Comprehensive Journal of Science
Volume (11), Issue (42), (Sapt, 2026)
ISSN: 3104-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (11) العدد 42 سبتمبر 2026
ردمد: 3104-6266

التكامل بين التباين الوراثي والتغذية الورقية بالعناصر الغذائية الصغرى لتحقيق إنتاجية مستدامة للقمح الطري

سهام محمد الزويك[1] هاجر الطيب أحمد قاقة[2]

قسم المحاصيل - كليه الزراعة -جامعه طرابلس - ليبيا [1]
المركز الوطني للوقاية والحجر الزراعي [2]

Integrating Genotypic Variation and Foliar Micronutrient Nutrition for Sustainable Bread Wheat Productivity

Seham M.Alzweek *[1] and Hajir A. Qaqah [2]

[1]Department of Crop Science, Faculty of Agriculture, University of Tripoli, Libya
[2] National Center for Plant Protection and Quarantine
**Corresponding Author's Email: s.ezweek@uot.edu.ly*

تاريخ الاستلام:05 /2026/10 –تاريخ المراجعة:2026/10/16– تاريخ القبول: 2026/11/06– تاريخ للنشر: 18/ 11/ 2026

الملخص

أُجريت تجربة حقلية بمحطة أبحاث كلية الزراعة خلال موسمي الزراعة 2023/2022 و2024/2023، بهدف تقييم استجابة ثلاثة أصناف من القمح الطري (Triticum aestivum L.) للرش الورقي بالمغذيات الدقيقة، وتحديد أفضل الأصناف ومعاملات الرش لتحقيق أعلى معدلات النمو والإنتاجية. ونُفذت التجربة باستخدام تصميم القطع المنشقة (Split-Plot Design) بثلاثة مكررات، حيث خُصصت القطع الرئيسية لثلاثة أصناف من القمح، وهي بحوث 210، وأبو الجود، وسلامبو، اثنان منها من محطة البحوث الزراعية بمصراتة، والثالث من مشروع تساوة لإكثار البذور ببلدية وادي عتبة، بينما خُصصت القطع المنشقة لمعاملات الرش الورقي بكبريتات الحديدوز وكبريتات الزنك وكبريتات المنجنيز، بالإضافة إلى الخلطات الثنائية والثلاثية من هذه العناصر ومعاملة المقارنة (الرش بالماء). وأُجري الرش على ثلاث دفعات، الأولى بعد 45 يومًا، والثانية بعد 60 يومًا، والثالثة بعد 75 يومًا من الزراعة. وأظهرت النتائج وجود اختلافات واضحة بين الأصناف في صفات النمو الخضري ومكونات المحصول والإنتاجية، حيث تفوق الصنف بحوث 210 على الصنفين الآخرين في معظم الصفات المدروسة، بما في ذلك ارتفاع النبات، وعدد الأفرع، وطول السنبلة، وعدد السنابل، وعدد الحبوب بالسنبلة، ووزن الحبوب، ومحصول القش، فضلًا عن تحقيقه أعلى معدلات امتصاص المغذيات الدقيقة وكفاءة استخدامها، يليه الصنف سلامبو، بينما سجل الصنف أبو الجود أقل القيم لمعظم الصفات. وفيما يتعلق بمعاملات الرش الورقي، حققت المعاملة التي تضمنت الخليط الثلاثي من الحديد والمنجنيز والزنك أفضل النتائج لمعظم الصفات المدروسة مقارنة بمعاملة المقارنة، تلتها بعض الخلطات الثنائية، خاصة الحديد + المنجنيز والزنك + المنجنيز، ويُعزى ذلك إلى الدور التكميلي لهذه العناصر في تنشيط العمليات الفسيولوجية والإنزيمية وتعزيز كفاءة التمثيل الضوئي وتكوين المادة الجافة وانتقال نواتج التمثيل الضوئي إلى الحبوب. كما أظهرت النتائج وجود تأثيرات تداخلية بين الأصناف ومعاملات الرش الورقي، حيث سجل التداخل بين الصنف بحوث 210 ومعاملة الرش بالخليط الثلاثي أعلى القيم في عدد من الصفات المدروسة، إذ بلغ ارتفاع النبات 127.60 و111.00 سم، وطول السنبلة 20.76 و22.97 سم، والمحصول البيولوجي 7.00 و7.83 طن/هكتار خلال الموسمين على التوالي، بالإضافة إلى تحقيق أفضل النتائج في وزن الحبوب بالسنبلة. وقد يُعزى هذا التفوق إلى التفاعل الإيجابي بين الخصائص الوراثية للصنف وكفاءة التغذية بالعناصر الدقيقة، مما أسهم في تحسين النمو وتراكم المادة الجافة وكفاءة تكوين وامتلاء الحبوب. وبناءً على النتائج المتحصل عليها، توصي الدراسة بزراعة الصنف بحوث 210 مع تطبيق الرش الورقي بالخليط الثلاثي من الحديد والمنجنيز والزنك باعتباره أفضل توليفة من المعاملات المختبرة لتحسين النمو ومكونات المحصول وزيادة الإنتاجية. كما يُوصى بإجراء مزيد من الدراسات الحقلية على هذا الصنف تحت ظروف بيئية ومناطق زراعية مختلفة، مع تقييم تأثير هذه المعاملة على جودة الحبوب وكفاءة استخدام العناصر الغذائية واستقرار الإنتاجية، بهدف تعظيم العائد الاقتصادي وتحسين إنتاج القمح.

الكلمات المفتاحية: القمح ، التسميد الورقي، الحديد، الزنك، المنجنيز، النمو، محصول الحبوب.

Abstract

A field experiment was conducted at the research station of the Faculty of Agriculture during the 2022/2023 and 2023/2024 growing seasons, with the aim of evaluating the response of three bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to foliar spraying with micronutrients, and identifying the best cultivars and spraying treatments for achieving the

highest growth rates and productivity. The experiment was carried out using a split-plot design with three replicates. The main plots were assigned to three wheat cultivars, namely Buhooth 210, Abu Al-Joud, and Salambo, two of which were obtained from the Agricultural Research Station in Misrata and the third from the Tasawa Seed Multiplication Project in the municipality of Wadi Utba. The subplots were assigned to foliar spray treatments of ferrous sulfate, zinc sulfate, and manganese sulfate, in addition to binary and ternary mixtures of these elements and a control treatment (water spray). Spraying was performed in three applications: the first at 45 days, the second at 60 days, and the third at 75 days after sowing.The results showed clear differences among the cultivars in vegetative growth traits, yield components, and productivity. Buhooth 210 outperformed the other two cultivars in most of the traits studied, including plant height, number of tillers, spike length, number of spikes, number of grains per spike, grain weight, and straw yield, in addition to achieving the highest micronutrient uptake and use efficiency. It was followed by Salambo, while Abu Al-Joud recorded the lowest values for most traits. With regard to the foliar spray treatments, the treatment comprising the ternary mixture of iron, manganese, and zinc gave the best results for most of the traits studied compared with the control treatment, followed by some of the binary mixtures, particularly iron + manganese and zinc + manganese. This is attributed to the complementary role of these elements in activating physiological and enzymatic processes, enhancing photosynthetic efficiency, forming dry matter, and translocating photosynthates to the grains.The results also showed interaction effects between cultivars and foliar spray treatments. The interaction between Buhooth 210 and the ternary mixture spray treatment recorded the highest values for a number of the traits studied, with plant height reaching 127.60 and 111.00 cm, spike length 20.76 and 22.97 cm, and biological yield 7.00 and 7.83 t/ha over the two seasons, respectively, in addition to achieving the best results for grain weight per spike. This superiority may be attributed to the positive interaction between the genetic characteristics of the cultivar and the efficiency of micronutrient nutrition, which contributed to improved growth, dry matter accumulation, and the efficiency of grain formation and filling. Based on the results obtained, the study recommends cultivating Buhooth 210 with foliar application of the ternary mixture of iron, manganese, and zinc, as it is the best combination of the treatments tested for improving growth and yield components and increasing productivity. It is also recommended that further field studies be conducted on this cultivar under different environmental conditions and agricultural regions, together with an evaluation of the effect of this treatment on grain quality, nutrient use efficiency, and yield stability, with the aim of maximizing economic returns and improving wheat production.

Keywords:

Bread wheat, Genotypic variation, Foliar application, Micronutrients, Yield components, Sustainable productivity

المقدمة

يُعد القمح .*Triticum aestivum* L) و *Triticum durum*من أهم محاصيل الحبوب التابعة للعائلة النجيلية (Poaceae)، إذ يمثل محصولًا استراتيجيًا رئيسيًا للأمن الغذائي في معظم دول العالم، نظرًا لارتفاع قيمته الغذائية واعتماد نسبة كبيرة من السكان على حبوبه ومنتجاته مصدرًا أساسيًا للطاقة والكربوهيدرات والبروتين وبعض الفيتامينات والأملاح المعدنية (**الخلف وآخرون، 2022؛ فرحان والدليمي، 2011**). ويُستخدم دقيق القمح في العديد من الصناعات الغذائية، مثل الخبز والمعجنات والمكرونة والبسكويت، كما تُستخدم بقاياه في تغذية الحيوانات) **المحاسنة، 2012؛ Tadesseوآخرون، 2019.**

كما يحتل محصول القمح مكانة استراتيجية بارزة بين المحاصيل الحقلية عالمياً ومحلياً باعتباره المصدر الرئيسي للأمن الغذائي والتغذوي لملايين البشر .ومع ذلك، تواجه الإنتاجية الزراعية للقمح تحديات بالغة الجسامة، تتصدرها التغيرات المناخية، وظواهر إجهاد الجفاف المتكررة، فضلاً عن استنزاف خصوبة التربة ونقص العناصر الغذائية الدقيقة (Micronutrients) مثل الزنك(Zn) ، والحديد(Fe) ، والمنجنيز(Mn) ، والنحاس(Cu) (**Wani et al., 2022**). إن تلبية الطلب العالمي المتزايد تتطلب ليس فقط الحفاظ على معدلات المكاسب الوراثية للحبوب، بل تعزيز محتواها من العناصر الصغرى لمواجهة سوء التغذية الخفي (Hidden Hunger) وتحقيق التنمية الزراعية المستدامة.

وتزداد أهمية القمح في ليبيا نتيجة ارتفاع معدلات استهلاكه واعتماد السكان عليه في الغذاء اليومي، حيث يُزرع في مناطق بيئية مختلفة، تحت ظروف الزراعة المطرية والري التكميلي والري الدائم. وعلى الرغم من الجهود المبذولة لزيادة إنتاجه، لا تزال إنتاجية القمح تواجه العديد من التحديات، من أبرزها الجفاف والملوحة ومحدودية خصوبة التربة وانتشار الآفات والأمراض والحشائش، إلى جانب عدم اختيار الأصناف الملائمة للظروف البيئية وعدم اتباع برامج تسميد متكاملة **Shreidi) وآخرون، 2016؛ الغزاوي وآخرون، 2018؛ الزويك وآخرون،** 2020.

ويُعد التسميد المتوازن من العوامل الأساسية لتحسين نمو القمح وإنتاجيته، إلا أن الاعتماد على الأسمدة الأرضية وحدها قد لا يضمن حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية، خاصة العناصر الصغرى، مثل الحديد والزنك والمنجنيز والنحاس، التي تؤدي أدوارًا مهمة في العمليات الحيوية والفسيولوجية، وتكوين الإنزيمات، والبناء الضوئي، وتحسين النمو والإنتاج. وقد تتأثر إتاحية هذه العناصر وامتصاصها بخصائص التربة، مثل ارتفاع درجة الحموضة وزيادة محتواها من كربونات الكالسيوم، مما يحد من استفادة النبات منها. وفي هذا السياق، يُعد التسميد الورقي بالعناصر الصغرى إحدى الوسائل الزراعية التي يمكن الاستعانة بها لتحسين الحالة الغذائية للنبات، إذ يتيح إمداده بالعناصر مباشرة عبر الأوراق، ويساعد على تجاوز بعض مشكلات تثبيت العناصر في التربة وضعف امتصاصها بواسطة الجذور. كما قد يسهم في تحسين النمو الخضري ومكونات المحصول وخصائص الحبوب، فضلًا عن رفع كفاءة استخدام الأسمدة وتقليل الفاقد منها، بشرط تحديد التركيزات المناسبة ومواعيد الرش الملائمة لمراحل نمو النبات **(الأسدي، 2014؛ فرحان، 2015).**

للرش الورقي بالعناصر الدقيقة أهمية بالغة لا تقتصر على الجانب الإنتاجي فحسب، بل تمتد لتشمل الجدوى الاقتصادية؛ فقد أشار **Joyوآخرون (2015)** إلى أن رش الزنك على الأوراق يُعدّ نهجاً فعالاً وعالي الكفاءة من حيث التكلفة لزيادة تراكيز الزنك في الحبوب، وتتطابق جدواه الاقتصادية تقريباً مع تكاليف طرق تدعيم الدقيق التقليدية .وفي ذات السياق، أكد **Sofy (2015)**أن للزنك دوراً حاسماً في تعزيز مقاومة المحاصيل لإجهاد الجفاف من خلال تحفيز إزالة سموم أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) وتنشيط الإنزيمات المضادة للأكسدة .وقد لوحظ أن التعرض لضغوط الجفاف يرفع تراكيز الـ (ROS) بشكل ملحوظ، إلا أن الرش الورقي بمعالجات مثل حمض الساليسيليك(SA) ، والجلايسين بيتين(GB) ، والزنك يقلل بصورة واضحة من تلك التراكمات الضارة (Sofy, 2015; Yavas & Unay, 2016).

وعلى صعيد ديناميكية العناصر في نظام (التربة - النبات)، تلعب التداخلات الغذائية دوراً محورياً؛ إذ قد تعيق إضافة بعض المعادن كالزنك والمنجنيز والنحاس والكوبالت بصورة أرضية معدل إنتقالها أحياناً بسبب التنافس الأيوني، بينما تحفز عناصر أخرى امتصاص المغذيات الكبرى .ويتجلى بوضوح حجم التجاذب والتنافر بين المغذيات الكبرى (كالكالسيوم، الفوسفور، والبوتاسيوم) والمغذيات الصغرى (كالحديد، المنجنيز، الزنك، النحاس، والموليبدينوم) بما يؤثر بشكل مباشر على كفاءة التمثيل الغذائي وامتصاص النبات.(**Pii *et al*., 2015**)

ولتقييم كفاءة التسميد الورقي الفردي والمشترك للعناصر الدقيقة، أجريت العديد من الدراسات الميدانية؛ فقد بيّن **Zainوآخرون (2015)** أن التسميد الورقي بخليط العناصر الصغرى (الحديد، الزنك، والمنجنيز) حسّن بشكل ملحوظ صفات ارتفاع النبات، طول السنبلة، عدد السنيبلات، عدد الحبوب، ودليل الحصاد في القمح، متفوقاً نسبياً على المعاملات الفردية .وتتفق هذه النتائج مع ما أورده **الفتلاوي وآخرون (2016)** في دراستهم على صنف القمح (إباء 99) برش مخلوط العناصر الصغرى (Fe, Zn, Cu, Mn) بتراكيز مختلفة موزعة على مراحل النمو (التفرعات، الاستطالة، البطان)، حيث سجلت المعاملات تباينات معنوية عالية في ارتفاع النبات، ومساحة ورقة العلم، ونسبة الكلوروفيل، ومكونات الحاصل.

وعلى مستوى الاستجابة للتسميد المنفرد وتأثير المستويات المختلفة للحديد والمنجنيز والزنك، أوضحت دراسات متعددة تفوق التراكيز المثلى؛ فقد أشار **العبودي (2015)** إلى تفوق معاملة الرش بالحديد بتركيز 100) ملجم Fe لتر$^{-1}$(والمنجنيز بنفس التركيز في زيادة عدد السنابل لكل متر مربع، وعدد الحبوب بالسنبلة، وحاصل الحبوب والحاصل الحيوي لكل من القمح، بينما سجل **عبد الخالق (2017)** تفوق المستوى 150) ملجم Fe لتر$^{-1}$ (في تعزيز صفات النمو الخضري ومحتوى الكلوروفيل ومكونات محصول القمح .وفي محاصيل حقلية أخرى كالذرة الصفراء، أكد **الحكيم (2017)**أن رش النباتات بالمنجنيز بتركيز 40) ملجم Mn لتر$^{-1}$ (أدى إلى أعلى محتوى للأوراق من الكلوروفيل وتفوق معنوي في الحاصل الحيوي وحاصل الحبوب مقارنة بمعاملة الشاهد.

أما بالنسبة لمحصول الشعير، فقد أوضح **محسن والأسدي (2016)** وجود فروق معنوية واضحة عند التغذية الورقية بالحديد والمنجنيز والزنك بمستويات مختلفة؛ حيث تفوقت المعاملات العليا (كالحديد بتركيز 100 ملجم لتر$^{-1}$ والزنك بتركيز 70 ملجم لتر$^{-1}$) في تحسين ارتفاع النبات، طول ورقة العلم، عدد السنابل، وحاصل الحبوب .وفي قمح الخبز، أثبت **عبد الكريم (2016)** أن لإضافة الزنك بتراكيز (1 إلى 2 كجم هـ$^{-1}$) تأثيراً معنوياً في تحسين مقاييس النمو، ومساحة ورقة العلم، ووزن الألف حبة، وغلة الحبوب .كما أكد **Al-Delameeوآخرون (2019)** أن إضافة الزنك

والحديد بتراكيز مرتفعة رفعت معنوياً محتوى الأوراق والحبوب من البروتين وعنصر الزنك في صنف القمح IPA) (99، مما يؤكد الدور الفاعل لهذه العناصر في التحسين الحيوي وقيمة الحبوب الغذائية.

وفي إطار دراسة التفاعل الوراثي للأصناف مع الإدارة التسميدية، أشار **علي وآخرون (2017)** إلى تفوق صنف القمح (إباء 99) على (أبو غريب 3) في الاستجابة لتسميد الزنك (10 كجم هـ$^{-1}$) أرضياً وورقياً في مرحلتي التشطئ والاستطالة، حيث حقق صنف إباء 99 أعلى متوسطات للارتفاع، ومساحة ورقة العلم، وحاصل الحبوب، فضلاً عن ارتفاع تراكيز الزنك في الحبوب بنسبة 32%5.، مما يبرز أهمية الزنك في التحسين الحيوي للقمح .كما أظهر **خلف وآخرون (2017)** أن استخدام المركبات الحديثة المتكاملة مثل (*Humzinc*) المحتوية على الهيوميك أسد والعناصر المخلبية (Fe, Zn, Mn) رشا في مرحلة طرد السنابل ضاعف من حاصل حبوب القمح مقارنة بالتسميد الأرضي التقليدي.

وتتكامل هذه المعطيات مع ما توصل إليه **Sultanaوآخرون (2018)** من أن التسميد الورقي بالحديد والزنك لا يرفع الإنتاج كمياً ونوعياً فحسب، بل يُحسّن بصورة جوهرية قدرة نباتات القمح على تحمل الضغوط المائية وإجهاد الجفاف تحت مختلف أنظمة الري.

كما اشارت بعض الأدبيات إلى أدوار حيوية متكاملة تضطلع بها العناصر الدقيقة داخل النبات؛ إذ يُعد المنجنيز أساسياً لعلمية البناء الضوئي لمشاركته مع الكلور في التحلل الضوئي للماء (Photolysis) لتوفير الطاقة (ATP) وقدرة الاختزال(NADPH+) ، ونقصه يقلل تراكيز الكربوهيدرات والكلوروفيل (**البيصري، 2019؛ Li et al., 2022**).ويلعب النحاس دوراً محفزاً في عمليات التنفس الخلوي والبناء الكربوني وتقوية الجدر الخلوية (**البيصري، 2019**)، بينما يُعد الحديد والزنك محوريين في تنشيط الإنزيمات، وتكوين الكلوروفيل، ونقل نواتج التمثيل الضوئي من المصدر إلى المصب، بالإضافة إلى حماية غشاء الخلية وتنظيم الثغور ومقاومة الإجهاد التأكسدي والمائي والجفاف (**Umair Hassan *et al*., 2020; Farooq *et al*., 2020; Sultana *et al*., 2018**).

وقد استأثرت استراتيجيات التغذية وإدارة إضافات الأسمدة (سواء الإضافة الأرضية، أو التسميد الورقي، أو المعاملة بالزنك المخلبي والنانوي) باهتمام بحثي واسع لتعظيم كفاءة امتصاص هذه العناصر .أظهرت الدراسات تفوق التسميد الورقي وتوقيتاته في استحثاث صفات النمو ومكونات المحصول؛ فقد أثبت **عبد الخالق (2017)** أن الرش الورقي بالحديد) بتركيز 150 ملجم Fe لتر$^{-1}$ (أدى إلى زيادة معنوية في ارتفاع النبات، والمساحة الورقية، ومحتوى الكلوروفيل، وحاصل الحبوب ومكوناته في القمح .وعلى صعيد المنجنيز، أكد **الحكيم (2017)** أن رش الذرة الصفراء بتركيز 40) ملجم Mn لتر$^{-1}$ (حقق أعلى محتوى للكلوروفيل والحاصل الحيوي وحاصل الحبوب مقارنة بالشاهد .أما بالنسبة للزنك، فقد أوضح **Hassanوآخرون (2019 and 2023)** و **El-Fouly وآخرون (2011)** أن الإضافة الورقية أو الأرضية بالزنك تعزز إنتاجية القمح ومحتوى الحبوب منه، مع تسجيل كفاءة استجابة تختلف باختلاف طريقة الإضافة ومرحلة النمو. علاوة على ذلك، أظهرت نتائج الاستجابة الوراثية وتفاعل الأصناف مع الأسمدة تبايناً ملحوظاً؛ إذ سجل **علي وآخرون (2017)** تفوق صنف القمح (إباء 99) على (أبو غريب 3) في معظم صفات النمو وحاصل الحبوب ومساحة ورقة العلم، مع ارتفاع تركيز الزنك في الحبوب بنسبة 32 %5.عند إضافة الزنك (10 كجم هـ$^{-1}$) أرضياً وورقياً في مرحلتي التشطئ والاستطالة .وفي السياق ذاته، بيّن **Al-Delameeوآخرون (2019)** أن التغذية بتركيزات مرتفعة من الزنك والحديد رفعت محتوى الأوراق والحبوب من البروتين والزنك في صنف القمح (إباء 99) . كما امتدت المزايا التطبيقية إلى محاصيل أخرى كالشعير، حيث أفاد **El-Azizy (2021)** بأن التسميد الورقي بالفوسفور مع خليط من العناصر الصغرى (Fe, Mn, Zn) حسن بشكل مباشر من الإنتاجية البيولوجية والقش والحبوب تحت ظروف مريوط الصحراوية.

وفي نطاق المعاملات المركبة والتقنيات الحديثة، بيّن **خلف وآخرون (2017)** أن استخدام مركب مركّز من الأحماض الهيومية والعناصر المخلبية (*Humzinc*) رشا في مرحلة طرد السنابل أدى إلى مضاعفة حاصل حبوب القمح مقارنة بالتسميد الأرضي .ومن جانب التسميد النانوي والتوليفات المتكاملة، أظهر **Makaremوآخرون(2019)** و**الطوكي (2022)** أن الرش الورقي بالعناصر الصغرى في الصورة النانومتيرة أو المخلبية يُحدث تأثيراً معنوياً عالياً على صفات نمو ورقة العلم وعدد الأشطاء ونسب الجلوتين والدقيق وخصائص المحصول في أصناف قمح مختلفة . وتتكامل هذه النتائج مع دراسات **Nazeerوآخرون(2020)** ، و **Gulوآخرون(2023)** ،و **Khatunوآخرون (2024)**التي أكدت جميعها على التأثير التآزري (Synergistic Effect) لإدارة التسميد بالزنك والحديد والمنجنيز والنحاس في مراحل النمو الحرجة (كالتفريع، والاستطالة، والإزهار) على زيادة غلة الحبوب، العائد البيولوجي، ومؤشر الحصاد، ونوعية الدقيق.

على الرغم من تعدد الدراسات السابقة حول دور العناصر الدقيقة، فإن الاستخدام الأمثل لمصادر ومستويات التسميد المتكامل (الورقي والأرضي) للزنك والمعادن الأخرى –لا سيما في ظل تحديات كفاءة استخدام الأسمدة وتقليل المخاطر البيئية الناتجة عن الإفراط فيها كما أشار **Muhammadوآخرون (2024)** و **Zhouوآخرون –(2024)**

لا يزال يتطلب مزيداً من التحقيق الميداني للوصول إلى أفضل الممارسات التي تتناسب مع الظروف البيئية المحلية وتضمن أعلى عائد اقتصادي وبيولوجي لمحصول القمح.

بناءً على ما تقدم، تستهدف هذه الدراسة تقييم تأثير الرش الورقي بالعناصر الصغرى على نمو وإنتاجية أصناف القمح. وتحديد مدى استجابة الأصناف المختلفة لمعاملات الرش. وتحديد أفضل توليفة من العناصر الصغرى لتحسين النمو ومكونات المحصول. وتقييم دور الرش الورقي في زيادة إنتاجية القمح وتحسين كفاءة استخدام السماد.

مواد وطرائق البحث

نفذت تجربة حقلية بمحطة أبحاث كلية الزراعة جامعة طرابلس والتي تقع جنوب شرق مدينة طرابلس خلال الموسم الزراعي (2022 - 2023 م) وكررت خلال الموسم الزراعي (2023 - 2024 م) لتأكيد النتائج، وكان قوام تربة المحطة رملي وخواصها الفيزيائية والكيميائية خلال موسم الأول وموسم الثاني يوجد إختلاف في درجة تفاعل، درجة توصيل كهربي، (**N، P، K**) والمادة العضوية ، وتضمنت التجربة دراسة عاملين حيث صممت التجربة باستخدام القطع المنشقة مرة واحدة **Split Plot Design** بثلاث مكررات كما يلي:

1. **العامل الأول (القطع الرئيسية):** ثلاث أصناف من القمح الطري معتمدة إثنان من الأصناف مصدرهم محطة البحوث الزراعية مصراتة والصنف الأخير مصدره مشروع تساوة لإكثار البذور ببلدية وادي عتبة وتشمل الأصناف (صنف بحوث 210، صنف أبو الجود وصنف سلامبو).
2. **العامل الثاني (القطع المنشقة):** مراحل الرش بالعناصر الصغرى من كبريتات الحديدوز، كبريتات الزنك، كبريتات المنجنيز والخليط منهم إضافة إلى معاملة الشاهد وكانت عدد الرشات كالأتي:
    - الرشة الأولى بعد 45 يوم من الزراعة.
    - الرشة الثانية بعد 60 يوم من الزراعة.
    - الرشة الثالثة بعد 75 يوم من الزراعة.

حيث تمت عملية الرش بالعناصر الصغرى في الصباح الباكر بتركيز (600 جرام/هـ) حسب توصية الشركة المصنعة، استعملت مرشة ظهرية سعتها 20 لتر في عملية الرش حتى البلل التام للنبات.

كما تضمنت الدراسة عدة توليفات بهذه الأسمدة بمحاليل 5 معاملات تغذوية من ضمنها معاملات الشاهد، حديد + منجنيز، حديد + زنك، منجنيز+ زنك، حديد + منجنيز + زنك).

وتم تهيئة التربة للتجربة وذلك بتنعيم وتسوية الحقل، حيث أعطيت رية كاذبة قبل الزراعة لإتاحة الفرصة لإنبات ونمو بذور الحشائش والتخلص منها بطريقة الحراثة في بداية الموسم قبل الزراعة وأخذت عينات عشوائية للتربة من المواقع المحدد لزراعة التجربة على عمق 30 سم لتقدير خصوبتها لبعض العناصر مثل النيتروجين، الفسفور والبوتاسيوم خلال موسمين ، وتم تقسم الحقل وفقاً للتصميم المستخدم في التجربة ، وبعد ذلك تم تقسيم التجربة إلى وحدات تجريبية بمساحة (3**x**2 م^2) مع ترك مسافات بين كل وحدة وأخرى نصف متر. تم إضافة التسميد الفوسفاتي في صورة سماد فوسفات ثنائي الأمونيوم (18 - 46) بمعدل 150 (كجم ن/هـ) كدفعة أولى عند بداية الزراعة.

أما فيما يتعلق بالتسميد النيتروجيني فكان في صورة سماد اليوريا (46%) على جرعتين الأولى عند مرحلة التفريع والأخرى عند مرحلة الإستطالة، ووزعت المعاملات حيث تمثل القطع الرئيسية (العامل الأول، الأصناف) والقطع الشقية (العامل الثاني، التسميد الورقي) وزرعت حبوب القمح الطري *Triticum aestivium* في سطور حيث كانت المسافة بين السطور0.5 حيث تمت الزراعة يدوياً في منتصف شهر نوفمبر لعام 2022 م للموسم الأول وزرعت مرة أخرى في السنة الثانية في نفس الموعد لتأكيد النتائج وزرع المحصول الداخل في التجربة بمعدل بذر 100 (كجم /هـ)، تعهدت التجربة بالري بطريقة الرش كلما احتاجت النباتات للماء بالإضافة إلى ما يصلها من مياه الأمطار لقد بلغت متوسط كمية الأمطار في الموسم الأول (26.82 ملم) وفي الموسم الثاني (6.72 ملم) وكانت المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة والأمطار وعدد الأيام الممطرة خلال الموسم الزراعي (2022-2023 /2023-2024) بمحطة أبحاث كلية الزراعة والوادرة. كما أزيلت الحشائش المرافقة لمحصول القمح خلال مراحل النموالمختلفة لعدة مرات.

بالإضافة إلى بعض العمليات الأخرى كالحراثة والتسوية لمحيط التجربة ، كما تم إضافة التسميد الفوسفاتي في صورة سماد فوسفات ثنائي الأمونيوم (18 - 46) بمعدل 150 كجم ن/هـ كدفعة أولى عند بداية الزراعة ، أما التسميد النيتروجيني فكان في صورة سماد اليوريا (46 %) بمعدل 200 (كجم/هـ) على جرعتين الأولى عند مرحلة التفريع والأخرى عند مرحلة الإستطالة، ووزعت المعاملات حيث تمثل القطع الرئيسية (العامل الأول، الأصناف) والقطع الشقية (العامل الثاني، التسميد الورقي). كما وزرعت حبوب القمح الطري *Triticum aestivium* في سطور حيث كانت المسافة بين السطور0.5 حيث تمت الزراعة يدوياً في منتصف شهر نوفمبر لعام 2022 م للموسم الأول وزرعت مرة

أخرى في السنة الثانية في نفس الموعد لتأكيد النتائج وزرع المحصول الداخل في التجربة بمعدل بذر 100 (كجم /هـ)، وعند نضج المحصول تمت عملية الحصاد للموسم الأول بتاريخ 2023/5/20 م والموسم الثاني 2024/5/23 م وأخذت 10 نباتات من كل متر مربع حيث أصبح عدد النبات المدروسة 450 نبات لقياس مجموعة من مؤشرات النمو والإنتاجية لكل وحدة تجريبية عند مرحلة النضج التام.

الصفات المدروسة في التجربة

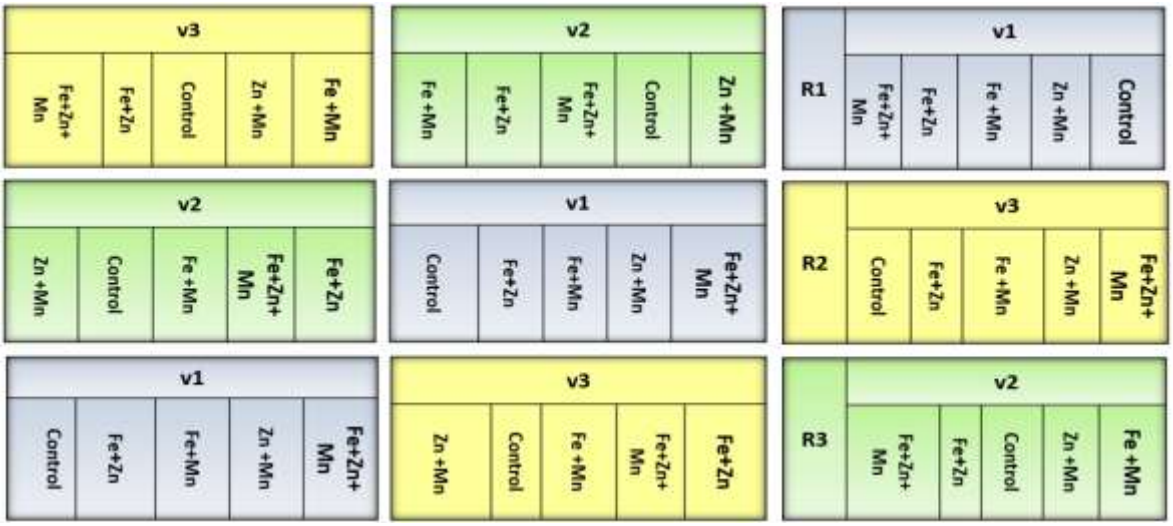
تم قياس ارتفاع النبات (سم) بأخذ 10 نباتات عشوائية عند مرحلة النضج التام لكل وحدة تجريبية من الجذر إلى السفا بواسطة المسطرة المترية على النحو الموضح. تم قياس صفات النمو والمحصول التالية: طول السنبلة (سم)، وعدد الحبوب لكل سنبلة، ووزن حبوب السنبلة (جم)، وعدد السنيبلات لكل سنبلة، وعدد الخلفات لكل نبات، وعدد السنابل لكل متر مربع، ووزن السنابل لكل متر مربع، ووزن 1000 حبة (جم)، ومحصول القش (طن/هكتار)، ومحصول الحبوب (طن/هكتار)، والمحصول البيولوجي (طن/هكتار)، بالإضافة إلى دليل الحصاد.(%)

حُسب دليل الحصاد كنسبة مئوية وفقا للمعادلة التالية:

$$\text{دليل الحصاد} = \frac{\text{وزن الحبوب في النبات}}{\text{الوزن الكلي للنبات}} \times 100$$



شكل 1. إعداد أصناف البذور لزراعة.



شكل 2. مخطط تجربة الدراسة.

جدول 1. الخصائص الفيزيائية والكيميائية لتربة محطة أبحاث جامعة طرابلس خلال موسمين زراعيين (2022-2023م/2023-2024م).

الخاصية	الموسم الأول 2022-2023م	الموسم الثاني 2023-2024م
درجة تفاعل (الاس الهيدروجيني)	7.8	PH 7.7
درجة التوصيل الكهربي	0.32	EC 0.30
عناصر بالجزء في مليون ppm		
N	9.8	10.0
P	16.93	18.34
K	165	184
المادة العضوية	%0.815	%1.042

جدول 2. المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة والأمطار وعدد الأيام الممطرة خلال الموسمين الزراعيين (2022-2023م / 2023-2024 م) بمحطة الأبحاث كلية الزراعة.

المواسم	2022-2023م			2023-2024م		
الشهر	الأمطار (ملم/شهر)	عدد الأيام الممطرة	متوسط درجة الحرارة مْ	الأمطار (ملم/شهر)	عدد الأيام الممطرة	متوسط درجة الحرارة مْ
أكتوبر	17.9	2	25.0	00.0	0	26.4
نوفمبر	72.4	6	20.9	00.1	1	21.7
ديسمبر	03.8	4	18.6	04.1	2	16.2
يناير	32.5	7	13.8	15.4	5	15.8
فبراير	72.2	10	14.5	32.4	4	15.8
مارس	01.7	2	18.4	00.0	0	19.9
ابريل	09.4	2	20.9	01.4	2	21.1
مايو	04.7	2	23.6	00.4	5	25.9
المتوسط	26.8	4.4	19.5	6.7	2.4	20.4

التحليل الإحصائي

تم إدخال البيانات في جداول بيانات Excel ثم نقلت البيانات إلى برنامج GenStat للإصدار 19 لتحليل البيانات وفق تحليل التابين Anova لحساب متوسط المعاملات والاختلافات وتم اعتبار قيمة الاحتمال 0.05 أو أقل ($P < 0.05$) ذات دلالة إحصائية .

النتائج والمناقشة

أوضحت نتائج **جدول (3)** وجود اختلافات واضحة بين أصناف القمح المدروسة في صفات ارتفاع النبات وعدد السنابل بوحدة المساحة وطول السنبلة وعدد الحبوب ووزن الحبوب بالسنبلة خلال موسمي الدراسة، مما يعكس الاختلافات الوراثية بين الأصناف في قدرتها على النمو وتكوين مكونات المحصول. فقد تفوق صنف بحوث 210 في جميع الصفات المدروسة مقارنة بصنفي سلامبو وأبو الجود، حيث سجل أعلى متوسطات ارتفاع النبات وعدد السنابل وطول السنبلة وعدد الحبوب ووزن الحبوب بالسنبلة خلال موسمي الدراسة. وقد يرجع ذلك إلى الاختلافات الوراثية بين الأصناف في طبيعة النمو الخضري، ومعدل استطالة السلاميات، والقدرة على تكوين الأشطاء الخصبة واستمرار نموها، بالإضافة إلى الاختلاف في كفاءة تكوين السنيبلات والأزهار الخصبة وإتمام عمليتي التلقيح والإخصاب. كما يمكن أن يعزى تفوق هذا الصنف إلى كفاءته في إنتاج وتوزيع المواد الكربوهيدراتية ونقلها من الأعضاء الخضرية إلى الأعضاء التكاثرية، الأمر الذي يساهم في زيادة عدد الحبوب وتحسين امتلائها ووزنها بالسنبلة. وقد جاء صنف سلامبو في مرتبة تالية في معظم الصفات، بينما سجل صنف أبو الجود أقل المتوسطات، وهو ما يشير إلى اختلاف القدرة الوراثية للأصناف على الاستفادة من الظروف البيئية والتغذوية السائدة خلال موسمي الدراسة.

وبالنسبة لصفة ارتفاع النبات، فقد يعزى التفوق المسجل في صنف بحوث 210 إلى قدرته الوراثية على تحقيق نمو خضري أكثر نشاطاً، وزيادة استطالة الساق والسلاميات، وهو ما قد يرتبط بكفاءة العمليات الفسيولوجية المسؤولة عن انقسام الخلايا واستطالتها وتكوين الأنسجة النباتية. كما أن زيادة توافر نواتج التمثيل الضوئي يسهم في دعم النمو الخضري واستمرار استطالة الساق. أما بالنسبة لعدد السنابل بوحدة المساحة، فإن تفوق الصنف نفسه قد يرجع إلى زيادة قدرته على تكوين الأشطاء الخصبة وتحسين كفاءة بقائها حتى مرحلة تكوين السنابل، حيث تعد هذه الصفة من المكونات الأساسية المحددة للمحصول النهائي للقمح. كذلك فإن زيادة طول السنبلة قد ترتبط بالاختلافات الوراثية في استطالة محور السنبلة وعدد السنيبلات المتكونة عليه، وهو ما قد يوفر فرصاً أكبر لتكوين الأزهار والحبوب. أما زيادة عدد الحبوب بالسنبلة فقد ترتبط بارتفاع كفاءة تكوين الأزهار الخصبة وتحسين عمليات التلقيح والإخصاب والحد من إجهاض الأزهار والحبوب في المراحل المبكرة من النمو. ويعد وزن الحبوب بالسنبلة محصلة لعدد الحبوب ومعدل امتلائها، ولذلك فإن تفوق صنف بحوث 210 في هذه الصفة قد يرجع إلى زيادة عدد الحبوب، إلى جانب كفاءة نقل وتوزيع نواتج التمثيل الضوئي إلى الحبوب خلال مرحلة الامتلاء، مما ساعد على زيادة الوزن الكلي للحبوب بالسنبلة.

ومن ناحية أخرى، أظهرت نتائج الدراسة وجود تأثير إيجابي للرش الورقي بالعناصر الصغرى في تحسين صفات النمو ومكونات المحصول مقارنة بمعاملة الشاهد، مع اختلاف درجة الاستجابة باختلاف تركيب خليط العناصر المستخدمة. فقد حققت معاملة الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك أفضل النتائج في معظم الصفات المدروسة خلال موسمي الدراسة، حيث سجلت أعلى متوسطات ارتفاع النبات وعدد السنابل وطول السنبلة وعدد الحبوب ووزن الحبوب بالسنبلة. وقد يعزى ذلك إلى التكامل الفسيولوجي والتغذوي بين هذه العناصر في تنظيم العديد من العمليات الحيوية داخل النبات، حيث يلعب الحديد دوراً أساسياً في تكوين البروتينات والإنزيمات المرتبطة بعمليات الأكسدة والاختزال ونقل الإلكترونات، كما يسهم بصورة غير مباشرة في تكوين الكلوروفيل والمحافظة على كفاءة التمثيل الضوئي. ويؤدي المنجنيز دوراً مهماً في النظام الضوئي الثاني Photosystem) (II، خاصة في عملية شطر الماء وإطلاق الأكسجين، بالإضافة إلى دوره في تنشيط العديد من الإنزيمات المسؤولة عن عمليات التمثيل الغذائي. أما الزنك فيشارك في تنشيط الإنزيمات وتخليق البروتينات وتنظيم النشاط الهرموني، خاصة الهرمونات المرتبطة بانقسام الخلايا واستطالتها والنمو النباتي. ومن ثم فإن توفير هذه العناصر بصورة متكاملة قد ساهم في تحسين الحالة التغذوية للنبات وزيادة كفاءة التمثيل الضوئي والتنفس والعمليات الأيضية، مما انعكس إيجابياً على النمو الخضري وتكوين مكونات المحصول.

وفيما يتعلق بصفة ارتفاع النبات، فإن التحسن الناتج عن الرش بالعناصر الصغرى، خاصة المعاملة المشتركة، قد يرجع إلى زيادة كفاءة العمليات الفسيولوجية المسؤولة عن النمو الخضري واستطالة الخلايا، بالإضافة إلى الدور التنظيمي للزنك في تكوين الأوكسينات(Auxins) ، التي ترتبط باستطالة الخلايا ونمو الأنسجة النباتية، ودور الحديد والمنجنيز في المحافظة على كفاءة التمثيل الضوئي وإنتاج الطاقة والمركبات العضوية اللازمة للنمو. كما أن زيادة النشاط التمثيلي للنبات تؤدي إلى توفير كميات مناسبة من الكربوهيدرات والمواد البنائية اللازمة لاستمرار النمو وتكوين الأنسجة الجديدة.

أما بالنسبة لعدد السنابل بوحدة المساحة، فقد يرجع التحسن الناتج عن الرش الورقي بالعناصر الصغرى إلى تحسين النمو الخضري وزيادة كفاءة تكوين الأشطاء واستمرار نموها وبقائها حتى مرحلة تكوين السنابل الخصبة. ويعد تحسين الحالة التغذوية للنبات خلال مراحل النمو الخضري من العوامل المهمة التي تساعد على زيادة القدرة الإنتاجية للأشطاء، حيث تسهم كفاءة التمثيل الضوئي وتوفير نواتج التمثيل في دعم نمو الأشطاء وتقليل التنافس بينها على الموارد الغذائية، مما ينعكس إيجابياً على عدد السنابل المتكونة في وحدة المساحة.

وبالنسبة لطول السنبلة، فإن الزيادة الناتجة عن الرش بالعناصر الصغرى قد ترتبط بتحسين كفاءة التمثيل الضوئي وتوفير المواد الكربوهيدراتية اللازمة لنمو الأنسجة التكاثرية واستطالة محور السنبلة وتكوين السنيبلات. كما أن دور الزنك في تنظيم النشاط الإنزيمي والهرموني، إلى جانب دور الحديد والمنجنيز في عمليات إنتاج الطاقة والتمثيل الضوئي، قد ساهم في تحسين نمو السنبلة وتطور مكوناتها، الأمر الذي ينعكس على قدرتها على حمل عدد أكبر من الحبوب.

وفيما يتعلق بعدد الحبوب بالسنبلة، فقد كان تأثير الرش المشترك بالعناصر الثلاثة أكثر وضوحاً، ويمكن تفسير ذلك بتحسين الحالة الفسيولوجية والتغذوية للنبات خلال مراحل تكوين الأزهار والتلقيح والإخصاب. حيث تسهم العناصر الصغرى في المحافظة على كفاءة العمليات الحيوية اللازمة لتكوين الأعضاء التكاثرية، وتحسين إنتاج المواد الكربوهيدراتية ونقلها إلى السنبلة، مما يساعد على زيادة فرص تكوين الحبوب واستمرار نموها والحد من إجهاض الأزهار والحبوب في المراحل المبكرة. كما أن الزنك يشارك في تخليق الأحماض النووية والبروتينات وتنظيم النشاط الإنزيمي، في حين يسهم الحديد والمنجنيز في المحافظة على كفاءة العمليات المرتبطة بالتمثيل الضوئي وإنتاج الطاقة اللازمة للنمو والتطور التكاثري.

أما بالنسبة لوزن الحبوب بالسنبلة، فإن التحسن الناتج عن الرش المشترك بالعناصر الصغرى قد يرجع إلى زيادة عدد الحبوب المتكونة بالسنبلة وتحسين كفاءة امتلائها، نتيجة زيادة إنتاج المواد الكربوهيدراتية وتحسين انتقالها من الأوراق والسيقان إلى الحبوب خلال مرحلة الامتلاء .(Grain Filling) وتعد الأوراق، وخاصة ورقة العلم(Flag Leaf) ، من المصادر المهمة للممثلات الكربوهيدراتية التي يتم نقلها إلى الحبوب، كما تسهم المواد المخزنة في السيقان في دعم عملية امتلاء الحبوب. ومن ثم فإن تحسين كفاءة التمثيل الضوئي والمحافظة على النشاط الفسيولوجي للأوراق خلال هذه المرحلة قد ساهم في زيادة الوزن الكلي للحبوب بالسنبلة.

ومن الجدير بالملاحظة أن استجابة القمح للرش الورقي بالعناصر الصغرى اختلفت بين موسمي الدراسة، وهو ما قد يرجع إلى التباين في الظروف البيئية والمناخية السائدة خلال موسمي الزراعة، خاصة درجات الحرارة وشدة الإشعاع الشمسي والرطوبة الأرضية والظروف المؤثرة في امتصاص العناصر الغذائية وانتقالها داخل النبات. وتؤثر هذه العوامل بصورة مباشرة أو غير مباشرة في كفاءة التمثيل الضوئي ومعدلات النمو وتكوين الأشطاء والسنابل وعمليات التلقيح والإخصاب وامتلاء الحبوب. كما أن اختلاف استجابة الأصناف بين الموسمين يؤكد أهمية التفاعل بين التركيب الوراثي والظروف البيئية في تحديد النمو والإنتاجية النهائية لمحصول القمح.

وتتفق الاتجاهات العامة لهذه النتائج مع ما أشار إليه **Cakmak (2008)** بشأن أهمية الزنك في تحسين نمو وإنتاجية محاصيل الحبوب ودوره في النشاط الإنزيمي وتكوين البروتينات، وكذلك ما أوضحه **Marschner (2012)** حول الأدوار الفسيولوجية الأساسية للحديد والمنجنيز والزنك في التمثيل الضوئي والتنفس وتنشيط الإنزيمات والعمليات الأيضية. كما أشار Alloway (2008) إلى أن نقص الزنك يمثل أحد العوامل المحددة لنمو وإنتاجية المحاصيل، وأن تحسين الحالة التغذوية للنبات بهذا العنصر يسهم في تحسين الأداء الإنتاجي. وأوضح **Fageria *et al*. (2009)** أهمية التسميد الورقي في تحسين الحالة الغذائية للنبات ورفع كفاءة الاستفادة من العناصر الغذائية، بينما تناولت دراسة **Zeidan et al. (2010)** و **Hossain وأخرون (2025)** أهمية الرش الورقي بالحديد والمنجنيز والزنك في تحسين إنتاجية وجودة القمح، خاصة في الأراضي الرملية منخفضة الخصوبة.

وبصفة عامة، تشير نتائج الدراسة إلى تفوق صنف بحوث 210 في صفات النمو ومكونات المحصول مقارنة بالأصناف الأخرى، كما تؤكد أهمية الرش الورقي بالعناصر الصغرى في تحسين الأداء الإنتاجي لمحصول القمح، خاصة عند استخدام الحديد والمنجنيز والزنك بصورة مشتركة. ويمكن تفسير هذه الاستجابة بالتكامل بين الأدوار الفسيولوجية لهذه العناصر في تحسين كفاءة التمثيل الضوئي والنشاط الإنزيمي وتكوين المواد العضوية وتوزيعها داخل النبات، مما ساهم في تحسين النمو الخضري وتكوين السنابل وزيادة عدد الحبوب وتحسين امتلائها. وبناءً على ذلك، يمكن اعتبار صنف بحوث 210 ومعاملة الرش المشترك بالعناصر الثلاثة من المعاملات الواعدة لتحسين مكونات محصول القمح، مع ضرورة الرجوع إلى نتائج التداخل بين الأصناف ومعاملات الرش وتقدير المحصول الفعلي لتحديد أفضل توليفة إنتاجية تحت ظروف الدراسة. تتفق النتائج مع **AbdulKafoor واخرون (2023)** و **Mahmood واخرون (2024)** و**Bavandpouri واخرون (2025)** في اختلاف الأصناف للتسميد الورقي تحت الظروف المختلفة.

جدول 3. تأثير الرش الورقي بالعناصر الصغرى على ارتفاع النبات (سم) وعدد السنابل/م2 وطول السنبلة (سم) وعدد الحبوب/سنبلة ووزن الحبوب/سنبلة (جم) لبعض أصناف القمح خلال موسمي 2023/2022م و2024/2023 م.

عوامل الدراسة/المعاملات		ارتفاع النبات (سم)		عدد السنابل/م2		طول السنبلة (سم)		عدد الحبوب/سنبلة		وزن الحبوب/سنبلة (جم)	
		موسم الزراعة									
الأصناف (A)	الرش الورقي (B)	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني
أبو الجود		85.07	76.27	186.87	208.94	12.83	13.29	44.45	44.07	1.77	1.79
بحوث 210		108.15	96.80	252.07	252.80	19.69	20.44	81.16	58.67	2.44	2.63
سلامبو		90.01	83.47	225.20	231.68	14.58	14.48	51.72	54.33	2.16	2.42
L.S.D @0.05		4.29	1.32	1.61	6.14	0.95	0.47	4.41	0.94	0.03	0.12
	الشاهد	80.66	73.44	208.56	213.77	14.82	14.82	47.90	45.67	1.95	2.05
	حديد + منجنيز	102.01	91.67	230.22	238.43	16.16	16.72	63.60	55.45	2.17	2.30
	حديد + زنك	96.50	85.56	219.44	236.13	15.66	15.75	60.56	50.78	2.12	2.23
	زنك + منجنيز	89.43	81.33	215.22	223.90	15.15	15.22	54.56	48.55	2.06	2.12
	حديد + منجنيز + زنك	108.43	95.55	233.44	243.47	16.72	17.83	68.93	61.33	2.34	2.69
L.S.D @0.05		5.54	1.71	2.08	7.92	1.22	0.61	5.70	1.21	0.04	0.16

أوضحت نتائج التداخل بين أصناف القمح ومعاملات الرش الورقي بالعناصر الصغرى وجود اختلافات واضحة في استجابة الأصناف لمعاملات التغذية الورقية خلال موسمي الدراسة، مما يشير إلى اختلاف الكفاءة الوراثية للأصناف في امتصاص العناصر الغذائية والاستفادة منها في دعم النمو وتكوين مكونات المحصول. وبصفة عامة، أظهر صنف بحوث 210 تفوقًا واضحًا في معظم الصفات المدروسة، خاصة عند استخدام الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك، بينما اختلفت استجابة صنفي أبو الجود وسلامبو باختلاف الصفة ومعاملة الرش.

وفيما يتعلق بارتفاع النبات، سجل صنف بحوث 210 أعلى استجابة عند الرش بالعناصر الصغرى مجتمعة، وهو ما قد يرجع إلى التكامل بين الأدوار الفسيولوجية للحديد والمنجنيز والزنك في دعم العمليات الحيوية المسؤولة عن النمو الخضري واستطالة السلاميات. فالحديد يدخل في تكوين البروتينات المرتبطة بنقل الإلكترونات والأنشطة الإنزيمية، ويسهم بصورة غير مباشرة في تكوين الكلوروفيل، مما يحسن كفاءة التمثيل الضوئي، بينما يؤدي المنجنيز دورًا أساسيًا في نشاط النظام الضوئي الثاني (Photosystem II) وتنشيط العديد من الإنزيمات. كما يسهم الزنك في تنظيم النمو وتخليق البروتينات والهرمونات النباتية، الأمر الذي قد ينعكس إيجابيًا على استطالة الخلايا وزيادة النمو الخضري. وقد أظهر صنفا سلامبو وأبو الجود استجابة إيجابية للرش بالعناصر الصغرى، إلا أن مقدار هذه الاستجابة كان أقل نسبيًا مقارنة بصنف بحوث 210، مما يشير إلى وجود اختلافات وراثية في كفاءة الاستفادة من العناصر المضافة. وامتد تأثير التداخل إلى عدد السنابل بوحدة المساحة، حيث حقق صنف بحوث 210 أفضل استجابة، خاصة عند استخدام المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك. وقد يرتبط ذلك بتحسن الحالة التغذوية للنبات وزيادة كفاءة التمثيل الضوئي وتوفير المواد الكربوهيدراتية اللازمة لنمو الأشطاء واستمرارها وتحولها إلى أشطاء خصبة. كما أن دور الزنك في تنظيم العمليات الهرمونية وانقسام الخلايا، إلى جانب دور الحديد والمنجنيز في العمليات الضوئية والإنزيمية، قد ساعد على تحسين نمو النباتات وتكوين السنابل. ويشير هذا الاتجاه إلى أن التغذية المتوازنة بالعناصر الصغرى لا تقتصر على تحسين النمو الخضري، بل تمتد إلى دعم تكوين الأشطاء الخصبة والمحافظة عليها، وهو ما ينعكس على عدد السنابل المتكونة في وحدة المساحة.

أما بالنسبة لطول السنبلة، فقد أظهر صنف بحوث 210 تفوقًا ملحوظًا، خاصة عند الرش المشترك بالعناصر الصغرى، مما يعكس أهمية التغذية المعدنية المتوازنة خلال مراحل تكوين السنبلة ونموها. ويمكن تفسير ذلك بالدور المتكامل للحديد والمنجنيز والزنك في تحسين كفاءة التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية، بما يدعم توفير الطاقة والمواد العضوية اللازمة لانقسام الخلايا واستطالتها ونمو محور السنبلة وتكوين السنيبلات. ويؤكد ذلك أن تحسين الحالة الغذائية للنبات خلال مراحل النمو التناسلي قد يسهم في تحسين أحد المكونات المهمة المحددة للمحصول. وفيما يتعلق بعدد الحبوب بالسنبلة، أظهرت النتائج تفوق صنف بحوث 210 عند استخدام الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك، وهو ما قد يرتبط بتحسن الحالة الفسيولوجية والتغذوية للنبات خلال مراحل تكوين السنبلة والتزهير والإخصاب. إذ تسهم العناصر الصغرى في دعم الأنشطة الإنزيمية والتمثيل الضوئي وتوفير المواد الغذائية اللازمة لنمو الأزهار وتكوين الحبوب. كما أن كفاءة التغذية بالعناصر الصغرى قد تساعد على تقليل احتمالات فشل الإخصاب أو إجهاض الحبوب حديثة التكوين، نتيجة تحسين إمداد الأنسجة النامية بالمواد الغذائية. ومن ثم، فإن زيادة عدد الحبوب بالسنبلة قد تكون انعكاسًا لتحسن الظروف الغذائية والفسيولوجية للنبات خلال المراحل الحرجة من النمو التناسلي. وبالنسبة لوزن الحبوب بالسنبلة، فقد سجل صنف بحوث 210 أفضل استجابة للرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك، وهو ما يتفق مع تفوقه في عدد الحبوب بالسنبلة. ويمكن تفسير هذه الزيادة بالتأثير المشترك لتحسن عدد الحبوب وكفاءة امتلائها، حيث يعتمد وزن الحبوب على توافر نواتج التمثيل الضوئي وانتقالها من الأوراق والسيقان إلى الحبوب خلال مراحل الامتلاء. ويسهم الحديد والمنجنيز في المحافظة على كفاءة التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية المرتبطة بإنتاج المواد الكربوهيدراتية، بينما يساعد الزنك في تنظيم عمليات الأيض وتكوين البروتينات والإنزيمات الضرورية للنمو. وقد أدى التكامل بين هذه العناصر إلى تحسين الظروف الغذائية والفسيولوجية الداعمة لانتقال المواد الممثلة إلى الحبوب، بما انعكس إيجابيًا على وزنها بالسنبلة.

وبصفة عامة، تشير نتائج التداخل إلى أن الاستجابة للرش الورقي بالعناصر الصغرى تتحدد بدرجة كبيرة وفقًا للتركيب الوراثي للصنف ومدى كفاءته في الاستفادة من العناصر المضافة. وقد تميز صنف بحوث 210 بقدرته على الاستجابة لمعاملات الرش المختلفة، وحقق أفضل أداء لمعظم صفات النمو ومكونات المحصول عند استخدام الحديد والمنجنيز والزنك بصورة مشتركة، مما يشير إلى أهمية التكامل الغذائي بين هذه العناصر في دعم عمليات التمثيل الضوئي والنشاط الإنزيمي وتنظيم النمو وتكوين الأشطاء والسنابل والحبوب وامتلائها. كما أن تفوق المعاملة الثلاثية مقارنة بمعاملة الشاهد ومعظم المعاملات الثنائية يشير إلى أهميتها في تحسين الحالة التغذوية للنبات، مع ضرورة عدم اعتبار ذلك دليلًا قاطعًا على وجود تأثير تآزري بين العناصر دون إجراء تحليل مناسب للتأثيرات الفردية والتفاعلية لها. كذلك فإن اختلاف استجابة الأصناف بين موسمي الدراسة قد يرتبط بتباين الظروف البيئية والمناخية ومدى تأثيرها في امتصاص العناصر وانتقالها وكفاءة العمليات الفسيولوجية داخل النبات. وتتفق هذه النتائج بوجه عام مع ما أشار إليه كل من **Cakmak (2008)** و **Fageria *et al*. (2009)** و**Marschner (2011)** بشأن أهمية العناصر الصغرى في تحسين النمو والإنتاجية من خلال أدوارها الحيوية في التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية المختلفة.

جدول 4. تأثير التداخل بين بعض أصناف القمح والرش الورقي بالعناصر الصغرى على ارتفاع النبات (سم) وعدد السنابل/م2 وطول السنبلة (سم) وعدد الحبوب/سنبلة ووزن الحبوب/سنبلة (جم) خلال موسمي 2023/2022م و2024/2023 م.

عوامل الدراسة/المعاملات		ارتفاع النبات (سم)		عدد السنابل/م2		طول السنبلة (سم)		عدد الحبوب/سنبلة		وزن الحبوب/سنبلة (جم)	
		موسم الزراعة									
الأصناف (A)	الرش الورقي (B)	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني
	الشاهد	76.47	62.33	176.00	189.30	12.20	12.33	37.60	39.33	1.46	1.60
أبو الجود	حديد + منجنيز	89.83	85.00	196.67	218.00	13.47	13.73	47.73	45.00	1.80	1.83
	حديد + زنك	83.43	77.00	183.33	209.70	13.17	13.00	45.20	42.67	1.73	1.79
	زنك + منجنيز	82.37	72.00	178.00	201.00	12.13	12.80	41.20	41.00	1.62	1.71
	حديد + منجنيز + زنك	93.23	84.33	200.33	226.70	13.20	14.60	50.53	52.33	2.24	2.02
	الشاهد	85.53	84.67	244.00	241.30	19.13	18.87	67.00	52.00	2.33	2.29
	حديد + منجنيز	119.47	104.00	257.00	260.00	19.93	21.37	86.60	62.67	2.48	2.67
بحوث 210	حديد + زنك	112.40	94.00	251.33	252.70	19.33	19.93	82.60	58.00	2.46	2.54
	زنك + منجنيز	95.73	90.33	248.67	247.00	19.40	19.07	77.00	54.33	2.42	2.39
	حديد + منجنيز + زنك	127.60	111.00	259.33	263.00	20.67	22.97	92.60	66.33	2.53	3.26
	الشاهد	79.97	73.33	205.67	210.70	13.13	13.27	39.10	45.67	2.05	2.26
	حديد + منجنيز	96.73	86.00	237.00	237.30	15.07	15.07	56.47	58.67	2.23	2.40
سلامبو	حديد + زنك	93.67	85.00	223.67	246.00	14.47	14.33	53.87	51.67	2.16	2.37
	زنك + منجنيز	90.20	81.67	219.00	223.70	13.93	13.80	45.47	50.33	2.14	2.27
	حديد + منجنيز + زنك	104.47	91.33	240.67	240.70	16.30	15.93	63.67	65.33	2.24	2.80
	L.S.D @ 0.05	9.59	2.96	3.60	3.88	3.55	3.66	6.33	5.95	0.07	0.08

أوضحت نتائج الدراسة وجود اختلافات واضحة بين أصناف القمح في صفات وزن الألف حبة ومحصول القش ومحصول الحبوب والمحصول البيولوجي ودليل الحصاد خلال موسمي الزراعة، وهو ما يعكس الاختلافات الوراثية بين الأصناف في كفاءة النمو وتكوين الحبوب وامتلائها وتراكم المادة الجافة وتوزيعها بين الأجزاء الخضرية والحبوب. وقد تميز صنف بحوث 210 بأفضل أداء لمعظم صفات المحصول، حيث سجل أعلى وزن للألف حبة ومحصول القش ومحصول الحبوب والمحصول البيولوجي خلال موسمي الدراسة، بينما سجل صنف أبو الجود أقل القيم في معظم هذه الصفات، وجاء صنف سلامبو في مستوى متوسط. ويشير ذلك إلى امتلاك صنف بحوث 210 قدرة وراثية متميزة على استغلال الظروف البيئية والتغذوية المتاحة وتحويلها إلى نمو وإنتاجية مرتفعة، سواء من خلال زيادة تراكم المادة الجافة في الأجزاء الخضرية أو تحسين تكوين الحبوب وامتلائها.

كما أظهرت النتائج أن الرش الورقي بالعناصر الصغرى أدى بصفة عامة إلى تحسين صفات المحصول مقارنة بمعاملة الشاهد، وكانت المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك من أكثر المعاملات فاعلية، خاصة في تحسين وزن الألف حبة ومحصول الحبوب والمحصول البيولوجي. ويمكن تفسير ذلك بالدور الحيوي والمتكامل لهذه العناصر في دعم العمليات الفسيولوجية والأيضية داخل النبات؛ إذ يسهم الحديد في تكوين البروتينات المرتبطة بنقل الإلكترونات والأنشطة الإنزيمية الضرورية للتمثيل الضوئي والتنفس، بينما يؤدي المنجنيز دورًا أساسيًا في كفاءة النظام الضوئي الثاني وتنشيط الإنزيمات المرتبطة بعملية التمثيل الضوئي، ويسهم الزنك في تنظيم العمليات الأيضية وتخليق البروتينات والهرمونات النباتية. ويساعد توافر هذه العناصر بصورة متكاملة على تحسين كفاءة التمثيل الضوئي وزيادة إنتاج المواد الكربوهيدراتية، فضلًا عن تحسين انتقال نواتج التمثيل الضوئي من الأوراق والسيقان إلى الحبوب، مما ينعكس إيجابيًا على وزن الحبوب والمحصول النهائي.

وقد انعكس هذا التحسن في الحالة التغذوية للنبات على وزن الألف حبة، حيث حققت المعاملة المشتركة بالعناصر الصغرى أفضل النتائج خلال موسمي الدراسة. ويرتبط وزن الحبوب بكفاءة تراكم المواد العضوية خلال مراحل الامتلاء، ومدى توافر نواتج التمثيل الضوئي وانتقالها من الأجزاء الخضرية إلى الحبوب. وتؤدي ورقة العلم والأوراق العليا والسيقان دورًا مهمًا في توفير المواد الممثلة اللازمة لامتلاء الحبوب، كما تسهم العناصر الصغرى في المحافظة على النشاط الفسيولوجي والإنزيمي للنبات خلال هذه المرحلة. ومن ثم، فإن تحسين الحالة الغذائية للنبات قد ساعد على زيادة كفاءة تكوين الحبوب وامتلائها، وهو ما يفسر ارتفاع وزن الألف حبة تحت معاملات الرش، خاصة المعاملة الثلاثية.

وامتد تأثير الرش الورقي بالعناصر الصغرى إلى محصول القش، حيث أظهرت النتائج زيادة في إنتاجيته تحت معظم معاملات الرش مقارنة بالشاهد، مع تميز المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك. وقد يرجع ذلك إلى تحسن النمو الخضري وزيادة تكوين المادة الجافة في السيقان والأوراق نتيجة ارتفاع كفاءة التمثيل الضوئي وتنشيط العمليات الإنزيمية المرتبطة بالنمو. ويعكس محصول القش قدرة النبات على تكوين الكتلة الخضرية وتراكم المادة الجافة في الأجزاء غير الاقتصادية، كما أن زيادة النمو الخضري قد توفر مساحة تمثيلية أكبر تسهم في إنتاج المواد الكربوهيدراتية اللازمة لدعم تكوين الحبوب وامتلائها.

أما بالنسبة لمحصول الحبوب، فقد تميز صنف بحوث 210 بارتفاع إنتاجيته مقارنة بباقي الأصناف خلال موسمي الدراسة، كما حققت المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك أفضل استجابة بين معاملات الرش. ويمكن إرجاع ذلك إلى التأثير المتكامل للعناصر الصغرى في تحسين مكونات المحصول، ومنها عدد السنابل في وحدة المساحة وعدد الحبوب بالسنبلة ووزن الحبوب، بالإضافة إلى تحسين كفاءة التمثيل الضوئي وانتقال المواد الممثلة إلى الحبوب خلال مراحل الامتلاء. وبذلك فإن زيادة محصول الحبوب تمثل محصلة للتحسن في عدد من مكونات المحصول والعمليات الفسيولوجية المسؤولة عن تكوينه، وليس نتيجة التأثير في صفة منفردة.

وفيما يتعلق بالمحصول البيولوجي، فقد سجل صنف بحوث 210 أعلى إنتاجية، كما حققت المعاملة الثلاثية بالحديد والمنجنيز والزنك أفضل النتائج بين معاملات الرش. ويعبر المحصول البيولوجي عن إجمالي المادة الجافة المتراكمة في النبات، بما يشمل القش والحبوب، ولذلك فإن زيادته تعكس تحسن النمو الكلي وكفاءة النبات في استغلال الموارد الغذائية والبيئية. ويمكن تفسير هذه الاستجابة بتحسن كفاءة التمثيل الضوئي والنشاط الإنزيمي وزيادة تكوين المواد العضوية وتراكمها في الأجزاء النباتية المختلفة، الأمر الذي أدى إلى زيادة إنتاجية النبات من المادة الجافة. كما أن تحسن محصول القش ومحصول الحبوب معًا أسهم في ارتفاع المحصول البيولوجي تحت المعاملة الثلاثية.

أما دليل الحصاد، فقد أظهرت النتائج اختلاف استجابة الأصناف ومعاملات الرش بين موسمي الدراسة، حيث سجل صنف بحوث 210 أعلى قيمة خلال الموسم الثاني، بينما سجل صنف أبو الجود أعلى قيمة خلال الموسم الأول. ويعبر دليل الحصاد عن كفاءة النبات في توزيع المادة الجافة المتراكمة بين الجزء الاقتصادي، المتمثل في الحبوب، وإجمالي المحصول البيولوجي. ولذلك فإن ارتفاع المحصول البيولوجي لا يؤدي بالضرورة إلى ارتفاع دليل الحصاد، إذ يتوقف هذا الدليل على النسبة التي يتم توجيهها إلى الحبوب مقارنة بالأجزاء الخضرية. وقد أدى الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك إلى تحسين دليل الحصاد خلال الموسم الثاني مقارنة بالشاهد، في حين لم يظهر الاتجاه نفسه خلال الموسم الأول. وقد يرجع هذا الاختلاف إلى

التباين في الظروف البيئية خلال مراحل النمو وامتلاء الحبوب، وتأثيرها في كفاءة انتقال نواتج التمثيل الضوئي وتوزيع المادة الجافة بين الحبوب والقش.

وبصفة عامة، تشير النتائج إلى أن اختلاف التركيب الوراثي لأصناف القمح أثرت في كفاءتها الإنتاجية واستجابتها للتغذية الورقية بالعناصر الصغرى، حيث أظهر صنف بحوث 210 قدرة متميزة على تكوين الحبوب وتراكم المادة الجافة وتحقيق إنتاجية مرتفعة. كما أظهرت المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك فاعلية واضحة في تحسين معظم صفات المحصول المدروسة، نتيجة التكامل الوظيفي لهذه العناصر في دعم التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية وتكوين المواد العضوية وانتقالها إلى الحبوب. وتؤكد هذه النتائج أهمية الاهتمام بالتغذية المتوازنة بالعناصر الصغرى باعتبارها أحد الممارسات الزراعية التي يمكن أن تسهم في تحسين إنتاجية القمح وجودة مكوناته، مع مراعاة اختلاف استجابة الأصناف والظروف البيئية السائدة خلال موسمي الزراعة.

جدول 5. تأثير الرش الورقي بالعناصر الصغرى على وزن 1000 حبة (جم) ومحصول القش (طن/هكتار) ومحصول الحبوب (طن/هكتار) ومحصول البيولوجي (طن/هكتار) ودليل الحصاد (%) لبعض أصناف القمح خلال موسمي 2023/2022م و2024/2023 م.

عوامل الدراسة/المعاملات		وزن 1000 حبة (جم)		محصول القش (طن/هكتار)		محصول الحبوب (طن/هكتار)		محصول البيولوجي (طن/هكتار)		دليل الحصاد (%)	
		موسم الزراعة									
الأصناف (A)	الرش الورقي (B)	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني
أبو الجود		40.07	59.53	2.34	2.52	2.12	2.52	4.45	4.83	47.34	41.88
بحوث 210		56.67	67.20	3.79	4.18	3.29	4.18	7.08	7.59	46.61	47.23
سلامبو		52.60	63.20	3.27	3.45	2.32	3.45	5.59	5.79	41.49	45.25
L.S.D @0.05		1.81	1.12	0.12	0.02	0.01	0.01	0.12	0.16	1.13	0.41
	الشاهد	47.78	53.33	2.99	3.22	2.52	2.57	5.52	5.83	45.87	44.17
	حديد + منجنيز	51.22	68.56	3.28	3.48	2.61	2.77	5.88	6.12	44.38	44.78
	حديد + زنك	49.33	63.78	2.91	3.32	2.57	2.70	5.48	5.98	46.53	44.57
	زنك + منجنيز	48.89	58.56	3.19	3.40	2.54	2.63	5.74	5.95	44.51	44.48
	حديد + منجنيز + زنك	51.67	72.33	3.30	3.50	2.62	2.81	5.92	6.47	44.48	45.93
L.S.D @0.05		2.34	1.44	0.16	0.03	0.01	0.02	0.16	0.20	1.46	0.53

أوضحت نتائج الدراسة وجود اختلافات في استجابة أصناف القمح لمعاملات الرش الورقي بالعناصر الصغرى خلال موسمي الزراعة، مما يعكس الاختلافات الوراثية بين الأصناف في كفاءة الاستفادة من العناصر الغذائية وتحويلها إلى محصول اقتصادي ومادة جافة. وقد أظهر صنف بحوث 210 تفوقًا واضحًا في معظم صفات المحصول المدروسة، خاصة عند الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك، حيث حقق أفضل أداء في وزن الألف حبة ومحصول القش ومحصول الحبوب والمحصول البيولوجي، بينما اختلفت استجابة صنفي أبو الجود وسلامبو وفقًا للصفة المدروسة ومعاملة الرش. ويشير ذلك إلى أن كفاءة التغذية الورقية لا تعتمد فقط على توافر العناصر الصغرى، بل تتأثر أيضًا بالتركيب الوراثي للصنف وقدرته على امتصاص هذه العناصر والاستفادة منها في العمليات الفسيولوجية والإنتاجية.

وقد انعكس تأثير الرش الورقي بالعناصر الصغرى بصورة إيجابية على وزن الألف حبة، حيث حققت المعاملة المشتركة بالحديد والمنجنيز والزنك أفضل استجابة، خاصة في صنف بحوث 210 خلال موسمي الدراسة. ويمكن تفسير ذلك بالدور المتكامل لهذه العناصر في المحافظة على كفاءة التمثيل الضوئي وتنشيط العمليات الإنزيمية المسؤولة عن إنتاج المواد الكربوهيدراتية وتراكمها داخل الحبوب؛ إذ يسهم الحديد في عمليات نقل الإلكترونات والأنشطة الإنزيمية المرتبطة بالتمثيل الضوئي والتنفس، بينما يؤدي المنجنيز دورًا أساسيًا في كفاءة النظام الضوئي الثاني وتنشيط الإنزيمات، ويساعد الزنك في تنظيم العمليات الأيضية وتخليق البروتينات والهرمونات النباتية. وقد أدى تحسن الحالة الغذائية والفسيولوجية للنبات إلى زيادة كفاءة انتقال نواتج التمثيل الضوئي من الأوراق والسيقان إلى الحبوب، مما دعم عمليات الامتلاء وزيادة وزن الحبوب. كما أظهرت النتائج تحسن محصول القش تحت معظم معاملات الرش مقارنة بالشاهد، مع تميز صنف بحوث 210 والمعاملة المشتركة بالعناصر الصغرى في تحقيق إنتاجية مرتفعة. وقد يرجع ذلك إلى تحسن النمو الخضري وزيادة تكوين المادة الجافة في السيقان والأوراق نتيجة ارتفاع كفاءة التمثيل الضوئي وتنشيط العمليات الإنزيمية المرتبطة بالنمو وتكوين المواد العضوية. ويسهم الحديد والمنجنيز في دعم العمليات الضوئية وإنتاج الطاقة، بينما يؤدي الزنك دورًا مهمًا في تنظيم النمو والعمليات الأيضية، الأمر الذي يوفر ظروفًا مناسبة لاستمرار نمو الأنسجة النباتية وزيادة تراكم المادة الجافة في الأجزاء الخضرية.

كما تفوق صنف بحوث 210 على باقي الأصناف، وحققت معاملة الرش بخليط من الحديد والمنجنيز والزنك أفضل استجابة خلال موسمي الدراسة. ويمكن تفسير هذه الزيادة بالتأثير المتكامل للعناصر الصغرى في تحسين مكونات المحصول، مثل عدد السنابل في وحدة المساحة وعدد الحبوب بالسنبلة ووزن الحبوب، إلى جانب تحسين كفاءة التمثيل الضوئي وانتقال نواتج التمثيل الضوئي إلى الحبوب خلال مراحل تكوينها وامتلائها. ويعكس ذلك أهمية التغذية المتوازنة بالعناصر الصغرى في تحسين كفاءة النبات في تكوين المحصول الاقتصادي، من خلال دعم النمو والتطور التناسلي وزيادة كفاءة استغلال المواد الغذائية المتاحة. وبالنسبة للمحصول البيولوجي، فقد سجل صنف بحوث 210 أفضل أداء، خاصة عند استخدام الرش المشترك بالحديد والمنجنيز والزنك، وهو ما يشير إلى زيادة كفاءة النبات في إنتاج وتراكم المادة الجافة في الأجزاء المختلفة. ويُعد المحصول البيولوجي محصلة للنمو الخضري والإنتاج التناسلي، ولذلك فإن زيادته تعكس تحسن النمو الكلي للنبات وكفاءة استغلال الموارد الغذائية والبيئية. ويمكن إرجاع ذلك إلى تحسن التمثيل الضوئي وزيادة تكوين المواد العضوية وتراكمها في السيقان والأوراق والحبوب نتيجة توافر العناصر الصغرى اللازمة للأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية. كما أن تحسن محصول القش والحبوب معًا يسهم في زيادة المحصول البيولوجي، بما يعكس كفاءة المعاملة في دعم الإنتاج الكلي للمادة الجافة.

أما دليل الحصاد، فقد أظهرت النتائج اختلافًا في استجابة الأصناف ومعاملات الرش بين موسمي الدراسة، حيث تباين ترتيب الأصناف في تحقيق أعلى القيم، كما اختلف تأثير معاملات الرش وفقًا للصنف والموسم. ويعبر دليل الحصاد عن كفاءة النبات في توزيع المادة الجافة المتراكمة بين الجزء الاقتصادي، المتمثل في الحبوب، وإجمالي المحصول البيولوجي. ولذلك فإن زيادة المحصول البيولوجي لا تؤدي بالضرورة إلى ارتفاع دليل الحصاد، إذ يتوقف ذلك على نسبة المادة الجافة التي يوجهها النبات إلى الحبوب مقارنة بالأجزاء الخضرية. وقد أدى الرش المشترك بالعناصر الصغرى إلى تحسين دليل الحصاد في بعض الأصناف خلال الموسم الثاني، بينما لم يظهر التأثير نفسه بصورة منتظمة خلال الموسم الأول، وهو ما قد يرتبط باختلاف الظروف البيئية خلال مراحل النمو وامتلاء الحبوب ومدى تأثيرها في كفاءة انتقال نواتج التمثيل الضوئي وتوزيع المادة الجافة بين الحبوب والقش.

وبصفة عامة، تشير نتائج التداخل إلى أن استجابة أصناف القمح للرش الورقي بالعناصر الصغرى تتأثر بالتركيب الوراثي للصنف ومدى كفاءته في الاستفادة من العناصر المضافة، حيث تميز صنف بحوث 210 بقدرته على تحقيق أفضل أداء في معظم صفات المحصول، خاصة عند استخدام الحديد والمنجنيز والزنك بصورة مشتركة. ويُعزى ذلك إلى التكامل الوظيفي لهذه العناصر في دعم التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية، وتحسين تكوين المادة الجافة وانتقال نواتج التمثيل الضوئي إلى الحبوب. كما تؤكد النتائج أن تأثير التغذية الورقية لا يقتصر على تحسين النمو الخضري والمحصول البيولوجي، بل يمتد إلى تحسين مكونات المحصول الاقتصادي ووزن الحبوب، في حين يتحدد دليل الحصاد وفقًا لمدى التوازن بين تراكم المادة الجافة في الحبوب والأجزاء الخضرية. وتتفق هذه النتائج بوجه عام مع ما أشار إليه **Cakmak (2008) و*Fageria et al*.**

(2009) و **Asif وأخرون (2026)** و **Savaşlı (2026)** بشأن أهمية العناصر الصغرى في تحسين النمو والإنتاجية في محاصيل الحبوب من خلال أدوارها الحيوية في التمثيل الضوئي والأنشطة الإنزيمية والعمليات الأيضية.

جدول 6. تأثير التداخل بين بعض أصناف القمح والرش الورقي بالعناصر الصغرى على وزن 1000 حبة (جم) ومحصول القش (طن/هكتار) ومحصول الحبوب (طن/هكتار) ومحصول البيولوجي (طن/هكتار) ودليل الحصاد (%) خلال موسمي 2023/2022م و2024/2023 م.

عوامل الدراسة/المعاملات		وزن 1000 حبة (جم)		محصول القش (طن/هكتار)		محصول الحبوب (طن/هكتار)		محصول البيولوجي (طن/هكتار)		دليل الحصاد (%)	
		موسم الزراعة									
الأصناف (A)	الرش الورقي (B)	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني	الأول	الثاني
	الشاهد	36.33	49.33	2.28	2.35	2.07	2.12	4.36	4.47	47.58	40.48
أبو الجود	حديد + منجنيز	43.00	64.33	2.38	2.64	2.17	2.32	4.51	4.95	47.18	41.68
	حديد + زنك	40.00	60.00	2.35	2.53	2.10	2.25	4.45	4.77	47.14	41.35
	زنك + منجنيز	37.33	54.00	2.30	2.45	2.08	2.19	4.39	4.64	47.46	41.11
	حديد + منجنيز + زنك	43.67	70.00	2.40	2.65	2.16	2.35	4.56	5.30	47.33	44.40
	الشاهد	54.00	58.67	3.76	3.99	3.24	3.30	7.00	7.29	46.30	46.77
	حديد + منجنيز	58.33	71.67	4.07	4.27	3.32	3.52	7.39	7.76	44.99	47.35
بحوث 210	حديد + زنك	57.00	67.33	3.05	4.20	3.28	3.43	6.34	7.60	51.81	47.06
	زنك + منجنيز	55.33	63.67	3.97	4.12	3.26	3.35	7.23	7.46	45.07	47.23
	حديد + منجنيز + زنك	58.67	74.67	4.09	4.30	3.34	3.56	7.43	7.83	44.97	47.76
	الشاهد	53.00	52.00	2.94	3.33	2.26	2.30	5.20	5.74	43.74	44.89
	حديد + منجنيز	52.33	69.67	3.39	3.52	2.35	2.48	5.74	5.66	40.96	45.30
سلامبو	حديد + زنك	51.00	64.00	3.34	3.46	2.32	2.43	5.66	5.56	40.65	45.29
	زنك + منجنيز	54.00	58.00	3.30	3.40	2.29	2.36	5.59	5.74	40.99	45.11
	حديد + منجنيز + زنك	52.67	72.33	3.40	3.54	2.37	2.53	5.77	6.27	41.13	45.64
	L.S.D @ 0.05	1.55	1.64	0.28	0.03	0.02	0.01	0.27	1.35	2.53	0.92

التوصية:

في ضوء النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة، يُوصى بزراعة صنف القمح بحوث 210 نظرًا لتفوقه في معظم صفات النمو ومكونات المحصول والإنتاجية، مع استخدام الرش الورقي المشترك بالعناصر الصغرى الحديد والمنجنيز والزنك **(Fe + Mn + Zn)**، لما أظهرته هذه المعاملة من تأثير إيجابي في تحسين وزن الألف حبة ومحصول القش ومحصول الحبوب والمحصول البيولوجي خلال موسمي الدراسة. ويُوصى بتطبيق هذه المعاملة ضمن برامج تغذية القمح، خاصة في الأراضي والظروف المشابهة لظروف تنفيذ التجربة، مع مراعاة التركيزات ومواعيد الرش المستخدمة في الدراسة.

المراجع:

الأسدي، ع.ع. (2014). تأثير السماد الورقي في صفات النمو الخضري لبعض أصناف الحنطة. مجلة جامعة كربلاء العلمية، العراق. 2 (1).

البيصري، د. (2019). تأثير الرش بمستويات مختلفة من (حامض الهيوميك وفيولفيك) والمحلول المغذي في نمو حاصل الحنطة *Triticum aestivum* L. رسالة ماجستير. كلية الزراعة، إنتاج النباتي، المحاصيل الحقلية.

الحكيم، م. ص. م.2017. تأثير للتغذية الورقية بالمنجنيز والبورون في بعض الصفات الكمية والنوعية لنبات الذرة الصفراء Zea mays L. تحت ظروف الإجهاد المائي. مجلة جامعة كربلاء للعلمية. 15 (1).

الخلف، م. م. والزعبي، ت. أ. (2022). تأثير التسميد العضوي والكيميائي على بعض الصفات المورفولوجية والإنتاجية الحبية لأصناف من القمح القاسي والطري. 9(3): 230-240.

الزويك، س. م.؛ سالم.، ر. ع.؛ إبراهيم، أ. ع. والعاقل، م. ع. (2020). دراسة الكفاءة الإنتاجية لعدد من أصناف القمح *Triticum aestivium* الطرية بنظام الري التكميلي. مجلة الجديد في البحوث الزراعية، كلية الزراعة، سابا باشا. 25 (2): 112-139.

العبودي، م. ع. خ. (2015). إستجابة حنطة الخبز *Triticum aestivum* L للتغذية الورقية بعنصري الحديد والمنجنيز وتداخلاهما في الحاصل ومكوناته. مجلة البصرة للعلوم الزارعية. 8(2): 87-97.

الطوكي، م.ع. م. (2022). تأثيرالرش بسماد الزنك المخلبي والنانوي في النمو والصفات الكمية والنوعية لمحصول الحنطة. رسالة ماجستير. كلية الزارعة، جامعة المثنى.

الغزاوي ، ح. خ. ع.؛ الجنابي، م. ع. أ. وصديق، ف. ع. (2018). تـأثيرمستويات مختلفة من سماد النتروجين في حاصل الحبوب ومكوناته لثمانية أصناف من حنطة الخبز *Triticum aestivium*. مجلة جامعة تكريت للعلوم الزراعية. 18(1).

الفتلاوي ، ز. ح.؛ كاظم. ع. ك. وعلاء ع. ك. (2016). تأثير رش العناصر الصغرى بتراكيز مختلفة في نمو وحاصل محصول الحنطة صنف إباء 99. *Triticum aestivum* L. كلية الزارعة، جامعة القاسم الخضراء. مجلة الفرات للعلوم الزارعية. 9(1): 204-210.

المحاسنة ، ح. (2012). تقييم أداة أصناف من القمح لتحمل إجهاد ونقص الماء في الظروف مدينة دمشق. مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية. 28(2): 127-141.

خلف، ع.ط؛ باسمة، ع. ع. ورنا، ر. ع. (2017). تأثير التسميد الأرضي والورقي بالمغذي Humzinc في بعض صفات النمو والحاصل للحنطة *Triticum aestivum* L. مجلة كربلاء للعلوم الزارعية. 4(1): 62-73.

عبد الخالق، أ.م. (2017). تأثير مستويات النتروجين والرش بالحديد في نمو وإنتاجية الحنطة.*Triticum aestivum* L . رسالة ماجستير. كلية الزارعة - جامعة المثنى.

عبد الكريم، ض. ع. (2016). تأثير التسميد البوتاسي والرش بالخارصين في بعض صفات النمو والحاصل ومكوناته للحنطة *Triticum aestivum* L. Basrah J. Agric. Sci. 29 (2): 666-667.

علي، نور الدين شوقي وعصام. س. س. ()2117. التأثير المتداخل بين بعض أصناف الحنطة والتسميد النتروجيني في إمتصاص الزنك. مجلة الزارعة العراقية البحثية. 22(1): 41-54.

فرحان، ح. ن. والدليمي، ث. م. ب. (2011). تأثير التسميد الورقي ببعض المغذيات الصغرى على *Triticum aestivium* نمو وإنتاجية القمح. مجلة جامعة الأردنية في العلوم الزراعية. 7(1): 105-118.

محسن، ك. ح.؛ الأسدي، ك. ك. ج. والعبودي ، م. ع. خ. (2014). تأثير التغذية الورقة بالعناصر الكبرى والصغرى في الحاصل ومكوناته لمحصول الحنطة .L *Triticum aestivium* تحت ظروف المنطقة الجنوبة. مجلة المثني للعلوم الزراعية، 2(2):1-10.

AbdulKafoor, A. H., Ahmed, Y. A., Ali, I. M., & Ramadan, A. S. A. A. (2023). Growth and yield response of several cultivars of wheat *Triticum aestivum* L. to spraying of NPK nano fertilizer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1252, No. 1, p. 012033). IOP Publishing.

Al-Delamee, H. N., and Attia Al-Zini, K. N. (2019). effect of foliar spraying with zinc and iron in the content of grains and leaves from the protein and zinc component for the wheat plant *Triticum aestivum* L. (ipa 99 cultivar). International Journal of agricultural and Statistical Sciences, 15 (2).

Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition.2nd Ed.www/ topsoils.co.nz.

Asif, M., Hadi, A., Aziz, A., Khan, I., Akhtar, N., Al-Khayri, J. M., ... & Almaghasla, M. I. (2026). Effect of foliar application of zinc on growth, yield, and quality of mung bean (*Vigna radiata* L.) under different irrigation regimes. *Polish Journal of Environmental Studies*, *35*(5), 6111-6121.

Bavandpouri, F., Farshadfar, E., Cheghamirza, K., & Farshadfar, M. (2025). Biochemical characteristics of bread wheat genotypes related to SSR markers in moisture stress conditions. In *Genetic Resources* (Vol. 6, No. 12, pp. 171-193).

Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification?. *Plant and soil*, *302*(1), 1-17.

El-Azizy. F. A. (2021). Improving the growth and productivity of Barley (*Hordeum Vulgare* L) As Affected by Foliar Application of Phosphorous and Micronutrients Grown in Calcareous Soil. alexandria science exchange journal, 42(1). january - march 2021.

El-Fouly, M. M.; Mobarak, Z. M. and Salama, Z. A. (2011). Micronutrients (Fe, Mn, Zn) foliar spray for increasing salinity tolerance in wheat Triticum aestivum L. African Journal of Plant Science, 5 (5): 314-322.

El-Fouly, M. M.; Noureldein, G. A.; Abou El-Nour, E. Z. A. and Abdel-Maguid, A. W. A. (2023). Effect of Spraying Zinc on Yield and Grain Zn-Content in Two Wheat Cultivars. Egyptian Journal of Agronomy, 45 (3): 249-258.

Fageria, N. K., Filho, M. B., Moreira, A., & Guimarães, C. M. (2009). Foliar fertilization of crop plants. *Journal of plant nutrition*, *32*(6), 1044-1064.

Farooq, M.; Ullah, A.; Usman, M. and Siddique, K. H. (2020). Application of zinc and biochar help to mitigate cadmium stress in bread wheat raised from seeds with high intrinsic zinc. Chemosphere, 260, 127652.

Gul, R..; Meenakshi, G..; Sarabdeep K., BC.; Sharma, R. B., and Shubham, J. (2023). Influence of Zinc and Iron nutrition on growth and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Shivalik foot hills. Pharma Innovation Journal, 12 (3): 4325-4328.

Hassan, M. U.; Chattha, M. U.; Ullah, A.; Khan, I.; Qadeer, A.; Aamer, M. and Khan, T. A. (2019). Agronomic biofortification to improve productivity and grain Zn concentration of bread wheat. Int J Agric Biol 21: 615–620.

Hossain, M. S., Paul, A. K., Khan, M. A., & Hasan, M. M. (2025). Effect of foliar application of zinc and boron on the growth and yield of wheat. *Int. J. Bio-Resour. Stress Manag*, *16*(4).

Joy, E. J.; Stein, A. J.; Young, S. D.; Ander, E. L.; Watts, M. J. and Broadley, M. R. (2015). Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. Plant and Soil, 389, 1-24.

Khatun, M. T; Mia, M. L.; Talukder, S. K; Datta, P.; Das, B.; Kabir, M. H.; Rashid, M. H. and Islam, M. S .(2024) Effect of zinc and iron fertilization on yield of wheat. / J. Biosci. Agric. Res. 32(02): 2649-2659.

Li, C.; Li, H.; Rono, J. K.; Wang, M. Q. and Yang, Z. M. (2022). A metal chaperone gene regulates rice growth and seed development by manganese acquisition and homeostasis. Agronomy, 12 (7):1676.

Mahmood, B. J., Shakir, S. B., Sabir, D. A., Abdulqadir, S. H., & Hama, S. J. (2024). Response of two bread wheat (Triticum aestivum L.) varieties to foliar application of Nano fertilizers at two growing stages and its effect on their qualitative characteristics. *Kirkuk University Journal for Agricultural Sciences (KUJAS)*, *15*(1), 37-46.

Makarem, H. I. A.; El-Far,A.; Ali, E.A and Said M.T. (2019). Response of Three Bread Wheat Cultivars to Foliar Spray by Some Micro- Nutrients Nano- Particles .Assiut J. Agric. Sci., 50 (4): (9-21).

Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.

Muhammad, I. U. H.; Muhammad, U. C.; Imran, k.; Muhammad, B. C.; wang. H.; rizwan, A.; Al-khayri, J. M.; Aldaej, M. I.; Al-dossary, O.; alsubaie, B.; shehata, W. F. and rezk, A. A. S. 2024. Improving physiology, growth, productivity, and grain biofortification of wheat with soil and foliar applied micronutrients. Applied Ecology and Environmental Research 23 (1):1543-1559.

Nazeer, S. M.; Tahir, M. S.; Muhammad, I.; Muhammad, U.; Muhammad, A. and Abid, S. (2020). Response of different micronutrients (Zn, Cu and Mn) soil application on yield and quality of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) in Agro Climatic Conditions of Faisalabad, Pakistan. Pak. j. life soc. Sci. (2020), 18 (2): 65-70.

Pii, Y.; Cesco, S. and Mimmo, T. (2015). Shoot Ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status. Plant Physiology and Biochemistry, 94, 48-56.

Savaşlı, E. (2026). Synergistic Effects of nitrogen management and foliar micronutrient cocktails on the biofortification of bread wheat with zinc and selenium. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-21.

Shreidi, A. S.; zentani, A. and Ketata, H. (2016). The History of wheat breedingin Libya. In A, P.bonjean, W. J. Angus and M. V. Ginkel (Eds). The world wheat book, Ahistory of whcat Breading (vol.3,pp.497-500) Laroisier. France: Limagrain.

Sofy, M. R. (2015). Application of salicylic acid and zinc improves wheat yield through physiological processes under different levels of irrigation intervals. Int. J. Plant Res, 5 (5): 136-56.

Sultana, S.; Naser, H. M.; Quddus, M. A.; Shill, N. C.; and Hossain, M. A. (2018). Effect of foliar application of iron and zinc on nutrient uptake and grain yield of wheat under different irrigation regimes. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 43 (3): 395-406.

Tadesse, W.; Sannchez – Garcia, M.; Assefa, S. G.; Amir, A.; bisharr, Z.; Ogbonnaya, F. C. and Baum, M. 2019. Genetic gainsin wheat Breeding and Its role In Feeding the wold. Crop breeding, Genelics and Genomics, 11-28.

Umair Hassan, M.; Aamer, M.; Umer Chattha, M.; Haiying, T.; Shahzad, B.; Barbanti, L. and Guoqin, H. (2020). The critical role of zinc in plants facing the drought stress. Agriculture, 10 (9): 396.

Wani, S. H.; Gaikwad, K.; Razzaq, A.; Samantara, K.; Kumar, M. and Govindan, V. (2022). Improving zinc and iron biofortification in wheat through genomics approaches. Molecular Biology Reports, 49 (8): 8007-8023.

Yavas, I. and Unay, A. (2016). Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. JAPS: Journal of Animal and Plant Sciences, 26 (4): 1-8.

Zain, M.; Khan, I.; Qadri, R. W. K.; Ashraf, U.; Hussain, S.; Minhas, S. and Bashir, M. (2015). Foliar application of micronutrients enhances wheat growth, yield and related attributes. American Journal of Plant Sciences, 6 (7): 864-869.

Zeidan, M. S.; Mohamed, M. F. and Hamouda, H. A. (2010). Effect of foliar fertilization of Fe, Mn and Zn on wheat yield and quality in low sandy soils fertility. World J. Agric. Sci, 6 (6): 696-699.

Zhou, C. X.; Zhang, C. C.; Zhao, Q. Y.; Yu, B. G.; Zhang, W.; Chen, X. P. and Zou, C. Q. (2024). Iron biofortification and yield of wheat grain in response to Fe fertilization and its driving variables: A meta-analysis. Global Food Security, 40, 100737.