Vol.3, No.6, Page 1241-1258,2025 https://doi.org/10.59628/jast.v3i6.2147 ISSN 2958-9568 JAST

SUN PUBLISHER

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology

https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

Evaluation of Genetic Variation in Yemeni Coffee Landraces (*Coffea arabica* L.) for some Morpho-physiological Traits Related to Drought Resistance

Soltana Mohamed Abdulrahman Enabah[1], Mahassen Munibari[1] and Amin Al-Hakimi[2]*

[1]Department of Horticulture and its technics, Faculty of Agriculture, Foods, Environment, Sana'a University, Sana'a, Yemen.
[2]Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Foods, Environment, Sana'a University, Sana'a, Yemen.

***Corresponding author:** *aashakim.ah@gmail.com*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 10- August-2025,
Revised: 13- September -2025,
Accepted: 19- September- 2024
Available online: 28 December 2025

Keywords:

1. Yemeni Coffee
2. Water shortage
3. Heritability
4. Genetic Improvement,
5. Local Varieties
6. Climate Change

ABSTRACT

This research work comes based on for participatory research methodology between the Faculty of Agriculture, Food and Environment at Sana'a University, the Participatory Foundation for Research and Dissemination (PFRD) and the Yemeni Association for Sustainable Agriculture Development (YASAD), in which 20 samples of Yemeni Coffee Landraces (YCL) were collected and tested at an early stage and under an environmentally controlled condition in order to highlight the importance of genetic traits related to the ability of the coffee crop to face drought. This requires the existence of genetic variation that researchers rely on in genetic improvement procedures to increase the ability of local varieties to endure biotic and abiotic stresses of which drought and lack of water are at the forefront of these factors.

In this study, the results showed that there are significant genetic variation in most of the studied traits, and that calculating the components of genetic, and environmental variances enabled the estimation of the degree of heritability, whose values varied between (9-90%), and enabled the distinction of traits that can be relied on in evaluating genetic resources and selecting local varieties and landraces that can be propagated and cultivated or introduced in breeding and genetic improvement programs to produce varieties that are more tolerant and suitable for drought and water shortages and reduce the effects of current and potential climate changes in the future. Principal Component Analyses (PCA) and clustering analyses have enabled the sorting of genetic groups with multiple traits that have demonstrated genetic variation and characterized the most stable and adapted local landraces under drought conditions in the early stages of plant life, plants have been retained and research and evaluation will continue under agricultural field conditions

Vol.3, No.6, Page 1241-1258,2025 https://doi.org/10.59628/jast.v3i6.2147 ISSN 2958-9568 JAST

مجلة جامعة صنعاء للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا
Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology
https://journals.su.edu.ye/index.php/jast/

تقييم التباينات الوراثية في سلالات البن اليمني (*Coffea arabica* L.) لبعض الصفات المورفولوجية والفسيولوجية المرتبطة بمقاومة الجفاف.

سلطانه محمد عبد الرحمن عنبه[1]، محاسن علي عبده منيباري[1]، أمين عبده الحكيمي[2*]

[1]قسم علوم البستنة وتقاناتها، كلية الزراعة والأغذية والبيئة، جامعة صنعاء، صنعاء، اليمن.

[2]قسم علوم المحاصيل والتحسين الوراثي، كلية الزراعة والأغذية والبيئة، جامعة صنعاء، صنعاء، اليمن.

Corresponding author: *aashakim.ah@gmail.com

معلومات المقالة

تاريخ المقالة:

تاريخ التقديم: 10 -أغسطس -2025

تاريخ القبول:19- سبتمبر – 2025

تاريخ النشر : 28- ديسمبر-2025

الكلمات المفتاحية

1. القهوة اليمنية
2. نقص الماء
3. درجة التوريث
4. التحسين الوراثي
5. الأصناف المحلية
6. التغيرات المناخية

الملخص:

يأتي هذا العمل البحثي ضمن منهجية البحوث بالمشاركة بين كلية الزراعة والأغذية والبيئة بجامعة صنعاء، والمؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر (PFRD) والجمعية اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة (YASAD) والتي تم فيها جمع 20 عينة من سلالات البن اليمنية واختبرت في الاعمار المبكرة وتحت بيئة متحكم بها بيئيا بغرض ابراز أهمية الصفات الوراثية ذات العلاقة بمقدرة محصول البن على مواجهة الجفاف، ويستلزم ذلك وجود تباينات وراثية يستند إليها الباحثون في إجراءات التحسين الوراثي لزيادة مقدرة الأصناف المحلية على تحمل الإجهادات الحيوية واللاحيوية والتي يعتبر الجفاف ونقص الماء في مقدمة تلك العوامل. في دراستنا هذه اوضحت النتائج أن هناك تباينات وراثية هامة في معظم الصفات المدروسة، وأن حساب مكونات التباينات البيئية والوراثية مكنت من حساب درجة التوريث التي تباينت قيمها بين (9-90%) وساعدت في تميز الصفات التي يمكن الاعتماد عليها في تقييم المدخرات الوراثية وانتخاب الطرز والسلالات المحلية التي يمكن إكثارها وزراعتها أو إدخالها في برامج التربية والتحسين الوراثي لإنتاج أصناف أكثر تحملا وتلاؤمًا للجفاف والنقص المائي وتقليل آثار التغيرات المناخية الحالية والمحتملة في المستقبل. التحاليل الإحصائية للمكونات الأساسية (Principal Components analyses – PCA) والتحليل العنقودي (Clustering analyses) مكنت من فرز مجاميع وراثية تتصف بصفات متعددة أثبتت التباينات الوراثية وميزت السلالات المحلية الأكثر استقرارًا وتلاؤمًا تحت ظروف الجفاف في المراحل المبكرة من عمر الأشجار، تم الاحتفاظ بالنباتات وسيتم مواصلة البحث والتقييم تحت ظروف الحقل الزراعي.

1. المقدمة (Introduction)

يعود الفضل لليمنيين في الأسبقية في استزراع البن وتطوير طرزه وأساليب زراعته وتجارته وابتكار استهلاكه كقهوة بعد ان استخدموه كنبات طبي في معالجة الكثير من الامراض كما وثقته كتب الرازي وابن سيناء منذ أكثر من ألف عام، وكلمة "Coffee" بالإنجليزية والمنتشرة بكل لغات العالم هي بالأساس كلمة "قهوة" بالعربي وسمي على أساسها الاسم العلمي للبن اليمني *Coffea arabica* L.) [1]. وتسجل البحوث العلمية إسهام اليمنيين في تمكين هذا المحصول الاقتصادي من أن يزرع حاليا في أكثر من 120 دولة وبمساحة تقدر ب 11 مليون هكتار، وتمثل مصدر معيشة ودخل لأكثر من 125 مليون شخص في أنحاء العالم [2].

تتعرض زراعة البن في اليمن للعديد من الضغوطات التي تعيق نموه وازدهاره، بل وتسببت في تراجع زراعته وإنتاجه خلال القرن الماضي، مما أثر كثيرا على عوامل مقومات استدامته وتطوره وتراجع شهرة العالمية التي اكتسبها خلال أكثر من سبعمائة عام من زراعته واحتكار تجارته، ومكنت من رفع مكانة اليمن واليمنيين في ابتكار مشروب القهوة واستزراع البن وتطوير أصنافه وتقنيات زراعته ونقلها للعالم [1]، يعاني اليمن من النقص في كمية المياه نظرا لأنه يقع ضمن النطاق البيئي الجغرافي المناخي الجاف والجاف جدا وأن كمية الأمطار التي تهطل على اليمن ولاسيما على المرتفعات الجبلية شحيحة وغير منتظمة على مدار العام، يعتبر توافر الماء من أهم العوامل المحددة لزراعة ونمو البن في اليمن نظرا لأن هذا النبات له متطلبات مائية لابد من توفرها للنمو والإنتاج، وتشير المراجع اليمنية إلى أن البن واحتياجاته المائية تتراوح ما بين800– 1600 مليمتر حسب نوع الأراضي [3]. تفاقمت مشكلة الجفاف أكثر في العقود الأخيرة نتيجة التغيرات المناخية وتأثيراتها على الزراعة اليمنية والتي أصبحت أمرا واقعا، وكل سنة تشتد وطأتها أكثر وأكثر وتلاحظ آثارها في تطرف درجتي الحرارة، وتذبذب فترات وكميات الأمطار، وتكرر حدوث كوارث الفيضانات والسيول والبرّد، وكلها عوامل تتسبب في تدني الإنتاج وتؤثر على الزراعة بشكل عام، وزراعة البن وجودته بشكل خاص [4]. عوامل عديدة يعزى إليها تراجع الزراعة اليمنية أهمها إغفال أو اندثار الخبرات والمعارف المحلية في إدارة الأراضي المطرية واندثار التقنيات التقليدية المبتكرة في حصاد المياه والمحافظة على رطوبة التربة واستغلال أمثل للمياه، اكتسب المزارعون اليمنيون دراية بالأنشطة الزراعية منذ العصور القديمة، ونجحوا في تطوير عدد من تقنيات الزراعة المناسبة للتكيف مع الجفاف وقلة المياه [5، 6].

يلخص الشكل (1) أهم التحديات التي تبرز كمعضلات وتحديات تواجه زراعة وإنتاج البن في اليمن ونموه وازدهاره. كما هو حال العديد من البلدان الأخرى، يتأثر اليمن بحدوث تغير المناخ [7، 8] فقد وثق تقرير التقييم الرابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) بناء على دراسات قطرية أنه من المتوقع أن تشهد درجة الحرارة في اليمن ارتفاعاً بمقدار3–4 درجات مئوية بحلول عام 2080 ومعدل هطول الأمطار أقل، ومن المتوقع أن يكون توزيعه متقلباً وغير مستقر مع احتمالات كبيرة لسقوط أمطار مرتفعة الغزارة تسبب الكوارث [9، 10].

ولان البن وزراعته في اليمن تعتمد على الامطار فان الجفاف يؤثر كثيرا في الإنتاج وتدني الغلة (307–371 كغ بالهكتار) وتذبذبه من سنة إلى أخرى [1، 11].

ولفهم تأثير النقص المائي على المحاصيل الزراعية ومنها البن قام الباحثون بالتحقيق في إجهاد الجفاف على الصفات

الشكل (1). اهم التحديات التي تواجه زراعة وإنتاج البن في اليمن[4، 5، 8].

© 2025 JAST

الفسيولوجية التي تتحكم في تحسين مقدرة النباتات على الاحتفاظ بمحتوى مائي كافٍ في الخلايا نتيجة تراكم الذائبات وزيادة القدرة الأســـموزية، أو تقليل الفقد المائي من الأوراق من خلال المقدرة على فتح وإغلاق الثغور وتقليل التبخر منطبقة البشرة، او العمل على انخفاض نشاط التمثيل الضوئي وتعزيز الإجهاد التأكسدي وزيادة مرونة جدار الخلية وتراكم المستقلبات السامة التي تسبب موت النبات [8].

تقاوم أشجار البن الجفاف من خلال استراتيجيات التأقلم مع حالة نقص الماء أو التحمل للجفاف، وليس هناك آليات واضحة حتى الآن في التجنب أو الهروب كما هو الحال في المحاصيل الحولية، تبدي نباتات البن بعض صفات التلاؤم مع حالة الجفاف مثل خصائص تصغير الأوراق وتقليل المساحة المعرضة للفقد المائي الناتج عن التبخر والنتح، وأيضًا تجفيف الأوراق كليًا أو جزئيًا [12] وتساقط الأوراق السفلية، وزيادة مقاومة البشرة والثغور [13، 14].

لتقييم تأثير الجفاف على نمو شتلات البن فانه يتطلب العمل في مراحل متعددة من حياة النبات تبدأ من مرحلة الإنبات واطوار النمو المختلفة، 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 الوراثية بسهولة [15] كما يمكن إخضاع المادة الوراثية لنفس الظروف ولنفس مستويات الإجهاد، ويتم متابعة سير التجربة من الإنبات و تسجيل 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 أو بعد تطبيق مستويات معاملات الجفاف [16،17] .

تعد انخفاض توافر الماء ودرجات الحرارة المرتفعة وتقلص ضغط البخار وارتفاع عدد ساعات سطوع الشمس من بين العوامل الرئيسية المقيدة للتكاثر والنمو والتطور والتوزيع الجغرافي للنباتات في النظم البيئية للبحر الأبيض المتوسط، ومن هنا فإن النباتات التي تمتلك قدرة على تقليل الفقد المائي من بشرتها مثل تراكم المواد الشمعية وغيرها تحد من تأثير تلك العوامل على تحمل النباتات لفترة أطول بدون أضرار [18، 19]. كما تتلاءم النباتات مع النقص المائي بالمحافظة على مقدره عاليه في التمثيل الضوئي واستمرار تدفق الغذاء لأجزاء النبات وذلك في إغلاق الثغور وانخفاض معدل النتح [20]، وانخفاض جهد الماء في أنسجة النبات، وتقليل التمثيل الضوئي، وتراجع في نمو الأوراق والجذور والأنسجة الأخرى [21،22].

لتربية أصـــناف مقاومة للجفاف وقادرة على مواجهة الضغوطات البيئية التي يمكن أن تواجه محصول البن في اليمن يتطلب أولا أن نمتلك المادة الوراثية ومعرفة خصـائصـها الوراثية ومدى إمكانية استخدامها كقاعدة وراثية مباشرة لتحسين صفات التحمل والمقاومة للجفاف[23، 24، 25]. بينت بعض الدراسات أن اليمن لايزال مخزونًا وراثيًا مهمًا للبن خاصـــة أن المزارعين اليمنيين في طول وعرض اليمن طوروا ســـلالات محلية متأقلمة مع ظروف الزراعة الخاصـــة بكل منطقة، ولذلك أعطوا تلك الســـلالات المحلية أســـماء المناطق أو أشـــكالها المورفولوجية والثمرية [26،27،28].

الأبحاث المنشورة في تقييم التباين الوراثي في البن العربي في العالم قليلة، وفي اليمن محدودة جدا[27، 28، 29، 30] ونستعرض هنا الطرق التقليدية التي تعتمد على التوصيف المورفولوجي والفيزيولوجي [23]، والتقييم في بيئة متحكم بها لتلك الصفات لنباتات في الأعمار المبكرة وذلك لتقليل أي تأثيرات بيئية وتعظيم التباينات الوراثية [23، 28]. تستخدام الطرق الإحصائية في تقييم التباين الوراثي، مثل مقارنة المتوسطات والانحراف المعياري ومعامل الاختلاف وتحليل التباين (ANOVA) والتحاليل متعددة العوامل مثل تحليل المكونات الرئيسية (Principle Component Analysis – PCA) والذي يساعد في تحديد الأنماط الجينية المتشابهة أو المجموعات الوراثية [23]، والتحليل العنقودي (Cluster Analysis) الذي يستخدم لتجميع الأصناف أو الأفراد بناءً على التباين في صفاتهم الجينية أو المورفولوجية.

التحسين الوراثي لمواجهة آثار تلك التغيرات المناخية يعتبر من أفضل الأساليب التي ستعمل على إيجاد أصناف متلائمة ومتحملة لتلك التغيرات وتقليل آثارها [7،8] . وضمن هذه

© 2025 JAST

الاستراتيجية يندرج هذ البحث ضمن المساعي والأنشطة التي تهدف إلى التقليل من آثار التغيرات المناخية والمتمثلة بالجفاف الذي يؤثر كثيرا على الزراعة اليمنية وتهدد مستقبل زراعة وإنتاج البن في اليمن.

2. أهداف الدراسة

يهدف هذا البحث إلى التعرف على مدى وجود تباينات وراثية في البن اليمني وتقييمها وبخاصة في الصفات ذات العلاقة في مقاومة الجفاف، وتثمين هذه التباينات والمحافظة عليها بغية استخدامها في برامج التربية والتحسين الوراثي تحت الظروف اليمنية كونها تمثل الوسيلة الوحيدة الأسهل والأرخص والممكن في الوقت الحالي.

كما يهدف هذه البحث إلى اختبار منهجية بحثية تمكن من إثبات وتقدير تلك التباينات تحت الظروف اليمنية وبخاصة تلك الصفات المورفولوجية والفسيولوجية التي تظهرها شتلات البن المعرضة للجفاف والنامية تحت ظروف متحكم بها، ورسم رؤى وتصورات لاستراتيجية بحثية لمواجهة آثار الجفاف التي تواجه الزراعة اليمنية وبخاصة زراعة وإنتاج البن.

3. المواد وطرق البحث

مكان وبيئة التجربة: تم تنفيذ التجربة في بيئة متحكم بها في معمل بحوث البن التابع للمؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر Participatory Foundation for Research and Dissemination (PFRD)) والجمعية اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة (Yemeni Association for Sustainable Agriculture Development–YASD). في امانة العاصمة صنعاء والذي صمم ليتناسب مع المتطلبات البيئية لإنبات ونمو شتلات البن [1]، وتقليل التأثيرات الخارجية والأخطاء التجريبية إلى أدنى حد، وفيه تم تأمين المعطيات المناخية على طول فترة التجربة ملائمة لنمو شتلات البن:

- متوسط درجة الحرارة العظمى ضمن المدى (30C°) إلى 22C°) والدنيا من (18C°) إلى 5.1C°)، والرطوبة الجوية (33–56%)، وشدة الإضاءة نهارا من (3000–5000 لوكس) وليلا في الظلام (000).

التحاليل الفسيولوجية والمخبرية تمت في معامل كلية الزراعة والأغذية والبيئة جامعة صنعاء والمؤسسة التشاركية (PFRD)، والجمعية (YASAD).

المادة الوراثية ومعاملة البذور:

تم تجميع 20 عينة على شكل ثمار من مناطق وحقول مختلفة وبمساعدة المزارعين على اعتبار انها سلالات معروفة لدى المزارع (Yemeni Coffee Landraces (YCL)) جدول(1)، وتم واستخراج البذور من قشورها ونظفت وفرزت البذور المكتملة السليمة، وتم تجفيفها في جو الغرفة ثم عوملت بالرماد وتم الاحتفاظ بها حتى الزراعة حسب التوصيات [1].

الإنبات والرعاية:

زرعت البذور في يونيو2021م في أطباق إنبات مليئة بالتربة الصناعية "بتموس" وضعت تحت نفق بعيدة عن الضوء، وتم ريها جيدا، وعندما وصلت البادرات إلى طور الفراشة (استغرقت المدة تقريبا 110 يوم من الزراعة) نقلت إلى أكياس بولي اثلين سوداء بحجم 20x13 سم مليئة بنفس الكمية من التربة المكونة من الخفان والتربة الطينية بنسبة1: 2 على الترتيب، وتم رعاية الشتلات تحت الظروف المعملية المثالية لرعاية شتلات البن واستمرت رعاية وتقييم نمو الشتلات حتى عمر سنة، ومن ثم تم البدء بتطبيق معاملة الجفاف.

التصميم التجريبي ومعاملة الجفاف

نفذت التجربة بالتصميم العشوائي الكامل (RCD) بأربعة مكررات وعدد المعاملات التجريبية20 عينة من سلالات البن المحلية وكان اجمالي الوحدات التجريبية 80 وحدة تجريبية. ولتطبيق الجفاف تم الاسترشاد بنتائج أبحاث سابقة أكدت على فعالية تطبيق مبدأ الجفاف المستمر والمتكرر كأسلوب لإحداث تأثير للجفاف على البن[8، 31] وعلى المحاصيل الزراعية تحت ظروف التقييم المعملي وفي بيئات متحكم بها، وعند بداية وصول النباتات إلى مرحلة التفرع للشتلات تم بدء تقليل كمية ماء الري إلى أدنى مستوى (أي يتم ري النباتات قبل أن تصل إلى نقطة الذبول، وهو ما يتوافق مع 35% من السعة الحقلية)، ومع تكرار تطبيق الجفاف المتتالي تم متابعة تأثير الجفاف على نمو الشتلات بشكل دوري كل شهر وعندما وصلت الشتلات إلى مرحلة التفرع الثاني عمر سنتين من الزراعة تم إجراء القياسات والتحاليل في هذه المرحلة الأولى

© 2025 JAST

(Ph1) والنباتات عند مستوى رطوبة قبل مرحلة الذبول. ومن ثم استمر تطبيق الجفاف المتكرر على الشتلات خلال فترة خمسة أشهر بحيث لا يتم ري النباتات إلا عند وصولها إلى مرحلة الذبول وهو ما يتوافق و25% من السعة الحقلية للتربة، وقبل اكتمال عمر الشتلات السنة الثانية والنصف تم إجراء الدراسات الفيزيولوجية النهائية (Ph2).

الجدول 1. يبين موقع ومنطقة جمع العينات والمصدر

الرقم	المنطقة والموقع والمحافظة	المصدر
1	بني سليمان/الحيمة1 صنعاء	YASAD
2	بني سليمان الحيمة2 صنعاء	YASAD
3	بني سليمان/الحيمة3 صنعاء	YASAD
4	بني. سليمان/الحيمة3+ صنعاء	YASAD
5	بني سليمان/الحيمة 4 صنعاء	YASAD
6	بني سليمان/الحيمة5 صنعاء	YASAD
7	بني سليمان/الحيمة6 صنعاء	YASAD
8	بني.سليمان/الحيمة6+صنعاء	YASAD
9	بني سليمان/الحيمة7صنعاء	YASAD
10	بني سليمان/الحيمة7+صنعاء	YASAD
11	وصاب الحجر– ذمار	YASAD
12	وادي بقلان/ بني مطر – صنعاء	YASAD
13	وادي جارف /بني مطر صنعاء	YASAD
14	يافع/ ذي ناخب / الحنكة– لحج	YASAD
15	يافع / ذي ناخب / الحنكة– لحج	YASAD
16	يافع / ذي ناخب / قوعة – ابين	YASAD
17	وصاب السافل / ذمار	YASAD
18	بني.سليمان/الحيمة صنعاء(7++)	YASAD
19	وصاب السافل/ وادي شهاره–ذمار	YASAD
20	وصاب/ الناصفة – ذمار	YASAD

***YASAD** = الجمعية اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة، الأرقام (1،3) تشير الى المواقع و(+) تدل على تكرار العينة في الموقع.

الصفات المدروسة وطرق قياسها

- **طول النبات** Plant Height (PLH): تم قياسه بالمسطرة من قاعدة النبات إلى اقصى طول للورقة (cm). طول الورقة، Leaf Length (LL) وعرضها (cm).
- **المساحة الورقية** Leaf areas (LA): باستخدام المعادلة (الطولxالعرض) x 0.61 في cm^2
- **قطر الساق** Stem diameter (SD) (mm)، باستخدام الأدمة الالكترونية
- **كثافة الثغور (Stoma)** تم قياسها بطريقة بصمة جزء من بشرة الورقة السفلية بخضاب الأظافر الشفاف وعد الثغور تحت المجهر الضوئي بتكبير 10x 40 [7]
- **الكلوروفيل: (CHL)** تم قياسه باستخدام جهاز SPAD20 (وحدة قياس) [8]
- **المحتوى المائي النسبي %(RWC): تم** تحديد المحتوى المائي النسبي حسب طريقة [7، 32]،
- **التبخر البشري (Cuticular transpiration) أو الفقد المائي من الأوراق (Leaf Water Loss – LWL)** تم قياسها على أوراق البن المكتملة النمو حسب [33،34]

الوزن النوعي للورقة (LSW– Leave Specific Weight) أو ما يسمى كتلة المادة الجافة في مساحة الورقة (Mass per Leaf Area (MLA): وهي تعبير عن التباينات في سماكة الأوراق (gm^{-2}) ويتم حسابه باستخدام المعادلة التالية = (الوزن الجاف)/(المساحة الورقية).

بصورة عامة تمت جميع القياسات على الأوراق المكتملة النمو وبعمر واحد (وتحديدا الأوراق الواقعة قبل الورقة النهائية النامية على الساق الرئيسي).

التحاليل الوراثية وتقدير مكونات التباين

تم تجميع البيانات التجريبية في قاعدة بيانات باستخدام برنامج إكسل، والتحاليل الإحصائية تمت في برنامج (GeniStat12) من خلال إجراء تحليل التباين (ANOVA, Analyze of Variance) التي استخدمت مكوناتها في تقدير التباينات بين السلالات المختلفة، والتباين عن الخطأ التجريبي وبين المكررات. ولتحليل التباين الوراثي والتباين الكلي في تجربتنا التي تشمل 20 عينة (Landraces) وأربعه مكررات (r)، وفيما يلي الخطوات الأساسية التي تم اتباعها لتحليل التباينات [35]:

– التباين الوراثي Genotypic Variance (σ^2g) وهو التباين الناتج عن الاختلافات بين العينات النباتية.

– التباين البيئي Environmental Variance **(σ^2e)** وهو التباين الناتج عن العوامل البيئية (المكررات).

– التباين الكلي Total Variance (σ^2p): مجموع التباين الوراثي والبيئي. ويتم حساب التباينات من جدول تحليل التباين (ANOVA) **وفق المعادلات التالية:**

$$\sigma^2g = \{MS\{Landraces\} - MS_\{Error-r\}/ r$$

حيث: ={MS{Landraces هو متوسط مربعات التباين بين العينات أو السلالات، ={MS_{Error-r هو متوسط مربعات الخطأ (المكرر)، r هو عدد المكررات

- معادلة التباين الكلي σ^2p

$$\sigma^2e+ \sigma^2g =\sigma^2p$$

– التحليل الوراثي وتقدير درجة التوريث بالمفهوم الواسع (Broad-Sense Heritability, H^2)

- يتم حساب التوريث بالمفهوم الواسع لمعرفة نسبة التباين الوراثي من التباين الكلي حسب المعادلة:

$$H^2 = (\sigma^2g/\sigma^2p) \times 100$$

- كلما زادت قيمتها، زادت نسبة التأثير الوراثي في الصفة، مما يعني أن الانتقاء سيكون أكثر فعالية.

4. النتائج والمناقشة

تحليل البيانات المجمعة أتاح مقارنة المتوسطات والانحراف المعياري للصفات المورفولوجية والفسيولوجية في المرحلة الأولى من القياس (Ph1) وفي المرحلة الثانية (Ph2) جدول (2)، التي من خلالهما يمكن عرض النتائج الآتية:

– **طول النبات PLH1:** تم قياسه فقط في المرحلة الأولى وتبين النتائج أن متوسط اطوال الشتلات في المرحلة الأولى (Ph1) بعمر سنتين تباينت بشكل واضح فسجلت أقصر سلالة 34.3 سم وأطول سلالة 61.8 سم، كما أن نتائج تحليل التباين أوضحت أن هناك فروقات بين السلالات المدروسة وهذه الاختلافات ذات دلالة إحصائية حيث إن أقل فرق معنوي هو (4.2 سم).

– **قطر الساق SD:** توضح النتائج لقطر الساق عند ارتفاع 5 سم من سطح التربة على وجود تفاوت كبير بين العينات بهذه الصفة والتحاليل الإحصائية تبين أن تلك الاختلافات معنوية وأن أقل قطر كان (3.5 mm) واسمك ساق كان (7.1) مليمتر في السلالة رقم 13.

– **عرض الورقة LW:** أظهرت السلالات فيما بينها فروقات واضحة وهو ما يشاهد في نتائج تحليل التباين واختبار أقل فرق معنوي $LSD_{0.05}$ والتي كانت (2.4) وكان الفرق بين أقل وأكبر عرض 2.8 – 4.6 سم على التوالي. **وفي المرحلة الثانية** من تطبيق الجفاف تبين النتائج الشكل (2b) وجود هذا التباين أيضا حيث كانت قيم أقل و أكبر عرض للأوراق (2.6) و (4.8) سم على التوالي، مما يشير إلى وجود تباين وتأثير لشدة الجفاف في عرض الورقة.

– **طول الورقة LL:** القياسات التي تمت في المرحلة الأولى من تطبيق الجفاف أوضح أن السلالات المحلية تمتلك أطوال أوراق تختلف عن بعضها وتحليل التباين اثبت أن هذه الفروقات ذات دلالة إحصائية، حيث كانت قيمة أقل فرق معنوي (3.7) وكان المدى واضحا لهذه الصفة ما بين أقل قيمة 6.0 سم وأعلى قيمة كانت 10.2سم. ويتبين من النتائج (2a & b) هذه أن أطول الأوراق في السلالات المحلية تتفاوت في اطوال أوراقها. **وفي المرحلة الثانية الجفاف** أكدت النتائج لهذه الصفة تأكيد التباين الواضح بين السلالات حيث كان قياس أكبر طول (8.9) وأصغر طول (5.3cm) وبينت التحاليل الإحصائية أن هناك فروقات معنوية بين السلالات. وتوضح النتائج (شكل 2a&b) أن الجفاف اثر بشكل واضح على اطوال الأوراق وهو ما انعكس بشكل واضح في مساحة الأوراق.

– **مساحة الأوراق LA: في المرحلة الأولى** من تطبيق الجفاف المتكرر نجد ومن خلال النتائج المعروضة في الشكل (2a&b) أن هذه الصفة كانت أكثر الصفات التي أظهرت فروقات واضحة للعيان في القياسات الشهرية والتحاليل الإحصائية التي تمت في المرحلة الأولى بينت الفروقات بين تلك السلالات بأنها فروقات معنوية جدا حيث كانت قيمة أقل فرقا معنويا هو (2 سم)، وهناك عينات بمساحات ورقية مختلفة حيث وجد أن أكبر مساحة للأوراق هو (34.0سم^2) وأقل مساحة (13.0) سم^2، مما يثبت أن السلالات المحلية تمتلك أوراق متباينة في مساحتها وبشكل واضح ويمكن اعتبار هذه الصفة دليلا للتوصيف وتمييز السلالات والأصناف. **في المرحلة الثانية** (الشكل (2a&b)) من تطبيق الجفاف استمرت السلالات في إظهار هذا التباين في مساحة الأوراق والتي كان الفرق بين أكبر وأصغر مساحة ورقية (28.8 سم^2) و (13.2)

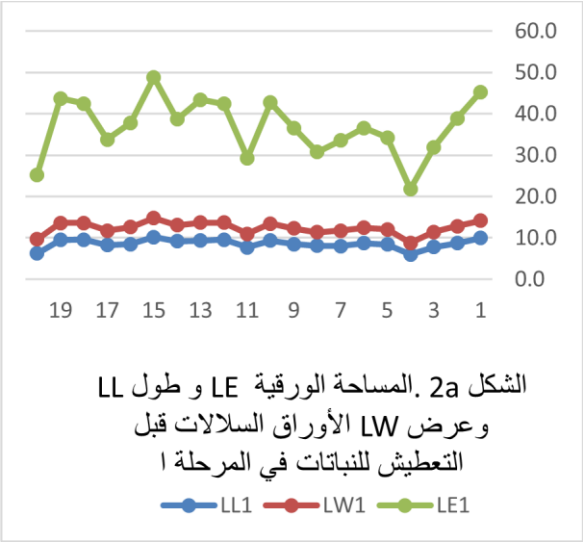
© 2025 JAST

على التوالي، وأكدت هذه التباينات التحاليل الإحصائية للتباين واختبار أقل فرق معنوي والذي أوضح أن هذه السلالات تختلف عن بعضها بفروقات معنوية.

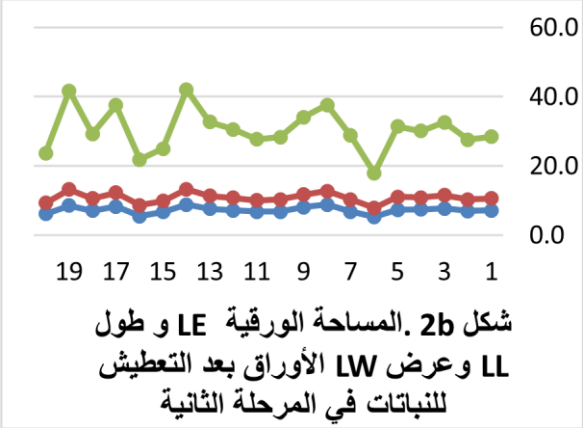
يتضح لنا من هذه النتائج أن السلالات المحلية التي درست تتفاوت في مساحة الأوراق وفي الاستجابة لدرجة الجفاف، وكان هذا التباين واضحًا منذ بداية مراحل النمو للشتلات واستمر طول فترة التجربة، وهو ما أكدته القياسات في نهاية التجربة. يتضح من النتائج أن الجفاف والتعطيش المتتالي والمستمر للنباتات أدى إلى تقلص مساحة الأوراق، حيث إن الأوراق التي نمت أثناء الجفاف تكون أصغر في الأبعاد والمساحة من الأوراق التي نمت في الفترة التي ليس فيها جفاف، وهذا يتطابق مع الإثباتات والنتائج السابقة على البن اليمني [37،8] والتي وضحت أن تأثير الجفاف يكون كبيرًا على أبعاد ومساحة الأوراق، من النتائج هذه يتبين لنا مقدرة استجابة السلالات اليمنية المختلفة لتصغير حجم الأوراق تحت تأثير الجفاف، وهو ما يؤكد على أنه من المؤشرات المهمة لإبراز التباين ولفرز العينات المدروسة حسب درجة التأثر بالجفاف.

كثافة الثغور(Stomatal density (stom

من خلال القياسات التي تمت على عينات البن اليمني يمكن تأكيد أن الثغور فقط تتواجد على السطح السفلي للأوراق، وهي متوزعة بشكل عشوائي، وبأحجام مختلفة ولكن بشكل عام هي إهليلجية – بيضاوية وهو يتطابق مع تم تسجيله سابقا [8]. النتائج في الجدول (2) تبين أن أعداد الثغور في الحقل المجهري تفاوتت في السلالات المحلية المدروسة حيث كانت أقل قيمة (14 ثغر) في السلالات3،10، 11، 12،13) وكانت أكبر قيمة 22 في العينة رقم (1). النتائج والتحاليل الإحصائية بينت أن هناك تباينًا في أعداد الثغور بين السلالات المحلية من البن اليمني، حيث إن قيمة أقل فرق معنوي (1.9) تشير النتائج الى انه يمكن للثغور ان تلعب دور حيوي هام تحت ظروف البيئة اليمنية الجافة، نظرا لما لها من اهمية في وظائف النباتات والتكيف مع النقص المائي [37].



الشكل 2a. المساحة الورقية LE و طول LL وعرض LW الأوراق السلالات قبل التعطيش للنباتات في المرحلة ا



شكل 2b. المساحة الورقية LE و طول LL وعرض LW الأوراق بعد التعطيش للنباتات في المرحلة الثانية

محتوى الكلوروفيل CHL

قياس محتوى الكلوروفيل في أوراق البن بجهاز SPAD أتاح إجراء تقييم سريع لحالة الورقة الصحية والتغيير في لونها وبشكل دوري شهريا لمتابعة حالة الجفاف، نتائج القياسات في نهاية المرحلة الأولى من تطبيق الجفاف المعتدل والمرحلة الثانية عند استمرار واشتداد الجفاف تبين في جدول (2) أن محتوى الكلوروفيل في الأورق تباين بشكل واضح وبفروقات معنوية بين السلالات المدروسة و قيمة LSD(6) واقل محتوى كلوروفيل كان 52.9 وأكبر قيمة 62.3.

وفي المرحلة الثانية جدول (2) أدى اشتداد الجفاف في تركز أكثر في محتوى الكلوروفيل حيث بلغت أكبر قيمة وأقلها في السلالات (63 و55.5) على التوالي مما يشير الى ان الجفاف يؤدي الى زيادة تركيز الكلوروفيل في البن على عكس العديد من المحاصيل الأخرى وهو ما يتفق والنتائج السابقة [8 ,7]، وقد حافظت السلالات المحلية في إظهار التباينات الوراثية في هذه الصفة سواء تحت ظروف الجفاف المعتدل أو تحت ظروف الجفاف الشديد في Ph2.

© 2025 JAST

المحتوى المائي النسبي RWC

تعبر هذه الصفة عن الحالة المائية للنبات فهي في **المرحلة الأولى** كانت قيمها مرتفعة بشكل عام رغم وجود تفاوت في المحتوى المائي للأوراق وذلك بسبب التعطيش والجفاف المتتالي الذي تعرضت له الشتلات وأظهرت تباينًا في كمية احتوائها على الماء وباختلافات معنوية بين السلالات، فسجلت أقل قيمة (71%) وأعلى قيمة كانت (96 %). حيث وجد أن RWC كصفة تدل على حفظ الماء في نباتات البن تحت ظروف الجفاف، وعلاقتها بالتحكم بعملية النتح للماء وأيضًا المرونة المحدودة للجدر الخلوية، كما أن المحتوى المائي النسبي يرتبط معنويًا مع العديد من الصفات والتي تعتبر جميعها مؤشرات سهلة الاختبار، ويمكن استخدامها لغربلة المدخرات الوراثية من البن وتوصيفها لتحملها للإجهادات البيئية في المراحل المبكرة من حياة النبات، وتحت ظروف التقييم المعملي في بيئة متحكم بها [8]. في المرحلة الثانية تناقص المحتوى المائي بشكل واضح نتيجة الجفاف حيث كانت السلالات بقيم متفاوتة فأكبر قيمة كانت (93.5) في السلالة (20) وأصغر قيمة (61.3) في السلالة (3) وهو ما أتاح فرز السلالات التي تتمكن من الاحتفاظ بمحتوى مائي نسبي عالٍ عن غيرها من السلالات.

كمية الفقد المائي أو التبخر من بشرة الورقة

تم قياس نسبة الفقد المائي من الأوراق والتي حسبت منسوبة إلى وزن المادة الجافة للورقة (mg.g.h) والتي عكست مقدرة العينات المدروسة في ابراز التباين في كميات المياه المتبخرة من سطح الأوراق، وكانت هذه الاختلافات ذات دلالة إحصائية كما يلاحظ في الجدول (2)، وأن المدى لهذه القيم كان كبيرًا حيث كانت القيم تتفاوت بين أعلى قيمة 176.3 وأقل قيمة 62.7 ملغرام/جرام مادة جافة/ الساعة، والسلالات المدروسة أظهرت فروقًا معنوية ($LSD_{0.05}$) فيما بينها سواء في المرحلة الأولى اوفي المرحلة الثانية. هذه الاختلافات بين السلالات في كمية المياه المتبخرة من بشرة الورقة تفيد في انتخاب فعال لأفضل السلالات التي تقلل من فقد الماء وخاصة تحت ظروف البيئة اليمنية حيث الجو الجاف وارتفاع سطوع الشمس وارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي فإن أهمية البحث عن مادة وراثية تتمتع بمواصفات لتقليل فقد الماء تعد ذات أهمية قصوى [8].

الوزن الجاف للورقة LDW: تعتبر هذه الصفة مهمة في ابراز التباين في النمو تحت ظروف الجفاف والنتائج بينت في المرحلة الأولى جدول (2) أن هناك تباينًا وظهر هذا التباين في القيم تحت ظروف الجفاف المتوسط حيث كانت قيم أقل وزن جاف للأوراق (0.085 جرام وأكبر قيمة كانت (0.176) جرام، وفي المرحلة الثانية نجد ان الجفاف قلل من تراكم المادة الجافة للورقة ولكن بقى التباين أيضًا كبيرًا وأكثر وضوحًا حيث بلغت القيم العليا والدنيا لهذه الصفة فيما بين السلالات من (0.13) و(0.02) جرام على التوالي (جدول.2). ونتائج التحاليل الإحصائية بينت أن الاختلافات معنوية بين هذه السلالات، وهو ما تشير إليه قيم أقل فرق معنوي $LSD_{0.05}$.

الوزن النوعي للأوراق SLW: في المرحلة الأولى تبين النتائج المعروضة في الجدول أن هذه الصفة تباينت بشكل واضح وبدلالة إحصائية بين السلالات المختلفة حيث إن أقل سلالة كانت (5) وأكبرها (7) جدول (2)، وفي المرحلة الثانية تبين النتائج أن هذه الصفة تأثرت جدًا بالجفاف حيث كانت القيم بشكل عام متدنية وتفاوتت أقل قيمة وأكبر قيمة بين (3.2 و 5.5) على التوالي، مما يدل على أن هذا التباين بين السلالات له أساس وراثي والاختلافات ذات دلالة معنوية، وهو ما أوضحته قيم أقل فرق معنوي سواء في المرحلة الأولى (1.12) أو في المرحلة الثانية (1.01) جدول (2) .

تقدير المكونات الوراثية

نتائج البيانات الإحصائية لجداول تحليل التباين للصفات التي تم دراستها في المرحلة الأولى استخدمت في تقدير مكونات التباينات الكلية والوراثية، ودرجة التوريث للصفات المورفولوجية والفسيولوجية التي تمتلكها السلالات المحلية من البن اليمني، لعدد (20) عينة. النتائج في الجدول (3) تبين أن الصفات المورفولوجية مثل الوزن الجاف للأوراق LDW، والمحتوى المائي النسبي (RWC)، ومحتوى الكلوروفيل (CHL) وعرض الورقة، وطول النبات (PLH) تمتلك درجات توريث عالية، بينما الفقد المائي جرام. متر مربع. الساعة (LWLg.m2.1h).و مساحة الورقة (LA) وكثافة الثغور، والمحتوى المائي النسبي (RWC)، ومحتوى الكلوروفيل (CHL) وعرض الورقة، وطول النبات (PLH) تمتلك درجات توريث عالية، بينما الفقد المائي جرام. متر مربع. الساعة (LWLg.m2.1h).و مساحة الورقة (LA) وكثافة الثغور (Stoma) تمتلك درجات توريث متوسطة، بينما الصفات الأخرى مثل الفقد المائي جرام من المادة الجافة (LWLmg.g.1h) وطول الأوراق (LL) والوزن النوعي للأوراق (LSWmg.cm2) وقطر الساق (SD) كلها صفات تمتلك درجات توريث متدنية.

© 2025 JAST

جدول 2. المتوسطات (Av) للصفات التي دراست على 20 سلالة محلية من البن (LNo) في المرحلة الأولى (1)، والثانية (2) من تطبيق الجفاف على شتلات بعمر سنتين، تحت ظروف بيئة متحكم بها.

LSW 2	LWL2 (mg.g. h)	CHL 2	RWC 2	SLW 1	Stom	PLH (1)	SD1 (mm)	CHL 1)	LWL1 (mg.g.h)	RWC 1	LDW 1	LNo
4.6	168	62.0	80	5	22	37.0	3.5	58.4	99.9	96	0.169	**Av1**
4.7	115.5	63.0	80.5	6	15	57.8	6.5	60.7	69.5	82	0.166	**Av2**
4.2	118.7	60.7	61.3	7	14	49.3	5.4	57.9	77.9	83	0.141	**Av3**
4.7	130.9	57.5	73.7	7	17	37.5	5.7	62.2	169.4	87	0.091	**Av4**
4.7	135.4	59.7	75.0	7	15	47.5	5.5	52.9	144.2	91	0.152	**Av5**
5.0	207.8	62.7	74.1	6	16	44.8	5.2	54.5	102.3	83	0.140	**Av6**
5.0	201.2	60.8	80.3	6	16	49.5	6.0	55.6	140.1	82	0.128	**Av7**
5.3	226.6	60.7	83.3	6	16	35.8	5.7	54.4	176.3	89	0.119	**Av8**
4.6	401.1	59.3	75.6	5	15	49.8	6.3	55.6	76.2	81	0.130	**Av9**
3.8	424.5	55.5	78.0	5	14	46.0	4.4	56.7	127.7	95	0.149	**Av10**
5.0	116.1	57.0	75.9	6	14	50.8	6.4	60.1	71.8	83	0.108	**Av11**
3.9	141.2	64.8	84.3	5	14	46.0	5.2	60.8	155.3	89	0.155	**Av12**
4.7	68.81	57.3	87.5	6	14	61.8	7.1	57.1	105.5	83	0.176	**Av13**
4.3	137.2	62.3	69.3	6	14	56.8	5.9	56.4	86.6	87	0.149	**Av14**
4.8	272.7	59.0	68.1	5	16	57.8	6.8	59.9	62.7	79	0.186	**Av15**
4.9	145.0	58.7	83.8	6	16	56.3	6.5	57.7	78.6	82	0.143	**Av16**
5.0	120.0	58.3	74.1	6	16	54.0	6.2	59.0	71.0	73	0.131	**Av17**
3.2	162.7	62.0	80.0	5	17	55.8	6.6	59.7	137.6	82	0.155	**Av18**
4.5	125.1	60.5	72.1		17	34.3	4.7	57.7	47.0	81	0.159	**Av19**
3.8	214.1	59.5	93.5	5	17	40.0	5.0	62.3	116.8	71	0.085	**Av20**
1.0	**66.0**	**8.6**	**6.4**	**1.12**	**1.9**	**4.2**	**1.12**	**6.01**	**98.23**	**12.34**	**0.052**	**LSD0.05**

حيث إن: المتوسطات (**Av**) للصفات التي تم دراستها على 20 سلالة محلية أو عينة (**LNo**) في المرحلة الأولى (**1**) و (**2**)، و حيث تشير(**LDW**-Leaf Dray Weight) للوزن الجاف للورقة، والمحتوى المائي النسبي (**RWC**%- Relative Water Content) ، و (**LWLmg.g.h** – Leaf Water Loos) الفقد المائي من الورقة مقدر على أساس ملغ/جرام ماده جافة/ساعة، و محتوى الكلوروفيل (Chlorophyll Content– **CHL**)، و (Stem diameter–**SD**mm) قطر الساق (ميلليمتر)، و طول النبات بالسنتمتر(Plant height-**PLH**)، وعدد الثغور في الحقل المجهري (**Stoma**-Stomates number)، والوزن النوعي للورقة مليغرام / سم^2 (**SLW**– Specific (Leaf weigh.

© 2025 JAST

النتائج هذه هي نتائج مشجعة جدا تؤكد التباين الوراثي الهام لبعض الصفات الشكلية والفسيولوجية والتي يمكن الاعتماد عليها في برامج الانتخاب للصفات التي لا يمكن الاعتماد عليها مباشرةً ولكنها تحتاج إلى طرق تربية وانتخاب بطرق أكثر دقة. كما أن هناك مجموعة من الصفات تمتلك درجات توريث متوسطة ويمكن استخدامها في المجاميع الوراثية التي تمتلك قاعدة وراثيه واسعة.

الارتباط الوراثي بين الصفات المختلفة

دراسة علاقات الارتباط الوراثي بين الصفات المختلفة يبين العديد من النتائج المهمة:

– فالصفات المتعلقة في الورقة ترتبط إيجابيا مع بعضها فمثلا الوزن الجاف للورقة (LDW) له علاقة قوية مع أبعاد الورقة ومساحتها وأيضًا.

– الوزن النوعي للورقة (LSW) يرتبط إيجابيًا ومعنويًا مع الوزن الجاف للورقة ومع قطر الساق، ويرتبط سلبيًا مع كمية الماء المفقود من الورقة مقدرا على أساس المادة الجافة والنتيجة هذه مهمة لأن السلالات التي تمتلك وزنًا نوعيًا عاليًا تفقد أقل كمية من المياه بالتبخر البشري من الورقة، وبالتالي فإن الانتخاب لهذه الصفة ممكنة.

هناك ارتباط إيجابي ومعنوي جدا بين كمية المياه المفقودة بالتبخر البشري من الأوراق والتي حسبت منسوبا لمساحة الورقة أو تلك التي حسبت منسوبا للوزن الجاف للورقة وقيمة الارتباط معنوي جدا (r=0.80**). تبين النتائج الارتباط السلبي بين محتوى الكلوروفيل والمحتوى المائي النسبي في الورقة وهذا يؤكد النتائج السابقة المشاهدة التي تشير إلى زيادة محتوى الكلوروفيل تحت ظروف الجفاف في نبات البن، وتتضح أكثر تلك العلاقات الوراثية في مخطط التحليل للمكونات الرئيسة (شكل 3).

قطر الساق يرتبط إيجابيًا مع طول النبات ومع الوزن النوعي للأوراق وهذا يعطينا فكرة على أهمية الأصناف الطويلة في التمثيل الضوئي وتراكم المادة الجافة في الأوراق، وهو ما يفسر القدرة لإنتاجية العالية لتلك الأصناف تحت ظروف الجفاف.

جدول 3. نسبة التوريث على المستوى الواسع (H^2) للصفات التي قيمت على عشرين عينة من السلالات المحلية من البن اليمني

الصفة	H^2 %
LDW	87
RWC	88
LWLmg.g.1h	94
LWLg.m2.1h	68
CHL	87
LLcm	44
LWcm	78
LEcm2	61
LSWmg.cm2	48
StomatNo	55
SDmm	22
PLHcm	89

حيث تشير (LDW) الوزن الجاف للورقة، (RWC%) المحتوى المائي النسبي، و (LWLmg.g.h) الفقد المائي من الورقة مقدر على أساس ملغ / جرام مادة جافة/ ساعة، (LWLg.m^2.h) هو الفقد المائي من الورقة مقدر على أساس جرام/ في متر مربع / في الساعة)، و (LL) طول الورقة بالسنتمتر، (LW) عرض الورقة، و (LA) مساحة الورقة سم^2 و (CHL) محتوى الكلوروفيل، و (SDmm) قطر الساق (ميلليمتر)، وطول النبات بالسنتمتر (PLH) ، وعدد الثغور في الحقل المجهري (Stoma)، و(SLW) الوزن النوعي للورقة مليغرام /

تحليل المكونات الرئيسة

أتاح التحليل للمركبات الأساسية (Principal Components Analyses–PCA)، من معالجة التفاعل بين العينات جميعها (20) والعوامل التي تم تقييمها في المرحلة الأولى (12) صفة، ودراسة التفاعلات والتداخلات معها، ومن خلالها نستطيع تقييم

العلاقات بين العوامل المختلفة وتفاعلها وتباينها مع العينات المدروسة تحت تأثير مستوى الجفاف المستخدم. لخصت نتائج تحليل المكونات الرئيسة في شكل (3)، والمتمثل بمخطط المكون (PCA, 2–1) والذي يمثل نسبة كافية من التباين بما مجموعه (60.3%) من التباين الكلي لمجموع العوامل ولمجموع العينات المدروسة التي قيمت في المرحلة الأولى من الجفاف.

يوضح المخطط توزع العوامل المدروسة بشكل واسع في المخطط على المكون الأول (PC1) وعلى المكون الثاني (PC2)، وفيه نشاهد العوامل ذات الارتباطات القوية أو المتعاكسة وتلك التي لا تمتلك أي ارتباطات، وتأثير تلك العوامل على توزع العينات في المخطط (2–1)، توزعت وانتشرت العينات المدروسة تحت تأثير تلك العوامل مجتمعة بشكل واسع على المخطط مما يؤكد التباينات الكبيرة لهذه السلالات بالنسبة للصفات المدروسة، حيث توزعت السلالات المحلية في مجاميع تمثل مجموعة العينات الطويلة وبقطر ساق اسمك و بمحتوى كلوروفيل مرتفع، وفقد مائي أقل من الأوراق و محتوى مائي نسبي أقل تحت ظروف الجفاف، كما يمكن تميز سلالات تتصف بمحتوى مائي عالٍ، ووزن نوعي عالٍ للأوراق تحت ظروف الجفاف ومحتوى متدني من الكلوروفيل وأطوالها أقصر ، كما يمكن أيضا تمييز مجموعة السلالات تتصف بأنها تمتلك مساحة ورقية كبيرة ومادة جافة أعلا ووزن نوعي للأوراق أقل.

أكدت النتائج من تحليل (PCA) على تأكيد التباينات الوراثية التي تم تقديرها من حساب ومقارنة المتوسطات بين العينات المختلفة، ومن التحاليل للتباينات وتحليل الارتباطات الوراثية والتحاليل الوراثية وتقدير مكونات التباين المختلفة وحساب المكافئ الوراثي (درجة التوريث).

الشكل 4. شجرة العلاقات الوراثية (Dendrogram) الناتج من التحليل العنقودي (Cluster Analysis) ل 20 سلالة محلية من البن وبناء على 12 صفة تم قياسها في المرحلة الأولى من تطبيق الجفاف.

التحليل العنقودي Hierarchical Clustering

نتائج التحليل العنقودي (Cluster Analysis) لمجموعة ال 20 سلالة المحلية من البن يعتمد على فهم آلية التجميع ومدى التشابه الوراثي أو المظهري بين السلالات المدروسة بناء على 12 صفة تم قياسها في المرحلة الأولى. ويمكن تلخيص النتائج وتفسيرها على النحو التالي:

في الخطوة الأولى: انقسمت السلالات إلى مجموعتين رئيسيتين:

- المجموعة الأولى: 8 عينات
- المجموعة الثانية: 12 عينة

- **المرحلة الثانية** (داخلية):

المجموعة الأولى انقسمت إلى 4 مجاميع فرعية

المجموعة الثانية انقسمت إلى 6 مجاميع فرعية

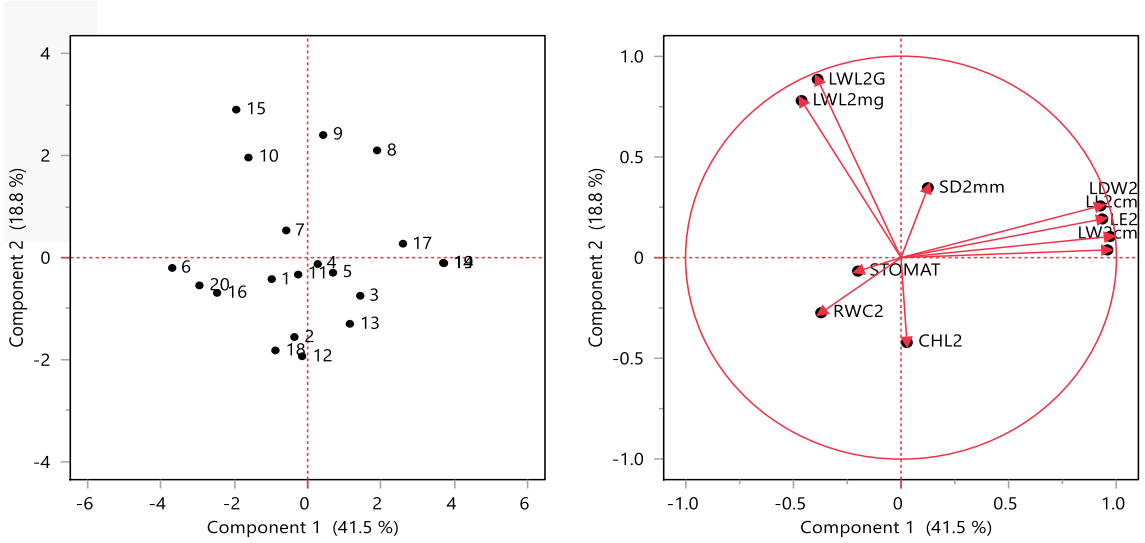
ويمكن تفسير النتائج في تشكيل المجاميع والمجاميع الفرعية على النحو التالي:

1. الخطوة الأولى تشكلت مجموعتان رئيسيتان:

يشير الانقسام إلى مجموعتين رئيسيتين إلى وجود تباين واضح وكبير بين سلالات البن، حيث يمكن تصنيفها إلى فئتين رئيسيتين من حيث الصفات المقاسة، المورفولوجية والفسيولوجية المرتبطة في الجفاف: وهذا يعني أن هناك اختلافًا جوهريًا بين السلالات في كل مجموعة، سواء من حيث الأصل الوراثي أو التكيف البيئي أو الفسيولوجي

2. **في الخطوة الثانية**، تجزئة داخلية اي انقسام كل مجموعة رئيسية إلى مجاميع فرعية يدل على وجود تنوع داخلي داخل كل فئة رئيسية:

© 2025 JAST



الشكل 3. مخطط تحليل المكونات الرئيسة (1-2) يبين تأثير الصفات المورفو-فسيولوجية ال 12 والتي تم دراستها على العينات (20) تحت تأثير الجفاف المعتدل في المرحلة الاولة (Ph1).

حيث تشير (LDW) الوزن الجاف للورقة، (RWC%) المحتوى المائي النسبي، و (LWLmg.g.h) الفقد المائي من الورقة مقدر على أساس ملغ / جرام مادة جافة/ ساعة، (LWLg.m^2.h) هو الفقد المائي من الورقة مقدر على أساس جرام/ في متر مربع / في الساعة)، و (LL) طول الورقة بالسنتمتر، (LW) عرض الورقة، و (LA) مساحة الورقة سم^2 و (CHL) محتوى الكلوروفيل، و (SDmm) قطر الساق (ميلليمتر)، وطول النبات بالسنتمتر (PLH) ، وعدد الثغور في الحقل المجهري (Stomat)، و(SLW) الوزن النوعي للورقة مليغرام /

– المجموعة الأولى المكونة من 8 عينات، وأعطت 4 فئات: يعكس هذا أن العينات الثمانية لها بعض التشابه العام، ولكن توجد فروق واضحة تكفي لتقسيمها إلى أربع فئات، وهذه الاختلافات مرتبطة بالصفات المميزة مورفولوجيا وفيزيولوجيا تحت تأثير الجفاف

– المجموعة الثانية المكونة من12 عينة شكلت 6 فئات يؤكد ان وجود عدد أكبر من العينات وانقسامها إلى ست مجاميع أو فئات يشير إلى تنوع وراثي واسع داخل هذه المجموعة، وذلك لأن هذه السلالات تتضمن تباينًا في صفات دقيقة وراثية لم تكن كافية لفصلها في المرحلة الأولى، لكنها ظهرت بعد التحليل التفصيلي، **وما يمكن استنتاجه من هذا التحليل هو:**

تأكيد وجود تنوع وراثي واضح بين سلالات البن المحلية المدروسة وإمكانية استخدام هذه النتائج في برامج التربية حيث يمكن اختيار سلالات من مجموعات مختلفة لتكون أمهات في برامج التهجين بهدف زيادة التباين الوراثي، وهو ما يتطابق مع ما وجد سابقا [29 , 7].

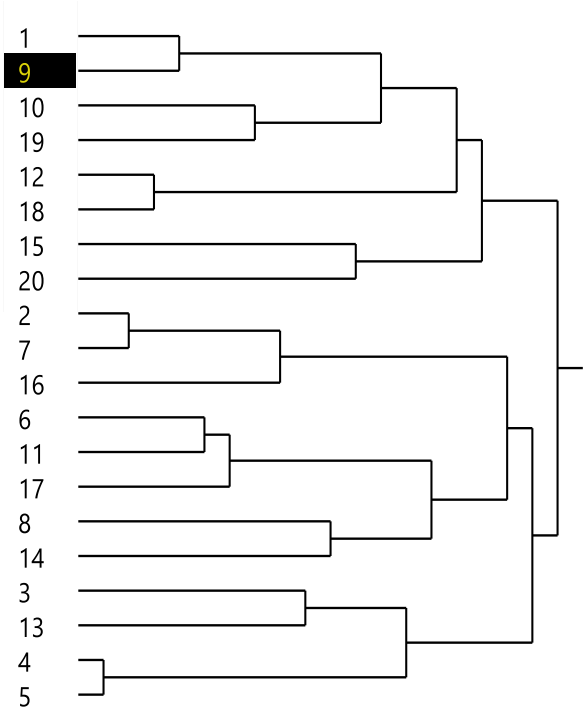
كما ان التنوع داخل المجموعات يشير إلى إمكانية الانتقاء داخل المجموعة الواحدة لتحسين صفات محددة.

بالإضافة الى ان هذا التحليل يؤكد أهمية المحافظة على السلالات الوراثية المحلية من البن اليمني والتي يزرعها المزارعين منذ مئات السنين وأصبحت تمثل عينات فريدة تتميز بخصائص فريدة، حيث يمكن تحديد سلالات فريدة أو متميزة تستحق الحفظ أو التوسع في دراستها، وهو ما يتطابق الى ما ذهب اليه كل من [28, 27]

مخطط التشابه (Dendrogram) الناتج عن التحليل العنقودي، يوضح المسافات الوراثية بدقة، ومن خلال ربط المجموعات الناتجة بالصفات المدروسة يمكن تمييز المجموعات

© 2025 JAST

التي تتصف بصفات التأقلم والتحمل للجفاف [37،38]، وهذا التحليل أكد النتائج التي تم استنتاجها من تحليل المكونات الرئيسية (PCA) ودعمت نتائج تحليل المكونات الوراثية.



الشكل 4. شجرة العلاقات الوراثية (Dendrogram) الناتج من التحليل العنقودي (Cluster Analysis) ل 20 سلالة محلية من البن وبناء على 12 صفة تم قياسها في المرحلة الأولى من تطبيق الجفاف. (الأرقام تشير الى ارقام السلالات المحلية التي تم دراستها والموضحة في الجدول 1)

5. الاستنتاجات والتوصيات

في اليمن يمكن الاطلاع على العديد من التقارير والدراسات والبحوث التي تؤكد حالات التغيرات المناخية في الفترات السابقة و المرحلة الراهنة خلال الخمسين عاما الماضية التي يمكن من خلالها مشاهدة التباينات لتذبذب كميات الهطول المطري والتغييرات في درجات الحرارة وتطرفها الشديد الذي أدى ويؤدي إلى فقدان الكثير من الأنواع والأصناف النباتية الطبيعية والزراعية على حد سواء، وهو ما يشعرنا بأهمية العمل لمواجهة تلك التغيرات والتلاؤم مع ما أوضحته سيناريوهات التغيرات المناخية التي أوردتها التقارير الوطنية والدولية والتي تشكل فاجعة كبيرة لليمن واليمنيين والمستقبل الذي ينتظرهم في ظل تلك التغيرات المستقبلية وبخاصة الجفاف، وبعض تلك الآثار أصبحت واضحة جدا آثارها من حيث تقلب مواسم الأمطار والتغير في فترتها وشدتها على ما كان معتادا للأجيال الحالية والسابقة، كما أن هناك تفهمًا وقبولًا لتبني التدخلات لمواجهة الآثار المحتملة لتلك التغيرات من قبل المجتمع الزراعي والسكان الذين صاروا موقنين بتلك التقلبات المناخية وأثرها على الزراعة والمصادر الطبيعية في مناطقهم بشكل خاص وفي عموم اليمن بشكل عام ويتفقون في الرأي بأهمية العمل على إيجاد أساليب وسائل وتدخلات لتقليل آثارها الضارة وتعزيز تلك الممارسات للتلاؤم مع تلك التغيرات وتوظيفها لتحسين الإنتاج الزراعي وزيادة دخل المزارعين والمحافظة على المصادر الطبيعية سليمة وبعيدة عن التدهور. يتأثر البن بالجفاف على طول مراحل النمو، فيؤثر على إنبات بذور البن ونمو الشتلات، ويعمل على تثبيط النمو بشكل واضح وهذا يبدو من خلال تراكم المادة الجافة في الورقة وطول النبات وتراجع أبعاد ومساحة الورقة وكذلك الصفات الفسيولوجية مثل كثافة الثغور وتركز الكلوروفيل وانخفاض المحتوى المائي النسبي. التحاليل الإحصائية والوراثية بينت تباينا وراثيا في السلالات المدروسة لمعظم هذه الصفات من خلال هذه الدراسات يتبين جليا فعالية إجراء التقييم في المراحل المبكرة من حياة النباتات وتحت الظروف البيئية المتحكم بها كمنهجية لتقييم المادة الوراثية المحلية من البن لصفات التحمل والتلاؤم لمواجهة الضغوطات البيئية والحيوية، وهو ما يستدعي التكاتف بين المؤسسات المختلفة بما فيهم المزارعين للتعاون والإسهام في البدء بتثمين وحفظ وتوصيف المدخرات الوراثية من البن اليمني والعمل على البدء في تربية أصناف محلية وتحسين الأصناف المحلية المتأقلمة أصلا مع بيئة اليمن الجافة التحليل. تحليل المكونات الرئيسة والتحليل العنقودي الذي تم إجراؤه على مجموع العوامل المدروسة لمجموع العينات التي تم تقييمها أتاح لنا أن نميز العلاقات بين العينات ومدى تقاربها الوراثي وقياس البعد الوراثي، حيث يمكن مشاهدة مجاميع متعددة سواء في المرحلة الأولى من

© 2025 JAST

التقييم مع بداية تطبيق الجفاف أو بعد أن تم تجفيف النباتات لفترة كافية لإظهار تأثير الجفاف على الصفات الشكلية الظاهرية في النمو أو الصفات الفيزيولوجية المرتبطة بالتحمل والمقاومة للجفاف. هذا التحليل أكد أيضا ما تم إثباته من التحاليل الإحصائية السابقة سواء تحليل جدول التباين، وأيضا التحاليل الوراثية وتقدير المكافئ الوراثي للصفات المختلفة. هذا البحث اكد أهمية تأسيس البنوك الوراثية لحفظ التنوع الوراثي في البن اليمني في مناطق الإنتاج وتشجيع المزارعين على اكثار اصنافهم وسلالاتهم المحلية، واستمرار اعمال التوصيف والتصنيف تحت ظروف بيئية واحدة. مره أخرى يؤكد هذا البحث ان البحوث بالمشاركة بين المؤسسات العلمية الحكومية والجمعيات والمؤسسات الخاصة، والمزارعين يمكن ان يسهم في انجاز أبحاث متميزة ومهمة لتقدم البحث العلمي والتنموي والتطبيقي.

الشكر والتقدير:

الباحثون يتقدموا بالشكر والتقدير للجمعية اليمنية لتنمية الزراعة المستدامة (YASAD) وللمزارعين في المساعدة في جمع العينات وللمؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر (PFRD) للدعم وإتاحة تنفيذ التجارب وتوفير التجهيزات المعملية التي لولاها ما أنجزت هذه الدراسات، وأيضا لتبني مخرجات هذه البحوث ومواصلة الأنشطة البحثية في الحقل.

6. المصادر والمراجع References

[1] الحكيمي، أ. *زراعة وإنتاج البن في اليمن*. الطبعة الأولى، المؤسسة التشاركية للبحوث والدراسات والنشر، اليمن صنعاء، 2012، 138.

[2] J. A. Barreto Peixoto, J. F. Silva, M. B. P. P. Oliveira, R. C. Alves, Sustainability issues along the coffee chain: from the field to the cup. Comp. Rev. Food Sci. Food Safe 22, (2023). 287–332

doi: 10.1111/1541-4337.13069.

[3] الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، متطلبات المحاصيل الزراعية السائدة في اليمن الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية، اعداد وين تنج وترجمة خليل الشرجبي، الهيئة العامة للبحوث والإرشاد المتجددة. (2003)، 105 78https://www.researchgate.net/publication/3058556

[4] أ. الحكيمي، تأثير العوامل الزراعية البيئية على مكونات البن الكيميائية وجودة البن اليمني. مجلة جامعة عدن للعلوم التطبيقية والطبيعية. 13 (3)، (2009a). 257–264.

[5] AL-HAKIMI A., and F. PELAT, Indigenous knowledge and sustainable agriculture in Yemen. Les cahiers du CEFAS, Centre Français d'Arcaeologie et de Sciences Sociales de Sana'a, (2003). pp. 9-14 http://cefas.bibli.fr/opac/index.php?lvl=notice_display&id=2736&seule=1.

[6] أ. محرم، خ. الشرجبي، الزراعة المستدامة والأمن الغذائي ودور البحوث الزراعية ونقل التكنولوجيا في اليمن. المجلة اليمنية للبحوث والدراسات اليمنية، (2022). العددان 33، 34. 129–

[7] A. Al-Hakimi, S. Murry, L. Lombardini, & T. Schilling, 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 June to 1 July, p72. S1-PO-11_3414_AL-HAKIMI.pdf. https://share.google/EtAPR4YsSZoI5lQoi. https://share.google/BiHEzgV8QymQvIzPs https://share.google/bIKOtHWmPkayqNunQ.

[8] أ. ع. س. الحكيمي، س. م. عنبه، تأثير الجفاف على نمو المجموع الجذري والخضري في شتلات البن (*Coffea arabica* L.) تحت ظروف بيئة متحكم بها، (2025). المجلة الدولية للبحوث العلمية، الإصدار (4) العدد (7). https://doi.org/10.59992/IJSR.2025.v4n7p3

[9] EPA, Environment Protection Authority. Second National Communication under the United Nations Framework on Convention of Climate Change. EPA-United Nation Development

© 2025 JAST

photosynthesis in coffee leaves Photosynthetica, 22 (1988), pp. 547–553

[18] André Carignato, Javier Vázquez-Piqué, Raúl Tapias, Federico Ruiz and Manuel Fernández, 2019. Variability and Plasticity in Cuticular Transpiration and Leaf Permeability Allow Decentrations of Eucalyptus Clones at an Early Age. Forests (2020). 11, 9. doi:10.3390/f11010009. www.mdpi.com/journal/forests

[19] TH. Yeats, JKC. Rose,The formation and function of plant cuticles. Plant Physiology, (2013).163: 5–20. PubMed https://share.google/YcirtF9HkqNwneR9R.

[20] R. Jetter, M. Riederer, Localization of the transpiration barrier in the epi- and intracuticular waxes of eight plant species: water transport resistances are associated with fatty acyl rather than alicyclic components. Plant Physiology, 170 (2016): 921–934.

[21] F.M. Damatta, M. Maestri, and P.R Mosqui, LS, R.S Barros, Photosynthesis in coffee (Coffea arabica and C. canephora) as affected by winter and summer conditions. Plant Sci., 128 (1997), pp. 43–50.

[22] F.C. Meinzer, N.Z Saliendra, and C.H Crisosto, Carbon isotope discrimination and gas exchange in Coffea arabica during adjustment to different soil Moisture regimes. Aust. J. Plant Physiol., 19 (1992), pp. 171–184

[23] F.C. MEINZER, G. GOLDSTEIN AND D.A. GRANTZ, Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee during adjustment to different soil moisture regimes. (1993). In: Ehleringer, J.R., Hall, A.E.,

[24] A. AL-HAKIMI, S. EL-JAAFARI, P. MONNEVEUX, Using chlorophyll fluorescence for improving photosynthetic drought resistance in wheat spp. Conference Paper, Photosynthesis: from light to biosphere. Volume IV. Proceedings of the Xth Programme (UNDP) Global Environment Facility (GEF). Sana'a, Yemen. (2013). 72 pp.

[10] Ward, Christopher, The Water Crisis in Yemen: Managing Extreme Water Scarcity in the Middle East. Volume 21 of International Library of Human Geography. Publisher I. B. Tauris. (2014). pp. 464 pages. https://share.google/VSVMbmjXQUZU1Fw

[11] JICA, The Study for the Water Resources Management and Rural Water Supply Improvement in the Republic of Yemen: Water Resources Management Action Plan for Sana'a basin. Earth System Science Co. and Japan Techno. (2007). https://share.google/itg5a5tF3QGfSCnBE

[12] F.M. DaMatta, Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. Braz. J. Plant Physiol., 16(1): (2004). 1-6. https://www.scielo.br

[13] C. A., P. Jaleel, Manivannan, G. M. A. Lakshmanan, M. Gomathinayagam and R. Panneerselvam, Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of Catharanthus roseus under soil water deficits. Colloids Surf. B: Biointerfaces, 61, (2008c): 298-303.

[14] J. M. Morgan, Osmoregulation and water stress in higher plants. Annu. Rev. Plant Physiol., (1984). 35: 299-319. DOI:https://doi.org/10.1146/annurev.pp.35.060 1840.001503

[15] N. C. TURNER, Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. In: H. Mussell, and R. Staples (Eds.). Stress Physiology in Crop Plants. John Wiley and Sons, New York, USA (1979). 343-372.

[16] T. C. Hsiao, Plant responses to water stress. Annu. Rev. Plant Physiol. 24 (1973): 519 570.

[17] M.A. Nunes, Environmental effects of stomatal and mesophyll regulation of

Hakimi, Timothy Schilling, Christophe Montagnon, Michele Morgante & Benoit Bertrand, 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 10 (2020):4642.https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7 www.nature.com/scientificreports.

[31] Menezes-Silva Paulo E, Lilian M.V.P.Sanglard, Rodrigo T.Avila, Leandro E.Morais, Samuel C.V.Martins, Priscilla Nobres, Camila M.Patreze, Marcio A.Ferreira, Wagner L.Araujo, Alisdair R. Fernie and Fabio M.DaMatta, 2017. Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in Coffee. Journal of Experimental Botany, Vol 68, No.15 pp. 4309-4322.

[32] Barr, H.D.and Weatherley, P.EA re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences, 15, (1962).413-428.

[33] Y. Zhang, X. Chen; Z. Du; W. Zhang; A.R. Devkota; C. Chen; W. Sun; M.Chen, A proposed method for Simultaneous measurement of Cuticular Transpiration from Different Leaf Surfaces in Camellia sinensis. Front. Plant Sci. (2020), 11, 420. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00420

[34] A.-C. Schuster, M. Burghardt, M. Riederer, The ecophysiology of Leaf cuticular transpiration: Are cuticular water permeabilities adapted to ecological condition?. J. Exp. Bot. (2017), 68, 5271-5279.

[35] SUZA, W. &LAMKEY, K (Eds). Quantitative Genetics for Plant Breeding. Iowa State University Digital Press (2023). https://share.google/o61zY3QWwC90Xw530

[36] G. J. Dow, J. A. Berry & D. C. Bergmann, The physiological importance of 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

[25] A. Charrier, and J. Berthaud, Use and value of genetic resources of Coffea for breeding and their long-term conservation. Mitt. Inst. Allg. Bot. Hamburg, 23a, (1990). 53–64.

[26] A. Carvalho, Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: C. arabica. Coffee 4, (1988). 129–165.

[27] T. M. Al-Murish, A. A. Elshafei, A.A. Al-Doss and M. N. Barakat, Genetic diversity of coffee (*Coffea arabica* L.) in Yemen via SRAP, TRAP and SSR markers. Journal of Food, Agriculture & Environment, 11(2) (2013): 411-416. https:// www.semanticscholar.org/author/ A.Al-Doss

[28] A.A. Hussein, A. Al-Azab, S.S. Habib, F. M. El Sherif and Hoda A.S. El-Garhy, Genetic diversity, structure and DNA fingerprint for developing molecular ids of Yemeni coffee (*coffea arabica* L.) Germplasm assessed by SSR markers m.a.a. Egypt. J. Plant breed. 21(4) (2017):713– 736.

[29] A. Al Hakimi, and B. Allard, Collection, Characterization and Evaluation of Yemeni Landraces of Coffee (*Cofea arabica* L.), Zagazig J.Agric. Res., Vol. (1) 32. (2005), 23-34. https://www.scirp.or https://nile.enal.sci.eg/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?bibionumber=48226

[30] Simone Scalabrin, Lucile Toniutti, Gabriele Di Gaspero, Davide Scaglione, Gabriele Magris, Michele Vidotto1, Sara Pinosio, Federica Cattonaro, Federica Magni1, Irena Jurman, Mario cerutti, Furio Suggi Liverani, Luciano Navarini, Lorenzo Del Terra, Gloria Pellegrino, Manuela Rosanna Ruosi, Nicola Vitulo, Giorgio Valle, Alberto Pallavicini, Giorgio Graziosi, Patricia E. Klein, Nolan Bentley, Seth Murray, William Solano, **Amin**

developmental mechanisms that control stomatal spacing. Plant Physiology, 166(4), (2014).1615-1623. https://doi.org/10.1104/pp.114.248674Hughes, J., Hepworth, C., Dutton, C., Dunn, J.

[37] Taye Kufa and Jurgen Burkhardt, Stomatal Characteristics in Arabica Coffee Germplasm Accessions under Contrasting Environments at Jimma, Southwestern Ethiopia. International Journal of Botany, 7 (2011): 63-72. DOI: 10.3923/ijb.2011.63.72 URL: http://scialert.net/abstract/?doi=ijb.2011.63.72

[38] S. A. Mohammadi, & B. M. Prasanna, Analysis of genetic diversity in crop plants—salient statistical tools and considerations. Crop Science, 43(4), (2003). 1235–1248. DOI:10.2135/cropsci2003.1235

[39] R. K. SINGH, & B. D. CHAUDHARY, Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani Publishers (1985)

© 2025 JAST