رقم الترتيب :

رقم التسلسل :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيـــــــل شهـــــــادة مـــاستـــــــــــر أكـــــــــــاديمي

ميدان: علوم الطبيعة والحياة

شعبة: العلوم البيولوجية

تخصص: تنوع حيوي وفيزيولوجيا النبات

الموضوع:

مقارنة تأثير الفحم الحيوي (Biochar) وتأثير الملوحة على التربة المزروعة بنبات الفول (*Vicia faba* L.)

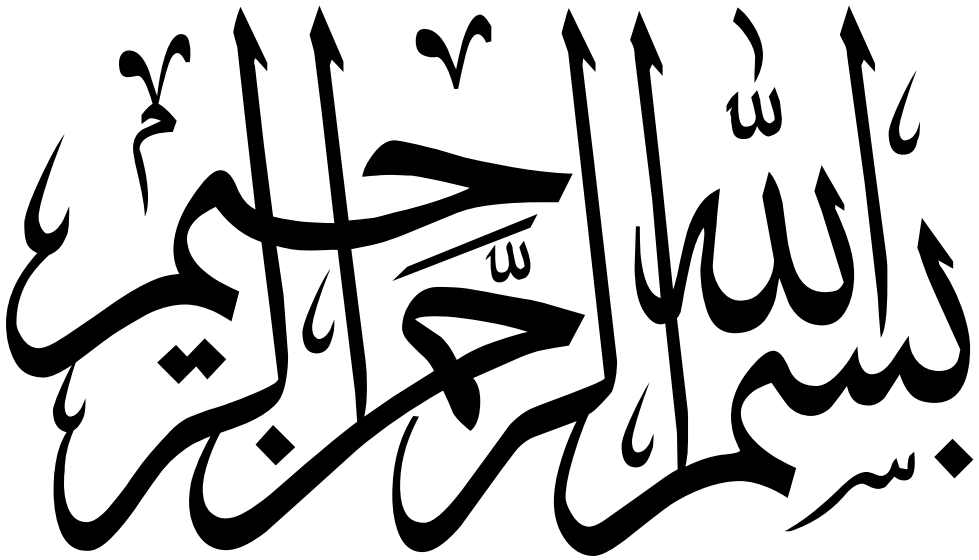
من اعداد:

- بيكي ريان
- فقيري حنان

نوقشت يوم 2025/06/21 من طرف لجنة المناقشة:

د. ڤديري إيمان	أستاذ مساعد	رئيسًا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
د. شعوة حسين	أستاذ مساعد	ممتحنًا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
د. حسن الاعوج	أستاذ محاضر أ	مؤطرًا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
د. بيكي عبد المالك	دكتوراه	مساعد مؤطر	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

الموسم الجامعي: 2025/2024


بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وله الشكر على ما أنعم، وله الحمد على ما أسدى. ثم الصلاة والسلام على سيد الخلق أجمعين، الحبيب المصطفى ﷺ، الذي أخرجنا من ظلمات الجهل إلى أنوار العلم والإيمان، فجزاه الله عنا خير ما جزى نبيًا عن أمته.

لابد لنا ونحن نخطو خطواتنا الاخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود بها إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهودا كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد

وقبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر والتقدير والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة إلى الذين مهدو لنا طريق العلم والمعرفة إلى جميع أساتذتنا الأفاضل

وصدق من قال: "كن عالِمًا، فإن لم تستطع فكن متعلّمًا، فإن لم تستطع فأحبّ العلماء، فإن لم تستطع فلا تُبغضهم."

واقتداءً بقوله تعالى: ﴿وَلَا تَنسَوُا الْفَضْلَ بَيْنَكُمْ﴾ [البقرة: 237]،

نتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى مشرف هذا العمل، **الدكتور حسن لعوج**، وإلى مساعد المشرف **الدكتور بيكي عبد المالك**، اللذان نكنّ لهما كل الاحترام والتقدير لجهودهما القيمة، وتوجيهاتهما السديدة، وصبرهما النبيل طوال مراحل إعداد هذا العمل.

واللذان نقول لهما بشراكما قولُ رسول الله ﷺ "**إن الحوت في البحر، والطير في السماء، ليصلّون على معلّم الناس الخير**."

جزاكما الله عنا خير الجزاء، ورفع قدركما في الدنيا والآخرة.

كما نتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى السادة أعضاء لجنة المناقشة، **الدكتورة قديري إيمان رئيسا والدكتور شعوة حسين ممتحنا** الذين شرفونا بقبولهم مناقشة هذا العمل، وأثروا هذه الدراسة بملاحظاتهم العلمية القيمة وتوجيهاتهم البنّاءة. فلكم منا كل الامتنان والاعتزاز.

ولا يفوتنا أيضًا أن نعبّر عن بالغ تقديرنا وعظيم امتناننا لكل الأساتذة والباحثين الذين ساهموا، ولو بكلمة أو بتوجيه، في إنجاز هذا العمل. فلكم منّا أصدق الدعوات وأسمى عبارات التقدير.

وأخيرًا، نتوجه بأسمى عبارات الشكر والعرفان إلى كامل طاقم عمال وتقني المخبر، الذين كان لهم الدور الكبير في تهيئة الظروف المناسبة وتوفير كل الاحتياجات اللازمة لإتمام هذا البحث.

فلكم منا كل التقدير على ما قدمتموه من دعم وجهد متواصل.

نسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم، وأن يجزي كل من ساهم في إنجازه خير الجزاء.

الإهداء

الحمد لله حبا وشكراً وامتناناً على البدء والختام

(و آخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ)

لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفاً بالتسهيلات، لكنني فعلتها، فالحمد لله الذي يسر البدايات وبلغنا النهايات بفضله وكرمه

أهدي هذا النجاح **لنفسي** اولاً ، ثم إلى كل من سعى معي لإتمام مسيرتي ، دمتم لي سند لا عمر له.

وبكل حب أهدي ثمرة نجاحي وتخرجي إلى النور الذي أنار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره والذي بذل جهد السنين من أجل أن إعتلي سلالم النجاح إلى من أحمل إسمه بكل فخر لطالما عاهدته بهذا النجاح ها أنا أتممت وعدي وأهديته إليك

" حبيب الفؤاد أبي بيكي عمار "

إلى من علمتني الأخلاق قبل الحروف إلى الجسر الصاعد بي إلى الجنه إلى من احتضنني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد بدعائها إلى الداعمة الأولى في حياتي واليد الخفيه التي أزالت عن طريقي الأشواك والمصاعب إلى من أبصرت النور بين يديها

" مهجة الروح أمي زهرة "

إلى من وقفوا بجانبي كلما أوشكت أن اتعثر إلى من هونوا تعب الطريق وشجعوني على المثابره وإكمال المسيرة إلى محطتي الآمنه إلى من ساندني بكل حب عند ضعفي وانزاح عن طريقي المتاعب ممهداً لي الطريق زارعاً الثقه والإصرار بداخلي سندي والكتف الذي لا يميل لطالما كانوا الظل لهذا النجاح **" طمأنينة الأيام إخوتي وأخواتي "**

ولا أنسى أن أخص بالإهداء إلى من كانت له بصمة مميزة في هذه المسيرة، من قدّم لي يد العون والدعم في إعداد هذه المذكرة، إلى أخي العزيز **"بيكي خالد"** الذي كان نعم السند والعون، والذي كان له فضل كبير في مساعدتي خلال مراحل إعداد هذه المذكرة. لك مني خالص الشكر والامتنان والتقدير.

وختاماً، لا يسعني إلا أن أتقدم بخالص الشكر والعرفان إلى أستاذي ومشرفي الكريم **"الدكتور حسن الأعوج"**، الذي لم يدّخر جهداً في مساعدتي وتوجيهي ، فكان رفيق الرحلة ، و إلى عمي **الغالي "الدكتور بيكي عبد المالك"** الذي كان لملاحظاته السديدة، وتوجيهاته النيرة، ودعمه المستمر، أثر بالغ في إخراج هذا العمل في صورته النهائية، فلكما مني كل الاحترام والتقدير والامتنان.

واخيراً من قال أنا لها **"نالها "** وأنا لها إن أبت رغماً عنها أتيت بها ، فالحمد لله الذي ما تيقنت به خيراً وأملا إلا واغرقني سروراً وفرحاً ينسيني مشقتي.

ريان

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبتوفيقه تتحقق الغايات،

الحمد لله الذي الهمني الصبر، ويشر لي الشبل، وأعانني على اجتياز هذه المرحلة العلمية الهامة.

فله الحمد

كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه.

أما بعد:

إلى من كانوا السند والدعم والنبع الصافي بالحب والدعاء.....

إلى والدي العزيز إلى والدي الحبيب الرجل الأول في حياتي وسندي في كل خطوة يا من غرست في نفسي القوة والعزيمة واربتني أن الشموخ مبدا، وأن الكرامة أثمن من كل شيء. كنت دائما هناك، في الظل، تدفعني للأمام بصمتك النبيل، ورضاك الصامت وكنت القدوة في الصبر والعمل. وكلماتك التي تسند القلب وإن لم تقل.

لك في هذا الإنجاز كل الفضل بعد الله، ولك مني كل الامتنان على دعمك العميق الذي لامس قلبي.

إلى أمي الحبيبة.

يا من كان دعاؤكِ لي زادا في طريقي، وحنانكي وحضنكي كان وطن يحتويني، وكلماتكِ كانت البلسم في أوقات التعب. كنت دوما النور الذي أضاء دربي، والمصدر الدائم للقوة والطمانينة.

لك في كل حرف من هذه المذكرة أثر لا يمحى.

إلى جدتي زهرة. دفء الذاكرة وطمأنينة القلب، كنت حاضرة في روحي وإن غبت عن عيني.

وإلى جذتي الراحلة فاطمة، رحمك الله رحمة واسعة، وجعل قبرك روضة من رياض الجنة، فمكانك في القلب لا ينسى، وذكراك لا تغيب.

إلى إخوتي وأخواتي. كنتم النور في أوقات العتمة، والفرح في لحظات الإنجاز. لكم مني كل الحب والدعاء، فأنتم السند الحقيقي الذي افتخر به.

إلى صديقتي الغالية ريان كنت دائما العون والسند ورفيقة اللحظات الصعبة والجميلة. لك مني كل الامتنان والمحبة.

إلى رفيق دربي زوجي العزيز شكرا لك على صبرك وتفهمك ومساندتك المستمرة.

كنت الحافز في أوقات التعب، والداعم في لحظات التردد فجزاك الله عني خير الجزاء.

اتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى الأستاذين الفاضلين لما قدماه لي من دعم علمي وتوجيهات قيمة.

الدكتور حسن الاعوج مشرف لهذا العمل، والدكتور بيكي عبد المالك، مساعد المشرف.

وحرص دائم على المتابعة والتصحيح، فقد كان لتوجيهاتهما الأثر البالغ في إخراج

هذا العمل إلى صورته النهائية.

فلهما مني كل التقدير والاحترام، وجعل الله ما قدماه في ميزان حسناتهما. وإلى نفسي.

التي صبرت وثابرت وتجاوزت لحظات التعب والتراجع.

أهديك هذا الجهد ثمرة الأيام والليالي إنجاز صنعه الإيمان والإصرار.

وإلى مسيرتي الجامعية. التي حملت بين صفحاتها تحديات وتجارب علمتني الكثير أهدي هذا العمل المتواضع، تعبيرا عن شكري وتقديري الخالص.

الحمد لله أولا وأخيرا. ونسأل الله أن يجعل هذا الجهد علما نافعًا، وعملا خالصا لوجهه الكريم.

حنان

الملخص

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى مقارنة تأثير كل من الإجهاد الملحي وتعديل التربة بالفحم الحيوي على مجموعة من الصفات الفسيولوجية والمورفولوجية لنبات الفول (الصنف Aguadulce) خلال المرحلة الخضرية. تم تنفيذ التجربة تحت ظروف خاضعة للتحكم باستخدام أربعة معاملات: تربة غير معالجة (SV)، تربة مملحة بمستويين من كلوريد الصوديوم (70 ملي مول/اللتر SVN_1، و150 ملي مول/اللتر SVN_2)، وتربة معدّلة بالفحم الحيوي (SVB).

شملت القياسات المدروسة كلاً من: نسبة الانبات، سرعة الإنبات، وطول الساق، والمساحة الورقية، تركيزات الكلوروفيل (A وB) والوزن الجاف للنبات. أظهرت النتائج أن الملوحة المرتفعة (150 ملي مول/اللتر) كان لها أثر سلبي واضح على جميع الصفات، حيث سجلت أقل القيم، مما يدل على التأثير المثبط للملوحة الشديدة نتيجة الإجهاد الأسموزي والسمّية الأيونية. أما الملوحة المعتدلة (70 ملي مول/اللتر) فقد أظهرت تأثيراً متفاوتاً، حيث لوحظ تحفيز طفيف في سرعة الإنبات وتركيز الكلوروفيل مقارنة بالشاهد، ما يشير إلى استجابة تكيفية عند مستويات ملوحة منخفضة. من جهة أخرى، حسّن الفحم الحيوي سرعة الإنبات والمساحة الورقية للفول عبر تحسين خصائص التربة، لكنه لم يؤثر بوضوح على الكلوروفيل، ربما بسبب خصائصه أو تفاعله مع الملوحة.

الكلمات المفتاحية: نبات الفول (*Vicia faba* L.)، الملوحة، الفحم الحيوي (Biochar)، التربة، الأنبات، المرحلة الخضرية.

Abstract:

This study aimed to compare the effects of both salt stress and soil amendment with biochar on a range of physiological and morphological traits of faba bean (variety Aguadulce) during the vegetative stage. The experiment was conducted under controlled conditions using four treatments: untreated soil (SV), soil saline with two levels of sodium chloride (70 mmol/L SVN_1 and 150 mmol/L SVN_2), and soil amended with biochar (SVB).

The measurements studied included germination percentage, germination rate, stem length, leaf area, chlorophyll (A and B) concentrations, and plant dry weight. The results showed that high salinity (150 mmol/L) had a clear negative effect on all traits, with the lowest values recorded, indicating the inhibitory effect of extreme salinity due to osmotic stress and ionic toxicity. Moderate salinity (70 mmol/L) showed a mixed effect, with a slight stimulation of germination speed and chlorophyll concentration compared to the control, indicating an adaptive response at lower salinity levels. Biochar, on the other hand, improved germination speed and leaf area of faba beans by improving soil properties, but it did not significantly affect chlorophyll, possibly due to its properties or its interaction with salinity.

Keywords: faba Bean (*Vicia faba* L.), Salinity, Biochar, Soil, Germination, vegetative stage.

الفهرس

الفهرس

شكر وتقدير
الملخص
الفهرس
قائمة الجداول
قائمة الأشكال
قائمة الاختصارات
المقدمة 2

الجزء النظري: الفصل الأول

عموميات حول نبات الفول (*Vicia faba* L)

1. العائلة البقولية 6
2. تعريف نبات الفول 6
3. الأصل والتوزيع الجغرافي 7
4. تصنيف نبات الفول (*Vicia faba* L.) 7

5. أصناف نبات الفول 8
1.5 أصناف صغيرة البذور 8
2.5 أصناف متوسطة البذور (الفول المتوسط) 8
3.5 أصناف كبيرة البذور (الفول العريض) 8
1.6 مرحلة الإنبات (Germination Stage) 9
2.6 مرحلة النمو الخضري 9
3.6 المرحلة التكاثرية 9
4.6 شيخوخة القرون ونضج البذور 10
5.6 شيخوخة الساق 10
7. الوصف المورفولوجي لنبات الفول 12
8. الظروف الملائمة لنمو لنبات الفول 14
1.8 مواسم الزراعة 14
2.8 الظروف المناخية المناسبة 14
3.8 متطلبات التربة 14
4.8 الاحتياجات المائية 15

9. القيمة الغذائية لنبات الفول 15
10. المردود على المستوى الدولي والوطني..... 15
1.10 على المستوى الدولي..... 15
2.10 على المستوى الوطني..... 16

الجزء النظري: الفصل الثاني

الملوحة وتأثيرها على النبات

1. تعريف الاجهاد البيئي..... 18
2. تعريف الاجهاد الملحي..... 18
3. ملوحة التربة..... 18
4. مصادر الملوحة..... 19
1.4 عوامل طبيعية 19
5. تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة..... 19
1.5 التربة المالحة (Saline Soils) 19
2.5 التربة القلوية/الصودية (Sodic Soils) 20
3.5 الترب الملحية القلوية (الملحية الصودية)..... 20
6. تأثيرات الملوحة على النبات 21
1.6 التأثير الأسموزي 21
2.6 السمية الايونية..... 21
3.6 تأثير الملوحة على النمو والإنبات في النباتات..... 21
4.6. تأثير الملوحة على التركيب الضوئي..... 22
5.6 التأثيرات الفسيولوجية و المورفولوجية للإجهاد الملحي على نمو النبات 22
7. آليات التكيف للاجهاد الملحي..... 23
1.7 المقاومة..... 23
2.7 التحمل..... 23
3.7 التأقلم..... 24
8. إدارة واستصلاح الترب المتأثرة بالملوحة..... 25
1.8 الغسل..... 25
2.8 إعادة توزيع الأملاح في التربة 25
3.8 تحسين الصرف الزراعي..... 25

4.8 الحراثة العميقة..... 25
5.8 استخدام النباتات المتأقلمة مع الملوحة..... 25
6.8 كفاءة استخدام المياه..... 26
7.8 الاستبدال الكيمائي للصوديوم..... 26
8.8 تدابير وقائية..... 26

الجزء النظري: الفصل الثالث

الفحم الحيوي (Biochar)

1. الفحم الحيوي (Biochar)..... 29
2. طرق انتاج الفحم الحيوي..... 29
1.2 التحلل الحراري..... 29
1.1.2 التحلل الحراري البطيء..... 29
2.1.2 التحلل الحراري السريع..... 30
3.1.2 التحلل الحراري الفوري..... 30
2.2 الكربنة الحرارية المائية (HTC)..... 30
3.2 التغويز..... 30
1.2.3 التجفيف..... 31
2.2.3 الأكسدة/الاحتراق..... 31
4.2 التحميص (التوريف)..... 31
1.4.2 التحميص بالبخار..... 31
2.4.2 التحميص الرطب..... 31
3.4.2 التحميص التأكسدي..... 31
2. تطبيقات واستخدامات الفحم الحيوي..... 32
3. خصائص الفحم الحيوي..... 32
1.4 المسامية والمساحة السطحية..... 32
2.4 المحتوى الكربوني..... 33
3.4 محتوى العناصر الغذائية في الفحم الحيوي..... 33
4.4 درجة الحموضة (pH)..... 34
5. تأثيرات الفحم الحيوي على التربة
..... 34

الجزء التطبيقي: الفصل الأول

المواد والطرق

1. هدف الدراسة 37
2. فترة التجربة..... 37
3. موقع التجربة..... 37
4. خصائص مناخ منطقة التجربة..... 38
5. التربة المستخدمة في التجربة 38
6. المـــــــــــــــــــــــــــــــــــــــادة النباتيـــة
..... 38
7. المواد و المحاليل والاجهزة المستعملة..... 39
8. نوع الملح المستعمل 40
9. الفحم الحيوي (Biochar) 40
10. السماد العضوي..... 40
11. وصف الاصيص المستخدم..... 40
12. طرق تحضير المحاليل الملحية (70 و150 ملي مول/اللتر)..... 40
1.12. محلول بتركيز 70 ملي مول/لتر 40
2.12. محلول بتركيز 150 ملي مول/لتر 40
13. طريقة تحضير الفحم الحيوي..... 41
14. التحضير لإجراءات الإنبات..... 41
15. تحضير الاوساط التجريبية 41
16. تنفيذ التجربة..... 42
17. المعايير المدروسة..... 42
1.17 نسبة الانبات(GP) 42
2.17 سرعة الانبات (GR)..... 42
3.17 طول الساق..... 42
4.17 المساحة الورقية..... 42
18. تقدير الكلوروفيل (A و B) في الأوراق..... 43
19. تقدير السكريات الكلية في الأوراق..... 43

20. الوزن الجاف..... 44

الجزء النظري: الفصل الثاني

النتائج والمناقشة

النتائج والمناقشة..... 46
الخاتمة..... 60
قائمة المراجع..... 62
الملاحق..... 72

قائمة الجداول

قائمة الجداول

الجدول 1: التصنيف النباتي لنبات الفول (*Vicia faba* L.) وفقًا لـ (DAJOZ, 2000)..... 07

الجدول 2: التصنيف النباتي لصنف الفول المستخدم في الدراسة..... 38

الجدول 3: قائمة المواد والمحاليل والأدوات والأجهزة المستخدمة في الدراسة..... 39

قائمة الأشكال

قائمة الأشكال

الشكل 1: التوزيع الجغرافي المحتمل لنبات الفول (*Vicia faba* L.) على مستوى القارات (Gantait & Mukherjee, 2021). 7

الشكل 2: رسم تخطيطي لمراحل نمو وتطور نبات الفول (*Vicia faba* L.) (GRDC, 2017) 11

الشكل 3: صور توضح المورفولوجيا العامة لنبات الفول (*Vicia faba* L.) (نارگيل. 2015). 13

الشكل 4: خريطة توضح الموقع الجغرافي لولاية الوادي في الجزائر (Google Maps.2025 ؛ مديرية التجارة لولاية الوادي 2025)..... 37

الشكل 5: صور لبذور الفول (Aguadulce) والمعلومات التعريفية للعبوة التجارية 39

الشكل 6: نسبة الانبات GP لنبات الفول في مختلف معاملات التجربة 46

الشكل 7: سرعة الإنبات GR لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة..... 48

الشكل 8: طول الساق لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة 50

الشكل 9: المساحة الورقية لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة..... 51

الشكل 10: تركيز الكلولروفيل A لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة..... 52

الشكل 11: تركيز الكلوروفيل B لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة..... 54

الشكل 12: تركيز السكريات لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة..... 55

الشكل 13: الوزن الجاف لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة 57

قائمة الإختصارات

قائمة الاختصارات

GP: Germination Percentage

GR: Germination Rate

Gn: Germination Number

HTC: Hydrothermal Carbonization

FAO: Food and Agriculture Organization

EC: Electrical Conductivity

ROS: Reactive Oxygen Species

CAT: Catalase

SOD: Superoxide Dismutase

G_R: Glutathione Reductase

POD: Peroxidase

ABA: Abscisic Acid

ECe: Electrical Conductivity of the Saturated Paste Extract

ESP: Exchangeable Sodium Percentage

SAR: Sodium Adsorption Ratio

pH: Potential of Hydrogen

PSII: Photosystem II

BET: Brunauer–Emmett–Teller

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

PyCCS: Pyrogenic Carbonaceous Composite Substances

DOC: Dissolved Organic Carbon

NRCS: Natural Resources Conservation Service

SV: Soil, Variety

SVB: Soil, Variety, Biochar

SVN_1: Soil, Variety, Salinity (70 mmol/L)

SVN_2: Soil, Variety, Salinity (150 mmol/L)

R: Repetition

المقدمة

المقدمة

تُعد البقوليات الغذائية من أكثر النباتات البذرية التي يزرعها الإنسان على نطاق واسع، حيث احتلت مكانة بارزة في التغذية البشرية منذ العصور القديمة (Abbas et Ben achar, 2014). كما تساهم بشكل كبير في تعزيز الاقتصاد على المستوى العالمي (الهام وعبد العال، 2015) وتمثل الحبوب والبقوليات عنصرًا أساسيًا في النظم الغذائية، إذ توفر نسبة كبيرة من احتياجات الإنسان من العناصر الغذائية (Oghbaei & Prakash., 2016). علاوة على ذلك تلعب دورًا مهمًا في تحسين خصوبة التربة بفضل قدرتها على تثبيت النيتروجين الجوي (النصيري ومحمد السلام، 2020). تُصنَّف البقوليات ضمن مجموعة نباتية واسعة تضم عدة أنواع، ويُعدّ الفول (*Vicia faba* L.). واحدًا من أبرز هذه المحاصيل البقولية التي يعتمد عليها كلٌّ من الإنسان والحيوان في التغذية (عبد اللطيف وهناء، 2008) فهو غني بالبروتين، ولقدرته على النمو في مناطق مناخية متنوعة، فإن إنتاج الفول العريض (*Vicia faba* L.) له تاريخ طويل في استخداماته العديدة والقيمة في كل من الأعلاف والغذاء (Duc, 1997).

تتعرض النباتات خلال مراحل نموها المختلفة للعديد من الإجهادات البيئية، وتستجيب لها بطرائق مختلفة إذ تؤثر هذه الإجهادات سلباً في نمو النبات وتطوره وإنتاجيته، وتأتي في مقدمتها الملوحة التي تعد من أهم العوامل اللاحيوية المحددة للنمو والإنتاجية لكثير من المحاصيل الزراعية خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يكون تركيز الأملاح في التربة مرتفعًا (نجات واخرون،2022). و تعد الملوحة مشكلة العصر سواء كانت متعلقة بالتربة أو مياه الري (غاده محمد واخرون، 2022). وتمثل احد أهم الاجهادات البيئية الرئيسية، التي تحد من نمو النبات وإنتاجيته في العديد من المناطق الزراعية في العالم فهي تؤثر في العديد من العمليات الحيوية، بما في ذلك التمثيل الضوئي، وتخليق البروتين، ونشاط الإنزيمات، واستقلاب الدهون .وتؤدي المستويات المرتفعة من الملوحة إلى إجهاد أسموزي وحدوث التسمم الأيوني والإجهاد التأكسدي ناتج عن تراكم أنواع الأكسجين النشط (ROS) مؤدية لتشكيل بيروكسيد الدهون والبروتينات الغشائية (انس واخرون، 2025).

الفحم الحيوي" Biochar" هو أحد المحسنات الحديثة للتربة التي ظهرت في الآونة الأخيرة، حيث يُستخدم بشكل أساسي لتحسين خصائص التربة وهو مادة طبيعية تُخلط مع مكونات التربة دون أن تسبب أي آثار جانبية ملوثة مما يجعله خيارًا آمنًا بيئيًا (فتح الله وجمال سعيد، 2023). عرف الفحم الحيوي بأنه مادة صلبة تنتج عن التحلل الحراري للكتلة الحيوية، ونظرًا لانخفاض تكلفته وكونه صديقًا للبيئة، وهوما دفع الباحثين لإجراء العديد من الدراسات لاستكشاف تطبيقاته الجديدة (Cha et *al*., 2016). وبالتالي فهو وسيلة هامة لمعالجة الترب المتدهورة ومنخفضة الخصوبة وبالإضافة الى ذلك، يمكن أن يقلل استخدام الفحم الحيوي التكاليف المادية والحد من التلوث البيئي (فتح الله وجمال سعيد،2023).

تُشكّل الملوحة عاملًا بيئيًا رئيسيًا يحدّ من نمو النبات وإنتاجيته بسبب تأثيرها السلبي على خصوبة التربة ووظائفها الحيوية، في حين يُعدّ الفحم الحيوي (Biochar) تعديلًا واعدًا للتربة بفضل قدرته على تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية. وبالنظر إلى تزايد مشكلات تملّح وتلوّث التربة، تبرز الحاجة إلى حلول مستدامة تعزز كفاءة التربة الزراعية.

وانطلاقًا من ذلك، تُطرح الإشكالية التالية: ما مدى تباين تأثير كلٍّ من الملوحة والفحم الحيوي على خواص التربة الزراعية؟ وأيهما يترك أكثر تأثيرًا في تحسين أو تدهور خصوبتها وأداء النبات؟.

بهدف إيجاد حل لهذه الإشكالية، قمنا بإجراء دراسة لتقييم مدى تأثير الفحم الحيوي (Biochar) مقارنة بتأثير الملوحة على التربة المزروعة بنبات الفول (Vicia faba L.)، حيث إشتملت دراستنا على جزأين رئيسيين:

الجزء النظري ويحتوي على ثلاثة فصول:

الفصل الأول: عموميات حول نبات الفول (*Vicia faba* L.)

الفصل الثاني: الملوحة وتأثيرها على النبات .

الفصل الثالث: الفحم الحيوي (Biochar).

الجزء التطبيقي ويحتوي على فصلين:

الفصل الأول: المواد وطرق العمل.

الفصل الثاني: النتائج والمناقشة.

وأخيرا أنهينا المذكرة بخاتمة تم فيها تلخيص مجمل النتائج العملية المتحصل عليها.

الجزء النظري

الفصل الأول

عموميات حول نبات الفول

(*Vicia faba* L.)

1. العائلة البقولية

البقوليات هي نباتات تنتمي إلى عائلة Leguminosae، والمعروفة أيضًا باسم Fabaceae، وتتميز بإنتاج بذور داخل قرون (وصال وآخرون، 2020). وتأتي هذه العائلة النباتية في المرتبة الثانية بعد الفصيلة النجيلية (Graminiae) من حيث أهميتها للبشر، حيث تضم ما بين 670 إلى 750 جنسًا، وما يقارب 18000 إلى 19000 نوعًا (Graham & Vance, 2003) عن (Polhill et *al*., 1981)، إلا أن عددًا محدودًا منها فقط يُستخدم كغذاء للبشر. تشمل البقوليات الغذائية الأكثر شيوعًا للاستهلاك البشري البازلاء، الفول العريض، العدس، فول الصويا، الترمس، الفاصوليا الخضراء، والفول السوداني، والتي تُعرف مجتمعة باسم البقوليات الحبية أو الغذائية (وصال وآخرون، 2020).

وتُعد البقوليات بديلًا اقتصاديًا للبروتين الحيواني نظرًا لانخفاض تكلفتها، حيث تحتوي على نسبة 20-40% من البروتينات و60% من السكريات والألياف الغذائية، كما أنها منخفضة الدهون، باستثناء الفول السوداني الحمص، وفول الصويا تحتوي على نسب مرتفعة من الدهون (وصال وآخرون، 2020). وبالإضافة إلى قيمتها الغذائية، تلعب البقوليات دورًا مهمًا في تحسين خصوبة التربة بفضل قدرتها الفعالة على تثبيت النيتروجين، مما يعزز من جودة التربة ويُساهم في استدامة النظم الزراعية (أماني وسلمى، 2024).

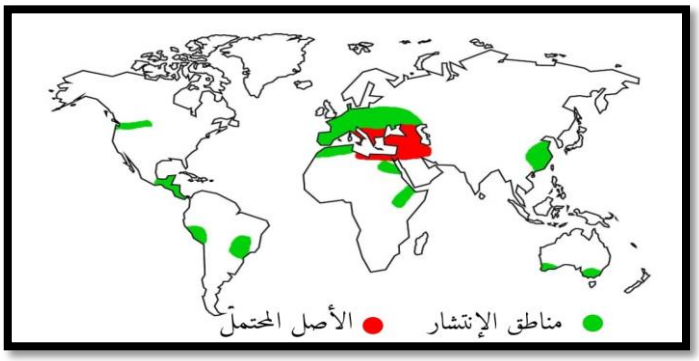
2. تعريف نبات الفول

يعد الفول من النباتات الحولية التي تنتمي إلى العائلة القرنية (Leguminosae) (العثمان والعساف، 2009)، و هو بقول سنوي يُعرف علمياً باسم (*Vicia faba* L.). ويُعرف بعدة أسماء، منها: الفول العريض، فول الفافا، الفول الحصاني ، والفول الصغير. يتميز هاذا النبات بكونه ثنائي الصيغة الصبغية حيث يحتوي على 22 كروموسومًا، وذاتي التلقيح (Wang et *al*.، 2012) ويُعتبر الفول من أهم المحاصيل البقولية من حيث المساحة المزروعة والإنتاج، كما يُعد مصدرًا رئيسيًا للبروتين (Woldekirstos, 2014)، مما يجعله عنصرًا غذائيًا أساسيًا للسكان الذين يواجهون صعوبة في الحصول على البروتين الحيواني (Benelhadj & Mazari, 2018).

إضافة إلى ذلك، يلعب الفول دورًا مهمًا في تحسين خصوبة التربة ضمن أنظمة الزراعة المعتمدة على الحبوب (Woldekirstos, 2014). من الناحية الزراعية، يساهم الفول في زيادة محتوى التربة من النيتروجين بفضل قدرته على تثبيت النيتروجين الجوي، مما يجعله محصولًا ذا قيمة بيئية عالية. أما من الناحية الاقتصادية، يحتل انتاج الفول والبقوليات المرتبة الأولى في الإنتاج الزراعي، لا سيما في دول حوض البحر الأبيض المتوسط (Benelhadj & Mazari, 2018).

3. الأصل والتوزيع الجغرافي

يُعتقد أن البقوليات من أوائل المحاصيل التي زرعها الإنسان، حيث استمرت كغذاء أساسي للعديد من الثقافات في جميع أنحاء العالم (Maphosa & Jideani, 2017). ويعتبر الفول (*Vicia faba* L.) من أقدم البقوليات المزروعة. إذ تمت زراعة هذه النبتة من قبل الإنسان منذ العصر الحجري الحديث حوالي7000 سنة قبل الميلاد (Benelhadj & Mazari, 2018) ولا يزال أصل هذا المحصول البقولي غير واضح، لكنه كان يُزرع في الشرق الأوسط (Abdel-Rahman et *al*., 2020) وحوض البحر الأبيض المتوسط، حيث تمت زراعته منذ حوالي 8000 إلى 10000 سنة (Jensen et *al*., 2010) ومع مرور الوقت انتشرت زراعته انطلاقا من موطنه الأصلي نحو أوروبا، و امتدت على طول نهر النيل حتى وصلت إلى إثيوبيا، ومنها بلاد ما بين النهرين وصولًا إلى الهند (Benelhadj & Mazari, 2018).



الشكل 1: التوزيع الجغرافي المحتمل لنبات الفول (*Vicia faba* L.) على مستوى القارات (Béraud, 2007).

4. تصنيف نبات الفول (*Vicia faba* L.)

وفقًا لـ (Dagoz, 2000)، يُصنَّف نبات الفول (*Vicia faba* L.) على النحو التالي:

الجدول 1: التصنيف النباتي لنبات الفول (*Vicia faba* L.) وفقًا لـ (DAJOZ, 2000).

المملكة (Règne)	النباتات	Planta
الشعبة (Embranchement)	النباتات البذرية	Spermaphytes
تحت الشعبة (Sous-Embranchement)	مغطاة البذور	Angiospermes
الصف (Classe)	ثنائيات الفلقة	Dicotylédones
تحت الصف (Sous-Classe)	مفصولة البتلات	Dialypétales
الرتبة (Ordre)	الورديات	Rosales
العائلة (Famille)	البقولية	Fabaceae
تحت العائلة (Sous-Famille)	الفراشية	Papilionaceae
الجنس (Genre)	البيقية	Vicia
النوع (Espèce)	الفول	*Vicia faba* L.

5. أصناف نبات الفول

يتم تصنيف الفول إلى ثلاث مجموعات وفقًا لحجم البذور:

1.5 أصناف صغيرة البذور

هي بذور صغيرة الحجم (Vicia faba minor) وتُعرف باسم "الفول العلفي"، وهي تُستخدم كعلف للماشية (Benelhadj & Mazari, 2018). ووزن 100 بذرة أقل من 70 غرام (Wang et *al*., 2012). مثل: صنف ريبا (توفيق واخرون، 1999).

2.5 أصناف متوسطة البذور (الفول المتوسط)

وهي بذور متوسطة الحجم (Vicia faba equina)، وهي أيضًا مخصصة لتغذية الماشية (Benelhadj & Mazari, 2018)، ووزن 100 بذرة بين 70-120 غرام (Wang et *al*., 2012)

3.5 أصناف كبيرة البذور (الفول العريض)

تُعرف عمومًا باسم "الفول" (Vicia faba major)، وهي مخصصة للاستهلاك البشري (Benelhadj & Mazari, 2018) و وزن 100 بذرة أكبر من 120 جرام (Wang et *al*., 2012) مثل صنف Aguadulce (توفيق واخرون، 1999).

ووفقًا لـ (Benelhadj & Mazari, 2018) يُصنّف نبات الفول من حيث درجة التبكير في النمو إلى أربع فئات رئيسية.

- **الأصناف شديدة التبكير:** يندرج تحت هذه الفئة صنف Muchaniel، الذي يتميز بقرونه الخضراء الفاتحة، والتي يبلغ طولها حوالي 20 سم، وتحتوي على 5 إلى 6 بذور بيضاء. يُعرف هذا الصنف بإنتاجيته العالية جدًا، مما يجعله من أهم الأصناف المبكرة في دورة النمو.
- **الأصناف المبكرة:** تشمل هذه المجموعة صنف Séville à gousses longues، الذي يتميز بقرون طويلة تحتوي على 5 إلى 6 بذور كبيرة الحجم. يبلغ ارتفاع الساق في هذا الصنف حوالي 70 سم، ويمتاز بلون أوراقه الأخضر الفاتح مقارنة بالأصناف الأخرى. يبلغ عرض القرن نحو 3 سم، بينما يصل طوله إلى حوالي 25 سم.
- **الأصناف نصف المبكرة:** يُصنّف Aguadulce ضمن الأصناف نصف المبكرة، حيث يتميز بنمو نباتي قوي بارتفاع يتراوح بين 1.10 و1.20 متر. وتُعد قرونه كبيرة وطويلة، تحتوي عادةً على 7 إلى 9 بذور. يتمتع هذا الصنف بإنتاجية عالية، وقد تم إدخاله إلى الجزائر من إسبانيا.
- **الأصناف المتأخرة:** تتسم الأصناف المتأخرة بمتوسط إرتفاع نباتي يبلغ حوالي 85 سم، وتنتج عددًا كبيرًا من القرون، يحتوي كل منها على 4 بذور. تُعد هذه الأصناف ملائمة للمناطق ذات الموسم الزراعي الأطول.

6. مراحل نمو وتطور نبات الفول (*Vicia faba* L.)

يمر نبات الفول (*Vicia faba* L.) خلال دورة حياته بعدة مراحل رئيسية يمكن تقسيمها الى خمس مراحل اساسية:

مرحلة الإنبات والبزوغ، مرحلة النمو الخضري، مرحلة النمو التكاثري، مرحلة شيخوخة القرون، ومرحلة شيخوخة الساق (Knott, 1990).

1.6 مرحلة الإنبات (Germination Stage)

تستغرق هذه المرحلة ما بين 7 إلى 14 يومًا، وتحدث تحت ظروف مثالية تتمثل في درجات حرارة للتربة تتراوح بين 10 إلى 20 درجة مئوية، مع ضرورة الحفاظ على رطوبة معتدلة للتربة دون تشبعها بالماء (Rankel, 2024).

تبدأ هذه المرحلة بوجود البذور في حالتها الجافة، ثم تمر بمرحلة امتصاص الماء وانتفاخها. يلي ذلك انبثاق الجذير، ومن ثم ظهور البادرة (مرحلة النمو الأولي). بعد ذلك، يبرز الساق فوق سطح التربة، يتبعه تكون أول ورقة ملتفة، ثم انبساط الورقة الأولى. وتتم عملية الإنبات تحت سطح التربة، حيث تبقى الفلقتان أسفل التربة وتؤديان دورًا غذائيًا مهمًا لدعم نمو البادرة (Knott, 1990).

2.6 مرحلة النمو الخضري

تستمر هذه المرحلة لمدة تتراوح بين 4 إلى 6 أسابيع، حيث تنمو النباتات بسرعة لتصل إلى ارتفاع يبلغ 1.8 متر. يتطور خلال هذه الفترة نظام جذري قوي يعزز امتصاص العناصر الغذائية من التربة، وتبدأ عملية التثبيت الحيوي للنيتروجين، مما يسمح للنبات بالنمو في التربة الفقيرة بالمغذيات. كما يزداد معدل التمثيل الضوئي لدعم النمو السريع (Rankel, 2024).

وتبدأ هذه المرحلة بظهور أول ورقة متفتحة مكونة من وريقتين، ويتزايد عدد الوريقات تدريجيًا، ويعتمد ذلك على العوامل الوراثية للصنف والظروف البيئية المحيطة (Knott, 1990).

يستمر النمو الخضري حتى بعد بدء التطور التكاثري، ما يعني أن المرحلتين تحدثان في نفس الوقت (Brink & Belay, 2006).

3.6 المرحلة التكاثرية

تستغرق هذه المرحلة من 2-4 أسابيع ويبدأ الازهار بالظهور عادة بعد 6-8 اسابيع من الزراعة (Rankel, 2024). تُحمل أزهار نبات الفول على نورة عنقودية، وتبدأ بالظهور عند العقدة الخصبة الأولى. تمر هذه المرحلة بعدة تطورات متتابعة تشمل:

تكوّن البراعم الزهرية ،تفتح أول زهرة، بداية تكوين القرون، اكتمال تكوين القرون، امتلاء القرون، بدء جفاف القرون، تحول البذور إلى الحالة الجافة والصلبة.

تشير الدراسات إلى أن نسبة كبيرة من الأزهار أو القرون تكون معرضة للتساقط (Knott, 1990) وتتميز أزهار الفول بألوان تتراوح من الأبيض إلى الأرجواني (Rankel, 2024). ويرتبط توقيت بدء الإزهار بشكل وثيق بالعوامل البيئية، (درجة الحرارة والفترة الضوئية)، حيث يبدأ الإزهار في المتوسط عند العقدة السابعة ويستمر حتى 20 عقدة تالية (Brink Belay, 2006)، ويعتمد الفول في الغالب على التلقيح الذاتي، ولكن يمكن للحشرات (مثل النحل) تحسين هذه العملية وزيادة إنتاج البذور.

بعد التلقيح تبدأ عملية تكوين القرون حيث يحتوي كل قرن على 3 إلى 8 بذور، وتمتد هذه المرحلة من 4 إلى 6 أسابيع بعد إنتهاء مرحلة التزهير (Rankel, 2024).

4.6 شيخوخة القرون ونضج البذور

- بداية الشيخوخة: تبدأ حوالي 10% من القرون الى التحول للون الاسود وتصبح جافة جزئيا.
- منتصف مرحلة الشيخوخة: تصبح نصف القرون تقريبا 50% سوداء اللون.
- إقتراب النضج: حوالي90% من القرون تصل للون الاسود.
- النضج التام: تكتمل الشيخوخة عندما تصبح 100% من القرون سوداء وجافة بالكامل، ويُعد هذا التوقيت الأمثل للحصاد، إذ تكون رطوبة البذور قد إنخفضت إلى أقل من 30% (Knott, 1990).

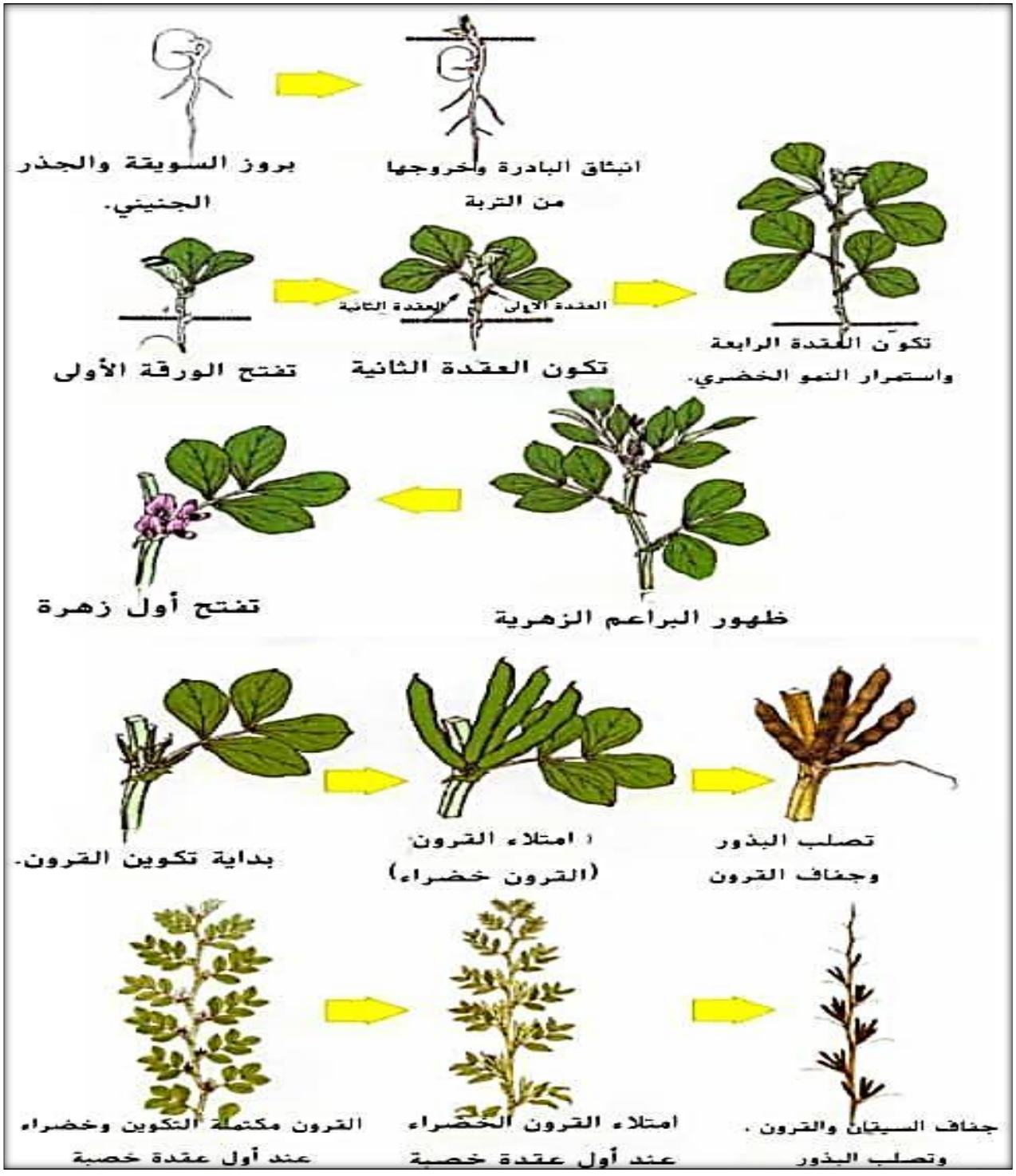
5.6 شيخوخة الساق

أ- **بداية التغير اللوني:** يُلاحظ تغير اللون إلى البني أو الأسود في نحو 10% من السيقان.

ب- **منتصف المرحلة:** يصل تغير اللون إلى حوالي 50% من السيقان.

ج-**إقتراب الاكتمال:** تُظهر نحو 90% من السيقان تغيرًا في اللون، بما يدل على قرب إنتهاء مرحلة النضج.

د- **الاكتمال التام:** عندما تصبح جميع السيقان والقرون سوداء وجافة تمامًا، تكون البذور قد نضجت بالكامل، ويُعد هذا التوقيت مثالياً لإجراء عملية الحصاد. نضج الساق قد يتأخر عن نضج القرون، ويختلف حسب الصنف (Knott, 1990).



الشكل 2: رسم تخطيطي لمراحل نمو وتطور نبات الفول (*Vicia faba* L.) (GRDC, 2017)

7. الوصف المورفولوجي لنبات الفول

❖ **الاوراق**

الورقة مركبة وريشية الشكل، تتكون من 2 - 6 أزواج من الوريقات، والأوراق متبادلة، والوريقات بيضاوية ومستطيلة الشكل (حسن، 1991). ولها لون أخضر رمادي مميز (Street et *al*.، 1842). والوريقة الطرفية تكون متحورة إلى محلاق اثري (حسن، 1991). وعادةً ما تحتوي الأوراق الأولى على زوج واحد فقط من الوريقات، ويزداد عددها تدريجيًا مع بدء تكوين البراعم الزهرية. تظهر عند قاعدة السويقة زوائد ورقية تُعرف بالأذينات، والتي تكون غالبًا مسننة الحواف (Knott, 1990). وتتميز الأذينات بوجود غدة رحيقية ذات لون بنفسجي تقع على السطح السفلي للورقة (Smither, 2019). و يختلف الفول عن معظم أنواع البيقية الأخرى في أن أوراقه لا تحتوي على محاليق تساعده على التسلق (Street et *al*., 1842).

❖ **الساق**

تتميز نباتات الفول بسيقان سميكة ومربعة الشكل قليلاً ومجنحة بعض الشيء (Knott, 1990) وتكون الساق قائمة، متفرعة، مضلعة وجوفاء، ويتراوح طولها تبعًا للصنف المزروع ما بين 45 إلى 180 سم (حسن، 1991). وفي المراحل المتأخرة من النمو، قد تميل السيقان أو تتعرض للكسر، ويرتبط ذلك بخصائص الصنف، والبيئة، والمعالجة الكيميائية (Knott, 1990).

❖ **الجذور**

يمتلك نبات الفول نظامًا جذريًا يتكوّن من جذر وتدي سطحي وعريض (Smither, 2019). يتمكن الجذر الرئيسي من التعمق في التربة ليصل إلى أكثر من متر، ويتفرع منه عدد من الجذور الجانبية القوية (حسن، 1991). ورغم وجود اختلافات في شكل وحجم الجذور بين الأصناف المختلفة، إلا أن الأصناف ذات الجذور الأعمق تُظهر قدرة أكبر على تحمّل ظروف الجفاف (Smither, 2019).

❖ **الأزهار**

تُحمل الأزهار على نَوَارِات إبطية قصيرة تتكون من 2-6 زهرات (Knott, 1990) ،وتتميز الأزهار بلونها الأبيض المائل إلى الرمادي، مع وجود بقع سوداء على جناحي الزهرة. ويتكون الكأس من 5 سبلات ملتحمة جزئيًا عند القاعدة. اما التويج فيتكون من العلم، والجناحين، والزورق. و الطلع يتكون من عشرة أسدية، منها تسعة أسدية ملتحمة وواحدة سائبة (حرة). ويتكون المتاع من كربلة واحدة، ويحتوي المبيض على غرفة واحدة فقط (حسن، 1991).

❖ **القرون**

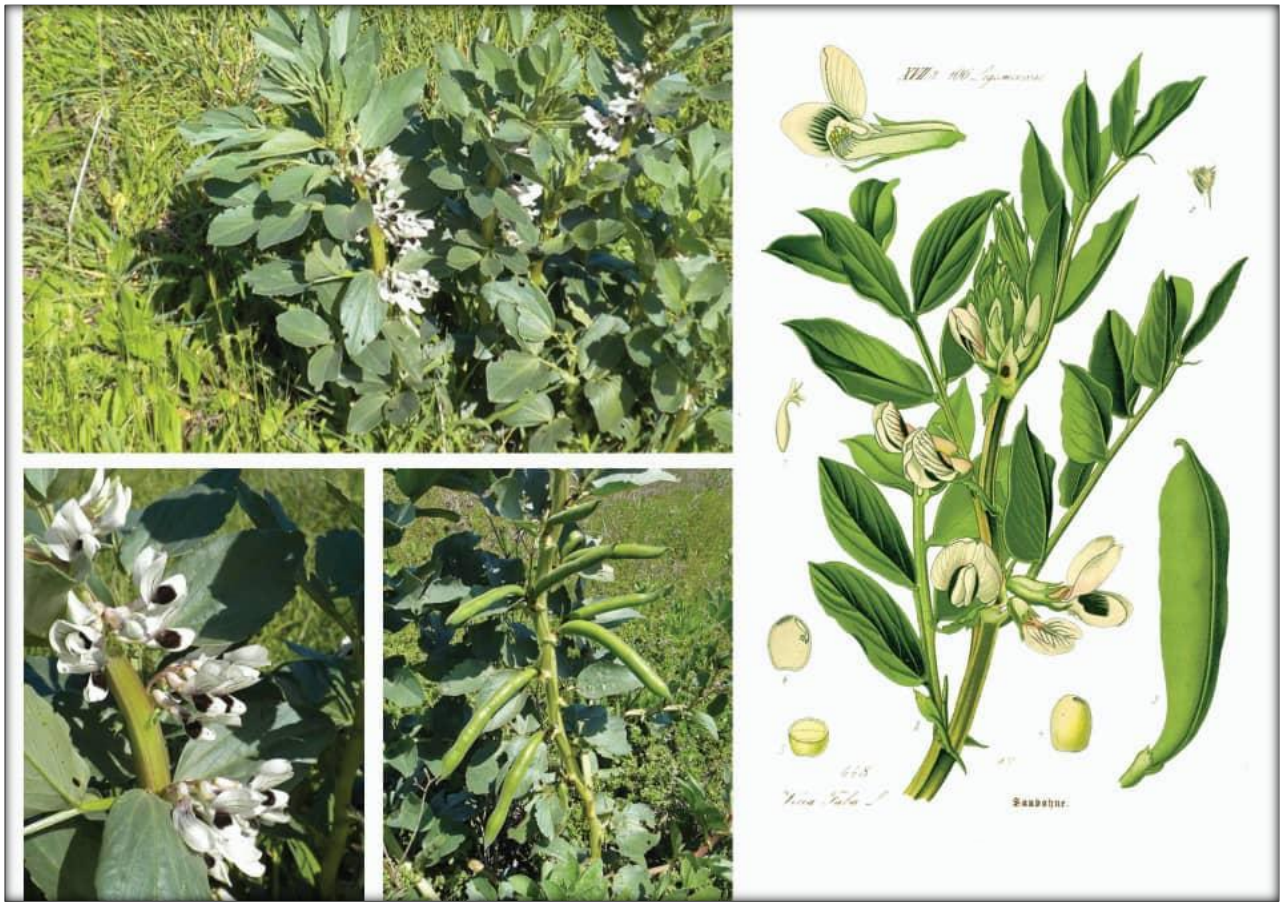
تعد قرون الفول اسطوانية الشكل وذات سطح خارجي ناعم، ولونها أخضر عند بداية التكوّن، وتحتوي من الداخل على بطانة صوفية . ويمكن أن تحتوي على ما يصل إلى 10 بذور (Smither, 2019).

ويختلف طولها حسب الصنف، حيث يتراوح ما بين 5 إلى أكثر من 30 سم (حسن، 1991). وعند نضجها التام، يتحول لون القرون إلى البني المُسود، ويصبح سطحها كثيفًا ومخملي الملمس (Street et *al*., 1842).

❖ **البذور**

تتميّز بذور الفول بأنها كبيرة الحجم ومفلطحة (منضغطة) (حسن، 1991). ويتراوح لونها عند النضج بين ، البني المحمر، الأخضر، والأرجواني وتتميز ببقعة داكنة كبيرة على سطحها (Smither, 2019). ووفقًا لـ (Street et al. 1842) يُصنَّف الفول إلى ثلاثة أنواع رئيسية اعتمادًا على حجم البذور:

- الصنف Major : يتميّز ببذور كبيرة الحجم.
- الصنف Equina : يحمل بذورًا متوسطة الحجم.
- الصنف Minor : يحتوي على بذور صغيرة الحجم.



الشكل 3: صور توضح المورفولوجيا العامة لنبات الفول (*Vicia faba* L.) (نارگيل. 2015).

8. الظروف الملائمة لنمو لنبات الفول

1.8 مواسم الزراعة

تُقسم زراعة الفول (*Vicia faba* L.) إلى موسمين رئيسيين وفقاً للظروف المناخية والجغرافية:

أ. الموسم الشتوي: يُزرع الفول خلال شهري أكتوبر ونوفمبر، ويُحصد بين مارس ومايو، وذلك في المناطق الواقعة بين خطي عرض 21° و35° شمالاً.

ب. الموسم الربيعي: تبدأ الزراعة خلال شهري مارس وأبريل، بينما يمتد موسم الحصاد من شهر جوان إلى شهر سبتمبر، في المناطق ذات خطوط العرض الأعلى، تحديداً بين 31° و53° شمالاً (Wang et *al.*, 2012).

2.8 الظروف المناخية المناسبة

❖ **درجات الحرارة**

تُعد زراعة الفول غير ملائمة في المناطق التي تتعرض لانخفاض شديد في درجات الحرارة خلال موسم الزراعة (عثمان والعساف، 2009)، وتتراوح درجات الحرارة المثلى للإنتاج بين 18 إلى 27 درجة مئوية ،كما تتحمل بعض الأصناف الأكثر صلابة في منطقة البحر الأبيض المتوسط درجات حرارة شتوية تصل إلى -10 درجات مئوية دون حدوث ضرر كبير، بينما تستطيع الأصناف الأوروبية الأشد تحملاً لمقاومة درجات حرارة تصل إلى -15 درجة مئوية. ويُفضل أن تكون فترة النمو خالية من موجات الحرارة المرتفعة، إذ تؤثر سلباً على النمو والإنتاج (Jensen et *al.*, 2010).

❖ **الضوء**

يُعد الفول نباتًا نهاريًا طويلًا، إذ يعتمد في إزهاره على طول فترة الإضاءة (Smither, 2019). أما في الأنماط الوراثية الحساسة للضوء، فإن قِصر النهار بعد انتهاء موسم الأمطار يُحفّز عملية الإزهار، مما يُساهم في تكوين البذور (Street et *al.*, 2008).

3.8 متطلبات التربة

يتحمل نبات الفول مجموعة متنوعة من أنواع التربة، لكنه ينمو بشكل أفضل في التربة الطينية والسلتية جيدة التصريف، بالإضافةً إلى التربة الرملية التي تحتفظ برطوبة كافية. ويتراوح الرقم الهيدروجيني (pH) المناسب لنموه بين 6.5 و9. ويُعزى ضعف نمو النبات في الترب الحمضية أو سيئة التصريف غالبًا إلى فشل تكوين العقد الجذرية (Smither et *al.*, 2019). والتي تتمتع بخصوبة متوسطة. كما أن الفول حساس لاختناق الجذور وضعف التهوية، ولا يتحمل ظروف الجفاف بشكل جيد (Brink & Belay, 2006).

4.8 الاحتياجات المائية

يعد توفر الرطوبة عاملاً أساسياً لتحقيق إنتاجية مثلى لنبات الفول، حيث يتطلب إمداداً معتدلاً ومنتظماً بالماء، .كما ان نبات الفول لا يتحمل المياه الراكدة. وتبلغ متطلباته من الرطوبة ذروتها بعد حوالي 9 إلى 12 أسبوعًا من الزراعة (Singhe *al*., 2013). ونظرًا لأن نظام جذور الفول سطحي نسبيًا، فإنه يعتمد بدرجة كبيرة على توفر المياه في الطبقة العليا من التربة، بعمق يتراوح بين 30 و45 سم. كما تُعد مرحلتا الإزهار وملء القرون من أكثر الفترات حساسية للجفاف (Smither, 2019). يتطلب الفول إلى معدل هطول أمطار سنوي يتراوح بين 700 و1000 ملم، على أن يتوزع أكثر من 60% من هذا المعدل خلال فترة النمو النشط للنبات (Brink & Belay, 2006).

9. القيمة الغذائية لنبات الفول

يُعد الفول العريض من البقوليات ذات القيمة الغذائية العالية، حيث يحتوي كل 100 غرام من وزنه الجاف على حوالي 320 سعرة حرارية، موزعة على النحو التالي: 40% بروتين، 4% دهون، و56% كربوهيدرات (Méndez et *al*., 2022)، كما تبلغ نسبة الألياف الغذائية فيه حوالي 25%، مما يجعله مصدرًا جيدًا للألياف .ويتميز الفول العريض أيضًا باحتوائه على مجموعة من المركبات النشطة بيولوجيًا، مثل المركبات الفينولية الكلية والفلافونويدات، والتي أظهرت خصائص مضادة للأكسدة مهمة لصحة الجسم. كما يحتوي على سكريات قليلة التعدد مثل ستاكيوز، رافينوز، وفيرباسكوز، وهي مركبات يمكن أن تتخمر في الأمعاء مسببة الغازات والانزعاج البطني. وعلى الرغم من فوائده، إلا أن الفول العريض يحتوي على مجموعة من العوامل المضادة للتغذية (Dhull et *al*., 2022)، مثل:

الليكتينات (الهيماغلوتينينات) والتي تُوجد بنسبة أعلى فيه مقارنة بالبقوليات الأخرى، بالإضافة إلى الصابونين، ومثبطات التربسين، وحمض الفيتيك، والتانينات. هذه المركبات قد تؤثر سلبًا على القيمة الحيوية للعناصر الغذائية. كما أن استهلاك الفول العريض قد يؤدي لدى بعض الأشخاص إلى الإصابة بمرض الفوال (الفافيزم)، وهو نوع حاد من فقر الدم الانحلالي (Dhull et *al*., 2022).

10. المردود على المستوى الدولي والوطني

1.10 على المستوى الدولي

يقدّر الإنتاج العالمي من الفول العريض بحوالي 5.43 مليون طن سنويًا، وذلك من إجمالي مساحة مزروعة تُقدّر بـ2.57 مليون هكتار، (Malek et *al*., 2021). وتتصدر الصين قائمة الدول المنتجة، بإنتاج يتراوح بين 1.5 و1.8 مليون طن سنويًا، تليها إثيوبيا بإنتاج يفوق 1 مليون طن، ثم أستراليا بإنتاج يتراوح بين 700,000 و850,000 طن، والمملكة المتحدة بإنتاج يتراوح بين 600,000 و700,000 طن، في حين

تُنتج فرنسا ما بين 180,000 و250,000 طن سنويًا. وتُعد كل من أستراليا والمملكة المتحدة وفرنسا من أبرز الدول المصدّرة للفول العريض على مستوى العالم (Boersch, 2023).

2.10 على المستوى الوطني

تُعد الجزائر من أهم منتجي الفول العريض في منطقة شمال إفريقيا، حيث بلغ إنتاجها السنوي نحو 55,272 طن، على مساحة مزروعة تُقدّر بـ41,451 هكتار (Malek et *al*., 2021). وخلال الفترة الممتدة بين عامي 2020 و2022، ساهمت الجزائر بنسبة تقارب 17% من إجمالي الإنتاج العالمي للفول العريض الأخضر، مما يبرز مكانتها كأحد المنتجين الرئيسيين عالميا (Raman et *al*., 2024).

الفصل الثاني

الملوحة وتأثيرها على النبات

1. تعريف الاجهاد البيئي

هو عبارة عن اي عامل بيئي، سواء كان حيويا أو غير حيوي، يقلل من قدرة النبات على تحويل الطاقة إلى كتلة حيوية بالإجهاد النباتي (Atta et *al*., 2023). وتنشأ الإجهادات غير الحيوية غالبًا نتيجة التغيرات المناخية، وتؤثر بشكل سلبي في نمو النبات وعملياته الأيضية (Hasanuzzaman & Fujita, 2023).

ويُعد انخفاض إنتاجية المحاصيل الناتج عن هذه الإجهادات الغير حيوية، مثل الملوحة الزائدة، والجفاف، والبرودة، والحرارة، تحديًا كبيرًا أمام تلبية الطلب العالمي المتزايد على الغذاء (Atta et *al*., 2023) .

2. تعريف الاجهاد الملحي

يُعد إجهاد الملوحة أحد الإجهادات البيئية الرئيسية التي تؤثر سلبًا على نمو النباتات وتطورها ،و يزيد إجهاد الملوحة من الضغط الأسموزي داخل الخلايا وقد يتسبب في تراكم الصوديوم إلى مستويات سامة (Hasanuzzaman & Fujita, 2022)، وينتشر هاذا النوع من الاجهاد بشكل ملحوظ في المناطق الساحلية. وتعد مشكلة بيئية متفاقمة نتيجة ارتفاع مستويات ملوحة التربة. وتشير التقديرات إلى أن الملوحة تؤثر سلبا على نحو 33% من الأراضي المروية و20% من إجمالي الأراضي الزراعية عالميًا، مما يؤدي إلى تراجع إنتاجية المحاصيل عن طاقتها الوراثية الكاملة ،حيث تُعد ملوحة التربة مشكلة بيئية متفاقمة ناجمة عن تدهور نوعية مياه الري (Malik, 2019) واستخدام المياه المالحة. وعند تفاقم الحالة، قد يتسبب الإجهاد الملحي في توقف كامل لإنتاج المحاصيل، وتقليل الغلة بنسبة تتراوح بين 10% و25%، كما قد يساهم في حدوث التصحر (Hasanuzzaman & Fujita, 2023).

3. ملوحة التربة

تُعرّف الملوحة كظاهرة بيئية خطيرة تنشأ نتيجة تراكم الأملاح في التربة (فتين وعبداللطيف، 2023). حيث يؤدي تراكم الاملاح بكميات مفرطة الى اعاقة نمو النباتات. كما تقلل من قدرة الجذور على امتصاص الماء، مما ينعكس سلبًا على إنتاجية المحاصيل (Re et *al*., 2022). و تمثل الملوحة مقياسًا للمعادن والأملاح القابلة للذوبان في محلول التربة، وتشمل في الغالب الأيونات المعدنية الرئيسية مثل: الصوديوم (Na^+)، والكلوريد (Cl^-)، والكالسيوم (Ca^{2+})، والكبريتات (SO_4^{2-})، والبوتاسيوم (K^+)، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والنترات (NO_3^-).

يتم قياس ملوحة التربة باستخدام التوصيلية الكهربائية (EC) لمستخلص معجون التربة المشبع بالماء ،وتعد هذه الطريقة الأكثر شيوعًا لتحديد درجة ملوحة التربة (Artiola et *al*., 2019).

4. مصادر الملوحة

يعتمد مستوى ملوحة التربة على عدد من العوامل. عادةً ما تحدث ملوحة التربة في المناطق الساحلية أو الداخلية نتيجة لعوامل طبيعية وعوامل ثانوية ناتجة عن النشاط البشري (Qadi et *al*., 2000).

1.4 عوامل طبيعية

ارتفاع متوسط درجات الحرارة المرتبط بتغير المناخ مما يؤدي إلى زيادة التبخر، وتحولات في أنماط الأمطار، وارتفاع مستويات البحار، وبالتالي حدوث فيضانات مفرطة أو ضعف التصريف الطبيعي (Elmeknassi et *al*., 2024).

- دخول الأملاح مباشرة إلى التربة عن طريق فيضانات مياه البحر أو تسللها إلى المياه الجوفية.
- ا لصعود الشعري للأملاح من طبقات التربة العميقة أو من المياه الجوفية المالحة.
- الرمال المحملة بالأملاح التي تنقلها الرياح البحرية (Choudhary & Kharche, 2018).
- وجود الأملاح بشكل طبيعي نتيجة للجيولوجيا المحلية، وتعرية المعادن، والظروف المناخية، خاصة في المناطق ذات الأمطار القليلة (Barker et *al*., 2024).

2.4 عوامل بشرية

- الممارسات الزراعية غير المستدامة، وعلى رأسها الإفراط في استخدام الأسمدة ، مما يزيد من تراكم الأملاح في التربة (Elmeknassi et *al*., 2024).
- الاستخدام العشوائي وغير الحكيم لمياه الري ذات الجودة الرديئة، مما يؤدي إلى ارتفاع تركيز الأملاح والصوديوم في التربة (Choudhary & Kharche, 2018).

5. تصنيف الترب المتأثرة بالملوحة

اعتمد مختبر ملوحة التربة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية (USDA) تصنيفًا للترب المتأثرة بالأملاح، استنادًا إلى ثلاث مؤشرات رئيسية: درجة الحموضة في العجينة المشبعة (pH)، والموصلية الكهربائية لمستخلص العجينة المشبعة (ECe)، ونسبة الصوديوم القابل للتبادل (ESP). حيث صنف الترب المالحة إلى ثلاث فئات رئيسية (Chhabra, 2004)، وهي:

1.5 التربة المالحة (Saline Soils)

تحتوي على تركيزات عالية من الأملاح القابلة للذوبان. الأملاح القابلة للذوبان الموجودة في منطقة الجذور . مما يعيق قدرة النباتات على امتصاص الماء من التربة (Re et *al*., 2022). وغالبًا ما تنتشر هذه الترب في المناطق الصحراوية، خصوصًا في الأراضي الرملية التي تتميز بانخفاض محتواها من الطين والمادة العضوية (Imadi et *al*., 2016).

تتميز هذه الأراضي بتوصيل كهربائي لاستخراج المشبع (ECe) يزيد عن 4 ديسي سيمنز/سم عند 25°C وعادة ما يكون الرقم الهيدروجيني للتربة أقل من 8.5. بسبب وجود الأملاح الزائدة وقلة كمية أيون

الصوديوم على مواقع التبادل، تكون هذه الأراضي عادة ببنية متماسكة، كما أن نفاذيتها تكون مماثلة أو أعلى من نفاذية الأراضي الطبيعية. و تحتوي معظم هذه الأراضي على سطحها تكتلات أو قشور بيضاء من الأملاح الذائبة (Choudhary & Kharche, 2018).

2.5 التربة القلوية/الصودية (Sodic Soils)

الأراضي القلوية الصودية هي أراضٍ تحتوي على أملاح صوديوم، لا سيما كربونات الصوديوم، القادرة على إحداث تحلل قلوي في التربة (Choudhary & Kharche, 2018). وبحسب تصنيف NRCS (منظمة تعني بالحفاظ على الموارد الطبيعية وهي تابعة لوزارة الزراعة الأمريكية USDA)، يتم اعتبار التربة صودية عندما تتجاوز نسبة امتصاص الصوديوم (SAR) قيمة 13%، أو عندما تكون نسبة الصوديوم القابل للتبادل (ESP) أعلى من 15% ومع ارتفاع مستوى الصوديوم، يحدث تحول تدريجي في بنية التربة من حالة التكتل إلى التشتت (Re et *al*., 2022).

تحتوي هذه الأراضي على كميات ضئيلة من الأملاح الحرة في محلول التربة، بينما يتجاوز الرقم الهيدروجيني فيها 8.5، وقد تتطور الظروف القلوية في هذه الاراضي كما قد يصل الرقم الهيدروجيني إلى 10 أو أكثر نتيجة الري. عندما يتم تفريق المادة العضوية وترسبها على سطح التربة تؤدّي إلى ظهور لون بني أسود، ما يجعلها تُعرف أحيانًا بالأراضي القلوية السوداء (Choudhary & Kharche, 2018)، كما تتميز هذه الترب باحتوائها على نسب عالية من الطين (Imadi et *al*., 2016).

3.5 الترب الملحية القلوية (الملحية الصودية)

تحتوي هذه الأراضي على تركيزات مرتفعة من الأملاح الذائبة بالإضافة إلى كميات ملحوظة من الصوديوم في معقد التبادل الكاتيوني، وبالتالي فإن هذه الترب تعاني من مشاكل بسبب الصوديوم والأملاح الأخرى. وعادةً ما تتميز بـ: موصلية كهربائية (ECe) أكثر من 4 ديسي سيمنز/متر عند 25°C ، و نسبة الصوديوم القابل للتبادل (ESP) أكثر من 15% ونسبة إمتصاص الصوديوم (SAR) أكثر من 13 %. وعادةً ما يكون الرقم الهيدروجيني (pH) في هذا النوع من الترب أقل من 8.5، نتيجة لتأثير الأملاح الحرة. إلا أنه عند غسيل التربة وتقليل تركيز هذه الأملاح، قد تتحول التربة إلى خصائص صودية/قلوية نتيجة للتحلل القلوي للصوديوم القابل للتبادل، مما يؤدي إلى ارتفاع pH إلى ما فوق 8.5.

وتتواجد في هذه الترب كل من الأملاح الحرة والصوديوم المتبادل (Choudhary & Kharche, 2018)، مما يسمح في معظم الحالات بالحفاظ على بنية تربة جيدة ونفاذية مناسبة للماء عبر قطاع التربة (Re et *al*., 2022).

6. تأثيرات الملوحة على النبات

1.6 التأثير الأسموزي

تؤثر الملوحـة على نمو النبـاتات من خلال تأثيــر أسموزي يؤدي إلـى انخفــاض المـاء فـي المنطقة المحيطـة بالجذور ممـا يصعب من قدرة النبات على امتصاص الماء والعناصر الغذائيـة من التربة (Tuteja, 2007). وتتفاقم هذه الحالة مع جفاف التربة، حيث يؤدي ارتفاع تركيز الأمـلاح فـي محلول التربـة إلـى مزيد من الانخفـاض فـي الجهد الأسموزي (Sheldon et *al.*, 2017). ويُعـد الحفـاظ علـى التـوازن الاسموزي ضروريًـا للنباتـات الناميـة فـي وسـط ملحـي، إذ إن فشـل هذا التـوازن يـؤدي إلـى فقـدان الخلايـا لتورمهـا الطبيعـي، وتعرضهـا للجفـاف، ممـا قد ينتهـي بمـوت الخلايـا وفشـل النبـات فـي البقـاء (Shrivastava & Kumar, 2015).

2.6 السمية الايونية

تُعد السمية الأيونية من الآثار الضارة الرئيسية للإجهاد الملحي في النباتات، حيث تنشأ نتيجة استبدال أيونـات البوتاسيوم (K^+) بالصـوديوم (Na^+) فـي التفـاعلات البيوكيميائيـة، أو نتيجـة التغيـرات التركيبيـة فـي البروتينات بفعل تـأثير أيـوني الصـوديوم والكلوريد (Shrivastava & Kumar, 2015). تُمتص هذه الأيونـات بكميات زائدة، مما يؤدي إلى حدوث السمية الخلوية (Atta et *al.*, 2023). والتركيـزات العالية من الصـوديوم تؤدي أيضًا إلى انخفاض فـي معدل التركيب الضـوئي وزيـادة فـي إنتـاج أنـواع الأكسـجين التفاعليـة (ROS)، والتي تُحدث إجهادًا تأكسديًا فـي الخلايـا النباتيـة (Tuteja, 2007). وتُعتبـر تركيـزات الصـوديـوم التـي تتجـاوز 100 ملي مول سامة للأيض الخلوي، حيث تُثبط نشاط العديد من الإنزيمات الاساسية، وتعيق انقسام وتوسع الخلايا، وتسبب اضطرابًا في بنية أغشية الخلايـا واختلالًا في التوازن الأسموزي، مما يؤدي فـي النهايـة إلـى تثبيط النمو (Tuteja, 2007). وعندما تُستنفد قدرة الخليـة علـى تخزيـن الأمـلاح، تتراكـم هذه الأمـلاح فـي الفراغات بين الخلايا، مما يؤدي الى فقدان الماء وجفاف الخلايا وموتها (Sheldon et *al.*, 2017).

3.6 تأثير الملوحة على النمو والإنبات في النباتات

تُعدّ الملوحة من أبرز العوامل البيئية التي تؤثر سلبًا على نمو وإنبات النباتات، حيث تؤدي إلـى تثبيط ملحوظ في هذه العمليات الحيوية، وتختلف شدة هذا التثبيط باختلاف نوع النبـات، ومرحلتـه النمائيـة، وتركيز الأمـلاح فـي الوسط المحيط (Balasubramaniam et *al.*, 2023). و تعيق الملوحـة امتصـاص المـاء من قبل البذور، مما يؤدي إلى تراجع ملحوظ في نمو النبات وتطوره خلال المراحل المبكرة (Gao et *al.*, 2024).

كما يؤثر الإجهاد الملحي على انقسام الخلايا، وإنبات البذور، واستقرار البادرات في المراحل الأولى من النمو وذلك نتيجة لانخفاض الجهد الأسموزي فـي التربـة. علاوة علـى ذلك، يثبط الإجهـاد الملحـي نشـاط إنزيم α-amylase المسؤول عن تحلل النشـاء وتـوفير الطاقـة اللازمـة للجنين، إلـى جانـب انخفـاض فـي نشـاط إنزيمات أخرى مثل البروتيـاز والليبـاز. وتـؤدي هذه التغيـرات إلـى تـأخر فـي عمليـة الإنبـات، وانخفـاض فـي

نسبته، إضافة إلى حدوث أضرار في الجنين نتيجة تراكم أيونات الصوديوم والكلوريد، وزيادة مستويات أنواع الأوكسجين التفاعلية (Atta et *al*., 2023).

4.6. تأثير الملوحة على التركيب الضوئي

يُعد التركيب الضوئي من العمليات الحيوية الأساسية في النباتات، حيث يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية كامنة. إلا أن كفاءته تتأثر سلبًا تحت ظروف الإجهاد الملحي نتيجة لعدة عوامل، من أبرزها اضطراب تخليق الكلوروفيل، وتغير في نشاط الإنزيمات، وانغلاق الثغور، وانخفاض توفر ثاني أكسيد الكربون، إضافة إلى التضرر الذي يصيب العناصر المسؤولة عن البناء الضوئي (Balasubramaniam et *al*., 2023). كما أن الإجهاد الملحي يؤدي إلى تقليل مساحة الأوراق، ويؤثر بدرجة أقل على كفاءة عمل النظام الضوئي الثاني (PSII) (Shrivastava & Kumar, 2015).

ويُعزى انخفاض محتوى الكلوروفيل في البيئة المالحة إلى تفاقم عمليات الأكسدة والتحلل بفعل تراكم أنواع الأكسجين التفاعلية. كما يؤدي النقل الإلكتروني الزائف الناتج عن الملوحة إلى تعطيل سلسلة النقل الإلكتروني مما يؤدي إلى إنتاج مفرط لـ ROS. و زيادة هذه المركبات التفاعلية تتسبب في احداث اضرار في البروتينات والأغشية والحمض النووي ، بالإضافة إلى إحداث اضطرابات في التركيب الفائق للصانعات الخضراء، مثل انتفاخ أغشية الثيلاكويد وتراكم النشاء (Gao et *al*., 2024).

5.6 التأثيرات الفسيولوجية و المورفولوجية للإجهاد الملحي على نمو النبات :

يُعد الإجهاد الملحي من أبرز العوامل البيئية التي تؤثر سلبًا على النمو النباتي من خلال عدة آليات فسيولوجية ومورفولوجية. تؤدي الملوحة إلى انخفاض في عدد الأوراق، وزيادة طول النبات، وكتلته الحيوية، كما تؤثر في مساحة الورقة، وسُمك الأنسجة الوعائية، وتوسع الأوراق (Atta et *al*., 2023). كما تسبب اصفرار الاوراق نتيجة الشيخوخة ،وظهور نخرات على حواف الأوراق، يليها تساقط الأوراق، خصوصًا الأوراق الأكبر سنًا التي تتعرض لتراكم طويل الأمد لأيونات الصوديوم (Gao et *al*., 2024) كما تؤثر الملوحة العالية بشكل مباشر على الخلايا الثغرية في الاوراق النشطة في عملية النتح، مما يسبب تثبيطًا للنمو نتيجة ما يُعرف بـ"التأثير النوعي"، وبالتالي يسبب تراكم الاملاح سمية داخلية للنبات، وغالبًا ما تتركز هذه الأملاح في الأوراق القديمة، مما يؤدي إلى موتها كآلية تكيفية لحماية النبات (Tuteja, 2007).

يؤدي تراكم الأملاح في التربة إلى انخفاض جهد الماء في منطقة الجذور، مما يعيق امتصاص النبات للماء والعناصر الغذائية، وبالتالي يؤدي الى انخفاض في الكتلة الحيوية الطازجة والجافة، بدرجات متفاوتة تعتمد على نوع النبات ومرحلة نموه وتركيز الملوحة (Gao et *al*., 2024). كما يُلاحظ انخفاض في طول الجذر، وكثافة الشعيرات الجذرية والجذور الجانبية، ووزن الجذور العميقة، مما يضعف قدرة النبات على التثبيت وامتصاص العناصرالمعدنية (Atta et *al*., 2023).

تُعد مراحل التزهير والإثمار وملء الحبوب من أكثر المراحل الحساسة للملوحة، حيث يؤدي الإجهاد إلى زيادة عقم حبوب اللقاح، وانخفاض عددها وحجمها ووزنها، مع تراجع في الجودة البيوكيميائية والغذائية للحبوب (Atta et *al*., 2023).

كما يسبب الإجهاد الملحي اختلالًا في إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية ،ويحدث اضطرابا في تنظيم إشارات الفيتوهرمونات (Atta et *al*., 2023).

7. آليات التكيف للاجهاد الملحي:

1.7 المقاومة:

تُعد مقاومة الملوحة استجابة تكيفية تنشأ نتيجة التفاعل بين النبات والإجهاد الملحي، وتتمثل على مستويين رئيسيين: المستوى الفسيولوجي والمستوى الجزيئي. وتشترك العديد من الآليات الفسيولوجية المرتبطة بمقاومة الملوحة مع تلك المسؤولة عن مقاومة الجفاف، (Aslam et *al*., 2011).

من الآليات الفسيولوجية المهمة لمقاومة الملوحة آلية طرد الأملاح، والتي قد تتم من خلال تراكم الأملاح في الأوراق القديمة، مما يؤدي إلى موتها وسقوطها وبالتالي التخلص من الأملاح الزائدة. كما قد تُحتجز الأملاح في الجذور، ما يمنع انتقالها إلى الأجزاء الهوائية، وهي آلية شائعة في بعض النباتات غير الملحية (Glycophytes) وكذلك في العديد من النباتات الملحية (Halophytes). وفي بعض الأنواع، يتم التخلص من الأملاح الزائدة عبر غدد إفرازية متخصصة في البشرة تعمل على إخراج الأملاح إلى سطح الأوراق، وبالتالي تمنع تراكمها في الأنسجة الداخلية (Acosta-Motos et *al*., 2017).

وتنقسم آليات مقاومة الملوحة في النباتات الملحية إلى فئتين رئيسيتين: تحمل الملوحة وتجنّب الملوحة.

علاوة على ذلك، تشمل مقاومة ملوحة التربة مجموعة من التعديلات على المستوى الخلوي، والتي تتضمن آليات معينة تعمل على المستوى الجزيئي، بالإضافة الى استجابات فسيولوجية محددة خلال مرحلة الإنبات، خصوصًا لدى الشتلات الفتية (Aslam et *al*., 2011).

2.7 التحمل :

تُظهر النباتات تفاوتًا في قدرتها على تحمل الملوحة، حيث تُعد النباتات الغير ملحية (Glycophytes) أكثر حساسية نسبيًا ولا تتمكن من النمو في البيئات ذات الملوحة العالية، في حين تمتلك النباتات الملحية (Halophytes) قدرة أعلى على التكيف، وتنقسم إلى أنواع ذات تحمل مرتفع وأخرى ذات تحمل متوسط، وذلك تبعًا لمستوى مقاومتها للملوحة (Hasanuzzaman & Fujita, 2022).

ويُقاس مدى التحمل للملوحة غالبًا من خلال نسبة الكتلة الحيوية الناتجة تحت ظروف ملوحة مقارنة بالظروف العادية، او من خلال القدرة على البقاء، خاصةً في النباتات المعمرة (Carillo et *al*., 2011).

لقد طورت النباتات آليات متعددة للتكيف مع الإجهاد الملحي، يمكن تصنيفها إلى ثلاث استراتيجيات رئيسية:

- تحمل الإجهاد الأسموزي.
- تقليل تراكم أيونات الصوديوم (Na^+) في أنصال الأوراق عبر آليات الاستبعاد.
- قدرة الأنسجة على تحمّل التراكيز العالية من الأملاح داخل الخلايا (Carillo et *al*., 2011).

إضافةً إلى ذلك، تنشط النباتات استجابات بيوكيميائية دقيقة تشمل الانتقائية في امتصاص الأيونات أو استبعادها، وتنظيم توزيعها بين الأنسجة، و انتاج المركبات التوافقية مثل الجليسرول والسكروز، التي تُساهم في حماية المكونات الخلوية من التلف (Ahmad et *al*., 2012 ; Parida & Das, 2005).

كما تسهم المسارات المضادة للأكسدة في التكيف مع الإجهاد الملحي، من خلال إنتاج إنزيمات مثل الكاتالاز (CAT)، والسوبر أوكسيد ديسميوتاز (SOD)، والجلوتاثيون ريدوكتاز (Gr)، والبيروكسيداز (POD)، التي تُساهم في إزالة أنواع الأوكسجين التفاعلية (ROS) الناتجة عن ظروف الملوحة (Parida & Das, 2005). وتشمل آليات التكيف الأخرى تعديل تركيب الأغشية، وتغيير بعض المسارات التمثيلية كالبناء الضوئي، بالإضافة إلى تنشيط إنتاج الهرمونات النباتية (Ashraf et *al*., 2010).

3.7 التأقلم:

يشير التأقلم إلى مجموعة من التعديلات السلوكية، النمائية التي تمكّن النبات من تقليل تعرضه للإجهاد الملحي (Ashraf et *al*., 2010). فعند تعرض النبات للملوحة، يؤدي إلى انخفاض الجهد الأسموزي والتورم الخلوي، مما يُولّد إشارات كيميائية تحفّز استجابات تكيفية، من أبرز هذه الاستجابات: تراكم المذيبات العضوية (كالبرولين) وغير العضوية (كالأيونات غير السامة)، والتي تساهم في الحفاظ على الاتزان الأسموزي داخل الخلية (Acosta-Motos et *al*., 2017).

كما يؤدي الإجهاد الملحي إلى تقليل التوصيل الثغري ومعدلات النتح، مما يقلل من تراكم الأيونات السامة في الأنسجة النباتية. وقد بينت الأدلة أن الإغلاق المبكر للثغور يُعد آلية فعالة للحد من تدفق هذه الأيونات، وهي آلية تنظم بواسطة إشارات صادرة من الجذور، ويُعد حمض الأبسيسيك (ABA) أحد المنظمات الهرمونية الأساسية لهذه العملية (Acosta-Motos et *al*., 2017).

وتختلف آليات التأقلم باختلاف طبيعة التعرض للملوحة؛ فاستجابات النبات للتعرض التدريجي تختلف عن تلك التي تحدث عند التعرض المفاجئ (Carillo et *al*., 2011). وتشمل استراتيجيات التأقلم الأخرى: تأخير الإنبات أو النضج إلى حين تحسن الظروف البيئية، استبعاد الأملاح على مستوى الجذور، توجيه نمو الجذور نحو مناطق أقل ملوحة، تخزين الأملاح داخل الفجوات العصارية أو في خلايا متخصصة كالغدد الملحية أو الأوراق المسنة، بالإضافة إلى القدرة على التمييز الانتقائي بين الأيونات مثل Na^+ و K^+ أو Ca^{2+} (Ashraf et *al*., 2010).

8. إدارة واستصلاح الترب المتأثرة بالملوحة:

تُعد إزالة الأملاح من منطقة جذور النبات الخطوة الأساسية في استصلاح الترب المالحة، إذ لا يمكن تحقيق ذلك بواسطة الإضافات الكيميائية أو المحسنات أو حتى الأسمدة. وفي بعض الحالات، قد يكون من الضروري دمج زراعة محاصيل متحملة للملوحة مع ممارسات الإدارة المناسبة للتربة (Bauder et *al*., 2014). من بين التقنيات الأساسية المستخدمة في إدارة ملوحة التربة:

1.8 الغسل:

يُعتبر غسل الأملاح من أكثر الطرق شيوعًا، ويعتمد على تطبيق كميات من مياه الري تتجاوز احتياجات النبات لنقل الأملاح إلى أعماق التربة أسفل منطقة الجذور، ويُعرف هذا المفهوم بـ"متطلب الغسيل" (Bauder et *al*., 2014). ومع ذلك، ينبغي تطبيق هذه الطريقة بحذر، باستخدام كميات مدروسة من المياه لتفادي ارتفاع منسوب المياه الجوفية والحد من الضغط على شبكات الصرف الزراعي (FAO, 2019).

2.8 إعادة توزيع الأملاح في التربة :

تتم من خلال ممارسات زراعية وإدارية تهدف إلى تحريك الأملاح من المناطق القريبة من جذور النبات إلى مناطق أقل تأثيرًا، دون الحاجة إلى غسلها بالكامل إلى أعماق التربة، بحيث تكون بعيدة عن منطقة الامتصاص الجذري، وبالتالي تقلل من تأثيرها الضار على النبات (Bauder et *al*., 2014).

3.8 تحسين الصرف الزراعي:

يُعد من الإجراءات الأساسية لتسهيل إزالة الأملاح الذائبة من منطقة الجذور، ويتم ذلك من خلال تطوير أنظمة الصرف المختلفة، سواء كانت سطحية أو تحت سطحية أو عمودية (FAO, 2019).

4.8 الحراثة العميقة :

تُستخدم لتحسين الخصائص الفيزيائية للتربة، خاصة في الترب التي تحتوي على طبقات متماسكة أو غير نافذة، حيث تساعد على زيادة التوصيل الهيدروليكي

5.8 استخدام النباتات المتأقلمة مع الملوحة:

زراعة النباتات الملحية المتحملة للملوحة في الأنظمة الزراعية الرعوية يُعد أحد الخيارات المستدامة في المناطق المتأثرة (FAO, 2019).

6.8 كفاءة استخدام المياه:

من المهم تقليل الفاقد المائي في أنظمة نقل وتوزيع المياه، إذ إن الهدر المائي يؤدي إلى تفاقم مشاكل الصرف وزيادة احتمالية تملح التربة. لذلك، يجب تصميم أنظمة الري بدقة لضمان توفير المياه بكميات مناسبة وفي الأوقات الملائمة دون هدر (Richards, 1954).

7.8 الاستبدال الكيمائي للصوديوم:

يمكن معالجة الترب المتأثرة بالصوديوم من خلال استخدام محسنات تحتوي على الكالسيوم (مثل الجبس الزراعي)، مما يؤدي إلى استبدال الصوديوم على معقد التبادل الكاتيوني، يليه غسل هذه الأملاح من التربة بواسطة ري زائد، شريطة توفر تدفق مائي كافٍ خلال طبقات التربة (Qadir et *al*., 2006).

8.8 تدابير وقائية:

ينبغي توجيه الجهود نحو تقليل مخاطر التملح عبر إدارة استخدام الأراضي بطرق تقلل من التعرض للتملح، خاصة في البيئات الزراعية الهشة خلال فترات زمنية معينة (Vargas et *al*., 2018).

الفصل الثالث

الفحم الحيوي (Biochar)

1. الفحم الحيوي(Biochar)

هو مادة صلبة غنية بالكربون، الأكسجين، والنيتروجين، بالإضافة إلى مكونات غير عضوية (معدنية) تُعرف بالرماد، والتي تمثل الجزء الغير قابل للإحتراق. وتختلف نسبة الكربون في الفحم الحيوي عادةً بين 30% و60% (Seowe et *al*., 2022)، وينتَج الفحم الحيوي من التحلل الحراري للكتلة الحيوية في ظروف تحتوي على كمية ضئيلة أو معدومة من الأكسجين (Hornung et *al*., 2024)، وتُستخدم مواد أولية متنوعة في إنتاجه مثل الخشب، المخلفات الزراعية، وروث الحيوانات، ويُحدد اختيارها عادةً حسب مدى توفرها محليًا (Barghol et *al*., 2019). وتشمل تطبيقاته تحسين جودة التربة، الحد من التلوث، ورفع كفاءة استخدام الموارد الطبيعية (Lehmann & Joseph, 2015).

يمتاز الفحم الحيوي بخصائص فيزيائية وكيميائية مميزة، منها المساحة السطحية العالية، البنية المسامية، والمحتوى المعدني المتنوع، مما يجعله خيارًا منخفض التكلفة وفعالًا مقارنة بالفحم النشط في معالجة المياه (Barghol et *al*., 2019).

في المجال الزراعي، يُسهم الفحم الحيوي في تحسين خصوبة التربة، وزيادة سعة التبادل الكاتيوني، وتعزيز كفاءة استخدام المغذيات، مما يؤدي إلى رفع إنتاجية المحاصيل. كما يساهم في تعزيز مقاومة النباتات للإجهادات غير الحيوية، خاصةً الإجهاد الملحي من خلال تحسين خواص التربة (Gao et *al*., 2024). ومن منظور بيئي يُعد الفحم الحيوي وسيلة فعالة في تقنيات احتجاز وتخزين الكربون البيروجيني (PyCCS)، بشرط تحقيق فوائد زراعية وبيئية مشتركة مثل تعزيز غلال المحاصيل وتحسين خدمات النظم البيئية (Schmidt et *al*., 2021).

2. طرق انتاج الفحم الحيوي

1.2 التحلل الحراري

ويُصنف التحلل الحراري إلى ثلاثة أنماط رئيسية وهي:

1.1.2 التحلل الحراري البطيء

يُعد من أكثر الطرق شيوعًا لإنتاج الفحم الحيوي، نظرًا لقدرته على تعظيم مردود الفحم الصلب عبر استخدام معدلات تسخين منخفضة وأوقات مكوث طويلة، مما يعزز من تحويل الكتلة الحيوية إلى فحم حيوي عالي الجودة (Angın, 2013). تُنفذ العملية عادةً ضمن درجات حرارة تتراوح بين 300 و700 درجة مئوية، وبمعدل تسخين منخفض يتراوح بين 0.1 و1 درجة مئوية/ثانية، ولا تتطلب حجمًا دقيقًا للمواد الأولية (Chun et *al*., 2021)، وزمن مكوث يبلغ 60 دقيقة، مما يؤدي إلى مردود فحم حيوي بنسبة 35%–55% من الكتلة الجافة (Anand et *al*., 2022).

2.1.2 التحلل الحراري السريع

يُعد التحلل الحراري السريع من التقنيات الحرارية المتقدمة التي تُستخدم بشكل أساسي لإنتاج الزيت الحيوي، إلا أنه يُنتج أيضًا الفحم الحيوي بنسبة تتراوح بين 10% و20%. تُجرى هذه العملية عند درجات حرارة تتراوح بين 450 و600 درجة مئوية، مع معدلات تسخين عالية 10–200 درجة مئوية/ثانية وزمن مكوث قصير لا يتجاوز 30 دقيقة. يُساهم هذا الزمن القصير ومعدل التسخين المرتفع في تعزيز التحللات الحرارية السريعة للمركبات العضوية، يتطلب تحقيق كفاءة حرارية عالية استخدام مواد أولية دقيقة بحجم أقل من 1 مم لضمان انتقال حراري فعال خلال الزمن القصير للتفاعل. وقد تم تطبيق هذه التقنية في عدة أنواع من المفاعلات مثل السرير المميع والمخروط الدوّار والمخروط المتآكل ومفاعل القاع الدائري، بهدف تعزيز كفاءة التحلل وتحسين خصائص المنتجات (Chun et *al*., 2021).

3.1.2 التحلل الحراري الفوري

يُعد التحلل الحراري الفوري من أكثر تقنيات التحلل تقدمًا من حيث سرعة التفاعل، إذ يُجرى بمعدل تسخين فائق يتجاوز 1000 درجة مئوية/ثانية، وضمن نطاق حراري يتراوح بين 700 و1000 درجة مئوية. تمتاز هذه التقنية بمدة مكوث قصيرة جدًا تقل عن 30 دقيقة، ما يُتيح تحقيق تحويل حراري-كيميائي سريع وفعال. وعلى الرغم من السرعة العالية، فإن مردود الفحم الحيوي الناتج يتراوح عادةً بين 20% و30%. يُحضّر مزيج الكتلة الحيوية على شكل مسحوق دقيق لتعزيز التميع وتحسين كفاءة التفاعل. تُنفذ العملية في مفاعل سرير معبأ، حيث يُطبق ضغط ثابت يتراوح بين 1 و2 بار باستخدام الهواء، يُسخن قاع المفاعل بلهب، ويتدفق الهواء لأعلى حاملاً اللهب لتسخين السرير بالكامل (Chun et *al*., 2021).

2.2 الكربنة الحرارية المائية (HTC)

تُعد الكربنة الحرارية المائية تقنية واعدة لتحويل الكتلة الحيوية الرطبة إلى فحم حيوي صلب يُعرف باسم الهيدروشار (Hydrochar)، دون الحاجة إلى تجفيف مسبق للمواد الخام، مما يجعلها خيارًا اقتصاديًا مقارنة بطرق التحلل الحراري الأخرى. تتم هذه العملية من خلال خلط الكتلة الحيوية مع الماء داخل مفاعل مغلق، ثم تسخينها تدريجيًا إلى درجات حرارة تتراوح بين 180 و 250 درجة مئوية ، تحت ضغط ذاتي ناتج عن تبخر الماء، ولفترات زمنية قد تمتد إلى أكثر من 24 ساعة، ويتراوح مردود الهيدروشار الناتج بين 40% و70% من وزن المادة الأولية، ويعتمد ذلك على درجة الحرارة، الضغط، مدة المكوث، ونسبة الماء إلى الكتلة الحيوية (Chun et *al*., 2021).

3.2 التغويز

هو عملية حرارية-كيميائية يتم فيها تحويل الكتلة الحيوية تحت ظروف أكسدة جزئية وبدرجات حرارة مرتفعة تتراوح عادةً بين 700 و900 درجة مئوية، حيث تؤدي هذه الظروف إلى إنتاج وقود غازي غني بالغاز التخليقي (Syngas) بنسبة تصل إلى حوالي 85%، إضافة إلى 10% من الفحم الحيوي

(Biochar) و5% من الزيت الحيوي (Anand, 2022) (Bio-Oil). تمر عملية التغويز بعدة مراحل أساسية تشمل:

1.2.3 التجفيف

يتم إزالة المحتوى الرطوبي من الكتلة الحيوية عبر التبخر ، وتُعد هذه المرحلة مستقلة في كثير من التطبيقات (Yaashikaa et al., 2020).

2.2.3 الأكسدة/الاحتراق

تتفاعل العوامل المؤكسدة (مثل الهواء أو الأكسجين أو البخار) مع المواد القابلة للاحتراق، منتجةً الطاقة الحرارية الضرورية لاستمرار التفاعل، إلى جانب غازات مثل CO وCO_2 وبخار الماء.

رغم أن الغاز التخليقي هو المنتج الرئيسي في هذه العملية، فإن الفحم الحيوي يُنتَج أيضًا ولكن بكميات منخفضة نسبيًا (Yaashikaa et *al*., 2020).

4.2 التحميص (التوريف)

يُعد التوريف، من تقنيات التحلل الحراري المعتدل التي تُستخدم لتحسين خصائص الكتلة الحيوية وتحويلها إلى منتج صلب عالي الكربون يُعرف بالبيوشار. تُنفذ هذه العملية في بيئة خاملة (عادة باستخدام غاز خامل مثل النيتروجين)، عند ضغط جوي ودرجات حرارة تتراوح بين 200 و300 درجة مئوية، ولمدة زمنية قصيرة غالبًا أقل من ساعة واحدة.

خلال التوريف، يحدث تحلل جزئي للمواد الهيميسليلوزية في الكتلة الحيوية، مما يؤدي إلى انبعاث مركبات عضوية طيارة، بينما يتم تركيز الكربون في المنتج الصلب، وتُشير الدراسات إلى أن الناتج الصلب يمثل حوالي 60–85% من وزن الكتلة الحيوية الأصلية (Chun et *al*., 2021).

تم تطوير التوريف إلى عدة أشكال وفقًا لظروف المعالجة وطبيعة العامل المستخدم، وتشمل:

1.4.2 التحميص بالبخار

تُعالج الكتلة الحيوية باستخدام البخار عند درجات حرارة لا تتجاوز 260 درجة مئوية، ولمدة حوالي 10 دقائق. تُفيد هذه الطريقة في إزالة الرطوبة وتعديل البنية دون تفكك مفرط للمكونات العضوية.

2.4.2 التحميص الرطب

يُعرف أيضًا باسم الكربنة المائية، حيث تتم المعالجة في وسط مائي عند درجات حرارة بين 180 و260 درجة مئوية ، وزمن مكوث من 5 إلى 240 دقيقة.

3.4.2 التحميص التأكسدي

يُنفذ باستخدام غازات مؤكسدة مثل الهواء أو الغازات الناتجة عن الاحتراق، مما يوفر الطاقة الحرارية المطلوبة لتسخين الكتلة الحيوية (Yaashikaa et *al*., 2020).

3. تطبيقات واستخدامات الفحم الحيوي

يُستخدم الفحم الحيوي (Biochar) في عدة مجالات بفضل خصائصه الفيزيوكيميائية الفعالة ومن ابرز هذه الاستخدامات:

- يستخدم كمُحسِّن للتربة، حيث يساهم في تحسين خصوبة التربة وزيادة قدرتها على الاحتفاظ بالماء (Brantley et *al*., 2015).
- يُستخدم كمادة مضافة في التربة بهدف زيادة الإنتاجية الزراعية وتحسين الخصائص الفيزيائية والبيولوجية للتربة، كما يدخل أيضًا كمُضاف في أعلاف الحيوانات لتعزيز صحتها وتقليل انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يُبرز دوره المتعدد في دعم الاستدامة البيئية والزراعية (Hornung et *al*., 2024).
- يُستخدم كمادة ماصة فعالة في إزالة الملوثات العضوية وغير العضوية من التربة والمياه، بما في ذلك المعادن الثقيلة، بفضل خصائصه مثل المساحة السطحية الكبيرة والمجموعات الوظيفية والشحنة السالبة وقدرة تبادل الكاتيونات (Wang & Liu, 2017 ؛Hassan et *al*., 2020).
- يُساهم في تثبيت الملوثات داخل التربة والرواسب، ما يقلل من تنقلها وخطورتها البيئية (Soudek et *al*., 2017).
- يُستخدم كوقود صلب في أنظمة الطاقة الحيوية لتحسين كفاءة تحويل الكتلة الحيوية إلى طاقة، ويُساهم في تقليل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بشكل مستدام.(Wang et *al*., 2024).
- يُستخدم في الزراعة المستدامة لدوره الفعال في خفض انبعاثات الغازات الدفيئة، وتعزيز عزل الكربون في التربة على المدى الطويل، بالإضافة إلى زيادة إنتاجية المحاصيل (Alburquerque et *al*., 2013).

4. خصائص الفحم الحيوي

1.4 المسامية والمساحة السطحية

يُعد الفحم الحيوي مادة صلبة غير متجانسة ذات بنية مسامية معقدة (Feng et *al*., 2021) تشمل مسامًا دقيقة اقل من 2 نانومتر، ومتوسطة بين 2–50 نانومتر، وكبيرة اكبر من 50 نانومتر، وذلك وفقًا لمعايير الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (IUPAC) (Leng et *al*., 2021) .، وتسهم هذه البنية في تعزيز قدرته على الاحتفاظ بالماء والعناصر الغذائية .وتتكوّن هذه المسام أثناء التحلل الحراري بفعل فقدان الماء والمركبات المتطايرة من مصفوفة الكربون، مما يؤدي إلى تكوين شبكة من المسامات النانوية والبيروجينية (Adhikari et *al*., 2023؛ Leng et *al*., 2021). تُساهم المسامات الدقيقة بشكل رئيسي في المساحة السطحية النوعية للفحم الحيوي، والتي تُقاس غالبًا بطريقة BET، حيث تسمح هذه المساحة الكبيرة باحتجاز الماء بفعل قوى الشعرية، وبالتالي تحسين سعة التربة الحقلية (Schimmelpfennig & Glaser,

2012). تؤدي زيادة درجة حرارة التحلل من 100 إلى 800 درجة مئوية إلى تحوّل في حجم المسام من الدقيقة إلى الكبيرة، بينما تظهر المجموعات الوظيفية المحتوية على الأكسجين عند درجات حرارة 100–500 درجة مئوية وتختفي تدريجيًا بعد 600 درجة مئوية ، مما يؤثر على خصائص الامتزاز للفحم الحيوي (Tan et *al*., 2021). وتُعد المسامية داخل جزيئات الفحم والمسافة بين الجزيئات في التربة عاملين مؤثرين في سعة الفحم الحيوي على الاحتفاظ بالماء (Adhikari et *al*., 2023).

2.4 المحتوى الكربوني

يتميز الفحم الحيوي (biochar) بمحتوى كربوني عالٍ يُمكن أن يتراوح بين 60% إلى 80%، مما يجعله من أبرز المواد المستخدمة في تحسين خصائص التربة والحد من انبعاثات الكربون، نظرًا لقدرته العالية على تثبيت الكربون في شكل مستقر ومقاوم للتحلل (Chagas et *al*., 2022). وتُظهر المعالجة الحرارية للنفايات العضوية قدرة على إنتاج فحم حيوي ذي تركيبة كربونية معقدة وكارهة للماء، ما يُساهم في تحسين ثباته في التربة (Adhikari et *al*., 2023). كما أن درجة حرارة التحلل تلعب دورًا رئيسيًا في زيادة محتوى الكربون من الفحم الحيوي، حيث يؤدي ارتفاعها إلى تحويل الكربون إلى أشكال أكثر كثافة وثباتًا (Ippolito et *al*., 2020). ويختلف المحتوى الكربوني أيضًا باختلاف نوع المادة الخام؛ إذ يحتوي الفحم الحيوي المشتق من الخشب على أعلى نسبة من الكربون، يليه الفحم الناتج عن الأعشاب، ثم الفحم الناتج عن السماد العضوي الذي يمتلك أقل محتوى كربوني نسبيًا (Ippolito et *al*., 2020). وقدّرت بعض الدراسات أن اعتماده يمكن أن يُساهم في احتجاز ما يقارب 1.8 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا (Chagas et *al*., 2022).

3.4 محتوى العناصر الغذائية في الفحم الحيوي

تتفاوت نسبة العناصر الغذائية في الفحم الحيوي باختلاف المادة الأولية وظروف التحلل الحراري. فقد لوحظ أن محتوى النيتروجين لا يتأثر بشكل كبير بدرجة حرارة التحلل، إلا أنه يتباين بشكل واضح تبعًا لنوع المادة الأولية؛ إذ تُظهر المخلفات الحيوانية والحمأة محتوى أعلى من النيتروجين مقارنةً بالمصادر النباتية. ويُعزز وجود مجموعات الكبريت والأوكسجين الوظيفية من قدرة الفحم الحيوي على احتباس الأمونيا بتكوين كبريتات الأمونيوم (Ahmad et *al*., 2014). كما يزداد تركيز الفوسفور والبوتاسيوم بارتفاع درجات الحرارة نتيجة تحلل المواد العضوية وتراكم العناصر المعدنية في بنية الفحم الحيوي (Chan & Xu, 2012). ويسهم الفحم الحيوي في تحسين تخزين المغذيات وإطلاقها في التربة، ما يدعم خصوبتها وإنتاجيتها الزراعية (Adhikari et *al*., 2023). أما الرماد الناتج عن الاحتراق الكامل للكتلة الحيوية، يحتوي غالبًا على تركيزات مرتفعة من الكالسيوم والمغنيسيوم (Chan & Xu, 2012).

4.4 درجة الحموضة (pH)

تُعد قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) من الخصائص الاساسية للفحم الحيوي، حيث تتأثر بعدة عوامل مرتبطة بظروف الإنتاج وطبيعة المادة الأولية المستخدمة. يُعتبر نوع الكتلة الحيوية من العوامل المحددة الأساسية، إذ أن المواد الأولية ذات المحتوى الرمادي العالي تميل إلى إنتاج فحم حيوي ذي قلوية مرتفعة، نظرًا لاحتواء الرماد على مكونات قاعدية بطبيعتها. كما أن درجة حرارة التحلل الحراري تُعد عاملًا حاسمًا في التحكم بالرقم الهيدروجيني (Khan et *al*., 2024). وقد لوحظ أن الفحم الحيوي المنتج عند درجة حرارة 700 درجة مئوية يمتلك قيمة pH أعلى مقارنة بالفحم الحيوي المنتج عند درجة الحرارة منخفضة 250درجة مئوية ، مما يؤكد تأثير درجة الحرارة على قيمة pH للفحم الحيوي (Novak et *al*., 2009). من جهة أخرى، يساهم الفحم الحيوي في تنظيم درجة الحموضة في التربة عند إضافته بفضل خصائصه الكيميائية السطحية التي تتشكل أثناء المعالجة الحرارية، والتي تُسهم في تعديل التفاعلات البيوكيميائية والهيدرولوجية في التربة (Adhikari et *al*., 2023).

5. تأثيرات الفحم الحيوي على التربة

يُظهر الفحم الحيوي إمكانات واعدة في تحسين جودة التربة وتعزيز استدامة النظم الزراعية، من خلال مجموعة واسعة من التأثيرات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية. فقد ثبت أن إضافته للتربة يُسهم في تقليل انبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O)، وتقليل فقدان النيتروجين بالتسرب، مع زيادة توافر النيتروجين وتحفيز النشاط الميكروبي، وهو ما يُعزى إلى وجود مجموعات وظيفية نشطة في بنيته مثل الكربوكسيل، الهيدروكسيل، اللاكتون، والكرومين (Amalina et *al*., 2023). كما يؤدي الفحم الحيوي إلى امتزاز الكربون العضوي الذائب (DOC) والعناصر المغذية الغيرعضوية والغازات والمركبات السامة المحتملة، مما ينعكس بشكل مباشر على تنظيم نشاط الكائنات الحية في التربة من حيث الوفرة والتنوع (Thies & Rillig, 2012).

وأظهرت دراسات متعددة أن الفحم الحيوي يمكن أن يُحسن خصائص التربة الفيزيائية مثل الاحتفاظ بالماء والمغذيات، ويُقلل من تأثير التعرية، مما يُعزز من إنتاجية المحاصيل ونموها، إما عبر توفير مباشر للعناصر أو بشكل غير مباشر بتحسين بيئة الجذر (فتح الله و جمال سعيد، 2023). ويُعد الفحم الحيوي الناتج عن التحلل الحراري للمخلفات الزراعية أو الصناعية مادة مستقرة في التربة، حيث يتحلل ببطء شديد، مما يتيح تخزين الكربون لفترات زمنية طويلة ويُساهم في تقليل الكربون العضوي المنبعث مقارنة بالمخلفات غير المعالجة (Chagas et *al*., 2022).

الجزء التطبيقي

الفصل الأول

المواد والطرق

1. هدف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إضافة الفحم الحيوي للتربة المزروعة بنبات الفول (صنف Aguadulce) مع نظيرتها المعاملة بتركيزين من الملوحة كلوريد الصوديوم (NaCl)، وذلك من خلال تحليل التغيرات في الصفات الخضرية والفسيولوجية والبيوكيميائية، بهدف تحديد دور الفحم الحيوي في هذه الخصائص عند نبات الفول.

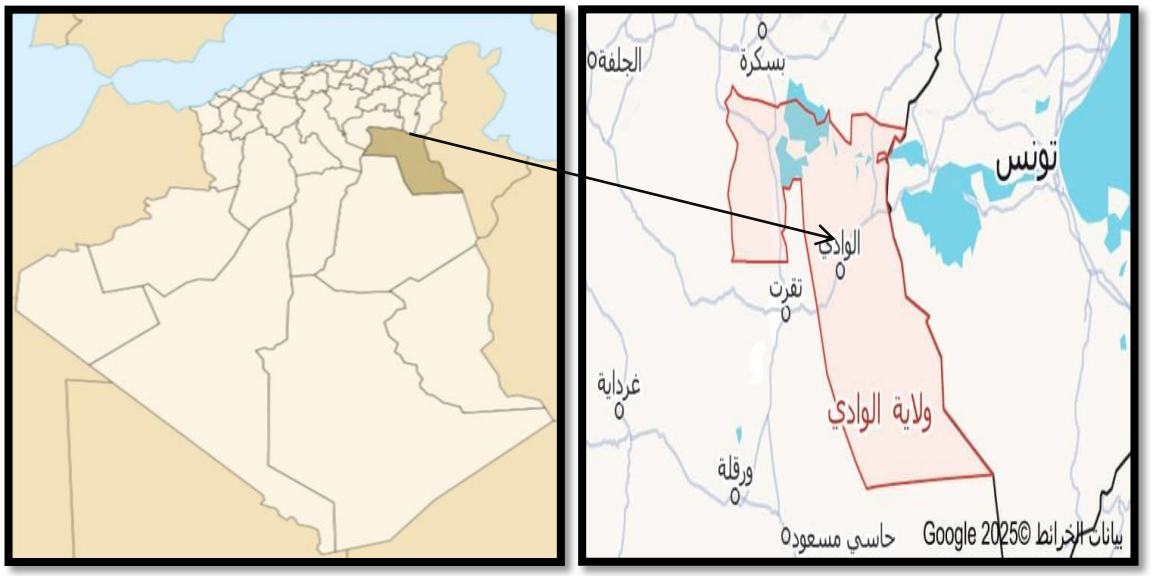
2. فترة التجربة

أُجريت التجربة خلال الفترة من 2025/2/11الى غاية 2025/4/27 في نهاية موسم الشتاء وبداية الربيع.

3. موقع التجربة

اجريت هذه التجربة في ولاية الوادي التي تقع في أقصى الجنوب الشرقي من الجزائر، على بعد حوالي 630 كلم من عاصمة الجزائر، على الحدود مع الجمهورية التونسية، وتحدها من الشمال ولايات تبسة، خنشلة، وبسكرة، ومن الغرب ولايتا الجلفة وورقلة، بينما يحدها من الجنوب ولاية ورقلة.

جغرافيًا، تُعد هذه المنطقة جزءًا من العرق الشرقي الكبير، وتمتد من الشطوط الواقعة جنوب جبال الأوراس، لا سيما شط ملغيغ، وصولًا إلى الحواف الشمالية لهضبة الطاسيلي ناجر. وهي منطقة محصورة بين الجنوب التونسي وشمال غرب ليبيا شرقًا، وبلاد ريغ وورقلة غربًا وجنوبًا، وهي محصورة بين خطي عرض 30° و34° شمالًا، وخطي طول 6° و44° شرقًا (عبد العزيز، 2015).



الشكل 4: خريطة توضح الموقع الجغرافي لولاية الوادي في الجزائر (Google Maps.2025 ؛ (https://dcommerce-eloued.dz/?page_id=16

4. خصائص مناخ منطقة التجربة

تقع ولاية الوادي ضمن نطاق مناخ صحراوي الذي يتميز بشدة الحرارة صيفا و البرودة شتاءا بسبب قلة التساقط حيث تنخفض درجة الحرارة أحيانا إلى اقل من 0 درجة مؤوية خاصة في الليالي البيض (البيضاء) التي تتكوَّن فيها طبقة من الجليد على سطح الأرض (عبد العزيز، 2015).

كما تُسجَّل في المنطقة معدلات منخفضة للرطوبة الجوية، وتُعدّ التساقطات المطرية نادرة، حيث لا يتجاوز معدلها السنوي 100 ملم. ومن أبرز الخصائص المناخية المميزة للمنطقة أيضًا عدم انتظام توزيع الأمطار على مدار السنة (حليس، 2007).

5. التربة المستخدمة في التجربة

تم جمع عينة التربة المستخدمة في هذه التجربة من محيط ولاية الوادي (وادي سوف) في حي المجاهدين بعمق 30 سم. التربة المختارة لهذه الدراسة هي تربة رملية حيث تتميّز بكونها خفيفة، ذات نفاذية عالية.

6. المادة النباتية

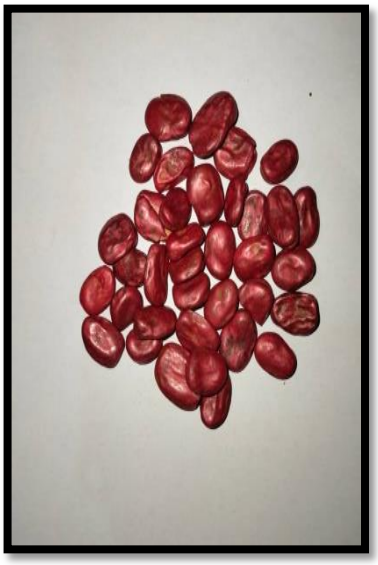
اخترنا في هذه الدراسة بذور نبات الفول الموضحة في الجدول الموالي:

الجدول 2: التصنيف النباتي لصنف الفول المستخدم في الدراسة

العائلة البقولية	Fabaceae
الصنف	Aguadulce
الإسم العلمي	*Vicia faba* L.

تم إقتناء بذورالفول (صنف Aguadulce) من نقاط البيع المعتمدة لدى الجهة الوصية كما هو مبين في الصورة اسفله.

ويتميز هذا الصنف (Aguadulce) بقرونه الطويلة والعريضة، التي تحتوي على 6 إلى 7 بذور ممتلئة، ويمكن أن يصل طولها إلى 35 سم. وهو صنف مبكر، وعالي الإنتاجية، حيث تبلغ نسبة إنباته 85%، مع درجة نقاء تصل إلى 98%. كما أنها ذات أصل فرنسي. وله خصائص مورفولوجية وفسيولوجية تجعله ملائما للدراسات الزراعية والتجريبية. كما يُظهر هذا الصنف قدرة جيدة على التكيف مع الظروف المناخية المعتدلة والباردة نسبيًا، وهو مقاوم لبعض الأمراض الفطرية الشائعة (Benelhadj & mazari, 2018).



الشكل 5: صور لبذور الفول (Aguadulce) والمعلومات التعريفية للعبوة التجارية

7. المواد و المحاليل والاجهزة المستعملة

في هذه الدراسة تم استخدام العديد من الادوات والمحاليل والأجهزة الموضحة كالتالي:

الجدول 3: قائمة المواد والمحاليل والأدوات والأجهزة المستخدمة في الدراسة

المواد	الادوات	المحاليل	الاجهزة
ملح، الفحم الحيوي، بيكربونات الصوديوم، نبات الفول ***Vicia faba* L.**	أنابيب اختبار، قارورات زجاجية فارغة، حامل الانابيب، ورق ترشيح، هاوون، بيشر، مصاصة، سحاحة، قمع، مقص، ورق المنيوم، مناديل ورقية، دورق، شريط لاصق، مسطرة.	اسيتون، ايثانول ، الفينول 5%، محاليل ملحية بتركيز 50 و70مليمول/اللتر ، ماء الجافيل، ماء الحنفية، ماء مفلتر للسقي، ماء مقطر، حمض الكبريت المركز H_2SO_4.	جهاز Spectrophotometer ، جهاز قياس الورقة CI-202 LASER AREA METER ، ميزان حساس OHAUS، ثلاجة، حاضنة، جهاز الرج vortex ، حمام مائي Water bath.

8. نوع الملح المستعمل

استعملنا في دراستنا ملح كلوريد الصوديوم NaCl، بتركيزين مختلفين (N_1,N_2):

التركيز N_1: 70 مليمول/اللتر.

التركيز N_2: 150 مليمول/اللتر.

9. الفحم الحيوي (Biochar)

تم تحضيره من مخلفات النخيل (العراجين، السعف و الليف ...) والتي جمعت من مزرعة محلية في ولاية الوادي، وذلك بإستخدام تقنية التحلل الحراري بغياب الأكسجين. ثم يضاف إلى التربة بنسب 2% وذلك استنادا لبعض المراجع مثل (Burezq & Davidson, 2023).

10. السماد العضوي

تمت إضافة كمية من السماد العضوي القديم (من فضلات الماعز) وذلك حتى لا يدخل النبات في حالة إجهاد نقص العناصر المعدنية التي يحتاجها خلال المرحلة الخضرية.

11. وصف الاصيص المستخدم

أصص من البلاستيك سعة كل واحد منها 4-5 كغ، وطولها 30 سم، وقطرها 20 سم.

12. طرق تحضير المحاليل الملحية (70 و150 ملي مول/اللتر)

تم إعداد محلول ملحي من كلوريد الصوديوم (NaCl) عن طريق إذابة 29 غرام من NaCl في 500 ملل من الماء المقطر، مع التحريك الجيد حتى تمام الذوبان. يُعادل هذا المحلول الأم تركيزًا تقريبيًا يبلغ 1 مول/لتر.

لتحضير المحاليل الملحية المستخدمة في التجربة، تم استخدام التخفيف بالماء المقطر كما يلي:

1.12. محلول بتركيز 70 ملي مول/لتر

تم أخذ 70 ملل من المحلول الأم وتخفيفه بإضافة 930 ملل من الماء المقطر ليكون الحجم النهائي 1000 مليمول/اللتر من NaCl.

2.12. محلول بتركيز 150 ملي مول/لتر

تم أخذ 150 ملل من المحلول الأم وتخفيفه بإضافة 850 ملل من الماء المقطر ليكون الحجم النهائي 1000 مليمول/اللتر من NaCl.

حيث تم تحضير المحاليل في أوعية نظيفة ومعقمة، وتم التقليب جيدًا لضمان تجانس المحلول قبل الاستخدام في المعاملات التجريبية.

13. طريقة تحضير الفحم الحيوي

تم إنتاج الفحم الحيوي باستخدام الطريقة التقليدية حيث استخدمت مخلفات النخيل (العراجين، السعف، والليف) كمادة خام لإنتاج الفحم الحيوي. جُففت المواد النباتية تحت أشعة الشمس لتقليل محتواها الرطوبي، ثم تم تقطيعها إلى أجزاء مناسبة الحجم. و وُضعت المخلفات الجافة في حاوية معدنية مغلقة (أسطوانة أو برميل حديدي) تتحمل درجات الحرارة العالية. ثم يتم إشعال المخلفات ببطء. وبعدها تغطية الحاوية بإحكام مع ترك فتحات صغيرة لدخول الهواء وخروجه أثناء عملية التحلل الحراري.

تبدأ عملية التحلل الحراري تدريجيًا وتستمر لمدة تتراوح بين 2 إلى 4 ساعات حسب كمية المخلفات ودرجة الحرارة المتولدة داخليًا، إلى أن تكتمل عملية الاحتراق.

بعد الانتهاء من هذه العملية تُترك الحاوية لتبرد تمامًا دون فتحها مباشرة لتفادي تفاعل الفحم الساخن مع الهواء. بعد التبريد، يُجمع الفحم الحيوي الناتج ثم يُطحن عندها يكون جاهزا لاستخدامه في الزراعة.

14. التحضير لإجراءات الإنبات

تم إجراء عملية الزرع بعد التأكد من سلامة البذور. وتم تطهير البذور باستخدام محلول ماء الجافيل المخفف لمدة 10 دقائق ثم غسلها بالماء المقطر، قبل أن يتم زراعتها في الأصص.

15. تحضير الاوساط التجريبية

تم إعداد الأوساط التجريبية وتوزيعها في أصص زراعية، بحيث شملت التجربة أربعة مكررات لكل معاملة من معاملات التجربة، ليبلغ العدد الكلي للأصص المستخدمة 16 أصيصًا. ولغرض تسهيل عملية المتابعة والتقييم خلال فترة إجراء التجربة. تم ترميز المعاملات التجريبية باستخدام التسميات المحددة على النحو التالي:

الجدول: ترميز مختلف المعاملات التجريبية المستخدمة في الدراسة وفقًا لظروف المعالجة

SV	SVB	SVN1	SVN2
SVR1	SVBR1	SVN1R1	SVN2R1
SVR2	SVBR2	SVN1R2	SVN2R2
SVR3	SVBR3	SVN1R3	SVN2R3
SVR4	SVBR4	SVN1R4	SVN2R4

S: تربة (Sol)

B: فحم حيوي (Biochar)

N: ملوحة Salinite (NaCl)

N_1: معاملة بملوحة تركيز 70 ملي مول/لتر

N_2: معاملة بملوحة تركيز 150 ملي مول/لتر

V: صنف (Variete)

R: التكرار (Repitition)

16. تنفيذ التجربة

تم ملء أصص التجربة بما تحتاجه كل معاملة من رمل وفحم حيوي وملوحة مع إبقاء 2 سم في أعلى الأصيص للسقي. بعد تجهيز التربة، تم تنفيذ عملية البذر بوضع خمسة بذور معالجة في كل أصيص، بعمق حوالي 1 سم.

بالنسبة لعملية الري، فقد تم سقي الأوساط غير المعاملة بالملح باستخدام ماء مفلتر، بينما تم سقي الأوساط المعاملة بمحاليل ملحية محضّرة مسبقًا بتركيزين: 70 ملي مول/لتر في (SVN_1) و150 ملي مول/لتر في (SVN_2).

تمت متابعة عملية الإنبات يوميًا بشكل منتظم لرصد مراحل هذه العملية بدقة، مع حساب معدل الإنبات بشكل يومي خلال فترة تراوحت بين 7 و14 يومًا.

17. المعايير المدروسة

1.17 نسبة الانبات (GP)

تم قياس نسبة الانبات حسب القانون أسفله:

$$GP=n/N\times100$$

حيث n: تمثل عدد البذور المنبتة و N عدد البذور المزروعة (Fateme et *al*., 2016)

2.17 سرعة الانبات (GR)

تم قياس سرعة الانبات حسب القانون اسفله:

$$GR=G1\times Day1+G2\times Day2+.....+Gn\times Dayn/GP$$

حيث:

Gn: عدد البذور النابتة في اليوم (Kader, 2005)

3.17 طول الساق

تم قياس طول الساق لكل مكررة بمسطرة مدرجة بالسنتيمتر.

4.17 المساحة الورقية

تم قياس المساحة الورقية عن طريق الجهاز (CI-202 LASER AREA METER) بالسنتيمتر المربع.

18. تقدير الكلوروفيل (A و B) في الأوراق

نقدر تركيز الكلوروفيل في الأوراق بإتباع ما جاء به (فرشة، 2001) والملخصة فيما يلي:

نحضر حجم كافٍ من المذيب المشكل من 75% أسيتون و25% إيثانول، ونقطع 100 ملغ من الأوراق الخضراء إلى قطع صغيرة ونغمرها في 10 ملل من المذيب ثم نحفظها في مكان دافئ و مظلم لمدة 48 ساعة، نقرأ الكثافة الضوئية لمختلف مستخلصات العينات بواسطة جهاز Spectro على طول موجة 663 nm و645 nm مع مراعاة ضبط الجهاز بواسطة الشاهد ليحسب بعدها تركيز الكلوروفيل بالعلاقة التالية:

تركيز الكلوروفيل A = 12,9 × (القراءة على 663) - 2.67 ×(القراءة على 645) ملغ / 100 ملغ مادة نباتية

تركيز الكلوروفيل B =22.5 × (القراءة على 645) - 4.68 × (القراءة على 663) ملغ / 100 ملغ مادة نباتية

19. تقدير السكريات الكلية في الأوراق

تم تقدير السكريات بطريقة الفينول حسب (فرشة، 2001)، حيث نأخذ 100 ملغ من الأوراق النباتية لمختلف العينات، ونغمرها في 30 ملل من Ethanol (80%) لمدة 48 ساعة في مكان مظلم.

يبخر الكحول بوضع العينات في حاضنة على 85 درجة مئوية، ثم نضيف لكل عينة 20 ملل من الماء المقطر في أنابيب زجاجية. نأخذ 1 ملل من كل مستخلص و نضيف له 1 ملل من الفينول (5%) و 5 ملل من حمض الكبريت المركز H_2SO4 مع مراعاة نزول الحمض مباشرة في المستخلص و عدم ملامسته جدران الأنابيب ليتم التفاعل جيدا، نرج العينات بواسطة جهاز vortex من أجل مجانسة اللون و بعد 10 د نضع العينات في حمام مائي درجته 30 درجة مئوية لمدة 15 دقيقة. نقرأ الكثافة الضوئية على جهاز Spectrophotometer بطول موجة 490 nm.

انطلاقا من القراءات للمحاليل السابقة على جهاز Spectrophotometer بطول موجة 490 mm نرسم المنحنى و الذي نحصل من خلاله على المعادلة التالية:

تركيز السكريات = 1,24 + 97,44 × (القراءة على 490 nm) ميكروغ / 100 ملغ مادة نباتية

20. الوزن الجاف

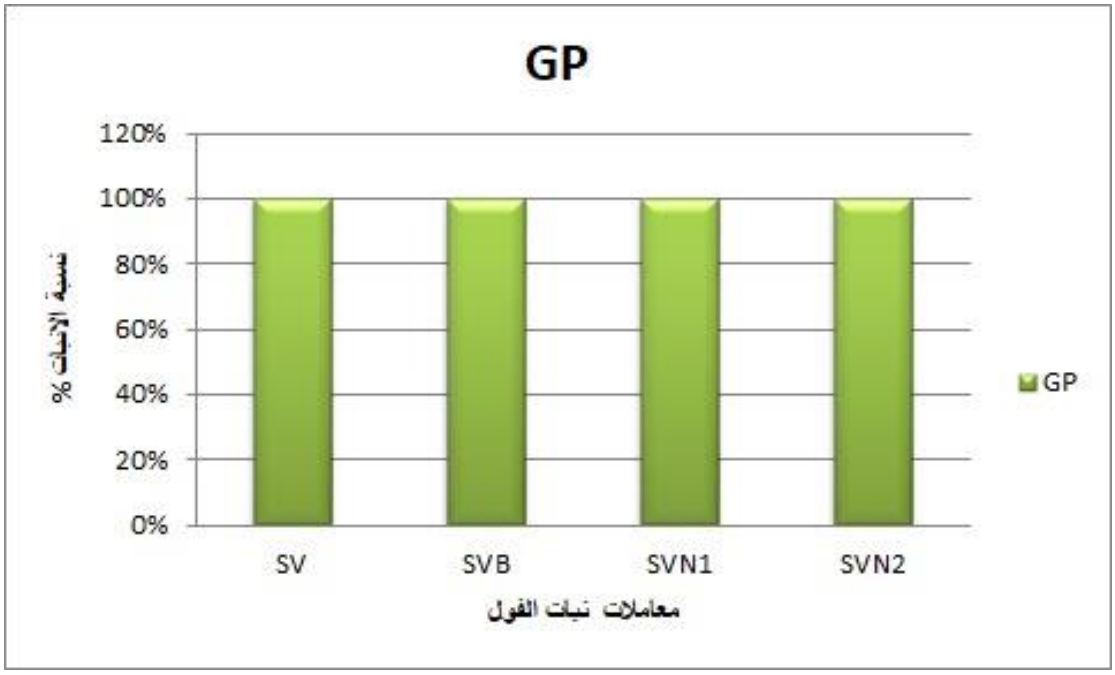
عند وصول النبات الى نهاية المرحلة الخضرية تم فصله عن التربة بحذر حفاظا على جميع أجزائه، عندها يتم وضعه في حاضنة بدرجة حرارة 104 درجة مئوية لمدة 4 ساعات حتى يثبت الوزن ويتم قياس الوزن الجاف لكل مكررة.

الفصل الثاني

النتائج والمناقشة

النتائج والمناقشة

1. نسبة الانبات (GP)



الشكل 6: نسبة الانبات GP لنبات الفول في مختلف معاملات التجربة

أظهرت النتائج أن جميع المعاملات التجريبية، SV (تربة فقط)، والمعاملة SVB (تربة + فحم الحيوي)، والمعاملتين SVN1 وSVN2 (تربة + ملوحة بتركيز 70 و150 مليمول/اللتر على التوالي)، قد سجلت نسبة إنبات بلغت 100%، ما يشير إلى قدرة عالية للبذور المستخدمة على الإنبات تحت ظروف مختلفة، بما في ذلك الظروف الملحية.

تشير هذه النتيجة إلى أن مرحلة الإنبات لم تتأثر سلبًا بالملوحة، حتى عند التركيز العالي (150 مليمول/اللتر)، وهو ما قد يُعزى إلى عدة عوامل:

قوة حيوية البذور: تُعد حيوية البذور العالية من العوامل الأساسية التي تمكّنها من الإنبات بنجاح حتى تحت ظروف بيئية غير مثالية. فالبذور ذات الحيوية المرتفعة تكون أكثر قدرة على امتصاص الماء وبدء النشاط الأيضي، حتى في وجود ضغوط أسموزية معتدلة إلى عالية (Kader, 2005).

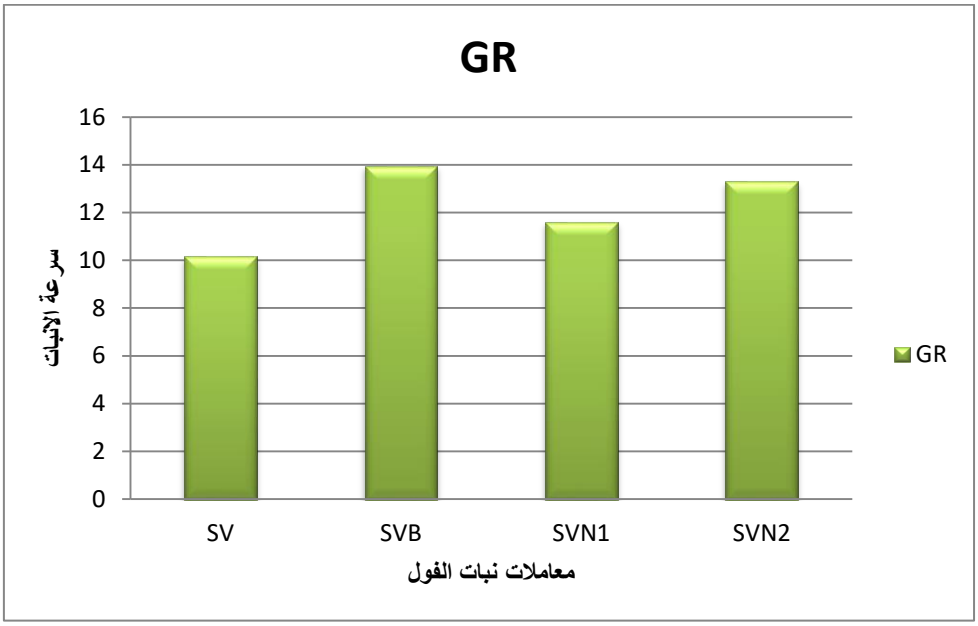
قصر مدة الاختبار: في بعض الحالات، لا تظهر التأثيرات السلبية للملوحة خلال الأيام الأولى للإنبات، خصوصًا إذا كانت الملوحة لا تتجاوز الحد الحرج للبذور المستخدمة (Cherifi et *al.*, 2016). وقد أشار (Tlahig et *al.*, 2021) إلى أن بعض أصناف البقوليات تظهر تحمّلًا نسبيًا للإجهاد الملحي خلال المرحلة الأولى من النمو، لكن التأثيرات تظهر بشكل أوضح في مراحل لاحقة كالنمو الخضري.

تأثير الفحم الحيوي: تتوافق نسبة الإنبات الكاملة (100%) مع التوقع الإيجابي لاستخدام الفحم الحيوي، فهي لم تُظهر أي ضرر. لكنها لم تُظهر تفوقًا إحصائيًا واضحًا على التربة غير المعالجة (SV) في هذه التجربة بالنسبة لمعيار الإنبات فقط. هذا قد يعود لأن التربة الأصلية (SV) كانت جيدة بما يكفي لتحقيق إنبات مثالي دون إضافة الفحم، أو أن إضافة الفحم الحيوي لم تؤثر بشكل مباشر على قدرة بذور الفول على الإنبات خلال المرحلة الأولى من النمو. ويُحتمل أن الفحم الحيوي لم يكن له دور فعّال في تحسين أو تثبيط عملية الإنبات في هذه المرحلة، مما يدل على أن تأثيره محدود في ظل توفر ظروف بيئية ملائمة مبدئيًا مثل الرطوبة والتهوية ودرجة الحموضة (Farooq et *al*., 2016). وتشير دراسات سابقة إلى أن الأثر الإيجابي للفحم الحيوي على نمو النبات غالبًا ما يظهر بشكل أوضح في المراحل الخضرية، حيث تبدأ الجذور بالتفاعل مع التربة ويتعزز امتصاص العناصر الغذائية والماء (Joseph et *al*., 2013). وبالتالي، فإن عدم وجود فرق معنوي في نسبة الإنبات لا ينفي احتمال حدوث فروقات مهمة في النمو والتطور لاحقًا.

التحمّل الفيسيولوجي الأولي للملوحة: من المعروف أن مرحلة الإنبات قد تكون أقل حساسية نسبيًا من مراحل النمو اللاحقة تجاه الملوحة، وذلك لأن البذور تعتمد بشكل رئيسي على محتوياتها الغذائية الذاتية. وقد بين (Munns et Tester, 2008) أن التأثيرات السامة للأملاح تزداد وضوحًا عند بدء امتصاص النبات للماء والعناصر من التربة بعد إنبات الجنين وتطور الجذور.

تشير النتائج إلى أن البذور المستخدمة أظهرت تحملًا ملحوظًا للملوحة في مرحلة الإنبات، سواء بتركيز 70 أو 150 مليمول/اللتر، كما أن المعاملة بالفحم الحيوي لم تعرقل أو تعزز نسبة الإنبات بشكل واضح، مما يدل على أن العوامل البيئية المختلفة لم تكن عائقًا أمام إنبات البذور في هذه الدراسة. وبناءً على ذلك، توصي الدراسة بمتابعة المراحل اللاحقة للنمو (الطور الخضري) لتقييم التأثيرات الفعلية للملوحة والفحم الحيوي على نمو النبات واستجاباته الفسيولوجية.

2. سرعة الإنبات GR



الشكل 7: سرعة الإنبات GR لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة.

أظهرت النتائج أن المجموعة الضابطة (SV)، التي تمثل التربة غير المعالجة، سجلت سرعة إنبات بلغت 10.15، مما يعكس الأداء الطبيعي لصنف الفول (Aguadulce) في ظروف النمو الاعتيادية. وتُعد هذه القيمة بمثابة خط الأساس الذي تُقارن به تأثيرات المعاملات المختلفة

عند إضافة الفحم الحيوي (SVB) إلى التربة، ارتفعت سرعة الإنبات بشكل ملحوظ لتصل إلى 13.95، يعكس هذا التحسن الدور الإيجابي للفحم الحيوي كمعدل للتربة، ويمكن تفسيره بعدة آليات رئيسية:

أولاً - يعمل الفحم الحيوي على تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة من خلال زيادة المسامية والقدرة على الاحتفاظ بالرطوبة، مما يُوفر بيئة أكثر ملاءمة لانتفاخ البذور وبدء عملية الإنبات (Lehmann et *al*., 2011).

ثانياً - يُعد الفحم الحيوي بيئة مناسبة لنمو الكائنات الحية الدقيقة المفيدة التي قد تعزز توفر العناصر الغذائية أو تكبح مسببات الأمراض (Sohi et *al*., 2010).

ثالثاً - يمكن للفحم الحيوي تعديل التوازن الغذائي في التربة من خلال إطلاق أو احتجاز بعض المغذيات وتقليل الفقد عبر الرشح (Major et *al*., 2010). تشير هذه النتائج إلى قدرة الفحم الحيوي على دعم بداية النمو حتى في ظروف غير مجهدة.

أما في ظروف الإجهاد الملحي المتوسط (SVN1)، حيث تم استخدام تركيز ملوحة قدره 70 ملي مول/اللتر فقد سُجلت أعلى قيمة لسرعة الإنبات حيث بلغت 11.6. هذا الارتفاع الغير متوقع مقارنة بالشاهد يشير إلى ظاهرة محتملة تُعرف بـ الهرميس (Hormesis)، وهي استجابة إيجابية للكائن الحي نتيجة التعرض لمستوى منخفض أو متوسط من الإجهاد، حيث يُحفز هذا النوع من الإجهاد المؤقت مسارات دفاعية تعزز

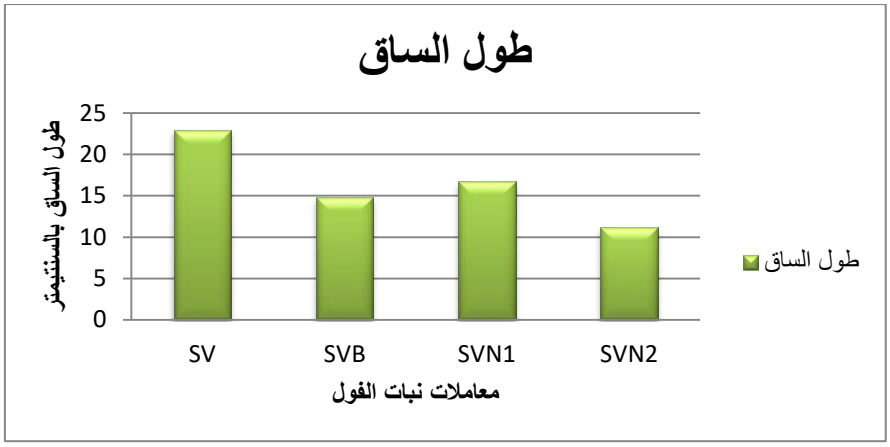
الإنبات والنمو المبكر (Calabrese, 2014). من المحتمل أن يكون تركيز 70 ملي مول/اللتر ضمن النطاق التحفيزي لصنف Aguadulce، مما يسمح له بتحقيق أداء إنباتي أفضل. كما أن هذه الاستجابة قد تعكس درجة من التحمل الملحي الأولي لدى الصنف، تجعله قادرًا على الاستفادة من الإجهاد المتوسط بدلًا من التأثر السلبي به (Mansour, 1994).

بالمقابل، أدى رفع تركيز الملوحة إلى 150 ملي مول/اللتر في معاملة SVN_2 إلى انخفاض طفيف في سرعة الإنبات إلى 13.3، رغم أنها لا تزال أعلى من المجموعة الشاهدة. يشير هذا الانخفاض إلى بداية ظهور التأثيرات السلبية للإجهاد الملحي الحاد، حيث تجاوزت الملوحة عتبة التحمل المثالية للصنف. تؤدي الملوحة المرتفعة إلى خلق ضغط أسموزي كبير يُعيق امتصاص الماء، بالإضافة إلى تراكم أيونات سامة (مثل الصوديوم والكلوريد) قد تُعطل العمليات الأيضية الحيوية (Munns & Tester, 2008). كما يُوضح الفرق بين SVN_1 وSVN_2 وجود نمط جرعة-استجابة، يعكس التدرج في التأثير السلبي مع زيادة شدة الإجهاد الملحي.

بشكل عام، يُظهر الفحم الحيوي تأثيرًا تحفيزيًا واضحًا على سرعة إنبات الفول، مقارنة بالتربة غير المعالجة، مما يُعزز من مكانته كمعدل تربة فعال لتحسين ظروف الإنبات والنمو في البيئات الزراعية. في المقابل، تبرز استجابة الإنبات للملوحة بنمط غير خطي، حيث أدت الملوحة المتوسطة إلى تحفيز ملحوظ، بينما بدأت الملوحة العالية بالتأثير السلبي، مما يدعم وجود استجابة هرميسية لصنف Aguadulce في هذه المرحلة من النمو.

إن تفوق معاملات SVN_1 وSVN_2 على SV يشير إلى امتلاك الصنف درجة من التحمل الملحي الأولي، غير أن تحديد طبيعة هذا التحمل سواء كان ناتجًا عن آليات تجنب أو تحمّل مباشرة يتطلب دراسات فسيولوجية وجزيئية معمقة. كما يُبرز تفوق SVB على SV الدور المحتمل للفحم الحيوي في التخفيف الجزئي من آثار الإجهاد الملحي أو تحسين الظروف العامة للإنبات، مما يجعله خيارًا واعدًا في برامج إدارة التربة.

3. طول الساق



الشكل 8: طول الساق لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

سجّلت المعاملة SV (الشاهد) أعلى متوسط لطول الساق (22.92 سم)، ما يعكس الظروف المثالية التي توفرها التربة غير المعاملة، من حيث التهوية، توازن الأملاح، وتوفر العناصر الغذائية الأساسية، مما أتاح للنبات تحقيق نمو طولي طبيعي.

أما المعاملة SVN_2، التي تعرضت لملوحة مرتفعة (150 ملي مول/اللتر)، فقد سجلت أدنى طول للساق (11.2 سم). هذا الانخفاض الحاد يُعزى إلى التأثيرات السامة للأيونات Na^+ وCl^-، والتي تؤدي إلى انخفاض القدرة على امتصاص الماء وتثبيط عمليات النمو الخلوي والانقسام، مما يسبب تقزم النبات (Munns & Tester, 2008).

في المقابل، أظهرت المعاملة SVN_1 (70ملي مول/اللتر) أداءً أفضل من SVN_2، حيث بلغ متوسط طول الساق (16.76 سم). ويعكس هذا الفرق استجابة النبات النسبية لمستوى الإجهاد، حيث يكون التأثير أقل حدة عند التركيزات الملحية المعتدلة، ويظل النبات قادرًا على تفعيل آليات دفاعية فيزيولوجية مثل تعديل الضغط الأسموزي أو تراكم السكريات الذائبة (Zörb et *al.*, 2019).

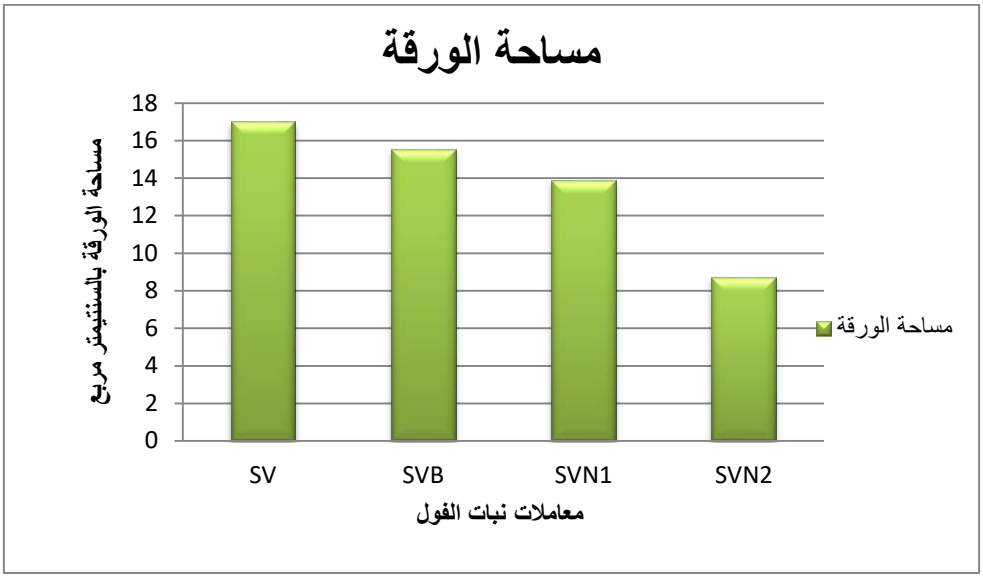
أما المعاملة SVB (معاملة بالفحم الحيوي)، فقد سجلت متوسطًا لطول الساق (14.82 سم)، وهو أقل من SVN_1 ولكنه أعلى من SVN_2 ، مما يشير إلى أن إضافة الفحم الحيوي ساعدت في التخفيف من آثار الإجهاد البيئي المحتمل. ويُعزى هذا التحسن إلى خصائص الفحم الحيوي في تحسين التهوية، تعديل درجة الحموضة، تعزيز السعة التبادلية الكاتيونية، وتوفير بيئة دقيقة أكثر استقرارًا لجذور النبات (Lehmann et *al.*, 2011).

ومنه تشير هذه النتائج إلى أن الإجهاد الملحي يؤثر سلبًا وبشكل تدريجي على النمو الطولي للنبات، وكلما زادت شدة الملوحة، زاد الضرر المترتب على النمو الخضري. في المقابل، ساهم الفحم الحيوي في تحسين النمو الخضري مقارنة بالمعاملة الأكثر ملوحة، مما يؤكد فعاليته كوسيلة لتحسين بنية التربة والحد من تأثير الملوحة. بناءً عليه، تبرز أهمية تبني استراتيجيات مثل استخدام الفحم الحيوي في إدارة الترب

المتدهورة، ليس فقط لتحسين الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة، بل أيضًا لتعزيز استجابة النبات ونموه تحت ظروف إجهاد ملحي.

4. المساحة الورقية

وقد أظهرت النتائج القيم التالية لمساحة الورقة (بالسم²):



الشكل 9: المساحة الورقية لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

تمثل مساحة الورقة أحد أهم المؤشرات المورفولوجية المرتبطة بالنمو الكلي للنبات، نظرًا لعلاقتها المباشرة بعملية التمثيل الضوئي وكفاءة استخدام الموارد. وكما هو موضح في الشكل البياني أعلاه، أظهرت النتائج اختلافًا واضحًا في مساحة الورقة تحت تأثير المعاملات التجريبية الأربع.

سجلت المعاملة SV (التربة غير المعاملة) أعلى متوسط لمساحة الورقة بلغ 17.01 سم²، مما يعكس الظروف المثلى للنمو الخضري في غياب أي إجهادات خارجية. بينما أظهرت المعاملة SVN_2، التي تعرضت لملوحة عالية بتركيز 150 ملي مول/اللتر، أدنى مساحة ورقية بمعدل 8.72 سم²، مما يشير بوضوح إلى التأثير السلبي للإجهاد الملحي العالي في تقليص النمو الورقي. ويرجع ذلك إلى الانخفاض في معدل انقسام وتمدد الخلايا، إضافة إلى التأثيرات الفسيولوجية للملوحة مثل اضطراب الاتزان المائي، وتراكم الأيونات السامة (Na^+ وCl^-) داخل الأنسجة النباتية (Munns & Tester, 2008).

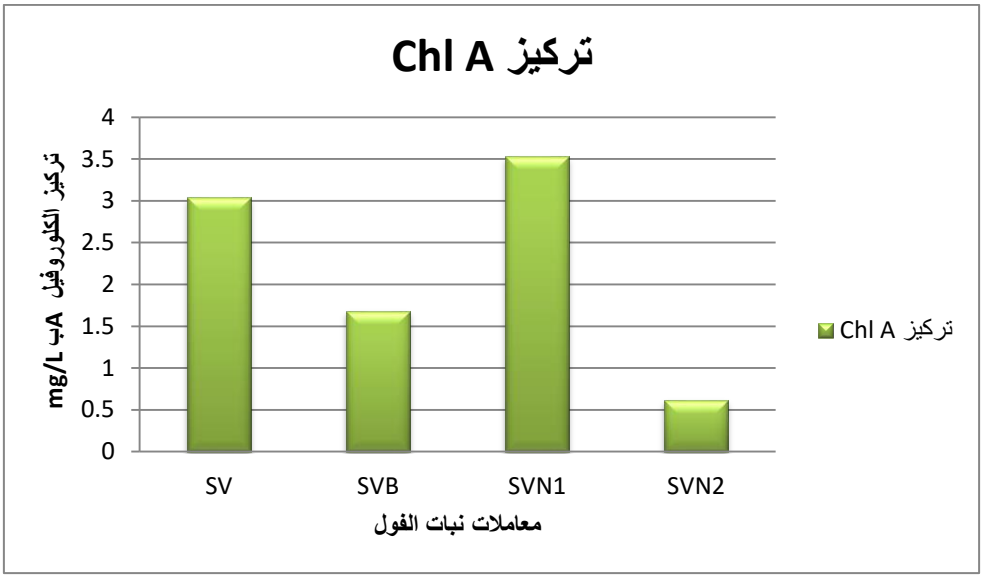
أما التربة المعاملة بتركيز ملوحة متوسط (70 ملي مول/اللتر) والممثلة بالمعاملة SVN_1، فقد أظهرت تحسنًا نسبيًا في مساحة الورقة (13.88 سم²) مقارنة بالمعاملة الملحية القصوى، ما يدل على أن شدة الإجهاد تحدد مدى استجابة النبات، إذ تكون التأثيرات أكثر وضوحًا في التركيزات المرتفعة.

من جهة أخرى، لوحظ أن المعاملة SVB، التي تضمنت إضافة الفحم الحيوي للتربة، قد ساهمت في تحسين مساحة الورقة إلى 15.54 سم² مقارنة بالمعاملات الملحية، مما يدل على الدور الإيجابي للفحم

الحيوي في تخفيف تأثير الإجهادات البيئية من خلال تحسين خصائص التربة مثل الاحتفاظ بالماء، وتعديل pH، وامتصاص الأيونات السامة، إضافة إلى تعزيز النشاط الميكروبي النافع ومع ذلك، تبقى هذه القيمة أقل من المعاملة المرجعية، مما يشير إلى أن الفحم الحيوي لا يعوض بالكامل غياب الظروف المثالية، بل يخفف فقط من حدة الإجهاد (Lehmann et *al*., 2011).

تُظهر النتائج أن الملوحة تُقلل من مساحة الورقة بوضوح، خاصة عند التركيزات العالية، بينما يساهم الفحم الحيوي في تخفيف هذه التأثيرات السلبية وتحسين النمو الورقي. وتشير هذه النتائج إلى أن إدارة التربة بإضافة الفحم الحيوي تُعد استراتيجية واعدة لتحسين الإنتاج النباتي في الأراضي المتأثرة بالملوحة، إذ تساهم في تعويض نسبي عن تدهور الخصائص البيئية للتربة الملحية.

5. تركيز الكلوروفيل A



الشكل 10: تركيز الكلولروفيل A لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

تمثل الوثيقة البياني مقارنة لتركيز الكلوروفيل A تحت تأثير أربع معاملات مختلفة للتربة، وقد أظهرت النتائج تباينًا ملحوظًا في تركيز الكلوروفيل A بين المعاملات المختلفة. حيث سُجل أعلى تركيز في معاملة SVN_1 (تربة معاملة بالملوحة بتركيز 70 ملي مول/اللتر)، حيث بلغ 3.53 mg/L، تلتها تربة الشاهد SV بتركيز 3.04 mg/L، ثم SVB (تربة معاملة بالفحم الحيوي) بتركيز 1.68 mg/L، وأدنى قيمة لوحظت في معاملة SVN_2 (ملوحة بتركيز 150 ملي مول/اللتر) حيث بلغ التركيز 0.62 mg/L.

أوضحت النتائج أن زيادة تركيز الأملاح في التربة كان لها تأثير سلبي واضح على محتوى الكلوروفيل A. حيث أن معاملة SVN_2، التي تحتوي على تركيز مرتفع من NaCl (150 ملي مول/اللتر)، أدت إلى انخفاض حاد في تركيز الكلوروفيل. ويتوافق هذا مع ما أشار إليه (Gul et *al*,. 2022) حيث أن الإجهاد الملحي يؤدي إلى اضطرابات في البنية التشريحية والفسيولوجية للبلاستيدات الخضراء، مسببًا تحلل

الكلوروفيل وتسارع الشيخوخة الخلوية. ويُعزى هذا الانخفاض إلى التأثير السمي لأيونات Na^+ وCl^-، والتي تؤثر سلبًا على استقرار أغشية الثايلاكويد الضرورية لعملية التركيب الضوئي.

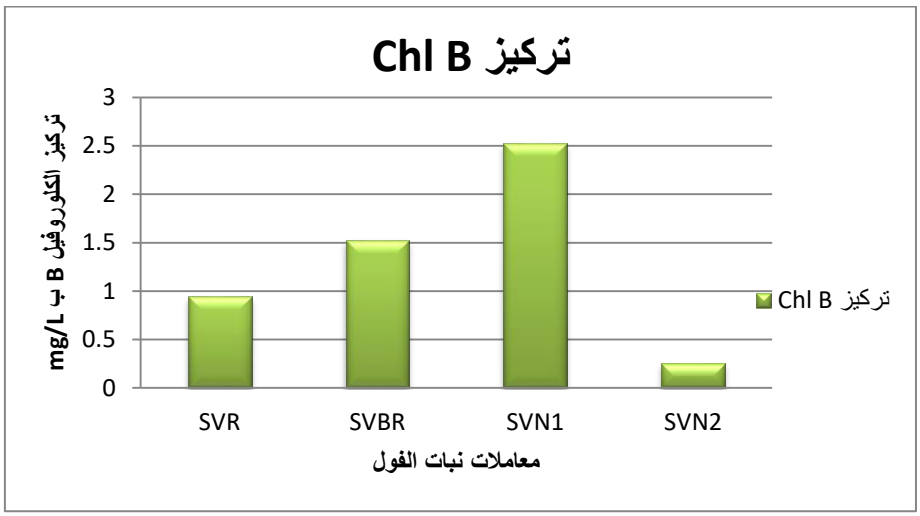
وعلى عكس المتوقع، أظهرت معاملة (SVN_1 70 ملي مول/اللتر) ارتفاعًا ملحوظًا في محتوى الكلوروفيل مقارنة بالشاهد. وقد يُفسَّر هذا بنتيجة "التحفيز التأقلمي" الناجم عن مستويات معتدلة من الإجهاد، حيث أشار العديد من الباحثين من بينهم (Zulfiqar et *al*., 2020؛ Parida & Das, 2005) إلى أن بعض النباتات قد تستجيب لمستويات معتدلة من الملوحة بتنشيط آليات مضادة للأكسدة وتحسين كفاءة التمثيل الضوئي كوسيلة للتأقلم.

أما بخصوص معاملة SVB، فقد سُجل انخفاض في محتوى الكلوروفيل مقارنة بالشاهد، رغم أن هذا الانخفاض كان أقل حدة من تأثير الملوحة المرتفعة. ويمكن تفسير هذا بان الفحم الحيوي ، رغم فوائده المعروفة في تحسين خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية، قد يؤدي إلى تثبيت بعض العناصر الغذائية الدقيقة اللازمة لتخليق الكلوروفيل مثل المغنزيوم والحديد، خصوصًا إذا لم يكن متحللاً بشكل كافٍ أو أُضيف بتركيزات غير مناسبة. كما أن طبيعة الفحم الحيوي (نوع المادة الأولية، درجة التحلل الحراري) تلعب دورًا حاسمًا في تحديد أثره على النمو النباتي (Lehmann & Joseph, 2015).

في التربة غير المعالجة (SVR)، لوحظ مستوى معتدل من الكلوروفيل، مما يعكس الظروف الطبيعية للنمو دون وجود إجهادات خارجية. وتُعد هذه المعاملة مرجعًا يُقارن به تأثير الملوحة والفحم الحيوي.

تشير هذه النتائج إلى أن الملوحة المرتفعة لها أثر سلبي واضح على البنية الفسيولوجية للنبات، في حين أن الملوحة المعتدلة قد تؤدي إلى تنشيط بعض الاستجابات التكيفية. أما الفحم الحيوي ، فعلى الرغم من كونه مكملاً زراعياً واعداً، فإن تأثيره على النمو الفسيولوجي للنبات يتوقف على عوامل عديدة مثل نوعه وخصائص التربة المُضافة إليه.

6. تركيز الكلوروفيل B



الشكل 11: تركيز الكلوروفيل B لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

يوضح الشكل البياني تركيز الكلوروفيل B في نبات الفول الصنف (Aguadulce) المزروع تحت تأثير أربع معاملات مختلفة للتربة. أظهرت النتائج أن أعلى تركيز للكلوروفيل B سُجّل عند المعاملة SVN_1 (تربة معاملة بالملوحة تركيز 70 ملي مول/اللتر) حيث بلغ 2.52 mg/L، متبوعة بمعاملة SVB (تربة معاملة بالفحم الحيوي) بتركيز 1.52 mg/L، ثم معاملة SV (تربة الشاهد غير المعاملة) بتركيز 0.94 mg/L، في حين سجّلت المعاملة SVN_2 (تربة ملوحة تركيز 150 ملي مول/اللتر) أدنى تركيز وقدره 0.25 mg/L.

أوضحت المعاملتان الملحيتان نتائج متناقضة من حيث تأثير الملوحة على الكلوروفيل B، إذ أن الملوحة بتركيز منخفض (70 ملي مول/اللتر – SVN_1) أدت إلى ارتفاع واضح في تركيز الكلوروفيل مقارنة بالشاهد. ويفسر هذا الارتفاع بظاهرة "التحفيز التأقلمي" الناتج عن مستويات معتدلة من الإجهاد الملحي، حيث تنشط بعض المسارات الأيضية الدفاعية التي تُحسّن من إنتاج الأصباغ وخاصة الكلوروفيلات (Gul et *al.*, 2022؛ Parida & Das, 2005).

أما في المعاملة ذات التركيز الأعلى (150 ملي مول/اللتر – SVN_2)، فقد حدث انخفاض حاد في تركيز الكلوروفيل B، ما يعكس التأثير السام للملوحة المرتفعة. وتؤدي الملوحة العالية إلى تحلل الكلوروفيل وتعطيل عمل الإنزيمات المرتبطة بتخليقه مثل إنزيم chlorophyll synthase، كما تؤثر على سلامة أغشية الثايلاكويد الضرورية لاحتواء الكلوروفيلات إضافة إلى ذلك، يؤدي الإجهاد الملحي إلى تراكم أنواع الأوكسجين التفاعلية (ROS) التي تهاجم أصباغ الكلوروفيل وتُعجّل من تحللها (Zulfiqar et *al.*, 2020).

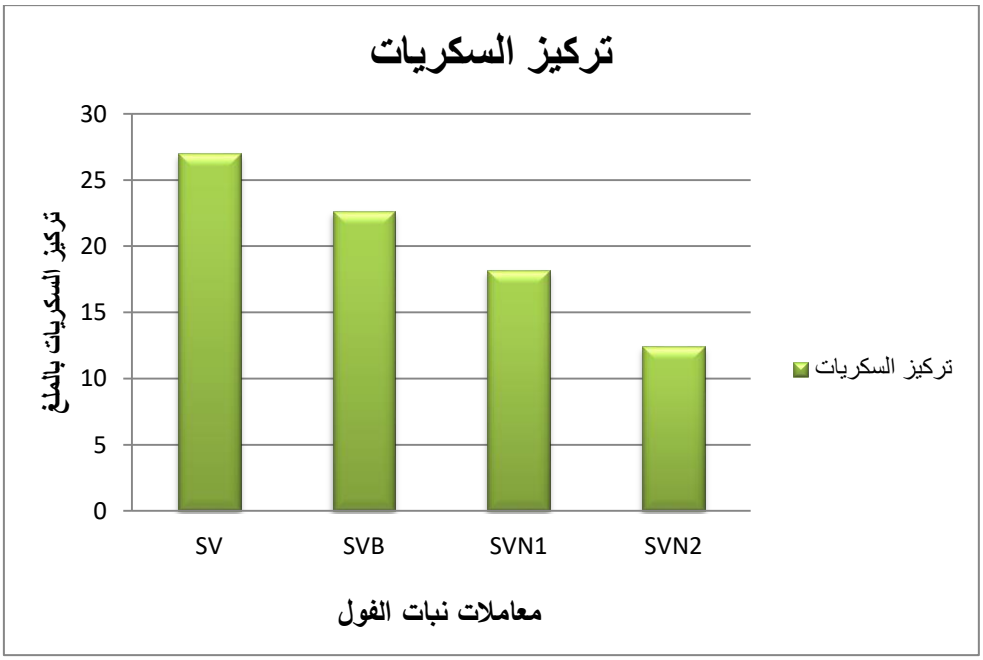
سجلت معاملة SVB تركيزًا أعلى من الشاهد، ما يشير إلى أن الفحم الحيوي كان له تأثير إيجابي على محتوى الكلوروفيل B. ويُعزى هذا التأثير إلى قدرة الفحم الحيوي على تحسين الخصائص الفيزيائية

والكيميائية للتربة مثل زيادة سعة التبادل الكاتيوني، وتحسين توفر المغذيات الدقيقة (كالحديد والمغنزيوم)، وتعديل درجة الحموضة، مما يعزز من تركيب الكلوروفيل ووظائفه (Lehmann & Joseph, 2015؛ Biederman & Harpole, 2013). كما أن الفحم الحيوي قد يساهم في تحسين بنية التربة وتثبيط بعض الضغوط البيئية غير الحيوية.

سجلت معاملة SV تركيزًا متوسطًا للكلوروفيل B 0.94 mg/L، مما يدل على أن التربة غير المعالجة توفّر ظروفًا نمو متوازنة دون محفزات خارجية. وبالتالي فهي تمثل المستوى المرجعي لمقارنة فعالية المعاملات الأخرى.

تشير هذه النتائج إلى أن تأثير الملوحة على الكلوروفيل B يعتمد بشكل كبير على مستوى التركيز، حيث أن المستويات المنخفضة قد تكون محفزة، في حين أن المستويات العالية تؤدي إلى تثبيط التمثيل الضوئي. أما الفحم الحيوي ، فقد أثبت دوره الإيجابي في تعزيز التمثيل الضوئي عبر تحسين بيئة التربة، مما يعكس إمكانيته في تخفيف الآثار السلبية للإجهادات البيئية.

7. تركيز السكريات



الشكل 12: تركيز السكريات لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

كما هو موضح في الشكل البياني أعلاه، ووفقًا للبيانات المسجلة، تم قياس تركيز السكريات الكلية (الجلوكوز) في نبات الفول صنف Aguadulce المزروع تحت أربع معاملات:

سجّلت المعاملة SV (التربة غير المعاملة) أعلى تركيز للسكريات بلغت 27.007 µg/mL، مما يعكس ظروفًا مثالية للنمو دون أي نوع من أنواع الإجهاد، حيث يُمكن للنبات تخصيص نواتجه الأيضية لتخزين السكريات دون الحاجة إلى استجابات دفاعية أو تأقلمية.

أما في المعاملات المعرضة للإجهاد، فقد لوحظ انخفاض تدريجي في تركيز السكريات مع زيادة حدة الإجهاد الملحي. فسجلت المعاملة SVN_2 (ملوحة 150 ملي مول/اللتر) أدنى تركيز بلغ 12.44 µg/mL، بينما سجلت SVN_1 (ملوحة 70 ملي مول/اللتر) 18.19 µg/mL. يُعزى هذا الانخفاض إلى اضطراب العمليات الحيوية الأساسية كالبناء الضوئي والتمثيل الغذائي، إلى جانب الاستهلاك المتزايد للسكريات كمصدر للطاقة والدفاع الأسموزي في مواجهة الإجهاد الملحي، وهو ما تؤكده دراسات متعددة مثل ما ورد في (Parida & Das, 2005).

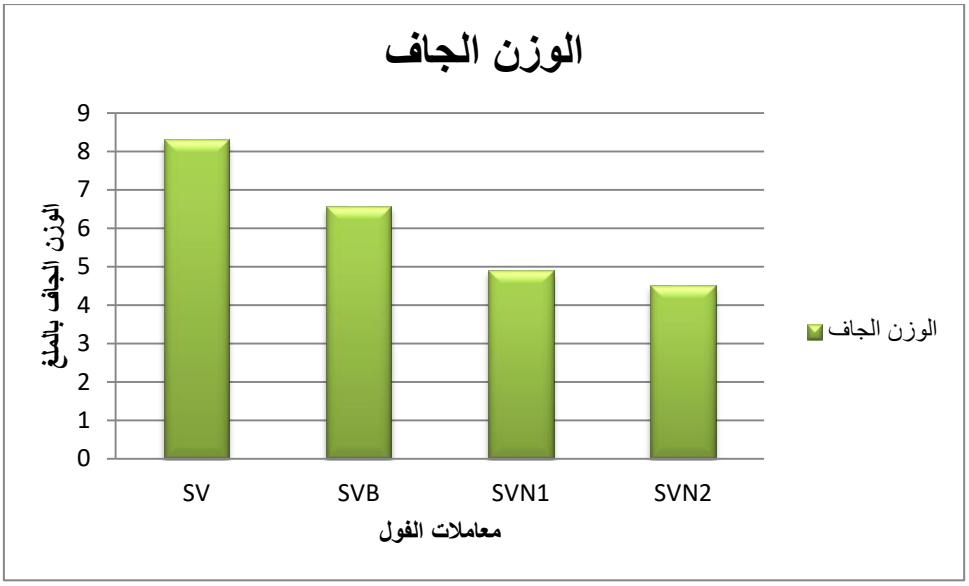
من جهة أخرى، أظهرت المعاملة SVB (التربة المعاملة بالفحم الحيوي) تحسنًا نسبيًا في تركيز السكريات مقارنة بالمعاملات الملحية، حيث سجلت 22.67 µg/mL. ويرجع هذا التحسن إلى تأثير الفحم الحيوي في تحسين البيئة الجذرية للنبات من خلال:

تعديل بنية التربة الفيزيائية، زيادة سعة الاحتفاظ بالماء، تثبيت الأيونات الضارة Na^+ وCl^- و تعزيز النشاط الميكروبي المفيد الذي يساهم في تيسير امتصاص العناصر المغذية (Lehmann et *al*., 2011).

توضح هذه النتائج الدور الثنائي لكل من الملوحة والفحم الحيوي في التأثير على التمثيل الغذائي لنبات الفول. ففي حين يؤدي الإجهاد الملحي إلى خفض تركيز السكريات بشكل واضح، يُظهر الفحم الحيوي كفاءة في الحفاظ على مستويات السكريات أقرب إلى الوضع الطبيعي، ما يعكس قدرته على تخفيف الأثر السلبي للملوحة.

بالتالي، تدعم هذه النتائج استخدام الفحم الحيوي كوسيلة واعدة لتحسين الأداء الفسيولوجي للنباتات المزروعة في بيئات متدهورة ملحيًا، دون الحاجة إلى ممارسات تعديلية مكلفة.

8. الوزن الجاف



الشكل 13: الوزن الجاف لنبات الفول في مختلق معاملات التجربة

أظهرت النتائج تفاوتاً ملحوظاً في الوزن الجاف لنبات الفول (صنف Aguadulce) بين المعاملات المختلفة، حيث تفوقت المعاملة الشاهدة SV (التربة الغير معاملة) على باقي المعاملات التي بلغت8.31 ملغ، يليها SVB (التربة المعاملة بالفحم الحيوي) بلغت 6.56 ملغ، ثم SVN_1 (التربة المعاملة بالملوحة 70 ملي مول/اللتر) بلغت 4.90 ملغ، بينما سجلت المعاملة SVN_2 (التربة المعاملة بملوحة 150 ملي مول/اللتر) أدنى القيم بلغت 4.50 ملغ. يعزى التفوق النسبي للمعاملة SVB إلى قدرة الفحم الحيوي على تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، بما في ذلك زيادة مسامية التربة وتحسين التهوية، مما يعزز انتشار الجذور وامتصاص العناصر الغذائية (Lehmann et *al*., 2011). كما يساهم الفحم الحيوي في زيادة توافر المغذيات الدقيقة من خلال ارتفاع سعته التبادلية الكاتيونية، فضلاً عن تحسين قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة (Jeffery et *al*., 2011).

فيما يتعلق بالمعاملات الملحية، أظهرت النتائج أن المعاملة SVN_1 تفوقت على SVN_2، مما يشير إلى وجود استجابة تحملية للنبات عند مستويات ملحية متوسطة. يمكن تفسير ذلك من خلال تنشيط آليات التكيف الفسيولوجية، مثل تراكم الأسموليتات (كالجلايسين بيتاين والبرولين) التي تحافظ على التوازن الأسموزي داخل الخلايا (Munns & Tester, 2008). كما قد يعزى هذا الأداء إلى ظاهرة الهرميس (Hormesis)، حيث تحفز التراكيز المنخفضة من الملوحة عمليات الأيض والنمو النباتي (Calabrese & Blain, 2009). في المقابل، أدت الملوحة العالية (SVN_2) إلى انخفاض نسبي في الوزن الجاف مقارنةً بالمعاملة المتوسطة، وذلك بسبب التأثير السلبي للتراكيز الملحية المرتفعة على التوازن الأيوني، حيث تتداخل أيونات الصوديوم والكلوريد مع امتصاص العناصر الغذائية الأساسية مثل البوتاسيوم (Zhu, 2001)، بالإضافة إلى زيادة الإجهاد التأكسدي الذي يؤثر سلباً على العمليات الخلوية (Hasegawa et *al*., 2000).

أمـا بالنسـبة للمعاملـة الشـاهدة (SV). فـإن انخفـاض الـوزن الجـاف يعكس محدوديـة تـوفر العناصـر الغذائيـة فـي التربـة غيـر المعالجـة، وضـعف الخصـائص الفيزيائيـة للتربـة التـي تـؤثر علـى نمـو الجـذور وامتصاص الماء.

تؤكد هذه النتائج مجتمعة أهمية تحسين خصائص التربة لتعزيز إنتاجية نبات الفول، سواء من خلال إضافة الفحم الحيوي أو التحكم في مستويات الملوحة لتحقيق التوازن الأمثل لنمو النبات(Singh al 2015 et).

الخاتمـــة

الخاتمة

تُعد هذه الدراسة تحليلًا شاملًا لتأثير كل من الفحم الحيوي كمُعدّل للتربة والإجهاد الملحي على أداء نبات الفول (Aguadulce)، حيث أظهرت النتائج تفاعلات معقدة بين هذين العاملين وبين المؤشرات الفسيولوجية والمورفولوجية للنبات. فقد أثبت الفحم الحيوي فعالية واضحة في تحسين سرعة الإنبات، والنمو الخضري، وتراكم السكريات والوزن الجاف، ويُعزى ذلك إلى دوره في تحسين خصائص التربة مثل الاحتفاظ بالرطوبة والتهوية وتقليل سمية الأيونات، فضلًا عن تحفيز النشاط الميكروبي. في المقابل، كشفت الملوحة عن استجابة غير منتظمة، حيث حفّز التركيز المتوسط (70 ملي مول/اللتر) بعض المؤشرات مثل سرعة الإنبات وتركيز الكلوروفيل نتيجة تفعيل آليات دفاعية تكيفية، في حين أدى التركيز العالي (150 ملي مول/اللتر) إلى تثبيط واضح في معظم المؤشرات نتيجة الإجهاد الأسموزي والسمية الأيونية. وقد أظهر التفاعل بين الفحم الحيوي والملوحة أن الفحم الحيوي قادر جزئيًا على التخفيف من آثار الملوحة العالية، لا سيما فيما يتعلق بالنمو الخضري وتراكم السكريات، مما يبرز أهميته كأداة واعدة في تحسين أداء المحاصيل في البيئات المتدهورة. كما أوضحت الدراسة قدرة الصنف المدروس على تفعيل آليات تكيفية محدودة تحت الإجهاد المعتدل، لكنها لم تكن كافية في مواجهة الإجهاد الحاد، الأمر الذي يُبرز الحاجة إلى تدخلات خارجية كاستخدام الفحم الحيوي. وتوصي الدراسة بتوسيع استخدام الفحم الحيوي في الأراضي الهامشية كوسيلة لتحسين إنتاجية الفول في ظل إجهاد ملحي معتدل، إلى جانب إجراء أبحاث مستقبلية على أنواع مختلفة من الفحم الحيوي، ودراسة الآليات الجزيئية للاستجابة التكيفية، وتقييم التكامل بين الفحم الحيوي وتدابير أخرى لتخفيف الملوحة.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

المراجع باللغة العربية

1. نجاة جنود، ا ميرنا عشي، & سالي شمدين. (2022). دراسة تأثير الري بتراكيز مختلفة من كلور الصوديوم في بعض مؤشرات إنبات ونمو بذور الفاصولياء صنف البلدي (*Phaseolus vulgaris* L.). سلسلة العلوم الأساسية، 44(13).ص57
2. النصيري، نزار نصر الدين بابكر؛ ومحمد السلام امحمد السلام. (2020) تأثير العضوية وغير العضوية على النباتات العشبية (*Vicia faba*) ومدى البكتريا المتكافلة مع عناصر نباتية معينة العوامل البيئية في الاراضي الرملية." مجلة العلوم البحتة والتطبيقية 19-1.
3. إلهام إبراهيم و يونس عبد العال. (2015). محددات الطلب العالمي على البقوليات." مجلة الاقتصاد الزراعي والعلوم الاجتماعية، 6(3)، 417-426.
4. أماني فرج بدر امبارك، & سلمى إسماعيل جبريل مؤمن. (2024). تأثير السماد الأخضر على جودة نبات الفول. African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS), 123-132.
5. أنس كيوان، رولا بايرلي، & علي الخطيب. (2025). استجابة بادرات أصل النارنج Citrus aurantium للمعاملة بالباكلوبيوترازول PBZ)) تحت ظروف الإجهاد الملحي. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 41(1) ص3.
6. توفيق، محمد مصطفى، ورنا يوسف سمارة. (1999). القدرة التكاثرية والقابلية للإصابة بمنّ الفول الأسود Aphis fabae Scopoli (متغايرات الأجنحة: المنّية) على بعض أصناف الفول Vicia faba. مجلة وقاية النبات العربية، 17(1)، 41-44.
7. حسن، أ. ع. م. (1991). إنتاج محاصيل الخضر (الطبعة الأولى). الدار العربية للنشر والتوزيع.ص 303-305
8. حليس ي.(2007) الموسوعة النباتية لمنطقة سوف النباتات الصحراوية الشائعة في منطقة العرق الشرقي الكبير. مطبعة الوليد الوادي الجزائر.
9. عبد اللطيف & هناء شداد محمد. (2008). دراسة تحليلية للأوضاع الإنتاجية لمحصول الفول البلدي. Journal of Food and Dairy Sciences, 33(2), 1325-1338.
10. عثمان، م. خ.، & العساف، إ. (2009). أثر موعد الزراعة والكثافة النباتية في إنتاجية الفول العادي (Vicia faba L.) في محافظة دير الزور. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، 25(2)، 77–85.

11. غاده محمد رشيد الطه، عبدالمحسن السيد عمر، & خالد رمضان خضر. (2022). تأثير ملوحة ماء الري وإضافة الهيوميك في بعض الصفات المورفولوجية والإنتاجية لثلاثة أصناف من فول الصويا. مجلة العلوم الزراعية والبيئية والبيطرية، 6(2)،ص 53.

12. فتح الله محمد المدني ،أ & جمال سعيد درياق، أ. د. (2023). استخدام الفحم الحيوي Biochar في تحسين بعض خصائص التربة الرملية المزروعة بنبات القمح. Triticum durum L. مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية، 8(2)، 436-452.

13. فتح الله محمد المدني. أ، & أ. د. جمال سعيد درياق. (2023). استخدام الفحم الحيوي"" Biochar في تحسين بعض خصائص التربة الرملية المزروعة بنبات القمح. Triticum durum L. مجلة جامعة بني وليد للعلوم الإنسانية والتطبيقية، 8(2)، 436-452.

14. فتين، هـ. ل.، وعبداللطيف، ب. ع. (2023). مشكلة الملوحة في منطقة الفرات الأوسط. مجلة كلية التربية، جامعة واسط، 51(1)، 331–342

15. فرشة عز الدين ،(2001) دراسة تأثير الملوحة على نمو وإنتاج القمح الصلب وإمكانية معاكسة ذلك بواسطة الهرمونات النباتية رسالة ماجستير - جامعة قسنطينة.

16. وصال علي الحماده، ذيب دللي الابراهيم، ريمون سبيرو جرجي، & محمد المصري. (2020). دراسة بعض الخواص الريولوجية وتحديد الاستخدام الأمثل لخلائط من دقيق القمح ودقيق بعض أنواع البقوليات. مجلة العلوم الزراعية والبيئية والبيطرية، 4(1)، 67-54.

17. خريطة ولاية الوادي [صورة]. https://dcommerce-eloued.dz/?page_id=16

المراجع باللغة الأجنبية:

1. نارگیل. (2015). معرفی گیاهان - باقلا سبز. تم الاسترجاع في 3 يونيو 2025، من https://nargil.ir/Plant.aspx?Name=Vicia-faba&cid=7128

2. ABBAS, M., & BEN ACHAR, A. (2014). Conduite culturale d'une légumineuse alimentaire: fève verte (*Vicia faba* L.) dans la région de GHARDAÏA (Doctoral dissertation, Ghardaia.(
3. Abdel-Rahman, M. H., Hassan, H. R., Nassar, R. M., & Abdel-Aziz, H. S. (2020). Influence of foliar spray with yeast extract on faba bean plant (Vicia faba L.). Plant Archives, 20(1), 1439-1449.
4. Adhikari, S., Mahmud, M. P., Nguyen, M. D., & Timms, W. (2023). Evaluating fundamental biochar properties in relation to water holding capacity. Chemosphere, 328, 138620.
5. Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., ... & Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere, 99, 19-33.
6. Alburquerque, J. A., Salazar, P., Barrón, V., Torrent, J., del Campillo, M. D. C., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. Agronomy for sustainable development, 33, 475-484.
7. Amalina, F., Krishnan, S., Zularisam, A. W., & Nasrullah, M. (2023). Biochar and sustainable environmental development towards adsorptive removal of pollutants: Modern advancements and future insight. Process Safety and Environmental Protection, 173, 715-728.
8. Anand, A., Kumar, V., & Kaushal, P. (2022). Biochar and its twin benefits: Crop residue management and climate change mitigation in India. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 156, 111959.
9. Angın, D. (2013). Effect of pyrolysis temperature and heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. Bioresource technology, 128, 593-597.
10. Artiola, J. F., Walworth, J. L., Musil, S. A., & Crimmins, M. A. (2019). Soil and land pollution. In Environmental and pollution science (pp. 219-235). Academic Press.
11. Atta, K., Mondal, S., Gorai, S., Singh, A. P., Kumari, A., Ghosh, T., ... & Jespersen, D. (2023). Impacts of salinity stress on crop plants: Improving salt tolerance through genetic and molecular dissection. Frontiers in Plant Science, 14, 1241736.

12. Balasubramaniam, T., Shen, G., Esmaeili, N., & Zhang, H. (2023). Plants' response mechanisms to salinity stress. Plants, 12(12), 2253.
13. Barker, B., Cardon, G., Yost, M., Stock, M., Creech, E., & Gale, J. (2024). Managing Saline and Sodic Soils and Irrigation Water.
14. BENELHADJ DJELLOUL, W., & MAZARI, K. (2018). Etude de l'effet de l'acide salicylique sur la germination de la fève (Vicia faba L.) (Doctoral dissertation, université ibn khaldoun-tiaret.(P:6-11.
15. Béraud, E. (2007). Étude des effets génotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez Vicia faba (Fabaceae) exposée au cadmium: application du test Vicia micronoyaux à des matrices complexes (Doctoral dissertation, Université Paul Verlaine-Metz).
16. Biederman, L.A., & Harpole, W.S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. GCB Bioenergy, 5(2), 202–214. https://doi.org/10.1111/gcbb.12037
17. Boersch, M. (2023). Global Economic Outlook for FABA beans & soybeans. Saskatchewan Pulse Growers.
18. Brantley, K. E., Brye, K. R., Savin, M. C., & Longer, D. E. (2015). Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. Open Journal of Soil Science, 5(1), 1-10.
19. Brink, M., Belay, G.2006. Ressources Végetales de l'Afrique tropicale 1: céreales et légumes Secs, prota, pays bas, pp.221-223
20. Burezq, H. A., & Davidson, M. K. (2023). Biochar from date palm (Phoenix dactylifera L.) residues—a critical review. Arabian Journal of Geosciences, 16(2), 101.
21. Calabrese, E.J. (2014). Hormesis: A fundamental concept in biology. Mutation Research/Reviews in Mutation Research, 768, 1–2.
22. Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. (2016). Production and utilization of biochar: A review. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 40, 1-15 .
23. Chagas, J. K. M., de Figueiredo, C. C., & Ramos, M. L. G. (2022). Biochar increases soil carbon pools: Evidence from a global meta-analysis. Journal of Environmental Management, 305, 114403.
24. Chan, K. Y., & Xu, Z. (2012). Biochar: nutrient properties and their enhancement. In Biochar for environmental management (pp. 99-116). Routledge.
25. Cherifi, K., Boufous, E. H., Boubaker, H., & Msanda, F. (2016). Comparative salt tolerance study of some Acacia species at seed germination stage. arXiv preprint arXiv:1610.06033.

26. Chhabra, R. (2004). Classification of salt-affected soils. Arid Land Research and Management, 19(1), 61-79.
27. Choudhary, O. P., & Kharche, V. K. (2018). Soil salinity and sodicity. Soil science: an introduction, 12, 353-384.
28. Chun, Y., Lee, S. K., Yoo, H. Y., & Kim, S. W. (2021). Recent advancements in biochar production according to feedstock classification, pyrolysis conditions, and applications: A review. BioResources, 16(3), 6512.
29. Dhull, S. B., Kidwai, M. K., Noor, R., Chawla, P., & Rose, P. K. (2022). A review of nutritional profile and processing of faba bean (Vicia faba L.). Legume Science, 4(3), e129.
30. DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical chemistry, 28(3), 350-356.
31. Duc, G. (1997). Faba bean (Vicia faba L.). Field crops research, 53(1-3), 99-109.
32. Elmeknassi, M., Elghali, A., de Carvalho, H. W. P., Laamrani, A., & Benzaazoua, M. (2024). A review of organic and inorganic amendments to treat saline-sodic soils: Emphasis on waste valorization for a circular economy approach. Science of The Total Environment, 921, 171087
33. Farooq, M., et al. (2016). Biochar improves seedling growth of rice. Agriculture, 6(4), 49.
34. Fateme Aghamir, Hossein ali Bahrami, , Mohammad JafarMalakouti, SaeidEshghi, ForoudSharifi (2016). Seed germination and seedling growth of bean (Phaseolus vulgaris) as influenced by magnetized saline waterEurasian Journal of Soil Science ,5(1), p 39-46.
35. Feng, D., Guo, D., Zhang, Y., Sun, S., Zhao, Y., Shang, Q., ... & Tan, H. (2021). Functionalized construction of biochar with hierarchical pore structures and surface O-/N-containing groups for phenol adsorption. Chemical Engineering Journal, 410, 127707.
36. Gao, Z. W., Ding, J., Ali, B., Nawaz, M., Hassan, M. U., Ali, A., ... & Sabagh, A. E. (2024). Putting Biochar in Action: a black gold for efficient mitigation of salinity stress in plants. Review and future directions. ACS omega, 9(29), 31237-31253.
37. Graham, P. H., & Vance, C. P. (2003). Legumes: importance and constraints to greater use. Plant physiology, 131(3), 872-877.
38. GRDC., (2017). Grow Notes: Faba bean – Western region – Section 4: Plant growth and physiology. Retrieved from https: //grdc.com.au/__data/assets/pdf_file/0025/369142/GrowNote-Faba-Bean-West-4-Physiology.pdf

39. Gul, Z., et al. (2022). Salt stress impacts on plant growth and development: Physiological, biochemical and molecular interventions. Biology, 11(4), 597. https://doi.org/10.3390/biology11040597
40. Haridy, M. H., & El-Said, M. A. A. (2016). Estimates of genetic parameters using populations in faba bean (Vicia faba L.). Journal of Plant Production, 7(12), 1443-1447.
41. Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2022). Plant responses and tolerance to salt stress: physiological and molecular interventions. International Journal of Molecular Sciences, 23(9), 4810.
42. Hasanuzzaman, M., & Fujita, M. (2023). Plant responses and tolerance to salt stress: physiological and molecular interventions 2.0. International Journal of Molecular Sciences, 24(21), 15740.
43. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annual review of plant biology, 51(1), 463-499.
44. Hassan, M., Liu, Y., Naidu, R., Parikh, S. J., Du, J., Qi, F., & Willett, I. R. (2020). Influences of feedstock sources and pyrolysis temperature on the properties of biochar and functionality as adsorbents: A meta-analysis. Science of the Total Environment, 744, 140714.
45. Hornung, A., Stenzel, F., & Grunwald, J. (2024). Biochar—just a black matter is not enough. Biomass Conversion and Biorefinery, 14(5), 5889-5900.
46. Imadi, S. R., Shah, S. W., Kazi, A. G., Azooz, M. M., & Ahmad, P. (2016). Phytoremediation of saline soils for sustainable agricultural productivity. Plant metal interaction, 455-468
47. Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, ecosystems & environment, 144(1), 175-187.
48. Jensen, E. S., Peoples, M. B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2010). Faba bean in cropping systems. Field crops research, 115(3), 203-216.
49. Joseph, S., Graber, E. R., Chia, C. H., Munroe, P., Donne, S., Thomas, T., ... & Lehmann, J. (2013). Shifting paradigms on biochar: Micro/nano-structures and soluble components are responsible for its plant-growth promoting effects. Carbon Management, 4(3), 323–343.
50. Kader, M.A. (2005). A comparison of seed germination calculation formulae and the associated interpretation of resulting data. J. Proc. R. Soc. N.S.W., 138, 65–75.
51. Knott, C. M. (1990). A key for stages of development of the faba bean (Vicia faba). Annals of applied Biology, 116(2), 391-404.

52. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. 2nd Edition. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203762264.
53. Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota–a review. Soil biology and biochemistry, 43(9), 1812-1836.
54. Leng, L., Xiong, Q., Yang, L., Li, H., Zhou, Y., Zhang, W., ... & Huang, H. (2021). An overview on engineering the surface area and porosity of biochar. Science of the total Environment, 763, 144204.
55. Major, J., et al. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and Soil, 333(1–2), 117–128.
56. Malek, N., Aci, M. M., Khamassi, K., Lupini, A., Rouissi, M., & Hanifi-Mekliche, L. (2021). Agro-morphological and molecular variability among Algerian faba bean (Vicia faba L.) accessions. Agronomy, 11(8), 1456.
57. Malik, K. (2019). Abiotic stress signaling in rice crop. Advances in rice research for abiotic stress tolerance, 551 _565.
58. Mansour, M.M.F. (1994). Changes in growth and osmotic adjustment of two wheat cultivars differing in salt tolerance. Biologia Plantarum, 36(2), 227–234.
59. Maphosa, Y., & Jideani, V. A. (2017). The role of legumes in human nutrition In Book . Functional food-improve health through adequate food, 1, 13.
60. Méndez-López, L. F., Sosa de León, D., López-Cabanillas Lomelí, M., González-Martínez, B. E., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2022). Phytochemicals from Vicia faba beans as ligands of the aryl hydrocarbon receptor to regulate autoimmune diseases. Frontiers in Nutrition, 9, 790440.
61. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651–681.
62. NOVAK, J.M., LIMA, L., XING, B., GASKIN, J.W., STEINER, C., DAS, K.C., AHMEDNA, M., REHRAH, D., WATTS, D.W., BUSSCHER, W.J., SCHOMBERG, H., 2009a. Caractérisation du biochar sur mesure produit àdifférentes températures et leurs effets sur un sable limoneux. Annals of Environmental Science 3, 195-206
63. Oghbaei, M., & Prakash, J. (2016). Effect of primary processing of cereals and legumes on its nutritional quality: A comprehensive review. Cogent Food & Agriculture, 2(1), 1136015.

64. Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3), 324–349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
65. Parida, A.K., & Das, A.B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety, 60(3), 324–349. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010
66. Polhill RM, Raven PH, Stirton CH (1981) Evolution and systematics of the Leguminosae. In RM Polhill, PH Raven, eds, Advances in Legume Sys-tematics Part 1. Royal Botanic Gardens, Kew, UK, pp 1-26
67. Qadir, M., Ghafoor, A., & Murtaza, G. (2000). Amelioration strategies for saline soils: a review. Land Degradation & Development, 11(6), 501-521.
68. Raman, R., Balota, M., Chandel, A., & Jjagwe, P. (2024,). Faba bean: A multipurpose specialty crop for the Mid-Atlantic USA (SPES-590NP). Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech, and Virginia State University.
69. Rankel, K. (2024). 8 Key Phases of Fava Bean Development. Greg App. Retrieved from Greg
70. Re, M. I. Z., Tomasek, A., Hopkins, B. G., Sullivan, D. M., & Brewer, L. J. (2022). Managing Salt-affected Soils for Crop Production. Pacific Northwest Extension Publishing.
71. SCHIMMELPFENNIG, S., GLASER, B., 2012. One step forward toward characterization: some important material properties to distinguish biochars. (Special Issue: Environmental benefits of biochar.). Journal of Environmental Quality 41,1001-1013
72. Sheldon, A. R., Dalal, R. C., Kirchhof, G., Kopittke, P. M., & Menzies, N. W. (2017). The effect of salinity on plant-available water. Plant and Soil, 418, 477-491.
73. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi J Biol Sci 22 (2): 123–131.
74. Singh, A. K., Bharati, R. C., Manibhushan, N. C., & Pedpati, A. (2013). An assessment of faba bean (Vicia faba L.) current status and future prospect. African Journal of Agricultural Research, 8(50), 6634-6641.
75. Singh, J., Salaria, A., & Kaul, A. (2015). Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: A review. International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences, 5(1), 23-32.
76. Smither-Kopperl, M. (2019). Plant guide for fava bean (Vicia faba). USDA-Natural Resources Conservation Service, Lockeford Plant Materials Center. Lockeford, CA, 95237

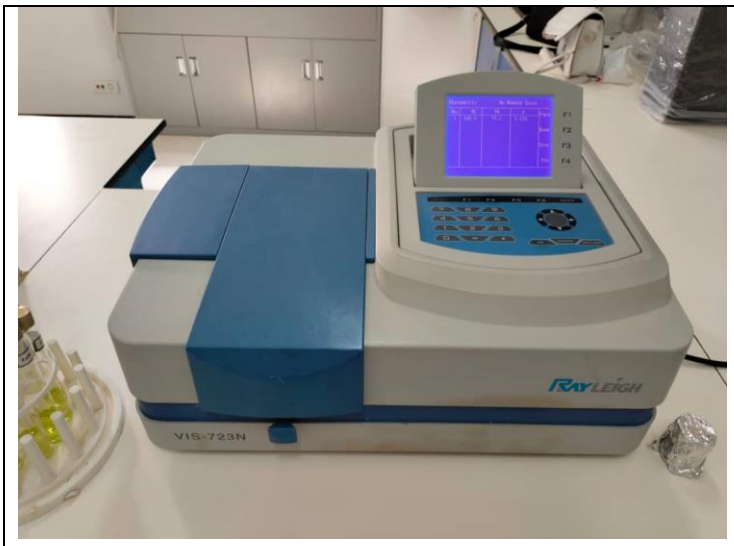
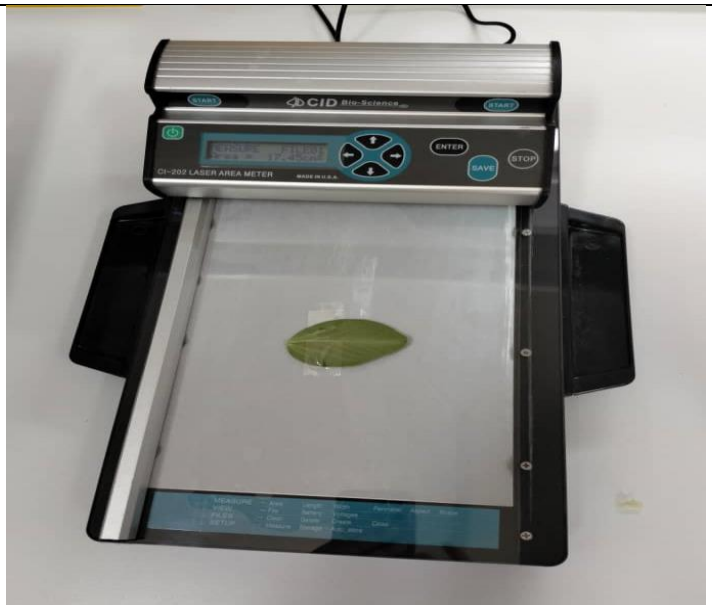
77. Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. Advances in agronomy, 105, 47-82.
78. Soudek, P., Valseca, I. R., Petrová, Š., Song, J., & Vaněk, T. (2017). Characteristics of different types of biochar and effects on the toxicity of heavy metals to germinating sorghum seeds. Journal of Geochemical Exploration, 182, 157-165.
79. Street, K., Ismail, A., & Rukhkyan, N. (1842). Directives pour la régénération: Fève. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. Global Crop Diversity Trust.
80. Thies, J. E., & Rillig, M. C. (2012). Characteristics of biochar: biological properties. In Biochar for environmental management (pp. 117-138). Routledge.
81. Tlahig, S., Bellani, L., Karmous, I., Barbieri, F., Loumerem, M., & Muccifora, S. (2021). Response to salinity in legume species: An insight on the effects of salt stress during seed germination and seedling growth. Chemistry & Biodiversity, 18(4), e2000917.
82. Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. Methods in enzymology, 428, 419-438.
83. Wang, H. F., Zong, X. X., Guan, J. P., Yang, T., Sun, X. L., Ma, Y., & Redden, R. (2012). Genetic diversity and relationship of global faba bean (Vicia faba L.) germplasm revealed by ISSR markers. Theoretical and applied genetics, 124, 789-797.
84. Wang, Y., & Liu, R. (2017). Comparison of characteristics of twenty-one types of biochar and their ability to remove multi-heavy metals and methylene blue in solution. Fuel Processing Technology, 160, 55-63.
85. Wang, Y., Xu, L., Li, J., Ren, Z., Liu, W., Ai, Y., ... & Zhang, Y. (2024). Multi-output neural network model for predicting biochar yield and composition. Science of The Total Environment, 945, 173942.
86. Woldekirstos, A. N. (2014). Role of faba bean (Vicia faba L.) for intensification of cereal-based cropping systems in the humid highlands of Ethiopia (Doctoral dissertation, Ghent Universit.
87. Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. J. B. R. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. Biotechnology reports, 28, e00570.
88. Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. Trends in plant science, 6(2), 66-71.
89. Zulfiqar, F., et al. (2020). Plant salt tolerance: Molecular pathways, genetic interventions, and potential applications. Plant Physiology and Biochemistry, 156, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.031

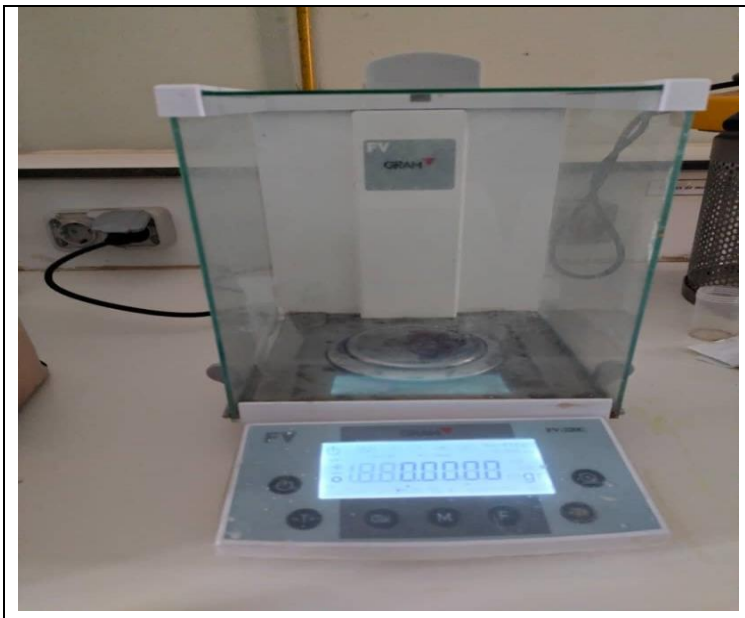
الملاحق

الملاحق

الملحق رقم 1 : الاجهزة المستعملة في المعايير المدروسة.

معلوماته	الجهاز
الحاضنة Etuve **LAB TECHASIA PTE. LTD** **ISO 9001 CERTIFIED** **MODEL LIB-060M** **Volts 220V 50 HZ** **Watts 200W/IA** **SERIAL NO. 08061323**	

جهاز المطيافية الضوئية **Spectrophotomètre** **Brand: RAYLEIGH** **Model: VIS-723N**	
جهاز قياس المساحة بالليزر **(LASER AREA METER)** **Brand CHD Bio-Science** **202-MODEL: CL** **MADE IN U.S.A**	
Vortex Mixer جهاز رج دوار **Manufacturer: IKA-Werke GmbH & Co. KG** **MODEL MS 3 control** **Made in Germany**	

	**Analytical Balance ميزان حساس** **Manufacturer: A&D Company** **Model: 2200-FV** **Maximum Capacity 210g** **Resolution: 0.1 mg** **Made in Japan**

	Water bath حمام مائي **Manufacturer :Switeg** **Model: Lake 12** **Made in China**

الملحق 2: توثيق صور نباتات الفول المزروعة لأغراض الدراسة التجريبية

تم بحمد الله