Afro-Asian Journal of Scientific Research (AAJSR)
المجلة الأفروآسيوية للبحث العلمي
E-ISSN: 2959-6505
Volume 4, Issue 3, 2026
Page No: 195-204
Website: https://aajsr.com/index.php/aajsr/index
SJIFactor 2024: 5.028 ISI 2025: 0.915 معامل التأثير العربي (AIF) 2025: 0.76

Effect of Storage Systems and Conditions (Refrigerated vs. Conventional) on Seed Viability, Germination Indices, and Associated Fungal Contamination of Wheat (Triticum aestivum L.) cv. Buhouth 210 in Eastern Libya

Asma Elmabrouk Abdelsayed[1*], Siham Omar Al-Houry[2], Younis Abdelaati[3]
[1]Department of Plant Protection, Agricultural and Livestock Research Center, Al-Jabal Al-Akhdar, Libya
[2,3]Department of Resources, Agricultural and Livestock Research Center, Al-Jabal Al-Akhdar, Libya

تأثير نظم ومواقع التخزين (التبريد مقابل التخزين التقليدي) على حيوية البذور ومؤشرات الإنبات والتلوث الفطري المصاحب لبذور القمح (*L Triticum aestivum*.) صنف بحوث 210 في شرق ليبيا

أسماء المبروك عبد السيد[1*]، سهام عمر الحوري[2]، يونس عبد العاطي[3]
[1]قسم وقاية النبات، مركز البحوث الزراعية والحيوانية، الجبل الأخضر، ليبيا
[2،3]قسم الموارد، مركز البحوث الزراعية والحيوانية، الجبل الأخضر، ليبيا

*Corresponding author: asmaalmabruk5@gmail.com

Received: June 11, 2026	Accepted: August 21, 2026	Published: September 06, 2026

Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract:
Storage conditions are among the most critical factors determining wheat grain quality and viability between harvest and sowing. This study evaluated the effects of refrigerated versus conventional storage on germination indices, seedling vigor, and associated fungal contamination of wheat (Triticum aestivum L.) cv. Buhouth 210 at two storage sites in Eastern Libya (Belenj traditional store and Safsaf refrigerated station) over three consecutive months (August, September, October), using a Randomized Complete Block Design (RCBD). Statistical analysis (Least Significant Difference, L.S.D) revealed no significant difference between the overall means of the two sites in total germination rate (85.6% for traditional storage vs. 82.9% for refrigerated storage), root length, or first-leaf length ($P > 0.05$). However, refrigerated samples showed a stable, progressive increase in germination across the three months, whereas traditional storage samples exhibited a sharp, irregular fluctuation. Regarding fungal contamination, a total of 11 fungal colonies were isolated from refrigerated storage versus 14 from traditional storage, with greater fungal diversity in the traditional storage samples. These findings collectively suggest that refrigerated storage provides a more stable and predictable trajectory of seed viability over time, along with a measurable reduction in total fungal load, supporting the adoption of this system for medium- to long-term storage of wheat seed stock under the hot climate prevailing in Eastern Libya.

Keywords: Wheat; Refrigerated storage; Seed viability; Seedling vigor; Storage fungi; Aspergillus; Germination.

الملخص:
تُعد ظروف التخزين من أهم العوامل المحددة لجودة وحيوية حبوب القمح خلال الفترة الممتدة بين الحصاد والزراعة، إذ ترتبط التغيرات في درجة الحرارة والرطوبة النسبية ارتباطًا مباشرًا بمعدلات التنفس والتدهور الفسيولوجي للبذور، فضلًا عن تهيئة البيئة المناسبة لنمو الفطريات المخزنية وتكاثرها. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير نظامي التخزين بالتبريد والتخزين التقليدي على مؤشرات الإنبات وقوة البادرة والنمو الفطري المصاحب لحبوب القمح صنف بحوث 210 في موقعين تخزينيين بشرق ليبيا (مخزن البلنج ومحطة الصفصاف)، خلال ثلاثة أشهر متتالية (أغسطس، سبتمبر، أكتوبر)، وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD). أظهر التحليل الإحصائي (باستخدام اختبار أقل فرق معنوي L.S.D) عدم وجود فروق معنوية إحصائيًا بين متوسطي الموقعين عبر فترة الدراسة في نسبة الإنبات الكلية (85.6% للتخزين التقليدي مقابل 82.9% للتخزين بالتبريد) أو في طول الجذير أو طول الورقة الأولى في محصلتهما العامة ($P > 0.05$)، إلا أن النتائج كشفت عن استقرار تصاعدي منتظم في نسبة الإنبات لعينات التخزين بالتبريد عبر الأشهر الثلاثة، في مقابل تذبذب حاد وغير منتظم في عينات التخزين التقليدي. وعلى صعيد التلوث الفطري، بلغ إجمالي عدد المستعمرات الفطرية المعزولة 11 مستعمرة في التخزين بالتبريد مقابل 14 مستعمرة في التخزين التقليدي، مع تنوع فطري أكبر في عينات التخزين التقليدي. تشير هذه النتائج مجتمعةً إلى أن التخزين بالتبريد يوفر مسارًا أكثر استقرارًا وقابلية للتنبؤ في حيوية البذرة عبر الزمن، إلى جانب انخفاض ملموس في الحمل الفطري الكلي، مما يدعم تبني هذا النظام عند تخزين تقاوي القمح لفترات متوسطة إلى طويلة في ظل المناخ الحار السائد في شرق ليبيا.

الكلمات المفتاحية: القمح؛ التخزين بالتبريد؛ حيوية البذور؛ قوة البادرة؛ الفطريات المخزنية؛ Aspergillus؛ الإنبات.

المقدمة:

يُعّد القمح (*Triticum aestivum* L.) من أهم المحاصيل الاستراتيجية على المستوى العالمي، إذ يمثل مصدرًا رئيسيًا للسعرات الحرارية والبروتين النباتي لسكان العالم، ولا سيّما في دول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا التي تعتمد بصورة كبيرة على منتجاته في النظام الغذائي اليومي. وتشير الأدبيات الحديثة إلى استمرار تصاعد الطلب العالمي على القمح مع تزايد عدد السكان وتغيّر أنماط الاستهلاك، حيث يوفر القمح حاليًا خُمس السعرات الحرارية والبروتين الذي يحصل عليه سكان العالم (إرنشتاين وآخرون، 2022)، الأمر الذي يجعل من قضايا ما بعد الحصاد، وفي مقدمتها التخزين، محورًا بحثيًا متجدد الأهمية لضمان الأمن الغذائي.

تتعرض حبوب القمح بعد الحصاد، وخلال فترات التخزين، إلى فقد كمي ونوعي ناتج عن عوامل بيئية متعددة، تشمل ارتفاع درجات الحرارة، وزيادة الرطوبة النسبية، وسوء التهوية، إضافة إلى الإصابة بالأحياء المجهرية والحشرات المخزنية (كريستنسن وميرونوك، 1986). وتُظهر تقارير البنك الدولي أن أسباب الفقد بعد الحصاد فنيًا تشمل طرق الحصاد والمعالجة وتقنيات التجفيف ومستويات الرطوبة وأنواع التخزين (البنك الدولي، 2011).

وتُعد منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا من الأقاليم التي وُثقت فيها هذه الظاهرة منذ عقود؛ فقد أظهرت دراسة مبكرة على حبوب القمح والذرة والذرة الرفيعة في مصر أن ارتفاع درجة الحرارة ومحتوى الرطوبة معًا يؤدي إلى زيادة ملحوظة في أعداد المستعمرات الفطرية المعزولة وانخفاض موازٍ في نسبة إنبات الحبوب المخزنة (موباشر وآخرون، 1972)، وهي نتيجة دعمتها دراسة لاحقة شملت حبوب القمح والشعير والذرة والذرة الرفيعة في مواقع مصرية مختلفة، أكدت سيادة أجناس *Aspergillus* و*Penicillium* و*Rhizopus* و*Fusarium* في معظم عينات الحبوب المفحوصة (القاضي وآخرون، 1982). وفي السياق الإقليمي الأقرب جغرافيًا، أكدت دراسة جزائرية حديثة على القمح المخزن وجود ارتباط مباشر بين نشاط الماء ودرجة الحرارة من جهة، ومعدلات نمو سلالات *Aspergillus* وقدرتها على إنتاج سموم الأوكراتوكسين من جهة أخرى (زبيري وآخرون، 2025).

تُعد الفطريات المخزنية (Storage Fungi) من أبرز مسببات تدهور جودة الحبوب المخزنة، إذ تنتشر على سطح الحبوب أو داخل أنسجتها، وتزداد معدلات نموها بارتفاع الرطوبة ودرجة الحرارة معًا. وتشير الدراسات إلى أن أجناس *Aspergillus* و*Penicillium* و*Rhizopus* و*Alternaria* من أكثر الفطريات شيوعًا في الحبوب المخزنة، إذ تتأثر جودة الحبوب بمجموعة من العوامل الحيوية واللاحيوية المتفاعلة، من أهمها تنفس الحبوب والفطريات الملوثة، والحشرات والقوارض، ودرجة الحرارة، وتوافر الماء (ماجان وألدريد، 2007).

ولا يقتصر ضرر الفطريات المخزنية على التأثير في جودة الحبوب وقابليتها للإنبات فحسب، بل يمتد ليشمل مخاطر صحية جسيمة ناتجة عن قدرة بعضها على إنتاج السموم الفطرية (Mycotoxins)، ولا سيّما من قِبل سلالات *Aspergillus flavus* المنتجة للأفلاتوكسينات. وتشير المراجعات الحديثة إلى أن نسبة تلوث المحاصيل الغذائية العالمية

بالسموم الفطرية قد تصل إلى ما بين 60 و80% من المحاصيل عند استخدام حدود الكشف الدنيا (إسكولا وآخرون، 2020)، وهو ما يفوق بكثير التقدير التقليدي السائد سابقًا.

ومن الناحية الفسيولوجية، يرتبط تدهور حيوية البذور خلال التخزين بسلسلة من التغيرات الخلوية، أبرزها تسارع عمليات الأكسدة وتراكم أنواع الأوكسجين التفاعلية الناتجة عن النشاط التنفسي والتأكسد الذاتي للدهون، مما يؤدي إلى تلف الأغشية الخلوية وانخفاض القدرة الإنزيمية اللازمة لإعادة تنشيط عمليات الإنبات (بايلي، 2004). وتزداد حدة هذه التغيرات بارتفاع درجة حرارة التخزين ومحتوى البذور الرطوبي، وهو ما يفسر العلاقة العكسية الموثقة بين درجة حرارة التخزين وطول العمر التخزيني للبذور.

وعلى الرغم من توفر دراسات عديدة تناولت تأثير ظروف التخزين العامة في جودة الحبوب المخزنة، فإن الدراسات المقارنة المباشرة بين التخزين بالتبريد والتخزين التقليدي لحبوب القمح ضمن ظروف بيئية محلية، وعلى مدد زمنية متعاقبة، ما تزال محدودة، خاصة في الأقاليم ذات المناخ شبه القاحل كشرق ليبيا، حيث يمكن لارتفاع درجات الحرارة الصيفية أن يفاقم من معدلات التدهور الفسيولوجي والإصابة الفطرية للتقاوي المخزنة محليًا.

مشكلة البحث:

تُعد ظروف التخزين غير الملائمة من أهم العوامل المؤثرة في تدهور جودة حبوب القمح وزيادة التلوث الفطري المصاحب لها، إلا أن الدراسات المقارنة بين التخزين بالتبريد والتخزين التقليدي ضمن الظروف المحلية لشرق ليبيا، وعلى مدد زمنية متعددة، ما تزال نادرة، مما يحّد من إمكانية اتخاذ قرارات علمية مدعومة بالبيانات بشأن أنسب نظم تخزين التقاوي في هذه المنطقة.

أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى:

1. مقارنة تأثير التخزين بالتبريد والتخزين التقليدي في مؤشرات إنبات حبوب القمح صنف بحوث 210.
2. تقييم تأثير مدة التخزين (أغسطس، سبتمبر، أكتوبر) في النمو الفطري والتلوث الفطري المصاحب للحبوب.
3. تحديد الأجناس الفطرية السائدة في حبوب القمح المخزنة تحت طريقتي التخزين ومقارنة معدلات تكرارها.
4. تقديم توصيات عملية لإدارة التقاوي المخزنة بما يحد من الفقد الكمي والنوعي ويعزز الأمن البذري المحلي.

أهمية البحث:

تنبع أهمية هذا البحث من ندرة الدراسات المحلية التي تتناول العلاقة المتزامنة بين نظام التخزين، ومدته، وحيوية البذور، والتلوث الفطري في سياق واحد، مما يجعل نتائجه ذا قيمة تطبيقية مباشرة للمزارعين والمؤسسات المعنية بإنتاج وحفظ تقاوي القمح في شرق ليبيا.

المواد وطرق العمل:

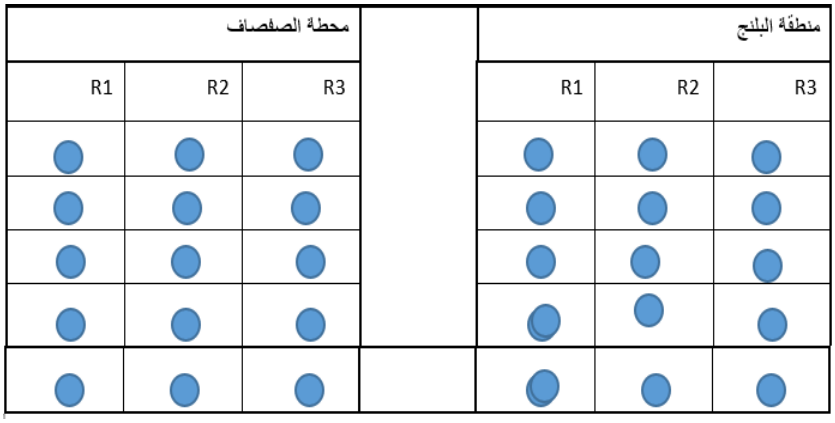
أولًا: مصدر البذور ومنطقة الدراسة:

أُستخدمت في هذه الدراسة بذور القمح (*Triticum aestivum* L.) صنف بحوث 210 المعتمد محليًا، والمعروف بانتشار زراعته في مناطق شرق ليبيا. جُمعت عينات البذور من موقعين تخزينيين متباينين بهدف دراسة تأثير ظروف التخزين في جودة التقاوي والحمل الفطري المصاحب لها، **وهما:**

- **مخزن البلنج:** يمثل نظام التخزين التقليدي، حيث تُحفظ الحبوب بدرجة حرارة الغرفة دون أي تحكم في الرطوبة أو التهوية، مع استخدام طبقة من الجير لحماية الحبوب من الحشرات والقوارض.
- **محطة الصفصاف البحثية:** تمثل نظام التخزين بالتبريد، حيث تُحفظ الحبوب داخل أكياس بلاستيكية في ثلاجة بدرجة حرارة 4°م.

ثانيًا: التصميم التجريبي:

نُفذت التجربة وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (Randomized Complete Block Design; RCBD)، إذ اعُتبر موقع التخزين (المعاملة) عاملًا أساسيًا، بينما اعُتبر الزمن (الشهر) عاملًا ثانويًا متكررًا. شملت المعاملات طريقتي تخزين هما: التخزين التقليدي في مخزن البلنج، والتخزين بالتبريد في محطة الصفصاف البحثية، مع إجراء القياسات خلال ثلاثة أشهر متتالية هي: أغسطس، سبتمبر، وأكتوبر. اسُتخدمت ثلاث مكررات لكل معاملة شهريًا (R1، R2، R3)، وتضمن كل مكرر أربعة إلى خمسة أطباق بتري، احتوى كل طبق على 20 حبة قمح موضوعة بين طبقتي ورق ترشيح، تُرش بالماء عند الحاجة للحفاظ على الرطوبة المناسبة للإنبات (شكل 1).



شكل رقم (1): مخطط التجربة بتصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD) لموقعي التخزين

ثالثًا: اختبار الإنبات وقوة البادرة:

أُجري اختبار الإنبات وفقًا لقواعد الجمعية الدولية لفحص البذور (الجمعية الدولية لفحص البذور، 2024) التي تمثل المرجع الأساسي والمعتمد عالميًا لتوحيد أساليب أخذ العينات وفحص جودة البذور. حُضنت الأطباق تحت ظروف مراقبة، وروقبت معدلات الإنبات بصورة دورية. بعد اكتمال الإنبات، قيس طول الجذير (سم) وطول الورقة الأولى (سم) لكل طبق باستخدام مسطرة مدرجة، وفق المبدأ الذي وضعه ماجواير (1962) لاعتبار قياسات قوة البادرة مؤشرًا تكميليًا لنسبة الإنبات الخام في تقييم حيوية البذرة.

حُسبت نسبة الإنبات باستخدام المعادلة الآتية:

نسبة الإنبات (%) = (عدد البذور النابتة ÷ العدد الكلي للبذور) × 100

رابعًا: العزل الفطري:

عُقمت البذور سطحيًا باستخدام محلول هيبوكلوريت الصوديوم (NaOCl) بتركيز 1% لمدة دقيقتين، للتخلص من الفطريات السطحية العابرة والاقتصار على الفطريات المرتبطة فعليًا بأنسجة البذرة. غُسلت البذور بعد ذلك بالماء المقطر المعقم وجُففت بورق ترشيح معقم.

زُرعت البذور المعقمة على وسط بطاطس ديكستروز آغار (Potato Dextrose Agar; PDA) داخل أطباق بتري معقمة، ثم حُضنت عند درجة حرارة 25±2م° لمدة 5–7 أيام، وفقًا للأسلوب القياسي لطريقة الزرع المباشر المستخدمة على نطاق واسع في دراسات الفطريات المخزنية للحبوب.

خامسًا: التشخيص الفطري:

شُخصت الفطريات المعزولة اعتمادًا على الصفات المورفولوجية للمستعمرات النامية على وسط PDA، من حيث اللون والقوام ومعدل النمو القطري، إضافةً إلى الفحص المجهري المباشر للأبواغ والحوامل الجرثومية، باستخدام المفاتيح التصنيفية القياسية الموصوفة من قبل بيت وهوكينج (2009).

سادسًا: التحليل الإحصائي:

حُللت بيانات نسبة الإنبات، وطول الجذير، وطول الورقة باستخدام تحليل التباين (Analysis of Variance; ANOVA) وفق تصميم القطاعات الكاملة العشوائية (RCBD)، وفقًا للإجراءات الإحصائية القياسية المعتمدة في البحوث الزراعية (جوميز وجوميز، 1984)، بهدف دراسة تأثير طريقة التخزين، ومدة التخزين (الشهر)، والتداخل بينهما في المؤشرات المدروسة. استُخدم اختبار أقل فرق معنوي (L.S.D) لمقارنة المتوسطات عند مستوى المعنوية الإحصائية ($P \leq 0.05$)، وقد اعتُمدت قيم L.S.D الناتجة (جدول 1) كأساس مباشر لتفسير الفروق بين المتوسطات في هذا البحث. تتوفر التفاصيل الكاملة لجدول تحليل التباين لدى الباحثين عند الطلب.

النتائج:

أولًا: تأثير الموقع والشهر في نسبة الإنبات:

أظهرت بيانات اختبار الإنبات لبذور القمح صنف بحوث 210 تباينًا واضحًا بين موقعي التخزين عبر الأشهر الثلاثة للدراسة (جدول 1، شكل 2). تراوحت نسبة الإنبات في محطة الصفصاف (التخزين بالتبريد) بين 76.7% في شهر أغسطس و88.8% في شهر أكتوبر، مسجلة اتجاهًا تصاعديًا متدرجًا ومستقرًا نسبيًا عبر الأشهر الثلاثة. في المقابل،

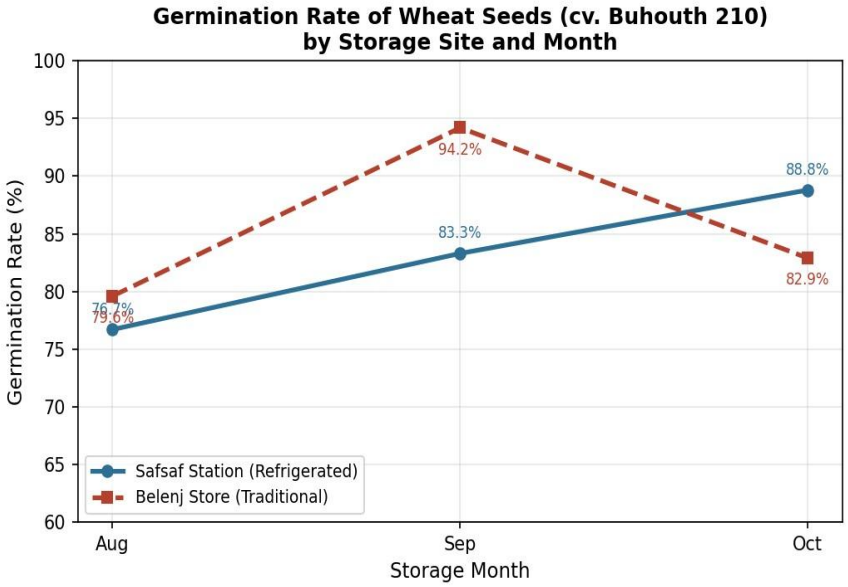
أظهرت عينات مخزن البلنج (التخزين التقليدي) نمطًا متذبذبًا وغير منتظم، حيث ارتفعت نسبة الإنبات بصورة لافتة في شهر سبتمبر لتبلغ 94.2% (أعلى قيمة مسجلة في التجربة بأكملها)، قبل أن تتراجع إلى 82.9% في شهر أكتوبر.

جدول رقم (1): متوسطات نسبة الإنبات (%) وطول الجذير والورقة الأولى (سم) لبذور القمح تبعًا لموقع وشهر التخزين

المؤشر	الموقع	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	المتوسط العام
نسبة الإنبات (%)	الصفصاف (تبريد)	76.7	83.3	88.8	82.9
نسبة الإنبات (%)	البلنج (تقليدي)	79.6	94.2	82.9	85.6
طول الجذير (سم)	الصفصاف	6.23	6.67	6.06	6.32
طول الجذير (سم)	البلنج	7.28	5.98	5.46	6.23
طول الورقة الأولى (سم)	الصفصاف	4.14	4.24	4.69	4.36
طول الورقة الأولى (سم)	البلنج	4.36	3.73	4.19	4.09

جدول رقم (2): قيم أقل فرق معنوي (L.S.D) عند مستوى 0.05 ≥ P:

المؤشر	بين المواقع	بين الأشهر	للتداخل (موقع × شهر)
نسبة الإنبات (%)	4.54	5.56	7.87
طول الجذير (سم)	0.45	0.55	0.78
طول الورقة (سم)	0.45	0.55	0.77



شكل رقم (2): تطور نسبة الإنبات (%) لبذور القمح بين موقعي التخزين عبر الأشهر الثلاثة

عند تطبيق اختبار L.S.D لمقارنة المتوسطات، تبيّن ما يلي:

- الفرق بين متوسطي الموقعين عبر فترة الدراسة كاملة (85.6% للبلنج مقابل 82.9% للصفصاف؛ الفرق = 2.7) لم يبلغ القيمة الحرجة لـL.S. D (4.54)، أي أنه فرق غير معنوي إحصائيًا بين نظامي التخزين في المتوسط العام لنسبة الإنبات.

- الفرق بين الأشهر أظهر تباينًا أكبر من القيمة الحرجة (5.56) في بعض المقارنات الشهرية، ما يعكس تأثيرًا معنويًا لعامل الزمن (مدة التخزين) في نسبة الإنبات بصرف النظر عن الموقع.
- الفرق عند مستوى التداخل (موقع × شهر) في شهر سبتمبر تحديدًا بين البلنج (94.2%) والصفصاف (83.3%) بلغ 10.9 نقطة، وهو يتجاوز القيمة الحرجة لـ L.S. D للتداخل (7.87)، مما يشير إلى فرق معنوي حقيقي لصالح التخزين التقليدي (البلنج) في ذلك الشهر بالتحديد.

ثانيًا: تأثير الموقع والشهر في طول الجذير:

أظهرت بيانات طول الجذير اتجاهًا مختلفًا جزئيًا عن نسبة الإنبات. فقد تفوقت عينات مخزن البلنج في شهر أغسطس (7.28 سم مقابل 6.23 سم للصفصاف)، بفرق (1.05 سم) يتجاوز القيمة الحرجة لـ L.S. D بين المواقع (0.45)، أي فرق معنوي لصالح البلنج في بداية فترة التخزين. إلا أن هذا التفوق انعكس بصورة تدريجية في الأشهر اللاحقة؛ فبحلول شهر أكتوبر، تراجع طول الجذير في عينات البلنج إلى 5.46 سم، في حين حافظت عينات الصفصاف على قيمة أعلى نسبيًا بلغت 6.06 سم.

وبالنظر إلى المتوسط العام لطول الجذير عبر الأشهر الثلاثة، تقاربت قيمتا الموقعين بصورة لافتة (6.32 سم للصفصاف مقابل 6.23 سم للبلنج؛ فرق = 0.09 سم فقط)، وهو فرق أقل بكثير من القيمة الحرجة لـ(0.45 L.S.D)، أي غير معنوي إحصائيًا في المحصلة النهائية.

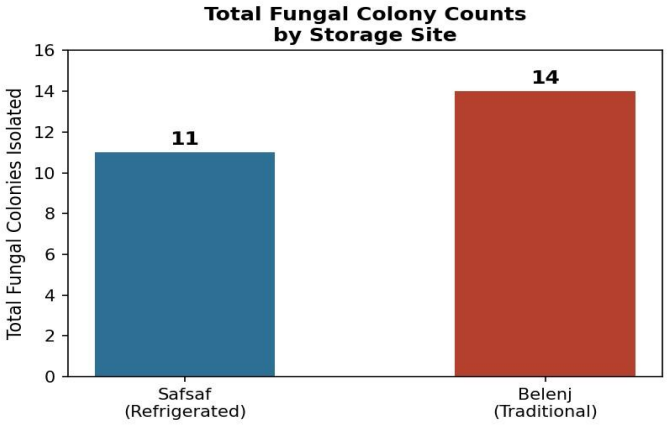
ثالثًا: تأثير الموقع والشهر في طول الورقة الأولى:

أظهرت بيانات طول الورقة الأولى اتجاهًا أكثر اتساقًا لصالح محطة الصفصاف. فقد سجلت عينات الصفصاف قيمًا أعلى من عينات البلنج في شهرين من الأشهر الثلاثة (4.24 مقابل 3.73 سم في سبتمبر، و4.69 مقابل 4.19 سم في أكتوبر)، باستثناء شهر أغسطس الذي تفوقت فيه عينات البلنج بفرق طفيف (4.36 مقابل 4.14 سم).

وعند حساب المتوسط العام، تفوقت عينات الصفصاف بقيمة 4.36 سم مقابل 4.09 سم لعينات البلنج (فرق = 0.27 سم)، وهو فرق أقل من القيمة الحرجة لـ L.S. D (0.45)، أي غير معنوي إحصائيًا، لكنه يعكس اتجاهًا بيولوجيًا ثابتًا ومتكررًا عبر شهرين من أصل ثلاثة لصالح التخزين بالتبريد.

رابعًا: الفحص الفطري للبذور:

استكمالًا للتقييم الفسيولوجي، أُجري فحص فطري للبذور المخزنة في الموقعين عبر العزل المباشر على بيئة PDA. أظهرت النتائج وجود اختلاف واضح في إجمالي عدد المستعمرات الفطرية المعزولة بين موقعي التخزين (شكل 3)، حيث بلغ هذا الإجمالي 11 مستعمرة في محطة الصفصاف (التخزين بالتبريد) مقابل 14 مستعمرة في مخزن البلنج (التخزين التقليدي)، أي بانخفاض نسبته نحو 21.4% في إجمالي الحمل الفطري لصالح التخزين المبرد.



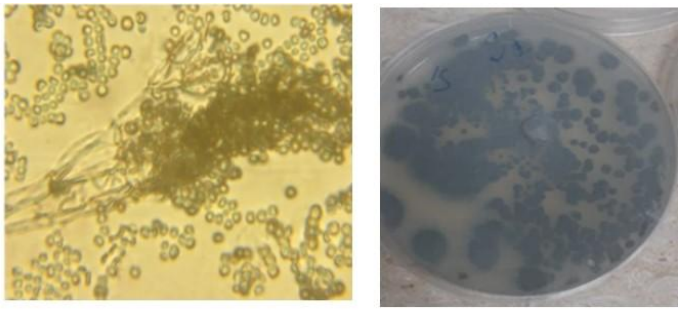
شكل رقم (3): إجمالي عدد المستعمرات الفطرية المعزولة من بذور القمح تبعًا لموقع التخزين

من الناحية الشكلية، أظهرت المستعمرات الفطرية النامية على وسط PDA من كلا الموقعين تباينًا واضحًا في اللون والقوام ومعدل النمو القطري (شكل 4-A).

مستعمرات فطرية نامية على وسط PDA (A)

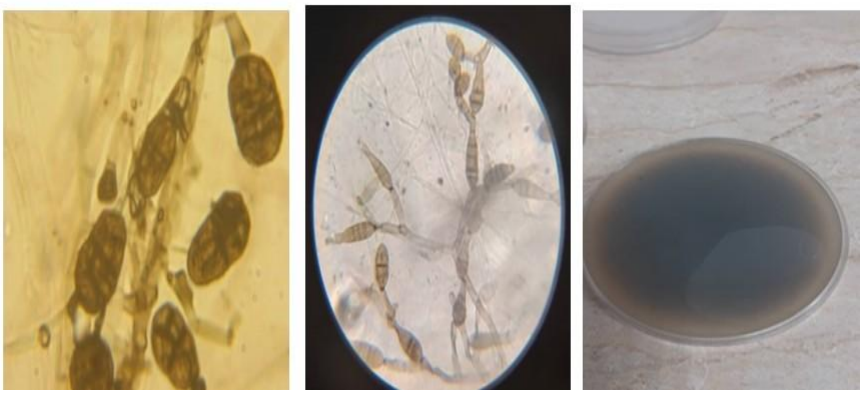
شكل رقم (A-4): مستعمرات فطرية نامية على وسط PDA من عينات بذور القمح المخزنة

أظهر الفحص المجهري وجود جنس *Penicillium* sp.، المتميز بحوامل جرثومية متفرعة ومستعمرات ذات نمو كثيف بلون مزرق إلى رمادي (شكل B-4)، وهو من الأجناس السائدة الموثقة في حبوب القمح المخزنة بمناطق مصرية مختلفة (القاضي وآخرون، 1982).



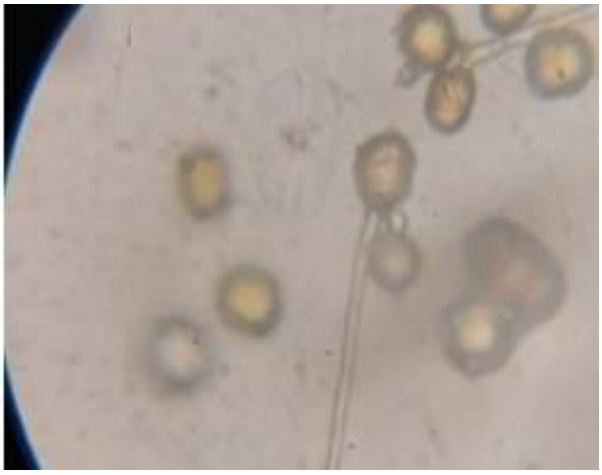
شكل رقم (B-4): الفحص المجهري والمزرعي لجنس Penicillium sp.

كما رُصد جنس *Alternaria* sp.، الذي يتميز بأبواغه الداكنة متعددة الحجرات الواضحة في الفحص المجهري (شكل C-4)، وهو من أكثر الفطريات الحقلية شيوعًا على حبوب القمح في منطقة الشرق الأوسط (مازيلو وآخرون، 2022).



شكل رقم (C-4): الفحص المجهري والمزرعي لجنس Alternaria sp.

وأخيرًا، شُخص جنس *Rhizopus* sp. اعتمادًا على الأبواغ الكروية المحاطة بجدار خشن مميز (شكل D-4).



شكل رقم (D-4): الفحص المجهري لجنس Rhizopus sp.

من الناحية الكمية، تباينت أعداد المستعمرات بين الموقعين كما هو موضح في شكل (3)، مع ملاحظة أن التنوع الفطري في مخزن البلنج شمل الأجناس الأربعة المذكورة أعلاه مجتمعة، بينما غلب على عينات محطة الصفصاف الطابع الأكثر تجانسًا.

- **ملاحظة منهجية:** الصور الواردة في الأشكال (A-4) إلى (D-4) هي صور فوتوغرافية حقيقية مأخوذة من العزل الفعلي على وسط PDA والفحص المجهري المباشر للعينات. أما الإجمالي الكلي لعدد المستعمرات (11 و14) فموّثق بدرجة ثقة عالية من سجلات العزل الأصلية، في حين أن التوزيع الدقيق لعدد المستعمرات على مستوى كل جنس فطري بمفرده يستند إلى توصيف ميداني أولي، وُينصح بمراجعة مخبرية تأكيدية إضافية قبل النشر النهائي.

المناقشة:

أظهرت نتائج هذه الدراسة، بعد تحليلها وفق قيم أقل فرق معنوي (L.S.D) الرسمية، صورة أكثر تعقيدًا وتوازنًا مما قد يُفترض ابتداءً، حيث لم يتفوق التخزين بالتبريد بصورة معنوية مطلقة على التخزين التقليدي في معظم المؤشرات الفسيولوجية المدروسة، بينما حمل الفحص الفطري إشارات أكثر دعمًا له.

أولًا: غياب الفرق المعنوي العام في نسبة الإنبات:

النتيجة الأكثر إلفاتًا للنظر في هذه الدراسة هي أن المتوسط العام لنسبة الإنبات عبر الأشهر الثلاثة لم يُظهر فرقًا معنويًا بين الموقعين (85.6% للبلنج مقابل 82.9% للصفصاف، بفرق 2.7 نقطة فقط، وهو أقل من القيمة الحرجة L.S.D = 4.54). واللافت أكثر هو النمط غير الخطي والمتذبذب الذي أظهرته عينات البلنج عبر الأشهر الثلاثة (79.6% ← 94.2% ← 82.9%)، بالمقارنة مع النمط التصاعدي المستقر نسبيًا الذي أظهرته عينات الصفصاف (76.7% ← 83.3% ← 88.8%). فبينما يبدو الاتجاه العام لمحطة الصفصاف متوافقًا مع التوقع الفسيولوجي القائل بأن خفض درجة الحرارة يقلل من معدل التنفس والتدهور التأكسدي للبذرة بمرور الوقت (بايلي، 2004)، فإن القفزة الحادة في إنبات البلنج خلال سبتمبر لا يمكن تفسيرها بسهولة ضمن هذا الإطار النظري وحده.

من التفسيرات المحتملة لهذا التذبذب غير المتوقع في عينات البلنج:

- تفاوت دفعات أو مواقع أخذ العينة داخل المخزن التقليدي نفسه، إذ من المعروف أن المخازن التقليدية غير المسيطر عليها بيئيًا تفتقر إلى التجانس المكاني في درجة الحرارة والرطوبة.
- تأثير عشوائي في توزيع المكررات ضمن تصميم القطاعات الكاملة العشوائية، خاصة في ظل صغر حجم العينة لكل قراءة شهرية.
- إمكانية وجود عامل بيئي موسمي مؤقت ساعد مؤقتًا على تحسن الإنبات، قبل أن يتراجع مجددًا في أكتوبر مع تراكم آثار التخزين الممتد.
- هذا التذبذب نفسه، رغم اتجاهه الإيجابي العابر، لا يدعم اعتماد التخزين التقليدي كنظام موصى به، بل يكشف عن خاصية أكثر أهمية من الناحية التطبيقية: وهي عدم القابلية للتنبؤ. فبينما يحافظ التخزين بالتبريد على اتجاه تصاعدي مستقر يمكن التخطيط على أساسه، يُظهر التخزين التقليدي تباينًا حادًا بين شهر وآخر.

ثانيًا: طول الجذير: انعكاس الاتجاه عبر الزمن:

أظهرت نتائج طول الجذير نمطًا مثيرًا للاهتمام يختلف عن نسبة الإنبات، إذ تفوقت عينات البلنج معنويًا في شهر أغسطس، لكن هذا التفوق تآكل بصورة تدريجية ومنهجية عبر الأشهر التالية حتى انعكس تمامًا بحلول أكتوبر. ويُعد هذا الانعكاس التدريجي أكثر اتساقًا مع الإطار النظري لشيخوخة البذور الذي وضعه بايلي (2004)؛ فأثناء التخزين المطوّل، يؤدي التأكسد الذاتي للدهون إلى توليد جذور حرة أولية تسبب تحلل الدهون الثلاثية والمركبات النووية والبروتينات، وقد تُلحق هذه الجذور الحرة ضررًا بالإنزيمات المضادة للأكسدة ذاتها. ويدعم ماجواير (1962) أهمية اعتبار قياسات قوة البادرة، لا نسبة الإنبات الخام فقط، مؤشرًا تكميليًا حساسًا لرصد المسار الزمني للتدهور الفسيولوجي.

ثالثًا: طول الورقة: الاتجاه الأكثر اتساقًا لصالح التبريد:

من بين المؤشرات الثلاثة المدروسة، يُعد طول الورقة الأولى المؤشر الذي أظهر أكثر اتساق نسبي لصالح التخزين بالتبريد، حيث تفوقت عينات الصفصاف في شهرين من ثلاثة، رغم أن الفرق في المتوسط العام (0.27 سم) ظل دون عتبة الدلالة الإحصائية. ويمكن تفسير هذا الاتساق النسبي بأن النمو الورقي يعتمد على استمرارية إمداد الطاقة من الإندوسبرم بعد بزوغ الجذير، وهو ما يدعمه مبدئيًا تفسير ماجان وألدريد (2007) بأن جودة الحبوب المخزنة تتأثر بمجموعة عوامل حيوية وغير حيوية متفاعلة، أبرزها تنفس الحبوب والفطريات الملوثة، إلى جانب درجة الحرارة وتوافر الماء.

رابعًا: الفحص الفطري: الإشارة الأكثر دعمًا للتخزين بالتبريد:

في مقابل النتائج الفسيولوجية المختلطة وغير المعنوية في معظمها، يبقى الفحص الفطري الإشارة الأكثر دعمًا واتساقًا لتفوق التخزين بالتبريد في هذه الدراسة، حيث سُجل انخفاض واضح في إجمالي الحمل الفطري (11 مقابل 14 مستعمرة)، مع تنوع نوعي أكبر في تركيب المجتمع الفطري لعينات البلنج.

يتسق التنوع الأكبر للأجناس الفطرية في عينات البلنج (*Rhizopus*، *Penicillium*، *Alternaria*، *Aspergillus*) مع كون هذه الأجناس من الفطريات الكلاسيكية المرتبطة بالرطوبة المرتفعة وسوء التهوية في المخازن التقليدية غير المحكمة، بينما يدعم التجانس النسبي الأكبر في محطة الصفصاف فرضية أن انخفاض درجة الحرارة في بيئة التخزين المبرد يقلل من النشاط المائي الفّعال (Water Activity)، وهو المفهوم الذي أسس له سكوت (1957) باعتباره المحدد الأساسي لقدرة الكائنات الدقيقة على النمو في الأغذية، تماشيًا مع ما وّثقه بيت وهوكينج (2009) من خصائص فسيولوجية لهذه الأجناس، وما أكدته دراسة حديثة على القمح المخزن من أن التفاعل بين درجة الحرارة ونشاط الماء يحدد بصورة مباشرة معدلات نمو سلالات *Aspergillus* وإنتاجها للسموم الفطرية (زبيري وآخرون، 2025).

محددات الدراسة:

1. حجم العينة المحدود لكل قراءة شهرية يحد من القوة الإحصائية لاختبار الفروق الدقيقة، خصوصًا عند مستوى التداخل (موقع × شهر).
2. النمط غير الخطي في عينات البلنج يستدعي تكرار التجربة بعدد أشهر أكبر، وبتكرار جغرافي متعدد لكل نظام تخزيني.
3. التصميم الحالي لا يسمح بالفصل الكامل بين أثر نظام التخزين بمعناه الفني وأثر الموقع بخصائصه الأخرى غير المضبوطة.
4. لم يتوفر توزيع كمي دقيق وُمحقَّق لعدد المستعمرات على مستوى كل جنس فطري بمفرده، مما يستدعي مراجعة مخبرية تأكيدية إضافية قبل النشر النهائي.

التوصيات:

أولًا: توصيات تطبيقية:

1. تفضيل التخزين بالتبريد عند توافره اقتصاديًا، لميزتيه العمليتين الموثقتين: الاستقرار التدريجي القابل للتنبؤ في نسبة الإنبات، والانخفاض الملموس في الحمل الفطري الكلي وتنوعه.
2. عدم الاعتماد على نسبة الإنبات وحدها كمعيار لجودة التقاوي المخزنة.
3. تحسين التجانس البيئي داخل المخازن التقليدية (التهوية، توزيع الأكوام، تجنب التلامس المباشر مع الجدران أو الأرض).
4. إجراء فحص فطري دوري للبذور قبل توزيعها كتقاوي، مع إعطاء أولوية خاصة لرصد Aspergillus.
5. عدم تخزين التقاوي لفترات تتجاوز ثلاثة أشهر في مخازن تقليدية غير مضبوطة بيئيًا دون فحص دوري.

ثانيًا: توصيات بحثية مستقبلية:

1. تكرار التجربة بعدد أشهر أكبر (6 أشهر فأكثر) وبتكرارات جغرافية متعددة لكل نظام تخزيني.
2. استكمال توثيق بيانات العزل الفطري الفعلية بدقة كاملة على مستوى كل جنس فطري.
3. إجراء تحليل كمي للسموم الفطرية بالطرق الكروماتوغرافية (HPLC) على العينات الموجبة لجنس Aspergillus.
4. قياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية الفعليتين داخل كل موقع تخزين بصورة مستمرة.
5. زيادة حجم العينة لكل قراءة شهرية لتعزيز القوة الإحصائية للمقارنات.

الخاتمة:

خلصت هذه الدراسة إلى أن التخزين بالتبريد لم يحقق تفوقًا معنويًا شاملًا وقاطعًا في جميع المؤشرات الفسيولوجية المدروسة (الإنبات، الجذير، الورقة) خلال فترة الثلاثة أشهر، لكنه أظهر مع ذلك ميزتين عمليتين مهمتين: الاستقرار والقابلية للتنبؤ في نسبة الإنبات، وانخفاضًا ملموسًا في الحمل الفطري الكلي ونوعيته الأكثر تنوعًا. وتدعم هذه النتائج تبني التخزين بالتبريد عند تخزين تقاوي القمح لفترات متوسطة إلى طويلة في ظل المناخ الحار السائد في شرق ليبيا، مع التأكيد على ضرورة استكمال الفحص الفطري الكمي والتأكيدي في دراسات لاحقة موّسعة.

المراجع:

1. Bailly, C. (2004). Active oxygen species and antioxidants in seed biology. Seed Science Research, 14(2), 93–107.
2. Christensen, C. M., & Meronuck, R. A. (1986). Quality maintenance in stored grains and seeds. University of Minnesota Press.
3. El-Kady, I. A., Abdel-Hafez, S. I. I., & El-Maraghy, S. S. (1982). Contribution to the fungal flora of cereal grains in Egypt. Mycopathologia, 77(2), 103–109.
4. Erenstein, O., Jaleta, M., Mottaleb, K. A., Sonder, K., Donovan, J., & Braun, H. J. (2022). Global trends in wheat production, consumption and trade. In M. P. Reynolds & H.-J. Braun (Eds.), Wheat improvement: Food security in a changing climate (pp. 47–66). Springer International Publishing.
5. Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited “FAO estimate” of 25%. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60(16), 2773–2789.
6. Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (1984). Statistical procedures for agricultural research (2nd ed.). John Wiley & Sons.
7. International Seed Testing Association. (2024). International rules for seed testing. ISTA.
8. Magan, N., & Aldred, D. (2007). Post-harvest control strategies: Minimizing mycotoxins in the food chain. International Journal of Food Microbiology, 119(1–2), 131–139.
9. Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, 2(2), 176–177.
10. Masiello, M., El Ghorayeb, R., Somma, S., Saab, C., Meca, G., Logrieco, A. F., Habib, W., & Moretti, A. (2022). Alternaria species and related mycotoxin detection in Lebanese durum wheat grain. Phytopathologia Mediterranea, 61(2), 383–393.
11. Moubasher, A. H., Elnaghy, M. A., & Abdel-Hafez, S. I. I. (1972). Studies on the fungus flora of three grains in Egypt. Mycopathologia et Mycologia Applicata, 47(3), 261–274.
12. Pitt, J. I., & Hocking, A. D. (2009). Fungi and food spoilage (3rd ed.). Springer.
13. Scott, W. J. (1957). Water relations of food spoilage microorganisms. Advances in Food Research, 7, 83–127.
14. World Bank. (2011). Missing food: The case of post-harvest grain losses in Sub-Saharan Africa (Report No. 60371-AFR). World Bank.
15. Zebiri, S., Verheecke-Vaessen, C., Djemouai, N., Mokrane, S., Riba, A., Mathieu, F., & Meklat, A. (2025). Effects of water activity and temperature on the growth and ochratoxin A production of three Aspergillus species isolated from stored wheat in Algeria. Current Research in Environmental & Applied Mycology, 15(1), 232–248.