



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة بابل/ كلية العلوم
قسم علوم الحياة

تأثير تركيز ومدة المعاملة بسيلينيت الصوديوم في بعض المؤشرات الحيوية لنبات الخس باستخدام تقنية المزارع المائية

رسالة

مقدمة الى مجلس كلية العلوم- جامعة بابل
وهي جزء من متطلبات نيل درجة ماجستير في العلوم
/علوم الحياة

من قبل

بهاء إسماعيل خليل إبراهيم

بكلوريوس علوم الحياة، جامعة بابل، 2012

بإشراف

أ.د. ايفان إبراهيم مرهج دغيمث

Republic of Iraq
Ministry of Higher Education & scientific Research
University of Babylon / College of Science
Department of Biology



Effect of sodium selenite concentration and treatment period on some bioparameters of lettuce plant using hydroponic culture technique

A thesis

Submitted to the Council of the College of Science, University of Babylon

As a partial fulfilment of the requirement for the degree of Master of Science

In Biology

By

Bahaa Ismael Khaleel Ibraheem
(B.Sc. Biology, 2012)

Supervised

Prof. Dr. Ivan Ibraheem Merhij

2023 A. D.

1444 A. H.

الخلاصة

زرعت النباتات في المزرعة المائية للمدة من 2022-10-21 الى 2022-12-4 وتضمنت التجربة دراسة تأثير عنصر السيلينيوم بهيئة سيلينيت الصوديوم (NaHSeO_3) في بعض المؤشرات الفسلجية والكيموحياتية لنبات الخس *Lactuca sativa* L. باستعمال تقنية المزارع المائية Hydroponics. إذ استعملت سبعة تراكيز من NaHSeO_3 (0 و 1 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹) مع المحلول المغذي هوكلاند باستعمال تقنية الغشاء المغذي (Nutrient Film Technique) وبتصميم القطاعات العشوائية الكاملة واختبار اقل فرق معنوي $\text{LSD}_{(\leq 0.05)}$ وبثلاث مدد زمنية (10 و 20 و 30 يوم) لقياس الوزن الرطب والجاف والمحتوى المائي للاوراق، ومحتوى كلوروفيل a و b والكلبي والكاروتينات، والكاربوهيدرات والبروتين و Malondialdehyde والبرولين وفعالية مضادات الاكسدة الانزيمية ($\text{superoxide dismutase}$ و catalase و $\text{glutathione peroxidase}$) ومضادات الاكسدة اللانزيمية (glutathione) ومحتوى عنصر السيلينيوم في الأوراق.

بينت النتائج ما يأتي:

إن التركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ أدى الى زيادة معنوية بالكتلة الحية للأوراق مقارنة بالسيطرة، بينما اختزلت بقية التراكيز معنويا الكتلة الحية والمحتوى الرطوبي لأوراق الخس.

ازداد محتوى الكلوروفيل الكلي وكلوروفيل b والكاروتينات معنوياً في معظم التراكيز مقارنة بالسيطرة، في حين انخفض محتوى كلوروفيل a معنوياً مقارنة بالسيطرة بالتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ وبالتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹.

أدت تراكيز السيلينيت 5 و 10 و 20 ملغم. لتر⁻¹ الى زيادة محتوى malondialdehyde معنوياً مقارنة بالسيطرة.

انخفض محتوى البروتين الكلي معنوياً في جميع النباتات التي تم معاملتها بتركيز سلينيت الصوديوم ما عدا تركيزي 1 و 40 ملغم. لتر⁻¹.

ازداد محتوى الكربوهيدرات معنوياً بالنباتات المعاملة بالتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ مقارنة بالسيطرة، اما بقية المعاملات فقد انخفض فيها محتوى الكربوهيدرات معنوياً، عدا المعاملة بالتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ فلم يتغير معنوياً.

أدت المعاملة بتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ الى اختزال محتوى البرولين مقارنة بالسيطرة في حين ازداد محتواه معنوياً في بقية المعاملات.

سجلت فعالية انزيم الكاتليز CAT زيادة معنوية في معظم المعاملات، ماعدا التركيز 1 و 20 ملغم. لتر⁻¹. وسجلت فعالية انزيم superoxide dismutase زيادة معنوية في جميع النباتات التي تم معاملتها بجميع التراكيز عدا التركيز 30 ملغم. لتر⁻¹. كما ان فعالية انزيم Glutathione peroxidase سجلت زيادة معنوية بالتركيزين 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹.

مضاد الاكسدة اللانزيمية Glutathione سجل زيادة معنوية بالمعاملة بالتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ في حين انخفضت معنوياً بالتركيزين 20 و 40 ملغم. لتر⁻¹ مقارنة بالسيطرة.

ازداد محتوى عنصر السيلينيوم معنوياً في جميع النباتات التي تم معاملتها بالسيلينيوم مقارنة بالسيطرة.

تأثير مدة المعاملة: سجلت المدة بعد 10 أيام من المعاملة زيادة معنوية في كل من النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي وفعالية انزيم GPX ومحتوى الكلوتاثيون، والمدة بعد 20 يوم من المعاملة سجلت زيادة معنوية في محتوى الكاروتينات وMDA، اما مدة المعاملة بعد 30 يوم فسجلت زيادة معنوية في كل من الوزن الطري والجاف والبروتينات والبرولين والسيلينيوم.

في تجربة التداخل الثنائي لتأثير التركيز * مدة المعاملة: تفوق التركيز 1 ملغم. لتر¹⁻ في المحتوى الرطوبي بعد 10 أيام وفي الوزن الطري والجاف ومحتوى البروتين والكاربوهيدرات بعد 30 يوم من المعاملة، سجل التركيز 5 ملغم. لتر¹⁻ تفوقا معنويا في محتوى كلوروفيل a بعد 30 يوم وفي محتوى الكاروتينات في جميع المدد الزمنية وفي محتوى MDA بعد 20 يوم من المعاملة، وسجل تركيز 10 ملغم. لتر¹⁻ زيادة معنوية في فعالية SOD و CAT بعد 10 و 20 يوم على التوالي، تركيز 20 ملغم. لتر¹⁻ سجل زيادة معنوية في محتوى كلوروفيل b والكلبي بعد 20 يوم من المعاملة، سجل تركيز 30 ملغم. لتر¹⁻ زيادة معنوية في محتوى البرولين وفعالية GPX بعد 30 يوم من المعاملة، اما تركيز 40 ملغم. لتر¹⁻ تفوق معنويا في محتوى الكلوتاثيون بعد 10 أيام وفي محتوى السيلينيوم بعد 30 يوم من المعاملة.

Summary

The plants were grown in hydroponic culture for the period from 10-21-2022 to 12-4-2022. The experiment included a study of the effect of selenium in the form of sodium selenite (NaHSeO_3) on some physiological and biochemical indicators of *Lactuca sativa* L. lettuce, using the hydroponics technique. Seven concentrations of NaHSeO_3 (0, 1, 5, 10, 20, 30, and 40 mg. L^{-1}) were used with Hoagland nutrient solution using Nutrient Film Technique, randomized complete block design, and testing the least significant difference LSD (≤ 0.05) with three time periods (10, 20 and 30 days) to measure the wet and dry weight, water content of the leaves, the content of chlorophyll a, b, total, carotenoids, carbohydrates, protein, malondialdehyde, proline, the activity of enzymatic antioxidants (superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase) and non-enzymatic antioxidants (glutathione) and selenium content in the leaves.

The results showed the following:

The concentration is 1 mg. L^{-1} significantly increased the biomass of leaves compared to the control, while the rest of the concentrations significantly decreased the biomass and moisture content of lettuce leaves.

The content of total chlorophyll, chlorophyll b and carotenoids increased significantly in most concentrations compared to the control, while the content of chlorophyll a decreased significantly compared to the control at a concentration of 20 mg. L^{-1} at a concentration of 40 mg. L^{-1} .

Selenite concentrations of 5, 10, and 20 mg. L^{-1} significantly increased malondialdehyde content compared to control.

The total protein content decreased significantly in all plants that were treated with sodium selenite concentrations except for concentrations of 1 and 40 mg. L⁻¹.

The carbohydrate content increased significantly in plants treated with 1 mg. L⁻¹ compared to the control, while the rest of the treatments had a significant decrease in carbohydrate content, except for the treatment with a concentration of 5 mg. L⁻¹ did not change significantly.

The treatment resulted in a concentration of 1 mg. L⁻¹ reduced proline content compared to control, while its content increased significantly in the rest of the treatments.

The activity of the enzyme CAT significantly increased in most treatments, except for concentration 1 and 20 mg. L⁻¹. The activity of the superoxide dismutase enzyme increased significantly in all plants that were treated with all concentrations except for the concentration of 30 mg. L⁻¹. The activity of glutathione peroxidase enzyme increased significantly at the concentrations 30 and 40 mg. L⁻¹.

Glutathione, a non-enzymatic antioxidant, significantly increased with 1 mg treatment. L⁻¹, while it decreased significantly with two concentrations of 20 and 40 mg. L⁻¹ compared to control. The selenium content increased significantly in all the plants that were treated with selenite compared to the control.

Effect of treatment duration: The period after 10 days of treatment recorded a significant increase in each of the percentage of moisture content, GPX enzyme activity and glutathione content, and the period after 20 days of treatment recorded a significant increase in the content of carotenoids and MDA, while the duration

of treatment after 30 days recorded a significant increase in Both fresh and dry weight, proteins, proline, and selenium.

Bilateral overlap of the effect of concentration* Duration of treatment: the concentration exceeds 1 mg. L⁻¹ in moisture content after 10 days and in fresh and dry weight, protein content and carbohydrates after 30 days of processing, the concentration 5 mg. L⁻¹ had a significant superiority in the content of chlorophyll a after 30 days, in the content of carotenoids in all periods, and in the content of MDA after 20 days of treatment, and a concentration of 10 mg. L⁻¹ recorded significantly increased SOD and CAT activity after 10 and 20 days, respectively, at a concentration of 20 mg. L⁻¹ recorded a significant increase in the content of chlorophyll b and total after 20 days of treatment, a concentration of 30 mg. L⁻¹ recorded significantly increased proline content and GPX activity after 30 days of treatment, either at a concentration of 40 mg. L⁻¹ was significantly superior in glutathione content after 10 days and in selenium content after 30 days of treatment.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا نَسُوقُ الْمَاءَ إِلَى الْأَرْضِ الْجُرُزِ فَنُخْرِجُ بِهِ
زَرْعًا تَأْكُلُ مِنْهُ أَنْعَامُهُمْ وَأَنْفُسُهُمْ أَفَلَا يُبْصِرُونَ﴾

صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيِّ الْعَظِيمِ
سُورَةُ السَّجْدَةِ (الآيَةُ ٢٧)

الإهداء

إلى من غمروني بحنانهم وأغدقوا علي حبهم

أمي وأبي

إلى القناديل التي تنير عقلي اخواني وأخواتي.....

إلى سندي ورفيقة دربي زوجتي

إلى اطفالي وفلذة كبدي.....

أهدي ثمرة جهدي هذا

الشكر والتقدير

بعد توجهه للعلي القدير بالحمد الكثير والصلاة على سيد المرسلين المصطفى الامين وعلى أله الطيبين الطاهرين.

اتقدم بوافر الشكر والامتنان الى استاذتي المشرفة الاستاذة الدكتورة إيفان إبراهيم مرهج لتفضلها مشكورة بقبول الاشراف على رسالتي ولرعايتها العلمية ودورها المتميز ولسعة صدرها وارشاداتها السديدة ودعمها لي طيلة مدة البحث فجزاها الله عني كل خير.

ولا يفوتني تقديم وافر امتناني وتقديري الى اساتذتي الافاضل في قسم علوم الحياة فرع النبات في جامعة بابل ولرئاسة قسم علوم الحياة والى مقررية الدراسات العليا والدراسة الاولى عرفانا بالجميل.

ولا أنسى شكري الى أ.م.د شيماء محيي لوقوفها معي خلال مدة تجربتي، وللذين شاركوني في الطريق ودعموا جهدي زملائي واصدقائي من طلبة الدراسات العليا في قسم علوم الحياة وخصوصا فرع النبات.

الباحث

بهاء

رقم الصفحة	الموضوعات
I	الخلاصة
IV	المحتويات
VII	قائمة الجداول
VIII	قائمة الاشكال
IX	قائمة الملاحق
	الفصل الأول/ المقدمة
1	1-1: المقدمة
2	1-2- الهدف من الدراسة
	الفصل الثاني/ استعراض المراجع
3	2: استعراض المراجع
3	1-2: الزراعة المائية
3	1-1-2: ايجابيات الزراعة بدون تربة
4	2-1-2: سلبيات الزراعة بدون تربة
4	2-1-3: أنواع أنظمة التدوير في الزراعة المائية
5	2-1-4: أنظمة الزراعة المائية
9	2-1-5: الاوساط الزراعية المستخدمة في الزراعة المائية
9	2-1-5-1: خصائص وسائط النمو الجيدة
10	2-1-5-2: وسائط النمو
10	2-1-5-1-2: وسائط النمو غير العضوية
11	2-1-5-2-2: وسائط النمو العضوية
12	2-1-6: المحلول المغذي المستخدم في الزراعة المائية
13	2-1-7: العوامل المؤثرة على المحلول المغذي المستخدم في الزراعة المائية
14	2-2: نبات الخس
15	2-3: الاجهاد التاكسدي
16	2-4: مضادات الاكسدة

17	2-4-1: مضادات الاكسدة الانزيمية
17	(1) SOD
17	(2) انزيم الكاتاليز
18	(3) انزيم الكلوتاثيون بيروكسيديز
18	2-4-2: مضادات الاكسدة اللانزيمية
18	الكلوتاثيون
19	2-5: السيلينيوم
20	2-5-1: امتصاص وانتقال السيلينيوم في النبات
21	2-5-2: التمثيل الغذائي للسيلينيوم في النبات
23	2-5-3: تراكم السيلينيوم
24	2-5-4: سمية السيلينيوم
الفصل الثالث/ المواد وطرق العمل	
27	3-1-1- مصدر الشتلات
27	3-2-1- تصميم التجربة
28	3-3-1- تراكيز السيلينيوم
28	3-4-1- تحضير محلول هوكلاندا
29	3-5-1- جمع العينات
30	3-6-1- القياسات الفسلجية والكيموحياتية
30	3-6-1-1- الوزن الرطب والجاف والنسبة المئوية للمحتوى الرطوبي
30	3-6-2- تقدير محتوى الكلوروفيلات والكاروتينات
30	3-6-3- تقدير محتوى (MDA)
30	3-6-4- تقدير البروتين الكلي
30	3-6-5- تقدير الكربوهيدرات
30	3-6-6- تقدير محتوى البرولين
31	3-6-7- تقدير فعالية انزيم الكاتاليز (CAT)
31	3-6-8- تقدير فعالية انزيم (SOD)

31	3-6-9-تقدير فعالية انزيم (GPx)
31	3-6-10- تقدير محتوى (GSH)
31	3-6-11- تقدير السيلينيوم
31	3-7- التحليل الاحصائي
الفصل الرابع/ النتائج	
32	4-1- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير الوزن الطري والجاف والنسبة المئوية للمحتوى الرطوبي
35	4-2- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في محتوى الكلوروفيل
39	4-3- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير Malondialdehyde
40	4-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير محتوى البروتين الكلي
41	4-5- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير الكربوهيدرات
42	4-6- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير محتوى البرولين
43	4-7- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير فعالية انزيم الكاتاليز
44	4-8- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في فعالية Superoxide dismutase
45	4-9- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير فعالية انزيم Glutathione peroxidase (GPX)
46	4-10- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في تقدير محتوى الكلوتاثيون
47	4-11- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO ₃ في محتوى السيلينيوم
الفصل الخامس/ المناقشة	
49	5- المناقشة
56	الاستنتاجات
57	التوصيات
58	المصادر
74	الملاحق
A	الخلاصة باللغة الانكليزية
	العنوان باللغة الانكليزية

قائمة الجداول

رقم الصفحة	العنوان	رقم الجدول
15	القيمة الغذائية لنبات الخس <i>Lactuca sativa. L</i> من نوع Romaine	1-2
28	درجة الحرارة والاس الهيدروجيني وكمية الاملاح والتوصيلية الكهربائية المستعملة اثناء التجربة	1-3
29	العناصر المغذية الكبرى Macronutrient solutions	2-3
29	العناصر المغذية الصغرى Micronutrient Solutions	3-3
32	تأثير تركيز ومدة المعاملة المركب NaHSeO_3 في الوزن الطري (غم وزن طري)	1-4
33	تأثير تركيز ومدة المعاملة المركب NaHSeO_3 في الوزن الجاف (غم وزن جاف).	2-4
34	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي	3-4
36	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى كلوروفيل a (ملغم/غم وزن طري)	4-4
37	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى كلوروفيل b (ملغم/غم وزن طري)	5-4
38	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكلوروفيل الكلي (ملغم/غم وزن طري)	6-4
39	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكاروتينات (ملغم/غم وزن طري)	7-4
40	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى MDA (ملي مول/لتر وزن جاف)	8-4
41	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى البروتين الكلي (ملغم/غم وزن طري)	9-4
42	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكاربوهيدرات (ملغم/غم وزن جاف)	10-4
43	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى البرولين	11-4
44	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في فعالية إنزيم الكاتليز Catalase.	12-4
45	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في فعالية Superoxide dismutase (SOD).	13-4
46	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في فعالية انزيم Glutathione peroxidase (GPX) (U/g) وزن طري.	14-4
47	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكلوتاثيون (ملغم/غم وزن طري)	15-4
48	تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في السلينيوم (ملغم/كغم وزن جاف)	16-4

قائمة الاشكال

رقم الصفحة	العنوان	رقم الشكل
5	الفرق بين النظام المفتوح والنظام المغلق	1-2
8	نظام استزراع المياه العميقة Deep water culture	أ-2-2
8	نظام التنقيط Drip system	ب-2-2
8	نظام المد والجزر المائي Ebb and flow	ج-2-2
8	نظام تقنية الاغشية المغذية Nutrient film technique	د-2-2
8	نظام الفتيل wick system	هـ-2-2
8	نظام الايروبيونكس Aeroponic system	و-2-2
20	السلينيوم في البيئة	3-2
23	امتصاص وانتقال وتمثيل السلينيوت والسليينات في النبات	4-2
26	دور السلينيوم كمضاد اكسدة او كعنصر سام في النباتات	5-2
27	تصميم مزرعة مائية بانابيب قطر 4 انج بطريقة NFT	1-3

قائمة الملاحق

رقم الصفحة	العنوان	رقم الصورة
74	اليوم الأول من التجربة	1
74	اليوم الأول من وضع تراكيز سيلينيت الصوديوم (بعد 16 يوما)	2
75	اليوم العاشر من وضع تراكيز سيلينيت الصوديوم	3
76	اليوم العشرون من وضع تراكيز سيلينيت الصوديوم	4
76	اليوم الثلاثون من وضع تراكيز سيلينيت الصوديوم	5
77	اليوم الثلاثون من وضع تراكيز سيلينيت الصوديوم (1 ملغم/لتر)	6
77	تركيز 1 ملغم بعد انتهاء التجربة	7
78	بعد انتهاء التجربة مباشرة	8
79	جذور تركيز 1 ملغم/لتر بعد 15 يوما من استخدام سيلينيت الصوديوم	9
80	السيطرة بعد 45 يوما من التجربة	10
80	زيارة السيدة المشرفة للاطلاع على سير التجربة	11
81	زيارة السيدة المشرفة لمكان التجربة	12
82	صورة نهائية للتراكيز بعد 45 يوم من المعاملة	13

1-1: المقدمة Introduction

الخس (*Lactuca sativa* L.) هو أحد المحاصيل الشتوية التي تنتمي إلى عائلة Asteraceae ويعد من المحاصيل المهمة جدا في العراق والعالم لما يحتويه من قيمة غذائية عالية وسرعة في النمو، توجد المئات من أصناف الخس ولكن القليل فقط من هذه الأصناف ذات أهمية تجارية، والأصناف المحلية ومعظم الأصناف الأجنبية المزروعة في العراق ترجع إلى مجموعة الخس من النوع Romaine أو Cos (Boukema *et al.*, 1990).

ان الموارد مثل التربة الخصبة ووفرة المياه تكون محدودة في مناطق كثيرة من العالم ولقد أصبح الاستخدام التقليدي للأراضي الصالحة للزراعة أمراً صعباً هذا وان وتغير المناخ زاد من الامر صعوبة وبذلك فأن أنظمة الزراعة المائية hydroponics او الزراعة بدون تربة soilless culture توفر فرصة كبيرة لتوفير المياه وكذلك فرصة لزراعة النباتات داخل المدن في الاسطح السكنية لإنتاج الغذاء (Fussy and Papenbrock, 2022). إذ تؤدي العديد من العوامل البيئية إلى التعرض للإجهاد التأكسدي في النباتات ومنها الملوحة والجفاف ودرجة الحرارة الشديدة وسمية المعادن وملوثات الهواء والأشعة فوق البنفسجية والكميات الكبيرة من المبيدات الحشرية بالإضافة إلى عدوى الأمراض (Xie *et al.*, 2019).

ان السيلينيوم هو عنصر كيميائي يرمز له Se، لا يعد عنصراً أساسياً للنباتات (Terry *et al.*, 2000). ومع ذلك، فقد أظهرت العديد من الدراسات التأثيرات الايجابية للسيلينيوم إذ تلعب النباتات دوراً رئيساً في تدوير وايصال السيلينيوم من التربة الى السلسلة الغذائية وتختلف مستويات السيلينيوم في التربة بشكل كبير في جميع انحاء العالم، وهذا التنوع له علاقة بسمية السيلينيوم toxicity والنقص deficiency الذي يؤثر على أكثر من مليار شخص (Winkel *et al.*, 2015).

2-1: الهدف من الدراسة

- 1) دراسة التدعيم الحيوي للسيلينيوم على نبات الخس المزروع بتقنية المزارع المائية.
- 2) دراسة تأثير تراكيز مختلفة من السيلينيوم ومدة المعاملة والتداخل الثنائي بين التركيز ومدة المعاملة في الصفات الفسلجية والكيموحياتية لأوراق نبات الخس من خلال قياس:-
 - الوزن الرطب والجاف والمحتوى المائي.
 - محتوى عنصر السيلينيوم.
 - محتوى كلوروفيل a و b والكلبي والكاروتينات.
 - محتوى البروتين الكلبي والكاربوهيدرات.
 - مضادات الاكسدة الانزيمية (SOD) superoxide dismutase والكاتاليز (CAT) وكلوتاثيون بيروكسيداز (GPx)، ومضادات الاكسدة اللانزيمية (الكلوتاثيون (GSH).
 - محتوى MDA والبرولين في الأوراق.

2: استعراض المراجع Literature review

1-2: الزراعة المائية Hydroponics

الزراعة المائية هي تقنية لزراعة النباتات في المحاليل المغذية مع أو بدون استخدام وسط خامل مثل الحصى والفيرميكوليت والصوف الصخري، ونشارة الخشب ونشارة جوز الهند وألياف جوز الهند وما إلى ذلك لتثبيت الجذور وإسنادها. اشتق مصطلح الزراعة المائية من الكلمتين اليونانية 'hydro' تعني الماء و'ponos' تعني العمل وتعني حرفيا العمل المائي. تم صياغة كلمة الزراعة المائية من قبل البروفيسور ويليام جيريك في أوائل عام 1930 وصف نمو النباتات مع جذورها المعلقة في المياه التي تحتوي على العناصر الغذائية المعدنية (Bulgari *et al.*, 2016).

1-1-2: إيجابيات الزراعة المائية (Pomoni *et al.*, 2023)

- 1) الترشيد في استهلاك المياه والأسمدة مع إمكانية إعادة استخدام المياه.
- 2) إمكانية الإنتاج الزراعي في المناطق غير الصالحة للزراعة وخاصة الترب المتأثرة بالملوحة مع ضرورة توفر مياه ري عذبة واختزال المساحة الزراعية.
- 3) تساهم في توفير كافة العناصر الضرورية اللازمة لنمو النبات.
- 4) تساهم في حل مشكلة نقص العناصر في التربة وتقلل من الأمراض الفطرية وتملح التربة.
- 5) تساهم في التهوية بصورة أفضل مقارنة بالزراعة في التربة.
- 6) عدم الحاجة لتجهيز الأرض وإزالة الحشائش.
- 7) زيادة الانتاجية في وحدة المساحة وخاصة في نظم الزراعة الرأسية.

2-1-2: سلبيات الزراعة المائية (Velazquez-Gonzalez *et al.*, 2022)

- 1) التكلفة البدائية للمشروع عالية. الاستثمار الأولي في نظام الزراعة المائية مرتفع نسبيا بسبب تكلفة المواد الخام والمعدات اللازمة للعملية.
- 2) تحتاج الى ايدي عاملة ماهرة. اذ تتطلب موظفين لديهم معرفة عميقة بالزراعة وفسولوجيا النبات والكيمياء وأنظمة التحكم والمعلومات المتطورة.
- 3) التلوث البيئي. إذا لم يتم التخلص من محلول المغذيات المتبقي بشكل صحيح، فإن المحلول المفرغ، الحاوي على الفسفور والنترات، يمكن أن يولد نموا مفرطا للطحالب والكائنات الحية الدقيقة الأخرى في المسطحات المائية والنفايات السائلة، مما يخلق مشاكل بيئية خطيرة.

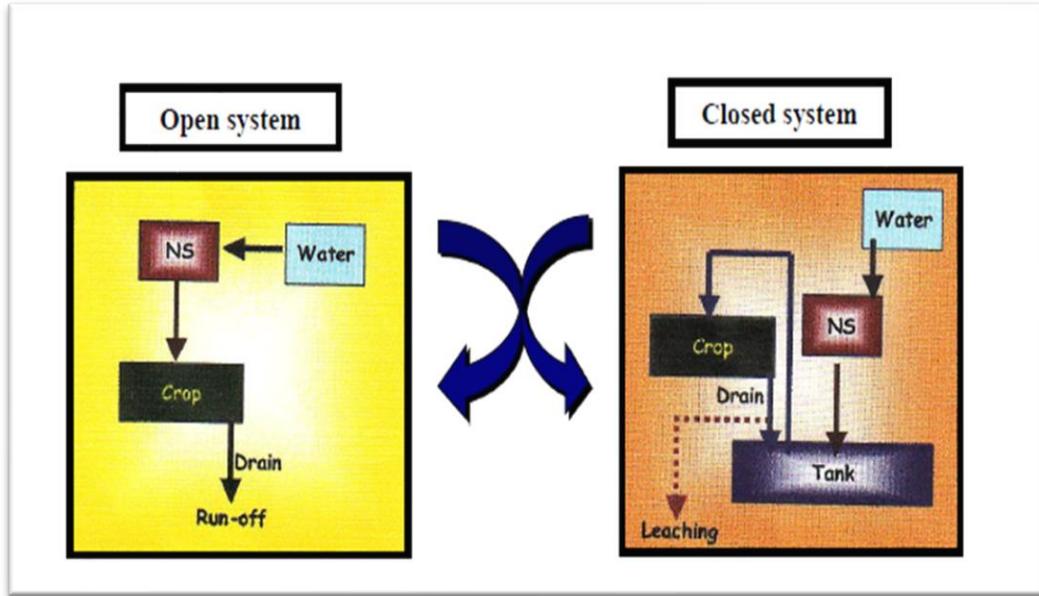
2-1-3: أنواع أنظمة التدوير في الزراعة المائية**1- النظام المفتوح**

في الأنظمة المفتوحة، تكون الجذور على اتصال بمحلول المغذيات إما بشكل دائم أو بفترات متفاوتة ويتم استخدام محلول المغذيات والايوساط الزراعية مرة واحدة فقط، مما يعني أنه لا يتم إعادة تدويرها (شكل 2-1). بعض مزايا الأنظمة المفتوحة الحد من خطر انتقال الامراض من نبات الى اخر (Jones, 2005; Cifuentes-Torres *et al.*, 2021).

2- النظام المغلق

في النظام المغلق (شكل 2-1)، يتم وضع جذور النباتات في المحلول المغذي، ويتم جمعه في حاوية وإعادته بشكل مستمر إلى المحصول وان معظم

انظمة الزراعة المائية تقع ضمن هذه المجموعة. تنمو النباتات إما في وسط سائل أو على اوساط صلبة. يمكن أن تكون هذه الاوساط ذات طبيعة عضوية organic (مثل نشارة الخشب وقشر الأرز وألياف جوز الهند والفحم) أو غير عضوية inorganic (الرمل أو الحصى وغير ذلك) (El-Behairy, 2015).



شكل 2-1: الفرق بين النظام المفتوح والنظام المغلق (El-Behairy, 2015).

2-1-4: أنظمة الزراعة المائية (Hydroponic systems)

1- أنظمة استزراع المياه العميقة (DWC) Deepwater culture

في هذا النظام يتم تعليق جذور النباتات في المياه الغنية بالمغذيات ويتم توفير الهواء مباشرة إلى الجذور بواسطة حجر الهواء (شكل 2-2-أ) وإن نظام الحاويات buckets system هو مثال كلاسيكي لهذا النظام (Domingues *et al.*, 2012).

2- أنظمة التنقيط Drip system

في هذا النظام يتم وضع محلول المغذيات في خزان بشكل منفصل وتزرع النباتات بشكل منفصل في وسط بدون تربة (شكل 2-2-ب). يتم توفير محلول الماء أو المغذيات من الخزان إلى جذور النباتات بكمية مناسبة بمساعدة المضخة (Rouphael and Colla, 2005).

3- نظام المد والجزر المائي Ebb and flow hydroponic system

هذا هو أول نظام مائي تجاري يعمل على مبدأ الفيضان والصرف (شكل 2-2-ج). يستخدم هذا النظام وسط نمو وخزان مملوء بالمحلول المغذي ومضخة ماء مربوطة بمؤقت كهربائي (Nielsen *et al.*, 2006).

4- نظام تقنية الاغشية المغذية Nutrient film technique (NFT)

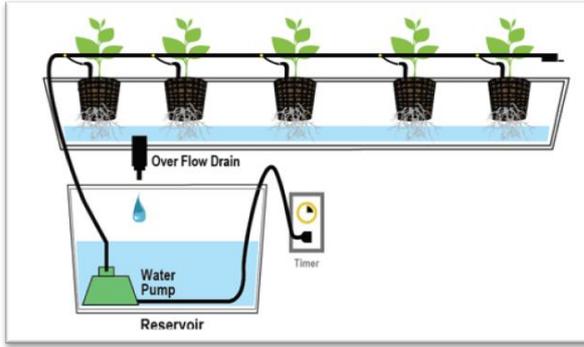
تم تطوير طريقة الـ NFT في منتصف 1960 في إنجلترا من قبل الدكتور ألين كوبر للتغلب على الخلل الموجود في نظام المد والجزر Ebb and flow. على غرار طريقة المزارع الهوائية Aeroponics، فإن تقنية الـ (NFT) هي النظام المائي الأكثر شيوعاً (شكل 2-2-د) (Domingues *et al.*, 2012). (إن جذور النباتات ليست مغمورة بالكامل، وهذا هو السبب الرئيسي لتسمية هذه الطريقة NFT).

5- أنظمة الفتيل Wick system

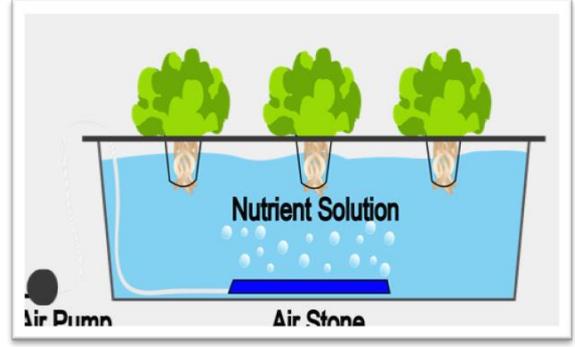
أبسط نظام مائي لا يتطلب الكهرباء ولا المضخة ولا أجهزة التهوية (Shrestha and Dunn, 2013). توضع النباتات في وسط ممتص للسوائل مثل جوز الهند والفيرميكوليت والبيرلايت مع فتيل نايلون يمتد من جذور النباتات إلى خزان من محلول المغذيات (شكل 2-2-هـ).

6- نظام المزارع الهوائية Aeroponic

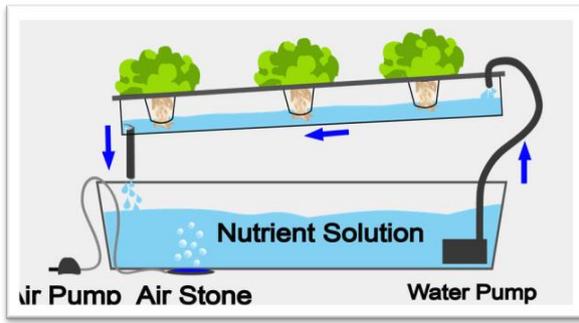
ربما يكون أكثر الأنظمة صعوبة من بين بقية أنظمة الزراعة المائية (شكل 2-2-
2-و). يتحكم المؤقت في مضخة المغذيات كما هو الحال في الأنواع الأخرى من
الأنظمة المائية، باستثناء أن النظام الهوائي يحتاج إلى مؤقت دورة قصير يقوم بتشغيل
المضخة لوضع ثوان كل دقيقتين (Shrastha and Dunn, 2013).



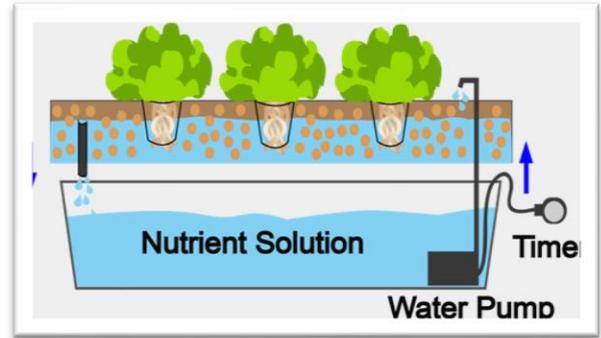
شكل (ب)



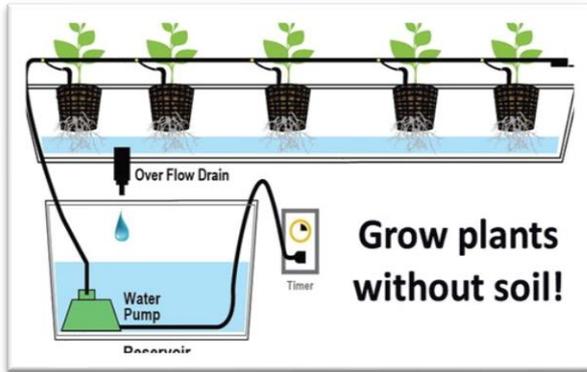
شكل (أ)



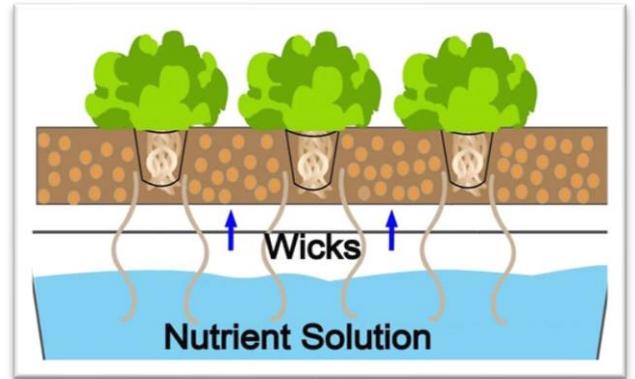
شكل (د)



شكل (ج)



شكل (و)



شكل (هـ)

شكل 2-2: أهم أنظمة الزراعة المائية أ: نظام استزراع المياه العميقة، ب: نظام التثقيط، ج: نظام المد والجزر المائي، د: نظام تقنية الاغشية المغذية، هـ: نظام الفتيل، و: نظام الزراعة الهوائية (El-Behairy, 2015).

2-1-5: الأوساط الزراعية المستخدمة في الزراعة المائية Growing media

يستخدم المزارعون أنواعا مختلفة من وسائط النمو (بدائل للتربة) للمساعدة في توفير الدعم لجذور النباتات والحفاظ على نسبة جيدة من الماء/ الأوكسجين (Gaikwad and Maitra, 2020).

1-2-1-5-1: خصائص وسائط النمو الجيدة

تزرع النباتات بنجاح في نظام مائي مع وسائط نمو مناسبة، يجب أن يكون لوسائط النمو هذه خصائص جيدة (Arumugam *et al.*, 2021) منها:

- خاملة وغير متفاعلة مع العناصر الغذائية Non-reactive
- ذات تهوية وتصريف جيد
- تكون مصنعة قدر الامكان
- يجب أن تكون الوسائط منخفضة التكلفة
- صديقة للبيئة
- يجب أن يكون لها عمر افتراضي لا يقل عن 3 سنوات
- يجب أن تكون قابلة لإعادة التدوير
- ذات رقم هيدروجيني متعادل

2-5-1-2: تقسيم وسائط النمو

2-5-1-2: وسائط النمو غير العضوية **Inorganic media****(1) الرمل sand**

يسمى الجزء الخشن من معادن التربة بالرمل. نظرا لوزنها الخفيف وقدرتها المنخفضة على الاحتفاظ بالرطوبة فانها مفضلة كوسط لزراعة البطاطا والجزر (Papadopoulos *et al.*, 2008; Hussain *et al.*, 2014).

(2) الحصى Gravel

يمكن استخدام الحصى كمرشح للنباتات المزروعة بالزراعة المائية، من الممكن الحفاظ على نظافتها كما انها ليست ذات كلفة عالية (George and George, 2016).

(3) الصوف الصخري Rockwool

يعرف الصوف الصخري أيضا باسم الصوف المعدني وهو عبارة عن مواد غير عضوية مصنوعة من الياق متشابكة (Ghatage *et al.*, 2019).

(4) بيرلايت Perlite

تنشأ من معدن السيليكون Si الذي يتشكل في البراكين. ويعد من الأنواع الأكثر شيوعا من الوسائط المستخدمة في أنظمة الزراعة بدون تربة (Sheldrakejr, 1977). حبيبات البيرلايت خفيفة جدا يستخدم البيرلايت في زيادة تهوية التربة بالإضافة الى استخدامه في أنظمة الحاويات في الزراعة المائية.

5) فيرميكوليت Vermiculite

الفيرميكوليت هو معدن ينشأ من السيليكون مثل البيرلايت، يشبه إلى حد كبير البيرلايت باستثناء أنه يتمتع بقدرة عالية نسبياً على تبادل الكاتيون - High cation exchange capacity (Gaikwad and Maitra, 2020).

6) الزيوليت Zeolite

هو معدن من السيليكون يستخدم كوسط نمو وأن الزيوليت يحمي النباتات من السمية Toxicity على سبيل المثال من الأمونيوم أو من المعادن الثقيلة Heavy metals (Al-Ajmi *et al.*, 2009).

7) المقذوفات البركانية Volcanic tuff

Tuff هو الاسم الشائع للمواد البركانية المستخدمة كوسائط نمو لمحاصيل البيوت الزجاجية Greenhouse في العديد من البلدان حول العالم (Raviv *et al.*, 2002).

8) الطين المضغوط Expanded clay

ينشأ من ضغط التربة بقوة لكي تصبح ذات صلابة عالية ويعد من أكثر وسائط النمو استخداماً في إنتاج محاصيل الزراعة المائية (Maya Waiba *et al.*, 2020).

2-1-2-5-2: وسائط النمو العضوية Organic media**1) نشارة الخشب Sawdust**

تم استخدام نشارة الخشب بنجاح لإنتاج الخيار (Olympios, 1993).

(2) قشور جوز الهند Coconut coir

يتمتع هذا الوسط بقدرة ممتازة على الاحتفاظ بالرطوبة. وهي مصنوعة من

القشور البنية لجوز الهند (Maya Waiba *et al.*, 2020).

(3) البيتموس Peat moss

يتميز بكونه حامل وله قدرة عالية على تخزين المياه ومنع فقدان العناصر

الغذائية، ولكن من سلبياته كلفته العالية نسبياً (Othman *et al.*, 2019).

(4) ألياف الخشب Wood fibers

وهي منتجة من خلال قوة الاحتكاك البخاري للخشب Steam friction،

وقد ثبت أن ألياف الخشب تقلل من تأثيرات "منظمات نمو النبات" (George,)

(George and 2016).

2-1-6: المحلول المغذي المستخدم في الزراعة المائية Nutrient solution

تعتمد الزراعة المائية على المحاليل الغذائية اللازمة لتزويد النباتات بالعناصر الضرورية

لنموها وإنتاجها، وتشير الأبحاث التي أجريت في هذا الشأن إلى عدم وجود محلول غذائي موحد

ومثالي لكافة أنواع النباتات، إلا أنه يجب أن تتوفر في المحاليل الغذائية بعض العناصر وأهمها

العناصر الكبرى وهي العناصر التي يستهلك منها النبات كميات كبيرة نسبياً وتضم: النيتروجين

والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت. فضلاً عن العناصر الصغرى والتي

يحتاجها النبات بكميات ضئيلة وتشمل: الحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والموليبيدوم والبورون

والكلوريد (محمود , 2018). تذوب المغذيات النباتية المستخدمة في الزراعة المائية في الماء

ومعظمها في أشكال أيونية وغير عضوية. على الرغم من توفر العديد من المواصفات للمحاليل

المائية، إلا أن جميعها تصل إلى تركيبات نهائية إجمالية مماثلة. تحتاج النباتات إلى تغذية

متوازنة ويجب إعطاؤها حسب مرحلة المحصول ويجب إعداد المحاليل المغذية وفقا لذلك. يجب مراقبة درجة الحموضة pH والكهربائية EC لضمان عدم وجود سمية في المغذيات وعدم حصول الإجهاد الملحي في الجذور (Nabi *et al.*, 2022). وفقا لـ Hoagland و Arnon (1950)، اذ لا يوجد محلول مثالي لجميع الأنواع النباتية، ولذلك فإن اختيار المحلول المغذي للزراعة المائية له أهمية أساسية، لأن كل نوع من أنواع النباتات له متطلبات غذائية مختلفة. وبالتالي فإن تطوير النباتات في الزراعة المائية ينطوي على اختيار محلول المغذيات المناسب مع الأخذ في الاعتبار عمر النبات والعوامل البيئية. من الضروري أيضا إجراء التحكم المستمر مع إضافة الأملاح ومراقبة درجة الحرارة والتحكم في EC لمحلول المغذيات (Fan *et al.*, 2012).

2-1-7: العوامل المؤثرة على المحلول المغذي المستخدم في الزراعة المائية

هنالك عدة عوامل تؤثر على المحلول المغذي Nutrient solution ومن هذه العوامل:

(1) الأس الحامضي pH

(2) التوصيلية الكهربائية EC

(3) درجة الحرارة

(4) الاوكسجين

(5) الضوء

(6) نوعية الماء

2-2: نبات الخس

ينتمي الخس (*Lactuca sativa* L.) إلى عائلة Asteraceae وان موطن انتشاره الأصلي هو مناطق البحر الأبيض المتوسط. يعد من انجح النباتات في العالم حيث يستخدم للغذاء والاستخدامات الاخرى. ظهر أول خس مزروع في العديد من الكتابات البدائية في أوائل عام 2680 قبل الميلاد كعشب طبي (Medicinal herb) (Shi *et al.*, 2022). وهو من أهم محاصيل الخضروات الورقية من حيث القيمة الغذائية ويحتوي على مستويات عالية من المركبات مثل المركبات الفينولية والفيتامينات C و K وحامض الفوليك. ويعد من اهم الخضروات التي تنمو بالزراعة المائية. بالإضافة إلى ذلك، كشفت العديد من الدراسات أن للخس غلة عالية ونوعية جيدة عند زراعته في النظام بدون تربة (Soilless system) (Ahmed *et al.*, 2021). وتعود اصناف الخس الى سبع اصناف رئيسة تبعا لشكلها واستعمالها السائد وهي Cos (romaine) وbutterhead والورقي leaf والساقى والايسبيرغ واللاتيني والزيتي، وان معظم الاصناف التي تزرع في العراق تعود الى مجموعة الخس ذوات الرؤوس المتطاولة (Boukema *et al.*, 1990) Romaine lettuce.

يعد الخس من المحاصيل الشتوية والذي يزرع في العراق وانحاء العالم ويقع في التسلسل 26 من حيث القيمة الغذائية في محاصيل الفواكه والخضر ولكنه قفز الى المركز الرابع بعد الطماطم والبرتقال والبطاطا من حيث كمية الاستهلاك في الولايات المتحدة الامريكية (البياتي وطالب، 2017). والجدول ادناه يوضح المحتوى الغذائي لأنواع مختلفة من الخس لكل 100 غم من الجزء الصالح للأكل (Mou, 2012).

جدول 1-2: يوضح القيمة الغذائية لنبات الخس *Lactuca sativa. L* من نوع Romaine (Mou, 2012)

القيمة	الوحدة لكل 100 غم	المكونات	ت	القيمة	الوحدة لكل 100 غم	المكونات	ت
0.313	ملغم	niacine	17	94.6	غرام	الماء	1
0.142	ملغم	B ₅	18	17	Kcal	الطاقة	2
0.067	ملغم	riboflavonoid	19	1.23	غرام	البروتين	3
0.072	ملغم	thiamine	20	0.3	غرام	الدهون الكلية (Fat)	4
78	ملغم	الفينولات phenols	21	3.29	غرام	الكربوهيدرات	5
989	مايكرو مول	مضادات الاكسدة	22	2.1	غرام	الالياف	6
33	ملغم	الكالسيوم	23	1.19	غرام	السكريات	7
0.97	ملغم	الحديد	24	8710	IU	فيتامين A	8
14	ملغم	المغنيسيوم	25	0.074	ملغم	فيتامين B ₆	9
30	ملغم	الفسفور	26	4	ملغم	فيتامين C	10
247	ملغم	البوتاسيوم	27	0.13	ملغم	فيتامين E	11
8	ملغم	الصوديوم	28	0.36	ملغم	γ-Tocopherol	12
0.23	ملغم	الزنك	29	102.5	مايكرو غرام	فيتامين K	13
0.048	ملغم	النحاس	30	9,9	ملغم	coline	14
0.155	ملغم	المنغنيز	31	136	مايكرو غرام	حامض الفوليك	15
0.4	ملغم	السيلينيوم	32	2312	مايكرو غرام	carotenoid	16

2-3: الاجهاد التاكسدي Oxidative stress

يمكن أن تؤدي العديد من العوامل البيئية إلى التعرض للإجهاد التأكسدي في النباتات ومنها الملوحة والجفاف ودرجة الحرارة الشديدة وسمية المعادن وملوثات الهواء والأشعة فوق البنفسجية والكميات الكبيرة من المبيدات الحشرية فضلاً عن عدوى الأمراض (Xie *et al.*,)

(2019). ينتج الإجهاد التأكسدي إما عن التأثيرات المباشرة للإجهادات البيئية أو بشكل غير مباشر عن طريق توليد وتراكم أنواع الاوكسجين التفاعلية reactive oxygen species (ROS)، مما يؤدي إلى تلف الخلية وموتها. وعندما تكون كمية ROS أكبر من ميكانيكيات الدفاع داخل النبات فستكون الخلايا النباتية في حالة الإجهاد التأكسدي.

تشمل ROS الجذور الحرة مثل superoxide anion (O_2^-) وجذور الهيدروكسيل (OH^\bullet) وجذور البيروكسيد (HO_2^-) وجذور Alkoxy، والأشكال غير الجذرية non-radicals، مثل بيروكسيد الهيدروجين (H_2O_2) والأكسجين المفرد (O_2^1)، الموجودة في المواقع داخل وخارج الخلية النباتية (Rajput *et al.*, 2021).

2-4: مضادات الاكسدة Antioxidant activity

هي مجموعة من المركبات التي يمكن ان تبطل مفعول عمليات الاكسدة في الخلايا حيث تعمل كمختزلات Reducers وكاسحات Scavengers ومثبطات Inhibitors للجذور الحرة وغيرها من المواد المؤكسدة مثل المعادن Metals (Sutulienè *et al.*, 2022).

تتضمن آليات التحمل في النبات المعرض للإجهاد عددًا من الاستراتيجيات الفيزيائية والكيميائية والتي تتضمن العديد من المكونات الأنزيمية مثل superoxide dismutase (SOD) و catalase (CAT) و peroxidase (POX) و glutathione peroxidase (GPx) و glutathione reductase (GR) و Ascorbate peroxidase (APX) و lipoxygenase (LOX)، ومكونات غير إنزيمية مثل حامض الأسكوربيك (AsA) و الكلوتاثيون (GSH) و المركبات الفينولية و القلويدات والفلافونات و الكاروتينات والأحماض الأمينية الحرة (غير البروتينية) و α -tocopherols (Rajput *et al.*, 2021; Raza *et al.*, 2022).

2-4-1: مضادات الأكسدة الإنزيمية

1) Superoxide dismutase (SOD)

يعد SOD الخط الدفاعي الأول للخلايا ضد الجذور الحرة للـ superoxide الناتجة عن ظروف الإجهاد (Foyer *et al.*, 1994). يحفز SOD تفكيك (O_2^-) لتكوين H_2O_2 و O_2 . تعمل الإنزيمات الأخرى مثل CAT و POX في تزامن وثيق مع SOD لمنع تكوين ROS الأكثر ضرراً بواسطة كل من O_2^- و H_2O_2 من خلال تفاعل Haber-Weiss (Pan and Yau, 1992).

في النباتات توجد ثلاث مجموعات من SODs بالاعتماد على المعادن التعويضية الموجودة في المناطق النشطة active site وهي النحاس والزنك (Cu,Zn-SODs) والمنغنيز (Mn-SODs) والحديد (Fe-SODs) (Wang *et al.*, 2016). تلعب SODs دوراً مهماً في فسلفة النبات في تقليل أثر ROS والتي تعد إشارات نقل مهمة ومحفزات ضد الضرر الخلوي عند إنتاجها بتركيز عالية.

2) انزيم الكتاليز Catalase

يعد أحد الإنزيمات الرئيسية المضادة للأكسدة التي لها دور رئيسي في ظروف النمو والتكيف والاجهاد (Nandi *et al.*, 2019). للكتاليز دور في تعديل تركيز بيروكسيد الهيدروجين داخل الخلايا، في معظم الحالات يقوم الكتاليز بكسح الجزء الأكبر من H_2O_2 داخل الخلايا، بينما الإنزيمات مثل APX والذي له الفة affinity لبيروكسيد الهيدروجين تقع في عضيات خلوية متنوعة أهمها البلاستيدات والميتوكوندريا وفي المكون غير الحي بالإضافة إلى peroxisomes (Sofa *et al.*, 2015; Palma *et al.*, 2020).

(3) انزيم الكلوتاثيون بيروكسيديز (GPx) glutathione peroxidase

مضاد اكسدة انزيمي مهم يحفز تحويل بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 و HO_2 الى ماء وكحول دهني باستخدام GSH او thioredoxin او أي مختزلات أخرى (Zhou *et al.*, 2018a).

اظهرت الدراسات السابقة أن GPXs يلعب دورا مهما في تنظيم استجابة النبات للإجهاد التأكسدي الناتج عن لضغوط اللاإحيائية مثل المعادن والبرد والجفاف والملح (Islam *et al.*, 2015). على سبيل المثال فان زيادة انزيم GPX في الرز rice أدى إلى تحسن كبير في تحمل النبات للإجهاد الملحي (Diao *et al.*, 2014). يؤدي GPX وظائف رئيسية مضادة للأكسدة في العقيدات ويلعب دورًا وقائيًا ضد الإجهاد الملحي والإجهاد التأكسدي وتلف الغشاء (Matamoros *et al.*, 2015).

2-4-2: مضادات الاكسدة اللانزيمية**الكلوتاثيون (GSH) Glutathione**

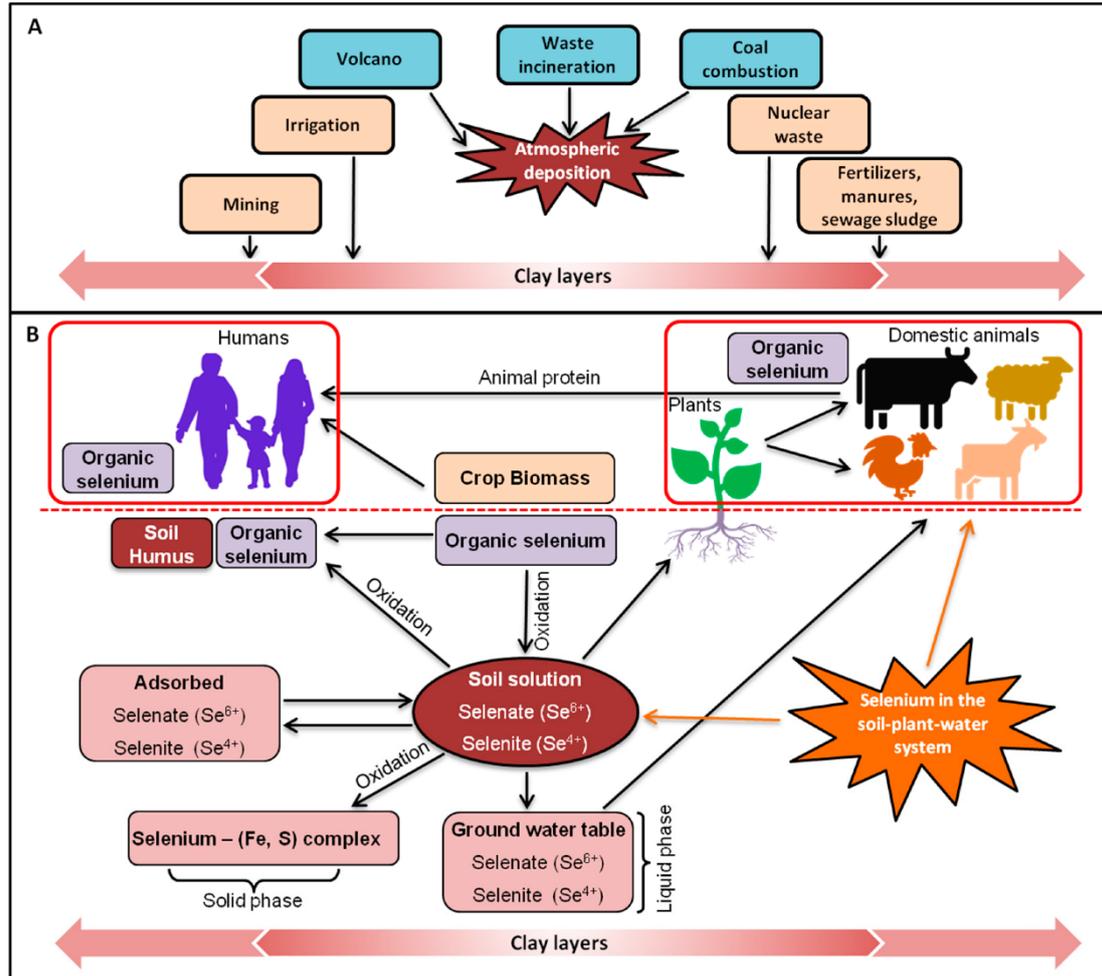
الجلوتاثيون (GSH) هو مركب thiol غير بروتيني ذو وزن جزيئي واطئ يلعب دورًا مهمًا في التمثيل الغذائي والوظائف الخلوية. يوفر GSH التوازن من خلال الحفاظ على حالة الأكسدة والاختزال لمركبات الثيول الأخرى وتلأفي عمليات الأكسدة غير الضرورية وبالتالي إبقائها في حالة مختزلة. كما يعد GSH مهم أيضًا لإزالة السموم من الكائنات الحية والتخلص من المعادن الثقيلة والعمليات الأخرى التي تشارك في تحمل الإجهاد البيئي (Foyer and Noctor, 2011; Dubreuil-Maurizi and Poinsot, 2012).

5-2: السيلينيوم Selenium

السيلينيوم (Se) هو عنصر غير معدني له خصائص كيميائية مماثلة للكبريت. تم اكتشافه لأول مرة في عام 1817 بواسطة الكيميائي السويدي Jons Jacob (Li *et al.*,) 2022. يعد عنصر أساسي في غذاء الانسان والحيوان ويعد مفيد للنبات ولكنه ليس عنصراً أساسياً (Terry *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2018b).

تختلف مستويات السيلينيوم في التربة بشكل كبير في جميع انحاء العالم فالتربة الغنية بالسيلينيوم والتي تسمى التربة السيلينية Seleniferous soil تكون شائعة الانتشار في أمريكا الشمالية والصين والهند وباكستان وأستراليا، وهذا التنوع في المحتوى له علاقة بسمية السيلينيوم والنقص والذي يؤثر على أكثر من مليار شخص (Winkel *et al.*, 2015). وذكر Pilon-Smits وجماعته (2009) ان السيلينيوم يحفز عادة النمو ومقاومة الاجهاد عند تراكيز تتراوح بين 1 - 10 ملغم. كغم⁻¹ من الوزن الجاف.

اما في العراق فقد اشارت Al-Tameemi وجماعتها (2016) عند دراستها على اشكال السيلينيوم الموجودة في جنوب العراق ان تركيز السيلينيوم يتراوح ما بين 35.0 و78.5 ملغم. كغم⁻¹. المصدر الأكبر والأهم للسيلينيوم في التربة ناتج من تعرية الصخور التي تحتوي ما يقارب 40% من السيلينيوم الموجود في قشرة الأرض (Rosenfeld and Beath, 1964). ومن مصادره الملوثات الناتجة من نشاط الانسان مثل حرق الورق والاطارات والوقود (Winkel *et al.*, 2012) ويشير الشكل 2-3 الى مصادر السيلينيوم في البيئة.



شكل 2-3: السيلينيوم في البيئة A- مصادر السيلينيوم في البيئة، B- السيلينيوم في نظام التربة-نبات-ماء

(Mirza *et al.*, 2010)

2-5-1: امتصاص وانتقال السيلينيوم في النبات

تعتمد عملية انتقال وامتصاص وانتشار السيلينيوم في النبات بصورة أساسية على نوع النبات species ومراحل التكشف development وشكل وتركيز Se والظروف الفسيولوجية physiological conditions مثل الملوحة salinity والاس الهيدروجيني للتربة pH وفعالية الاغشية الناقلة membrane transporters في النبات (Gupta and Gupta, 2017).

السيلينات selenate (SeO_4) هو الشكل الأكثر انتشارًا والمتوفر في التربة الزراعية وله قابلية ذوبان في الماء أكثر من السيلينيت selenite (SeO_3) (Duc *et al.*, 2009). ويتواجد

السيلينيوم في الترب القاعدية بشكل سيلينات بينما في التربة الحامضية يتواجد بشكل سيلينيت (Li *et al.*, 2008) وان الاختلاف بين السيلينات والسيلينيت هو في الحركة *mobility* والامتصاص *absorption* داخل النبات وعمليات الايض *metabolized* لتكوين مركبات سيلينية *selenocompounds* (Gupta and Gupta, 2017). تمتص جميع انسجة النباتات السيلينيوم وتراكمه بشكل مماثل تماما لعنصر الكبريت. يمكن امتصاصه *take up* وانتقاله *mobilized* بين أعضاء النبات بواسطة *sulfate transporter proteins* (SULTR) (Pilon-Smits, 2019) ولكن لا يوجد دليل على ان السيلينيت يؤخذ بنفس الطريقة (Abrams *et al.*, 1990). يعمل مسار تمثيل الكبريتات المختزلة *reductive sulfate* على ايض *metabolize* السيلينات الى *selenocysteine (SeCys)* وال *SeCys* الناتج قد يرتبط بالبروتين ومن المحتمل ان يكون ساما، او قد يتم ايض السيلينات بشكل ثاني خلال *selenomethionine (SeMet)* الى *volatile dimethylselenide (DMSe)* (Sors *et al.*, 2005). في الأنواع ذات التراكم المفرط معظم السيلينيوم يكون على شكل *methyl-SeCys* ويعود ذلك الى النشاط العالي لـ *SeCys methylation* والذي يعد من اليات التحمل للسيلينيوم (Neuhierl and Böck, 1996).

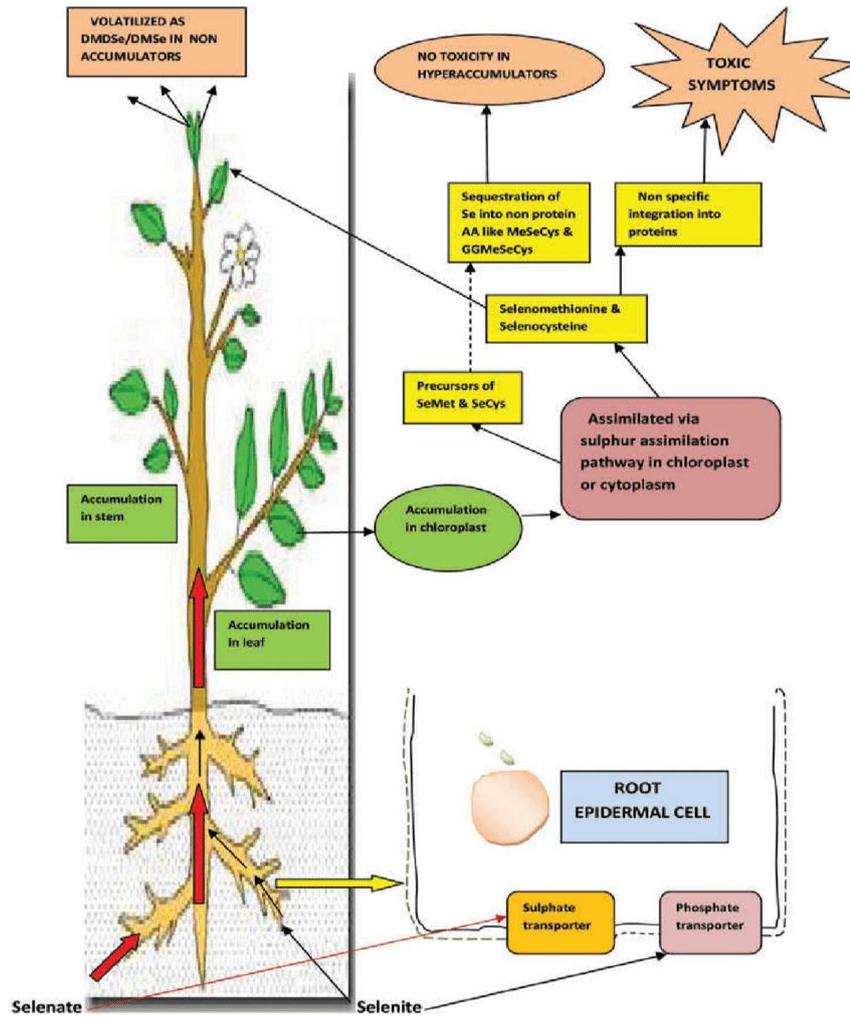
2-5-2: التمثيل الغذائي للسيلينيوم في النبات *selenium metabolism*

يعتمد الفهم الحالي لعملية التمثيل الغذائي *metabolism* للسيلينيوم في النباتات الى حد كبير على معرفة التمثيل الغذائي للكبريت (Schiavon and Pilon-Smits, 2017). بعد الامتصاص *uptake*، يتم نقل *translocated* السيلينيوم إلى الأوراق ويتم تمثيلها في البلاستيدات كمركبات *SeCys* و *SeMet* ومركبات الكبريت الأخرى الغنية بالكاربون، عبر مسارات تمثيل الكبريت *SULTR*. يحدث هذا كثيرًا في السيقان والجذور.

التخليق الحيوي biosynthesized لـ SeCys و SeMet يتداخل مع البروتينات، مسببا تأثير سام toxic قد يضعف وظائف البروتين (Stadtman, 1990). ان المرحلة الأولية في عملية التمثيل assimilation هي تحويل السيلينيوم غير العضوي إلى (IV) Se بوجود ATP بواسطة APS (APS) و APS reductase (APR). في البداية، يتم تحفيز التحلل المائي ATP hydrolysis لـ ATP إلى adenosine phosphoselenate (APSe) بواسطة APS، متبوعاً بالاختزال إلى SeO₃ بواسطة APR. يحدث تحويل SeO₃ إلى selenide بوجود sulfite reductase و glutathione (Hassanuzzaman *et al.*, 2020). السيلينايد selenide يمكن ان يتحول أيضا الى Se-Cysteine بوجود O-Acetyl serine (OAS) و OAS (thiol) lyase. اعتمادا على الظروف البيئية، SeCys يمكن ان يتحول الى Se⁰ بواسطة SeCys lyase او methylated الى Methyl-SeCys بوجود SeCys methyltransferase او الى SeMet بواسطة سلسلة من الانزيمات. وقد يؤدي ذلك الى مزيد من الدمج incorporation للـ SeMet و SeCys داخل البروتينات وتعطيل وظائفها مسبباً سمية للنباتات (Kushwaha *et al.*, 2022).

ان العملية الوحيدة التي تزيل السيلينيوم من نظام التربة-نبات soil-plant system بالكامل هي التطاير volatilization. لذلك، فإن تحويل السيلينيوم غير المتطاير nonvolatile إلى سيلينيوم متطاير يكون بعملية detoxification للتربة الغنية بالسيلينيوم seleniferous soils والنباتات ذات التراكم المفرط للسيلينيوم وحسب ما موضح بالشكل 2-4 (Kushwaha *et al.*, 2022).

وأن تحويل السيلينات إلى السيلينيت تعد خطوة مهمة لتمثيل السيلينيوم داخل المركبات العضوية (White, 2018).



شكل 2-4: امتصاص وانتقال وتمثيل السيلينيت والسيلينات في النبات (Kushwaha *et al.*, 2022).

2-5-3: تراكم السيلينيوم Selenium accumulation

يتراكم Se في الفجوات والخلايا النباتية ويتم التخلص منه بفعل ناقلات الكبريت sulfate transporters الموجودة بغشاء الفجوة tonoplast أثناء نمو البادرات seedling، تحتوي الأوراق الفتية young leaves على نسبة أكبر من السيلينيوم مقارنة بالأوراق الناضجة mature (Harris *et al.*, 2014). يمكن تصنيف النباتات بالاعتماد على تراكم السيلينيوم بانسجتها الى ثلاث مجاميع:

(1) النباتات غير المراكمة Non-accumulators

وهي المجموعة التي تراكم اقل من 100 ملغم سيلينيوم. كغم⁻¹ السيلينيوم من وزنها الجاف ولا تتحمل العيش في ترب غنية بالسيلينيوم، وإذا زرعت في مثل هذه الترب فان نموها يضعف مثل الحشائش وبعض المحاصيل منها الخس (الريبيعي، 2021).

(2) نباتات ذات التراكم الثانوي Secondary accumulators

وهي المجموعة التي تراكم ما بين 100-1000 ملغم سيلينيوم. كغم⁻¹ سيلينيوم من وزنها الجاف ولا تظهر عليها أي علامات سمية toxicity، ومن امثلتها الخردل الهندي *Brassica juncea* ونبات الشلجم *Brassica napus* والبروكلي وعباد الشمس (Gupta and Gupta, 2017).

(3) نباتات ذات التراكم المفرط Hyperaccumulators

وهي المجموعة التي يمكن ان تتحمل أكثر من 1000 ملغم سيلينيوم. كغم⁻¹ سيلينيوم من وزنها الجاف مثل *Xylohiza* والكونوبس *Conopis* (Pilon-Smits, 2019).

2-5-4: سمية السيلينيوم selenium toxicity

على الرغم من أهمية السيلينيوم الغذائية، الا ان المدى بين مستوى النقص والسمية لعنصر السيلينيوم في النبات يكون ضيقاً (Schiavon & Pilon-Smits, 2017). وان التراكيز العالية من السيلينيوم قد تؤثر على تكشف development النباتات وقد يؤدي الضرر الناجم عن التراكيز العالية من السيلينيوم في النباتات الى تغيير في تراكيز ROS مثل H₂O₂ وتحفز زيادة معدل اكسدة الدهون في اغشية الخلايا (Mostofa et al., 2017). وتحدث

السمية عادة عندما يكون تركيزه داخل الأنسجة أكثر من 100 ملغم. كغم⁻¹ من الوزن الجاف (Terry *et al.*, 2000).

يكون السيلينيوم ساماً للكائنات عندما يكون بمستويات عالية بالأنسجة، وذلك لسببين أولهما ان الشكل اللاعضوي للـ Se يمكن ان يسبب الاجهاد التاكسدي، وثانياً لأن مركبات selenomethionine (SeMet) و selenocompounds selenocysteine (SeCys) يمكن ان ترتبط وبشكل غير محدد بالبروتينات لتحل محل نظائرها analogues والتي تؤثر سلبياً على وظيفة البروتين (Stadtman, 1990).

ان عنصر السيلينيوم لم يصنف لحد الان كعنصر ضروري للنباتات، بالرغم من ادواره المفيدة للنباتات التي تكون قادرة على تراكم كميات كبيرة منه (Shanker, 2006). ان دور السيلينيوم يعتمد بشكل رئيسي على تركيزه. وفقاً لـ Hamilton (2004) فان للسيلينيوم ثلاث مستويات من الفعالية البايولوجية تشمل:

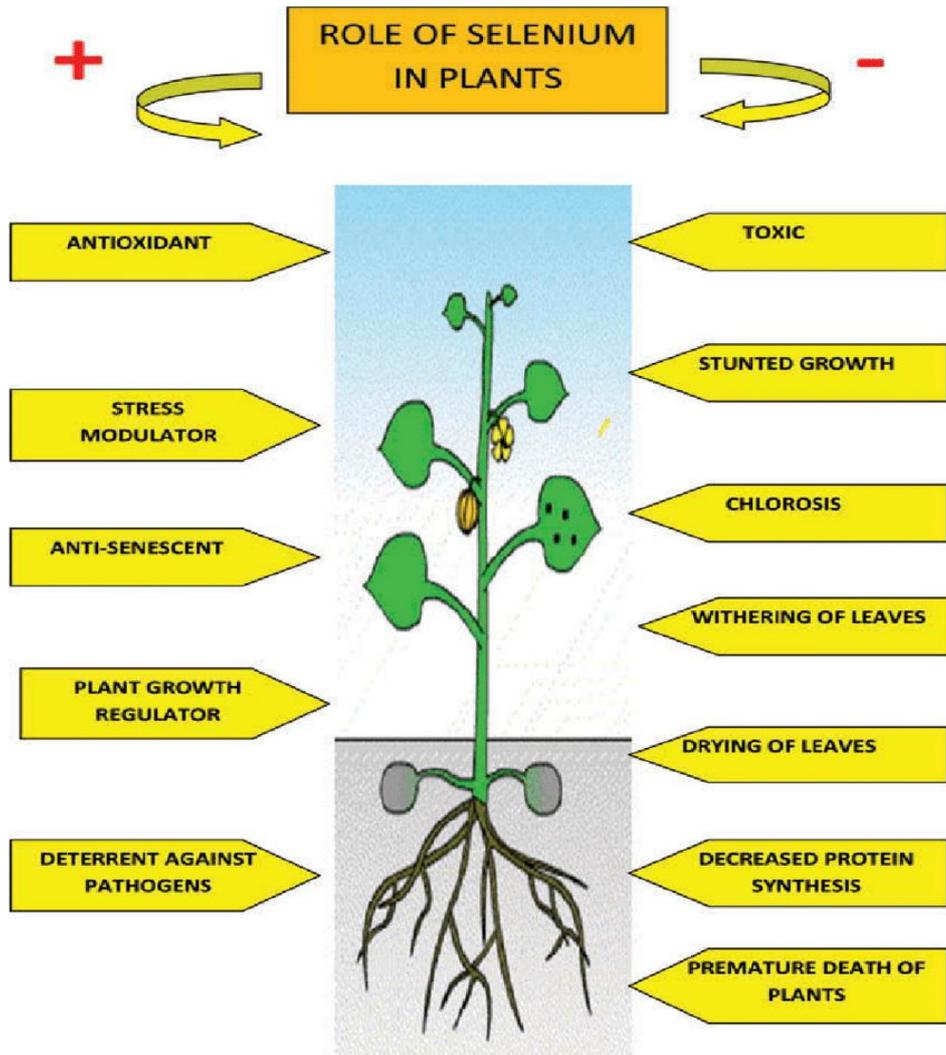
1. التراكيز القليلة تكون للنمو والتكشف الطبيعي

2. التراكيز المتوسطة تخزين للمحافظة على homeostatic functions

3. التراكيز العالية تسبب تأثيرات سمية.

أكدت الدراسات ان تجهيز النباتات بالسيلينيوم بالتراكيز الواطئة ادى الى تحفيز النمو والقابلية المضادة للاكسدة antioxidant capacity في النباتات ذوات الفلقة وذوات الفلقتين. كما يسبب السيلينيوم تأخير الشيخوخة senescence وتنشط نمو البادرات الشائخة Aging seedlings (Hartikainen and Xue, 1999; Xue *et al.*, 2001). كما له تأثيرات في انبات البذور.

ان للسلينيوم دوراً في تنشيط الفعالية المضادة للأكسدة في النباتات المعرضة للإجهادات باختلاف أنواعها كإجهاد الحرارة والجفاف والملوحة وغيرها، اذ يثبط أكسدة الدهون في نبات الشيلم (*Lolium perenne*) ryegrass. وان السلينيوم سبب توقف انخفاض التوكوفيلول نتيجة الاجهادات (Xue et al., 2001 ; Pennanen *et al.*, 2002) ويوضح الشكل 2-5 بعض الحالات التي يظهرها النبات في حالة زيادة او نقصان السلينيوم (Kaur *et al.*, 2014).



شكل 2-5: دور السلينيوم كمضاد أكسدة او كعنصر سام في النباتات (Kaur *et al.*, 2014).

3-1- مصدر الشتلات Source of plants

استعملت بادرات الخس (النوع الروماني) *Lactuca sativa L.* من الصنف المحلي والشائع Local and Common ويعمر 30 يوماً من محافظة بابل - قضاء الحلة - ناحية النيل - منطقة سرديب وبتاريخ 21 تشرين الأول - 2022.

3-2- تصميم التجربة

زرعت الشتلات بنظام تقنية الغشاء المغذي في انابيب P.V.C قطر 4 انج وبواقع 7 انابيب وكل أنبوب يحوي على 7 ثقوب قطر 3 انج، مع 7 صناديق من الفلين يوضع بداخلها المحلول المغذي ومضخة ماء لإيصال المحلول المغذي الى الانابيب وعودته مرة أخرى الى الصناديق ومضخة هواء لتوفير الاوكسجين للنبات. استخدم حجر البرلايت كوسط ساند واقداح بلاستيكية قطر 3 انج خاصة بالزراعة المائية ووضعت فيها الشتلات، ربطت مضخات الهواء والماء بمؤقت كهربائي لتشغيل المنظومة 45 دقيقة لكل ساعة بالنهار و30 دقيقة لكل ساعة ليلا، وقد استخدم محلول هوكلاندر كمحلول مغذي ويتم استبداله كل 15 يوم. الشكل (3-1) يوضح تصميم التجربة.



شكل 3-1: تصميم مزرعة مائية بانابيب قطر 4 انج بطريقة NFT

3-3- تراكيز السيلينيوم

استعملت 7 تراكيز من السيلينيوم NaHSeO_3 وهي 0، 1، 5، 10، 20، 30، 40 ملغم. لتر⁻¹، حيث نمت النباتات في محلول هوكلاندر لمدة 15 يوما (بدون إضافة سيلينات الصوديوم) ثم استبدل المحلول ووضع تراكيز السيلينيوم مع محلول هوكلاندر عدا السيطرة فيحتوي على محلول هوكلاندر فقط، وكانت ظروف النمو موضحة بالجدول (3-1).

جدول 3-1: يوضح درجة الحرارة الصغرى والعظمى والاس الهيدروجيني وكمية الاملاح والتوصيلية الكهربائية المستعملة اثناء التجربة

ت	التاريخ	الحرارة الصغرى-العظمى (م°)	pH	الاملاح ملغم. لتر ⁻¹	EC
1	2022/10/21	36-24	5.9	620	2.0
2	2022/10/25	32-20	5.9	620	2.0
3	2022/10/30	33-23	6.0	615	1.9
4	2022/11/4	28-15	5.8	620	1.9
5	2022/11/9	27-15	5.9	640	2.0
6	2022/11/14	27-16	5.8	670	2.0
7	2022/11/19	24-12	5.7	660	1.9
8	2022/11/24	26-15	5.9	650	1.8
9	2022/11/29	25-14	5.8	700	2.0
10	2022/12/4	19-11	5.9	750	1.8

3-4- تحضير محلول هوكلاندر Hoagland Solution

استعمل المحلول المغذي المقترح من قبل العالمين هوكلاندر وArnon

(1950) والمستعمل بالزراعة المائية Hydroponics وكما موضح في الجدولين (3-2) و(3-3).

A-جدول 3-2: العناصر المغذية الكبرى :Macronutrient solutions

ت	المغذيات	الصيغة الكيميائية	التركيز (M)	الحجم ml.L ⁻¹
1	فوسفات البوتاسيوم	KH ₂ PO ₄	1	1
2	كبريتات المغنيسيوم المائية	MgSO ₄ .7H ₂ O	1	2
3	نترات البوتاسيوم	KNO ₃	1	5
4	نترات الكالسيوم المائية	Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	1	5

B-جدول 3-3: العناصر المغذية الصغرى :Micronutrient Solutions

ت	المغذيات	الصيغة الكيميائية	التركيز غم. لتر ⁻¹	الحجم ml.L ⁻¹
1	حامض البوريك	H ₃ BO ₃	2.86	1
2	كلوريد المنغنيز المائي	MnCl ₂ .4H ₂ O	1.81	
3	كبريتات الزنك المائية	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.22	
4	كبريتات النحاس المائية	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.08	
5	حامض المولبيدك	H ₂ MoO ₄ .H ₂ O	0.02	

C- استخدم الحديد المخليبي Fe-EDDHA وبتركيز 6.5% واخذ منه 0.184 غم لكل لتر من

المحلول المغذي.

3-5- جمع العينات النباتية

تم جمع العينات النباتية بعد 10 و 20 و 30 يوم من وضع تراكيز السيلينيوم وبواقع 5 مكررات لكل تركيز حيث استعملت عينات طرية لقياس محتوى البروتين الكلي وفعالية انزيمات الكاتليز CAT و Superoxide Dismutase (SOD) وكلوتاثيون بيروكسيداز GPx والكلوروفيل والكاروتينات. اما قياس الكربوهيدرات و Malondialdehyde (MDA) والكلوتاثيون Glutathione (GSH) والبرولين وتقدير السيلينيوم استخدمت عينات جافة (جففت بالفرن الكهربائي لمدة 48 ساعة بدرجة حرارة 70 م°).

3-6- القياسات الفسلجية والكيموحياتية

3-6-1- الوزن الرطب والجاف (غم) والنسبة المئوية للمحتوى الرطوبي (%)

أخذت 5 أوراق من كل تركيز ووزنت بميزان كهربائي لاستخراج الوزن الطري للأوراق ثم جففت تماما ووزنت مرة أخرى واستخرج الوزن الجاف، ثم تم استخراج النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي (المحتوى المائي) من خلال المعادلة التي ذكرها Santos وجماعته (2013):

$$\text{المحتوى المائي \%} = (\text{الوزن الرطب} - \text{الوزن الجاف}) \times 100 / \text{الوزن الرطب}$$

3-6-2- محتوى الكلوروفيل والكاروتينات (ملغم. غم⁻¹) حسب طريقة Lichtenthaler

و Wellburn (1983)

3-6-3- تقدير محتوى Malondialdehyde (ملي مول. غم⁻¹) حسب طريقة

Zacheo *et al.*, 2000

3-6-4- تقدير البروتين الكلي (ملغم. غم⁻¹) استعملت طريقة البايوريت

(Bishop *et al.*, 1985)

3-6-5- تقدير الكربوهيدرات (ملغم. غم⁻¹) اعتمدت طريقة (Dubois *et al.*, 1956)3-6-6- تقدير محتوى البرولين (مايكرومول. غم⁻¹) حسب طريقة Bates *et*

al., 1973

3-6-7- تقدير فعالية انزيم **Catalase** (KU.g^{-1}) حسب طريقة Hadwan &

Abed, 2016 المحورة

3-6-8- تقدير فعالية انزيم **Superoxide dismutase** (U.g^{-1}) قدرت الفعالية

حسب طريقة Marklund and Marklund, 1974

3-6-9- تقدير فعالية انزيم **glutathione peroxidase** (U.g^{-1}) على اساس

طريقة Flohé و Günzler (1984).

3-6-10- تقدير محتوى **Glutathione** (ملغم. غم⁻¹) على طريقة Ellman في

1959

3-6-11- تقدير السيلينيوم (ملغم. غم⁻¹) حسب طريقة Amin و Zareh (1996)

3-7- التحليل الاحصائي Statistical analysis

تم اختيار التصميم التجريبي بشكل عشوائي باستخدام مخطط 7×3 : 7 تراكيز من

السليينيوم (0، 1، 5، 10، 20، 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹) وثلاث مدد زمنية (10، 20 و 30) يوماً

لتحليل التباين (ANOVA) والإحصاء الوصفي، تمت مقارنة المتوسطات باستخدام اختبار

LSD ($p \leq 0.05$). تم إجراء جميع التحليلات باستخدام برنامج SPSS (الإصدار 26، SPSS

Inc. Chicago، إلينوي، الولايات المتحدة الأمريكية).

1-4- تأثير معاملة النبات بتراكيز مختلفة من NaHSeO_3 في تقدير الوزن الطري

والجاف والنسبة المئوية للمحتوى الرطوبي

1-1-4-الوزن الطري للأوراق

يظهر الجدول (1-4) نتائج معدل الوزن الطري لنبات الخس المعامل بتراكيز مختلفة من السيلينيوم، يلاحظ ان اعلى معدل وزن سجله التركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ وبمعدل 17.4 غم وبفرق معنوي مقارنة بالسيطرة (16.38 غم) فيما انخفض الوزن الطري تدريجيا ومعنويا عند زيادة التراكيز. ارتفع معدل مدة المعاملة عند زيادة المدة الزمنية مسجلا اعلى وزن عند مدة المعاملة 30 يوما. من ناحية التداخل الثنائي بين التركيز والمدة، كان اعلى معدل وزن طري لاوراق نبات الخس 23.24 غم للتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ في المدة 30 يوما وبزيادة معنوية بلغت 1.1% مقارنة بالسيطرة في حين اقل وزن كان للتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ بعد 10 أيام من المعاملة.

جدول 1-4: تأثير تركيز ومدة المعاملة المركب NaHSeO_3 في الوزن الطري (غم وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التراكيز (ملغم. لتر ⁻¹)
	المعدل			سيطرة (هوكلاندا)
16.38	21.21	16.68	11.26	1
17.40	23.24	17.18	11.78	5
11.10	13.20	11.45	8.66	10
6.96	7.21	7.10	6.57	20
5.17	5.44	5.24	4.82	30
3.81	4.02	3.95	3.46	40
3.36	3.50	3.47	3.11	معدل مدة المعاملة
	11.12	9.30	7.09	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	0.238			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	0.156			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	0.412			

4-1-2-الوزن الجاف للأوراق

نتائج التحليل الاحصائي للوزن الجاف لأوراق نبات الخس مبينة بالجدول (2-4) حيث انخفض الوزن الجاف معنوياً في جميع تراكيز السيلينيت، ما عدا 1.64 غم للتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ حيث سجل ارتفاعاً معنوياً مقارنة بالسيطرة (1.44 غم).

تأثير مدة المعاملة كان معنوياً حيث ازداد الوزن الجاف بزيادة مدة المعاملة، كما ان للتداخل بين التركيز ومدة المعاملة تأثيراً معنوياً في معظم المعاملات وبعضها كان تأثيره غير معنوي، وسجلت اعلى قيمة للوزن الجاف للتداخل الثنائي بين التركيز والمدة 2.21 غم للتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ بعد 30 يوماً من المعاملة وبزيادة 20.4% مقارنة بالسيطرة وأدنى قيمة للتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ بعد 10 أيام من المعاملة وبنسبة انخفاض بلغت 71.8% مقارنة بالسيطرة ولنفس المدة.

جدول 2-4: تأثير تركيز ومدة المعاملة المركب NaHSeO_3 في الوزن الجاف (غم وزن جاف).

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
	المعدل			سيطرة (هوكلاند)
1.44	1.76	1.47	1.10	1
1.64	2.21	1.77	0.93	5
1.10	1.36	1.11	0.82	10
0.70	0.79	0.75	0.56	20
0.60	0.70	0.62	0.48	30
0.45	0.56	0.45	0.34	40
0.42	0.54	0.42	0.31	معدل مدة المعاملة
	1.13	0.94	0.65	قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز
	0.194			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة
	0.127			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	0.336			

4-1-3- النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي

انخفضت نسبة الماء تدريجيا عند زيادة تركيز محلول سيلينيت الصوديوم NaHSeO_3 كما مبين في الجدول (3-4) وكان الانخفاض معنويا لجميع التراكيز عدا تركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ فكان انخفاضه عن السيطرة غير معنوي. اقل محتوى رطوبي كان في التركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ والتي بلغت 87.5% وبنسبة انخفاض 3.85% مقارنة بالسيطرة (91%). كان لتأثير مدة المعاملة فروق معنوية حيث انخفض المحتوى الرطوبي بزيادة عدد الأيام.

وان التداخل الثنائي (التركيز والمدة) كان اقل محتوى للماء 84.4% لتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ و 86% لتركيز 30 ملغم. لتر⁻¹ بعد 30 يوما من المعاملة، بينما اعلى محتوى 91.7 كان للسيطرة بعد 30 يوما من المعاملة.

جدول 3-4: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التراكيز (ملغم. لتر ⁻¹) سيطرة (هوكلاندر)
	المعدل ± الانحراف القياسي			
91.0	91.7	91.2	90.2	1
90.8	90.5	89.7	92.1	5
90.2	89.7	90.3	90.5	10
90.0	89.0	89.5	91.5	20
88.4	87.2	88.1	90.0	30
88.2	86.0	88.5	90.1	40
87.5	84.5	88.0	90.0	معدل مدة المعاملة
	88.4	89.6	90.6	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	0.347			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	0.245			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	0.850			

2-4- تأثير معاملة النبات بتراكيز مختلفة من NaHSeO_3 في محتوى الكلوروفيل

4-2-1- محتوى كلوروفيل a

تشير نتائج الجدول (4-4) الى تأثير تركيز محلول NaHSeO_3 في محتوى كلوروفيل a حيث كانت القيم 3.7 و 3.9 و 3.5 و 3.1 و 3.4 و 3.1 ملغم. غم⁻¹ لكل من 1 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹ على التوالي مقارنة بالسيطرة (محلول هوكلاندي فقط) 3.7 ملغم. لتر⁻¹. سجل اعلى محتوى 3.9 ملغم. لتر⁻¹ لتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ وكان الفرق غير معنوي مقارنة بالسيطرة، بينما اقل محتوى كان لتركيز 20 و 40 ملغم. لتر⁻¹ 3.1 ملغم. غم⁻¹ وبنسبة انخفاض 16.2% عن السيطرة. ولم تظهر فروقا معنوية لتأثير مدة المعاملة مقارنة بأقل فرق معنوي LSD.

عند دراسة التداخل بين التركيز ومدة المعاملة فقد سجل اعلى محتوى لكلوروفيل a في اليوم 30 من المعاملة بالتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ (4.0 ملغم. غم⁻¹) مقارنة بالسيطرة (3.9 ملغم. غم⁻¹)، كما ان اقل محتوى 1.8 ملغم. غم⁻¹ في المعاملة بالتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ بعد عشرة أيام من المعاملة بمحلول السيلينيت NaHSeO_3 .

جدول 4-4: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى كلوروفيل a (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
3.7	3.9	3.4	3.7	سيطرة (هولاند)
3.7	3.8	3.6	3.6	1
3.9	4.0	3.9	3.7	5
3.5	3.0	3.7	3.7	10
3.1	3.9	3.7	1.8	20
3.4	3.6	3.9	2.7	30
3.1	3.2	3.0	3.2	40
	3.6	3.6	3.2	معدل مدة المعاملة
	0.484			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز
	0.433			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة
	0.968			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز*مدة المعاملة

4-2-2-4 - محتوى كلوروفيل b

حسب نتائج التحليل الاحصائي للجدول (4-5) التي تشير الى قيمة كلوروفيل b في نبات الخس المعامل بتركيز مختلفة من محلول NaHSeO_3 فان لجميع النتائج فروقا معنوية مقارنة بالسيطرة والتي تعتبر اقل قيمة (1.0 ملغم. غم⁻¹)، بينما سجلت اعلى قيمة لتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ (3.5 ملغم. غم⁻¹) وتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ (3.2 ملغم. غم⁻¹). لم تكن هنالك فروق معنوية بالنسبة لتأثير مدة المعاملة.

بالنسبة للتداخل الثنائي نلاحظ ان اعلى قيمة لمحتوى كلوروفيل b كانت لتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ (5.2 ملغم. غم⁻¹) في اليوم 20 من المعاملة ولتركيز 10 ملغم. لتر⁻¹ (3.7 ملغم. غم⁻¹) في اليوم العاشر من المعاملة، واقلها كانت 0.8 ملغم. غم⁻¹ للسيطرة في اليوم العشرون يوما من المعاملة.

جدول 4-5: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى كلوروفيل b (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
1.0	1.3	0.8	1.0	سيطرة (هوكلاندا)
2.0	2.9	1.4	1.8	1
3.2	3.1	3.2	3.3	5
3.2	2.6	2.7	3.7	10
3.5	3.2	5.2	2.1	20
2.3	2.6	2.1	2.2	30
1.6	1.2	1.4	2.3	40
	2.4	2.4	2.3	معدل مدة المعاملة
0.620			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز	
0.555 (N.S)			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة	
1.240			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز *مدة المعاملة	

4-2-3- محتو الكوروفيل الكلي

أظهرت نتائج الجدول (4-6) تأثير تركيز ومدة المعاملة للمركب NaHSeO_3 في محتوى الكلوروفيل الكلي حيث كانت قيم 1 و 5 و 10 و 20 و 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹ هي 5.7 و 7.1 و 6.5 و 6.6 و 5.7 و 4.8 ملغم. غم⁻¹ على التوالي مقارنة بالسيطرة (4.7 ملغم. غم⁻¹)، أعلى قيمة لمعدل التركيز سجلها التركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ (7.1 ملغم. غم⁻¹) مقارنة بالسيطرة التي تعتبر أقل قيمة (4.7 ملغم. غم⁻¹) وبنسبة ارتفاع بلغت 51%، جميع قيم التراكيز الأخرى تغلبت على السيطرة بعضها معنوي (10 و 20 ملغم. لتر⁻¹) والأخر غير معنوي (1 و 30 و 40 ملغم. لتر⁻¹). لم يكن لتأثير مدة المعاملة فرق معنوي.

أعلى قيمة لمحتوى الكلوروفيل الكلي للتداخل الثنائي كان بالتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ (8.9 ملغم. غم⁻¹) في اليوم 20 من المعاملة مقارنة بالسيطرة (4.2 ملغم. غم⁻¹)، بينما أقل قيمة لمحتوى الكلوروفيل الكلي كان لنفس التركيز (3.9 ملغم. غم⁻¹) في اليوم 10 من المعاملة.

جدول 4-6: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكلوروفيل الكلي (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
4.7	5.2	4.2	4.7	سيطرة (هوكلاندا)
5.7	6.7	4.9	5.4	1
7.1	7.1	7.1	7.0	5
6.5	5.7	6.4	7.4	10
6.6	7.1	8.9	3.9	20
5.7	6.1	6.1	4.9	30
4.8	4.3	4.4	5.6	40
	6.0	5.9	5.6	معدل مدة المعاملة
1.009			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز	
0.903 (N.S)			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة	
1.233			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة	

4-2-4- محتوى الكاروتينات

أعلى محتوى للكاروتينات كانت للتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ (1.49 ملغم. غم⁻¹) مقارنة بالسيطرة التي سجلت أدنى محتوى (1.19 ملغم. غم⁻¹) وبفرق معنوي كما مبينة بالجدول (4-7)، في حين ازداد محتوى الكاروتين بعد 20 يوما من المعاملة بالسيلينيوم وبزيادة معنوية عن المدة بعد 10 أيام من المعاملة ولم تكن هذه الزيادة معنوية عند مقارنتها مع المحتوى بعد 30 يوما من المعاملة.

من ناحية التداخل بين التركيز والمدة كان هناك تفاوت بالقيم بين الزيادة والنقصان وكان أعلى محتوى 1.5 ملغم. غم⁻¹ للتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ بعد 20 و30 يوما من المعاملة، وأدنى محتوى سجله التركيزين 20 و30 ملغم. لتر⁻¹ بعد 10 أيام من المعاملة.

جدول 4-7: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكاروتينات (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التركيز (ملغم. لتر ⁻¹) سيطرة (هولاند)
	المعدل			
1.2	1.2	1.1	1.2	1
1.3	1.4	1.3	1.2	5
1.5	1.5	1.5	1.5	10
1.3	1.1	1.4	1.4	20
1.3	1.5	1.5	1.0	30
1.2	1.3	1.3	1.0	40
1.2	1.1	1.4	1.1	
	1.3	1.4	1.2	معدل مدة المعاملة
	0.074			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز
	0.058			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة
	0.121			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز *مدة المعاملة

3-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO_3 في تقدير Malondialdehyde (MDA)

اشارت نتائج الجدول (4-8) الى ان محتوى MDA قد ارتفع بمختلف تراكيز سيلينيوم الصوديوم مقارنة بالسيطرة، كانت اعلى قيمة للتركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ (72.8 ملي مول. لتر⁻¹) وبنسبة زيادة 27% مقارنة بالسيطرة (57.3 ملي مول. لتر⁻¹). بينما تأثير مدة المعاملة لم يكن معنوياً في المديتين 10 و30 يوما بعد المعاملة وسجل ارتفاعا معنوياً في اليوم 30 من المعاملة.

اعلى قيمة لتأثير التركيز في مدة المعاملة (التداخل الثنائي) لمحتوى MDA كانت لتركيز 5 ملغم. لتر⁻¹ (88.9 ملي مول. لتر⁻¹) في اليوم 20 من المعاملة وبنسبة زيادة 42% مقارنة بالسيطرة التي سجلت 62.6 ملي مول. لتر⁻¹ لنفس المدة.

جدول 4-8: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى MDA (ملي مول. لتر⁻¹ وزن جاف)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
57.3	67.1	62.6	42.1	سيطرة (هولكلاند)
61.9	76.8	56.4	52.4	1
68.9	44.1	88.9	73.7	5
68.9	60.9	78.1	67.7	10
72.8	56.9	83.6	77.8	20
60.1	66.9	67.9	45.6	30
67.0	53.2	76.3	71.5	40
	60.9	73.4	61.5	معدل مدة المعاملة
	10.645			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز
	7.327			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة
	15.582			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز *مدة المعاملة

4-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO_3 في تقدير محتوى البروتين الكلي

يشير الجدول (4-9) الى نتائج محتوى البروتين في نبات الخس المعامل بتركيز مختلفة من sodium selenite حيث سجلت معظم التركيزات انخفاضا معنويا بقيمة البروتين مقارنة بالسيطرة. اعلى قيمة كانت لتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ (120.1 ملغم. غم⁻¹) وبزيادة غير معنوية مقارنة بالسيطرة، فيما كان لتركيز 10 ملغم. لتر⁻¹ (72.4 ملغم. غم⁻¹) اقل قيمة من محتوى البروتين ونسبة انخفاض 37.5% مقارنة بالسيطرة (115.9 ملغم. غم⁻¹). تغلبت مدة المعاملة في اليوم 30 معنويا على المعاملة في اليوم 10 واليوم 20.

لتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ اعلى قيمة من البروتين الكلي بالنسبة لتأثير التداخل الثنائي وبلغت 171.6 في اليوم 30 من المعاملة مقارنة بالسيطرة (162.3 ملغم. غم⁻¹) ولنفس اليوم، وقلل قيمة لنفس التركيز بعد 10 أيام من المعاملة مقارنة بالسيطرة (79.5 ملغم. غم⁻¹).

جدول 4-9: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى البروتين الكلي (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
	المعدل			سيطرة (هولكلاند)
115.9	162.3	105.9	79.5	1
111.9	171.6	99.3	64.7	5
88.2	110.7	89.0	64.9	10
72.4	67.4	82.8	66.9	20
78.9	79.9	75.9	80.9	30
89.2	86.1	88.7	92.7	40
120.1	153.8	80.5	125.9	معدل مدة المعاملة
	118.8	88.9	82.2	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	9.514			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	7.677			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز *مدة المعاملة
	14.451			

4-5- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO_3 في تقدير الكربوهيدرات

أظهرت نتائج الجدول (4-10) فروقا معنوية في محتوى الكربوهيدرات باختلاف التركيزات المدروسة، إذ انخفض محتوى الكربوهيدرات بزيادة التركيز وكان اقل محتوى (40.6 ملغم. غم⁻¹) عند التركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ مقارنة بالسيطرة (66.3 ملغم. غم⁻¹) بنسبة انخفاض بلغت 39.7%. اما بالنسبة لتأثير مدة المعاملة فلم تظهر فروقا معنوية.

وعند دراسة التداخل بين التركيز المستعمل ومدة المعاملة فقد سجل اعلى محتوى للكربوهيدرات في المعاملة بالتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم 30 بـ 107.1 ملغم. غم⁻¹ مقارنة ببقية المعاملات وبالسيطرة إذ كانت 60.7 ملغم. غم⁻¹. بينما كان محتوى الكربوهيدرات 34 ملغم. غم⁻¹ بعد 30 يوم من المعاملة بالتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ هو الأقل مقارنة ببقية المعاملات إذ كانت نسبة الانخفاض 48.7% مقارنة بمحتواه بالسيطرة بعد اليوم 30 (60.7 ملغم. غم⁻¹).

جدول 4-10: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO_3 في محتوى الكربوهيدرات (ملغم. غم⁻¹ وزن جاف)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
66.3	60.7	65.0	73.1	سيطرة (هولاند)
86.7	107.1	103.8	49.1	1
57.9	43.7	63.4	66.5	5
47.6	40.4	48.0	54.5	10
44.8	45.7	42.5	46.2	20
42.0	38.7	41.9	45.5	30
40.6	34.0	42.5	45.3	40
	52.9	58.2	54.3	معدل مدة المعاملة
	10.870			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز
	7.116 (N.S)			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير مدة المعاملة
	14.828			قيمة $\text{LSD}_{(0.05)}$ لتأثير التركيز *مدة المعاملة

4-6- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO_3 في تقدير محتوى البرولين

يوضح الجدول (4-11) محتوى البرولين الناتج من معاملة النبات بتركيز مختلفة من محلول السيلينيت والتي كان لها تأثير معنوي، ازدادت قيمة محتوى البرولين بزيادة التركيز. اعلى قيمة لمحتوى البرولين سجلت لتركيز 30 ملغم. لتر⁻¹ (67.1 مايكرو مول. غم⁻¹) مقارنة بالسيطرة (9.0 مايكرو مول. غم⁻¹)، بينما اقل قيمة كانت لتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ والتي بلغت 8.2 فقط وبنسبة انخفاض 8.89% عن السيطرة. كان لتأثير مدة المعاملة زيادة معنوية بزيادة المدة حيث بلغت اقصادها في اليوم 30 (54.7 مايكرو مول. غم⁻¹).

كان للتداخل بين التركيز ومدة المعاملة تأثير معنوي في بعض القيم حيث كانت اعلى قيمة لمحتوى البرولين لتركيز 30 ملغم. لتر⁻¹ (80.6 مايكرو مول. غم⁻¹) ولتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ (80.2 مايكرو مول. غم⁻¹) في اليوم 30 من المعاملة وبزيادة كبيرة مقارنة بالسيطرة (6.7 مايكرو

مول. غم⁻¹)، بينما اقل محتوى كان لتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ (7.1 مايكرو مول. غم⁻¹) في اليوم 20 من المعاملة وبنسبة زيادة 26% مقارنة بالسيطرة (9.6 مايكرو مول. غم⁻¹) لنفس المدة.

جدول 4-11: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في محتوى البرولين (مايكرو مول. غم⁻¹ وزن جاف)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة(يوم) التركيز (ملغم. لتر ⁻¹) سيطرة (هولاند)
9.0	6.7	9.6	10.7	1
8.2	7.3	7.1	10.3	5
50.2	78.5	59.9	12.3	10
51.3	61.7	63.3	28.9	20
58.1	68.3	66.8	39.2	30
67.1	80.6	69.5	51.2	40
58.7	80.2	56.7	39.1	معدل مدة لمعالملة
	54.7	47.6	27.4	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	10.752			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	7.400			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	13.623			

7-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO₃ في تقدير فعالية انزيم

الكاتليز Catalase

تشير نتائج الجدول (4-12) الى فعالية انزيم الكاتليز إذ كان للتركيز المستعمل تأثير معنوي، اذ ازدادت فعالية الانزيم بزيادة التركيز التي تكاد تكون طردية وسجلت اعلى فعالية عند التركيز 10 ملغم. لتر⁻¹ بفعالية 74.6 KU. L⁻¹ مقارنة بالسيطرة بفعالية 45.1 KU. L⁻¹ أي بنسبة زيادة 65.4%.

بينما تأثير مدة المعاملة كان غير معنوي في فعالية الانزيم بين المديتين 10 و20 يوما بعد المعاملة وسجل انخفاضاً معنوياً بالفعالية بعد اليوم 30 من المعاملة.

كما كان للتداخل بين التركيز ومدة المعاملة تأثير معنوي في الفعالية وكانت اعلى فعالية في التركيز 10 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم 20 بعد المعاملة واقل فعالية في التركيز 20 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم 30 من المعاملة.

جدول 4-12: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في فعالية إنزيم الكاتليز Catalase (KU. L⁻¹) وزن طري.

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التركيز (ملغم. لتر ⁻¹) سيطرة (هولاند)
45.1	51.8	41.5	42.1	1
52.9	63.9	55.3	39.7	5
71.2	61.1	71.6	80.8	10
74.6	61.2	100.6	62.1	20
54.6	36.2	71.5	56.2	30
68.9	37.6	70.3	98.9	40
73.1	61.8	78.8	78.6	معدل مدة المعاملة
	49.7	74.7	72.0	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	11.787			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	7.582			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	17.574			

8-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO₃ في فعالية Superoxide dismutase (SOD)

سببت معظم المعاملات بتركيز سيلينيت الصوديوم ارتفاعا معنويا في فعالية SOD عند المقارنة بالسيطرة جدول (4-13)، إذ اعطت اعلى فعالية للتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ وبلغت 78.3 U.ml⁻¹ مقارنة بالسيطرة والتي كانت اقل فعالية (71.5 U.ml⁻¹) وبنسبة ارتفاع 9.5%، اما مدة المعاملة فلم يكن تأثيرها معنوياً.

اما بالنسبة للتداخل بين مدة المعاملة والفعالية فكانت اعلى فعالية SOD في التركيز 10 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم العاشر من المعاملة وفعالية 80.6 U.ml⁻¹ وازيادة نسبتها 25.3% مقارنة بالسيطرة (64.3 U.ml⁻¹). وان اقل فعالية كانت للسيطرة في اليوم العاشر من المعاملة والتركيز 30 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم العشرين من المعاملة بفعالية بلغت 71.7.

جدول 4-13: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في فعالية Superoxide dismutase (SOD) (U.ml⁻¹) وزن طري.

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
	المعدل			سيطرة (هولكلاند)
71.5	74.7	75.5	64.3	1
78.3	77.7	78.8	78.5	5
76.6	74.2	77.5	78.5	10
78.2	76.7	77.4	80.6	20
77.8	76.1	78.7	78.9	30
74.3	75.9	71.7	74.5	40
77.6	77.6	78.1	77.1	معدل مدة المعاملة
	76.2	77.2	77.1	
	1.971			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	1.394 (N.S)			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	4.828			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة

4-9- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO₃ في تقدير فعالية انزيم

Glutathione peroxidase (GPx)

يظهر الجدول (4-14) قيم فعالية انزيم GPX الناتجة عن المعاملة بتركيز مختلفة لمركب NaHSeO₃، سجلت اعلى فعالية 9.6 U. g⁻¹ لتر⁻¹ و 9.1 U. g⁻¹ لتر⁻¹ 30 ملغم. لتر⁻¹ وازيادة معنوية عن السيطرة (5.8 U. g⁻¹)، بينما اقل فعالية كانت لتركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ وبنسبة انخفاض 6.9% عن السيطرة. اما مدة المعاملة فلم يكن تأثيرها معنويا.

اعلى قيمة لفعالية GPX من ناحية التداخل الثنائي كانت للتركيز 30 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم
الثلاثين من المعاملة مقارنة بالسيطرة التي كانت اقل فعالية (3.4 U. g⁻¹).

جدول 4-14: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في فعالية انزيم Glutathione peroxidase (GPX) (U.g⁻¹) وزن طري.

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
المعدل				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
5.8	3.4	5.4	8.5	سيطرة (هولكلاند)
5.4	4.1	5.9	6.3	1
6.6	6.7	6.8	6.4	5
7.4	6.7	6.3	9.2	10
7.1	8.0	6.8	6.4	20
9.1	11.4	9.1	6.8	30
9.6	9.3	9.0	10.4	40
	7.1	7.0	7.7	معدل مدة المعاملة
1.846			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز	
1.270 (N.S)			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة	
3.197			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة	

4-10- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO₃ في تقدير محتوى الكلوتاثيون

يشير الجدول (4-15) الى نتائج التحليل الاحصائي الخاص بتقدير محتوى الكلوتاثيون في نبات الخس اثناء المعاملة بمركب NaHSeO₃ حيث تغلب تركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ (11.7 ملغم. غم⁻¹) معنويا مقارنة بالسيطرة (10.7 ملغم. غم⁻¹)، اقل قيمة لمحتوى GSH كانت للتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ (9.3 ملغم. غم⁻¹) بنسبة انخفاض 13.01% مقارنة بالسيطرة. تغلبت مدة المعاملة في اليوم العاشر (11.7 ملغم. غم⁻¹) معنويا على المدتين 20 و30 يوما والذي لم يكن الفرق بينهما معنويا عند اقل فرق معنوي LSD.

سجلت اعلى قيمة لمحتوى الكلوتاثيون (التداخل الثنائي بين التركيز ومدة المعاملة) في الجدول (19) 12.2 ملغم. غم⁻¹ لتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ في اليوم 10 من المعاملة بنسبة ارتفاع 6.1% مقارنة بالسيطرة (11.5 ملغم. غم⁻¹)، واقلها لنفس التركيز في اليوم 30 من المعاملة بنسبة انخفاض 47.8% مقارنة بالسيطرة.

جدول 4-15: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في محتوى الكلوتاثيون (ملغم. غم⁻¹ وزن طري)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم)
				التركيز (ملغم. لتر ⁻¹)
				سيطرة (هولاند)
10.7	11.7	9.0	11.5	1
11.7	12.0	11.5	11.8	5
10.3	9.6	10.2	11.2	10
10.6	9.8	10.0	11.9	20
9.7	8.0	9.6	11.5	30
9.8	7.9	9.5	11.9	40
9.3	6.1	9.6	12.2	معدل مدة المعاملة
	9.2	9.9	11.7	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	0.922			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	0.652			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	2.259			

11-4- تأثير معاملة النبات بتركيز مختلفة من NaHSeO₃ في محتوى السيلينيوم

يظهر الجدول (4-16) محتوى السيلينيوم في نبات الخس المعاملة بتركيز مختلفة من sodium biselenite إذ ازداد محتوى السيلينيوم بالأوراق زيادة معنوية لجميع المعاملات مقارنة بالسيطرة، كانت اعلى قيمة لمحتوى السيلينيوم بالتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ (41.92 ملغم. كغم⁻¹) مقارنة بالسيطرة والتي سجلت اقل محتوى (2.5 ملغم. كغم⁻¹).

بالنسبة لتأثير مدة المعاملة فأن المدة 30 يوم من المعاملة تغلبت معنوياً على المديتين 10

و20 يوم.

اعلى قيمة للتداخل بين المدة والتركيز كانت للتركيز 40 ملغم. لتر⁻¹ وبمقدار 56.1 ملغم. كغم⁻¹ في اليوم الثلاثين من المعاملة مقارنة بالسيطرة والتي سجلت 0.5 ملغم. كغم⁻¹ فقط. واقل قيمة بعد السيطرة سجلها التركيز 1 ملغم. لتر⁻¹ (6.2 ملغم. كغم⁻¹) بعد 10 أيام من المعاملة.

جدول 4-16: تأثير تركيز ومدة المعاملة لمركب NaHSeO₃ في السلينيوم (ملغم. كغم⁻¹ وزن جاف)

معدل التركيز	30 يوم	20 يوم	10 أيام	مدة المعاملة (يوم) التركييز (ملغم. لتر ⁻¹) سيطرة (هولاند)
2.5	0.5	4.6	2.5	1
13.3	23.8	9.9	6.2	5
24.1	31.3	25.1	15.9	10
31.4	46.1	31.8	16.2	20
25.7	41.6	14.7	20.9	30
32.7	38.0	36.5	23.5	40
41.9	56.1	35.3	34.4	معدل مدة المعاملة
	33.9	22.9	17.1	قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز
	10.701			قيمة LSD _(0.05) لتأثير مدة المعاملة
	6.741			قيمة LSD _(0.05) لتأثير التركيز*مدة المعاملة
	15.999			

الاستنتاجات

- 1- التراكيز الواطئة من السيلينيوم (1 ملغم. لتر⁻¹) تحفز نمو نبات الخس وكذلك لها تأثير إيجابي في محتوى الكربوهيدرات وMDA والبرولين وGPx والكلوتاثيون.
- 2- سببت تراكيز السيلينيوم الأكثر من 1 ملغم. لتر⁻¹ انخفاضاً معنوياً في الوزن الطري والجاف للأوراق وكذلك النسبة المئوية للمحتوى الرطوبي.
- 3- معظم التراكيز لم تتأثر معنوياً بالمدة بعد 10 أيام من المعاملة ولكنها بدأت بالارتفاع او الانخفاض معنوياً بزيادة مدة المعاملة.

التوصيات

- 1- اجراء المزيد من الدراسات حول إضافة السيلينيوم باستخدام تراكيز اقل من المستعملة في الدراسة لغرض الوصول الى التركيز الامثل.
- 2- استعمال السيلينيوم بشكلين السيلينات SeO_4 والسيلينيت SeO_3 معا كدراسة مقارنة.
- 3- دراسة الصفات التشريحية والجزئية لنبات الخس المعامل المعاملة بالسيلينيوم.

المصادر العربية

- عبد الكاظم، احمد جميل. (2013). دور الكبريت والالفا توكوفيرول في إزالة سمية سيلينيوم بدلالة تكوين الجذور العرضية في عقل الماش. جامعة بابل/ كلية العلوم/ قسم علوم الحياة ص7.
- الربيعي، باقر جلاب هادي. (2021). المعادن الثقيلة وتأثيرها على النبات. جامعة المثنى/ كلية الزراعة. ج1. الطبعة 1. ص578-577
- محمود، خالد صلاح الدين طه. (2018). الزراعة المائية لمحاصيل الخضر ودورها المتوقع في تحسين نسبة الاكتفاء الذاتي من اهم المحاصيل الاستراتيجية في مصر. مجلة اتحاد الجامعات العربية للعلوم الزراعية , (1)26 , 35-52.
- البياتي، حسين جواد وطالب، زينب خالد (2017). تاثير تغطية التربة والتسميد العضوي في نمو وحاصل الخس (*Lactuca sativa* L.). مجلة الفرات للعلوم الزراعية، مجلد 9 (العدد 4-ملحق 1).

المصادر الانكليزية

- Abrams, M. M., Shennan, C., Zasoski, R. J., & Burau, R. G. (1990). Selenomethionine uptake by wheat seedlings. *Agronomy Journal*, 82(6), 1127-1130.
- Ahmed, Z. F., Alnuaimi, A. K., Askri, A., & Tzortzakis, N. (2021). Evaluation of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) production under hydroponic system: Nutrient solution derived from fish waste vs. Inorganic nutrient solution. *Horticulturae*, 7(9), 292.
- Al-Ajmi, A., Al-Karaki, G. & Othman, Y. (2009). Effect of different substrates on fruit yield and quality of cherry tomato grown in a closed soilless system. *Acta Hort.*, 807: 491–494.
- Ali, W., Zhang, H., Junaid, M., Mao, K., Xu, N., Chang, C., ... & Yang, Z. (2021). Insights into the mechanisms of arsenic-selenium interactions and the associated toxicity in plants, animals, and humans: A critical review. *Critical reviews in environmental science and technology*, 51(7), 704-750.
- Al-Tameemi, H. J., Yassen, M. M., & Al-Amiri, N. J. (2016). Forms of selenium in some southern Iraqi Calcareous soils. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 2(4), 767-760.
- Altunkaya, A., Becker, E. M., Gökmen, V., & Skibsted, L. H. (2009). Antioxidant activity of lettuce extract (*Lactuca sativa*) and synergism with added phenolic antioxidants. *Food Chemistry*, 115(1), 163-168.
- Alves, L. R., Rossatto, D. R., Rossi, M. L., Martinelli, A. P., & Gratão, P. L. (2020). Selenium improves photosynthesis and induces ultrastructural changes but does not alleviate cadmium-stress damages in tomato plants. *Protoplasma*, 257, 597-605.

- Amin, A. S., & Zareh, M. N. (1996). Xylenol orange as a new reagent for the colorimetric determination of selenium and tellurium. *Analytical letters*, 29(12), 2177-2189.
- Arumugam, T., Sandeep, G., & Maheswari, M. U. (2021). Soilless farming of vegetable crops: An overview.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil*, 39(1), 205-207.
- Bishop, M. C., & Dben-von Laufer, J. C. Fody, E. p., and thirty three contributors.(1985). *Clinical Chemistry Principles, Procedures and Correlations*, 181-182.
- Boldrin, P. F., de Figueiredo, M. A., Yang, Y., Luo, H., Giri, S., Hart, J. J., ... & Li, L. (2016). Selenium promotes sulfur accumulation and plant growth in wheat (*Triticum aestivum*). *Physiologia Plantarum*, 158(1), 80-91.
- Boodley JW, Sheldrakejr R. (1977). "Cornell peatlite mixes for commercial plant growing." Informational Bulletin 43. New York State College of Agriculture and Life Sciences.
- Boukema, I. W., Hazekamp, T., & van Hintum, T. J. (1990). The CGN collection reviews: The CGN lettuce collection. Centre for genetic resources, Wageningen, Netherlands, 2-5.
- Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A., Lenzi, A., (2016). Yield and quality of basil, swiss chard, and rocket micro greens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45 (2), 119-129.
- Cifuentes-Torres, L., Mendoza-Espinosa, L. G., Correa-Reyes, G., & Daesslé, L. W. (2021). Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities. *Water and Environment Journal*, 35(1), 166-180.

- da Cruz Ferreira, R. L., de Mello Prado, R., de Souza Junior, J. P., Gratao, P. L., Tezotto, T., & Cruz, F. J. R. (2020). Oxidative stress, nutritional disorders, and gas exchange in lettuce plants subjected to two selenium sources. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20, 1215-1228.
- Diao, Y., Xu, H., Li, G., Yu, A., Yu, X., Hu, W., ... & Hu, Z. (2014). Cloning a glutathione peroxidase gene from *Nelumbo nucifera* and enhanced salt tolerance by overexpressing in rice. *Molecular biology reports*, 41, 4919-4927.
- Djanaguiraman, M., Devi, D. D., Shanker, A. K., Sheeba, J. A., & Bangarusamy, U. (2005). Selenium—an antioxidative protectant in soybean during senescence. *Plant and Soil*, 272, 77-86.
- Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P. and Nixdorf, S.L. (2012). Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84: 53-61.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Dubreuil-Maurizi, C., & Poinssot, B. (2012). Role of glutathione in plant signaling under biotic stress. *Plant signaling & behavior*, 7(2), 210-212.
- Duc, M., Lefevre, G., Fedoroff, M., Jeanjean, J., Rouchaud, J. C., Monteil-Rivera, F., ... & Milonjic, S. (2003). Sorption of selenium anionic species on apatites and iron oxides from aqueous solutions. *Journal of environmental radioactivity*, 70(1-2), 61-72.
- El-Behairy, U. A. A. (2015). Simple Substrate Culture in Arid Lands. In (Ed.), *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*. IntechOpen.

- Elkhatib, H., Gabr, S. M., & Elazomy, A. A. (2021). Salt stress relief and growth-promoting effect of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* L.) by glutathione, selenium, and humic acid application. *Alexandria Science Exchange Journal*, 42(3), 583-608.
- Ellman, G. L. (1959). Tissue sulfhydryl groups. *Archives of biochemistry and biophysics*, 82(1), 70-77.
- Fan, R., Yang, X., Xie, H., & Reeb, M. A. (2012). Determination of nutrients in hydroponic solutions using mid-infrared spectroscopy. *Scientia horticulturae*, 144, 48-54.
- Fargasova, A. (2004). Toxicity comparison of some possible toxic metals (Cd, Cu, Pb, Se, Zn) on young seedlings of *Sinapis alba* L. *Plant Soil and Environment*, 50(1), 33-38.
- Flohé, L., & Günzler, W. A. (1984). [12] Assays of glutathione peroxidase. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 114-120). Academic Press.
- Foyer, C. H., & Noctor, G. (2011). Ascorbate and glutathione: the heart of the redox hub. *Plant physiology*, 155(1), 2-18.
- Foyer, C. H., Lelandais, M., & Kunert, K. J. (1994). Photooxidative stress in plants.
- Fussy, A., & Papenbrock, J. (2022). An overview of soil and soilless cultivation techniques—chances, challenges and the neglected question of sustainability. *Plants*, 11(9), 1153.
- Gaikwad, D. J., & Maitra, S. (2020). Hydroponics Cultivation of Crops. *Protected Cultivation and Smart Agriculture*, 283-284.
- George, P., & George, N. (2016). Hydroponics- (Soilless Cultivation of Plants) For Biodiversity Conservation. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Science*, 3(6), 97-104.

- Ghatage, S. M., Done, S. R., Akhtar, S., Jadhav, S., & Havaragi, R. E. V. A. N. A. S. I. D. D. A. P. P. A. (2019). A Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *International Research Journal of Engineering and Technology*, June, 1279.
- Gupta, M., & Gupta, S. (2017). An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in plant science*, 7, 2074.
- Hadwan, M. H., & Abed, H. N. (2016). Data supporting the spectrophotometric method for the estimation of catalase activity. *Data in brief*, 6, 194-199.
- Hajiboland, R., & Amjad, L. (2007). Does antioxidant capacity of leaves play a role in growth response to selenium at different sulfur nutritional status?. *Plant Soil and Environment*, 53(5), 207.
- Hamilton, S. J. (2004). Review of selenium toxicity in the aquatic food chain. *Science of the total environment*, 326(1-3), 1-31.
- Harris, J., Schneberg, K. A., & Pilon-Smits, E. A. (2014). Sulfur–selenium–molybdenum interactions distinguish selenium hyperaccumulator *Stanleya pinnata* from non-hyperaccumulator *Brassica juncea* (Brassicaceae). *Planta*, 239(2), 479-491.
- Hartikainen, H., & Xue, T. (1999). The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation (1372-1375). *American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America*.
- Hartikainen, H., Ekholm, P., Piironen, V., Xue, T., Koivu, T., & Yli-Halla, M. (1997). Quality of the ryegrass and lettuce yields as affected by selenium fertilization. *Agricultural and Food Science*, 6(5-6), 381-387.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Al Mahmud, J., ... & Fujita, M. (2020).

- Selenium in plants: Boon or bane?. *Environmental and Experimental Botany*, 178, 104170.
- Hawrylak-Nowak, B. (2013). Comparative effects of selenite and selenate on growth and selenium accumulation in lettuce plants under hydroponic conditions. *Plant Growth Regulation*, 70, 149-157.
- Hawrylak-Nowak, B. (2015). Selenite is more efficient than selenate in alleviation of salt stress in lettuce plants. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 57(2).
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California agricultural experiment station, 347(2nd edit).
- Hussain, A., Iqbal, K., Aziem, S., Mahato, P., & Negi, A. K. (2014). A review on the science of growing crops without soil (soilless culture)-a novel alternative for growing crops. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(11), 833.
- Islam, T., Manna, M., Kaul, T., Pandey, S., Reddy, C. S., & Reddy, M. K. (2015). Genome-wide dissection of Arabidopsis and rice for the identification and expression analysis of glutathione peroxidases reveals their stress-specific and overlapping response patterns. *Plant molecular biology reporter*, 33, 1413-1427.
- Jones, B. (2005). *Hydroponics A practical Guide for the Soilless Grower*. J. Chem. Inf. Model. Florida: CRC Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Kaur, N., Sharma, S., Kaur, S., & Nayyar, H. (2014). Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops?. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(12), 1593-1624.
- Khalofah, A., Migdadi, H., & El-Harty, E. (2021). Antioxidant enzymatic activities and growth response of quinoa

- (Chenopodium quinoa willd) to exogenous selenium application. *Plants*, 10(4): 719.
- Kushwaha, A., Goswami, L., Lee, J., Sonne, C., Brown, R. J., & Kim, K. H. (2022). Selenium in soil-microbe-plant systems: Sources, distribution, toxicity, tolerance, and detoxification. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 52(13), 2383-2420.
- Leija-Martínez, P., Benavides-Mendoza, A., Cabrera-De La Fuente, M., Robledo-Olivo, A., Ortega-Ortíz, H., Sandoval-Rangel, A., & González-Morales, S. (2018). Lettuce biofortification with selenium in chitosan-polyacrylic acid complexes. *Agronomy*, 8(12), 275.
- Li, H. F., McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2008). Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New phytologist*, 178(1), 92-102.
- Li, Y., Xiao, Y., Hao, J., Fan, S., Dong, R., Zeng, H., ... & Han, Y. (2022). Effects of selenate and selenite on selenium accumulation and speciation in lettuce. *Plant Physiology and Biochemistry*, 192, 162-171.
- Lichtenthaler, H. K., & Wellburn, A. R. (1983). Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents.
- López-Gutiérrez, M. D. L., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortíz, H., Valdez-Aguilar, L. A., & Sandoval-Rangel, A. (2015). Selenium and its effect on antioxidant status and mineral composition of lettuce. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(SPE12), 2257-2262.
- Marklund, S., & Marklund, G. (1974). Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient

- assay for superoxide dismutase. *European journal of biochemistry*, 47(3), 469-474.
- Matamoros, M. A., Saiz, A., Peñuelas, M., Bustos-Sanmamed, P., Mulet, J. M., Barja, M. V., ... & Becana, M. (2015). Function of glutathione peroxidases in legume root nodules. *Journal of Experimental Botany*, 66(10), 2979-2990.
- Maya Waiba, K., Sharma, P., Sharma, A., Chadha, S., Kaur, M., & Author, C. (2020). Soil-less vegetable cultivation: A review. ~ 631 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1).
- Molnárová, M., Fargašová, A. (2009) Se (IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapi's alba* L., *Brassica napus* L.). *Journal of Hazardous Materials* 172, 854-861.
- Mora, M. D. L. L., Pinilla, L., Rosas, A., & Cartes, P. (2008). Selenium uptake and its influence on the antioxidative system of white clover as affected by lime and phosphorus fertilization. *Plant and Soil*, 303, 139-149.
- Mostofa, M. G., Hossain, M. A., Siddiqui, M. N., Fujita, M., & Tran, L. S. P. (2017). Phenotypical, physiological and biochemical analyses provide insight into selenium-induced phytotoxicity in rice plants. *Chemosphere*, 178, 212-223.
- Mou, B. (2012). Nutritional quality of lettuce. *Current nutrition & Food science*, 8(3), 177-187.
- Muñoz, P., & Munné-Bosch, S. (2018). Photo-oxidative stress during leaf, flower and fruit development. *Plant Physiology*, 176(2), 1004-1014.
- Nabi, S., Fayaz, N., Rather, S. A., & Ahmad, A. (2022). Hydroponics: Environmentally sustainable practice in the agricultural system, p:210

- Nandi, A., Yan, L. J., Jana, C. K., & Das, N. (2019). Role of catalase in oxidative stress-and age-associated degenerative diseases. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2019.
- Neuhierl, B., & Böck, A. (1996). On the mechanism of selenium tolerance in selenium-accumulating plants. Purification and characterization of a specific selenocysteine methyltransferase from cultured cells of *Astragalus bisculatus*. *European journal of biochemistry*, 239(1), 235–238.
- Nielsen, C.J., Ferrin, D.M. and Stanghellini, M.E. (2006). Efficacy of biosurfactants in the management of *Phytophthora capsici* on pepper in recirculating hydroponic systems. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 28(3): 450-460.
- Ohno, M., Uraji, M., Shimoishi, Y., Mori, I. C., Nakamura, Y., & Murata, Y. (2012). Mechanisms of the selenium tolerance of the *Arabidopsis thaliana* knockout mutant of sulfate transporter SULTR1; 2. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 76(5), 993-998.
- Olympios, C. M. (1993, March). Soilless media under protected cultivation rockwool, peat, perlite and other substrates. In *Symposium on Soil and Soilless Media under Protected Cultivation in Mild Winter Climates* 323 (pp. 215-234).
- Othman, Y., Bataineh, K., Al-Ajlouni, M., Alsmairat, N., Ayad, J., Shiyab, S., ... & St Hilaire, R. (2019). Soilless culture: Management of growing substrate, water, nutrient, salinity, microorganism and product quality. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(4), 3249-3260.
- Palma, J. M., Mateos, R. M., López-Jaramillo, J., Rodríguez-Ruiz, M., González-Gordo, S., Lechuga-Sancho, A. M., & Corpas, F. J.

- (2020). Plant catalases as NO and H₂S targets. *Redox Biology*, 34, 101525.
- Pan, S. M., & Yau, Y. Y. (1992). Characterization of superoxide dismutase in *Arabidopsis*. *Taiwania*, 37(1), 58-66.
- Papadopoulos A. P., Bar-Tal A., Silber A., et. al. (2008). Inorganic and synthetic organic components of soilless culture and potting mixes. *Soilless culture, Theory and Practices*. Elsevier Science, Amsterdam. 505-543.
- Pennanen, A., Xue, T. L., & Hartikainen, H. (2002). Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. *Journal of applied botany*, 76(1-2), 66-76.
- Pilon-Smits, E. A. (2019). On the ecology of selenium accumulation in plants. *Plants*, 8(7), 197.
- Pilon-Smits, E. A., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., & Schiavon, M. (2009). Physiological functions of beneficial elements. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 267-274.
- Pomoni, D. I., Koukou, M. K., Vrachopoulos, M. G., & Vasiliadis, L. (2023). A Review of Hydroponics and Conventional Agriculture Based on Energy and Water Consumption, Environmental Impact, and Land Use. *Energies*, 16(4), 1690.
- Rajput, V. D., Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., Meena, M., ... & Mandzhieva, S. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10(4), 267.
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., ... & Oliveira, C. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant, Soil and Environment*, 56(12), 584-588.

- Rao, S., Xiao, X., Wang, Y., Xiong, Y., Cheng, H., Li, L., & Cheng, S. (2022). Comparative study of the effects of selenium nanoparticles and selenite on selenium content and nutrient quality in soybean sprouts. *Folia Horticulturae*.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis. Hydroponic production of vegetables and ornamentals, 25-105.
- Raza, A., Salehi, H., Rahman, M. A., Zahid, Z., Madadkar Haghjou, M., Najafi-Kakavand, S., ... & Zhuang, W. (2022). Plant hormones and neurotransmitter interactions mediate antioxidant defenses under induced oxidative stress in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13.
- Ríos, J. J., Blasco, B., Cervilla, L. M., Rosales, M. A., Sanchez-Rodriguez, E., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2009). Production and detoxification of H₂O₂ in lettuce plants exposed to selenium. *Annals of Applied Biology*, 154(1), 107-116.
- Ríos, J. J., Rosales, M. A., Blasco, B., Cervilla, L. M., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2008). Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 248-255.
- ROSENFELD, I., & BEATH, O. A. (1964). SELENIUM: GEOBOTANY, BIOCHEMISTRY, TOXICITY, and NUTRITION. ACADEMIC PRESS (LONDON) LTD.
- Rouphael, Y. and Colla, G. (2005). Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 105 (2): 177-195.

- Schiavon, M., & Pilon-Smits, E. A. (2017). The fascinating facets of plant selenium accumulation—biochemistry, physiology, evolution and ecology. *New Phytologist*, 213(4), 1582-1596.
- Shanker, A. K. (2006). Countering UV-B stress in plants: does selenium have a role?. *Plant and Soil*, 282(1-2), 21-26.
- Sharma, S., Bansal, A., Dhillon, S. K., & Dhillon, K. S. (2010). Comparative effects of selenate and selenite on growth and biochemical composition of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil*, 329, 339-348.
- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Emran, T. B., Khan, Z., ... & Suleria, H. A. (2022). Phytochemicals, Nutrition, Metabolism, Bioavailability, and Health Benefits in Lettuce—A Comprehensive Review. *Antioxidants*, 11(6), 1158.
- Shrestha, A., & Dunn, B. (2013). Hydroponics. Oklahoma Cooperative Extension Service, Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources.
- Skrypnik, L., Styran, T., Savina, T., & Golubkina, N. (2021). Effect of selenium application and growth stage at harvest on hydrophilic and lipophilic antioxidants in lamb's lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr.). *Plants*, 10(12), 2733.
- Sofa, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., & Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 13561-13578.
- Sors, T. G., Ellis, D. R., & Salt, D. E. (2005). Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis research*, 86(3), 373–389. <https://doi.org/10.1007/s11120-005-5222-9>

- Stadtman, T. C. (1990). Selenium biochemistry. Annual review of biochemistry, 59(1), 111-127.
- Sutulienė, R., Laužikė, K., Pukas, T., & Samuolienė, G. (2022). Effect of light intensity on the growth and antioxidant activity of sweet basil and lettuce. Plants, 11(13), 1709.
- Terry, N., Zayed, A. M., De Souza, M. P., & Tarun, A. S. (2000). Selenium in higher plants. Annual review of plant biology, 51(1), 401-432.
- Tsioubri, M., Gasparatos, D., & Economou-Eliopoulos, M. (2020). Selenium uptake by lettuce (*Lactuca sativa* L.) and berseem (*Trifolium alexandrinum* L.) as affected by the application of sodium selenate, soil acidity and organic matter content. Plants, 9(5), 605.
- Turakainen, M., Hartikainen, H., & Seppänen, M. M. (2004). Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch. Journal of agricultural and food chemistry, 52(17), 5378-5382.
- Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium-and Small-Scale Operations. Agriculture, 12(5), 646.
- Wang, W., Xia, M. X., Chen, J., Yuan, R., Deng, F. N., & Shen, F. F. (2016). Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxide dismutase and its physiological roles in plants under stress. Biochemistry (Moscow), 81, 465-480.
- White, P. J. (2018). Selenium metabolism in plants. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 1862(11), 2333-2342.
- Winkel, L. H., Vriens, B., Jones, G. D., Schneider, L. S., Pilon-Smits, E., & Bañuelos, G. S. (2015). Selenium cycling across soil-plant-

- atmosphere interfaces: a critical review. *Nutrients*, 7(6), 4199-4239.
- Winkel, L. H., Johnson, C. A., Lenz, M., Grundl, T., Leupin, O. X., Amini, M., & Charlet, L. (2012). Environmental selenium research: from microscopic processes to global understanding.
- Wrzaczek, M., Brosché, M., & Kangasjärvi, J. (2013). ROS signaling loops—production, perception, regulation. *Current opinion in plant biology*, 16(5), 575-582.
- Xie, X., He, Z., Chen, N., Tang, Z., Wang, Q., & Cai, Y. (2019). The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. *BioMed research international*, 2019.
- Wu, Z., Yuan, L., Sun, C., Xu, X., Shi, W., Han, L., & Wu, C. (2023). Effects of selenite on the responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to polystyrene nano-plastic stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 262, 115138.
- Xue, T., Hartikainen, H., & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and soil*, 237, 55-61.
- Yin, H., Qi, Z., Li, M., Ahammed, G. J., Chu, X., & Zhou, J. (2019). Selenium forms and methods of application differentially modulate plant growth, photosynthesis, stress tolerance, selenium content and speciation in *Oryza sativa* L. *Ecotoxicology and environmental safety*, 169, 911-917.
- Zacheo, G., Cappello, M. S., Gallo, A., Santino, A., & Cappello, A. R. (2000). Changes associated with post-harvest ageing in almond seeds. *LWT-Food Science and Technology*, 33(6), 415-423.
- Zafeiriou, I., Gasparatos, D., Ioannou, D., Kalderis, D., & Massas, I. (2022). Selenium biofortification of lettuce plants (*Lactuca sativa*

- L.) as affected by Se species, Se rate, and a biochar co-application in a calcareous soil. *Agronomy*, 12(1), 131.
- Zhang, Z., Gao, S., & Shan, C. (2020). Effects of sodium selenite on the antioxidant capacity and the fruit yield and quality of strawberry under cadmium stress. *Scientia Horticulturae*, 260, 108876.
- Zheng, S., Sun, G., & Tang, Y. (2018). Effects of Different Selenium Concentrations on Eco-Physiology of *Lactuca sativa*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 199, No. 3, p. 032013). IOP Publishing.
- Zhou, Y., Hu, L., Ye, S., Jiang, L., & Liu, S. (2018a). Genome-wide identification of glutathione peroxidase (GPX) gene family and their response to abiotic stress in cucumber. *3 Biotech*, 8, 1-11.
- Zhou, F., Yang, W., Wang, M., Miao, Y., Cui, Z., Li, Z., & Liang, D. (2018b). Effects of selenium application on Se content and speciation in *Lentinula edodes*. *Food Chemistry*, 265, 182-188.