قدرة الجسيمات النانوية على إحداث الطفرات في القمح

The Ability of Nanoparticles to Induce Mutations in Wheat

وليد الطويل[1] ياسر السلامة[1-2] إبراهيم الغربي[3] أيمن العوده[1] رياض بليش[1] زينب حسين[1]

Tawil W. [1] Salama Y. [1-2] Alghoraibi I. [3] AL-Ouda A. [1] Ballish R. [1] Zienab H. [1]

Yassersalama1970@gmail.com

Received 4 February 2024; Accepted 24 Jun 2024

(1) المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة/ أكساد، دمشق، سورية.

(1) The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands/ACSAD, Damascus, Syria.

(2) قسم التربة واستصلاح الأراضي، كلية الزراعة، جامعة الفرات، سورية.

(2) Department of Soil and Land Reclamation, Faculty of Agriculture, Al-Furat University, Syria.

(3) قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

(3) Department of physic, Faculty of Science, Damascus University, Syria.

الملخص

نفذ البحث في مخابر وحقول التجارب التابعة للمركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة "أكساد" خلال الفترة 2021 -2023 بهدف دراسة تأثير جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية في المادة الوراثية للقمح، والتأكد من الأمان الحيوي لهذه المواد لأنها تدخل في تصنيع الأسمدة النانوية التي بدئ باستخدامها في الزراعة مؤخرًا. بينت النتائج أن معاملة بذور صنف القمح القاسي "أكساد 1105" بهذه الجسيمات النانوية أدت إلى حدوث طفرات كروموسومية بنسبة قليلة بلغت 2% في خلايا القمح الميرستيمية أثناء انقسامها الجسمي، وطفرات لونية (كلوروفيلية) في بادرات القمح بنسب ضعيفة تراوحت بين 1-2% وطفرات شكلية (مورفولوجية) وفسيولوجية في نباتات القمح بنسب معتدلة تراوحت بين 3.9-8% في عائلات الجيل الثاني (M2)، لا يمكن تجاهل هذه النسب الضعيفة، وتستوجب توخي الحذر عند اعتماد تقنية التسميد النانوي، وتؤكد أهمية استكمال البحوث الضرورية لفهم مختلف جوانب التأثيرات البيولوجية والوراثية في الكائنات الحية الناتجة عن استخدام هذا النوع الجديد من الأسمدة.

الكلمات المفتاحية: قمح، طفرات كروموسومية، طفرات كلوروفيلية، طفرات شكلية، فضة نانوية، أكسيد الزنك النانوي.

©2025 The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands. **ISSN: 2305-5243/ EISSN: 3005-6438. (p: 89-98)**

Abstract

This research was carried out in the laboratories and experimental fields of the Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands "ACSAD" during 2021-2023 with the aim of studying the effect of zinc oxide and silver nanoparticles on the genetic material of wheat, and ensuring the biological safety of these materials, because they are used in the manufacturing of nano-fertilizers, which have recently been used in agriculture. The results indicate that the treatment of seeds of the durum wheat variety "ACSAD 1105" with nanoparticles of Ag and ZnO led to a low rate of chromosomal mutations, affecting 2% of the studied meristematic cells during mitotic division, and a small amount of chlorophyll mutations in wheat early seedlings, as well as a moderate percentage of morphological and physiological mutations in wheat plants, with an average of 1-2% and 3.9-8% respectively, in the second generation (M2) rows. Despite these low percentages, they cannot be ignored. Therefore, it is necessary to be careful when adopting nano-fertilizer technology, and this emphasizes the need for further complementary research to understand the various biological and genetic effects of this new type of fertilizer on living organisms.

Keywords: Wheat, Chromosome mutations, Chlorophyll and morphological mutations, Ag NPs - ZnO NPs.

المقدمة

تعد الأسمدة من أهم مدخلات الإنتاج الزراعي، لأنها تسهم في تحقيق زيادات كبيرة في الإنتاج، إلا أن الكثير من المزارعين حتى في البلاد الغنية يواجهون صعوبات في تسميد محاصيلهم بالشكل الملائم نتيجة الارتفاع الكبير في أسعارها، وصعوبة الحصول عليها، بسبب الأزمات والنزاعات في مناطق شتى في العالم، مما جعل الحاجة ماسة للبحث عن بدائل ملائمة. تشير الدراسات والبحوث الحديثة إلى أن تقنية الأسمدة النانوية إحدى الخيارات المحتملة (Shang *et al.*, 2019; Gade *et al.*, 2023)؛ لأن كميات السماد النانوي اللازم إضافتها للتربة الزراعية في وحدة المساحة أقل بكثير وبكلفة أدنى، وتخفض مستويات تلوث التربة والمياه مقارنة بالأسمدة التقليدية، مما جعل الاهتمام يتزايد بهذا النوع الجديد من الأسمدة (Tarafdar *et al.*, 2015; Su *et al.*, 2022). يصل حجم السوق العالمي للأسمدة النانوية إلى نحو3 مليار دولار سنويًّا حاليًّا مع توقع نمو سنوي عالٍ، مقابل193 مليار دولار للأسمدة التقليدية (Statista, 2023; Skyquest, 2024).

تعد تقنية التسميد النانوي حديثة نسبيًّا لمّا تستكمل دراسة جوانبها كافة بعد، لا سيما فيما يتعلق بالأمان البيولوجي والوراثي وتأثيرها في النبات، فالجسيمات المكونة للأسمدة النانوية متناهية الصغر، تقل أبعادها عن 100 نانو (1 nm = 10^{-9} m)، في حين أن أقطار فتحات الثغور التنفسية في أوراق النبات أكبر من 30 ميكرونًا، تسمح بنفاذ هذه الجسيمات إلى داخل النباتات في حالة التسميد الورقي، وتعبر من خلال المسامات الجذرية في التسميد الأرضي، وتتابع حركتها عبر الأنسجة وتخترق الجدر الخلوية والأغشية النووية، لتصل إلى الكروموسومات والحمض النووي DNA، وتحدث تغيّرات مختلفة في البنى الفيزيائية والكيميائية فيهما (Chen and von Mikecz, 2005; Wu and Li, 2022)، تعدُّ هذه التغيرات ضارة في معظمها ولها آثار صحية سيئة (Jampilek and Kralova, 2015).

وبالرغم من مزايا الأسمدة النانوية، إلى أنَّ الكثير من البحوث المنشورة في المجلات العلمية المتخصصة أشارت إلى ضرورة إجراء المزيد من البحوث والتجارب للتوصل إلى فهم أفضل لتأثيرات الأسمدة النانوية في البيئة والنظم البيولوجية (Mirbakhsh, 2023; kumar *et al.*, 2023; Abhigna *et al.*, 2021).

إن إجراء الدراسات المتعلقة بأنواع ونسب حدوث الطفرات التي تستطيع مادة كيميائية ما إحداثها في النبات له أهمية كبيرة من منظور الأمان الحيوي؛ لأن المواد الكيميائية القادرة على تغيير التراكيب الوراثية في الكائنات الحية تعدّ خطرة على النظم البيئية والكائنات الحية، وتقيّد استخدامها وتداولها بروتوكولات خاصة.

هدف البحث: تحديد قدرة جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانويين (وهي مواد تدخل في صناعة الأسمدة النانوية) على إحداث طفرات في القمح القاسي *Triticum durum*.

مواد وطرائق البحث

مكان تنفيذ البحث

أجريت الدراسات السيتولوجية الخاصة بالطفرات الكروموسومية في مخابر المركز العربي - أكساد بدمشق، والطفرات الحقلية في حقول محطة أكساد للبحوث الزراعية في منطقة إزرع بمحافظة درعا - جنوبي سورية، وهي تمثل المناطق الزراعية شبه الجافة، يبلغ معدل الهطول المطري فيها نحو 300 مم/سنة.

فترة تنفيذ البحث: 2021-2023 .

تحضير الجسيمات النانوية

حُضّرت جسيمات الفضة النانوية في مخبر النانو في قسم الفيزياء - كلية العلوم في جامعة دمشق باستخدام مستخلص مائي من نبات الأوكاليبتوس *Eucalyptus camaldulensis*، جرى توصيف الفضة المحضّرة بتقنيات المطيافية في المجال المرئي وفوق البنفسجي، والمجهر الإلكتروني الماسح، ومنظومة تشتت الضوء الديناميكي، وتبين أن أبعادها تتراوح بين 15-10نانومتر، وحُضّرت جسيمات أكسيد الزنك النانوي باستخدام خلاّت الزنك المائية $\{Zn(CH_3COO)_2.2H_2O\}$، وكانت أبعادها في نطاق 40-80 نانومتر (Zein *et al.*, 2020).

المادة النباتية: صنف القمح القاسي "أكساد 1105"

المواد النانوية وغير النانوية المدروسة (* مواد غير نانوية درست للمقارنة)

- جسيمات الفضة النانوية (تركيز 40 ppm).
- جسيمات أكسيد الزنك النانوي (تركيز 50 ppm).
- *مادة أزيد الصوديوم NaN_3 (تركيز 0.003 مولر).
- *سماد ورقي تقليدي يحوي عناصر معدنية كبرى (تركيز 0.1 و0.2%).
- *سماد ورقي تقليدي يحوي عناصر معدنية صغرى (تركيز 0.1 و0.2%).
- ماء مقطر (شاهد).

إحداث الطفرات (Mutation induction)

بهدف تحديد مستوى الأمان الحيوي للجسيمات النانوية. اتُّبعت المنهجية المتعارف عليها دوليًّا لتقييم مقدرتها على إحداث أنواع محددة من الطفرات، لذلك نقعت كمية من بذور صنف القمح المدروس مدة 4 ساعات في محاليل الجسيمات النانوية والمواد الكيميائية غير النانوية بالتراكيز المذكورة (بمعدل 1000 بذرة لكل معاملة من المعاملات الست المذكورة) لدراسة مدى تأثيرها في المادة الوراثية للقمح واحداث الطفرات.

أنواع الطفرات المحدثة (Induced mutatioms)

- الطفرات الخلوية الكروموسومية في خلايا القمح في الأنسجة الميرستيمية.
- الطفرات الحقلية الكلوروفيلية في بادرات القمح الفتية في خطوط الجيل الثاني M2.
- الطفرات الحقلية الشكلية والفسيولوجية في نباتات القمح في خطوط الجيل الثاني M2.

دراسة الطفرات الكروموسومية (Chromosomal mutations)

بغية دراسة استطاعة الجسيمات النانوية والأسمدة الورقية غير النانوية (المدروسة في هذا البحث للمقارنة) إحداث طفرات (تغيرات) بنيوية في كروموسومات خلايا القمح الميرستيمية أثناء ذروة انقسامها الجسمي، تم استنبات 100بذرة من المعاملات المدروسة في أطباق بتري على درجة حرارة 25 م°، وبعد وصول طول الجذيرات الرئيسية في البذور المنتشة في كل معاملة إلى 5-7 ملم قطعت نهاياتها المكونة من نسج ميرستيمية خلاياها في طور الانقسام الجسمي (الميتوزي) النشط، ثم وضعت في محلول مثبّت (Fixative solution) مكون من 3 حجوم كحول إيتيلي كثيف و1 حجم حمض خل مركّز مدة 24 ساعة لتثبيت أجزاء ومكونات الخلايا بما في ذلك الكروموسومات والتغيرات البنيوية التي حصلت نتيجة تأثير الجسيمات والمواد المدروسة، ونقلت بعد ذلك إلى محلول حافظ (Conservative solution) مكون من 70% كحول إيتيلي، وحفظت فيه لحين فحصها بالمجهر الضوئي.

قبيل إجراء الفحص السيتولوجي لخلايا القمح المنقسمة مجهريًّا، جرى تليين نسج القمم النامية الميريستيمية للجذيرات المحفوظة في المحلول الكحولي بمعاملتها بمحلول 1 عياري من حمض الكلور على درجة حرارة 60±1 م° لمدة 7دقائق، وتلوينها بصبغة كارمن بعد ذلك مدة ساعة، ثم حضّرت شرائح زجاجية مضغوطة بطريقة هرس الجذيرات، وفحصت الخلايا المنقسمة لدراسة أنواع ونسب حدوث الطفرات الكروموسومية التي يمكن ملاحظتها عادة في سيتوبلاسم الخلايا ابتداءً من طور هجرة الكروموسومات Anaphase وحتى بداية تكوين نواتي الخلية المنقسمة في طور Telophase، وأهم أنواع هذه الطفرات: .(Acentric - Dicentric - Lagging chromosome - Chromatin - Nucleolus)

دراسة الطفرات الحقلية الكلوروفيلية والشكلية والفسيولوجية (Chlorophyll, morphological and physiological (mutations

ولتحديد قدرة وفاعلية الجسيمات النانوية في إحداث التغيرات والطفرات الحقلية الكلوروفيلية والشكلية والفسيولوجية في نباتات القمح بشكل أفضل، جرت مقارنتها مع مادة أزيد الصوديوم NaN3، وهي مادة معروفة بكفاءتها العالية في إحداث الطفرات في القمح.

في الموسم الأول 2022/2021 زرعت البذور المتبقية من كل معاملة من المعاملات المدروسة وعددها 900 بذرة في محطة البحوث الزراعية في إزرع للحصول على نباتات الجيل الأول M1، وفي نهاية الموسم حصدت من كل معاملة نحو 100 سنبلة رئيسية، ثم فرطت كل سنبلة على حدة، وحفظت بذورها بشكل مستقل لحين زراعتها في الموسم القادم جيلًا ثانيًا M2.

في الموسم الثاني 2023/2022 زُرعت بذور كل سنبلة من السنابل المحصودة في الموسم السابق على حدة في خط مستقل طوله 1 متر (عائلة الجيل الثاني M2) في محطة البحوث نفسها، وسجلت بادرات القمح الفتية الحاوية على طفرات كلوروفيلية من أنواع: .(Viridis - Xantha - Striata - Tigrina - Maculata - Albino - Chlorina)

وسُجِّلت كذلك في عائلات الجيل الثاني أنواع مختلفة من الطفرات (التغيرات) الشكلية والفيزيولوجية المتعلقة بالصفات التالية: قوة النبات وشكله وطوله، وشكل السنبلة وحجمها، ووجود السفا وشكله ولونه، وقوة الساق، وشكل الأوراق ولونها وتوضعها، وكثافة الإشطاءات، ووجود الطبقة الشمعية على الأوراق، ومقاومة الأمراض، وتحمل الجفاف، والتبكير في النضج، وإنتاجية النبات، وشكل الحبوب ولونها.

التحليل الإحصائي

حُلِّلت البيانات المخبرية والحقلية إحصائيًّا بحساب المتوسطات للعينات المدروسة والخطأ القياسي، وحسبت معنوية الفروقات بين المتوسطات بطريقة Student - Test.

النتائج والمناقشة

تأثير جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية في إحداث الطفرات الكروموسومية

تشير النتائج الواردة في الجدول (1) إلى أن نقع بذور صنف القمح "أكساد 1105" في جسيمات الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي أدى إلى حدوث نسبة ضعيفة من الطفرات الكروموسومية بلغت نحو 2% من خلايا النسيج الميريستيمي في مراحل الإنقسام الجسمي (Mitosis)، في حين أن هذه النسبة كانت في الشاهد 0.54%، أي أن جسيمات Ag وZnO النانوية رفعت النسبة الطبيعية لحدوث الطفرات الكروموسومية بنحو 4 مرات، وهذا يتوافق مع نتائج (AL-Ahmadi, 2013; Raskar and Laware, 2014; Abdelsalam *et.al.*, 2022)، التي تبين أن الجسيمات النانوية تستطيع إحداث نسبٍ منخفضةٍ من الطفرات الكروموسومية، وهذا عائد لأنها من معادن التي لا تمكنها طاقتها الضعيفة بالتراكيز المدروسة من إحداث نسبة عالية من الكسور في بنية الكروموسومات والحمض النووي DNA.

الجدول 1. تأثير نقع بذور القمح بجسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية في إحداث طفرات كروموسومية

المعاملة	التركيز	عدد الخلايا المدروسة	نسبة الخلايا المنقسمة الحاوية على طفرات كروموسومية (%)
أكسيد الزنك النانوي ZnO	50 PPM	554	2.16 ± 0.62
الفضة النانوية Ag	40 PPM	446	2.14 ± 0.66
شاهد (ماء مقطر)	-	367	0.54 ± 0.37

تأثير الأسمدة الورقية التقليدية غير النانوية في إحداث الطفرات الكروموسومية

نظرًا لكون معظم الأسمدة النانوية الحالية تستخدم رشًّا على الأوراق، كان من المفيد مقارنة فاعليتها في إحداث الطفرات الكروموسومية مع الأسمدة الورقية المعدنية غير النانوية.

تبين نتائج الجدول (2) أن الأسمدة التقليدية الورقية أمكنها أن تحدث نسبة قليلة من الطفرات الكروموسومية، تراوحت بين 1.7-2.4% للأسمدة الحاوية على العناصر الكبرى، و2.9-3.3% لأسمدة العناصر الصغرى، في حين أنها تبلغ في الشاهد 0.8%، أي أن الأسمدة الورقية التقليدية كانت أكثر فاعلية من الشاهد (غير المعامل) بنحو2-4 مرّات، وهي نسبة أعلى بقليل مقارنة مع النسب التي أحدثتها جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانويان، ولأن الأسمدة الورقية المستخدمة في البحث مكونة من عناصر معدنية لا تتفاعل بسهولة مع المكونات الكيميائية للمواد الوراثية، فمن المتوقع أن يكون تأثيرها الفيزيائي في بنى الكروموسومات ضعيفاً فهي تحتاج إلى طاقة كافية لحدوثها، وهذا ما يفسر انخفاض نسبة حدوث هذا النوع من الطفرات بتأثير السماد الورقي.

الجدول 2. تأثير نقع بذور القمح بأسمدة ورقية تقليدية غير نانوية في إحداث طفرات كروموسومية

المعاملة	التركيز%	عدد الخلايا المدروسة	نسبة الخلايا المنقسمة الحاوية على طفرات كروموسومية%
سماد ورقي تقليدي(عناصر كبرى)	0.1	287	1.74 ± 0.77
سماد ورقي تقليدي(عناصر كبرى)	0.2	331	2.41 ± 0.84
سماد ورقي تقليدي(عناصر صغرى)	0.1	204	2.94 ± 1.18
سماد ورقي تقليدي(عناصر صغرى)	0.2	241	3.31 ± 1.15
شاهد(ماء مقطر)	--	239	0.83 ± 0.58

وبناءً عليه يمكن الاستنتاج أن قدرة الأسمدة النانوية على إحداث الطفرات الكروموسومية ضعيفة ولا تختلف في ذلك كثيراً عن قدرة الأسمدة الورقية المعدنية التقليدية ويمكن وضعهما في المستوى نفسه. ولأن اختبار تحديد نسب حدوث الطفرات الكروموسومية يعد أحد المؤشرات المهمة الدالة على درجة الأمان الوراثي للمواد المدروسة (Debnath *et al.*, 2018)، وباعتبار أن بعض الدول بدأت باستخدام الأسمدة النانوية على نطاق تجاري ضيّق بالرغم من عدم استكمال البحوث الضرورية للتأكد من الأمان الحيوي لها، كان من الضروري دراسة قدرة الجسيمات النانوية على إحداث الطفرات الحقلية الكلوروفيلية والشكلية والفسيولوجية (Kumari *et al.*, 2023).

تأثير جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية في إحداث الطفرات الكلوروفيلية

تشير نتائج الجدول (3) إلى أن جسيمات الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي أحدثت في بادرات القمح الفتية نسبة ضعيفة من الطفرات الكلوروفيلية تراوحت من 1-2%في عائلات الجيل الثاني M2، وهذا يشير بوضوح إلى الفعالية الضعيفة لجسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانويان، ويتوافق مع النتائج المتعلقة بالطفرات الكروموسومية في هذا البحث.

ولأن مادة أزيد الصوديوم NaN3 معروفة بكفاءتها العالية في إحداث الطفرات الحقلية في النبات عمومًا والقمح على وجه الخصوص (Tai *et al.*, 2016, Srivastava *et al.*, 2019)، ولكونها مستخدمة على نطاق واسع في برامج إحداث الطفرات اصطناعيًّا في القمح، جرت مقارنة فاعليتها مع جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية.

يبين الجدول (3) أن مادة أزيد الصوديوم أحدثت نسبة عالية نسبيًّا من الطفرات الكلوروفيلية بلغت 5.36% في عائلات الجيل الثاني، وهي أعلى بنحو 2.7-4.7 مرات مقارنة بالنسب التي أحدثتها الجسيمات النانوية المدروسة، وهذه النتيجة مرتبطة بحقيقة أن أزيد الصوديوم مادة نشطة كيميائيًّا يمكنها التفاعل مع الحمض النووي DNA وإحداث طفرات جينية (Gene mutations)، ومن المعروف أن الطفرات الكلوروفيلية تظهر نتيجة حدوث طفرات جينية وظهور أليلات جديدة (Alleles) مختلفة في تأثيرها عن الجينات الأصلية.

الجدول 3. تأثير الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي ومادة أزيد الصوديوم في إحداث طفرات كلوروفيلية

المعاملة	التركيز	عدد عائلات الجيل الثاني المدروسة (M2)	عدد عائلات الجيل الثاني الحاوية على طفرات كلوروفيلية	%
الفضة النانوية Ag	40 ppm	102	2	1.96 ± 1.37
أكسيد الزنك النانوي ZnO	50 ppm	87	1	1.15 ± 1.14
أزيد الصوديوم NaN3	0.003 Molar	56	3	5.36 ± 3.00

تأثير جسيمات الفضة وأكسيد الزنك النانوية في إحداث الطفرات الشكلية والفسيولوجية

ولكي تكتمل دراسة تأثير الجسيمات النانوية في المادة الوراثية والحمض النووي DNA لابد من دراسة وتحديد قدرتها على إحداث الطفرات المورفولوجية والفسيولوجية في نباتات القمح حقليًّا.

تشير النتائج الواردة في الجدول (4) إلى أن جسيمات الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي تمكنت من إحداث نسباً ضعيفة - معتدلة من الطفرات الحقلية الشكلية والفسيولوجية بلغت 3.9 و8% على التوالي في عائلات الجيل الثاني M2، ويعود سبب ارتفاع هاتين النسبتين رغم ضعف تأثير الجسيمات النانوية إلى أن العدد الكبير من الجينات (Genes) التي تتحكم في الصفات الشكلية والفسيولوجية المدروسة. وبالمقابل أحدثت مادة أزيد الصوديوم نسبة متوسطة من الطفرات الشكلية والفسيولوجية بلغت 12.5% أي أعلى مما أحدثته الجسيمات النانوية بنحو 1.5-3 مرات، ويلاحظ أن هذه النتيجة تنسجم مع سياق النتائج السابقة، وتمكّن من الاستنتاج أن المواد النانوية بالتراكيز المدروسة لا تتمتع بقدرة معتبرة على إحداث الطفرات الشكلية والفسيولوجية في الحقل، ومع ذلك لا يمكن التغافل عن هذه النسب القليلة التي تحدثها من الناحية الوراثية، ومن الملائم النظر في تصنيف الجسيمات النانوية في قائمة المواد الكيميائية ذات القدرة الضعيفة في إحداث الطفرات في القمح.

الجدول 4. تأثير الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي وأزيد الصوديوم في إحداث طفرات شكلية وفسيولوجية

المعاملة	التركيز	عدد عائلات الجيل الثاني المدروسة (M2)	عدد عائلات الجيل الثاني الحاوية على طفرات مورفولوجية وفسيولوجية	%
أزيد الصوديوم	0.003 Molar	56	7	12.50 ± 4.41
الفضة النانوية	40 ppm	102	4	3.92 ± 1.92
أكسيد الزنك النانوي	50 ppm	87	7	8.05 ± 2.92

إن تأكيد فاعلية الجسيمات النانوية في إحداث طفرات حقلية شكلية وفيزيولوجية في القمح حتى وإن كانت ضعيفة يعدُّ نتيجة مهمة؛ لأن هذا يعني أن الأسمدة المصنّعة من المواد النانوية قادرة على إحداث تغيرات في المواد الوراثية، ما يجعلها مصدر خطر بيولوجي محتمل على البيئة والكائنات الحية وصحة الإنسان. لذلك، ينبغي التأكيد على ضرورة إجراء المزيد من الدراسات والبحوث حول الموضوع، وهذا مع ما أشار إليه (Bhardwaj *et al.*, 2022; Haliloglu *et al.*, 2022; Kumari*bet al.*, 2023).

الاستنتاجات والتوصيات

أدت معاملة بذور القمح بجسيمات الفضة النانوية وأكسيد الزنك النانوي إلى إحداث نسبة قليلة من الطفرات الكروموسومية والكلوروفيلية، ونسبة معتدلة من الطفرات الشكلية والفسيولوجية، وهذا يدل على القدرة المحدودة لهذه الجسيمات في التأثير في المادة الوراثية للقمح.

لذلك، حتى وإن بدئ باستخدام الأسمدة النانوية على نطاق ضيق في بعض الدول، وبغض النظر عن مزايا هذه الأسمدة، وتأثيرها البيولوجي الضعيف في القمح، فلا ينبغي اعتمادها في الزراعة إلا بعد استكمال كافة الاختبارات والبحوث اللازمة للتأكد من الأمان البيولوجي والوراثي لها، وضمان عدم تضرر الأنظمة البيئية والكائنات الحية من جرّاء استخدامها، وأن يكون تداولها بموجب بروتوكول خاص.

المراجع

- Abdelsalam, N. R. A. Abdel-Mageed, R.Y. Ghareeb, H.M. Ali, M.Z.M. Salem, M. Akrami, M.F.A. AL-Hayalif, E.S.M. Desoky. 2022. Genotoxicity assessment of amino zinc nanoparticles in wheat (*triticum aestivum* L.) as cytogenetical perspective. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(4), PP. 2306-2313.
- Abhigna, D., K. lakshman, and P.N. Siva Prasad. 2021. Nano-fertilizers for Sustainable Agriculture. Chronicle of Bioresource Management, 5(2), pp.37-40

- AL-Ahmadi, M. S. 2013. Cytogenetic and molecular assessment of some nanoparticles using *Allium sativus* assay. African Journal of Biotechnology, Vol. 18(29), PP. 783-796.
- Bhardwaj, A. K., G. Arya, R. Kumar, L. Hamed, H. Pirasteh-Anosheh, P. Jasrotia, P. L. Kashyap and G. P. Singh. 2022. Switching to nanonutrients for sustaining agroecosystems and environment: the challenges and benefits in moving up from ionic to particle feeding. Journal of Nanobiotechnology 20, no.19.
- Chen, M., A.von Mikecz. 2005. Formation on nucleoplasmic protein aggregates impairs nuclear function in response to SiO^2 Nanoparticles. Experimental Cell Research, 305(1), pp. 51-62.
- 6- Debnath, P., A. Mondal, A. Hajra, C. Das, N. K. Mondal. 2018. Cytogenetic effects of silver and gold nanoparticles on *Allium cepa roots*. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, V.16, Issue 2, PP. 519-526.
- Gade, A.K., P. Ingle, U. Nimbalkar, M. Rai, R. Raut, M. Vedpathak, P. Jagtap, and K. A. Abd-Elsalam. June 2023. Nanofertilizers: The Next Generation of Agrochemicals for Long-Term Impact on Sustainability in Farming Systems. Agrochemicals, 2 (2), PP. 257-278.
- Haliloglu, K. A. Turkoglu, O. Balpinar, H. Nadaroglu, A. Alayli. and P. Poczai. 2022. Effects of Zinc, Copper and Iron Oxide Nanoparticles on Induced DNA Methylation, Genomic Instability and LTR Retrotransposon Polymorphism in Wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant, 11(17): 2193.
- Jampilek, J., K. Kralova. 2015. Applications of Nanoformulations in Agriculture Production and Their Impact on Food and Human Health. Proceeding of ECOpole, 9(2), pp. 465-472.
- kumar, N. S.R. Samota, K. Venkatesh, S.C. Tripathi. 2023. Global trends in use of nano-fertilizers for crop production: Advantages and constraints - A review. Soil and Tillage Research, V.228. 105645.
- Kumari, R. K. Suman, S. Karmakar, V. Mishra, S.G. Lakra, G.K. Saurav، and B.K. Mahto. June 2023. Regulation and safety measures for nanotechnology-based agri- products. Front. Genome- Ed., 5: 1200987.
- Mirbakhsh، M. 2023. Role of Nano - fertilizer in Plants Nutrient Use Efficiency (NUE). J. Gene. Eng. Bio. Res., 5(2), PP. 75-81.
- 13- Raskar, S.V. and S.L. Laware. 2014. Effect of zinc oxide nanoparticles on cytology and seed germination in onion. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci., 3(2): 467-473.
- Shang, Y., M.K. Hasan, G. J. Ahammed, M. Li, H. Yin and J. Zhou. 2019. Application of Nanotechnology in Plant Growth and Crop Protection: A Review. Molecules, 24(14), 2558.
- Skyquest. 2024. Global Nano Fertilizer Market, Size, Growth and Trends Report. P.184.

- Srivastava, R., J. Agarwal, M. Pareek, and A.Verma. 2019. Mutagenic Effect of Sodium Azide (NaN3) on Seed Germination and Chlorophyll Content of Spinach oleracea, Ind. J. Pure App. Biosci. 7(4), PP. 366-370.
- Statista. 2023. Global fertilizer market size in 2020 and 2021.
- 18- Su,Y., X. Zhou, H. Meng, T. Xia, H. Liu, P. Rolshausen, C. Roper, J. McLean, Y. Zhang, A.A. Keller, D. Jassby. 2022. Cost–benefit analysis of nanofertilizers and nanopesticides emphasizes the need to improve the efficiency of nanoformulations for widescale adoption. *Nature Food,* 3(12), pp.1020-1030.
- Tai, T., A. Chum, I. M. Henry, K. J. Ngo, D.Burkart-Waco. 2016. Effectiveness of Sodium Azide Alone Compared to Sodium Azide in Combination with Methyl Nitrosurea for Rice Mutagenesis. Plant Breed. Biotech. 4(4), PP. 453-461.
- Tarafdar, J.C., I. Rathore and E. Thomas. 2015. Enhancing Nutrient Use Efficiency through Nano Technology Interventions. Indian J. Fert., Vol.11 (12), PP.46-51.
- Wu, H. and Z. Li. 2022. Nano-enabled agriculture: How do nanoparticles cross barriers in plants?. Plant Communications, 3, 100346.
- Zein, R., I. Alghoraibi, Ch. Soukkarieh, A. Salman and A. Alahmad. 2020. In-Vitro Anticancer Activity against Caco-2 Cell Line of Colloidal Nano Silver Synthesized Using Aqueous Extract of *Eucalyptus camaldulensis* Leaves. *Heliyon* 6 (8):e04594.

N° Ref: 1165