تأثير معاملة البذور في جسيمات أوكسيد الزنك النانوي وحمض السالسيليك في إنتاجية القمح القاسي (شام 7) تحت ظروف الاجهاد المائي

ياسر السلامة [1] – عمر عبد الرزاق[1]– إبراهيم الغريبي [2] – نور السلطان [1,3]

[1] قسم التربة واستصلاح الأراضي – كلية الزراعة – جامعة الفرات – سوريا

[2] قسم الفيزياء – كلية العلوم – جامعة دمشق – سوريا

[3] طالبة ماجستير

الملخص

بهدف زيادة قدرة نباتات القمح القاسي (شام7) في تحمل الاجهاد المائي من خلال نقع البذور بمحاليل مختلفة قبل زراعتها، اذ تم نقع البذور بمحلول جسيمات أوكسيد الزنك النانوية (ZnO NPs) ومحلول حمض السالسيليك بتركيز 25ppm والماء المقطر لمدة 4 ساعات، إضافة للزراعة بدون نقع، فقد نفذت تجربة حقلية بتصميم القطع المنشقة في مركز البحوث العلمية الزراعية – محطة بحوث سعلو بدير الزور – سورية ، في الموسم الزراعي 2021–2022 ، تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي (50% ,75% ,100% من الاحتياج المائي إضافة للزراعة المطرية).

أظهرت النتائج أنّ عملية نقع بذور القمح قبل زراعته في محلول (ZnO NPs) ومحلول حمض السالسيليك قد اثرت معنوياً في جميع المؤشرات المدروسة (طول النبات عند الحصاد، الإنتاجية الحيوية –الإنتاجية الحبية – الانتاجية من القش) وتفوقت معاملة النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية على باقي المعاملات وتحت جميع مستويات الاجهاد المائي، اذ كانت أفضل النتائج عند الري ب100% من الاحتياج المائي.

أدت عملية نقع البذور بمحلول ZnO NPs لمدة 4h إلى زيادة في كل من طول النبات والغلة الحيوية والغلة الحبية وكمية القش بنسبة (38.34% and 32.25 ,35.24 ,12.28)على التوالي، مقارنةً بمعاملة الشاهد بدون النقع عند مستوى 100% من الاحتياج المائي ، في حين كانت الزيادة 50.80 and 27.60 ,12.59 (7.18%) على التوالي مقارنةً بدون النقع عند مستوى 75% من الاجهاد المائي. وفي ضوء هذه النتائج فإننا نوصي بعملية نقع بذور القمح القاسي قبل الزراعة بمحلول جسيمات أكسيد الزنك النانوية بتركيز 25ppm ولمدة 4 ساعات، لما لها من أهمية في زيادة قدرة النباتات في تحمل ظروف الاجهاد المائي.

كلمات مفتاحية: القمح – نقع البذور – جسيمات أوكسيد الزنك النانوية – الاجهاد المائي

المقدمة والدراسة المرجعية:

يعد القمح (*Triticum aestivum* L.) من بين محاصيل الحبوب الرئيسية وهو الغذاء الأساسي لأكثر من 50% من سكان العالم. وفي ضوء الطلب المتزايد، يشكل تعزيز إنتاجيته تحدياً كبيراً في جميع أنحاء العالم. ولمواجهة هذه التحديات، يلزم إدخال تقنيات مبتكرة تساعد على زيادة واستدامة أنظمة المحاصيل الحالية بطرق زراعية حديثة.

ولما كان الاجهاد المائي من أكثر المشكلات التي تتعرض لها المحاصيل، قامت الأبحاث والدراسات المختلفة على المساعدة و الإبحار في حل هذه مشكلة، وذلك من خلال إيجاد طرق نالت الأثر الإيجابي للتخفيف منه، فمنها ما استخدم منظمات و محفزات النمو كمعاملة البذور بالأوكسينات مثل (حمض الإندول الخلي) AIA نقعاً ورشاً، حيث أثبت تركيز النقع 7ppm وتركيز الرش 0.5ppm نجاح في نمو وإنتاج القمح وفي أنواع نباتية أخرى تحت ظروف الإجهاد ***(الجامع ،2017)*** ومنها ما استخدم حمض الجبريلين Gibbrelin GA3 و الكينيتين Kinetin كمنظمات لاستخدام المياه واستقرار النمو، ولتحفيز بذور الحنطة و جعلها متحملة للإجهاد المائي ***(العبيدي، 2018)*** .

كان لهذا النوع من الاجهاد رصيد علمي جيد في عالم تقنية النانو Nanotechnology التي يعتمد مفهومها على اعتبار أن الجسيمات التي يقل حجمها عن مائة نانومتر تُعطي للمادة التي تدخل في تركيبها خصائص وسلوكيات جديدة. وهذا بسبب أن هذه الجسيمات تُبدي مفاهيم فيزيائية وكيميائية جديدة مما يقود إلى سلوك جديد يعتمد على حجم الجسيمات. فقد لوحظ، كمثال لذلك، أن التركيب الإلكتروني ودرجة الانصهار والخصائص الميكانيكية للمادة تتغير كلها عندما يقل حجم الجسيمات عن قيمة حرجة من الحجم، حيث كلما اقترب حجم المادة من الأبعاد الذرية كلما خضعت المادة لقوانين ميكانيكا الكم بدلاً من قوانين الفيزياء التقليدية. وعند تصنيع المواد بحجم النانو فإن التركيب الفيزيائي والتركيز الكيميائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع تلعب دوراً مهماً في خصائص المادة النانوية الناتجة، وهذا خلافاً لما يحدث عند تصنيع المواد العادية. ***(Solomon et al., 2007)***

وبذلك تصبح حركة الجسيمات النانوية عالية جداً نظراً لصغر حجمها، وهذا بدوره يضمن النقل في اللحاء ويضمن وصول العناصر الغذائية إلى جميع أجزاء النباتات وبالتالي التأثير على معدل التحويل المؤدي إلى تراكم للمادة الجافة، مما يؤدي بالنهاية إلى زيادة مؤشر الحصاد. (**Poornima, 2019 ; Mahesh et al., 2022**). ومن جهة أخرى، فان التطبيقات النانوية في المجال الزراعي تمثل أهم آليات التوصل إلى أساليب الزراعة الحديثة والتي تتلخص بالكلفة الاقتصادية المنخفضة الناجمة عن قلة الأمراض الوبائية التي تصيب مختلف المحاصيل الاستراتيجية(الحبوب مثلاً) وزيادة كفاءة الأسمدة المصنعة مع قلة كلفتها المادية ومقاومة المنتج الزراعي للظروف البيئية المختلفة (***Mehrotra et al., 2010***).

يعتبر عنصر الزنك من العناصر الصغرى المهمة للنيات، له دور مساعد في عمليات فيزيولوجية مختلفة، كتنظيم الثغور، والتمثيل الضوئي وكفاءة غشاء الخلية وغيرها (***Hassan* et al., 2020**). ويؤدى نقع البذور في المواد النانوية قبل زراعتها لتحسين انباتها وزيادة قوة البادرات على تحمل الظروف المختلفة (***Abobatta, 2016***). وأثبتت دراسة بحثية أن التركيزات المنخفضة منها أفضل من المرتفعة (**عبد الحليم وآخرون، 2023**

) وأن النقع بجسيمات أكسيد الزنك النانوية بتركيز 25ppm هو الأمثل في تخفيف الأضرار الناجمة عن الجفاف، كونه يعمل على تعزيز مستويات حمض البرولين الأميني مما يسهل على النبات مكافحة الاجهاد الناتج عن نقص المياه، بالإضافة لدوره في تنشيط إنزيمات مضادات الأكسدة فالزنك النانوي يخفض مستويات مؤشرات الاجهاد التأكسدي (***Waqas et al., 2022***).

ولا يؤثر الجفاف فقط على العلاقة بين الماء والنبات بل ويؤثر على إغلاق المسامات، ويحد من التبادل الغازي ويوقف معدلات امتصاص الكربون "التمثيل الضوئي" ***(Schulze et al., 2019)***. ويتوقف تأثير التخفيف الناجم عن استخدام الجسيمات النانوية **(NPs)** على الحجم والشكل والامتصاص والجرعة (***Ahmad et al., 2019***).

استخدمت FeO و CuO كجسيمات نانوية في التطبيقات الزراعية فأدت الجرعات المختلفة إلى تكوين جذور جانبية حيث حفّزت Zn NPs على انتشار و استطالة الجذور الشعرية في شتلات القمح تحت ظروف الجفاف، حيث أوضحت الدراسة أن الجسيمات النانوية أعطت الحماية المعارضة لتحديات الجفاف و الإجهاد المائي **(Yasmeen et al., 2017)**.

وبالتالي فإن الأساليب الناشئة للزراعة المستدامة تشمل تركيبات يستخدم ضمنها الجسيمات النانوية ***(Yang et al., 2017)***. وأشار كل من **(Hojjat and *Ganjali., 2016)*** إلى التأثير الإيجابي لجسيمات الفضة النانوية مع العدس تحت ظروف الإجهاد المائي وذلك في معدّل الانبات ونسبة وطول الجذور وزيادة الوزن الجاف للجذور المتعرضة للجفاف.

مبررات البحث:

من خلال الاستعراض السابق لجميع المعطيات والدراسات يمكن اجمال مبررات هذا البحث بالنقاط التالية:

- ✓ الأهمية الاقتصادية لمحصول القمح في سوريا كونه العمود الفقري لتحقيق استراتيجية الأمن الغذائي، واهتمام وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي بتحسين ظروف زراعته وتسمية هذا العام ب "عام القمح".
- ✓ الانتشار الواسع لزراعة القمح في سوريا وتوفر الظروف والمناخ المناسب والمساحات الجيدة لزراعته وخاصة في المناطق الشمالية الشرقية.
- ✓ التغيرات المناخية وندرة المياه وقلة معدلات الهطول المطري في سوريا بشكل عام، وفي محافظة دير الزور بشكل خاص وتأثيرها على إنتاجية محصول القمح.
- ✓ دخول تقانة النانو جميع مجالات العلوم والسعي في استخدام هذه التقانة في معالجة بعض المشاكل الزراعية ومنها الاجهاد المائي وذلك من خلال معاملة بذور القمح قبل الزراعة بمحاليل نانوية بغية تحفيزها وتقسية لتحمل ظروف الاجهاد المائي.

هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة دور نقع بذور القمح القاسي صنف (شام 7) قبل الزراعة بجسيمات أكسيد الزنك النانوية ZnO NPs كتقنية حديثة في تحمل مستويات مختلفة من الإجهاد المائي وانعكاس ذلك على بعض مؤشرات الإنتاجية مقارنة مع النقع بحمض السالسيليك Salicylic acid كتقنية شائعة الاستخدام في هذا المجال.

مواد وطرق البحث:

تم تنفيذ البحث في مركز البحوث العلمية الزراعية – محطة بحوث سعلو بدير الزور على بعد 30km شرق المدينة (خط طول 35.22 شرقا وبخط عرض40.11 شمالا وعلى ارتفاع 203mعن سطح البحر). في الموسم الزراعي 2021–2022، اذ تم فلاحة الارض وتقسيمها الى قطع تجريبية بمساحة $2m^2$ لكل قطعة، واخذ عينة ترابية مركبة ضمن القطع التجريبية قبل الزراعة وعلى عمق من 0–30Cm ، و تم نقلها إلى مخبر تحليل التربة في قسم التربة واستصلاح الأراضي، بكلية الزراعة في جامعة الفرات، لتحديد بعض خصائصها الفيزيائية والكيميائية (الجدول رقم1).

الجدول (1): خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية قبل الزراعة.

العناصر المعدنية المتاحة				CaCO3 %	OM %	Ece ds. m^{-1}	PH
Zn ppm	K ppm	P ppm	N %				
0.95	406	7.5	0.16	2.25	1.07	2.32	7.8
المسامية الكلية %	الكثافة الحقيقية g/cm^3	الكثافة الظاهرية g/cm^3	قوام التربة		التوزيع الحجمي للحبيبات %		
					طين	سلت	رمل
40.81	2.45	1.45	طيني		46	22	32

تم نقع حبوب القمح القاسي *Triticum durum L.* (صنف شام 7) في مخبر التربة واستصلاح الأراضي بكلية الهندسة الزراعية –جامعة الفرات بكل من محلول جسيمات أوكسيد الزنك النانوية Zn NPs (المحضرة في مخبر النانو بقسم الفيزياء، كلية العلوم –جامعة دمشق) و محلول حمض السالسيليك بتركيز 25ppm وبالماء المقطر قبل الزراعة لمدة أربع ساعات وبعد تجفيفها تم زراعتها بالإضافة لزراعة بذور دون نقع (زراعة تقليدية كشاهد) بمعدل20Kg/ha. حيث تمت الزراعة على خطوط المسافة بينها 25cm، وتم إضافة الأسمدة المعدنية (NP) حسب التوصية السمادية لوزارة الزراعة واستصلاح الأراضي تبعاً لتحليل التربة قبل الزراعة. وتمت الزراعة تحت اربع مستويات من الاجهاد المائي (100% ,75% ,50% من الاجتياحات المائية) إضافة الى الزراعة المطرية (حيث كان معدل الهطول المطري في موسم 2021–2022 هو 59.6mm حسب قراءات المحطة المناخية

في مركز البحوث العلمية بسعلو) وبواقع ثلاث مكررات لكل معاملة. وفي نهاية التجربة تم اخذ بعض مؤشرات الإنتاجية {طول النبات عند الحصاد(Cm)، الإنتاجية البيولوجية، الإنتاجية الحبية والإنتاجية من القش (tan/ha)}.

نفذت التجربة بتصـميم القطع المنشـقة ضـمن قطاعات كاملة العشـوائية حيث احتلت معاملة نقع البذور في القطع الثانوية ومعاملة الاجهاد المائي بالقطع الرئيسـية بواقع ثلاث مكررات لكل معاملة، وحللت البيانات بعد جمعها وتبويبها إحصائياً باستخدام برنامج التحليل الإحصائي M–Statc لحساب قيم أقل فرق معنوي Least Significant Difference (LSD)، عند مستوى المعنوية 0.05.

النتائج والمناقشة:

تظهر نتائج التحليل الإحصائي في الجدول رقم (2) وجود فروق معنوية بين متوسط أطول نباتات القمح القاسي (شام 7) في مرحلة الحصاد، فقد تفوقت معاملة تزويد النباتات ب 100% و75% من الاحتياج المائي على معاملة الزراعة المطرية (85.36, 82.34, 73.39 cm) على التوالي، في حين لم تكن الفروق معنوية بين معاملة 50% من الاحتياج المائي والزراعة المطرية (78.72, 73.39 cm) على التوالي.

جدول رقم (2): تأثير معاملة نقع بذور القمح القاسي (شام7) في جسيمات أوكسيد الزنك النانوية وحمض السالسيليك في أطوال النباتات النامية تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي عند الحصاد(cm).

المعاملة	الاجهاد المائي%				المتوسط
	100%	75%	50%	زراعة مطرية	
شاهد بدون نقع	81.37	78.63	76.17	70.57	76.68
نقع بماء مقطر/ 4h	81.67	78.67	76.73	72.10	77.29
نقع بحمض السالسيليك (25ppm /4h)	87.03	83.53	79.33	71.76	80.39
نقع بجسيمات الزنك النانوية (25ppm /4h)	91.37	88.53	82.63	79.23	85.44
المتوسط	85.36	82.34	78.72	73.39	
LSD 0.05	نقع البذور		6.48		
	الاجهاد المائي		6.37		
	نقع بذور X اجهاد مائي		12.75		

وقد بلغت نسبة الزيادة بالطول عند مقارنة النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية عند مستوى الاجهاد المائي 100% و 75% (12.28%) و (12.59%) على التوالي مقارنة مع معاملة الشاهد (100% احتياج مائي وبدون نقع). في حين كانت نسب الزيادة عند نقع البذور بحمض السالسيليك عند 100% و 75% من الاحتياج المائي هي (6.96%) و (6.23%) على التوالي، مقارنة بالشاهد.

ومن جهة أخرى، فإن معاملة نقع البذور بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية قبل الزراعة بتركيز 25ppm لمدة أربع ساعات قد زاد من متوسط أطول النبات خلال مرحلة الحصاد حيث بلغ طول النبات (85.44cm) مقارنة مع

الشاهد (76.68cm) في حين أن الفروقات لم تكن معنوية بين معاملة الشاهد ومعاملة النقع بالماء المقطر وبحمض السالسيليك. كما بينت نتائج التحليل الاحصائي للتداخل بين معاملة النقع ومعاملة الاجهاد المائي تفوق معاملة النقع بجسيمات الزنك النانوية عند مستوى 100% و 75% من الاحتياج المائي قد زاد من متوسط أطول النباتات (88.35cm و 91.37cm) تليها معاملة النقع بحمض السالسيليك (87.03cm و38.53cm) مقارنة مع معاملة الزراعة المطرية بدون نقع (70.57cm). وهذه النتائج تتوافق مع النتائج التي توصل اليها **(Waqas et al., 2022)** حيث توصلوا الى أن نسبة 70%من الاجهاد المائي قد أعطت افضل أطوال للنبات عند نقع بذور الأرز قبل الزراعة بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية وبتركيز 25ppm. في حين بين **(Yasmeen et al., 2017)** أن نقع حبوب القمح في جزيئات النحاس والحديد النانوية قبل الزراعة قد أدى الى زيادة في طول السنبلة وعدد الحبوب. وتعود الزيادة بطول النبات إلى أن الزنك يعمل كمنشط للأنزيمات في النباتات ويشارك بشكل مباشر في تخليق بعض هرمونات النمو من الأوكسينات التي تنتج المزيد من الخلايا، كما أنه يزيد من امتصاص العناصر الغذائية الأخرى و يزيد النشاط الأيضي. (**Poornima and *Koti*, 2019)**. كما ويعمل وجود الزنك على رفع مستويات التربتوفان في أنسجة النبات، الذي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بالتخليق الحيوي لحمض الاندول-3-أسيتيك Indol-3-acetic acid والميلاتونين Melatonin، وبالتالي يمكن لجسيمات ZnO NPs أن تعزز انقسام الخلايا، وإنتاج الكتلة الحيوية، وتأخر شيخوخة الخلايا النباتية. **(Tognetti et al., 2012; *Tanste et al., 2016*)**.

تظهر نتائج التحليل الاحصائي في الجدول رقم (3) أن متوسط الغلة الحيوية كان الأعلى مع الشاهد المروي 100% من الاحتياج المائي والذي سجل 10.51 Ton/ha من الغلة الحيوية متفوقاً معنوياً على جميع مستويات الاجهاد المائي، وقد سجلت الزراعة المطرية أدنى متوسط للغلة الحيوية للقمح 4.13 Ton/ha.

جدول رقم (3): تأثير معاملة نقع بذور القمح القاسي (شام 7) في جسيمات أوكسيد الزنك النانوية وحمض السالسيليك في الغلة الحيوية (Ton/ha) للنباتات النامية تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي

المعاملة	الاجهاد المائي%				المتوسط
	100%	75%	50%	زراعة مطرية	
شاهد بدون نقع	9.08	8.08	6.83	3.34	6.83
4h نقع بماء مقطر	9.50	7.65	7.14	2.42	6.68
نقع بحمض السالسيليك (25ppm /4h)	11.19	9.04	7.20	4.50	7.98
نقع بجسيمات الزنك النانوية (25ppm /4h)	12.28	10.31	8.67	6.27	9.38
المتوسط	10.51	8.77	7.46	4.13	
LSD 0.05	نقع البذور		0.41		
	الاجهاد المائي		0.45		
	نقع بذور X اجهاد مائي		0.90		

وقد زادت الغلة الحيوية عند النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية عند مستوى الاجهاد المائي 100% و 75% هي (35.%) و (27.60%) على التوالي مقارنة بالشاهد. في حين كانت نسب الزيادة عند النقع بحمض السالسيليك

عند 100% و 75% على التوالي هي (23.24%) و (11.88%) مقارنة بالشاهد. كما أظهرت صفة الغلة الحيوية للقمح تأثراً معنوياً تحت مستويات الاجهاد المختلفة وتفوقت معنوياً معاملة النقع بجسيمات الزنك النانوية(9.38 Ton/ha)على جميع معاملات النقع، وقد سجلت معاملة الشاهد بدون نقع والنقع بالماء المقطر أدنى غلة حيوية 6.83 Ton/ha و 6.68 Ton/ha على التوالي.

تشير النتائج إلى أن التداخل بين عاملي الدراسة (مستويات الاجهاد المائي ومعاملات النقع) كان معنويا وسجلت المعاملة التي أعطيت 100% من الاحتياج المائي والنقع بجسيمات الزنك النانوية أعلى غلة حيوية 12.28 Ton/ha بينما كانت معاملات النقع بالماء المقطر تحت الزراعة المطرية الأقل في الكتلة الحيوية 2.42 Ton/ha. وهذه النتائج تتوافق مع ما توصل اليه **(Srivastav et al., 2021)** التي تم فيها نقع بذور القمح والذرة بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية قبل الزراعة بتراكيز مختلفة، وكانت من أبرز النتائج زيادة الكتلة الحيوية وطول النبات عند التراكيز المنخفضة عنها بالتراكيز المرتفعة والشاهد. وقد وثق العديد من الباحثين زيادة في الكتلة الحيوية للنبات عند معالجة البذور ونقعها بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية (***Mahakham et al., 2016***)، (***Rizwan et al., 2019***)، وقد تكون استراتيجية نقع البذور هذه مفيدة في تحويل المحاصيل إلى محاصيل مقاومة لتغير المناخ (***Espirito Santo Pereira et al., 2021***).

اظهرت نتائج التحليل الاحصائي في الجدول رقم (4) إلى وجود فروق معنوية في صفة الغلة الحبية بين المعاملات المدروسة، حيث كان متوسط الغلة الحبية للقمح الأعلى معنوياً في معاملة الشاهد المروي 100% من الاحتياج المائي (5.27 Ton/ha) مقارنة بمستويات الاجهاد المائي التي عرضت لها نباتات القمح 75% و 50% والزراعة المطرية والتي رافقها نقصاناً معنوياً في الغلة الحبية وسجلت الزراعة المطرية أدنى غلة حبية 1.62 Ton/ha. حيث يؤدي تراجع محتوى التربة المائي إلى تقليل كفاءة نباتات القمح الاشطائية والحيوية دون تحولها إلى اشطاءات مثمرة بسبب قلة نواتج التمثيل الضوئي المتاحة وبالتالي انخفاض الغلة الحبية.

جدول رقم (4): تأثير معاملة نقع بذور القمح القاسي (شام 7) في جسيمات أوكسيد الزنك النانوية وحمض السالسيليك في الغلة الحبية (Ton/ha) للنباتات النامية تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي

المعاملة	الاجهاد المائي%				المتوسط
	100%	75%	50%	زراعة مطرية	
شاهد بدون نقع	4.62	3.76	2.59	1.42	**3.10**
4h نقع بماء مقطر/	4.86	3.81	2.97	2.11	**3.19**
نقع بحمض السالسيليك (25ppm /4h)	5.47	4.57	3.69	1.84	**3.89**
نقع بجسيمات الزنك النانوية (25ppm /4h)	6.11	5.67	3.97	2.10	**4.46**
المتوسط	**5.27**	**4.45**	**3.31**	**1.62**	
LSD 0.05	نقع البذور		**0.41**		
	الاجهاد المائي		**0.33**		
	نقع بذور X اجهاد مائي		**0.67**		

وقد بلغت نسبة الزيادة بالغلة الحبية في معاملة النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية عند مستوى الاجهاد المائي 100% و 75% هي (32.25%) و (50.80%) على التوالي، مقارنة بالشاهد. في حين كانت نسب الزيادة عند النقع بحمض السالسيليك عند 100% و 75% من الاحتياج المائي هي (18.40%) و (21.54%) مقارنة بالشاهد. كما تشير نتائج الجدول رقم (4) إلى أن الغلة الحبية تأثرت معنوياً بمعاملات نقع البذور بجسيمات الزنك النانوية، حيث أعطت أعلى غلة حبية 6.11 Ton/ha تلتها معاملة النقع بحمض السالسيليك 5.47 Ton/ha، وسجلت معاملة الشاهد (بدون نقع) أقل غلة حبية 4.62 Ton/ha. وهذا يتوافق مع ما توصل اليه **(Elshayb et al., 2022)** حيث قاموا بدراسة الأثر الخاص بأكسيد الزنك النانوي في تعزيز إنتاجية الأرز وكفاءة استخدام المياه في ظل ظروف نقص المياه والاجهاد، رشاً على الأوراق، الذي كانت أبرز نتائجه هي أن جسيمات أوكسيد الزنك النانوية تعمل كمواد مخففة للتأثير الضار للإجهاد المائي على النمو والإنتاجية.

ومن جهة أخرى، فإن تأثير التفاعل بين مستويات الاجهاد المائي ومعاملات النقع قد سجل تفوق لمعاملة النقع بجسيمات الزنك النانوية عند الري 100% من الاحتياج المائي بكمية الغلة الحبية (5.27 Ton/ha) في حين كانت معاملة الشاهد (بدون نقع) تحت الزراعة المطرية الأقل في كمية الغلة الحبية (1.42 Ton/ha). وهذه النتائج تتوافق مع ما توصل اليه **(Abd El-Aziz et al., 2022)** ، حيث استخدموا ZnO NPs على محصول القمح تحت ظروف الاجهاد المائي وعدمه (نقع البذور، الرش الورقي، نقع البذور والرش الورقي معاً) وهذا بدوره زاد بشكل كبير محصول الحبوب والبراعم تحت عدم الاجهاد أو تحت الاجهاد المائي، فبالنسبة لمحصول الحبوب، بلغت هذه الزيادات 1.04 و 1.11 و 1.21 ضعفاً على التوالي، مقارنةً بالشاهد بدون أكسيد الزنك في حالة عدم وجود الاجهاد المائي، بينما بلغت 1.26 و1.38 و 1.45 ضعفاً على التوالي، مقارنةً بالشاهد بدون أكسيد الزنك في حالة الاجهاد المائي. وبالنسبة للبراعم فقد بلغت هذه الزيادات 1.06 و 1.14و 1.16 ضعفاً على التوالي، مقارنةً بالشاهد بدون أكسيد الزنك في حالة عدم وجود إجهاد، بينما بلغت 1.13 و1.15 و1.18 ضعفاً على التوالي، مقارنةً بالشاهد بدون أكسيد الزنك في حالة إجهاد الجفاف. ومن الجدير بالذكر أن التأثير الإيجابي للزنك على المحصول كان واضحاً نحت تأثير الاجهاد المائي منه في حالة عدم وجود إجهاد. وبشكل عام، في ظل الاجهاد الناتج عن نقص المياه /الجفاف/ او وجود الاجهاد المائي، فان النباتات قد تكيفت مع الإجهاد الأسموزي والأيوني.

تشير نتائج التحليل الاحصائي في الجدول (5) إلى وجود فروقات معنوية في صفة كمية القش تحت تأثير معاملات الإجهاد المائي ومعاملات النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية والتفاعل بينهما. حيث كانت نسبة الزيادة بكمية القش عند النقع بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية عند مستوى الاجهاد المائي 100% و 75% هي (38.34%) و (7.18%) على التوالي، مقارنة مع الشاهد . في حين كانت نسب الزيادة عند النقع بحمض السالسيليك عند 100% و 75% هي (28.25%) و (3.47%) على التوالي، مقارنة بمعاملة الشاهد. كما يلاحظ إن متوسط كمية القش كان الأعلى معنوياً لدى نباتات القمح المروي عند 100% من الاحتياج المائي

حيث سجلت 5.25 Ton/ha. مقارنة بمعاملات الاجهاد المائي والتي سجلت فيها الزراعة المطرية أقل كمية قش 2.52 Ton/ha.

تظهر النتائج إن نقع بذور القمح بجسيمات الزنك النانوية كان لها تأثر معنوياً في تسجيل اعلى كمية قش لنباتات القمح 4.92 Ton/ha. تلتها معاملة النقع بحمض السالسيليك في حين سجلت معاملة النقع بالماء المقطر والشاهد (بدون نقع) أقل كمية قش 3.49 و 3.74 Ton/ha على التوالي.

جدول رقم (5): تأثير معاملة نقع بذور القمح القاسي (شام 7) في جسيمات أوكسيد الزنك النانوية وحمض السالسيليك في كمية القش (Ton/ha) للنباتات النامية تحت مستويات مختلفة من الاجهاد المائي

المعاملة	الاجهاد المائي%				المتوسط
	100%	75%	50%	زراعة مطرية	
شاهد بدون نقع	4.46	4.32	4.24	1.93	**3.74**
4h نقع بماء مقطر	4.64	3.84	4.16	1.31	**3.49**
نقع بحمض السالسيليك (25ppm /4h)	5.72	4.47	3.51	2.66	**4.09**
نقع بجسيمات الزنك النانوية (25ppm /4h)	6.17	4.63	4.70	4.17	**4.92**
المتوسط	**5.25**	**4.32**	**4.15**	**2.52**	
LSD 0.05	نقع البذور		**0.60**		
	الاجهاد المائي		**0.59**		
	نقع بذور X اجهاد مائي		**1.18**		

ومن جهة أخرى، فقد كان التأثير العائد للتداخل بين معاملات الاجهاد المائي والنقع معنوي وسجل التوافق 100% من الاحتياج المائي مع النقع بجسيمات الزنك النانوية أعلى كمية قش للقمح 6.17 Ton/ha في حين كانت معاملة النقع بالماء المقطر تحت الزراعة المطرية الأقل كمية 1.31 Ton/ha. وهذه النتائج تتوافق مع توصل اليه **(Waqas et al., 2022)** حيث بينوا أن نقع البذور الارز بجسيمات أوكسيد الزنك النانوية قبل الزراعة بتركيز 25ppm أدى إلى زيادة محصول البذور والقش في بيئة الاجهاد المائي بمستوى 70%، كما أظهرت الدراسة الو وجود زيادة كبيرة بالكتلة الحيوية لنبات الأرز وأن تركيز 25ppm هو الأمثل في التخفيف من الأضرار الناتجة عن الجفاف.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال النتائج التي توصلنا لها يمكن الخروج بالاستنتاجات التالية:

1. تفوق معاملة نقع بذور القمح القاسي شام (7) بمحلول جسيمات أوكسيد الزنك النانوية تركيز 25ppm لمدة أربع ساعات قبل الزراعة على معاملات النقع بحمض السالسيليك والماء المقطر ومعاملة الزراعة التقليدية (بدون نقع) في جميع الصفات الحقلية المدروسة (طول النبات عند الحصاد، الإنتاجية البيولوجية والحبية وكمية القش الناتج) وتحت جميع مستويات الاجهاد المائي ، اذ كانت أفضل النتائج عند الري ب100% من الاحتياج المائي.
2. لم يكون هناك فرق معنوي بين معاملتي الري بمستوى 100% و 75% من الاحتياج المائي في صفة طول النبات، بينما لوحظ هذا الفرق بين باقي الصفات وعند الري بمستويات مختلفة من الاحتياج المائي.
3. ان عملية نقع البذور ب ZnO NPs لمدة 4h أدت إلى زيادة كل من طول النبات والغلة الحيوية والغلة الحبية وكمية القش بنسبة (12.28, 35.24, 32.25 and 38.34%) على التوالي، مقارنةً بمعاملة الشاهد بدون النقع عند مستوى 100% من الاحتياج المائي ، في حين كانت الزيادة 12.59, 27.60, 50.80 (and 7.18%) على التوالي مقارنةً بدون النقع عند مستوى 75% من الاجهاد المائي.

وفي ضوء هذه الاستنتاجات فأننا نوصي بعملية نقع بذور القمح القاسي صنف شام **7** قبل الزراعة بجسيمات أكسيد الزنك النانوية بتركيز 25ppm ولمدة 4 ساعات، كما توصي بإجراء العديد من التجارب الأخرى على أصناف وأنواع نباتية مختلفة، وبمواد نانوية .

المراجع العلمية:

المراجع العربية:

1) **الجامع عبدالله (2017). المحتوى الكيميائي لأوراق وبذور أصناف من القمح الصلب (Triticum durum Desf) النامية تحت ظروف الإجهاد المائي والمعاملة بالأوكسين (AIA) نقعا ورشا.** رسالة ماجستير، كلية علوم الطبيعة والحياة، قسم البيولوجيا وعلم النبات، تخصص وراثة وتحسين النبات، جامعة منتورة – قسنطينة، الجزائر.

2) **العبيدي بشرى (2018). تحفيز بذور الحنطة (.Triticum aestivum L) لتحمل الجفاف.** اطروحة دكتوراه، فلسفة في العلوم الزراعية، قسم المحاصيل الحقلية، جامعة بغداد.

3) **عبدالحليم عوض عبدالحليم، محمود محمد إبراهيم، محمود أبو الفتوح محمد عياد، اميره محمد شعبان محمد سلامة (2023). تقييم أداء الجبس النانوي في تحسين الخصائص الهيدروفيزيائية والكيميائية للتربة الملحية–الصودية.** العلوم الزراعية– قسم الأراضي والمياه.

المراجع الأجنبية:

2021 Feb; 11(2):267.https://doi.org/10.3390/nano11020267

1) ***Abd El-Aziz G. H,; Ahmed S.S.; Radwan K.H.; and A.H. Fahmy. (2022).*** **Positive and Negative Environmental Effect of Using Zinc Oxide Nanoparticles on Wheat under Drought Stress.** Open Journal of Applied Sciences, 12, 1026-1044. https://doi.org/10.4236/ojapps.2022.126070
2) ***Abobatta, W. F. (2016).*** **Role of nanotechnology in horticulture production Enhancement. (Conference Paper, Egypt). Role of nanotechnology in horticulture production Enhancement.** (Conference Paper, Egypt).
3) ***Ahmad J.; Ali A.A.; Baig M.A.; Iqbal M.; Haq I.; and M.I. Qureshi. (2019).*** **Role of phytochelatins in cadmium stress tolerance in plants.** In: Cadmium toxicity and tolerance in plants. Academic Press, Cambridge, pp 185–212.
4) ***Elshayb O.M.; Nada A.M.; Sadek A.H.; Ismail S.H.; Shami A.; Alharbi B.M.; Alhammad B.A.; and M.F. Seleiman. (2022).*** **The Integrative Effects of Biochar and ZnO Nanoparticles for Enhancing Rice Productivity and Water Use Efficiency under Irrigation Deficit Conditions.** Plants 2022,11,1416. https://doi.org/10.3390/plants11111416
5) ***Espirito Santo Pereira A.; Caixeta Oliveira H.; Fernandes Fraceto L.; and C. Santaella. (2021).*** **Nanotechnology potential in seed priming for sustainable agriculture Nanomaterials.**
6) ***Hassan M.U.; Aamer M.; Umer chattha M.; Haiying T.; Shahzad B.; Barbanti L.; and H. Guoqin. (2020).*** **The critical role of zinc in plants facing the drought stress.** Agriculture 10(9):396.
7) ***Hojjat S.S. and Ganjali A. (2016).*** **The effect of silver nanoparticle on lentil seed germination under drought stress.** Int J Farm Allied Sci 5(3):208–212. https://doi. org/10.1371/journal.pone.0264967 https://doi.org/10.1016/j. scitotenv.2016.08.120
8) ***Mahakham W.; Theerakulpisut P.; Maensiri S.; Phumying S.; and A.K. Sarmah. (2016).*** **Environmentally benign synthesis of phytochemicals-capped gold nanoparticles as nanopriming agent for promoting maize seed germination. Science of the Total Environment.** Dec 15; 573:1089–102.
9) ***Mahesh R.H.; Dayal A.; Nasakar J.; Abhishek Sharan E.R.; and V. Tejaswini. (2022).*** **Effect of particle size and concentration of Zinc oxide nanoparticles on growth, Yield and yield attributing traits of Maize (Zea mays L.).** IJNRD.ORG, ISSN: 2456-4184.
10) ***Mehrotra A.; Nagarwal R.C.; and J.K. Pandit. (2010).*** **Fabrication of Lomustine Loaded Chitosan Nanoparticles by Spray Drying and in Vitro Cytostatic Activity on Human Lung Cancer Cell Line**. L132. J Nanomedic Nanotechnolo 1: 103.

11) ***Poornima R. and Koti R.V. (2019).*** **Effect of Nano zinc oxide on growth, yield and grain zinc content of sorghum (Sorghum bicolor).** Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 8(4): 727-731.

12) ***Rizwan M.; Ali S.; Rehman M.***Z.; ***Adrees M.; Arshad M.; and M.F. Qayyum. (2019)***. **Alleviation of cadmium accumulation in maize (Zea mays L.) by foliar spray of zinc oxide nanoparticles AND biochar to contaminated soil.** Environmental Pollution. May 1; 248:358–67. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.031

13) ***Schulze E.D.; Beck E.; Buchmann N.; Clemens S.; Müller-Hohenstein K.; and Scherer-Lorenzen M. (2019).*** **Water deficiency (Drought). In: Plant ecology.** Springer, Berlin, pp 165–202.

14) ***Solomon,S.;M.Bahadory;A.Jeyajasingam;S.Rutḳowsky and Boritz,c.(2007).*** Synthesis and study of silver nano particles of chemEdu,2(84):322-325.

15) ***Srivastav A.; Ganjewala D.; Singhal R.K.; Rajput V.D.; Minkina T.; Voloshina M.; Srivastsva S.;and M. Shrivastava. (2021).*** **Effect of ZnO Nanoparticles of Wheat and Maize.** Plants 2021,10,2556. https://doi.org/10.3390/plants10122556

16) ***Tanster L.C.; Hardeland R.; Back K.; Manchester L.C.; and M.a. Alatorre-Jimenez. (2016).*** **On the significance of an alternate pathway of melatonin synthesis via 5-methoxytryptamine: Comparisons across species.** J. Pineal Res. 61,27-40.

17) ***Tognetti V.B.; Muhlenbock P.; and F. Van Breusegem. (2012).*** **Strees homeostasis-the redox and auxin porspective.** Plant Cell Environ. 35,321-333.

18) ***Waqas Mazhar M.; Ishtiaq M.; Hussain I.; Parveen A.; Hayat Bhatti K.; and M. Azeem. (2022).*** **Seed nano-priming with Zinc Oxide nanoparticles in rice mitigates drought and enhances agronomic profile**. PLOS ONE 17(3): e0264967.

19) ***Yang KY.; Doxey S.; McLean JE.; Britt D.; Watson A.; Al Qassy D.; and A.J. Anderson. (2017).*** **Remodeling of root morphology by CuO and ZnO nanoparticles: effects on drought tolerance for plants colonized by a beneficial pseudomonad.** Botany 96(3):175–186.

20) ***Yasmeen F.; Raja N.I.; Razzaq A.; and S. Komatsu. (2017).*** **Proteomic and physiological analyses of wheat seeds exposed to copper and iron nanoparticles.** Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics**.** Jan 1; 1865(1): 28 - 42.

Effect of seed treatment with Zinc Oxide Nanoparticles and Salicylic acid on productivity of durum wheat (Sham7) under different levels of water stress

Yasser Al-Salama [(1)] – Omar Abdulrazzak- Ibrahim Al-Ghoraibi[(2)] – Nour Al-Soultan [(3,1)]
[(1)] Department of Soil and Land Reclamation - Faculty of Agriculture - Al-Furat University - Syria
[(2)] Department of Physics – Faculty of Science - Damascus University Syria
[(3)] Master's student

Abstract

In order to increase the ability of durum wheat plants (Sham 7) to withstand the water stress by soaking the seeds in different solutions before planting them, the wheat seeds were soaked in zinc oxide nanoparticles solution (ZnO NPs) and salicylic acid solution at a concentration of 25 ppm and distilled water for 4 hours, in addition to planting without soaking. A field experiment was carried out with a split-plot design at the Agricultural Scientific Research Center - Saalou Research Station in Deir Ezzor - Syria, in the agricultural season 2021-2022, under different levels of water stress (100%, 75% and 50% of water requirement in addition to rain-fed agriculture).

The results showed that soaking wheat seeds before planting in (ZnO NPs) solution and salicylic acid solution had a significant effect on all studied indicators (plant length at harvest, biological productivity - grain productivity - straw productivity) and the soaking treatment with zinc oxide nanoparticles outperformed the rest of the treatments and under all levels of water stress, as the best results were when irrigated with 100% of the water requirement.

Soaking seeds in ZnO NPs solution for 4 h led to an increase in each of the plant length, biological yield, grain yield and straw quantity by (12.28, 35.24, 32.25 and 38.34%, respectively compared to the control treatment without soaking at 100% of the water requirement, while the increase was 12.59, 27.60, 50.80 and 7.18%, respectively compared to without soaking treatment at 75% of water stress. Based on these results, we recommend soaking durum wheat seeds before planting in a solution of zinc oxide nanoparticles at a concentration of 25 ppm for 4 hours, due to its importance in increasing the ability of plants to withstand water stress conditions.

Keywords: *Wheat- Seed priming – ZnO NPs- Water stress.*