أبسط تستفيد منها التربة (Gallo *et al*., 2009)، يُعدّ العرعر الفينيقي (*Juniperus phoenicea*) نوعًا نباتيًا هامًا واسع الانتشار في المناطق شبه القاحلة، لا سيما في الشرق الأوسط وحوض البحر الأبيض المتوسط، وينتمي إلى الفصيلة السروية. يتميز هذا النبات بقدرته العالية على التكيف مع الظروف البيئية القاسية كالجفاف وارتفاع درجات الحرارة والتربة الفقيرة بالمواد العضوية. وتساهم مخلفاته في إثراء التربة بالعناصر الغذائية خلال عملية التحلل. مع ذلك، تحتوي أوراق العرعر على تركيزات عالية من المركبات الفينولية والتانينات والزيوت الطيارة.

علاوة على ذلك، تُساهم المكونات الليغنوسليلوزية المعقدة في إبطاء عملية التحلل، مما يستلزم تدخل مجتمعات ميكروبية متخصصة قادرة على استغلال هذه المركبات المقاومة للتحلل (حسن، 2018)؛ (Pereira *et al*., 2019)، وأشار (khomutovska *et al*., 2024)، إلى أن تحلل الأوراق عملية تطورية، حيث تكون المركبات البسيطة أكثر وفرة في المراحل المبكرة، مما يسمح بنشاط سريع للكائنات الدقيقة التي تستخدمها بسهولة. ومع تقدم التحلل، تتناقص هذه المركبات تدريجيًا، بينما تزداد نسبة المركبات المعقدة. وأوضح (Luo *et al*., 2024)، أن المجتمعات الميكروبية السائدة في المراحل المبكرة من تحلل مخلفات النباتات تختلف عن تلك السائدة في المراحل اللاحقة، وذلك بسبب التغير المستمر في طبيعة المادة العضوية المتاحة. وتلعب البكتيريا دورًا هامًا، لا سيما خلال المراحل المبكرة والمتوسطة من عملية التحلل، وفقًا للدراسة Chiba *et al*., 2021)، أيضًا إلى أن إجمالي عدد البكتيريا يزداد في بداية التحلل نتيجة وفرة العناصر الغذائية سهلة التحلل. ثم يبدأ هذا العدد بالاستقرار أو التناقص مع تقدم عملية التحلل ونضوب هذه المركبات المتاحة بسهولة، بينما تستمر الكائنات الدقيقة القادرة على تحليل ركائز أكثر تعقيدًا في الازدياد خلال المرحلتين المتوسطة والمتأخرة. ومن بين هذه المجموعات الميكروبية، تُعرف الأكتينوبكتيريا بأنها من أكثر الكائنات الدقيقة تكيفًا مع الظروف البيئية القاسية. وهي بكتيريا خيطية موجبة الجرام، تتميز بقدرة عالية على تحمل الجفاف ودرجات الحرارة المرتفعة وانخفاض خصوبة التربة. كما تلعب الأكتينوبكتيريا دورًا حاسمًا في تحلل المواد العضوية، ولا سيما المركبات العطرية المعقدة مثل اللجنين والتانينات (علي، 2019)، تُعتبر بكتيريا Streptomyces واحدة من أكثر أجناس الأكتينوبكتيريا نشاطًا في عمليات التحلل (سعد، 2020)، وقد أظهرت دراسة تدعم هذه الفكرة أنه على الرغم من وجود الأكتينوبكتيريا بكثافة منخفضة في التربة، إلا أنها تمتلك نسبة عالية من الجينات المسؤولة عن إنتاج الإنزيمات المحللة للكربوهيدرات، مما يمنحها دورًا هامًا في تحلل السليلوز والهيميسليلوز واللجنين، لا سيما في التربة الفقيرة بالمغذيات (Bao *et al*., 2021)، وتزداد الأكتينوبكتيريا تدريجيًا خلال المراحل اللاحقة، مع ازدياد تعقيد المركبات العضوية (Khomutovska *et, al*., 2024) و (Burešová *et al*., 2019)، وفي السياق نفسه، أشار (Kammerer *et al*., 2018)، أيضًا إلى أن تُظهر الأكتينوبكتيريا زيادةً ملحوظةً خلال المراحل المتوسطة والمتأخرة مقارنةً بمجموعات البكتيريا الأخرى. كما تتأثر المجتمعات الميكروبية بعوامل بيئية وموسمية كدرجة الحرارة والرطوبة وتوافر العناصر الغذائية، والتي تؤثر بدورها بشكل مباشر على النشاط الميكروبي ومعدلات التحلل (Luo *et al*., 2024). وقد أشار **(Prévost-Bouré *et al*., 2011)** إلى وجود اختلافات موسمية واضحة في وفرة مجموعات البكتيريا، بينما سجلت (Khomutovska *et al*., 2024) اختلافات موسمية كبيرة في وفرة الأكتينوبكتيريا. كما أظهرت دراسات أخرى أن الأكتينوبكتيريا تستجيب بشكل مباشر للتغيرات البيئية (احمد، 2021) وتلعب دورًا هامًا في المناطق شبه القاحلة (Ye *et al*., 2024). وعلى الرغم من الدراسات العديدة التي أُجريت على تحلل مخلفات النباتات، إلا أن المعلومات المتعلقة بتغيرات أعداد الأكتينوبكتيريا أثناء تحلل أوراق العرعر لا تزال محدودة، لا سيما في البيئات شبه القاحلة. وتعتبر منطقة الجبل الأخضر في ليبيا بيئة مناسبة لدراسة هذه الظاهرة نظراً لوفرة شجيرات العرعر وتنوع ظروفها المناخية.

الهدف: تهدف هذه الدراسة إلى تتبع التغير في أعداد الأكتينوباكتيريا خلال تحلل أوراق العرعر عبر فصول مختلفة، بهدف فهم دورها في مراحل التحلل وإبراز أهميتها في إعادة تدوير المغذيات والحفاظ على خصوبة التربة.

موقع الدراسة:

اجريت هذه الدراسة بالجبل الاخضر في منطقة وردامه تمتد بين 47.32 شمال 21.43 شرق و منطقة قرنادة بين 43.32 شمال 54.21 شرق، الغطاء النباتي السائد هو نباتات دائمة الخضرة تتمثل في غابات قدرت مساحتها بحوالي 500 كم تقريباً (بن محمود، 1993).

المواد وطرق البحث:

في بداية التجربة تم وضع فرش بلاستيكي تحت شجيرات العرعر في الموقعين لتجميع الأوراق المتساقطة عليها. و تمت خياطة عدد 300 كيسا من أكياس البقايا النباتية (Litter Bags) من مادة تتحمل ظروف التحضين، و بأبعاد 10X10 سم و بها فتحات بحجم 1مم. و تمت تعبئة كل كيس بأوراق العرعر الساقطة بمقدار 0.5 جم، و تم تثبيت الأكياس تحت شجيرات العرعر على طبقة الدبال في الموقعين لمدة 24 شهرا، و بعد ذلك تم جمع عدد من الأكياس كل شهر من الموقعين بدأ من 16 يناير 2017 و انتهاء في 16 يناير 2019، الى ان تم جمع كل الاكياس المحضنة تحت شجرة العرعر، تم الاحتفاظ بالأكياس في الثلاجة على درجة حرارة 4مْ، بعد ذلك اجريت القياسات الميكروبية كما ورد في (الحداد و مبارك، 1991) و (Cappuccino and Sherman, 2008)، تم إجراء تخفيفات عشرية متسلسلة للعينة وزُرع 1 مل من كل تخفيف في اطباق بتري على وسط Dextrose-supplemented mineral medium و بعدد ثلاثة مكررات، ثم حضنت الاطباق عند درجة حرارة 28 مْ لمدة (6 أيام) بعد ذلك تم حساب متوسط أعداد البكتيريا، تم إجراء التحليل الإحصائي للقيم المتحصل عليها باستخدام تحليل التباين الثنائي العاملين (Two-way ANOVA).

اشتملت الدراسة على **عاملين**:

1. **الموقع** :الموقعان (الجبل الأخضر – منطقة وردامه، و قرنادة).
2. **الزمن** :خمس فترات زمنية لجمع العينات (بعد 2، 4، 6، 12، 24 شهرًا).

تم اعتبار كل تداخل بين الموقع و الفترة الزمنية **معاملة مستقلة**، ليصبح مجموع المعاملات = 2 × 5 = 10 معاملات.

بلغ عدد المكررات 30 كيسًا لكل معاملة (أي لكل موقع × فترة زمنية)، وتم مقارنة المتوسطات باستخدام اختبار Fisher's LSD عند مستوى معنوية 0.05.

النتائج و المناقشة

أظهر التحليل الإحصائي باستخدام تحليل التباين عدم وجود تأثير معنوي للزمن (P = 0.739)، أو الموقع (P = 0.052)، أو التفاعل بينهما (P = 0.317) على أعداد الأكتينوبكتيريا خلال فترة التحضين التي استمرت 24 شهرًا. هذه النتائج خلال فترة الدراسة لم تصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية. مع ذلك، لا يعني هذا غياب التأثيرات الثانوية أو التنظيمية على ديناميكيات المجتمعات الميكروبية، بل يعكس قدرة هذه المجموعة البكتيرية على الحفاظ على دورها الوظيفي داخل النظام البيئي رغم التغيرات العددية الملحوظة. تتوافق هذه الملاحظة مع المفهوم الوظيفي، الذي يُبرز قدرة المجتمعات الميكروبية على أداء وظائفها الحيوية الأساسية، مثل تحلل المواد العضوية وإعادة تدوير المغذيات، بغض النظر عن التغيرات البيئية.

كما أظهرت النتائج زيادة وانخفاضًا في متوسط أعداد الأكتينوبكتيريا تحت أشجار العرعر في أوقات مختلفة، مع وجود اختلافات في الاتجاه بين الموقعين المدروسين، مما يعكس الطبيعة الديناميكية للمجتمعات الميكروبية في التربة المتأثرة بتغير خصائص المواد العضوية المتحللة، بالإضافة إلى العوامل الموسمية مثل درجة الحرارة والرطوبة وظروف التربة المحلية (Khomutovska *et al.*, 2024).

على الرغم من أن التحليلات الإحصائية لم تكشف عن فروق جوهرية، فقد أظهرت الاتجاهات الوصفية تطورًا بيئيًا تدريجيًا يتوافق مع مراحل التحلل الكيميائي لمخلفات النباتات، مما يعكس استجابة وظيفية متخصصة لبكتيريا الأكتينوباكتيريا في البيئة شبه القاحلة لجبل الأخضر.

بعد شهرين من بدء الحضانة، وتحديدًا في 16 مارس 2017، لوحظ ارتفاع نسبي في عدد الأكتينوباكتيريا في كلا الموقعين، حيث بلغت القيم 9.4×10^8 في الموقع الأول و8.3×10^8 في الموقع الثاني. يُعزى هذا الارتفاع إلى وجود مركبات عضوية سهلة التحلل في بداية تحلل الأوراق، مثل السكريات الذائبة والأحماض الأمينية ومركبات الكربون البسيطة الأخرى، والتي تُوفر مصدرًا سريعًا للطاقة للكائنات الدقيقة، تُعد هذه المرحلة من أكثر المراحل نشاطًا ميكروبيًا، إذ يُحفز توافر الركائز الغذائية النمو والنشاط الإنزيمي بشكل كبير. تتوافق هذه النتائج مع نتائج (Chiba *et al.*, 2021)؛ (Kammerer *et al.*, 2018)، الذين أظهروا أن المراحل المبكرة من التحلل ترتبط بزيادة ملحوظة في النشاط الميكروبي.

بعد أربعة وستة أشهر من بدء الحضانة، في 16 مايو و16 يوليو 2017 على التوالي، ظهر تباين واضح بين الموقعين: انخفض عدد الأكتينوبكتيريا تدريجيًا في الموقع الأول، بينما لوحظ ارتفاع مؤقت في الموقع الثاني قبل أن يتراجع لاحقًا. يُعزى هذا التباين في المقام الأول إلى الانخفاض التدريجي في المركبات سهلة التحلل الحيوي، مما يؤدي إلى انخفاض الموارد المتاحة وتراجع أعداد الكائنات الحية الدقيقة التي تعتمد على هذه المواد. ويرتبط هذا التباين أيضًا بتزايد التنافس بين البكتيريا والفطريات على الموارد المحدودة خلال المراحل المتقدمة من التحلل، كما أوضحت (Burešová *et al.*, 2019)، حيث تؤثر التغيرات في التركيب الكيميائي للمادة العضوية على التعاقب الميكروبي. علاوة على ذلك، تلعب الظروف الموسمية دورًا هامًا في هذه الديناميكية، حيث أن درجات الحرارة و الرطوبة تؤثر في فصل الربيع على النشاط الميكروبي بشكل ايجابي، على الرغم من أن الجفاف وانخفاض رطوبة التربة قد يحدّان من نمو الكائنات الحية الدقيقة الحساسة في فصل الصيف، حيث تتطلب الأكتينوبكتيريا مستوى مائيًا كافيًا

$aw \approx 0.98–1.00$ للحفاظ على نشاطها الإنزيمي، بينما قد تدفعها الظروف الجافة إلى الدخول في حالة من السكون الأيضي (Stevenson et al., 2014).

بعد عام من الحضانة، وتحديدًا في 16 يناير 2018، سُجل ارتفاع في أعداد الأكتينوبكتيريا في كلا الموقعين، حيث بلغت 20.7×10^8 في الموقع الأول و13.3×10^8 في الموقع الثاني، وهي أعلى القيم المسجلة في الدراسة. يعكس هذا الارتفاع دورها المهم في المراحل اللاحقة من التحلل، عندما تصبح المادة العضوية المتبقية أكثر تعقيدًا وغنية بالمركبات المقاومة مثل السليلوز واللجنين والمركبات الفينولية.

تمتلك الأكتينوبكتيريا إنزيمات خارج خلوية، مثل السليولاز واللجنيناز، التي تمكنها من تحليل هذه المركبات المعقدة، مما يمنحها ميزة تنافسية في ظل هذه الظروف. وتتفق هذه النتائج مع نتائج (Khomutovska *et al.*, 2024) و (Kammerer *et al.*, 2018) و (Bao *et al.*, 2021)، والتي أظهرت أن بكتيريا الأكتينوباكتيريا تزداد نسبياً خلال المراحل المتأخرة من التحلل بسبب قدرتها الفسيولوجية القوية على استغلال المركبات العضوية المعقدة، خاصة في البيئات الفقيرة نسبياً بالمغذيات، وهو ما يدعم النمط الملاحظ في الدراسة الحالية بعد 12 شهراً من الحضانة.

بعد عامين كاملين من الحضانة، في 16 يناير 2019، بلغ عدد الأكتينوبكتيريا في كلا الموقعين أدنى مستوياته، حوالي 1.0×10^8، يُعزى هذا الانخفاض إلى استنفاد معظم المواد العضوية القابلة للتحلل الحيوي بعد فترة حضانة طويلة، بالإضافة إلى استقرار التوازن الديناميكي في المجتمع الميكروبي بعد استهلاك معظم العناصر الغذائية المتاحة.

يرتبط هذا الانخفاض أيضًا بظروف الشتاء ودرجات الحرارة التي تقل عن 10 درجات مئوية، مما يقلل بشكل ملحوظ من النشاط الإنزيمي والأيضي. تُظهر الأكتينوبكتيريا نشاطًا مثاليًا بين 25 و35 درجة مئوية، بينما تُبطئ درجات الحرارة المنخفضة نموها وتحللها. تتوافق هذه النتائج مع نتائج (Prévost-Bouré *et al.*, 2011) و (Luo *et al.*, 2024)، التي أظهرت أن التغيرات الموسمية في درجة الحرارة والرطوبة تتحكم بشكل كبير في ديناميكيات المجتمعات الميكروبية في التربة.

بشكل عام، تُظهر هذه الدراسة أن ديناميكيات الأكتينوبكتيريا تحت أشجار العرعر على مدى عامين ناتجة عن تفاعل معقد بين جودة المادة العضوية، والعوامل الموسمية، وظروف التربة المحلية. حتى في غياب فروق ذات دلالة إحصائية، تشير الاختلافات الوصفية إلى أن الظروف المحلية تؤثر على تكوين وتوزيع المجتمعات الميكروبية عبر الزمن. وأخيرًا، تُبرز هذه النتائج أن الأكتينوبكتيريا تحافظ على دورها البيئي ليس فقط من خلال وفرتها العددية، بل أيضًا من خلال قدرتها الوظيفية على التكيف مع التغيرات البيئية ومصادر الكربون، مما يجعلها مؤشرًا رئيسيًا على استقرار دورة المغذيات واستدامة الوظائف البيئية في النظم الإيكولوجية شبه القاحلة.

جدول (1) متوسط أعداد بكتيريا Actinobacteria CFU (10^8)

الزمن/شهر	وردامة		قرنادة	
	M	SD	M	SD
2	9.4	0.0	8.3	4.7
4	2.2	0.92	18.3	28.3
6	2.6	1.15	1.0	0.0
12	20.7	6.39	13.3	7.6
24	1.0	0.0	1.0	0.0

تأثير الزمن $P = 0.739^n$

تأثير الموقع $P = 0.052^n$

التفاعل بين الزمن والموقع $P = 0.317^n$

الاستنتاجات:

استنادًا إلى نتائج هذه الدراسة، نستنتج أن وفرة الأكتينوبكتيريا شهدت تقلبات واضحة خلال فترة التحلل (24 شهرًا). ومع ذلك، لم تكن هذه التغيرات ذات دلالة إحصائية، مما يشير إلى استقرار الدور البيئي للأكتينوباكتيريا على الرغم من التغيرات الموسمية والاختلافات بين مواقع الدراسة. لوحظ ازدياد في وفرة هذه البكتيريا بعد 12 شهرًا من الحضانة، مما يؤكد ازدياد نشاطها في المراحل المتأخرة من التحلل. وقد أظهرت عوامل عامة، كالمناخ والتركيب الكيميائي للأوراق، تأثيرًا ملحوظًا على نشاطها.

التوصيات التطبيقية:

يُنصح الجهات المسؤولة عن إدارة الغابات والموارد الطبيعية في منطقة الجبل الأخضر بالحفاظ على غطاء أشجار العرعر الطبيعي كمصدر مستدام لتخصيب التربة من خلال الكائنات الدقيقة المحللة. ويمكن تحقيق ذلك بمنع قطع الأشجار غير المنظم والرعي الجائر، اللذين يُخلّان بدورة التحلل البيولوجي. علاوة على ذلك، يُوصى بترك مخلفات النباتات في مكانها دون جمعها لمدة لا تقل عن 12 شهرًا للسماح لمجموعات متخصصة من البكتيريا الشعاوية بتحليل المركبات المعقدة، وإعادة تدويرها، وإطلاق العناصر الغذائية تدريجيًا.

المراجع العربية

أحمد، محمد علي. (2019). دور البكتيريا في تحلل المواد العضوية في التربة. *مجلة علوم التربة*، *15*(3)، 45–62.

البرقاوي، فاطمة سعد. (2020). الأكتينوباكتريا وإنزيماتها المحللة للسليلوز. *مجلة الأحياء الدقيقة التطبيقية*، *8*(2)، 123–140.
الجبوري، عبدالله حسن. (2018). نباتات العرعر في الوطن العربي: التصنيف والأهمية البيئية. دار النشر العلمي، بغداد، العراق.
الحداد، محمد أحمد الحاج، وأمبارك، محمد الصاوي محمد. (1991). تمارين معملية في ميكروبيولوجيا التربة (الطبعة الأولى). الدار العربية للنشر والتوزيع.
بن محمود، خالد رمضان. (1995). الترب الليبية: تكوينها – تصنيفها – خواصها – إمكانياتها الزراعية (الطبعة الأولى، ص 107–112). منشورات الهيئة القومية للبحث العلمي، بنغازي.
عبدالرحمن، سميرة أحمد. (2021). تأثير العوامل البيئية على نشاط البكتيريا المحللة في النظم البيئية الجافة. رسالة دكتوراه، جامعة الملك سعود، الرياض.

المراجع الأجنبية

- Bao, Y., Dolfing, J., Guo, Z., Chen, R., Wu, M., Li, Z., & Lin, X. (2021). Important ecophysiological roles of non-dominant Actinobacteria in plant residue decomposition, especially in less fertile soils. *Microbiome*, *9*(1), 74. https://link.springer.com/article/10.1186/s40168-021-01032-x
- Burešová, A., Kopecký, J., Hrdinková, V., Kameník, Z., Omelka, M., & Sagová-Marečková, M. (2019). Succession of microbial decomposers is determined by litter type, but site conditions drive decomposition rates. *Applied and Environmental Microbiology*, *85*(24), e01760-19. https://doi.org/10.1128/AEM.01760-19
- Chiba, A., Uchida, Y., Kublik, S., Vestergaard, G., Buegger, F., Schloter, M., & Schulz, S. (2021). Soil bacterial diversity is positively correlated with decomposition rates during early phases of maize litter decomposition. *Microorganisms*, *9*(2), 357. https://doi.org/10.3390/microorganisms9020357
- Cappuccino, J. G., & Sherman, N. (2008). *Microbiology: A Laboratory Manual* (8th ed.). Pearson.
- Gallo, M. E., Porras-Alfaro, A., Odenbach, K. J., & Sinsabaugh, R. L. (2009).Photoacceleration of plant litter decomposition in an arid environment.*Soil Biology and Biochemistry*, *41*(11), 2247–2254. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.07.010
- Kammerer, M., Wedekind, W., Pflug, A., Hoppert, M., & López-Doncel, R. (2018). Rapid microbial community changes during initial stages of pine litter decomposition. *Microbial Ecology*, *75*(4), 975–989. https://doi.org/10.1007/s00248-018-1209-x
- Khomutovska, N., et al. (2024). Seasonal dynamics in leaf litter decomposing microbial communities in temperate forests: A whole-genome-sequencing-based study. *PeerJ*, *12*, e17769. https://doi.org/10.7717/peerj.17769
- Luo, L., Xu, Z., Wang, X., & Zhang, Y. (2024). Soil microbial community dynamics and contribution to litter decomposition in Tibetan alpine Forest. *Catena*, *247*, 108516. https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108516
- Pereira, S., et al. (2019).Litter traits and rainfall reduction alter microbial litter decomposers.*FEMS Microbiology Ecology*, *95*(12), fiz168. https://doi.org/10.1093/femsec/fiz168

- Prévost-Bouré, N. C., et al. (2011). Seasonal dynamics of the bacterial community in forest soils under different quantities of leaf litter. *Applied Soil Ecology, 47*(1), 14–23. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.010
- Schroeter, S. A., et al. (2022).Microbial community functioning during plant litter decomposition.*Scientific Reports, 12*, 7734. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11485-1
- Stevenson, A., Cray, J. A., Williams, J. P., Santos, R., Sahay, N., Neuenkirchen, N., Hallsworth, J. E. (2014). *Water and temperature relations of soil Actinobacteria*. Environmental Microbiology Reports, 6(6), 744–755. https://doi.org/10.1111/1758-2229.12177
- Tuomi, M., et al. (2009). Leaf litter decomposition — Estimates of global variability based on the Yasso07 model. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/0906.0886
- Ye, H., et al. (2024). Identification of bacteria and fungi responsible for litter decomposition in desert steppes.*Frontiers in Microbiology, 15*, 1353629. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1353629

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual
author(s) and contributor(s) and not of **JLABW** and/or the editor(s). **JLABW** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.