الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1

Frères Mentouri Constantine 1 University

Université Frères Mentouri Constantine 1

جامعة الإخوة متنوري قسنطينة — **Université des Frères Mentouri Constantine**

كلية علوم الطبيعة والحياة — **Faculté des Sciences de la nature et de la Vie**

قسم البيولوجيا وعلم البيئة النباتية — **Département: Biologie et Ecologie végétale**

مذكرة التخرج لنيل شهادة الماستر

الميدان: علوم الطبيعة والحياة

الفرع: العلوم البيولوجية

التخصص: تنوع حيوي وفيزيولوجيا النبات

رقم الترتيب: .....

الرقم التسلسلي: .....

العنوان:

المحفزات الحيوية الميكروبية: إستراتيجية للصحة النباتية في سياق الإنتاج البيئي المستدام

من إعداد: **وسام بلغيت**

سلمى نويري

بتاريخ: ..... جوان 2022

لجنة التقييم

المشرف: زكرياء عز الدين زروق	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**المدرسة العليا للأساتذة آسيا جبار ـ قسنطينة**
الممتحن الأول: كمال الدين بازري	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**جامعة الإخوة منتوري ـ قسنطينة**
الممتحن الثاني: مولود بوحوحو	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**المدرسة العليا للأساتذة آسيا جبار ـ قسنطينة**

السنة الجامعية

2022 - 2021

إهداء

إهداء

إلى والديّ حفظهما الله، نعمتي وكنزي، لا توجد كلمات تعبر عن امتناني وشكري لهما؛

إلى إخوتي، سندي وقوتي ورفقائي في دربي، **عبد المؤمن، محمد،** ووحيدتي: **ضحى**؛

إلى جدتي **رحيمة،** ملاكي في الحياة، سلاما لروحك الطاهرة.

وسام بلغيت

إلى والديّ الكريمين **عبد القادر** و**صليحة مسعودي**؛

إلى زوجي الغالي **أمير**؛

إلى إخوتي وأخواتي؛

إلى صغار العائلة **شاهين** و**خاتون**؛

إلى كل أهلي وإلى أساتذتي الذين كان لهم الفضل في تكويني وإلى رفيقاتي دربي صديقاتي.

سلمى نويري

شكر وتقدير

شكر وتقدير

" كن عالما، فإن لم تستطع فكن متعلما، فإن لم تستطع فأحب العلماء، فإن لم تستطع فلا تبغضهم"

بعد رحلة بحث واجتهاد تكللتا بإنجاز هذه المذكرة، فالحمد لله سبحانه وتعالى الذي أكرمنا بنعمة الوالدين وأعزنا بنعمة الدين وأمدنا بنعمة العقل والصحة وأتم علينا بنعمة اليقين وسخر لنا كل شيء.

ولأنه من شكر الناس فقد شكر الله؛ فنتوجه بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى كل من:

الأستاذ المشرف الدكتور **زكرياء عز الدين زروق** الذي حرص على توجيهنا وإرشادنا طيلة العام وكان عونا لنا في إتمام هذا العمل.

أعضاء لجنة التقييم الكرام: الدكتور الفاضل **كمال الدين بازري** والدكتور الفاضل **مولود بوحوحو** حفظهما الله لتفضلهما بقبول تقييم هذا العمل

كما نشكر كل من ساعدنا من قريب أو من بعيد على إنجاز هذا العمل وفي تذليل ما واجهنا من صعوبات، فنتقدم بالشكر الخاص لجميع أساتذتنا بدءا بمن علمونا أن نخط بالقلم.

وإلى اللذين كانوا عونا لنا ونورا يضيء الظلمة التي كانت تقف أحيانا في طريقنا، إلى من زرعوا التفاؤل في دروبنا وقدموا لنا المساعدات والتسهيلات والمعلومات.

فجزاهم الله عنا خير الجزاء، وجعل ذلك في ميزان حسناتهم.

سلمى نويري

وسام بلغيت

الفهرس

الفهرس

إهداء

شكر وتقدير

الفهرس

قائمة المختصرات

قائمة الأشكال

قائمة الجداول

مقدمة..... 1

الفصل الأول: الإنتاج البيئي المستدام

I. الإنتاج النباتي والتغيرات المناخية 2

1. تعريف الإنتاج النباتي 2

2. الاحتباس الحراري..... 2

3. تدهور الإنتاج النباتي في ظل الإجهاد 2

1.3. تعريف الإجهاد 2

2.3. العوامل المسببة للإجهاد..... 3

1.2.3. العوامل اللاحيوية 3

2.2.3. العوامل الحيوية..... 7

3.3. آليات تكيف النبات مع ظروف الإجهاد 7

II. الإنتاج البيئي في ظل التنمية المستدامة 10

1. مفهوم التنمية المستدامة 10

2. أبعاد التنمية المستدامة 11

1.2. البعد الاقتصادي 11

2.2. البعد الاجتماعي 11

3.2. البعد البيئي..... 11

4.2. البعد التكنولوجي..... 12

3. مبادئ التنمية المستدامة 12

4. استراتيجيات وأدوات التنمية المستدامة 13

5. أدوار التنمية المستدامة 13

6. تحديات التنمية المستدامة..... 14

III. طرق الإنتاج البيئي المستدام 15

1. مفهوم الإنتاج البيئي المستدام..... 15
2. عناصر الإنتاج البيئي المستدام..... 15
3. خصائص الإنتاج البيئي المستدام 15
4. الزراعة المستدامة.... 16
1.4. أهداف الزراعة المستدامة 16
2.4. معايير الزراعة المستدامة 17
3.4. وظائف الزراعة المستدامة 17
الفصل الثاني: المحفزات الحيوية الميكروبية النباتية
I. المحفزات الحيوية النباتية..... 18
1. التسميد الحيوي..... 18
2. تعريف المحفزات الحيوية النباتية 18
3. تقسيم المحفزات الحيوية..... 18
1.3. المركبات الدبالية والفولفيك..... 19
2.3. محللات البروتين والأحماض الأمينية..... 19
3.3. مستخلصات الأعشاب البحرية والنباتات..... 19
4.3. الفطريات والبكتيريا المحفزة لنمو النبات 20
5.3. الكيتوزان 20
4. طرق تطبيق المحفزات الحيوية النباتية..... 20
5. آثار المحفزات الحيوية على الإنتاج النباتي..... 21
II. المحفزات الحيوية النباتية الميكروبية 21
1. المحيط الجذري (Rhizosphere) 22
2. البكتيريا المعززة للنمو النباتي 22
1.2. تعريف البكتيريا المعززة للنمو النباتي..... 22
2.2. آليات عمل البكتيريا المعززة للنمو النباتي..... 23
1.2.2. الآليات المباشرة..... 23
2.2.2. الآليات غير المباشرة..... 24
3. الفطريات المعززة لنمو النبات..... 27
1.3. تعريف الفطريات المعززة لنمو النبات 27
2.3. آليات عمل الفطريات المعززة لنمو النبات..... 28
III. طرق وتطبيقات المحفزات الميكروبية على النبات..... 29
1. تحفيز نشاط الكائنات الحية الدقيقة المفيدة في الموقع..... 29

2. إدخال الكائنات الحية الدقيقة المفيدة 30
1.2. تطبيقات البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات..... 30
2.2. تطبيقات الفطريات المعززة لنمو النبات..... 31
IV. الاستخدام المستدام للميكروبات المحفزة في التربة..... 34
خاتمة..... 34
الملخصات
الملخص باللغة العربية..... 35
الملخص باللغة الانجليزية 36
الملخص باللغة الفرنسية..... 37
قائمة المراجع..... 38

قائمة المختصرات

قائمة المختصرات

ACC deaminase: 1-amino cyclopropane-1-carboxylate deaminase

Al: aluminium

AMF: Arbuscule-Forming Mycorrhiza

Ca: Calcium

Co: Cobalt

Cl: chlore

CO2: Carbon dioxide

DNA: Deoxyribonucleic Acid

H_2PO_4: Dihydrogen phosphate

HPO_4^{+2}: Hydrogen phosphate

ISR: Induced Systemic Resistance

ISO: International Organization for Standardization

Na: Sodium

NaCl: Sodium chloride

NO_3^-: Nitrate

NTIC: Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication

P: Phosphore

PGPBs: Plant Growth-Promoting Bacterias

PGPFs: Plant Growth-Promoting Funji

PGPMs: plant growth-promoting microorganisms

PGPRs: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

PSB: Phosphate-Solubilizing Bacteria

Se: Selenium

Si: Silicon

SPS: Sanitary and phytosanitary

VOCs: Volatile Organic Compounds

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
01	I: أثر الإجهاد المائي المستديم على نمو النبات. (أ) الحالة المثالية للنمو. (ب) حالة الإجهاد. (ذ) نقطة موت النبات II .أثر الإجهاد المؤقت على نمو النبات. (1) الحالة المثالية للنمو. (2) إجهاد طفيف ومؤقت. (3) إجهاد شديد	3
02	تأثير الإجهاد المائي على بعض الظواهر الفيزيولوجية	4
03	التفاف أوراق نبات الطماطم	8
04	تداخل أبعاد التنمية المستدامة	12
05	طلي البذور (على اليمين) وجذور النبات (على اليسار) بـPGPR	21
06	أنواع الإرتباط بين المجموع الجذري والبكتيريا المعززة للنمو	22
07	تحريض تكوين الجذر الجانبي على شتلات عشب *Brachypodium distachyon* بواسطة المركبات المتطايرة المنبعثة من *Bacillus pumilus* C26	26
08	آليات تعزيز (PGPF) لنمو النبات بشكل مباشر	29

قائمة الجداول

قائمة الجداول

الرقم	عنوان الجدول	الصفحة
01	درجات الحرارة المختلفة لنمو محاصيل الموسم الحار والبارد	5
02	بعض المنتجات لمستحضرات تجارية للمحفزات الحيوية الميكروبية	34 - 33

مقدمة

مقدمة

يعتبر الأمن الغذائي من التحديات الهامة التي تواجه العالم خاصة بعد أزمة الغذاء العالمية في بداية السبعينيات. فالجزائر مثلا، بالرغم من توافرها على الإمكانيات الكفيلة بتحقيقه، وبذلها العديد من الجهود إلا أنها لم تستطع تحقيق مسعاها، فالإنتاج الغذائي فيها بعيد عن المستوى المطلوب، ما يجعلها تعتمد على المصادر الخارجية في تأمين احتياجاتها الغذائية. لهذا فهي تسعى بدورها إلى تعزيز أمنها الغذائي من خلال الإكتفاء الذاتي وذلك بالاهتمام بالقطاع الزراعي كونه القطاع الرئيسي المنتج للغذاء والمساهم في تحقيق الأمن الغذائي.

وشهد القرن العشرين قفزة نوعية في الإنتاجية الزراعية نتيجة إدخال الأسمدة الكيمياوية والمبيدات الزراعية ومكننة الزراعة، لكن هذه الزيادة الضخمة في الإنتاجية الزراعية انعكست سلبا على البيئة والأنظمة الطبيعية وعلى صحة الإنسان والأمن الغذائي في حد ذاته، حيث انخفضت الكفاءة الكلية لاستخدام الموارد بشكل حاد، (الجندي، 2001)، وهنا برزت الاستدامة كمفهوم لمواجهة التحديات البيئية وآثارها على الزراعة والعواقب المحتملة للأمن الغذائي العالمي والإقليمي، و بدأ الاتجاه نحو الزراعة المستدامة وتشجيع استخدام العمليات الإيكولوجية في الزراعة. ونظرا للكلفة العالية للأسمدة والمحرضات الكيميائية وتأثيرها السلبي على البيئة المترافق مع انخفاض إنتاجية النبات في ظروف عدم توفر مصادر المواد المغذية والأملاح المعدنية اللازمة لنمو النبات وتقوية آلياته الدفاعية ضد الممرضات. كان لابد من دراسة بدائل حيوية تعمل على تحفيز النمو والمقاومة الجهازية معا دون التأثير على البيئة (قواس وآخرون، 2017).

هذا ما أدى بنا إلى اختيار موضوع المحفزات الحيوية الميكروبية والخوض في غمار البحث من أجل دراستها بالتفصيل في هذه المذكرة وقد عملنا على تغطية العديد من النقاط التي تصب في هذا الموضوع الهام وهذا بعد أن طرحنا التساؤلات التالية: ما هو الإنتاج البيئي المستدام؟ ماهي التنمية المستدامة؟ ماهي المحفزات الحيوية الميكروبية؟ وكيف تؤثر على الصحة النباتية؟ وكيف تساهم في الإنتاج البيئي المستدام؟

وعليه قمنا بتقسيم المذكرة لفصلين، الفصل الأول دراسة الإنتاج البيئي المستدام: حاولنا من خلاله إعطاء لمحة موجزة حول تدهور الإنتاج النباتي في ظل الإجهاد وكذا الإنتاج البيئي في ظل التنمية المستدامة. والفصل الثاني: المحفزات الحيوية الميكروبية: قمنا بتوضيح ماهيتها وآلية عملها وتأثيرها على صحة النبات.

الفصل الأول:
الإنتاج البيئي المستدام

الفصل الأول: الإنتاج البيئي المستدام

I. الإنتاج النباتي والتغيرات المناخية

1. تعريف الإنتاج النباتي

يعرف الإنتاج النباتي بأنه مجموع التقنيات المستعملة لزراعة مختلف الأنواع النباتية بهدف إنتاج منتوجات موجهة للاستهلاك. وعرف إنتاج المحاصيل تطورا ملحوظا بفضل ابتكار تقنيات زراعية جديدة تعمل على تحسين المردود (Bouchaala, 2020).

2. الاحتباس الحراري

هو ظاهرة زيادة متوسط درجة حرارة المحيطات والغلاف الجوي على نطاق عالمي على مدى عدة سنوات. حيث تؤدي الزيادة في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى زيادة ملحوظة في درجة حرارة سطح الغلاف الجوي (Benider, 2020).

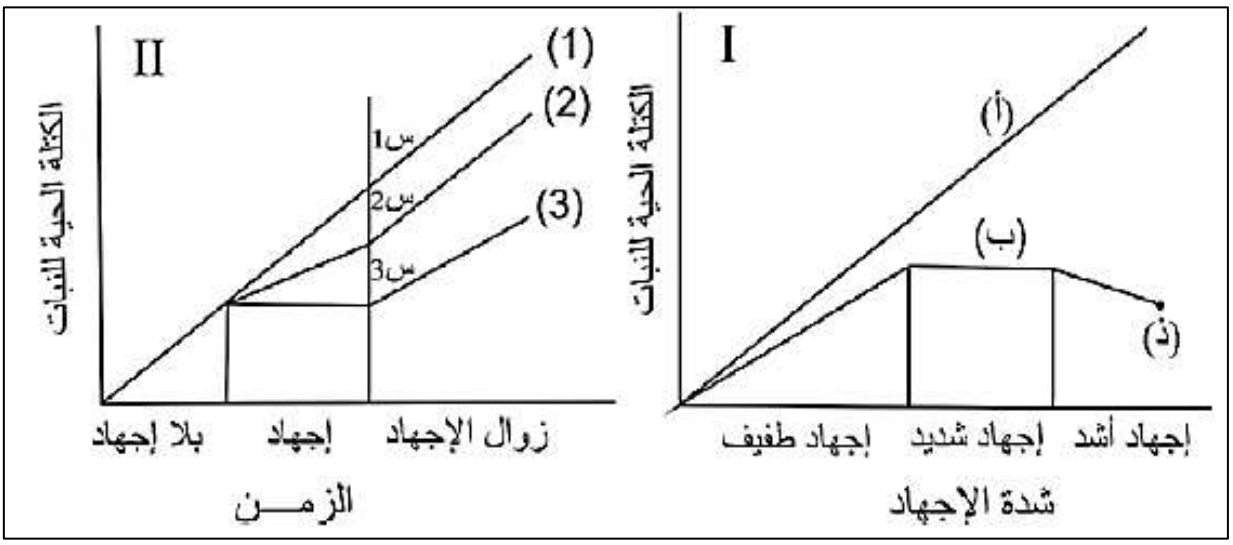
ويهدد الاحترار العالمي النظم البيئية الطبيعية على وجه الخصوص من خلال تعديل التنوع البيولوجي، تغير أنماط هطول الأمطار وما يتسبب في ارتفاع مستوى سطح البحر، إزاحة المناطق المناخية والنطاقات الحيوية، إعادة توزيع الموارد المائية، والصعوبات الزراعية خاصة زيادة تعرض النباتات للإجهاد المائي وضياع الأراضي الزراعية (Benider, 2020).

3. تدهور الإنتاج النباتي في ظل الإجهاد

1.3. تعريف الإجهاد

يعرف الإجهاد في ميدان العلوم بأنه القوة المطبقة على وحدة المساحة والتي ينشأ منها إجهاد، أما في علوم الحياة فإنه يعني في الغالب تأثير أي عامل يخل بالوضعية المعتادة للكائن الحي (محمد، 1997)، ويمكن تعريفه على أنه "حيود عن الحالة المثالية لحياة النبات مما يؤثر سلبيا على وظائفه".

كما تتناسب درجة تأثر النبات مع شدة الإجهاد ومدته. فالإجهاد البسيط خاصة إذا كان مؤقتا يؤدي إلى آثار طفيفة تستطيع غالبية النباتات تحملها، ويمكن أن تتلاشى تلك الآثار بزواله. ومع اشتداد الإجهاد يزداد حيود النبات عن الظروف الطبيعية من حيث النمو والتطور والإنتاجية. حيث ينخفض معدل النمو وقد يتوقف تماما. وعند تجاوز الإجهاد الحدود التي تمكن للنبات تحملها يدخل النبات في حالة كمون، أو يشيخ مبكرا ويموت (أبو جاد الله، 2010).



الشكل (01): I أثر الإجهاد المائي المستديم على نمو النبات. (أ) الحالة المثالية للنمو. (ب) حالة الإجهاد. (ذ) نقطة موت النبات. II أثر الإجهاد المؤقت على نمو النبات. (1) الحالة المثالية للنمو. (2) إجهاد طفيف ومؤقت. (3) إجهاد شديد (أبو جاد الله، 2010).

إذ يعتبر الإجهاد عائقا أمام تحسين المردود، وبعضه مانعا لحياة النبات، لذلك من الضروري فهم الميكانيكية التي يؤثر بها على النبات من أجل وضع استراتيجية تقلل من تأثيراته (فتيتي، 2003)

2.3. العوامل المسببة للإجهاد

1.2.3. العوامل اللاحيوية

تعرف الإجهادات اللاحيوية على أنها تداخل لعدة عوامل وإجهادات تؤثر معا على النبات ومن أهمها نذكر الإجهاد المائي (زيادة أو نقص الماء)، الإجهاد الحراري (الحرارة المرتفعة والجليد) والإجهاد الملحي (زيادة أو نقص أحد العناصر المعدنية) (عولمي، 2015). حيث يؤدي اختلال هذه العوامل إلى انخفاض يصل ل 70٪ في مردود النبات نتيجة التغيرات المورفولوجية، الفسيولوجية والفينولوجية (Kelaleche, 2018).

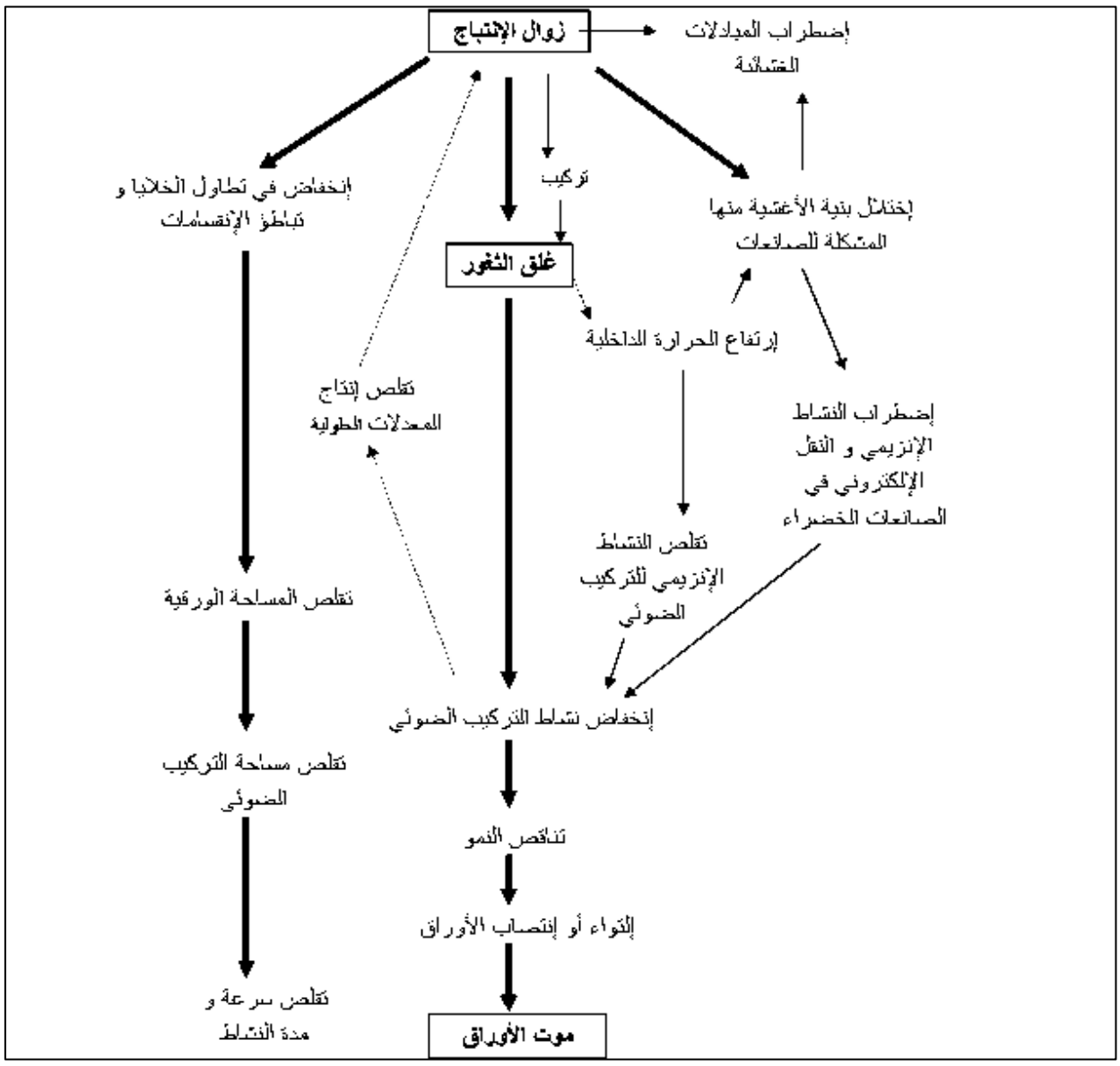
ا. الإجهاد المائي

يعتبر العامل الأول المحد للإنتاج الزراعي العالمي، فحوالي 35٪ من المساحات المزروعة في العالم هي مناطق جافة وشبه جافة، كما تتعرض 25% من المساحات المتبقية بانتظام لفترات الجفاف (Azzoz, 2009). والإجهاد المائي هو الحالة التي يكون فيها معدل فقد الماء بالنتح أو التبخر أعلى من معدل امتصاص الماء من التربة مما قد يسبب نقص المحتوى المائي لأنسجة النبات عن المستوى الطبيعي (أبو جاد الله، 2010).

ويؤثر الإجهاد المائي سلبا على المردود من خلال العجز المائي المسجل على مستوى الأنسجة النباتية، فظهور الإجهاد المائي خلال فترة قصيرة يؤدي إلى توقف مؤقت للنمو يليه تناقص في شدة التركيب الضوئي.

وبزيادة فترة التعرض للإجهاد المائي تظهر اضطرابات عديدة في مختلف الوظائف الفيزيولوجية ينتج عنه توقف تام عن النمو (قندوز، 2014).

تتمثل عواقب الاجهاد المائي في جفاف البروتوبلازم وزيادة تركيز المواد المذابة نتيجة خروج الماء من الخلايا، وهو ما يؤدي الى اضطرابات مورفولوجية وأيضية خطيرة على النبات كتلف البنية الغشائية ومنه فقدان البروتينات الغشائية ومختلف العضيات السيتوبلازمية. كما تنخفض شدة التمثيل الأيضي نتيجة انغلاق الثغور والتقليل من امداد CO_2 وبالتالي انخفاض في تخليق الكربوهيدرات (Kelaleche, 2018).



الشكل (02): تأثير الإجهاد المائي على بعض الظواهر الفيزيولوجية (بن جامع، دس).

ب. الإجهاد الحراري

تعد درجة حرارة النبات من العوامل المتغيرة حسب تغير درجة حرارة المحيط حول النبات واختلاف الأنواع النباتية، والعامل المحدد لدرجة حرارة أجزاء النبات هو درجة حرارة المحيط الملامس لذلك الجزء منه. تؤثر حرارة المحيط تأثيرا مباشرا وغير مباشرا على جميع العمليات الفسيولوجية والأيضية في النبات، كما قد تكون عامل بيئي مجهد للنبات. ويبدأ الإجهاد الحراري إذا زادت درجة الحرارة عن الحد الأقصى أو نقصت عن الحد الأدنى الذي يتحمله النبات. لذلك يتطلب نمو النباتات توفير درجة حرارة مثلى للنمو الطبيعي (عولمي، 2015).

يمكن تقسيم النباتات تبعا لتأثر نموها وعلاقته بدرجة الحرارة إلى ثلاث مجموعات رئيسية وهي:

- نباتات الحرارة المرتفعة: تشمل النباتات التي يتطلب نموها درجات حرارة عالية لا يقل المعدل السنوي عن 20 °م (الجدول 01)؛
- نباتات الحرارة المعتدلة: تتضمن النباتات التي تنتشر في خطوط العرض المتوسطة التي أقلمت نفسها لمواجهة التغيرات الفصلية في درجات الحرارة بين فصول السنة المختلفة؛
- نباتات الحرارة الواطئة: تشمل النباتات التي تنتشر في خطوط العرض العليا حيث يكون متوسط درجات الحرارة الشهرية أقل من 10 °م (الجدول 01). وتضم كذلك النباتات التي تغطي المناطق القطبية مثل بعض أنواع الطحالب (الفهداوي، دس).

الجدول (01): درجات الحرارة المختلفة لنمو محاصيل الموسم الحار والبارد (عواد، 2009)

درجة الحرارة (م°)	درجة الحرارة الدنيا	درجة الحرارة المثلى	درجة الحرارة العظمى
محاصيل الموسم البارد	15 – 0	31 – 26	37 – 32
محاصيل الموسم الحار	18 – 15	37 – 32	50 – 44

وتبعا لهذا التقسيم نميز نوعين من الإجهاد الحراري:

- إجهاد درجة الحرارة المرتفعة؛

- إجهاد درجة الحرارة المنخفضة.

فانخفاض درجات الحرارة خاصة عند وصولها إلى درجة الانجماد تؤدي إلى تحديد نمو النباتات وبطء العمليات الأيضية فضلا عن تأثيرات أخرى كانسداد الأوعية الخشبية نتيجة تجمد الماء فيها فيتوقف انسياب الماء إلى أطراف مختلفة من النبات مسببا موتها. أما أضرار الحرارة المرتفعة فتعتمد على الفترة الزمنية لتعرض النبات لها، ومن أهم تأثيرات الحرارة المرتفعة نجد:

- انخفاض معدل التركيب الضوئي وارتفاع معدل التنفس، فيزيد استهلاك الكربوهيدرات مسببا جوع النبات؛

- نقص كمية البروتينات النشطة نتيجة هدمه أو فقد بنيته الوظيفية؛
- تراكم بعض المواد السامة نتيجة زيادة نفاذية الأغشية؛
- تغير في طبيعة الأحماض النووية؛
- ارتفاع معدل النتح مما يعرض لنبات للجفاف؛
- تثبيط النمو وصغر حجم النبات وسقوط الأوراق مبكرا الفشل في تكوين الأزهار (الفهداوي، 2019).

جـ. الإجهاد الملحي

تكون المحاصيل الزراعية محدودة بسبب تراكم الأملاح وخاصة كلوريد الصوديوم (NaCl) في التربة. حيث تسبب الكميات الزائدة من الأملاح آثارا ضارة على نمو النبات وإنتاجيته. ويعتبر استخدام الأسمدة ومياه الري المحتوية على نسبة عالية من الملح أحد العوامل الرئيسية المسؤولة عن زيادة ملوحة التربة ما أدى لتدهور أكثر من 40 مليون هكتار من الأراضي المروية، ما يعادل أكثر من ثلث الأراضي الصالحة للزراعة في العالم (Ben Yahmed, 2013).

تختلف شدة تأثير الملوحة على النبات حسب نوع النبات ومرحلة نموه النبات، فإذا كان النبات متحملا للملوحة في مرحلة ما، فليس بالضرورة أن يكون متحملا في المراحل الأخرى، ويتم اختبار التحمل في المراحل التالية:

- الإنبات والبروز؛
- الباذرات والتفرع؛
- الاستطالة والتزهير والإخصاب (طوشان وسلطان، 1994).

حيث يؤدي فائض الملح في البروتوبلازم إلى اضطرابات في التوازن الأيوني وفي عمل الأنزيمات والأغشية الخلوية وحتى الجزيئات الخلوية الكبيرة، كما يخفض من إنتاج الطاقة وامتصاص النيتروجين. وإذا تجاوز تركيز الملح قدرة تحمل النبات، فإن الاضطراب يصل لعملية التركيب الضوئي من خلال تأثير الملح على عمل البلاستيدات سواء في نقل الالكترونات، التبادلات الغازية أو النشاط الكيموحيوي (Azzoz, 2009).

توجز أهم أضرار الملوحة على النبات في:

- إعاقة امتصاص بعض العناصر الأساسية لنمو النبات: بسبب وجود أيونات بعض عناصر الأملاح ولاسيما أيونات الصوديوم؛
- التسمم الأيوني للخلية: نتيجة تجمع معدلات عالية من الصوديوم والكلور والكبريتات فوق طاقة تحمل خلية نبات ذلك النوع؛
- قلة امتصاص الماء: بسبب الشد الأسموزي المسلط على جذر النبات النامي في الوسط الملحي العالي؛

- التسمم الوراثي: فزيادة تركيز الأملاح في الخلية لحد معين يسبب تخريب DNA ما يسبب بدوره موت الخلية (طوشان وسلطان، 1994).

كما يظهر التأثير السلبي للملوحة على المحاصيل في انخفاض نمو الجهاز الخضري حيث يتناقص التفرع وطول الساق وقطره لدى الأنواع المختلفة، ويقل عدد الأوراق وينخفض وزن المادة الجافة ومنه حجم الثمار (Kelaleche, 2018).

2.2.3. العوامل الحيوية

هي كل الكائنات الحية التي تعيق النمو الطبيعي للكائن الحي من أحياء مجهرية (الفطريات، البكتيريا، الفيروسات)، النباتات المتطفلة، الديدان، الحشرات. وحتى ما ينجر عن نشاط الكائنات الأخرى من زيادة الكثافة النباتية في وحدة المساحة والرعي... (ميسر، 2016).

3.3. آليات تكيف النبات مع ظروف الإجهاد

تمتلك النباتات قدرة على ملاءمة التغييرات البيئية فتتكيف مع التغيير في درجة الحرارة، شدة الضوء، طول النهار، شدة الريح، نوع التربة ومحتواها المائي، نسبة ملوحتها، درجة حموضتها، والكائنات الممرضة من فطريات وبكتيريا وفيروسات وكائنات حيوانية ممرضة أو متطفلة، إلى غير ذلك مما لا نهاية له من العوامل التي لا تكاد تثبت عند القيم المثلى (أبو جاد الله، 2010).

من أهم الطرق التي تتأقلم بها الكائنات النباتية مع العوامل البيئية المجهدة هي التحمل (Tolérance)، التأقلم (Adaptation) والمقاومة (Resistance) ويكون ذلك بتفاعلات كيميائية وفزيولوجية أو بتغيرات مورفولوجية تختلف حسب نوع الإجهاد المطبق:

1.3.3. استجابة النبات للإجهاد المائي

يطور النبات آليات فيزيولوجية تأقلمية مرتبطة بدورة حياته (التبكير) وأخرى فيزيولوجية (مقاومة جفاف الأنسجة) لتفادي الفترات الحرجة في حياته:

ا. آليات فيزيولوجية (التبكير)

تعرف أيضا بالهروب أو التفادي. تتمثل في قدرة النبات على إنهاء دورة حياته خلال الفترة التي يكون فيها الماء متوفرا، فالنمو السريع والإزهار المبكر يسمحان بتفادي فترة الجفاف. ووجد أن المردود شديد الإرتباط بالتبكير، فالأصناف ذات المردود العالي هي دائما تلك التي تحدث عندها مرحلتي الأزهار والنضج مبكر، ورغم هذا، فإن النتائج الإيجابية للتبكير تبقى مرهونة بمدى حساسية النبات للفترة الضوئية ودرجات الحرارة المرتفعة (بن جامع، دس).

ب. آليات مورفولوجية

تتلخص في قدرة النبات على تفادي جفاف الأنسجة بمواصلة امتصاصه للماء من الوسط والتالي المحافظة على المحتوى المائي للخلايا. ومن أهمها:

- استمرار امتصاص الماء حتى في ظل العجز المائي من خلال زيادة مساحة الجذور أفقيا وعرضيا والقدرة أيضا على النقل الأفقي للنسغ الناقص للماء والعناصر المغذية على مستوى الجذور ويمثل أعلى درجات التأقلم ومستوى العجز المائي أو الجفاف؛
- التقليل من فقدان الماء والتي تمثل أهم آليات المحافظة على المحتوى المائي خلال فترات الجفاف من خلال إظهار بعض الصفات المورفولوجية مثل التفاف الأوراق الناتج عن انكماش الخلايا للتقليل من عملية النتح (الشكل 03)، بالإضافة إلى التنظيم الثغري وتقليص امتصاص الإشعاعات الضوئية (بن جامع، دس).

الشكل (03): التفاف أوراق نبات الطماطم (Net 01)

جـ. آليات مورفوفيزيولوجية

من أهم المعايير المميزة لهذه الآليات:

- الآثار الثغرية وغيرها للإجهاد المائي على التركيب الضوئي؛
- التعديل الأسموزي الذي يسمح بالحفاظ على انتباج الخلايا؛
- التعديل الحلولي وتراكم عدة مواد منحلة كالشوارد المعدنية، البرولين والسكريات الذائبة والتي تتركب بسرعة أكبر تحت تأثير الإجهاد المائي (بن جامع، دس).

2.3.3. استجابة النبات للإجهاد الحراري

ا. حالة إجهاد درجة الحرارة المرتفعة

يمكن لبعض النباتات أن تتحمل درجات الحرارة العالية وذلك بتكوين نوع من القدرة على تحمل الضرر ويشمل ذلك التكيفات التشريحية والفسيولوجية بطريقة مماثلة مما يحصل في التكيف للإجهاد المائي الذي ينقص استعمال الماء بواسطة تبديد الطاقة. فكلا المجموعتين من النباتات المقاومة للإجهاد المائي أو المقاومة للحرارة إنما تعتمد على التكيفات نفسها (الفهداوي، 2019)

- تجنب الحرارة العالية: من خلال قدرة النبات على تحوير تركيب الورقة، سواء من خلال الحجم أو القدرة على الالتفاف وتغير وضع حافة الورقة عند اشتداد الحرارة (الشكل 03). بالإضافة إلى القدرة على التحكم في الثغور ومعدل النتح؛
- تحمل الحرارة العالية: قدرة النبات على البقاء حيا في ظروف الإجهاد الحراري، من خلال ثبات البروتينات والأحماض النووية أو عودتها إلى حالتها الطبيعية من خلال ميكانيكيات الإصلاح (عواد، 2009).

ب. حالة إجهاد درجة الحرارة المنخفضة

تختلف الأنواع النباتية في قدرتها على التكيف مع الحرارة المنخفضة، ومن أهم الميكانيزمات نجد:

- الأوراق صغيرة الحجم ضيقة وسميكة، مغطاة بطبقة من الكيوتين. جذورها كثيرة التفرع؛
- بطء سرعة النمو؛
- زيادة تركيز السكريات نتيجة تفكيك النشاء حيث تنخفض نقطة التجمد كما يقل معدل النتح؛
- زيادة الضغط الأسموزي نتيجة زيادة تركيز المواد الذائبة؛
- ازدياد نفاذية الغشاء الخلوي؛
- زيادة نسبة البروتينات الذائبة في البروتوبلازم وزيادة نسبة الماء المرتبط في الخلايا لمقاومة التبلور (مسعود، 2019).

3.3.4. استجابة النبات للإجهاد الملحي

ا. التحمل

يكون نمو النباتات قريبا من المعدل الطبيعي، ويرتبط بنوع النبات وقدرته على التنظيم وبطور النمو، ويكون النبات المتحمل قادرا على نقل الصوديوم Na في الأجزاء الهوائية للنبات، وفرز الأملاح الزائدة على سطح الأوراق، مما يجعله يحافظ على التركيز الثابت في النسيج النباتي (عمراني، 2006).

ب. التأقلم

وهو قابلية النبات للتكيف مع ظروف الوسط الملحي، ويعبّر تكيف النبات في الأوساط الملحية على مدى قدرته على مقاومة الأملاح، حيث يستعمل النبات العديد من الميكانيزمات الفيسيولوجية (هاملي، 2003).

ومن أهم الميكانيزمات نجد:

- خفض امتصاص الأيونات السامة والمتراكمة في فجوات الجذور؛
- خفض الأيونات المتراكمة في الأعضاء الفتية والقمم النامية من الجزء الهوائي؛
- طرح الكلور Cl من الأعضاء الهوائية، لأن الكلور في البيئة المالحة يبطل امتصاص ونقل الأيونات لمسافات كبيرة، والتي تكون ضرورية للنمو خاصة النترات NO^{-3} (عمراني، 2006).

جـ. المقاومة

مقاومة الملوحة من طرف النبات ظاهرة معقدة جدا، نظرا لتدخل العوامل المورفولوجية والبيوكيميائية، حيث تتعلق قدرة النبات على المقاومة بتركيز الأملاح في الوسط الخارجي، نوع التربة، نوع النبات، ضغطه الأسموزي وطور نموه (Kadri *et al.*, 2001). ومن آليات مقاومة النبات نذكر:

- ارتفاع الضغط الأسموزي للمحتوى الخلوي نتيجة تراكم الأملاح والمواد الذائبة من أجل ميكانيزم المقاومة؛
- إفراز الملح عن طريق الغدد الملحية إلى السطح الخارجي للأجزاء الهوائية له، مما يسمح بالحفاظ على تركيز ثابت للأملاح في الخلايا؛
- توزيع الأيونات كعمل مضخة صوديوم – بوتاسيوم في الجذور التي تعمل على إعادة الصوديوم إلى البيئة الخارجية وادخال البوتاسيوم؛
- الطرد أو الإقصاء للأيونات بالحد من دخول أيونات الصوديوم Na^+ والكلور Cl^- إلى داخل النبات، حيث يتم إيقافها على مستوى مراكز الامتصاص، وتتراكم داخل أنسجة الجذور بفضل تأثير أيونات الكالسيوم Ca^+ على النفاذية الخلوية (عمراني، 2006).

II. الإنتاج البيئي في ظل التنمية المستدامة

1. مفهوم التنمية المستدامة

إن ارتفاع شدة التلوث بمختلف أنواعه وآثاره، والاستخدام المجحف للموارد البيئية بسبب مختلف الأنشطة البشرية أرغم المجتمع الدولي على البحث عن حل للحد من هذه الأضرار المهددة لحياة الإنسان، وذلك بطرح نمط جديد للتنمية يمتاز بالعقلانية، والذي من شأنه ضمان معدلات نمو اقتصادي مع إجراءات المحافظة على البيئة والموارد الطبيعية في آن واحد، ويتجلى في التنمية المستدامة (عبد البديع، 2003).

يمكن تعريف التنمية المستدامة بأنها التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون الإخلال بقدرة الأجيال القادمة على تلبية حاجياتها، وهذا التعريف يقودنا إلى نقطتين مهمتين:

- مخزون رأس المال الطبيعي يمكن أن يبقى سليما للأجيال القادمة وذلك عن طريق الاستغلال الأمثل للموارد غير المتجددة، والحفاظ على البيئة من الملوثات؛
- إجمالي رأس المال الطبيعي والمصنع يجب ألا ينخفض بين جيل وآخر، حيث تضمن إتاحة نفس الفرص الحالية للأجيال القادمة بضمان ثبات رأس المال الشامل أو زيادته المستمرة عبر الزمن (بوحبيلة، 2012).

وتهدف التنمية المستدامة إلى التحسين المستمر لنوعية حياة المواطنين من خلال مراعاة الطبيعة غير المنفصلة للأبعاد البيئية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية للتنمية المستدامة من منظور المساواة بين الأجيال المختلفة وداخل الجيل الواحد (Yelkouni *et al.*, 2018).

2. أبعاد التنمية المستدامة

1.2. البعد الاقتصادي

لا تستبعد التنمية المستدامة السعي لتحقيق النمو (زيادة إنتاج السلع والخدمات) لتلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية. حيث تعد التنمية المستدامة بإدارة سليمة ومستدامة، دون الإضرار بالبيئة والمجتمع. من خلال زيادة كفاءة الشركة وقطاع النشاط. تعزيز أفضل الممارسات والعلاقات التجارية؛ تشجيع الابتكار ... الخ (Ott, 2018).

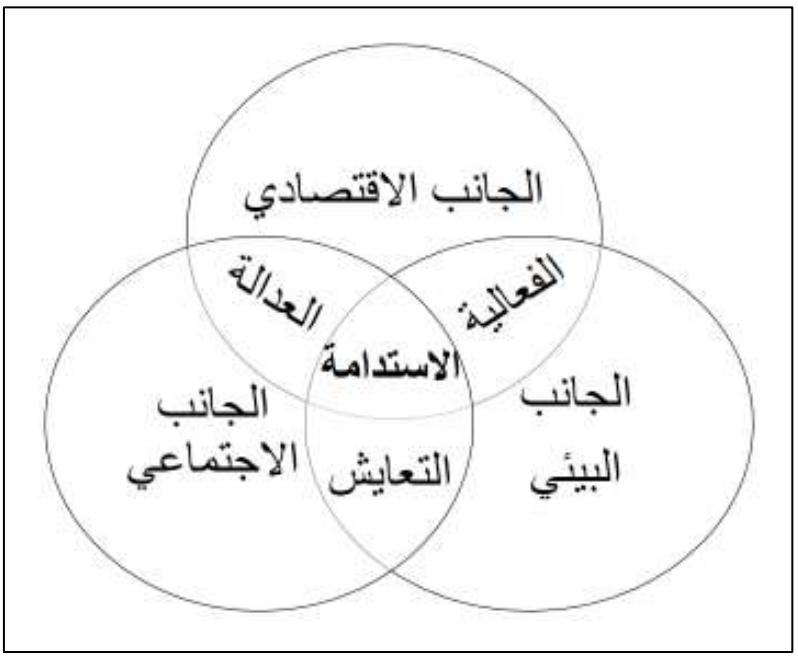
2.2. البعد الاجتماعي

يركز البعد الاجتماعي للتنمية المستدامة على أن الإنسان يشكل جوهر التنمية وهدفها النهائي من خلال الاهتمام بالعدالة الاجتماعية ومكافحة الفقر وتوفير الخدمات الاجتماعية إلى جميع المحتاجين لها بالإضافة إلى ضمان الديموقراطية من خلال مشاركة الشعوب في اتخاذ القرار بكل شفافية (حجام وطري، 2019).

3.2. البعد البيئي

بالسعي إلى الحد من تأثير الأنشطة البشرية على البيئة الطبيعية، والحفاظ على الموارد الطبيعية على المدى الطويل عن طريق الحد من الاستغلال المفرط، تشويه المناظر الطبيعية، استغلال الوقود الأحفوري لصالح الطاقات المتجددة. من خلال الحد من الانبعاثات الملوثة للغلاف الجوي، ومكافحة إزالة الغابات والتصحر، وحماية التنوع البيولوجي والغابات، وتعزيز الزراعة التي تحترم البيئة والصحة (Yelkouni *et al.*, 2018).

ويمكن توضيح التداخل بين أبعاد التنمية المستدامة في الشكل التالي:



الشكل (04): تداخل أبعاد التنمية المستدامة (حجام وطري، 2019)

4.2. البعد التكنولوجي

صاحب التقدم في مختلف المجالات المعرفية، التكنولوجية، ... إلخ اتساع أبعاد التنمية المستدامة لتشمل البعد التكنولوجي وهو استخدام تكنولوجيا جديدة أنظف وأقدر على إنقاذ الموارد الطبيعية بهدف الحد من التلوث والمساعدة على تحقيق استقرار المناخ واستيعاب النمو في أعداد السكان (محمد اسماعيل، 2015).

ويعتبر القطاع الزراعي مهم في ظل مراعاة أبعاد للتنمية المستدامة التي تتمثل في الاستخدام الأمثل للموارد الزراعية والمائية في العالم وعدم استنزافها، ومراعاة ألا تتعدى مخلفات النشاط الاقتصادي قدرة استيعاب الأرض لهذه المخلفات (صالحي وبن بردي، 2019).

3. مبادئ التنمية المستدامة

تقوم التنمية المستدامة على فكرتين: التنمية التي يرتبط بها مفهوم الاحتياجات، والاستدامة التي يرتبط بها مفهوم القيود. ويقدم هاذان المفهومان معياريين للإنصاف: الإنصاف داخل الأجيال والإنصاف بين الأجيال. حيث يشير الإنصاف داخل الأجيال إلى الحاجة إلى المساواة داخل الجيل الحالي وخاصة بين مختلف الطبقات الاجتماعية وبين الدول تجاه الدول النامية. بينما تستند المساواة بين الأجيال إلى فكرة العدالة والالتزامات بين الأجيال حيث يجب على الجيل الحالي أن يوفر الإمكانية للأجيال القادمة لتلبية احتياجاتهم ويترجم مبدأ الانصاف إلى سياسات وممارسات، ويمكن التعبير عنه بستة أفكار:

1. مبدأ التكامل بين البيئة والاقتصاد: أي أن التنمية الاقتصادية يجب أن تتم مع مراعاة حماية البيئة؛
2. مبدأ التفكير في المستقبل: فهناك قلق بشأن تأثير النشاط البشري الحالي على الأجيال القادمة؛

3. مبدأ حماية المحيط: ويجب أن يكون جزء لا يتجزأ من عملية التنمية من خلال الحد من استخدام مبيدات الآفات، الحد من التدهور البيئي، والاستخدام الفعال للموارد الطبيعية؛
4. مبدأ المساواة: أي تقليص الفجوة بين الأقل والأكثر رفاهية بين عامة السكان، والمساواة بين الأجيال؛
5. مبدأ جودة الحياة: أي أن كل شخص يجب أن يكون قادرا على توفير احتياجاته الأساسية بشكل أساسي وألا يرتبط مستوى المعيشة بالدخل المتاح فقط؛
6. مبدأ المشاركة: حيث يجب أن يكون لجميع فئات المجتمع صوت وأن تشارك في هذا البرنامج (Brochard, 2011).

4. استراتيجيات وأدوات التنمية المستدامة

تهم التنمية المستدامة جميع الجهات الفاعلة، والتي تشمل جميع الأشخاص الطبيعيين والاعتباريين (الحكومات والسلطات المحلية والجمعيات والشركات والمواطنين) الذين يساهمون في تحديد قيم وأهداف التنمية المستدامة وتنفيذها.

كما تجدر الإشارة إلى عدم وجود أداة عالمية. بل في الواقع، هناك عدة أنواع من الأدوات من بينها:

- أدوات التخطيط والتوجيه: تحدد هذه الأدوات الأولويات التي توجه الإجراءات المطلوب تنفيذها؛
- الأدوات التشريعية والتنظيمية: ضرورية لتنفيذ السياسات والبرامج والاستراتيجيات ومشاريع التنمية المستدامة؛
- الأدوات الاقتصادية والمالية: تستخدم هذه الأدوات آليات السوق؛
- أدوات المشاركة والاتصال: تستخدم للإعلام أو زيادة الوعي أو التدريب أو حشد جميع أصحاب المصلحة. إنها تعزز المشاركة والإدارة التشاركية؛
- الأدوات التكنولوجية: تستفيد هذه الأدوات من الابتكارات التقنية والتكنولوجية. مثل تقنيات المعلومات والاتصالات الجديدة (NTIC)؛
- أدوات التحليل والقياس والمراقبة: تستخدم هذه الأدوات لتقييم أداء الاستراتيجيات، سياسات وبرامج ومشاريع التنمية المستدامة. (Ott, 2018).

5. أدوار التنمية المستدامة

تعود ممارسات التنمية المستدامة بفوائد بيئية، اقتصادية واجتماعية مرغوبة، مثل زيادة التنوع البيولوجي الزراعي، تقليل خسائر الترشيح والجريان السطحي وحماية بنية التربة، حماية البيئة على نطاق أوسع، وتوفي الدخل المناسب للعمال والمنتجين. وتلخص أدوارها في النقاط التالية:

- مراقبة التلوث البيئي وتحديد المصادر الملوثة والعمل على الحد منها فالتلوث البيئي ظاهرة شاملة لعموم الكرة الأرضية ومهددة لجميع المناطق والنظم البيئية وأحياءها من النبات والحيوان فضلا عن أخطر التهديدات ألا وهي المجتمعات البشرية؛
- إدارة علمية للمصادر الطبيعية تترابط مع نظام إدارة البيئة من خلال اتباع أسلوب يعنى بكيفية استغلال الموارد المتاحة بشكل اقتصادي من أجل تلبية المتطلبات الحالية للأفراد فضلا عن ضمان تلبية المتطلبات المستقبلية للأجيال القادمة دون إلحاق أي ضرر بالبيئة؛
- منع اختلال التوازن الطبيعي الذي يهدد حياة الكائنات الحية، ومنها الإنسان؛
- استغلال مصادر الطاقة المتجددة دون استنفاذ منبعها فالطاقة المتجددة هي تلك التي نحصل عليها من خلال تيارات الطاقة التي يتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري؛
- الحفاظ على التنوع الأحيائي داخل الأنواع وكذلك بين النظم البيئية (داود، 2017).

6. تحديات التنمية المستدامة

انطلاقا من المحاور الثلاثة للتنمية المستدامة، يمكن تحديد أهم التحديات التي تواجها اختصارها في:

1.6. تحديات اجتماعية

إن أهم تحدي اجتماعي تمثله ظاهرة الفقر التي تشكل عقبة في وجه تحقيق التنمية المستدامة، فهو لا يسمح بتحقيق التنمية البشرية. وتجاوز عقبة الفقر يعني التوجه نحو عملية توسيع الحريات الحقيقية للأفراد، من خلال عوامل محددة لهذه الحريات: المتاحات الاقتصادية والاجتماعية (تسهيل وسائل التربية والصحة)، الحريات السياسية والمدنية (بالتفكير في حرية المشاركة في الحوار العمومي أو ممارسة حق الرقابة)، التصنيع، التقدم التقني أو التطورات الاجتماعية (Giraud and Loyer, 2006).

2.6. تحديات اقتصادية

خاصة تفاقم الأزمات الاقتصادية وآثارها العكسية على أهداف التنمية المستدامة. فالاضطرابات المالية الكبيرة التي بدأت في عام 2007 تحولت إلى أزمة اقتصادية كاملة في سبتمبر 2008، وأسفرت عن ازدياد معدلات البطالة وهي الآن تنذر بالتحول إلى مشكلة إنسانية كبيرة، وفي الواقع لم ينج أي بلد من بلدان العالم من آثار هذه الأزمة الآخذة في الاتساع (بوزيان وشمة، 2014).

3.6. تحديات بيئية

يعد التلوث أكبر تحدي للبشرية ولاسيما ذلك الناتج عن انتشار الغازات الدفيئة، الذي يؤدي إلى أخطار غير معروفة جدا وأكيدة على مستوى العديد من الأجيال، وخاضعة لجهل علمي كبير عن كثافته وعن إنتاجه، خاصة ظاهرة التغيير المناخي وما يصاحبها من زيادة تراكيز CO_2، ارتفاع درجة حرارة الأرض، وحرارة

المحيطات، حدوث تراجع لأحجام ومساحات الجبال الجليدية والمناطق المغطاة بالثلوج في نصفي الكرة الأرضية مما سبب ارتفاع مستوى سطح البحر، حدوث تغيير ملحوظ في كميات سقوط الأمطار في مناطق عديدة (بوزيان وشمة، 2014).

III. طرق الإنتاج البيئي المستدام

1. مفهوم الإنتاج البيئي المستدام

يعد الإنتاج البيئي المستدام من المفاهيم المصاحبة لظهور التنمية المستدامة، ومن خلاله تم السعي إلى جعل المنتج يراعي طوال حياته أبعاد التنمية المستدامة، وتطبيق هذا المفهوم يجب أن يتم في ظل منشأة تتبنى البعد البيئي، الاقتصادي والاجتماعي للتنمية المستدامة. كما يحتاج تطبيقه إلى تكنولوجيات جديدة تكون أكثر ملاءمة مع أهدافه (بوحبيلة، 2012).

وهو التطبيق المستمر لاستراتيجية متكاملة لوقاية البيئة، على العمليات والمنتجات والخدمات بغرض زيادة الكفاءة والحد من المخاطر التي يتعرض لها الإنسان والبيئة (الحجار وصقر، 2006)، حيث يجري تطبيق الإنتاج المستدام بواسطة التدريب، والمعارف المتطورة، وتحسين التكنولوجيا، وتغيير السلوك والعادات والمواقف البشرية، أما زيادة الكفاءة فتخص استغلال الموارد وترشيد الطاقة، واستخدام المياه، مما يساعد على الحد من الأضرار والمخاطر التي يتعرض لها الإنسان والبيئة (بورزق، 2010).

2. عناصر الإنتاج البيئي المستدام

معظم التعاريف التي قدمت للإنتاج تتفق على مجموعة من العناصر، والتي تعد أساس هذا المفهوم وتتمثل في كون الإنتاج المستدام هو خلق السلع والخدمات باستخدام العمليات والنظم التي تكون:

- غير ملوثة للبيئة؛
- تحمي وتحافظ على الطاقة والموارد الطبيعية؛
- قابلة للاستمرار اقتصاديا (تحقق الربح)؛
- آمنة وصحية للعمال والمجتمعات المحلية والعالمية والمستهلكين (بوحبيلة، 2012).

3. خصائص الإنتاج البيئي المستدام

يتميز بأنه يحقق كفاءة أكبر للعملية الإنتاجية حيث يتم فيه ترشيد استخدام الموارد من المواد الخام والماء والطاقة، وينتج عن هذه العملية الإنتاجية مخلفات أقل، كما يشمل الإنتاج المستدام أيضا استرجاع بعض المخلفات المفيدة بدلا من التخلص منها (بورزق، 2010)، ويحدد الحجار وصقر (2006) خصائص الإنتاج المستدام في النقاط التالية:

- الإنتاج المستدام ليس بالضرورة باهظ الثمن فتكاليف التغير للوصول إليه تكون مرتفعة في البداية، ولكن على المدى الطويل يمكن أن تحقق الاستثمارات في تكنولوجيا الإنتاج المستدام فوائد اقتصادية؛
- يمكن تطبيق الإنتاج المستدام في جميع المنشآت بأحجامها المختلفة الصغيرة والمتوسطة والكبيرة؛
- قابلية تطبيق الإنتاج المستدام في البلدان النامية: فهو لا يقتصر على الدول المتقدمة فقط وتطبيقه لم يعد بالأمر الاختياري، لأنه بات أمرا حتميا باعتباره تأشيرة للمرور إلى الأسواق العالمية؛
- شهادة ISO 14001 ليست بديلا عن الإنتاج المستدام، حتى وإن كانت معايير الحصول عليها تشجع على استعمال أساليب وتقنيات الإنتاج المستدام.

شهادة ISO 14001 هي معيار معترف به دوليا يحدد متطلبات نظام إدارة البيئة ويساعد المنظمات على تحسين أدائها البيئي من خلال استخدام أكثر كفاءة للموارد وتقليل النفايات (ISO, 2015).

4. الزراعة المستدامة

قدم الصندوق الدولي للتنمية الزراعية سنة 1988 عدة تعريفات للزراعة المستدامة مأخوذة من مصادر مختلفة يمكن تلخيصها في أن الزراعة المستدامة هي:

- الإدارة الناجحة للموارد الطبيعية التي تسمح للزراعة بتلبية التغيرات في الاحتياجات البشرية مع الحفاظ على هذه الموارد أو الزيادة منها إذا أمكن ذلك وتفادي تدهور البيئة؛
- قدرة النظام الزراعي على الحفاظ على إنتاجه عبر الزمن تحت تأثير الضغوطات الاجتماعية والاقتصادية؛
- الزراعة التي يجب أن تصون الموارد الطبيعية وتحميها وتسمح في نفس الوقت بنمو اقتصادي على المدى الطويل، بالإدارة العقلانية لكل الموارد المستغلة للوصول في النهاية إلى مردود؛
- الاستعمال المتعقل للموارد المتاحة لتلبية احتياجات الشعوب من الأغذية، إنتاج متناسق اقتصاديا واجتماعيا مع البيئة، وممارسات مجدية للبيئة وعادلة اجتماعيا، كما تشمل استعمال المغذيات البيولوجية وتناوب وزيادة التنوع البيولوجي (زغيب وقمري، 2009).

1.4. أهداف الزراعة المستدامة

لا تقتصر الزراعة مستدامة على المسألة البيئية بل تتطلب إدماج الأبعاد الثلاثة للتنمية المستدامة في الإنتاج الزراعي من حيث كونها: سليمة بيئيا، مجدية اقتصاديا ومنصفة اجتماعيا (AVISE, 2021).

من حيث البعد الاقتصادي للاستدامة تضمن تنوع النظم الإيكولوجية الزراعية لتقليل الاعتماد على المدخلات الخارجية، وتكامل المحاصيل والثروة الحيوانية لضمان استقرار الغلة، ما يسمح بزيادة الإنتاجية وتنوع النظم الغذائية وتحقيق الأمن الغذائي، وبالتالي استقرار دخل المزارعين والمنتجين وضمان حياة وظروف عمل كريمة لهم. تعزز هذه الممارسات الاستدامة الاجتماعية من حيث تحسين ظروف العمل للمنتجين وسلامة الأغذية للمستهلكين. وفي الاستدامة البيئية، يتم تقليل مشاكل الافراط في استعمال الكيمياويات والأحياء

الدخيلة من خلال زراعة المحاصيل المتعددة، وتناوبها. ويتم الحفاظ على صحة التربة من خلال التراكم العضوي وإعادة تدوير المغذيات على أساس دمج السماد الطبيعي والبقوليات (Amekawa, 2010).

2.4. معايير الزراعة المستدامة

وضعت منظمة الأغذية والزراعة عدة معايير للزراعة المستدامة وهي:

- العدالة: بمساعدة الدول والمجموعات الأكثر فقرا لتبني أساليب زراعية مستدامة؛
- المرونة: قدرة النظام الزراعي في المحافظة على بنيته ونماذج سلوكه في مواجهة الاضطرابات الخارجية والغير متوقعة كالفيضانات وانجراف التربة والتصحر؛
- الكفاءة في استخدام الموارد: بتحقيق أكبر قدر ممكن من القيمة والفوائد نتيجة استخدام أحد الموارد الطبيعية؛
- تحقيق متطلبات التغذية الأساسية للأجيال الحاضرة والمستقبلية من الناحية الكمية والنوعية وتوفير المنتجات الزراعية الأخرى؛
- توفير فرص العمل الدائمة، الدخل الكافي، المستوى المعيشي والعمل الملائم لجميع من يعمل بالإنتاج الزراعي؛
- المحافظة على تعزيز القدرة الإنتاجية، الموارد الطبيعية، وأيضا طاقة التجدد والاستيعاب لدى الموارد المتجددة من خلال عدم الاخلال بالتوازنات البيئية أو التسبب في تلوثها؛
- تخفيض حساسية القطاع الزراعي للعوامل الطبيعية والاجتماعية، الاقتصادية والمخاطر الأخرى وتعزيز الاعتماد على الذات (دوناتو، 2003).

3.4. وظائف الزراعة المستدامة

تتمثل وظائف الزراعة المستدامة أساسا في:

- إنتاج غذائي كاف، متنوع ومنتظم؛
- تكون قابلة للتجديد إلى أجل غير مسمى؛
- الحفاظ على التنوع البيولوجي (الحيوانات والنباتات)، موارد التربة وجودة المياه؛
- ضمان صحة النباتات المزروعة والحيوانات؛
- ضمان الجودة الصحية للأغذية المنتجة؛
- ضمان الدخل الكافي للمنتجين؛
- احترام مصلحة المستهلكين؛
- ممارسة تجارة زراعية عادلة (Benider, 2020).

الفصل الثاني:
المحفزات الحيوية الميكروبية النباتية

الفصل الثاني: المحفزات الحيوية الميكروبية النباتية

I. المحفزات الحيوية النباتية

1. التسميد الحيوي

تعتمد تقنية التسميد الحيوي على استعمال الأحياء المجهرية التي تعيش بالتربة (مثل: *Bacillus*، *Azotobacter* و*Asospirillum*) وهي من أهم الطرائق الفعالة والناجحة في زراعة المحاصيل لكون هذه الكائنات تحفز نمو النباتات وتزيد من خصوبة التربة فضلا عن أنها تقنية صديقة للبيئة وأقل تلوثا لها وأقل تكلفة مادية كونها بديلا عن استعمال الأسمدة الكيمياوية والتي تسبب تلوثا للبيئة نتيجة سوء استعمالها وبقائها لمدة طويلة في التربة دون أن تحلل أو تذوب (حبة وآخرون، 2016).

2. تعريف المحفزات الحيوية النباتية

المحفز الحيوي للنبات هو أي مادة (أو خليط من مواد ذات أصل طبيعي) أو كائن حي دقيق بغض النظر عن محتواه من العناصر الغذائية يتم تطبيقه على النباتات، البذور أو البيئة الجذرية بهدف تحقيق الزراعة المستدامة من خلال تحسين حالة المحاصيل من تحمل الإجهاد اللاحيوي و / أو تعزيز تغذية المحاصيل وجودتها ودون التسبب في آثار جانبية (Du Jardin, 2015).

ويمكن التفريق بين المحفزات الحيوية، الأسمدة الحيوية، والمبيدات من خلال آثارها الهرمونية المباشرة (محفزات حيوية)، والتأثيرات غير المباشرة على توفير المغذيات (الأسمدة الحيوية)، أو تحسين السيطرة على مسببات الأمراض أو الآفات (المبيدات الحيوية) (Halpern *et al.*, 2015).

3. تقسيم المحفزات الحيوية

تم تقسيم مجموعات عديدة من المحفزات الحيوية من خلال:

- تركيبها: فقد تكون أحادية أو متعددة المكونات؛
- طريقة استخدامها: على التربة أو على النبات (الأوراق، الجذور ...)؛
- المادة التي تم إنتاجها منها: نباتية أو حيوانية؛
- العملية التي تم تكوينها بواسطتها (التحلل المائي، التخمير، الاستخراج) (Drobek *et al.*, 2019).

فالمواد الفعالة الرئيسية المستخدمة في مثل هذه المستحضرات هي الأحماض الدبالية والفولفيك، محللات البروتين، المركبات التي تحتوي على النيتروجين، مستخلصات الأعشاب البحرية، الفطريات والبكتيريا المفيدة.

1.3. المركبات الدبالية والفولفيك

المواد الدبالية هي مجموعات من المكونات الطبيعية للمادة العضوية في التربة ذات الكتلة الجزيئية المنخفضة نسبيا والتي تنتج عن تحلل المخلفات النباتية والحيوانية والميكروبية، وعن الأنشطة الأيضية لميكروبات التربة. بالمقارنة مع أحماض الفولفيك، فإن الأحماض الدبالية ذات لون أغمق ووزن جزيئي أعلى ومحتوى كربوني ودرجة أعلى من البلمرة (Albrech, 2019).

يتم استخلاصها من المواد العضوية الطبيعية المرطبة (على سبيل المثال التربة الخثية أو البركانية)، من السماد العضوي، أو من الرواسب المعدنية (مثل الليونارداية) (Du Jardin, 2015). كما لها عدد من التأثيرات الإيجابية على نمو النبات، بما في ذلك زيادة الكتلة الحيوية، وزيادة عدد الفاكهة وتحسين جودة الفاكهة (Halpern *et al.*, 2015). كما أن اضافتها إلى محلول المغذيات يعزز قابلية ذوبان الحديد والزنك عن طريق تكوين معقدات معدنية الدبالية (Chen *et al.*, 2004).

2.3. محللات البروتين والأحماض الأمينية

هي خليط من الببتيدات والأحماض الأمينية يتم إنتاجها بواسطة التحلل المائي الإنزيمي أو الكيميائي للبروتينات من المواد الخام المشتقة من الحيوانات أو النباتات. يمكن أن تشمل بقايا المحاصيل أو المنتجات الثانوية، نفايات الحيوانات والمنتجات الثانوية الصناعية مثل الكولاجين والأنسجة الظهارية. كما تضم أيضا المركبات الأخرى المحتوية على الأزوت مثل عديدات الأمين (polyamines) وglycine betain، والأحماض الأمينية غير البروتينية (Albrech, 2019).

تعمل هذه المركبات على تعديل امتصاص واستيعاب الأزوت، وتساهم في نقل المغذيات الدقيقة وكبح نشاط مضادات الأكسدة عن طريق نضح الجذور الحرة بواسطة بعض المركبات النيتروجينية، مما يساهم في التخفيف من الإجهاد البيئي. كما يمكن أن يزيد التحلل المائي للبروتين من خصوبة التربة والأنشطة الميكروبية للتربة، وبالتالي تؤثر بشكل غير مباشر على نمو النبات وإنتاجيته (Du Jardin, 2015).

3.3. مستخلصات الأعشاب البحرية والنباتات

أكثر الأعشاب البحرية شيوعا في الزراعة هي الأعشاب البحرية البنية، بما في ذلك أنواع من أجناس *Ascophyllum*، *Fucus* و*Laminaria*. معظم منتجات الأعشاب البحرية عبارة عن مساحيق قابلة للذوبان أو تركيبات سائلة يمثل فيها عديد السكاريد 30٪ - 40٪ من الوزن الجاف لهذه المستخلصات ويشمل الألجينات واللامينارين. (Albrech, 2019).

ثبت أن هذه المواد تزيد من نمو ومستويات الكلوروفيل، والإزهار والمحصول، وإنبات البذور. كما تزيد من نجاح التكاثر في المختبر وتعزز حماية النبات من مسببات الأمراض والآفات (Halpern *et al.*, 2015).

وتدعم تغذية النبات من خلال تحسين بنية التربة إذ يرتبط عديد السكاريد مع الأيونات المعدنية لإنتاج شبكات هلامية تزيد من قدرة النباتات على الاحتفاظ بالمياه وتهوية التربة، كما تساهم في تثبيت وتبادل المواد، خاصة تثبيت المعادن الثقيلة ومعالجة التربة (Khan *et al.*, 2009).

4.3. الفطريات والبكتيريا المحفزة لنمو النبات

يتطلب تحقيق مفهوم الزراعة المستدامة، أن تتمتع المحاصيل بمقاومة الأمراض وتحمل الإجهاد مختلف الاجهادات، وهو ما يمكن تحقيقه من خلال استخدام الكائنات الحية الدقيقة المعززة لنمو النبات (PGPMs) وخاصة البكتيريا والفطريات القادرة على زيادة قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية وكفاءة استخدام المياه، بالإضافة إلى تحفيز المقاومة ضد أمراض النبات (Malgioglio *et al.*, 2022). حيث تتفاعل الفطريات والبكتيريا النافعة مع جذور النباتات بطرق مختلفة، بدءا من التعايش والتكافل الى التطفل. وتعمل على تعزيز نمو النبات وتطوره عبر آليات مباشرة أو غير مباشرة (Albrech, 2019).

5.3. الكيتوزان

عبارة عن أشكال منزوعة الأستيل من الكيتين، وهو مكون طبيعي لجدران الخلايا الفطرية، وقشور بيض النيماتودا، والهيكل الخارجي للحشرات والقشريات. يتميز بقدرته على تحفيز استجابات دفاع النبات، لا سيما تراكم فيتواليكسين، ما يجعل النباتات أكثر تحملا للإجهاد والأمراض. بالإضافة إلى ذلك، لديه خصائص مضادة للجراثيم، الفطريات والفيروسات (Albrech, 2019).

4. طرق تطبيق المحفزات الحيوية النباتية

يمكن استخدام المحفزات الحيوية بمفردها، أو إضافتها إلى التربة أو في وسط النمو، عن طريق الرش على النباتات أو كطلاء للبذور أو الجذور (Pralinage). ونظرا للكميات التي يجب إضافتها، والتي غالبا ما تكون منخفضة، يتم الجمع بين استخدام المنشطات الحيوية في كثير من الأحيان مع إضافة الأسمدة الأخرى (CAS, 2015)

غالبا ما يتم استخدام المحفزات الحيوية التي تحتوي على مواد الدبالية ومركبات النيتروجين مباشرة على التربة حيث تستخدم في شكل مستحضرات (مساحيق، حبيبات، أو محاليل مضافة إلى التربة). في حين يتم استخدام أنواع مختلفة من المستخلصات من النباتات والأعشاب البحرية في على الأوراق كمركبات سائلة. كما يمكن إدخالها ضمن نظام الري بهدف امتصاصها من طرف النباتات مع الماء (Kocira *et al.*, 2018). ويجب مراعاة الإيقاع اليومي للنباتات، فتطبق المحفزات الحيوية في الصباح عندما تكون الثغور مفتوحة ويكون معدل الاستيعاب في ذروته. (Drobek *et al.*, 2019).

تعتبر معالجة البذور تقنية بسيطة ومجدية اقتصاديا، حيث تكون البذور مغلفة بمادة حاملة للبكتيريا، مع أو بدون مواد لاصقة (السكروز، الصمغ العربي...). وهي الطريقة الأكثر استخداما حاليا كونها تضمن عددا مثاليا من خلايا البكتيريا لكل بذرة (التركيز الشائع هو 10^8 لكل بذرة) (Bhattacharyya and Jha, 2012).

الشكل (05): طلي البذور (على اليمين) وجذور النبات (على اليسار) بـ PGPRs (CAS, 2015)

5. آثار المحفزات الحيوية على الإنتاج النباتي

- تحسين الإنتاجية وزيادة نمو وحجم النباتات مع مراعاة نوع المحفز الحيوي المستخدم والجرعة وطريقة التطبيق الملائمة للصنف النباتي؛
- تحسين الخواص الفيزيائية، من خلال زيادة مرونة جدران الخلايا وبالتالي إطالة عمر الفواكه والخضروات لاستهلاكها وتسهيل تخزينها؛
- تؤثر على عدد من الخصائص الكيميائية للفواكه والخضروات، بما في ذلك الكتلة الجافة أو الحموضة أو محتوى الفيتامينات؛
- استخدام المنشطات الحيوية يمكن أن يغير نشاط الإنزيمات ويؤثر على خصائص مضادات الأكسدة، ما يسمح بمنع تكاثر الخلايا السرطانية والحماية من الإجهاد التأكسدي الناجم عن الجذور الحرة الزائدة (Drobek *et al.*, 2019).

II. المحفزات الحيوية النباتية الميكروبية

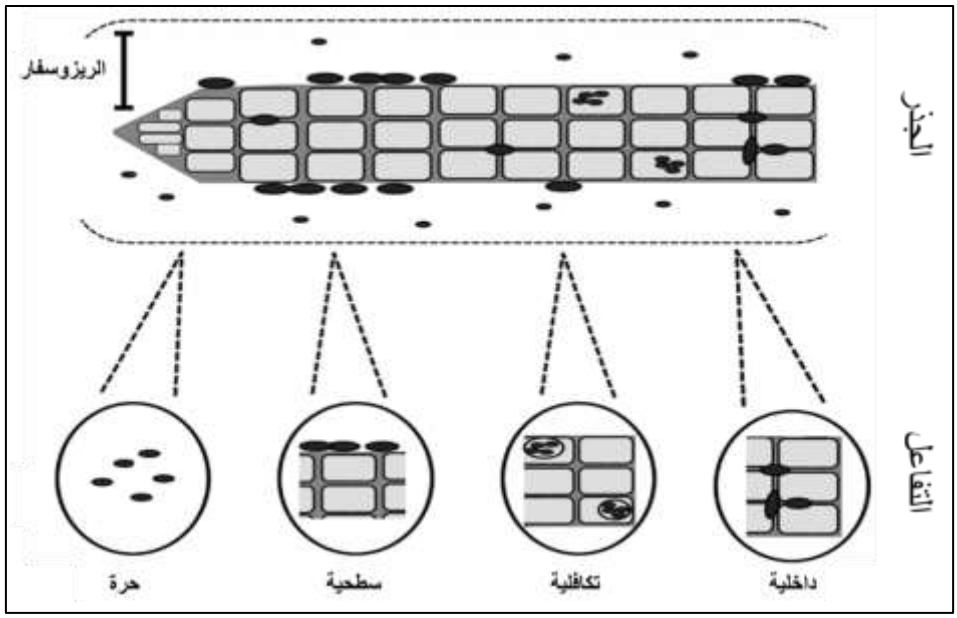
تشمل المحفزات الحيوية الميكروبية الفطريات الجذرية وغير الجذرية، البكتيريا التكافلية والبكتيريا الجذرية المحفزة لنمو النبات (Rhizobacteria)، ويمكن للكائنات الدقيقة المطبقة على النباتات أن يكون لها وظيفة مزدوجة كعامل المكافحة الحيوية والمحفز الحيوي. وقد تعتمد منتجات المحفزات الحيوية على سلالة واحدة من البكتيريا أو مزيج منها أو مزيج من سلالات البكتيريا الجذرية والفطريات (Du Jardin, 2015).

1. المحيط الجذري (Rhizosphere)

هو المنطقة من التربة التي تتأثر بجذور النباتات، كما أنّ هذه المنطقة من التربة هي التي تتغير فيها أعداد الميكروبات كما ونوعا بوجود جذور النباتات نتيجة تأثر هذه الميكروبات بالعمليات الحيوية للنبات. وتختلف مساحة هذه المنطقة باختلاف نوع النبات – طبيعة الجدر النباتي (الحمادي، 2014)

تشمل هذه المنطقة التربة المتصلة بالجذور (سطح الجذر) وغلافها الداخلي، وغالبا ما تمتد بضعة ملليمترات من سطح الجذر (Bergottini, 2015). وهي بيئة مهمة لتفاعلات النبات والكائنات الحية الدقيقة لأن جذور النباتات تمثل نطاقا واسعا للمركبات المشاركة في جذب الكائنات الحية التي قد تكون مفيدة أو محايدة أو ضارة للنباتات (Souza *et al.*, 2015).

يخضع لكل من النبات والميكروبات إلى تأثير متبادل، حيث تطلق الجذور أنواع مختلفة من الافرازات (السكريات، الأحماض الأمينية، الأحماض العضوية، الهرمونات، الفيتامينات ...) لتستفيد الكائنات الحية الدقيقة وتستعمر جذور النباتات وتتفاعل معها (Bergottini, 2015).



الشكل (06): أنواع الارتباط بين المجموع الجذري والبكتيريا المعززة للنمو (Souza *et al.*, 2015)

2. البكتيريا المعززة للنمو النباتي

1.2. تعريف البكتيريا المعززة للنمو النباتي

تعرف البكتيريا المحفزة للنمو (PGPBs)على أنها كائنات دقيقة مفيدة وغير متجانسة يمكن العثور عليها في/ على أو حول الأنسجة النباتية. تعمل على تحفيز نمو النبات وحمايته من الأمراض والإجهادات الحيوية من خلال مجموعة متنوعة الآليات المباشرة أو غير المباشرة. (Rojas-Tapias *et al.*, 2012).

تشمل البكتيريا التي تعزز نمو النبات، البكتيريا الجذرية (PGPRs) بما فيها تلك التي تعيش في المنطقة المحيطة بالجذر (ectorhizosphere)، والتي تستعمر سطح الجذر (rhizoplane)، والبكتيريا التي تعيش داخل الجذور (endorhizosphere) (Albrech, 2019). حيث يختلف تأثيرها حسب بنية التربة وبيئة الجذور والتقلبات المناخية (Bergottini, 2015).

تتميز البكتيريا الجذرية التي تعزز نمو النبات (PGPRs) بأنها يجب أن:

- تكون فعالة لاستعمار سطح الجذر؛
- تعيش وتتكاثر وتتنافس مع الكائنات الحية الدقيقة الأخرى؛
- تعزز نمو النبات فحوالي 2-5٪ من البكتيريا الجذرية، عند إعادة إدخالها عن طريق تلقيح النبات في تربة تحتوي على كائنات دقيقة قادرة على المنافسة، تمارس تأثيرا مفيدا على نمو النبات.

(Ahemad and Kibret, 2014)

من البكتريا المحفزة للنمو الشائعة الاستعمال نذكر: *Azotobacter, Bacillus, Pseudomonas,* (قواس وآخرون، 2017)

2.2. آليات عمل البكتيريا المعززة للنمو النباتي

1.2.2. الآليات المباشرة

تعمل هذه الأخيرة على زيادة نمو النبات بشكل مباشر من خلال المساعدة في الحصول على العناصر الغذائية مثل النيتروجين والفوسفات والحديد من التربة، وعن طريق إنتاج الهرمونات النباتية مثل الأكسينات والسيتوكينين والإيثيلين.

ا. التثبيت الحيوي للنيتروجين

يتطلب امتصاص النباتات للنيتروجين الجوي تحويله إلى أمونيا وذلك بواسطة الكائنات الحية الدقيقة المثبتة للنيتروجين التي تحفز نمو النبات، وتعزز جودة التربة بالحفاظ على مستوى النيتروجين الجيد. ويمكن أن يكون التثبيت البيولوجي للنيتروجين إما تكافليا أو غير تكافلي (Chandran *et al.*, 2021).

ب. إذابة الفوسفور

رغم توفر الفوسفور (P) بكميات كبيرة في التربة، فإن الكمية المتاحة للنباتات قليلة جدا، كون غالبية الفوسفور في التربة موجود في أشكال غير قابلة للذوبان، حيث تمتصه النباتات فقط في شكلين وهما (H_2PO_4) و(HPO_4^{+2}) (Bhattacharyya and Jha, 2012)

تعرف البكتيريا المقترنة بنشاط إذابة الفوسفات بـ (PSB)، والتي توفر الفوسفور للنباتات بواسطة آليات مختلفة وتتمثل أهم الأجناس البكتيرية القادرة على اذابة الفوسفور في: *Azotobacter*، *Bacillus*،

Flavobacterium، *Erwinia*، *Enterobacter*، *Burkholderia*، *Beijerinckia* و*Serratia*، *Rhizobium*، *Pseudomonas*، *Microbacterium* (Bhattacharyya and Jha, 2012).

جـ. إنتاج مركبات السيدروفور (siderophores)

طورت الكائنات الحية الدقيقة استراتيجيات نشطة لامتصاص الحديد. وذلك بإنتاج حوامض الحديد (Sidrophores) وهي جزيئات منخفضة الكتلة الجزيئية (أقل من 1000 دالتون) ذات خصوصية عالية وتقارب لأيونات Fe^{+3}، ما يسمح بنقلها وترسيبها الحديد داخل الخلايا البكتيرية.

تعتبر بعض سلالات أجناس *Burkholderia*، *Enterobacter* و*Grimontella* ذات إنتاج عال من حامض الحديد، بينما الأجناس *Klebsiella*، *Stenotrophomonas*، *Rhizobium*، *Herbaspirillum* و*Citrobacter* فلها سلالات ذات إنتاج منخفض من حامض الحديد (Souza *et al.*, 2015).

د. إنتاج الهرمونات النباتية

تعتمد قدرة PGPRs على تحفيز نمو النبات بشكل أساسي على قدرتها على إنتاج وتفكيك مختلف منظمات نمو النبات والتي بإمكانها تنظيم العديد من العمليات الفسيولوجية للنبات (Le Mire *et al.*, 2016).

يمكن لأجناس البكتيريا *Azospirillum*، *Bacillus*، *Rhizobium* و*Enterobacter* أن تقلل من إنتاج هرمون الإجهاد النباتي الإيثيلين عن طريق إفراز انزيم ACC deaminase مما يساهم في منع تثبيط نمو النبات (Le Mire *et al.*, 2016).

هـ. التأثير على مورفولوجيا الجذر

وجد أن بعض أنواع البكتيريا المحفزة للنمو يمكنها تعزيز تغذية النبات من خلال التأثير على مورفولوجيا الجذر وهو ما أثبته بعض الأبحاث. حيث وجد أن بكتيريا *Azospirillum brasilense* تعمل على زيادة كل من طول وعدد الجذور العرضية لنبات الذرة. وذلك نتيجة تركيبها لهرمونات نباتية الشبيهة بالأوكسين. كما أن التلقيح ببكتيريا *Bacillus megaterium* يؤدي إلى زيادة عدد وحجم الشعيرات الجذرية في نبات الأرابيدوبسيس؛ هو ما فسر بإنتاج البكتيريا لمستقلب خاص يعزز هذه الخاصية. تنتجه البكتيريا والذي قد يعزز نمو شعر الجذر (Halpern *et al.*, 2015).

2.2.2. الآليات غير المباشرة

تعزز PGPRs نمو النبات بشكل غير مباشر عن طريق منع مسببات الأمراض النباتية من خلال إنتاج نواتج الأيض ذات الطبيعة المضادة للميكروبات؛ إنتاج الإنزيمات مثل الكيتيناز والبروتياز والليباز، والتي

تمكن من تحلل البكتيريا المسببة للأمراض والفطريات وتحريض المقاومة الجهازية (Chandran *et al.*, 2021).

ا. المركبات الحيوية غير المتطايرة (المضادات الحيوية والمبيدات الفطرية)

هي مركبات ذات وزن جزيئي منخفض ذات نشاط مضاد للميكروبات حتى بتركيزات منخفضة. بسبب هذه المركبات، مثل الفينازينات، الفلوروجلوسينول، البيولوتورين، البيرولنترين، والببتيدات الدهنية الحلقية لقمع مسببات الأمراض النباتية. تم استغلال PGPRs التي تنتمي إلى أجناس *Bacillus* و *Pseudomonas* و*Streptomyces* لإدارة أمراض النبات في العديد من نباتات المحاصيل المهمة اقتصاديا (Chandran *et al.*, 2020).

ب. المبيدات الحيوية المتطايرة

تنتج البكتيريا العديد من المستقلبات الثانوية ذات الطبيعة المتطايرة مثل مشتقات الأحماض الدهنية والعطرية والنيتروجين نتيجة لمسارات التخمير المختلفة. ومن بين أنواع البكتيريا *Pseudomonas monteilii* التي تتميز بقدرتها على إنتاج العديد من المستقلبات الثانوية وخاصة المضادات الحيوية، الهرمونات النباتية (الأكسين)، وسيانيد الهيدروجين الكيميائي المتطاير، مركبات السيدروفور بالإضافة إلى قدرتها على الانتشار والسيطرة على البيئة الجذرية ما يسمح بتعزيز نمو النبات في الغالب (Sivasakthi *et al.*, 2014).

الشكل (07): تحريض تكوين الجذر الجانبي على شتلات عشب *Brachypodium distachyon* بواسطة المركبات المتطايرة المنبعثة من *Bacillus pumilus* C26 (Du Jardin, 2015)

جـ. إنزيمات التحلل المائي

تنتج PGPRs إنزيمات تحلل مائي مثل الكيتيناز والبروتيناز والسليولاز والجلوكانيز، والتي تثبط نمو مسببات الأمراض النباتية بشكل مباشر عن طريق الإضرار بالسلامة الهيكلية لجدرانها الخلوية من خلال تحلل المكونات الموجودة في جدار الخلية. تتميز سلالات من *Bacillus* و *Pseudomonas* بإنتاج إنزيمات تثبط نمو وتطور الفطريات الخيطية، وتدمر الأبواغ، تؤثر على إنبات الجراثيم واستطالة الأنبوب الجرثومي للفطريات الممرضة للنبات (Chandran *et al.*, 2021).

د. المقاومة الجهازية المستحثة

استخدام الكائنات الدقيقة للسيطرة على الأمراض، شكل من أشكال المكافحة البيولوجية، ونهجا صديقا للبيئة. حيث يمكن أن يؤدي تفاعل بعض البكتيريا الجذرية مع جذور النبات إلى مقاومة النبات لبعض البكتيريا المسببة للأمراض والفطريات والفيروسات. هذه الظاهرة تسمى المقاومة الجهازية المستحثة (Ahemad and Kibret, 2014).

هـ. تحمل الإجهاد

تساهم عدة سلالات بكتيرية في تحمل الإجهاد في النباتات من خلال مجموعة متنوعة من الآليات حيث تعمل عدة أجناس PGPRs مثل: *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Pantoea*، *Burkholderia* و*Rhizobium* على تعزيز تحمل النباتات ضد الجفاف والملوحة والإجهاد الحراري وإصابات التبريد (Chandran *et al.*, 2021). ووجد أن بكتيريا *Bacillus subtilis* تتميز بقدرتها على إنتاج أبواغ يمكنها أن تعيش في التربة لفترات طويلة من الزمن في البيئات المجهدة. تساهم في القضاء على العوامل الممرضة بطرق مختلفة وزيادة تحمل الإجهاد البيئي وتحفيز المقاومة الجهازية ضد العوامل الحيوية (Hashem *et al.*, 2019).

و. التوازن الأيوني

تساعد PGPRs في الحفاظ على التوازن الأيوني من خلال مجموعة متنوعة من الآليات مثل تكوين أغلفة حول الجذور والتي لا تغير بنية الجذر فحسب، بل تساعد أيضا في محاصرة الكاتيونات، وتنظيم التعبير عن ناقلات الأيونات، وتعزيز التبادل الكلي والمغذيات الدقيقة للتخفيف من التأثير الضار للتدفق مرتفع لأيونات الصوديوم والكلوريد (Ilangumaran *et al.*, 2017).

3. الفطريات المعززة لنمو النبات

1.3. تعريف الفطريات المعززة لنمو النبات

الفطريات الجذرية أو الفطريات التكافلية أو الميكوريزا هي عبارة عن اتّحاد تكافلي بين فطر ونبات، حيث يشار إلى مجموعة فطريات الجذور التي تستعمر جذور النباتات وتعزز نمو النبات باسم PGPFs، وهي مجموعة غير متجانسة من الفطريات الغير مسببة للأمراض معظمها رمية (تتغذى على حساب المواد العضوية المتحللة) ولكنها في بعض الحالات نخرية (تتغذى على حساب الجثث التي تم تحللها) أو ذات تغذية حيوية (تتغذى على المواد العضوية الحية: biotrophic) (Hossain *et al.*, 2017). يمكن فصلها إلى فطريات داخلية، حيث تعيش داخل الجذور وتتبادل المواد مع النباتات مباشرة، وفطريات هوائية، حيث تعيش بحرية على الجذر، والفطريات الحرة، التي تعيش خارج خلايا النبات، أي في الريزوسفير (Malgioglio *et al*,. 2022)

تعد الفطريات الجذرية الشـــجيرية (AMF) أهم الأنواع التكافلية، حيث تخترق الخلايا القشـــرية للجذر مشـكلة شـبكة متفرعة للغاية تشـبه الأشـجار من الجذور والخيوط. تتيح هذه الشـبكة للنباتات تمديد نظامها الجذري مما يسمح بامتصاص المغذيات والمياه وجعلها أكثر تحملاً لإجهاد الجفاف. (Albrech, 2019).

فالعلاقة التكافلية بين الفطريات الجذرية الشجرية (AMF) وجذور النباتات العليا منتشرة في الطبيعة، ثبت أن AMF يؤسس ارتباطًا تكافليًا مع الجذور ما يقرب من 90٪ من جميع النباتات العليا (Habibzadeh and Abedi, 2014)

فطريات الميكوريزا هي فطريات محدودة الموطن فهي توجد فقط حول جذور عوائلها وتعيش معها في حالة تعاون وتأخذ الفطريات احتياجاتها الغذائية المعقدة من الأحماض الأمينية والفيتامينات مثل فيتامين (B) من النبات العائل وبسبب تلك الاحتياجات الغذائية المعقدة فإنه لم تنجح زراعة بعضها على بيئات صناعية حتى الآن (قرح ومسعي، 2021).

تعتبر الفطريات من أجناس *Aspergillus, Trichoderma, Penicillium, Piriformospora*, من السلالات الأكثر استخداما (Drobek *et al.*, 2019). حيث تشكل *Trichoderma* ارتباطات تكافلية وثيقة مع النباتات ومن المعروف أنها تطلق نواتج أيضية نشطة في الجذور، مما يعزز تفرع الجذور وامتصاص المغذيات. نظرا لقدرتها على تطفل الفطريات الأخرى، غالبًا ما تستخدم كعوامل للمكافحة الحيوية للسيطرة على الأمراض الفطرية للنباتات (Albrech, 2019).

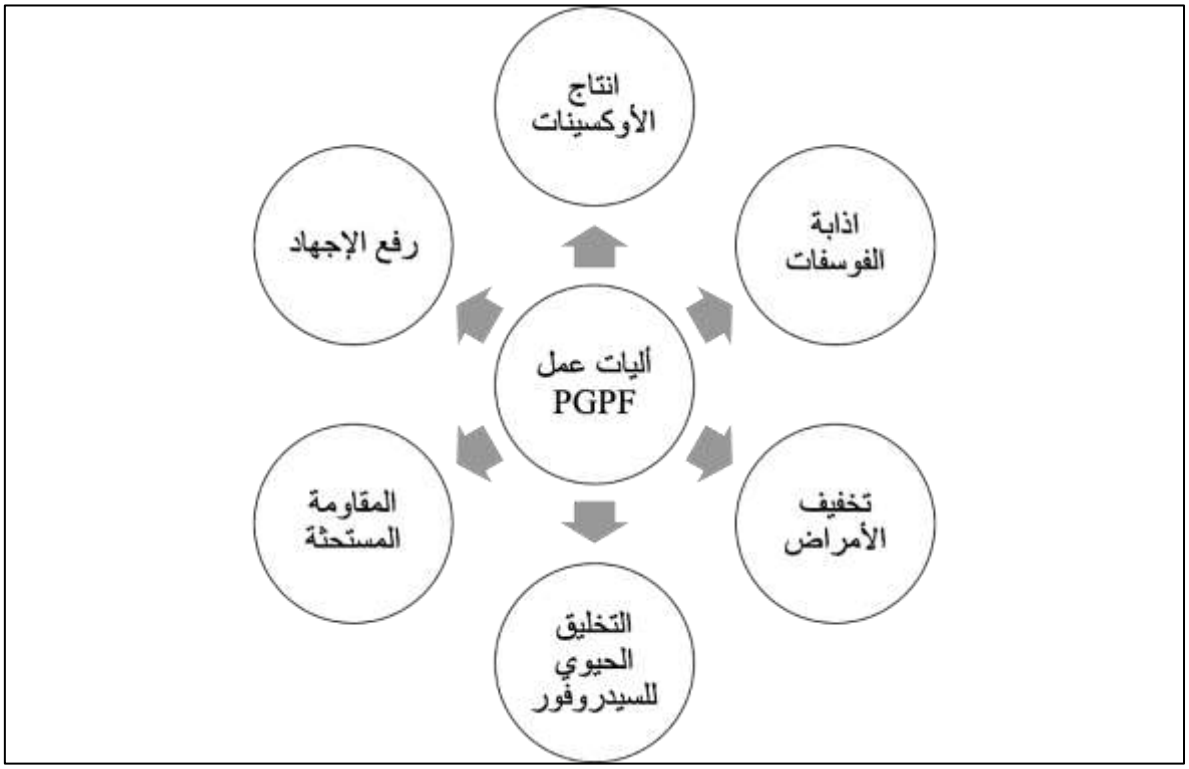
2.3. آليات عمل الفطريات المعززة لنمو النبات

يمكن أن تكون الآليات التي تعدل بها PGPFs نمو النبات وتطوره مباشرة وغير مباشرة. الآليات المباشرة هي تلك التي تنطوي على إنتاج مواد مثل مضادات الأكسدة والإنزيمات والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) وتلك التي يتم فيها تصنيع العناصر الغذائية المتاحة بسهولة بواسطة الفطريات وتسهيل نمو النبات. تشمل الآليات غير المباشرة قمع مسببات الأمراض وتخفيف الإجهاد (الماء والملح ودرجات الحرارة المرتفعة والمعادن) التي تصيب النباتات. عادة يمكن أن تؤثر PGPFs على نمو النبات وتطوره باستخدام واحدة أو أكثر من هذه الآليات (Hossain and Sultana, 2020).

ويمكن استحداث وتنشيط المقاومة الجهازية المستحثة بواسطة PGPFs في النباتات وذلك من خلال الآليات:

- تعديل جدران الخلايا عن طريق تراكم اللجنين، الكالوز، الفينولات، وما إلى ذلك، ما يمنع نمو وانتشار مسببات الأمراض؛
- تنشيط التراكم المعزز للإنزيمات المتعلقة بالدفاع في النباتات (Phenylalanine ammonia lyase, Peroxidases) المرتبطة مباشرة بآليات الحماية ضد مسببات الأمراض النباتية؛

(Naziya *et al.*, 2019).



الشكل (08): آليات تعزيز (PGPF) لنمو النبات بشكل مباشر (El-Maraghy, 2021).

وقد أظهرت العديد من الدراسات الفيزيولوجية البيئية أن تكافل AMF هو عنصر أساسي في مساعدة النباتات على التعامل مع الإجهاد المائي وفي زيادة مقاومة الجفاف، كما هو موضح في عدد من النباتات المضيفة والأنواع الفطرية، حيث وجد أن:

- استعمار AMF يزيد من تركيز الكلوروفيل في النباتات المضيفة مقارنة مع غيرها؛
- التكافل الفطري يزيد تحمل النبات المضيف لعجز المياه (Habibzadeh and Abedi, 2014)؛
- تحمي الجذور من العوامل الممرضة في التربة؛
- تحسن من البنية الفيزيائية والكيميائية للتربة، وتشجع على تشكيل العقد الآزوتية عند النباتات البقولية ومن ثم وبشكل غير مباشر تثبت الآزوت الجوي؛
- تزيد من مقاومة النباتات المضيفة للظروف البيئية القاسية كالجفاف والملوحة العالية والترب الملوثة بالعناصر الثقيلة؛
- دور فعال المكافحة الحيوية وخاصة ضد الديدان الخيطية *Nematoda* في التربة؛
- الثمار الفطرية التابعة للفطريات الراقية التي تشجع العلاقة الميكوريزية على تشكلها، تعد ذات أهمية اقتصادية للإنسان وخصوصا عندما تكون صالحة للاستهلاك الغذائي أو الدوائي؛
- تلعب الفطريات دورا هاما في حياة بعض النباتات خاصة أشجار الغابات التي تعتمد على هذه الفطريات في التغذية حيث لوحظ ضعف تلك الأشجار النامية عند غياب هذه الفطريات وهذا يشجع البعض على تلقيح التربة بالجذور الفطرية (قرح ومسعي، 2021).

بشكل عام تتغير الوظائف المختلفة في وجود الفطريات، بغض النظر عن نوع الفطريات: امتصاص الماء والعناصر المعدنية، والأنشطة الهرمونية، وتجميع التربة، والحماية من الكائنات المسببة للأمراض.

III. طرق وتطبيقات المحفزات الميكروبية على النبات

هناك نهجان متكاملان ممكنان لاستغلال المحفزات الحيوية الميكروبية:

1. تحفيز نشاط الكائنات الحية الدقيقة المفيدة في الموقع

وهو النهج المفضل في سياق الزراعة الإيكولوجية، يستخدم مجموعة من الأساليب والوسائل التي تساهم في الحفاظ على تنوع وزيادة المجتمعات الميكروبية، والحفاظ على محتوى التربة من المادة العضوية. ويتضمن ذلك: إطالة الدورات، اختيار تقنيات الحرث الأقل ضررا من الحرث العميق، زرع النباتات مثل البقوليات التي تشكل ارتباطا تكافليا مع الفطريات الجذرية، وإضافة المواد العضوية، وما إلى ذلك ... (Alabouvette and Cordier, 2018).

2. إدخال الكائنات الحية الدقيقة المفيدة

تعد إضـــافة الكائنات الحية الدقيقة المختارة إحدى الطرق لزيادة الخصـــوبة البيولوجية للتربة، على مدى الســنوات العشــر الماضــية قامت صــناعة المحفزات الحيوية وتســويق عدد كبير من المنتجات القائمة على الكائنات الحية الدقيقة المفيدة البكتيريا أو الفطريات، سواء كانت حرة أم تكافلية، تعتمد فعاليتها على العديد من العوامل التي تلعب من بينها الزراعة، نوع التربة، جودة المنتج، وطريقة التطبيق دورا رئيسيا.

ويمكن إنتاج البكتيريا والفطريات عن طريق التخمير في وسط سائل أو في وسط صلب، بشرط أن تكون ظروف الزراعة مثالية لضـــمان كثافة عالية من هذه المكروبات وحالة فســـيولوجية تســـمح ببقائها على قيد الحياة. وكذلك الحال بالنسبة لباقي العمليات أثناء مراحل التخزين والنقل والتطبيق.

في غالبية المنتجات المتاحة، تتم تشـكيل المكروبات باسـتخدام مالتوديكسـترين (maltodextrine) الذي يضــمن الحفاظ عليها وإعادة تنشــيطها بعد وضــعها على التربة. لكن طريقة التطبيق لم يتم تحســينها حقا ففي الواقع يتم تطبيق معظم المحفزات الحيوية بشــكل موحد على كامل ســطح التربة، في حين أن نشــاطها المفيد يظهر في منطقة جذور النباتات فقط، ومن المرجح أن يؤدي تركيز تطبيقها على محور الشـــتلات أو عن طـريـق طـلاء الـبـذور إلـى تـحســـيـن كـفـاءتـهـا مـع تـقـلـيـل الـجـرعـات الـمســـتـغـلـة (Alabouvette and Cordier, 2018).

1.2. تطبيقات البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات

استعمال الأحياء المجهرية في المجالات التطبيقية الأحيائية يعد واحدا من أبرز الإنجازات في مجالات التقنيات الحياتية المختلفة. وفعلا حققت الكثير من النجاحات لاستعمال بعض العزلات البكتيرية كمخصبات حيوية من جانب وتأثيرها المثبط في كبح نمو الفطريات الممرضة على النبات من جانب آخر (الرجب، 2005).

تقنية التسميد الحيوي باستعمال الأحياء المجهرية التي تعيش بالتربة مثل: *Pseudomonas*، *Rhizobium*، *Asospirillum*، *Azotobacter*، *Bacillus*، تعد من أهم الطرائق الفعالة والناجحة في زراعة المحاصيل لكون هذه الكائنات تحفز نمو النباتات وتنظم وتزيد من جاهزية العناصر المغذية لجذور النباتات وتزيد من خصوبة التربة (Frietas *et al.*, 2007).

هناك تزايد واضح في إجراء التجارب الحيوية التي يتم فيها معاملة البذور بالمخصبات الحيوية والتي أدت إلى تحسن الصفات النوعية والكمية للنباتات الحقلية المختلفة (Hossain, 1987). وقدمت بعض الدراسات تطبيقات مختلفة لبكتيريا PGPRs على النبات وتأثيرها على الصحة النباتية، والتي يمكن تلخيصها فيما يلي:

- استخدام PGPRs كعوامل مكافحة حيوية وكأسمدة حيوية يمكن استخدامها في تحسين الزراعة؛

- معاملة بذور البندورة بسلالات من PGPRs يحسن بشكل معنوي من نمو النبات ويحميها من الإصابة بفيروس موزاييك الخيار؛
- تطبيق سلالات *Pseudomonas fluorescent* على البذور والتربة والمجموع الخضري أو تغطيس الشتول أدى إلى تخفيض الإصابة بفيروس الذبول التبقعي في البندورة بشكل معنوي مصحوبا ذلك بزيادة في تحسين نمو النبات في الحقل والبيت الزجاجي؛
- تطبيق *Pseudomonas aeruginosa* يمكن أن يزيد من مقاومة فول الصويا لفيروس تقزم فول الصويا ويمكن أن يحسن ويزيد من نمو وغلة النبات لذلك يمكن الاعتماد عليه كواحد من الإجراءات للسيطرة على فيروس تقزم فول الصويا على نبات فول الصويا؛
- استعمار جذور التبغ ببكتيريا *Pseudomonas chlororaphis 06* يحفز نمو النبات ويحفز المقاومة ضد فيروس موزاييك الخيار، هذا يشير إلى أن بكتيريا الجذور تحفز المقاومة ضد الأمراض الفيروسية بدون وجود أي تأثير سلبي على النمو؛
- تم تقييم مستحضرات تجارية لسلالات من البكتيريا المحسنة لنمو النبات *Bacillus subtilis GB03* و*B.amyloliquefaciens IN937a* لمعرفة كفاءتها في تنشيط نمو النبات وتحفيز المقاومة الجهازية ضد الإصابة بفيروس موزاييك الخيار وبكتيريا *Pseudomonas syringae pv. tomato DC3000* في عشبة *Arabidopsis thaliana* وأبدت هذه المستحضرات الحيوية تحسن في هرمونات النمو لدى نبات *Arabidopsis* (قواس وآخرون، 2017).

بشكل عام تطبق بكتيريا PGPRs على النبات من خلال مستحضرات (لقاحات) متنوعة (الجدول 02) قد توضع في التربة كسماد حيوي أو عن طريق رشها على الجذور أو طليها على البذور والشتلات.

2.2. تطبيقات الفطريات المعززة لنمو النبات

كما هو الحال بالنسبة للبكتيريا، يتم أيضا إنتاج لقاحات من الفطر (الجدول 02) بشكل صلب أو سائل، وتطبيقها على النبات، فمثلا يتم إنتاج لقاح سائل من فطريات الميكوريز من طرف شركة Premier Tech يحتوي على 2.000.000 بوغة من *Glomus interaradices* (يسمى حاليا *Glomus irregulare*) في اللتر، يتم تطبيقه حسب توصيات الشركة الصانعة عن طريق الرش على خطوط البذر قبل تغطيتها (0.95 لتر من اللقاح/الهكتار) وبذلك يحتوي كل خط على 50 بوغة من الفطر، في بعض المواقع يتم خلط اللقاح وتطبيقه في نفس الوقت مع مبيد الفطريات الموافق (Trépanier and Rioux, 2012).

من التوصيات الأخرى لشركة Premier Tech حول تطبيق اللقاح على النبات نذكر الطرق التالية والتي نختلف حسب طبيعة اللقاح:

- وضع السائل في خط البذر؛

- تطبيق حبيبي (صلب) داخل خط البذر؛
- مزج مع البذور؛
- معالجة البذور بالرش؛
- الخلط في ركيزة الزرع؛
- عند نقل الزرع في الحقل؛
- معالجة الشتلات.

كما أنه هناك مســـتحضـــرات يتم فيها الدمج بين البكتيريا والفطريات المعززة للنمو لإحداث تأثير أمثل لنمو النبات.

الجدول (02): بعض المنتجات لمستحضرات تجارية للمحفزات الحيوية الميكروبية (Alabouvette and Cordier, 2018).

البكتيريا	الفطريات	منتج	الممون
	endomycorhizogènes	Resid MG	Actura
Bradyrhizobium japonicum		Nitrogen	Agrifutur
Bacillus amyloliquefaciens		Baci Start M4	Agrostar
Bradyrhizobium japonicum		Rhizoflo soja	BASF
Pseudomonas fluorescens *Bacillus methylotrophicus*	*Trichoderma harzianum* *Trichoderma harzianum*	Cérès Carpoes Heles	Biovitis
Pseudomonas fulva *Pseudomonas fluorescens*		Bacteriolis Rhizobacteriolis	Cybele Agro Care
Bacillus amyloliquefaciens		Agrosil turf Argin	Compo expert
Bradyrhizobium japonicum		Rizoliq Top	De Sangosse
Pseudomonas fluorescens *Pseudomonas putida*	*Coniothyrium minitans* *Trichoderma asperellum*	Myco'sol	FCA
Bacillus amyloliquefaciens		Rhiz	Fertemis Fertevie
Pseudomonas putida		Ovalis rhizofertil	Elephant vert
Bacillus mucilaginosus		Free PK	Gaiago SAS

	endomycorhizogène	Mycor	If Tech
	endomycorhizogènes	Symbivit	Inoculum Plus
Bactérie de la rhizosphère	*endomycorhizogène Trichoderma atroviride*	CONDOR	Italpollina
Bactérie de la rhizosphère	*endomycorhizogène Trichoderma atroviride Glomus mosseae*	Horto	Italpollina TEAM
Bactérie de la rhizosphère	*endomycorhizogène Trichoderma atroviride Glomus mosseae*	Enrobage	Italpollina TEAM
Bactérie de la rhizosphère	*Trichoderma atroviride Glomus spp.*	TIFI	Italpollina
Bacillus amyloliquefaciens sp.		Care Rhizocell	Lallemant Plant
	endomycorhizogène	Root grow	Plantworks
	endomycorhizogène	Myke Pro	Premier Tech GHA

يجدر الذكر أن هذه المستحضرات الميكروبية قبل تداولها يتم التأكد من صلاحيتها وأمنها للصحة والصحة النباتية (SPS) هذه الأخيرة تعرف بأنها مصطلح عام يستخدم لوصف مجموعة متنوعة من اللوائح المتعلقة بالتجارة في المنتجات الزراعية لحماية الإنسان، صحة الحيوان والنبات.

وتعرف منظمة التجارة العالمية SPS بأنها أي تدابير يتم تطبيقها على:

- حماية حياة الإنسان أو الحيوان من المخاطر الناشئة عن المواد المضافة والملوثات،
- السموم أو الكائنات الحية المسببة للأمراض في طعامهم؛
- حماية الحياة البشرية من الأمراض التي تنقلها النباتات أو الحيوانات؛
- حماية الحياة الحيوانية أو النباتية من الآفات أو الأمراض أو المسببة للأمراض الكائنات الحية؛
- منع أو الحد من الأضرار الأخرى التي تلحق بدولة من الدخول، إنشاء أو انتشار الآفات (منظمة التجارة العالمية، 1995).

تساعد تدابير الصحة والصحة النباتية على ضمان التجارة الآمنة للسلع الزراعية.

IV. الاستخدام المستدام للميكروبات المحفزة في التربة

ساهم الاستخدام المعزز للتنوع البيولوجي للتربة بشكل إيجابي في تحسين وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، فالتربة السليمة أساسية للزراعة المستدامة، حيث تعود كمية المحاصيل وجودتها التغذوية إلى حد كبير للتربة التي تنمو فيها، وذلك من خلال :

- تدعم الكائنات الحية الموجودة بالتربة العديد من وظائف النظم الإيكولوجية الأساسية لاستدامة إنتاج الأغذية والتغذية وتعزيز الإنتاجية الزراعية والربحية الاقتصادية؛
- التنوع البيولوجي للتربة له أثر مباشر كبير على صحة الإنسان من خلال تعزيز المحتوى التغذوي لغذاء، والحماية من الأمراض المنقولة عن طريق الأغذية، وتشكيل الاستجابة المناعية؛
- تكون كائنات التربة مسؤولة عن التحلل ويؤدي نشاطها إلى امتصاص التربة لغازات الدفيئة بما في ذلك عزل كميات كبيرة من الكربون؛
- يمكن أن يؤدي انخفاض التنوع تحت سطح الأرض إلى انخفاض التنوع فوق سطح الأرض، فالمجتمعات التي تعيش فوق سطح الأرض وتحت سطح الأرض مرتبطة ارتباطا وثيقا؛
- تؤدي الكائنات الحية الموجودة في التربة دورا مهما في تنظيم الآفات ومسببات الأمراض التي تسبب خسائر كبيرة للمحاصيل. كما يمكن أن تتيح للنباتات إمكانية مقاومة الأمراض؛
- زيادة قدرة النظم الإيكولوجية الزراعية على الصمود أمام الاضطرابات المناخية، مما يمكن أن يساعد في تخفيف أثر تغير المناخ، وتحسين بنية التربة، والاحتفاظ بالمياه والحد من مخاطر تآكل التربة (الأمم المتحدة، 2020).

خاتمة

خاتمة

تطرقنا في هذه الدراسة إلى المحفزات الحيوية الميكروبية كاستراتيجية للصحة النباتية في سياق الإنتاج البيئي المستدام. ويهدف هذا البحث إلى تغطية جوانب عديدة للموضوع ضمن فصلين. حيث قمنا بإعطاء شرح حول الإنتاج الزراعي في ظل التغيرات المناخية وبالتالي الإجهادات المطبقة على النبات وآليات مقامتها. ثم اتجهنا لتوضيح بعض البدائل، ففي الآونة الأخيرة كان هناك عودة للاهتمام بالبيئة من خلال ممارسات زراعية مستدامة وعضوية وصديقة للبيئة، مثلا السماد الحيوي الذي يحتوي على العديد من الأحياء المجهرية المفيدة للنبات -المحفزات الحيوية الميكروبية- والتي تعد من مكونات التربة الحيوية وتساهم بشكل كبير في النشاط الحيوي لنظام التربة فهي تحفز نمو النبات من خلال تجهيز وتوفير المغذيات وانتاج منظمات النمو بالإضافة إلى حماية النبات وتعزيز قدرته الدفاعية ضد المسببات المرضية وكذلك تحسين خواص التربة الفيزيائية والكيميائية مما يساهم وبشكل كبير في الحفاظ على البيئة.

ومما توصلنا إليه في بحثنا هذا أن الممارسات الزراعية الحالية والمكثفة خاصة في ظل استخدام أسمدة مصنعة كيميائيا يسبب بتعاظم المشاكل البيئية فضلا عن الكلفة الاقتصادية العالية لتصنيعها وهو اتجاه مباشر لتدهور البيئة وتراجع الإنتاج. لذلك وجب تظافر الجهود على كل المستويات من أجل نشر الوعي والتأكيد على الاستخدام العقلاني والمتوازن واللجوء إلى البدائل البيئية خاصة الميكروبات المحفزة لنمو النباتات والتي إلى جانب سهولة استغلالها فهي غير مكلفة اقتصاديا كونها متوفرة طبيعيا في المحيط الحيوي للتربة. وبها يتم تجنب الأضرار البيئية على المدى البعيد، وتكييف الممارسات الزراعية والتكنولوجيات تكييفا دقيقا يسمح بالقضاء على الآفات التي تمس جميع مكونات النظام البيئي.

الملخصات

الملخص

تناولنا في هذا البحث دراسة لأحد المواضيع الراهنة التي تشغل الباحثين من أجل تحديث القطاع الزراعي وتحقيق تنمية مستدامة ألا وهي المحفزات الحيوية الميكروبية كاستراتيجية للصحة النباتية في سياق الإنتاج البيئي المستدام، فنظرا للتكلفة العالية للأسمدة والمحفزات الكيميائية وكذا تأثيرها السلبي على البيئة ونقص مصادر الغذاء لنمو النبات ومقاومته الجهازية كان لابد من البحث عن بدائل حيوية تعمل على تحفيز النمو وتقوية الآليات الدفاعية ضد الأمراض دون التأثير على البيئة وقد حاولنا قدر المستطاع الإلمام بجميع جوانب الموضوع. تعرضنا في الفصل الأول إلى دراسة مختصرة حول الإنتاج البيئي المستدام: علاقته بالتغيرات المناخية، التنمية المستدامة وطرق تحقيقها. أما الفصل الثاني، تطرقنا إلى المحفزات الحيوية الميكروبية: تعريفها، أنواعها، وآليات تأثيرها على النبات. ويتضح أن استخدام المحفزات الحيوية الميكروبية سواء كانت بيكتيريا أو فطريات يؤدي إلى آثار إيجابية في زيادة انتاجية المحاصيل الزراعية بالإضافة الى قدرتها على تحسين خصائص التربة والتقليل من الآفات المتعلقة بها وهو ما يؤدي الى التقليل من خطر التلوث البيئي. كما أن فهم المزيد حول هذه الميكروبات يمهد الطريق لأنواع جديدة من الأسمدة أو المحفزات أو المبيدات الحيوية.

الكلمات المفتاحية: الإنتاج النباتي المستدام، التنمية المستدامة، الصحة النباتية، المحفزات الحيوية، البكتيريا المعززة للنمو، الفطريات المعززة للنمو.

Abstract

In this paper, we dealt with a study of one of the current topics that occupy researchers in order to modernize the agricultural sector and achieve sustainable development. Which is microbial biostimulants as a strategy for plant health in the context of sustainable environmental production. Given the high cost of fertilizers and chemical stimuli, as well as their negative impact on the environment and the lack of food sources for plant growth. And its systemic resistance, it was necessary to search for biological alternatives that stimulate growth and strengthen defense mechanisms against diseases without affecting the environment, and we tried as much as possible to know all aspects of the subject. In the first chapter, we presented a brief study on sustainable environmental production: its relationship to climatic changes; sustainable development; ways to achieve it. As for the second chapter, we dealt with microbial biostimulants: their definition, types, and mechanisms of their effect on plants. And it is clear that the use of microbial biostimulants, whether bacteria or fungi, leads to positive effects in increasing the productivity of agricultural crops in addition to its ability to improve soil properties and reduce related pests, which leads to a reduction in the risk of environmental pollution. Understanding more about these microbes also paves the way for new types of fertilizers, catalysts or biocides

Keywords: Sustainable plant production, sustainable development, Plant health, biostimulants, PGPR, PGPF.

Résumé

Dans ce mémoire, nous avons traité une étude de l'un des sujets actuels qui occupent les chercheurs pour moderniser le secteur agricole et parvenir à un développement durable. à savoir les biostimulants microbiens comme stratégie pour la santé des plantes dans le cadre d'une production environnementale durable. étant donné le coût élevé des engrais et des stimuli chimiques, ainsi que leur impact négatif sur l'environnement et le manque de sources de nourriture pour la croissance des plantes et sa résistance systémique. Il était nécessaire de rechercher des alternatives biologiques qui stimulent la croissance et renforcent les mécanismes de défense contre les maladies sans affecter l'environnement. Nous avons essayé autant que possible de connaître tous les aspects du sujet. Dans le premier chapitre, nous avons présenté une brève étude sur la production environnementale durable: sa relation avec les changements climatiques ; le développement durable et les moyens d'y parvenir. Quant au deuxième chapitre, nous avons traité des biostimulants microbiens : leur définition, leurs types et les mécanismes de leur effet sur les plantes. Et il est clair que l'utilisation de biostimulants microbiens, qu'il s'agisse de bactéries ou de champignons, entraîne des effets positifs dans l'augmentation de la productivité des cultures agricoles en plus de sa capacité à améliorer les propriétés du sol et à réduire les ravageurs associés, ce qui entraîne une réduction du risque de pollution de l'environnement. Mieux comprendre ces microbes ouvre également la voie à de nouveaux types d'engrais, de catalyseurs ou de biocides.

Mots clés: Production végétale, développement durable, Santé végétale, biostimulants, PGPR, PGPF.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

المراجع العربية

- **أبو جاد الله** ج. م. 2010. فسيولوجيا وبيولوجيا النبات الجزيئية أثناء الإجهاد. قسم النبات، كلية العلوم، جامعة دمياط، مصر. 229 ص.
- **الأمم المتحدة.** 2020. استعراض المبادرة الدولية لحفظ التنوع البيولوجي للتربة واستخدامه المستدام وخطة العمل المحدثة. مونتريال، كندا. 31 ص.
- **الرجب** أ. ط. ح. 2005 . عزل *Pseudomonas aureofaiciens Pseudomonas chlororaphis* & بكتيريا من الترب الرسوبية في محافظة الانبار وتقييم كفاءة *Pseudomonas aureofaiciens* مخصبا ومبيدا حيويا، رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الانبار.
- **بن جامع** ع. دس. المحتوى الكيميائي لأوراق وبذور أصناف من القمح الصلب النامية تحت ظروف الإجهاد المائي و (*Triticum durum Desf*) نقعا ورشا (AIA) المعاملة بالأوكسين. أطروحة ماجيستير. قسم البيولوجيا وعلم البيئة، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة منتوري، قسنطينة، الجزائر. 105 ص.
- **بوحبيلة** إ. 2012. دور تكنولوجيات وطرق الإنتاج المستدام في تحقيق التنمية الصناعية المستدامة دراسة حالة الشركة الإفريقية للزجاج AFRICAVER. أطروحة ماجستير. مدرسة الدكتوراه: إدارة الأعمال والتنمية المستدامة، كلية العلوم الاقتصادية والعلوم التجارية وعلوم التسيير، جامعة فرحات عباس سطيف 1، الجزائر. 142 ص.
- **بورزق** ن. 2010. مركز نوار للبحوث والدراسات.
- **بوزيان** ا.، وشمة ن. 2014. التنمية المستدامة: محددات وتحديات. مجلة الإستراتيجية والتنمية. 4(6): 296-311.
- **الجندي** م. ع. 2001. التشريعات البيئية. الناشر: كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، جامعة القاهرة. مجلة كلية الاقتصاد والعلوم السياسية. 10: 10.
- **حبة** ا. م.، خليل م. ع.، الفيلي س. س. وعيدان ر. م. 2016. تأثير عزلات بكتيرية محلية من *Pseudomonas spp* في النمو وامتصاص العناصر الغذائية لنباتي اللوبيا *Vinga sinesis* والفجل *Rhaphanus stativus*. مجلة إبن الهيثم للعلوم الصرفة والتطبيقية. 29 (2): 331-338.
- **الحجار** ص. م.، وصقر د. ع. 2006. نظام الادارة البيئية والتكنولوجية: منهجياته: تقنياته: استدامته.الطبعة الأولى، دار الفكر العربي، القاهرة، مصر. 366 ص.
- **حجام** ا. وطري س. 2019. التنمية المستدامة في الجزائر: قراءة تحليلية في المفهوم والمعوقات. مجلة أبحاث ودراسات التنمية. 06(01): 121-140.

- **الحمادي** أ. ص. م. 2014. التعرف على تأثير نمو نباتات مختلفة على المجتمع الميكروبى فى كل من التربة والمحيط الجذرى (الرايزوسفير). Assiut J. Agric. Sci. 5(45): 10-90.
- **داود** ف. س. 2017. دور استراتيجية الإنتاجية الخضراء في تحقيق الاستدامة للأداء البيئي والاجتماعي (دراسة ميدانية في شركة الحفر العراقية). مجلة العلوم الاقتصادية والادارية والقانونية. 01 (02): 76-93.
- **دوناتو** ر. 2003. الاقتصاد البيئي والتنمية المستدامة، المركز الوطني للسياسات الزراعية، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، سوريا. 219 ص.
- **زغيب** م. وقمري ز. 2009. البيئة، الزراعة المستدامة والمنتجات المعدلة وراثيا، مجلة الأبحاث الاقتصادية والادارية، بسكرة، الجزائر. 05: 130-155.
- **صالحي** ن. وبن بردي ح. 2019. استنزاف الانتاج الزراعي للموارد الطبيعية بين زيادة البصمة البيئية وأهمية تحقيق التنمية المستدامة في الدول العربية. الملتقى الدولي السابع حول اقتصاديات الإنتاج الزراعي في ظل خصوصيات المناطق الزراعية في الجزائر والدول العربية، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير، جامعة الشهيد حمه لخضر، الوادي، الجزائر. 266-279 ص.
- **طوشان** ح. وسلطان ف. 1994. الاجهاد الملحي وأثره في النمو، التطور وتكون العقد الجذرية في صنفين من أصناف الحمص. مجلة بحوث جامعة حلب. سوريا. 202 – 989.
- **عبد البديع** م. 2003. اقتصاد حماية البيئة. ط1. دار الأمين للنشر والتوزيع، القاهرة، جمهورية مصر العربية. 294 ص.
- **عمراني** ن. 2006. النمو الخضري والتكاثري المحتوى الكيميائي للفول المعامل لمنظم النمو الكينيتين والأمينوغرين النامي تحت الإجهاد الملحي. رسالة ماجيستير. كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة قسنطينة 1 منتوري، الجزائر.
- **عواد** ح. ع. 2009. وراثة وتربية المحاصيل للإجهاد البيئي (الجفاف الحرارة العالية التلوث البيئي)، الجزء الأول. المكتبة المصرية للطباعة والنشر والتوزيع، الإسكندرية، جمهورية مصر العربية. ص 472.
- **عولمي** ع. 2015. تحليل مقاومة القمح الصلب (*Triticum turgidum var durum L*) للإجهادات اللاحيوية في آخر أطوار النمو. أطروحة دكتوراه، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة فرحات عباس سطيف 1، سطيف، الجزائر. 159 ص.
- **فتيتي** ن. 2003. دراسة كفاءة استعمال الماء عند بعض أصناف القمح الصلب. أطروحة ماجستير. كلية علوم الطبيعية والحياة، جامعة منتوري، قسنطينة، الجزائر. 135 ص.
- **الفهداوي** و. 2019. المحاضرة الرابعة، محاضرات الإجهاد البيئي. كلية الزراعة، جامعة الأنبار، بغداد، العراق. 55 ص.

- **قرح** ل. ومسعي بلقاسم ك. 2021. أثر فطريات معززة النمو على نبتة الفول *Vicia faba L.*. مذكرة ماستر. قسم البيولوجيا، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة الشهيد حمة لخضر، الوادي، الجزائر. 66 ص.
- **قندوز** ع. 2014. تقييم علاقة بعض المؤشرات الضوئية وسلوك القمح الصلب (*Triticum durum Desf*) تحت تأثير أنظمة سقي مختلفة. أطروحة دكتوراه علوم. قسم البيولوجيا والبيئة النباتية، كلية علوم الطبيعة والحياة، جامعة فرحات عباس سطيف 1، الجزائر. 203 ص.
- **قواس** ن ح.، احمد ا.، حمودي ع واسماعيل ع. 2017. تقييم أربع سلالات من البكتيريا المحسنة لنمو النباتات Plant Growth Promoting Rhizobacter (PGPR) في تحسين نمو نباتات البندورة تحت ظروف الإصابة بفيروس موزاييك الخيار في الزراعة المحمية. المجلة الأردنية في العلوم الزراعية. 13(3): 905-917.
- **محمد اسماعيل** م. 2015. دور الاستثمارات في تحقيق التنمية المستدامة – سورية أنموذجا –. أطروحة دكتوراه. قسم الاقتصاد، كلية الاقتصاد، جامعة دمشق، سوريا. 183 ص.
- **مسعود** إ. 2019. أساسيات المحاصيل الحقلية وانتاجها: تأثير العوامل البيئية في نمو وانتاجية المحاصيل الحقلية وتوزعها (المحاضرة الثانية). كلية الهندسة الزراعية، جامعة حماة، سوريا. 10 ص.
- **منظمة التجارة العالمية**، 1995
- **ميسر** م. ع. 2016. محاضرات الاجهاد البيئي. جامعة الأنبار، العراق. 34 ص.
- **هاملي** ص. 2003. دراسة استجابة باذرات القمح الصلب (Desf *Triticum durum*) للإجهاد المائي والعلاقة مع تصرف النبات في الميدان. أطروحة ماجستير. كلية علوم الطبيعة والحياة. 54 ص.

المراجع الأجنبية

- **Ahemad** M. and Kibret M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. Journal of King saud University-science. 26(1) :1-20.
- **Alabouvette** C. and Cordier C. 2018. Fertilité biologique des sols : des microorganismes utiles à la croissance des plantes. Innovationsn Agronomiques. 69 pp.
- **Albrecht** U. 2019. Plant Biostimulants : Definition and Overview of Categories and Effects. Department of Horticultural Sciences, University of Florida. USA. pp. 04.

- **Amekawa** Y. 2010. Towards sustainable agriculture in the developing world : Theoretical perspectives and empirical insights. PhD Thesis, University of Iowa State, USA. pp. 245.
- **AVISE**. 2021. L'AGRICULTURE DURABLE. www.avise.org. pp. 64.
- **Azzouz** F. 2009. Les Réponses morpho physiologiques et biochimiques chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris L.*): soumis à un stress hydrique. Magister thesis. Departement of biology, University of Oran 1 - Ahmed Ben Bella, Algeria. pp. 82.
- **Beauchamp**, C.J., 1993. Mode of action of plant growth-promoting rhizobacteria and their potential use as biological control agent. Phytoprotection.
- **Ben Yahmed** J. 2013. Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre *Poncirus* et au groupe des *mandariniers*. PhD thesis, Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier, France. pp. 210.
- **Benider** C. 2020. Support pédagogique de la matière Environnement et Développement Durable. Département of Biotechnology, University of Ferhat Abbas Sétif 1. Algeria. pp. 43.
- **Bergottini** V. M. 2015. Assessing the role of native plant growth-promoting Rhizobacteria as bio-inoculants for *Yerba Mate* (" *Ilex paraguariensis*"). PhD thesis. Faculty of Sciences, University of Neuchâtel, Switzerland. pp. 126
- **Bhattacharyya** P. N. and Jha D. K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) : emergence in agriculture. World J Microbiol Biotechnol. (28):1327–1350.
- **Bouchaala** M. 2020. Cours Production Végétale et Valorisation des plantes ; Master 2: Biodiversité et Physiologie végétale. University of Ferhat Abbas Sétif 1, Algeria. pp. 06.
- **Brochard** L. D. 2011. Le Développement Durable: enjeux de définition et de mesurabilité. University of Quebec, Kanda. pp. 103
- **CAS**. 2015. BIOSTIMULANTS : Une clé pour produire mieux avec moins d'intrants. Chambre Syndicale des Améliorants Organiques et Supports de Culture. France. pp. 04.

- **Chandran** H., Meena M. and Swapnil P. 2021. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria as a Green Alternative for Sustainable Agriculture. Sustainability. 13(19) :10986.
- **Chen** Y., Clapp C. E. and Magen H. 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances : the role of organo-iron complexes. Soil Sci. Plant Nutr. (50): 1089–1095
- **Drobek** M., Frąc M. and Cybulska J. 2019. Plant biostimulants : Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress, A review. Agronomy. 9(6): 335.
- **Du Jardin** P. 2015. Plant biostimulants : Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae. (196): 3-14.
- **El-Maraghy** S. S., Tohamy A. T. and Hussein K.A., 2021. Plant protection properties of the Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF): Mechanisms and potentiality. Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology). 11(1) :391-415.
- **Frietas** A. D. S., Vieira C. L., Santos C. E. R. S., Stamford N. P. and Lyra, M. C. C. P. 2007.Characterization of rhizobateria isolated from L.Pachyrhyzus erosus cultivated in saline soil of the state of Pernambuco ,Brazil . Braganta , 66:497-504.
- **Giraud** P. N. and Loyer D. 2006. Capital naturel et développement durable en Afrique. A quoi sert d'aider le Sud, Paris, France. pp. 22.
- **Habibzadeh** Y. and Abedi M. 2014. The effects of arbuscular micorrhizal fungi on morphological characteristics and grain yield of Mung bean (Vigna radiata L.) plants under water deficit stress. Iranian Journal of Agriculture Science. 2(1) 9-14.
- **Halpern** M., Bar-Tal A., Ofek M., Minz D., Muller T. and Yermiyahu U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. Advances in agronomy, (130) :141-174.

- **Hashem** A., Tabassum B. and Fathi Abd Allah E. 2019. Bacillus subtilis: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi Journal of Biological Sciences. 26(6): 1291–1297.
- **Hossain** M. 1987. The antagonistic effect of fluorescent *Pseudomonas sp*. on plant growth and the control of soft rot and black leg of potato. Plant Pathogenic Bacteria, Martinis Nijhoff Pub. U.S.A.
- **Hossain** M. M. and Sultana F. 2020. Application and mechanisms of plant growth promoting fungi (PGPF) for phytostimulation. In Organic Agriculture; IntechOpen : London, UK. 1-31.
- **Hossain** M. M., Sultana F. and Islam S. 2017. Plant Growth-Promoting Fungi (PGPF): Phytostimulation and induced systemic resistance. In Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives. (2) : 135–191.
- **Ilangumaran** G. and Smith D.L. 2017. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. Frontiers in Plant Science. (8) :1768.
- **ISO**. 2015. Une introduction à la norme ISO 14001.
- **Kadri** M., Giraud F., Guiraud P., Blake G. and Steiman R. 2001. Biodegradation of anthracene and fluoranthene by fungi isolated from an experimental constructed wetland for wastewater treatment. Water research. 35(17) : 4126-4136.
- **Kelaleche** H. 2018. Polycopie d'écophysiologie des organismes vivants. Partie «Ecophysiologie végétale ». Departement de sciences biologiques, university of Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. Algeria. pp. 21.
- **Khan** W., Rayirath U. P., Subramanian S., Jithesh M. N., Rayorath P., Hodges D. M., Critchley A. T., Craigie J. S., Norrie J. and Prithiviraj B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. Plant Growth Regul. (28): 386–399.
- **Kocira** A., Swieca M., Kocira S., Złotek U. and Jakubczyk A. 2018. Enhancement of Yield, Nutritional and Nutraceutical Properties of Two Common Bean Cultivars Following the Application of Seaweed Extract (Ecklonia maxima). Saudi J. Biol. Sci. (25): 563–571.

- **Le Mire** G., Nguyen M., Fassotte B., Du Jardin P., Verheggen F., Delaplace P. and Jijakli H. 2016. Implementing biostimulants and biocontrol strategies in the agroecological management of cultivated ecosystems. Biotechnologie, Agronomie. 20(S1) :299-313
- **Malgioglio** G., Rizzo G.F., Nigro S., Lefebvre du Prey V., Herforth-Rahmé J., Catara V. and Branca F. 2022. Plant-Microbe Interaction in Sustainable Agriculture: The Factors That May Influence the Efficacy of PGPM Application. Sustainability, 14(4) :2253.
- **Naziya** B., Murali M. and Amruthesh K.N. 2019. Plant growth-promoting fungi (PGPF) instigate plant growth and induce disease resistance in Capsicum annuum L. upon infection with Colletotrichum capsici (Syd.) Butler & Bisby. Biomolecules, 10(1):41.
- **Ott** C. D. M. 2018. Le concept de developpement durable. p.12.
- **Rojas-Tapias** D., Moreno-Galván A., Pardo-Díaz S., Obando M., Rivera D. and Bonilla R. 2012. Effect of inoculation with plant growth-promoting bacteria (PGPB) on amelioration of saline stress in maize (*Zea mays*). Applied Soil Ecology. (61) :264-272.
- **Sivasakthi** S., Usharani G. and Saranraj P. 2014. Biocontrol potentiality of plant growth promoting bacteria (PGPR) - *Pseudomonas fluorescens* and *Bacillus subtilis*: A review. African Journal of Agricultural Research. 9(16) :1265–1277.
- **Souza** R. D., Ambrosini A. and Passaglia L. M. 2015. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. Genetics and molecular biology. (38) :401-419.
- **Trépanier** M., and Rioux J. A. 2012. Utilisation de champignons endomycorhiziens arbusculaires dans la production de la pomme de terre. Université Laval.
- **Yelkouni** M., Ott C. D. M., Mongo M., Ouédraogo P., Tchapga F. and Pouget L. E. 2018. DÉVELOPPEMENT DURABLE Comprendre et analyser des enjeux et des actions du développement durable. Institut de la Francophonie pour le développement durable (IFDD). pp. 108.

المراجع الالكترونية

- **Net 01 :** https://www.walterreeves.com/food-gardening/tomato-leaf-roll/ (15-04-2022, 19 :25 :12).

السنة الجامعية 2022/2021	من إعداد: وسام بلغيت سلمى نويري

مذكرة التخرج لنيل شهادة الماستر

العنوان:

المحفزات الحيوية الميكروبية: استراتيجية للصحة النباتية في سياق الإنتاج البيئي المستدام

الملخص:

تناولنا في هذا البحث دراسة لأحد المواضيع الراهنة التي تشغل الباحثين من أجل تحديث القطاع الزراعي وتحقيق تنمية مستدامة ألا وهي المحفزات الحيوية الميكروبية كاستراتيجية للصحة النباتية في سياق الإنتاج البيئي المستدام، فنظرا للتكلفة العالية للأسمدة والمحفزات الكيميائية وكذا تأثيرها السلبي على البيئة ونقص مصادر الغذاء لنمو النبات ومقاومته الجهازية كان لابد من البحث عن بدائل حيوية تعمل على تحفيز النمو وتقوية الآليات الدفاعية ضد الأمراض دون التأثير على البيئة وقد حاولنا قدر المستطاع الإلمام بجميع جوانب الموضوع. تعرضنا في الفصل الأول إلى دراسة مختصرة حول الإنتاج البيئي المستدام: علاقته بالتغيرات المناخية، التنمية المستدامة وطرق تحقيقها. أما الفصل الثاني، تطرقنا إلى المحفزات الحيوية الميكروبية: تعريفها، أنواعها، وآليات تأثيرها على النبات. ويتضح أن استخدام المحفزات الحيوية الميكروبية سواء كانت بيكتيريا أو فطريات يؤدي إلى آثار إيجابية في زيادة انتاجية المحاصيل الزراعية بالإضافة الى قدرتها على تحسين خصائص التربة والتقليل من الآفات المتعلقة بها وهو ما يؤدي الى التقليل من خطر التلوث البيئي. كما أن فهم المزيد حول هذه الميكروبات يمهد الطريق لأنواع جديدة من الأسمدة أو المحفزات أو المبيدات الحيوية.

الكلمات المفتاحية: الإنتاج النباتي المستدام، التنمية المستدامة، الصحة النباتية، المحفزات الحيوية، البكتيريا المعززة للنمو، الفطريات المعززة للنمو.

لجنة التقييم

المشرف: زكرياء عز الدين زروق	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**المدرسة العليا للأساتذة آسيا جبار ـ قسنطينة**
الممتحن الأول: كمال الدين بازري	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**جامعة الإخوة منتوري ـ قسنطينة**
الممتحن الثاني: مولود بوحوحو	**أستاذ محاضر ـ أ ـ**	**المدرسة العليا للأساتذة آسيا جبار ـ قسنطينة**