الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر – الوادي

كلية علوم الطبيعة و الحياة رقم التركيب :

قسم البيولوجيا رقم التسلسل:

مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان: علوم الطبيعة والحياة

شعبة: علوم بيولوجية

تخصص: تنوع حيوي وفسيولوجيا النبات

الموضوع

تأثير المعادن الثقيلة على انبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae* ـدراسة نظريةـ

من إعداد:

أفنان حشية – حنان بوهني – وئام غرغوط

نوقشت يوم .. / 06 / 2022 من طرف لجنة المناقشة.

الإسم	الرتبة	الصفة	الجامعة
العانز الحفناوي	أستاذ محاضر قسم ب	رئيسا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
عسيلة إسماعيل	أستاذ محاضر قسم أ	مؤطرا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
قادري منيرة	أستاذ محاضر قسم ب	مناقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

الموسم الجامعي: 2022/2021

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وعرفان

الحمد لله سبحانه حمدا يوافي جلال وجهه، وعظيم سلطانه ووفير نعمته نحمدك اللهم على اعانتك وتوفيقك الى هذه اللحظة التي تتوج فيها مجهودات سنوات من الدراسة و العمل لنقدم اليوم ثمرة هذا المجهود.

نخص بالذكر دكتورنا الفاضل والمشرف على هذا العمل الدكتور إسماعيل عسيلة لقبوله وتحمله أعباء الإشراف، كما نشكره لرحابة صدره ومعاملته الطيبة وتحمله لنا جزاه الله عنا خير الجزاء .

والشكر موصول لأعضاء لجنة المناقشة لتقبلهم قراءة وتصحيح هذا العمل "قادري منيرة "مناقشا, و"العانز الحفناوي" رئيسا.

كما تتسع دائرة الشكر الى جميع اساتذة وعمال كلية علوم الطبيعة والحياة بجامعة الوادي, والى كل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد ولو بكلمة طيبة.

كما أتقدم بالشكر الجزيل والتقدير البالغ للزميلات والزملاء دفعة ماستر2022.

الإهداء

الإهداء

الحمد لله الذي وفقني الى هذا وجعل لنا من العلم نورا نهدي به. أهدي تخرجي هذا إلى من شجعتني على المثابرة طوال عمري, إلى من بها أعلو وعليها أرتكز, إلى القلب المعطاء إلى صاحبة الاهتمام المطلق والعين الساهرة والعطاء المستمر دون مقابل أمي العزيزة الأستاذة "خيرة كرباع".

إلى النور الذي انار دربي والسراج الذي لا ينطفئ نوره أبدا ومثلي الأعلى والدي الغالي "عبد الرحمان".

إلى رفيق الدرب وصديق الأيام بحلوها ومرها الى من أعاد الي ثقتي بقدرتي على التقدم الى زوجي الغالي "زكريا".

الى أمي الثانية سعاد حفظها الله.

إلى سندي وملجئ في الحياة إخوتي بلال, رميصاء, أمنة, سارة وروح الغالية فاطمة الزهراء.

إلى البيت الدافئ ونهر الحب الذي يفيض على الصفاء الذي أنعم علي به الله عائلة زواري أحمد وعلى رأسهم الدكتور "علي" والأم الحنون "نعيمة" وجميع أفراد هذه العائلة.

إلى أختي وصديقتي الغالية آية أسال الله أن يوفقها في مشوارها وتصل الى ما وصلت اليه.

إلى من شاركاني في عناء المذكرة صديقاتي العزيزات وئام وحنان.

إلى كل هؤلاء أهدي ثمرة تخرجي.

-أفنان -

الإهداء

(واخر دعواهم ان الحمد لله رب العالمين)

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى واهله ومن وفى الحمد لله عند البدء وحين الختام الحمد لله على تمام الكفاح والنجاح, اللهم كما انعمت فزد وكما زدت فبارك وكما باركت فتمم وكما اتممت فثبت ياخير معين يارحمان يارحيم.

الى نجمتي و جوهرتي الى من كان دعائها سر نجاحي ونورا لي في الظلمات وتيسيرا لي في صعوباتي الى من بكت في دعائها فكان لي غيثا وخير استجابة الى من علمتني الاصول وبها الخير اشوف هي كعبة وبها أطوف الى من أحبها فوق المحبين حبا الى النبع الذي أرتوي منه حبا وحنانا اطال الله لي في عمرها وحفظها ورزقها الصحة والعافية الى جنتي وقدوتي وملاكي (امي الغالية).

الى من كلله الله بالهيبة والوقار الى من علمني العطاء بدون انتظار الى من أحمل اسمه بكل افتخار الى فخري وقدوتي عند ذكر خصاله فمن اي فضل ابتدئ جمع الحنان كغيمة في قلبه منذ بداية مولدي الى موطني حفظه الله ورعاه الى قوتي وسندي

(ابي الغالي).

الى سندي وعضدي و سعادتي الى القريبين من قلبي الى من بهم يشد ساعدي وتعلى هامتي هم سندي وركائزي وقوتي عند ضعفي الى من عليهم اميل هما الوتد والعتد الى من استعين بهم على نوائب الدهر رزقت بهم سندا تميل الدنيا ولا يميلون ابدا دمتم عزتي وعزوتي وملجئي بعد الله طاب بكم العمر وطبتم لي عمرا الى عيناي

(مراد ومنصف).

الى توأم روحي وقطعة من قلبي الى النور الذي يضيء دربي الى من بهم تحلو حياتي وتعلو هامتي الى اجمل عطايا الرحمان الى سنداي وعزوتاي حفظهم الله من كل مكروه الى قمراتي (هبة ولينة).

الى جميع صديقاتي واخواتي التي لم تلدهم امي الى رفيقات دربي

الى من قضيت معهم اجمل ذكرياتي

أدامكم الله سندا وحفظكم من كل سوء

- حنان -

الإهداء

قالى تعالى:

<يرفع الله الذين آمنو منكم والذين اوتو العلم درجات>

هي ذي ثمرة جهدي اجنيها اليوم هي هدية الى:

سندي وملجئ الآمن... داعمي ومشجعي الدائم إلى من رأيت انعكاس نجاحي وفرحي بريقا في عينيه إليك "والدي العزيز".

وإلى ملاكي في الحياة إلى معنى الحب والحنان إلى بسمة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي إلى أغلى الحبايب "أمي الغالية".

إلى اخوتي محبة ووفاء أنتم سندي وحزام ضهري وكياني وفلذات كبدي

"الحاج, عبد الكريم, اسامة, زيد, عبد البارئ".

إلى اللاتي قيل عنهم يد يمنى وضلع ثابت لا يميل وقطعة من الأم تورد لك الحياة اخواتي "شيماء, سارة, مارية, رفيدة".

الى رفيقات الخطوة الاولى والاخيرة الى من كانو في سنوات العجاف سحبا ممطرة انا ممتنة جدا بوجودكم معي اخواتي اللواتي لم تلدهم امي

"حنان, افنان, آية, هادية, آسيا".

الى كل من عرف وئام إلى كل من لم يجد اسمه في الإهداء

الى كل من وصلهم قلبي ولم يوصلهم قلمي.

-وئام -

الملخص

Résumé

Abstract

الملخص

تهدف دراستنا هذه الى ابراز مدى تأثير المعادن الثقيلة على انبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae*، التي تعد من أهم العائلات النباتية نظرا لما تحتويه من قيمة غذائية عالية لكونها مصادر غنية بالبروتينات والكربوهيدرات والالياف. مختلف أنواعها النباتية تعمل على تثبيت النتروجين الجوي وتحسين خصوبة التربة بطريقة بيولوجية، مما يساهم في خفض استعمال الاسمدة الآزوتية الكيميائية ورفع مردودية المحاصيل. ان تراكم المعادن الثقيلة في النباتات يؤثر سلبا على امتصاص العناصر الغذائية الضرورية ونقلها وبالتالي يحدث خلل في عملية التمثيل الغذائي مما يؤثر على عملية النمو، حيث أن التراكيز العالية من المعادن الثقيلة، خاصة للكادميوم، الرصاص والكروم ... تؤدي الى تراجع كبير في عمليات الانبات والنمو والتركيب الضوئي وغيرها... مما يتسبب في موت النبات في حالات السمية العالية. اما التراكيز المنخفضة والمدروسة من بعض المعادن كالنحاس، الحديد والمغنيزيوم ... قد تحتاج اليها هذه النباتات وتدعم نموها. على ضوء نتائج الأبحاث السابقة، فقد كان تأثير المعادن الثقيلة على نباتات العائلة البقولية متفاوتة حسب النوع النباتي، ومختلفة باختلاف التركيز ونوع المعدن المستخدم.

الكلمات المفتاحية: العائلة الباقولية، المعادن الثقيلة، الانبات، النمو، اجهاد، حساسية أو تحمل.

Résumé

Cette étude vise à élucider l'impact des métaux lourds sur la germination et la croissance des plantes de la famille des légumineuses (*Fabaceae*), qui est l'une des familles de plantes les plus importantes en raison de sa haute valeur nutritionnelle, riche en protéines, en glucides et en fibres. Ses différents espèces de plantes fixent l'azote atmosphérique et améliorent la fertilité du sol de manière biologique, ce qui contribue à réduire l'utilisation d'engrais azotés chimiques et à augmenter le rendement des cultures. L'accumulation de métaux lourds dans les plantes affecte négativement l'absorption et le transport des nutriments nécessaires, par conséquent, ils provoquent des déséquilibres dans le processus métabolique, ce qui affecte la croissance. Des concentrations élevées de métaux lourds, en particulier le cadmium (Cd), le plomb (Pb) et le chrome (Cr) ... conduisent à une baisse importante des processus de germination, de croissance, de photosynthèse ... ce qui provoque la mort des plantes en cas de forte toxicité. Quant aux concentrations faibles et étudiées de certains métaux comme le cuivre (Cu), le fer (Fe) et le magnésium (Mg) ... sont nécessaires aux plantes et soutiennent leur croissance. À la lumière des résultats de recherches antérieures, l'effet des métaux lourds sur les plantes de la famille des légumineuses variait selon le type de plante, et différait selon la concentration et le type de métal utilisé.

Mots clés : Légumineuses (*Fabaceae*), métaux lourds, germination, croissance, stress, sensibilité ou tolérance

الملخص

الفهرس

الفهرس

شكر وعرفان

الإهداء

الملخص

الفهرس

فهرس الوثائق

فهرس الجداول

فهرس الاختصارات

مقدمة

الفصل الأول: عموميات حول العائلة البقولية

1- تعريف العائلة البقولية 1

2- القيمة الغذائية والأهمية الاقتصادية لنباتات العائلة البقولية 3

2-1- القيمة الغذائية لنباتات العائلة البقولية 3

2-2- الأهمية الاقتصادية لنباتات العائلة البقولية 3

3- تصنيف البقوليات 4

4- الإنبات والنمو 5

4-1- الإنبات 5

4-1-1- تعريف الإنبات 5

4-1-2- العوامل الرئيسية للإنبات 5

4-1-3- مراحل الإنبات 6

4-2- النمو 6

5- متطلبات وكيفية زراعة البقوليات 7

6- بعض أمراض العائلة البقولية 8

الفصل الثاني: إجهاد المعادن الثقيلة

1- تعريف المعادن الثقيلة 10

2- وصف بعض أنواع المعادن الثقيلة 11

3- تصنيف المعادن الثقيلة 12
3-1-معادن أساسية 12
3-2-معادن سامة 13
4- تلوث التربة بالمعادن الثقيلة 13
5- امتصاص وانتقال وتراكم المعادن الثقيلة في النبات 13
6- تأثيرات المعادن الثقيلة على انبات ونمو النباتات 15
6-1- تأثير المعادن الثقيلة على عملية الإنبات 15
6-2- تأثير المعادن الثقيلة على عملية النمو 16
6-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحالة المائية لنبات 17
6-4- تأثير المعادن الثقيلة على عملية التركيب الضوئي 17
6-5- تأثير المعادن الثقيلة على المحتوى من مضادات الأكسدة 18
6-6- تأثير المعادن الثقيلة على المحصول 19
7- آليات تحمل ومقاومة النبات لإجهاد المعادن الثقيلة 22
الخلاصة العامة 25
قائمة المراجع 27

فهرس الوثائق

الرقم	العنوان	الصفحة
الوثيقة 01	أهم أنواع محاصيل العائلة البقولية (مسعود، دون تاريخ).	2
الوثيقة 02	بعض المعادن الثقيلة النقية المشكلة.	12
الوثيقة 03	امتصاص وانتقال وتراكم المعادن الثقيلة (HMs) في النباتات (Dhalaria et al., 2020).	14

فهرس الجداول

الجدول	العنوان	الصفحة
الجدول 01	أهم أنواع محاصيل العائلة البقولية(مسعود, دون تاريخ).	2
الجدول 02	ملخص نتائج الدراسات حول تأثيرات المعادن الثقيلة على إنبات البذور ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae* .	19

فهرس المختصرات

الكلمة الدالة	الرمز
غرام	غ , g
سنتيمتر	سم , cm
معدن الزنك	Zn
معدن الحديد	Fe
معدن الكوبالت	Co
معدن النحاس	Cu
معدن النيكل	Ni
بروتين غشائي مرتبط بالمقاومة الطبيعية	NRAMP
معدن المنغنيز	Mn
معدن الكروم	Cr
معدن الرصاص	Pb
معدن الزئبق	Hg
معدن الألمنيوم	Al
معدن الكادميوم	Cd
معدن الزرنيخ	As
درجة الحموضة	Ph
المعادن الثقيلة	HMs
اللتر	L
الكروم السداسي	Cr(VI)
جزء من المليون	ppm
النسبة مئوية	%
مليغرام	مغ , mg
كيلوغرام	Kg

مقدمة

مقدمة

تعد البقول من العناصر الضرورية في النظام الغذائي للإنسان منذ قرون, فهي من أهم العائلات النباتية وأكبرها لكونها تشمل أعدادا كبيرة من المحاصيل الزراعية, حيث تضم حوالي 690 جنس و1800 نوع اذ تتميز نباتاتها اقتصاديا بقدرة تثبيت الآزوت الجوي بواسطة البكتيريا العقدية (احمد, 1989 ؛ مسعود, دون تاريخ)، على الرغم من الأهمية الغذائية للبقوليات، فقد تلقت استخدامًا محدودًا (صناعيًا ومحليًا) في البلدان النامية (Gupta, 1987) .

إن النشاط البشري الزراعي والصناعي المتزايد هو أصل تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة (Zorrig, 2011).حيث تتعرض المحاصيل الزراعية للعديد من الاجهادات الحيوية واللاحيوية التي تؤدي دورا مهما في كمية الإنتاج (Manchanda et Sharma, 1990) تعتبر المعادن الثقيلة واحدة من الاجهادات التي تؤثر على إنتاجية المحاصيل فهي ظاهرة معقدة تؤثر على النبات بعدة طرق على الرغم من وجود هذه المعادن في التربة بشكل طبيعي (Chibuike and Obiora, 2014), إلا أن المستوى المفرط منها له تأثير سلبي على قدرة إنبات البذور ونمو الجذور وتطور الكتلة الحيوية الجافة (Pavel et al., 2013). وقد يتداخل أيضًا مع العديد من العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية مثل التركيب الضوئي، الأنشطة الإنزيمية، تنظيم النمو وتكاثر الخلايا (Tuna et al., 2002).

وبناءا على هذا قمنا ببحث نظري لمعرفة مدى تأثير المعادن الثقيلة على انبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae* بهدف تحديد استجابة بعض أنواع هذه العائلة لإجهاد المعادن الثقيلة نطرح الاشكال التالي:

- ما مدى تأثير المعادن الثقيلة على انبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae* ؟

ولمحاولة الإجابة على هذا الإشكال قمنا بتقسيم الدراسة الى فصلين :

- الفصل الأول عموميات حول العائلة البقولية.
- الفصل الثاني تطرقنا فيه الى تأثيرات المعادن الثقيلة على النمو والتطور والتغيرات الفيسيولوجية والكيميائية لنباتات بعض أنواع العائلة البقولية في ظروف الاجهاد المعدني.

الفصل الأول

عموميات حول العائلة البقولية

(Fabaceae)

1- تعريف نباتات العائلة البقولية

العائلة البقولية *Fabaceae* من النباتات الزهرية الراقية، فهي من أكبر العائلات النباتية وأهمها وأكثرها ثراء من حيث التنوع بكونها ذات قيمة غذائية عالية فهي تزود التربة بالنتروجين عن طريق الشراكة التعايشية مع بكتيريا عقدية على مستوى الجذور فهو يساهم في زيادة خصوبة التربة, حيث تضم حوالي 690جنس و 1800 نوع وقد جمع عالم النبات Hutchinson جميع البقوليات في رتبة *Leguminaise* التي ضمت إليها ثلاث عائلات وهي : العائلة البقمية *Aesalpuaceae*، العائلة الطلحية *Mimosaceae*، العائلة الفراشية *Papilionaceae* كما تعرف هذه الأخيرة أيضا باسم *Fabaceae*، إلا أن (Purseglove, 1974) رأى إبقاء العائلة البقولية *Légumineuse* وتقسيمها الى تحت عائلات وهي : *Papilionaceae*, *Mimosaceae*, *Aesalpuacea*كما تضم عددا كبيرا من الخضر والمحاصيل الحقلية التي تنتشر زراعتها خاصة في المناطق الاستوائية، واهتم الإنسان بزراعة المحاصيل البقولية من أكثر من قرون، كما ذكر كيال (1976) بأنه تم العثور على بقايا البازلاء في سويسرا تعود الى 4500 قبل الميلاد, كما وجدت حبات الحمص في مناطق الشرق الأوسط منذ القدم (مسعود، دون تاريخ).

كما ذكرت (مسعود، دون تاريخ) أن البسلة والفاصوليا العادية واللوبيا والفول تعد من محاصيل الخضر الرئيسية أما بقية الخضر البقولية فإنها من الخضر الثانوية في معظم أرجاء الوطن العربي.

❖ التصنيف العلمي العائلة البقولية

حسب (USDA, 2022)، فان تصنيف العائلة البقولية يكون كالتالي:

المملكة	Plantae
تحت المملكة	Tracheobionta
فوق القسم	Spermatophyta
القسم	Magnoliophyta
الصف	Dicotyledons
تحت الصف	Rosidae
الرتبة	Fabales
العائلة	*Fabaceae / Leguminosae*

كما نذكر في الجدول التالي أهم محاصيل العائلة البقولية

جدول 01: أهم أنواع محاصيل العائلة البقولية (مسعود، دون تاريخ).

الإسم	الإسم العلمي	الإسم الإنجليزي
الفول	*Vicia faba L.*	Broad bean
الحمص	*Cicer arietinum.*	Chick pea
العدس	*Lens esculenta moench.*	Lentil
الترمس	*Lupinus spp.*	Lupina
فول الصويا	*Glycine max.*	Soybean
الفاصوليا العادية	*Phaseolus vulagaris.*	Common bean
البازلاء (الجلبانة، البسلة)	*Pisum sativum.*	Pea
اللوبياء	*Vigna unguiculata subsp . Unguculata.*	Cowpea

وفيما يلي نستعرض صورة لأهم المحاصيل البقولية والتي يعتبر بعضها من المحاصيل الحقلية المهمة:

الوثيقة 01: أهم المحاصيل البقولية (متولي عمر، 2022).

2- القيمة الغذائية والأهمية الاقتصادية لنباتات العائلة البقولية

2-1- القيمة الغذائية لنباتات العائلة البقولية

حسب (Kouris-Blazos, 2016 ; Stanley, 1985) فإن البقوليات هي مصادر غنية بالبروتينات والكربوهيدرات والألياف (الألياف الغذائية القابلة للذوبان والغير قابلة للذوبان)، كما أنها غنية بالمعادن والفيتامينات مثل الثيامين والريبوفلافين والنياسين.

ويمكن أن تساهم زيوت بذور البقوليات أيضًا في إنتاج الأحماض الدهنية الأساسية (أحماض اللينوليك واللينولينيك) في النظام الغذائي البشري، في البلدان النامية كما تستخدم البقوليات لتكملة الحبوب أو الأطعمة النشوية من أجل تقليل أو القضاء على مشكلة سوء التغذية بالبروتين والطاقة هذا لأن البروتينات الحيوانية باهظة الثمن في هذه البلدان ، أفادت العديد من الدراسات أن إدراج البقوليات في الأطعمة المجانية (Bolarinwa et al., 2016) والوجبات الخفيفة (Bolarinwa et al., 2016 ; Eneche, 1999) أو المشروبات (Bolarinwa et al., 2017; Udeozor, 2012) زادت بشكل كبير من العناصر الغذائية مثل البروتين والدهون ومحتويات المعادن في المنتجات .

على الرغم من الأهمية الغذائية للبقوليات، فقد تلقت استخدامًا محدودًا (صناعيًا ومحليًا) في البلدان النامية، فإن معظم البقوليات تستخدم في علف الماشية أو نمت كمحصول تغطية لتثبيت النيتروجين في التربة في معظم الحالات تستهلك البقوليات كبذور كاملة مسلوقة أو تستخدم لتكملة الحبوب أو الأنظمة الغذائية يمكن أن يرجع إنخفاض استخدام بروتين البقوليات إلى صعوبة معالجتها وجزئيًا بسبب الكربوهيدرات الغير قابلة للهضم والتي تسبب غازات البطن (المسؤولة عن إزعاج المستهلكين لهذا النوع من المحاصيل) (Gupta, 1987).

2-2- الأهمية الاقتصادية لنباتات العائلة البقولية

تلعب زراعة البقوليات دورا مهما في التغذية عند الانسان لإحتواء محاصيلها الغذائية على نسبة عالية من البروتينات مقارنة بالحبوب، فنسبة البروتينات في البقوليات أكثر من 2 الى 3 مرات من القمح (Salunkhe, 1982).

وأهمية البقوليات تتمثل خصوصا في تثبيت الآزوت الجوي من خلال العقد البكتيرية وبالتالي تؤدي إلى إقتصاد كبير في الأسمدة الآزوتية في الإنتاج الزراعي (مسعود، دون تاريخ) بالإضافة الى إحتوائها على النشاء والفيتامينات الـهامة مثل: A-B1- B2- C والاملاح الضرورية للجسم والاحماض الأمينية خاصة الحمض الأميني Tryptophan وLysine الذي تفتقر منه بقية الحبوب ولكنها تحتوي على نسبة قليلة من الاحماض الامينية الكبريتية. ومن الناحية الإيكولوجية معظم المحاصيل البقولية لا تحتاج إلى

كميات كبيرة من الماء بسبب جذورها العميقة وبالتالي تمتص الماء بسهولة وهي مقاومة لانجراف التربة (صفر، 1988؛ الرباط وأبو زخم، 1988).

3- تصنيف البقوليات

إسم العائلة Fabaceae مشتق من إسم الجنس Faba، غير أن هذا الإسم لم يعد مستخدمًا حيث أصبح المجال لجنس *Vicia* مماثلا لجنس القديم *Faba* أي الفول العريض (*باللاتينية Faba*، الفول العريض) *سابقًا Faba vulgaris* أما الآن أصبح *Vicia faba* وتعتبر العائلة البقولية من أكبر العائلات النباتية.

كما يُطلق عليها أيضًا اسم Leguminosae أوPapilionacées Papilionaceae) (إلا أنها ليست مرادفات حقيقية فإن كل اسم ينطبق على شرط معين وذلك بالاعتماد على التصنيفات فإنه يختلف تكوين هذه العائلة:

- ❖ تم الاعتماد على مصطلح *Fabaceae* بالمعنى المحدود في التصنيف الكلاسيكي (1981)، وتسمى هذه المجموعة Fabaceae أو Papilionaceae، حيث تضم 12000 نوعًا مقسمة إلى أكثر من 400 جنس (في تصنيف النشوء والتطور، ستكون هذه المجموعة من نباتات تحت العائلة (Faboideae) .
- ❖ كما اعتمدت العائلة البقولية بالمعنى الواسع، في تصنيف النشوء والتطور، هذه المجموعة تسمى *Fabaceae* حيث تشمل 18000 نوع موزعة في ثلاث عائلات فرعية (في التصنيف الكلاسيكي هذه المجموعة من النباتات ستكون رتبة Fabales مع ثلاث عائلات) (Sebihi, 2008).

على أساس خصائصها الزهرية، تم تجميع هذه الأنواع في ثلاث عائلات فرعية بعد أن اتفق عليها علماء النبات (Jean-Lus, 2007):

- ✓ تحت العائلة الطلحية Mimosoideae مع زهرة عادية؛
- ✓ تحت العائلة البقمية Caesalpinioideae مع زهرة زائفة حليمية؛
- ✓ تحت العائلة الفراشية Faboideae أوPapilionoideae مع زهرة فراشة نموذجية(Sebihi, 2008).

أ. تحت العائلة Mimosoideae

وتشمل هذه الفصيلة Mimosoideae حوالي 2500 نوعًا مجمعة تقريبا في 40 جنسًا، تنتج أزهارًا منتظمة (شعاعية) تتجمع في أزهار كثيفة وتمثل أنواع تحت هذه العائلة بشكل أساسي بالأشجار والشجيرات الموزعة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية في جميع القارات.

جنس *Acacia* (350 نوعًا)، *Calliandra* (150نوعا) ، *Mimosa* (380 نوعًا) و*Prosopis* (20 نوعًا) وهي الأكثر تمثيلا.

ب. تحت العائلة Caesalpinioideae

تعتبر تحت عائلة Caesalpinioideae، أكثر بدائية وتضم حوالي 4200 نوعًا في حوالي 135 جنسًا. الأنواع لها أزهار ذات كرابل corolles غير منتظمة (zygomorphic) تمثلها الأشجار والشجيرات والنباتات العشبية المعمرة موزعة من المناطق الاستوائية إلى المناطق المعتدلة.

جنس *Caesalpinea* (35نوعًا) ، *Cassia* (450نوعًا) ، *Cercis* (7أنواع) و*Gleditzia* (75نوعًا) تمثل هذه تحت العائلة.

ج. تحت العائلة Faboideae أو Papilionoideae

تعتبر تحت هذه العائلة Faboideae أو Papilionoideae هي الأكثر تطورا والأهم من حيث وجهة نظر الغذاء, وتضم حوالي 9500 نوع من الأزهار الغير منتظمة تتجمع تقريبا في 375 جنساً والتي تم تمثيلها بشكل رئيسي في الأنواع العشبية المعمرة والسنوية. تشمل هذه الفئة الأخيرة جميع الأنواع المهمة والمستخدمة في الغذاء البشري المباشر وتعتبر أهم نباتات الرعي التي يستخدمها الفلاحون (Jean-Lus, 2007).

4- الإنبات والنمو

4-1- الإنبات

4-1-1- تعريف الإنبات

يعد تنشيط آلية التمثيل الغذائي لجنين البذرة الخطوة الأولى لبدء عملية إنبات البذور، وبالتالي فإن الإنبات هو أول ظاهرة نشطة في حياة البذور حيث تبدأ بخروجها من مرحلة الكمون إلى مرحلة النشاط، بالتالي فهو عملية إعادة النشاط الأيضي لجنين البذرة، الذي يؤدي إلى ظهور الجذير (بدايات تشكل الجذر)، فينتج عنه شتلة أو نبتة صغيرة (Sharma, 2004).

إن إنبات البذور عملية معقدة للغاية لأنها تنطوي على العديد من التغيرات البيوكيميائية والفسيولوجية والمورفولوجية داخل البذرة، ولكي يبدأ نشاط الإنبات فذلك يتعلق بتوفير بعض الشروط منها الداخلية (سلامة البذرة، قدرتها على الإنبات وحجمها)، والخارجية (كالحرارة، الرطوبة، التهوئة ونوع التربة) (البيومي وآخرون، 2000).

كما تختلف فترة الإنبات حسب الأنواع النباتية وسلامة البذور، نوع التربة وتوفير الظروف الملائمة (فاخر وجاسم، 1980).

4-1-2- العوامل الرئيسية للإنبات

إن العوامل الرئيسية للإنبات يمكن أن نلخصها في ما يلي (الحياني، 2015):

- أن تكون البذرة حية، وهذا يعني أن يكون الجنين حي وله القدرة على الإنبات.

- ❖ عدم وجود البذرة في حالة السكون وأن يكون الجنين قد مر بمجموعة تغيرات ما بعد النضج، وليس هناك أي موانع كيميائية أو فسيولوجية تعيق عملية الإنبات.
- ❖ توفير الظروف البيئية الضرورية للإنبات ومنها الماء، درجة الحرارة، الأكسجين بكميات مناسبة وفي بعض الأحيان نحتاج إلى الضوء.

4-1-3- مراحل الإنبات

أشار (Sharma, 2004) أن عملية إنبات البذور تتضمن عدة أحداث متتالية ومتداخلة مثل :

- امتصاص الماء;
- بدء تضخم الخلايا وانقسامها;
- زيادة النشاط الإنزيمي;
- انتقال المغذيات إلى الجنين المتنامي;
- زيادة في التنفس والقدرة الاستهلاكية للطاقة;
- زيادة انقسام الخلايا وتضخمها;
- تمايز الخلايا إلى أنسجة وأعضاء لتشكل شتلة.

حسب (الحياني، 2015) فيمكننا أن نلخص مراحل إنبات البذور في ثلاث مراحل مهمة :

✓ المرحلة الأولى (مرحلة امتصاص الماء) : فيها تقوم البذور الجافة بامتصاص الماء مما يزيد من محتوى الرطوبة للبذور، ويعقب ذلك انتفاخ البذور وزيادة حجمها وهذا ما يؤدي إلى تمزق أغلفتها فيبدأ نشاط الإنزيمات التي تكونت أثناء تكوين الجنين، وكذلك تخليق بعض الإنزيمات الجديدة .كما تنشط بعض المركبات الكيميائية الخاصة بإنتاج الطاقة اللازمة لعملية الإنبات مثل: ATP وفي نهاية هذه المرحلة يمكن مشاهدة أولى مظاهر الإنبات والتي تتمثل في ظهور الجذير.

✓ المرحلة الثانية (مرحلة هضم المواد الغذائية) : ويحدث في هذه المرحلة تحول المواد الغذائية المعقدة مثل الكربوهيدرات، الدهون والبروتينات المخزنة الى خلايا الجنين، التي يسهل على الجنين تمثيلها.

✓ المرحلة الثالثة (مرحلة النمو): وفي هذه المرحلة يحدث نمو البادرة الصغيرة كنتيجة لاستمرار الانقسام الخلوي الذي يحدث في مناطق النمو المختلفة والموجودة على محور الجنين، وبتقدم مراحل النمو تأخذ البادرة الشكل الخاص بها.

4-2- النمو

النمو حسب (Merret, 2010) هو مجموعة من العمليات البيولوجية تؤدي الى الزيادة الغير رجعية في وزن وحجم النبات عن طريق إستطالة وإنقسام الخلايا. هاتين العملتين متداخلتين تتبعهما عملية التمايز

التي تتأثر بالعوامل البيئية والوراثية، وإذا درسنا نبات ما لمدة كافية من الزمن يتبين حدوث نوعين من التغيرات (Steward, 1962) :

- ❖ التغيرات الكمية تتمثل في الزيادة في العرض والمساحة الورقية وزيادة الحجم الكلي لنباتات ومجموع هذه التغيرات يشكل النمو.
- ❖ التغيرات النوعية التي تكمن في إكتساب خصائص جديدة ظاهرية ووظيفية والمدمجة تحت العبارة العامة التمايز- التطور.

5- متطلبات وكيفية زراعة البقوليات

إن البقوليات لم تعد غذاء للبشر فقط، بل أيضا غذاء للحيوانات وكذالك تعتبر سماد لبعض الأنواع من النباتات وذلك لإحتوائها على قدر عالي من البروتينات بالإضافة الى الحديد والألياف الغذائية من أشهر أنواعها الحمص، الفول، البازلاء، الترمس، اللوبيا والفاصولياء (2020).

تعد زراعة البقول من أسهل أنواع الزراعة سوآءا في حديقة المنزل أو في حقل بأكمله وذلك بإتباع الخطوات التالية (Pedro Javaloyes وآخرون, 2016) :

- ✓ أولا الحصول على بذور البقول والتي نجدها بمختلف أنواعها في محلات بيع المنتجات العضوية أو بيع البذور الخاصة بالزراعة.
- ✓ تربة تحتوي على مكونات الطمي والطين وخالية من الجير لأنه يقلل من جودة المحصول، كما تنمو في المناطق الجافة غير أنها تفضل الأراضي معتدلة الرطوبة.
- ✓ أن تكون في مكان مشمس وتربة ذات مسامية رطبة ومحمية من الرياح.
- ✓ بدء الزراعة في بداية الفصل الدافئ (شهر ماي في نصف الكرة الشمالي وفي نوفمبر ذلك في نصفها الجنوبي).
- ✓ بعد ذلك يجب تجهيز التربة وذلك عن طريق تغطيتها بالسماد خلال هذه المرحلة من الضروري أن يكون السماد طبيعيا ونتفادى الأسمدة الكيماوية.
- ✓ تجهز خطوط على شكل أخاديد مع ترك مسافة 40 سنتيمتر بين كل خط.
- ✓ بعد تحضير الأرض من المستحسن أن نرطب البذور وذلك بنقعها في الماء لمدة ساعة تقريبا، ثم نشرع في زرعها .
- ✓ نقوم بريها مرتين في الأسبوع عند زرعها في المناطق الحارة أو عندما تجف التربة مع الحرص على إزالة الاعشاب التي تنمو حولها .
- ✓ بعد اسبوعين تبدا البراعم بالظهور وبعد شهر تظهر الفسائل، حيث تحتاج البقول الى ثلاثة أشهر كي نمو بصورة كاملة .

- ✓ عندما تبدا أوراقها بالاصفرار هذا يدل على حلول موعد الحصاد، تقطع حينها النبات عند قاعدة الساق بعد ذلك نقوم بجمعها وتركها حتى تجف في مكان جيد التهوئة لعدة أيام مع التأكد من أن الرطوبة لا تتجاوز 15 بالمئة.

6- بعض أمراض العائلة البقولية :

حسب عديد الباحثين (Kheloul, 2014؛ شحاته، دون تاريخ؛ محمد ومحمد شريف، 2018؛ Gaur 2010 Pooran et al.,) تصاب نباتات العائلة البقولية بمجموعة أمراض من بينها:

- التبقع البني *(Les taches chocolat.)*؛
- الصدأ *(La rouille.)* ؛
- فيروس فسيفساء الفول؛
- فيروس تبقع الفول؛
- الهالوك *(L'orbanche.)*؛
- الديدان الخيطية *(Les nematodes.)* ؛
- حشرات المن *(Les pucerons.)*؛
- خنفساء الفول؛
- سوسة ورق البازلاء *(Sitona lineatus.)* ؛
- البياض الزغبى؛
- البياض الدقيقى؛
- نيما تودا تعقد الجذور؛
- فيرس التفاف أوارق البسلة؛
- فيروس تبرقش البسلة؛
- حشرات الحفار؛
- الدودة القارضة *(Agrotis ipsilon.)* ؛
- الثربس *(Frankliniella - kakothrips – Thysanoptera.)*؛
- مرض الذبول *(Fusarium Oxysporum.)* ؛
- ذبول الفيوزاريوم *(Fusarium oxysporum f. sp ciceri.)* ؛
- تعفن الجذور الجاف *(Rhizoctonia bataticola.)* ؛
- لفحة الأسكوكيتا *(Ascochyta rabiei.)* ؛
- حفار القرنة *(Helicoverpa armigera.)*.

الفصل الثاني

إجهاد المعادن الثقيلة

1- تعريف المعادن الثقيلة

إختلف العلماء حول تعريف المعادن الثقيلة والمعايير المتبعة في تصنيفها, وذلك بإختلاف المجال العلمي فالبيولوجيين يرو أن كثافة العنصر ليست معيارا أساسيا في تصنيف المعادن الثقيلة, بينما يعتبر الكيميائيون وعلماء البيئة كثافة العنصر من أهم المعايير المحددة للمعادن الثقيلة, وعلى هذا الأساس تم تصنيف العناصر الكيميائية إلى خفيفة ذات كثافة أقل من 34 g/cm وثقيلة ذات كثافة تزيد عن 35 g/cm, كما يرى البعض أن كثافة العنصر الكيميائي يجب أن يتجاوز 37 g/cm ليصنف كعنصر ثقيل, في حين أن البعض يعتمد على الوزن الذري للعنصر الكيميائي والعدد الذري له أو على سمية العنصر وقدرته على التراكم في الأجسام الحية كمعايير لتصنيف المعادن الثقيلة (Duffus, 2002) وحسب (Victoria, 2015; Mathuriya et yakhmi, 2014) تعرف المعادن الثقيلة بأنها عناصر كيميائية ذات كثافة نوعية تزيد عن 35 g/cm تتواجد في التربة على شكل معقدات أو بحالة متأينة في البيئة بشكل طبيعي وبتراكيز منخفضة, بعضها يدخل ضمن احتياجات النبات الغذائية لكن بكميات قليلة (Mudgal et al., 2010), من أهمها الزنك (Zn), الحديد (Fe), الكولبات (Co), النيكل (Ni), النحاس (Cu). تسبب المعادن الثقيلة في التربة خطرا كبيرا وضارا على البيئة والأحياء, وذلك بتواجدها في النظام البيئي فوق مستويات معينة تختلف حسب نوع المعدن وطبيعة التربة ونوع الكائن المتأثر بهذه المعادن (Duffus, 2002). تنتقل الى الإنسان عن طريق السلاسل الغذائية مسببة أمراض مزمنة كأمراض الجهاز التنفسي والأوعية والقلب وبعض أمراض الجهاز العصبي والسرطانات (Triassi et al., 2015).

يعرف التلوث المعدني الثقيل بأنه الترسيب المفرط للمعادن الثقيلة السامة في التربة الناتج عن النشاطات البشرية المختلفة (Su et al., 2014). وهي من أخطر الملوثات على الأوساط البيئية (Mudgal et al., 2010) وذلك بتراكمها في المياه والتربة وداخل أنسجة الأحياء وتؤثر على معظم النشاطات الحيوية لها, كونها من العناصر الانتقالية التي لها القدرة على تكوين مركبات معقدة ثابتة مع الكثير من المركبات العضوية وغير العضوية التي توجد في أجسام الكائنات الحية مما يؤدي إلى تراكمها داخل الأنسجة الحية, وتختلف هذه المعادن في مستوى جاهزيتها وسميتها للأحياء حسب حالتها الكيميائية, إذ تكون إما أيونات معدنية ذائبة أو معقدات عضوية أو غير عضوية أو بشكل جزيئات عالقة (الغزاوي وآخرون, 2014).

تتنوع مصادر التلوث بالمعادن الثقيلة منها مصادر طبيعية والمتمثلة في تجوية الترسبات المعدنية واحتراق الأشجار ورماد البراكين وغيرها، ومنها ما هو ناتج عن النشاط الصناعي البشري مثل احتراق الفحم والوقود الأحفوري والمخلفات الصناعية الصلبة والسائلة ونواتج التعدين والأنشطة الزراعية وغيرها (Mathuriya et Yakhmi, 2014) ، ومن أبرز مصادرها المنشآت الصناعية ومحطات توليد

الطاقة الكهربائية. التلوث بالمعادن الثقيلة ليس محصورا في مناطق محددة إنما في أغلب مناطق العالم، إلا أنه يزداد في المناطق المزدحمة سكانيا وذات كثافة صناعية ومرورية عالية (Victoria, 2015).

2- وصف بعض أنواع المعادن الثقيلة

- ✓ **الحديد:** عنصر معدني أبيض فضي يرمز له بالرمز Fe رقمه الذري 26، يوجد على نطاق واسع في بعض المركبات الكيميائية. فهو أكثر المعادن وفرة كما توجد كميات صغيرة من الحديد في أشكال مجمعة في المياه الطبيعية والنباتات والدم (Belabed, 2010).
- ✓ **الزنك:** هو عنصر كيميائي فلزي مزرق برمز Zn رقمه الذري 30، عنصر أساسي ضروري لتطور الحياة له استخدامات متغيرة ومتعددة لم يتم إثبات سميته إلا بتركيزات عالية (Belabed, 2010).
- ✓ **النحاس:** عنصر كيميائي معدني ذو لون أحمر- بني، يرمز له بالرمز Cu رقمه الذري 29، وهو ضروري لعملية التمثيل الغذائي للكائنات الحية (من العناصر الزهيدة)(Atsdr, 1990 ; Dameron et Howe ,1992).
- ✓ **المنغنيز:** عنصر كيميائي معدني أبيض فضي يرمز له بالرمز Mn رقمه الذري 25، إنه عنصر تتبع أساسي يوجد في جميع الأنسجة يحفز تفاعلات الأكسدة والاختزال والفسفرة ويعزز أيضًا التحلل المائي لأسترات الأحماض الأمينية والببتيدات لأنه ضروري لعملية التمثيل الغذائي للدهون، يحفز تكوين الكوليسترول (Belabed, 2010).
- ✓ **النيكل:** عنصر كيميائي برمز Ni رقمه الذري 28، وهو من العناصر المعدنية المتوفرة في القشرة الأرضية (Granier, 1975).
- ✓ **الكروم:** الكروم عنصر كيميائي برمز Cr رقمه الذري 24، جزء من سلسلة المعادن الانتقالية وهو معدن صلب، لونه رمادي فولاذي فضي يقاوم التآكل والبهتان. هذا الأخير هو خام واسع الانتشار إلى حد ما في العالم (Belabed, 2010).
- ✓ **الرصاص:** هو عنصر معدني ذو لون رمادي مزرق يرمز له بالرمز Pb رقمه الذري 26، قليلًا أو نادرًا في الحالة الأصلية، ويوجد في ثلاثة أشكال أساسية: الرصاص المذاب، الرصاص الغرواني والرصاص الجسيمي (Belabed, 2010).
- ✓ **الكادميوم:** يرمز له بالرمز Cd رقمه الذري 48 لونه أبض ناصع، يتمتع الكادميوم بمقاومة عالية للتآكل درجة انصهاره منخفضة. له خصائص كيميائية قريبة من تلك الخاصة بالكالسيوم. الكادميوم عنصر موجود في البيئة المائية بأشكال فيزيائية وكيميائية مختلفة (Borchardt, 1985).

- ✓ **الزئبق**: يرمز له بالرمز Hg رقمه الذري 80، وهو معدن يتم تحديد ديناميكياته في البيئة من خلال ثلاث خصائص أساسية: فيزيائية من خلال شكله السائل عند درجة الحرارة المحيطة، وكيميائية من خلال استقرار روابطه مع الكربون والكبريت، أيضا خصائصه البيولوجية من خلال تركيزه الحيوي المرتفع وسميته، كما تنقسم مركبات الزئبق إلى فئتين كيميائيتين رئيسيتين: الزئبق الغير عضوي (بما في ذلك الزئبق الأولي) والزئبق العضوي (بما في ذلك ميثيل الزئبق) (Belabed, 2010).
- ✓ **الألمنيوم:** هو عنصر معدني يرمز له بالرمز Al رقمه الذري 13، وهو ثالث أكثر العناصر وفرة بعد (الاكسجين والسيليكون) له القدرة على التأثير على نمو النبات وتطوره. لا يعتبر الألمنيوم من العناصر الغذائية الأساسية للنباتات حيث تعد سميته عاملا محتملا يحد من نمو النباتات المزروعة، برغم من أن التراكيز القليلة منه يمكن أن تزيد أحيانا من نمو النبات (Neenu and Karthika, 2019).

الوثيقة 02: بعض المعادن الثقيلة النقية المشكلة.

3- تصنيف أنواع المعادن الثقيلة

3-1- معادن أساسية

هي عناصر أساسية للعديد من العمليات الخلوية توجد بنسب قليلة جدًا في الأنسجة البيولوجية (Loue, 1993) . يكون بعضها سامًا عندما يتجاوز تراكيز معينة مثل (Cu), (Zn) و(Fe). على سبيل المثال، (Zn) بتركيز واحد ملي مولار هو عنصر ضئيل يشارك في العديد من التفاعلات الإنزيمية (Dehydrogenase, Protease, Peptidase) ويلعب دورًا مهمًا في استقلاب البروتينات والكربوهيدرات والدهون (Kabata-Pendias, et Pendias, 2001).

2-3- معادن سامة

وهي عناصر ذات طبيعة ملوثة ولها تأثيرات سامة على الكائنات الحية حتى بتراكيز منخفضة، ليس لها أي دور بيولوجي يذكر للخلية، وهذه هي حالة (Pb), (Hg) و(Cd) (Behanzin et al., 2014) .

4- تلوث التربة بالمعادن الثقيلة

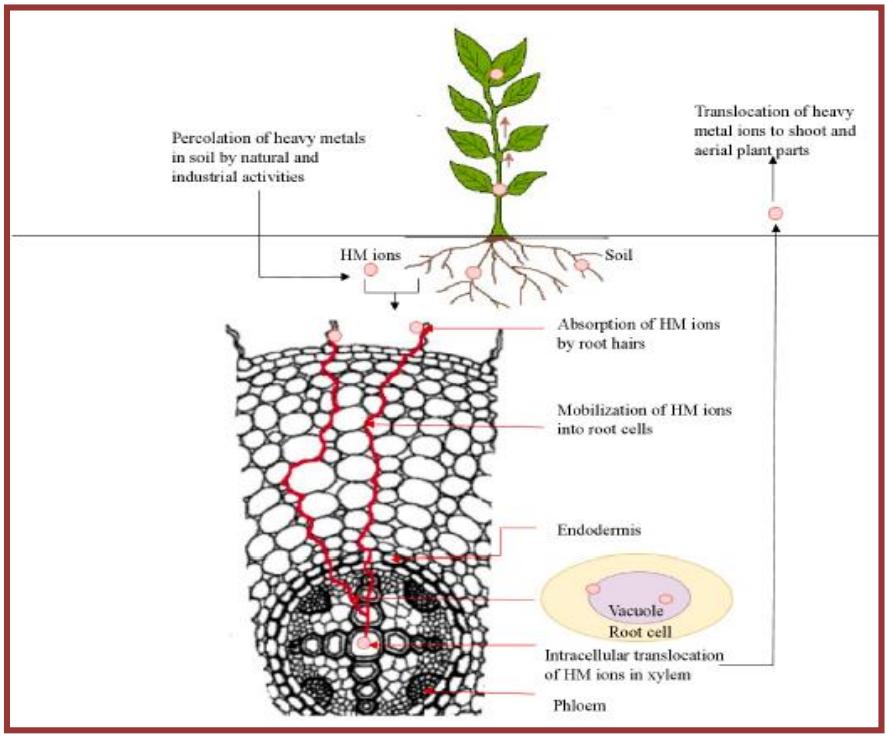
إن محتوى المعادن الثقيلة في التربة يعتمد بالدرجة الأولى على نوع الصخر الأم الذي نشأت عنه التربة, إذ يتباين محتوى الصخور من العناصر الثقيلة تبعا لنوع الصخر ومنشأه, فمحتواها من بعض المعادن الثقيلة في الصخور النارية القاعدية أعلى من محتوها في الصخور الرسوبية, وهذا يفسر بأن ارتفاع الكمية الكلية لبعض المعادن الثقيلة طبيعيا في التربة كـ Cr و Mn مقارنة بالمعادن الأخرى كـ Cd وHg كذلك تختلف الكمية الكلية من المعادن الثقيلة حسب درجة تجوية الصخور المكونة لها فكلما زادت درجة التجوية زادت نسبة المعادن الثقيلة في التربة (خويدم وآخرون, 2009; Maldonado et al., 2008).
تدمص المعادن الثقيلة على جزيئات التربة بقوة وتتفاعل مع مركباتها المختلفة، حيث تدخل في تفاعلات معينة مثل تفاعلات الأكسدة والإرجاع وتفاعلات الترسيب، وبذلك ترتبط بمركبات التربة والتي بدورها تزيد أو تخفض قابلية الحركة لهذه المعادن حسب طبيعة هذه المركبات (Dube et al., 2000).

إن قابلية المعادن الثقيلة على الحركة في التربة أهمية كبيرة بسبب الخطر الناتج عن احتمال امتصاصها من قبل جذور النبات بكميات كبيرة ووصول هذه المعادن إلى المياه الجوفية عن طريق مياه الصرف, وتختلف قابلية المعدن الثقيل على الحركة ضمن التربة باختلاف نوعه أولا والخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة ثانيا كمحتوى التربة من المادة العضوية ونسبة الطين والتركيب المعدني وحموضتها (Essa et Farragallah, 2006), ويشير (Aydinalp et Marinova, 2003) الى اختلاف حركة المعادن باختلاف درجة الحموضة ph, ففي التربة الحامضية تكون عناصرCd وZn عالية الحركة, بينما يكون Ni وCu متوسط الحركة أما ال Cr وPb بطيئة الحركة.

5- امتصاص وانتقال وتراكم المعادن الثقيلة في النبات

في البداية تمتص الجذور المعادن الثقيلة الموجودة في التربة ويمكن نقلها إلى الأجزاء الأخرى من النبات، في كثير من الأحيان تبقى جزيئات المعادن الثقيلة (HMs) في الجذور بسبب وجود حواجز حيث يعتمد امتصاصها بواسطة جذور النبات على التوافر البيولوجي للأيونات المعدنية (أي لا تترسب بشكل مشترك مع الأكاسيد أو تتميز إلى مادة عضوية) في محلول التربة وينظم بواسطة درجة الحموضة ومحتوى الكربونات (Waterlot et al., 2017). تشمل المسارات التي تدخل من خلالها HMs للجذور H^+ ATPase , والمضخات والتي تساعد في الحفاظ على الإمكانات السلبية عبر غشاء الجذور, تدخل أيونات HMs الموجودة في التربة إلى الطبقة الخارجية للنبات إما من خلال القنوات الأيونية أو كمركبات عضوية تتشكل بعد دمجها مع المخلّبات التي تطلقها جذور النباتات في التربة، وبالتالي تدخل المجمعات اللامعدنية

في طبقة البشرة الجذرية (Wang et al., 2007). تشارك أيضًا ناقلات مختلفة بما في ذلك بروتين ZIP (Zrt/Irt) وبروتين الغشاء المرتبط بالمقاومة الطبيعية (NRAMP) في امتصاص أيونات HMs في النباتات، بشكل عام تعمل شعيرات الجذور على تحسين المساحة السطحية للجذور لامتصاص المعادن الثقيلة بحيث تهاجر الأيونات بسرعة بين الخلايا Apoplast (Williams et al., 2000 ; Simões, 2012) ، وبمجرد امتصاصها من الجذور ترتبط أيونات HMs مباشرة بمجموعات الكربوكسيل من حمض Uronic الصمغ أو عديد السكاريد بالجذر وتظهر حركة في المسارات البينية والضمنية من البشرة الجذرية إلى منطقة القشرة (Seregin et Ivanov, 2001; Martin Lane et, 1977). تتراكم هذه الأيونات بشكل أساسي في الخلايا الجذرية بسبب الانسداد في مسارات النقل الضمنية والبينية في الأدمة بواسطة شريط كاسباريان. في وقت لاحق وبعد عبور الأدمة الباطنية تنتقل أيونات HMs عبر المسار المماثل للأنسجة الوعائية، أي نسيج الخشب واللحاء ويتم نقلها إلى الأجزاء الموجودة فوق سطح الأرض من النبات ... (Dhalaria et al.,2020)، كما هو موضح في الوثيقة التالية :



الوثيقة 03: امتصاص وانتقال وتراكم المعادن الثقيلة (HMs) في النباتات (Dhalaria et al., 2020).

لا يظل امتصاص أيونات HMs متجانسًا على طول جذور النبات، حيث يختلف تركيزها في قمة الجذر ومناطق أخرى من الجذر في حالة معدن الرصاص حيث تم العثور على أعلى تركيز لهذا المعدن في الخلايا الجذرية الفتية ذات الجدران الخلوية الرقيقة (Seregin et al, 2004). يحدث النقل المحدود للمعادن من الجذور إلى الأجزاء فوق سطح الأرض من النبات كما يحدث أثناء نقل أيونات HMs بين الجذور

والبراعم حيث تعمل الأدمة الداخلية كحاجز جزئي (Verma et Dubey, 2003) وتنقل بعض أنواع النباتات كمية كبيرة من الرصاص إلى براعمها (Gupta et al., 2013). يبقى الرصاص في جذور بعض النباتات في جدار الخلية ولا يمكن عزله إلا كمركب مع حامض الستريك (Citric Acid) (Varga et al, 1997)، كما لوحظت معقدات مختلفة من Pb في ساق وأوراق نبات البرسيم *Medicago sativa*. (Lopez et al, 2009). بالإضافة إلى ذلك يتم نقل Pb إلى الساق والأوراق في *Sesbania drummondii*. (Sharma et al., 2004)، ويكون نقله محدودًا في الأجزاء المختلفة من النبات بسبب تجميد أملاح الرصاص الغير القابلة للذوبان كرواسب في الفراغات بين الخلايا أو تثبيتها في جدار الخلية بواسطة البكتينات سالبة الشحنة أو التراكم في فجوات الخلايا القشرية وخلايا الأدمة الجذرية وأغشية الخلايا البلازمية (Yang et al., 2007; Kushwaha et al., 2018).

6- تأثيرات المعادن الثقيلة على انبات ونمو النباتات

6-1- تأثير المعادن الثقيلة على عملية الإنبات

تعد التربة العامل الضروري لإنبات البذور وبقاء النباتات ونموها، الإنبات هو مجموعة الأحداث التي تبدأ بالخطوة الحاسمة لامتصاص البذرة للماء وتنتهي باستطالة المحور الجنيني وظهور الجذور عبر البذور, يوجد العديد من العوامل البيئية التي يمكن أن تضر بقدرة البذور على الإنبات منها الملوحة، الإجهاد المائي، الرطوبة, درجة الحرارة الغير كافية وتأثير إجهاد المعادن الثقيلة على الإنبات حيث أن تثبيط هذه العملية يعتمد على المعدن وتركيزه، مدة تعرض البذور، أنواع النباتات وحتى صنفها وغالبًا ما يُعزى إلى اضطرابات التمثيل الغذائي (Mihoub et al., 2005). هذه الأسباب الرئيسية لفقدان المحاصيل في جميع أنحاء العالم والتي تشكل تهديدات خطيرة على المنتجات الزراعية حيث يمكن أن يؤدي وجود المعادن الثقيلة مثل النيكل(Ni)، الكادميوم(Cd), النحاس(Cu), الرصاص(Pb), الكروم(Cr) والزئبق(Hg) في التربة والماء إلى تراكم إحيائي يؤثر على النظام البيئي بأكمله ويحدث عواقب ضارة, تعيق المعادن ذات التركيز العالي إنبات البذور ونموه النبات وإنتاجه المرتبط بشكل أساسي بالعناصر الفسيولوجية (Sahu et Pradhan, 2004).

أدت معالجة بذور العدس *Lens esculenta moench*. بتراكيز مختلفة من الكروم 200 mg Cr(VI)/l و 300 mgCr(VI)/l لوحظ بالفعل تثبيط الإنبات بنسبة 15% و20% على التوالي (Jontey et al., 2013). أيضا عند معالجة بذور البرسيم *Medicago sativa*. صنف Malone المزروعة في وسط صلب (آجار) بـ (Cu) بتركيز 40 ppm أدى الى تثبيط إنبات البذور بشكل ملحوظ بنسبة 39% (Aydinalp et Sjbjoas, 2009).

وفقا لدراسة اجرها (Shafiq et al., 2008) على إنبات بذور *Leucaena leucocephala*. عند معالجتها بـ Pb بتركيز 75 ppm انخفضت نسبة إنبات البذور معنويا، ويمكن أن يعزى هذا الانخفاض الى تثبيط

تحلل المواد الغذائية المخزنة في البذور كما يمكن أن يعود الى تغيرات في خصائص النفاذية الاختيارية لغشاء الخلايا. أيضا عند معالجة بذور *Medicago arborea L.* بتركيز 50 ppm من الزنك ادى الى انخفاض في نسبة الانبات بنسبة 48,33 % (Bezini Elhadi et al., 2019).

2-6- تأثير المعادن الثقيلة على نمو النباتات

إن تراكم المعادن الثقيلة في النباتات يؤثر سلبا على امتصاص العناصر الغذائية الأساسية ونقلها، وبالتالي يحدث خلل في عملية التمثيل الغذائي، وهذا بدوره يؤثر على عملية النمو والتكاثر (Xu and Shi, 2000).

إن تأثير HMs الأولي الذي يلاحظ في النباتات هو تثبيط النمو بشكل عام، وتعتبر الجذور هي الأكثر حساسية لتأثير هذه المعادن مقارنة بالأعضاء النباتية الأخرى لأنها الهدف الأول لمرورها وتراكمها، حيث يظهر التأثير السام للمعادن الثقيلة على نمو النبات من خلال انخفاض نمو الأجزاء الهوائية والجذور مما يؤثر بشكل كبير على إنتاج الكتلة الحيوية، وغالبًا ما تكون هذه التأثيرات مصحوبة بالعديد من علامات الخلل الوظيفي الأخرى مثل اختلال توازن بعض هرمونات النمو (Wang et al., 2014).

عند إضافة 70 ppm من Arsenic (As) الى نبات *Neptunia oleracea Lour.* ادى الى تغيرات كبيرة في خصائص النبات المرفولوجية (تراجع نمو الجذر, البراعم, الوزن الجاف) وموت النبات في النهاية (Atabaki Narges, et al., 2020).

أجريت دراسة حول تأثير HMs على طول جذر نبات *Vigna radiata L.* حيث وضحت أن البذور المعالجة بـ Zn حدث انخفاض تدريجي في نمو الجذر (من 6 سم الى 1,3 سم) عند معالجتها بـ 1000 ppm (Saini and Gupta, 2018).

عند معالجة نبات البرسيم *Medicago sativa.* بتركيز 20 ppm من الكادميوم Cd^{+2} والكروم Cr^{+6} أدت الى انخفاض كبير في طول الساق بنسبة 62% و65% على التوالي, كما أظهرت هذه المعادن تأثيرات مميتة عند التركيز 40 ppm (Aydinalp and Sjbjoas , 2009).

كما أنه عند معاملة 20 ppm من (Cd) نباتات البازلاء *Pisum sativum.* قلل من حجم البراعم حوالي 15% و من ناحية اخرى فان التركيز 20 ppm من (Zn), (Ni), (Cu) و (Cr) أدت الى زيادة في طول النبتة بنسبة 12.5, 35, 65 و17.5 % على التوالي ومع ذلك فإن الـ (Cd) و(Cr) عند جرعة 40 ppm قلل بشكل كبير من نمو البراعم و عند زيادة تركيز هذين المعدنين الثقلين إلى 60 ppm قل حجم البراعم بنسبة 32.5% و50% على التوالي، أيضا أظهرت هذه المعادن الثقيلة عند 80 ppm تأثيرًا مميتًا على نبات البازلاء (Kunjam et al., 2015).

تم خفض مساحة ورقة البسلة الهندية *Cajanus cajan L.* من 43 cm^2 الى 19 cm^2 و 26 cm^2 تحت معاملة النباتات بمعدني Cd^{2+} وNi^{2+} على التوالي، بتركيز1 ملي مولار (Sheoran et al., 1990). كما

وجد (Shah et al., 2010) أيضا أن التركيز العالي للـ 200 ppm Cr اثر بشدة على مساحة الأوراق والكتلة الحيوية لشتلات *Albizzia lebbek*.

6-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحالة المائية للنبات

إن الماء عاملاً رئيسياً يساعد النبات على النمو لأنه يؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على جميع عمليات النمو (Kramer and Boyer, 1995). عادة ما تتعرض النباتات المزروعة في تربة ملوثة بالمعادن الى إجهاد جفاف بسب ضعف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة ونظام الجذر تحت اجهاد المعان الثقيلة (Barcelo et al., 2001). يؤدي الإجهاد المعدني إلى إجهاد النباتات عبر سلسلة من التأثيرات التي تؤدي إلى خفض فقدان الماء, انخفاض في عدد حجم الأوراق، حجم الثغور، عدد وقطر أوعية نسيج الخشب وزيادة مقاومة الثغور (Barcelo and Poschenrieder, 1990).

تؤثر المعادن الثقيلة على التوصيل الهيدروليكي للجذر، حيث تم كبح نمو أوراق نباتات الفاصوليا (bean) المعرضة لـ3 ميكرو مول من Cd بعد 48 ساعة لم تتأثر الأوراق ومع ذلك كان هناك انخفاض في محتوى الماء (Poschenrieder et al., 1989)، وهذا النقصان ناتج عن تأثير Cd في قابلية تمدد جدار الخلية الذي أدى إلى انخفاض التوصيل الهيدروليكي للأوراق في نبات الفاصوليا. أيضا وفقا لـ (Barcelo et al., 1985) فقد لوحظ انخفاض في كمية ماء في الأوراق لنباتات الفاصوليا المعالجة بالكروم حيث ظهرت أعراض سمية مثل انخفاض في قطر الأوعية الخشبية الذي أدى في النهاية إلى تقليل حركة الماء طوليا (Vazques et al., 1987) .

6-4- تأثير المعادن الثقيلة على عملية التركيب الضوئي

إن آلية التركيب الضوئي حساسة جدا لسمية المعادن الثقيلة، فالنباتات المعرضة لإجهاد HMs أدت إلى انخفاض في معدل تمثيلها الضوئي نتيجة نقص في كمية الكلوروفيل، تشوه البلاستيدات الخضراء، الأنشطة المثبطة لإنزيمات دورة كالفن، إعاقة في نقل الإلكترون وكذلك نقص في تثبيت ثاني أكسد الكربون نتيجة إغلاق الثغور كما يؤثر ارتفاع أيونات HMs على وظيفة النظامين الضوئيين الأول والثاني، حيث كان النظام الضوئي الثاني الأكثر تأثرا (Wang et al., 2012).

وفقا لدراسة أجراها (Bishnoi et al., 1993) على البلاستيدات الخضراء المعزولة من نبات البازلاء التي يبلغ عمرها 64 يوما عند معالجتها بتراكيز عالية من Cr 0,2 و 0,5 ملي مولار لوحظ انخفاض في معدل التمثيل الضوئي بنسبة 78% و85% على التوالي.

أيضا أدى تعرض شتلات البازلاء للكادميوم إلى انخفاض المحتوى من الكلوروفيل في الأوراق حيث عند المعالجة بـتركيز 7,5 ملي مولار من (Cd) أدى الى انخفاض المحتوى من الكلوروفيل بنسبة 13 % و29 % بعد 6 و12 يوم على التوالي من المعالجة (Chugh and Surinder, 1999).

وعند معالجة نبات *Phaseolus vulgaris*. بـ 50 ppm من Pb ادى الى انخفاض محتوى الكلوروفيل مقارنة بالشاهد (من 1,8 الى 1,2 مغ/غ) بعد 3 اسابيع من المعالجة (Hamid Neelofer et al., 2010).

5-6 - تأثير المعادن الثقيلة على المحتوى من مضادات الأكسدة

يشير مصطلح مضادات الأكسدة عمومًا إلى كثير من المركبات التي تحمي الخلايا من التلف الناتج عن التعرض لبعض المركبات شديدة السمية (Salt, 2004). ان المعادن الثقيلة تسبب أضرارًا مؤكسدة للنباتات إما بشكل مباشر أو غير مباشر عن طريق زيادة الجذور الحرة (Malecka et al., 2001; Shah et al., 2001).

على الرغم من أن العديد من المعادن ضرورية، الا أن التراكيز العالية منها في التربة تؤثر سلبًا على نمو المحاصيل، حيث تتداخل هذه المعادن مع وظائف التمثيل الغذائي في النباتات، بما في ذلك العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية، وتثبيط التمثيل الضوئي، التنفس وانحلال عضيات الخلية الرئيسية مما يؤدي إلى موت النباتات (Garbisu and Alkorta, 2001; Schmidt, 2003). تمتلك النباتات نظام دفاع فعال يشتمل على مجموعة من مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية التي تساعد في إبطاء أكسدة الجزيئات الحيوية ومنع عملية التفاعلات المؤكسدة، كما تساعد ايضا وظيفة الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل Glutathione-disulfide (GR) ,(SOD) Superoxide dismutase ,Ascorbate peroxidase (APX) reductase وCatalase في تجديد Ascorbate و Glutathione (Asada, 1996; Foyer and Nector 2000) metabolites.

اثناء ظروف الإجهاد، يكون تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 محدودًا مما يؤدي إلى انخفاض في تقليل الكربون بواسطة دورة كالفين، وهذا بدوره يؤدي إلى تقليل (NADP) Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate المؤكسد ليكون بمثابة مستقبل للإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي حيث يوفر نظام الدفاع المضاد للأكسدة الحماية الكافية ضد الأكسجين النشط والجذور الحرة، في ظروف الإجهاد يرتفع تركيز أنواع الأكسجين التفاعلية إلى مستويات ضارة في البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا مقارنةً بالمستوى الأساسي الناتج أثناء ظروف النمو الطبيعية (Hsu and Kao, 2003).

تعمل المعادن الثقيلة بتركيزات منخفضة على تعزيز نشاط مضادات الأكسدة الإنزيمية، ومع ذلك في حالة المحتوى المعدني العالي يقل نشاط التحفيز ويظل نشاط SOD غير متأثر (Gwozdz et al.,1997)، حيث كشفت دراسة (Dixit et al., 2002) عن تأثير Cr على نشاط SOD للميتوكوندريا الجذرية في نباتات البازلاء أين زاد نشاط SOD بنسبة 20 %عند تركيز 20 ميكرو مول من الكروم، في حين أن المستويات الأعلى من 200 ميكرو مول Cr قللت بشكل كبير من نشاط SOD.

6-6- تأثير المعادن الثقيلة على المحصول

تشير الدراسات حول تأثيرات المعادن على استقلاب البذور وتطورها كما أن تعرض النباتات النامية للمعادن يقلل من محصول النباتات، ولكن قد تكون هناك استثناءات (Kranner et Colville, 2011)، حيث أدت معالجة نبات فول الصويا بـ Cd وNi إلى انخفاض ملحوظ في إنتاج الثمار والكتلة الجافة للجذور، كما كان الكادميوم أكثر سمية وأقل تركيز منه قلل من حجم البذور لكنه لم يؤثر على متوسط عدد البذور في كل ثمرة، في المقابل قلل النيكل عدد البذور لكل ثمرة ولم يؤثر على حجمها، كما لم تتأثر قابلية إنبات البذور بكلا المعدنين على الرغم من أن المعالجة بالكادميوم قللت من تراكم المواد المغذية وفي بعض الأحيان أنتجت النباتات المعالجة بالنيكل ثمارا مشوهة بدون بذور أو غير قابلة للحياة (Malan and Farrant , 1998). تم تسجيل انخفاض إنتاج البذور من الحمص المزروع في تربة ملوثة بالـ Cd، كما زاد نموه في وجود الرصاص مقارنة بالشاهد (Wani et al., 2007). أيضا تم تسجيل انخفاض في المحصول عند نبات *Vigna radiata* المزروعة في التربة الملوثة بـ Cd و Cu بينما أدى التلوث بـ Cr إلى زيادة ملحوظة في المحصول من البذور (Wani et al., 2007). عند معالجة نبات البازلاء Cu ,Cr , Cd بتراكيز mg/kg^{-1} 136, mg/kg^{-1} 24, mg/kg^{-1} 1,338 على التوالي حيث لوحظ أن معدن Cu أكثر سمية على المحصول مقارنة بـ Cd وCr اللذان عززا من كمية المحصول (Wani et al.,2008).

وفيما يلي نستعرض نتائج أهم الدراسات المنجزة حول تأثير المعادن الثقيلة على إنبات البذور ونمو نباتات العائلة البقوليات *Fabaceae*

الجدول 02: ملخص نتائج الدراسات حول تأثير المعادن الثقيلة على إنبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae*

النبات	المعدن	التركيز	التأثير	المرجع
Neptunia oleracea Lour	As	70 ppm	تغيرات كبيرة في خصائص النبات المرفولوجية (تراجع نمو الجذر، البراعم، الوزن الجاف) وموت النبات في النهاية.	(Atabaki Narges, et al., 2020)
Medicago arborea L	Zn	50 ppm	انخفاض نسبة انبات البذور الى 48,33 %.	(Bezini Elhadi et al., 2019)
Vigna radiate L(R. Wilczek)	Zn	1000 ppm	انخفاض تدريجي في نمو الجذر (من 6 سم الى 1,3سم).	(Saini and Gupta, 2018)

Albizia julibrissin Durazz	Cd	50 ميكرو مول	زيادة كبيرة في نشاط GR بعد 21 يوما من المعالجة ونشاط GUAPX بعد 7 أيام من المعالجة. - بقاء نشاط CAT محفوظا سوآءا بعد 7 أو 21 يوم من المعالجة.	(Baycu et al., 2017)
	Pb	5000 ميكرو مول	زيادة كبيرة في نشاط كل من GUAPX وGR بعد 14 يوما من المعالجة.	
		من 1000الى 5000 ميكرو مول	انخفاض تدريجي في نشاط CAT عند ارتفاع تركيز Pb مع اختلاف مدة التعرض (7, 14, 21 يوما).	
Vignaaconitifolia L	Cd	500 ميكرو مول	انخفاض بشكل طفيف في AsA في الأوراق وزاد بشكل كبير في الجذر في اليوم 15.	(Vijendra et al., 2016)
		10-500 ميكرو مول	زيادة كبيرة لـ Glutathione في أوراق وجذور النبات حيث كانت الزيادة في الأوراق أعلى من الجذور في مدة التعرض 3الى 15 يوم.	
Pisum sativum	Cd	20 ppm	قلل من حجم البراعم حوالي 15%	(Kunjam et al., 2015)
	Zn, Ni, Cu, Cr	20 ppm	زيادة في طول النبتة بنسبة12,5 , 35, 65 و17,5 % على التوالي.	
	Cd Cr	40 ppm	قلل بشكل كبير من نمو البراعم.	
		60 ppm	قل حجم البراعم بنسبة 32,5% و 50%على التوالي.	
	Cd, Zn, Ni, Cu, Cr	80 ppm	أظهرت هذه المعادن تأثيرات مميتة على النبات.	
Lens esculenta moench	Cr(VI)	200 mg/l 300 mg/l	تثبيط الإنبات بنسبة 15% و20%	(Jontey et al., 2013)
Albizzia lebbek	Cr	200 ppm	اثر بشدة على مساحة الأوراق والكتلة الحيوية لشتلات	(Shah et al., 2010)

(Hamid Neelofer et al., 2010)	انخفاض في محتوى الكلوروفيل مقارنة بالشاهد (من 1,8 الى 1,2 مغ/غ) بعد 3 اسابيع من العلاج	50 ppm	Pb	*Phaseolus vulgaris*
(Aydinalp et Sjbjoas, 2009)	تثبيط إنبات البذور بشكل ملحوظ بنسبة 39%.	40 ppm	Cu	*Medicago sativa(Malone)*
(Aydinalp and Sjbjoas , 2009)	انخفاض كبير في طول الساق بنسبة 62% و 65% على التوالي.	20 ppm	Cd^{+2} Cr^{+6}	*Medicago sativa(Malone)*
	أظهرت هذه المعادن تأثيرات مميتة	40 ppm		
(Shafiq et al., 2008)	انخفضت نسبة انبات البذور معنويا	75 ppm	Pb	*Leucaena leucocephala*
(Wani et al., 2008)	معدن Cu كان أكثر سمية على المحصول مقارنة بـ Cd وCr اللذان عززا من كمية المحصول.	136 mg/kg^{-1} 24 mg/kg^{-1} 1,338 mg/kg^{-1} في التربة	Cd Cr Cu	*Pisum sativum*
(Dixit et al., 2002)	زاد نشاط SOD بنسبة 20 % (Superoxide dismutase).	20ميكرو مول	Cr	*Pisum sativum*
	قل نشاط SOD بشكل كبير.	أعلى من 200 ميكرو مول		
(Chugh and Surinder, 1999)	انخفاض محتوى من الكلوروفيل بنسبة 13 % و29 % بعد 6 و12 يوم على التوالي من المعالجة.	7,5 ملي مولار	Cd	*Pisum sativum*
(Bishnoi et al.,1993)	انخفاض في معدل التمثيل الضوئي بنسبة 78% و85% على التوالي.	0,5; 0,2 ملي مولار	Cr	*Pisum sativum*
(Sheoran et al., 1990)	تم خفض مساحة الورقة من 43 $سم^2$ الى 19 و 26 $سم^2$.	1 ملي مولار	Cd^{+2} Ni^{+2}	*Cajanus cajan L*
(Poschenrieder et al., 1989)	انخفاض في محتوى الماء.	3 ميكرو مول	Cd	*Phaseolus vulagaris (bean)*

7- آليات تحمل ومقاومة النباتات لإجهاد المعادن الثقيلة

طورت النباتات آليات مختلفة لتحمل إجهاد المعادن الثقيلة حيث حددت بعض الدراسات العناصر الجينية والكيميائية الحيوية في خلايا أنسجة النباتات، والتي تساعدها في التغلب على هذا النوع من الإجهاد (Sethy and Shyamasree, 2013).

تأكد أن الجين Cadmium-resistant 3 (CDR3) المعزول من نبات Arabidopsis المقاوم للـ Cd إلى دوره في تنظيم مقاومة المعادن الثقيلة وكذلك نمو البادرات وتطورها من خلال زيادة النشاط لجين (GSH1 Glutathione1) مما يؤدي إلى تخليق GSH وزيادة محتواه (Wang et al ,2011). أيضا تم الكشف عن انزيم Phytochelatin synthase (PCS) ونظام النبات النشط المضاد للأكسدة والجينات المشفرة للنواقل الغشائية المتخصصة للمساهمة في تحمل Cd (Zhang et al, 2006) ونقله داخل الفجوات عن طريق تكوين معقدات وربطها بـ Phytochelatins وتخليق المواد الذائبة العضوية Osmolytes وتفعيل مضادات الأكسدة المختلفة (مضادات الأكسدة الأنزيمية وغير الأنزيمية) لمكافحة الجذور الحرة ROS وتنظيم التعبير الجيني لإنتاج الإنزيمات، كما توجد آليات التحفيز في تنشيط تعبير الجينات المتخصصة في ذلك (Sahu et al, 2004; Sharma et al,2011; DalCorso et al,2010).

من جهة أخرى، وتحت تأثير التراكيز العالية من المعادن الثقيلة تزداد سماكة جدران الخلايا في الجذور، وهذه هي إحدى الاليات التي يمكن أن تفعلها النباتات للحد من تدفق المعادن، حيث أن هذه الظاهرة ترتبط بزيادة نشاط إنزيم Peroxidase (Liu et al.,2004), حيث أن هذا الانزيم قادر على تحفيز تخليق اللجنين وتحريضه عند رفع تركيز المعادن السامة في الوسط (Prasad 1996). إن تعرض النباتات لتراكيز متزايدة من المعادن الثقيلة مثل الحديد والنحاس ... يؤدي إلى استحثاث آليات التأكسد (Mazoudi et al., 1997)، ولهذا طورت الخلايا آليات معينة مثل أنظمة مضادات الأكسدة الإنزيمية وتخليق الإنزيمات مثل Catalase، Peroxidase و SOD ومضادات الأكسدة غير الإنزيمية مثل Ascorbate , Glutathione والمركبات الفينولية لمكافحة الإجهاد التأكسدي والتخفيف من التسمم المعدني (Wani et al., 2012).

حسب (Baycu et al., 2017) عند معالجة نبات *Albizia julibrissin* urazz. بـ Cd و Pb تسبب في تحريض الإجهاد التأكسدي المعتمد على التركيز ومدة تعرض النبات للإجهاد، حيث تم ملاحظة زيادات كبيرة في أنشطة كل من Glutathion réductase (GR) عند التركيز 50 ميكرو مول من Cd بعد 21 يوما و5000 ميكرو مول من Pb بعد 14 يوما و Guaiacol peroxidase (GUAPX) عند التركيز 50 ميكرو مول من Cd بعد 7 ايام و5000 ميكرو مول من Pb بعد 14يوما، وفي المقابل انخفض نشاط Catalase.

لوحظ انخفاض شديد في نشاط CAT بعد العلاج بـ Cd وPb, وتم الحفاظ على نشاط CAT عند التركيز المنخفض من Cd 50 ميكرو مول سواءا بعد 7 و21 يومًا ، كما انخفض نشاط CAT تدريجياً عند ارتفاع تركيز Pb (من 1000الى 5000 ميكرو مول) مع اختلاف مدة التعرض (7, 14 و21 يوم).

أشار (Vijendra et al., 2016) عند معالجة نبات *Vignaaconitifolia L.* بـ Cd لوحظ انخفاض بشكل طفيف في المحتوى من Ascorbate (AsA) في الأوراق كما لوحظت زيادة كبيرة في المحتوى من الـ AsA في الجذر عند تركيز 500 ميكرو مول من Cd في اليوم 15 مقارنة بالشاهد, وأيضا لوحظ أن الـ Glutathione يزداد بشكل كبير في أوراق وجذور النبات المجهدة بالـ Cd حيث كانت الزيادة في الأوراق أعلى من الجذور عند جميع التراكيز(10-500 ميكرو مول) ومدة التعرض(3-15 يوم) مقارنة بالشاهد, وعند نفس التراكيز ومدة التعرض السابقة للـ (Cd) لوحظت زيادة معنوية لـ(NPSH) Nonproteinthiols والمحتوى من cysteine في أوراق وجذور النبات مقارنة بالشاهد.

ولتجنب الآثار الضارة للمعادن الثقيلة طورت بعض النباتات آليات مختلفة لتنظيم امتصاص وتوزيع هذه العناصر لمنع أو التقليل من سميتها (Hossner et al., 1998)، حيث تقوم بعض النباتات بتثبيت العناصر السامة في جدر الخلايا للجذور والأوراق بعيداً عن المواقع الحساسة ضمن الخلية أو تخزينها في حويصلات (vesicles) (Memon et al., 2001) أو تثبيت العناصر الثقيلة في منطقة الجذور وخفض إمكانية انتقالها إلى الأوراق وهي ميزة المقاومة الأكثر شيوعاً لدى غالبية الأنواع النباتية (Watson et Pulford, 2013).

كما يمكن أن يكون الحد من توفر المعادن الثقيلة بمستويات عالية وذلك عن طريق الحد من امتصاصها بزرع نباتات عالية المراكمة لأيونات المعادن مثل (*Pterisvittata, P. cretica, P. biaurita,* *Sesbaniadrummondii, Helianthus annuus, Sedum alfredii, Atriplexhalimus, Amanita muscaria,* and *Polygonumaviculare*)، هذه النباتات مطلوبة جدا لمعالجة التربة الملوثة وذلك لقدرتها على النمو في تركيزات عالية من المعادن وتمتصها من خلال جذورها وتنقلها بأقل قدر من السمية أو بدون سمية للأجزاء الهوائية من النبات، كما يمكن تقدير كمية أيونات HMs المأخوذة من التربة بواسطة النباتات عن طريق احتساب عامل المراكمة (Dhalaria et al., 2020).

من بين آليات الدفاع التي تستخدمها النباتات ايضا في مواجهة الإجهاد المعدني هو الإنتاج المكثف لمركب Proline، وهو حمض أميني يلعب دورًا مهمًا في الحفاظ على التوازن الخلوي من خلال التنظيم الأسموزي، كما أنه قادر على تثبيط الجذور الحرة الناتجة عن مجموعة متنوعة من الاجهادات اللاحيائية بما في ذلك إجهاد المعادن الثقيلة، حيث أكدت الدراسات أن المحتوى من Proline يزداد تحت اجهادات بيئية مختلفة ويتراكم في أجزاء النبات المختلفة (Fabro et al., 2004). حيث تم تقييم نشاطه في التخلص من الجذور الحرة وذلك باستخدام أنظمة الفحص في المختبر أي البلمرة والأكسدة التلقائية للـ pyrogallol (auto-oxidation of pyrogallol) (Kaul et al,.2008).

كما أكدت الدراسات أن هناك علاقة بين تراكم Proline في النبات وظروف الإجهاد، حيث تم اختبار تراكم Proline في نباتي *Cajanuscajan* و *Vignamungo* تحت إجهاد Cd, Co ,Pb وZn حيث لوحظ تراكمه في جميع الشتلات وكان مستواه متناسبًا عكسياً مع الوزن الطري للنبات بغض النظر عن المعدن الثقيل، مما يشير إلى أن المواد المستخدمة كانت محفزة لإنتاج Proline (Saradhi, 1991). يبدو أن الكادميوم هو أكثر المعادن الثقيلة فعالية في تحفيز إنتاجه حيث تم قياس Proline الحر أيضًا استجابةً للنحاس والكادميوم والزنك في نبات *Silene vulgaris* المتحمل للمعادن أين كان تركيز الـ Proline في أوراق النبات من 5 الى 6 مرات أكبر من الأنواع غير المتحملة للمعادن (Schat et al., 1997).

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

تلعب المحاصيل البقولية دورا هاما في تأمين جزء من المتطلبات الغذائية للإنسان حيث يزرعها على نطاق واسع فهي تلعب دورا مهما في تنمية الاقتصاد، إلا أن تعرضها للإجهادات البيئية كإجهاد المعادن الثقيلة الذي يسبب آثار ضارة على إنتاج المحاصيل وجودتها حيث تختلف مستويات الضرر من معدن لآخر باختلاف نوعها وتركيزها في الوسط.

من بين العوامل البيئية التي تؤثر على قدرة البذور على الانبات إجهاد المعادن الثقيلة حيث أن التراكيز العالية من هذه المعادن تعتبر سامة حتى بتراكيز ضعيفة مثل الكادميوم (Cd)، الرصاص (Pb) والكروم (Cr) ... فهي تعيق انبات البذور وذلك بتثبيط إنزيمات تحليل المواد الغذائية المخزنة وتثبيط انقسام الخلايا الجنينية وتسممها، كما أن تراكم هذه العناصر يؤثر سلبا على عملية نمو الأجزاء الهوائية والجذور عند النباتات.

عادة ما تتعرض النباتات المزروعة في تربة ملوثة بالمعادن الى إجهاد جفاف بسب ضعف الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة من جهة وتغير خصائص النظام الجذري في ظروف إجهاد المعان الثقيلة من جهة أخرى، مما يؤثر على التوصيل الهيدروليكي للجذر، أين يكون انخفاض مردود النباتات واضحا.

تؤدي المعادن الثقيلة الى خفض عملية التمثيل الضوئي نتيجة النقص في الكلوروفيل وتشوه البلاستيدات الخضراء وإعاقة النقل الإلكتروني على مستوى غشاء التلاكويد وكذلك نقص في تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 نتيجة إغلاق الثغور، كما تؤثر أيضا على وظيفة النظامين الضوئيين الأول والثاني. في ظروف هذا النوع من الإجهاد يكون تثبيت ثاني أكسيد الكربون CO_2 محدودًا مما يؤدي إلى خفض دمج جزيئات الكربون بواسطة انزيمات دورة كالفين، والذي بدوره يؤدي إلى تقليل (NADP) المؤكسد ليكون بمثابة مستقبل للإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي.

طورت النباتات تحورات تشريحية مختلفة لتحمل إجهاد المعادن الثقيلة منها سماكة جدران الخلايا في الجذور، وهي إحدى الآليات التي يمكن أن تفعلها النباتات للحد من تدفق المعادن حيث أن هذه الظاهرة ترتبط بزيادة نشاط إنزيم Peroxidase.

كما طورت خلايا النباتات آليات معينة مثل أنظمة مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية والمركبات الفينولية ... لتثبيط الجذور الحرة وإبطاء أكسدة الجزيئات الحيوية والوقاية من الإجهاد التأكسدي، ومن جهة أخرى فان الإنتاج المكثف لبعض المركبات المهمة مثل الحمض الأميني Proline يعمل على تثبيط الجذور الحرة الناتجة عن إجهاد المعادن الثقيلة.

من خلال الأبحاث السابقة توصلنا الى أن التراكيز العالية من الكادميوم والرصاص والكروم ... تؤثر سلبا على انبات ونمو نباتات العائلة البقولية *Fabaceae*، كما تعتبر أيونات النحاس والزنك ضرورية للنمو الطبيعي وتطور النبات ومع ذلك فإن التراكيز العالية من هذه المعادن قد تكون سامة جدا على النبات، حيث يكون نوع النبات، طبيعة المعدن وتركيزه كلها عوامل محددة لمدى استجابة النبات للإجهاد.

المراجع

قائمة المراجع:

1- البيومي ع أ، أميل ي أ، سيد أ ه، 2000 . أساسيات علم النبات, الدار العربية للنشر والتوزيع. ص: ..195

2- الحياني علي, 2015. إنبات البذور و إكثار نبات متقدم دراسات عليا، جامعة ديالى.

3- احمد عبد المنعم حسن, 1989. الخضر الثانوية ، الدار العربية لنشر والتوزيع ص (90-91-92).

4- الرباط محمد فؤاد وأبو زخم عبد الله, 1988. النباتات الرعوية ذات الأهمية الاقتصادية, مطبعة خالد بن الوليد, صفحة237.

5- الغزاوي، غيداء جاسم، أحمد جري شبيب الشمري, 2014, قابلية بعض أنواع البكتيريا المعزولة من شط العرب على الإمتزاز الحيوي لبعض المعادن الثقيلة. مجلة أبحاث البصرة، 116.13(40).

6- خويدم كريم حسين, الأنصاري حبيب رشيد, البصام خلدون صبحي, 2009, دراسة توزيع بعض العناصر الثقيلة في تربة مدينة البصرة – جنوب العراق .المجلة العراقية للعلوم، 4, 533-542 (50).

7- شحاته سعيد عبدالله, دون تاريخ. العائلة البقولية *Leguminosae*, كلية الزراعة جامعة القاهرة. صفحة 195.

8- صفر ناصر حسين, 1988. محاصيل العلف والمراعي, وزارة التعليم العالي والبحث العلمي جامعة بغداد كلية الزراعة, صفحة 210.

9- فاخر إبراهيم وجاسم عبد الجبار، 1980. إنتاج الخضر لطلبة المعاهد الزراعية الفنية, مكتبة الأمير للطباعة بغداد العراق, صفحة 4.8, 262.300.

10- محمد و ابوبكر محمد شريف, ماي 2018 . أثر فترات الري والأصناف علي نمو وإنتاجية الفول المصري بمحلية زالنجي *Vicia faba. Diss* جامعة زالنجي.

11- مسعود إيمان, دون تاريخ. أساسيات المحاصيل الحقلية وإنتاجها, جامعة حماة كلية الهندسة الزراعية.

12- Pedro Javaloyes وآخرون, 2016. البقول بذور مغذية لمستقبل مستدام منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة, صفحة 44-45.

قائمة المراجع الأجنبية

1) Asada K, 1996. Radical production and scavenging in chloroplasts. In: Baker N (ed) Photosynthesis and the environment. Kluwer, Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Dordrecht, Halifax, pp 123–150.
2) Atabaki Narges et al., 2020. "Assessment of Water Mimosa (Neptunia oleracea Lour.) Morphological, Physiological, and Removal Efficiency for Phytoremediation of Arsenic-Polluted Water." Plants 9.11: 1500.
3) ATSDR, 1990. Toxicological profiles for copper. Agency for toxic substances and disease registry, Atlanta, GA: US department of Health and Human Services, Public Health Services.
4) Aydinalp C and Sjbjoas Marinova, 2009, "The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (Medicago sativa)." Bulgarian Journal of Agricultural Science 15.4: 347-350.
5) Aydinalp C and Marinova S, 2003. Distribution and Forms of Heavy Metals in Some Agricultural Soils. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 12, No. 5, pp: (629-633).
6) Barcelo J, Poschenrieder C, Lombini A, Llugany M, Bech J, Dinelli E, 2001. Mediterranean plant species for phytoremediation. In: Abstracts costs action 837 WG2 workshop on phytoremediation of trace elements in contaminated soils and waters (with special emphasis on Zn, Cd, Pb and As), Madrid, 5–7 April, p 23.
7) Barcelo J, Poschenrieder C H, 1990. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. J Plant Nutr 13:1–37.
8) Barcelo J, Poschenriender C, Ruano A, Gunse B, 1985. Leaf water potential in Cr(VI) treated bean plants (Phaseolus vulgaris L). Plant Physiol Suppl 77:163–4.
9) Baycu G, Tolunay D, O¨ zden H, Gu¨nebakan S , 2006. Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. Environ Pollut 143:545–554.
10) Behanzin G J, Adjou E S, Yessoufou A G, Dahouenon A.E. et SEZAN A ,2014. Effet des sels de métaux lourds (chlorure de Cobalt et chlorure de Mercure) sur l'activité des hépatocytes, Journal Applied Biosciences, Vol 83, pp 7499-7505.
11) Belabed Bourhane –Eddine, 2010, La pollution par les métaux lourds dans la region d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques » . page 7-20.

12) Bezini Elhadi et al., 2019. "Effect of some heavy metals on seed germination of Medicago arborea L.(Fabaceae)." Agriculturae Conspectus Scientificus 84.4: 357-364.

13) Bishnoi NR, Chugh LK, Sawhney SK , 1993. Effect of chromium on photosynthesis, respiration and nitrogen fixation in pea (Pisum sativum L) seedlings. J Plant Physiol 142:25–30.

14) Bolarinwa I F, O A Adekanmi, J A Adeyanju and Z O Kareem, 2016a. Production and quality evaluation of biscuits produced from malted sorghum-soy flour blends. J. Adv. Food Sci Technol., 3(3): 107-113.

15) Borchardt T, 1985. Relation ship between carbon and cadmium uptake in Mytilus edulis." Mar. Biol 85: 233-244

16) Chibuike G, U and Obiora S C, 2014. Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. Applied and Environmental Soil Science. Vol.2014, Article ID 752708, pp:(12).

17) Chugh, Lakshaman Kumar, and Surinder Kumar Sawhney, 1999, "Photosynthetic activities of Pisum sativum seedlings grown in presence of cadmium." Plant physiology and biochemistry 37.4: 297-303.

18) DalCorso G, Farinati S, Furini A, 2010. Regulatory networks of cadmium stress in plants. Plant Signal Behav;5:663‑7.

19) Dhalaria Rajni et al., 2020. "Arbuscular mycorrhizal fungi as potential agents in ameliorating heavy metal stress in plants." Agronomy 10.6: 815.

20) Dameron C et Howe P D, 1998. -Copper Environmental Health criteria n0200 Geneve, World Health Organization.

21) Dixit V, Pandey V, Shyam R, 2002. Chromium ions inactivate electron transport and enhance superoxide generation in vivo in pea (Pisum sativum L. cv. Azad) root mitochondria. Plant Cell Environ 25:687–690.

22) Dube. A; Zbytniewski. R; Kowalkowski. T; Cukrowska. E; Buszewski. B, 2000, Adsorption and Migration of Heavy Metals in soil. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 10, No. 1, pp: (1-10).

23) Duffus. J. H, 2002, "Heavy metals" – a meaningless term?. Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 5, pp: (793–807).

24) Eneche, E.H., 1999. Biscuit-making potential of millet/pigeon pea flour blends. Plant Food. Hum Nutr., 54(1): 21-27.

25) Essa M A and Farragallah M A, 2006, Clay minerals and their interactions with heavy metals and microbes of soils irrigated by various water resources at Assiut, Egypt, Assiut. Univ. Bull. Environ. Res. Vol. 9 No. 2, pp: (73-90).

26) Fabro G, Kova´cs I, Pavet V, Szabados L, & Alvarez M E, 2004. Proline accumulation and AtP5CS2 gene activation are induced by plant-pathogen incompatible interactions in Arabidopsis. Molecular Plant–Microbe Interactions, 17(4), 343–350.

27) Foyer C F, Nector G, 2000. Oxygen processing in photosynthesis regulation and signaling. New Phytol 146:359–388.

28) Garbisu C, Alkorta I, 2001. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Biores Technol 77(3):229–236.

29) Gaur Pooran M et al., 2010. "Chickpea seed production manual".

30) Granier, M., 1975, - Cobalt, Cadmium, Nickel, pages 62. l'activité des hépatocytes, Journal Applied Biosciences, Vol 83, pp 7499-7505.

31) Gupta D k; Huang H G; Corpas F J, 2013, Lead tolerance in plants: Strategies for phytoremediation. Environ Sci Pollut Res. 20, 2150–2161.

32) Gupta, Y.P., 1987. Anti-nutritional and toxic factors in food legumes: A review. Plant Food. Hum Nutr., 37(3): 201-228.

33) Gwozdz E A, Przymusinski R, Rucinska R, Deckert J, 1997. Plant cell responses to heavy metals molecular and physiological aspects. Acta Physiol Plant 19:459–65.

34) Hamid Neelofer, Nosheen Bukhari, and Faiza Jawaid, 2010. "Physiological responses of Phaseolus vulgaris to different lead concentrations." Pak J Bot 42.1: 239-246.

35) Hossner, L.R., Loeppert, R.H., Newton, R.J., Szaniszlo, P.J, 1998. Literature Review: Phytoaccumulation of Chromium , Uranium and Plutonium in Plant Systems. Amarillo National Resource Center for Plutanium, 1-51.

36) Joutey Nezha Tahri et al., 2013, "Biodegradation: involved microorganisms and genetically engineered microorganisms." Biodegradation-life of science 1: 289-320.

37) Kabata-Pendias A et Pendias H., 2001, Trace elements in soils and plants. 3rd CRC Press, Boca Raton, London, New-York, Washington D.C.

38) Kaul S, Sharma S, & Mehta I, 2008. Free radical scavenging potential of L-proline: Evidence from in vitro assays. Amino Acids, 34(2), 315–320.

39) kheloul L, 2014. Inventaire qualitatif et quantitatif des pucerons inféodés à la culture de la fève, Dynamique des populations de certaines espèces caractéristique

dans deux parcelles de fève vicia fabaminor et vicia faba major dans la région de Tizi.Rached (Tizi.Ouzou), Mémoire de magister, Univ Mouloud Mammeri, Tizi.Ouzou, 18.23p.

40) Kouris-Blazos A, 2016. Health benefits of legumes and pulses with a focus on Australian sweet lupins. Asia Pac. J. Clin. Nutr., 25(1): 1-7.

41) Kramer P J, Boyer J S, 1995. Water relations of plants and soils. Academic Press, San Diego, p 495.

42) Kranner Ilse and Louise Colville, 2011, "Metals and seeds: biochemical and molecular implications and their significance for seed germination." Environmental and Experimental Botany 72.1: 93-105.

43) Kunjam Mallikarjuna et al., 2015. "Studies on selected heavy metals on seed germination and plant growth in pea plant (*Pisum sativum*) grown in solid medium." J. Pharmacogn. Phytochem 3.5: 85-87.

44) Kushwaha A; Hans N; Kumar S; Rani R A, 2018, critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. Ecotoxicol. Environ. Saf. 147, 1035–1045

45) Lane S D; Martin E S. A, 1977, histochemical investigation of lead uptake in Raphanus.

46) Liu H. Y; Liao B. H; Zhou P. H; & Yu P. Z, 2004. Toxicity of linear alkylbenzene sulfonate and alkylethoxylate to aquatic plants. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 72(4), 866-872.

47) Lopez M L; Peralta-Videa J R; Parsons J G; Gardea-Torresdey J L; Duarte-Gardea M E , 2009. ect of indole-3-acetic acid, kinetin, and ethylene diamine tetra acetic acid on plant growth and uptake and translocation of lead, micronutrients, and macronutrients in alfalfa plants. Int. J. Phytoremediation, 11131 –149.

48) Malan H L, Farrant J M, 1998. Effects of the metal pollutants cadmium and nickel on soybean seed development. Seed Sci. Res. 8, 445–453.

49) Maldonado V M; Arias H O; Quintana R; Saucedo R A; Gutierrez M A; Ortega J A; Nevarez G V, 2008. Heavy Metal Content in Soils under Different Wastewater Irrigation, Patterns in Chihuahua, Mexico. International Journal of Environmental Research and Public Health, 5(5), pp: (441-449).

50) Malecka A, Jarmuszkiewicz W, Tomaszewska B, 2001. Antioxidative defense to lead stress in subcellular compartments of pea root cells. Acta Biochim Polon 48:687–698.

51) Manchanda H R, Sharma S K, 1990. Influence of different chloride sulphate ratios on yield of chickpea (Cicer arietinum L.) at comparable salinity levels. Indian J. Sci.,60:553-5.

52) Mathuriya A, S and Yakhmi J V, 2014. Microbial fuel cells to recover heavy metals. Environ Chem Lett, Vol. 12, P: (483–494).

53) Mazhoudi S; Chaoui A; Ghorbal M. H; & El Ferjani E, 1997. Response of antioxidant enzymes to excess copper in tomato (Lycopersicon esculentum, Mill.). Plant Science, 127(2), 129-137.

54) Memon, A.R., Aktoprakligil, D., Ozdemir, A., VERTII, A , 2001. Heavy Metal Accumulation and Detoxification Mechanisms in Plants. Turk J Bot,25, 111-121.

55) Merret R, 2010. Contrôle moléculaire de la croissance sous déficit hydrique: Analyse cinématique et régulation de l'expression des aquaporines TIP1dans l'apex de la racine du peuplier, Thèse Doctorat, Nancy.Université, INRA, 2pp.

56) Mihoub Asma; Abdelilah Chaoui and Ezzedine El Ferjani, 2005, "Changements biochimiques induits par le cadmium et le cuivre au cours de la germination des graines de petit pois (Pisum sativum L.)." Comptes Rendus Biologies 328.1 33-41.

57) Mudgal. V; Madaan. N; Mudgal. A, 2010, Heavy metals in plants: phytoremediation: Plants used to remediate heavy metal pollution. Agriculture and biology journal of north America (1), pp: (40-46).

58) Neenu S, Karthika K S, 2019. Aluminium Toxicity in Soil and Plants. Soil Health/Fertility Management: Knowledge, Vol. 2. (1).

59) Pavel V L, Sobariu D L, Diaconu M, Stătescu F, Gavrilescu M, 2013. Effects of Heavy Metals on Lepidium sativum Germination and Growth. Environ Eng Manag J 12(4): 727-733.

60) Poschenrieder CH, Gunse B, Barcelo J, 1989. Influence of cadmium on water relations, stomatal resistance and abscisic acid content in expanding bean leaves. Plant Physiol 90:1365–1371.

61) Prasad T K, 1996. Mechanism of chilling.induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedling: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease actibities. Plant Journal, VOL. 10. (1): 1017.1026.

62) Pulford, I.D., Watson, C, 2003. Phytoremediation of Heavy Metal- Contaminated Land by Trees- A review. Environmental International,29, 529-540.

63) Sahu SK, Pradhan KC, Sarangi, September 2004, Soil Pollution in Orissa. Orissa Review.

64) Saini Nidhi and Gupta Sarika, 2018, Assessment of Biochemical Parameters in Heavy Metal-stressed Crop of Mung Bean [Vigna radiata (L.) R. Wilczek]. American Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 8: 1-9.

65) Salt, 2004. http://scienceblog.com/community/older/2004/7/ 20046707.shtm.

66) Salunkhe D.K, 1982. Legumes in humain nutrition : current status an futureresearch neads. Current Science. 51 (8): 387-394.

67) Saradhi P P, 1991. Proline accumulation under heavy metal stress. Journal of Plant Physiology, 138(5), 554–558.

68) Schat H, Sharma S S, & Vooijs R, 1997. Heavy metalinduced accumulation of free proline in a metal-tolerant and a nontolerant ecotype of Silene vulgaris. Physiologia Plantarum, 101(3), 477–482

69) Schmidt U, 2003. Enhancing phytoremediation: the effect of chemical soil manipulation on mobility plant accumulation and leaching of heavy metals. J Environ Qual 32: 1939–1954.

70) Sebihi, F.Z, 2008. Les Bactéries nodulant les Légumineuses (BNL) : caractérisationdes bactéries associées aux nodules da légumineuse fourragère Hedysarum perrauderianum.Thèse de Magister.Université de Constantine. Algérie.

71) Seregin I V; Shpigun L K.; Ivanov V B, 2004. Distribution and toxic e ects of cadmium and lead on maize roots Russ. J. Plant Physiol. 51, 525–533.

72) Seregin I V; Ivanov V B, 2001, Physiological aspects of cadmium and lead toxic e ects on higher plants. Russ. J Plant Physiol., 48, 523–544.

73) Sethy, Sunil Kumar, and Shyamasree Ghosh, 2013, "Effect of heavy metals on germination of seeds." Journal of natural science, biology, and medicine 4.2 : 272

74) Shafiq, Muhammad, M. Zafar Iqbal, and Athar Mohammad, 2008. "Effect of lead and cadmium on germination and seedling growth of Leucaena leucocephala." Journal of Applied Sciences and Environmental Management 12.3.

75) Shah, Fazal Ur Rehman, et al., 2010. "Heavy metal toxicity in plants." Plant adaptation and phytoremediation. Springer, Dordrecht, 71-97.

76) Shah K, Kumar RG, Verma S, Dubey RS, 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Sci 161:1135–1144.

77) Sharma I, Pati PK, Bhardwaj R, 2011, Effect of 28‐homobrassinolide on antioxidant defence system in Raphanus sativus L. under chromium toxicity. Ecotoxicology;20:862‐74.

78) Sharma N C; Gardea-Torresdey J L ; Parsons J ; Sahi S V, 2004, Chemical speciation and cellular deposition of lead in Sesbania drummondii. Environ Toxicol Chem. 23, 2068–2073.

79) Sharma RR and Manish Srivastav, 2004. Plant Propagation and Nursery Management (First Edition 2004).International Book Distributing Co. Lucknow 226 004 U.P.(INDIA).

80) Sheoran I S; H R Singal and Randhir Singh, 1990, "Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeonpea (Cajanus cajan L.)." Photosynthesis Research 23.3 : 345-351.

81) Simões C C; Melo J O; Magalhães J V; Guimarães, C.T. 2012, Genetic and molecular mechanisms of aluminum tolerance in plants. Genet. Mol. Res., 11, 1949–1957.

82) Stanley A, 1985. Review of textural features in cooked the influence of structure and composition reconstituted legumes. J Food Biochem., 9(4): 277-323.

83) Su C; Jiang L; Zhang W, 2014. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques . Environmental Skeptics and Critics, Vol. 3, No. 2, pp: (24-38).

84) Triassi M; Alfano R; Illario M; Nardone A; Caporale O; Montuori P, 2015. Environmental Pollution from Illegal Waste Disposal and Health Effects: A Review on the "Triangle of Death". Int. J. Environ. Res. Public Health, Vol. 12, pp: (1216-123).

85) Tuna L A, Burun B, Yokas I, Coban E, 2002. The Effects of Heavy Metals on Pollen Germination and Pollen Tube Length in the Tobacco Plant. Turk J Biol 26(2): 109-113.

86) Udeozor L O, 2012. Tigernut-soy milk drink: Preparation, proximate composition* and sensory qualities. Int. J. Food Nut. Sci., 1(4): 18-26.

87) Varga A; Zaray G; Fodor F; Cseh E, 1997,. Study of interaction of iron and lead during their uptake process in wheat roots by total-reflection X-ray fluorescence spectrometry. pectrochim. Acta Part B 52, 1027–1032.

88) Vazques MD, Poschenrieder C, Barcelo J, 1987. Chromium (VI) induced structural changes in bush bean plants. Ann Bot 59:427–438.

89) Verma S; Dubey R S; 2003, Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. Plant Sci. 164, 645–655.

90) Victoria. A. O, 2015, Surface Soil Pollution By Heavy Metals: A Case Study Of Two Refuse Dumpsites In Akure Metropolis. International journal of scientific & Technology research, Vol. 4, pp: (71-74).

91) Vijendra, Poornima D., et al., 2016. "Physiological and biochemical changes in moth bean (Vigna aconitifolia L.) under cadmium stress." Journal of Botany .

92) Wani P. A; Khan M. S; & Zaidi A, 2012. Toxic effects of heavy metals on germination and physiological processes of plants. In Toxicity of heavy metals to legumes and bioremediation (pp. 45-66). Springer, Vienna.

93) Wani, P.A., Khan, M.S., Zaidi, A., 2008. Effects of heavy metal toxicity on growth, symbiosis, seed yield and metal uptake in pea grown on metal amended soil. B. Environ. Contam. Toxicol. 81, 152–158.

94) Wani, P.A., Khan, M.S., Zaidi, A., 2007, Cadmium, chromium and copper in greengam plants. Agron. Sustain. Dev. 27, 145–153.

95) 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(5), 789-797.

96) Wang H; Shan X;Wen B; OwensG; Fang J; Zhang S, 2007, Eeffct of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (Zea mays L.) seedlings and the relevant antioxidant response. Environ. Exp. Bot., 61, 246–253.

97) Wang Y; Jiang X; Li K; Wu M; Zhang R; Zhang L; & Chen, G. 2014, Photosynthetic responses of Oryza sativa L. seedlings to cadmium stress: physiological, biochemical and ultrastructural analyses. Biometals, 27(2), 389-401.

98) Wang Y, Zong K, Jiang L, Sun J, Ren Y, Sun Z, et al., 2011, Characterization of an Arabidopsis cadmium‐resistant mutant cdr3‐1D reveals a link between heavy metal resistance as well as seed development and flowering. Planta;233:697‐706

99) Waterlot C; Pruvot C; Marot F; Douay F, 2017, Impact of a phosphate amendment on the environmental availability and phytoavailability of Cd and Pb in moderately and highly carbonated kitchen garden soils. Pedosphere, 27, 588–605.

100) WilliamsL E; Pittman J K; Hall J L. 2000, Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants Biochim. Biophys. Acta, 1465, 104–126.

101) XU Q ; Shi G, 2000, The toxic effect of single Cd and interaction of Cd with Zn on some physiological index of [Oenantbe javanica (Blume) DC]. J Nanjing Normal University (Natural Science), Vol. 23. (4): 97.100 (In Chinese with English abstract).

102) Yang X; Islam E; Li T; Liu D; Jin X; Meng F, 2007, Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of Elsholtzia argyi. J. Hazard. Mater 147, 806–816.

103) Zorrig W, 2011. Rechreche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*Lactuca sativa*". Thèse de doctorat, Tunisie. France. 11P.

قائمة المراجع الإلكترونية

1) كيفية زراعة البقوليات, 2020
https://www.mosoah.com/business-and-industry/agriculture-and-forestry/growing-legumes.

2) متولي عمر محمد طه رقية, 2022/04/07. تعريف العائلة الباقولية,
http://kenanaonline.com/users/vegetablecrops/posts/143157

3) USDA, United States Department of Agriculture, Classification for Kingdom Plantae Down to Family Fabaceae/ Leguminosae,30/03/2022 https://plants.sc.egov.usda.gov/home/classification/76595.

.