

بحث بعنوان

استجابات نبات القمح الفسيولوجية للجفاف وطرق التخفيف من آثاره

إعداد

مهند عبد الحميد خصاونه

المخلص

تمثل ندرة المياه عائقاً مهماً أمام نمو المحاصيل وإنتاجيتها، ويُعد الجفاف من أبرز المشكلات في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل الأردن، حيث تكون الأمطار غير كافية لتلبية الاحتياجات، وتتميز بعدم الانتظام والتقلب السنوي. يهدف هذا البحث إلى معرفة الاستجابات الفسيولوجية لنبات القمح تحت ظروف الإجهاد المائي، بالإضافة إلى استعراض أبرز الأساليب المستخدمة للتخفيف من آثار الجفاف. ويؤثر الجفاف سلبيًا على حجم الأوراق واستطالة الساق وتفرّع الجذور، كما يحدث اختلالاً في العلاقات المائية للنبات ويقلل من كفاءة استخدام المياه. وتشمل التغيرات الفسيولوجية اضطرابات في أنماط نمو الخلايا، وانخفاض محتوى الكلوروفيل، واختلال عملية التمثيل الضوئي، والعلاقات المائية. تُعد المعاملة الأولية للبذور، والمعاملة الهرمونية، والمعاملة بالماء من الطرق الشائعة للتقليل من تأثير العجز المائي. أما الأساليب الحديثة فتشمل التربية المعتمدة على الصفات الفسيولوجية، والانتخاب المظهري، والتجهين، وجدولة استخدام المياه، وتخصيص الموارد. ومن شأن تطوير أصناف من القمح تجمع بين هذه المنهجيات أن يُعزز الأمن الغذائي في ظل التغيرات المناخية الراهنة.

كلمات مفتاحية: القمح، الجفاف، الاستجابات الفسيولوجية، كفاءة استخدام الماء، الإجهاد المائي.

Physiological Responses of Wheat Plants to Drought and Mitigation Strategies

Mohannad Abdel Hamid Khassawneh

Abstract

Water scarcity represents a significant obstacle to crop growth and productivity. Drought is among the most pressing issues in arid and semi-arid regions such as Jordan, where rainfall is insufficient, irregular, and highly variable from year to year. This study aims to investigate the physiological responses of wheat plants under water stress conditions, in addition to reviewing the most prominent methods used to mitigate the effects of drought. Drought negatively affects leaf size, stem elongation, and root branching, and causes disruptions in the plant's water relations and a decrease in water use efficiency. Physiological changes include disturbances in cell growth patterns, reduced chlorophyll content, disrupted photosynthesis, and impaired water relations. Common mitigation methods include seed priming, hormonal treatments, and water treatments. Modern approaches involve physiology-based breeding, phenotypic selection, hybridization, water-use scheduling, and resource allocation. Developing wheat varieties that integrate these methodologies can enhance food security in light of current climate change challenges.

Keywords: Wheat, Drought, Physiological Responses, Water Use Efficiency, Water Stress.

1. المقدمة

يُعد القمح من أكثر محاصيل الحبوب استهلاكًا على مستوى العالم، ويحتل المرتبة الثالثة بعد الذرة والأرز من حيث الإنتاج العالمي للحبوب، إذ يشغل ما نسبته 22% من إجمالي المساحة المزروعة بالحبوب في العالم (FAO, 2022b).

تؤثر الإجهادات الحيوية وغير الحيوية، مثل الجفاف والملوحة والإجهاد الحراري، سلبيًا على محصول القمح في جميع مراحل دورة حياته، وبالتالي تؤثر في محصوله ومكوناته (Giri, 2019; Kapoor et al., 2020). ويُعد الجفاف من أكبر العوامل غير الحياتية التي تؤدي إلى تغيرات سلبية حادة على المستويات المورفولوجية، والكيميائية الحيوية، والفسيولوجية للمحاصيل (Fleury et al., 2010; Camaille et al., 2021). ويُعرف إجهاد الجفاف (Drought stress) على أنه نقص في المياه خلال فترة زمنية معينة يؤدي إلى تغيرات مورفولوجية وكيميائية حيوية وفسيولوجية وجزيئية ملحوظة في النباتات (Al-Bakri et al., 2019; Sallam et al., 2019). حيث يؤثر الجفاف على جميع مراحل تطور النبات، بدءًا من الإنبات والنمو الخضري والتكاثر، ووصولًا إلى تعبئة الحبوب ونضجها. كما يؤثر سلبيًا على الأنشطة الضوئية للنبات، وتخليق المركبات العضوية، وامتصاص العناصر الغذائية وتراكمها (Hammad and Ali, 2014; Gilbert, 2017; Kapoor et al., 2020).

وتُعد مشكلة الجفاف بالغة الخطورة في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل الأردن، حيث لا تكفي كميات الأمطار لتلبية الطلب، كما أنها غير منتظمة ومتقلبة من عام لآخر. وقد تم توثيق أسوأ موسم جفاف في الأردن خلال عام 2000/1999، حيث لم يتجاوز الهطول المطري 30% من المعدل طويل الأمد، مما

تسبب بانخفاض بنسبة 60% في إنتاجية المحاصيل البعلية، إضافة إلى انخفاض حاد في كمية المياه التي تم جمعها في الخزانات الرئيسية (FAO, 2022a).

ويمكن القول بأن فهم تأثير الجفاف على إنتاج المحاصيل وصياغة طرق واستراتيجيات ذكية لمواجهة الجفاف مع مراعاة قواعد الزراعة المستدامة تعتبر من أهم التحديات التي تواجه الزراعة في القرن الحادي والعشرين (Camaille et al., 2021). وبناءً عليه، يهدف هذا البحث إلى مناقشة الاستجابات الفسيولوجية لمحصول القمح لإجهاد الجفاف، والأساليب الممكنة للتخفيف من آثاره.

2. وصف القمح وتوزيعه الجغرافي

يُعد القمح من المحاصيل ذات الأهمية العالمية، حيث يُستخدم كمصدر غذائي رئيسي للبشر، كما يُستخدم كعلف للحيوانات. ويُشكل القمح غذاءً أساسيًا لنحو 21% من سكان العالم، ويُعد مصدرًا مهمًا للكربوهيدرات والمعادن والفيتامينات. وقد بلغ الإنتاج العالمي من القمح ما يقارب 775 مليون طن متري في عام 2021 (FAO, 2022a).

القمح محصول عالي التكيف، ويمكن زراعته في مجموعة واسعة من الظروف المناخية والتربة المختلفة. فهو يُزرع في المناطق الواقعة تحت مستوى سطح البحر بالقرب من البحر الميت ووادي إمبريال في كاليفورنيا، كما يُزرع على ارتفاعات تصل إلى 5000 متر في هضبة التبت. ويُعد النطاق المثالي لزراعة القمح بين خطي عرض 30° و 60° شمالاً، و 27° و 40° جنوباً. أما درجة الحرارة المثلى لنمو القمح وتكوين الحبوب فتتراوح ما بين 18 إلى 25 درجة مئوية (Leff et al., 2004; Bouffier, 2014).

يمر نبات القمح خلال نموه بعدة أطوار، تبدأ بالإنبات الذي يؤدي إلى ظهور البادرات (Seedlings)، وهي أولى مراحل النمو، يليها التفريع (Tillering)، ثم الدخول في طور السكون الشتوي (Overwintering)، ثم طور الاستطالة وتكوين السنابل (Heading) والتزهير (Flowering). ويُقسم طور نضج الحبوب (Maturation) إلى عدة مراحل تشمل: الطور اللبني (Milk dough)، والعجين الطري (Soft dough)، والعجين الصلب (Hard dough)، ثم النضج الفسيولوجي (Physiological maturity)، الذي تُحقق فيه الحبة أقصى وزن لها. أما النضج الكامل (Ripening) فيحدث عندما تفقد الحبوب رطوبتها وتصبح جاهزة للحصاد (Anderson and Garlinge, 2000).

وتُعدّ عملية ظهور الأوراق (Leaf emergence) مؤشراً هاماً لفهم وتوقع تطور نباتات الحبوب كالقمح، إذ أن ظهور الأوراق يتزامن ويرتبط بشكل وثيق مع التغيرات التي تحدث خلال عمليات النمو والتطور والتي لا يمكن ملاحظتها بسهولة داخل النبات. ويعتمد معدل ظهور الأوراق على درجة حرارة الجو، فعندما تكون درجات الحرارة منخفضة يظهر الورق ببطء، في حين تزداد سرعة ظهوره مع ارتفاع درجات الحرارة (Acevedo et al., 2002).

وبعد إنبات البذور، تتشكل مبادئ الأوراق الجديدة (primordia) في قمة الساق لفترة قصيرة فقط. ويختلف العدد الإجمالي للأوراق التي تتكوّن حسب الصنف، إذ يتراوح ما بين 5 إلى 20 ورقة. وتظهر مبادئ الأوراق والسنابلات في القمة على مرحلتين مميزتين تختلفان في معدل تشكّل هذه البنى. وتُعدّ النقطة التي يتغير فيها هذا المعدل مؤشراً على بداية تكوين السنابل. ويُعادل عدد المبادئ الورقية المتكونة حتى تلك النقطة عدد الأوراق النهائي للنبته. وتتصل كل ورقة وسنبلية بعقدة في قاعدة الساق، حيث تدخل الأنسجة الوعائية للورقة إلى الساق. وتتراكم هذه العقد فوق بعضها البعض بإحكام، ويمكن تشبيهه بنية الساق بصف من الصحون

المكدسة، بحيث يمثل كل صحن عقدة (Fowler, 2005). وفي المرحلة التالية، تنمو السنبل والساق بسرعة كبيرة. ويرتبط بهذا النمو تكوّن الأزهار داخل كل سنبل، يليها تراجع في عدد الأزهار والسنابل وذبول بعض الأفرع الجانبية. وتُعد هذه المرحلة أيضًا مرحلة الزيادة الكبرى في الكتلة الجافة للنبات وامتصاص المغذيات (Anderson and Garlinge, 2000).

وتبدأ المرحلة الأخيرة من دورة حياة القمح بعملية الإزهار (Anthesis) وتنتهي بتكوين الحبوب الناضجة. والإزهار عبارة عن انفجار أكياس حبوب اللقاح وتلقيح الكربة. ويُعد القمح من النباتات ذاتية التلقيح، ولا تنفصل القنابات (الغلاف القنابي) إلا بعد إتمام التلقيح، لتظهر الأسدية الفارغة خارجيًا. بعد التلقيح، تبدأ مرحلة التأخر (Lag phase) يتبعها فترة نمو متسارع. وأثناء مرحلة التأخر، تنقسم خلايا الإندوسبرم (Endosperm) بسرعة، ويُحدّد خلالها الحجم النهائي المحتمل للحبة (Acevedo et al., 2002).

3. الاستجابات الفسيولوجية للقمح تحت تأثير إجهاد الجفاف

يؤدي إجهاد الجفاف إلى تغييرات غير مرغوبة في الصفات الفسيولوجية والمورفولوجية لنبات القمح. ولا تكمن مشكلة الجفاف فقط في تعقيد طبيعته، بل في تعدّد وتداخل استجابات النبات لنقص المياه مع عوامل بيئية أخرى غير متوقعة، إلى جانب التفاعلات بين العوامل الحيوية وغير الحيوية (Nevo and Chen, 2010; Rijal et al., 2021). ويسبب هذا الإجهاد انخفاضًا كبيرًا في كفاءة التمثيل الضوئي، ومساحة الأوراق، وكفاءة استخدام المياه في النبات، وتراجع النمو بشكل عام (Hussain et al., 2016; Farooq et al., 2019).

3.1. استجابة النمو تحت ظروف الجفاف

يؤثر الجفاف سلباً على نمو نبات القمح، إذ يُعد القمح من النباتات الحساسة جداً لنقص المياه، ويُظهر تغييرات واضحة في نموه عند التعرض لمثل هذه الظروف (Rijal et al., 2021). ويُعد مؤشر قوة البذور (Seed Vigor Index) من أكثر الصفات تأثراً في ظروف نقص المياه، يليه طول الجذر وطول الساق ونسبة الإنبات ونمو المحصول بشكل عام (Ahmad et al., 2018). وقد ثبت أن الجفاف يُضعف الإنبات بشكل كبير ويؤثر على نمو البادرات. وتعتمد جودة وكمية المحصول على هذه المراحل المبكرة التي تتأثر مباشرة بنقص المياه.

ويُعد نمو الخلايا من العمليات الفسيولوجية الحساسة للجفاف، والتي تتأثر سلباً نتيجة انخفاض ضغط الامتلاء الخلوي (Zlatev and Lidon, 2012). وعند نقص المياه بشكل حاد، تتعطل عملية استطالة الخلايا في القمح نتيجة توقف تدفق الماء من نسيج الخشب إلى الخلايا الممددة المحيطة. كما أن نقص امتصاص الماء يؤدي إلى انخفاض محتوى الماء في الأنسجة وفقدان ضغط الامتلاء.

وعلى نحو مماثل، يؤدي الجفاف إلى انخفاض المركبات الأيضية الضرورية لانقسام الخلايا، مما يعرقل الانقسام الخلوي، واستطالة الخلايا، والذي يؤدي بالنهاية إلى انخفاض في نمو وتطور النبات ككل (Rijal et al., 2021).

وقد رصدت دراسات عديدة انخفاضاً في نمو الجذور والسيقان عند تعرض نباتات القمح للجفاف. على سبيل المثال، أشار (Caverzan et al., 2016) إلى أن طول نبات القمح انخفض بنسبة 35% في مرحلة استطالة الساق، وبنسبة 23% في مرحلة ظهور السنبل، بينما لم تتجاوز نسبة الانخفاض 7% في مرحلة

امتلاء الحبوب. كما أظهرت دراسة (Nawaz et al., 2014) أن تعرض القمح للجفاف خلال مرحلة التزهير يُسرّع الشيخوخة النباتية، مما يؤدي إلى انخفاض واضح في النمو والإنتاج.

3.2. محتوى الكلوروفيل والتمثيل الضوئي

الكلوروفيل هو الصبغة الخضراء المسؤولة عن عملية التمثيل الضوئي. ويوجد في القمح نوعان رئيسيان: الكلوروفيل ألفا (α) والكلوروفيل بيتا (β)، بنسبة 3:1 والتي قد تتباين بحسب نوع النبات والصنف، ومرحلة النمو، والظروف البيئية (Ahmad et al., 2018).

وأشارت العديد من الدراسات إلى أن التمثيل الضوئي في محاصيل الحبوب ينخفض بشكل ملحوظ تحت تأثير الجفاف (Sallam et al., 2019) حيث يؤدي الجفاف الحاد إلى انخفاض كبير في محتوى الكلوروفيل في الأوراق، مما يؤدي إلى انخفاض قدرة نبات القمح على القيام بعملية التمثيل الضوئي (Prasad et al., 2015; Gharbi et al., 2019). ويرتبط هذا الانخفاض بعمر الورقة؛ حيث يزداد الكلوروفيل في الأوراق الفتية نتيجة تنشيط الإنزيمات في تفاعلات الضوء، بينما ينخفض بنسبة أكبر في الأوراق المسنة تحت تأثير الجفاف، وذلك بسبب نشاط إنزيم الكلوروفيليز (Chlorophyllase) وتنشيط إنزيمات أخرى مرتبطة بعملية التمثيل الضوئي. ومع تلف مكونات الكلوروفيل، يحدث خلل في البنية الوظيفية لأجهزة التمثيل الضوئي، مما يعيق عملية التمثيل وتصنيع الغذاء (Nikolaeva et al., 2010; Rijal et al., 2021).

وقد لوحظ أيضاً أن تعرض النبات للجفاف يسبب تلفاً في الأغشية الخلوية، وتسرب سائلها الخلوي نتيجة للارتفاع الكبير في الجذور الحرة (Free radicles)، مما يؤدي إلى تدمير الدهون (Lipid)

(peroxidation)، وانخفاض محتوى الكلوروفيل، وتراجع القدرة على تصنيع الغذاء، وبالتالي انخفاض في النمو والإنتاجية (Bouffier, 2014; Giri, 2019; Kapoor et al., 2020). وقد يُعزى انخفاض التمثيل الضوئي كذلك خلال الجفاف إلى التغييرات في مستويات النيتروجين وتوفره في التربة (Abid et al., 2016) حيث يُقلل الجفاف من كفاءة امتصاص النيتروجين واستخدامه من قبل النبات، وذلك بسبب تأثيره السلبي على نفاذية الأغشية، والنقل النشط، ومعدل النتج، مما يُضعف قدرة الجذور على الامتصاص (Nezhadahmadi et al., 2013). وقد بيّنت دراسة (Abid et al., 2016) أن تغذية النبات بمستويات مرتفعة من النيتروجين تُعزز من مقاومته للجفاف، من خلال الحفاظ على العمليات الأيضية، وزيادة النشاط التمثيلي، وتقوية نظام الدفاع المضاد للأكسدة خلال مراحل النمو الخضري. كما يساهم ذلك في تأخير الشيخوخة، وزيادة فترة امتلاء الحبوب، وزيادة إنتاجية المحصول.

3.3. الرطوبة النسبية في النبات

يُعد المحتوى النسبي للماء، وجهد الماء في الأوراق، ودرجة فتح الثغور، ومعدل النتج من العوامل الرئيسية التي تؤثر على العلاقة المائية للنبات. وقد أظهرت الدراسات أن تعرض نبات القمح للجفاف يُسبب انخفاضاً كبيراً في جهد الماء في الأوراق (Leaf water potential)، والمحتوى المائي النسبي، ومعدل النتج، إلى جانب ارتفاع ملحوظ في درجة حرارة الأوراق، وانخفاض في كفاءة استخدام المياه (Gharbi et al., 2019).

في دراسة أجراها (Al-Maskri et al., 2016) لتقييم تأثير العجز المائي وظروف التظليل على صنفين من القمح، وقد أظهرت النتائج أن المساحة الورقية، وأصباغ التمثيل الضوئي (الكلوروفيل أ، والكلوروفيل ب،

والكلوروفيل الكلي) ، وجهد الماء، والجهد الأسموزي، والمحتوى النسبي للماء قد انخفضت بشكل معنوي في كلا الصنفين تحت تأثير ظروف الجفاف. في المقابل، ازداد تركيز البرولين (Proline) بشكل ملحوظ في النباتات المعرضة للجفاف تحت ظروف إضاءة كاملة، حيث يساعد البرولين النبات على زيادة قدرة تحمل نقص الماء عن طريق المساهمة في التكيف الأسموزي، أي الحفاظ على توازن الماء داخل الخلايا.

كما يُسبب الجفاف انخفاضًا في ضغط الامتلاء في الأوراق، مما يؤثر سلبيًا على نشاطات النبات الأيضية. ويُعد الحفاظ على ضغط الامتلاء أحد الآليات التكيفية المهمة التي تؤثر في تنظيم فتح الثغور والنشاط التمثيلي للنبات. وتُعدّ التنظيمات الأسموزية من الوسائل التي تساعد في امتصاص الماء من التربة، وتحافظ على النشاط الأيضي للنبات لضمان بقائه واستمراره في إنتاج الحبوب (Wang et al., 2014; Rijal et al., 2021).

4. طرق التخفيف من آثار الجفاف

4.1 الرش الورقي (Foliar Application)

يُقصد بالرش الورقي تطبيق الأسمدة السائلة على الأجزاء العلوية من النبات. وتُعد هذه الطريقة أكثر كفاءة وأقل تكلفة مقارنة بالتسميد الأرضي (Bernhard, 2016). وقد أظهرت دراسات عديدة أن الرش الورقي بالأحماض الأمينية والعناصر الغذائية يُحسّن من الخصائص المورفولوجية والفسيولوجية للنبات، ويُقلل من الآثار السلبية للإجهادات البيئية، مثل الجفاف (Sadak et al., 2015; Tadros et al., 2019).

وبينت دراسة (Habibi et al., 2015) بأن تطبيق منظمات النمو الحيوية الغنية بالأحماض الأمينية على الذرة أدى إلى زيادة في طول النبات، ومحتواه من النيتروجين، ومحتوى الكلوروفيل. وأظهرت دراسة

(Hammad and Ali, 2014) أن الرش الورقي بالأحماض الأمينية على نباتات القمح المزروعة تحت ظروف ري عادي وجفاف أدى إلى زيادة في طول النباتات، وعدد الأوراق، والوزن الجاف للجذور والسيقان، وعدد الفروع (المدادات)، والمحتوى النسبي للماء في الأوراق، وسلامة الأغشية، فضلاً عن زيادة امتصاص النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم.

يُساعد أيضًا تطبيق العناصر المعدنية مثل المغنيسيوم، والبوتاسيوم، والبورون، والكالسيوم، وفيتامين A، على التخلص من أنواع الأوكسجين التفاعلية (Reactive oxygen species) الناتجة عن الجفاف في القمح. وقد استخدم العلماء بنجاح الرش الورقي للبوتاسيوم لمواجهة تأثير الجفاف في القمح (Aown et al., 2012). وأجرى (Abdel-Motagally and El-Zohri, 2018) دراسة لتقييم تأثير الرش الورقي بالبورون وظروف الجفاف على إنتاجية القمح المزروع في تربة كلسية، وأظهرت النتائج أن تطبيق البورون خفف من الإجهاد المائي لدى النبات من خلال خفض مؤشرات الإجهاد (مثل البرولين و H_2O_2)، وزيادة تراكم أصباغ التمثيل الضوئي (الكلوروفيل) مقارنة بالنباتات غير المعاملة تحت جميع مستويات الري.

ويتميز عنصر الكالسيوم بخصائص فريدة وقدرة شاملة على نقل الإشارات داخل الخلية النباتية استجابةً للهرمونات، والعوامل الممرضة، وظروف الإجهاد. كما يلعب الكالسيوم دورًا أساسيًا في تنظيم النمو القطبي للخلايا والأنسجة، ويشارك في تكيف النبات مع العوامل الضاغطة (Khushboo et al., 2018). وقد أجرى (Rijal et al., 2021) دراسة لتقييم تأثير كلوريد الكالسيوم في التخفيف من تأثير الجفاف في صنفين من القمح، أحدهما حساس (HD 2733) والآخر متحمل للجفاف (HD 2987). وقد أظهرت النتائج أن التطبيق الخارجي لكلوريد الكالسيوم ساعد في تعزيز قدرة الصنفين على التكيف مع ظروف الجفاف.

كما تم إدخال مستخلص أوراق المورينغا (Moringa oleifera leaf extract – MLE) كمحفز نمو طبيعي يُعزز نمو النبات وإنتاجيته، ويزيد من تحمله للظروف القاسية. وقد بينت دراسة (Yasmeen et al., 2012) أن مستخلص أوراق المورينغا يحتوي على هرمونات نمو نباتية تُسهم في زيادة الإنتاجية وتحسين مقاومة الجفاف. وفي دراسة لاحقة (Yasmeen et al., 2013)، أظهرت أن الرش الورقي بمستخلص المورينغا تحت ظروف الجفاف تحسّنًا ملحوظًا في مستويات مضادات الأكسدة والمركبات الثانوية. كما وجد (Malik et al., 2015) أن تطبيق حمض الأسكوربيك (Ascorbic acid) على نبات القمح ساهم في تحسين تحمّل النبات للجفاف، وكانت طريقة الإضافة عن طريق التربة هي الأكثر فعالية، تلتها الرش الورقي، ثم معاملة البذور.

4.2. المعاملة الأولية (Priming)

تُعرف المعاملة الأولية للبذور بأنها تقنية تتم فيها معالجة البذور بمواد مختلفة (مثل الماء، الفيتامينات، الهرمونات النباتية، والمعادن) قبل الزراعة، وقد ثبت أنها فعالة في تسريع الإنبات وتحسين نمو البادرات (Eivazi, 2012; Marthandan et al., 2020). وتُعد تقنية غير مكلفة وسهلة التنفيذ، تُحسن من تحمل النباتات للجفاف من خلال دعم سرعة الإنبات وتأسيس المحصول في المراحل المبكرة.

ويُعد الجفاف في المراحل المبكرة من نمو النبات أكثر ضررًا من العطش في المراحل المتأخرة. ومن أبسط الطرق لتحسين الإنبات هي المعاملة بالماء (Hydro-priming)، إلا أن الدراسات أشارت إلى أن المعاملات الأسموزية (Osmopriming) مثل المعاملة بالأملاح، أو المواد الكيميائية، أو الهرمونات أكثر فعالية تحت ظروف الجفاف.

وعندما يتعرض النبات للإجهاد، فإن الضرر يحدث على مستوى الخلية، ويُعزى إلى الإجهاد التأكسدي الناتج عن تراكم الجذور الحرة (Hameed et al., 2011). وتُساعد المعاملة بالمركبات الأسموزية على حماية الأحماض النووية، وزيادة تخليق البروتينات، وترميم الأغشية الخلوية. وقد استخدمت المعاملات بالمنشطات الحيوية ومضادات الأكسدة بنجاح في تقليل تأثير الجفاف في القمح (Yasmeen et al., 2013b; Hameed and Iqbal, 2014; Malik et al., 2015).

وتُعتبر المعاملة التكيفية بالجفاف (Drought priming)، وهي تعريض النباتات مسبقًا لعطش خفيف، من الطرق المفيدة في تقليل آثار الجفاف الشديد، خاصة في مرحلة امتلاء الحبوب. وتُغير هذه التقنية من التعبير البروتيني، وتزيد من نشاط التمثيل الضوئي وإنزيم الأسكوربات بيروكسيداز، مما يساهم في تحسين المحصول (Wang et al., 2014).

أما المعاملة الهرمونية (Hormonal priming)، فهي تُستخدم حاليًا للتقليل من الأضرار الناجمة عن الجفاف في القمح. على سبيل المثال، أجرى (Liu et al., 2016) دراسة تتعلق بتأثير البولي أمينات (polyamines) على امتلاء الحبوب في القمح تحت ظروف الجفاف، ووجد أن السبيرمدين (SPD) والسبيرمين (SPM) يُقللان من تأثير الجفاف الشديد. وقد رُبط تأثير هذه المركبات بالتغير في نسب الهرمونات الداخلية مثل الإيثيلين (ETH)، وحمض الأبسيسيك (ABA)، والزيتين (Z) والزيتين ريبوزيد (ZR)، حيث ساهمت في رفع مستويات حمض الأبسيسيك والزيتين ريبوزيد، وساهمت كذلك بخفض إطلاق الإيثيلين، مما أدى إلى تحسن ملحوظ في امتلاء الحبوب.

4.3. كفاءة استخدام الماء (Water Use Efficiency)

تُعد الرطوبة الكافية في التربة ضرورية للنمو الطبيعي لنبات القمح في جميع مراحله. وقد طُوِّرت العديد من الوسائل الفسيولوجية والمورفولوجية للتقليل من تأثير نقص المياه، بدءًا من آليات "تجنب الجفاف" (Drought avoidance) إلى "تحمل الجفاف" (Drought tolerance). وتتمثل استراتيجيات تجنب الجفاف في تعميق الجذور، وتقليل المساحة الورقية، والتبكير في الإزهار، إضافة إلى آليات تحسين كفاءة استخدام المياه (Water use efficiency).

وتُعرّف كفاءة استخدام الماء بأنها نسبة الكتلة الحيوية الهوائية إلى كمية الماء المستهلكة أثناء فترة النمو (Salekdeh et al., 2019). وقد أشارت الدراسات إلى أن زيادة كفاءة النتح (transpiration efficiency) تحسّن من كفاءة استخدام الماء في القمح تحت ظروف الجفاف، كما يمكن من خلال الانتخاب الوراثي والتحسين الوراثي للكفاءة الناتجة اختيار أصناف ذات إنتاجية عالية تحت ظروف الإجهاد المائي في نهاية الموسم (Pierre et al., 2012).

وفي دراسة أجراها (Xue et al., 2014) تم تقييم إنتاجية القمح وكفاءته في استخدام المياه تحت ظروف الجفاف، وأظهرت النتائج أن الأصناف الحديثة تمتاز بكفاءة أعلى، وكتلة حيوية أكبر، وإنتاجية محسّنة مقارنة بالأصناف القديمة. وتمتاز هذه الأصناف بعدد أكبر من السنابل في المتر المربع، ووزن أكبر لألف حبة. كما كشفت نتائج دراسات متعددة أن أصناف القمح ذات الدورة النباتية القصيرة (والتي تُنتج أقل وتُظهر كفاءة ماء أدنى) تتأثر بشكل أكبر من الأصناف ذات الدورة الطويلة (ذات كفاءة ماء أعلى وإنتاجية أكبر) عند التعرض لنقص المياه (Varga et al., 2015).

وتلعب الأكوابورينات (Aquaporins)، وهي قنوات غشائية تنتمي إلى عائلة البروتينات الجوهريّة الرئيسة، دورًا مهمًا في الحفاظ على التوازن المائي والأسموزي داخل خلايا النبات، سواءً في الظروف الطبيعيّة أو تحت ظروف الجفاف. وتشير الدراسات إلى دورها في تنظيم التوصيل الهيدروليكي في الجذور، وتمدد الأنسجة، وكفاءة استخدام الماء، وحيوية البذور، وقدرة النبات على الاستشفاء بعد الجفاف، والمحافظة على الاتزان الأسموزي (Alobaidy and Jaddoa, 2017). وتُعد الأكوابورينات مسؤولة عن نقل الماء، وثنائي أكسيد الكربون، والجزيئات غير المشحونة الصغيرة عبر الأغشية الخلوية. وهي تلعب دورًا رئيسيًا في الربط بين امتصاص ثاني (CO₂) من الفراغات الهوائية الداخلية وحتى البلاستيدات الخضراء، وبين فقدان الماء عبر المسام. ويُعتقد أن هذه القنوات تُساهم في تنظيم التغيرات الديناميكية في التوصيل الهيدروليكي في الأوراق والسيقان والجذور استجابةً للمتغيرات البيئية مثل الجفاف (Moshelion et al., 2015).

4.4. استراتيجيات التربية (Breeding Strategies)

يُعد تحسين قدرة النبات على تحمّل الجفاف تحديًا كبيرًا في برامج تربية القمح، ولا يزال يتطلب المزيد من البحث لفهم هذا النوع من الإجهاد. وقد أحرز التقدّم في هذا المجال بفضل التداخل بين ثلاث مجالات بحثية رئيسية: الفسيولوجيا، والتربية النباتية، والوراثة الجزيئية. ويساعد الدمج بين هذه المجالات في تحديد الأصناف الأكثر تحمّلًا للجفاف والتي تحتوي على عدد أكبر من الجينات المسؤولة عن هذه الصفة (Sallam et al., 2019).

ويتم في الوقت الراهن تطوير أصناف جديدة من القمح ذات قدرة عالية على تحمّل الجفاف من خلال التهجين بين الأصناف المتحملة وانتخاب السلالات الأفضل من ذريتها. كما يُعد تحديد الجينات المسؤولة

عن تحمل الجفاف أمرًا بالغ الأهمية. وقد أوضحت دراسات سابقة أن تحمل الجفاف هو صفة متعددة الجينات (Polygenic trait)، وأن معرفة التركيب الجيني تساعد في تحليل شبكات الجينات المسؤولة عن هذه الصفة (Sallam et al., 2019; Pandey et al., 2022).

وتلعب أبحاث التربية النباتية دورًا مهمًا في إنتاج أصناف جديدة من القمح والشعير ذات تحمل مرتفع للجفاف. ومن أجل تحسين هذه الصفة، ينبغي على المربين أيضًا تحسين إنتاجية الحبوب بالتوازي مع تعزيز تحمل الجفاف. وتتمثل الخطوة الأولى في اختيار التراكيب الوراثية التي تُظهر تباينًا واضحًا في هذه الصفة (Baenziger, 2016). ويختار المربون ما إذا كانوا سيختبرون هذه التراكيب في مرحلة نمو واحدة محددة أو في عدة مراحل، وذلك وفقًا لظروف المناخ وأهداف الدراسة. وتُقيّم الصفات المنتخبة في جميع الأصناف النخبوية لتحديد مدى تحملها للجفاف. ثم يتم الانتخاب اعتمادًا على صفتي التحمل والإنتاجية معًا. وبعد تحديد مجموعة من الأصناف المحتملة، يمكن بدء برنامج تربية من خلال تهجين هذه الأصناف كآباء مانحة. ويُمكن للمربين استخدام أي من الصفات (مورفولوجية، أو فسيولوجية، أو مرتبطة بالإنتاجية) لتحسين تحمل الجفاف، بشرط أن تكون هذه الصفات قادرة على التمييز بين الأصناف المحتملة والحساسة، وأن تمتاز بقابلية وراثية عالية، وارتباط إيجابي مع إنتاجية الحبوب النهائية (Reynolds, 2001; Reynolds et al., 2007).

ويمكن تحقيق التحسين الوراثي لتحمل الجفاف من خلال تحديد الجينات الجديدة المسؤولة عن هذه الصفة باستخدام دراسات الارتباط الجينومي الواسعة (GWAS) أو خرائط الصفات الكمية (QTL mapping) (Sukumaran et al., 2018). كما يُمكن الاستفادة من تقنيات الاختيار الجينومي (genomic)

(selection) وتحرير الجينات (gene editing) لتحسين تحمل الجفاف في القمح والشعير (Singh and Singh, 2015).

5. الخاتمة

يؤدي إجهاد الجفاف إلى انخفاض واضح في نمو المحصول وإنتاجيته، نتيجة التغيرات في الصفات المورفولوجية والفسيولوجية للنبات. ونظرًا لأن غالبية الأراضي المزروعة بالقمح عالميًا تقع في المناطق الجافة وشبه الجافة، كالأردن، فإن هذا الإجهاد يشكل تهديدًا كبيرًا لإنتاجية هذا المحصول الاستراتيجي. ويُعيق الجفاف النمو السليم للنبات وتطوره، ويؤثر سلبيًا على تكوين الثمار وامتلاء الحبوب، مما يؤدي إلى انخفاض في حجم وعدد الحبوب الناتجة. كما أن الأضرار التي يسببها الجفاف في التفاعلات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية تُعد من أهم العوامل المثبطة للنمو. ولهذا السبب، يتسبب الجفاف بخسائر اقتصادية كبيرة في إنتاج القمح على مستوى العالم.

ولتحقيق إنتاجية أفضل تحت ظروف الجفاف، لا بد من فهم الاستجابات الفسيولوجية لنبات القمح في مثل هذه البيئات. يؤثر الجفاف سلبيًا على حجم الأوراق، واستطالة الساق، وتفرع الجذور، كما يؤدي إلى اختلال في توازن الماء داخل النبات، وانخفاض في كفاءة استخدام المياه. أما التغيرات الفسيولوجية فتشمل تراجع نمو الخلايا، وانخفاض محتوى الكلوروفيل، واضطراب عملية التمثيل الضوئي، وتراجع كفاءة استخدام الماء.

وتُعد المعاملات الأولية للبذور، ومعاملات الجفاف، والمعاملات الهرمونية من الأساليب الفعالة للتقليل من أثر الجفاف. كما تشمل المنهجيات الحديثة تطوير أصناف متحملة للجفاف عبر التربية المعتمدة على الصفات الفسيولوجية، والتربية الجزيئية، والتهجين بمساعدة العلامات الجينية، وجدولة استخدام المياه،

وتخصيص الموارد. وإنّ إنتاج أصناف قمح ناتجة عن دمج هذه الأساليب المتكاملة من شأنه أن يساهم بشكل فاعل في تحقيق الأمن الغذائي في ظل التغيرات المناخية الجارية.

ولا بد من الاستمرار في إجراء الأبحاث لتطوير استراتيجيات التخفيف من آثار الجفاف، مع التركيز على استخدام تقنيات الزراعة الذكية مناخياً، والتي تُعد من الأدوات الواعدة للحد من الآثار الضارة للإجهادات البيئية. إذ إن الزراعة في معظم أنحاء العالم لا تزال تُمارس في ظروف غير مثالية، مما يحدّ من إمكانيات الإنتاج ويؤثر سلباً على الأمن الغذائي العالمي.

المصادر والمراجع

- ABDEL-MOTAGALLY, F. & EL-ZOHRI, M. 2018. Improvement of wheat yield grown under drought stress by boron foliar application at different growth stages. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 178-185.
- ABID, M., TIAN, Z., ATA-UL-KARIM, S. T., CUI, Y., LIU, Y., ZAHOOOR, R., JIANG, D. & DAI, T. 2016. Nitrogen nutrition improves the potential of wheat (*Triticum aestivum* L.) to alleviate the effects of drought stress during vegetative growth periods. *Frontiers in plant science*, 7, 981.
- ACEVEDO, E., SILVA, P. & SILVA, H. 2002. Wheat growth and physiology. Bread wheat, improvement and production, 30, 39-70.
- AHMAD, Z., WARAICH, E. A., AKHTAR, S., ANJUM, S., AHMAD, T., MAHBOOB, W., HAFEEZ, O. B. A., TAPER, T., LABUSCHAGNE, M. & RIZWAN, M. 2018. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40, 1-13.
- AL-BAKRI, J. T., ALNAIMAT, M. J., AL-KARABLIEH, E. & QARYOUTI, E. A. 2019. Assessment of combined drought index and mapping of drought vulnerability in Jordan. *International Journal of Engine Research Application*, 9, 59-68.

- AL-MASKRI, A., AL-BUSAIDI, W., AL-NADABI, H., AL-FAHDI, A. & KHAN, M. M. Effects of Drought Stress on Wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Coolly. International Conference on Agricultural, Food, Biological and Health Sciences (AFBHS-16) August, 2016. 22-24.
- ALOBADY, B. & JADDOA, K. 2017. WHEAT SEED PRIMING (*Triticum aestivum* L.) FOR TOLERANCE DROUGHT. IRAQ JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH, 22.
- ANDERSON, W. K. & GARLINGE, J. 2000. The wheat book: principles and practice.
- AOWN, M., RAZA, S., SALEEM, M., ANJUM, S., KHALIQ, T. & WAHID, M. 2012. Foliar application of potassium under water deficit conditions improved the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). The Journal of Animal and Plant Sciences, 22, 431-437.
- BAENZIGER, P. 2016. Wheat breeding and genetics. Ref. Modul. Food Sci, 1-10.
- BERNHARD, B. J. 2016. Innovative foliar micronutrient sources in high-yielding corn environments. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- BOUFFIER, B. 2014. Genetic and ecophysiological dissection of tolerance to drought and heat stress in bread wheat: from environmental characterization to QTL detection. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
- CAMAILLE, M., FABRE, N., CLÉMENT, C. & AIT BARKA, E. 2021. Advances in wheat physiology in response to drought and the role of plant growth promoting rhizobacteria to trigger drought tolerance. Microorganisms, 9, 687.
- CAVERZAN, A., CASASSOLA, A. & BRAMMER, S. P. 2016. Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. Abiotic and biotic stress in plants-recent advances and future perspectives, 17, 463-480.
- EIVAZI, A. 2012. Induction of drought tolerance with seed priming in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Acta agriculturae Slovenica, 99, 21.
- FAO. 2022a. GIEWS - Global Information and Early Warning System - Jordan [Online]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available: <https://www.fao.org/giews> [Accessed March 15 2022].

- FAO. 2022b. Land & Water - Wheat [Online]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available: <https://www.fao.org/land-water> [Accessed March 16 2022].
- FAROOQ, M., HUSSAIN, M., UL-ALLAH, S. & SIDDIQUE, K. H. 2019. Physiological and agronomic approaches for improving water-use efficiency in crop plants. *Agricultural Water Management*, 219, 95-108.
- FLEURY, D., JEFFERIES, S., KUCHEL, H. & LANGRIDGE, P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of experimental botany*, 61, 3211-3222.
- FOWLER, D. 2005. Growth Stages of Wheat. USA.
- GHARBI, F., GUIZANI, A., ZRIBI, L., AHMED, H. B. & MOUILLOT, F. 2019. Differential response to water deficit stress and shade of two wheat (*Triticum durum* desf.) cultivars: growth, water relations, osmolyte accumulation and photosynthetic pigments. *Pak J Bot*, 51, 1179-1184.
- GILBERT, S. 2017. Drought and Climate Change in Jordan: An Analysis of the 2008–2009 Drought and Climate Change Impact. Pennsylvania State University State College, PA, USA.
- GIRI, A. 2019. Wheat improvement for heat and drought stress tolerance. Doctor of Philosophy, Kansas State University.
- HABIBI, F., DIDEH, N. & POURYOUSEF, M. 2015. Effect of growth stimulant foliar application on yield and chemical traits of maize varieties (Ksc 260). National Conference On Agricultural And Environmental Sciences. Iran.
- HAMEED, A., BIBI, N., AKHTER, J. & IQBAL, N. 2011. Differential changes in antioxidants, proteases, and lipid peroxidation in flag leaves of wheat genotypes under different levels of water deficit conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49, 178-185.
- HAMEED, A. & IQBAL, N. 2014. Chemo-priming with mannose, mannitol and H₂O₂ mitigate drought stress in wheat. *Cereal Research Communications*, 42, 450-462.

- HAMMAD, S. A. & ALI, O. A. 2014. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59, 133-145.
- HUSSAIN, M., WAQAS-UL-HAQ, M., FAROOQ, S., JABRAN, K. & FARROQ, M. 2016. The impact of seed priming and row spacing on the productivity of different cultivars of irrigated wheat under early season drought. *Experimental Agriculture*, 52, 477-490.
- KAPOOR, D., BHARDWAJ, S., LANDI, M., SHARMA, A., RAMAKRISHNAN, M. & SHARMA, A. 2020. The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10, 5692.
- KHUSHBOO, BHARDWAJ, K., SINGH, P., RAINA, M., SHARMA, V. AND KUMAR, D., 2018. Exogenous application of calcium chloride in wheat genotypes alleviates negative effect of drought stress by modulating antioxidant machinery and enhanced osmolyte accumulation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 54, pp.495-507.
- LEFF, B., RAMANKUTTY, N. & FOLEY, J. A. 2004. Geographic distribution of major crops across the world. *Global biogeochemical cycles*, 18, 1-27.
- LIU, Y., LIANG, H., LV, X., LIU, D., WEN, X. & LIAO, Y. 2016. Effect of polyamines on the grain filling of wheat under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 100, 113-129.
- MALIK, S., ASHRAF, M., ARSHAD, M. & MALIK, T. A. 2015. Effect of ascorbic acid application on physiology of wheat under drought stress. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 52.
- MARTHANDAN, V., GEETHA, R., KUMUTHA, K., RENGANATHAN, V. G., KARTHIKEYAN, A. & RAMALINGAM, J. 2020. Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 8258.

- MOSHELION, M., HALPERIN, O., WALLACH, R., OREN, R. & WAY, D. A. 2015. Role of aquaporins in determining transpiration and photosynthesis in water-stressed plants: crop water-use efficiency, growth and yield. *Plant, Cell & Environment*, 38, 1785-1793.
- NAWAZ, F., ASHRAF, M. Y., AHMAD, R., WARAICH, E. A. & SHABBIR, R. N. 2014. Selenium (Se) regulates seedling growth in wheat under drought stress. *Adv. Chem*, 2014, 1-7.
- NEVO, E. & CHEN, G. 2010. Drought and salt tolerances in wild relatives for wheat and barley improvement. *Plant, cell & environment*, 33, 670-685.
- NEZHADAHMADI, A., PRODHAN, Z. H. & FARUQ, G. 2013. Drought tolerance in wheat. *The Scientific World Journal*, 2013.
- NIKOLAEVA, M., MAEVSKAYA, S., SHUGAEV, A. & BUKHOV, N. 2010. Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57, 87-95.
- PANDEY, A., KHOBRA, R., MAMRUTHA, H. M., WADHWA, Z., KRISHNAPPA, G., SINGH, G. & SINGH, G. P. 2022. Elucidating the Drought Responsiveness in Wheat Genotypes. *Sustainability*, 14, 3957.
- PIERRE, C., CROSSA, J. L., BONNETT, D., YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. & REYNOLDS, M. P. 2012. Phenotyping transgenic wheat for drought resistance. *Journal of experimental botany*, 63, 1799-1808.
- PRASAD, P., PISIPATI, S., MOMČILOVIĆ, I. & RISTIC, Z. 2015. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197, 430-441.
- REYNOLDS, M. 2001. Application of physiology in wheat breeding, *Cimmyt*.
- REYNOLDS, M. P., PIERRE, C. S., SAAD, A. S., VARGAS, M. & CONDON, A. G. 2007. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. *Crop Science*, 47, S-172-S-189.

- RIJAL, B., BADUWAL, P., CHAUDHARY, M., CHAPAGAIN, S., KHANAL, S., KHANAL, S. & POUDEL, P. B. 2021. Drought Stress Impacts On Wheat And Its Resistance Mechanisms. *Malaysian Journal of Sustainable Agriculture (MJSA)*, 5, 67-76.
- SADAK, S., ABDELHAMID, M. & SCHMIDHALTER, U. 2015. Effect of foliar application of aminoacids on plant yield and some physiological parameters in bean plants irrigated with seawater. *Acta Biológica Colombiana*, 20, 141-152.
- SALEKDEH, G. H., REYNOLDS, M., BENNETT, J. & BOYER, J. 2019. Conceptual framework for drought phenotyping during molecular breeding. *Trends in plant science*, 14, 488-496.
- SALLAM, A., ALQUDAH, A. M., DAWOOD, M. F., BAENZIGER, P. S. & BÖRNER, A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International journal of molecular sciences*, 20, 3137.
- SINGH, B. & SINGH, A. K. 2015. *Marker-assisted plant breeding: principles and practices*, Springer.
- SUKUMARAN, S., REYNOLDS, M. P. & SANSALONI, C. 2018. Genome-wide association analyses identify QTL hotspots for yield and component traits in durum wheat grown under yield potential, drought, and heat stress environments. *Frontiers in Plant Science*, 9, 81.
- TADROS, M. J., OMARI, H. J. & TURK, M. A. 2019. The morphological, physiological and biochemical responses of sweet corn to foliar application of amino acids biostimulants sprayed at three growth stages. *Australian Journal of Crop Science*, 13, 412-417.
- VARGA, B., VIDA, G., VARGA-LÁSZLÓ, E., BENCZE, S. & VEISZ, O. 2015. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 201, 1-9.
- WANG, X., VIGNJEVIC, M., JIANG, D., JACOBSEN, S. & WOLLENWEBER, B. 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) var. Vinjett. *Journal of experimental botany*, 65, 6441-6456.

- XUE, Q., RUDD, J., LIU, S., JESSUP, K., DEVKOTA, R. & MAHAN, J. 2014. Yield determination and water-use efficiency of wheat under water-limited conditions in the US Southern High Plains. *Crop Science*, 54, 34-47.
- YASMEEN, A., BASRA, S. M., WAHID, A., FAROOQ, M., NOUMAN, W. & HUSSAIN, N. 2013a. Improving drought resistance in wheat (*Triticum aestivum*) by exogenous application of growth enhancers. *International Journal of Agriculture and Biology*, 15.
- YASMEEN, A., BASRA, S. M. A., AHMAD, R. & WAHID, A. 2012. Performance of late sown wheat in response to foliar application of *Moringa oleifera* Lam. leaf extract. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 72, 92.
- YASMEEN, A., BASRA, S. M. A., WAHID, A., NOUMAN, W. & REHMAN, H. U. 2013b. Exploring the potential of *Moringa oleifera* leaf extract (MLE) as a seed priming agent in improving wheat performance. *Turkish Journal of Botany*, 37, 512-520.
- ZINGORE, S., NJOROGGE, S., CHIKOWO, R., KIHARA, J., NZIGUHEBA, G. & NYAMANGARA, J. 2014. 4R plant nutrient management in African agriculture: an extension handbook for fertilizer management in smallholder farming systems, Nairobi, Kenya, International Plant Nutrition Institute (IPNI).
- ZLATEV, Z. & LIDON, F. C. 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 24, 57-72.