International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
Vol. (4), No. (7) July 2025 الإصدار (4)، العدد (7)

تأثير الجفاف على نمو المجموع الجذري والخضري في شتلات البن (Coffea arabica L.) تحت ظروف بيئة متحكم بها

أمين عبده سفيان الحكيمي
أستاذ بقسم علوم المحاصيل والتحسين الوراثي، كلية الزراعة والأغذية والبيئة، جامعة صنعاء، اليمن
a.alhakimi@su.edu.ye ، aashakimi.ah@gmail.com

سلطانة محمد عنبة
طالبة دراسات عليا، قسم البساتين وتقاناتها، كلية الزراعة والأغذية والبيئة، جامعة صنعاء، اليمن
soltanamohammed18@gmail.com

الملخص

تمثل الزراعة موردًا مهمًا لليمن واليمنيين ويأتي البن في مقدمة المحاصيل النقدية ومصدر دخل لأكثر من 150 ألف أسرة، وفي العقود الأخيرة تراجعت زراعته بسبب قلة مصادر المياه للري وشحة الأمطار وتذبذب مواسمها بوصفها نتيجة واضحة للتغيرات المناخية. الانتخاب والتحسين الوراثي لتطوير الأصناف المحلية من البن منهجية يمكن أن تؤدي إلى التقليل من آثار الجفاف ولهذا تم إنجاز هذا البحث ضمن منهجية متكاملة تبدأ في فهم آليات التكيف والتحمل للجفاف، ومن ثم البحث عن تباينات وراثية تمكن من التحسين والانتخاب للطرز والسلالات المتأقلمة.

تمت الدراسة بتتبع نمو النباتات حتى عمر سنة وتحت ظروف بيئية مكيفة تناسب نبات البن وتحت أربعة مستويات من الماء (80-60-40-20% من السعة الحقلية). درست الصفات المتعلقة بالنمو الخضري ونمو المجموع الجذري والصفات الفيزيولوجية. أوضحت النتائج أن نبات البن تراجع نموه بشكل تدريجي تحت تأثير المستويات الأربعة من كمية المياه وكان تأثير الجفاف واضحًا في بعض الصفات المورفولوجية مثل طول النبات وعدد الأوراق التي بقيت حية حتى اكتمال التجربة، كما تأثرت أيضاً خصائص الأوراق من حيث مساحتها وتغيرت أبعادها أيضاً، وكذلك كانت صفات الوزن الجاف للأوراق ووزن الجذور وطولها من المؤشرات المهمة التي يمكن الاعتماد عليها في التقييم للتحمل للجفاف.

كما أن الصفات الفيزيولوجية بينت أن نبات البن يظهر آليات تكيفية في زيادة محتوى الكلوروفيل وزيادة كثافة الثغور والوزن النوعي للأوراق مما يتيح للنباتات المحافظة على عملية استقلاب وتمثيل الغذاء للنبات تحت ظروف الجفاف وهي آليات يمكن استخدامها في غربلة الأصناف والسلالات المحلية من البن اليمني في المرحلة الأولى.

هذه الدراسة المعملية أتاحت للباحثين أن يضعوا بروتوكول بحثي لتقييم التباينات الوراثية للصفات المرتبطة في التحمل والتأقلم أو التكيف للجفاف، كما يمكن البناء على هذه النتائج في فهم آليات تحمل نبات البن للجفاف تحت الظروف اليمنية.

International Journal for Scientific Research (IJSR)
المجلة الدولية للبحوث العلمية
Vol. (4), No. (7) July 2025 الإصدار (4)، العدد (7)

الكلمات المفتاحية: النقص المائي، الصفات المورفولوجية، الصفات الفيزيولوجية، المجموع الجذري، البن في اليمن، التغيرات المناخية.

Effect of drought on root and vegetative system growth in coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) under controlled conditions

Al-Hakimi Amin
Professor, Department of Crop Science and Genetic Improvement, College of Agriculture, Food and Environment, Sana'a University, Yemen
a.alhakimi@su.edu.ye & aashakimi.ah@gmail.com

Enaba Soltana
Graduate Student, Department of Horticulture and Horticulture Technologies, College of Agriculture, Food and Environment, Sana'a University, Yemen
soltanamohammed18@gmail.com

Abstract

Agriculture is an important resource for Yemen and Yemenis, and coffee is at the forefront of cash crops and a source of income for more than 150,000 families, in recent decades its cultivation has declined due to the lack of water sources for irrigation, the scarcity of rainfall and the fluctuation of its seasons as a clear result of climate change.

Selection and genetic improvement for the development of local varieties of coffee methodology can lead to reducing the effects of drought, so this research was carried out within an integrated methodology that begins to understand the mechanisms of adaptation and tolerance to drought, and then search for genetic variations that enable improvement and selection of adapted varieties and landraces. The study was conducted by tracking the growth of plants up to the age of one year and under adapted environmental conditions suitable for coffee as a plant and under four levels of water (80-60-20-40% of the field capacity).

We evaluated traits related to vegetative growth, growth of the root system and physiological traits. The results showed that the coffee plant gradually declined its growth under the influence of the four levels of water quantity and the effect of drought was evident in some morphological characteristics such as the length

of the plant and the number of leaves that remained alive, and the characteristics of the leaves were also affected in terms of their area and their dimensions also changed, as well as the characteristics of the dry weight of the leaves and the weight and length of the roots were important indicators that can be relied upon in the assessment of drought tolerance. The physiological characteristics also showed that the coffee plant shows adaptive mechanisms in increasing the chlorophyll content and increasing the density of stomata and the specific weight of the leaves, which allows plants to maintain the metabolism of the plant under drought conditions, which mechanisms can be used in the screening of local landraces of Yemeni coffee in the first stage. This laboratory study allowed researchers to develop a research protocol to assess the genetic variations of traits associated with tolerance or adaptation to drought, and can build on these results in understanding the mechanisms of tolerance of coffee plants to drought under Yemeni conditions.

Keywords: Water Shortages, Morphological Traits, Physiological Traits, Root System, Coffee in Yemen, Climate Change.

المقدمة

كان نقص الماء والجفاف –ولا يزال -هو العامل الرئيسي المحدد لنمو وازدهار زراعة البن على مدى أكثر من سبعمائة عام من بدء استزراع هذا المحصول في اليمن، ولا تزال زراعة هذا المحصول المهم وتطويره تشكل تحديًا كبيرًا لليمن واليمنيين؛ إذ تشير التقارير والدراسات العلمية الأخيرة إلى أن هذه المشكلة سوف تتفاقم مستقبلاً مع شدة وطأة التغيرات المناخية المتوقعة في العالم بشكل عام وفي اليمن بشكل خاص (.1, 2, 3, 4).

يزرع البن في اليمن في مساحة تقدر بـ(36829) هكتارًا كما بينتها بيانات وزارة الزراعة اليمنية (كتاب الإحصاء الزراعي 2023)، تتوزع زراعته في بيئات معينة على طول وعرض سلسلة المرتفعات الجبلية، ولكنها تزدهر بشكل أكبر على ارتفاعات ما بين 700 إلى1800 متر عن سطح البحر وبنسب قليلة على ارتفاعات أعلى تصل حتى 2500 متر في المناطق المحمية طبيعياً من تأثير الصقيع وانخفاض درجات الحرارة شتاءً، وتعتمد زراعة البن بدرجة رئيسية على الأمطار الموسمية وما تحدثه من السيول والغيول ومن تلك المياه التي تخزن في برك وحواجز صغيرة بالإضافة إلى الري التكميلي من الآبار السطحية

والعميقة في بعض المناطق. وكمية الأمطار في مناطق زراعة البن قليلة وتتفاوت ما بين 300-800 مليلتر/ السنة، وهي كمية لا تكفي مما يدلل على أن البن يتعرض بشكل مستمر وكبير لتأثير الجفاف وهو ما أدى إلى تراجع كبير في مساحة زراعة البن خلال المئة عام الماضية لاسيما في المناطق التي لا يتوفر فيها مصادر أخرى للري. كما أن تدني الإنتاجية وتراجع جودة البن هو النتيجة المباشرة للجفاف الذي يتعرض له محصول البن، بالإضافة إلى تراجع واختفاء أساليب العناية الجيدة والممارسات الزراعية التقليدية والمناسبة والتي كانت تمارس من قبل المزارعين في العهود السابقة مما يؤثر على جودة ونوعية منتج القهوة (10, 5).

تشير المراجع والدراسات السابقة إلى أن الجفاف ونقص الماء يؤدي إلى تباطؤ في نمو خلايا النبات وهو ما يؤدي إلى أن تكون الشتلات متقزمة وصغيرة مقارنة بشتلات نامية بمستوى مناسب من الماء، بالإضافة إلى تراجع في تراكم المادة الجافة بسبب التأثير الفسيولوجي الناتج عن انغلاق الثغور وتقليل كمية التبادل الغازي، وزيادة تنفس النبات واستهلاك الطاقة والغذاء ونفاذها وموت النبات في النهاية (6,7) تتعاظم وتتفاقم تأثيرات دورات الجفاف المتتالية على نمو وإنتاج أشجار البن ويكون تأثيرها بشكل أكبر وأشد في البلدان المدارية وذلك بسبب تداخله مع عوامل السطوع الشمسي المرتفع ودرجة الحرارة؛ لذلك يمكن اعتبار الجفاف إجهاد مركب ومتعدد الأبعاد (8).

آليات التحمل والبقاء تحت ظروف الجفاف

تتمكن بعض الأنواع النباتية من البقاء والنمو وتتحمل الإجهادات الناتجة عن الجفاف وتحافظ على حياتها إما بانتهاج آلية الهروب أو التكيف أو التحمل للإجهادات الناتجة عن النقص المائي، وتستمر في النمو والإنتاج تحت أقل محتوى مائي في التربة؛ بل تعمل أيضاً على التقليل من آثار الجفاف وتحافظ على الحياة ومن ثم تتمكن تلك الشتلات أن تتخطى أو تهرب من فترات الجفاف التي تحدث خلال الفترات الحرجة من النقص المائي (9).

لتقييم تأثير الجفاف على نمو شتلات البن فإنه يتطلب العمل في مراحل متعددة من حياة النبات تبدأ من مرحلة الإنبات ومن ثم على شتلات في أطوارها المبكرة وهذا يتطلب أن يتم التقييم في بيئة يمكن التحكم بها (غرف نمو ومختبرات متحكم في بيئتها) بهذا الأسلوب يمكن تقليل التباينات البيئية ودراسة وتقييم الاختلافات بين المدخلات الوراثية بسهولة كما يمكن إخضاع المادة الوراثية لنفس الظروف ولنفس مستويات الإجهاد، ويتم متابعة سير التجربة من الإنبات وتسجيل عدد البذور المنبتة ونسبتها وسرعتها وطول البادرة وقوة نموها وعدد الجذور الجنينية وطولها وتطور نمو النباتات والتغيرات في

الألوان للأوراق وأعدادها وتتوالى قياس تلك الصفات بشكل دوري سواء قبل تطبيق معاملات الجفاف أم بعد تطبيق مستويات معاملات الجفاف (12 ,38).

العديد من الصفات المظهرية والفسيولوجية التي تبديها النباتات المتحملة والمقاومة للجفاف يمكن تلخيصها في الصفات المتعلقة بالمحافظة على محتوى مائي يمكن من النمو وتأمين الغذاء واستمرار تأدية الوظائف الحيوية في النباتات والتي يمكن الاعتماد عليها لدراسة قدرة السلالات والأصناف المحلية من البن اليمني في المراحل المبكرة من عمر النبات وتحت الظروف المتحكم بها بيئياً مما يسهل من تقييم وتوصيف المادة الوراثية ودرجة تحملها أو مقاومتها للجفاف تحت الظروف اليمنية بناء على آليات تتبعها النباتات ويمكن إيجازها بما يلي:

قدرة النبات في المحافظة على محتوى مائي مرتفع في تحت ظروف الجفاف:

نشرت العديد من الأبحاث والمراجع التي بينت إمكانية استخدام العديد من الخصائص الفيزيولوجيا في توصيف تأثير الجفاف على المحاصيل الزراعية ومنها البن، ومن أهم تلك الصفات العلاقات المائية في النبات ومدى استخدام تلك الصفات كمؤشرات للدلالة على التحمل والمقاومة للجفاف في العديد من المحاصيل بشكل عام وفي محصول البن على وجه الخصوص (12 ,11)، ومن هذه الصفات الفيزيولوجية هو تعديلات الضغط الأسموزي (التناضح الأسموزي - Osmotic adjustment) والتي هو في الأساس ناتج لتركز الذائبات في خلايا النبات وعصارته واعتبرت آلية للتحمل والعيش تحت ظروف الجفاف في المحاصيل (13, 9) وقدمت على أساس علاقتها مع الإنتاج وثبات غلة المحاصيل تحت ظروف البيئات الجافة (14)، في حين في محصول البن بعض الأبحاث إشارة إلى أهميتها (15)، وبعضها لم تجد علاقة بينها وبين مستوى التحمل للجفاف (16 ;17).

المحتوى المائي النسبي للأوراق Leaf Relative Water Content (RWC) تعبر عن مقدرة النباتات على المحافظة على مستويات عالية من المحتوى المائي النسبي في الأوراق تحت ظروف الجفاف، واعتبرت صفة مرتبطة بالتحمل للجفاف؛ إذ تعمل على المحافظة على كمية الماء في النبات، واستخدمت في برامج الانتخاب للطرز الوراثية المناسبة تحت ظروف النقص المائي وهو ما بينته في علاقاتها وارتباط ها المعنوي مع التناضح الاسموزي والعديد من صفات وخصائص التحمل والمقاومة للجفاف في محصول القمح (9) وفي البن أيضاً (,19) 18؛ إذ تعمل على حفظ الماء في نباتات البن تحت ظروف الجفاف، وعلاقتها بالتحكم بعملية النتح للماء وأيضاً المرونة المحدودة للجدر الخلوية، كما أن المحتوى المائي النسبي يرتبط معنوياً مع العديد من الصفات والتي تعتبر جميعها كمؤشرات سهلة الاختبار ويمكن استخدامها لغربلة وتوصيف المدخرات الوراثية من البن لتحملها للإجهادات البيئية في المراحل المبكرة من حياة النبات وتحت ظروف التقييم المعملي في بيئة متحكم بها (12).

تستمر النباتات تحت ظروف الجفاف المتواصل في فقد الماء بشكل مضطرد ومن ثم فإن المدخلات التي تحافظ على محتوى مائي مرتفع في أوراقها تكون أكثر قدرة على التحمل للجفاف؛ ولذا فإن هذه الصفة مناسبة كثيراً لاستخدامها مؤشرًا لتحمل للجفاف وتعبر بشكل مباشر عن التعديل الأسموزي؛ إذ أشارت العديد من المراجع إلى أن RWC من الاختبارات والتحاليل التي ترتبط إيجابياً مع مستوى المواد الذائبة في عصارة النبات والتي تعبر عن المستوى المرتفع من الضغوطات الأسموزية داخل خلايا النبات وتمكنه من قدرة مناسبة تمسك الماء في خلايا النباتات المقاومة للجفاف، وكما يعتبر من الاختبارات المهمة التي يمكن الاعتماد عليها في اختبار مقدرة التحمل والمقاومة للجفاف في العديد من المحاصيل الزراع (20, 21) وفي البن (12) وذلك لتأثرها بالانتظام الأسموزي (22) وأيضاً علاقته في امتصاص الماء والنتح (23). كما تؤكد هذه الأبحاث إلى أن (RWC) تمتلك تباين وراثي واسع في العديد من المحاصيل الزراعية، ولها مقدرة عالية على التوريث، واستجابة عالية للانتخاب والثبات الوراثي، ويمكن الاعتماد عليها في برامج التربية والانتخاب والتحسين الوراثي للتحمل للجفاف.

قدرة النباتات في المحافظة على البقاء والنمو تحت ظروف الجفاف:

يفقد النبات نسبة كبيرة من الماء عبر الأوراق؛ إذ تتحكم الثغور الموجودة في أوراق النبات في كمية النتح بشكل كبير، ويزداد بزيادة عدد الأوراق في الشجرة، لكن مع ازدياد التبخر والنتح فإن بخار الماء يعمل على ترطيب الجو المحيط بالأوراق وعزل سطح الورقة من الضغط للهواء المحيط وتقليل كمية الماء الذي يفقد من قبل النبات في ظروف توافر الماء، وفي ظروف النقص المائي يكون هذا الفقد على حساب العمليات الحيوية في النبات. ومن ثم فإن الثغور تنظم عملية التبخر والنتح ضمن هيكل الشجرة، ومن هنا فإن أصناف البن التي لها هيكل مفتوح يكون فقد الماء فبها أعلى، يليها التي لها هيكل هرمي وأقلها المخروطي الشكل والمتكتل (6).

قدرة النباتات في التمثيل الضوئي واستمرار تدفق الغذاء لأجزاء النبات:

يصنع الكلوروفيل في النباتات من خلال البلاستيدات الخضراء ويقوم بعملية البناء الضوئي؛ إذ يمتص الطاقة الضوئية اللازمة لعملية التمثيل الغذائي بوجود الماء وثاني أكسيد الكربون وينتج السكريات وتطلق النباتات الأكسجين. هذا التحول الكيميائي لا يمكن للنباتات أن تحيا وتنمو وتتكاثر بدونه، وهنا تبرز أهمية الصبغات الخضراء ومن ضمنها الكلوروفيل الذي يتواجد على هيئة نوعين (كلوروفيل a وb). يعتبر الكلوروفيل أيضاً مؤشرًا مهمًا على صحة النباتات في كثير من الأنواع النباتية؛ إذ إن المحتوى العالي منه يدل على صحة جيدة في حين انخفاضه يؤشر إلى أن النباتات تعاني من إجهادات تعمل على تحلل وتراجع محتواه، هذه الآلية تم أخذها مؤشرًا لتقييم مدى تحمل الأصناف النباتية للإجهادات البيئية ومن ضمنها التحمل للجفاف (21).

يؤدي نقص الماء أو الجفاف إلى تناقص محتوى الكلوروفيل ومن ثم يتراجع النشاط الحيوي للنبات ووظائفه المختلفة وتنخفض كفاءة التمثيل الضوئي والتمثيل الغذائي. وإن امتلاك محتويات مثلى من الكلوروفيل لدى النباتات تمكنها من أداء الوظائف الحيوية بفعالية أكبر واستمرار النشاط الفسيولوجي وحياة النبات لفترة أطول وإنتاج الغذاء وهو ما يعرف بالتكيف الفسيولوجي، فتحافظ النباتات المتكيفة على محتوى يماثل الكلوروفيل الطبيعي أو تزيد في انتاج الكلوروفيل ومواصلة النمو والتمثيل الغذائي رغم الإجهاد (20). توثق العديد من البحوث والدراسات لإمكانية استخدام هذه الصفة الفسيولوجية في برامج التربية والتحسين الوراثي لقدرة النباتات في تحمل الجفاف؛ لذلك فهذه الصفة اعتبرت مؤشرًا على الجفاف ودرجته ومدى تحمل الأصناف للجفاف، وفي العديد من أنواع المحاصيل يمكن التعبير عنها بمقدار تناقص محتوى الكلوروفيل تحت ظروف الجفاف مقارنة بالنباتات التي لم تتعرض للجفاف (21) وإن تناقص محتوى الكلوروفيل بفعل الجفاف هو نتيجة للتضرر الحاصل في الكلوروبلاست، إلا أنها في البن غير ذلك فإن النقص المائي والجفاف في النباتات يعمل على زيادة تركز محتوى الكلوروفيل (12).

كثافة الثغور Stomates:

للثغور دوراً محورياً في وظائف النباتات الحيوية لاسيما في عملية التبادل الغازي في أثناء عملية البناء الضوئي، والتنظيم المائي من خلال عملية النتح وتبريد النبات مما يجعلها أحد العناصر الرئيسية التي تمكن النباتات من التكيف مع الظروف البيئية القاسية وتحمل الجفاف وكفاءة استخدام الماء، كما تسهم في سحب المواد المغذية والماء من الجذور إلى باقي أجزاء النبات. تنظم عملية فتح وإغلاق الثغور بواسطة الخلايا الحارسة الملحقة بها مما يجعلها قادرة على الفتح والإغلاق الكلي والجزئي للثغور وتنظيم عملية التحكم في كمية فقد الماء في أثناء الجفاف والتكيف مع النقص المائي (. 26 ,25.).

تشير الأبحاث والدراسات المنشورة إلى أن هناك اختلافات وراثية في كثافة وأعداد الثغور ونمط توزيعها بين الأنواع المختلفة وبين الأصناف المنتمية لنفس النوع في العديد من المحاصيل الزراعية، مثل الشعير والقمح والأرز (26)، وأن هناك أهمية ودور لكثافة الثغور في ضبط كمية الماء المفقود في أثناء عملية النتح (27). والدراسات الوراثية بينت أن هذه الصفة يتحكم بها عدد من المورثات سواءً في تكوين الثغور أم في التمايز الخلوي لتكوين الثغور كما أنه يمكن استخدام هذه الصفة في التحسين الوراثي وانتخاب نباتات أكثر كفاءة في استخدام المياه (12, 20, 22).

كفاءة المجموع الجذري على امتصاص الماء:

الدراسات في تأثير الجفاف على نمو الجذور قليلة بشكل عام وفي البن هي نادرة جداً، وبشكل عام فإن الجفاف يودي إلى تباطؤ نمو الجذور وهو ما يؤثر على كمية الماء الممتص من التربة وإتاحته للنبات

(28)، وغالباً ما تتميز النباتات المتكيفة مع الجفاف بمجموع جذري قوية، ومتعمقة، وتستطيع الانتشار في مساحة أكبر ومن ثم تمكنها من استخلاص الماء بكفاءة أعلى من التربة. في البن تشير الأبحاث إلى تلك العلاقة بشكل واضح ولاسيما في العلاقة بين الجذور المتعمقة وتجنب الجفاف (29) وأيضاً بين دور حجم وكمية المادة الجافة للجذر وعلاقتها في تحمل النباتات للجفاف. النتائج التي قدمها الباحثون (28) على البن أكدت أن صفة المجموع الجذري من الصفات المستقلة عن بعضها البعض ورغم أن لها علاقة بالتحمل للجفاف إلا أنها ليس بالضرورة أن يكون لها ارتباط بكمية الإنتاج. وعلى الرغم من العلاقة الإيجابية الواضحة بين عمق نمو الجذر والمحصول تحت ظروف الجفاف التي بينها (30)، ونظراً للصعوبات التي تواجه الباحثين في دراسة المجموع الجذري في الحقل، فإن طريقة التقييم في سن مبكر لشتلات البن في أواني تحت ظروف البيت الزجاجي فإنها تقدم أسلوبًا منهجيًا أوليًا لفهم خصائص المجموع الجذري ودراسة تأثره بمستويات من النقص المائي، كما تمكن من انتخاب طرز بمجموع جذري قوي وقادر على التعمق بالتربة، علاوة على ذلك وفي دراستنا هذه سنتعرف على سلوك المجموع الجذري لشتلات البن بعمر سنة ونامية تحت ظروف متحكم بها تحت ظروف أربعة مستويات من النقص المائي، وأيضاً علاقتها ببعض الصفات المورفولوجية والفيزيولوجية في الجزء الخضري للنبات والتي تُعد من مؤشرات تحمل النباتات للجفاف بنفس الوقت. كما ستمكن هذه الدراسة من تحديد ما هي الصفات المهمة التي يمكن الاعتماد عليها في تقييم التباينات الوراثية لسلالات البن المحلي لصفات التحمل والمقاومة للجفاف سواء في المجموع الجذري أم الخضري والتأثيرات المختلفة في السلوك الفيزيولوجي والمورفولوجيا وعلاقته بالمجموع الجذري في المراحل المبكرة من حياة النبات.

مواد وطرق البحث

وصف التجربة: نفذت التجربة في مختبر المؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر (Participatory Foundation for Research & Dissemination-PFRD) ومشتل البن الخاص بالجمعية اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة (www.yasadngo.org) في صنعاء، المعمل صمم ليتناسب مع المتطلبات البيئية والمناخية المناسبة لإنبات ورعاية شتلات البن من الإنبات وحتى عمر سنتين.

البذور: تم جمعها من إنتاج شجرة واحدة نامية في المشتل، وتنتمي للصنف المحلي الشائع العديني، زرعت البذور في مارس 2023م في أطباق إنبات على تربة بيتموس، وفي طور الفراشة نقلت البادرات إلى أكياس بولي اثيلين (13x20 سم) فيها2 كغ من تربة خليطة من الخفان والبيتموس بنسبة 1:1 بحيث تتيح الوصول إلى أدنى مستوى من الجفاف وإمكانية استخلاص ودراسة الجذور بسهولة ويسر عند نهاية التجربة (صورة 1).

تطبيق معاملات النقص المائي (الجفاف)

قدرت كمية المياه اللازمة للري والتي تؤمن بقاء التربة في حال السعة الحقلية والتي نميت عليها الشتلات حتى اكتمال نمو الورقة الثالثة، وعندها بدأ بتطبيق معاملات مستويات الري باستخدام الطريقة الوزنية للتربة ولكمية الماء المضاف كما يلي:

- المعاملة الأولى (T1) وفيها الشتلات تنمو على تربة سعتها الحقلية عند مستوى من 80-100% طيلة فترة التجربة.
- المعاملة الثانية (T2) وفيها تتلقى الشتلات كمية من الماء لتحافظ تربتها على سعة حقلية عند مستوى ما بين 60-80%.
- المعاملة الثالثة (T3) وفيها تكون الشتلات تتلقى كمية من المياه لتحافظ على مستوى 40-60% من السعة الحقلية.
- المعاملة الرابعة (T4) وفيها تنمو الشتلات وتتلقى كمية من المياه لتبقى عند مستوى 20-40% من السعة الحقلية وفيها تكون الشتلات بدأت تظهر عليها علامات الذبول ولكنها لم تصل بعد لنقطة الذبول الدائم. التصميم التجريبي المستخدم هو التصميم العشوائي الكامل في 6 مكررات.

الصفات المدروسة

تم تدوين البيانات والقياسات لصفات النمو بشكل دوري ويبين الجدول رقم (1) الصفات التي تم دراستها من بداية التجربة وحتى انتهاء التجربة (عندما وصلت الشتلات إلى عمر سنة من الإنبات) تم إجراء التقييم النهائي للتجربة لجميع الصفات بما فيها صفات نمو المجموع الجذوري.

جدول (1): الصفات التي تم دراستها في هذه التجربة لجميع معاملات الري

الرقم	الصفة التي تم تقيمها Evaluated Traits	الاختصار
1	طول النبات (سم) Plant Height	PLH(cm)
2	عدد الأوراق على النبات Number of leaves on plant	NL
3	عدد الأوراق التي بقت حية على النباتات Number of Leaves Stayed Alive on plants	NLSA
4	عدد الأوراق المتساقطة Number of Fallen Leaves	NFL
5	قوة نمو النبات (مقياس1-3 الأقوى) Plant Growth Vigor	PGV
6	لون النبات (مقياس1 – 3 الغامقة) Plant Color	PLC
7	محتوى الكلوروفيل في الأوراق (وحدات مقاسة بجهاز (SPAD Chlorophyll Content) (صورة 3)	CHC
8	مساحة الورقة بالطريقة الوزنية (سم2) بحسب طريقة (31) Leaf Area (cm^2)	LA
9	الوزن النوعي للورقة (الوزن الجاف / مساحة الورقة) ملي جرام / سنتمتر مربع Leaf Specific Weight ($mg.cm^2$)	LSW
10	المحتوى المائي النسبي بالطريقة التي بينها (9). ((الوزن الرطب – الوزن الجاف) / (المشبع -الوزن الجاف) % Relative Water Content	RWC
11	عدد الثغور في الحقل المجهري بطريقة بصمة المناكير الشفافة Number of Stomata in a Microscopic Field	NST
12	الوزن الجاف للأوراق (ملغرام) Leaf Dry Weight	LDW
13	الوزن الجاف للساق (ملغرام) Stem Dry Weight	SDW
14	طول الجذر الرئيسي (سم) Root Length	RL
15	عدد الجذور الكلية والتي أطوالها أكثر من 2سم Roots Number	RN
16	الوزن الجاف للمجموع الجذري (ملغرام) Root Dry Weight	RDW
17	الوزن المجموع الخضري للنبات (ملغرام) Plant Dry Weight	PDW

وتم قياس تأثير الجفاف من خلال احتساب معامل التثبيط النسبي Coefficient Relative Inhibition -CRI من خلال والمعادلة (الفرق بين القياس تحت معاملة الشاهد ومعاملة الجفاف/على القياس تحت ظروف المعاملة الشاهد) % (32).

النتائج والمناقشة

تشير البيانات بعد ترتيبها وتحليلها إحصائياً وعرضها (جدول 2 و3) إلى أن هناك فروقات واختلافات واضحة بين متوسطات الصفات المدروسة تحت مستويات الري الأربعة، وما أكدته التحاليل الإحصائية أن معظم الصفات المدروسة تختلف معنوياً عند مقارنة المتوسطات لمستويات الري الأربعة (T1, T2, T3, T4) في حين لم يكن هناك تأثير واضح ومعنوي للجفاف على بعض الصفات إلا عند المعاملة الرابعة (الأشد جفافاً). من هذه النتائج يتبين وبشكل واضح أن المنهجية المتبعة في هذه التجربة وتطبيق التجفيف البطيء المتكرر للنبات ولفترة طويلة من عمر النباتات (استمر لمدة 180 يوم) أحدث تباطؤ وتراجع في صفات النمو للشتلات تحت ظروف الجفاف وهو ما أتاح في هذه الدراسة من تسجيل تأثير مستويات النقص المائي على نمو أجزاء الشتلات والتغيرات التي أحدثها نقص كمية المياه المضافة للنباتات أو بمعنى آخر مستوى الجفاف التي تعرضت لها النباتات طيلة فترة التجربة، ويمكن مناقشة ذلك بالتفصيل كما يلي:

تأثير النقص المائي على صفات نمو المجموع الخضري للنباتات:

صفات النمو: أوضحت النتائج في الجدول (2) أن الجفاف أحدث تغير وتراجع وتباطؤ في النمو للشتلات تم ملاحظته نظرياً كلما زادت فترة الجفاف بين مستويات الجفاف المختلفة وهو ما وضحته نتائج قياس صفة طول النبات، وتقدير الوزن الجاف للساق والأوراق في نهاية التجربة وأثبتته التحاليل الإحصائية التي بينت أن هذه الفروقات ذات دلالة إحصائية ولاسيما بين المعاملات التي تعرضت للجفاف وتلك التي لم تتعرض للجفاف.

مساحة الأوراق وأبعادها: الأوراق في نبات البن تنمو في أزواج متقابلة ومن آباطها تنمو الفروع الجديدة والبراعم التمرية، والورقة إهليلجية ثابتة في أبعادها فلها طول وعرض وعندما يحدث الجفاف فإن هناك تغيرات في تلك الأبعاد ومن ثم تتغير مساحة الأوراق، وما أوضحته البيانات في هذه التجربة أن مساحة الورقة تأثرت بفعل مستويات النقص المائي وكان هذا التأثير واضحًا جداً من خلال تناقص المساحة مع ازدياد شدة الجفاف وأن هذا النقص كان أكبر وبفروق معنوية عند المعاملات الجافة T3 والأشد جفاف T4. كما أن الجفاف وشدته أثر أكثر على طوال الأوراق اكثر منه على عرض الأوراق، وكانت هذه

الفروق واضحة في بين المعاملات بدون جفاف (T1, T2) والمعاملات التي الجافة وشديدة الجفاف (T3, T4).

جدول (2): المتوسطات والانحراف القياسي (±) ونتائج تحليل التباين بمقارنة المتوسطات وأقل فرق معنوي (LSD0.05) للصفات والمورفولوجية التي درست على شتلات البن النامية في أربعة مستويات من مياه الري (T1-T4)

المعاملات Treat	الأوراق الحية / النبات NLSA	طول النبات PLH (cm)	الوزن الجاف للساق SDW(g)	الوزن الجاف الأوراق LDW(g)	طول الورقة LL (cm)	عرض الورقة LW (cm)	مساحة الورقة LA (cm^2)	عدد الأوراق المتساقطة FLN
T 1	29^{a}±1.1	25^{a}±2.5	0.38^{a}±0.08	1.20^{a}±0.22	9.2^{a}±1.5	4.2^{a}±0.6	21.9^{a}±3.8	3.0^{a}±1.1
T 2	27^{a}±1.1	26^{a}±2.5	0.46^{a}±0.10	1.45^{a}±0.30	10^{a}±2.1	4.4^{a}±0.9	26.9^{a}±7.1	4.5^{a}±2.1
T 3	24^{b}±0.8	23^{a}±3.6	0.33^{b}±0.07	0.78^{b}±023	7.1^{b}±1.4	3.2^{a}±0.9	15.7^{b}±3.5	5.8^{a}±1.5
T 4	21^{c}±1.1	20^{b}±2.7	0.22^{b}±0.06	0.44^{b}±0.08	7.0^{b}±1.6	3.1^{b}±0.5	14.7^{b}±5.7	7.3^{b}±2.9
$LSD_{0.05}$	3.00	3.79	0.125	0.41	2.14	1.06	6.04	3.1

عدد الأوراق التي بقيت حية على النبات Leaves Number Stayed Alive-NLSA، طول النباتات (سم) Plants Hight-PLH، وزن ساق النبات (جرام) Stem dray Weight-SW، وزن الأوراق (جرام) Leaves Dray Weight-LW-، طول الورقة Leaf Length-LL، عرض الورقة Leaf Width-LW، مساحة الورقة Leaf Area- LA، وعدد الأوراق المتساقطة Fallen Leaves Number-FLN.

النتائج التي خرجت بها هذه التجربة تشير إلى أن أوراق البن أكثر تأثراً بالجفاف، فنلاحظ بالعين المجردة أن الأوراق التي تنمو في أثناء فترة الجفاف تكون متغيرة في أبعادها وحجمها وخصائصها المورفولوجية (باهتة في اللون) وهو ما أشارت إليه القياسات والتحاليل الفيزيولوجية وتراكم المواد الجافة.

بعض الصفات المورفولوجية لم تسجل فروقات ذات دلالة إحصائية بين متوسط المعاملات لاسيما بين المعاملة الأولى (80-100 % سعة حقلية) والمعاملة الثانية (60-80%) فالنباتات التي نمت تحت مستوى المعاملة الثانية أظهرت نموًا وشكلًا مظهريًا أفضل من المعاملة الشاهد (الري الكامل) وهذا يوحي النقص المائي المعتدل بين فترة وأخرى يعمل على نمو شتلات البن بشكل أفضل وأن النباتات تتفاعل إيجابياً وتتحفز في نموها وصفاتها المظهرية في حالة النقص المائي المعتدل (60-80% من السعة الحقلية) وهو ما يفسر أن متوسطات القياسات الصفات طول النبات ومساحة الأوراق كان أفضل في المعاملة الثانية عنها من الشاهد والتي لم تعرض لأي نقص مائي طيلة فترة نمو الشتلات.

العدد الإجمالي للأوراق في النباتات: لم تؤثر مستويات الجفاف على الأعداد الكلية للأوراق في النباتات في جميع معاملات التجربة، وإنما كان التأثير واضحًا على عدد الأوراق التي بقيت حية على الشتلات حتى نهاية التجربة والتي تراوحت أعدادها ما بين (29 و21) ورقة وأن أقل فرق معنوي ($LSD_{0.05}$) هو(3) في هذه الصفة ولاسيما بين المعاملات (T1, T3, T4) وهو ما يؤكد أن الجفاف تسبب في تساقط للأوراق وزادت أعداد الأوراق المتساقطة مع ازدياد شدة الجفاف؛ إذ تراوحت أعداد الأوراق المتساقطة بين (- 3

7 ورقة) مما يدلل على أن الجفاف أثر بشكل كبير واضح وجلي على الأوراق وأن صفة بقاء الأوراق على النباتات مهمة جداً في البن ويمكن استخدامها صفةً لتقييم مدى تحمل شتلات وأشجار البن للجفاف لاسيما إذا عرفنا أن شتلات البن غير المحاصيل الأخرى فالأوراق محدودة جداً وأن الورقة التي تسقط لا تنمو بدلها أوراق جديدة أخرى، فإذا ما تأثرت الورقة وسقطت وتبقى الشتلات بساق أو فروع عارية من الأوراق مما يؤثر كثيراً على نمو حياة الشتلة وكفاءتها وإنتاجيتها. أن ما سجلناه هنا أنه في حالة الجفاف المتتالي تبدي نباتات البن صفة تجفيف الأوراق وتساقطها ولاسيما للأوراق السفلية وهو ما تم ملاحظته في هذه التجربة وبينته النتائج (الجدول 2). ناقشت هذا الموضوع الكثير من الدراسات والأبحاث والتي أشارت إلى أن هذه الصفة تُعد صفة تأقلم للبقاء على قيد الحياة؛ إذ تعمل النباتات على تقليل من السطح المعرض لتبخر المياه وفقدها عن طريق الأوراق ويعمل النبات على إدارة اقتصادية لكمية المياه المتاحة وإبقاء النبات على قيد الحياة ومن ثم فهي صفة من صفات البقاء على الحياة (Survival Mechanism).

تأثير النقص المائي على بعض الصفات الفيزيولوجية:

تبين النتائج في الجدول (3) أن الصفات الفيزيولوجية التي تم دراستها أبرزت بشكل وضح أن هناك تأثير لمستويات النقص المائي على خصائص النباتات الحيوية في جميع المعاملات تلك التي تعرضت للجفاف مقارنة بالنباتات تحت المستويات التي لم تتعرض لنقص الماء:

المحتوى المائي النسبي للنبات RWC: تناقص بشكل واضح تحت تأثير الجفاف في جميع المعاملات الجافة؛ إذ كانت أعلى قيمة 97 % في المعاملة الشاهد بدون جفاف وأقل محتوى مائي 67 % تحت ظروف المعاملة الأشد جفافاً، وهذا ما يتطابق مع الدراسات السابقة التي تبين أن هذا الاختبار يعكس حالة المحتوى المائي في النبات وإمكانية استخدامه مؤشرًا عند دراسة تأثير الجفاف على النباتات وأداة فعالة لغربلة السلالات المحلية من البن اليمني وتحملها للجفاف (.12 ,9).

محتوى الكلوروفيل في النباتات: وكما تبين النتائج أن الجفاف عمل على زيادة محتوى الكلوروفيل بزيادة مستوى الجفاف؛ إذ كانت القيم أدنى تحت ظروف الري الطبيعي بدون جفاف وتراوحت القيم بين 48 و56 وحدة قياس تحت مستوى الري الطبيعي والجفاف الشديد على التوالي، وهذه النتائج تتطابق مع الدراسات التي تمت سابقاً على البن (12)، ولكن بالمقابل هذه النتائج التي سجلناها على البن هي عكس ما وجد في محاصيل أخرى؛ إذ يعمل الجفاف على تناقص محتوى الكلوروفيل (20)، مما يوحي بأن هذا الاختبار مهم جداً ويحتاج إلى دراسة أدق في تقدير وتحديد أنوع الصبغات المختلفة التي تتكون تحت ظروف الجفاف على البن مما يجعل كمية الكلوروفيل تتركز أكثر وتصبح ألوان الأوراق غامقة اللون بدرجة أكبر من النباتات تحت المعاملة بدون جفاف.

فيما **يتعلق بعدد الثغور** في أوراق البن (جدول 3) نجدها فقط تتواجد في السطح السفلي من الورقة وتنتشر بشكل غير منتظم وأحجامها كبيرة (صورة 2)؛ إذ بينت النتائج أن أعداد الثغور تباينت من 13-10؛ إذ زادت تحت ظروف الجفاف والتحاليل الإحصائية بينت فقط أن هذه التباينات ذات دلالة إحصائية بين معاملة الري الطبيعي ومستويات الجفاف فقط؛ إذ عمل النقص المائي في تحفيز النبات على تشكل خلايا ثغريه أكثر كثافة.

الوزن النوعي للورقة يقيس مدى تراكم المادة الجافة في الورقة وهي صفة مهمة؛ لأنها تعكس حالة النشاط في التمثيل الغذائي وتصنيع الغذاء والنمو في النبات، مساحة محددة من الورقة، تباينت القيم بين المعاملة بري كامل ومعاملات النقص المائي؛ إذ كان أقل قيمة هي 4.12 تحت ظروف الري الكامل 100% سعة حقلية وأكبر قيمة وجدت مع بدء تطبيق معاملة الجفاف 4.64 ميليجرام /سم2 وهذه الاختلافات ذات دلالة إحصائية معنوية (جدول 3).

جدول (3): المتوسطات والانحراف القياسي (±) ونتائج تحليل التباين بمقارنة المتوسطات بأقل فرق معنوي ($LSD_{0.05}$) للصفات والفسيولوجية وصفات المجموع الجذري والتي تم قياسها على شتلات البن بعمر سنه تحت ظروف بيئية متحكم بها وفي أربعة مستويات من مياه الري(T1-T4)

المعاملات Treatm.	عدد الثغور StN	محتوى الكلوروفيل CHC	المحتوى المائي النسبي RWC%	الوزن النوعي SLW	طول الجذر RL(cm)	عدد الجذور/ النبات RN	الوزن الجاف للجذور RDW(g)	وزن الجذور/الخضري R/S (%)
T 1	10±1	48±2.9	97±1	4.12±0.2	27.5±3.8	34.0±4.5	0.46±0.03	29±3.2
T 2	10±1	57±5.8	89±7	4.64±0.3	30.0±5.2	26.3±8.2	0.54±0.14	28±5.2
T 3	13±1	58±1.9	86±7	4.56±0.1	25.5±1.8	40.3±4.5	0.44±0.08	40±3.7
T 4	12±1	56±6.8	67±4	4.51±0.3	23.3±3.7	34.8±8.2	0.22±0.11	33±2.3
$LSD_{0.05}$	1.7	7.5	7	0. 33	5.63	8.26	0.201	3.1

عدد الثغور Stomates number-StN، محتوى الكلوروفيل Chlorophyll content Unite-CHC (SPAD) المحتوى المائي النسبي Relative Water Content-RWC%، الوزن النوعي للورقة Specific Leaf weight SLW (الوزن الجاف /مساحة الورقة ميليجرام/سم2)، طول الجذر (سم) Roots Length-RL، عدد الجذور التي أطوالها أكثر من2 سم والنامية على الجذر الرئيسي Roots Number-RN، الوزن الجاف للجذور(جرام)، ونسبة الجذور إلى وزن المجموع الخضري للنبات (% Ratio of Roots to Shoot (R/Sh

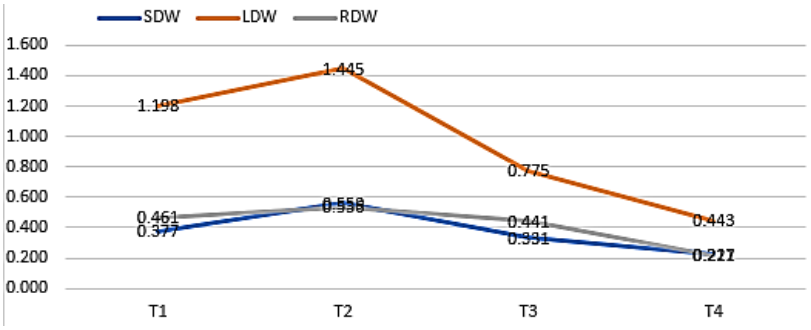
في دراستنا هذه نجد أن الوزن النوعي للورقة وعدد الثغور في الحقل المجهري ازدادت بزيادة مستويات النقص المائي وكذا مستوى الكلوروفيل تركز بشكل أكثر في المعاملات التي كان فيها نقص مائي مقارنة بمعاملة الشاهد وهذه النتائج ذات أهمية كبيرة على نبات البن؛ إذ إن هذا النوع النباتي بالأساس نشأ وتطورت أصوله البدائية تحت الأشجار في الغابات بعيداً عن أشعة الشمس المباشر، وتم تدجينه وتحويله من صفاته البرية إلى صفات تطورية بفعل عملية الاستزراع والتي مكنته من الزراعة تحت الظروف اليمنية منذ أكثر من ثمانمائة عام (39).

من هذه النتائج للصفات التي ترتبط بالنشاط التمثيل الضوئي وللطبيعة البيولوجية الاستثنائية للبن بوصفه نوعًا متكيفًا مع شدة إضاءة منخفضة ويجود زراعته تحت مستويات من الظل. يمكن أن نستخلص أن تناقص كمية مياه الري يعمل على تحفيز النبات لتركيز محتوى الكلوروفيل وعدد الثغور وكان نباتات البن تستشعر الجفاف وتعمل بوصفها آلية لمواجهته بزيادة النشاط في التمثيل الضوئي وتصنيع الغذاء للنبات، ويمكن اعتبار محتوى الكلوروفيل المرتفع تحت ظروف الجفاف كذلك صفة مقاومة وتحمل للجفاف في نبات البن وبوصفه أداة سهلة للقياس بجهاز ال SPAD بوصفه اختبارًا سهلًا لمدى تأقلم وتكيف السلالات اليمنية للضغوطات البيئية، ومنها الجفاف التي تعاني منه الزراعة اليمنية بشكل عام والبن بشكل خاص حاليا ولمواجهة التهديدات المستقبلية للتغيرات المناخية المحتملة.

تأثير مستويات النقص المائي على المجموع الجذري للنباتات:

قد يعتمد بقاء الشتلات في البيئات المعرضة للجفاف على قدرة الأنواع على التعويض عن التأثير السلبي لانخفاض إمكانات المياه في التربة والغلاف الجوي عن طريق تعديل الأنماط المورفولوجية والفسيولوجية للجذور والبراعم (33) من خلال الشكل (1) نجد أن هناك علاقة ارتباط قوية بين نمو المجموع الخضري والمجموع الجذري في شتلات البن، ويلاحظ التأثير المعنوي للنقص المائي على نمو النباتات وأفضل ما يعبر عنه هو في صفة الوزن الجاف للجذور فتأثير الجفاف أدى إلى التباطؤ في نمو الجذور إلى مقدار النصف في معاملة الجفاف الشديد أو النقص المائي الكبير مقارنة بمعاملة الشاهد. كما يلاحظ أن تحت تأثير النقص المائي المعتدل فإن المجموع الجذري يتحفز للنمو كما تم على المجموع النمو الخضري تحت ظروف النقص المائي يتأثر كثيراً طول الجذور في حين عدد الجذور لا تبدي أي اختلاف معنوي، ويُعد نمو الجذور معياراً مهماً لتحمل النبات لإجهاد الجفاف؛ إذ إن الجذور هي المحرك الرئيسي لتلبية الطلب على النتح وتؤدي دوراً مهماً في إتاحة المياه للنباتات (34; 35).

مع تسبب الإجهاد المائي، يتعين على النباتات تطوير جذور جديدة لتلبية متطلبات المياه؛ لأن طبقات التربة العليا عادة ما تجف أولاً (36).

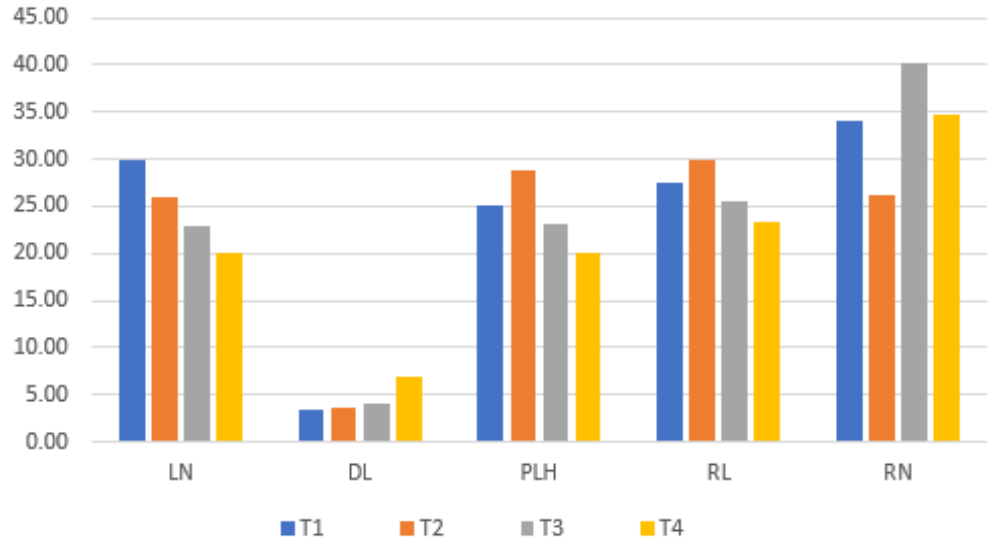


الشكل (1): تأثير مستويات الجفاف على المادة الجافة للأوراق (LDW) وللساق (SDW) وللجذور (SDW) لشتلات البن

المعاملات النقص في مستويات الري:

يعمل الجفاف على تباطؤ نمو الأوراق وساق النبات وأيضاً المجموع الجذري ويبين الشكل (1) شدة تأثير مستويات الجفاف على تراكم المادة الجافة للأوراق (LDW) وللساق (SDW) وللجذور للنباتات (RDW)؛ إذ أدى الجفاف الشديد إلى تناقص تراكم المادة الجافة بشكل واضح وكبير في جميع أجزاء النبات وكان التأثير أكبر على الأوراق والجذور والساق بالترتيب، وهو ما يوضحه حساب معامل التثبيط النسبي في نهاية التجربة؛ إذ كان على الأوراق 63 % وعلى الجذور 52 % وعلى الساق و41 %. كما يلاحظ أن نمو النباتات تكون أفضل عند السعة الحقلية بين 60-80% وأن أثر الجفاف يبدأ من مستويات أدني من 60%، فزيادة ماء الري له تأثير على تثبيط النمو وإن كان هذا التباطؤ في النمو ليس ذا دلالة إحصائية كما تبينها النتائج في الجداول رقم 2 و3. أن الأصناف التي لها طول جذر ممدود تحت ظروف الإجهاد المائي تعكس تفاعلاً تكيفياً ينطوي على زيادة في طول الجذر للوصول إلى المياه العميقة في التربة (33). ويمكن أن يفسر ذلك بأن إجهاد الجفاف يقلل بشكل كبير من الوزن الجاف الجذري، ويمكن أن يعزى الارتفاع في وزن الجذر إلى زيادة الكثافة وكذلك عمق الجذور. مع تسبب الإجهاد المائي يتعين على النباتات تطوير جذور جديدة لتلبية متطلبات المياه؛ لأن طبقات التربة العليا عادة ما تجف أولا وهو ما يتطابق مع نتائج سابقة في القمح (36).

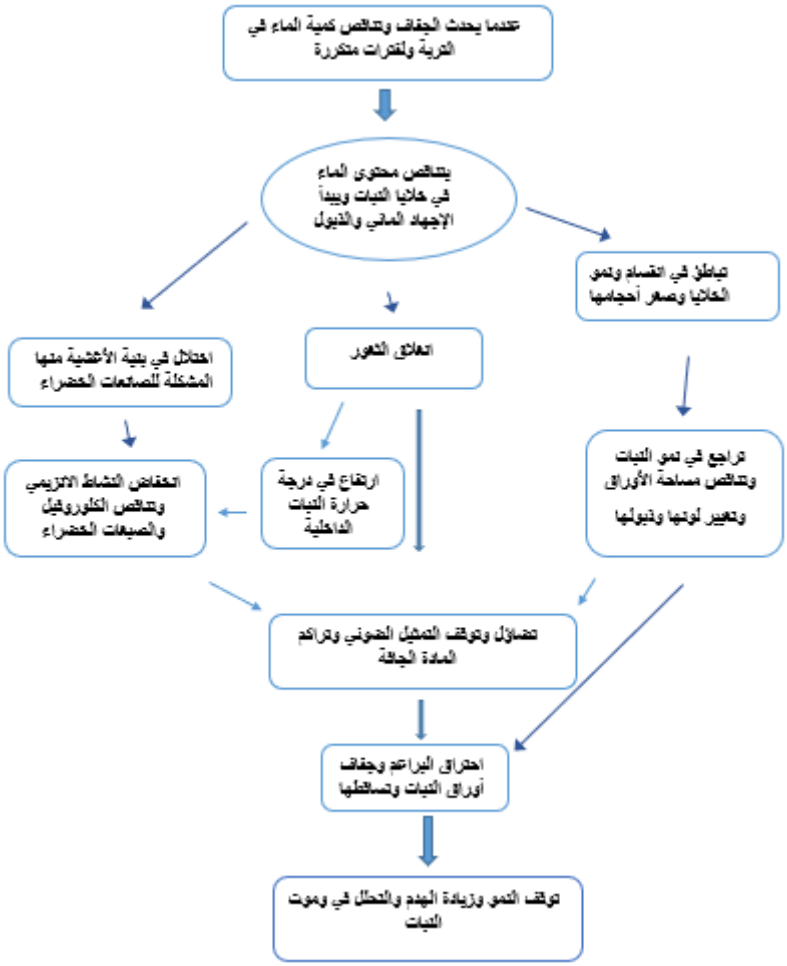
تشير النتائج في الشكل (2) إلى أن مستويات الجفاف أدت إلى تناقص عدد الأوراق التي بقيت حية على النباتات (Leaf Number-LN) بشكل مضطرد؛ إذ زادت أعداد الأوراق التي تساقطت (Dropped Leaves-DL) مع ازدياد الجفاف. كما أدى الجفاف إلى تثبيط المجموع الخضري فطول النبات (PLH) تأثر بنسبة 20 % عند سعة حقلية 20-40% وأيضاً تراجع طول الجذور (RL) بنسبة 15 % في حين عدد الجذور وتفرعاتها التي أطوالها أكثر من 2سم لم تتأثر بشدة الجفاف؛ بل إن الجفاف أدى إلى زيادة أعداد الجذور (RN)، فالجفاف ينشط نمو جذور على طول محور الجذور الرئيسية استجابة لحالة الجفاف التي يشعر بها النبات وهذه صفة مهمة في الأصناف المحلية اليمنية التي تعتمد على الأمطار.



شكل (2): تاثير مستويات الري T1 (100-80) و T4 (40 -20 %) سعة حقلية على صفات نمو المجموع الخضري والمجموع الجذري لشتلات البن (عدد الأوراق LN، عدد الأوراق المتساقطة DL، طول النبات PLH، طول الجذر الرئيسي RL، وعدد الجذور التي أطوالها أطول من 2سم

الاستنتاجات العامة General Conclusions

من بيانات هذه الدراسة يتبين لنا أن تأثير الجفاف على نمو شتلات البن يحدث بمجرد أن يتناقص محتوى الماء في التربة لفترة بسيطة؛ لأنه يعمل على انخفاض نمو الخلايا، وبطء في تكون المادة الجافة وهذا قد يكون بسبب تراجع نشاط الثغور والذي يؤدي إلى انخفاض معدل تمثيل (استيعاب) الكربون الصافي وفي معظم الحالات فإن هذا النقص من الماء والجفاف يصبح متكرر ولفترة أطول مما يودي إلى أن نشاهد تناقص كبير في نمو وحجم الخلايا مما يؤدي إلى نقص في مساحة الأرواق النامية خلال تلك الفترة واحتراق الأوراق الحديثة والبراعم الخضرية والزهرية وموتها ويزداد التراجع في النمو وذبول وموت الأوراق والنبات في نهاية المطاف (شكل 3). وفي حال أن الجفاف يكون بطيئًا ومتكررًا، يعمل النبات على تساقط الأوراق السفلية بشكل ملحوظ قبل الأوراق الحديثة، ومن ثم فهذه آلية تبديها النبات للبقاء على قيد الحياة فتقوم بتقليل مساحة وعدد الأوراق وحجم النبات لتتوافق أو تنضبط مع كمية ماء التربة المتاح للنبات، ومع استمرار الجفاف فإن ذلك يؤدي اختلال تلك التناسب وموت النبات.



شكل (3): تأثير الإجهاد المائي على ونمو شتلات البن

تتمكن بعض النباتات من البقاء على قيد الحياة تحت ظروف الجفاف أكثر من غيرها وذلك بفعل آليات يبديها النباتات لمواجهة النقص المائي؛ لذا من المهم التعرف على هذه الآليات والصفات ومعرفة معالمها الوراثية ومدى الاعتماد عليها لتربية أصناف متحملة للجفاف، في المحاصيل الزراعية اليمنية هناك دراية وفهم أكبر في التربية والتحسين للتحمل للجفاف تمت خلال الثلاثين عاماً الماضية. (38) ونسعى حالياً على تطبيق المخرجات ونقل تلك المعارف والخبرات على محصول البن في اليمن بوصفها أولوية لمواجهة آثار التغيرات المناخية الحالية التي نلمسها سنوياً ولاسيما حالة الجفاف والنقص في المياه المتاحة لري البن. وهذا البرنامج البحثي على البن بدأ من خلال التعاون مع المركز الدولي للبن وجامعة تكساس أي إم (40) وبجهود محلية (12) منذ 2012 وتكللت بتأسيس مختبر متخصص لتربية البن بوصفه عملًا تعاونيًا بالمشاركة بين المؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر والجمعية

اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة (www.yasadngo.org) والتي من خلالها تم تسهيل إجراء بحوث الدراسات العليا ووضع خطط بحثية على البن وتشجيع الانخراط في برامج الدراسات العليا في كلية الزراعة والأغذية والبيئة في جامعة صنعاء في مواضيع تهتم بالبحوث لمواجهة التقليل من آثار التغيرات المناخية على الزراعة اليمنية بشكل عام وعلى محصول البن اليمني بشكل خاص والتي يأتي هذا البحث واحدًا من تلك مخرجات تلك البحوث التي يتم تنفيذها حالياً.

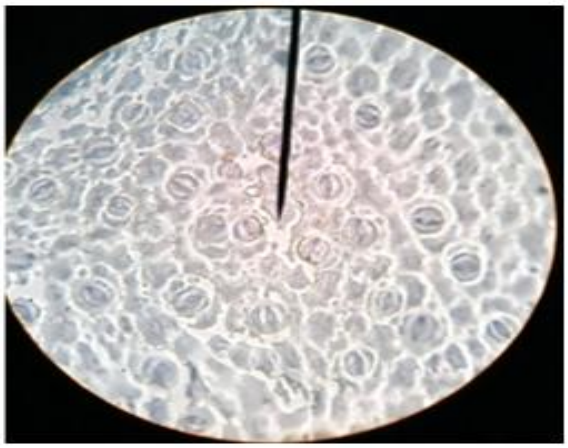
في العادة في الحقول الإنتاجية، أن أفضل ما يعبر عن الآليات التأقلم والتحمل للجفاف هو تحسين أداء ونمو وغلة المحاصيل في البيئات التي تعاني من نقص في المياه للري، ففي ظل الجفاف هناك بعض الأصناف تميل للتأقلم مع حالة الجفاف وتعمل على تقليل الإنتاجية بغرض المحافظة على البقاء حية، ومن ثم فإن تقييم مقدرة تلك الأصناف على الإنتاج والبقاء أمر مهم لانتخاب تلك الأنماط الوراثية لتلك البيئات التي تواجه مخاطر الجفاف، ولكن ما يواجه الباحث هو صعوبة العمل البحثي الميداني في حقول الإنتاج لتقييم أداء تلك المدخرات الوراثية بسبب الطبيعة الوراثية الكمية لتلك الصفات المتعددة الجينات (صفات كمية) وتأثرها كثيراً بالعوامل البيئية، ولذلك نلجأ إلى البحث عن أساليب وطرق بحثية مخبرية ويمكن إجرائها في بيئات متحكم بها وفي المراحل المبكرة من حياة النباتات لتمكن من اكتشاف المدخرات الوراثية التي تمتلك خاصية التحمل والمقاومة للجفاف، ومعرفة طبيعة الآليات التي تتبعها تلك النباتات في مواجهة النقص في توفر الماء والتكيف معها والمحافظة على البقاء واستمرار الإنتاج وكميته، وقد أثبت هذا النهج كفاءته في العديد من المحاصيل الزراعية وإنتاج أصناف متحملة ومقاومة للضغوطات البيئية والحيوية (12, 37).

إن اختيار السمات التي يمكن الاعتماد عليها في الانتخاب المبكر للتحمل والمقاومة للجفاف أو الاستخدام الأمثل للمياه قد حظيت بالكثير من الدراسات والبحوث خلال العقود الماضية، وعلى العديد من المحاصيل الزراعية ولكنها قليلة ونادرة على البن ولكن يمكن الأخذ بمخرجاتها في التسريع في تقدم البحوث على البن إلى مستويات تمكن من وضع برامج تربية وتحسين وراثي للضغوطات البيئة والحيوية التي يوجهها محصول البن، وهو ما يتم حالياً من نقل وتطبيق المنهجيات التي اتبعت في تربية القمح للتحمل للجفاف والاستفادة من مخرجاتها والوصول إلى نتائج سريعة وفعالة على البن (9,22, 12, 40.).

إن قياس تأثير الجفاف من خلال احتساب معامل التثبيط النسبي للجفاف Coefficient Relative inhibition - CRI كنسبة مئوية بين الأداء تحت معاملة الشاهد ومعاملة الجفاف مقسوماً على الأداء تحت ظروف المعاملة الشاهد يتيح معرفة نسبة التأثير (32) أتاح التأكيد على أن معاملات الجفاف المتكرر التي اتبعت في هذه التجربة حسب مبدأ التقليل التدريجي في كميات مياه الري للشتلات حتى

تصل إلى مرحلة الذبول وتكرار هذه العملية خلال فتره من عمر النبات هي منهجية فعالة وكافية (وفي تجربتنا هذه خلال فترة خمسة أشهر) لإظهار تأثير الجفاف؛ إذ إنه خلال هذه الفترة تمت متابعة التغيرات في صفات النمو المظهرية والفسيولوجية أولًا بأول من خلال التقييم الدوري لحالة النباتات في جميع المعاملات ورصد تلك النتائج، وفي نهاية التجربة تمت القياسات الفسيولوجية وحصاد النباتات وأخذ القياسات النهائية على نمو المجموع الخضري والجذري، هذا البروتوكول مكن من ضبط مستويات الجفاف وتطبيقه بشكل بطيء ومتدرج في جميع المعاملات، فالمعاملة الأولى هي الشاهد، والتي فيها كمية الماء في التربة عند حدود السعة الحقلية ولا تنقص عن 80% وفيها نمو النباتات كان طبيعياً ولم يبدو عليها أي تأثير للنقص المائي، وفي المعاملة الثانية كان النقص المائي معتدلًا (60-80% من السعة الحقلية) وعند هذا المستوى كان المظهر العام للنباتات وكذلك القياسات كانت أفضل من معاملة الشاهد، في حين أنه في المعاملة الثالثة 60-40 % من السعة الحقلية بدأ التأثير على النباتات في معظم الصفات الفسيولوجية، وفي حين بدأ تأثير النقص المائي واضحًا في المعاملة الرابعة عندما وصلت السعة الحقلية إلى 20%؛ إذ بدأ تباطؤ النمو واضحا ومتكررًا طيلة فترة تطبيق معاملات التجربة والتي كانت فيها النباتات تصل إلى بدء مرحلة الذبول.

صورة (1): استخلاص المجموع الجذري سليماً في شتلات البن بعمر سنة



صورة (2): كثافة وتوزع الثغور في السطح السفلي لأوراق البن

صورة (3): قياس محتوى الكلوروفيل بجهاز SPAD على شتلات البن

قائمة المصادر والمراجع References

1. Lackner, H. 2021. Climate Change and Conflict in Hadhramawt and Al Mahra. Berghof Report 12/2021.Berghof Foundation, Berlin.
2. World Bank (2010). Yemen – Assessing the Impacts of Climate Change and Variability on the Water and Agricultural Sectors and the Policy Implications, Report No. 54196-YE, p. 20.
3. Clemens Breisinger, Olivier Ecker, Perrihan Al-Riffai, Richard Robertson, Rainer Thiele, Manfred Wiebelt, 2011. Climate Change, Agricultural Production and Food Security: Evidence from Yemen. Kiel Working Paper No. 1747 | November 2011.
4. Ilyun Koh, Rachael Garrett1, Anthony Janetos, and Nathaniel D Mueller 2020. Climate risks to Brazilian coffee production, Environ. Res. Lett. 15 (2020) 104015, https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba471.

5. Al- Hakimi A., 2012. Coffee cultivation and production in Yemen, Book published by Participatory foundation for research and dissemination, Sana'a, Yemen. In Arabic (زراعة وإنتاج البن في اليمن، كتاب منشور عن المؤسسة التشاركية للبحوث والدراسات والنشر، صنعاء اليمن 2012م.
6. DaMatta, F.M. 2004. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. Braz. J. Plant Physiol., 16(1):1-6.
7. Barros RS, Mota JWS, DaMatta FM, Maestri M (1997). Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. Field Crops Res. 54:65-72.
8. Al Hakimi A., 2003. The Use of Some Physiological Traits in Breeding for Drought Tolerance, Egypt. J. Appl. Sci., 18 (8B), 429-439.
9. AL HAKIMI A., P. MONNEVEUX, and G. GALIBA.1995. Soluble sugars, proline, and relative water content (RWC) as traits for improving drought tolerance and divergent selection for RWC from T. *polonicum* into *T. durum*. Journal of Genetics and Breeding 49: 237-244.
10. Al-Hakimi A. 2009, Agro- ecological factors affect chemical compounds and quality of Yemeni Green Coffee. University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences. 13 (3): 257-264. (In Arabic).
11. DaMatta F.M, M Maestri and R.S Barros 1997. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. Photosynthetica, 34 (1997), pp. 257–264.
12. Al Hakimi, A., Murry S., Lombardini L., & Schilling T. 2021. Coffee Genetic Resources in Yemen, Diversity and Importance for Arabica Coffee (Coffea arabica L.) Improvement. 28th Conference Asic 2021. 28 June to 1 July, Montpellier, France, 28, p72.
13. Turner NC (1997) further progress in crop water relations. Adv. Agron. 58:293-338.
14. Blum A (1997) Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: Belhassen E (ed), Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis, pp.57-70. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
15. Mazzafera P, Teixeira JPF (1989) Prolina em cafeeiros submetidos a déficit hydrico. Turrialba 39:305-313.
16. Meinzer FC, Grantz DA, Goldstein G, Saliendra NZ (1990b) Leaf water relations and maintenance of gas exchange in coffee cultivars grown in drying soil. Plant Physiol.94:1781-1787.6.

17. DaMatta FM, Chaves ARM, Pinheiro HA, Ducatti C, Loureiro ME (2003) Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. Plant Sci. 164:111-117.
18. Josis P, Ndayishimiye V, Rénard C (1983) ðtude des relations hydriques chez *Coffea arabica* L. II. ðvaluation de la resistance à la secheresse de divers cultivars à Ghisa (Burundi). Café Cacao Thé 27:275-282.
19. Nunes MA (1976) Water relations in coffee: significance of plant water deficits to growth and yield: a review. J. Coffee Res. 6:4-21.
20. Al-Hakimi A., El-Jaafari S., Monneveux P., 1996. Using chlorophyll fluorescence for improving photosynthetic drought resistance in wheat spp. Conference Paper, Photosynthesis: from light to biosphere. Volume IV. Proceedings of the Xth International Photosynthesis Congress, Montpellier, France, 20-25 August 1995. No., pp.725-728 15. Publisher: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. https://www.cabidigitallibrary.org/author/Al-Hakimi%2C+A.
21. Dash A.P, De D.K, Nath R., Sarkar A., Mohanty S., and Bhattacharyya P.K. 2020. Effect of drought stress on relative water, chlorophyll and proline content in tolerant and susceptible genotypes of lentil (Lins culinaris Medik.)>Journal of Crop and Weed, 16(1):192-198.
22. Al Hakimi A, and Allard B. 2005 Collection, Characterization and Evaluation of Yemeni Landraces of Coffee (Cofea arabica L.), Zagazig J.Agric. Res., Vol. 32 No. (1), 23-34.
23. Morgan JM and Condon AG, 1986. Water use, grain yield, and osmoregulation in wheat. Functional plant biology 13 (4), 523-532.
24. Schonfeild MA, Johnson RC, Crver BF, Mornhinweg DW.1988. Water relation in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28 (3), 526-532.
25. Franks, P. J., & Farquhar, G. D. (2007). The mechanical diversity of stomata and its significance in gas-exchange control. Plant Physiology, 143(1), 78–87. https://doi.org/10.1104/pp.106.089367.
26. Dow, G. J., Berry, J. A., & Bergmann, D. C. (2014). The physiological importance of developmental mechanisms that control stomatal spacing. Plant Physiology, 166(4), 1615–1623. https://doi.org/10.1104/pp.114.248674
27. Hughes, J., Hepworth, C., Dutton, C., Dunn, J. A., Hunt, L., Stephens, J., ... & Gray, J. E. (2017). Reducing stomatal density in barley improves drought tolerance without impacting on yield. Plant Physiology, 174(2), 776-787. https://doi.org/10.1104/pp.17.00352

28. Ramos RLS, Carvalho A (1997) Shoot and root evaluations on seedlings from *Coffea* genotypes. Bragantia 56:59-68.
29. Pinheiro HA (2004) Physiological and morphological adaptations as associated with drought tolerance in robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. *kouillou*). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, PhD Thesis.
30. Medrano H, Chaves MM, Porqueddu C, Caredda S (1998) Improving forage crops for semi-arid areas. Out. Agric.27:89-94.
31. أرول محسن أنور ولي 2016. الأساليب المحسنة لتنبؤ المساحة الورقية في الباقلاء (Vicia faba L.). مجلة تكريت للعلوم الصرفة، 21، (4) -E-ISSN:2415-1726(Online)
32. Mercado, A. 1973. Structure and function of plants in saline habitats: New trends in study of salt tolerance (Translation by Golleck, N.) John Willey and Sons, New York, USA. 160-196.
33. AL HAKIMI A. and P. MONNEVEUX. 1992. Root characteristic and leaf water content in primitive wheat species. In: Genetic Diversity and Plant Breeding for Drought Tolerance in Mediterranean Environments. P. Monneveux and M. Ben Salem (ed.) Les colloques, n°64. Montpellier- France, Dec. 15-17-1992.
34. Huang, B. and H. Gao. 1999. Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. Hort. Sci., 34: 897-901.
35. Huang, B. and J. Fu. 2000. Photosynthesis respiration and carbon allocation in two cool season perennial grasses in response to surface soil drying. Plant Soil, 227: 17-26.
36. Taiz, L. and E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderrland, Massachusetts.
37. Sera Tumoru 2001. Coffee Genetic Breeding at IAPAR. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 1, n. 2, p. 179-199, 2001 179.
38. Al Hakimi A., 2003. *The Use of Some Physiological Traits in Breeding for Drought Tolerance, Egyptin J.Appl. Sci*., 18 (8B), 429-439.
39. Krishnan S, Pruvot-Woehl S, Davis AP, Schilling T, Moat J, Solano W, Al Hakimi A & Montagnon C (2021). Validating South Sudan as a Center of Origin for Coffea arabica: Implications for Conservation and Coffee Crop Improvement. Front. Sustain. Food Syst. 5:761611. doi: 10.3389/fsufs.2021.761611.

40. Simone Scalabrin1,17, Lucile toniutti2,17*, Gabriele Di Gaspero3, Davide Scaglione1, Gabriele Magris3,4, Michele Vidotto1, Sara pinosio3,5, Federica cattonaro1, federica Magni1, Irena Jurman3, Mario cerutti6, Furio Suggi Liverani7, Luciano navarini7, Lorenzo Del terra7, Gloria pellegrino6, Manuela Rosanna Ruosi6, Nicola Vitulo8, Giorgio Valle9, Alberto pallavicini10, Giorgio Graziosi10, Patricia E. Klein11, Nolan Bentley11, Seth Murray12, William Solano13, Amin Al Hakimi14, Timothy Schilling2, Christophe Montagnon2, Michele Morgante3,4 & Benoit Bertrand15,16. A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of Coffea arabica is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. Scientific RepoRtS (2020) 10:4642. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7.
www.nature.com/scientificreports.