رقم التسلسل:

رقم الترتيب:

الجمهورية الجزائرية الديمقـراطية الشـعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر –الوادي.

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

مذكـــــرة تخـــرج

لنيـــل شهـــــــادة مـــــاستر أكـــاديمي

ميدان: علوم الطبيعة والحياة

شعبة: علوم بيولوجيا

تخصص: التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات.

المـــوضـــوع

تأثير إجهاد المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) على كفاءة انبات و نمو بادرات الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTALE

من إعداد:

العوامر انتصار

جديدي إيمان

نوقشت يوم .. / .. / 2020 من طرف لجنة المناقشة.

الإسم	الرتبة	الصفة	الجامعة
عسيلة إسماعيل	أستاذ محاضر قسم ب	مؤطرا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
حماده سمره	أستاذة مساعدة قسم أ	منقشا	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي
العايش عمر التهامي	أستاذ محاضر قسم ب	رئيس	جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

الموسم الجامعي: 2020/2019

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

الحمد لله سبحانه حمدا يوافي جلال وجهه، وعظيم سلطانه ووفير نعمته

نحمدك اللهم على اعانتك وتوفيقك لنا لإنجاز وإتمام هذا العمل.

يجدر بنا في هذا العمل أن نتقدم بالشكر الجزيل والامتنان وعظيم العرفان إلى أستاذنا الفاضل عسيلة اسماعيل لقبوله وتحمله أعباء الإشراف على هذا العمل وتوجيهه ونصحه لنا، كما نشكره لرحابة صدره ومعاملته الطيبة وتحمله لنا، جزاه الله عنا خير الجزاء.

والشكر موصول لأعضاء لجنة المناقشة على تقبلهم قراءة وتصحيح هذا العمل.

كما لا يفوتنا تقديم الشكر الجزيل والتقدير البالغ للزميلات والزملاء دفعة ماستر 2020

كما تتسع دائرة الشكر جميع اساتذة كلية علوم الطبيعة والحياة بالوادي،

كما يشمل شكرنا جميع عمال الكلية

الإهداء

الحمد لله ذي المنة والصلاة والسلام على رسول الأمة

تم بفضل الله إنجاز هذا العمل الذي أهديه إلى أغلى من في الوجود إلى اللذين

كان توفيقي بفضل الله إجابة لدعواتهما الصادقة

إلى التي سهرت الليالي من أجل نجاحي؛ أدبي وطريقي المستقيم

"والدتي الحبيبة"

إلى الذي منحني الأمل والحكمة قدوتي وملهمي

"أبي العزيز"

إلى شموع حياتي "إخوتي" الأعزاء و"أخواتي" الغاليات رفقاء عمري

سندي وقوتي في الحياة

إلى روح غابت عن دنيانا وفي القلب باقية

"العم الطيب الدراجي"

وإلى زميلتي " إيمان" و إلى كل من يحبونني وأحبهم

أهدي ثمرة جهدي المتواضع

انتصار

الإهداء

الحمد لله الذي وفقني لهذا وهو ذو الفضل العظيم

أهدي تخرجي هذا إلى من علمني العطاء وإلى من أحمل اسمه بكل إفتخار وأرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها بعد طول انتظار والدي العزيز "عبد الله" وإلى ملاكي في الحياة وإلى معنى الحب والحنان وسر الوجود وإلى من كان تشجيعها وتحفيزها ودعائها سر نجاحي أغلى الحبايب أمي الغالية "هناء"

وإلى من كان سند لي وأمدني بالعون وحفزني للتقدم زوجي العزيز "عبد الوهاب " وعائلته

وإلى الشموع المتقدة التي تنير حياتي وبوجودهم اكتسب القوة والمحبة أخواتي *يسرى* منار* سجود* رزان السوفية*

إلى التي شاركتني عناء إعداد هذه المذكرة زميلتي "انتصار" وإلى من كان لي معهم أغلى الذكريات وأجمل الحظات "صديقاتي" وإلى كل الأهل والأقارب.

إيمان

الملخص

Résumé

Abstract

الملخص

بهدف دراسة تأثير المعادن الثقيلة على إنبات ونمو بادرات الفول *(Vicia faba* L.*)* صنف HISTALE، أجريت دراسة مخبرية باستعمال أطباق بتري، حيث تم معاملة بذور الفول بتراكيز مختلفة: 30, 60, 90 mg/l من أملاح النحاس ($CuCl_2$)، أملاح الحديد ($FeCl_2$) وأملاح الألمنيوم ($AlCl_3$). أجريت التجربة في ظروف درجة حرارة 20 °C مع ظلام تام، كما تمت دراسة العديد من معايير الإنبات وخصائص نمو البادرة.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن معدن الحديد Fe، خاصة عند التركيز 90 mg/L، سجل أكبر نسبة تثبيط لكل من نسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور، كما كان أكثر سمية على وزن بادرات الفول التي سجلت أقل مؤشر تحمل، أيضا سجل أقل كفاءة تحويلية للمدخرات البذرية ECR وأقل نسبة طاقة مستنفدة EE عند بذور الفول، وذلك مقارنة بالمعدنين الآخرين النحاس (Cu) والألمنيوم (Al).

في حين بينت النتائج أن معدن الألمنيوم Al عند تركيز 90 mg/L، سجل نسبة تثبيط معتبرة لكل من نسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور، كما أن السمية المرتفعة لهذا المعدن على وزن بادرات الفول كانت مرتفعة حيث سجلت مؤشر تحمل منخفض، أيضا الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ECR كان منخفضا.

أيضا أكدت النتائج أن معدن النحاس Cu، عند التركيز 60 mg/L، كان محفزا لمؤشر قوة البذور ونمو البادرات، أيضا سجل أعلى كفاءة تحويلية للمدخرات البذرية ECR وأكبر نسبة لحركية المدخرات البذرية RMRS.

على ضوء النتائج المتحصل عليها فقد كانت سمية المعادن الثقيلة متفاوتة حسب التركيز المستخدم والمعدن نفسه، حيث كان معدن الحديد Fe أكثر إجهادا لإنبات و نمو بادرات الفول، خاصة عند التركيز 90 mg/L، مقارنة بمعدن الألمنيوم Al، في حين كان معدن النحاس Cu عاملا محفزا عند التركيز 60 mg/L.

الكلمات المفتاحية: الفول *(Vicia faba* L.*)*، إجهاد، المعادن الثقيلة، حركية المدخرات، النمو.

Résumé

Dans le but d'étudier les effets des métaux lourds sur la germination et la croissance des plantules de fève (*Vicia faba* L.) variété HISTALE, une étude en laboratoire a été effectué en boîtes de pétri stériles, où les graines de fève ont été traitées avec différentes concentrations : 30, 60, 90 mg / l de sels de cuivre ($CuCl_2$), sels de Fer ($FeCl_2$) et sels d'aluminium ($AlCl_3$). L'expérience a été menée dans des conditions de 20 ° C et d'obscurité totale. Divers paramètres de germination et caractéristiques de croissance des plantules ont été étudiés.

Les résultats obtenus ont montré que le fer (Fe), en particulier à la concentration de 90 mg / L, provoquait la plus grande inhibition du pourcentage de germination et de l'indice de vigueur des semences, et était plus toxique sur le poids sec des plantules de fève, qui ont enregistré l'indice de tolérance le plus bas, a également enregistré la plus faible efficience de la conversion des réserves (ECR) et le plus faible pourcentage d'énergie épuisée (EE) chez les semences de Fève, par rapport aux autres minéraux cuivre (Cu) et aluminium (Al).

Alors que les résultats obtenus ont montré que l'aluminium (Al), à la concentration de 90 mg / L, enregistrait un taux d'inhibition significatif à la fois pour le pourcentage de germination et l'indice de vigueur des semences. De plus, la toxicité de ce métal sur le poids sec des plantules de fève était élevée, et un faible indice de tolérance a été enregistré, ainsi que l'efficience de conversion des réserves de semences (ECR) était faible.

De plus, les résultats ont confirmé que le métal cuivre (Cu), à la concentration de 60 mg / L, était favorable à l'indice de vigueur des semences et à la croissance des plantules. Il a également enregistré l'efficience de conversion des réserves (ECR) la plus élevée et le taux le plus élevé de mobilisation des réserves de semences (RMRS).

Sur la base des résultats obtenus, la toxicité des métaux lourds était variable en fonction de la concentration appliquée et du métal lui-même, où le métal fer (Fe) était plus stressant pour la germination et la croissance des plantules de fève, en particulier à la concentration de 90 mg / L, par rapport à le métal d'aluminium (Al), tandis que le métal cuivre (Cu) était un facteur positif à la concentration de 60 mg / L.

Mots clés : Fève (*Vicia faba* L.), stress, métaux lourds, mobilisation des réserves, croissance.

Abstract

In order to study the effects of heavy metals on the germination and growth of faba bean seedlings (*Vicia faba* L.) variety HISTALE, a laboratory study was carried out in sterile petri dishes, where the faba bean seeds were treated with different concentrations: 30, 60, 90 mg /L of copper salts ($CuCl_2$), iron salts ($FeCl_2$) and aluminum salts ($AlCl_3$). The experiment was carried out under conditions of 20 ° C and total darkness. Several germination parameters and the seedlings growth characteristics were studied.

The obtained results showed that iron metal (Fe), in particular at the concentration of 90 mg / L, caused the greatest inhibition of the germination percentage and the seeds vigor index, and was more toxic on the faba bean seedlings dry weight, which recorded the lowest tolerance index, also recorded the lowest reserve conversion efficiency (ECR) and the lowest energy depleted percentage (EE) in faba bean seeds; compared to other metals copper (Cu) and aluminum (Al).

While the obtained results, showed that the aluminum metal (Al), at a concentration of 90 mg / L, recorded a significant inhibition rate, for both the germination percentage and the seed vigor index. In addition, the toxicity of this metal on the faba bean seedlings dry weight was high, and a low tolerance index was recorded, as well as the seed reserve conversion efficiency (ECR) was low.

In addition, the results confirmed that the copper metal (Cu), at a concentration of 60 mg / L, was favorable to the seed vigor index and to the seedlings growth. It also recorded the highest reserve conversion efficiency (RCE) and the highest seed reserve mobilization rate (RMRS).

Based on the obtained results, the toxicity of heavy metals was variable depending on the applied concentration and the metal itself, where the iron metal (Fe), particularly at the concentration of 90 mg / L, was more stressful on germination and faba bean seedlings growth, compared to the aluminum metal (Al); while the copper metal (Cu) was a positive factor at the concentration of 60 mg / L.

Keyword: Faba bean *(vicia faba* L.*)*; stress; heavy metals; reserve mobilization; growth.

الفهرس

الفهرس

شكر وتقدير.....
الإهداء.....
الملخص.....
الفهرس.....
فهرس الأشكال.....
فهرس الوثائق.....
فهرس الجداول.....
قائمة الاختصارات.....
المقدمة.....2

الجزء الأول: الدراسة المرجعية

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

1- تعريف نبات الفول (*Vicia faba* L.).....6
2- القيمة الغذائية والأهمية الاقتصادية لنبات الفول.....6
2-1- القيمة الغذائية للفول.....6
2-2- الأهمية الاقتصادية للفول.....7
3- تصنيف نبات الفول.....7
4- مورفولوجية نبات الفول ودورة حياته.....8
4-1- مورفولوجية نبات الفول.....8
4-2- دورة حياة نبات الفول.....10
5- الإنبات والنمو.....11
5-1- الإنبات.....11
5-1-1- تعريف الإنبات.....11
5-1-2- العوامل الرئيسية للإنبات.....11
5-1-3- مراحل الإنبات.....11
5-2- النمو:.....12
6- متطلبات زراعة الفول.....12
7- أهم أمراض نبات الفول.....13

7-1- الأمراض الفطرية:.....13
7-1-1- التبقع البني Les taches chocolat.....13
7-1-2- الصدأ La rouille.....14
7-2- الأمراض الفيروسية Les maladies virales.....14
7-3- النباتات الطفيلية Les parasites.....14
7-3-1- الهالوك L'orbanche.....14
7-3-2- الديدان الخيطية Les nématodes.....15
7-4- الحشرات الضارة Les insectes ravageurs.....15
7-4-1- حشرات المن Les pucerons.....15
7-4-2- سوسة ورق البازلاء (Sitona lineatus).....15

الفصل الثاني: إجهاد المعادن الثقيلة

1- تعريف المعادن الثقيلة.....17
1-1- الحديد (Fer).....17
1-2- النحاس (Cuivre).....17
1-3- الألمنيوم (Aluminium).....17
2- تأثير المعادن الثقيلة على النبات.....18
2-1- تأثير المعادن الثقيلة على الإنبات.....18
2-2- تأثير المعادن الثقيلة على النمو.....18
2-3- تأثير المعادن الثقيلة على التركيب الضوئي.....18
2-4- استحثاث المعادن الثقيلة لإجهاد الأكسدة.....19
3- آليات تحمل ومقاومة النباتات لإجهاد المعادن الثقيلة.....19

الجزء الثاني: الدراسة التطبيقية

الفصل الثالث: مواد وطرق الدراسة

1- المواد والأدوات المستعملة.....22
1-1- المادة النباتية.....22
1-2- المواد والمحاليل والأجهزة المستعملة.....23
2- طرق الدراسة.....23
2-1- تحضير بذور الفول للاختبار.....23
2-2- المحاليل المعدنية المستعملة.....23

2-3- تصميم وإدارة التجربة.....24
2-4- المعايير المدروسة.....24
2-4-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات.....24
2-4-1-1- النسبة المئوية للإنبات (GP%).....24
2-4-1-2- مؤشر قوة البذور (SVI).....24
2-4-1-3- نسبة التثبيط: لنسبة الإنبات *PI(GP%)*؛ لمؤشر قوة الإنبات *PI(SVI)* 25
2-4-2- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات.....25
2-4-2-1- وزن السويقة SHW (mg)؛ وزن الجذير RTW (mg)؛ الوزن الكلي للبادرة TSW(mg).....25
2-4-2-2- مؤشر تحمل الإجهاد: لوزن السويقة (*SHWTI*)؛ لوزن الجذير (*RTWTI*)؛ للوزن الكلي للبادرة (*TSWTI*) 25
2-4-2-3- نسبة السمية: لوزن السويقة (*SHWP%*)؛ لوزن الجذير (*RTWP%*)؛ للوزن الكلي للبادرة (*TSWP%*).....26
2-4-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية.....26
2-4-3-1- وزن المدخرات البذرية المستهلكة (RRS).....26
2-4-3-2- الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية (CESR) 26
2-4-3-3- نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية (SRRR).....27
2-4-3-4- نسبة حركية المدخرات البذرية (RMRS) 27
2-4-3-5- نسبة الطاقة المستنفدة (EE).....27

الفصل الرابع: النتائج والمناقشة

1- النتائج.....29
1-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات.....29
1-1-1- نسبة الإنبات (GP%) 29
1-1-2- مؤشر قوة البذور (SVI) 29
1-1-3- نسبة التثبيط لنسبة الإنبات *PI(GP%)*.....30
1-1-4- نسبة التثبيط لمؤشر قوة الإنبات *PI(SVI)*.....30
1-2- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات.....31
1-2-1- وزن السويقة SHDW، وزن الجذير RTDW والوزن الكلي للبادرة TSDW ...31
1-2-2- مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة (*SHWTI*).....32

1-2-3- مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير(*RTWTI*).....33
1-2-3- مؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة (*TSWTI*) 33
1-2-3- نسبة السمية لوزن السويقة (*SHWP %*) 34
1-2-4- نسبة السمية لوزن الجذير(*RTWP %*).....34
1-2-5- نسبة السمية للوزن الكلي للبادرة (*TSWP %*) 34
1-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية.....35
1-3-1- وزن المدخرات البذرية المستهلكة (RRS).....35
1-3-2- الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية (ECR).....35
1-3-3- نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية (SRRR).....36
1-3-4- نسبة حركية المدخرات البذرية (RMRS).....37
1-3-5- نسبة الطاقة المستنفدة (EE).....37
2- المناقشة.....39
2-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات.....39
2-2- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات.....39
2-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية.....40
الخلاصة العامة.....43
المراجع.....
الملاحق .....

فهرس الأشكال

الشكل	العنوان	الصفحة
الشكل (01)	نسبة الإنبات (GP%)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	29
الشكل (02)	مؤشر قوة البذور(SVI)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنفHISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	30
الشكل (03)	متوسط نسب التثبيط: للإنبات *PI(GP%)*، ولمؤشر قوة البذور *PI(SVI)*، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	31
الشكل (04)	مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة *(SHWTI)*، مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير*(RTWTI)* ، مؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة *(TSWTI)*، لبذورالفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيزالمعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	33
الشكل (05)	نسبة السمية للوزن الجاف: للسويقة (*SHWP%*)، للجذير (*RTWP%*) وللبادرة (*TSWP%*)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنفHISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	35
الشكل (06)	وزن المدخرات البذرية المستهلكة RRS، نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية SRRR، الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ECR، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	37
الشكل (07)	نسبة حركية المدخرات البذرية RMRS، نسبة الطاقة المستنفدة EE لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	38

فهرس الوثائق

الوثيقة	العنوان	الصفحة
الوثيقة (01)	ساق نبات الفول (*Vicia faba* L.)	10
الوثيقة (02)	أوراق وأزهار نبات الفول (*Vicia faba* L.)	10
الوثيقة (03)	ثمار نبات الفول (*Vicia faba* L.)	10
الوثيقة (04)	بذور نبات الفول (*Vicia faba* L.)	10
الوثيقة (05)	مرض التبقع البني	13
الوثيقة (06)	الصدأ	14
الوثيقة (07)	بذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف (HISTAL)	22

فهرس الجداول

الجدول	العنوان	الصفحة
الجدول (01)	متوسط التركيب الكيميائي لكل 100غرام من الفول.	6
الجدول (02)	التصنيف النباتي لنبات الفول (*Vicia faba* L.).	7
الجدول (03)	الخصائص التقنية لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف (HISTAL).	22
الجدول (04)	الأدوات والمحاليل والأجهزة المستعملة.	23
الجدول (05)	الوزن الجاف للسوقية (SHDW)، الوزن الجاف للجذير(RTDW)، النسبة (RTDW/SHDW)، الوزن الجاف الكلي للبادرة (TSDW) لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنفHISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.	32

قائمة الاختصارات

الرمز	الكلمة الدالة
%	النسبة المئوية
C°	الدرجة المئوية
$CuCl_2$	كلوريد النحاس
$FeCl_2$	كلوريد الحديد الثنائي
$AlCl_3$	كلوريد الألمنيوم
ml	مليلتر
l	لتر
mg	ميكروغرام
g	الغرام
GP	نسبة الإنبات
SVI	مؤشر قوة البذور
PI(GP)	نسبة التثبيط لنسبة الإنبات
PI(SVI)	نسبة التثبيط لمؤشر قوة البذور
SHDW	وزن السويقة
RTDW	وزن الجذير
TSDW	الوزن الكلي للبادرة
SHWTI	مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة
RTWTI	مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير
TSWTI	مؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة
SHWP	نسبة السمية لوزن السويقة
RTWP	نسبة السمية لوزن الجذير
TSWP	نسبة السمية للوزن الكلي للبادرة
SDMW	الوزن الجاف للبادرات
RRS	وزن المدخرات البذرية المستهبكة
CESR	الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية
SRRR	نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية
RMRS	نسبة حركية المدحرات البذرية
EE	نسبة الطاقة المستنفدة

المقدمة

المقدمة

يحتل الفول المرتبة الأولى بين البقوليات المزروعة في الجزائر، حيث أنه يشغل مساحة 49000 هكتار، ما يمثل % 46 من المساحة المخصصة للبقوليات (TTGC, 2010). رغم ذلك يبقى إنتاج الفول ضعيف حسب حاجيات الإستهلاك البشري والحيواني مع الزيادة الديمغرافية (WANG et al.,2003)، ويرتبط ضعف وتراجع إنتاج الفول في الجزائر خاصة خلال العقدين الماضيين بالظروف البيئية والمناخية المسببة لمختلف الإجهادات بما في ذلك إجهاد المعادن الثقيلة، حيث يؤدي تراكمها في النبات إلى ظهور أعراض التسمم، مصحوبة بتثبيط نمو وزن النباتات (ZHOU and QIU, 2005; CLEMENS, 2006).

إن الأنشطة البشرية الزراعية والصناعية المتزايدة هي أصل تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة (ZORRIG, 2011)، حيث شهدت هذه الظاهرة تزايدا سريعا في العالم، ويكاد يكون تهديدا خطيرا لكل بلد بدون استثناء (CHAO et *al*., 2014).

والمعادن الثقيلة هي واحدة من الإجهادات التي تؤثر على إنتاجية المحاصيل وهي ظاهرة معقدة تؤثر على النبات بعدة طرق: منها انخفاض الكتلة الحيوية المنتجة بشكل عام، وفي حالات الإجهاد الحاد، يتسبب في إجهاد تأكسدي، يؤدي إلى نخر الجذور والأوراق أو حتى موت النبات (SEREGIN and IVANOV, 2001; SHARMA and DUBEY, 2005).

وبناء علية تمت هذه الدراسة المختبرية حول تأثير أملاح المعادن المتمثلة في كلوريد النحاس ($CuCl_2$)، كلوريد الحديد ($FeCl_2$) وكلوريد الألمنيوم ($AlCl_3$) على نبات الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTALE في مرحلة مبكرة من النمو.

كما نطرح الإشكال التالي:

- ما مدى تأثير مستويات تركيز المعادن الثقيلة في الوسط على إنبات ونمو بادرات الفول (*Vicia faba* L.)، وتقييم مدى تحمل النبات للإجهاد؟

حيث قسمت دراستنا إلى جزئين:

- جزء نظري يشمل فصلين، الفصل الأول تطرقنا فيه إلى دراسة بيولوجيا نبات الفول، أما الفصل الثاني فخصصناه إلى دراسة إجهاد المعادن الثقيلة.

- جزء عملي تمحور حول دراسة عملية موجزة في فصلين، الفصل الاول أدرجت فيه كافة المواد والطرق المتبعة كما تم عرض لمختلف المعايير المدروسة لتجربة الإنبات، أما في الفصل الثاني فسردنا النتائج وقمنا بتحليلها ومناقشتها، كما ختمنا بحثنا بخلاصة عامة.

الجزء الأول

الدراسة المرجعية

الفصل الأول

بيولوجيا نبات الفول

(Vicia faba L.)

1- تعريف نبات الفول (Vicia faba L.)

الفول (*Vicia Faba* L.) نبات زرعه الإنسان منذ العصر الحجري (7000 سنة قبل الميلاد)، موطنه الأصلي مناطق البحر الأبيض المتوسط في الشرق الأوسط (MATHON, 1985). حسب PERON (2006) انتشر من مركزه الأصلي إلى أوروبا، مصر وصولا إلى إثيوبيا والهند، وينتمي الفول إلى عائلة Fabaceae (البقوليات)، كما يعتبر غذاء قيم كونه غني بالبروتينات للإنسان والحيوان (ALI et al., 2011، حيث يستغل لسد الفجوة في الطلب على البروتين الحيواني (الحسانين، 2014).

2- القيمة الغذائية والأهمية الاقتصادية لنبات الفول

2-1- القيمة الغذائية للفول

الفول هو أحد البقوليات الموجهة للاستهلاك البشري والحيواني (GOYOAGA et *al*., 2011)، وهو غذاء مهم للغاية خاصة بالنسبة للسكان ذوي الدخل المنخفض، الذين لا يمكنهم دائما الحصول على بروتين من أصل حيواني (DAOUI, 2007).

حسب GORDON (2004)، يعد الفول مصدرا ممتازا للألياف القابلة وغير القابلة للذوبان، الكربوهيدرات المعقدة، الفيتامينات (B9 et C) والمعادن (خاصة البوتاسيوم، الفوسفور، الحديد والنحاس) وغيرها.

الجدول (01): متوسط التركيب الكيميائي لكل 100 غرام من الفول (FACHMANN and KRAUT, 2006).

المكونات (g)	الفيتامين (mg)
Glucides …… 10,0	Acide ascorbique …… 82,00
Protides …… 5,40	B1 (thiamine) …….. 0,300
Lipides …….. 0,30	B2 (riboflavine) …….. 0,200
Eau …… 82,0	B3 (nicotamide) …….. 1,800
Minéraux (mg)	Apports énergétiques
Potassium …… 210,0	K calories …… 64,00
Phosphore …… 105,0	K joules ……... 268,0
Calcium …… 24,0	
Magnésium ……... 18,0	
Chlore ……...14,00	

2-2- الأهمية الاقتصادية للفول

الفول اليوم هو من أكثر نباتات الخضروات المزروعة على نطاق واسع من العالم، وحسب إحصائيات منظمة الأغذية والزراعة FAO، بلغ المحصول العالمي حتى 4,75 مليون طن في عام 2002 منه 1,02 مليون فول أخضر و 3,73 مليون فول جاف، ثم انتكست في 2005/2004.

تبلغ زراعته في دول البحر الأبيض المتوسط حوالي 25% من إجمالي المساحة المزروعة والإنتاج العالمي للفول في الجزائر، على الرغم من أن المحصول قد انخفض بشكل واضح خلال العقدين الماضيين إلى 4,71 qx/ha، إلا أن الفول لايزال يحتل المرتبة الأولى بين البقوليات (SOUANA, 2011).

كما أنه من المتعارف عليه أن فائدة الفول في غذاء الإنسان و الحيوان كمصدر للبروتين وكذلك تأثيره المفيد على خصوبة التربة (MAATOUGUI, 1996).

3- تصنيف نبات الفول

حسب DAJOZ (2000) فإن تصنيف نبات الفول (*Vicia faba* L.) كما هو موضح في الجدول التالي:

الجدول (02): التصنيف النباتي لنبات الفول (*Vicia faba* L.) (DAJOZ, 2000).

Règne	Plantae	المملكة
Embranchement	Spermaphytes	الشعبة
Sous –Embranchement	Angiospermes	تحت الشعبة
Classe	Dicotylédones	الصف
Sous.Classe	Dialypétales	تحت الصف
Ordre	Rosales	الرتبة
Famille	Fabaceae	العائلة
Sous.Famille	Pa:pilionacées	تحت العائلة
Genre	Vicia	الجنس
Espèce	*Vicia Faba* L.	النوع

4- مورفولوجية نبات الفول ودورة حياته

4-1- مورفولوجية نبات الفول

الفول هو نبات ثنائي الصيغة الصبغية (2ن= 12) وخلطي الإخصاب جزئيا (WANG *et al.*, 2012). يتكون من جهاز نباتي وجهاز تكاثري. حيث النباتي هو عبارة عن: جذور، ساق وأوراق وبالنسبة لجهازه التكاثري، فيتكون من الأزهار التي هي أصل الثمار والبذور.

- **الجذور:**

وفقا لـ DUC (1997) النظام الجذري للفول يتكون من جذر رئيسي وجذور ثانوية تحمل عقيدات تحتوي على بكتيريا مثبتة للنيتروجين. وحسب (CHAUX and FOURY, 1994) يمكن أن يغوص النظام الجذري للفول حتى عمق 80 سم، وتكون العقيدات بكثرة في أول 30 سم.

- **الساق:**

الساق بسيط، قائم وأجوف، يتراوح ارتفاعه بشكل عام مابين 0,80 إلى 1,20 م (CHAUX and FOURY, 1994)، يحوي الساق على فرع أو أكثر في قاعدته ويظهر نمط نمو غير محدود (DUC, 1997; BRINK et BELAY, 2006).

- **الأوراق:**

الأوراق متبادلة، مركبة ريشية، تتكون من زوجين إلى أربعة أزواج من الوريقات البيضاوية، لونها أخضر لامع إلى رمادي (CHAUX and FOURY, 1994).

- **النورة:**

عبارة عن ساق صغيرة أو محور رئيسي يسمى شمراخ النورة يحمل من 2 إلى 9 أزهار، وتكون النورة معلقة أي ذات ذيل أو سويقة (pédicelle) (عمراني، 2005).

- **الزهرة:**

تتكون الأزهار من كأس بخمس سبلات، وتويج أبيض بخمس بتلات و10 أسدية منها تسعة متحدة وواحدة خالية. المبيض علوي يحمل إلى أربع بيضات. يبدأ الإزهار في المتوسط في العقدة السابعة ويستمر حتى العقدة العشرين التالية (BRINK et BELAY, 2006). التكاثر عند الفول يمكن أن يتم عن

طريق الإلقاح الذاتي، ولكن نشاط النحل للبحث عن الطعام في نبات الفول يضمن التلقيح المتبادل ويحسن بشكل كبير إنتاج النبات مقارنة بالتلقيح الذاتي (BENACHOUR et al., 2007).

- **الثمرة:**

عبارة عن قرون منتفخة يتراوح طولها من 10 إلى 20 سم حسب الصنف وتحمل بداخلها عدد متغير من البذور (من 4 إلى 9). تكون القرون خضراء عندما تكون صغيرة ثم تغمق عند النضج (CHAUX and FOURY, 1994). القرون لها منقار وتنتفخ عند مستوى البذور (BRINK and BRLAY, 2006).

- **بذور الفول:**

تتميز بكونها عديمة السويداء، يشاهد على جانبيها ندبة كبيرة سوداء هي الصرة (Milium) تمثل مكان اتصال البذرة بالحبل السري، والذي كان يصلها بغلاف الثمرة وقرب أحد طرفي السرة يوجد جزء صغير داكن اللون يخفي تحته الجذير، وعند نهاية الجذير توجد فتحة صغيرة تسمى بالنقير (Misrophyle) يمكن رؤية النقير بسهولة في بذرة منقوعة في الماء فإذا ضغطت ينتشر الماء منه وهناك غلافان بذريان متحدان ينشأن من النمو اللحافي للبويضة، كما يشكل الجنين كامل الفراغ المتكون ضمن غلاف البذرة وهو يتألف من فلقتين كبيرتين سميكتين تحتويان على مواد نشوية وبروتينية يتصلان بواسطة محور (بوعتروس، 2008).

- **بادرة الفول:**

يستطيل الجذير عند الإنتاش مخترقا غلاف البذرة عند النقير، أما الريشة فهي تنمو حتى تصبح ساقا تنشأ من جوانبها براعم الأوراق بالتدريج، في أولى مراحل النمو يكون نمو السويقة بطيئا، أما السويقة الجنينية العلوية فإنها تنمو بنشاط وتستطيل بسرعة رافعة معها الريشة فوق سطح التربة وتبقى الفلقتان تحت سطح التربة، ولهذا السبب يعرف بالإنبات تحت الأرضي (Hypogeal)(عمراني، 2002).

الوثيقة (01): ساق نبات الفول (*Vicia faba* L.)
(ORIGINALE, 2020)

الوثيقة (02): أوراق وأزهار نبات الفول
(SOUANA, 2011) (*Vicia faba* L.)

الوثيقة (03): ثمار نبات الفول (*Vicia faba* L.)
(BOND et POULSEN, 1983)

الوثيقة (04): بذور نبات الفول (*Vicia faba* L.)
(ORIGINALE, 2020)

4-2- دورة حياة نبات الفول

الفول نبات حولي، دورته الكاملة من بذرة إلى بذرة هي حوالي 5 أشهر (CHAUX and FOURY, 1994).

حسب (BRINK and BELAY, 2006) يتميز تطور الفول بخمس مراحل أساسية: الإنبات والظهور، النمو الخضري، النمو التكاثري، شيخوخة القرون وشيخوخة الساق.

5- الإنبات والنمو

5-1- الإنبات

5-1-1- تعريف الإنبات

هو أول ظاهرة نشطة في حياة البذور، وتبدأ بخروجها من مرحلة الكمون إلى مرحلة النشاط وهي تتعلق بتوفير الشروط الداخلية (سلامة البذرة، قدرتها على الإنبات وحجمها)، والخارجية (كالحرارة، الرطوبة، التهوية ونوع التربة).

يبدأ إنبات بذور الفول بامتصاصها للماء حيث تعتبر أول مرحلة فيسيولوجية في حياتها النشطة وتنتفخ فيتمزق غشاؤها على مستوى الجنين، حيث يستطيل الجذير مخترقا غلاف النقير، أما الريشة فتنمو حتى تصبح ساقا وينشأ من جانبيها براعم الأوراق، يعد نمو السويقة الجنينية هو أولى مراحل النمو، حيث يستطيل بسرعة حاملا معه الريشة ذات النمو البطيء إلى سطح التربة، في حين تبقى الفلقتان تحت السطح، لذا يعرف إنبات الفول بالإنبات التحا أرضي (Hypogeal) (البيومي وآخرون، 2000).

تختلف فترة الإنبات حسب الأنواع النباتية، سلامة البذور، نوع التربة وتوفير الظروف الملائمة، حيث يتم إنبات بذور الفول بعد (10-12) يوم من عملية الزرع (فاخر وعبد الجبار، 1980).

5-1-2- العوامل الرئيسية للإنبات

حسب علي (2015) فإن العوامل الرئيسية للإنبات يمكن أن نلخصها في ما يلي:

- يجب أن تكون البذرة حية، مما يعني أن يكون الجنين حي وله القدرة على الإنبات.
- توفر الظروف البيئية الضرورية للإنبات ومنها الماء، درجة الحرارة، الأكسجين وفي بعض الحالات الضوء.
- عدم وجود البذرة في حالة السكون وأن يكون الجنين قد مر بمجموعة تغيرات ما بعد النضج، وليس هناك موانع كيميائية أو فسيولوجية تعيق عملية الإنبات.

5-1-3- مراحل الإنبات

يمكن أن نلخص مراحل إنبات البذور في ثلاث مراحل مهمة (علي، 2015):

- ✓ المرحلة الأولى (مرحلة امتصاص الماء): وفيها تقوم البذور الجافة بامتصاص الماء مما يزيد من المحتوى الرطوبي للبذور، ويعقب ذلك انتفاخ البذور وزيادة أحجامها ويصاحب هذا الانتفاخ

تمزق أغلفة البذور 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 في الجنين، والتي يسهل على الجنين تمثيلها.
- ✓ المرحلة الثالثة (مرحلة النمو): وفي هذه المرحلة يحدث نمو البادرة الصغيرة كنتيجة لاستمرار الانقسام الخلوي الذي يحدث في نقط النمو المختلفة والموجودة على محور الجنين، وبتقدم مراحل النمو تأخذ البادرة الشكل الخاص بها (علي، 2015).

5-2- النمو:

النمو هو مجموعة العمليات البيولوجية التي تؤدي إلى الزيادة غير الرجعية في حجم و وزن النبات بواسطة انقسام واستطالة الخلايا (MERRET, 2010)، وهاتين العمليتين متداخلتين تتبعهما عملية التمايز التي تتأثر بالعوامل البيئية و الوراثية، إذا تفحصنا نبات ما لمدة زمنية كافية يتبين حدوث نوعين من التغيرات (Steward, 1969):

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

6- متطلبات زراعة الفول

- **التربة:** لا توجد متطلبات محددة للفول فيما يتعلق بطبيعة التربة (CHAUX and FOURY, 1994)، ومع ذلك يتم إعطاء الأفضلية للتربة الطينية الرملية الرطبة (PERON, 2006)، ومع درجة حموضة محايدة إلى قلوية قليلا (7- 8,3).
- **الحرارة:** إن متوسط درجة الحرارة حوالي 13°C هي المثلى لنمو الفول (BRINK and BELAY, 2006)، حسب GADE (1994) فإن درجات الحرارة التي تزيد عن 23°C ضارة بالفول، فهي تتسبب في سقوط الأزهار قبل الأوان، وتحفيز تطور الأمراض

الفيروسية و الفطرية وتجعل النبات عرضة للآفات الحشرية. من ناحية أخرى، يمكن لهذه النبتة تحمل درجات حرارة تصل إلى 4°C.

- **الإضاءة:** الفول من نباتات النهار الطويل، حيث يتشكل برعم الزهرة عندما تتجاوز الفترة الضوئية 12 ساعة متتالية. في بلدان البحر الأبيض المتوسط، تعتبر أصناف الفول من النهار القصير، فهي تتطلب فترة ضوئية لا تقل عن 9,5 ساعة للتزهير (PATRICK et STODDARD, 2010).
- **الرطوبة:** الفول يحتاج إلى كمية مهمة من الرطوبة على مستوى التربة خاصة في الفترات الأولى من النمو. تظهر مرحلة الإزهار ونمو القرون حساسية عالية للإجهاد المائي، لهذا السبب يجب التدخل بالسقي أو الري في حالة انخفاض هطول الأمطار (CHAUX and FOURY, 1994).

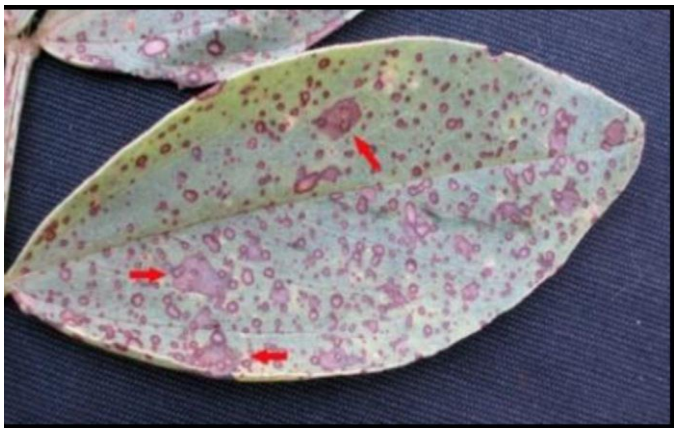
7- أهم أمراض نبات الفول

حسب KHELOUL (2014) من بين الأمراض الأكثر انتشارا وضررا لنبات الفول *Vicia faba* L.) هي:

7-1- الأمراض الفطرية:

7-1-1- التبقع البني Les taches chocolat

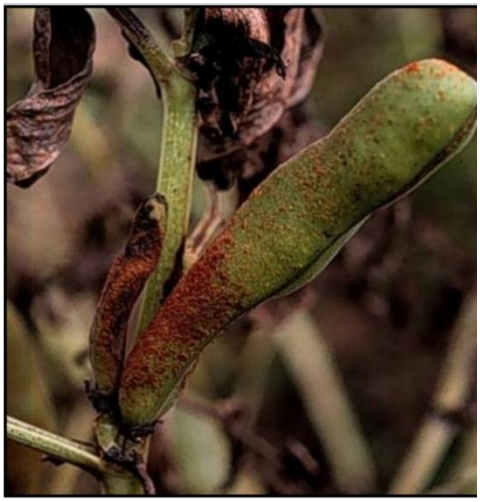
من أكثر الأمراض تدميرا للفول ناتج عن فطر *Botrytis fabae*، الأعراض الأولى هي بقع بنية داكنة اللون على الأوراق والساق والأزهار، مما يتسبب في قتل النبات في يومين فقط.



الوثيقة (05): مرض التبقع البني (VILLEGAS.FERNANDEZ et RUBIALES., 2011)

7-1-2- الصدأ La rouille

فطر *Uromyces viciae fabae* هو المسؤول عن الصدأ في الفول. تبدأ الهجمات عادة في نهاية الموسم عندما تمتلئ القرون وتكون الخسائر أكثر حدة، يتسبب في ظهور بثور بنية قطرها 1 مم تتطور على أسطح الأوراق والسيقان والقرون.



الوثيقة (06): الصدأ (SILLERO *et al*., 2011)

7-2- الأمراض الفيروسية Les maladies virales:

إن الأمراض الفيروسية الرئيسية للفول هي:

- فيروس فسيفساء الفول: الذي ينتقل عن طريق حشرات المن بصفة غير دائمة.
- فيروس تبقع الفول: ينتقل عن طريق الخنافس بصفة غير دائمة.

7-3- النباتات الطفيلية Les parasites:

الطفيليات التي يمكنها أن تهاجم الفول هي:

7-3-1- الهالوك L'orbanche:

يمكن التطفل على الفول عن طريق ثلاث أنواع من الهالوك: *Orobanche Crenata*، *Orobanche Foetida* و *Phelipanchea aegyptiaca*. وهي عبارة عن نباتات طفيلية تعيش عن طريق تناول الكربوهيدرات من اللحاء والماء من نسيج الخشب في نبات الفول.

7-3-2- الديدان الخيطية Les nématodes:

النيماتودا الجذعية (*Ditylenchus dipsaci*) هي الأكثر شيوعا وتدميرا، تسبب تورما وتشويها للساق مع تغير لون أجزاء النبات.

7-4- الحشرات الضارة Les insectes ravageurs

7-4-1- حشرات المن Les pucerons:

هو أحد الأسباب غير المباشرة للضرر الشديد الناجم عن الفيروسات التي تكون نواقل لها.

7-4-2- سوسة ورق البازلاء *(Sitona lineatus)* :

هي حشرات صغيرة جدا متطاولة ذات لون رمادي، تتغذى هذه الحشرات البالغة من هذه الخنفساء على أوراق الشتلات مسببة شقوقا وتصيب اليرقات العقيدات الجذرية مما يقلل من تثبيت النيتروجين في الغلاف الجوي.

الفصل الثاني

إجهاد المعادن الثقيلة

1- تعريف المعادن الثقيلة

يمكن تعريف المعادن الثقيلة بأنها مجموعة فرعية من تلك العناصر التي تظهر خصائص معدنية وتضم المعادن التي تمر بالحالة الانتقالية؛ بعض الفلزات، اللانثانيدات و الاوكتينيدات، وذلك باستخدام الكثافة كعامل مميز (SUCIU et *al*., 2008). كماعرفها JARUP (2003) بأنها تلك المعادن التي تمتلك كثافة معينة والتي تقدر بأكثر من 5غ/سم^3.كما يمكن أن تكون عناصر كيميائية بكثافة أكبر من 4غ/سم^3 والتي وجدت في جميع أنواع التربة، الصخور، المياه، النظم البيئية الأرضية والمياه العذبة (ABEGUNDE and ADELEKAN, 2011).

كما أن المعادن الثقيلة هي أي عنصر فلزي لديه كثافة عالية نسبيا، والتي تعتبر سامة أو مسببة للتسمم حتى في التراكيز المنخفضة منها (YAHAYA et *al*., 2012). تعتبر المعادن الثقيلة مكونات طبيعية للقشرة الأرضية، يتبدل الشكل الكيميائي الحيوي لها من شكل لآخر متأثرة بالعوامل الطبيعية (ADEPOJU.BELLO et *al*., 2012).

تصنف المعادن الثقيلة بحسب الدراسات البيئية والبيولوجية إلى (EL RJOOB et *al*., 2008):

- ✓ معادن أساسية (essential metals): مثل الزنك (Zn)، النحاس (Cu).
- ✓ معادن غير أساسية (non.essential metals) أو معادن سامة: مثل الرصاص (Pd)، الكادميوم (Cd).

1-1- الحديد (Fer):

الحديد عنصر كيميائي يرمز له (Fe) ورقمه ذري 26. نواة ذرة الحديد 56 هي النظير الأكثر استقرارا بين جميع العناصر الكيميائية لأنها تحتوي على الطاقة الأكثر ارتباطا لكل نكليون (MAHAN, 1987).

1-2- النحاس (Cuivre):

هو معدن شكله بلوري، يتميز بأنه موصل جيد للحرارة والكهرباء، رقمه الذري 29، وزنه الذري 63.546 غ/مول، كثافته 89 غ/سم^3 عند درجة حرارة الغرفة. ويعتبر النحاس مكون أساسي للعديد من الإنزيمات المعدنية metalloenzyme (وفاء، 2015).

1-3- الألمنيوم (Aluminium):

هو عنصر معدني رقمه الذري 13، وهو ثالث أكثر العناصر وفرة (بعد الاكسجين والسيليكون) لجميع العناصر الموجودة في التربة، توجد كميات كبيرة من Al في معادن الألومينوسيليكات، ولقليل

منها يظهر في القشرة بشكل قابل للذوبان، قادر على التأثير على نمو النبات وتطوره. لا يعتبر الألمنيوم (Al) من العناصر الغذائية الأساسية للنباتات، حيث تعد سمية الألمنيوم عاملا محتملا يحد من نمو النباتات المزروعة في التربة الحمضية في جميع انحاء العالم، برغم من أن التراكيز القليلة منه يمكن أن تزيد أحيانا من نمو النبات (NEENU and KARTHIKA, 2019).

2- تأثير المعادن الثقيلة على النبات

2-1- تأثير المعادن الثقيلة على الإنبات

الإنبات أحد العمليات الفسيولوجية الأكثر حساسية للإجهادات (MICELI et *al*., 2003)، حيث تمنع المعادن الثقيلة ذات التراكيز العالية المراحل المختلفة للنبات بدءا من إنبات البذور إلى نمو النباتات وتطورها عن طريق إحداث خلل في العمليات البيوكيميائية والفسيولوجية مثل تدمير الأغشية، ضعف تخليق البروتين، تشويه جهاز التركيب الضوئي وإبطال نشاط الإنزيمات (Vijayaragavan et *al*., 2011). ويؤدي إجهاد المعادن الثقيلة وبالأخص النحاس إلى تقليل معدل الإنبات، وذلك لأنه يحث على تعبئة الكتلة الحيوية عن طريق إطلاق الجلوكوز والفركتوز وبالتالي تثبيط تكسير النشاء والسكروز في الأنسجة الإحتياطية عن طريق تثبيط أنشطة ألفا أميلاز وإنزيمات الإنفرتيز، وبالتالي تأثيره على التمثيل الغذائي العام، وإمتصاص الماء (SETHY and GHOSH, 2013).

2-2- تأثير المعادن الثقيلة على النمو

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

2-3- تأثير المعادن الثقيلة على التركيب الضوئي

إن النباتات المعرضة لإجهاد المعادن الثقيلة أدت إلى انخفاض في معدل تركيبها الضوئي؛ نتيجة تشوه البلاستيدات الخضراء، نقص في كمية الكلوروفيل، إعاقة في نقل الإلكترون، الأنشطة المثبطة لإنزيمات دورة كالفين وكذلك نقص في تثبيت ثاني أكسيد الكربون نتيجة انغلاق المعبر (SHARMA and DUBEY, 2005)، كما يؤثر إرتفاع أيونات المعادن الثقيلة على وظيفة النظامين الضوئيين PSI وPSII، وكانت الأخيرة الأكثر تأثرا (YANG et *al*., 1989).

2-4- استحثاث المعادن الثقيلة لإجهاد الأكسدة

إن مركبات الحديد والنحاس تستحث توليد جذور حرة أكثر من المعادن الأخرى وتزيد من الأكسدة، على سبيل المثال: تم العثورعلى بيروكسيد الدهون بعد المعاملة بنسب مرتفعة من النحاس في أنسجة جذور نباتات الفول، يشير هذا حقيقة أن الإجهاد التأكسدي وأكسدة الدهون أوبيروكسيد الدهون ناتج عن تحرر الجذور الحرة في خلايا أنسجة جذور نباتات الفول (YUREKLI and PORGALI, 2006)، وهذا مما أدى إلى التأثير سلبا على الأنشطة الأيضية المختلفة للنباتات بما في ذالك الأكسدة الخلوية (ORTEGA.VILLASANTE et *al*., 2005).

3- آليات تحمل ومقاومة النباتات لإجهاد المعادن الثقيلة

- ✓ عند زيادة المعادن الثقيلة وبالأخص Fe في النبات، يقوم هذا الأخير بتعزيز نشاط كل من Superoxide disututase (SOD)، Peroxidase (POD) وCatalase (CAT) هي إنزيمات مهمة للنباتات المتكيفة مع الإجهاد البيئي، ويطلق عليها النظام الإنزيمي الوقائي للنبات. إن التفاعلات المتناغمة للإنزيمات الثلاثة تعطي توازن في إنتاج الجذور الحرة وإزالتها، وتحافظ على مستوى الجذور الحرة في النباتات منخفضة لمنع تعرض الخلايا لتراكيز متزايدة من الجذور الحرة (PANG et *al*., 2001).
- ✓ تحت تأثير التراكيز العالية من المعادن الثقيلة تزداد سماكة جدران الخلايا في الجذور، وهذه هي إحدى الآليات التي يمكن أن تفعلها النباتات للحد من تدفق المعادن، حيث أن هذه الظاهرة ترتبط بزيادة نشاط انزيم البيروكسيديز (LIU et *al*., 2004)، هذا الإنزيم قادر على تحفيز تخليق اللجنين وتحريضه عند الارتفاع المفرط للمعادن السامة (PRASAD, 1996).
- ✓ إن تعرض النباتات للتركيز الزائد من المعادن الثقيلة مثل الحديد والنحاس يؤدي إلى الإصابة بالتأكسد (MAZHOUDI et *al*., 1997)، مما يحفز استجابات التفاعلات الإنزيمية وغير الإنزيمية والأكسدة الدهنية. ولهذا طورت الخلايا استراتيجيات معينة مثل أنظمة مضادات الأكسدة الإنزيمية لتخليق الإنزيمات مثل الكاتالاز، البيروكسيداز والسيبروكسيدازديستيتاز، ومضادات الأكسدة غيرالإنزيمية مثل الأسكوربات و الجلوتاثيون والمركبات الفينولية لمكافحة الإجهاد التأكسدي وللتخفيف من الإجهاد المعدني (P.A. WANI et *al*., 2012).

الجزء الثاني

الدراسة التطبيقية

الفصل الثالث

مواد وطرق الدراسة

الهدف من الدراسة

يهدف هذا البحث إلى معرفة مدى تأثير أيونات المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) على إنبات ونمو بادرات الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL.

1- المواد والأدوات المستعملة

1-1- المادة النباتية

استعمل في هذه الدراسة بذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL ذات الخصائص التقنية الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (03): الخصائص التقنية لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف (HISTAL)

الصنف / الخصائص	HISTAL
الفئة	عادي
الإنبات	85%
النقاوة	98%
تاريخ الجني	2015
تاريخ التعبئة	06/2017
البلد الأصلي	اسبانيا
مصدر البذور	السوق المحلي

الوثيقة (07): بذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف (HISTAL)

2-1- المواد والمحاليل والأجهزة المستعملة

في هذه الدراسة تم استخدام العديد من الأدوات موضحة في الجدول التالي:

الجدول (04): الأدوات والمحاليل والأجهزة المستعملة.

الأدوات	المحاليل	الأجهزة
- قطن - كأس مدرج - أطباق بلاستيكية (ذات القطر 15 سم وذات العمق 2 سم) - حقن - شفرة حلاقة - ورق الألمنيوم - ورقة مليمترية	- كلوريد النحاس ($CuCl_2 2H_2O$) - كلوريد الألمنيوم ($AlCl_3 6H_2O$) - كلوريد الحديد الثنائي ($FeCl_2 4H_2O$) - ماء مقطر - ماء جافيل (12°)	- حاضنة حرارية - ميزان حساس (0.001غ)

2- طرق الدراسة

- **موقع التجربة:**

أجريت التجربة بكلية علوم الطبيعة والحياة بجامعة الشهيد حمه لخضر للموسم 2020/2019 وفي درجة حرارة 1 ± 20 °C مع ظلام تام وقليل من التهوية.

2-1- تحضير بذور الفول للاختبار

تم انتقاء 360 بذرة سليمة ومتجانسة في اللون والحجم والشكل، لإزالة المادة المعالجة تم تعقيمها بنقعها في محلول ماء جافيل (12°) بتركيز 10%، لمدة 10 دقائق، ثم غسلت البذور جيدا ثلاث مرات بالماء المقطر، وبعد ذلك تم نقعها في الماء المقطر مدة ثلاث ساعات قبل إجراء التجربة عليها مباشرة.

2-2- المحاليل المعدنية المستعملة

- الشاهد (ماء مقطر): وهو عبارة على التركيز صفر $T(H_2O)$ للمحاليل المعدنية المستعملة.
- كما تم تحضير التراكيز: 30 mg/l, 60mg/l و 90mg/l، من أملاح المعادن التالية:
- أملاح كلوريد الحديد الثنائي ($FeCl_2$).
- املاح كلوريد النحاس ($CuCl_2$).
- املاح كلوريد الألمنيوم ($AlCl_3$).

2-3- تصميم وإدارة التجربة

أجري اختبارالإنبات في أطباق بلاستيكية (15 سم ×2 سم) وضعت بها أوراق بيضاء، تم وضع 12 بذرة من بذور الفول المحضرة مسبقا في كل طبق، تم اعتماد أربعة معاملات؛ (الشاهد مع ثلاث تراكيز معدنية) لكل معاملة ثلاثة تكرارات، تم إضافة المحاليل بمعدل 20 ملل يوميا مع استبدال الورق كل 72 ساعة، أجريت التجربة في ظروف مخبرية (ظلام، درجة حرارة = 20 م°)، تعتبر البذور نابتة عند بروز الجذير بطول 2 ملم، كما تم إحصاء البذور النابتة يوميا إلى غاية اليوم العاشر من الزرع (RAHMAN et *al*., 2008).

2-4- المعايير المدروسة

أجريت مختلف القياسات للمعايير المراد دراستها، بحيث تم أخذ القياسات للعينات (30 تكرار) وهي طازجة، وتم تجفيف العينات عند 80 درجة لمدة 72 ساعة.

2-4-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات

2-4-1-1- النسبة المئوية للإنبات (GP%)

يعبرعنها بالنسبة المئوية للبذور النابتة من المجموع الكلي للبذور، تم حسابها حسب (KANDIL et *al*., 2012) وتم اعتماد اليوم الأخير من التجربة لتحديد نسبة الإنبات النهائية وفق المعادلة التالية:

$$\textbf{Germination percent (GP\%) = NGS/ TNS×100}$$

حيث أن: NGS عدد البذور النابتة؛ **TNS** العدد الكلي للبذور

2-4-1-2- مؤشر قوة البذور (SVI)

تم حساب مؤشر قوة الإنبات لليوم الأخير لتقييم أداء إنبات البذور تحت العلاجات المطبقة عليها حسب طريقة (ABDUL.BAKI and ANDERSON, 1973) باستعمال المعادلة التالية:

$$\textbf{SVI = SDW× GP\%}$$

حيث أن: SDW الوزن الجاف للبادرة؛ **GP%** النسبة المئوية للإنبات لليوم الأخير

2-4-1-3- نسبة التثبيط: لنسبة الإنبات *PI(GP%)*؛ لمؤشر قوة الإنبات *PI(SVI)*

حسب (BARUAH et *al*., 2019) تم حساب نسبة التثبيط لمعايير الإنبات باستعمال العلاقات التالية:

$$PI(GP\%) = 100 - (GP_{treatment} / GP_{control}) \times 100$$

$$PI(SVI) = 100 - (SVI_{treatment} / SVI_{control}) \times 100$$

حيث أن: $GP_{treatment}$ النسبة المئوية للبذور المعالجة؛ $GP_{control}$ النسبة المئوية للبذور الشاهد؛ $SVI_{treatment}$ قوة الإنبات لمؤشر البذور المعالجة؛ $SVI_{control}$ قوة الإنبات للبذور الشاهد

2-4-2- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات

2-4-2-1- وزن السويقة (mg) SHW؛ وزن الجذير (mg) RTW؛ الوزن الكلي للبادرة(mg)TSW

تم قياس أوزان السويقة والجذير في اليوم الأخير من التجربة وذلك بواسطة ميزان حساس.

2-4-2-2- مؤشر تحمل الإجهاد: لوزن السويقة (*SHWTI*)؛ لوزن الجذير (*RTWTI*)؛ للوزن الكلي للبادرة (*TSWTI*)

حسب (IQPAL and RAHMATI, 1992) تم حساب مؤشرات تحمل الإجهاد لخصائص نمو البادرات عن طريق العلاقات التالية:

$$SHWTI = (SHW_{treatment} / SHW_{control}) \times 100$$

$$RTWTI = (RTW_{treatment} / RTW_{control}) \times 100$$

$$TSWTI = (TSW_{treatment} / TSW_{control}) \times 100$$

حيث أن: $SHW_{treatment}$ وزن السويقة المعالجة؛ $SHW_{control}$ وزن السويقة الشاهد؛ $RTW_{treatment}$ وزن الجذير المعالج؛ $RTW_{control}$ وزن الجذير الشاهد؛ $TSW_{treatment}$ وزن البادرة المعالجة؛ $TSW_{control}$ وزن البادرة الشاهد

2-4-2-3- نسبة السمية: لوزن السويقة *(SHWP%)*؛ لوزن الجذير *(RTWP%)*؛ للوزن الكلي للبادرة *(TSWP%)*

تم احتساب نسبة السمية حسب (WIERZBICKA *et al*., 2015) باستعمال العلاقات التالية:

$$SHWP\% = ((SHW_{control} - SHW_{treatment}) / SHW_{control}) \times 100$$

$$RTWP\% = ((RTW_{control} - RTW_{treatment}) / RTW_{control}) \times 100$$

$$TSWP\% = ((TSW_{control} - TSW_{treatment}) / TSW_{control}) \times 100$$

2-4-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية

2-4-3-1- وزن المدخرات البذرية المستهلكة (RRS)

تم الحصول على قيمة RRS حسب (PEREIRA *et al*., 2015) بالصيغة التالية:

$$RRS\ (mg) = DWS - RDWC$$

حيث أن: DWS المادة الجافة الأولية للبذور؛ **RDWC** وزن المادة الجافة لبقايا الفلقات

2-4-3-2- الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية (CESR)

وهي نسبة المواد الجافة المستهلكة للبذور التي تحولت إلى مادة جافة للبادرات، وحسب (PEREIRA *et al*., 2015) تم احتسابها بالعلاقة التالية:

$$ECR\ (\%) = (TSW / RRS) \times 100$$

حيث أن: TSW الوزن الجاف للبادرة؛ **RRS** وزن المدخرات البذرية المستهلكة

2-4-3-3- نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية (SRRR)

تسمح هذه العلاقة بتحديد الأنماط الجينية في معظم المواد الجافة، وتم حسابها حسب (PEREIRA *et al*., 2015) بالصيغة التالية:

$$\mathbf{SRRR\% = (RRS / DWS) \times 100}$$

2-4-3-4- نسبة حركية المدخرات البذرية (RMRS)

لحساب RMRS تمت قسمة كمية المادة الجافة للبادرات على كمية المادة الجافة للبذورحسب (ANDRADE *et al*., 2019) وفقا للمعادلة التالية:

$$\mathbf{RMRS\% = (TSW / DMS) \times 100}$$

حيث أن: TSW المادة الجافة للبادرات؛ **DMS** المادة الجافة للبذور

2-4-3-5- نسبة الطاقة المستنفدة (EE)

حسب (ANDRADE *et al*., 2019) تم حساب EE بالعلاقة التالية:

$$\mathbf{EE\%= (DMS - RDME - TSW) / DMS) \times 100}$$

حيث أن: RDME المادة الجافة المتبقية في الأندوسبيرم

3- الدراسة الإحصائية

تم اعتماد طريقة تحليل التباين الأحادي (ANOVA) مع اعتبار مستوى المعنوية: ($P > 0.05$) التباين غير معنوي؛ ($0.01< P \leq 0.05$) التباين معنوي؛ ($0.001< P \leq 0.01$) تباين عالي المعنوية؛ ($P \leq 0.001$) التباين جد عالي المعنوية، بخصوص المعايير المدروسة تم استخدام البرنامج الإحصائي MiniTab 17 وذلك لتحديد نمط التباين بين العينات، كما تم استعمال اختبار تحليل الارتباط الخطي لبيرسون (Pearson) لتحديد معاملات الارتباط واتجاه العلاقة الارتباطية التي تجمع بين المعايير المدروسة. تم اعتماد برنامج Excel 2007 لرسم المنحنيات ومخططات الأعمدة البيانية.

الفصل الرابع

النتائج والمناقشة

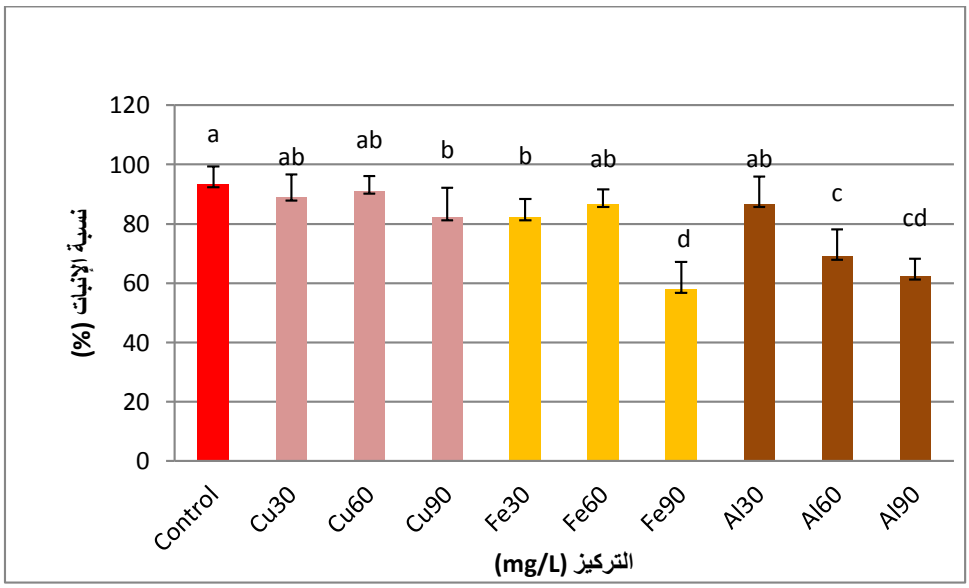
1- النتائج

1-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات

1-1-1- نسبة الإنبات (GP%)

نلاحظ من خلال الشكل (01) انخفاض في متوسط نسبة الإنبات للبذور المعالجة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ عند كل التراكيز، ماعدا التراكيز Cu60, Cu30 و Fe60 التي أبدت فيهم ارتفاع في نسبة الإنبات، وكانت أكبر قيمة (91,11%) عند المعالجة بـ Cu60، في حين سجلت أقل قيمة لنسبة الإنبات (57,78%) عند المعالجة بـ Fe90.

ومن خلال نتائج ANOVA فقد تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 01: الجدول 01). كما نشير إلى وجود علاقة ارتباط ايجابية قوية بين نسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور r = 0,965 (الملحق 04: الجدول 01).

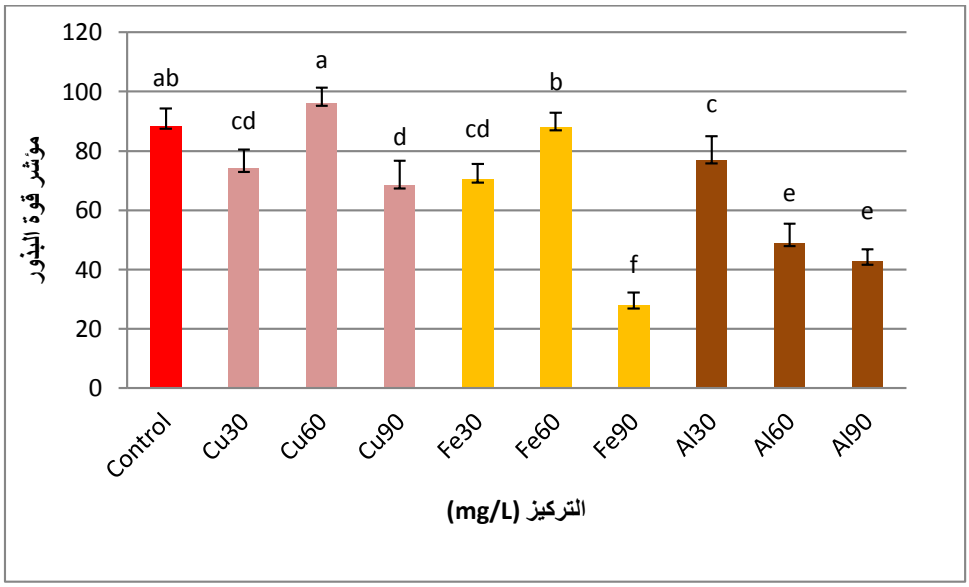


الشكل (01): نسبة الإنبات (GP%)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

1-1-2- مؤشر قوة البذور (SVI)

يتبين من خلال الشكل (02) انخفاض في متوسط مؤشر قوة البذور المعالجة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ عند كل التراكيز، باستثناء المعدنين Cu و Fe للتركيز 60 mg /L اللذين سجلت البذور عندهما إرتفاع محسوس في مؤشر قوة البذور، وكانت أكبر قيمة (91,11) عند المعاملة Cu60، وذلك مقارنة بالشاهد، في حين سجلت أقل قيمة SVI (57,78) عند المعاملة Fe90.

كما أظهرت نتائج ANOVA فروقات جد عالية المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 01: الجدول 02). كما توجد علاقة ارتباط إيجابية قوية بين مؤشر قوة البذور ونسبة حركية المدخرات البذرية r = 0,982 (الملحق 04: الجدول 01).



الشكل (02): مؤشر قوة البذور(SVI)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

1-1-3- نسبة التثبيط لنسبة الإنبات *PI(GP%)*

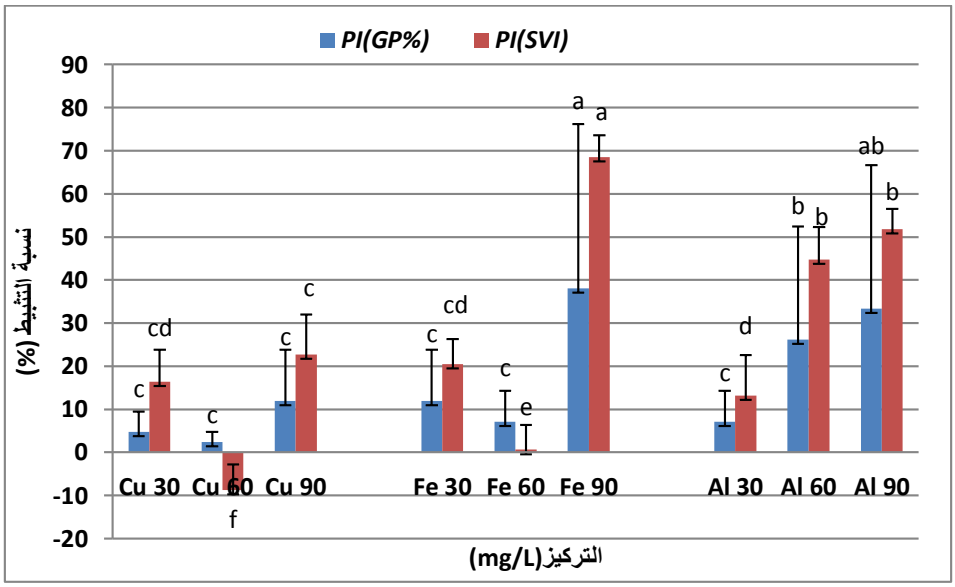
يتضح من خلال الشكل (03) انخفاض في متوسط *PI(GP%)* للبذور المعالجة بالمحاليل المعدنية $AlCl_3$, $CuCl_2$و $FeCl_2$ عند أغلب التراكيز، باستثناء المعدنين Cu وFe للتركيز 90 mg /L حيث سجل عندهما إرتفاع كبير في نسبة تثبيط الإنبات، وكانت أكبر قيمة (38,1%) عند المعالجة Fe90، وذلك مقارنة بالشاهد، في حين سجلت أقل قيمة *PI(GP%)* (2,38%) عند المعالجة Cu60.

ومن خلال نتائج ANOVA فقد تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 01: الجدول 03).

1-1-4- نسبة التثبيط لمؤشر قوة الإنبات *PI(SVI)*

نلاحظ من خلال الشكل (03) إرتفاع في متوسط نسبة التثبيط لمؤشر قوة البذور تحت تأثير سمية المحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و $AlCl_3$ عند أغلب التراكيز، وكانت أكبر قيمة (68,54%) عند المعاملة Fe90، في حين سجل انخفاض في نسبة التثبيط لمؤشر قوة البذور *PI(SVI)* عند كل من Cu وFe للتركيز 60mg/L، وذلك مقارنة بالشاهد، وكانت أقل قيمة (8,68 %) عند المعاملة Cu60.

من خلال نتائج ANOVA فقد تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 01: الجدول 04).



الشكل (03): متوسط نسب التثبيط: للإنبات*PI(GP%)*، ولمؤشر قوة البذور*PI(SVI)*، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

2-1- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات

1-2-1- وزن السويقة SHDW (mg)، وزن الجذير RTDW (mg) والوزن الكلي للبادرة TSDW (mg)

يتضح بشكل عام من خلال الجدول (01) انخفاض متوسط وزن السويقة والوزن الكلي للبادرة للبذور المعالجة بالمحاليل المعدنية $CuCl_2$ و$FeCl_2$ تزامنا مع ارتفاع تراكيزها في الوسط، باستثناء التركيز60mg/L عند المعدنين Cu ,Fe أين سجل تزايد في الأوزان الجافة مقارنة بالشاهد. أيضا أكدت النتائج إرتفاع في النسبة (RTDW/SHDW) عند المعالجة بالمحاليل $CuCl_2$ و$AlCl_3$، باستثناء التركيز 60mg/L، مقارنة بالعينات الشاهد، بينما البذور المعالجة بمحلول $FeCl_2$ فقد سجل تراجع في (RTDW/SHDW) تزامنا مع زيادة التراكيز، أما بالنسبة للوزن الجاف للجذير فقد تم تسجيل انخفاض في RTDW تحت تأثير سمية كل من $FeCl_2$, $CuCl_2$ و $AlCl_3$، باستثناء التركيز 30mg/L للمعدنين Fe و Al فكان RTDW مرتفع مقارنة بالعينات الشاهد. تشير النتائج إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين وزن السويقة والوزن الكلي للبادرة r = 0,943 (الملحق 04: الجدول 01).

الجدول (05): الوزن الجاف للسوقية (SHDW)، الوزن الجاف للجذير(RTDW)، النسبة (RTDW/SHDW)، الوزن الجاف الكلي للبادرة (TSDW) لصنف الفول (*Vicia faba* L.) HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

Metal	التركيز (mg/L)	SHDW (mg)	RTDW (mg)	RTDW/SHDW	TSDW (mg)
$T(H_2O)$	0	70,93 ± 15,05	23,85 ± 3,71	0,35 ± 0,08	94,78 ± 14,75
$CuCl_2$	30	59,52 ± 2,8	23,65 ± 0,59	0,4 ± 0,03	83,18 ± 2,22
	60	84,05 ± 9,29	21,47 ± 1,13	0,26 ± 0,05	105,52 ± 8,16
	90	60,9 ± 2,61	22,28 ± 1,18	0,37 ±0,004	83,18 ± 3,79
$FeCl_2$	30	55,67 ± 0,82	29,92 ± 6,25	0,54 ± 0,11	85,59 ± 7,06
	60	76,35 ± 0,62	25,10 ± 1,24	0,33 ± 0,02	101,45 ± 0,62
	90	38,72 ± 2,52	9,45 ± 4,36	0,24 ± 0,10	48,18 ± 6,88
$AlCl_3$	30	59,54 ± 6,41	29,04 ± 1,92	0,50 ± 0,08	88,58 ± 4,49
	60	56,42 ± 16,84	14,48 ± 1,04	0,27 ± 0,06	70,9 ± 17,88
	90	45,47 ± 8,21	23,01±0,76	0,52 ± 0,11	68,49 ± 8,08
P.value		0,000	0,000	0,000	0,000
Variance التباين		جد عالي المعنوية	جد عالي المعنوية	جد عالي المعنوية	جد عالي المعنوية

القيم في الجدول: متوسط ± الانحراف المعياري (SD)، **حيث أن:** n = 3

1-2-2- مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة (*SHWTI*)

يتبين من خلال الشكل (04) تفاوت في متوسط (*SHWTI*) عند بادرات الفول المعالجة بمختلف المحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ حيث لوحظ انخفاض في (*SHWTI*) عند أغلب التراكيز المطبقة، باستثناء التركيز 60 mg/L للمعدنين Cu وFe اللذين سجلت البذور عندهما إرتفاع معنوي في مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة، وكانت أكبر قيمة (% 118,49) عند المعالجة Cu60، في حين سجلت أقل قيمة (% 54,59) (*SHWTI*) عند المعالجة Fe90.

أكدت نتائج تحليل التباين ANOVA فروقات جد عالية المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 02: الجدول 05). كما توجد علاقة ارتباط إيجابية قوية بين مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة ومؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة r = 0,980 (الملحق 04: الجدول 01).

1-2-3- مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير (*RTWTI*)

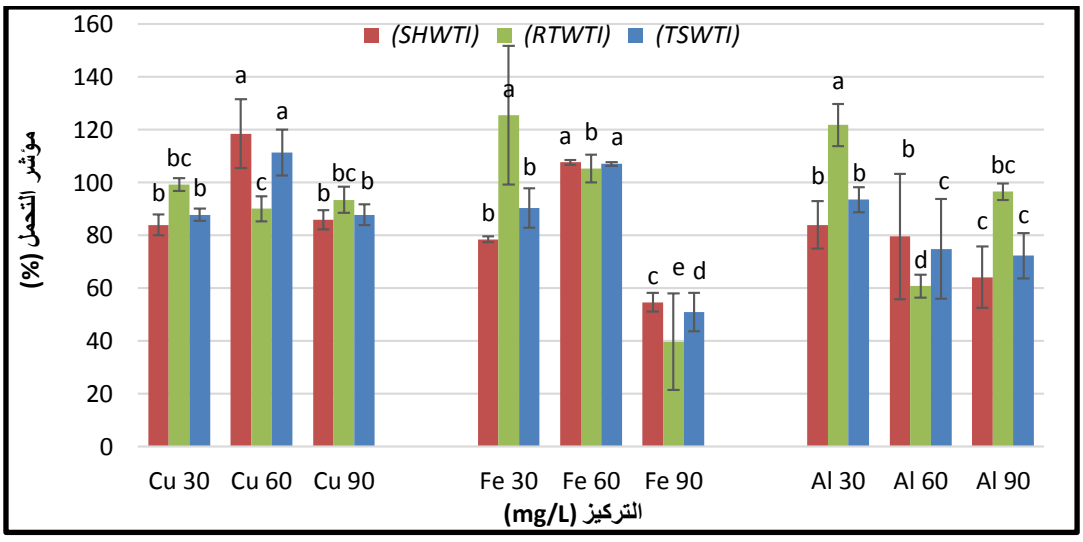
يتضح من خلال الشكل (04) انخفاض في مؤشر تحمل الإجهاد (*RTWTI*) عند البذور المعالجة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ تحت تأثير أغلب التراكيز المطبقة، باستثناء التركيز 30mg/L للمعدنين Cu وAl أين كانت (*RTWTI*) عندهما مرتفعة، حيث سجلت أكبر قيمة (125.5%) عند المعاملة Fe30، في حين سجلت أقل قيمة (39,64 %) عند المعاملة Fe90.

من خلال نتائج ANOVA فقد تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 02: الجدول 06). كما نشير إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير ومؤشر تحمل الإجهاد لوزن البادرة r = 0,874 (الملحق 04: الجدول 01).

1-2-3- مؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة (*TSWTI*)

لوحظ من خلال الشكل (04) انخفاض في مؤشر تحمل الإجهاد (*TSWTI*) عند البادرات المعالجة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$، باستثناء التركيز 60 mg/L للمعدنين Cu وFe فقد سجل عندهما ارتفاع معنوي لمؤشر تحمل الإجهاد لوزن البادرة، وكانت أكبر قيمة (111,33 %) عند المعاملة Cu60، في حين سجلت أدنى قيمة (*TSWTI*) (50,83 %) عند المعاملة Fe90.

ومن خلال نتائج تحليل التباين الإحصائي تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 02: الجدول 07).



الشكل (04): مؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة (*SHWTI*)، مؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير (*RTWTI*)، مؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة (*TSWTI*)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

1-2-3- نسبة السمية لوزن السويقة (*SHWP %*)

يتضح من خلال الشكل (05) إرتفاع في متوسط نسبة السمية لوزن السويقة المعالجة بمختلف المحاليل المعدنية $CuCl_2$, $FeCl_2$ و$AlCl_3$ تحت تأثير أغلب التراكيز المطبقة، باستثناء التركيز 60mg/L للمعدنين Cu و Fe اللذين سجلت وزن السويقة عندهما انخفاض في نسبة السمية، حيث سجلت أقل قيمة سمية (18,49 %) عند المعاملة Cu60، في حين كانت أكبر قيمة (45,41 %) عند المعاملة Fe90.

كما أظهرت نتائج ANOVA فروقات جد عالية المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 02: الجدول 08). كما تأكد وجود علاقة ارتباط قوية بين نسبة السمية لوزن السويقة ونسبة السمية للوزن الكلي للبادرة r = 0,943 (الملحق 04: الجدول 01).

1-2-4- نسبة السمية لوزن الجذير (*RTWP %*)

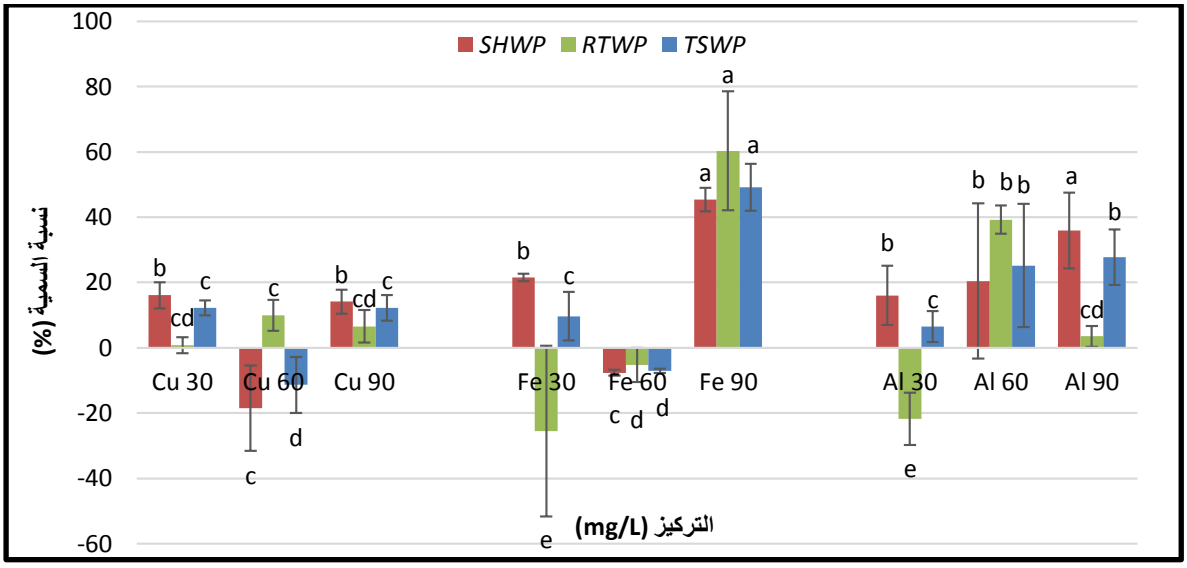
يتبين من خلال الشكل (05) ارتفاع في متوسط نسبة السمية لوزن الجذير المعاملة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ عند أغلب التراكيز، باستثناء التركيز 30 mg/L للمعدنين Cu وAl اللذين سجل عندهما انخفاض في نسبة السمية لوزن الجذير، وكانت أقل قيمة (25,5 %.) (*RTWP*) عند المعاملة Fe30، في حين سجلت أكبر نسبة سمية لوزن الجذير (60,36%) عند المعاملة Fe90.

ومن خلال نتائج ANOVA تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 02: الجدول 09).

1-2-5- نسبة السمية للوزن الكلي للبادرة (*TSWP %*)

لوحظ من خلال الشكل (05) ارتفاع في متوسط نسبة السمية للوزن الكلي للبادرة تحت تأثير المحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ عند أغلب التراكيز المطبقة، باستثناء التركيز 60 mg/L للمعدنين Cu و Fe اللذين سجل عندهما انخفاض في (*TSWP*)، حيث سجلت أقل قيمة (TSWP) (11,33%) عند المعاملة Cu60. في حين سجلت أكبر قيمة (49,17 %) عند المعاملة Fe90.

أكدت نتائج تحليل التباين ANOVA وجود فروقات جد عالية المعنوية لتأثيرعامل المعادن (الملحق 02: الجدول 10). كما تشير النتائج إلى وجود علاقة ارتباط سلبية متوسطة بين نسبة السمية للوزن الكلي للبادرة ووزن المدخرات البذرية المستهلكة r = 0,433 (الملحق 04: الجدول 01).



الشكل (05): نسبة السمية للوزن الجاف: للسويقة (*SHWP*%)، للجذير (*RTWP%*) وللبادرة (*TSWP*%)، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

3-1- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية

1-3-1- وزن المدخرات البذرية المستهلكة (RRS)

تبين من خلال الشكل (06) تراجع متوسط RRS للبذور المعالجة بكل من المحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$ تحت تأثير أغلب التراكيز المطبقة مقارنة بالشاهد، باستثناء المعاملة Fe60 فقد أبدت البذور زيادة في RRS وسجلت أكبر قيمة (397,8 mg)، في حين سجلت أقل قيمة (258,5 mg) RRS عند المعاملة Cu90.

من خلال تحليل نتائج ANOVA تبين وجود تباين جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 03: الجدول 01). كما تشير نتائج الارتباط إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين وزن المدخرات البذرية المستهلكة ونسبة الطاقة المستنفدة r = 0,912 (الملحق 04: الجدول 01).

2-3-1- الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية (ECR)

يتضح من خلال الشكل (06) أن متوسط ECR أبدى تفاوت مابين كل المعاملات المعدنية المطبقة، فنجد عند بذور الفول المعاملة بالمحلول المعدني $CuCl_2$ أن ECR عالية عند التركيزين 60 mg/L و90 ومنخفضة عند التركيز 30 mg/L مقارنة بالشاهد، بينما عند البذور المعاملة بأملاح $FeCl_2$ فكانت ECR متقاربة مع الشاهد عند التركيز 60 mg/L ومنخفضة عند بقية التراكيز، أما بالنسبة

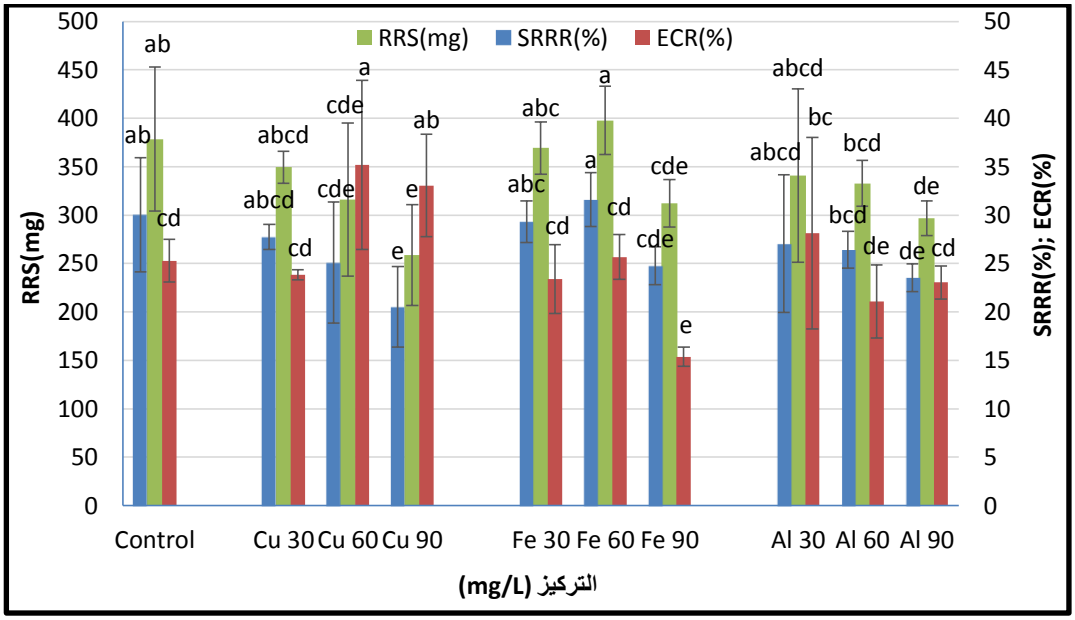
للبذور المعاملة بـمحلول $AlCl_3$ فقد سجلت إرتفاع في قيمة ECR عند التركيز 30 mg/L وانخفاض عند باقي التراكيز مقارنة بالعينات الشاهد.

من خلال النتائج سجلت أكبر قيمة (35,18%) ECR عند المعاملة Cu60، في حين سجلت أقل قيمة (15,377 %) ECR عند المعاملة Fe90. كما أظهرت نتائج التحليل ANOVA فروقات جد عالية المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 03: الجدول 02). أيضا أكدت النتائج الإحصائية وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ونسبة حركية المدخرات البذريةr = 0,769 (الملحق 04: الجدول 01).

1-3-3- نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية (SRRR)

يتضح من خلال الشكل (06) انخفاض متوسط نسبة SRRR لبذور الفول المعالجة بالمحاليل المعدنية $FeCl_2$, $CuCl_2$ و$AlCl_3$، تحت تأثير أغلب التراكيز مقارنة بالشاهد، باستثناء المعاملة Fe60 حيث سجلت SRRR أكبر قيمة لها (31,59 %)، في حين سجلت أقل قيمة (20,53 %) SRRR عند المعاملة Cu90.

من خلال نتائج ANOVA فقد تبين وجود تباين جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 03: الجدول 03). كما تشير نتائج الارتباط الإحصائية إلى وجود علاقة ارتباط إيجابية قوية بين نسبة معدل استنفاذ المدخرات البذرية ونسبة الطاقة المستنفدة r = 0,912 (الملحق 04: الجدول 01).



الشكل (06): وزن المدخرات البذرية المستهلكة RRS، نسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية SRRR، الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ECR، لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

1-3-4- نسبة حركية المدخرات البذرية (RMRS)

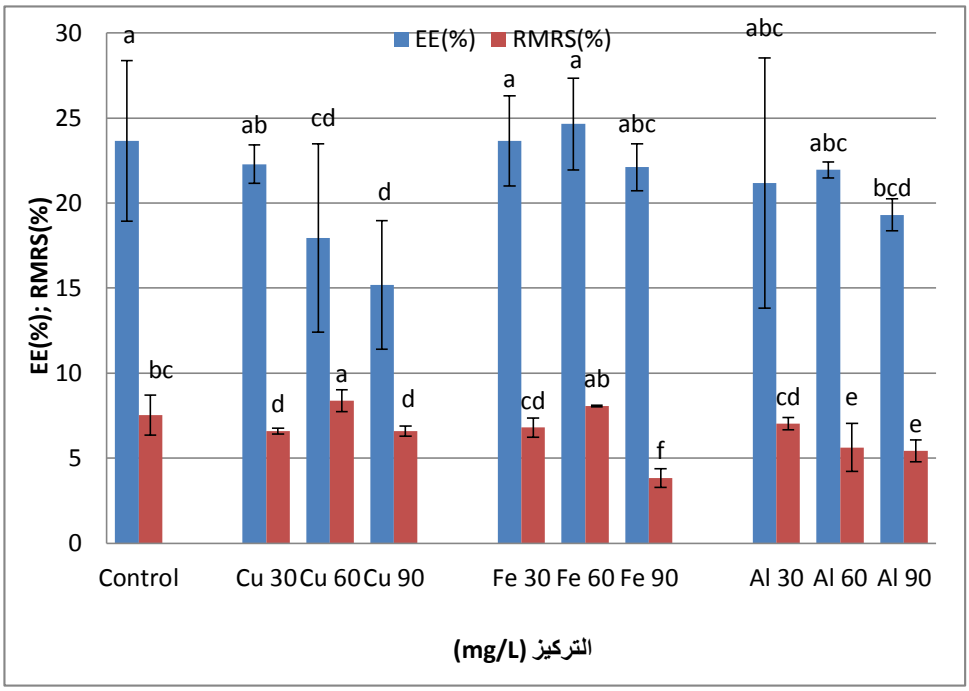
يتبين من خلال الشكل (07) انخفاض متوسط نسبة RMRS لبذور الفول المعاملة بالمحاليل المعدنية $CuCl_2$, $FeCl_2$ و $AlCl_3$ تحت تأثير أغلب التراكيز، باستثناء التركيز 60 mg/L للمعدنين Cu وFe فقد سجلت عندهما البذور إرتفاع في متوسط نسبة حركية المدخرات البذرية، وكانت أكبر قيمة (8,378 %) عند المعاملة Cu60، في حين سجلت أقل قيمة (3,825 %) RMRS عند المعاملة Fe90.

ومن خلال نتائج التحليل ANOVA فقد تبين وجود اختلاف جد عالي المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق 03: الجدول 04).

1-3-5- نسبة الطاقة المستنفدة (EE)

نلاحظ من خلال الشكل (07) تراجع معنوي في متوسط EE عند بذور الفول المعاملة بالتراكيز العالية للمحاليل المعدنية $CuCl_2$ و $AlCl_3$ مقارنة بالعينات الشاهد، حيث سجلت أقل قيمة (15.19%) EE عند المعاملة Cu90، في حين كانت أكبر قيمة (24,65 %) EE عند التركيز 60 mg/L للمحلول المعدني $FeCl_2$.

كما أظهرت نتائج تحاليل ANOVA فروقات جد عالية المعنوية لتأثير عامل المعادن (الملحق:03 الجدول 05).



الشكل (07): نسبة حركية المدخرات البذرية RMRS، نسبة الطاقة المستنفدة EE لبذور الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL، بدلالة مستويات تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) في الوسط.

2- المناقشة

2-1- تأثير المعادن الثقيلة على مواصفات الإنبات

يتضح من خلال النتائج المتحصل عليها أن نسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور ينخفضان عموما عند معالجتهم بمختلف المحاليل المعدنية خاصة تحت تأثير التراكيز العالية، وهذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه كل من NIJARA وآخرون (2009) عند البازلاء والطماطم؛ ZHAO وآخرون (2016) عند نبتة دوار الشمس.

كما لاحظنا زيادة في إنبات بذور الفول عند التراكيز الضعيفة من إجهاد أملاح المعادن $CuCl_2$ $FeCl_2$, و$AlCl_3$، وهذا راجع إلى أن الجرعات المنخفضة من المعادن تدخل في تركيب بعض البروتينات والسايتوكرومات (ناصر، 2005).

أما نتائج نسبة التثبيط لنسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور لاحظنا زيادة في التثبيط مع زيادة التركيز لأيونات المعادن في الوسط، وهذا ما يتفق مع ما توصل إليه (SOMEN, 2014; MUNZUROGLU and GECKIL, 2002).

وفسر الباحثين انخفاض كل من نسبة الإنبات ومؤشر قوة البذور وزيادة في نسب التثبيط في ظروف إجهاد المعادن الثقيلة في النبات، أن ذلك بسبب انجذاب أيونات المعادن الثقيلة لمجموعات وظيفية خاصة في الإنزيمات وبعض البروتينات مما يعيق فعالياتها وبالتالي تأثيرها على العمليات الحيوية والتي من ضمنها عملية الإنبات، وذلك لأن آليات الإنبات تحتاج إلى نشاطات إنزيمية كثيرة، إذ تقوم بهضم المواد الغذائية المخزنة كالنشاء والبروتينات والدهون (SETHY and GHOSH, 2013).

2-2- تأثير المعادن الثقيلة على نمو البادرات

يتضح من خلال النتائج المتحصل عليها أن مؤشر تحمل الإجهاد ينخفض عموما عند البذور المعالجة بالمحاليل المعدنية، خاصة عند التراكيز العالية بخفض الأوزان الجافة لكل من السويقة و الجذير، وهذه النتيجة تتفق مع ما توصل إليه SHAFIQ وآخرون (2008) في نبات *leucaena leucocephala*؛ SIDDHI وأخرون (2016) في نبات فول الصويا؛ TARIQ وآخرون (2007) في بعض المحاصيل النجيلية. في العادة الكميات الزائدة من أيونات المعادن السامة تؤدي إلى إنخفاض في نمو النبات (PRODGERS and INSKEEP, 1981; IQBAL and MEHMOUD, 1991).

من جهة أخرى لاحظنا إرتفاع في تحمل بادرات الفول عند التراكيز الضعيفة من المعادن في الوسط، بتحفيز زيادة الأوزان الجافة لكل من السويقة والجذير، ويمكن تفسير ذلك بوجود مؤشرات

أفضل للتحمل (SHAFIQ et *al*., 2008)، منها تعديل نفاذية الغشاء؛ الذي يقلل دخول المعادن إلى الخلية، مما يمنع النشاط السام للأيونات (ESTEBAN, 2006).

كما أكدت النتائج ارتفاع في نسب السمية لمعايير النمو مع زيادة حدة التراكيز خاصة $FeCl_2$ كان الأكثر سمية للبادرات، وهذا يتفق مع ماتوصل إليه YAQVOB وآخرون (2011) في نبات الطماطم.

وفسر العديد من الباحثين أن انخفاض مؤشر التحمل وكذا ارتفاع في نسبة السمية على أنه راجع إلى التراكم العالي لأيونات المعادن الثقيلة داخل الكتلة الحيوية لأنسجة النبات، حيث تكمن سمية كل من $FeCl_2$ و$CuCl_2$ في إنتاج الجذور المؤكسدة الضارة عند التركيز العالي منهما، مما يؤدي إلى التأثير السمي الحاد السبب الرئيس في كبح إنبات البذور وتراجع آليات نمو النباتات (SINGH and SINGH, 1981). بالنسبة للبذور المعالجة بمحلول $AlCl_3$ حتى تحت تأثير التركيز الأعلى 90 mg/L شهدت تحمل كبيرا وكذا تسمما طفيفا فيما يخص الجذير، مما يعود إلى مقاومة أعلى للسمية عن طريق التجنب أي الحد من امتصاص الجذور لأيونات المعادن بسبب استبعاد الغشاء و/أو التثبيت الخارجي عن طريق إفرازات الجذر أو التحمل الحقيقي أي آليات إزالة السموم (BAKER, 1987) .

2-3- تأثير المعادن الثقيلة على الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية

يعتبر وزن المدخرات البذرية المستهلكة والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ومعدل استنفاد المدخرات سمات رئيسية لزيادة نشاط البذور للتحسين من عمليتي الإنبات والنمو (BEWLEY et *al*., 2013).

على ضوء النتائج المتحصل عليها فقد سجل تفاوت في استجابة بذور الفول صنف HISTAL لتأثير إجهاد المعادن الثقيلة (Cu, Al و Fe) على أيض المدخرات البذرية، حيث سجلت عموما انخفاض في حركية المدخرات البذرية والطاقة المستنفدة عند التراكيز العالية من المعادن في الوسط، وانعكس ذلك جليا في انخفاض وزن البادرات وتقارب الوزن المتبقى من الفلقات مقارنة بالعينات الشاهد، وبشكل عام فإن هذه النتائج تتفق مع ماتوصل إليه (ZHANG et *al*., 2009)، أما بالنسبة لبذور الفول المعالجة بـمحلول $CuCl_2$ فقد سجلت ارتفاع في نسبة الكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية، وهذا ما يتفق مع ما توصل إليه GHOLAMI وأخرون (2009) في نبات الفاصولياء البيضاء؛ SOLTANI وأخرون (2002) في نبات الحمص. مما يعود إلى تكيف النباتات مع معدن Cu وأيضا لإيجابيته وضروريته لإنبات البذور بتراكيزه المنخفضة (OUZOUNIDOU, 1995). وأيضا يزيد النحاس من الكتلة الحيوية النباتية مع زيادة تركيزه وذلك لأنه يعزز التخليق الحيوي للعديد من المركبات العضوية مثل: السيليلوز، البكتين

واللجنين. فاستخدمت النباتات هذه العملية كإستراتيجية تكيف و آلية تحمل ضد عديد أنواع الإجهادات من بينها إجهاد المعادن الثقيلة (LE GALL et *al*., 2015).

كما يمكن تفسير النتائج المتحصل عليها لتعرض البذور للإجهاد الناتج عن سمية أيونات المعادن الثقيلة في الوسط، وذلك بتثبيط إنبات ونمو البادرات إما بسبب التغيرات في خصائص النفاذية الانتقائية لغشاء الخلية أو بسبب التأثير على النشاط الإنزيمي المائي المسؤول عن توفير الغذاء للبادرات (SHAFIQ et *al*., 2008; AYAZ and KADIOGLU, 1997)، كما تؤثر المعادن الثقيلة على عملية هضم الغذاء مثل البروتينات والكربوهيدرات في البذور النابتة مما يقلل من الوزن الجاف للبادرات وباقي الآليات الفسيولوجية والبيوكيميائية الأخرى (SIDDIQUI *et al*., 2011).

الخلاصة العامة

الخلاصة العامة

يعتبر الفول (*Vicia faba* L.) من أكثر البقوليات الغذائية شيوعا، حيث يزرعها الإنسان على نطاق واسع، فهي تلعب دورا مهما في تنمية الإقتصاد الوطني لدول المغرب العربي، إلا أن تعرضها للإجهادات البيئية ومنها المعادن الثقيلة يتسبب في آثار ضارة على إنتاج المحاصيل وجودتها.

أجريت هذه الدراسة بهدف معرفة مدى تأثير المعادن الثقيلة على إنبات ونمو بادرات الفول (*Vicia faba* L.) صنف HISTAL، حيث تم إجراء تجربة مختبرية في أطباق بتري، أين تم معاملة بذور الفول بتراكيز مختلفة: 30, 60, 90 mg/l من أملاح المعادن: $AlCl_3$, $FeCl_2$, $CuCl_2$، أجريت التجربة في ظروف درجة حرارة 20 °C مع ظلام تام، كما تم دراسة مواصفات إنبات ونمو بادرات الفول.

أظهرت النتائج المتحصل عليها تباينا في تأثير إجهاد المعادن الثقيلة على الإنبات، باختلاف نوعها وتركيزها في الوسط، أين أظهر معدن الحديد (Fe)، خاصة عند التركيز 90 mg/L، نسب تثبيط أكبر للإنبات، و سجل أدنى كفاءة تحويلية للمدخرات البذرية ECR وأقل نسبة طاقة مستنفدة EE عند بذور الفول، أيضا نسب سمية أعلى وتحمل أقل لأوزان بادرات الفول صنف HISTALE، وذلك مقارنة بالمعدنين الآخرين النحاس (Cu) والألمنيوم (Al).

أيضا أكدت النتائج تحفيز معدن النحاس Cu، خاصة عند التركيز 60 mg/L، لمؤشر قوة البذور ونمو البادرات، أيضا سجل أعلى كفاءة تحويلية للمدخرات البذرية ECR وأكبر نسبة لحركية المدخرات البذرية RMRS.

على ضوء النتائج المتحصل عليها فإن للمعادن الثقيلة تأثيرات ضارة على انبات ونمو بادرات الفول، وتختلف مستويات الضرر من معدن لآخر، حيث نجد أن معدن الحديد (Fe) كان الأكثر تثبيطا وسمية في أغلب المؤشرات المدروسة لإنبات ونمو بادرات الفول صنف HISTALE، في حين كان معدن النحاس (Cu) أقل سمية من المعدنيين: الحديد (Fe) والألمنيوم (Al).

وفي الأخير وتثمينا للنتائج المتحصل عليها بالنسبة لصنف الفول (*Vicia faba* L.): HISTALE تحت تأثير بعض المعادن الثقيلة في الوسط، نوصي ببعض التوصيات:

- اختبار صنف الفول HISTALE تحت تأثيرمعادن ثقيلة أخرى مثل الكادميوم والرصاص...، ومقارنته بأصناف أخرى محلية ومستوردة، أيضا تنفيذ التجارب على مراحل متقدمة من النمو وتحديد مدى كفاءة تحمله في ظروف هذا النمط من الإجهاد.

- من جهة أخرى محاولة محاكاة التجربة ميدانيا، في الظروف البيئية الطبيعية، وبالتالي إمكانية التقييم الكمي والنوعي للمحصول من الفول تحت تأثير هذا النوع من العناصر السامة في الأوساط البيئية.

المراجع

المراجع:

- ✓ **المراجع باللغة العربية**

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

2- **الحسانين ي ع ا.،** 2014. النبات الاقاصادي. المكتبة الأكاديمية، الطبعة الأولى، مصر، ص: 145.

3- **بوعتروس ت.،** 2008. دراسة مرفولوجية وفسيولوجية لنبات بقولي: الفول *vicia faba* النامي تحت إجهاد ملحي ومعامل بمنظمات النمو: الكينيتين، الجبرالين، الأمكوتون، الأمينوغرين خارج البيوت البلاستيكية. شهادة DES في بيولوجيا وفسيولوجيا النبات بكلية علوم الطبيعة والحياة. جامعة منتوري. قسنطينة.

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

5- **فاخر ح إ .، عبد الجبار ج.،** 1980. إنتاج الخضر لطلبة المعاهد الزراعية الفنية. مكتبة الأمير للطباعة. بغداد، العراق ص: 4.8، 262.300.

6- **فوزي إ ع.،** 2018. الملوثات البيئية وتأثيراتها الجانبية. دار الكتب العلمية، ص: 153.

7- **ناصر هـ.،** 1997. تأثسر الملوثات على إنبات بذور إحدى نباتات العائلة الصليبية (*Eruca Sativa*)، مذكرة لنيل درجة الدبلوم العالي في الهندسة الوراثية والتقنية الاحيائية، جامعة بغداد، ص: 28.

8- **وفاء ع ح ي.،** 2015. تحديد تركيز بعض المعادن الثقيلة في عدد من النباتات الطبية المحلية السورية. مذكرة لنيل درجة الماجستير، جامعة دمشق، ص: 42.

- ✓ **المراجع باللغة الأجنبية**

1. **A**BDUL.BAKI, A., ANDERSON, J. D., 1973. Vigor Determination in Soybean seed by Multiple Criteria. Crop Sci, 13(1973) 630.633.
2. **A**DELEKAN, B. A., and ABEGUNDE, K.D., 2011. Heavy Metals Contamination of Soil and Groundwater at Automobile Mechanic Villages in Ibadan, Nigeria.International Journal of the Physical Sciences, Vol. 6. (5): 1045.1058.
3. **A**DEPOJU.BELLO, A., ISSA, O., OGUNTIBEJU, O., AYOOLA, A., ADEJUMO, O., 2012. Analysis of some selected toxic metals in registered herbal products manufactured in Nigeria. Journal of Biotechnology, Vol. 11. (26): 6918.6922.
4. **A**LI, O., MARIA, J. S., MUSTAOPHA, R., RAOUDHA, A., MOHAMED, E. G., 2011. Genetic diversity of nine faba bean (*vicia faba* L.) populations revealed by isozyme markers.The Genetic Society of Korea and Springer. 33, 31.38.

5. **A**NDRADE, G. C., COELHO, C. M. C., PADILHA, M. S.., 2019. Journal of Seed Science, Vol. 41. (4): 488.497.
6. **A**YAZ, F. A., KADIOGLU, A.,1997. Effects of heavy metals (Zn, Cd, Cu, Hg) on the soluble protein bands of germinating *lens esculenta* L.seeds. Turkish.21, 85.88.
7. **B**AKER, A. J. M., 1987. Metal tolerance.New Phytologiiste. 106, 93.111.
8. **B**ENACHOUR, K., LOUADI, K., TERZO, M., 2007. Rôle des abeilles sauvages et domestiques (Hymenoptera: Apoidea) dans la pollinisation de la fève (*vicia faba* L. var. major) (Fabaceae) en région de Constantine (Algérie). Ann. Soc. Entomol. Fr. (n.s.). 43 (2), 213.219.
9. **B**EWLEY, J., BRADFORD, K., HILHORST, H., NONOGAKI, H., 2013. Physiology of development, germination and dormancy. Nzw York: Spriger eBooks.
10. **B**OND, D. A., POULSEN, M. H., 1983. Pollinisation. In: The Faba Bean (*Vicia Faba* L.). Hebblethwaite P.D. (Eds.), Butterworth, London: 77.93.
11. **B**RINK, M., BELAY, G., 2006. Ressources végetales de l'Afrique tropicale 1: céréales et légumes secs, Prota, Pays bas, 221.223.
12. **C**HAO, SU., LIQIN, J., WENJUN, Z., 2014. A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques. Environmental Sciences, Hong Kong 3(2): 24.38.
13. **C**HAUX, C., FOURY, C., 1994. Production légumière: légumineuses potagères, legumes fruits, Lavoisier, Paris, 4.8 pp.
14. **C**LEMENS, S., 2006. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. Biochimie 88: 1707.1719.
15. **C**URTIS, D., KLAASSEN, PH. D., CASARETT AND DOULL'S., 2001.Toxicology: Thebasic science of poisons, sixth edition.Toxic responses of the skin, Vol. 4. (19): 653.659.
16. **D**AJOZ, R., 2000. Elements d'écologie. Ed dunod. Paris, 8eme édition, 631pp.
17. **D**AOUI, K., 2007. Recherché de stratégies d'amélioration de l'efficience d'utilisation des phosphores chez la fève (*vicia faba* L.) dans les conditions d'agriculture pluviame au Maroc. Thése de doctorat, science agronomiques et ingénerie biologique. Louvin, 227pp.
18. **D**UC, G., 1997. Faba bean (*vicia faba* L.). Field crops Research. 53, 99.109.
19. **E**l RJOOB, A., MASSADEH, A., OMARI, M., 2008. Evaluation of Pb, Cu, Zn, Cd, Ni and Fe levels in Rosmarinus officinalis labaiatae (Rosemary) medicinal plant and soils

in selected zones in Jordan. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 140. (3): 61.68.

20. **F**ACHMANN, K., KRAUT, M. L., 2006. L'intérêt de la fève. Ed. Bourde. Paris,74pp48 – **N**IJARA, B., MONDAL, S. C., NIRMALI, G., 2019. Influence of Heavy Metals on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat, Pea, and Tomato. Water Air Soil Pollt, 230.273.
21. **G**ADE, D. W., 1994. Environment, Culture and Diffusion: The Broad Bean in Québec. Cahiers de Géographie du Québec.38 (104), 137.150.
22. **G**HOLAMI, A., SHARAFI, S., GHASEMI, S., SHARAFI, A., 2009. Pinto bea n seed reserve utilization and seedling growth as affected by seed size, salinity and drought stress. Journal of food, Agriculture & Environment.WFL Publisher. 7(2): 411.414.
23. **G**ORDONE, M. M., 2004. Haricots secs: Situation, Prospective et Agroalimentaire. Canada, 1.7.
24. **G**OYOAGA, C., BURBANO, C., CUADRADO, C., ROMERO, R., GUILLAMONE, D., VARELA, A., PEDROSAM, M., AND MUZQUIZ, M. 2011. Content and distribution of protein, sugar and inositol phosphates during the germination and seedling growth of two cultivars of *vicia faba*.J Food Compost Anal. 24, 391.397.
25. **I**QBAL, M. Z., RAHMATI, K., 1992. Tolerance of *Albizia lebbeck* to Cu and Fe application. Ekologia (CSFR), 11. Pp 427.430.
26. **J**ARUP, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. Brazilian Medical Bulletin 68, 425.462.
27. **K**ANDIL, A. A., SHARIEF, A. E., ABIDO, W. A. E., IBRAHIM, M. M., 2012. Effect of salinity on seed germination and seedling characters of somevforage sorghum cultivaes. Intrnational Journal of Agriculture Science, Vol. 4(7):306.311.
28. **k**HELOUL, 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.
29. **L**E GALL, H., PHILIPPE, F., DOMON, J. M., GILLET, F., PELLOUX, J., RAYON, C., 2015. Cell wall metabolisme in reponse to abiotic stress.Plants. 4, 112.166.
30. **L**IU, 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 Toxicity, Vol. 72. (4): 866.872.

31. **M**AATOUGUI, 1996. Situation de la culture des fèves en Algéria et prespectives de relance. Céréaliculture. 29, 6.18.
32. **M**ATHON, C., 1985.Liste de plantes utiles avec indication de leur aire probable de primo domestication. Faculté des science de l'universié de poitiers,17pp.
33. **M**AZHOUDI, S., CHAOUI, A., GHORBAL, MH., EL FERJANI, E., 1997. Response of antioxidant enzymes to excess copper in tomato (Lycopersicon esculentum, Mill). Plant Sci 127, 129.137.
34. **M**ICELI, A., MONCADA, A., D'ANNA,F., 2003. Effect of Water Salinity on Seeds.Germination of *Ocimum basilicumL.*,*Eruca sativa L.*, and *Petroselinum hortense Hoffm.*International Symposium on Managing Greenhose Crop in Saline Environment.
35. **M**UNZUROGLU, O., GECKIL, H., 2002. Effects of Metals on Seed Germination, Root Elongation, and Coleoptile and Hypocotyl Growth in *Triticum aestivum* and *Cucumis sativus*. Archves of Environmental Contamination and Toxicology 43, 203.213.
36. **N**EENU, S., KARTHIKA, K. S., 2019. Aluminium Toxicity in Soil and Plants. Soil Health/Fertility Management: Knowledge, Vol. 2. (1).
37. NIJARA, B., MONDAL, S. C., NIRMALI, G., 2019. Influence of Heavy Metals on Seed Germination and Seedling Growth of Wheat, Pea, and Tomato.Water Air Soil Pollt, 230. 273.
38. **O**RTEGA.VILLASANTE, C., RELLÁN.ÁLVAREZ, R., DEL CAMPO, F. F., CARPENA.RUIZ, R. O., HERNÁNDEZ, L. E., 2005. Cellular damage induced by cadmium and mercury in Medicago sativa. Journal of Experimental Botany, Vol. 56. (418): 2239.2251.
39. **O**UZOUNIDOU, G., 1995. Effect of copper on germination and seedling growth of *Minuartia, Silene, Alyssum* and *Thlaspi*. Biologia Plantarum. 37(3): 411.416.
40. **P**ANG, X., WANG, D., PENG, A., 2001. Effect of Lead Stress on the Activity of Antioxidant Enzymes in Wheat Seedling. Environmental Science, Vol. 22. (5):108.112 (In Chinese with English abstract).
41. **P**ATRICK, J. W., STODDARD, F. L., 2010. Physiology of flowering and grain filling in faba bean. Field crops Research. 115: 234-242.
42. **P**EREIRA, W.A., PEREIRA, S. M. A., DIAS, D.C.F.D. S., 2015. Dynamics of reserves of soybean seeds during the development of seedlings of different commercial cultivars. Journal of Seed Science, Vol. 37. (1): 063.069.
43. **P**ERON, J. Y., 2006. Références. Production légumiéres. 2eme Ed, 613pp.

44. **P**RASAD, 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.
45. **P**RODGERS, R. A., INSKEEP, W. P., 1981. Heavy metals tolerance of inland salt grass *Distichlis spicata*.Great Basin Naturalist. 51, 271.278.
46. **S**EREGIN, I. V., IVANIOV, V. B., 2001. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants.Russian Journal of Plant Physiology. 48: 606.630.
47. **S**ETHY, S. K., GHOSH, SH., 2013. Effect of heavy metals on germination of seeds.Journal of Natural Science, Biology and Medicine, Vol. 4.(2): 272.5.
48. **M**ERRET, R., 2010. Contrôle moléculaire de la croissance sous déficit hydrique: Analyse cinématique et régulation de l'expression des aquaporines *TIP1*dans l'apex de la racine du peuplier. Thèse Doctorat, Nancy.Université, INRA, 2pp
49. **S**ETHY, S. K., GHOSH, SH., 2013. Effect of heavy metals on germination of seeds.Journal of Natural Science, Biology and Medicine, Vol. 4. (2): 272.5.
50. **S**HAFIQ, M., IQBAL, M. Z., MOHAMMAD, A., 2008. Effect of lead and cadmium on generation and seedling growth of *leucaena leucocephala*.Journal of Applied Science and Environmental Managment. 12(2), 61.66.
51. **S**HARMA, P., and R,S. DUBEY., 2005. Lead toxicity in plants. Braz, J. Plant Physiol 17, 35.52
52. **S**HARMA, P., DUBEY, R. S., 2005. Lead toxicity in plants. Brazilia Journal of Plant Physiology 17(1): 35.52.
53. **S**IDDHI, G., MANOJ KR, M., SOUMANA, D., 2016. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 8, 302.305.
54. **S**IDDIQUI, M. H., AL.WHAIBI, M. H., BASALAH, M. O., 2011. Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in Triticum aestivum L. Protoplasma.248, 503.11.
55. **S**INGH, K. P., SINGH, K.,1981. Stress Physiological studies on seed germination and seedling growth of source wheat hybrids. Indian J. Physiol. 24, 180.186.
56. **S**OLTANI, A., GALESHI, S., ZEINALI, E., LATIFI, N., 2002. Germination seed reserves utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30: 51.60.
57. **S**OMEN ACHARYA., SHARMA, D. K., 2014. Study on the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on *Jatropha curcas.*International Journal of Agricultural Science Research, Vol. 3. (3): pp. 031.034.

58. **S**OUANA, K. 2011. Réponses physiologiques et biochimiques des graines de la féve (*vicia faba* L.) au stress salin assoié aux gibbérellines au cours de la germination. Mémoire de magister, physiologie végétale, 8pp.
59. **S**UCIU, L., COSMA, C., TODICA, M., BOLBOACA, S. D., JANTSCHI, L., 2008. Analysis of Soil Heavy Metal Pollution and Pattern in Central Transylvania. International Journal of Molecular Sciences, Vol. 9. (4): 434.453.
60. **T**ARIQ, M., ISLAM, K. R., MUHAMMAD, S., 2007. Toxic effects of heavy metals on early growth and tolerance of cereal crops. Pak. J. Bot. , 39(2): 451.462.
61. **V**IJAYARAGAVAN, M., PRABHAR, C., SURESHKUMAR, J., NATARAJAN, A., **V**IJAYARENGAN, P., SHARAVANAN, S., 2011. Toxic effect of cadmium on seed germination, growth and biochemical contents of cowpea (Vigna unguiculata L) plants.Int Multidisciplinary Res J, Vol. 1. (5): 01.06
62. **V**ILLEGAS.FERNANDEZ, A. M., RUBIALES, D., 2011. Chocolate spot resistance in faba bean.Grain legumes. 53, 29.30.
63. **W**ANG, 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. Theor Appl Genet. 124, 789.797.
64. **W**ANG, Q. R., CUI, Y. S., LIU, X. M., DONG, Y. T., CHRISTIE, P., 2003. Soil contamination and plant uptake of heavymetals at polluted sites in china. J. Environ. Sci. Health Part AToxic/ Hazard. Subst. Environ. Eng. 38: 823.838.
65. **W**ANI, P.A., KHAN, M. S., ZAIDI, A., 2012. Toxic Effect of Heavy Metals on Germination and Physiological Processes of Plants 10, 1007/978.3.7091.0730.0_3.
66. **W**IERZBICKA, M., BEMOWSKA.KALABUN, O., GWOREK, B., 2015. Multidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks, Ecotoxicology. 24, 805.822.
67. **X**U, Q., Sh, 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).
68. **Y**AHAYA, A., ADEGBE, A. A., and EMUROTU, J. E., 2012. Assessment of Heavy Metal content in the Surface Water of Oke.Afa Canal Isolo Lagos, nigeria. Archives of Applied Science Research, Vol. 4. (6): 2322.2326.
69. **Y**ANG, D., XU, C., ZHANG, F., et al., 1989. Effects of Cd 2§ on the photosynthetic system Il of chloroplast of spinach. Acta Botania Sinica, Vol. 31. (9): 702.707(In Chinese with English abstract).

70. **Y**AQVOB, M., GOLALE, A. MASOUD, S., HAMID, R. G., 2011. Influence of different concentration of heavy metals on the seed germination and growth of tomato. African Journal of Environmental Science and Technology. 5.
71. **Y**UREKLI, F., PORGALI, ZB., 2006. The effects of excessive exposure to copper in bean plants. Acta Biol Cracoviensia Ser Bot, Vol. 48. (2): 7.13.
72. **Z**HANG, H., LIAN, C., SHEN, Z., 2009. Proteomic identification of small, copper.responsive proteins in germinating embryo of *Orzya sativa*. Ann, Bot. 103, 923.930.
73. **Z**HAO, X., JOO, J. C., KIM,D., LEE, J. K., KIM, J. Y., 2016. Estimation of the Seedling Vigor Index of Sunflowers Treated with Various Heavy Metals. Jornal of Bioremediation & Biodegradation, Vol. 7. (3): 2155.619.
74. **Z**HOU, W. B., QIU, B.S., 2005. Efeects of cadmium hyperaccumulation on physiological characteristics of Sedum alfredii Hance (Crassulaceae).Plant Science 169: 737. 745.
75. **Z**IARATI, P., PERSIA BEHBAHANI, P., MOHAMMAD, N., 2012. Role of unprofessional storage methods on the heavy metal content of Rosa damascena(Gole Mohammadi). Journal of Pharmaceutical& Health Sciences, Vol. 1. (4).
76. **Z**ORRIG, W., 2011. Rechreche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*Lactuca sativa*". Thèse de doctorat, Tunisie. France. 11P.

الملاحق

ملحق01: جداول تحليل التباين لمعايير الإنبات

جدول 01: تحليل التباين للنسبة المئوية للإنبات GP%

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	7062	784,64	13,52	0,000
Error	40	2321	58,02		
Total	49	9383			

جدول 02: تحليل التباين لمؤشر قوة البذور SVI

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	21752	2416,84	64,79	0,000
Error	40	1492	37,30		
Total	49	23244			

جدول 03: تحليل التباين لنسبة تثبيط الإنبات *PI(GP%)*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	6973	871,60	12,58	0,000
Error	36	2494	69,29		
Total	44	9467			

جدول 04: تحليل التباين لنسبة تثبيط مؤشر قوة البذور *PI(SVI)*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	24859	3107,33	64,42	0,000
Error	36	1737	48,24		
Total	44	26595			

ملحق 02: جداول تحليل التباين لمعايير النمو

جدول 01: تحليل التباين لوزن السويقة SHDW

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	9937	1104,14	15,19	0,000
Error	50	3634	72,68		
Total	59	13571			

جدول 02: تحليل التباين لوزن الجذير RTDW

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	2057,5	228,610	28,00	0,000
Error	50	408,2	8,164		
Total	59	2465,7			

جدول 03: تحليل التباين للوزن جذير/ سويقة RTDW/SHDW

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	0,6469	0,071883	13,58	0,000
Error	50	0,2647	0,005294		
Total	59	0,9116			

جدول 04: تحليل التباين للوزن الكلي للبادرة TSDW

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	15566	1729,53	21,46	0,000
Error	50	4030	80,59		
Total	59	19595			

جدول 05: تحليل التباين لمؤشر تحمل الإجهاد لوزن السويقة *SHWTI*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	18378	2297,3	20,79	0,000
Error	45	4972	110,5		
Total	53	23350			

جدول 06: تحليل التباين لمؤشر تحمل الإجهاد لوزن الجذير *RTWTI*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	18378	2297,3	20,79	0,000
Error	45	4972	110,5		
Total	53	23350			

جدول 07: تحليل التباين لمؤشر تحمل الإجهاد للوزن الكلي للبادرة *TSWTI*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	16293	2036,67	27,98	0,000
Error	45	3275	72,78		
Total	53	19568			

جدول 08: تحليل التباين لنسبة السمية لوزن السويقة *SHWP%*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	18378	2297,3	20,79	0,000
Error	45	4972	110,5		
Total	53	23350			

جدول 09: تحليل التباين لنسبة السمية لوزن الجذير *RTWP%*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	35862	4482,8	33,80	0,000
Error	45	5969	132,6		
Total	53	41831			

جدول 10: تحليل التباين لنسبة السمية للوزن الكلي للبادرة *TSWP%*

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	8	16293	2036,67	27,98	0,000
Error	45	3275	72,78		
Total	53	19568			

ملحق 03: جداول تحليل التباين لمعايير الحركية والكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية

جدول 01: تحليل التباين لوزن المدخرات البذرية المستهلكة RRS

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	92840	10316	3,94	0,001
Error	50	130921	2618		
Total	59	223761			

جدول 02: تحليل التباين للكفاءة التحويلية للمدخرات البذرية ECR

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	1756	195,15	8,00	0,000
Error	50	1220	24,40		
Total	59	2977			

جدول 03: تحليل التباين لنسبة معدل استنفاد المدخرات البذرية SRRR

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	585,2	65,02	3,94	0,001
Error	50	825,3	16,51		
Total	59	1410,5			

جدول 04: تحليل التباين لنسبة حركية المدخرات البذرية RMRS

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	98,12	10,9022	21,46	0,000
Error	50	25,40	0,5080		
Total	59	123,52			

جدول 05: تحليل التباين نسبة الطاقة المستنفدة EE

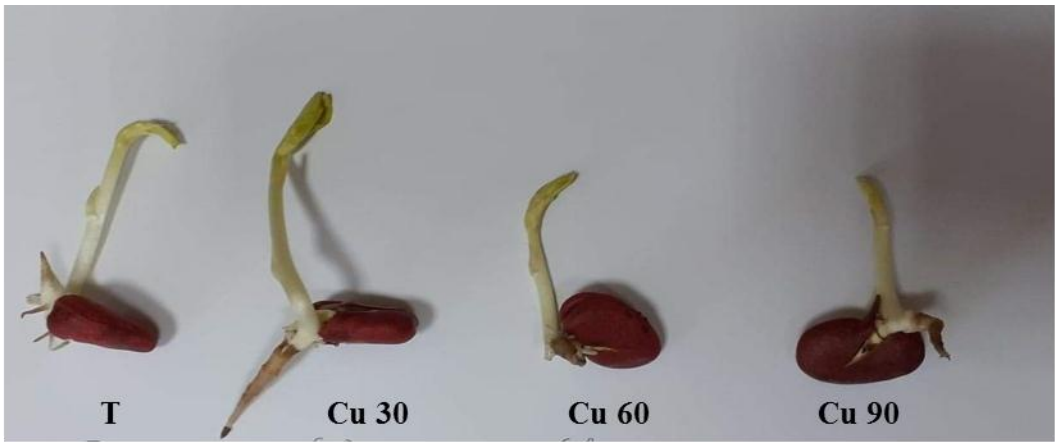
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Metal	9	462,1	51,35	3,67	0,001
Error	50	699,5	13,99		
Total	59	1161,7			

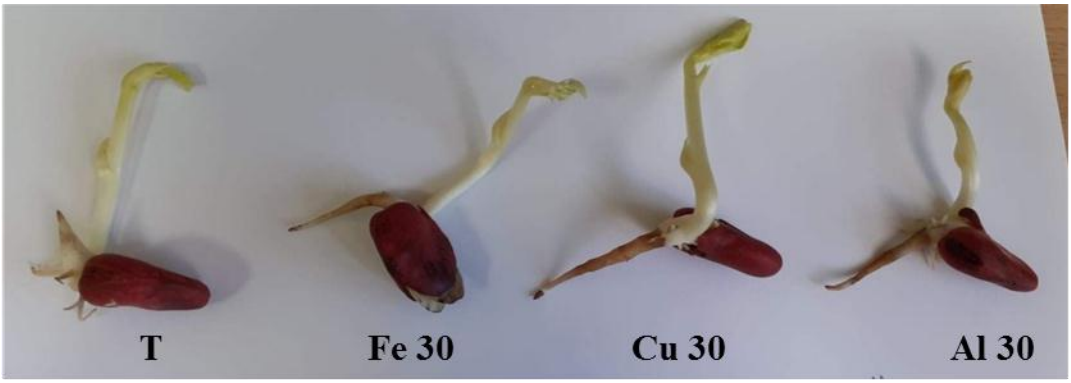
ملحق 04: جدول دراسة الارتباط للمعايير المدروسة

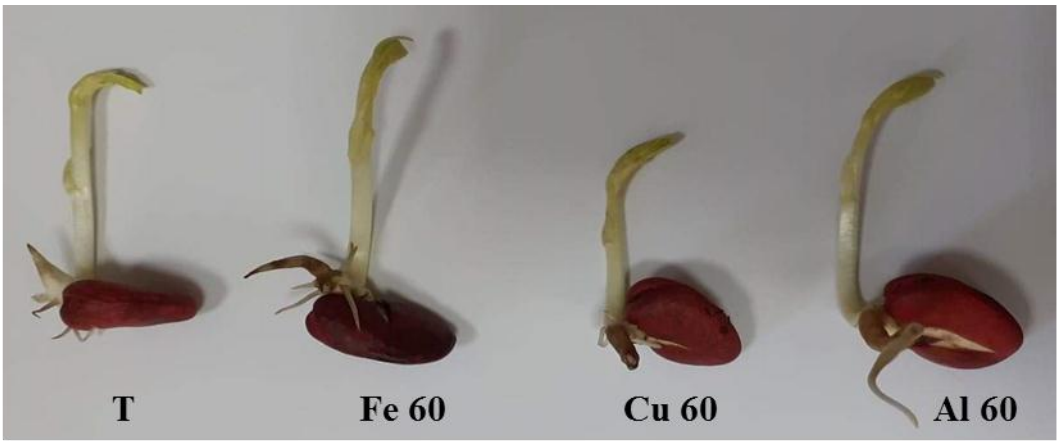
جدول 01: مصفوفة الارتباط لبيرسون بين المعايير المدروسة لدى صنف الفول HISTALE تحت تأثير إجهاد المعادن الثقيلة.

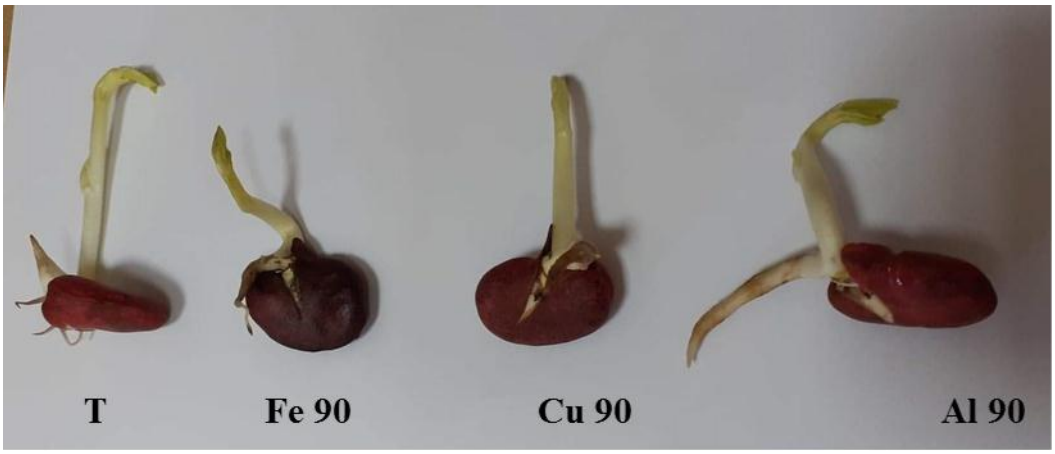
Variables	GP%	SVI	*PI(GP%)*	*PI(SVI)*	SHW	RTW	RTW/SHW	TSW	*SHWP%*	*SHWTI*	*RTWP%*	*RWTI*	*TSWP%*	TSWTI	RRS	ECR	SRRR	RMRS	EE
GP%	**1**																		
SVI	**0,965**	**1**																	
PI(GP%)	**-1,000**	**-0,965**	**1**																
PI(SVI)	**-0,965**	**-1,000**	**0,965**	**1**															
SHW	**0,836**	**0,932**	**-0,836**	**-0,932**	**1**														
RTW	0,666	0,653	-0,666	-0,653	0,395	**1**													
RTW/SHW	0,076	0,023	-0,076	-0,023	-0,264	**0,764**	**1**												
TSW	**0,910**	**0,982**	**-0,910**	**-0,982**	0,943	**0,679**	0,067	**1**											
SHWP%	**-0,836**	**-0,932**	**0,836**	**0,932**	-1,000	-0,395	0,264	**-0,943**	**1**										
SHWTI	0,128	0,233	-0,128	-0,233	0,334	0,143	-0,072	0,318	-0,333	**1**									
RTWP%	-0,666	-0,653	0,666	0,653	-0,395	**-1,000**	**-0,764**	**-0,679**	0,395	-0,143	**1**								
RWTI	0,139	0,170	-0,139	-0,170	0,048	0,589	0,577	0,253	-0,048	**0,762**	-0,589	**1**							
TSWP%	**-0,910**	**-0,982**	0,910	**0,982**	**-0,943**	**-0,679**	-0,067	**-1,000**	**0,943**	-0,318	**0,679**	-0,253	**1**						
TSWTI	0,138	0,226	-0,138	-0,226	0,265	0,286	0,121	0,315	-0,265	**0,980**	-0,286	**0,874**	-0,315	**1**					
RRS	0,445	0,456	-0,445	-0,456	0,371	0,375	0,078	0,433	-0,371	-0,140	-0,375	-0,049	-0,433	-0,120	**1**				
ECR	**0,682**	**0,741**	**-0,682**	**-0,741**	0,741	0,487	0,033	0,769	**-0,741**	0,445	-0,486	0,329	-0,769	0,433	-0,237	**1**			
SRRR	0,445	0,455	-0,445	-0,455	0,370	0,375	0,078	0,432	-0,370	-0,140	-0,375	-0,049	-0,432	-0,120	1,000	-0,237	**1**		
RMRS	**0,910**	**0,982**	**-0,910**	**-0,982**	**0,943**	**0,679**	0,067	**1,000**	**-0,943**	0,318	**-0,679**	0,253	**-1,000**	0,315	0,433	**0,769**	0,432	**1**	
EE	0,080	0,059	**-0,080**	-0,059	-0,017	0,108	0,056	0,025	0,017	-0,300	-0,108	-0,169	-0,025	-0,276	**0,912**	-0,612	**0,912**	0,025	**1**

ملحق 05: صور العمل التطبيقي









الوثيقة (01): مقارنة بين مختلف مستويات تأثير تركيز المعادن الثقيلة (Cu, Fe, Al) على إنبات ونمو بادرات الفول (*Vicia faba* L.)، صنف HISTAL.

الوثيقة (02): صورة لتجربة الإنبات تحت ظروف مستويات إجهاد المعادن الثقيلة