Vol.4, No.4, Page 1977- 1997, 2026 https://doi.org/ 10.59628/jast.v4i4.2116 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/

Mutation Induction in a Yemeni Coffee Variety Using Sodium Azide and Peganum harmala seeds Extract

Buthaina Othman Abdullah Bahwirth [1, *], Amin AL-Hakimi[2], Mahasin AL-Munibari [1]

1 Department of Horticulture and its Technologies, 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**: *tinaothman68@gmail.com*

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 21- November-2025

Accepted: 20- February-2026

Published: 28 April 2026

KEYWORDS

1. *Coffea arabica* L.
2. Mutations
3. Sodium Azaid
4. *Peganum harmala* L.
5. Genetic improvement
6. Foliar transformations

ABSTRACT

The research was carried out during 2023/2024, in the laboratory of the Participatory Foundation for Research and Dissemination and the Faculty of Agriculture, Foods, and Environment, Sana'a University, Yemen under controlled condition, for the objective to improve genetic variation in Yemeni coffee. The seeds of a local variety "Udini" were used, and four treatments, namely the control without any treatment of the seeds, the second treatment was soaked with sodium azide solution at a concentration of 0.1 molar and the third treatment was treated with the seeds extract of the Harmel plant (*Peganum harmala* L.), and the fourth by dipping the roots of the coffee seedlings after germination with the extract of Harmel, in this treatment all the plants were died within the first weeks of dipping the seedling roots in the Harmal extract, this indicates the importance of using lower concentrations and immersion times.

The results showed that the use of mutational chemicals had a role in causing changes in the speed and rate of seed germination, in the length of seedlings, and in the number and length of roots, and the analysis of the frequency curves showed that the distribution of the frequency of the natural plant population was clearly affected in the treatments by the mutagenic substances compared to the natural control group in relation to the most traits. The phenotypic transformations that appeared on the cotyledon leaves and on the real leaves developing on the first node were recorded, and seven forms of deformations were distinguished, represented in heterogeneity in the cotyledon leaves and in the real leaves and in the cotyledon leaves and real leaves together. These results clearly indicate that mutations can be used as a tool to improve genetic variation in Yemeni coffee.

Vol.4, No.4, Page 1977- 1997, 2026 https://doi.org/ 10.59628/jast.v4i4.2116 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/

SUN PUBLISHER

استحثاث الطفرات في صنف من البن اليمني باستخدام ازيد الصوديوم ومستخلص بذور نبات الحرمل

بثينة عثمان عبد الله باحويرث[1]*، أمين عبده الحكيمي [2]، محاسن علي عبده المنيباري[1]

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

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

المؤلف: tinaothman68@gmail.com

معلومات المقالة

تاريخ المقالة:

تاريخ التقديم: 21- نوفمبر -2025

تاريخ القبول: 20- فبراير -2026

تاريخ النشر: 28 إبريل 2026

الكلمات المفتاحية

1. البن العربي
2. الطفرات
3. ازيد الصوديوم
4. الحرمل
5. التحسين الوراثي
6. التحويرات الورقية

الملخص:

تم تنفيذ البحث خلال عامي 2023–2024م في مختبر المؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر وكلية الزراعة والأغذية والبيئة جامعة صنعاء، في بيئة متحكم فيها، وبهدف دراسة مدى إمكانية إيجاد تباينات وراثية في صنف من البن اليمني باستخدام المواد المطفرة. استخدم في هذه الدراسة بذور صنف محلي "عديني"، في تصميم تجريبي عشوائي كامل في أربع معاملات هي الشاهد، نقع البذور بمحلول ازيد الصوديوم بتركيز 0.1 مولار، معاملة البذور بمستخلص بذور نبات الحرمل بتركيز 150جرام/لتر، وغمس جذور بادرات البن بعد الانبات بمستخلص الحرمل، وجميع نباتات هذه المعاملة الرابعة ماتت خلال الأسابيع الأولى من غمس جذور البادرات في مستخلص الحرمل مما يوشر الى أهمية استخدام تراكيز وفترات تغميس اقل. النتائج بينت ان استخدام المواد الكيميائية المطفرة كان لها دور في احداث تغيرات معنوية في سرعة ونسبة انبات البذور، وفي طول البادرات وعدد وطول الجذور،والتحليل لمنحنيات التكرارات أوضحت تأثر توزيع التكرارات للمجموعة النباتية الطبيعية بشكل واضح في المعاملات بالمواد المطفرة مقارنة بالمجموعة الطبيعية للشاهد بالنسبة لمجموع الصفات. وفي المرحلة الثالثة سجلت التحويرات المظهرية التي ظهرت على الأوراق الفلقية وعلى الأوراق الحقيقية النامية على العقدة الأولى، وقد تم تمييز سبعة اشكال من التحويرات تمثلت في التغاير في الأوراق الفلقية وفي الأوراق الحقيقية. النتائج المشجعة هذه تشير بوضوح الى امكانية استخدام الطفرات كإدة لتوسيع التباين الوراثي في البن اليمني.

1. المقدمة:

يُعدّ البن العربي (*Coffea arabica* L.) أحد أهم المحاصيل التجارية في العالم، وله قيمة عالية كمشروبات، بلغ إجمالي إنتاج جميع الدول المُصدّرة للبن لعامي 2015–2016 حوالي (143.3 مليون كيس سعة 60 كجم)؛ المنظمة الدولية للبن [1]. ومع ذلك، فإن إنتاج البنّ محدود بسبب العديد من الأمراض والآفات، بالإضافة إلى الجفاف والإجهاد الحراري والملوحة [2, 3]، ويزرع على مساحة تزيد عن 11 مليون هكتار في أكثر من ثمانين دولة في العالم تأتي في المقدمة البرازيل، فيتنام، إندونيسيا، اثيوبيا وغيرها من الدول التي تمتلك النصيب الاكبر من الإنتاج، وعلى الرغم من ان اليمن نصيبها من الإنتاج العالمي لا يتجاوز 0.01% (20.812 طن) في العام 2020 [4]، إلا أنها لاتزال تمثل أهمية كبيرة على المستوى العالمي في كونها البلد الأول الذي استزرع البن العربي (*Coffea arabica* L.) قبل أكثر من 800عام [5] وابتكر مشروب القهوة واحتكر تجارته لأكثر من 400 عام، بن اليمن لايزال يمتلك خصائص هامة في الجودة ويحافظ على مكانته العالمية في الصدارة [6] كما أن البن اصبح الان احد المشروبات الأكثر تداولا بعد الماء في جميع أنحاء العالم، وأحد منتجات التصدير الرئيسية للعديد من البلدان في أفريقيا وآسيا وأمريكا اللاتينية[7] و [8].

البن العربي (*Coffea arabica* L.) وكما تشير العديد من المراجع بأنه كان نباتاً يتكاثر بشكل تلقائي وبصورة برية في العديد من المرتفعات الإفريقية (الإثيوبية والسودانية)، كما انه كان يتواجد برّيًّا في مرتفعات اليمن وانقرض منها، ولكن من المؤكد ان المزارع اليمني هو من اوجد وطور سلالاته وأصنافه وطرزه المحلية لتتلاءم مع ظروف الزراعة المطرية المتباينة والهشة في المرتفعات الجبلية لتنتشر زراعته في أكثر من 100 مديرية في اليمن ابتداءً من صعدة إلى مرتفعات يافع في لحج وابين[9]. تعتبر الاصناف واحدة من اهم عوامل استدامة زراعة البن وإنتاجه وجودته، بالإضافة إلى العمليات الزراعية المصاحبة للإنتاج وأثر البيئة ومناخ الانتاج ومعاملات الحصاد وما بعد الحصاد، حيث كلها عوامل هامة تؤثر على كمية وجودة الانتاج، ولكن يبقى العامل الوراثي هو الأول والأهم المحدد لزراعة وجودة البن [6]. كما تتعرض زراعة البن في اليمن للعديد من الضغوطات الحيوية واللاحيوية، بالإضافة إلى تحديات كثيرة تأتي في مقدمتها الآثار المحتملة للتغيرات المناخية المحلية والتي تأتي في مقدمتها الجفاف الشديد (قلة المياه) وتذبذب هطول الامطار [10].

في العقود الثلاثة الماضية حُققت محاولات وجهود كبيرة لتطوير واستنباط اصناف من البن على المستوى العالمي لمواجهة آثار الضغوطات الحيوية متوازية مع تحسين الجودة وخصائص تفضيلات المستهلك وتأمين متطلبات السوق التجارية التي يتوقع أن تتغير بيئتها في العقود القادمة، ولأن إنتاج أصناف محسنة تلبي شروط الإنتاج والمستهلك يحتاج إلى فترة طويلة (مالا يقل عن 25 عاماً) حتى يصل إلى حقول المزارعين، ولذا يتطلب الامر مزيداً من البحوث والتطوير المستمر للقيام بمجهودات كبيرة لإنتاج اصناف جديدة وتذليل الصعوبات ومنها اختصار

للوقت الذي يستغرقه إنتاج الاصناف وتقليل الإمكانيات لإنتاج واختبار وتقييم تلك الأصناف لمقاومة الضغوطات الحيوية واللاحيوية وتأمين الإنتاج الكمي والنوعي المطلوب [11].

لقد نجحت التربية التقليدية خلال السنوات الماضية في إنتاج وتطوير اصناف بن مقاومة ومحسنة حسب الرغبة المطلوبة من المزارعين وحسب المنطقة أو البلد، وعلى الرغم من ذلك فان عمليات التحسين بالتهجين تكون باهظة الثمن وتحتاج إلى امكانيات عالية وإلى عمالة كثيفة، وتأخذ وقتاً طويلاً بسبب فترة نمو المحصول وتطوره، وقد يحتاج المربي تكرار برامج التهجين المختلفة ومنها التهجين الرجعي للآباء الأصليين لتثبيت الصفات المرغوبة لتطوير وانتاج اصناف جديدة مقاومة ويتقبلها المزارعين والتي قد تتطلب من 25–35 عاماً [12].

ولمواجهة ما يتعرض له البن اليمني من تهديدات الإجهاد الحيوي وغير الحيوي [9 , 10] تبرز أهمية التربية والتحسين الوراثي رغم محدوديتها بسبب قلة تنوعه الوراثي، ومن هنا فإن تحسين المحصول عن طريق الطفرات الجينية كعامل مساعد لزيادة التنوع الجيني وتسهيل التربية وهو ما تم الإشارة إليه من قبل العديد من الباحثين [13] لما يقدمه من وسائل تساعد في تقصير مدة التربية للأصناف المستحدثة مقارنة بطرق التربية بالتهجين والتي تأخذ وقتاً طويلاً، كما ان استخدام الطفرات عملية أقل تعقيداً وتطبيقهاً متاح ولا تحتاج إلى مجهود كبير.

الضغوطات البيئية والحيوية المختلفة والتي تتعرض لها النباتات منذ الاف السنوات تعمل على التحريض الطبيعي للمادة الوراثية وإحداث التنوعات الجينية المسؤولة عن التباينات الوراثية في المجاميع الطبيعية، ولها يعود الفضل في بقاء واستمرار المحاصيل الأساسية متنوعة ومتطورة، وهذه الطفرات تتلاشى ولا تحقق أهداف العملية الإنتاجية ولا يتم الاستفادة منها بشكل عملي، ولكنها تعتبر الأساس للتطور الحاصل في الوقت الحاضر في التحسين الوراثي بالطفرات التلقائية، وهذا ما أتاح الاكتشاف في حينها بأنه يمكن التحريض للطفرات في النباتات فيزيائياً وكيميائياً وإنتاج الطفرات صناعياً بجانب البحث عنها وسيلة ضرورية يستخدمها مربي النبات لإحداث تباين جيني في النباتات وإنتاج سلالات جديدة ذات صفات متميزة [14] [15].

استخدام المطفرات الفيزيائية والكيميائية في العديد من الأبحاث والتجارب أدت إلى زيادة نسبة حدوث الطفرات [16] المفيدة للأهداف العملية في تربية النبات، ونتيجة لذلك تم الإعلان عن أكثر من 2252 صنفاً محسناً رسمياً حول العالم، وهذه الطفرات المُحرضة مؤثرة لدرجة كبيرة في بيولوجيا النبات لأنها تساعد في تحفيز تباين وراثي في كثير من المحاصيل بتقنيات بسيطة وغير مكلفة من ناحية التطبيق ولها قابلية عالية في التنفيذ والاستخدام [17][18]، [19].

من المطفرات الكيميائية أزيد الصوديوم (NaN3)، الذي يتوسط تأثيره المُطفر إنتاج مُستقلِب عضوي لمركب الأزيد: I–أزيدولانين، ويُحدث طفرات نقطية غالبًا انتقالات من النوع: G/C إلى A/T أو العكس[20, 21]، ومن بين تقنيات تحفيز الطفرات المُختلفة، أصبح التطفير باستخدام العوامل الكيميائية وسيلة فعّالة وأداة قوية لتحفيز الطفرات النقطية [22, 23].

ومن المطفرات الطبيعية مستخلص بذور نبات الحرمل *(Peganum harmala* L.) ويستخدم مستخلص بذوره كعامل محفز للطفرات كبديل أو مكمل للعوامل الكيميائية أو الإشعاعية التقليدية ويعتقد أن آلية التطفير ترجع إلى قدرة قلويدات الحرمل على التداخل مع انزيمات النسخ أو التضاعف مما يزيد احتمالية حدوث تغيرات جينية، فالمادة الرئيسية المسؤولة عن التأثيرات التطفيرية في الحرمل هي الهرمالين، حيث أثبتت الدراسات قدرتها على التأثير على الأنظمة البيولوجية، مما يجعلها موضوعاً للبحث في استخداماتها الطبية والدوائية [24]، ويمكن أن يؤدي العلاج بمستخلص نبات *(Peganum harmala* L.) الخام إلى تأثيرات سامة للخلايا ومسرطنة ومُطفرة، تُعدّ الطفرات مؤشراً على عدم الاستقرار الجيني [25]، وهناك دراسات علمية كدراسة [24] أشارت إلى أن قلويدات الحرمل مثل الهارمين والهارمالين قد تكون قادرة على إحداث طفرات جينية في الخلايا. هذه التأثيرات تتعلق بتفاعل القلويدات مع الحمض النووي وقدرتها على التأثير في استقرار الجينات. ومع ذلك، فإن تأثيراتها تعتمد على الجرعة وطريقة التعرض لهُ. في البن العربي يُعد التباين الوراثي أمرًا بالغ الأهمية لتربية وتحسين الأصناف لتكون قادرة أكثر على مواجهة الضغوطات البيئية والحيوية وتعزيز الإنتاج وجودته في اليمن [26]، ولصعوبة اجراء التهجين بين البن العربي (رباعي الصبغيات) والأنواع الأخرى التي يفوق عددها 124 نوعاً ولكن جميعها ثنائية الصبغيات وذلك لأسباب عدم التوافق الوراثي [27] يتجه البحث عن تباينات باستخدام الطفرات [28] [29] [30]. على مدى العقود القليلة الماضية، استُخدمت الطفرات المُستحثة كأداة فعّالة لتوسيع التنوع الوراثي للدراسات الجينومية الوظيفية وتربية النباتات [31, 32]، وقد استُخدمت المطفرات الكيميائية والفيزيائية على نطاق واسع لتحفيز التباين الوراثي في أنواع المحاصيل المتنوعة [33] [35].

2. مواد وطرق البحث:

بيئة ومكان الدراسة:

معمل بحوث البن في المؤسسة التشاركية للدراسات والبحوث والنشر *Participatory Foundation for Research and Dissemination (PFRD*) في امانة العاصمة صنعاء، والذي صمم ليتناسب مع المتطلبات البيئية لإنبات ونمو شتلات البن، للتغلب على المعطيات المناخية وتثبيتها وخاصة الملائمة للبن، بحيث ثبتت المعطيات المناخية الملائمة للبن متوسط درجة الحرارة العظمى ضمن المدى (30C°) إلى (22C°) والدنيا من (18C°) إلى (5.1C°)، والرطوبة الجوية (33–56%)، وشدة الإضاءة نهاراً من (3000–5000 لوكس) وليلا في الظلام (000).

المادة الوراثية (جمع البذور)

جُمعت العينات من شجرة معمرة عمرها يتجاوز 50 سنة ويقارب طولها 6 متر، تُطابق مواصفات الصنف المحلي "العديني" من مديرية بني مطر بيت عامر 30 كيلو جنوب غرب العاصمة صنعاء، وتم أخذ 3 كيلو من الثمار بعد قطفها من الشجرة وخلال 24 ساعة تم غسلها وفصل القشرة عن البذور وغمرها بالماء لفرز البذور ذات الحيوية العالية، ثم تم تجفيف البذور بجو الغرفة، ومعاملتها بالرماد للحفاظ عليها لوقت الزراعة.

معاملة البذور والتصميم التجريبي

غسلت البذور ثم عقمت بمحلول الكلور المخفف70%، وصممت التجربة بالتصميم العشوائي الكامل في 4 معاملات و4 مكررات (اطباق إنبات)، وقسمت البذور على المعاملات المختلفة بواقع 360 بذرة كما يلي:

- معاملة الشاهد (T1) نقعت البذور بالماء لمدة24 ساعة.
- نُقعت البذور في الماء المقطر دون إضافة أي مادة أخرى للماء، ثم صُفيت البذور وزُرعت في البيئة المعدة للزراعة.
- معاملة ازيد الصوديوم (T2) وفيها نُقعت البذور بمحلول ازيد الصوديوم (NaN_3) من شركة *(@Fisher Scientific)* بتركيز 0.1 مولار لمدة 24 ساعة بإستخدام جهاز التحريك المغناطيسي من شركة *(@Fisher Scientific)* ، حيث تم تحضير المحلول من خلال اذابة بودرة مادة ازيد الصوديوم بمقدار 3251 ملي جرام في 500 مل من الماء المقطر، وتم تحريكه بشكل مستمر لمدة 10 دقائق للحصول على محلول متجانس، وتم تحضير التركيز من خلال تحضير محلول بتركيز 0.1 مولار [13] حسب المعادلة:
  - كمية المادة الصلبة (ملي غرام) = تركيز المحلول (ملي مولار) xحجم المحلول (لتر)x الوزن الجزئي للمادة.
- معاملة نقع البذور بمستخلص بذور الحرمل (T3) وفيها تم نقع البذور لمدة24 ساعة في مستخلص بذور الحرمل بتركيز 100%.

وفيها تم تجهيز المستخلص بغسل وتنشيف بذور نبات الحرمل (*Peganum harmala L.*) ثم طحنهم ووزنهم واخذ وزن 150 جراماً من المسحوق وخلطه مع 750 مل من الماء المقطر، وتم تحريكهم بشكل متفرق خلال 24 ساعة ثم تم ترشيح المستخلص بالشاش، والرواسب المتبقية من النقع تم اضافة كمية 250 مل لها وتركها لمدة 24ساعة اخرى مع التحريك المتفرق ثم تم ترشيحه مرة اخرى بالشاش، واستكملت كمية الماء لتصل لتر واحد حسب [36].

- معاملة غمس الشتلات بمستخلص بذور الحرمل (T4) وفيها تم غمس بادرات البن بعمر 94 يوم لمدة 8 ساعات قبل نقلها الى أكياس التشتيل ورعايتها في المشتل مع بقية المعاملات وبنفس الظروف.

إنبات البذور والرعاية

زُرعت البذور المعاملة في احواض انبات بعمق 12 سم معبأة بتربة صناعية بيتموس، ووضعت البذور في مراقد مخصصة لإنبات بذور البن في نفق بعيداً عن الضوء وترطيبه بالماء بشكل منتظم طول مدة الإنبات ونسبة رطوبة لا تقل عن 70%.

جمع البيانات

البيانات جمعت ووثقت في قاعدة بيانات صممت في برنامج اكسل (Excel) لتتبع حالة كل بذرة زرعت ونبات استمر على قيد الحياة او مات، وهو ما سهل متابعة التغيرات التي حدثت على النباتات من وقت الإنبات إلى تطور الشتلة وتسجيلها اولاً بأول، ويمكن تلخيص النتائج عندما وصلت البادرات لمرحلة اكتمال خروج الأوراق الفلقية وبدء نمو الورق الحقيقية تم استخراج الشتلات وقياس الصفات التالية:

- النسبة المئوية للانبات(%): تم باحتساب عدد البذور النابتة مقسوما على عدد البذور الكلي مضروبا في 100.
- سرعة الانبات: تم باحتساب عدد الأيام المستغرقة من زراعة البذور حتى الحصول على بادرات في مرحلة الأوراق الفلقية.
- طول الهيوكوبتيل: هو طول البادرة من منطقة اتصال الساق بالجذر إلى أخر نقطة بالأوراق الفلقية (مللي متر).
- طول الجذر: أُخذ القياس بالمسطرة، من نقطة اتصال الجذر بالساق وحتى آخر نقطة بالجذر (مللي متر).
- عدد الجذور: تم عد الجذور التي نمت متفرعة من الجذر الوتدي وطولها أكبر من 1 سم.

والشتلات التي تم اخذ قياساتها ودراستها زُرعت في أكياس تشتيل بحجم (عمق 25 سم وقطر12 سم) مليئة بمخلوط التربة والخفان البركاني بنسبة 2:1، ووضعت تحت ظروف المشتل المخصص لشتلات البن حسب التوصيات [9] وتم رصد ومتابعة التغيرات والتحويرات المظهرية اولاً بأول بالملاحظة بالنظر بدءاً من اكتمال تطور الأوراق الفلقية ونمو الأوراق الحقيقية.

جمع البيانات والتحليل الإحصائي

تم عمل قاعدة بيانات دونت في برنامج أكسل حيث تم تتبع حالة كل بذرة زرعت وكل نبات استمر في نموه أو مات. والتحليل الاحصائي تم بموجب التصميم المتبع حيث تم تحليل ANOVA وقورنت المتوسطات باستخدم أقل فرق معنوي LSD عند مستوى احتمال 5% كما تم تحليل الارتباط البسيط (r) (Pearson) بين الصفات المدروسة باستخدام البرامج الإحصائية (SPSS 19) و (Geni stat 12).

3. النتائج والمناقشة:

يمكن تلخيص النتائج كما يلي:

تأثير المعاملات على انبات البذور ونمو البادرات:

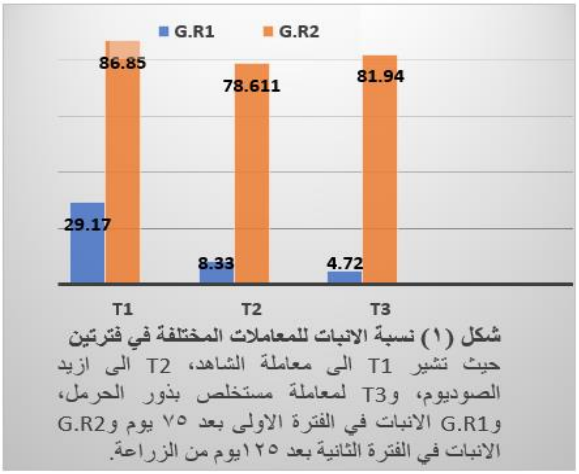
بينت النتائج ان إنبات بذور البن يحتاج الى ظروف خاصة ووقت طويل ولهذا فالإنبات ليس منتظماً ولا متجانساً تماماً و يمر بمراحل متعددة حتى يكتمل، حيث وجد انه تحت الظروف الطبيعية تبدأ بعض البادرات اولاً بظهور جزء من السويقة على هيئة "الخوذة" عند اليوم 45 من زراعة البذور واستكملت هذه المرحلة لدى معظم البذور خلال عشرة أيام، تليها مرحلة انتصاب السويقة وظهور أغلفة البذرة منتصبة على السويقة وتسمى (مرحلة الجندي) والتي بدأت بالظهور منذ اليوم 55 من زراعة البذور واستكملت في معظم البادرات خلال عشرين يوماً، ثم بدأت الأوراق الفلقية بالنمو والظهور خارج غلاف البذرة لتبدو على شكل (الفراشة) والتي استكملت فيها معظم البذور خلال 35 يوماً، أي أن البادرة من الزراعة إلى مرحلة اكتمال خروج الأوراق الفلقية احتاجت من الوقت بالمتوسط 82 يوماً تقريباً، وحتى نمو الأوراق الحقيقية (114 يوماً)، كما احتاجت الشتلة لتصل إلى مرحلة نمو الزوج السابع من الأوراق إلى فترة سنة، و لتصل لمرحلة بداية تفرع الشتلة تطلبت الشتلات فترة سنه ونصف كمتوسط.

النتائج في الجدول 1 تبين أن المعاملات المختلفة للبذور في المواد المطفرة مقارنة بالمعالة الطبيعية أظهرت

فروقات في الصفات النوعية (المظهرية) والكمية (القياسية) حيث تم تسجيل تباين في سرعة الانبات (الاختلاف في عدد الأيام اللازمة لإنبات البذور)، وبسهولة تم ملاحظة وتمييز بادرات طويلة، وبادرات متوسطة، وبادرات قصيرة، والنتائج مفصلة كما يلي:

نسبة وسرعة الإنبات:

تم دراسة نسبة الإنبات بفترتين (GR1) والذي سجل بعد (75 يوماً من الزراعة) و (GR2) والذي سجل بعد (90 يوماً) كما يوضحه (الشكل 1).



شكل (١) نسبة الانبات للمعاملات المختلفة في فترتين حيث تشير T1 الى معاملة الشاهد، T2 الى ازيد الصوديوم، وT3 لمعاملة مستخلص بذور الحرمل، وG.R1 الانبات في الفترة الاولى بعد ٧٥ يوم وG.R2 الانبات في الفترة الثانية بعد ١٢٥يوم من الزراعة.

والنتائج أوضحت ان بنسبة الإنبات تفاوتت حسب المعاملات وان هذه الاختلافات جوهرية وواضحة بين المعاملات المختلفة، حيث سجلت معاملة الشاهد أعلى معدل إنبات، اذ بلغت 105نبات أي بما نسبته (29.17%)، تلتها المعاملة بمستخلص ازيد الصوديوم بعدد 30 نبات (8.33%).

والذي يشير إلى ان المستخلص قد أثر على تباطؤ عملية الإنبات بدرجة متوسطة مقارنة بالشاهد، اما معاملة الحرمل فكانت أضعف انباتاً بعدد 17 نبات (4.72%) مما يشير إلى المعاملات بالمستخلصات قد أثر سلباً على نسبة وسرعة الإنبات مقارنة بالشاهد وهو ما أكدته نتائج عدد البادرات المنبتة بعد 125 يوماً من الزراعة والتي اعتبرت تاريخ الإنبات النهائي (GR2) والذي بين أن أعلى نسبة كانت في معاملة الشاهد حيث بلغت نسبة إنبات البذور في المعاملة الطبيعية (الشاهد) 86.9%، وكانت نسبة البذور المنبتة في معاملة ازيد الصوديوم 78.611%، معاملة الحرمل كانت نسبة إنبات البذور 81.94%. وهذه النتائج تبين ان هناك تأثيراً على سرعة الإنبات ونسبتها في المعاملات بالمطفرات مقارنة بالشاهد حيث وجد أكثر تأثيراً مع معاملة البذور بازيد الصوديوم يليها تأثير مستخلص بذور الحرمل، وهذه النتائج تتطابق مع ما وجده [37] ان أزيد الصوديوم أدى إلى انخفاض نسبة إنبات الفلفل الحار، حيث وُجد أن نسبة الإنبات تراوحت بين 28% و100%، وانخفضت بمقدار 1.01% إلى 2.96%، وفي ما وجده [25] بأن مجموعة من مجاميع المعاملات ذات المستخلصات المائية للحرمل أنه أدى إلى انخفاض في نسبة الانبات ووزن البذور.

الاختلافات المورفولوجية القياسية:

القياسات للصفات المظهرية مثل طول السويقة (البادرة Hypocotyl Length- H.L) وطول الجذور (Roots Leengh- R.L) وعدد الجذور (Roots Number-R.N) والتي درست بعد اكتمال ظهور الأوراق الفلقية أي بعد (125 يوماً من الزراعة) وعلى مجموعه عشوائية من النباتات والنتائج في الجدول (1) تظهر عدد النباتات التي تم عليها القياسات(No.P) في المعاملات الثلاثة، نباتات المعاملة T4 لتي تم غمسها في مستخلص الحرمل جميعها ماتت في الأسابيع الأولى من غمسها مما يشير الى ان التركيز المستخدم والمدة

اللازمة للغمس تحتاج الى دراسة اكثر وبتراكيز وفترات غمس اقل، ويبدو ان هذا السبب في موت البادرات.

طول البادرة: (H.L- Hypocotyl length)

يوضح الجدول (1) عدد النباتات التي تم قياسها في كل معاملة، حيث كانت متوسط طول **نباتات** معاملة الشاهد (13.2±1.05)

جدول1. المتوسطات والانحراف المعياري (±) للصفات التي تم تقييمها في نباتات المعاملات المختلفة.

المعاملة	No.P	DTG	H.L cm	R.L cm	R.N
T1	63	96	13.2±1.05	4.49±0.602	28.59±6.05
T2	108	105	12.5±1.4	4.140±0.720	26.28±5.193
T3	183	116	12.4±1.39	3.951±0.680	23.44±5.326
T4	**النباتات في هذه المعاملة المتمثلة ماتت في الأسابيع الأولى**				
$LSD_{0.05}$		3.3	0.342	0.18	1.393
C.V %		12	10.07	15.91	21.16

حيث ان T1 معاملة الشاهد وT2 معاملة ازيد الصوديوم وT3 معاملة مستخلص بذور الحرمل وT4 غمس جذور البادرات بمستخلص الحرمل وNo.P عدد النباتات التي قيمت في نهاية المرحلة الاولى، DTG عدد الايام الى الانبات، (H.L) طول البادرة، وطول الجذور (R.L)، وعدد الجذور (R.N)، وقيمة أقل فرق معنوي ($LSD_{0.05}$)، ومعامل الاختلاف (CV).

و تراوحت الاطوال ما بين 11.5 – 15.7سم، وبالنسبة لبادرات معاملة ازيد الصوديوم كان المتوسط (12.5±1.4سم) وكانت الأطول تتراوح قيمها ما بين 9–15.3 سم، اما معاملة الحرمل فكان متوسط الطول (1.39 ± 12.4سم) والاطوال في هذه المعاملة تتراوح ما بين 9.6–16.3 سم، وهو ما يبين بوضوح ان هناك تأثيراً واضحاً وكبيراً في تأثير المواد المطفرة على أطول البادرات في نفس المعاملة وهو ما يسجل في الانحراف القياسي، وتباين فيما بين المعاملات حيث أظهرت نتائج المتوسطات ان هناك اختلافًات معنوية بين المعاملة الشاهد T1 و كل من معاملة ازيد الصوديوم T2 ومعاملة الحرمل T3 في اطوال البادرات، مما قد يدل على تأثير للمطفر على نمو النبات، وهذا يتفق مع نتيجة [38] بأن نتيجته تتفق مع نتيجة دراسة [39] واللذين أفادا بأن المستخلص الإيثانولي لنبات الحُرمَل (*P. harmala*) يثبط أطوال الجذور والبراعم في القمح والخس.

بناء على نتائج الانحراف المعياري يمكن الإشارة إلى ان التباين داخل كل معاملة واضحة حيث هي أقل في معاملة الشاهد وأكبر في معاملة ازيد الصوديوم ومستخلص بذور الحرمل. ونتائج التحليل للتباين يُظهر الفرق بين المعاملات في تأثيرها على اطوال

البادرات، و $LSD_{0.05}$ البالغ 0.342 يشير إلى وجود فروق معنوية بين القيم.

طول الجذر (R.L- Root length)

في معاملة الشاهد كان طول الجذور في الشاهد تتفاوت من 3.2–6.7 سم وفي معاملة ازيد الصوديوم كان هذا التفاوت يتراوح بين 2–5.8سم وكان أكبر في معاملة الحرمل حيث بلغ التفاوت بين أقل طول للجذور واكبرها بين 0.5– 5.7 سم، وهذه النتائج تدعم الفكرة بوجود تباينات واضحة بين النباتات ودرجة تأثرها بالمواد المطفرة داخل كل معاملة.

وفيما يتعلق في المقارنة بين المعاملات فنجد تفاوتاً في متوسط طول الجذر بين المعاملات بشكل واضح واظهرت اختلافات معنوية كبيرة بين جميع المعاملات، حيث أظهرت معاملة الشاهد اعلى متوسط طول للجذر، حيث بلغ طول الجذر فيها ± 4.49 0.602سم، ثم تلتها معاملة ازيد الصوديوم بطول جذر قدره 0.720 ± 4.140 سم، أما معاملة مستخلص بذور الحرمل فسجلت أقل متوسط لطول الجذر بـ 0.680 ± 3.951 سم، مما قد يشير إلى تثبيط نسبي في استطالة الجذر، وتتفق هذه النتائج مع كل من [40–43]، والفروق بين المعاملات كانت واضحة، و $LSD_{0.05}$ لهذه الصفة بلغ0.1747 ، وهو ما يُشير إلى فروق معنوية واضحة، والتباين داخل كل معاملة واضح حيث أقل قيمة في معاملة الشاهد واكبر في معاملة ازيد الصوديوم.

عدد الجذور (R.N- Root Number):

تراوحت عدد الجذور في بادرات معاملة الشاهد بين17–47 جذراً، وفي معاملة ازيد الصوديوم كانت تتراوح عدد الجذور بين 15–42 جذر، اما معاملة الحرمل فكان عدد الجذور في البادرات يتراوح بين 5–36 جذر، وهذه الاختلافات ضمن المعاملات مهمة ولكنها أكثر أهمية في التباينات بين المعاملات، حيت حققت وجدت اختلافات معنوية كبيرة وواضحة، حيث كان في معاملة الشاهد أعلى متوسط لعدد الجذور بـ28.59±6.05، بينما سجلت معاملة ازيد الصوديوم متوسطًا قدره 26.28±5.193، وهو أقل من معاملة الشاهد ولكن ما يزال مرتفعاً نسبياً، في المقابل، جاءت معاملة مستخلص ازيد الصوديوم بأقل عدد جذور حيث بلغ 23.44±5.33، ما قد يدل على ضعف تأثيرها في تحفيز التفرعات الجذرية. وتشير قيمة $LSD_{0.05}$ البالغة 1.393 إلى وجود فروقات يحتمل أن تكون معنوية بين المعاملات الثلاث، والتباين داخل كل معاملة واضح حيث أن أقل قيمة في معاملة ازيد الصوديوم وأكبر في معاملة الشاهد، مما يعزز نتيجة الأثر السلبي للمواد المطفرة على نمو الجذور.

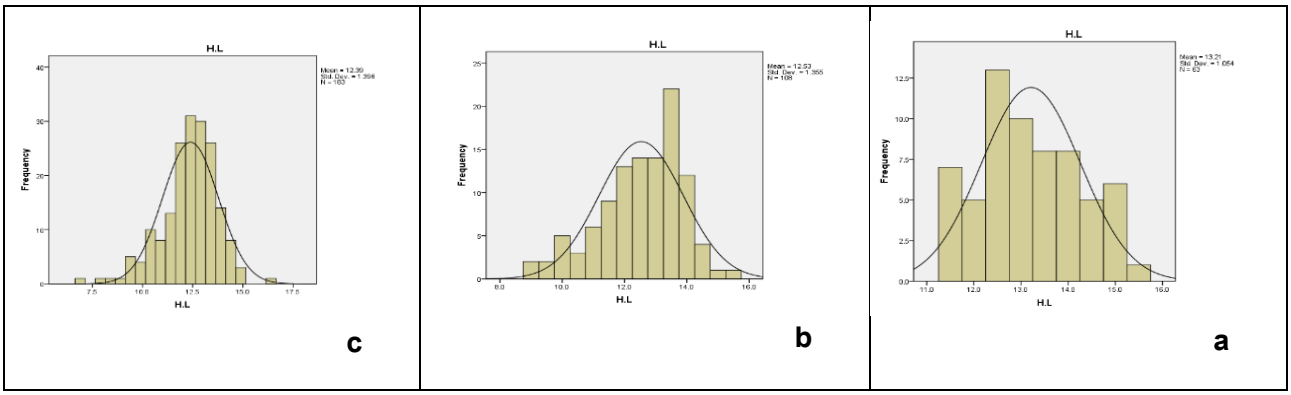
وقد بين العديد من الباحثين ان صفات الإنبات والنمو تقل مقارنة بمعاملة الشاهد إذ ارتفع التركيز إلى مستوى عالٍ جدًا واطالت فترة التطبيق من ازيد الصوديوم، حيث يعطي نتائج سلبية منهم [44–46] وغيرهم او بسبب المركبات الأليلوباثية التي موجودة في مستخلص بذور الحرمل[43] وذكر [47] أن بعض القلويدات الموجودة في الحرمل تُقلل من انقسام الخلايا وبالتالي تأخر الإنبات والنمو.

التباين في المجموعات النباتية:

لتحليل التغيرات التي حدثت داخل كل معاملة وبين المعاملات المختلفة بشكل أدق تم استخدام تحليل المدرج التكراري لتوزيع القيم:

طول البادرة:(H.L– Hypocotyl length)

يلاحظ من الشكل (2a) ان المدرج التكراري لتوزيع قيم طول الريشة يظهر نمواً طبيعياً للبادرات في ظروف الشاهد مما يدل على استقرار الاستجابة الفسيولوجية للنباتات ويدل المنحنى بشكل عام على تجانس البيانات. وفي معاملة ازيد الصودبوم الشكل (2b) يظهر التوزيع مجموعة من القيم المتطرفة تتجه نحو القيم الأعلى والادنى لا يماثل الشكل الطبيعي تحت تأثير المادة المطفرة (ازيد الصوديوم)، ومعظم القيم متركزة حول القيمة الوسطية وبعض القيم الأقل من المتوسط، ويدل المنحنى بشكل عام على اختلافات في تجانس البيانات. كما يظهر الشكل (2c) في معاملة مستخلص بذور الحرمل ان معظم توزيع العينات تتركز قريبا من المتوسط مع تواجد قيم متطرفة نحو القيم الأدنى من المتوسط بشكل واضح مما يدل على أن التوزيع ليس طبيعيا بشكل كامل، ويشير هذا المنحنى إلى انه المعاملة بمستخلص بذور الحرمل انتجت قيماً متغايرة مما يعكس تأثيراً واضحاً للمستخلص في نمو البادرات.

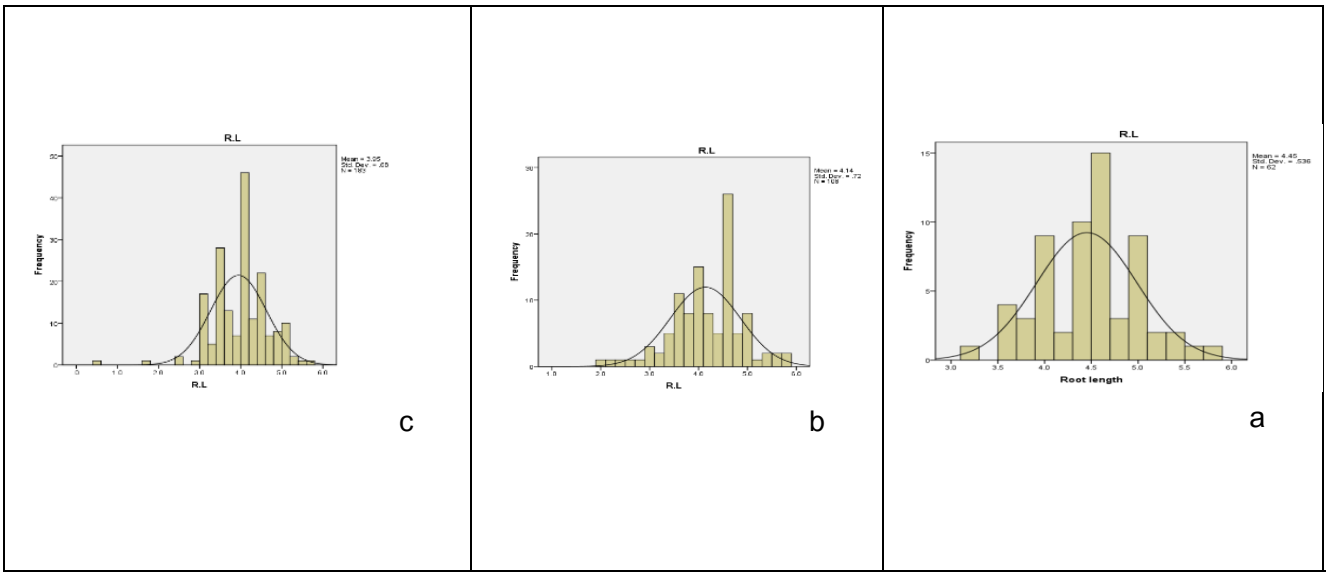


شكل (2). منحنى طول البادرة بالنسبة a. الشاهد b. ازيد الصوديوم c. مستخلص بذور الحرمل

طول الجذور

يظهر الشكل (3) المنحنى التكراري لصفة طول الجذر، ففي معاملة الشاهد (3a) كان التوزيع طبيعياً وشبه متماثل، ويظهر المدرج التكراري أن غالبية النباتات كانت ضمن النطاق 4–5 سم وهو ما يمثل أعلى تكرار، بينما تنخفض التكرارات تدريجياً باتجاه القيم الأعلى أو الأقل، وهذا التوزيع يشير إلى تجانس واستقرار النمو الجذري في النباتات الغير المعاملة، بينما يظهر المنحنى التكراري لطول الجذور في معاملة ازيد الصوديوم (3b) توزيعاً قريبا للطبيعي مع وجود قيم قليلة متطرفة ناحية الجهة اليمنى وأعلى تكراراً وجد عند القيم 4.6 والتكرار الأكثر تقارباً بين القيم 3.6 و4.8 ويعبر المنحنى عن اختلال بسيط في تجانس البيانات، بينما يظهر منحنى طول الجذور لمعاملة مستخلص بذور الحرمل (3c) تفاوت في القيم ولكنها محصورة ضمن نطاق التوزيع الطبيعي مع وجود قيم قليلة جداً متطرفة جهة اليسار ويبلغ اعلى تكرار للقيم عند 4.2 وهو قريب من المتوسط، مما يدل على تغير أيضا في تجانس البيانات تحت تأثير مستخلص بذور الحرمل، وهذه النتائج لا تتوافق

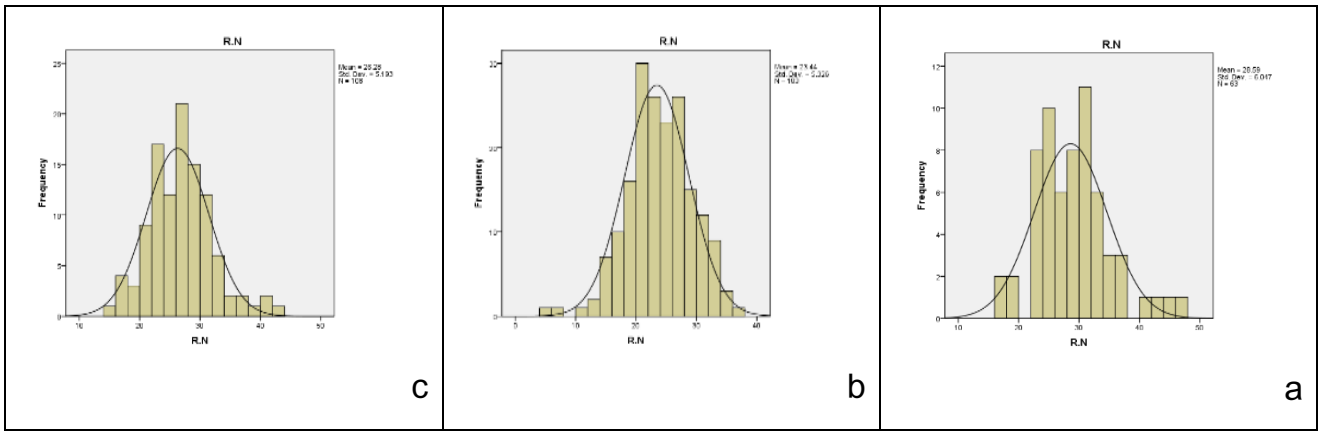
مع دراسة [48] حيث لوحظ وجود انخفاض مفاجئ في طول الجذر، انخفض طول الجذر تدريجيًا بالتوازي مع زيادة جرعات الإشعاع.



الشكل (3). التوزيع التكراري لطول الجذر بالنسبة لمعاملة a. الشاهد b. ازيد الصوديوم c. مستخلص بذور الحرمل

عدد الجذور:

يبين الشكل (4) المنحنى التكراري لصفة عدد الجذور، ففي نتائج معاملة الشاهد(4a) توزعت توزيعاً طبيعياً تقريباً لعدد الجذور الحقيقية ويشير المنحنى إلى نمو جذري متجانس ومستقر، حيث تمركزت غالبية القيم ضمن النطاق 22–35 جذراً، وهو ما يعكس انتظاماً فسيولوجياً تحت الظروف البيئية والوراثية الطبيعية، كذلك يُعد شكل المدرج التكراري هذا لمنحنى التوزيع الطبيعي في حال معاملة الشاهد مؤشراً على عدم وجود تأثيرات بيئية أو جينية مؤثرة بشكل ملحوظ على عدد الجذور في هذه المعاملة، مما يمكن اعتمادها كمرجع موثوق عند مقارنة نتائج المعاملات الأخرى، كما أن منحنى عدد الجذور لمعاملة ازيد الصوديوم الشكل(4b) تشير إلى اختلافات في التوزيع الطبيعي ومع وجود قيم متطرفة نجد أن قيم منحنى عدد الجذور لمستخلص بذور الحرمل (4c) تتمركز حول الرقم 21.5 مما يدل على أن البيانات تتوزع بشكل شبه طبيعي، وتعد بعض البيانات الناتجة عن التحليل غير منتظمة وتحتوي على قيم متطرفة بشكل واضح. وتؤكد النتائج لدراسة التوزيع الطبيعي والتغير في شكل المدرج التكراري المرافق مع منحنى التوزيع الطبيعي مؤشراً على وجود تأثيرات جينية مؤثرة بشكل ملحوظ على الصفات المدروسة في هذه المعاملات بازيد الصوديوم ومستخلص بذور الحرمل مقارنة في معاملة الشاهد، مما يمكن اعتمادها كمرجع موثوق في مقارنة نتائج المعاملات.



الشكل (4). منحنى عدد الجذر بالنسبة لمعاملة a. الشاهد b. ازيد الصوديوم c. مستخلص بذور الحرمل

علاقات الارتباطات بين الصفات:

تحليل الارتباط بين الصفات المقاسة في المعاملات المختلفة تبين ان تلك العلاقات اختلفت حسب نوع المعاملة، ففي معاملة الشاهد (الجدول 2) لوحظ وجود ارتباط طردي متوسط ودال إحصائيًا بين بعض الصفات فقط مثل طول الريشة وطول الجذر، حيث بلغ معامل الارتباط 0.43**، مما يشير إلى أنه كلما زاد طول الريشة زاد طول الجذر بشكل متناسب نسبيًا، بينما كانت العلاقة بين طول الساق وعدد الجذور ضعيفة وغير دالة (0.214)، مما يعني عدم وجود علاقة قوية بين هذين المتغيرين تحت الظروف الطبيعية، أما العلاقة بين طول الجذر وعدد الجذور فكانت سلبية ضعيفة جدًا وغير دالة (−0.025)، ما يدل على غياب الارتباط الفعلي بينهما، بينما نجد أيضا في (الجدول 2) أن العلاقات الارتباطية في معاملة أزيد الصوديوم، تحسنت بشكل ملحوظ، حيث ظهر ارتباط طردي متوسط ودال بين طول الريشة وطول الجذر (0.43**)، وكذلك بين طول الساق وعدد الجذور (0.41**)، مما يشير إلى أن المعاملة أثرت إيجابًا على التناسق بين نمو الجزء الهوائي والجذري، وبرز ارتباط طردي متوسط ودال بين طول الجذر وعدد الجذور (0.207*)، وهو ما قد يعكس تنشيطًا معتدلًا للنمو الجذري بفعل ازيد الصوديوم وايضا يدل على تأثير المادة المطفرة في هذه الصفات.

كما يشير (الجدول 2) إلى تأثير مستخلص بذور الحرمل، فقد ظهرت العلاقات الارتباطية الأقوى مقارنة بالمعالجات الأخرى، فارتبط طول الساق وطول الجذر ارتباطًا طرديًا متوسطاً ودالاً (0.406**)، بينما كانت العلاقة بين طول الساق وعدد الجذور أقوى نسبياً (0.541**)، مما يشير إلى فعالية مستخلص بذور الحرمل في تعزيز الاتساق بين نمو النبات الكلي وعدد التفرعات الجذرية، أما العلاقة بين طول الجذر وعدد الجذور فكانت قوية نسبياً ودالة أيضاً (0.50**)، ما يدل على وجود تآزر في نمو الجذور تحت تأثير المستخلص، ويرجّح ظهور هذا الارتباط إلى احتواء المستخلص على مركبات نشطة تنظّم النمو بشكل أكثر توازنًا من المعالجات الأخرى من

جدول (2). علاقات الارتباطات (Pearson's r) بين الصفات المدروسة في المعاملات المختلفة

المعاملات		H. L	R. L	R. N
الشاهد Control	H. L	1		
	R. L	0.425**	1	
	R. N	0.214	-.025*	1
معاملة ازيد الصوديوم Sodiom azaidl	H. L	1		
	R. L	.430**	1	
	R.N	.410**	.207*	1
معاملة مستخلص بذور الحرمل Hamala Extract	H. L	1		
	R. L	.406**	1	
	R. N	.541**	.501**	1

حيث ان (H.L) ارتفاع الهيوكوبتيل و (R.L) تعني طول الجذر و (R.N) هي عدد الجذور لكل من معاملات الشاهد وازيد الصوديوم ومستخلص بذور الحرمل

ازيد الصوديوم والشاهد، وتظهر هذه النتائج أهمية استخدام المستخلصات النباتية في تحفيز الأداء الفسيولوجي للنبات، ويدعم توجّهًا نحو بدائل طبيعية ذات فعالية واضحة في تعزيز التكوين الجذري.

التحويرات المظهرية في النباتات النامية

مع اكتمال نمو الأوراق الفلقية وبدء نمو الأوراق الحقيقية في العقدة الأولى ظهرت اختلافات وتحورات مورفولوجية واضحة للعيان في النباتات النامية تحت ظروف المشتل وخاصة في المعاملة بازيد الصوديوم بشكل أكثر وهناك بعض التغيرات في معاملة مستخلص بذور الحرمل. تمثلت هذه التحورات المظهرية التي تم مشاهدتها وتسجيلها على الأوراق الفلقية التي هي المرحلة النهائية لانبات البذور، وكذلك ما تم تسجيله على الأوراق الحقيقية بعد ان نمت البادرات تحت ظروف المشتل الأوراق وظهرت العقدة الأولى، مجموع ما تم رصده من تحويرات مظهرية هي سبعة أشكال من التحويرات التي ظهرت بشكل فردي او مجتمع على النباتات وتم متابعتها اول بأول (الجدول 3) ويمكن تلخيصها هنا كما يلي:

a- وجود نبات واحد بورقتين حقيقيتين مدمجتين في العقدة الأولى من النبات، وهذا النبات مات في الشهر التاني.

b – سته نباتات نمت بثلاث ورق فلقية، ماتت منها نباتين قبل نهاية التجربة بعد عام.

c- عشرة نباتات بثلاث أوراق حقيقية في العقدة الأولى فقط ولم تظهر صفة الأوراق الثلاثية في

المراحل التالية ماعدا في نبات واحد استمرت حتى نهاية التجربة بعد عام، من هذه النباتات مات منها نبات واحد والبقية عاشت حتى نهاية التجربة.

d- ثلاثة نباتات نمت ب اربع أوراق حقيقية في العقدة الأولى فقط واستمرت النباتات في النمو في المراحل التالية طبيعية بورقتين.

e- وجود خمسة نباتات وبها ثلاث أوراق حقيقية في العقدة الاولى (ورقتين مدمجات وورقة طبيعية) واستمرت في النمو حتى نهاية التجربة ولكن اوراقها في المراحل التالية كانت طبيعية.

f- تطور نبات واحد ب اربع أوراق حقيقية في العقدة الاولى (ورقتين مدمجات).

g- وجود نبات واحد وفيه قمتين ناميتين ولكن هذا النبات مات في المراحل التالية للنموا.

جدول 3. الاشكال المختلفة المتحورة من الأوراق الفلقية والحقيقية التي ظهرت على النباتات المعاملة بازيد الصوديوم (T2) ومستخلص الحرمل (T3)

الرقم	الوصف	الصورة	المعاملة	التكرار	ارقام النباتات	حالة النباتات حتى نهاية التجربة في سبتمبر 2024
a	ورقتين حقيقيتين مدمجتين في العقدة الاولى		T2	1	42	مات النبات في المراحل التالية
b	ثلاث أوراق فلقية		T2	6	4,21,38,65, 72,92	فقط 72 و 38 ماتت في المراحل التالية
			T3	3	74،86،10	لازالت كلها على قيد الحياة ولكن لم تظهر تحويرات أخرى على الأوراق في المراحل التالية

c	ثلاث أوراق حقيقية في العقدة الأولى		T2	10	11,14,**26**,45,49, 64,73, 76,88,90	النبات رقم 11 ماتت فقط، وبقية النباتات لازالت على قيد الحياة ولكن لم تظهر التحويرات على الأوراق في المراحل التالية، ماعدا النبات رقم **26** استمرت الأوراق ثلاثية الى نهاية التجربة
d	اربع أوراق حقيقية في العقدة الاولى		T2	3	6,56,89	النباتات لازالت على قيد الحياة ولكن لم تظهر التحويرات على الأوراق في المراحل التالية
e	ثلاث أوراق حقيقية في العقدة الاولى (ورقتين مدمجات وورقة طبيعية)		T2	5	24,54,58,75,85	لازالت النباتات على قيد الحياة ولكن لم تظهر التحويرات على الأوراق في المراحل التالية
f	أربع أوراق حقيقية في العقدة الاولى (ورقتين مدمجات)		T2	1	22	لازالت على قيد الحياة ولكن لم تظهر التحويرات على الأوراق في العقد التالية
g	قمتين ناميتين		T3	1	47	مات النبات في المراحل التالية

4. الاستنتاجات:

تُعد الطفرات المستحدثة أداة قيمة في تحسين الصفات الوراثية للنباتات، وقد أظهرت هذه الدراسة تأثيراً واضحاً لمركب أزيد الصوديوم بشكل كبير في احداث تغيرات بينما هناك تغيرات بسيطة عند استخدام مستخلص بذور الحرمل وخاصة في التباينات في صفات إنبات ونمو نبات البن، وأظهرت النتائج أن معاملة الشاهد كانت الأفضل من حيث سرعة الإنبات ونسبته، وكذلك في طول الريشة وطول وعدد الجذور، بينما أثرت المعاملات بأزيد الصوديوم ومستخلص بذور الحرمل سلبًا على هذه الصفات، حيث أدت إلى انخفاض في سرعة الإنبات ونسبته، وتطرف في أطوال الريشة والجذور وأعدادها. ومع ذلك، لوحظ أن مستخلص بذور الحرمل عزز التناسق بين نمو الأجزاء الجذرية والهوائية بشكل أفضل من أزيد الصوديوم والشاهد، مما يشير إلى ان تلك المركبات أحدثت تغيرات في المادة الوراثية وتشجيع أهمية استخدامها في استحثاث الطفرات في البن اليمني والانتخاب لتحمل الضغوطات الحيوية والبيئية.

يمكن القول إن استخدام المطفرات، سواء الكيميائية (NaN_3) أو الطبيعية (مستخلص بذور الحرمل)، أثرت على إنبات ونمو شتلات البن بنسب متفاوتة، وقد يؤدي إلى وجود تباين وراثي يسمح بإجراء انتخاب لنباتات تمتلك مجموع جذري طويل وكثيف ونباتات طويلة وقصيرة.

وأشارت نتائج الدراسة إلى أن هناك علاقة عكسية بين تركيز المطفر ومؤشرات النمو والإنبات. كما يُحتمل أن مستخلص بذور الحرمل عند تراكيز معينة قد يكون أقل ضررًا من المطفرات الكيميائية، ما يجعله خيارًا واعدًا في تحسين التنوع الوراثي دون الإضرار الكبير بالنمو.، بينما معاملة غمس الشتلات في مستخلص الحرمل تحتاج الى دراسات إضافية في تراكيز ووقت تغميس متباينة.

5. المراجع

1] Organization, I.C., Total production by all exporting countries. 2016. asb-2016.pdf

[2] SILVA, R., ZAMBOLIM, L., CASTRO, I., RODRIGUES, H., CRUZ, C. & CAIXETA, E., VICOSA 2018. The Híbrido de Timor germplasm: identification of molecular diversity and resistance sources to coffee berry disease and leaf rust. Journal of Euphytica, 214, 1-16. Sci-Hub. The Híbrido de Timor germplasm: identification of molecular diversity and resistance sources to coffee berry disease and leaf rust / Euphytica, 2018

[3] DOS SANTOS, T. B., BUDZINSKI, I. G., MARUR, C. J., PETKOWICZ, C. L., PEREIRA, L. F. & VIEIRA, L .G. 2011. Expression of three galactinol synthase isoforms in Coffea arabica L. and accumulation of raffinose and stachyose in response to abiotic stresses. Plant Physiology Biochemistry, 49, 441-448. Expression of three galactinol synthase isoforms in Coffea arabica L. and accumulation of raffinose and stachyose in response to abiotic stresses. | Semantic Scholar

[4] Organization, I.C., Coffee Report and Outlook (CRO). 2023. International Coffee Organization 2023 Coffee Report and Outlook. - Free Online Library

[5] Al-Hakimi, A. and B. Allard, Collection, characterization and evaluation of Yemeni

of crisis: F1 hybrids in Central America since 1990.

[12] LASHERMES, P., COMBES, M.-C., TOPART, P., GRAZIOSI, G., BERTRAND, B. & ANTHONY, F. Molecular breeding in coffee (Coffea arabica L.). Coffee Biotechnology and Quality: Proceedings of the 3rd International Seminar on Biotechnology in the Coffee Agro-Industry, Londrina, Brazil, 2000. Springer, 101-112. Molecular Breeding in Coffee (Coffea Arabica L.) | Springer Nature Link (formerly SpringerLink)

[13] VARGAS-SEGURA, C., LóPEZ-GAMBOA, E., ARAYA-VALVERDE, E., VALDEZ-MELARA, M. & GATICA-ARIAS, A. 2019. Sensitivity of seeds to chemical mutagens, detection of DNA polymorphisms and agro-metrical traits in M1 generation of coffee (Coffea arabica L.). Journal of Crop Science Biotechnology Research International, 22, 451-464. Sci-Hub. Sensitivity of Seeds to Chemical Mutagens, Detection of DNA Polymorphisms and Agro-Metrical Traits in M1 Generation of Coffee (Coffea arabica L.) / Journal of Crop Science and Biotechnology, 2019

[14] IAEA, International Atomic Energy Agency. https://www.iaea.org/ar/almawadie/hthth-altafarat

[15] Parry, M.A., et al., Mutation discovery for crop improvement. 2009. 60(10): p. 2817-2825. (PDF) Mutation discovery for crop improvement

[16] SALEEM, M., MUKHTAR, Z., CHEEMA, A. & ATTA, B. 2005. Induced mutation and in vitro techniques as a method to induce salt tolerance in Basmati rice (Oryza sauva L.). Journal of International Journal of Environmental Science Technology, 2, 141-145. (PDF) Induced mutation and in vitro techniques as a method to induce salt tolerance in Basmati rice (Oryza sauva L.)

landraces of coffee (Coffea arabica L.)[electronic resource]. 2005. 32: p. 1. Al Hakimi, A.A.S. and Allard, B. (2005) Collection, Characterization and Evaluation of Yemeni Landraces of Coffee. Zagazig Journal of Agricultural Research, 32, 1-12. - References - Scientific Research Publishing

[6] Al-Hakimi, A., Agro- ecological factors affect chemical compounds and quality of Yemeni Green Coffee. University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences., 2009: p. 13 (3): 257-264. (in Arabic). https://www.academia.edu/17143668/English_Abstracts_for_Papers_published_in_University_of_Aden_Journal_of_Natural_and_Applied_Sciences_Volumes_9_2005_14_2010_

[7] Mishra, M. and A. Slater, Recent advances in the genetic transformation of coffee. 2012. 2012. https://www.researchgate.net/publication/230834765_Recent_Advances_in_the_Genetic_Transformation_of_Coffee

[8] Davis, A.P., et al., High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability. 2019. 5(1): p. eaav3473. High extinction risk for wild coffee species and implications for coffee sector sustainability - PubMed

[9] Al-Hakimi, A., Coffee cultivation and production in Yemen, Book published by Particpatory Foundation for Reshearch and Dissmination. 2012. (in Arabic).

[10] Al-Hakimi, A., Enabah,S., Effect of drought on root and vegetative system growth in coffee seedling (Coffea arabica L.) International Journal for Scientific Research, London 2025. Vol (4): p. No (7), E-ISSN 2755-3418 https://www.researchgate.net/publication/393492480. https://doi.org/10.59992/IJSR.2025.v4n7p3_

[11] McCook, S. and A.J.P. Montero-Mora, People, Planet, Coffee breeding in a time of crisis: F1 hybrids in Central America since 1990. 2024. 6(5): p. 1070-1079. (PDF) Coffee breeding in a time

(PDF) Chemical Mutagenesis of Mature Seed of Coffea arabica L. var. Venecia Using EMS

[24] Asgarpanah, J., F.J.A.J.o.p. Ramezanloo, and pharmacology, Chemistry, pharmacology and medicinal properties of Peganum harmala L. 2012. 6(22): p. 1573-1580. Title: Chemistry, Pharmacology and Medicinal Properties of Peganum harmala L

[25] Mekki, L., M.A. Hussein, and H.J.P.J.B. Mansour, Genotoxic effect of Peganum harmala extracts on the growth of Vicia faba L. and DNA using nuclear microsatellites. 2015. 47(3): p. 995-1006. . Microsoft Word - 24-14-091 final proof.doc

.26 Enabah, S., Munibari M., Al-Hakim A. 2025. Evaluation of Genetic Variation in Yemeni Coffee Landraces (Coffea arabica L.) for some Morpho-physiological Traits Related to Drought Resistance. Accepted on Sana'a University Journal of Applied Sciences and Technology..3(6),1241-1258. https://doi.org/10.59628/jast.v3i6.2147 https://journals.su.edu.ye/index.php/jast. (In Arabic)

.27 LASHERMES, P., COMBES, M.-C., ROBERT, J., TROUSLOT, P., D'HONT, A., ANTHONY, F. & CHARRIER, A. 1999. Molecular characterisation and origin of the Coffea arabica L. genome. Journal of Molecular General Genetics MGG, 261, 259-266. (PDF) Lashermes

.28 Carvalho, A., H. Antunes Filho, and R.J.B. Nogueira, Genética de Coffea: XX. Resultados preliminares do tratamento de sementes de café com raios-X. 1954. 13: p. XVII-XX.

.29 Till, B.J., et al., Recovery of Novel Sequence Variants in Chemically Mutagenized Seed and Vegetatively Propagated Coffea arabica L. 2024. 10(10): p. 1077.

[30] Bolívar-González, A., et al., Responses of Arabica coffee (Coffea arabica L. var. Catuaí) cell suspensions to

[17] Maluszynski, M.J.P.C., Tissue and O. Culture, Officially released mutant varieties-the FAO/IAEA Database. 2001. 65(3): p. 175-177. Officially released mutant varieties - The FAO/IAEA database

[18] Shihab, A., Mutations and their role in plant breeding. University of Anbar, 2022. (in Arabic). https://agriculturecollege.uoanbar.edu.iq/News_Details.php?ID=1327.

[19] MBA, C., AFZA, R., BADO, S. & JAIN, S. M. 2010. Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. Journal of Plant cell culture: essential methods, 20, 111-130. (PDF) Induced Mutagenesis in Plants Using Physical and Chemical Agents

[20] PRINA, A., LANDAU, A., PACHECO, M., HOPP, E., ECHENIQUE, C. RUBINSTEIN, E. HOPP, & L. MRONGINSKI 2010. Mutagénesis, TILLING y EcoTILLING. Biotecnología y Mejoramiento Vegetal II Castelar, Argentina: Argenbio INTA. (PDF) Mutagénesis, TILLING y EcoTILLING. Capítulo 4, Parte II

[21] SRIVASTAVA, P., MARKER, S., PANDEY, P & .TIWARI, D. 2011. Mutagenic effects of sodium azide on the growth and yield characteristics in wheat (Triticum aestivum L. em. Thell.). Asian Journal of Plant Sciences 10, 190-201. Mutagenic Effects of Sodium Azide on the Growth and Yield Characteristics in Wheat (Triticum aestivum L. em. Thell.)

[22] Jankowicz-Cieslak, J. and Till, Chemical mutagenesis of seed and vegetatively propagated plants using EMS. 2016. 1(4): p. 617-635 (PDF) Chemical Mutagenesis of Mature Seed of Coffea arabica L. var. Venecia Using EMS.

[23] Ingelbrecht, I., Jankowicz-Cieslak, J., Szurman, M., Till, B. and Szarejko, I., 3rd edn. FAO/IAEA Publication, FAO, Rome, Italy, Chemical mutagenesis. 2018.

_Extracts_of_Peganum_harmala_Seeds_and_Their_Effects_on_Vicia_faba_Plants

[37] Herwibawa, B. The effects of sodium azide on seed germination and seedling growth of chili pepper (Capsicum annum L. cv. Landung). in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. IOP Publishing. The effects of sodium azide on seed germination and seedling growth of chili pepper (Capsicum annum L. cv. Landung) - IOPscience

[38] ABDERRAHMAN, S. M., SOLIMAN, S. & MOHAMMAD, M. G. 2018. Genotoxic effects of Peganum harmala L. in relation to traditional use. Journal of Pharmacognosy Phytotherapy, 10, 167-173. (PDF) Genotoxic effects of Peganum harmala L. in relation to traditional use

[39] SHAO, H., HUANG, X., WEI, X. & ZHANG, C. 2012. Phytotoxic effects and a phytotoxin from the invasive plant Xanthium italicum Moretti. Molecules Journal 17, 4037-4046. Phytotoxic Effects and a Phytotoxin from the Invasive Plant Xanthium italicum Moretti | MDPI

[40] NYAM, D. D., ITODO, J. E., SILA, M. D., ODESINA, I. S. & KWON-NDUNG, E. H. 2024. In vitro Evaluation of the Effects of Sodium Azide on the Germination and Seedling Development of Sesamum radiatum and Sesamum indicum. Direct Research Journal of Biology Biotechnology Research International, 10, 50-56 .(PDF) In vitro Evaluation of the Effects of Sodium Azide on the Germination and Seedling Development of Sesamum radiatum and Sesamum indicum

[41] TURKOĞLU, A., HALILOĞLU, K., TOSUN, M., SZULC, P., DEMIREL, F., EREN, B., BUJAK, H., KARAGöZ ,H., SELWET, M. & ÖZKAN, G. 2023. Sodium azide as a chemical mutagen in wheat (Triticum aestivum L.): patterns of the genetic and epigenetic effects with iPBS and CRED-iPBS techniques. Journal of Agriculture, 13, 1242.

chemically induced mutagenesis and salinity stress under in vitro culture conditions. 2018. 54(6): p. 576-589. Responses of Arabica coffee (Coffea arabica L. var. Catuaí) cell suspensions to chemically induced mutagenesis and salinity stress under in vitro culture conditions | In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant

[31] Jayakodi, M., et al., The barley pan-genome reveals the hidden legacy of mutation breeding. 2020. 588(7837): p. 284-289. The barley pan-genome reveals the hidden legacy - ProQuest

[32] Liu, L., et al., New mutation techniques for crop improvement in China. 2021: p. 47-52. (PDF) New mutation techniques for crop improvement in China.

[33] OLADOSU, Y., RAFII, M. Y., ABDULLAH, N., HUSSIN, G., RAMLI, A., RAHIM, H. A., MIAH, G. & USMAN, M. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. Journal of Biotechnology Biotechnological Equipment, 30, 1-16. (PDF) Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review

[34] Nkurunziza, R., et al., Enhancing genetic diversity in Coffea arabica L. through induced mutagenesis. 20 :25p. 100514. Enhancing genetic diversity in Coffea arabica L. through induced mutagenesis - ScienceDirect

[35] Dada, K.E., et al., Radiosensitivity and biological effects of gamma and X-rays on germination and seedling vigour of three Coffea arabica varieties. 2023. 42(3): p. 1582-1591. Enhancing genetic diversity in Coffea arabica L. through induced mutagenesis - ScienceDirect

[36] Mekki, L.J.C., Cytogenetic effects of crude extracts of Peganum harmala seeds and their effects on Vicia faba plants. 2014. 79(2): p. 161-172. https://www.researchgate.net/publication/278105932_Cytogenetic_Effects_of_Crude

(NaN₃) Mutagenesis for Cumin (Cuminum cyminum L.) Improvement. 2024. 38(3): p. 427-433. dergipark.org.tr/en/download/article-file/3952231

[46] J JENKS, M. A., HASEGAWA, P. M., JAIN, S. M. & FOOLAD, M. 2007. Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops. Springer. (PDF) Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops

[47] TAFTI, M., FARHOUDI, R., RABIEE, M. & RASIFAR, M. 2011. Allelopathic effect of harmel (Peganum harmala L.) on germination and growth of three weeds. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27, 135-.145. cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20113407115

[48] Ulukapi, K. and S.F. Ozmen, Study of the effect of irradiation (60Co) on M1 plants of common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars and determined of proper doses for mutation breeding. Journal of Radiation Research Applied Sciences, 2018. 11(2): p.161-157 . https://www.academia.edu/80330303/

Sodium Azide as a Chemical Mutagen in Wheat (Triticum aestivum L.): Patterns of the Genetic and Epigenetic Effects with iPBS and CRED-iPBS Techniques | MDPI

.

[42] Dyulgerova, B. and N. Dyulgerov, Mutagenic effect of sodium azide on winter barley cultivars. 2022. (PDF) Mutagenic effect of sodium azide on winter barley cultivars

[43] Al-Mahmudy, F., A. Bin-Hameda, and M.J.A.J. Sadder, Allelopathic effects of harmala (Peganum harmala L.) seeds on germination and seedlings growth of barley (Hordeum vulgare L.). 2024. 63(1). New β-carboline alkaloids from the seeds of Peganum harmala - ScienceDirect

[44] Khan, S., F. Al-Qurainy, and F.J.E.W.I.J.S.T. Anwar, Sodium azide: a chemical mutagen for enhancement of agronomic traits of crop plants. 2009. 4: p. 1-21. (PDF) Sodium Azide: a Chemical Mutagen for Enhancement of Agronomic Traits of Crop Plants

[45] Çoban, F.J.S.J.o.A. and F. Sciences, Optimizing Sodium Azide