Menoufia Journal of Plant Protection

https:// mjpam.journals.ekb.eg/

Title of Thesis	**:**	Physiological Response of Some Plants grown in Soil Supplemented With Sewage Sludge to Magnetic Technique.
Name of Applicant	**:**	Aya Said Abdallah Mohamed Bader
Scientific Degree	**:**	M. Sc.
Department	**:**	Agricultural Botany
Field of study	**:**	Plant Pathology
Date of Conferment	**:**	Jan. 15, 2025
Supervision Committee:		
- Dr. A. H. Selim	:	Prof. of Pesticides, Fac. of Agric., Menoufia Univ.
- Dr. A. E. Moftah	:	Prof. of Pesticides, Fac. of Agric., Menoufia Univ.

SUMMARY

Two experiments were carried out in a greenhouse at the Experimental Farm of Faculty of Agriculture, Minufiya University, Shibin El-Kom, Egypt during the two growing seasons of 2021 and 2022 to study the influence of dried sewage rates [0, 5, 10 and 20% (w/sewage: soil)], irrigation with magnetized water and their interactions on some vegetative growth parameters, plant water relations and membrane stability (permeability), photosynthetic pigments, some biochemical compositions i.e. (total soluble sugars, total protein, total free amino acids, proline, activity of some enzymes, some nutrient minerals, yield and its components of cowpea (*Vigna unguiculata subs. punguiculata* L. cv. Giza7) and rocket (*Eruca sativa* L.) plants as well as behavior some heavy metals and their effect on human health. Plant samples were taken after 40 and 60 days from sowing.

The obtained results could be summarized in the following:

1. Vegetative Growth parameters:

1.1. Sewage sludge application at different rates significantly increased the plant height, leaf area, relative growth rate, and fresh and dry weight of root, shoot, and whole cowpea and rocket plants.

1.1.1. The root length of cowpea plants was found to decrease in general with increasing the concentration of sewage sludge (SS) compared to the control plants in both seasons. Meanwhile, the root length of rocket plants was significantly increased at the low concentration of SS (5%) in both two ages and two seasons but significantly decreased in general at the concentrations of 10 and 20% compared to the control plants.

1.1.2. The net assimilation rate (NAR) of cowpea plants was significantly decreased at all SS levels. On the other hand, the NAR of rocket plants was significantly increased when the plants supplemented with SS at all levels (5, 10, and 20%) by about 108.2, 153.1 and 110.2% in the 1st season, by 48, 114.1 and 91.8% in the 2nd one, respectively. This means that rocket plants responded very positively to sewage sludge applications.

1.2. Compared to control plants, all growth parameters of cowpea and rocket plants were enhanced by irrigation with magnetized water.

1.3. Using magnetic water significantly increased all growth parameters of both plants grown in sewage sludge amended soil, i.e.,

1.3.1. The maximum increase (%) in dry weights of the root, stem, leaves, and whole cowpea plant was recorded by the magnetized water interacted with 20% SS (153%) in the root, with 10% SS (108%) in the stem, with 20% SS (138%) in leaves and with 10% SS (94%) in the whole plant. Meanwhile, the maximum increase (%) in dry weights of the root, shoot, and whole rocket plant was achieved by the magnetized water interacting with the level 5% SS [169% in root, 100% in shoot, and 94% in whole plant].

1.3.2. The maximum increase in the leaf area of cowpea was found at the SS level of 20 % combined with magnetic water (116.6%), meanwhile, the highest one in the rocket plant was recorded at the SS level of 5 % combined with magnetic water (97.2%).

1.3.3. Application of magnetized water at the SS level 5% and 10% gave the greatest increases in RGR of cowpeas by about 115 and 114%, respectively. Meanwhile, the greatest %increment in rocket reached about 273% in the plants treated with magnetized water and supplemented by 5 % sewage sludge.

1.3.4. The magnetic water treatment increased NAR in cowpea plants at the low, moderate, and high SS levels (5, 10, and 20%) by about 199.5, 369.5, and 29.2%, while in rocket plants reached about 515.8, 33.9 and 86.1%, compared with owing SS controls.

2. Plant Water Relations:

2.1. A gradual decrease in total water content (TWC, %) in leaves of cowpea plants was found with increasing sewage sludge levels, while TWC in rocket leaves was not significantly affected by sewage sludge application. RWC in leaves of cowpea plants was slightly decreased at most sewage sludge rates, meanwhile, RWC in rocket leaves was increased at all SS levels. All levels of sewage sludge led to a significant increase in the leaf water deficit (LWD) in the leaves of cowpea and rocket plants. Osmotic pressure (OP) of cowpea and rocket plant was increased with most SS levels especially the 20% SS level over the control. At most levels, sewage sludge decreased the succulence degree (DSc) of cowpea and rocket plants compared to control plants. All levels of SS (5, 10, and 20%) recorded markedly increases in TR, ranging from 12.4 to 129.9% at age 40 days; from 57.6 to 84.6% at age 60 days, over the control, whereas in rocket plant SS at most levels, the increase in TR, ranged from 28 to 78.7% at 40 DAS, from 26.5 to 57.5 % at 60 DAS compared with untreated plants.

2.2. Plant water relations, i.e., TWC, RWC, OS, DSc, were increased with magnetic water application, meanwhile, the leaf water deficit (LWD) and transpiration rate (TR) in cowpea and rocket were decreased.

2.3. Application of magnetized water led to significant increases in the measured TWC, RWC, and OS. In contrast, DSc, leaf water deficit (LWD), and transpiration rate (TR) in plants grown in SS-amended soil at all rates were decreased. At the rate of 20% SS amended soil, irrigation cowpea and rocket plants with magnetized water led to an increase in TWC (16.4% in cowpea, not affected in rocket plants), RWC (53.8 and 13.7%) and OS (6.9 % and 1.1), whereas the same interaction treatment led to decrease in LWD (-76.1 and -35.6%), DSc (-8.7, -1.6), LWD (-39.6, -79.7%) and TR (-26.2, 156.7%).

3. Membrane Integrity (Membrane Permeability):

3.1. 3.1. Cowpea plants showed significant increases in membrane integrity (MI) compared to the control, reaching 49.5% at the highest SS level (20%). However, rocket plants showed a significant decrease in MI at the same level, ranging from -22.8 to -24.6%, compared to the non-amended soil with SS.

3.2. Irrigation with magnetic water led to a decrease in the membrane integrity (MI) in cowpea plants at different ages and the highest decrease was about 27.9%. On the other hand, the application of magnetic water on rocket plants led to an increase in MI at different ages and the % increase reached 25.9% compared with untreated plants.

3.3. Magnetic water had negative effects on membrane integrity (MI) of cowpea plants grown under different SS doses. A rate of 20% SS led to a marked decrease in MI of cowpea plants by about -30.2% as compared with its owing control plants. In rocket plants, MI was increased significantly when irrigated by magnetic water, and the highest increase was recorded in the interaction between magnetic water and the 5% SS level.

4. Photosynthetic pigments:

4.1. In general, SS at different levels from 5 to 20% caused increases in the concentration of chlorophyll a, b, a+b, carotenoids, and total photosynthetic pigments as well the ratios of chl. a/b and total chl./carotenoids in leaves of cowpea plants. On the other hand, the rocket plants showed an opposite trend in response to SS levels. The application of sewage sludge led to marked decreases in the above-mentioned photosynthetic characteristics in rocket plants.

4.2. The concentrations of chl. a, chl. b, carotenoids chl. a+b, total photosynthetic pigments and the ratio of a+b/carotenoids in leaves of cowpea and rocket plants increased with magnetized water treatment if compared with the untreated plants

4.3. Using magnetized water enhanced all photosynthetic pigment parameters (chl. a, chl. b, carotenoids, chl. a+b, and total photosynthetic pigments) of cowpea and rocket leaves at all SS rates. The highest rate of SS (20%) interacted with magnetic treatment gave the highest increase in the above-mentioned photosynthetic parameters by about 151, 172, 136, 158 and 154% in cowpea; by about 149, 177, 135, 158 and 153% in rocket plants.

5. Biochemical constituents of cowpea and rocket plants:

5.1. Using sewage sludge at all rates increased the total soluble sugars concentration (TSS), the percentage of total protein (TP), the total free amino acids (TFAA), proline (Pro), and phenoloxidase enzyme activity (PPO)in leaves of cowpea and rocket plants, but the peroxidase enzyme activity (POX) in leaves of cowpea and rocket plants were decreased.

5.2. All the above-mentioned biochemical constituents of cowpea and rocket plants were increased with magnetized treatment.

5.3. Application of magnetized water led to an additive increase in the biochemical constituents of cowpea and rocket plants. Generally, the greatest increases in the above-mentioned biochemical constituents varied in plants under study according to the type of interaction.

- The greatest increase in the TSS in leaves of cowpea plants was found at 20% SS level (by about 89.9% (1^{st} season), and 69.2% (2^{nd} season)), in leaves rocket plants at 5% SS level (about 6.8 % (1^{st} season), 16% (2^{nd} season)), respectively over owing controls.
- The best increase in TP in cowpeas was recorded at the low SS level (5%) by about 47.8 and 41.2% (1^{st} and 2^{nd} seasons), while in rocket plants, recorded at the levels 10 and 20% SS-amended soil, about 32.1 and 32.5%, over their owing controls.
- The highest increase in the TAA content was found at the low SS-amended soil level (5%) by 59.5% for cowpea plants, by about 33.1% in rocket plants, over their SS control.
- The highest increment in Pro was recorded at the interaction of magnetized water with the 10% SS-amended soil level in both seasons and plants.
-The magnetized water at the moderate SS level (10 %), gave the best increase in PPO by about 8.5% in cowpea plants, whereas in rocket plants, at the low SS level (5%) by about 18.2%, in comparison to owing SS controls.
-At the high SS level (20%), the magnetized water caused the maximum increase in POX by about 37.2% in cowpea plants, whereas the maximum one in rocket plants recorded at the magnetized water interacted with the 5% SS level, reached about 28.6%.

6. Mineral nutrient concentrations and uptake of cowpea and rocket plants:

6.1. The concentrations and uptake of N, P, and K in different organs of cowpea and rocket plants increased with the application of all rates of sewage sludge.

6.2. Remarkable increases were recorded in N, P, and K mineral concentrations and uptake of plants by treating them with magnetized water.

6.3. The additive increases in N, P, and K mineral concentrations and plant uptake occurred with magnetized treatment at all SS levels. Generally, the interactions that led to the greatest increase in N, P, and K mineral concentrations and uptake in cowpea and rocket plants were varied.

- The highest increment in the concentration of N in leaves of cowpea plants was found at the low SS level (5%) and its uptake at the high SS level (20%) (about 47.8 and 174.8%, respectively) compared with owing SS control plants. In rocket plants, the interaction of magnetized water with 20%SS resulted in the greatest increase (approximately 33.4 and 107.0, respectively) when compared to owing SS controls.
- The greatest increase in the concentration of P in leaves of cowpea plants was recorded by the combination of magnetized water and the level of 5% (about 49.4%) and with the high SS level (20%) for its uptake (about 141.4%) as compared with their owing SS controls. In rocket plants, P concentration was unaffected by the interaction between magnetized water and SS levels, but P uptake was positively affected and the best increase in it at the low SS level (5%) (about 85%), compared with its owing SS control.
- The application of magnetized water increased the concentration and uptake of K in cowpeas at the high SS level (20%) by about 64.5 and 167.6%, respectively, while in rocket plants, they were recorded at the low level (5%) by about 18.7 and 127.0% respectively, when compared with their owing SS control.

7. Yield and its components of cowpea plants:

7.1. Yield parameters of cowpea plants grown in sewage sludge amended soil i.e. Pods number/plant, pod length, the number of seeds per pod, the weight of seeds per pod, pod yield, seed yield, straw yield, and shelling (%) as well as some biochemical compositions of seeds i.e. total soluble sugars, total protein, total free amino acids, and the concentrations of N, P, and K in seeds were increased, while the weight of 100 seeds was decreased under all SS levels.

7.2. All yield parameters and their components of plants were significantly enhanced by the application of magnetized water treatment.

7.3. The interaction of magnetized water with all SS rates caused marked increases in all yield parameters and its components of cowpea plants.

- The highest increase in number of pods was recorded at interaction between the magnetizing water with the SS level of 20% (about 133.3%).
- Magnetized treatment with the low SS rate (5%) gave the highest increase in pod length (about 31.6%).
- The highest increase in the number of seeds per pod was recorded at the interaction between the low SS levels (5%) and magnetized water (about 43.0%).
- The maximum increases in pod, seed and straw yields as well as weight of 100 seeds were recorded at the magnetized water interacted with the SS level of 20% treatment (about 93.5, 70.7, 144.7 and 40.9%, respectively).
- Application of the magnetized water at 5% SS gave the best %increase in shelling percentage (about 48%).

8. Some Chemical constituents of cowpea seeds:

8.1. Application of sewage sludge at all rates resulted in increasing the total soluble sugars concentration (TSS), the percentage of total protein (TP), the total free amino acids (TFAA), N, P, and K content in cowpea seed.

8.2. All the above-mentioned biochemical constituents of cowpea seeds were increased with magnetized water treatment.

8.3. Application of magnetized water led to an additive increase in the biochemical constituents of cowpea seeds. Generally, the greatest increases in the above-mentioned biochemical constituents varied according to the type of interaction.

- The maximum increase (%) of total soluble sugars in cowpea seeds was achieved by the interaction of magnetized water with the low SS level (5 %).
- The highest percentage increase in protein content was observed when magnetized water interacted with a 20% SS treatment.
- The highest increase in the TAA content of seed cowpea was found at the interaction of magnetized water with the level of 5% SS treatment (about 27 %).
- The greatest increase in N and K in cowpea seeds was recorded by the combined of magnetized water and the level of 10% (about 41.9 and 41.0%, respectively) and with the high SS level (20%) for P (about 15.4%).

9. Heavy metals and their effects on health:

9.1. Pb and Cd concentration und uptake:

- Application of sewage sludge (20%) caused a marked increase in the concentration and uptake of Pb in root, shoot, seed and whole plant of cowpea reached to 975% and 508% in root, 1200% and 1073% in shoot, 1775% and 2873% in seeds and 1135% and 1323% in whole cowpea plant, respectively, in rocket plant, the % increase was 983% and 467% in root, 1020% and 1475% in shoot and 994% and 1260% in whole plant compared to the untreated plants.
- Irrigation cowpea and rocket plants grown in 20% SS-amended soil by magnetized water led to a great reduction in Pb concentration and uptake in all plant organs, reached about -72 and -30% in root, -69 and -48% in shoot, -87 and -83% in seeds and -74 and -61% in cowpea whole plants, while in rocket plants reached -55 and -44% in root, -68 and -65% in shoot and -58 and -55 in whole rocket plants, respectively.
- Sewage sludge treatment caused a higher increase in Cd concentration and uptake in the above-mentioned organs of cowpea plants, by 980 and 525% in roots, 967 and 859% in shoots, 1076 and 1694 in seeds, and 987 and 1151% in whole plant, respectively, in rocket plants, they were 957 and 450% in root, 850 and 1215% in shoot and 918 and 1164% in whole plant, compared to the untreated control.
- Cd concentration and uptake were markedly decreased in the plants treated with 20% SS-amended soil by about -67 and -16% in root, -75 and -57% in shoot, -79 and -73% in seeds, and -71and -57% in whole cowpea plants, respectively; whereas in rocket plants, the %reductions were -59 and -49% in root, -63 and -60% in shoot and -61 and -57% in rocket whole plant.

9.2. Pb and Cd bioaccumulation or bio-concentration factors (BAF or BCF), Pb and Cd translocation factors (TF):

- The bioaccumulation factor (BCF) of Pb were 2.48 and 2.75, in cowpea and rocket plants treated with 20%SS, respectively, indicating that these plants are hyper-accumulator plants. Irrigation of these plants with magnetized water caused a great reduction in BCF values and became 0.65 and 1.12 for cowpea and rocket, respectively.
- BCF of Cd were 1.48 and 1.65 in cowpea and rocket plants treated with 20% SS, respectively. When these plants were irrigated with magnetized water, the BCF values decreased and became 0.43 and 0.65.
- The TF values of Pb metal from root to shoot were 0.61 and 0.43 in cowpea and rocket plants treated with 20% SS, respectively. Treating these plants with magnetized water led to a sharp decrease in TF for rocket plants and became 0.31, but did not reduce in cowpeas.
- TF values of Cd achieved 0.59 and 0.51 in cowpea and rocket plants supplemented by 20% SS dose, respectively. These TF values were decreased by irrigation with magnetized water and reached 0.47 and 0.44, respectively.

9.3. Carcinogenic Risks (CR):

- Carcinogenic Risks (CR) values exceeding 1×10^{-4} cause significant cancer risks.
- The CR values of Pb were 3.75×10^{-6} and 7×10^{-6} for the treated cowpea and rocket plants with 20% SS dose, whereas CR values become 0.5×10^{-6} and 2.25×10^{-6} for the same plants irrigated with magnetized water.
- the CR values of Cd were 2.44×10^{-6} and 6.62×10^{-6} for the treated cowpea and rocket plants with 20% SS and irrigated with normal tap water, whereas CR became 2.44×10^{-6} and 2.25×10^{-6} for the same plants irrigated with magnetized water.
- This means that the obtained results of CR values of Pb and Cd for cowpea and rocket plants grown in SS-amended soil at 20% level irrigated with magnetized water showed that using cowpea seeds and rocket plants as foods can be said safein terms of Carcinogenic Risks.

عنوان الرسالة: الاستجابة الفسيولوجية لبعض النباتات النامية فى تربة مزودة بحمأة المجارى لتقنية المغنطة.

اسم الباحث : عمرو أحمد فتح الباب الدولتلي

الدرجة العلمية: الماجستير فى العلوم الزراعية

القسم العلمى : النبات الزراعى (أمراض النبات)

تاريخ موافقة مجلس الكلية : ٢٠٢٥/١/١٥

لجنة الإشراف:
أ.د. عبدالفتاح حسن سليـــم — أستاذ النبات الزراعى، كلية الزراعة، جامعة المنوفية
أ.د. أنصاري أدريس مفتاح — أستاذ النبات الزراعى، كلية الزراعة، جامعة المنوفية

الملخص العربي

تم إجراء تجربتين في الصوبة بالمزرعة التجريبية بكلية الزراعة جامعة المنوفية شبين الكوم مصر خلال موسمي النمو ٢٠٢١ و ٢٠٢٢ لدراسة تأثير معدلات الصرف الصحي المجفف (الحمأة) [٠، ٥، ١٠ و ٢٠٪ (وزن / وزن، حمأة : التربة]، والري بالماء الممغنطة وتفاعلاتها على بعض قياسات النمو الخضري، والعلاقات المائية للنبات وثبات الأغشية البلازمية (النفاذية)، وصبغات التمثيل الضوئي، وبعض المكونات الكيميائية الحيوية المتمثلة في: (السكريات الذائبة الكلية، والبروتين الكلي، والأحماض الأمينية الحرة الكلية، والبرولين، ونشاط بعض الإنزيمات، وبعض المعادن المغذية)، والمحصول ومكوناته لنباتات اللوبيا (*Vigna unguiculata subs. punguiculata* L. cv. Giza7) والجرجير (*Eruca sativa* L.) وكذلك سلوك بعض المعادن الثقيلة وتأثيرها على صحة الإنسان. تم أخذ عينات من النباتات بعد ٤٠ و ٦٠ يومًا من الزراعة.

يمكن تلخيص النتائج التي تم الحصول عليها فيما يلي:

١. قياسات النمو الخضري:

١,١. أدى تطبيق حمأة الصرف الصحي بمعدلات مختلفة إلى زيادة كبيرة في ارتفاع النبات ومساحة الورقة ومعدل النمو النسبي والوزن الطازج والجاف للجذور والمجموع الخضري لنباتات اللوبيا والجرجير.

١,١,١. وجد أن طول جذر نباتات اللوبيا ينخفض بشكل عام مع زيادة تركيز حمأة الصرف الصحي (SS)، مقارنة بنباتات الكنترول في كلا الموسمين، في حين ازداد طول جذر نباتات الجرجير عند التركيز المنخفض لحمأة الصرف الصحي (٥٪) في كل من العمرين والموسمين، ولكنه بصفة عامة انخفض بشكل كبير عند تركيزات ١٠ و ٢٠٪ مقارنة بنباتات الكنترول.

٢,١,١. انخفض معدل صافي التمثيل (NAR) لنباتات اللوبيا معنويا عند جميع مستويات حمأة الصرف الصحي. من ناحية أخرى، ازداد NAR لنباتات الجرجير بشكل ملحوظ عندما تم إضافة الحمأة للنباتات على جميع المستويات (٥ و١٠ و٢٠%) بنحو ١٠٨,٢ و١٥٣,١ و١١٠,٢% في الموسم الأول، وبنحو ٤٨ و١١٤,١ و٩١,٨% في الموسم الثاني على التوالي. وهذا يعني أن نباتات الجرجير استجابت بشكل إيجابي كبير لتطبيق حمأة الصرف الصحي.

٢,١. تحسنت جميع قياسات النمو لنباتات اللوبيا والجرجير عند الري بالماء الممغنط مقارنة بنباتات الكنترول.

٣,١. أدى استخدام الماء الممغنط إلى زيادة كبيرة في جميع قياسات النمو لكلا النباتين المزروعين في التربة المعاملة بحمأة الصرف الصحي، أي:

١,٣,١. تم تسجيل أقصى نسبة زيادة في الوزن الجاف للجذور والسيقان والأوراق والنبات الكامل لنبات اللوبيا من خلال تفاعل الماء الممغنط مع ٢٠% SS (153%) في الجذر، مع ١٠% SS (108%) في الساق، مع ٢٠% SS (138%) في الأوراق ومع ١٠%SS (94%) في النبات الكامل. في حين تم تحقيق أقصى زيادة (%) في الوزن

الجاف للجذور والمجموع الخضري والنبات الكامل للجرجير من خلال تفاعل الماء الممغنط مع مستوى ٥% SS [169% في الجذر، ١٠٠% في المجموع الخضري، و٩٤% في النبات الكامل].

٢,٣,١. تم الحصول على أقصى زيادة في مساحة أوراق نبات اللوبيا عند مستوى 20% SS والماء الممغنط (١١٦,٦%)، في حين تم تسجيل أعلى زيادة في نبات الجرجير عند مستوى 5% SS والري بالماء الممغنط (٩٧,٢%).

٣,٣,١. أدى تطبيق الماء الممغنط عند مستوى 5٪ و ١٠٪ SS إلى أكبر زيادة في RGR لنبات اللوبيا بنحو ١١٥ و ١١٤٪ على التوالي، في حين بلغت أكبر نسبة زيادة في الجرجير حوالي ٢٧٣٪ في النباتات المعاملة بالماء الممغنط والممدة بـ ٥٪ من حمأة الصرف الصحي.

٤,٣,١. أدت معاملة الماء الممغنط إلى زيادة NAR في نباتات اللوبيا عند مستويات SS المنخفضة والمتوسطة والعالية (٥ و ١٠ و ٢٠٪) بنحو ١٩٩,٥ و ٣٦٩,٥ و ٢٩,٢٪، بينما وصلت في نباتات الجرجير إلى حوالي ٥١٥,٨ و ٣٣,٩ و ٨٦,١٪، مقارنة بضوابط SS.

٢. العلاقات المائية للنبات:

١,٢. وجد انخفاض تدريجي في محتوى الماء الكلي (TWC، %) في أوراق نباتات اللوبيا مع زيادة مستويات حمأة الصرف الصحي، في حين لم يتأثر معنويا محتوى الماء الكلي في أوراق الجرجير بتطبيق حمأة الصرف الصحي. انخفض محتوى الماء النسبي RWC في أوراق نباتات اللوبيا قليلاً عند معظم معدلات حمأة الصرف الصحي، في حين ازاد RWC في أوراق الجرجير عند جميع مستويات SS. أدت جميع مستويات حمأة الصرف الصحي إلى زيادة كبيرة في نقص الماء الورقي (LWD) في أوراق نباتات اللوبيا والجرجير. ازداد الضغط الأسموزي (OP) لنبات اللوبيا والجرجير مع معظم مستويات SS وخاصة مستوى SS بنسبة ٢٠٪ عن المجموعة الضابطة. سجلت حمأة الصرف الصحي عند معظم المستويات انخفاضًا في درجة الغضاضة (DSc) لنباتات اللوبيا والجرجير مقارنة بنباتات الكنترول. سجلت جميع مستوياتSS (٥ و١٠ و٢٠%) زيادات ملحوظة في معدل النتح TR، تراوحت من ١٢,٤ إلى ١٢٩,٩% في عمر ٤٠ يومًا؛ ومن ٥٧,٦ إلى ٨٤,٦% في عمر ٦٠ يومًا، مقارنة بالمجموعة الضابطة، بينما في نبات الجرجير عند معظم المستويات، تراوحت الزيادة في TR من ٢٨ إلى ٧٨,٧% عند عمر٤٠ يومًا ، ومن ٢٦,٥ إلى ٥٧,٥% عند عمر ٦٠ يومًا مقارنة بالنباتات غير المعاملة بالماء الممغنط.

٢,٢. ازدادت قياسات العلاقات المائية في النبات، المتمثلة في TWC وRWC وOS وDSc، مع تطبيق الماء الممغنط، وفي الوقت نفسه، انخفض نقص الماءالورقي (LWD) ومعدل النتح (TR) في نبات اللوبيا والجرجير.

٣,٢. أدى استخدام الماء الممغنط إلى زيادة كبيرة في TWC و RWC و OS المقاسة، بينما انخفض DSc ونقص الماء الورقي (LWD) ومعدل النتح (TR) في النباتات النامية في تربة معاملة بالـ SS بجميع المعدلات. أدى ري نباتات اللوبيا والجرجير بالماء الممغنط عند معدل ٢٠٪ من التربة المعاملة بالـ SS، إلى زيادة في TWC (١٦,٤ ٪ في اللوبيا، ولم تتأثر نباتات الجرجير)، و RWC (٥٣,٨ ، ١٣,٧٪) و OS (٦,٩ ، ١,١٪)، في حين أدى نفس معاملة التفاعل إلى انخفاض في LWD (-٧٦,١ ، -٣٥,٦٪) و DSc (- ٨,٧ ، -١,٦٪) و LWD (- ٣٩,٦ ، -٧٩,٧ ٪) و TR (- ٢٦,٢ ، - ١٥٦,٧٪).

٣. ثبات الغشاء البلازمي (نفاذية الغشاء البلازمي)

٣,١. سجلت المستويات المختلفة من SS زيادة معنوية في نفاذية الغشاء (MI) لنباتات اللوبيا مقارنة بالمجموعة الضابطة، حيث وصلت إلى حوالي ٤٩,٥٪ عند أعلى مستوى 20 SS٪ مقارنة بالمجموعة الضابطة، في حين انخفضت MI في نباتات الجرجير معنويا عند نفس المستوى وتراوح النقص من -٢٢,٨ إلى -٢٤,٦٪ مقارنة بالتربة غير المعاملة بـ SS.

٣,٢. أدى الري بالماء الممغنط إلى انخفاض في نفاذية الغشاء (MI) في نباتات اللوبيا في الأعمار المختلفة وكان أعلى انخفاض حوالي -٢٧,٩٪. من ناحية أخرى، أدى تطبيق الماء الممغنط على نباتات الجرجير إلى زيادة في MI في الأعمار المختلفة ووصلت نسبة الزيادة إلى ٢٥,٩٪ مقارنة بالنباتات غير المعاملة.

٣,٣. كان للماء الممغنط تأثيرات تناقصية على نفاذية الغشاء (MI) لنباتات اللوبيا المزروعة تحت جرعات مختلفة من SS. أدى معدل ٢٠% SS إلى انخفاض ملحوظ في MI لنباتات اللوبيا بنحو -٣٠,٢% مقارنة بنباتات كنترول ٢٠% SS لها. في نباتات الجرجير، ازداد MI بشكل ملحوظ عند الري بماء الممغنط، وتم تسجيل أعلى زيادة في التفاعل بين الماء الممغنط ومستوى ٥% SS.

٤. صبغات التمثيل الضوئي:

٤,١. بشكل عام، تسبب اضافة SS بمستويات مختلفة (٥ إلى ٢٠%) في زيادة تركيز الكلوروفيل أ، ب، أ+ب، الكاروتينات و صبغات التمثيل الضوئي الكلية وكذلك نسب الكلوروفيل أ/ب والكلوروفيل الكلي/الكاروتينات في أوراق نباتات اللوبيا. من ناحية أخرى، أظهرت نباتات الجرجير اتجاهًا معاكسًا في الاستجابة لمستويات SS. أدى تطبيق حمأة الصرف الصحي إلى انخفاض ملحوظ في قياسات صبغات التمثيل الضوئي المذكورة أعلاه في نباتات الجرجير.

٤,٢. ازدادت تركيزات الكلوروفيل أ، ب، الكاروتينات، الكلوروفيل أ+ب، و صبغات التمثيل الضوئي الكلية ونسبة الكلوروفيل الكلي/الكاروتينات في أوراق نباتات اللوبيا والجرجير مع المعاملة بالماء الممغنط مقارنة بالنباتات غير المعاملة.

٤,٣. أدى استخدام الماء الممغنط إلى تعزيز وزيادة جميع قياسات صبغات التمثيل الضوئي (كلوروفيل أ، كلوروفيل ب، الكاروتينات، كلورفيل أ+ب، و صبغات التمثيل الضوئي الكلية) لأوراق نبات اللوبيا والجرجير عند جميع معدلات حمأة الصرف الصحي. عند أعلى معدل للحمأة (٢٠%) المتفاعل مع معاملة المغنطة أعطى أعلى زيادة في قياسات صبغات التمثيل الضوئي المذكورة أعلاه بنحو ١٥١، ١٧٢، ١٣٦، ١٥٨ و١٥٤% في نبات اللوبيا؛ وبنحو ١٤٩، ١٧٧، ١٣٥، ١٥٨ و١٥٣% في نباتات الجرجير.

٥. المكونات الكيميائية الحيوية لنباتي اللوبيا والجرجير:

١,٥. أدى استخدام حمأة الصرف الصحي بجميع المعدلات إلى زيادة تركيز السكريات الذائبة الكلية (TSS)، ونسبة البروتين الكلي (TP)، والأحماض الأمينية الحرة الكلية (TFAA)، والبرولين (Pro) ونشاط إنزيم الفينول أوكسيديز (PPO) في أوراق نباتات اللوبيا والجرجير، بينما انخفض نشاط إنزيم البيروكسيديز (POX) في أوراق نباتات اللوبيا والجرجير.

٢,٥. ازدادت جميع المكونات الكيميائية الحيوية المذكورة أعلاه لنباتي اللوبيا والجرجير بمعاملة النباتات بالماء الممغنط.

٣,٥. أدى تطبيق الماء الممغنط إلى زيادة مضافة للمكونات الكيميائية الحيوية لنباتي اللوبيا والجرجير. وبشكل عام، تباينت أكبر الزيادات في المكونات الكيميائية الحيوية المذكورة أعلاه في النباتات قيد الدراسة وفقًا لنوع التفاعل.

- وجد أكبر زيادة في TSS في أوراق نباتات اللوبيا عند مستوى ٢٠% SS (بنحو ٨٩,٩% (الموسم الأول)، و٦٩,٢% (الموسم الثاني))، وفي أوراق نباتات الجرجير عند مستوى ٥% SS (حوالي ٦,٨% (الموسم الأول)، و١٦% (الموسم الثاني))، على التوالي مقارنة بضوابط SS.

- تم تسجيل أفضل زيادة في TP في اللوبيا عند مستوى SS المنخفض (٥%) بنحو ٤٧,٨ و٤١,٢% (الموسمين الأول والثاني)، بينما سجلت أعلي زيادة في TP لنباتات الجرجير، عند مستويات ١٠ و٢٠% SS المضافة لبالتربة، بنحو ٣٢,١ و٣٢,٥%، مقارنة بضوابط SS.

- أعلى زيادة في محتوى TAA وجدت عند مستوى التربة المعاملة بالـ SS المنخفض (٥%) بنحو ٥٩,٥% لنباتات اللوبيا، بنحو ٣٣,١% في نباتات الجرجير ، مقارنة بالمجموعة الضابطة.

- أعلى زيادة في محتوى TAA وجدت عند مستوى التربة المنخفض المعدل بالـ 5%) SS) بنسبة ٥٩,٥% لنباتات اللوبيا، بنحو ٣٣,١% في نبات الجرجير، عن سيطرتهم.

- أعلى زيادة في محتوي Pro سجلت عند تفاعل الماء الممغنط مع مستوى التربة المعاملة بالـ SS بنسبة ١٠% في كلا الموسمين والنباتين.

- أعطت معاملة الماء الممغنط عند مستوى SS المعتدل (١٠%) أفضل زيادة في PPO بنحو ٨,٥% في نباتات اللوبيا، بينما في نباتات الجرجير، عند مستوى SS المنخفض (٥%) بنحو ١٨,٢%، مقارنة بالمجموعة الضابطة.

- عند مستوى SS المرتفع (٢٠%)، تسبب الماء الممغنط في أقصى زيادة في POX بنحو ٣٧,٢% في نباتات اللوبيا، بينما بلغت أقصى زيادة في نباتات الجرجير عند تفاعل المياه الممغنطة مع مستوى 5% SS نحو ٢٨,٦%.

٦. تركيزات وامتصاص المغذيات المعدنية في نباتات اللوبيا والجرجير:

١,٦. ازدادت تركيزات وامتصاص عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم في الأعضاء المختلفة لنباتات اللوبيا والجرجير مع استخدام جميع معدلات حمأة الصرف الصحي.

٢,٦. تم تسجيل زيادات ملحوظة في تركيزات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وامتصاص النباتات من خلال المعاملة بالماء الممغنط.

٣,٦. حدثت زيادات مضافة في تركيزات المغذيات المعدنية النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وامتصاص النباتات لها بشكل واضح مع معاملة المغنطة في جميع مستويات SS. بشكل عام، كانت أفضل التفاعلات في احداث أكبر زيادة في تركيزات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم وامتصاصها في نباتات اللوبيا والجرجير متنوعة:

- تم الحصول على أعلى زيادة في تركيز النيتروجين في أوراق نباتات اللوبيا عند مستوى SS المنخفض (٥٪) وامتصاصه عند مستوى SS المرتفع (٢٠٪) (حوالي ٤٧,٨ و ١٧٤,٨٪ على التوالي) مقارنة بنباتات ضوابط SS. - في نباتات الجرجير، تم تحقيق أعلى زيادة فيها عن طريق تفاعل الماء الممغنط مع مستوى ٢٠%SS (حوالي ٣٣,٤ و ١٠٧,٠ على التوالي) مقارنة بضوابط SS.
- تم تسجيل أكبر زيادة في تركيز الفسفور في أوراق نباتات اللوبيا عن طريق الجمع بين الماء الممغنط ومستوى ٥% (حوالي ٤٩,٤%) ومستوى SS المرتفع (٢٠%) لامتصاصه (حوالي ١٤١,٤%) مقارنة بضوابط SS. في نباتات الجرجير ، بدا أن تركيز الفسفور غير متأثر بالتفاعل بين الماء الممغنط ومستويات SS، ولكن امتصاص الفسفور تأثر بشكل إيجابي وكانت أفضل زيادة فيه عند مستوى SS المنخفض (٥%) (حوالي ٨٥%)، مقارنة بضوابط SS لها.

- أدى تطبيق الماء الممغنط إلى زيادة عامة في تركيز وامتصاص البوتاسيوم في اللوبيا عند مستوى SS العالي (٢٠٪) بنحو ٦٤,٥ و ١٦٧,٦٪ على التوالي، بينما في نباتات الجرجير، تم تسجيلها عند المستوى المنخفض (٥٪) بنحو ١٨,٧ و ١٢٧,٠٪ على التوالي، عند مقارنتها مع ضوابط SS لها.

٧. المحصول ومكوناته لنباتات اللوبيا:

١,٧. ازدادت قياسات المحصول لنباتات اللوبيا النامية في تربة معاملة بحمأة الصرف الصحي المتمثلة في: عدد القرون/نبات، طول القرن، عدد البذور لكل قرن، وزن البذور لكل قرن، محصول القرون، محصول البذور، محصول القش ونسبة التصافي (%) بالإضافة إلى بعض المكونات الكيميائية الحيوية للبذور: السكريات الذائبة الكلية، البروتين الكلي، الأحماض الأمينية الحرة الكلية، وتركيزات النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم في البذور، بينما انخفض وزن ١٠٠ بذرة تحت جميع مستويات SS.

٢,٧. تم تحسين جميع قياسات المحصول ومكوناته لنباتات اللوبيا بشكل ملحوظ من خلال تطبيق معاملة الماء الممغنط.

٣,٧. تسبب تفاعل الماء الممغنط مع جميع معدلات SS في حدوث زيادات ملحوظة في جميع قياسات المحصول ومكوناته لنباتات اللوبيا كالآتي:.

- تم تسجيل أعلى زيادة في عدد القرون عند التفاعل بين الماء الممغنط ومستوى SS بنسبة ٢٠٪ (حوالي ١٣٣,٣٪).
- أعطت معاملة المغنطة مع معدل SS المنخفض (٥%) أعلى زيادة في طول القرون (حوالي ٣١,٦%).
- أحرزت أعلى زيادة في عدد البذور لكل قرن عند التفاعل بين مستويات SS المنخفضة (٥%) والماء الممغنط (حوالي ٤٣,٠%).
- أحرزت أعلى زيادة في إنتاج القرون والبذور والقش وكذلك وزن ١٠٠ بذرة عند تفاعل الماء الممغنط مع مستوى SS لمعاملة ٢٠% (حوالي ٩٣,٥، ٧٠,٧، ١٤٤,٧ و٤٠,٩% على التوالي).
- أعطى تطبيق الماء الممغنط بمعدل 5% SS أفضل نسبة زيادة في نسبة التصافي (حوالي ٤٨%).

٨. بعض المكونات الكيميائية لبذور اللوبيا:

١,٨. أدى تطبيق حمأة المجاري بجميع المعدلات إلى زيادة تركيز السكريات الذائبة الكلية (TSS) ونسبة البروتين الكلي (TP) والأحماض الأمينية الحرة الكلية (TFAA) ومحتوى النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم في بذور اللوبيا.

٢,٨. ازدادت جميع المكونات الكيميائية الحيوية المذكورة أعلاه لبذور اللوبيا مع المعاملة بالماء الممغنط.

٣,٨. أدى استخدام الماء الممغنط إلى زيادة مضافة للمكونات الكيميائية لبذور اللوبيا. بشكل عام، اختلفت أعلي الزيادات في المكونات الكيميائية المذكورة أعلاه وفقًا لنوع التفاعل كمايلي:

- تم تحقيق أقصى زيادة (%) في السكريات الذائبة الكلية في بذور اللوبيا من خلال تفاعل الماء الممغنط مع المستوى المنخفض من SS(5)٪.
- تم تسجيل أعلى نسبة زيادة في محتوى البروتين عند تفاعل الماء الممغنط مع مستوى المعاملة SS بنسبة ٢٠٪.
- تم الحصول على أعلى زيادة في محتوى TAA لبذور اللوبيا عند تفاعل الماء الممغنط مع مستوى معاملة SS بنسبة ٥٪ (حوالي ٢٧٪).
- تم تسجيل أكبر زيادة في النيتروجين والبوتاسيوم في بذور اللوبيا من خلال التفاعل بين الماء الممغنط ومستوى ١٠% (حوالي ٤١,٩ و٤١,٠% على التوالي) ومع مستوى SS 20% للفوسفور (حوالي ١٥,٤%).

٩. المعادن الثقيلة وتأثيراتها على الصحة:

٩,١. تركيز وامتصاص الرصاص والكادميوم:

- أدى إضافة حمأة الصرف الصحي (٢٠%) إلى زيادة ملحوظة في تركيز وامتصاص الرصاص في الجذور والمجموع الخضري والبذور والنبات الكامل لنبات اللوبيا حيث وصلت إلى ٩٧٥% و٥٠٨% في الجذور و١٢٠٠% و١٠٧٣% في البراعم و١٧٧٥% و٢٨٧٣% في البذور و١١٣٥% و١٣٢٣% في نبات اللوبيا الكامل على التوالي، وفي نبات الجرجير بلغت نسبة الزيادة ٩٨٣% و٤٦٧% في الجذور و١٠٢٠% و١٤٧٥% في المجموع الخضري و٩٩٤% و١٢٦٠% في النبات الكامل مقارنة بالنباتات غير المعالجة.

- أدى ري نباتات اللوبيا والجرجير المزروعة في تربة معاملة بالحمأة بنسبة ٢٠% بالماء الممغنط إلى انخفاض كبير في تركيز الرصاص وامتصاصه في جميع أعضاء النبات، حيث وصل إلى نحو -٧٢ و-٣٠% في الجذور، و-٦٩ و-٤٨% في المجموع الخضري ، و-٨٧ و-٨٣% في البذور، و-٧٤ و-٦١% في نباتات اللوبيا الكاملة، بينما وصل في نباتات الجرجير إلى -٥٥ و-٤٤% في الجذور، و-٦٨ و-٦٥% في المجموع الخضري، و-٥٨ و-٥٥% في نباتات الجرجير الكاملة على التوالي.
- تسببت معاملة حمأة الصرف الصحي في زيادة عالية في تركيز الكادميوم وامتصاصه في الأعضاء المذكورة أعلاه لنباتات اللوبيا، بنسبة ٩٨٠ و ٥٢٥٪ في الجذور، و ٩٦٧ و ٨٥٩٪ في المجموع الخضري، و ١٠٧٦ و ١٦٩٤ في البذور، و ٩٨٧ و ١١٥١٪ في النبات بالكامل، على التوالي، وفي نباتات الجرجير، كانت ٩٥٧ و ٤٥٠٪ في الجذور، و ٨٥٠ و ١٢١٥٪ في المجموع الخضري و ٩١٨ و ١١٦٤٪ في النبات بالكامل، على التوالي، مقارنة بالمجموعة الضابطة غير المعاملة.
- انخفض تركيز الكادميوم وامتصاصه بشكل ملحوظ في النباتات المعالجة بتربة معدلة بالـ SS بنسبة ٢٠٪ بنحو -٦٧ و -١٦٪ في الجذر، و -٧٥ و -٥٧٪ في المجموع الخضري، و -٧٩ و -٧٣٪ في البذور، و -٧١ و -٥٧٪ في نباتات اللوبيا الكاملة، على التوالي؛ بينما في نباتات الصواريخ، كانت نسبة الانخفاض -٥٩ و-٤٩% في الجذور، -٦٣ و-٦٠% في المجموع الخضري و-٦١ و-٥٧% في نبات الجرجير بالكامل.

٩,٢. عوامل التراكم الحيوي أو التركيز الحيوي للرصاص والكادميوم (BAF أو BCF)، عوامل انتقال الرصاص والكادميوم (TF):

- كان عامل التراكم الحيوي BCF للرصاص ٢,٤٨ و٢,٧٥ في نباتات اللوبيا والجرجير المعاملة بـ ٢٠% SS، على التوالي، مما يشير إلى أن هذه النباتات هي نباتات عالية التراكم لعنصر الرصاص. تسبب ري هذه النباتات بالماء الممغنط في انخفاض كبير في قيم BCF وأصبحت ٠,٦٥ و١,١٢ لنباتي اللوبيا والجرجير ، على التوالي.
- كان عامل التراكم الحيويBCF للكادميوم ١,٤٨ و١,٦٥ في نباتات اللوبيا والجرجير المعاملة بـ ٢٠% SS، على التوالي. عند ري هذه النباتات بالماء الممغنط انخفضت قيم BCF وأصبحت ٠,٤٣ و ٠,٦٥.
- بلغت قيم TF لعنصر الرصاص من الجذر إلى الساق ٠,٦١ و ٠,٤٣ في نباتات اللوبيا والجرجير المعالجة بجرعة ٢٠% من SS على التوالي. أدى معاملة هذه النباتات بالماء الممغنط إلى انخفاض حاد في TF لنباتات الجرجير وأصبحت ٠,٣١، و لكنها لم تتأثر في اللوبيا.
- بلغت قيم TF للكادميوم ٠,٥٩ و ٠,٥١ في نباتات اللوبيا والجرجير المعالجة بجرعة ٢٠% من SS على التوالي. انخفضت قيم TF هذه بالري بالماء الممغنط ووصلت إلى ٠,٤٧ و ٠,٤٤ على التوالي.

٣,٩. المخاطر المسرطنة (CR):

- تسبب قيم المخاطر المسرطنة (CR) التي تتجاوز 1×10^{-4} مخاطر سرطانية كبيرة.
- بلغت قيم **CR** للرصاص في نباتات اللوبيا والجرجير المعالجة بجرعة ٢٠%SS 3.75×10^{-6} and 7×10^{-6}، بينما أصبحت قيم **CR** 2.25×10^{-6} and 0.5×10^{-6} لنفس النباتات المروية بماء ممغنط.
- بلغت قيم **CR** للكادميوم 2.44×10^{-6} and 6.62×10^{-6} لنباتات اللوبيا والجرجير المعالجة بجرعة ٢٠% من SS والمروية بماء الصنبور العادي، بينما أصبحت قيم **CR** 2.25×10^{-6} and 2.44×10^{-6} لنفس النباتات المروية بماء ممغنط.
- هذا يعني أن النتائج التي تم الحصول عليها لقيم **CR** للرصاص والكادميوم لنباتات اللوبيا والجرجير النامية في تربة معاملة بالحمأة عند مستوى ٢٠٪ أظهرت أن استخدام بذور اللوبيا ونباتات الجرجير المعاملة بحمأة الصرف الصحي كأغذية يمكن القول أنها آمنة من حيث مخاطر السرطان.