الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان: علوم الطبيعة وحياة

شعبة: علوم بيولوجية

تخصص: التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات

الموضوع :

العلاقة التكافليّة بين النباتات والكائنات الحيّة الدقيقة الداخليّة endophytes كمحفزات للنمو وعوامل مقاومة للأمراض دراسة مقارنة ومراجعة

من إعداد الطالبتين:

- **زكور فرحات سمية**
- **فرحات هاجر**

نوقشت يوم 2024/06/04 من طرف اللجنة المناقشة:

أ.د. شويخ عاطف	أستاذ التعليم العالي	مؤطرا	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي
د. غرايسه نورة	أستاذ محاضر قسم ب	رئيسا	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي
د. غريب آمنة	أستاذ محاضر قسم ب	مناقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

الموسم الجامعي: 2024/2023

شكر وتقدير

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم " من لم يشكر الناس لم يشكر الله عز وجل ومن أهدى إليكم معروفا فكافئوه فإن لم تستطيعوا فادعوا له "

وعملا بهذا الحديث واعترافا بالجميل

نحمد لله حبًا وشكرًا وامتنانًا الذي وفقنا لإتمام هذا العمل

ونرفع كلمة شكر وعظيم امتنان وتقدير لأستاذنا المشرف

" د. شويخ عاطف "

على إشرافه ومساعدته لنا على إنجاز عملنا، شكرا لمساهمتك في إثراء موضوع دراستنا شكرا لحسن الرعاية
وخالص التوجيهات والتوصيات الصائبة، أستاذنا الفاضل نشهد أننا ما لقينا معك غير رحابة صدر، وبشاشة وجه وكرم أخلاق كل كلمات الشكر لا توافيك حقك

نسأل الله أن يجعل كل مجهوداتك وإخلاصك لنا في ميزان حسناتك وأن يبارك فيك وينفع بك.

ونتوجه بجزيل الشكر لأعضاء لجنة المناقشة الموقرة فلهم كل الثناء.

إلى كل الأشخاص الذين دعمونا وساهموا في إنجار هذا البحث

ونخص بالذكر " بـره جميلـة "

أسال الله تعالى أن يجعلكم جميعا ذخرا للوطن بوركتم وجزاكم الله الجزاء الأوفى.

والله مسؤول على أن ينفع هذا العمل على قدر العناء فيه وأن يجعله خالص لوجهه الكريم إنه على ذلك لقدير

إهداء

ما سلكنا البدايات إلا بتيسيره وما بلغنا النهايات إلا بتوفيقه وما حققنا الغايات إلا بفضله

إلى أعز الناس وأغلاهم على قلبي إلى أمي الحبيبة وإلى الرجل الأول في حياتي أبي المصون

إلى سندي الذي لا يميل إخوتي وأخواتي

مريم.. تركية..صبرين..عبد الحق..محمد البشير

إلى رفيقة هذا الدرب ومؤنسه "هاجر".. إلى من مد لي يد العون ولو بكلمة.

إلى زملاء الدفعة والأصدقاء والأحباب كل باسمه

أهديكم عملنا هذا المتواضع سائلة المولى تقبله ونفعنا به

سمية

إهداء

الحمد لله الذي ما تم جهد إلا بعونه وما ختم سعي إلا بفضله وتوفيقه

أهدي هذا النجاح لنفسي الطموحة للقوية التي تحملت كل العثرات وأكملت رغم الصعوبات

ابتدت خطواتي بطموح وانتهت بنجاح

إلى رجل الكفاح الى من زرع القيم والمبادئ الاسلامية إلى من أفنى زهرة شبابه في تربية أبناءه

"سندي أبي"

إلى والدتي الغالية أمدها الله بالعافية التي تابعت مراحل تعليمي بدعواتها لي بالتوفيق

إلى من أخذ بيدي نحو ما أريد، وأعاد إليّ ثقتي بقدرتي على التقدّم

" زوجي "

إلى من أنجبتها قلبا يضم سعادتي إلى الطفولة التي ملأت عالمي، وأبهجت جوارحي

بُنيتي " ألاء "

إلى من قيل فيهم " سنشد عضدك بأخيك " إخوتي وأخواتي

إلى من آمنت بقدراتي ومن تذكرني بقوتي أختي

"جويرية"

اللهم انفعني بما علمتني وانفع بي فالحمد لله على حسن التمام والختام

هاجر

الملخص

Abstract

الملخص

أجريت هذه الدراسة بهدف معرفة التأثير الايجابي للعلاقة التكافلية بين النباتات والكائنات الحية الدقيقة الداخلية endophytes كعوامل مكافحة حيوية للأمراض ومحفزات للنمو، حيث أفادت الدراسات بإمكانية استغلالها كبدائل حيوية عن الاسمدة الكيمياوية.

أظهرت النتائج المتوصل اليها قدرة الكائنات الحية الدقيقة الداخلية على تعزيز نمو النبات و تحفيز جهازه المناعي بإنتاج الهرمونات النباتية مثل الأوكسينات (IAA) التي تعمل على انقسام الخلايا وتمايزها، وقمع مسببات الأمراض بإنتاج مستقلبات ثانوية (القلويدات، الفينولات، التربينات...) وتحفيز مضادات حيوية جديدة وانتاج حاملات الحديد. كما يمكن استخدام هذه الكائنات للمعالجة النباتية للملوثات البيئية والسيطرة على الأمراض الفطرية عن طريق إنتاج الإنزيمات المحللة مثل الكيتيناز والسيلولاز...

الكلمات المفتاحية: العلاقة التكافلية، endophytes، محفزات للنمو، مسببات الأمراض، المكافحة الحيوية.

Abstract

This study was conducted with the aim of identifying the positive effect of the symbiotic relationship between plants and internal microorganisms (endophytes) as biological disease control agents and growth stimulants. Studies indicated the possibility of exploiting them as vital alternatives to chemical fertilizers.

The results obtained showed the ability of internal microorganisms to enhance plant growth. Stimulating his immune system by producing plant hormones such as auxins (IAA), which work on cell division and differentiation, suppressing pathogens by producing secondary metabolites (alkaloids, phenols, terpenes...) and stimulating new antibiotics and producing Siderophores. These

organisms can also be used for phytoremediation of environmental pollutants and control of fungal diseases by producing hydrolytic enzymes such as chitinase and cellulase…

Keywords: symbiotic relationship, endophytes, growth stimulants, pathogens, biological control.

فهرس المحتويات

شكر وتقدير .....
اهداء .....
اهداء .....
الملخص .....
فهرس المحتويات .....
قائمة الأشكال .....
قائمة الجداول .....
قائمة الاختصارات .....
مقدمة 1

الجزء النظري

الفصل الأول: العلاقات التكافلية عند النبات

مدخل: 6
1. التكافل Symbiose: 7
1-1- التقايض: Mutualisms..... 7
1-2- المعايشة Commensalisms:..... 7
1-3- أمثلة حول التكافل: 8

الفصل الثاني: عموميات حول الكائنات الحية الدقيقة الداخلية (Les endophytes)

مدخل: 18
1- تعريف الكائنات الحية الدقيقة Les endophytes: 19
2-موقع الكائنات الحية الدقيقة الداخلية للنبات:..... 20
3- الفطريات الداخلية: 20
3-1- تنوع الفطريات الداخلية:..... 21
3-2- تصنيف الفطريات الداخلية للنبات: 22
3-3- طرق انتقال الفطريات الداخلية داخل النبات:..... 24
4- البكتيريا الداخلية: 25
4-1- تنوع البكتيريا الداخلية:..... 25
4-2- أهم الأجناس المكونة للبكتيريا الداخلية :..... 25
4-3-انتقال البكتيريا الداخلية في النبات:..... 27
4-4- إستعمار البكتيريا الداخلية النبات: 28
5- دور الكائنات الحية الدقيقة الداخلية للنباتات:..... 30

5-1- تعزيز نمو النبات:..... 30
5-2- الحماية ضد مسببات الأمراض:..... 30
5-3- الحماية ضد الحيوانات العاشبة والحشرات:..... 31
5-4- تحمل الاجهاد اللاحيوي:..... 31

الجزء العمـلي

جرد ومقارنة أهم الدراسات حول العلاقة التكافلية بين النباتات و les endophytes كمحفزات للنمو ومكافحة مسببات الأمراض

1- المقال الأول:..... 35
المؤلفون:..... 35
الهدف من الدراسة:..... 35
المواد والطرق:..... 35
النتائج والمناقشة:..... 36
2- المقال الثاني:..... 42
المؤلفون:..... 42
الهدف من الدراسة:..... 42
المواد والطرق:..... 42
النتائج والمناقشة:..... 42
3- المقال الثالث:..... 49
المؤلفون:..... 49
الهدف من الدراسة:..... 49
المواد والطرق:..... 49
النتائج والمناقشة:..... 50
4- المقال الرابع:..... 53
المؤلفون:..... 53
4-2- الهدف من الدراسة:..... 53
المواد و الطرق:..... 53
النتائج والمناقشة:..... 53
5- المقال الخامس:..... 58
المؤلفون..... 58
الهدف من الدراسة..... 58
المواد و الطرق..... 58

نتائج الدراسة:..... 59
6- المقال السادس:..... 62
المؤلفون..... 62
الهدف من الدراسة 62
النتائج المتوصل اليها 62
7-المقال السابع: 64
المؤلفون..... 64
الهدف من الدراسة 64
المواد و الطرق..... 64
النتائج المتوصل اليها 64
8- المقال الثامن: 68
المؤلفون:..... 68
الهدف من الدراسة: 68
المواد والطرق:..... 68
النتائج والمناقشة: 69
الخاتمة..... 75
قائمة المراجع..... 77

قائمة الأشكال

الرقم	العنوان	الصفحة
الشكل (1)	العلاقة التكافلية بين النبات والفطر	9
الشكل (2)	فطر الميكوريزا الداخلية والخارجية	10
الشكل (3)	تثبيت النيتروجين بواسطة بكتيريا *Rhizobium*	13
الشكل (4)	عرض المجهر الإلكتروني النافذ لمقطع عرضي لـ *Bradyrhizobium japonicum* داخلية في جذر فول الصويا.	19
الشكل (5)	نمو الفطريات الداخلية بين خلايا وداخل خلايا الأنسجة المضيفة	20
الشكل (6)	فئات الفطريات الداخلية حسب موقع الأنسجة المستعمرة	22
الشكل (7)	طرق الانتقال (العمودي والأفقي) للفطر الداخلي نيوتيفوديوم على مضيفه *Festuca arundinaceae*	24
الشكل (8)	الانتقال العمودي للبكتيريا الداخلية في النباتات	28
الشكل (9)	استعمار البكتيريا الداخلية للنباتات المضيفة لها	29
الشكل (10)	رسم توضيحي لمقطع طولي وعرضي للجذور لمواقع استعمار البكتيريا الداخلية	29
الشكل (11)	المكافحة الحيوية للفطريات الداخلية *Penicillium citrinum* و *Aspergillus terreus* في نباتات عباد الشمس المصابة بمرض تعفن الساق المسبب بواسطة *Sclerotium rolfsii*.	37
الشكل (12)	تقدير محتوى Salicylic acid لنباتات عباد الشمس السليمة والمصابة بـ *S. rolfsii* المعالجة بالفطريات الداخلية	39
الشكل (13)	تقدير محتوى Jasmonic acid لنباتات عباد الشمس السليمة والمصابة بـ *S. rolfsii* المعالجة بالفطريات الداخلية	39
الشكل (14)	فعالية *P. fluorescens* (Pf1) و *T. harzianum* (Th15 ,Th16) الفردية والمشتركة على تعفن القدم في الفلفل الأسود تحت ظروف الاستنبات داخل الأصيص	44
الشكل (15)	فعالية *P. fluorescens* (Pf1) و*T. harzianum* (Th15 ,Th16) الفردية والمشتركة على تعزيز النمو في الفلفل الأسود تحت ظروف الاستنبات داخل الأصيص	44

الشكل (16)	تحريض نشاط peroxidase في نبات الفلفل المعالجة بـ *P. fluorescens* (Pf1) و *T. harzianum* (Th16, Th15) ضد *P. capsici*.	45
الشكل (17)	تحريض نشاط polyphenol oxidase في نبات الفلفل المعالجة بـ *P. fluorescens* (Pf1) و *T. harzianum* (Th16, Th15) ضد *P.capsici*.	46
الشكل (19)	اختبار العداء بين البكتيريا الفطرية الداخلية ضد *R. solani* (A) و (B) *Pantoea sp*.	50
الشكل (20)	زراعة نقية للعزلات البكتيرية الداخلية البنية (a) Bacillus cereus (EMS1 و EMS4)، (b) Enterobacter cloacae (EMS13، EMS14، و EMS16)، (c) Enterobacter hormaechei EMS18)	54
الشكل (21)	النشاط العدائي للسلالات البكتيرية المعزولة على نمو الفطريات *Fusarium oxysporum Macrophomina phaseolina* المسببة للامراض	56
الشكل (22)	موطن العينات النباتية التي تم جمعها. *Cynomorium Songaricum* (A) ينمو في التربة الرملية، B جذمور *Cynomorium Songaricum* على جذر النبات المضيف *Nitraria sibirica Pall*	58
الشكل (23)	التنوع المرفولوجي للفطريات الداخلية المعزولة من *Cynomorium songaricum*	59
الشكل (24)	إنتاج IAA بواسطة الفطريات الداخلية.	60
الشكل (25)	إذابة الفوسفات والزنك بواسطة الفطريات الداخلية.	61
الشكل (26)	مؤشرات نمو نباتات الطماطم المعالجة ب *Paraphaosphaeria* سلالة JRF11	63
الشكل (27)	النشاط العدائي ل Q2H2 ضد مجموعة من الفطريات المسببة للامراض	65
الشكل (28)	الكشف عن الإنزيمات المعادية وأنشطة تعزيز نمو النبات في Q2H2.	66
الشكل (29)	عزل البكتيريا الداخلية من ساق وأوراق وجذور نباتات الفراولة.	69
الشكل (30)	التأثير العدائي للبكتيريا الفطرية الداخلية ضد *R. solani*، (A) *R. solani* (الشاهد)، (L1) *B. velezensis* (B) مقابل *R. solani*،	70

	(D) *H. huttiense* ،*R. solani* مقابل (C) *B. megaterium* (L2) (S7) مقابل *R. solani*.	
الشكل (31)	تأثير T1 وT2 وT3 في وقاية نبات الطماطم من مرض عفن الجذور الناتج عن فطر *R. solani*	71
الشكل (32)	تأثير العزلات البكتيرية *B.velezensis*، *B. megaterium* و *H. huttiense* على محتوى الفينول لنباتات الطماطم السليمة والمصابة.	72
الشكل (33)	تأثير العزلات البكتيرية *B. velezensis* و*B. megaterium* و *H. huttiense* على H2O2 (A) و MDA (B) لنباتات الطماطم السليمة والمصابة. Healthy control الشاهد السليم، Infected control الشاهد المصاب.	73
الشكل (34)	تأثير العزلات البكتيرية *B. velezensis* و*B. megaterium* و *H. huttiense* على (SOD) و(POD) لنباتات الطماطم السليمة والمصابة.	73

قائمة الجداول

الرقم	العنوان	الصفحة
الجدول (1)	أنواع الفطريات الجذرية	11
الجدول (2)	تصنيف *Rhizobium*	14
الجدول (3)	أمثلة لبعض الفطريات الداخلية والنباتات المضيفة لها	21
الجدول (4)	معايير تصنيف الفطريات الداخلية	24
الجدول (5)	أمثلة لبعض البكتيريا الداخلية والنباتات المضيفة لها	26
الجدول (6)	التأثير المعزز للنمو للفطريات الداخلية *Penicillium citrinum* و *Aspergillus terreus* في نباتات عباد الشمس مع أو دون المرض المسبب بواسطة *Sclerotium rolfsii*.	36
الجدول (7)	تحليل عملية التمثيل الضوئي وفحص شدة المرض لنباتات عباد الشمس المعالجة بالفطريات الداخلية مع أو دون عدوى *Sclerotium rolfsii*	38
الجدول (8)	تأثير عوامل المكافحة الحيوية على النمو الفطري لفطر *P. capsici*	43
الجدول (9)	تثبيط البكتيريا الفطرية الداخلية ضد البكتيريا الممرضة *R. solani*	51
الجدول (10)	تثبيط البكتيريا الفطرية الداخلية ضد البكتيريا الممرضة *Pantoea* sp	52
الجدول (11)	امكانات تعزيز نمو النبات بالسلالات البكتيرية المعزولة.	55
الجدول (13)	تأثير عزلات *B.velezensis* و *H. huttiense* و *B. megaterium* على مرض عفن الجذور لنبات الطماطم بسبب *R. solani*	71

قائمة الاختصارات

AM: الفطريات الجذرية

AMF: الفطريات الشجرية

NPK: المغذيات الكبرى

PDA: أجار دكستروز البطاطس

OMA: أجار دقيق الشوفان

SA: حمض الساليسيليك

JA: حمض الجاسمونيك

PBS: محلول ملحي بالفوسفات

HCN: سيانيد الهيدروجين

Na Cl O: هيبوكلوريت الصوديوم

GA: الجبريلين

IAA: حمض اندول الخل

P: الفسفور

PGPB: البكتيريا المعززة لنمو النبات

SI: مؤشر الذوبان

DI: مؤشر المرض

ACC: ديامیناز 1-أمينوسيكلوبروبان-1-كربوكسيلات

MDA: malondialdehyde

H2O2: ماء أكسيجيني

ROS: الجذور الأكسيجينية الحرة

SOD: Superoxide dismutase

POD: Peroxidase

PPO: polyphenol oxidase

PAL: phenylalanine ammonia-lyase

مقدمة

إن الإنتاج الغذائي في حاجة ماسة إلى الزيادة وذلك لتلبية متطلبات العدد السكاني الذي هو في زيادة مستمرة، موازاة مع ذاك تواجه المحاصيل الزراعية عدة مشاكل منها الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض النباتية خصوصا الفطريات التي تهدد الأمن والإنتاج الغذائي المستدام (Haggag, 2010).

بهدف زيادة المحصول يلجأ المزارع إلى الأسمدة الكيمياوية والتي تعرف بأنها مواد طبيعية أو صناعية تزود النبات بعناصر غذائية ضرورية لنموه وتطوره وزيادة إنتاجه، (land Green 1975)، كما تعمل على مكافحة مسببات الامراض النباتية التي تعتمد على استعمال المبيدات الحشرية، الفطرية ومبيدات الأعشاب الضارة (Muhammad et *al*., 2010; Qin et *al*., 2011). لكن الاستعمال المفرط والعشوائي للأسمدة يسبب أضرار ونتائج كارثية منها: قلة المحصول، تلوث المياه الجوفية، تدهور التربة الزراعية وتأثيرات سلبيات كثيرة على النظام الحيوي خاصة والبيئي عامة (Howarth et *al*, 2002; Lopez et 2014 *.al*,

كل هذه المشاكل دفعت بالباحثين إلى البحث عن مصادر أخرى لمركبات جديدة نشطة بيولوجيا تكون أكثر فعالية وأقل سمية وأقل ضرر على البيئة. لسنوات مضت ضلت الأبحاث منصبة على الأحياء الدقيقة التي تعيش في التربة من أجل الحصول على مركبات جديدة إلاّ أنه على ما يبدوا أن عددها بدأ يتناقص في الآونة الأخيرة ما استلزم البحث على مواطن جديدة تسكنها الأحياء الدقيقة واحد من بين هذه المصادر الأحياء الدقيقة التي تسكن الأنسجة الداخلية للنباتات الراقية، هذه الكائنات يمكن أن تكون مصدر للمركبات النشطة بيولوجيا ذات الاستعمال المفيد في الزراعة، الطب والصناعة (Tejesvi et *al*., 2007).

الأحياء الدقيقة الداخلية للنباتات (Endophytes) هي الكائنات الدقيقة التي تعيش داخل أو بين أنسجة النباتات الحية الراقية من دون أن تتسبب لها في أعراض مرضية، هذه الأخيرة تلعب دور هام في صحة عوائلها من خلال تعزيز نموها والمقاومة لمختلف ظروف الإجهاد والحماية ضد الكائنات الدقيقة الممرضة والحشرات. من جهة أخرى أثبت أنها مصدر هام للمركبات الجديدة النشطة بيولوجيا حيث أنها قادرة على إنتاج مجموعة واسعة من المستقلبات الثانوية التي يمكن أن تكون لها نشاطية المضادات الحيوية، مضادات للطفيليات، مضادات للأكسدة، مضادات للسرطان واستعمالات واسعة في المجال الزراعي((Hasegawa et. *al*., 2006; Gao et *al*., 2010; Pimentel et *al*., 2010

كل نبات هو مجتمع معقد بدلاً من كائن حي واحد، بسبب مشاركته في ارتباطات متنوعة غير متجانسة يؤثر التفاعل المعقد بين مجموعة متنوعة من المجتمعات الميكروبية مع النبات المضيف على الفسيولوجيا البيئية مثل تغذية النبات، ومعدل النمو، ومقاومة الظروف الحيوية وغير الحيوية.

(Reinhold-Hurek & Hurek, 2011; Singh et *al*. 2011; Iqbal 2013)

تعيش الكائنات الحية الدقيقة الداخلية داخل النباتات في علاقة تكافلية وتستخدم عددًا من الاستراتيجيات للاستجابة لبيئاتها (Dudeja et *al*, 2012). حيث تحتوي على العديد من المركبات التي تحفز نمو النباتات وتساعدها على الاستجابة بشكل أكبر للبيئة للحفاظ على التعايش الصحي ,Varma (Das & 2009) . كما تدعم مضيفها عن طريق تطوير الهرمونات النباتية، وتوفير الحماية للنبات وقمع مسببات الأمراض، والتفاعل المباشر مع الغزاة(,Iniguez et *al*, 2005; Rosenblueth & Martínez 2006). وقد تساعد أيضًا في إزالة التلوث، وإذابة الفوسفات، وتوفير النيتروجين القابل للاستيعاب للنباتات (Santoyo et *al*, 2016) ، كما أنها تشترك في تفاعل متبادل وعدائي مع النبات المضيف قد تكون علاقتهم إلزامية أو اختيارية (Ngamau et *al*, 2012).

وفي هذا السياق وجب علينا طرح عدة تساؤلات مفادها معرفة دور الكائنات الحية الدقيقة endophytes في تعزيز نمو النبات والمكافحة الحيوية ضد مسببات الأمراض المختلفة من خلال العلاقة التكافلية بينها وبين النباتات.

قسم هذا العمل إلى جزأين هما النظري والتطبيقي، حيث ضم الجزء النظري فصلين: تضمن الفصل الأول العلاقات التكافلية عند النبات، في حين الفصل الثاني تناولنا فيه عموميات حول الكائنات الحية الدقيقة endophytes.

أما الجزء التطبيقي فقد تمثل في دراسة مقارنة ومراجعة لبعض الدراسات السابقة حول العلاقة التكافلية بين النباتات والكائنات الحية الدقيقة endophytes كمحفزات للنمو وعوامل مقاومة للأمراض، ومناقشة أهم النتائج المتحصل عليها ومقارنتها. وفي الأخير ختمنا دراستنا هذه بخاتمة مذيلة بتوصيات مستقبلية.

الجزء النظري

الفصل الأول
العلاقات التكافلية عند النبات

مدخل:

يُمكن النظر إلى البيئة على أنّها مجموعة الظروف الخارجية المحيطة التي تؤثر في نمو البشر، أو الحيوانات، أو النباتات، ويتكوّن النظام البيئي من العناصر الحية التي تشمل الحيوانات، والنباتات، والأحياء الدقيقة، إضافة لبيئتها المحيطة بها والتي تشمل الماء، والهواء، والتربة (دون اسم، 2020). تتفاعل الكائنات الحية مع بعضها البعض بشكل مستمر في البيئة التي يعيشون فيها، وقد يكون لهذا التفاعل آثار إيجابية أو سلبية على قدرة الكائنات الحية المختلفة على البقاء والتكاثر (Angela, 2022)، ترتبط هذه الكائنات الحية فيما بينها بمجموعة من العلاقات المتداخلة.

يعتبر التكافل من أهم العلاقات بين الكائنات الحية، لأنه يعمل على التعاون بين أنواع مختلفة من الكائنات الحية. تظهر هذه العلاقة بوضوح أن كلا الطرفين يستفيد من هذه العلاقة، ولن يؤذي أي منهما الآخر يمكن أن تحدث العلاقات التكافلية بين أنواع مختلفة من النباتات وأنواع مختلفة من الحيوانات، وقد تكون هناك أيضًا علاقات تكافلية بين النباتات والحيوانات مثل النحل والزهور، وهناك علاقة تكافلية تجعل الطرفين راضين عن بعضهما البعض ويعيشان معًا، حيث لا أحد يستطيع أن يعيش بمفرده (محمود، 2024).

يمكن أن يكون التكافل إجباريًا أو إلزاميًا مما يعني أن أحد المتكافلين أو كلاهما يعتمد كليًا على الآخر من أجل البقاء، أو اختياري في حال كان بإمكانهما العيش عمومًا بشكل مستقل(ضياء هادي، 2022).

1. التكافل Symbiose:

كان علماء النبات هم أول من سلط الضوء على أهمية التعايش في علم الأحياء وتأثيره على مورفولوجيا وفيسيولوجيا الكائنات الحية، العالم الألماني "ألبرت فرانك" أول من استخدم مصطلح التكافل Symbiose (1885) والذي يعني باللغة اليونانية "العيش معا" (Trappe, 2005). من جهة أخرى اكتشف العالم الألماني "أنطون دي باري" أن بنية الأشنة تنبثق من الارتباط التكافلي وعرف التكافل بأنه الارتباط الدائم بين كائنين أو أكثر من أنواع مختلفة، على الأقل خلال جزء من دورة حياتهم (Ludovic, 2009) . ويعرف التكافل بأنه علاقة حيوية وتفاعل بيولوجي وثيق بين كائنين حيويين مختلفين أو أكثر.

وأشهر العمليات التكافلية تثبيت النيتروجين عند البقوليات *Légumineuse* مع بكتيريا *Rhizobia* (Selami, 2017)، يسبب الارتباط التكافلي بين النبات والبكتيريا في تكوين هياكل متعددة الخلايا متضخمة على الجذر وأحيانا على مستوى ساق النبات المضيف تسمى العقيدات (Hopkins, 2003)، حيث يوفر النبات الظروف المناسبة والمواد المغذية للبكتيريا والتي تعمل في المقابل على تثبيت النيتروجين (Tortoar et *al*, 2003).

وتوجد صورتان للتكافل بين الكائنات الحية وهما:

1-1- التقايض: Mutualisms

ويعرف أيضا بالتبادلية "تبادل منفعة " وهي علاقة بين نوعين أو أكثر حيث تستفيد الكائنات الحية من هذه العلاقة مع وجود منفعة متبادلة (Janzen, 1985)، يستفيد الطرفان من بعضهما البعض ولا يستطيع أحدهما أن يعيش دون الآخر كما هو عند الأشنات والتي تعتبر كائنات حية متكافلة بين فطر وطحلب وتتقايض فيما بينها، فالطحلب من خلال التركيب الضوئي وبناء غذائه يوفر الغذاء للفطر في حين يمد الفطر الطحلب بالماء والعناصر المعدنية الأساسية الأخرى (عالية، 2010).

وفي مثال آخر عن التقايض العلاقة بين شقائق النعمان البحرية وسمكة المهرج، حيث يسمح المخاط الواقي الموجود على جسم السمكة بتحمل السم الذي تنتجه شقائق النعمان مما يمكنها من توفير المأوى، ومن ناحية أخرى تعمل سمكة المهرج على جذب الفريسة نحو شقائق النعمان عن طريق الاغراء وكذا الدفاع عنه ضد هجمات بعض الأسماك التي ترعى عليه (Cushmanet & Beattie,1991).

1-2- المعايشة Commensalisms:

وهي علاقة يتعايش فيها نوعان مختلفان من الكائنات الحية بطريقة تكفل الفائدة والمنفعة لأحدهما بينما لا يستفيد منها الطرف الآخر ولا يلحق به الضرر(عالية، 2010)، وهو تفاعل بيولوجي تشكله

الكائنات الحية بحثًا عن الغذاء والمأوى (Amanda ,2021) حيث يستفيد أحدهما كأن يحصل على الغذاء أو الحماية في حين لا يتأثر الطرف الثاني بهذه العلاقة سلبًا أو إيجابًا (Krebs, 2001)، والتعايش مختلف تمامًا عن التبادلية أو التطفل، وعادة ما يكون علاقة بين الطرفين مؤقتة أو طويلة الأمد حيث تبقى بعض الأنواع في التفاعل طوال حياتها، وقد يُظهر التعايش أشكالًا مختلفة من التكيف الهيكلي والوظيفي بناءً على العلاقة بين الكائنين الحيين (Capinera, 2008).

ومثالا على ذلك البرنقيل (قشريات بحرية) وهو نوع من الكائنات الحية البحرية الذي ينمو على الحيتان والحيوانات البحرية الأخرى، تنمو تلك القشريات البحرية وتتطور على هذه الأسطح دون أن تؤثر سلبًا على المضيف، حيث تتغذى على العوالق وغيرها من المواد الغذائية الهائمة في الماء أثناء تحرك الحيتان. وبهذه الطريقة تستفيد القشريات من الحيتان بالنقل والتغذية، مما يساعدها على الهروب من الحيوانات المفترسة والحصول على فرص تغذية أكثر تنوعًا، في حين أن الحوت لا يستفيد ولا يتضرر من البرنقيل.

1-3- أمثلة حول التكافل:

1-3-1- تكافل الكائنات الحية الدقيقة مع النبات:

نجد أن أقدم اكتشاف للعلاقة التكافلية بين النباتات والميكروبات كان في جذور الشجرة المتحجرة Amyelon radicians (Hyde et *al*., 2008). أشار(Wilson, 2005) في تعريفه للكائنات الحية الدقيقة الداخلية للنباتات على أنها هي الفطريات أو البكتيريا التي تقضي جزء أو كل دورة حياتها داخل الأنسجة النباتية الحية لكن لا تسبب في أي أعراض مرضية حيث تحظى كل من الفطريات والبكتيريا الداخلية endophytes باهتمام خاص وذلك لما تملكه من مميزات، التي تعود بالفائدة على عوائلها بتحسين نموها.

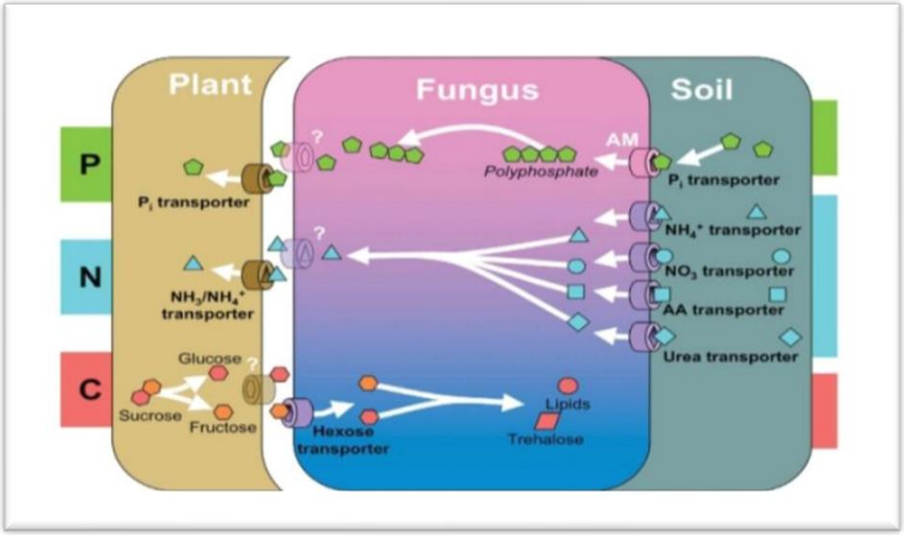
ونظرا لتعدد وتنوع أشكال التعايش يمكن إيجاز حالات أكثر أهمية في عمل المجتمع النباتي، يقدم نموذجا لدارسة الارتباط بين حقيقيات النوى وبدائيات النوى إنها ذات فائدة زارعية كبيرة يسمح التعايش بالإثراء الطبيعي للتربة بالنتروجين وتقليل مدخلات الأسمدة يتم إرجاع النتروجين المثبت عن طريق التكافل إلى التربة بعد تحلل المادة النباتية (الجذور- العقيدات - الأجزاء الهوائية) أوعن طريق فضلات الحيوانات التي ترعى كما وصف ذلك لأول مرة (Frank, 1988).

1-3-1-1- تكافل نبات . فطر:

ويتمثل في العلاقة التعايشية بين الكائنات الحية التي تنتمي الى مملكتين مختلفتين هما الفطريات وجذور النباتات وتعرف هذه الفطريات بالفطريات التكافلية وهي تعيش على التعاون للاستفادة من مصادر الطعام وتوفير الحماية. وهي تساعد في تحسين جودة التربة والإبقاء على التوازن البيئي (جواد، 2020).

وأشهر مثال فطر *mycorrhiza* يتكون مصطلح ميكوريزا *Mycorrhiza* من شقين Myco تعني فطريات وRhiza تعني جذور أي (فطريات الجذور) وأول من وضع هذه التسمية العالم الهولندي Frank (1885)، والفطريات الجذرية عبارة عن تكافل بين فطريات غير الممرضة وجذور النبات المضيف، هذه الأخيرة لها القدرة على إصابة 90% من الانواع النباتية بما في ذلك أشجار الغابات والأعشاب البرية والعديد من المحاصيل (Powell & Klironomos, 2007).

ويستفيد كلا الشريكين من العلاقة، فالفطريات الجذرية تُحسن الحالة الغذائية للنباتات المضيفة، وتؤثر إيجابيًّا في تغذية المعادن وامتصاص الماء، في المقابل تستفيد هي كذلك من المغذيات ذات المصدر النباتي لمواصلة نموها وتكاثرها (Smith & Read,2008)، كما هو موضح في (الشكل 1). كما أن لفطر الميكوريزا دور كبير ومهم في تقليل الإصابة بالمسببات المرضية في تربة الجذور تتمثل في إحداث المنافسة بينها وبين المسببات المرضية التي تنتشر معها في التربة وتكون هذه المنافسة على المركبات الكيميائية التي تفرز من قبل النبات وعلى المادة العضوية (مطرود، 2017).



الشكل (1): العلاقة التكافلية بين النبات والفطر(Bonfante & Genre, 2010)

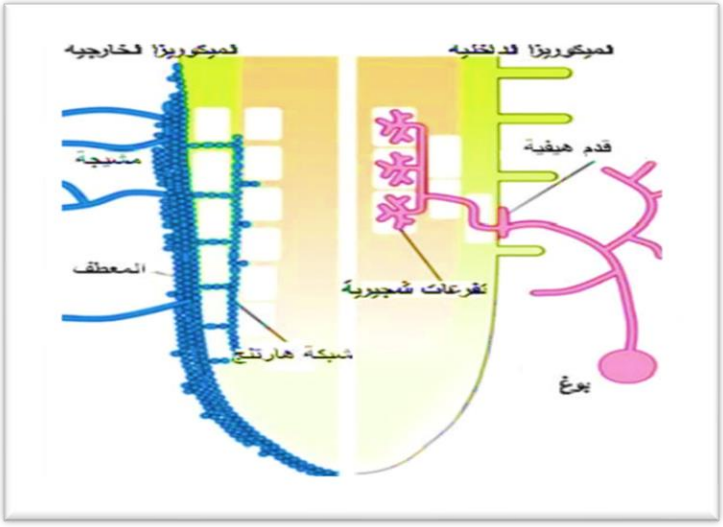
يتم التركيز على إزاحة الفسفور (P) والنيتروجين (N) والكربون (C) في واجهة التربة والفطريات والنباتات. يتم تناول P والأشكال المعدنية أو العضوية من N، مثل +NH4، No3- والأحماض الأمينية (AA)، من خلال ناقلات متخصصة تقع على الغشاء الفطري في النخاع الخارجي. يتم استيراد

NH3/NH4+ وPI (التي نشأت في الفطريات AM من التحلل المائي للبولي فوسفات) من الواجهة التكافلية إلى الخلايا النباتية من خلال ناقلات انتقائية. تقوم ناقلات Hexose باستيراد الكربون المشتق من النبات إلى الفطريات، في حين لم يتم تحديد بروتينات الناقل المشاركة في تصدير العناصر الغذائية من النبات أو الفطريات.

وتعد الفطريات الجذرية (Arbuscular mycorrhiza) أكثر أنواع التكافل الأرضي انتشارا، فطريات (AM)فقدت قدرتها على تحلل مركبات الكربون، مما منعها من أن تصبح مسببات الأمراض للنبات المضيف، سمحت هذه السمة المثيرة للاهتمام للفطريات بتكوين علاقات مع النباتات داخل الخلية النباتية، مما أدى إلى التكافل حيث تعمل الفطريات على تحسين إمداد النبات بالمياه والمواد المغذية، مثل الفسفور والنيتروجين.

في المقابل، يوفر النبات ما يصل إلى 20%من الكربون الثابت للفطريات، ومن الناحية النظرية، يجب أن تسمح هذه المساهمة للنبات بنمو الجذور في عمق التربة، واستعادة المزيد من العناصر الغذائية، وبالتالي السماح لها بالنمو بشكل أقوى وزيادة المحاصيل (القرعاوي، 2014).

تشمل الفطريات الجذرية العديد من المجموعات الرئيسية في مملكة الفطريات، وقد تم تصنيفها إلى مجموعتين بناء على نوع الواصلة الفطرية بالنسبة إلى أنسجة جذور النباتات وهما Endomycorrhizae وEctomycorrhizae كما بين (الشكل 2 والجدول 1).



الشكل (2): فطر الميكوريزا الداخلية والخارجية (Bonfante & Genre, 2010)

الجدول (01) : أنواع الفطريات الجذرية

الفطريات الداخلية Endomycorrhizae	الفطريات الخارجية Ectomycorrhizae
وهي نوع من أنواع الفطريات الجذرية وتسمى غالبا الفطريات الحويصلية الشجرية. (Mo et *al* ,2016) تخترق الخلايا النباتية (تعيش داخل النبات). تمتد الواصلة خارج الخلية لتشكيل شبكة واسعة تمتص الماء والمواد المغذية. تشكل الخيوط أكياس تخزين صغيرة (حويصلات) بين الحين والآخر. تتفرغ الهياكل المتخصصة الدقيقة التي تسمى arbuscules وتدخل الخلايا لتبادل العناصر الغذائية. الفطريات الجذرية المشقوقة هي الأكثر انتشارا في التربة. وجدت بشكل رئيسي بالاشتراك مع النباتات الوعائية. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): تعتبر الفطريات الشجرية أكثر أنواع الميكوريزا انتشارا وهي معروفة بتقاربها العالي بشكل ملحوظ مع الفسفور وقدرتها على امتصاص العناصر الغذائية، تشكل مواقع تبادل العناصر الغذائية مثل الفسفور والكربون والماء. الفطريات المشاركة في هذه الرابطة الفطرية هي أعضاء في عائلة Zygomycota ويبدو أنها متكافلة ملزمة، بمعنى آخر لا يمكن للفطريات أن تنمو في غياب مضيفها النباتي (Hildebrandt et *al*, 2001)	وهي نوع من أنواع الفطريات الجذرية وتسمى غالبا فطريات الإغماد. تعيش على السطح الخارجي للنبات. وجدت بشكل رئيسي بالاشتراك مع جذور الأشجار. تكون علاقتها التكافلية متبادلة مع النباتات الخشبية مثل البلوط، الصفصاف، الصنوبر وخشب الزان. قليلة الانتشار. تشكل كتلة سميكة حول جذور التغذية الدقيقة. على الرغم من أن الجذور تتكاثف وتتفرع بطرق تبدو غير طبيعية، إلا أنها لا تتضرر، وفي الواقع تساعدها الخيوط الفطرية. يرسل الغمد الفطري فروعا بين الخلايا السطحية للجذور من أجل تبادل العناصر الغذائية من التربة مقابل السكريات من النبات. الفطريات المشاركة في الرابطة الفطرية تنتمي عائلات Basidiomyota و Ascomyota توجد في العديد من الأشجار في بيئات أكثر برودة على عكس أفراد عائلاتهم المتعفنة بالخشب، فإن هذه الفطريات غير مهيئة لتحلل السيليلوز والمواد النباتية الأخرى، بدلا من ذلك تستمد العناصر الغذائية (السكريات) من جذور عائلها النباتي.

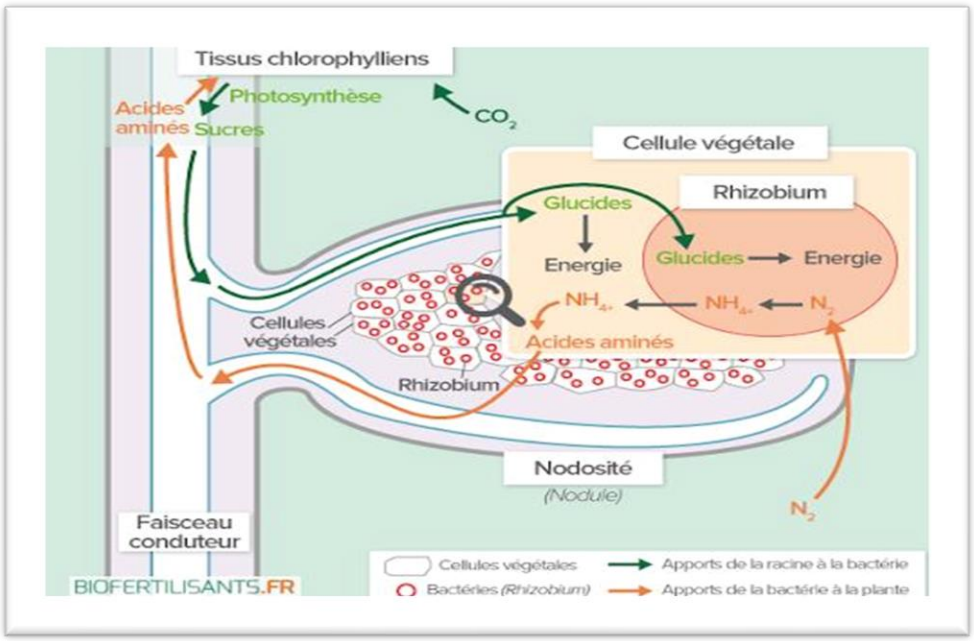
1-3-1-2- تكافل نبات . بكتيريا:

يتمثل في علاقة تكافلية تنشأ بين بكتيريا والنبات المضيف، تسمى هذه المجموعة ببكتريا العقد الجذرية bacteria *Rhizobium* لتواجدها في المنطقة الجذرية للنبات ، وأكثر الأمثلة شيوعا تعايش النباتات البقولية مع البكتيريا المثبتة للنيتروجين الجوي *Rhizobium* حيث أن العلاقة بينهما قائمة على أساس المنفعة المتبادلة، فالنبات يمد البكتيريا بما تحتاجه من المواد العضوية وغير العضوية اللازمة لها، بالمقابل يتلقى هو كذلك الإمداد بعنصر النتروجين ضمن ما يسمى بالعقد الجذرية او ما يعرف بالعقيدات nodosités وهي موقع النشاط التكافلي (Downie, 2005)، والتي يتطلب تكوينها تخصصا في البكتيريا ، بحيث تختلف أنواعها حسب النوع النباتي ، فلكل نبات أو مجموعة من النباتات جنس معين يُكون العقد الجذرية عليه (ألكسندر، 1988). تعد بكتيريا الـ *Rhizobium* بالغة التخصص للعلاقة بينها وبين النبات المضيف وهكذا فـ *Rhizobium phaseoli* يتعايش مع الفاصولياء، و *lupini* Rhizobium يتعايش مع الترمس.

تأخذ العقيدات الجذرية أشكالا مختلفة منها الضخم الكبير المتكون على الجذر الرئيس كما في الترمس، ومنها الصغير المستدير كما في الحمص، وثالث أشكال العقيدات الجذرية المتطاول كما في النفل، ورابعها المشطور والمتكون غالباً على الجذور الثانوية كما في الفول. تبدو البكتيريا المثبتة للآزوت في المقاطع العرضية للعقيدات الجذرية آخذة شكل X أوY ومشبعة بأصبغة حمراء تدعى ليغيموغلوبين leghemoglobine. كما توجد في العقيدات نسج وعائية تصل العقيدات بالحزم الوعائية اللحائية الجذرية. وتنشط بجوار الجذور الفتية السليمة ذؤابة من البكتيريا عصوية الشكل تتهيأ لدخول الجذور بالقرب من الأوبار الماصة التي تعدل في أشكالها متحولة إلى منحنية وملتوية مكونة «حبلاً جرثومياً» يؤمن الإصابة الجذرية وإيصالها إلى النسج الداخلية حتى تدرك المحيط الدائر في بعض الحالات وتأخذ البكتيريا عندئذ شكل X أو Y في الخلايا المضيفة المتضخمة. وهكذا تتكون العقيدات كما يبدو وفق آلية كيميائية منشطة أوكسينية (Curtis & Barnes,1981)، وجود هذه العلاقة التكافلية يتيح تثبيت أكبر عدد ممكن من النيتروجين الجوي وتحويله إلى أمونيا يمكن للنبات الاستفادة منه (ألكسندر، 1988).

تصبح البكتيريا قادرة على تثبيت الآزوت الجوي وتحويله إلى مركبات نشادرية أمونياكية، تتحول إلى مركبات أمينية في سيتوبلازم النبات المضيف، عندما يتم الاتصال بين العقيدة وأوعية المضيف. وتنتقل الأحماض الأمينية في النبات الذي يحقق لذاته مورداً من الآزوت الجوي. ولكن بكتيريا الـ *Rhizobium* لا تستطيع إنجار هذه العملية إلاّ إذا قدم لها النبات المضيف السكريات المناسبة التي تتكون في الأجزاء

الخضراء في الفصيلة الفولية. وهكذا يقدم النبات الأخضر السكريات للبكتيريا مؤمناً لها التغذية الكربونية السكرية، وتمنح البكتيريا الآزوت الجوي بشكل نشادري وأميني وبروتيني موفرةً للنبات المضيف التغذية الذاتية الآزوتية البروتينية. وتمثل هذه المبادلات الغذائية التعايش في أشكاله الحقيقية (Curtis & Barnes,1981).



الشكل (3): تثبيت النيتروجين بواسطة بكتيريا *Rhizobium* (Bhattacharyya & Jha, 2012)

في الجذور، تدور الكربوهيدرات ومركبات الكربون (من عملية التمثيل الغذائي والتمثيل الضوئي في النبات)، والتي تعمل كغذاء لنمو البكتيريا (الأسهم الخضراء). وفي الوقت نفسه، تأخذ البكتيريا النيتروجين الجوي N2 وتحوله إلى NH4+ (بفضل النيتروجيناز) الذي يمكن للنبات استيعابه.

ومن صور التكافل في العقد الجذرية نجد:

- التكافل بين الريزوبيا والنباتات البقولية symbiosis legume–Rhizobium كما في البرسيم.
- التكافل بين الريزوبيا والنباتات غير البقولية symbiosis legume non–Rhizobium كما في cannabina trema.

كما يوجد تكافل بكتيريا خيطية من جنس *Frankia* رتبة *Actinomycetales* عائلة *Frankiaceae* واهم مميزات أفراد جنس *Frankia* انها تكون عقدا جذرية على النباتات غير البقولية كبيرة الحجم خشنة ودائمة تسمى actinorhizea ، ولها قدرة على تثبيت النيتروجين الجوي تكافليا مثل شجر الكازورينا (دون اسم، 2010).

الجدول (2): تصنيف *Rhizobium* (De Lajudie, 1993)

Classe	Order	Famille	Gener	Espéce	Biovar	Plante hôte
SCHIZOMYCETES	EUBACTRIAL	RHIZOBIACEAE	*Bradyrhizobium*	*B. japonicum*		
				B. elkanii	*Vicia*	*Glycine max*
				Bradyrhizobium sp		*Vigna sp Lupinus sp Acacia Mimosa Aeshnomene sp*
			Rhizobium	*R. Leguminosarum*	*Vicia*	*Pisum, Vicia Lcns, Lathyrus*
				R. trifolii	*Trifolii*	*Trifolium*
				R. phaseoli	*Phaseoii*	*Phaseolus*
				R.meliloti		*Melilotus*
				R.loti		*Lotus*
				R.galegae		*Galegae*
				R.tropic		
				R.huakni		*Phaseolus Vulgaris Beans*
				R.elti		*Astragalus Sinicus*
				R.fredit		*Phaseolus Vulgaric*
			Azorhizobium	*A.Colinodans*		*Glycine max*
			Sinorhizobium	*S.fredii*		*Sesbania Rostreta*
				S. xinjiangensis		*Glycine soja Glycine max*

1-3-2- تكافل حيوان . حيوان:

تستخدم الحيوانات علاقة تكيف للتعايش مع بعضها البعض وذلك من خلال إنشاء علاقة تكافلية يتبادل فيها الطرفان بعض المنافع ولا يوجد حيوان واحد على الأرجح لا يكون عائلا لنوع واحد تكافلي على الأقل، وقد تكون العلاقة التكافلية بينهما إما إختيارية في هذا النوع باستطاعة نوعين من الحيوانات الارتباط تكافليا مع بعضهما البعض ولكن ليس من الضروري أن يتم ذلك دائماً حيث يستطيع كلا منهما أن يحيا

حياة مستقلة عن الآخر، ومن ناحية أخرى قد تكون العلاقة إجبارية وفيه يكون الارتباط التكافلي بينهما ضرورياً لحياة أحدهما.

وتبنى العلاقة التكافلية بين نوعين من الحيوانات على أساس المنفعة مثلما هو عند طائر القراد والخرتيت فطائر القراد يحصل على غذائه المكون من القراد الموجود على جلد الخرتيت كما أنه أيضاً يحصل على الوقاية اللازمة حيث لا تهاجمه الحيوانات الأخرى، أما الخرتيت فيستفيد فائدتين أيضاً وهما التخلص من القراد والطفيليات التي تعيش على امتصاص دمه وتسبب له بعض الآلام وأيضاً يستفيد من عملية التحذير من الخطر وذلك لأن طائر القراد ببصره الحاد يستطيع مشاهدة أي حيوان ينوي مهاجمة الخرتيت ولذلك عندما يحس بدنو هذا الخطر فإنه يطير من فوق ظهر الخرتيت لأي غصن شجرة وعند مغادرته لظهر الخرتيت فأنه ينبهه بأن هناك خطر ما فيستعد لمواجهته.

وعند أنواع أخرى من الحيوانات تكون العلاقة التكافلية بينهما على أساس المعايشة مثل الريمورا وسمك القرش فالريمورا سمكه عظمية وفيها الزعنفة الظهرية متحورة إلى ما يشبه الممص بواسطته تلتصق ببطن القرش وتنتقل معه أينما سار وتستفيد الريمورا بحصولها على الغذاء المتناثر من فم القرش أثناء تناوله للطعام كما أن وجودها معه يسبغ عليها وقاية كبيرة وتحصل على انتشار جغرافي واسع بتنقلاتها مع سمكة القرش أما سمكة القرش فلا تستفيد كما أنها لا تصاب بأي ضرر من هذه العلاقة (السعدون، 2011).

1-3-3- تكافل حيوان . نبات:

يتمثل التعايش بين الحيوان والنبات في عدد من الأنواع الحيوانية المائية أمثال وحيدات الخلايا الحيوانية والاسفنجيات فهناك تعايش حادث بين حيوان الهيدرا والاشنات الخضراء " الكلوريلا "، قائم على تبادل المنفعة بينهما، حيث تستفيد الاشنات من ثاني أوكسيد الكربونّ الذي يلفظه الهيدرا، ويستفيد الهيدرا منها بتغذية النشاء (الحسُّون،1971).

ويعد بعض طرائق التأبير الحشري لبعض النباتات المغلفات البذور نموذجاً من التعايش؛ إذ تتغذى الحشرة بالرحيق الزهري وبالطلع الذي تنقله من سداة إلى أخرى، ومن ميسم إلى آخر محققة بذلك استمرارية الحياة للأنواع حشرية التلقيح.

فنبات المريمية مزود بدواسة تقلب المحتوى المئبري على ظهر الحشرة، وترتاد زهرة اليوكا حشرة تضع يرقاتها داخل الزهرة محققة بذلك التأبير المختلط. وبعض الأزهار تكون مهيأة بحيث يمكن إخصابها بواسطة أنواع معينة من الحشرات، التي تزورها لجمع الرحيق، ويعتبر هذا نوعا من الارتباط أو التعايش بين النبات والحيوانات يستفيد منه الطرفان. غير أنه في الواقع ليس سوى ارتباط عابر أو مؤقت، فالحشرة تزور النبات

ولا تحدث المعايشة في غير موسم الإزهار. إلا أنه توجد أنواع من التحالف دوما بين النباتات والحيوانات، يصفها البيولوجيون بأنها حالة من التعايش المشترك Symbiosis (Curtis & Barnes,1981).

1-3-4- تكافل نبات . نبات:

يتمثل التعايش بين نباتين يخضوريين بتعايش الطحالب الزرقاء المثبتة للنتروجين مع عدد من النباتات اليخضورية، فالكبدية *Peleia* تتعايش مع النوستوك، والأزولة *Azolla* تتعايش مع الأنابينا الأزولية *Anaboena azolae*، وعاريات البذور والسيكاس تتعايش مع الأنابينا السيكاسية *Anaboena cycadae*.

وتعد الأشنات من أبرز أمثلة التعايش بين نباتين أحدهما فطري عديم اليخضور، وثانيهما طحلبي يخضوري، وهكذا يتعذر على أحد الشريكين الحياة وحده حياة حرة طبيعية.

وتعتمد زهرة السحلب "Orchids" على الشجرة المضيفة للحصول على ضوء الشمس والمواد الغذائية التي تنساب على الأغصان. كما تبقى تلك الأزهار صغيرة، ولا تؤذي الشجرة المضيفة بأي شكل من الأشكال. وتمتلك عملية التمثيل الضوئي الخاصة بها ولا تمتص أي مغذيات من الشجرة، فقط الماء الذي يتدفق على اللحاء الخارجي، ومن ناحية أخرى، لا تكتسب النباتات المضيفة أي فوائد من زهرة السحلب.

الفصل الثاني
عموميات حول الكائنات الحية الدقيقة الداخلية
(Les endophytes)

مدخل:

خلق الله سبحانه الكائنات الحية وأبدع في تكوينها، من حيث الاشكال والألوان والحجوم، من بين هذه الكائنات نجد تلك التي لا يمكن رؤيتها الا باستخدام المجاهر لصغر حجمها، فيطلق عليها بالكائنات الحية الدقيقة (الاحياء المجهرية)، تمثل الكائنات الحية الدقيقة غالبية الكائنات الحية. حيث يقدر جرامًا واحدًا من التربة ما بين 6000 إلى 50000 نوع بكتيري وما يصل إلى 200 ألف نوع فطري.

جذب انتباه الباحثين في العقود الأخيرة دراسة هذه الكائنات واستخدامها لتعزيز التغذية من خلال توافر العناصر في التربة ومكافحة أمراض النبات دون استخدام الأسمدة الكيمياوية، المبيدات الحشرية أو مبيدات الأعشاب.

أحد الكائنات الحية الدقيقة النموذجية التي لديها القدرة على تعزيز نمو النباتات والحماية من مسببات الأمراض هي مجموعة من المجتمعات البكتيرية المفيدة المعروفة باسم الكائنات الحية الدقيقة الداخلية (Les endophytes) الموجودة في أعضاء النبات مثل الجذور والأوراق والسيقان والبراعم والزهور (Lin et *al*,2022 ; Parniske, 2018).

1- تعريف الكائنات الحية الدقيقة Les endophytes:

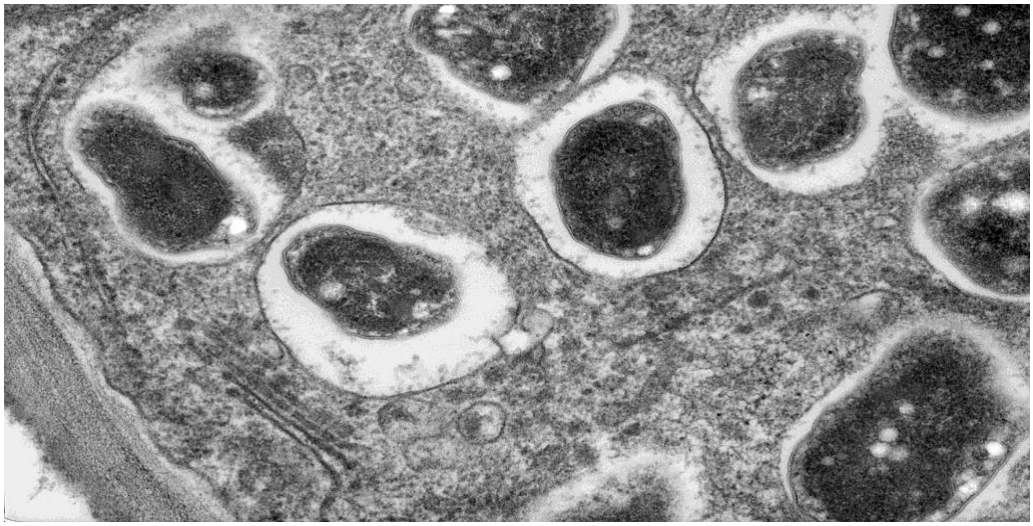
مصطلح endophyte هو مصطلح ذو شقين مشتق من اللغة اليونانية (Endo: داخل، Phyto: النبات) (Bennaim & Daifallah,2020) ، أول من أطلق هذا المصطلح (De bary, 1866) إذ عرفه بأنه جميع الكائنات الحية التي تستعمر أنسجة النبات الداخلية .

أما التعريف الأكثر استخداما والأوسع هو تعريف (Petrini, 1991) الذي عرفها بأنها جميع الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الأعضاء النباتية في مرحلة ما من حياتها ويمكنها استعمار الأنسجة الداخلية دون التسبب في ضرر واضح للمضيف (Hyde & Soytong, 2008).

كما أشار (Lu *et al*,2018) إلى أنها كائنات دقيقة تستعمر الجزء الداخلي من النباتات المضيفة دون التسبب في مرض واضح.

أما (Caroll,1986) فقد عرف هذه الكائنات بأنها فطريات تستعمر الجزء الهوائي من أنسجة النبات الحية ولا تسبب أعراض المرض.

بينما قام (Wilson ,1995) بتعريفها على أنها قد تكون فطريات أو بكتيريا تستعمر أنسجة النباتات مسببة بذلك التهابات غير مرئية.



الشكل (4): عرض المجهر الإلكتروني النافذ لمقطع عرضي لـ*Bradyrhizobium japonicum* داخلية في جذر فول الصويا.

استعمرت بكتيريا *Bradyrhizobium japonicum* الجزء الداخلي من جذور فول الصويا وأنشأت تعايشًا مثبتًا للنيتروجين. تُظهر هذه الصورة الشبكة الإندوبلازمية والديكتيوسوم وجدار الخلية.

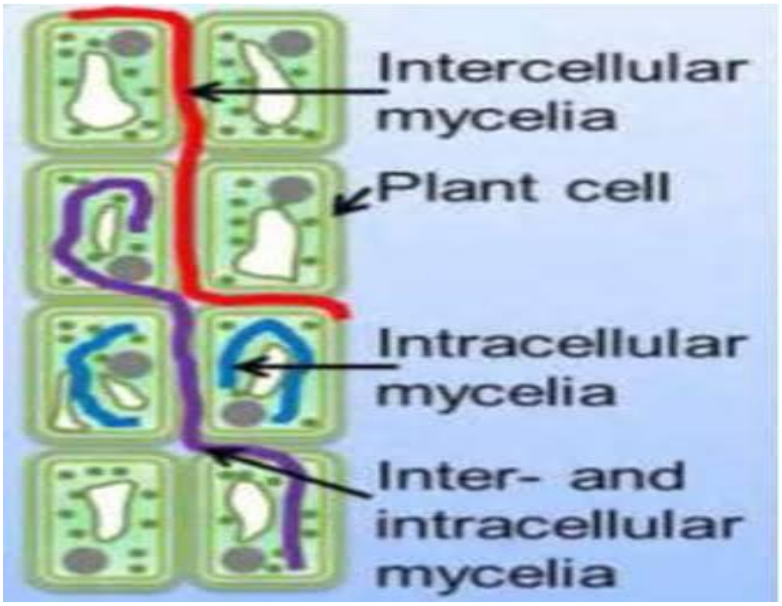
2-موقع الكائنات الحية الدقيقة الداخلية للنبات:

تشغل الكائنات الداخلية بشكل رئيسي المساحات بين الخلايا في الأنسجة. بالإضافة إلى ذلك، تظهر بعض البكتيريا الداخلية استعمارًا داخل الخلايا في الفجوات. توفر الأنسجة الداخلية للنباتات بيئة مناسبة للكائنات الحية الدقيقة من خلال حمايتها من الظروف البيئية القاسية مثل درجة الحرارة والأشعة فوق البنفسجية...الخ (Ariba *et al.*, 2021).

3- الفطريات الداخلية:

منذ 1989 تمت دراسة الفطريات الداخلية، اذ تم وصفها على أنها فطريات قادرة على استعمار الأنسجة النباتية السليمة. قد تسبب بعض الأعراض المرضية إلا أن لها استخدامات طبية واعدة، بعضها لديها القدرة على انتاج مستقلبات نشطة بيولوجيا (Chaibi *et al*,2021).

تم اكتشاف الفطريات الداخلية في جميع أنواع النباتات تقريبا، لديها القدرة على استعمار عدة عوائل مختلفة بواسطة نوع واحد (Belazouz,2020). يمكن أن تستعمر الأنسجة وذلك بنموها داخل أو خارج الخلايا اعتمادا على خصوصية كل منهما(الشكل5) (Boufares ,2021).



الشكل(5): نمو الفطريات الداخلية بين خلايا وداخل خلايا الأنسجة المضيفة

(Andéol & Benjamin, 2016).

3-1- تنوع الفطريات الداخلية:

تعد الفطريات الداخلية هي الأكثر دراسة وعزلا مقارنة بالبكتيريا الداخلية(صدراتي،2011)، تملك تنوع بيولوجي هائل اذ قدرت عدد الأنواع النباتية حوالي 300.000 نوع نباتي وكل نوع هو مضيف لنوع او أكثر من الفطريات الداخلية(الجدول3). (Belaidi & Maaoui, 2015)

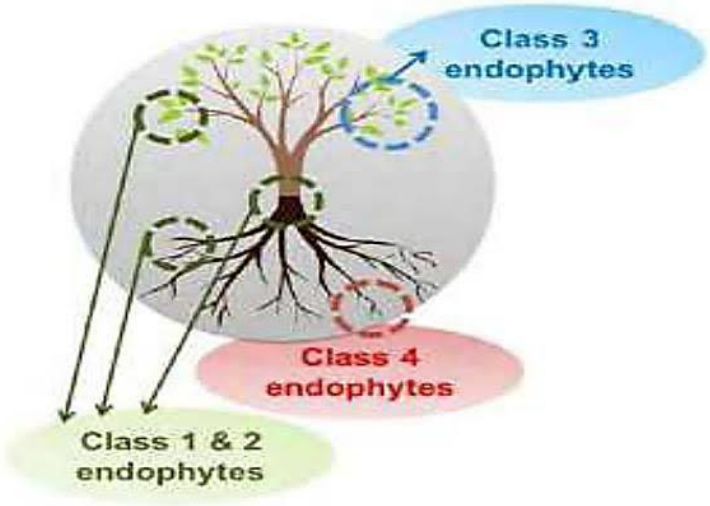
تنتمي أغلب الفطريات الداخلية إلى شعبة الفطريات الزقية (*Ascomycota*) مع ذلك يمكن أن تنتمي إلى الشعب الأخرى (*Zygomycota, Deuteromycota, Basidiomycota,*)، قدرت بحوالي 1.5مليون نوع ما يقارب 50نوع لكل نوع نباتي (Aouarib & Lemsara ,2016)

الجدول (3): أمثلة لبعض الفطريات الداخلية والنباتات المضيفة لها (Watts et *al*, 2024).

الفطريات الداخلية	النبات العائل
Heteroconium chaetospira	*Chinese cabbage*
Aspergillus niger AP5, P85	*Arachis hypogaea*
Cladosporium cladosporioides BOU1	*Solanum melongena*
Epichloe coenphiala AR584	*Tall fescue*
Fusarium oxysporum 24o, V5W2	*Musa spp*
Epichloe gansuensis	*Achnatherum inebrians*
Acremonium sp. Lp1,2	*Lolium perenne*
Aspergillus terreus AM2	*Moringa oleifera*
Epichloe festucae Fr1, 11, E365	*Lolium perenne*
Paraphaeosphaeria sporulosa	*Actinidia deliciosa*
Penicillium bilai	*Elaeis guineensis*
Penicillium oxalicum P4	*Elaeis guineensis*
A. lipoferum	*Zea mays*
Penicillium citrinum IR-3-3	*Ixeris repenes*
Penicillium commune KNU5379	*Seasamum indicum*
Penicillium funiculosum	*Glycine max*
A. brasilense	*Zea mays*
Sphaceloma manihoticola Lu949	*Manihot esuclenta*
Diaporthe sp.	*Festuca rubra*
Neotyphodium lolii NEA4	*Lolium perenne*
Acremonium coenophialum	*Festuca arundinacea*
Aspergillus flavus	*Euphorbia geniculata*
Gilmaniella sp. AL12	*Atractylodes lancea*
Phomopsis liquidambari	*Bischofia polycarpa*

3-2- تصنيف الفطريات الداخلية للنبات:

تنقسم الخلايا الداخلية حاليًا إلى 4 فئات وفقًا للعائل للنابت الداخلي المعني، والموقع في الأنسجة المضيفة (الشكل 5) وطريقة نموه والانتقال (Andéol & Benjamin, 2016). يتم تجميع هذه الفئات الأربعة بدورها في قسمين كبيرين: الفطريات الداخلية ذات الفئة 1 الترقوية (Clavicipitaceae) و تنقسم غير الترقوية (Non-clavicipitaceae) (Bentoumi & Saadsaoud, 2022) إلى 3 فئات : الفئة 2 و الفئة 3 و الفئة 4 (الجدول 4، الشكل 6).



الشكل (6): فئات الفطريات الداخلية حسب موقع الأنسجة المستعمرة (Andéol & Benjamin, 2016).

تختلف مواقع استعمار الفطريات للنباتات المضيفة، حيث تستعمر الفئة الأولى بشكل رئيسي السيقان والجذور، والفئة 2 تستعمر غالبا الجذور، أما الفئة 3 فتستعمر الأجزاء الهوائية (الأوراق بشكل أساسي)، وتستعمر الفئة 4 الجذور.

3-2-1- الفطريات الداخلية ذات الفئة 1:

وهي التي تشمل الفطريات التي تكون في الأساس طفيلية على النباتات أو الحشرات أو غيرها (Andéol & Benjamin, 2016)، وفي كثير من الأحيان على زيادة الكتلة الحيوية النباتية، وتمنح القدرة على تحمل الجفاف، وتنتج مواد كيميائية سامة للحيوانات وتقلل من الحيوانات العاشبة (Rodriguez et *al.*, 2009).

تتكون هذه العائلة حاليًا من 37 جنسًا، أربعة منها تحتوي على أنواع قادرة على التكاثر الداخلي: *Balansia* و*Ephelis* و*Epichloë* و*Neotyphodium* (Bouyaiche & Guedjal , 2018).

3-2-2- الفطريات الداخلية ذات الفئة 2:

تحتوي الفطريات الداخلية من الفئة 2 على طيف مضيف واسع. يمكنهم استعمار جميع أجزاء النبات والنمو على نطاق واسع بشكل رئيسي في البيئة بين الخلايا.

غالبًا ما يكون انتقالها عموديًا، ولكن في بعض الأحيان يكون هناك انتقال أفقي، خاصة عندما يكون العائل مسنًا، ويخرج الفطر من العائل ويتكاثر. بعض هذه النباتات الداخلية هي أيضًا نباتات رمامية ويمكن أن تستعمر التربة.

ينتمي معظمها إلى الفطريات الزقية مع أقلية من الفطريات القاعدية. (Rodriguez et *al*., 2009).

3-2-3- الفطريات الداخلية ذات الفئة 3:

تتكون بشكل رئيسي من الفطريات الزقية، نطاق المضيفين واسع جدًا. يمكن لأفراد هذه الفئة أن يستعمروا عدد كبير من الأجزاء الهوائية للنبات ولكن بطريقة موضعية للغاية (Andéol & Benjamin, 2016). انتقالهم أفقي تمامًا، على وجه الخصوص عندما يكون العائل في مرحلة الشيخوخة التي يخرج منها الفطر وينتج جراثيم جنسية أو لا جنسية(Cherrar & Hamza, 2020).

تجمع هذه الفئة من الفطريات الداخلية جميع الأنواع الفطرية التي تستعمر أوراق الأشجار، وأكثرها شيوعًا *Aspergillus, Trichoderma, Penicillium, Phoma, Cladosporium, Glomerella, Aureobasidium, Epicoccum, Fusarium, Acremonium, Chaetomium, Acromoniella, Verticillium, Alternaria, Bipolaris, Cordyceps, Curvularia, Geotrichum, Monilia, Mucor, Neoscytalidium, Phomopsis, Rhizoctonia, Scedosporium, Xylaria et Paraphaesphaeria*

3-2-4- الفطريات الداخلية ذات الفئة 4:

تحتوي هذه الفئة على طيف مضيف واسع، على الرغم من أنها غالبًا ما توجد مرتبطة بالشجيرات أو الأشجار، وخاصة الأنواع الصنوبرية، تستعمر فقط جذور النبات على نطاق واسع (Andéol & Benjamin, 2016)، تتميز بطبيعة خيوطها وهي مقسمة وداكنة اللون بسبب وجود مادة الميلانين. تستعمر البيئات داخل وخارج الخلية للمضيف بدون أعراض. تتكاثر لا جنسياً مع وضع انتقال أفقي.

لديهم دور مهم بشكل خاص في البيئات القاحلة وشبه القاحلة وجبال الألب أو تحت جبال الألب (بيئة الإجهاد اللاأحيائي العالية).

الجدول (4): معايير تصنيف الفطريات الداخلية (Rodriguez et *al*, 2009)

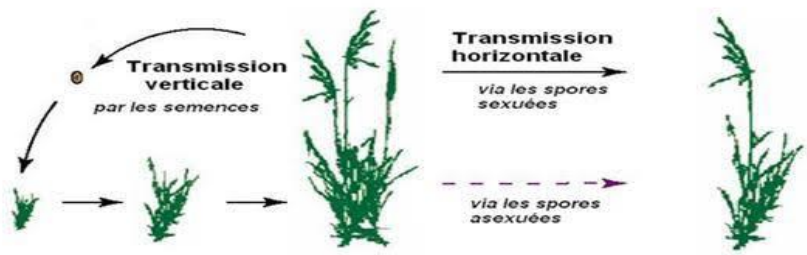
	ترقوية Clavicipitaceous	غير ترقوية Non-clavicipitaceous		
المعايير	**الفئة 1**	**الفئة 2**	**الفئة 3**	**الفئة 4**
مجموعة المضيف	ضيق	واسع	واسع	واسع
طرق الانتقال	عمودي وأفقي	عمودي وأفقي	أفقي	أفقي
الأنسجة المستعمرة	الساق والجذمور	الساق، الجذور والجذمور	الساق	الجذور
الاستعمار	واسع النطاق	واسع النطاق	محدود	واسع النطاق
التنوع البيولوجي	قليل	قليل	عالي	قليل

3-3- طرق انتقال الفطريات الداخلية داخل النبات:

هناك مساران أساسيان لنقل الفطريات الداخلية (الشكل 7):

انتقال عمودي: من خلال النمو الخضري للخيوط الداخلية بالكامل؛ وبالتالي تنتقل خيوط الفطر من النبات المصاب إلى النسل عن طريق البذور. وهذا ما يسمى عادة النقل العمودي. وهي الطريقة الرئيسية لانتقال الفطريات الداخلية (Saikkonen et *al*., 2010).

انتقال أفقي: عن طريق الأبواغ تنتقل هذه المجموعة من الفطريات أفقيا، أي يمكن أن ينتقل الفطر إما عن طريق الأبواغ الجنسية أو اللاجنسية ليصيب النباتات الأخرى. يمكن ان تنتشر هده الابواغ عن طريق الرياح او رذاذ الماء.. بالنسبة للنباتات الداخلية غير الجهازية للنباتات الخشبية، يحدث الانتقال أفقيًا بشكل عام مما يسبب إصابات محلية محدودة جدًا، ولكن يمكن العثور عليها أيضًا في البذور والجوز ولكن الانتقال العمودي نادر (Saikkonen et *al*., 1998).



الشكل (7): طرق الانتقال (العمودي والأفقي) للفطر الداخلي نيوتيفوديوم على مضيفه *Festuca arundinaceae* (Saikkonen et *al*., 2004)

تنمو الخيوط داخليًا وبين الخلايا في جميع أنحاء الأنسجة الموجودة فوق سطح الأرض للنبات المضيف وفي الإزهار والبذور النامية، وبالتالي، تنتقل عموديًا من نبات الأم إلى النسل (i). من المفترض أن تنتقل الفطريات الداخلية للنيوتيفوديوم بشكل صارم عموديًا. على النقيض من ذلك، يمكن أيضًا أن تنتقل الفطريات الداخلية Epichloë عن طريق الاتصال الجنسي (الأبواغ) عندما يشكل الفطر سدى خارجيًا مع كونيديا حول الإزهار النامي، مما يسبب الإجهاض (ii). لا ينبغي استبعاد الانتشار المعدي حتى في الفطريات الداخلية نيوتيفوديوم لأنها تنتج كونيديا لا جنسية على وسائط النمو وعلى النباتات الحية .

4- البكتيريا الداخلية:

تتواجد البكتيريا الداخلية في معظم الأنواع النباتية،(Cheriet & Belhi,2014) تنشأ من المجتمعات البكتيرية النابتة في الجذور، وكذلك من البذور وتدخل النباتات من خلال الفتحات أو الجروح الطبيعية، تم عزلها ومراقبتها ودراستها في مجموعة واسعة من أنواع النباتات أحادية الفلقة وثنائية الفلقة، بدءًا من الأنواع الخشبية مثل البلوط، وأشجار الفلفل، وأشجار الكرز، وأشجار الليمون، إلى الأنواع العشبية مثل بنجر السكر، والذرة، وقصب السكر، الكرنب والبرسيم والطماطم(Ariba et *al*, 2021) .

4-1- تنوع البكتيريا الداخلية:

في كروم العنب، اكتشف وجود أجناس بكتيرية تم الإبلاغ عنها مسبقًا لتشمل سلالات المكافحة الحيوية بما في ذلك *Burkholderia*، و*Methylobacterium*، و*Sphingomonas*، و*Pantoea*، وصفت المراجعات السابقة تنوع الفطريات الداخلية البكتيرية في أنواع نباتية متعددة، خاصة تلك التي لها أهمية زراعية (Santoyo et *al*., 2016).

أثبتت الدراسات بأن المجموعات الأكثر عزلة عند دراسة البكتيريا الداخلية هي أربع مجموعات ببمقدار 96 % مقسمة كالتالي:

البروتيوباكتريا (54%)، الأكتينوباكتريا (20%، الثابتات (16%) . والباكتيرويدات (6%).

تم العثور على البكتيريا الداخلية في جميع أنواع النباتات مثل القمح والأرز والطماطم القطنية والذرة والأناناس والفلفل الأسود والعنب ونخيل التمر (Cherrar & Hamza, 2020).

4-2- أهم الأجناس المكونة للبكتيريا الداخلية :

يتم اختراق النباتات عن طريق مجموعة واسعة من البكتيريا الداخلية التي تنتمي إلى عدة أجناس (الجدول5) من أبرز هذه الأجناس انتشارا: *Pseudomonas*، *Bacillus*.

4-2-1- *Bacillus*:

ينتمي هذا الجنس إلى عائلة *Bacillaceae*، وهي عصيات موجبة الجرام.(Cheriet & Belhi,2014) قادرة على إنتاج الأبواغ الداخلية مما يسمح لها بمقاومة الظروف البيئية غير الملائمة . نوع Bacillus spp. لديهم مستوى عال من مقاومة الجفاف. يمكن لأنواع العصيات أن تنتج مجموعة واسعة من الجزيئات النشطة بيولوجيًا؛ التي تمنع نمو مسببات الأمراض النباتية. يشمل هذا الجنس احوالي 36 نوعا: *Bacillus anthracis* و*B. Cereus* و*B. Megaterium* و*B. Thuringiensis* و *B. Subtilis*

تنتج الأنواع في هذا الجنس مواد محفزة لنمو النبات لزيادة نمو النبات (Cherrar & Hamza, 2020).

4-2-2-Pseudomonas:

يتواجد هذا الجنس في كل مكان، وينتمي إلى مجموعة البكتيريا Eubacteria التي لا تقوم بالتمثيل الضوئي والتغذية الكيميائية. الأنواع من هذا الجنس هي عصيات سلبية الغرام، وهي متحركة بشكل عام بفضل واحد أو أكثر من السوط القطبي باليروني، هذه الأنواع قادرة على استعمار التربة والجذور والأنسجة النباتية. لهذا الجنس عدة أنواع مثل:

Chlororaphis. Pseudomonas putida. Pseudomonas Fluorescens.

تتميز هذه البكتيريا بتعزيز النمو وزيادة امتصاص الرصاص. (Cherrar & Hamza, 2020).

الجدول (5): أمثلة لبعض البكتيريا الداخلية والنباتات المضيفة لها (Watts et *al* ,2024)

البكتيريا الداخلية	النبات العائل
Streptomyces sp. 11^E	*Vigna radiata*
Azospirillum brasilense B510	*Oryza sativa*
Bacillus thuringiensis	*Zea mays*
Ewingella americana EU-M4ARAct	*Zea mays*
Mesorhizobium ciceri BRM5	*Cicer arietinum*
Azospirillum brasilense Cd, Az39	*Triticum aestivum*
Bacillus sp. 13^E	*Vigna radiata*
Bacillus endophyticus 14^E	*Vigna unguiculata, soybean*
Bacillus altitudinis Q7	*Ginkgo biloba*
Burkholderia sp . SSG	*Beta vulgaris*
Enterobacter sp. SA187	*Indigofera argentea*
Staphylococcus hominis 7^E	*Vigna radiata*

4-3-انتقال البكتيريا الداخلية في النبات:

4-3-1- الانتقال العمودي عبر حبوب اللقاح:

تتم هذه الطريقة هي من خلال الأمشاج الذكرية. حيث يتم التعرف على الفطريات الداخلية داخل وعلى سطح حبوب اللقاح لأنواع النباتات المختلفة، تتعرض حبوب اللقاح للبيئة الخارجية، ويمكن استعمارها أفقيًا من الجو، أو من خلال الملقحات أو الحيوانات الأخرى. إذا كانت البكتيريا الموجودة في حبوب اللقاح أو عليه تأتي من داخل النبات، فإنها تنتقل إلى الجذور والشتلات عموديا كما يظهر (الشكل 8) (Truyens et *al*., 2015)

4-3-2- الانتقال العمودي عبر الجذور:

تستخدم البكتيريا الداخلية آليات مختلفة لإدخال نفسها في الأنسجة النباتية، وخاصة في الجذور (الشكل 8). الطريقة الأكثر شيوعًا لدخول البكتيريا الداخلية إلى الأنسجة النباتية هي من خلال شقوق الجذر الأولية والجانبية، وكذلك من خلال إصابات الأنسجة المختلفة.

4-3-3- الانتقال الافقي عبر الجذور:

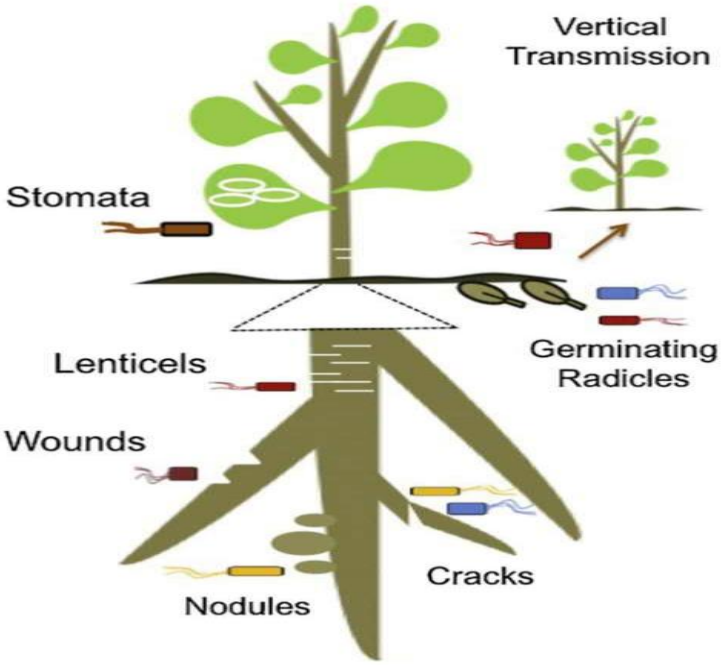
يبدأ على سطح الجذور، ثم في الأنسجة الداخلية، وينتهي في أنسجة الخشب بين الأطراف والأوراق. تخترق البكتيريا الداخلية الغلاف الجوي من خلال آلية إفراز إنزيم الإندوجلوكاناز الذي يؤدي إلى تدهور الجدار الخلوي. يتم تسهيل الدخول من خلال الشقوق في الجذور حيث تم تحديد موقع البكتيريا في مواقع ظهور الجذور الجانبية وفي أطراف الجذور (Iyer & Rajkumar, 2017)

4-3-4- الدخول الى الانسجة الهوائية عبر الثغور:

عند دراسة *pirillum brasiliense* وتطبيقها على الذرة كرذاذ ورقي (للتحكم في الدخول إلى التربة) تبين استعمار البكتيريا الداخلية في الثغور، لا تستطيع البكتيريا البقاء على قيد الحياة في مساحة الورقة، ولكنها تستعمر داخل الأوراق والسيقان

كما أظهرت الدراسات التي أجريت على البكتيريا الداخلية أنها يمكن استغلال الفتحات الموجودة في بشرة النباتات، بما في ذلك الثغور (الفتحات الموجودة في الجزء العلوي من النباتات التي تسمح وتتحكم في تبادل الغازات ونتح الماء بين النباتات والغلاف الجوي)، والعدسيات (المسام المرتفعة في جذع النباتات

الخشبية التي تسمح أيضًا بتبادل الغازات) والبثور (مسام تفرز الماء، عادة بالقرب من حواف الأوراق) لاختراق الانسجة النباتية. (Ariba et *al*, 2021).



الشكل (8): الانتقال العمودي للبكتيريا الداخلية في النباتات(Santoyo et *al*., 2016)

تختلف طرق دخول البكتيريا الداخلية إلى الأنسجة النباتية المختلفة. الا ان الطريقة الأكثر شيوعًا للدخول هي من خلال الجذور، من خلال خلايا الشعر الجذرية الأولية والجانبية، وشقوق الجذور والجروح، بالإضافة إلى التحلل المائي للخلايا الجذرية. تشمل الطرق الأخرى الثغور، خاصة على الأوراق والسيقان الصغيرة؛ العدس والجذور النابتة.

4-4- إستعمار البكتيريا الداخلية النبات:

يتم الاستعمار الداخلي للبكتيريا الداخلية على مستوى الجذر بطرق مختلفة، وذلك بداية تشكل منطقة ظهور الجذر الثانوية فتحة طبيعية تسمح بدخول البكتيريا الداخلية إلى النبات (Bouznad, 2016).

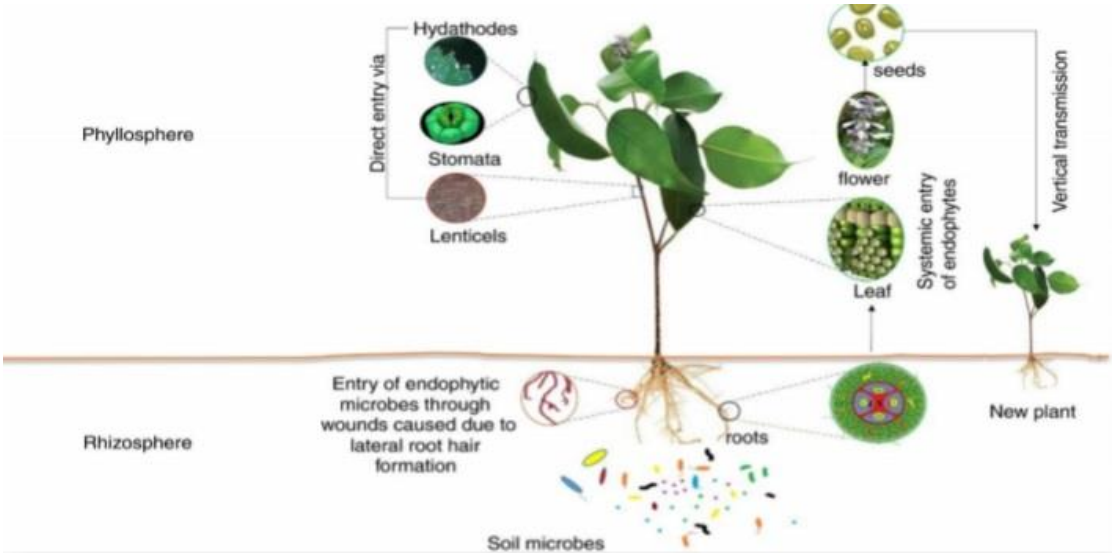
يمكن أن يحدث الاستعمار على مستوى أنسجة معينة أو في جميع أنحاء النبات، حيث تتواجد المستعمرات البكتيرية والأغشية الحيوية بشكل جانبي في المساحات بين الخلايا للجذور والأوراق والسيقان والأزهار والبذور وداخل الأنسجة الوعائية (الشكل 9).

البكتيريا الداخلية قادرة على استعمار أجزاء مختلفة من البذرة، بما في ذلك الجنين. تتحرك هذه البكتيريا وتنمو في الشتلات النامية أثناء الإنبات ونمو الشتلات المبكر.

تستعمر بعض البكتيريا الداخلية أيضًا الزهور، ومن المرجح أن يتم نقلها عموديًا من مجتمع النابتات الداخلية الأم إلى النسل.

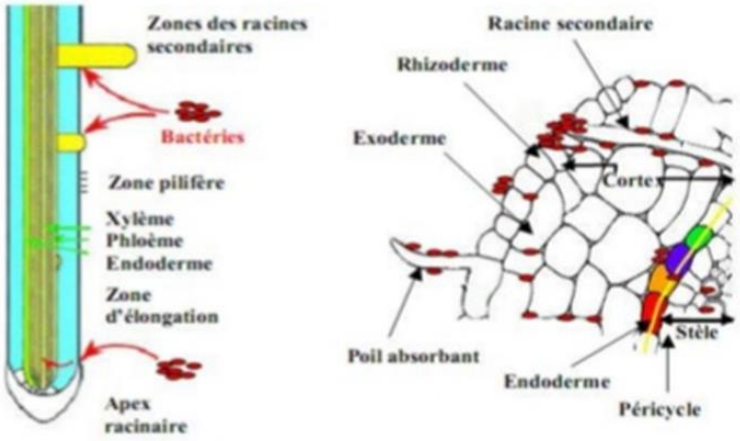
في المراحل المبكرة من الاستعمار الداخلي، يتم ملاحظة النابتات الداخلية أولاً في شعر الجذر ثم في قشرة الجذر.

في نباتات الذرة، يكون الاستعمار الداخلي البكتيري أقوى في الجذع السفلي مقارنة بالساق الأقرب إلى قمة البراعم. (Hamza & Cherrar, 2020).



الشكل(9): استعمار البكتيريا الداخلية للنباتات المضيفة لها(Lata et *al* , 2018)

تتواجد البكتيريا الداخلية في غالبية أعضاء النبات، وخاصة الجذور والأوراق والسيقان ونادرًا ما تكون والفواكه والبذور. يمكن أن تدخل البكتيريا الداخلية عبر الشقوق عن طريق الجذر، أو عن طريق الثغور أو العدسات او المسامات، ويمكن أن يتم نقلها عموديا.



الشكل (10): رسم توضيحي لمقطع طولي و عرضي للجذور لمواقع استعمار البكتيريا الداخلية(Bouznad,2016)

5- دور الكائنات الحية الدقيقة الداخلية للنباتات:

تسمح النباتات المضيفة للفطريات الداخلية بالتغذية وحماية نفسها والتكاثر، وفي المقابل تستفيد النباتات أيضًا من مزايا معينة للكائنات الداخلية. تُعزى عدة أدوار إلى الفطريات الداخلية، مثل الحماية ضد مسببات الأمراض النباتية والحشرات والحيوانات العاشبة (Belazouz,2020).

5-1- تعزيز نمو النبات:

5-1-1- انتاج الهرمونات النباتية:

تتميز الكائنات الحية الدقيقة عن غيرها بميزات متنوعة، من بينها انتاج هرمونات تحفز وتعزز من نمو النبات (أكسين، جبريلين، سيتوكينين).

أوضحت الأبحاث بأن فطر *Fusarium spp.* يعمل على تعزيز نمو مضيفه وذلك بفضل افرازه لهرموني الجبريلين و IAA (صدراتي،2011).

5-1-2- اذابة الفسفور:

يعد تثبيت النتروجين مهم جداً لتحسين خصوبة التربة، كما أن إذابة الفوسفات مهم أيضاً. الفسفور P. هو أحد المغذيات الكبيرة الرئيسية الضرورية للنمو البيولوجي والتنمية. توفر الكائنات الحية الدقيقة نظامًا احتياطيًا بيولوجيًا قادرًا على إذابة الفسفور غير العضوي غير القابل للذوبان من التربة وإتاحته للنباتات. الكائنات الحية الدقيقة بعضها لديه القدرة على تحويل الفسفور غير القابل للذوبان إلى شكل يسهل الوصول إليه، مثل الأرثوفوسفات، وإتاحته للنباتات. (Ariba,2021).

تعمل الفطريات الداخلية *Penicillium minioluteum* LHL09 و *Penicillium funiculosum* LHL06 المعزولة من *Glycine max*. L (فول الصويا) على تحسين نمو النبات المضيف عن طريق تنظيم التخليق الحيوي للهرمونات وانتاج الفلافونويدات (Khan *et al.*, 2011). كما نجد فطر Muscodor albus المتواجد في الأشجار الاستوائية، اذ يمكن أن ينتج العديد من المركبات العضوية المتطايرة بما في ذلك tetrohydofuran, furane 2-méthyl, 2-,butanone aciphyllene التي لها أنشطة مضادة حيوية.

5-2- الحماية ضد مسببات الأمراض:

وذلك من خلال عده آليات مختلفة، كالمنافسة على مواقع الإستعمار والمغذيات وانتاج المضادات الحيوية والتطفل.

من الأمثلة على انتاج المضادات الحيوية فطر *Muscodor albus*. الذي يعمل على إنتاج المركبات العضوية (hols،esters ،keones وlipids, acides) التي لها فعالية مضادة للبكتيريا والفطريات الممرضة.

كذلك الفطر الداخلي للطماطم والقطن *Beauveria bassiana*. الذي وجد أنه يعمل على حماية عوائله عن طريق المنافسة على الموقع (صدراتي،2011).

كما اظهر الترسيتين، وهو قلويد جديد معزول من فطر *Alternaria* الداخلي، نشاطًا مضادًا للبكتيريا ضد العديد من البكتيريا المسببة للأمراض إيجابية الجرام (Belaidi & Maaoui, 2015).

5-3- الحماية ضد الحيوانات العاشبة والحشرات:

أظهرت العديد من الدراسات أن الحيوانات التي تستهلك الأعلاف المصابة الكائنات الداخلية يمكن أن تسبب أمراضًا حادة خطيرة من ناحية ومن ناحية أخرى تنخفض في مستوى الإنتاج، الفطريات الداخلية قادرة على حماية مضيفيها من الحيوانات العاشبة، بواسطة إنتاج القلويدات التي يمكن أن تجعل النبات ساما للحيوانات العاشبة.

لوحظت في امريكا الجنوبية اصابة بكتيريا *Neotyphodium tembladerae* عدة أنواع من الأعشاب، والتي يُقال إن بعضها سام للثدييات (Gentile et *al*., 1999).

تنتج الفطريات الداخلية المرتبطة بالنبات قلويدات مختلفة سامة للفقاريات (الماشية والأبقار والأغنام هي الأكثر تأثراً).

تقوم الفطريات الداخلية بتصنيع مركبات سامة كالقلويدات أثناء إصابة النبات، مما يقلل من بقاء وتطور الحشرات. (Belaidi & Maaoui , 2015)، كفطر *Phomopsis oblonga* الذي يحمي أشجار الدردار من الخنفساءPhysocnemum breviline ، يعمل على إنتاج بعض المستقلبات الثانوية التي تتحكم في *P.brevilineum* الناقلة للفطريات المسببة للأمراض النباتية ، المسؤولة عن مرض الدردار الهولندي.

5-4- تحمل الاجهاد اللاحيوي:

يتسبب الإجهاد اللاحيوي في فقدان أكثر من 50% من غلات المحاصيل المحتملة على مستوى العالم; ويمكن أن يكون الإجهاد اللاحيوي نتيجة للتلوث بواسطة المعادن الثقيلة... الجفاف والملوحة ودرجات الحرارة .(Bennaim & Daifallah, 2020)

يعزز فطر الخيار الداخلي *Paecilomyces formosus* LHL10 نمو النبات المضيف وتحمله للملوحة من خلال تراكم البرولين ومضادات الأكسدة.

كما ان فطر الشعير الداخلي *Piriformospora indica* يزيل آثار الإجهاد الملحي في النبات المضيف له عن طريق زيادة النشاط الأيضي في الأوراق، وإحداث تغييرات في تكوين الأحماض الدهنية في الأوراق، وتنظيم نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، وزيادة في الكتلة الحيوية وتحريض التخليق الحيوي للإيثيلين في جذور الشعير (Bennaim & Daifallah , 2020)

بينت الدراسات حديثا بمدى مقاومة الفطريات الداخلية لدرجات الحرارة, حيث اظهر (Redman *et al*, 2002) أن الفطريات الداخلية تعمل على زيادة تحمل الحرارة في مضيفيها، وقد تم الكشف عن هذا التحمل في نبات *Dichanthelium lanuginosum* المصاب بالفطر الداخلي *Cuvularia sp*. حيث يعمل هدا الفطر على مقاومة درجات حرارة عالية تصل إلى 65° درجة مئوية، في حين أن النباتات غير المصابة به لم تقاوم حتى درجة حرارة 40° (Derkaoui, 2015).

افاد كذلك (Elmi & West, 1995) ان وجود الفطريات الداخلية *Acremonium coenophialum* في العكرش الطويل *Festuca arundinacea Schreb* يزيد من ثبات ومقاومة العائل في البيئات المعرضة للجفاف (Belayadi & Zeriguine , 2019)

الجزء العملـــي

جرد ومقارنة أهم الدراسات حول العلاقة التكافلية بين النباتات وles endophytes كمحفزات للنمو ومكافحة مسببات الأمراض

بعد البحث والتقصي في محركات البحث المختلفة واستبعاد كل الدراسات التي ليس لها علاقة بموضوعنا، وقبول كل المقالات التي تهتم بدراسة العلاقة التكافلية بين النباتات والكائنات الحية الدقيقة الداخلية les endophytes، تم قبول 8 مقالات مختلفة من حيث دراسة الكائنات الحية الدقيقة الداخلية كمحفزات للنمو وعوامل مكافحة للأمراض النباتية.

1- المقال الأول:

Endophytic fungi promote plant growth and mitigate the adverse effects of stem rot: an example of *Penicillium citrinum* and *Aspergillus terreus*.

المؤلفون:

Muhammad Waqas, Abdul Latif Khan, Muhammad Hamayun, Raheem Shahzad, Sang-Mo Kang, Jong-Guk Kim and In-Jung Lee.

تم نشر هذا المقال سنة 2015 في Journal of Plant Interactions. Vol. 10, No. 1, 280–287

الهدف من الدراسة:

دراسة دور *Penicillium citrinum* LWL4 و *Aspergillus terreus* LWL5 بطريقة تعتمد على الوقت في نمو نبات دوار الشمس (*Helianthus annuus* L) ومقاومتها للأمراض وقدرتها على تنظيم شبكات الإشارات الهرمونية المشاركة في الدفاع عن النبات ضد تعفن الساق الناجم عن بكتيريا *Sclerotium rolfsii* .

المواد والطرق:

أجريت تجربة بتصميم عشوائي بالكامل، من أجل تقييم تأثيرات *P. citrinum* و *A. terreus* في صفات النمو لنباتات دوار الشمس مع وبدون تعفن الساق المسبب بالفطر *Sclerotium rolfsii* في الاختبار الحيوي، تتواجد الركيزة (الطحلب (13–18%)، البيرلايت (7-11%)، الكوكوبيت (63–68%) والزيوليت (6–8%) مع المغذيات الكبرى NPK بتراكيز مضبوطة مع تعقيم كامل الأجهزة التجريبية، نمت البذور المطهرة سطحيًا في البداية في أطباق بتري على ورق الترشيح المبلل بماء مقطر وحفظت في حاضنة لمدة 4 أيام عند درجة حرارة 25 درجة مئوية في الظلام.

تم الحصول على الفطر المسبب للأمراض *S. rolfsii* ثم تمت زراعته وصيانته على أجار دكستروز البطاطس (PDA). تم تقطيع الفطريات إلى قطع صغيرة جدًا (حوالي 0.3 سم × 0.3 سم) باستخدام شفرة

جراحية معقمة ثم خلطها مع الركيزة المعالجة ب *S. rolfsii*، بعد 21 يوم تم الاحتفاظ بالنباتات تحت ظروف مظلمة عند درجة حرارة 30 درجة مئوية لمدة 3أيام وتم رشها بانتظام بمادة ال DDW للحفاظ على رطوبة عالية (95%).

أجريت الدراسة بطريقة تعتمد على الوقت في ثلاث فواصل زمنية مختلفة (3 و6 و12 يومًا) بعد الإصابة بالعدوى. (Waqas et *al*,2014).

النتائج والمناقشة:

- **تأثير ارتباط الفطريات الداخلية بالنبات في نمو وصفات نباتات دوار الشمس المصابة والسليمة:** تم تأكيد قدرة الفطريات الداخلية على العمل كعوامل تحكم بيولوجي من خلال تجربة غرفة النمو. تم تلقيح *S. rolfsii*، الذي يسبب مرض تعفن الساق في دوار الشمس، للنباتات المضيفة إما في وجود أو عدم وجود *P. citrinum* و*A. terreus*. أظهرت هذه الفطريات الداخلية عداء قوي تجاه عدوى بكتيريا *S. rolfsii* وتحسين نمو نباتات عباد الشمس المصابة (الجدول 6).

الجدول (6): التأثير المعزز للنمو للفطريات الداخلية *Penicillium citrinum* و*Aspergillus terreus* في نباتات عباد الشمس مع أو دون المرض المسبب بواسطة *Sclerotium rolfsii*.

Intervals	Treatments	S.R	SL (cm)	SD (mm)	SFW (g)	SDW (g)
3 DAT	Control	–	56.00 ± 4.00^{b}	9.62 ± 1.83^{b}	42.95 ± 3.51^{ef}	7.27 ± 0.37^{ab}
	P. citrinum	–	70.00 ± 6.00^{ab}	8.88 ± 0.22^{bc}	62.21 ± 4.09^{bc}	9.53 ± 0.32^{ab}
	A. terreus	–	64.00 ± 6.00^{ab}	9.40 ± 0.48^{bc}	65.13 ± 2.15^{ab}	9.27 ± 0.98^{ab}
6 DAT	Control	–	60.00 ± 3^{ab}	7.97 ± 0.69^{c}	42.82 ± 3.28^{ef}	7.17 ± 0.64^{ab}
	P. citrinum	–	61.33 ± 5.03^{ab}	8.96 ± 0.79^{bc}	51.37 ± 8.80^{de}	4.73 ± 0.38^{b}
	A. terreus	–	67.00 ± 4.58^{ab}	8.41 ± 0.46^{bc}	56.51 ± 3.51^{cd}	5.70 ± 0.61^{b}
12 DAT	Control	–	62.67 ± 5.51^{ab}	8.34 ± 0.32^{bc}	39.04 ± 4.89^{f}	5.25 ± 0.71^{b}
	P. citrinum	–	70.67 ± 5.13^{ab}	11.18 ± 1.04^{a}	71.67 ± 4.16^{a}	10.65 ± 1.86^{a}
	A. terreus	–	78.67 ± 3.01^{a}	8.04 ± 0.33^{bc}	45.17 ± 4.64^{ef}	5.39 ± 0.86^{b}
3 DAT	Control	+	$45.00 \pm \pm 3.00^{c}$	6.16 ± 1.19^{d}	22.68 ± 4.99^{d}	4.48 ± 0.35^{b}
	P. citrinum	+	62.33 ± 2.52^{ab}	12.49 ± 0.83^{a}	66.64 ± 3.28^{ab}	9.03 ± 0.82^{ab}
	A. terreus	+	61.33 ± 6.03^{ab}	8.60 ± 0.89^{c}	61.67 ± 3.57^{ab}	10.61 ± 1.0^{a}
6 DAT	Control	+	49.33 ± 4.04^{c}	6.49 ± 0.70^{d}	26.45 ± 2.44^{d}	5.21 ± 0.78^{b}
	P. citrinum	+	58.00 ± 2^{b}	11.05 ± 0.45^{ab}	63.56 ± 2.49^{ab}	9.82 ± 1.07^{ab}
	A. terreus	+	65.00 ± 4.58^{ab}	9.82 ± 1.20^{bc}	67.87 ± 4.11^{a}	9.66 ± 1.03^{ab}
12 DAT	Control	+	47.00 ± 5.57^{c}	6.28 ± 0.51^{d}	33.07 ± 2.36^{c}	6.37 ± 0.43^{ab}
	P. citrinum	+	61.00 ± 5.29^{ab}	9.43 ± 0.52^{bc}	63.49 ± 2.99^{ab}	10.68 ± 1.5^{a}
	A. terreus	+	67.00 ± 2.00^{a}	9.58 ± 1.39^{bc}	60.82 ± 3.14^{b}	9.75 ± 1.67^{ab}

DAT:يوم، **S.R:** بكتيريا *Sclerotium rolfsii*، **SL:** طول النبات (سم)، **SD:** قطر الساق (مم)،**SFW:** الوزن الطازج (غ)، **SDW:** الوزن الجاف (غ).

(+): تمثل النباتات المصابة ببكتيريا *Sclerotium rolfsii* مع أو دون الفطريات الداخلية.

(–): تمثل النباتات السليمة مع أو دون الفطريات الداخلية.

أظهرت البيانات التي تم جمعها أن التلقيح بـ *P. citrinum* أدى إلى زيادة كبيرة في متوسط قطر الجذع (11.18± 1.04 مم)، الوزن الجاف (10.65 ± 1.86غ) والوزن الطازج للبراعم (71.67 ± 4.16

غ) في اليوم 12، وفي الوقت نفسه زاد *A. terreus* الوزن الطازج وطول الساق للنباتات (78.67 ± 3.01 غ) في اليوم 12 مقارنة بالنبات الشاهد control (الجدول 7).

تم فحص شدة المرض أيضًا، حيث أدى تطبيق الفطريات الداخلية على دوار الشمس إلى خفض مستويات شدة المرض بشكل ملحوظ مقارنة بالنباتات الشاهدة المصابة بمرض*S. rolfsii* (الجدول 7 والشكل 11).

الشكل (11): المكافحة الحيوية للفطريات الداخلية *Penicillium citrinum* و *Aspergillus terreus* في نباتات عباد الشمس المصابة بمرض تعفن الساق المسبب بواسطة *Sclerotium rolfsii*.

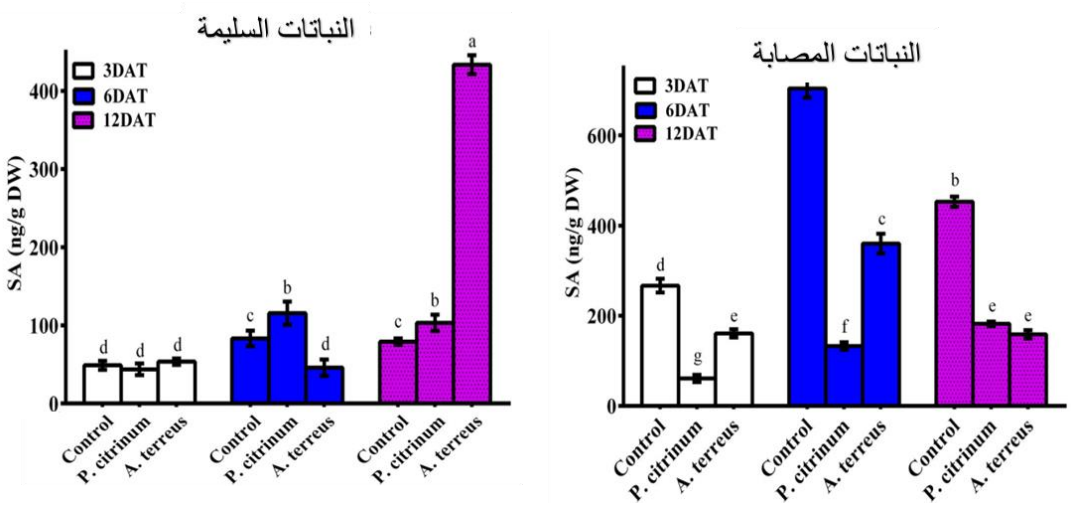
الجدول (7): تحليل عملية التمثيل الضوئي وفحص شدة المرض لنباتات عباد الشمس المعالجة بالفطريات الداخلية مع أو دون عدوى *Sclerotium rolfsii*

Intervals	Treatments	S.R	*E* (mmol H_2O m^{-2} s^{-1})	*Gs* (mol m^{-2} s^{-1})	*Pn* (mol m^{-2} s^{-1})	CC (SPAD)	DS
3 DAT	Control	–	0.11 ± 0.017^{i}	0.01 ± 0.00^{g}	0.23 ± 0.019^{c}	35.58 ± 7.04^{c}	0
	P. citrinum	–	0.94 ± 0.035^{f}	0.04 ± 0.006^{e}	1.17 ± 0.23^{a}	42.46 ± 2.99^{a}	0
	A. terreus	–	0.21 ± 0.025^{h}	0.029 ± 0.00^{f}	$0.49 \pm .017b^{c}$	35.75 ± 2.25^{bc}	0
6 DAT	Control	–	1.05 ± 0.035^{e}	0.05 ± 0.02^{d}	0.24 ± 0.016^{c}	35.28 ± 3.03^{c}	0
	P. citrinum	–	3.71 ± 0.038^{b}	0.31 ± 0.06^{a}	0.82 ± 0.051^{abc}	43.68 ± 2.96^{a}	0
	A. terreus	–	3.27 ± 0.023^{d}	0.24 ± 0.00^{b}	0.45 ± 0.021^{bc}	37.72 ± 1.97^{bc}	0
12 DAT	Control	–	0.89 ± 0.015^{g}	0.03 ± 0.00^{f}	0.41 ± 0.037^{bc}	31.85 ± 7.74^{d}	0
	P. citrinum	–	4.40 ± 0.042^{a}	0.24 ± 0.006^{b}	0.98 ± 0.044^{ab}	44.46 ± 2.64^{a}	0
	A. terreus	–	3.42 ± 0.025^{c}	0.16 ± 0.00^{c}	0.48 ± 0.037^{bc}	38.95 ± 3.01^{b}	0
3 DAT	Control	+	0.81 ± 0.217^{bc}	0.06 ± 0.24^{ab}	0.29 ± 0.022^{b}	34.13 ± 4.80^{d}	+ + + +
	P. citrinum	+	1.26 ± 0.422^{ab}	0.06 ± 0.00^{ab}	0.59 ± 0.048^{ab}	41.07 ± 3.18^{bc}	+
	A. terreus	+	1.70 ± 0.991^{a}	0.10 ± 0.070^{a}	1.07 ± 0.083^{a}	44.53 ± 2.78^{a}	+
6 DAT	Control	+	0.59 ± 0.057^{bcd}	0.02 ± 0.00^{bc}	0.27 ± 0.012^{b}	34.86 ± 3.71^{d}	+ + + + +
	P. citrinum	+	0.77 ± 0.023^{bc}	0.03 ± 0.00^{bc}	0.39 ± 0.014^{ab}	38.94 ± 3.42^{c}	+ +
	A. terreus	+	1.53 ± 0.010^{a}	0.06 ± 0.00^{ab}	0.84 ± 0.59^{ab}	41.08 ± 3.99^{bc}	+ +
12 DAT	Control	+	0.04 ± 0.00^{d}	0.00 ± 0.00^{c}	0.09 ± 0.05^{b}	27.75 ± 5.24^{e}	+ + + + +
	P. citrinum	+	1.50 ± 0.023^{a}	0.05 ± 0.00^{b}	0.37 ± 0.014^{ab}	42.35 ± 2.81^{ab}	+ +
	A. terreus	+	0.49 ± 0.016^{cd}	0.02 ± 0.003^{bc}	0.18 ± 0.025^{b}	39.62 ± 6.29^{bc}	+ + +

E: النتح، **Gs:** التوصيل الثغري، **Pn:** التمثيل الضوئي، **CC:** محتوى الكلوروفيل، **DS:** شدة المرض.

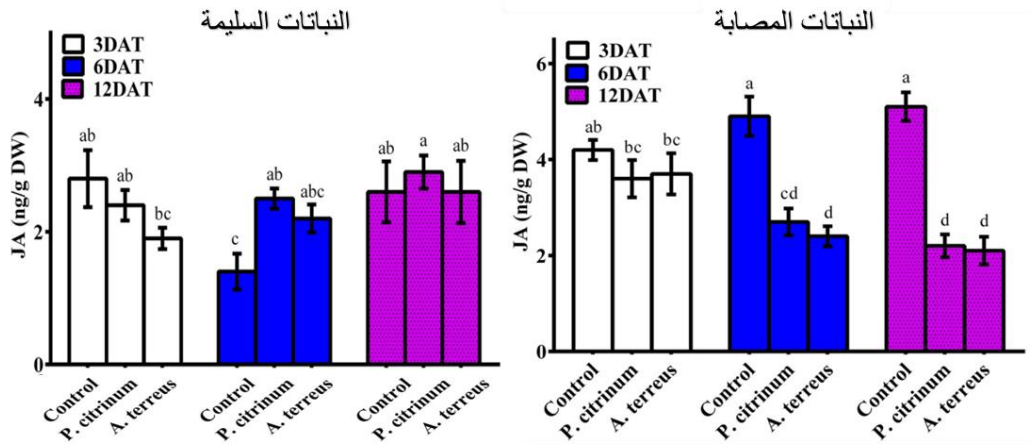
- **تأثير ارتباط الفطريات الداخلية بالنبات على محتويات(SA) Salicylic acid و(JA) Jasmonic acid لنباتات دوار الشمس المصابة والسليمة:** تتواجد الهرمونات النباتية بكميات ضئيلة في أنسجة النبات، ولا تنظم عمليات نمو النبات فحسب، بل تلعب أيضًا أدوارًا مهمة في استجابات النبات للإجهاد الحيوي. ثبت أن حمض الساليسيليك (SA) وحمض الجاسمونيك (JA)، يلعبان دورًا مركزيًا في التوسط في استجابات الإجهاد في النباتات (Halim et *al*. 2006; Bari & Jones 2009). حيث يحفز SA الجينات المرتبطة بالتسبب في المرض وبالتالي يعزز المقاومة لمجموعة واسعة من مسببات الأمراض (Grant & Lamb 2006). كما يلعب JA دورًا مهمًا في الحماية ضد الجروح والحيوانات العاشبة وهجوم مسببات الأمراض(Staswick & Tiryaki 2004) .

أدت الإصابة بـ *S. rolfsii* إلى زيادة كبيرة في مستويات SA (15.2 ± 266.9و 704.0 ± 20.1 و452.9 ± 11.5 ميكروغرام) عند 3 و 6 و DAT12 ، مقارنة بالنباتات المعالجة بالفطريات الداخلية *P. citrinum*و *A. terreus* ، في حين أن النباتات الملقحة بـ *P. citrinum* و *A. terreus* انخفض لديها محتوى SA بشكل ملحوظ خلال عدوى *S. rolfsii* على فترات زمنية، مقارنة بالشاهد في النباتات المصابة بـ *S. rolfsii* ، وفي النباتات السليمة، أظهرت النباتات المعالجة بـ *A. terreus* فقط زيادات كبيرة في مستوى SA عند 12 يوم، تليها *P. citrinum* عند 6 و12 DAT، مقارنة بمستويات SA في النبات الشاهد (الشكل 12) .



الشكل (12): تقدير محتوى Salicylic acid لنباتات عباد الشمس السليمة والمصابة بـ *S. rolfsii* المعالجة بالفطريات الداخلية

انخفض محتوى JA في نباتات عباد الشمس المريضة المعالجة بـ *P. citrinum* و *A. terreus* بشكل كبير عند 6 و DAT12 ، مقارنةً بالنباتات المصابة بـ*S. rolfsii* ، وفي النباتات السليمة المعالجة بالفطريات انخفض محتوى JA في البداية عند DAT 3 . كما لوحظت زيادات في محتوى JA الداخلي في النباتات عند 6 و12 DAT (الشكل 13).



الشكل (13): تقدير محتوى Jasmonic acid لنباتات عباد الشمس السليمة والمصابة بـ *S. rolfsii* المعالجة بالفطريات الداخلية

بعد الاطلاع على المقال توصلنا من خلالها إلى مايلي:

من المعروف أن الفطريات الداخلية تطلق العديد من المستقلبات الثانوية الفعالة التي يمكن أن تقلل من العواقب المحتملة للهجوم الممرض (Gao et *al*, 2010). يوفر استعمار النابتات الداخلية عادة الحماية للنباتات بوسائل مختلفة، مثل إنتاج مركبات سامة لمسببات الأمراض، واحتلال البيئة البيئية التي يستخدمها

العامل الممرض، وفي بعض الأحيان تعطيل الأغشية الخلوية للعامل الممرض، مما يؤدي إلى موت الخلايا في العامل الممرض(Ganley et *al*, 2008 ; Shittu et *al*,2009) . أفادت العديد من الدراسات البحثية السابقة عن تخفيف الأمراض المسببة للأمراض عن طريق تلقيح النباتات التي تحتوي على فطريات داخلية شائعة الحدوث مثل *F. verticillioides* (Lee et *al*. 2009).

في هذه الدراسة، تم تلقيح نباتات عباد الشمس بالفطريات الداخلية *P. citrinum* و *A. terreus* قبل إصابتها ببكتيريا *S. rolfsii*. وهذا لم يقلل من شدة المرض فحسب، بل أدى أيضًا إلى تحسين خصائص نمو النبات، مما يشير إلى أن الفطريات المفيدة قد تتداخل مع عملية العدوى المبكرة وتحد من تطور المرض (Mei & Flinn , 2010).

تظهر النتائج المتوصل إليها أنه خلال العدوى المسببة للأمراض، منحت الارتباطات التكافلية مع النباتات الداخلية مقاومة للأمراض وحسنت إنتاجية الكتلة الحيوية لنباتات عباد الشمس. قد تكون الزيادة في الكتلة الحيوية النباتية وخصائص النمو الأخرى ناجمة عن تعزيز امتصاص المغذيات النباتية، مما يعزز نمو النبات المضيف ويمنع العدوى بمسببات الأمراض النباتية (Muthukumarasamy et *al*. 2002)، حيث أدى التلقيح الداخلي إلى تقييد عدوى *S. rolfsii* وإطالة صحة النباتات المضيفة مقارنة بالنباتات المريضة التي لا تحتوي على فطريات داخلية. تشبه هذه النتائج تلك التي أبلغ عنها سابقًا . (Serfling et *al*, 2007) وتؤكد نتائج الدراسة التقارير السابقة حول تعزيز النمو بواسطة الفطريات الداخلية(Hamayun et *al*. 2010 ; Khan et *al*. 2011,2012,2013).

تنتج أنواع *Penicillium*و *Aspergillus* مجموعة واسعة من المستقلبات الثانوية هذه الفطريات الداخلية التي تم تحديدها على أنها منتجة لـGA ، هي*Aspergillus*، *Penicillium corylophilum* ، (Hamayun et *al*, 2010)، *P. cyclopium* ، *Penicillium sp* ، (Hasan 2002; Khan et *al*, 2011) *P. citrinum* (Khan et *al*,2008).

تم الإبلاغ عن أن هذه الفطريات الداخلية المنتجة للجبرلين GA تعدل هرمونات الدفاع مثل SA وJA، وتعزز المقاومة ضد مسببات الأمراض وهجمات الحشرات. فيما يتعلق بالإجهاد لا إحيائي، تعمل هذه الفطريات الداخلية على زيادة مستويات حمض الأبسيسيك وتمنح مقاومة ضد الجفاف والملوحة والإجهاد الحراري. تؤثر هذه الفطريات الداخلية أيضًا على إنتاج المواد الكيميائية الحيوية الوظيفية وتعديل أنشطة مضادات الأكسدة، وبالتالي تحسين نمو النبات

(Waller et *al*. 2005 ; Hossain et *al*. 2007 ; Khan et *al*. 2012 ; Waqas et *al*. 2012 ; Khan et *al*. 2013).

تلقيح نباتات عباد الشمس مع*P. citrinum* و *A. Terreus* غيرت مستويات SAو JA الداخلية للنباتات، مقارنة مع تلك الخاصة بنباتات الشاهد مع أو دون العدوى المسببة للأمراض بواسطة .*S Rolfsii*. بناء على هذا التغيير في محتوىSA و JA الداخلي ، قررنا أن مقاومة العدوى المسببة للأمراض قد تكون مستحثة (Durrant & Dong 2004 ; Halim et *al*. 2006)، مما يشير إلى الدور الدائم والنشط من لفطريات الداخلية في مقاومة مجموعة واسعة من مسببات الأمراض (Halim et *al*. 2006 ; Aimé et *al*. 2008 ; Pieterse et *al*. 2012).

2- المقال الثاني:

Effect of Endophytic and Plant Growth Promoting Rhizobacteria against Foot Rot Disease of Piper nigrum L.

المؤلفون:

Mona M. Abbas, Walaa H. Ismael, Amira Y. Mahfouz, Ghadir E. Daigham and Mohamed S. Attia

تم نشر هذا المقال سنة 2018 في International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB). Vol. 3, No. 6, 2001 . 2010.

الهدف من الدراسة:

تقييم التأثيرات الوقائية لسلالات الفطريات الداخلية المتوافقة (*Trichoderma* harzianum Th16Th5و)

والبكتيريا الجذرية (*Pseudomonas Fluorescens* Pf1) ضد مرض تعفن القدم الفلفلي.

المواد والطرق:

تم الحصول على عينات الفلفل الأسود من مركز أبحاث الفلفل بكارناتاكا (الهند)، كما تم عزل العامل الممرض من قدم الفلفل الأسود التي تظهر عليها الأعراض النموذجية لفطر *P. capsici* باستخدام أجار دقيق الشوفان (OMA) وتم تحديد المستنبت الفطري بناءً على الخصائص المورفولوجية على أنها بكتيريا *P. capsici*.

تم عزل السلالتين الفطريتين الداخليتين للفطر *T. harzianum* وهما Th16 وTh15 من لحاء نبات *Azadiracta indica*. بالإضافة إلى ذلك تم جمع سلالات من *Pseudomonas fluorescens* Pf1 وتم الحفاظ على السلالات عند درجة حرارة 4 C° على أجار دكستروز البطاطس (PDA). كما تم اختبار فعالية عوامل المكافحة الحيوية للسلالات البكتيرية (Pf1) *P. Fluorescens* و*T. harzianum* (Th16 وThC5) بشكل فردي ومشترك ضد *P. capsici* باستخدام تقنية الاستزراع المزدوج (Dennis & Webster, 1971).

النتائج والمناقشة:

- **تأثير عوامل المكافحة الحيوية على نمو P. capsici:** تم اختبار سلالة واحدة من P. *fluorescens* (Pf1)وسلالتين من *T. harzianum* (Th15 ,Th16) منفردة ومشتركة لتقييم تأثيراتها الحيوية على

نمو بكتيريا *P. capsici* حيث كانت جميع العلاجات فعالة في الحد من النمو الفطري لمسبب المرض. وقد استعمل مبيد الفطريات RIDOMIL GOLD كعنصر تحكم ايجابي (positive control) والذي يحوي على المركبات النشطة المتمثلة في Mefenoxam (Metalaxyl-M) وأوكسي كلوريد النحاس Copper Oxichloride.

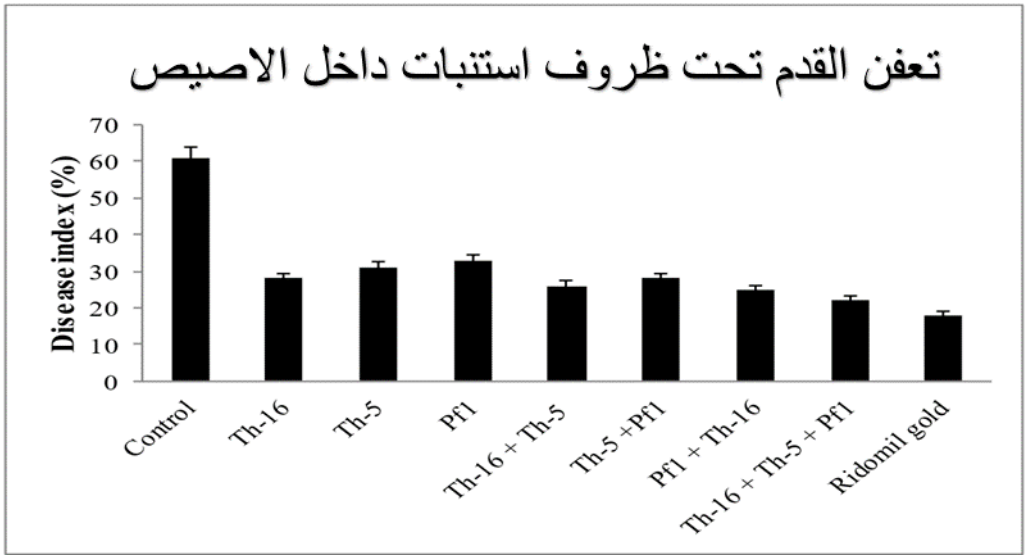
أدى الاستخدام المشترك لعامل Th16 +Th15 + Pf1 و Th16 + Th15وTh16 + Pf1إلى تقليل نمو للفطريات بمقدار 49.0 و54.0 و54.1 مم على التوالي. كما سجل حدًا أقصى لمنطقة تثبيط حيث بلغت 26.0 و23.5 و19.5 مم على التوالي. وسجلت ألواح التحكم أعلى نمو للفطريات 90.00 مم (الجدول 8).

الجدول (8): تأثير عوامل المكافحة الحيوية على النمو الفطري لفطر *P. capsici*

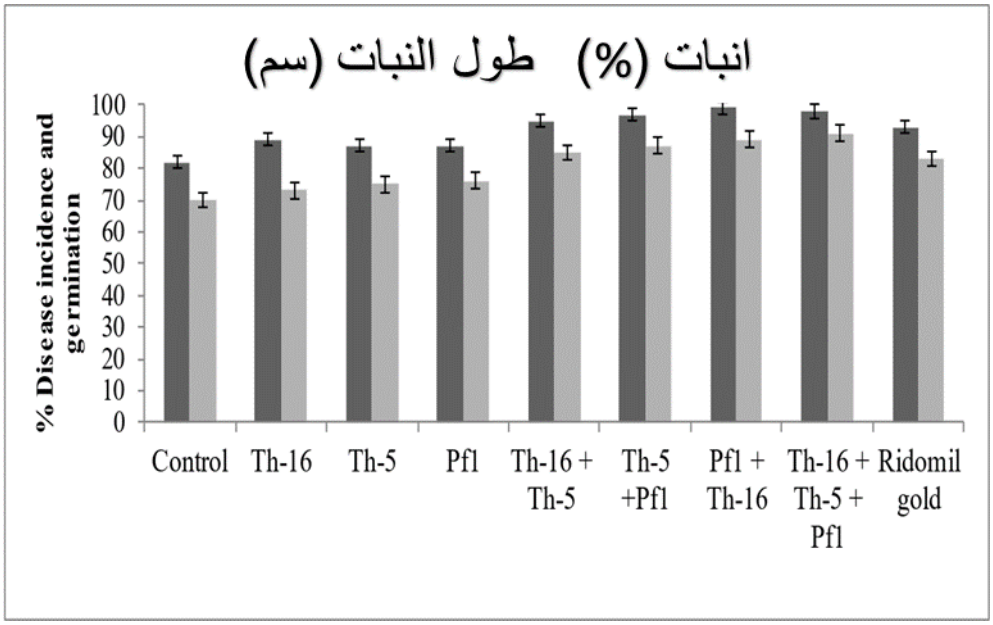
العينات	العلاجات	النمو الفطري (مم)	منطقة التثبيط (مم)	نسبة تثبيط النمو الفطري (مم)
1	Th16	61.00	10.00	32.22
2	Th5	63.50	8.70	29.44
3	Pf1	70.40	7.00	21.77
4	Th16 + Th5	54.00	23.50	40.00
5	Th5 + Th5	56.20	15.20	37.55
6	Pf1 + Th16	54.10	19.50	39.89
7	Th16 + Th5 + Pf1	49.00	26.00	45.55
8	RIDOMIL GOLD	58.00	13.10	35.55
9	الشاهد	90.00	0.00	0.00

في ظروف الاستنبات داخل الإصيص تم اختبار فعالية *P. fluorescens* (Pf1) و*T. harzianum* (Th15 ,Th16) منفردة ومشتركة ضد بكتريا *P. capsici* جنبًا إلى جنب مع RIDOMIL GOLD كفحص كيميائي. كل من السلالات المنفردة والمخاليط قللت بشكل كبير من حدوث تعفن القدم (بنسبة 21–35%) مقارنة بالنباتات غير المعالجة ببكتيريا *P. capsici* (الشكل 14)، كما أدى الجمع بين Th16 + Th15 + Pf1 إلى انخفاض ملحوظ في مؤشر مرض تعفن القدم أقل بكثير من استعمالها على حدة، بالإضافة إلى إنبات أفضل (96%) وارتفاع النبات (73.62 سم) (الشكل 15).

حيث أظهرت النتائج تماثلا في الحد من المرض عن طريق مزيج من السلالات البكتيرية ومبيدات الفطريات RIDOMIL GOLD، والتي سجلت مؤشر انتشار المرض بنسبة 22% و18% على التوالي.



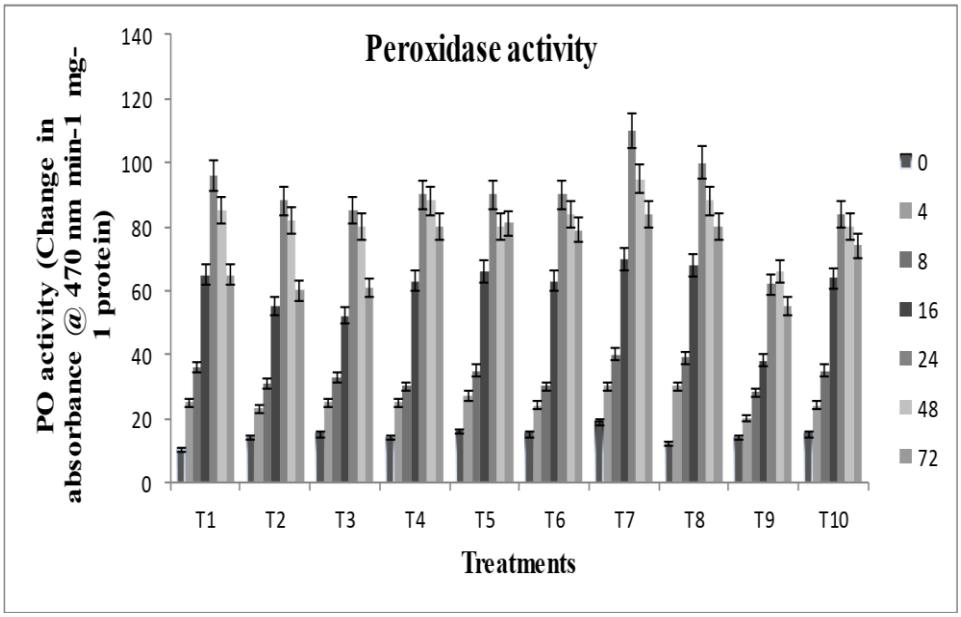
الشكل (14): فعالية (Pf1) *P. fluorescens* و (Th15 ,Th16) *T. harzianum* الفردية والمشتركة على تعفن القدم في الفلفل الأسود تحت ظروف الاستنبات داخل الأصيص



الشكل (15): فعالية (Pf1) *P. fluorescens* و (Th15 ,Th16) *T. harzianum* الفردية والمشتركة على تعزيز النمو في الفلفل الأسود تحت ظروف الاستنبات داخل الأصيص

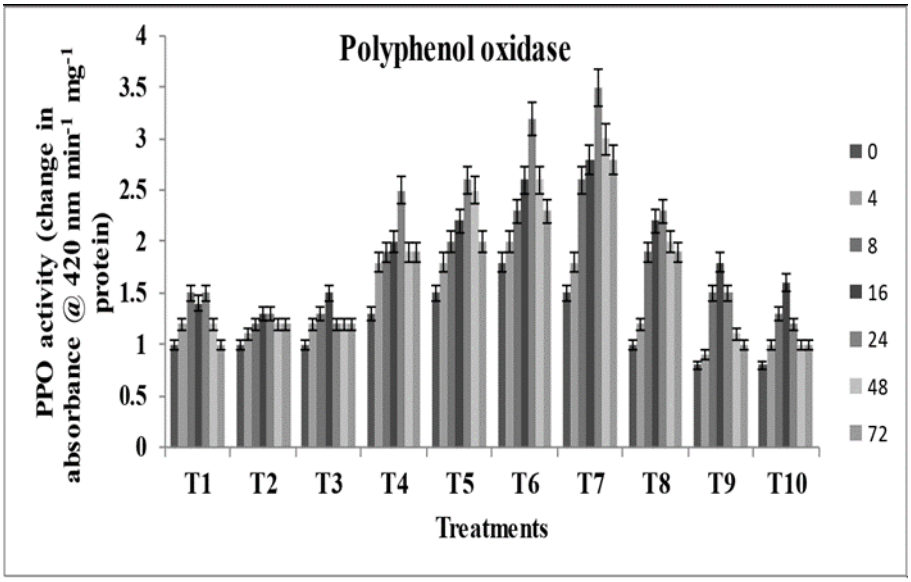
- **نشاط الإنزيمات الدفاعية ضد العوامل الممرضة:** كشفت النتائج عن تعبير أعلى للبروتينات المرتبطة بالدفاع عند التلقيح ببكتيريا *P. capsici* وتختلف قدرة السلالات *T. harzianum* و *P. fluorescens* على تحفيز بروتينات الأكسدة والدفاع في عروق الفلفل المصابة بـ *P. capsici* سواء كانت منفردة أو مخلوطة. حيث أظهرت نتائج الدراسة زيادة في نشاطات peroxidase (PO) وpolyphenol oxidase (PPO) في النباتات المعالجة بمخاليط Th16 + Th15 + Pf1 مقارنة بالنباتات غير المعالجة، وقدر زيادة نشاط (Th16 + Th15 + Pf1) بـ 110 وحدات من البروتين بعد 48 ساعة من التلقيح مقارنة بجميع المعالجات الأخرى مع تسجيل انخفاض حاد في أنشطة الإنزيم في نقاط زمنية لاحقة.

كما أدى التلقيح بالعوامل الممرضة في محطات التحكم غير المعالجة إلى تحفيز الإنزيمات ولكن مستوى التحفيز كان أقل من النباتات المعالجة مسبقا بـ *P. fluorescens* و*T. harzianum* (الشكل 16 والشكل 17).



الشكل (16): تحريض نشاط peroxidase في نبات الفلفل المعالجة بـ (Pf1) *P. fluorescens* و *T. harzianum* (Th15 ,Th16) ضد *P. capsici*.

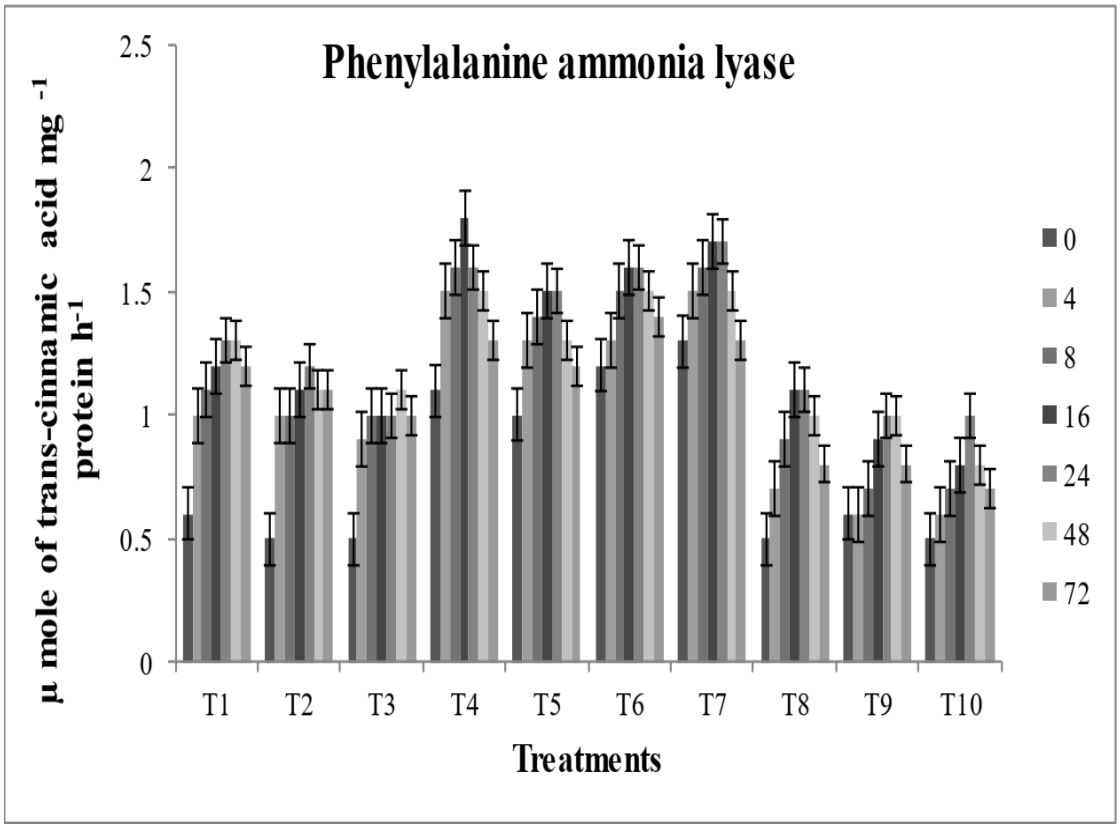
Th16+ Pf1: **(T6)**، Th15 + Pf1: **(T5)**، Th16 + Th15: **(T4)**، Pf1: **(T3)**، Th15 : **(T2)**،Th16 : **(T1)** , Th16 + Th15 + Pf1: **(T7)**، Ridomil gold: **(T8)**، الشاهد المصاب: **(T9)**، الشاهد السليم: **(T10)**.



الشكل (17): تحريض نشاط polyphenol oxidase في نبات الفلفل المعالجة بـ (Pf1) *P. fluorescens* و *T. harzianum* (Th15 ,Th16) ضد *P. capsici*.

Th16+ Pf1: (T6)، Th15 + Pf1: (T5)، Th16 + Th15: (T4)، Pf1: (T3)، Th15 : (T2)،Th16 : (T1)
الشاهد السليم. : (T10)، الشاهد المصاب: (T9)، Ridomil gold: (T8)، Th16 + Th15 + Pf1: (T7)

كان نشاط phenylalanine ammonia-lyase (PAL) أعلى بشكل ملحوظ في عروق الفلفل المعالجة بخليط Th16 + Th15 + Pf1 والمصابة بـ *P. capsici* مقارنة بالضوابط غير المعالجة. وصل تراكم PAL إلى حد أقصى قدره 3.5 وحدة من البروتين في 24 ساعة بعد التلقيح بمجموعة العلاج Th16 + Th15 + Pf1. كما سجلت عروق الفلفل غير المعالجة والمصابة بـ *P. capsici* أقل تحريض بـ 1.4 وحدة من البروتين وأظهرت انخفاضًا حادًا بعد 48 ساعة من التلقيح (الشكل 18).



الشكل (18): تحريض نشاط phenylalanine ammonia–lyase في نبات الفلفل المعالجة بـ *P. fluorescens* (Pf1) و *T. harzianum* (Th15 ,Th16) ضد *P. capsici*.

Th16+ : (T6)، Th15 + Pf1: (T5)، Th16 + Th15: (T4)، Pf1: (T3)، Th15 : (T2)،Th16 : (T1)
Pf1،Th16 + Th15 + Pf1: (T7)، Ridomil gold: (T8)، (T9): الشاهد المصاب، (T10) : الشاهد السليم.

بعد الاطلاع على المقال توصلنا من خلاله إلى ما يلي:

أن السلالات المتعددة المتوافقة تبدو شرطًا أساسيًا مهمًا لتحقيق الفعالية المرغوبة وقمع المرض بشكل أكثر اتساقًا(Young et *al*., 2008; Latha et *al*., 2009). ويعد الجمع بين عوامل المكافحة الحيوية أسلوبًا استراتيجيًا للسيطرة على أمراض النبات والآفات (Nandakumar *et al*., 2001; Saravanakumar *et al*., 2007).

حيث أظهرت نتائج الدراسة دليلاً على توافق السلالات البكتيرية *P. fluorescens* (Pf1) و *T. harzianum* (Th15 ,Th16) حيث يمنعان بشكل فعال نمو *P. capsici*، عن طريق إنتاج مجموعة واسعة من المضادات الحيوية مثل bacillomycin، phenazine، surfactin المسؤول عن الأنشطة المضادة للفطريات (Yu *et al*., 2002) ويقللان من مرض تعفن القدم للفلفل تحت ظروف الدفيئة والحقل،

كما أن استخدام عوامل المكافحة الحيوية مجتمعة كان أكثر فعالية في إدارة أمراض النباتات ومسببات الأمراض مقارنة بالعوامل الفردية (Sivakumar, 2012).

ولقد وثقت العديد من الدراسات أن *Pseudomonas* و(CA32) *B. subtilis* و *T. harzianum* (RU01) ساهمت بشكل كبير في تقليل نمو الفطريات *P. capsici* (Abeysingne, 2007).

يرتبط التأثير المثبط لعوامل المكافحة الحيوية التي لوحظت في تقنية الاستزراع المزدوج بإدارة مرض الذبول لتعفن القدم الناجم عن *P. capsici* تحت البيوت المحمية وكذلك الظروف الحقلية. كشفت نتائج الدراسة أن التركيبات الحيوية والتي تم إعدادها باستخدام سلالات فردية أو مجتمعة من Pf1 + Th15 + Th16 قللت بشكل كبير من حدوث مرض الذبول في الفلفل. قد يكون هذا التأثير بسبب آثاره التحفيزية على الإنزيمات الدفاعية كما يتضح هذا في زيادة أنشطة PO وPPO وPAL المشاركة في تخليق الفيتوأليكسينات (phytoalexins) وبالتالي تحفيز المقاومة الجهازية ضد مرض تعفن القدم وتعزيز نمو النباتات.

أثبتت النتائج تثبيط العديد من مسببات الأمراض النباتية وإدارة الأمراض باستخدام العديد من عوامل المكافحة الحيوية من خلال تحريض الإنزيمات الدفاعية في النباتات التي أبلغ عنها (Van Peer et *al.*, 1991; Kloepper, 1993; Van Loon, 1997; Chen *et al.*, 2000).

وبالتالي، فإن النتائج المتحصل عليها تقدم دليلاً على أن تحفيز إنزيمات الدفاع عن طريق تطبيق الفطريات الداخلية والسلالات البكتيرية في منطقة الجذور قد يقوي النباتات ضد الضغوط الحيوية المختلفة.

3- المقال الثالث:

Isolation and characterization of the endophytic bacteria, and their potential as maize diseases control

المؤلفون:

Endang Mugiastuti, Supra Yogi, Nur Prihatiningsih, Loekas Soesanto

تم نشر هذا المقال سنة 2020 في Biodiversitas. Vol. 21 , No. 1809-1815

الهدف من الدراسة:

عزل وتوصيف البكتيريا الداخلية من الناحية الشكلية والكيميائية الحيوية ودراسة قدرتها على مكافحة أمراض الذرة الصفراء وخاصة مسببات مرض لفحة الغمد والذبول البكتيري.

المواد والطرق:

- **عزل *Rhizoctonia solani* و *Pantoea sp*** : تم عزل *Rhizoctonia solani* و *Pantoea sp* من الذرة المصابة بأعراض لفحة الغمد والذبول البكتيري في منطقة زراعة الذرة في بانيوماس (Banyumas). حيث تم إجراء عزل *R. solani* استنادا إلى (Al-Fadhal et *al*, 2019).

قُطعت عينات المرض بأبعاد 0.5 × 0.5 سم، وعقمت بمادة NaOCl (1%) لمدة دقيقتين، ثم تم شطفها بالماء المعقم 3 مرات. بعد ذلك تم تجفيفها ونقلها إلى أطباق بتري تحتوي على وسط PDA للحصول على عزلات *R. solani* نقية. في حين عزلت *Pantoea sp* استنادا إلى

(Coplin et *al*. 2012; Aini et *al*. 2013; Desi et *al*.2014) تم غسل الأوراق أو السيقان المريضة بالماء ثم تجفيفها، قطعت العينات بأبعاد 1.5 × 5 سم، وعقمت بالإيثانول 70% ثم شطفت بالماء المعقم 3 مرات. بعد ذلك تم سحق العينة مع 5 مل من الماء المقطر باستخدام هاون معقم. وحضنت لمدة 3-5 أيام، ثم فُصلت على أنها مزارع بكتيريا *P. stewartii* المرشحة.

- **عزل وتوصيف البكتيريا الفطرية الداخلية:** أخذت عينات لعزل البكتيريا الداخلية من نبات الذرة السليمة في بانيوماس مع أخذ عينات عشوائية طبقية هادفة من منطقتين مختلفتين، كان عمر نباتات الذرة 20-30 يومًا بعد الزراعة، عندما كان عدد التجمعات الميكروبية الداخلية التي يمكن استزراعها عاليا تم عزل البكتيريا الداخلية من الجذور وسيقان نباتات الذرة السليمة (Cavaglieri et *al*. 2009).

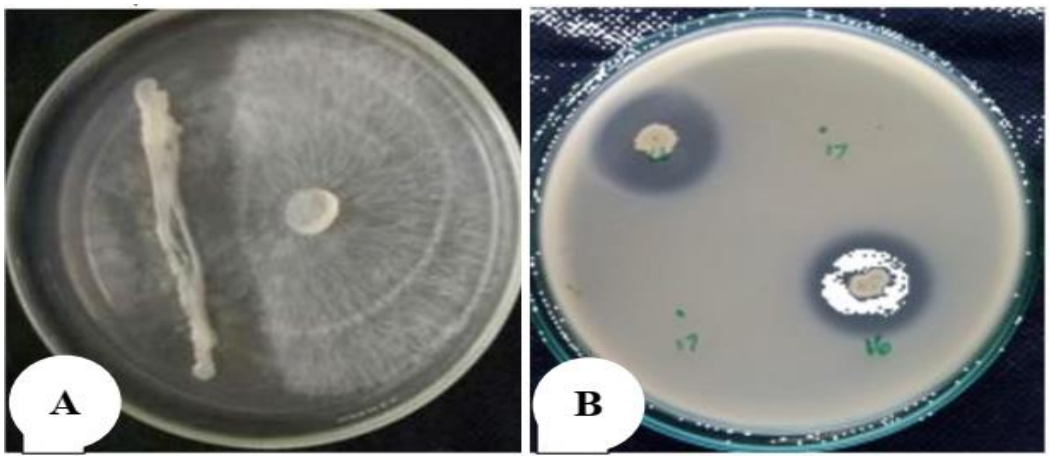
تم غسل الجذور والسيقان، وتعقيمها باستخدام إيثانول 70% (دقيقة واحدة)، ثم تم سحق الجذور والسيقان التي يبلغ وزن كل منها 10 جم باستخدام 90 مل من محلول PBS في هاون معقم (Cavaglieri et *al*. 2009).

أسفرت نتائج عزل وتوصيف البكتيريا بالحصول على 23 عزلة من البكتيريا الفطرية الداخلية تألفت من 9 عزلات من بكتيريا الزائفة الفلورية *fluorescent Pseudomonas* و14 عزلة من البكتيريا العصوية *Bacillus sp*.

النتائج والمناقشة:

استنادا إلى نتائج الاختبارات المخبرية (الجدول 8)، تمكنت 24 عزلة من البكتيريا الداخلية من تثبيط نمو *R. solani* ، بدرجات متفاوتة من التثبيط. البكتيريا الداخلية التي لديها معدلات تثبيط أعلى من 50%، مثل الزائفة الفلورية(51%) *Pseudomonas* BK.A1 ، (55.39%) *Bacillus sp*. BKA1، (51.52%) *Bacillus sp* BK.A3، (50.66%)PP.A5 ، و (50.8%) PPD.B2.

إن تأثير البكتيريا الفطرية الداخلية في تثبيط بكتيريا *R. solani* يتناسب عكسيا مع الوزن الجاف للفطريات. كلما زادت نسبة تثبيط البكتيريا الداخلية لنمو *R. solani*، قل الوزن الجاف للفطريات (الجدول 9). يمكن للبكتيريا الداخلية أن تمنع نمو *R. solani*، والذي أظهرته المنطقة المثبطة للخط البكتيري في (الشكل A.19).



الشكل (19): اختبار العداء بين البكتيريا الفطرية الداخلية ضد (A) *R. solani* و(B) *Pantoea sp*.

أظهرت نتائج العداء بين البكتيريا الداخلية و *Pantoea sp* نتائج متباينة. تمت الإشارة إلى البكتيريا الفطرية الداخلية التي يمكن أن تمنع نمو البكتيريا من خلال وجود مناطق واضحة حول المستعمرات البكتيرية الداخلية (الشكل B.19). من بين 9 عزلات من *fluorescent* تم اختبار *Pseudomonas*، وكانت 3عزلات فقط قادرة على تثبيط نمو بكتيريا *Pantoea sp*، أي (Pf) BS.A2, (Pf) BK.A1, (Pf) PPD.B5 في حين أن العزلات (Pf) BB.A2 و (Pf) PPD.A1, (Pf) PP.A1, (Pf) PPD.B1, (Pf) PP.B4, غير قادرة على تثبيط نمو البكتيريا المسببة للأمراض.

وفي الوقت نفسه، تم عزل جميع أنواع *Bacillus sp* حيث تمكنت (13عزلة) من تثبيط نمو نبات *Pantoea sp* (الجدول 10). وجود مناطق واضحة حول مستعمرات البكتيريا الداخلية أظهرت قدرة البكتيريا على إنتاج المضادات الحيوية لمنع نمو *pantoea sp*، يمكن أن ينتج *Fluorescens* P60 المضادات الحيوية التي تمنع نمو مسببات الأمراض (Soesanto 2011).

جدول (9): تثبيط البكتيريا الفطرية الداخلية ضد البكتيريا الممرضة R. solani

Isolate	Inhibition rate (%)	Dry weight mycelium
Control	0	0.093
Endophytic bacteria from the root		
fluorescent *Pseudomonas* BB.A2	49.00	0.038
fluorescent *Pseudomonas* BS.A 2	45.00	0.027
fluorescent *Pseudomonas* BK.A1	51.00	0.017
fluorescent *Pseudomonas* PPD.A1	10.33	0.059
fluorescent *Pseudomonas* PP.A1	38.33	0.017
fluorescent *Pseudomonas* PB.A4	18.00	0.037
Bacillus sp.BB.A3	40.42	0.030
Bacillus sp.BS.A1	48.73	0.016
Bacillus sp. BSA3	37.42	0.039
Bacillus sp. B.K.A1	55.39	0.002
Bacillus sp. B.K.A3	51.52	0.003
Bacillus sp.PP.A3	46.65	0.019
Bacillus sp.PP.A5	50.66	0.009
Endophytic bacteria from the stem		
fluorescent *Pseudomonas* PPD.B1	27.00	0.020
fluorescent *Pseudomonas* PPD.B5	49.33	0.013
fluorescent *Pseudomonas* PP.B4	65.67	0.004
Bacillus sp. BB.B4	44.44	0.026
Bacillus sp. BS.B1	49.74	0.012
Bacillus sp. BK. B3	40.36	0.031
Bacillus sp.PPD.B2	50.8	0.007
Bacillus sp. PPD.B4	39.44	0.036
Bacillus sp. PB.B1	37.29	0.047
Bacillus sp. PB.B3	44.9	0.022

يمكن إظهار مستوى قدرة البكتيريا على تثبيط النمو من خلال حساب قطر هالة منطقة التثبيط . أظهرت النتائج أن مؤشر العداء يتراوح بين 1.67–8.17. وبناءً على هذا المؤشر، فإن معظم البكتيريا الداخلية لديها تضاد قوي (مؤشر العداء> 4) (Stout & Davis,1971). علاوة على ذلك، تم اختبار العزلات البكتيرية التي أظهرت نشاطًا عدائيًا لأنواع التضاد استنادًا إلى (Djatmiko ,2007). بناءً على نوع النشاط المضاد، كانت 9عزلات من البكتيريا الفطرية الداخلية مبيدة للجراثيم و 10عزلات مثبطة لها وقد كان تثبيط النمو مؤقت.

جدول (10): تثبيط البكتيريا الفطرية الداخلية ضد البكتيريا الممرضة ***Pantoea sp***

Isolate	Antagonism	Antagonism index
Endophytic bacteria from the root		
fluorescent *Pseudomonas* BB.A2	-	0
fluorescent *Pseudomonas* BS.A 2	+	4.91
fluorescent *Pseudomonas* BK.A1	+	4.42
fluorescent *Pseudomonas* PPD.A1	-	0
fluorescent *Pseudomonas* PP.A1	-	0
fluorescent *Pseudomonas* PB.A4	+	5.29
Bacillus sp.BB.A3	+	8.17
Bacillus sp.BS.A1	+	4.00
Bacillus sp. BSA3	+	5.07
Bacillus sp. B.K.A1	+	4.01
Bacillus sp. B.K.A3	+	4.91
Bacillus sp.PP.A3	+	6.63
Bacillus sp.PP.A5	+	6.56
Endophytic bacteria from the stem		
fluorescent *Pseudomonas* PPD.B1	-	0
fluorescent *Pseudomonas* PPD.B5	+	5.86
fluorescent *Pseudomonas* PP.B4	-	0
Bacillus sp. BB.B4	+	7.80
Bacillus sp. BS.B1	+	6.22
Bacillus sp. BK. B3	+	5.33
Bacillus sp.PPD.B2	+	5.00
Bacillus sp. PPD.B4	+	8.75
Bacillus sp. PB.B1	+	1.67
Bacillus sp. PB.B3	+	5.67

4- المقال الرابع:

Evaluation of plant growth-promoting activities of endophytic bacteria of Musa acuminata and their characterization

المؤلفون:

Shilpi Singh, Kamlesh Choure, Piyush Kant Rai, Sourabh Singh Gour, Vivek Kumar Agnihotri

تم نشر هذا المقال سنة 2022 في Journal of Applied Biology & Biotechnology pp. 94-101(DOI: 10.7324)

الهدف من الدراسة:

أجريت الدراسة بهدف عزل وتعريف البكتيريا الداخلية المرتبطة بنبات *Musa acuminata* وتقييم خصائصها المعززة لنمو النبات . مع الكشف عن نشاطها المضاد لفطريات *Macrophomina phaseolina* و *Fusarium oxysporum*

المواد والطرق:

❖ **عزل البكتيريا الداخلية**

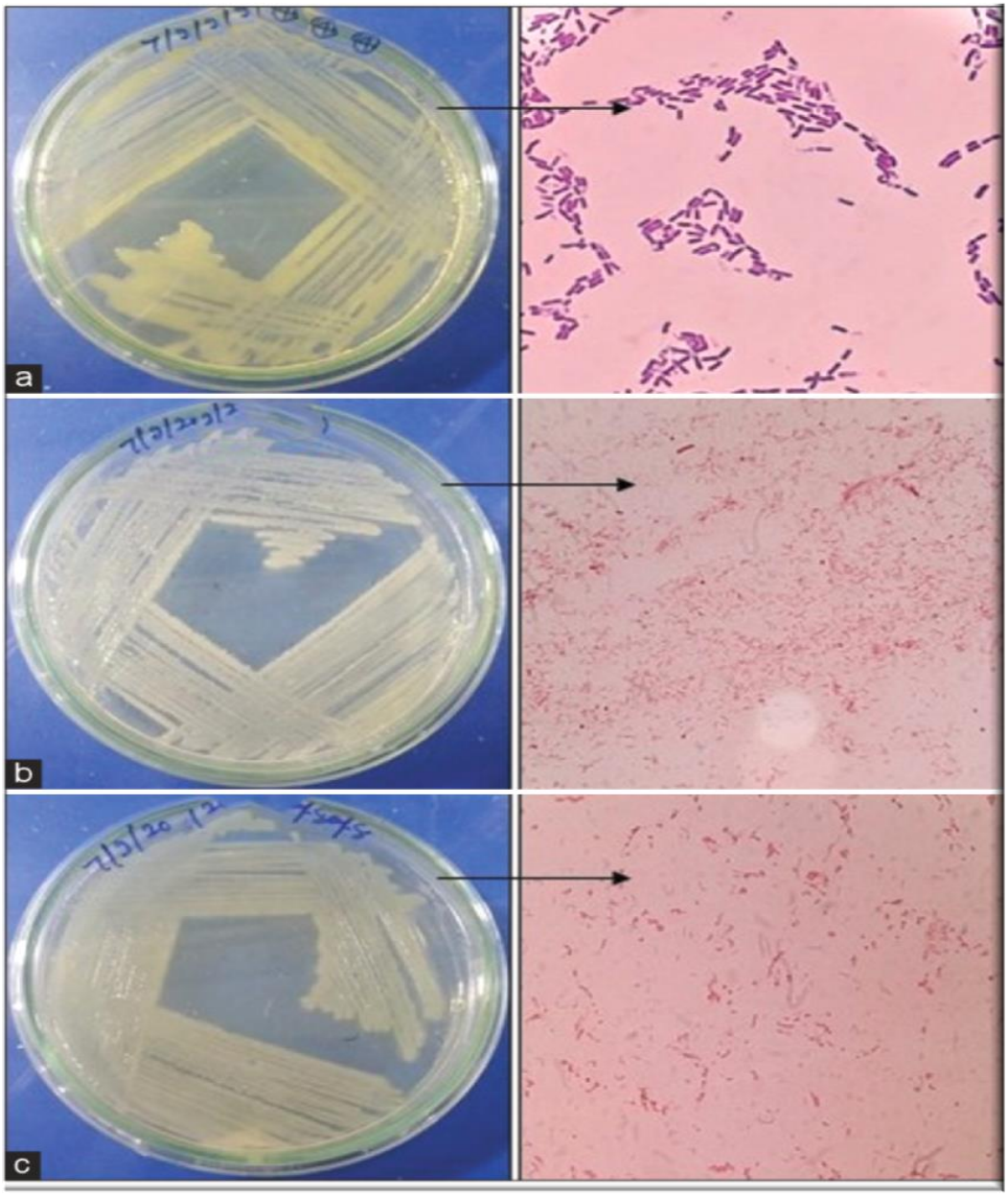
لعزل البكتيريا الداخلية، تم غسل العينات جيدًا ، ثم تم تعقيم السطح بواسطة غمسها تسلسلياً في الإيثانول 70% لمدة 60 ثانية والصوديوم 1% هيبوكلوريت لمدة 30 ثانية. ثم تم وضع كل قطعة من العينة عليها وسط أجار مغذي أساسي. أربع قطع من العينات لكل تم تلقيح اللوحة على مسافات مماثلة. تم تحضين اللوحات لمدة 24-48 ساعة في الحاضنة عند 30 ± 1 درجة مئوية. على أساس الخصائص المورفولوجية.

النتائج والمناقشة:

في هذه الدراسة تم فحص أجزاء مختلفة من عينات نبات *M. acuminata* السليمة بما في ذلك الأوراق والبراعم والجذور وجمعها من مختلف مناطق زراعية في ماديا براديش، الهند. تم الحصول على 19 عزلة بكتيرية داخلية

كما تم تشخيص العزلات على أنها*Bacillus cereus* ، *Enterobacter cloacae*، *Enterobacter hormaechei* الموضحة في (الشكل 20).

وقد تم اختبار العزلات البكتيرية الداخلية لقدرتها على إذابة الفوسفات، إنتاج حامل الحديد، IAA، وإنتاج الأمونيا (الجدول11). وكانت جميع العزلات الـ 19 قادرة على ذلك



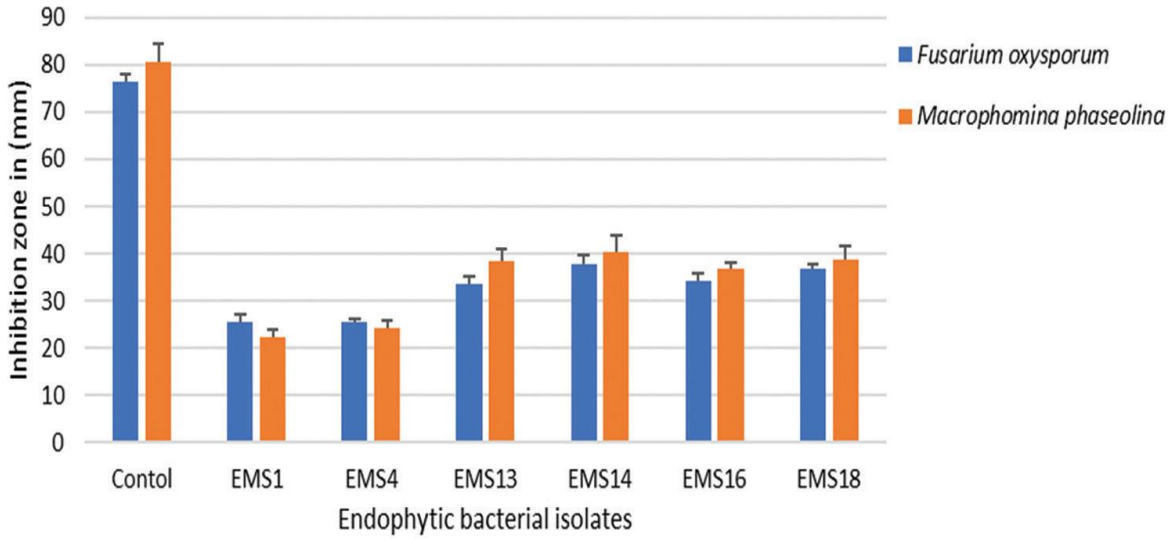
الشكل (20): زراعة نقية للعزلات البكتيرية الداخلية البنية (a) ***Bacillus cereus*** **(EMS1 وEMS4)، (b)** ***Enterobacter cloacae*** **(EMS13، EMS14، وEMS16)، (c)** ***Enterobacter hormaechei*** **(EMS18)**

الجدول (11): امكانات تعزيز نمو النبات بالسلالات البكتيرية المعزولة.

	اسم العينة	اختبار انتاج IAA (µg ml−1)	اختبار تثبيت النتروجين (µg ml−1)	اختبار انتاج حاملات الحديد	اختبار انتاج HCN	اختبار انتاج الأمونيا
EMS1	*Bacillus cereus*	+	+	+	+	+
EMS4	*Bacillus cereus*	+	+	+	+	+
EMS13	*Enterobacter cloacae*	+	+	+	–	+
EMS14	*Enterobacter cloacae*	+	+	+	–	–
EMS16	*Enterobacter hormaechei*	+	+	+	+	+
EMS18	*Enterobacter cloacae*	+	+	+	–	+

- **النشاط المضاد للفطريات المسببة للأمراض:** تم فحص العزلات البكتيرية الداخلية للتأثير المثبط على الفطريات. اظهرت النشاط العدائي ضد الفطريات مسببات الأمراض مثل *F. oxysporum* و*M.phaseolina* وأظهرت العزلات البكتيرية عداء كبير. اذ تشير النتائج أن EMS1 و EMS4 يمنعان نمو الكائنات المسببة للأمراض بشكل ملحوظ، مع متوسط قطر التثبيط يبلغ 25 ± 0.02 مم و24 ± 0.08 مم، عند *F. oxysporum* مع سلالات أخرى، مثل 0.1 ± 28) EMS13 مم، 0.2 ± 23) EMS14 مم، 0.01 ± 32 EMS16 مم، 0.1 مم) و32) EMS18 ± و25 ± 0.02 مم و24 ± 0.08 مم.

بالمثل ضد *M.phaseolina* EMS1 وEMS4 يظهران 22 ± 0.01 و21 ± 0.02 وسلالات أخرى مثل 0.1 ± 30) EMS13 مم)، 0.2 ± 29) EMS14 مم)،0.01 ± 28) EMS16 مم)، و0.1 ± 28) EMS18



الشكل (21): النشاط العدائي للسلالات البكتيرية المعزولة على نمو الفطريات *Fusarium oxysporum* المسببة للامراض *Macrophomina phaseolina* :

تحتوي البكتيريا الداخلية المعزولة على العديد من المركبات التي تعمل على تحفيز نمو النباتات ومساعدتها على الاستجابة بشكل أكبر (Das et *al*,2009). حيث تدعم مضيفها من خلال تطوير الهرمونات النباتية، وتوفير الحماية من مسببات الأمراض (Iniguez et *al*, 2005; 2006) (Rosenblueth et *al*,). وإذابة الفوسفات، وتوفير النيتروجين للنباتات (Santoyo et *a*l,2016)

يمكن للنباتات المضيفة الاستفادة من البكتيريا الداخلية بشكل مباشر من خلال تحسين امتصاص المغذيات النباتية، وتعديل الهرمونات النباتية المرتبطة بالإجهاد وتحسين صحة النبات بشكل غير مباشر باستخدام المضادات الحيوية لاستهداف مسببات الأمراض والأمراض، وإفراز الإنزيمات المحللة، وتحفيز مقاومة النبات (Thomas & Soly,2009); (Pinski et *al*,2019)

في الأبحاث المذكورة سابقًا، كانت هذه البكتيريا المعزولة قادرة على تعزيز نمو النبات على مستوى الهرمونات مثل IAA، وحامل الحديد، واختبار ذوبان الفوسفات، (Sobral *et al*, 2004). من بين العزلات التي تم اختبارها، وجدنا أن أعلى مستويات IAA تم إنتاجها بواسطة البكتيريا EMS 1 و EMS 4 من *Bacillus spp*. كانت هذه العزلات قادرة على النمو على ركيزة خالية من النيتروجين، فقط عزلتين EMS 1 و *Bacillus spp* EMS 2. لديها القدرة على النمو في وسط خالٍ من النيتروجين، كما هو موضح في (الجدول 11)

وتظهر النتائج أن *Bacillus spp*. EMS 1 وEMS 4) كانت أكثر فعالية في إنتاج المضادات الحيوية مقارنة ببكتيريا) EMS13 EMS16 وEMS18، EMS14) .*Enterobacter spp*، والتي تم اختبارها ضد *F. oxysporum* و*M.phaseolina*، كما هو مبين في (الشكل 21).

تم الإبلاغ عن *Enterobacter sp* مسبقًا ضد *M.phaseolina* وغيرها من الفطريات المسببة للأمراض (Shilpi et *al*,2022)

اظهرت نتائج هذه الدراسة، أن جميع السلالات المعزولة لديها القدرة على التأثير على نمو النباتات المضيفة ولها إمكانية استخدامها كملقح حيوي فعال لتعزيز نمو*M. acuminata*.

5- المقال الخامس:

Identification, Antimicrobial and Plant Growth Promoting Activities of Endophytic Fungi Associated with *Cynomorium songaricum* Rupr., a Traditional Medicinal Plant in Mongolia

المؤلفون

Enkh-Amgalan Jigjiddorj, Amarbayasgalan Maidarjav, Bumtsend Byambasuren and Daritsogzol Nyamgerel

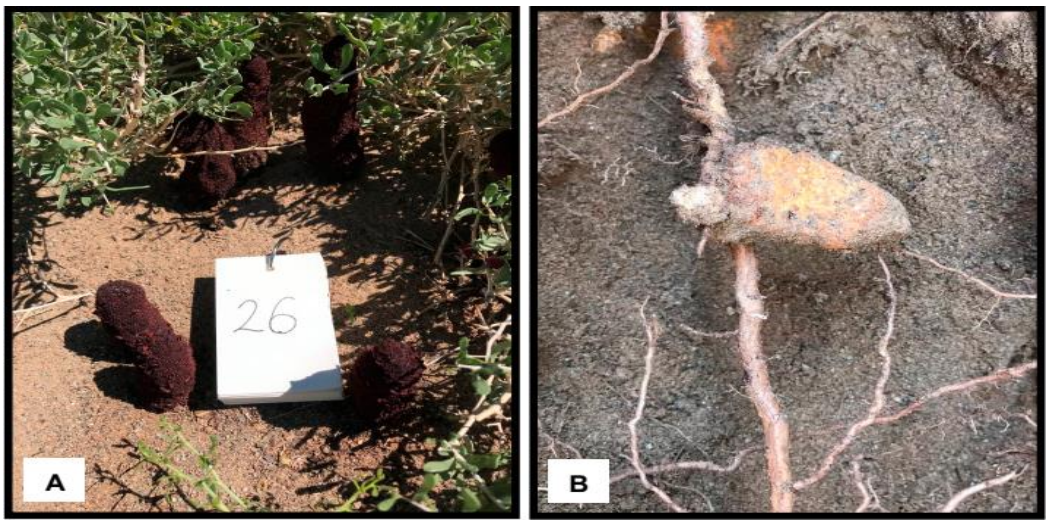
تم نشر هذا المقال سنة 2024 في diversity (DOI: 10.3390) 13 -1.pp

الهدف من الدراسة

التعرف على أنشطة الفطريات الداخلية المرتبطة بـ *Cynomorium Songaricum Rupr* و تحديد خصائصها المعززة لنمو النبات.

المواد والطرق

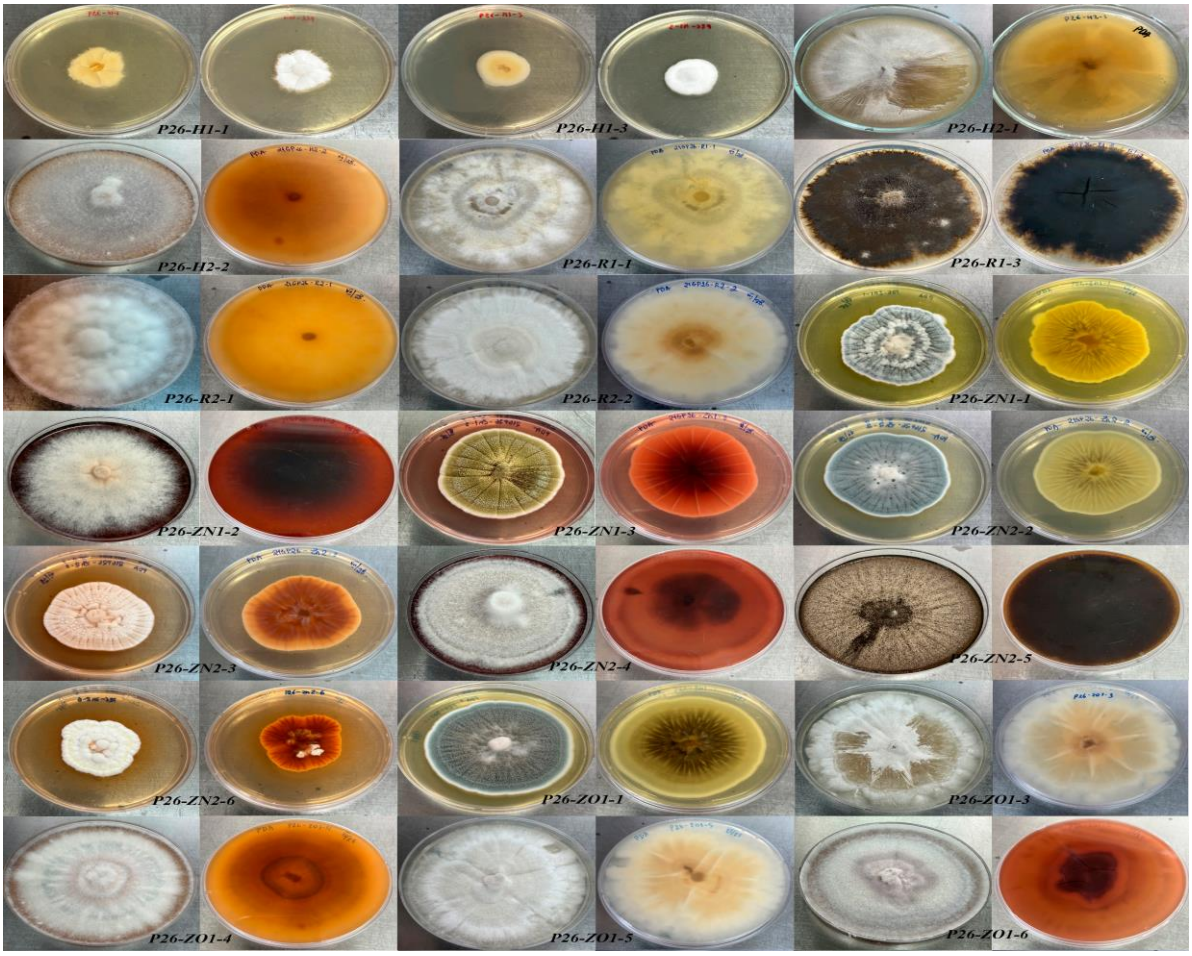
عزل الفطريات الداخلية: تم غسل الأجزاء السليمة والجذور جيدًا لإزالة الحطام الملتصق، ثم تم تعقيم كل عينة بالتتابع عن طريق الغسيل، بعد التجفيف على ورق الترشيح المعقم يتم تقطيع كل عينة إلى قطع صغيرة وتوضع على PDA. تم تحضين جميع الأطباق عند درجة حرارة 28 درجة مئوية، تتم مراقبتها يوميًا لمدة تصل إلى 3 أسابيع.



الشكل (22): موطن العينات النباتية التي تم جمعها. (A) *Cynomorium Songaricum* ينمو في التربة الرملية، (B) جذمور *Cynomorium Songaricum* على جذر النبات المضيف *Nitraria sibirica Pall*

نتائج الدراسة:

تم الحصول على 24 عزلة للفطريات الداخلية تنتمي الى 6 اجناس *Fusarium, Clonostachys, Penicillium, Alternaria, Aspergillus, Madurella* من الأجزاء العلوية (4)، والأجزاء الجوفية (4)، والجذور الطازجة (8)، والجذور القديمة (8) من *Cynomorium Songaricum* Rupr. النامية في التربة الرملية في إقليم مقاطعة جوفي ألتاي في منغوليا (الشكل 23).

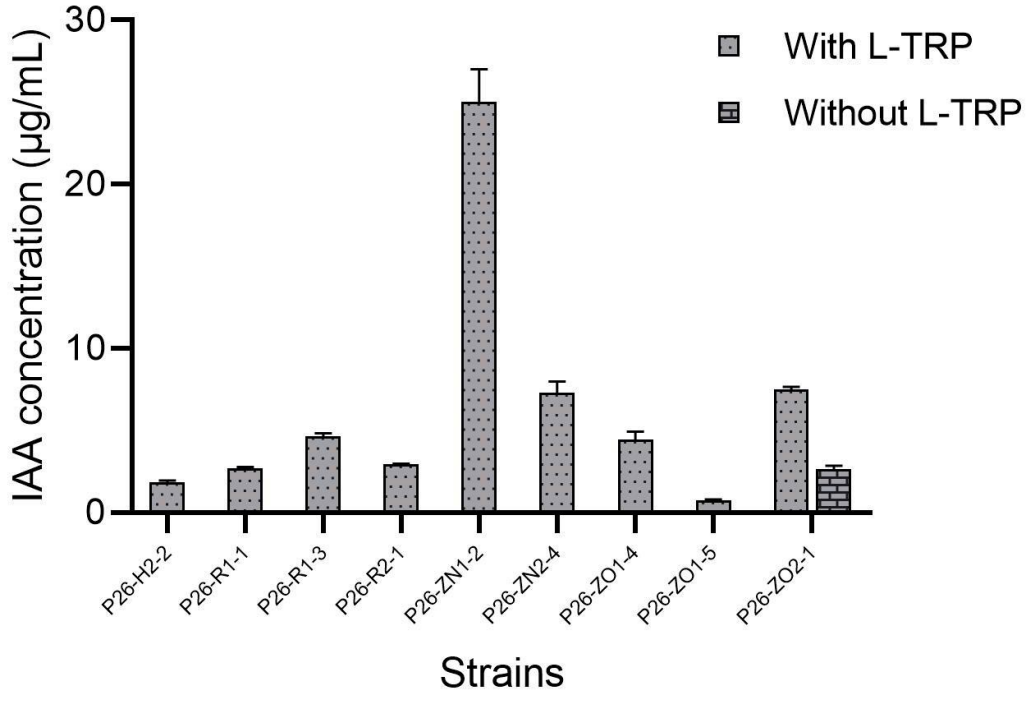


الشكل (23): التنوع المرفولوجي للفطريات الداخلية المعزولة من *Cynomorium songaricum*

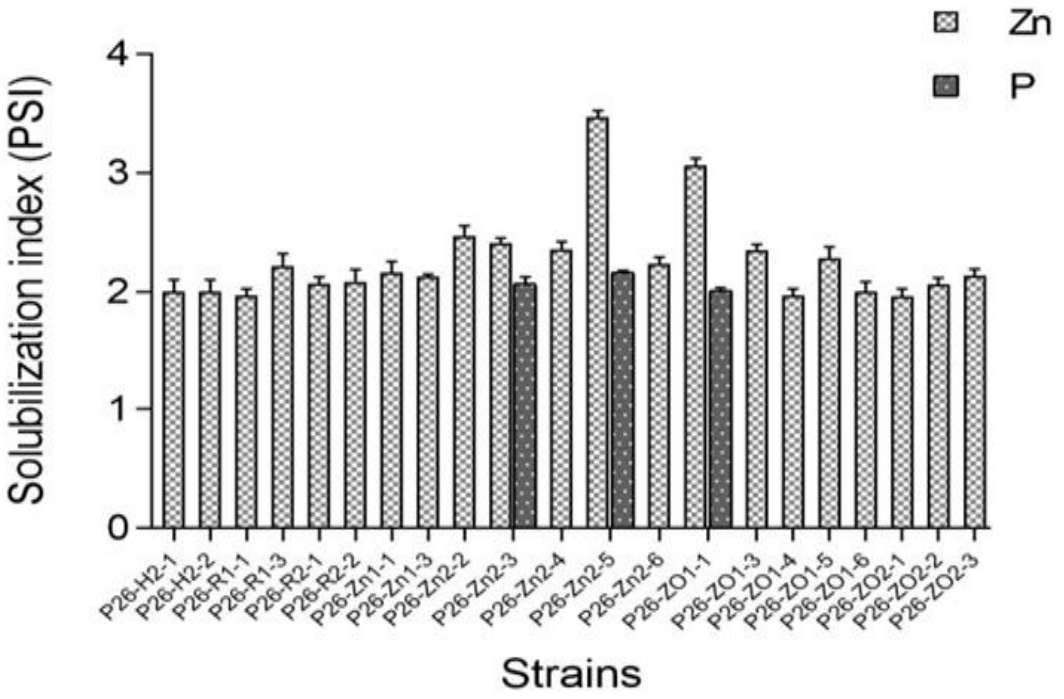
أظهرت جميع السلالات المعزولة نتائج إيجابية؛ حيث شوهد إنتاج IAA في 9 سلالات (الشكل 24)، بينما وقد لوحظ نشاط ذوبان الفوسفات وأكسيد الزنك (الشكل 25).

ثلاث سلالات من البنسليوم، P26-ZN2-3، P26-ZN2-5، وP26-ZO1-1 كانت إيجابية لكل من سمات ذوبان الفوسفات وأكسيد الزنك.

أظهرت السلالة P26-ZN2-5 أهم نشاط إذابة الفوسفات على المادة الصلبة مع مؤشر ذوبان (SI) يبلغ 2.16 ± 0.02 سم. كما أظهرت هذه السلالة أهم نشاط إذابة الزنك على أجار الملح المعدني مع SI 3.4 ± 0.1 سم.



الشكل (24): إنتاج IAA بواسطة الفطريات الداخلية.



الشكل (25): إذابة الفوسفات والزنك بواسطة الفطريات الداخلية.

عززت الفطريات الداخلية لجنس البنسليوم النمو للنبات المضيف *P. chilensis* عن طريق زيادة كفاءة PSII والنيتروجين ومحتوى الكربوهيدرات في الأوراق (González et *al*,2018).

وجد في دراسات سابقة ان *P. bilaiae* RS7B-SD1 المرتبط مع جذور القمح لديه القدرة على إذابة كميات كبيرة من الفوسفات الصخري (Wakelin *et al*, 2004

تم تصنيف إحدى العزلات، P26-ZN1-2 ضمن جنس *Madurella* (Pushpa ,2018 ;2023, Orole et *al*). كان لسلالة مادوريلا P26-ZN1-2 نشاط مضاد للجراثيم ضد البكتيريا سالبة الجرام وإيجابية الجرام وأنتجت أكبر كمية من IAA

6- المقال السادس:

Identification and Characterization of a Plant Endophytic Fungus Paraphaosphaeria sp. JRF11 and Its Growth-Promoting Effects

المؤلفون

Jie Shan, Fangren Peng, Jinping Yu and Qi Li

تم نشر هذا المقال سنة 2024 فيJournal Fungi (DOI :10.3390) PP:1- 16

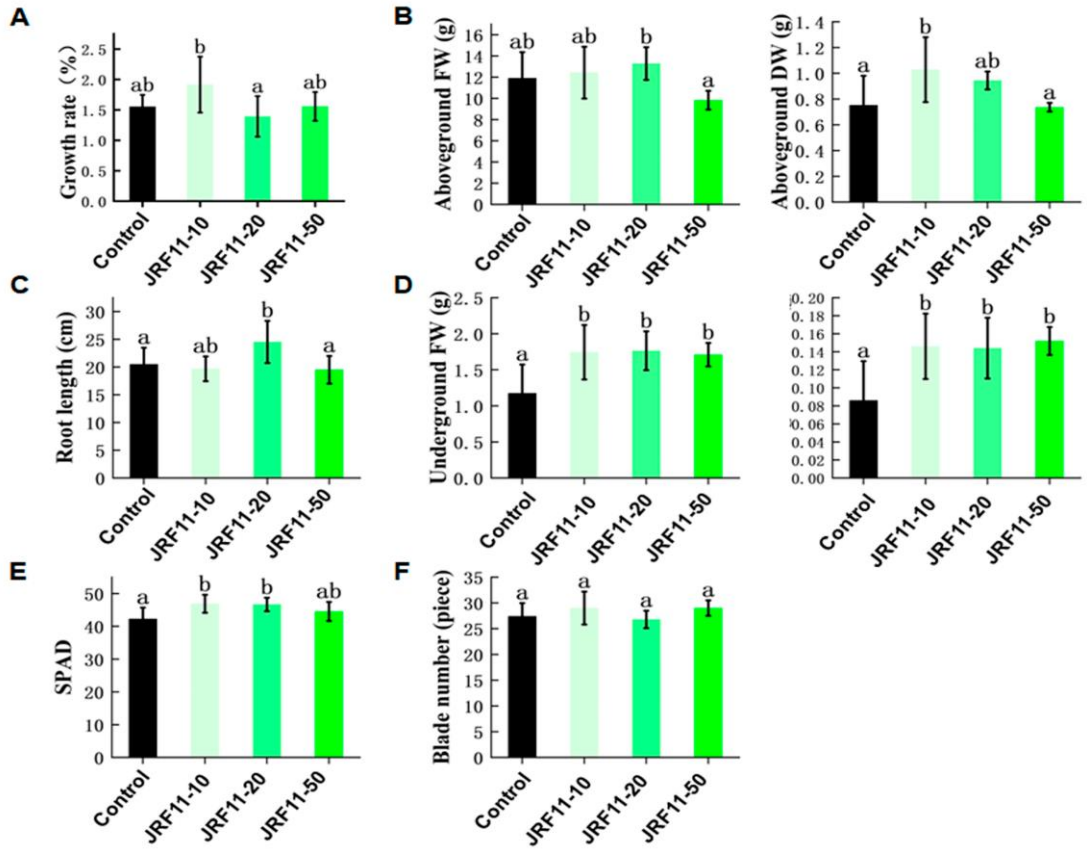
الهدف من الدراسة

اجريت الدراسة بهدف عزل و تحديد الفطريات الداخلية للنباتJRF11 . *Paraphaosphaeria* spومعرفة تأثيراتها المعززة للنمو

النتائج المتوصل اليها

تم في هذه الدراسة عزل وتحديد 14 سلالة من الفطريات الداخلية من Carya illinoinensis حيث أظهرت النتائج أن JRF11 كان له تأثير إيجابي على نمو النبات

- . JRF11-10 زاد بشكل كبير من معدل نمو نباتات الطماطم (الشكل A-26). كما لوحظ زيادة معتبرة لنباتات الطماطم المعالجة بـ JRF11-10 وJRF11-20 في النمو الإجمالي والكتلة الحيوية ، خاصة بالنسبة للوزن الطازج/الجاف تحت الأرض للنباتات المعالجة بـ JRF11 (الشكل B، -26 D).
- كان طول جذر النباتات المعالجة JRF11-20 أطول من طول الشاهد (الشكل C-26). وزادت الكتلة الحيوية للجذر بشكل ملحوظ بعد جميع المعالجات، JRF11-10، JRF11-20، وJRF11-50 (الشكل D -26). في نباتات الطماطم الملقحة بـ JRF11،
- JRF11-10 وJRF11-20 زادا بشكل كبير قيمة SPAD لنباتات الطماطم (الشكل E-26)، ولكن لم يكن هناك فرق كبير في عدد الأوراق بين النباتات المعالجة والشاهدة JRF11 (الشكل F -26).



الشكل (26): مؤشرات نمو نباتات الطماطم المعالجة ب Paraphaosphaeria سلالة JRF11

FW: الوزن الطازج **DW:** الوزن الجاف **(A):** معدل النمو لنبات الطماطم **(B):** FWL وDW فوق الأرض

(C): طول الجذر **(D):**FW وDW تحت الأرض **(E):**SPAD لقياس الكلوروفيل **(F):** رقم الشفرة

تم الإبلاغ عن نتائج مماثلة من قبل محمد اعزاز، الذي وجد زيادة في خصائص نمو نبات القمح مع التلقيح بالفطرين GREF2 و TQRF8. على وجه الخصوص، أثرت هذه الفطريات المعزولة بشكل كبير على طول جذر القمح (Aizaz et *al*, 2023)

وجد أن فطر *Coniochaeta sp*.، الذي تم عزله من جذور *Dendrobium longicornu* Lindl، يمكنه بنجاح استعمار وتعزيز نمو *Cymbidium aloifolium*(Shah et *al*, 2022). كما وجد Su. et *al* ان Paraphaeosphaeria sp. YXG-18 المعزول من النبات الطبي *Ginkgo biloba* يمكن أن يحفز إنتاج المستقلبات المضادة للفطريات ضد مسببات الأمراض لمقاومة النبات (Su et 2023 *al* ,).

اثبت (Shah et *al*, 2022) أن فطر Coniochaeta sp.، الذي تم عزله من جذور *Dendrobium longicornu* Lindl، يمكنه بنجاح استعمار وتعزيز نمو *Cymbidium aloifolium*.

بينت الدراسات السابقة مدى صحة تعزيز الفطريات الداخلية *P. citrinum* المعزولة من جذور Ixeris، نمو أرز Waito-c وشتلات Atriplex Gemelinii (Khan et *al*, 2008).

7-المقال السابع:

Whole-genome analysis revealed the growth-promoting and biological control mechanism of the endophytic bacterial strain Bacillus halotolerans Q2H2, with strong antagonistic activity in potato plants

المؤلفون

Yuhu Wang, Zhenqi Sun, Qianqian Zhao, Xiangdong Yang, Yahui Li, Hongyou Zhou, Mingmin Zhao and Hongli Zheng,

تم نشر هذا المقال سنة 2024 في Frontiers in Microbiology (DOI: 10.3389) 18-PP:1

الهدف من الدراسة

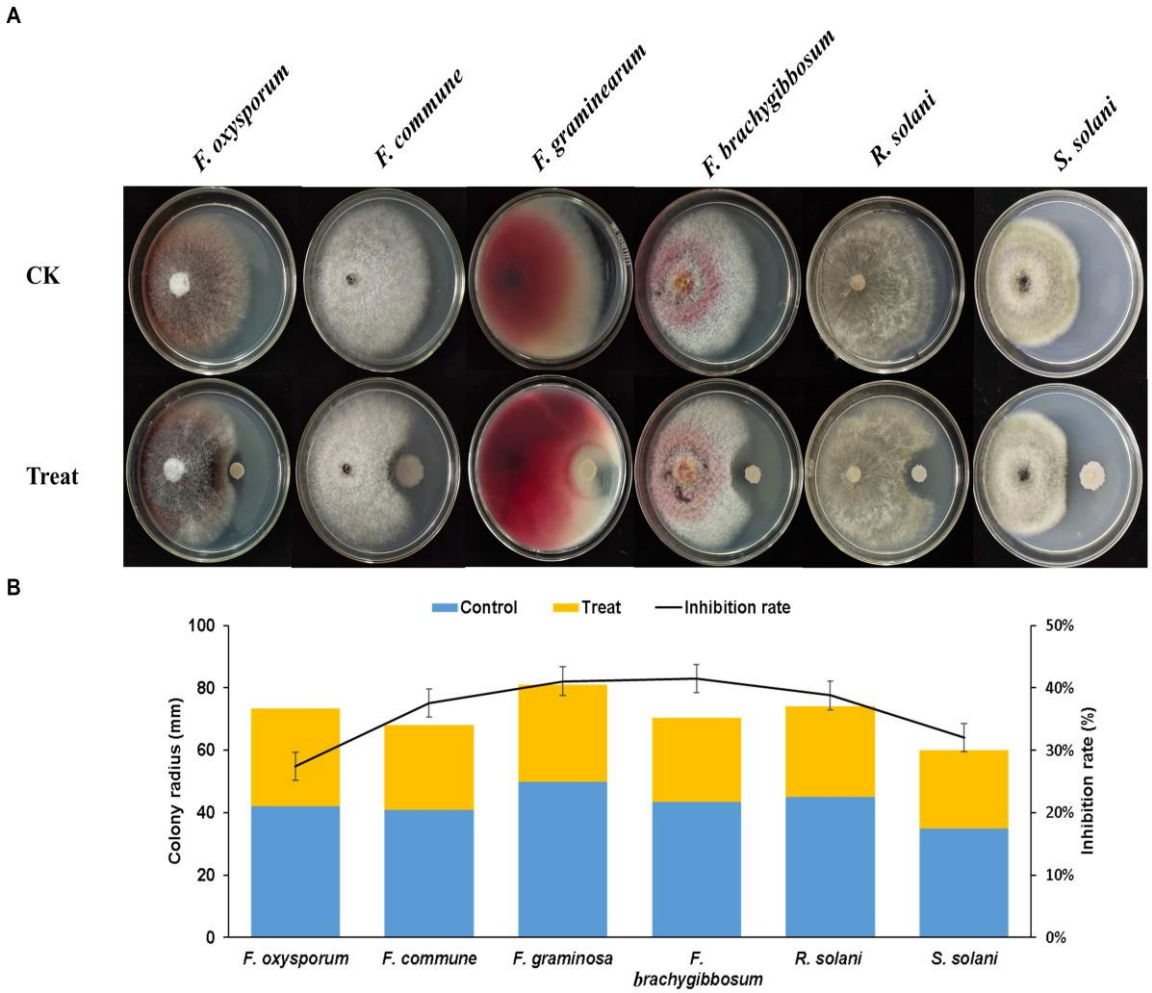
اجريت الدراسة بهدف الكشف عن اليات تعزيز النمو و المكافحة الحيوية ل *Bacillus halotolerans* Q2H2 في نبات البطاطس

المواد والطرق

عزل *Bacillus halotolerans* Q2H2: تم عزل البكتيرياالداخلية Q2H2 من جذور البطاطس الاطلسية و تخزينها عند 80 درجة مئوية. وكانت الخلايا في وسط (LB) (Wang et *al*, 2022).

النتائج المتوصل اليها

أظهرت النتائج أن Q2H2 له تاثيرات مثبطة ضد ستة فطريات ممرضة: *F. oxysporum*، *F. commune*، *F. graminearum* ، *F. brachygibbosum*، *R. solani* و*S. solani*. (الشكل A-27) حيث كان معدل تثبيط النمو أعلى بالنسبة ل *F. brachygibbosum* (41.51%)، يليه *F. graminearum* (41.08%).و كانت معدلات التثبيط لنمو *R. solani* و *F. commune* و *S. solani* و *F. oxysporum mycelial* 38.79 و37.58 و32 و27.45% على التوالي (الشكل - 27 B).

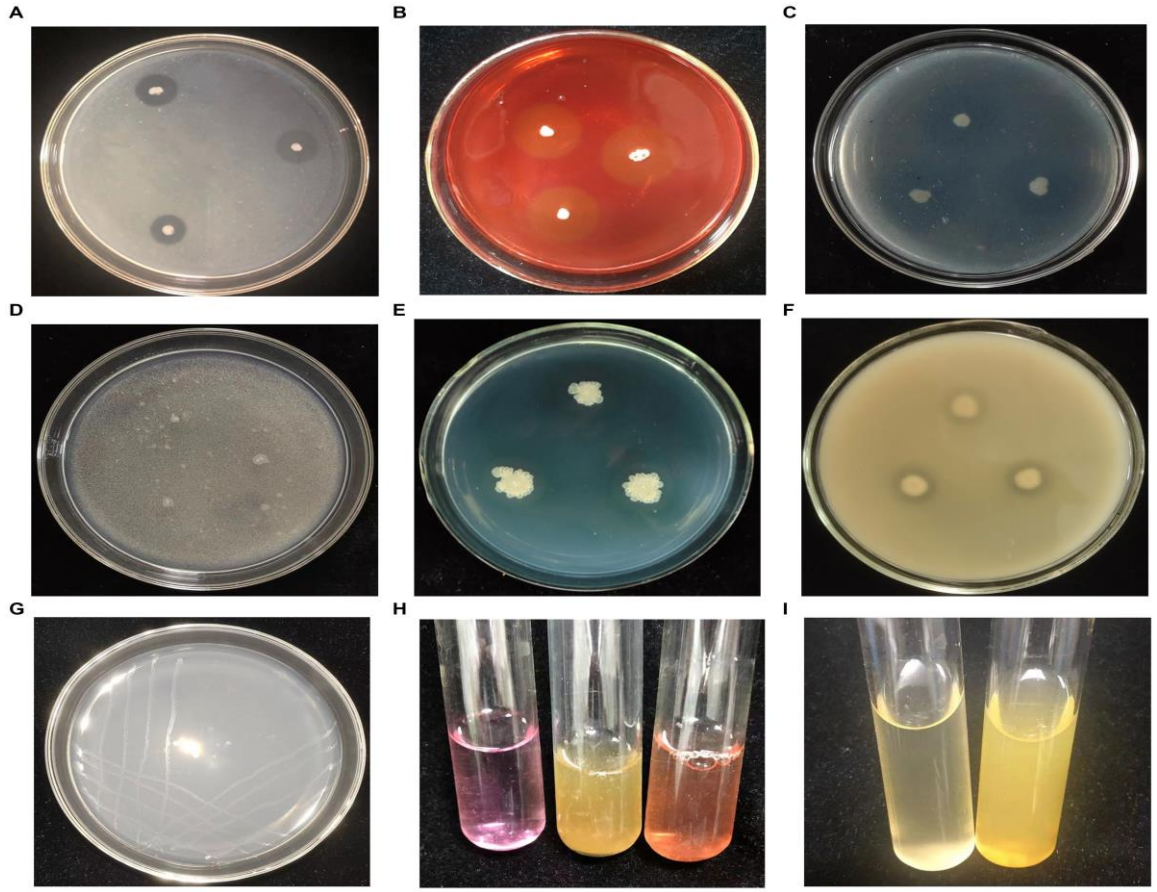


الشكل (27): النشاط العدائي لـQ2H2 ضد مجموعة من الفطريات المسببة للامراض

(A) التأثيرات العدائية لـ Q2H2 ضد مجموعة متنوعة من الفطريات المسببة للأمراض و **(B)** التحليلات الإحصائية.

بعد الاطلاع على المقال توصلنا الى ما يلي:

- Q2H2 قادر على انتاج الأنزيم البروتيني، السليوليز، و β-1,3-glucanase، (الأشكال A-28C). بالإضافة إلى ذلك يعمل على إنتاج الكيتيناز (الشكل28-D)
- بينت فحوصات الانشطة المعززة للنمو لـ Q2H2 قدرته على إنتاج حاملات الحديد (الشكل 8 -E 2).
- كما تبينت هالات واضحة حول النقاط في وسط الفوسفات العضوي (الشكل 28- F)
- وجد أن Q2H2 نما في الوسط بدون النيتروجين (الشكل 28-G).
- تم تقدير إنتاج IAA باستخدام الطريقة اللونية في وجود التربتوفان. يشير اللون الاحمر إلى أن Q2H2 يمكنه تصنيع IAA (الشكل28-H).
- تحول اللون إلى اللون الأصفر عند إضافة كاشف نيسلر، مما يؤكد إنتاج الأمونيا (الشكل 28-I).



الشكل (28): الكشف عن الإنزيمات المعادية وأنشطة تعزيز نمو النبات في Q2H2.

(A) الكشف عن الأنزيم البروتيني؛ **(B)** الكشف عن السليوليز؛ **(C)** 1,3-β- الكشف عن الجلوكوز. **(D)** الكشف عن الكيتيناز؛ **(E)** الكشف عن Siderophore؛ **(F)** الكشف عن الفوسفات العضوي؛ **(G)** الكشف عن تثبيت النيتروجين **(H)** كشف حمض الإندول-3- الأسيتيك (IAA)؛ **(I)** كشف الأمونيا.

استكشفت هذه الدراسة الأنشطة المعززة للنمو لـ Q2H2، بما في ذلك إذابة الفوسفات، تثبيت النيتروجين، إنتاج حامل الحديد، IAA وإنتاج الأمونيا. كما بينت التجارب أن Q2H2 يمكنه تعزيزنمو جذور نباتات البطاطس والسيطرة بشكل فعال على ذبول البطاطس

اظهرت الدراسات السابقة ان الفطريات الداخلية *Bacillus velezensis* BR-01 تمتلك نشاطًا عدائيًا قويًا ضد مجموعة متنوعة من مسببات أمراض الأرز ، بسبب إنتاجها للببتيدات المضادة للبكتيريا مثل: Surfactin، وfengycin، وiturin، (Zhou et *al*., 2022).كما ان *Bacillus halotolerans* QTH8 يمنع نمو الفطريات المختلفة المسببة للأمراض، مثل *Fusarium pseudograminearum*, فالنباتات المعالجة بـ QTH8 لديها مقاومة ضد حدوث مرض تعفن تاج القمح(Li et *al*., 2022)

تنتج *B. subtilis* LK14 IAA وACC. بعد تطعيم نباتات الطماطم مع *B. subtilis* LK14 الداخلية، لوحظ زيادة معتبرة في الكتلة الحيوية و محتوى الكلوروفيل في السيقان والجذور(Khan et *al*., 2016)

وضح (Chandra et *al*, 2019)ان تلقيح القمح بالبكتيريا المعززة لنمو النبات (PGPB) يعزز نمو النبات بشكل فعال. اذ يزيد بشكل كبير من حجم الورقة من خلال المحتوى الغذائي، وخاصة في ظل ظروف الإجهاد المائي؛ و يحسن بشكل كبير قدرة مضادات الأكسدة في نباتات القمح.

8- المقال الثامن:

Efficacy of endophytic bacteria as promising inducers for enhancing the immune responses in tomato plants and managing *Rhizoctonia* root-rot disease.

المؤلفون:

Mona M. Abbas, Walaa H. Ismael, Amira Y. Mahfouz, Ghadir E. Daigham and Mohamed S. Attia

. تم نشر هذا المقال سنة 2024 في Scientific Reports . 20 . 1 ,Vol. 14, No. 1331

الهدف من الدراسة:

عزل وتحديد البكتيريا الداخلية *Rhizoctonia solani* من نباتات الفراولة وتقييم نشاطها المضاد للفطريات ضد عفن جذور الطماطم في المختبر والكائن الحي، والتعرف على تأثيرات مستقلباتها على الإنزيمات المؤكسدة في نباتات الطماطم.

المواد والطرق:

جمعت نباتات الفراولة الطازجة والسليمة من محافظة البحيرة (مصر) 2022 .

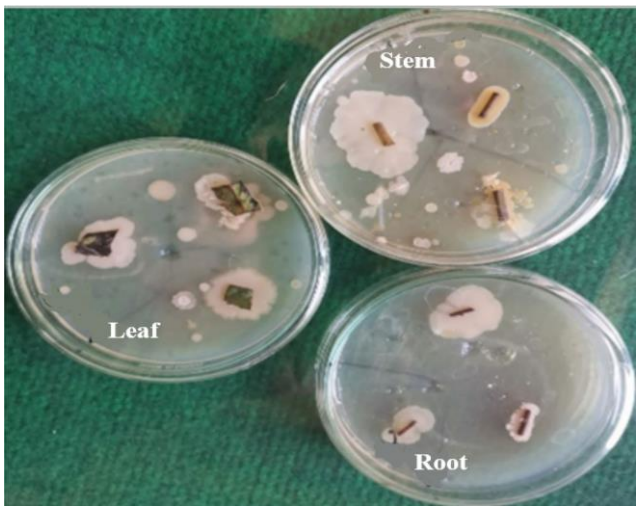
تم نقل جميع النباتات على الفور إلى المختبر وغسلها بالماء لإزالة الغبار ثم شطفها بالماء المقطر. بعد ذلك تم غمر المواد النباتية في 75% من الإيثانول لمدة دقيقتين، وشطفها بنسبة 2% من Na Cl) (Oلمدة 3 دقائق، ثم غسلها أخيرًا بالماء المقطر. قطعت النباتات بشفرة معقمة إلى قطع بحجم 0.5 إلى 0.3 سم ووضعت في وسط مغذي. تم تحضين الأطباق عند درجة حرارة 30 درجة مئوية لمدة يومين، وفي الأخير تم تعريض البكتيريا المعزولة للوصف المورفولوجي والمجهري.

فحصت البكتيريا الداخلية المعزولة للتحقق من قدراتها الكمية على إنتاج المواد المحفزة لنمو النبات، إنتاج الأوكسينات (IAA)، الجيبريلين (GA)، وإنتاج حامل الحديد (Siderophore). كما اختُبرت قدرتها على إذابة الفوسفات والبوتاسيوم وفقًا (Zahra, 1969). وتقييم تكوين سيانيد الهيدروجين(HCN) **وفقًا لـ (Frey et *al*.2005;Daigham et *al*.2023).**

تم الحصول على العامل الممرض *R. solani* وشتلات الطماطم بعمر ثلاثة أسابيع (*Solanum lycopersicum L.*) من مركز البحوث الزراعية بالجيزة، بعد الزراعة تم ري الشتلات بشكل طبيعي وتركها لمدة 7 أيام دون معالجة.

تم إعداد أواني بـ 6 تكررات بترتيب عشوائي، (T1) شتلات طماطم مزروعة في تربة معقمة (Healthy control) الشاهد السليم، (T2) شتلات مزروعة في تربة ملقحة ببكتيريا *R. solani*

(Control infected) الشاهد المصاب، (T3) شتلات سليمة معالجة ببكتريا *Bacillus velezensis* ، (T4) شتلات سليمة معالجة ببكتريا *Bacillus megaterium* ، (T5) شتلات سليمة معالجة ببكتريا *Herpaspirillum huttiense*، (T6) شتلات سليمة معالجة بمزيج من (*B. velezensis*; *B. megaterium*; *H. huttiense*)، (T7) شتلات مصابة معالجة ببكتريا *B. velezensis*، (T8) شتلات مصابة معالجة ببكتريا *B. megaterium*، (T9) شتلات مصابة معالجة ببكتريا *H. huttiense*، (T10) شتلات مصابة معالجة بمزيج من (*H. huttiense*; *B. velezensis*; *B. megaterium*). تم تسجيل شدة المرض بعد 15 يومًا من التلقيح، والكشف عن مقاومة المؤشرات البيوكيميائية بعد 60 يومًا من التلقيح.



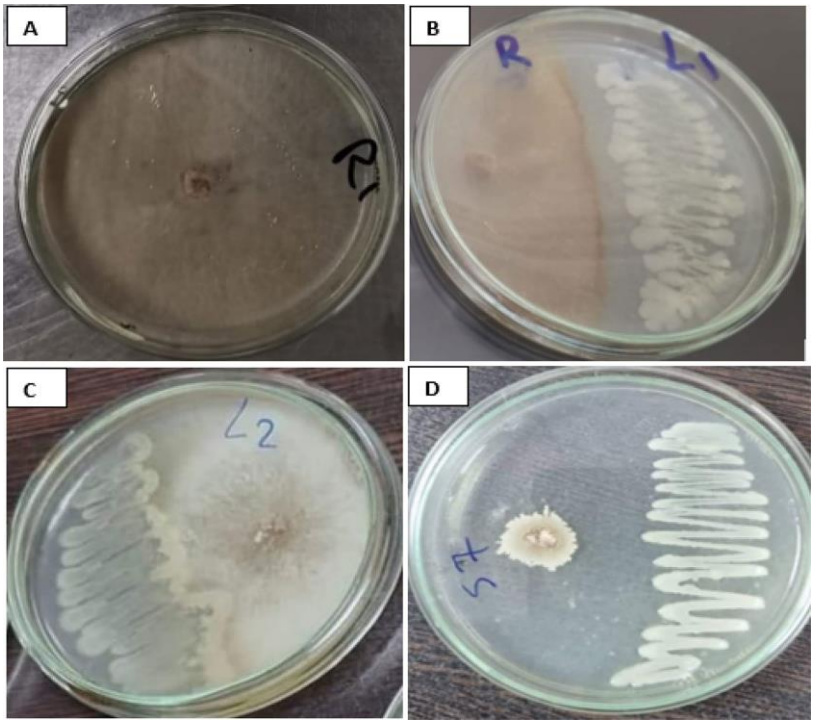
الشكل (29): عزل البكتيريا الداخلية من ساق وأوراق وجذور نباتات الفراولة.

النتائج والمناقشة:

أظهرت النتائج درجات متفاوتة من تثبيط نمو الفطريات الممرضة للنبات *R. solani* بالمقايسة مع البكتيريا الداخلية المضادة. حيث أشارت النتائج إلى أن عزلة (L1) *B. velezensis* كان لها أقصى تأثير مثبط على النمو الفطري لـ *R. solani* تليها عزلة (S7) *H. huttiense* ثم عزلة *B. megaterium* (L2) (الجدول 12)، تم عرض التفاعلات بين البكتيريا الداخلية و*R. solani* في (الشكل 30).

الجدول (12): النسبة المئوية لتثبيط النمو الفطري *R. solani*

البكتيريا الداخلية المعزولة	نسبة تثبيط فطر *R. solani* %
Bacillus velezensis (L1)	%100
Bacillus megaterium (L2)	%48
Herpaspirillum huttiense (S7)	%65



الشكل (30): التأثير العدائي للبكتيريا الفطرية الداخلية ضد *R. solani* ، (A) *R. solani* (الشاهد)، (B) *B. velezensis* (L1) مقابل *R. solani*، (C) *B. megaterium* (L2) مقابل *R. solani*، (D) *H. huttiense* (S7) مقابل *R. solani*.

كما هو موضح في (الجدول 13) فقد وصل مؤشر المرض إلى 85% نتيجة الإصابة بالبكتيريا *R. solani*، كما أظهرت النتائج في (الجدول 13، الشكل 31) أن كلا من عزلات *B. velezensis* ، *H. huttiense* و*B. megaterium* وحدها كانت فعالة في تقليل شدة مرض عفن الجذور *Rhizoctonia* بنسبة 22.5% و25% و27.5%. وزيادة الحماية بنسبة 73.52% و70.5% و67.64% على التوالي. ومع ذلك فإن العلاج المشترك للعزلات البكتيرية كان أكثر حماية ضد المرض بنسبة 79.4% ومؤشر المرض DI منخفض 17.5%.

الجدول (13): تأثير عزلات *B. velezensis* و*H. huttiense* و*B. megaterium* على مرض عفن الجذور لنبات الطماطم بسبب *R. solani*

المعالجات	مؤشر المرض DI %	الحماية %
الشاهد المصاب	85	0
B. velezensis	22.5	73.52
B. megaterium	27.5	67.64
H. huttiense	25	70.5
B. velezensis, B. megaterium and H. huttiense	17.5	79.4

الشكل (31): تأثير T1 وT2 وT3 في وقاية نبات الطماطم من مرض عفن الجذور الناتج عن فطر *R. solani*

T1: معالجة بـ *B. velezensis*؛ **T2**: معالجة بـ *B. megaterium*؛ **T3**: معالجة بـ *H. huttiense*؛ **Mix** : مزيج من بكتيريا(*B. velezensis* و*H. huttiense* و*B. Megaterium*)

بعد الاطلاع على المقال توصلنا من خلاله إلى ما يلي:

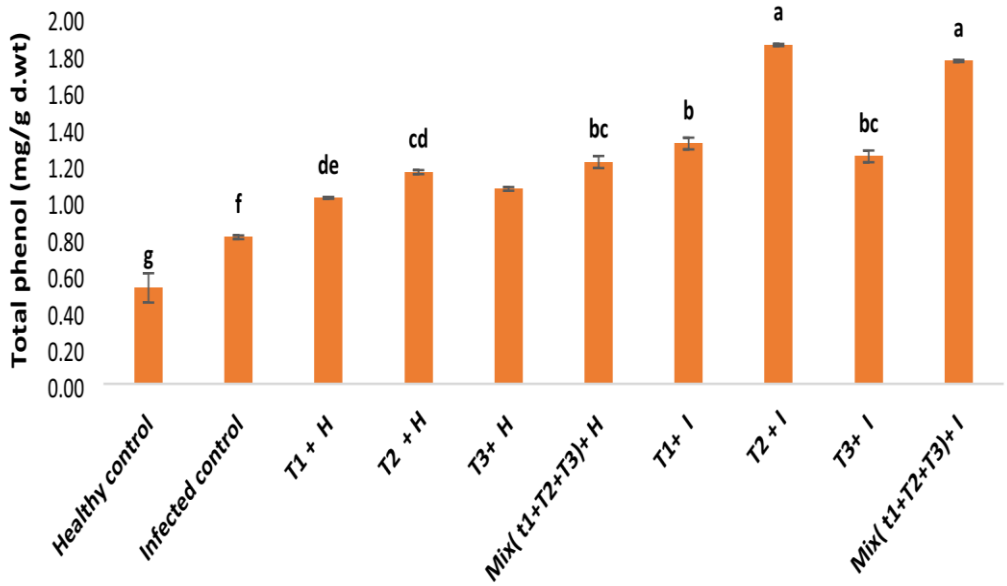
أثبتت العزلات البكتيرية *B. velezensis* (L1)، *B. Megaterium* (L2) و *H. huttiense* (S7)قدرة كبيرة مضادة لفطريات *R. solani* سواء في المختبر أو على مستوى شتلات الطماطم.

حيث ثبت أن بكتيريا *B. velezensis* لها تأثيرات مضادة للأمراض النباتية من خلال إنتاج مجموعة متنوعة من المواد الكيميائية المضادة للميكروبات كحاملات الحديد Siderophores (Cao et *al*.2018; Chen et *al*.2019)، تتوافق النتائج التي توصلنا إليها مع النتائج التي توصل إليها (Azevedo

et *al*.2000)، الذين وجدوا أن الكائنات الحية الدقيقة الداخلية جذبت الانتباه لاستخدامها في الإدارة البيولوجية ويمكن استخدامها لتعزيز نمو النبات ومنع الالتهابات الفطرية.

تنتج البكتيريا الداخلية المعزولة IAA، Siderophores ، وHCN، وتذيب الفوسفات في التربة. كما تعمل على انتاج مركبات نشطة بيولوجيًا مثل القلويدات، الفلافونويدات، والفينولات (Zinniel et *al*.2002; Singh et *al*.2017; Molina et *al*.2012) والتي بدورها تقوم بتقييد نمو مسببات الأمراض المختلفة (Lacava et *al*.2010;Wenzel et *al*.2012) وبالتالي حماية النبات (Strobel et *al*.2003; Gouda et *al*.2016). اتفقت نتائج الدراسة مع نتائج (Devi et *al*.2019;Hashem et *al*.2021) أن بكتيريا *B. megaterium* لها قدرة مضادة لفطر *R. solani* كما أنه يمكن استخدام *B. velezensis* كعامل مكافحة بيولوجي مضاد للفطريات وبديلاً مستدامًا للمواد الكيميائية الخطرة.

ارتفع محتوى الفينول بنسبة 52.77% نتيجة الإصابة بالفطر *R. solani* مقارنة بالشاهد السليم (الشكل 32). هذه النتائج مدعومة بالعديد من النتائج السابقة (Heflish et *al*.2021; Behiry et *al*.2023). يعد دور المركبات الفينولية أساسيًا في منع انتشار أمراض تعفن الجذور إما عن طريق انتاج العديد من المركبات الأيضية الدفاعية، أو عن طريق تقليل سمية العامل الممرض.

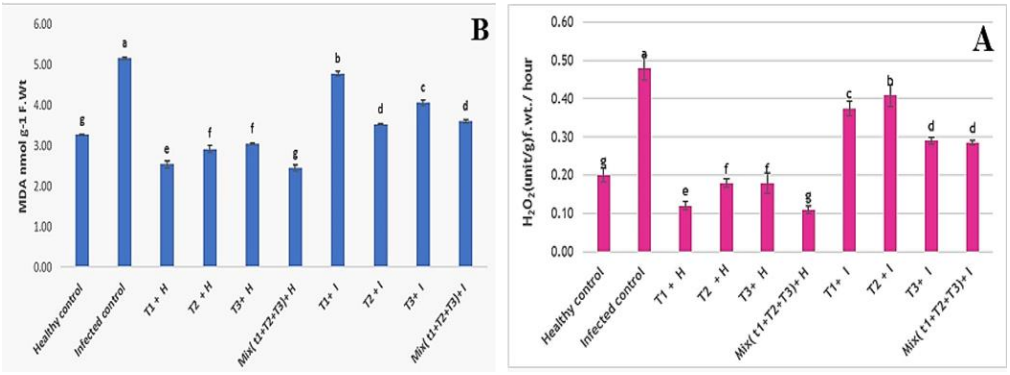


الشكل (32): تأثير العزلات البكتيرية *B. velezensis* ، *B. megaterium* و *H. huttiense* على محتوى الفينول لنباتات الطماطم السليمة والمصابة.

Healthy control: الشاهد السليم، Infected control : الشاهد المصاب.

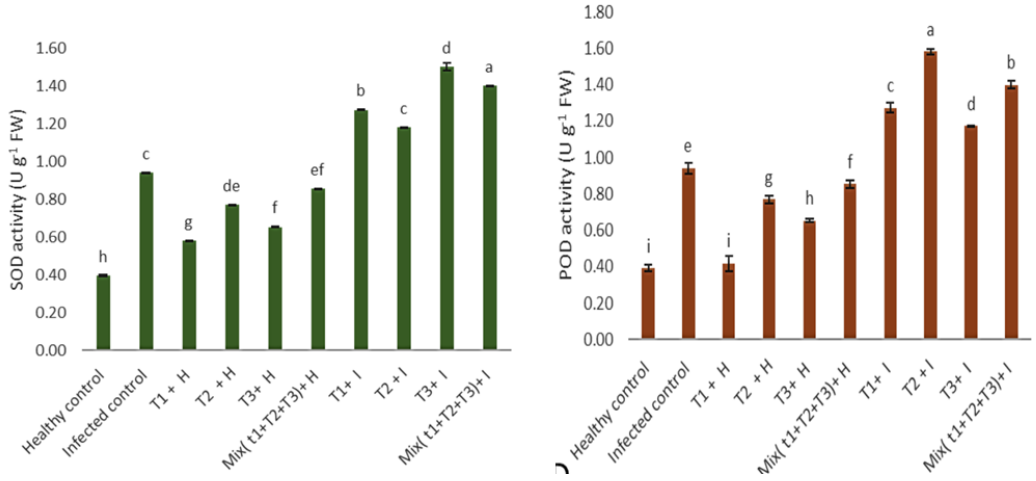
(T1): معالج بـ *B. velezensis*، **(T2):** معالج بـ *B. megaterium*، **(T3):** معالج بـ *H. huttiense* **(Mix):** مزيج من (B. velezensis، B. megaterium، H. huttiense)

أدت الإصابة بـ *R. solani* إلى تراكم مادة malondialdehyde (MDA) بنسبة 57.6% و hydrogen peroxide (H2O2) بنسبة 140%، مقارنةً بالنباتات السليمة غير المعالجة (الشكل 5)، وقد تم دعم هذه النتائج من خلال الدراسات السابقة (Abdelaziz et *al*.2023; Kant et *al*.2019). حيث أدى تطبيق البكتيريا الداخلية إلى تقليل إنتاج MDA و H2O2 (Sofy et *al*.2021) من خلال تعزيز إنتاج مضادات الأكسدة Superoxide dismutase (SOD) و Peroxidase (POD) (الشكل 33) التي تقضي على أنواع ROS وتحمي أغشية الخلايا من الإجهاد التأكسدي.



الشكل (33): تأثير العزلات البكتيرية *B. velezensis* و*B. megaterium* و*H. huttiense* على H2O2 (A) و MDA (B) لنباتات الطماطم السليمة والمصابة. Healthy control: الشاهد السليم، Infected control : الشاهد المصاب.

(T1): معالج بـ B. velezensis، **(T2):** معالج بـ B. megaterium، **(T3):** معالج بـ H. huttiense **(Mix):** مزيج من (B. velezensis، B. megaterium، H. huttiense)



الشكل (34): تأثير العزلات البكتيرية *B. velezensis* و*B. megaterium* و*H. huttiense* على (SOD) و(POD) لنباتات الطماطم السليمة والمصابة.

Healthy control: الشاهد السليم، Infected control : الشاهد المصاب.

(T1): معالج بـ *B. velezensis*، **(T2):** معالج بـ *B. megaterium*، **(T3):** معالج بـ *H. huttiense* **(Mix):** مزيج من (*B. velezensis*، *B. megaterium*، *H. huttiense*)

❖ مناقشة عامة:

الأحياء الدقيقة الداخلية للنباتات (Endophytes) تلعب دور هام في صحة عوائلها من خلال تعزيز نموها والمقاومة لمختلف ظروف الإجهاد والحماية ضد الكائنات الدقيقة الممرضة والحشرات. من جهة أخرى أثبت أنها مصدر هام للمركبات الجديدة النشطة بيولوجيا حيث أنها قادرة على إنتاج مجموعة واسعة من المستقلبات الثانوية الفعالة والانزيمات الدفاعية التي يمكن أن تقلل من العواقب المحتملة للهجوم الممرض. ويوفر استعمار الفطريات الداخلية عادة الحماية للنباتات بوسائل مختلفة، مثل إنتاج مركبات سامة لمسببات الأمراض، واحتلال البيئة البيئية التي يستخدمها العامل الممرض، وفي بعض الأحيان تعطيل الأغشية الخلوية للعامل الممرض، مما يؤدي إلى موت الخلايا. كما تمنح الارتباطات التكافلية مع الفطريات الداخلية مقاومة للأمراض وتحسين إنتاجية الكتلة الحيوية للنبات. قد تكون الزيادة في الكتلة الحيوية النباتية وخصائص النمو ناجمة عن تعزيز امتصاص المغذيات النباتية، مما يعزز نمو النبات المضيف ويمنع العدوى بمسببات الأمراض النباتية.

تعمل Endophytes على تعزيز النمو للنبات بواسطة العديد من الطرق مثل: (إذابة الفوسفات، إنتاج حاملات الحديد، إنتاج الأمونيا، تثبيت النيتروجين وتحفيز إنتاج الأوكسينات) ويعد الجمع بين عوامل المكافحة الحيوية أسلوبًا استراتيجيًا للسيطرة على أمراض النبات والآفات وهذا ما أظهرته أغلب الدراسات.

الخاتمة

على الرغم من أن العديد من المبيدات الفعالة يوصى باستخدامها ضد العوامل الممرضة، إلا أنها لا تعتبر حلولاً طويلة الأجل بسبب المخاوف من التكاليف، ومخاطر التعرض، ومخلفات مبيدات الفطريات، والسمية على الكائنات الحية غير المستهدفة وغيرها من المخاطر الصحية والبيئية. لذلك وجب تركيز الجهود على تطوير استراتيجيات مكافحة مسببات الأمراض النباتية آمنة وطويلة الأمد وفعالة وصديقة للبيئة.

تعتبر الكائنات الحية الدقيقة endophytes أحد البدائل الحيوية لحل تلك المشاكل، من خلال هذا العمل تعرفنا على قدرة هذه الكائنات على تعزيز نمو النباتات وذلك عن طريق استخدام عدة آليات كإنتاج منظمات نمو النبات مثل الأوكسينات (IAA) التي تعمل على الزيادة في استطالة الخلايا وانقسامها وتمايزها، كما يمكن تثبيط تخليق الإيثيلين النباتي المرتبط بالإجهاد بواسطة نشاط ديامينياز 1-أمينوسيكلوبروبان-1-كربوكسيلات (ACC)، كذلك توفير النيتروجين والعناصر الغذائية الأخرى عن طريق تثبيت النيتروجين البيولوجي وتحويله الى أمونيا، كما تعمل على إذابة الفوسفات عن طريق إفراز المواد العضوية والأحماض التي تحول الفوسفات غير القابل للذوبان إلى أيونات أحادية وثنائية القاعدة وبالتالي إتاحتها للنباتات.

كما تساعد النباتات في الحفاظ على التمثيل الغذائي الصحي تحت ظروف الإجهاد، بتصنيع حاملات الحديد، علاوة على ذلك قد تمنح الاحياء الدقيقة الداخلية حماية للنبات ضد مسببات الأمراض وتقليل الآثار المنهكة للأمراض عن طريق تحفيز آليات دفاع النبات، بإنتاج المضادات الحيوية والإنزيمات المحللة مثل الكيتيناز والسيلولاز، أو من خلال التنافس على مواقع الاستعمار والمغذيات وتحسين مقاومة المضيف ضد الضغوط البيئية من خلال تراكم المستقلبات الثانوية.

كل هذه الآليات زادت من فهمنا العام لطبيعة العلاقة التكافلية بين الاحياء الدقيقة endophytes والنباتات، كما عملت على طرح أسئلة جديدة للمستقبل.

نوصي من خلال ما سبق بزيادة الاهتمام بالكائنات الحية الدقيقة الداخلية وتطوير سلالات تلقيح مثالية وقوية لتكون بمثابة مصادر صديقة للبيئة، وغير محدودة للجزيئات الحيوية لمختلف القطاعات لا سيما تلك المرتبطة مباشرة بصحة النبات.

قائمة المراجع

المراجع بالعربية

❖ **الكتب**

- **ألكسندر، 1988:** مقدمة في ميكروبيولوجيا التربة، مترجم، دار النشر جون ويلي وأولاده، نيويورك، الولايات المتحدة.

❖ **المذكرات:**

- **صدراتي نواري, (2011):** عزل و تشخيص الكائنات الحية الدقيقة الداخلية (أندوفيت) لنبات القمح و تقدير نشاطها البيولوجي. مذكرة لنيل شهادة الماجستير في علم الأحياء الدقيقة، جامعة فرحات عباس.

❖ **المحاضرات**

- **جواد سبأ ،2020:** فطريات الميكوريزا كمخصبات حيوية زراعية، قسم النبات والأحياء الدقيقة، كلية الزراعة، جامعة البصرة.
- **ضياء هادي هند، 2022:** علاقة التكافل بين الكائنات البحرية، مركز البحوث ومتحف التاريخ الطبيعي (العراق).
- **عالية عبد الباقي شعيب، 2010:** التفاعل بين الأحياء الدقيقة والكائنات الأخرى، محاضرة "العلاقات بين الكائنات الحية الدقيقة"، قسم النبات والأحياء الدقيقة، كلية العلوم، جامعة الملك سعود.
- **محمد بن خالد السعدون، 2011:** الخطوط العريضة لمحاضرات مقرر البيئة الحيوانية والتلوث، قسم علم الحيوان، كلية العلوم، جامعة الملك سعود.
- **محمود جمال، 2024:** المخلوقات الحية وعلاقاتها المتبادلة، المجلة العلمية (مصر).
- **مطرود عبد النبي، 2017:** دور فطريات الميكوريزا في نمو النبات وحمايته من الإصابات المرضية، قسم وقاية النبات، كلية الزراعة، جامعة البصرة.

المراجع الأجنبية:

❖ **المقالات**

- **Abdelaziz, A. M., El-Wakil, D. A., Hashem, A.H., Al-Askar, A.A., Abdelgawad, H., Attia, M.S. 2023** .Efficient role of endophytic *Aspergillus terreus* in biocontrol of *Rhizoctonia solani* causing damping-off disease of *Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba*. Microorganisms 11, 1487 .
- **Aimé S, Cordier C, Alabouvette C, Olivain C. 2008**. Comparative analysis of PR gene expression in tomato inoculated with virulent Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici and the biocontrol strain F. oxysporum Fo47.Physiol Mole Plant Pathol. 73:9–15.
- **Aini L.Q, Suryani L, Sugiharto A.N, Abadi A. 2013**. Identification of bacterial wilt and leaf blight disease on maize (*Zea Mays*) found in Kediri, Indonesia. Agrivita 35 (1): 1-7.
- **Aizaz, M.; Ahmad, W.; Asaf, S.; Khan, I.; Saad Jan, S.; Salim Alamri, S.; Bilal, S.; Jan, R.; Kim, K.M.; Al-Harrasi, A.** Characterization of the Seed Biopriming, Plant Growth-Promoting and Salinity-Ameliorating Potential of Halophilic Fungi Isolated from Hypersaline Habitats. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24, 4904.
- **Al-Fadhal F.A, AL-Abedy A.N, Alkhafijel D.A. 2019**. Isolation and molecular identification of *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani* isolated from cucumber (*Cucumis sativus L*.) and their control feasibility by *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*. Egypt J Biol Pest Control 29 (47): 1-11. DOI: 10.1186/s41938-019-0145-5.
- **Amanda R.,2021.** ecosystem interactions and types study retrieved 1/2/2022.
- **Andéol S. C., Benjamin C. 2016.**Les champignons endophytes : impact sur écosystèmes Et production de molécules d'intérêt thérapeutique. Science Ijppn ikpharmaceutique. Dumas01266084.
- **Angela, R. 2023.** Five types of ecological relationships. Science king editer.
- **Azevedo JL. 2004.** Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and their potential forplant growth promotion. Environ Microbiol ;6:1244-51.
- **Azevedo, J. L., Maccheroni, W., Pereira, J. O. De Araújo, W. L. 2000**. Endophytic microorganisms: A review on insect control and recent advances on tropical plants. Electron. J. Biotechnol. 3, 1.
- **Bari R, Jones JDG. 2009**. Role of plant hormones in plant defence responses. Plant Mol Biol. 69:473–488.

- **Behiry, S., Soliman, S. A., Massoud, M.A., Abdelbary, M., Kordy, A.M., Abdelkhalek, A., Heflish, A. 2023 .**Trichoderma pubescens Elicit Induced Systemic Resistance in Tomato Challenged by *Rhizoctonia solani*. J. Fungi (Basel) 9.
- **Bhattacharyya, P. N. & Jha, D. K. 2012.** Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World journal of microbiology biotechnology, 28, 1327-1350.
- **Bonfante P., Genre A, 2010**. Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis , Springer Nature .
- **Cao, Y., Pi, H., Chandrangsu, P., Li, Y ., Wang, Y., Zhou, H., Xiong, H., Helmann, J.D., Cai, Y.2018.** Antagonism of two plant-growth promoting *Bacillus velezensis* isolates against *Ralstonia solanacearum* and *Fusarium oxysporum*. Sci. Rep. 8, 1–14.
- **Capinera J.L., 2008.** Commensalism , Encyclopedia of Entomology, Springer**.**
- **Carroll G**. C. The biology efo endophytism in plants with particular reference to woody
- **Cavaglieri L, Orlando J, Etcheverry M. 2009**. Rhizosphere microbial community structure at different maize plant growth stages and root locations. Microbiol Res 164 (4): 391-399.
- **Chandra, D**., **Srivastava, R.**, **Gupta, V. V., Franco, C. M. M., and Sharma, A. K. 2019.** Evaluation of ACC deaminase producing rhizobacteria to alleviate water stress impacts in wheat (Triticum aestivum L.) plants. Can. J. Microbiol. 65, 387–403. doi: 10.1139/cjm-2018-0636.
- **Chen, J., Mao, S., Xu, Z. & Ding, W. 2019**.Various antibacterial mechanisms of biosynthesized copper oxide nanoparticles against soilborne *Ralstonia solanacearum*. RSC Adv. 9, 3788–3799.
- **Coplin D.L, Redinbaugh M.G. 2012**. The bacterium Pantoea stewartii uses two different Type III secretion systems to colonize its plant host and insect vector. Appl Environ Microbiol 78 (17): 6327-6336.
- **Cushmanet, J et Beattie A., 1991.** Mutualisms : assessing the benefits to hosts and visitors, Trends in Ecology & Evolution, n° 6, 193-197 pp.
- **Daigham, G. E., Mahfouz, A. Y., Abdelaziz, A. M., Nofel, M. M. & Attia, M. S.2023.** Protective role of plant growth-promoting fungi *Aspergillus chevalieri* OP593083 and *Aspergillus egyptiacus* OP593080 as biocontrol approach against Alternaria leaf spot disease of *Vicia faba* plant. Biomass Convers. Biorefin. 1,1-17.
- **Das, A., Varma, A. 2009**. Symbiosis: The art of living. In: Varma A, Kharkwal AC, editors Symbiotic Fungi Principles and Practice. Berlin, Germany: Springer;. p. 1-28.

- **Davis W.W, Stout T.R. 1971**. Disc plate methods of microbiological antibiotic assay. Appl Microbiol 22 (4): 659-665.
- **De Bary A., 1866.** Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceten.
- **De Lajudi P., 1993.** Taxonomie dans le genre Rhizobium ; technique de caratérisation de microorganisme assoiés. Séminaire International sur les arbres fixateurs de l' azote. Dakar-Sénégal.
- **Declan W , Enzo A. P , Alex J .C, Bita Z. 2023.** Endophytes in Agriculture: Potential to Improve Yields and Tolerances of Agricultural Crops.J. microorganisms. 11, 1276. doi: 10.3390.
- **Dennis, C. and Webster, J. 1971**. Antagonistic Properties of Species-Groups of Trichoderma: II. Production of Volatile Antibiotics. Transactions of the British Mycological Society, 57, 363-369.
- **Desi Y, Habazar T, Agustian, Khairul U, Syamsuwirman, Novia P. 2014**. Morphological dan physiological characterization of *Pantoea stewartii* subsp. *stewartii* from maize. Jurnal Fotopatologi Indonesia 10 (2): 45-52. DOI: 10.14692/jfi.10.2.45. [Indonesian]
- **Devi, S., Kiesewalter, H.T., Kovács, R., Frisvad, J.C., Weber, T., Larsen, T.O., Kovács, Á.T., Ding, L. 2019**. Depiction of secondary metabolites and antifungal activity of *Bacillus velezensis* DTU001. Synth. Syst. Biotechnol. 4, 142–149.
- **Djatmiko HA, Arwiyanto T, Hadisutrisno B, Sunarminto BH. 2007.** Potential of three bacterial genera from three plant rhizosphere as biological agents controlling Lincat disease. Jurnal ilmu-ilmu Pertanian 9 (1): 40-47. [Indonesian]
- **Downie A, 2005.** multivariate analysis of Cymopterus glomeratus, formerly known as C. acaulis (Apiaceae).
- **Dudeja, S.S., Giri R., Saini, R., Suneja-Madan, P., Kothe, E. 2012.** Interaction of endophytic microbes with legumes. J Basic Microbiol; 52:248-60.
- **Durrant WE, Dong X. 2004**. Systemic acquired resistance. Annu Rev Phytopathol. 42:185–209.
- **Frey-Klett, P., Chavatte, M., Clausse, M.L., Courrier, S., Le Roux, C., Raaijmakers, J., Martinotti, M.G., Pierrat, J.C., Garbaye, J. 2005**. Ectomycorrhizal symbiosis affects functional diversity of rhizosphere fluorescent pseudomonads. New Phytol. 165, 317–328
- **Ganley RJ, Sniezko RA, Newcombe G. 2008**. Endophytemediated resistance against white pine blister rust in Pinus monticola. Forest Ecol Manage. 255:2751–2760.

- **Gao Fk, Dai CC, Liu XZ. 2010**. Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. Afr J Microbiol Res. 4:1346–1351.
- **Gao K. F., Dai C. C. and iu X. Z. 2010.** Mechanisms of fungal endophytes in plant protection against pathogens. African Journal of Microbiology Research; 4: 1346-1351.
- **Gentile A.M., Rossi S., Cabral D., Craven K.D., Schardl C.L. 1999.** Origin Divergence and phylogeny of Epichloë endophytes of native argentine grasses. Molecular Phylogenetics and Evolution 35: 196–208.
- **González-Teuber, M.; Urzua, A.; Plaza, P.; Bascuñán-Godoy, L**. **2018** Effects of root endophytic fungi on response of Chenopodium quinoa to drought stress. Plant Ecol., 219, 231–240..
- **Gouda, S., Das, G., Sen, S. K., Shin, H. S. Patra, J. K. 2016**. Endophytes: A treasure house of bioactive compounds of medicinal importance. Front. Microbiol. 7,1.
- **Grant M, Lamb C. 2006**. Systemic immunity. Curr Opin Plant Biol. 9:414–420.
- **Greenland, D.J.**, **1975.** Bringing the green Revolation to the shifting Cultivator. Science, 190 (4217) : p.841-844.Doi :10.1126/Science.190.4217.841.
- **Haggag W. M**. **2010.**Role of Entophytic Microorganisms in Biocontrol of Plant Diseases. Life Science Journal; 7: 57-62.
- **Halim VA, Vess A, Scheel D, Rosah S. 2006**. The role of salicylic acid and jasmonic acid in pathogen defence. Plant Biol. 8:307–313.
- **Hamayun M, Khan SA, Iqbal I, Ahmad B, Lee IJ. 2010**. Isolation of a gibberellin-producing fungus (Penicillium sp. MH7) and growth promotion of crown daisy (Chrysanthemum coronarium). J Microbiol Biotechnol. 20:202–207.
- **Hasan H.A.H. 2002**. Gibberellin and auxin–indole production by plant root–fungi and their biosynthesis under salinity– calcium interaction. Rostlina vyroba. 48:101–106.
- **Hasegawa S., Meguro A., Shimizu M., Nishimura T. and Kunoh H. 2006**. Endophytic actinomycetes and fheir interactions with host plants. Actinomycetologica; 20: 72-81.
- **Hashem, A. H., Abdelaziz , A. M., Askar, A. A., Fouda, H. M., Khalil, A. M. A., Abd-Elsalam, K. A., Khaleil, M. M. 2021**. Bacillus megaterium-Mediated Synthesis of Selenium Nanoparticles and Their Antifungal Activity against *Rhizoctonia solani* in Faba Bean Plants. J. Fungi (Basel) 7, 1.
- **Heflish, A. A., Abdelkhalek, A., Al-Askar, A. A. Behiry, S. I. 2021**. Protective and curative effects of Trichoderma asperelloides Ta41 on tomato root rot caused by *Rhizoctonia solani* Rs33. Agronomy 11,1.

- **Hopkins W.G., 2003.** Physiologie végétale. Université des Sciences et Technologie de Lille. Edition de boeck . 99-119 pp.
- **Hossain M.M, Sultana F, Kubota M, Koyama H, Hyakumachi M. 2007**. The plant growth-promoting fungus Penicillium simplicissimum GP17–2 induces resistance in Arabidopsis thaliana by activation of multiple defense signals. Plant Cell Physiol. 48:1724–1736.
- **Howarth,R,et *al* ., 2002**.Nitrogen use in the united states from 1961-2000 and potential future trendes . Ambio,.31 (2).88-96.
- **Hyde K. D., Soytong K, 2008.** The fungal endophyte dilemma. Fungal Diversity; 33: pp 163-173.
- **Iniguez, A.L., Dong, Y., Carter, H.D., Ahmer, B.M, Stone, J.M, Triplett, E.W. 2005.** Regulation of enteric endophytic bacterial colonization by plant defenses. Mol Plant Microbe Interact. 18:169-78.
- **Iyer, B. & Rajkumar, S. 2017**. Host specificity and plant growth promotion by bacterial Endophytes. Current Research in Microbiology Biotechnology, 5, 1018-1030.
- **Janzen D., 1985.** The natural history of mutualisms, The biology of mutualism, 40-99 pp.
- **Kant, R., Tyagi, K., Ghosh, S., Jha, G. 2019**. Host alternative NADH: Ubiquinone oxidoreductase serves as a susceptibility factor to promote pathogenesis of Rhizoctonia solani in Plants. Phytopathology 109, 1741–1750.
- **Khan A.L, Hamayun M, Kang S.M, Kim Y.H, Jung H.Y, Lee J.H, Lee I.J. 2012**. Endophytic fungal association via gibberellins and indole acetic acid can improve plant growth under abiotic stress: an example of Paecilomyces Formosus LHL10. BMC Microbiol. 12:3. doi:10.1186/1471-2180-12-3
- **Khan A.L., Hamayun M., Ahmad N., Waqas M., Kang SM., Kim YH., &Lee I.J., 2011**. Exophiala Sp.LHL08 reprograms Cucumis sativus to higher growth under abiotic stresses. Physiologia Plantarum.,143:329-343.
- **Khan AL, Hamayun M, Kim YH, Kang SM, Lee JH, Lee IJ. 2011**. Gibberellins producing endophytic Aspergillus fumigatus sp. LH02 influenced endogenous phytohormonal levels, isoflavonoids production and plant growth in salinity stress. Process Biochem. 46:440–447.
- **Khan AL, Waqas M, Hamayun M, Al-Harrasi A, Al-Rawahi A, Lee IJ. 2013**. Co-synergism of endophyte Penicillium resedanum LK6 with salicylic acid helped Capsicum annuum in biomass recovery and osmotic stress mitigation. BMC Microbiol. 13:51. doi:10.1186/1471-2180-13-51.

- **Khan SA, Hamayun M, Yoon HJ, Kim HY, Suh SJ, Hwang SK, Kim JM, Lee IJ, Choo YS, Yoon UH,. 2008**. Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. BMC Microbiol. 8:231. doi:10.1186/1471-2180-8-231.
- **Khan, A. L., Halo, B. A., Elyassi, A., Ali, S., Al-Hosni, K., Hussain, J., 2016.** Indole acetic acid and ACC deaminase from endophytic bacteria improves the growth of Solanum lycopersicum. Electron. J. Biotechnol. 21, 58–64. doi: 10.1016/j. ejbt.2016.02.001.
- **Khan, S.A.; Hamayun, M.; Yoon, H.; Kim, H.Y.; Suh, S.J.; Hwang, S.K.; Kim, J.M.; Lee, I.J.; Choo, Y.S.; Yoon, U.H. 2008.** Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. BMC Microbiol., 8, 231.
- **Krebs C.J,2001.** Ecology the experimentale analysis of distribution and abundance , Menlo Park,608 p.
- **Lacava, P. T., Sebastianes, F. L. S., Azevedo, J. L. 2010**. Fungos, uma introdução a biologia, bioquímica e biotecnologia. In Fungos endofíticos: *Biodiversidadese aplicações biotecnológicas*. (Revisadae ampliada. EDUCS)
- **Lee K, Pan JJ, May G. 2009**. Endophytic Fusarium verticillioides reduces disease severity caused by *Ustilago maydis* on maize. FEMS Microbiol Lett. 299:31–37.
- **Li, S., Xu, J., Fu, L., Xu, G., Lin, X., Qiao, J., 2022.** Biocontrol of wheat crown rot using Bacillus halotolerans QTH8. Pathogens 11:595. doi: 10.3390/pathogens11050595.
- **Lopez V., Fernandez L 2014**. Fertilizers components, uses in agriculture and environmental impacts. Biotechnology in agriculture , Industry and medicine . New York : Nova Science Publishers .32.
- **Lu Y., Haobin Z., Xixi Z., Xiaoguang X., Yichao D., Chunmei J Junling S., Dongyan S., Qingsheng H., Hui Y., Mingliang J., 2018**. Production of bioproducts by endophytic fungi: chemical Ecology,biotechnological applications, bottlenecks, and solutions. Applied Microbiology and Biotechnology 102,6279–6298
- **Mei C, Flinn BS. 2010.** The use of beneficial microbial endophytes for plant biomass and stress tolerance improvement. Recent Patents Biotechnol. 4:81–95.
- **Molina, G., Pimentel, M. R., Bertucci, T. C. P. Pastore, G. M. 2012**. Application of fungal endophytes in biotechnological processes. Chem. Eng. Trans. 27, 289–294 .
- **Muthukumarasamy R, Revathi G, Loganathan P. 2002**. Effect of inorganic N on the population in vitro colonization and morphology of Acetobacter diazotrophicus (syn. Gluconacetobacter diazotrophicus). Plant Soil. 243:91–102.

- **Ngamau, C.N., Matiru, V.N., Tani, A., Muthuri, C.W. 2012.** Isolation and identification of endophytic bacteria of bananas (Musa spp.) in Kenya and their potential as biofertilizers for sustainable banana production. Afr J Microbiol Res.6:6414-22.
- **Orole, O.O.; Adejumo, T.O.; Link, T.; Voegele, R.T**. 2023 Molecular identification of endophytes from maize roots and their biocontrol potential against toxigenic fungi of Nigerian maize. Sci. Prog., 106, 368504231186514.
- **Pertrini O. 1991**. Fungal endophytes of tree leaves. In: Andrews, J.H., Hirano, S.S. (Eds.), Microbial Ecology of Leaves. Springer-Verlag, New York, USA.
- **Pieterse CMJ, der Does DV, Zamioudis C, Reyes AL, Wees SCMV. 2012**. Hormonal modulation of plant immunity. Annu Rev Cell Dev Biol. 28:489–521.
- **Pimentel M. R., Molina G., Dioniýsio A. P., Junior M. R. M., Pastore G. M**. The Use of Endophytes to Obtain Bioactive Compounds and Their Application in Biotransformation Process. Biotechnology Research International 2010; doi:10.4061/2011/576286.
- **Pinski A, Betekhtin A, Hupert-Kocurek K, Mur L, Hasterok R. 2019.** Defining the genetic basis of plant-endophytic bacteria interactions. Int J Mol Sci;20:8.
- **Powell J., Klironomos, J. (2007).** The ecology of plant–microbial mutualisms. In Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (257-281 pp). Academic Press.
- **Pushpa, H.; Kavya, S.; Pooja, K.; Sneha, L.; Arer, V.O. 2018.** An isolation, identification and diversity of endophytic fungi from Catharanthus roseus and screening for their L-asparaginase activity. Int. J. Environ. Ecol. Fam. Urban Stud., 8, 7–18
- **Qin S., Xing K., Jiang J. H., Xu L. H. and Li W. J. 2011**. Biodiversity, bioactive natural products and biotechnological potential of plant-associated endophytic actinobacteria. Appl Microbiol Biotechnol; 89: 457-473.
- **Redman R. S., Sheehan K. B., Stout R. G., Rodriguez R. J. and Henson J. M. 2002.** Thermotolerance generated by plant/fungal symbiosis. Science; doi: 10.1126/science.1078055
- **Rodriguez R. J., White J. F., Arnold A. E., Redman ARA. 2009.** Fungal endophytes: Diversity and functional roles. New phytologist
- **Rosenblueth, M., Martínez-Romero, E. 2006**. Bacterial endophytes and their interactions with hosts. Mol Plant Microbe Interact .19:827-37.
- **Saikkonen K., Faeth S. H., Helander M. and Sullivan T. J.** 1998. Fungal endophytes: A Continuum of interactions with host plants. Annual Review of Ecology and Systematics.
- **Saikkonen K., Wali P. R. and Helander M**. **2010.** Genetic compatibility determines endophytegrass Combination PloS One; 5(6): e11395 Doi:10.1371/journal.pone.0011395

- **Saikkonen K., Wali P., Helander M., Faeth S.H., 2004.** Evolution of endophyteplant Symbioses. TRENDS in Plant Science
- **Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb G., Orozco-Mosqueda, M., Glick, B.R. 2016**. Plant growth-promoting bacterial endophytes. Microbiol Res. 183:92-9.
- **Santoyo, G., Moreno-Hagelsieb, G., Del Carmen Orozco-Mosqueda, M. & Glick, B. R. 2016.** Plant growth-promoting bacterial endophytes. Microbiological research, 1-183, 92-99
- **Selami N,2017.** Association symbiotique, Depertement biotechnology, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Mohammed boudiaf Oran .
- **Serfling A, Wirsel SGR, Lind V, Deising HB. 2007.** Performance of the biocontrol fungus *Piriformospora indica* on wheat under greenhouse and field conditions. Phytopathol. 97:523–531.
- **Shah, S.; Shah, B.; Sharma, R.; Rekadwad, B.; Shouche, Y.S.; Sharma, J.; Pant, B. 2022.** Colonization with non-mycorrhizal culturable endophytic fungi enhances orchid growth and indole acetic acid production. BMC Microbiol., 22, 101.
- **Shittu HO, Castroverde DC, Nazar RN, Robb J. 2009**. Plant– endophyte interplay protects tomato against a virulent Verticillium. Planta. 229:415–426.
- **Singh, M., Kumar, A., Singh, R. Pandey, K. D. 2017.** Endophytic bacteria: A new source of bioactive compounds. 3 Biotech 7,1.
- **Smith, S. E. & Read, D. J, 2008.** Mycorrhizal Symbiosis (Academic Press).
- Sobral JK, Araujo WL, Mendes R, Geraldi IO, Pizzirani-Kleiner AA,
- **Soesanto L, Mugiastuti E, Rahayuniati RF. 2011.** Utilization of some animal broths as a liquid formula for Pseudomonas fluorescens P60 to control *Sclerotium rolfsii* in cucumber plants. Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia 17 (1): 7-17.
- **Sofy, M. R., Aboseidah, A. A., Heneidak, S. A. & Ahmed, H. R. 2021.** ACC deaminase containing endophytic bacteria ameliorate salt stress in Pisum sativum through reduced oxidative damage and induction of antioxidative defense systems. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 28, 40971–40991.
- **Staswick PE, Tiryaki I. 2004**. The oxylipin signal jasmonic acid is activated by an enzyme that conjugates it to isoleucine in Arabidopsis. Plant Cell. 16:2117–2127.
- **Strobel, G., Daisy, B. 2003**. Bioprospecting for microbial endophytes and their natural products. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 67, 491–502.

- **Su, S.; Yang, X.Q.; Yang, Y.B.; Ding, Z.T**. **2023.** Three new fumagillol analogues and antifungal activity from Aspergillus fumigatus cocultured with Paraphaeosphaeria sp. Fitoterapia, 165, 105395.
- **Tejesvi M. V., Nalini M. S., Mahesh B., Prakash H. S., Kini K. R., Shetty H. S. and Subbiah V. 2007**. New hopes from endophytic fungal secondary metabolites. Bol Soc Quím Méx; 1: 19-26.
- **Thomas P, Soly TA**. **2009**. Endophytic bacteria associated with growing shoot tips of banana (Musa sp.) cv. Grand Naine and the affinity of endophytes to the host. Microb Ecol;58:952-64.
- **Tortara G.J., Funk B.R. et Case C.L., 2003.** Introduction à la microbiologie. Edition du Renouveau Pédagogique Inc. 945 p.
- **Trappe J.M., 2005.** A.b. frank and mycorrhizae: the challenge to evolutionary and ecologictheory. Mycorrhiza, 15(4), 277–281 pp.
- **Truyens, S., Weyens, N., Cuypers, A. & Vangronsveld, J. 2015.** Bacterial seed endophytes: Genera, vertical transmission and interaction with plants. Environmental Microbiology Reports, 7, 40-50.
- **Wakelin, S.A.; Warren, R.A.; Harvey, P.R.; Ryder, M.H. 2004.** Phosphate solubilization by Penicillium spp. closely associated with wheat roots. Biol. Fertil. Soils, 40, 36–43.
- **Waller F, Achatz B, Baltruschat H, Fodor J, Becker K, Fischer M, Heier T, Hückelhoven R, Neumann C, Wettstein DV, et al. 2005**. The endophytic fungus *Piriformospora indica* reprograms barley to salt-stress tolerance, disease resistance, and higher yield. Proc Natl Acad Sci USA. 102:13386–13391.
- **Waqas M, Khan A.L, Hamayun M, Shahzad R, Kim Y.H, Choi K.S, Lee I.J. 2015**. Endophytic infection alleviates biotic stress in sunflower through regulation of defence hormones, antioxidants and functional amino acids. Eur J Plant Pathol. 141:803–824.
- **Waqas M, Khan A.L, Kamran M, Hamayun M, Kang S.M, Kim Y.H, Lee I.J. 2012**. Endophytic fungi produce gibberellins and indoleacetic acid and promotes host–plant growth during stress. Molecules. 17:10754–10773.
- **Waqas M, Khan A.L, Kang S.M, Kim Y.H, Lee I.J. 2014**. Phytohormone-producing fungal endophytes and hardwood-derived biochar interact to ameliorate heavy metal stress in soybeans. Biol Fertil Soils. 50:1155–1167.
- **Wenzel, J. B., Siqueira, A. L., Burin, F. A .G ., Hein, D. P. R., Silveira, J. A., Romani, S. 2012.** Isolamento E atividade antagonística de fungos Endofíticos de Soja (*Glycine max* (*L*.) *Merrill*). Sabios 7, 86–96 .

- **Wilson D., 1995.** Endophyte-the evolution of a term, a clarification of its use and Definition. Oikos
- **Zahra, M. K. 1969**. Studies on *Silicate Bacteria*. (Cairo Univ).
- **Zhou, J., Xie, Y., Liao, Y., Li, X., Li, Y., Li, S., et al. (2022).** Characterization of a Bacillus velezensis strain isolated from Bolbostemmatis Rhizoma displaying strong antagonistic activities against a variety of rice pathogens. Front. Microbiol.13:983781. doi: 10.3389/ fmicb.2022.983781.
- **Zinniel, D. K., Lambrecht, P ., Harris, N., Feng, Z., Kuczmarski, D., Higley, P., A Ishimaru, C., Arunakumari, A., Barletta, R. G., Vidaver, A. K. 2002.** Isolation and characterization of endophytic colonizing bacteria from agronomic crops and prairie plants. Appl. Environ. Microbiol. 68, 2198–2208.

❖ المذكرات:

- **Allal, k., HAMMA, L., 2019.** Activités biologiques d'un champignon endophyte Penicillium sp. Isolé à partir d'une plante médicinale De la région Bordj Bou Arreridj .Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master , Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.
- **Aouarib, K., Lemsara, R., 2016.** Etude des activités antimicrobienne et Enzymatique des champignons endophytes Isolés à partir d'Artemisia absinthium. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master Academique, Université Kasdi Merbah-Ouargla.
- **Ariba, A., Benhamama, C. D. , Bousba, Y ., 2021.** Les bactéries endophytes isolées à partir des légumineuses . Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université des Frères Mentouri Constantine .
- **Belaidi, N., Maaoui, K., 2015.** Isolement, Identification et activités biologiques des Microorganismes endophytes. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
- **Belazouz, D., 2020.** Synthèse bibliographique des travaux Sur les mycoendophytes des racines, Feuilles et fruits du pistachier de L'Atlas en Algérie.memoire de master 2 en ecologie et environnement, universite de mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- **Bennaim, O., Daifallah, F., 2020.** Champignons endophytes : un puissant agent de lutte Biologique et un réservoir de métabolites secondaires Bioactifs. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.

- **Bentoumi, A., Saadsaoud, T.E. D., 2022.** Méthodes d'étude des champignons endophytes Et de leurs activités biologiques : Synthèse:Bibliographique. Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A.
- **Boufares, D., 2021.** Synthèse bibliographique des travaux sur L'activité antimitotique de mycoendophytes du Pistachier de l'Atlas (Pistacia atlantica Desf.). Memoire de fin d'etude en vue de l'obtention du diplôme de Master.Universite Mouloud mammeri de Tizi Ouzou.
- **Bouyaiche, S., Guedjal, N., 2018.** Isolement et identification des champignons endophytes à partir De Zygophyllum album . Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master académique en Sciences de la Nature et de la Vie. Universite Blida I.
- **Bouznad, A., 2016.** Isolement et caractérisation des rhizobactéries libres et endophytes (Bacillussp et Pseudomonas sp): Etude de leur pouvoir protecteur vis-à-vis de Fusariumoxysporum f. sp lycopersici et leur caractères liés à la promotion de la Croissance des plantes. These Presentee Pour L'obtention de Diplome Dedoctorates-sciences,Universite Abdelhamid Benbadis.
- **Chaibi, R., Remla, K., Boussedjra, k., 2021.** Isolement, identification des champignons Endophytes et extraction de l'huile essentielle de la Plante médicinale Lavandula officinalis et leur Activité antimicrobienne .Mémoire de Master.Université Salah Boubnider Constantine 3 .
- **Cheriet, H., Belhi, I., 2014.** Identification des bactéries endophytes résistantes au Plomb et au Cadmium isolées des racines de deux plantes steppiques:Lygeum spartum et Hedysarum pallidum. Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de Master, Université Constantine 1
- **Derkaoui, I., 2015.** Etude des champignons endophytes halotolérants et producteurs de métabolites secondaires. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master, UNIVERSITE DE BLIDA 1
- **Hamza, S., Cherrar, I., 2020.** Applications biotechnologiques des endophytes en agriculture. Mémoire de fin d'Études Pour l'obtention du Diplôme Master 2 en Biotechnologie microbienn, Université Saad Dahleb Blida 1.
- **Ludovic C., 2009**. Analyse systémique de la symbiose intracellulaire : évolution et organisation du réseau métabolique des endocytobiotes. Thèse pour l'obtention du Diplôme de Doctorat. Université Claude Bernard - Lyon 1.
- **Zeriguine , N., Belayadi, O., 2019.** Activités antibactérienne et enzymatique d'un Champignon endophyte Penicillium sp. Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A .