تعزيز جودة الخبز والقيمة الغذائية باستخدام دقيق البقوليات المنبتة وغير المنبتة: مراجعة شاملة

صلاح علي الهبيل[*1]، الطاهر عمر الفيتوري[2]، سمية مفتاح شنيبه[3]

[3,2,1] قسم علوم وتقنية الأغذية، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

[*] S.alhebeil@uot.edu.ly

تم الاستلام بتاريخ 17-10-2024، تم القبول بتاريخ 15-12-2024، تم النشر بتاريخ 31-03-2025

doi.org/10.5281/zenodo.15286863

المستخلص:

استعرضت هذه الدراسة تأثير دمج دقيق البقوليات المختلفة في أشكالها المنبتة وغير المنبتة في صناعة الخبز، مع التركيز على تأثيراتها على خصائص العجين وجودة الخبز والقيمة الغذائية. يعمل دقيق البقوليات المنبتة على تحسين مرونة العجين وامتصاص الماء بشكل كبير بسبب تحلل النشويات والبروتينات أثناء الإنبات، مما ينتج عنه عجين أكثر ليونة ومرونة مقارنة بالبقوليات غير المنبتة. على العكس من ذلك، يميل دقيق البقوليات غير المنبتة إلى زيادة صلابة العجين وتقليل احتباس الغاز، مما قد يؤثر على حجم الخبز وملمسه. سلطت الدراسة الضوء على تأثير البقوليات المنبتة في تحسين القيمة الغذائية للخبز من خلال زيادة محتوى البروتين والألياف الغذائية والفيتامينات والمعادن، مع تقليل العوامل المضادة للتغذية. كما اكدت الدراسة على الحاجة إلى تقنيات معالجة دقيقة للتخفيف من الآثار السلبية للبقوليات غير المنبتة على خصائص العجين. يوفر دمج كل من البقوليات المنبتة وغير المنبتة نهجًا متوازنًا لتحسين الخصائص الوظيفية للخبز، مما يجعل البقوليات المنبتة خيارًا متفوقًا لمنتجات المخابز الوظيفية.

الكلمات المفتاحية: *عملية الإنبات، البقوليات المنبتة، جودة الخبز، الخصائص الريولوجية.*

المقدمة:

دمج البقوليات في صنع منتجات الخبيز بشكل عام والخبز بشكل خاص حضي باهتمام كبير نظرًا لفوائده الغذائية وإمكانية تحسين جودة الخبز (Atudorei and Codină, 2020). توفر البقوليات، سواء كانت منبّتة أو غير منبّتة، مصدرًا غنيًا بالبروتينات والألياف الغذائية والفيتامينات والمعادن. هذه المراجعة تناولت بأستفاضة تأثير استخدام البقوليات المنبّتة والغير منبّتة في صناعة الخبز، مع التركيز بشكل اكبر واوسع على البقوليات المنبتة وعلى تأثيراتها على خصائص العجين وجودة الخبز والقيمة الغذائية. يؤثر إضافة دقيق البقوليات، سواء كان منبّتًا أو غير منبّت على الخصائص الريولوجية للعجين. دقيق البقوليات المنبّتة يعمل بشكل اكبر على تحسين مرونة العجين وامتصاص الماء بسبب تحلل النشويات والبروتينات أثناء التنبيت بشكل اكبر وملحوظ مقارنة بالبقوليات الغير منبتة (Atudorei et al., 2022, Atudorei et al., 2023)، مما ينتج عن ذلك عجين أكثر ليونة ومرونة. من ناحية أخرى، قد يزيد دقيق البقوليات غير المنبّتة من صلابة العجين ويقلل من احتباس الغاز، مما قد يؤثر على حجم الخبز وملمسه (Gong et al., 2018). دمج كل من البقوليات المنبّتة وغير المنبّتة في صنع الخبز يوفر مزايا عديدة. تحسن البقوليات المنبّتة من خصائص العجين وجودة الخبز والقيمة الغذائية، مما يجعلها خيارًا متفوقًا لمنتجات الخبز الوظيفية. بينما لا تزال البقوليات غير المنبّتة مفيدة، قد تتطلب معالجة دقيقة للتخفيف من آثارها المضادة للتغذية (Gong et al., 2018, Gunathunga et al., 2024, Idowu et al., 2020).

الدراسات السابقة، القديم منها والحديث أوصت ولازالت توصي ببدل مزيد الاهتمام على تحسين استخدام ودمج دقيق البقوليات المنبتة منها والغير منبتة في وصفات إعداد الخبز لتحقيق التوازن بين الفوائد الغذائية والقبول الحسي (Idowu et al., 2020; Maleki et al., 2023; Onwuka et al., 2024).

يُعرَّف إنبات البذور بأنه عملية تطوير نبات جديد. من الناحية الميكانيكية، يمكن وصف عملية الإنبات على أنها تفاعل بين الطبقة الواقية من البذور وقوة الضغط عليها بواسطة جنين البذرة النامي (Steinbrecher and Leubner-Metzger, 2017)، يشمل الإنبات ثلاث مراحل وهي: يتكون الأول من امتصاص الماء بواسطة البذور المجففة وبداية التخليق الحيوي لـ mRNA للبذرة (Kermode, 1990). تتميز المرحلة الثانية باستطالة الغمد الواقي المدبب في البذور، هذه هي المرحلة الأكثر أهمية لأنه هنا يتم إعادة تنشيط جميع عمليات التمثيل الغذائي والفسيولوجية للبذور(Carrera-Castaño et al., 2020). يتأثر نجاح هذه المرحلة بظروف الإنبات الخارجية والهرمونات النباتية للبذور. المرحلة الثالثة تتكون من الامتصاص المستمر للماء وظهور الجذور بسبب تطور محور جنين البذرة (Li et al., 2020). زاد الاهتمام في الآونة الأخيرة باستهلاك الحبوب النابتة بشكل كبير لعدة أسباب. حيث انه يقوم بتحسين صحة الانسان، ويرتبط ذلك بحقيقة أن عملية الإنبات هي عملية بسيطة نسبيًا لأنها لا تتطلب تقنيات خاصة. تقدم عملية الإنبات عددًا من المزايا المتعلقة بحقيقة أنها تحسن التركيب الغذائي للبذور ومحتواها من المواد الفعالة بيولوجيا (El-Adawy, 2002; Gunathunga et al., 2024). أظهرت دراسات مختلفة أن عملية الإنبات، إذا تم إجراؤها بشكل صحيح، قد تزيد من العناصر الغذائية (الأحماض الأمينية، المعادن، الفيتامينات، إلخ) (Ma et al., 2020)، وفي نفس الوقت تقلل من المركبات المضادة للمغذيات من البذور (Singh and Sharma, 2017). عملية الإنبات تزيد من عدد المركبات الفينولية بشكل ملحوظ وهي مركبات كيميائية لها تأثير مضاد للأكسدة (Duenas et al., 2016). في نفس الوقت تقوم عملية الإنبات بتنشيط إنزيمات التحلل المائي من البذور مما يعزز عملية هضم بعض المركبات مثل النشا والبروتينات (Han et al., 2016). وقد أوضح بعض الباحثين أن الإنبات يؤدي إلى تنشيط الإنزيمات الداخلية في البذور(Steinbrecher and Leubner-Metzger, 2017). وفي نفس الوقت تساهم عملية الإنبات في تقليل محتوى العوامل المضادة للتغذية وتنشيط بعض الإنزيمات الموجودة في البذور(Ma et al., 2020)، وبالتالي، فإن الإنبات عملية تسمح بتحسين التركيب الغذائي للبذور. تؤكد بعض الدراسات أن عملية الإنبات تزيد من محتوى مركبات الفلافونويد. تشير الدراسات الميدانية أيضًا إلى أن عملية الإنبات تؤدي إلى انخفاض في بعض العوامل المضادة للتغذية، مما يعزز التوافر البيولوجي للمركبات الغذائية من البذور التي خضعت لعملية الإنبات ((Farooq et al., 2022; Kornelia et al., 2018). نظرًا للفوائد الصحية للبذور النابتة، فقد أفادت دراسات مختلفة عن دمج بذور الإنبات في العديد من وصفات تصنيع الأغذية، مثل البسكويت والمشروبات وهريس الأطفال والكعك والزبادي(Atudorei and Codină, 2020; Atudorei et al., 2022). بالنظر إلى حقيقة أن الخبز هو أحد الأطعمة الرئيسية في النظام الغذائي اليومي للسكان، فقد بُذلت محاولات لتحسين جودته من خلال الدقيق المستخلص من البقوليات النابتة (Kaur et al., 2020). أدت إضافة البقوليات النابتة لعجينة إلى تغييرات في الخصائص الانسيابية للعجين، وكذلك اثرت في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والحسية لعينات الخبز التي تم الحصول عليها (Xu et al., 2019).

الهدف الرئيسي من المراجعة الحالية هو تغطية وجمع لاهم الدراسات المتعلقة بإمكانية استخدام البذور النابتة في وصفة صنع الخبز، والتأكيد على التغييرات التي تحدثها إضافة البذور النابتة على العملية التكنولوجية وخصائص جودة الخبز.

الإنبات: العملية الحيوية الأولى لنمو النبات وتأثير العوامل البيئية:

الإنبات هو العملية الأولى والأهم بالنسبة لزراعة النبات وإنتاج الخضروات والحبوب (Steinbrecher and Leubner-Metzger, 2017). إن الإنبات هو عملية تتأثر بالعديد من العوامل الوراثية الداخلية، ولكن أيضًا عوامل بيئية ، وتتكون من سلسلة من العمليات الخلوية التي تنتج تغيرات مختلفة في بنية الخلية ، بعضها يكون مرئيًا بالعين المجردة (Sokrab et al., 2012). تتم دراسة عملية الإنبات حتى اليوم لتوضيح آليتها بشكل كامل. أفاد بعض الباحثين أن عملية الإنبات، المستخدمة في تكاثر النبات، لا تتأثر فقط بالعوامل البيولوجية ولكن أيضًا بالضغوط الحيوية، مثل العوامل الممرضة والطرق المستخدمة في الاستثمارات (Zhao et al., 2024).

أظهرت دراسات أخرى أن تأثير العوامل البيئية مثل درجة الحرارة ومحتوى الأكسجين ورطوبة التربة والملوحة لها تأثير مهم على عملية الإنبات. عملية الإنبات المستخدمة في تكاثر النبات هي عملية معقدة تتكون من عدة مراحل . المرحلة الأولى تتوافق مع امتصاص البذور للماء (Dabija et al., 2022). يعتمد امتصاص الماء على تكوين البذور ونفاذية الغلاف الخارجي. يؤدي امتصاص الماء إلى الضغط على الطبقة الخارجية لحماية البذور مما يؤدي إلى تدهورها من أجل نمو الجذر. إلى جانب هذه التغيرات الجسدية في بنية البذور، تحدث أيضًا سلسلة من التغييرات الأيضية. وبالتالي، يتم إذابة المواد المخزنة في السويداء لتكوين أنسجة جديدة. وبالتالي، يتم تقسيم النشا إلى أشكال أبسط، وهي السكريات البسيطة (الجلوكوز والمالتوز)، والبروتينات، إلى الأحماض الأمينية والأميدات (Dabija et al., 2022; Abdel-Aty et al., 2019; Atudorei and Codină, 2020). في نفس الوقت، يتم تنشيط الإنزيمات، مما يؤدي إلى دور مهم في عملية الإنبات. بالإضافة إلى ذلك ، تلعب الهرمونات أيضًا أدوارًا مهمة في عملية الإنبات، مما يساعد على نقل العناصر الغذائية وتشكيل مركبات جديدة ضرورية لنمو البذور(Diaz-Vivancos et al., 2013; Bubel and Nick, 2018). وقد أظهرت الدراسات أنه في حالة بعض البذور، بعد 12 ساعة من بداية عملية الإنبات، تبدأ عملية انقسام الخلية من أجل البدء في تطوير الأجزاء المكونة للنبات المستقبلي (Carrera-Castaño et al., 2020).

تتأثر عملية الإنبات بعدد من العوامل، مثل: سلامة البذور، والمياه المستخدمة في الإنبات، ومعايير الهواء من مساحة الإنبات، والإضاءة ، وخصائص التربة. كل نوع من أنواع البذور له فترة إنبات مختلفة ويتطلب ظروف إنبات خاصة (Carrera-Castaño et al., 2020). أظهرت العديد من الدراسات أن العلاجات الصناعية المختلفة المطبقة على البذور لها تأثير في تحسين عملية الإنبات. على سبيل المثال، أظهرت أن العلاج بالموجات فوق الصوتية والأشعة فوق البنفسجية لهما تأثير إيجابي على الإنبات (Gong et al., 2024). يتكون العلاج بالموجات فوق الصوتية المطبقة على البذور من ترددات تتراوح بين 20 و100 كيلو هرتز وشدة 10-1000 واط / سم2 ويعزى التأثير الإيجابي للمعالجة بالموجات فوق الصوتية إلى تحسين امتصاص البذور للماء (Gong et al., 2024, Atudorei and Codină, 2020).

أظهرت أن التعرض للعلاج بالموجات فوق الصوتية بمقدار 25 كيلو هرتز لمدة 5 دقائق من الأرز الأحمر وبذور الأرز البني يؤدي إلى تحسين معدل الإنبات وتحسين الخصائص الوظيفية للدقيق الذي يتم الحصول عليه من هذه البذور. كما خلص إلى أن المعالجة بالموجات فوق الصوتية للبذور الجافة تحسن من عملية الإنبات (Atudorei and Codină, 2020). تم استخدام عملية الإنبات المستحث صناعياً للحصول على بذور نبتة ذات خصائص فائقة

من أجل دمجها في منتجات غذائية متنوعة تم وصفها في دراسات مختلفة. أظهرت الدراسات أنه عند تطبيق عملية الإنبات الاصطناعي على البذور ، يجب استخدام بعض المعالجات الأولية لضمان الظروف المثلى للإنبات، فعلى سبيل المثال، الحصول على البذور النابتة أولاً ، يجب اختيار البذور النقية الخالية من أي شوائب. بعد ذلك، يجب تعقيم البذور بمحلول بيروكسيد الهيدروجين بنسبة 3٪. من تم، يجب شطف البذور بالماء النقي للحصول على درجة حموضة متعادلة. يليها نقع البذور في الماء النقي لمدة 8 ساعات. اخيراً ، توضع البذور في أوعية خاصة للإنبات وتغطى بورق خاص للإنبات (Farooq et al., 2022). يعتمد وقت الإنبات على نوع البذرة ومعايير الإنبات، يجب مراقبتها بعناية (درجة حرارة 22 درجة مئوية، الرطوبة النسبية للهواء 50–60٪ ، الوصول إلى ضوء النهار لمدة 12 ساعة وفي الظلام لمدة 12 ساعة). بعد إنبات البذور، يتم تطبيق علاج لتجفيف البذور لوقف تطور عملية الإنبات (Liu et al., 2022).

تأثير الإنبات على الخصائص الحسية والقيمة الغذائية للبذور:

الخصائص الحسية:

أظهرت العديد من الدراسات أن الإنبات له آثار مفيدة على المظهر الغذائي للبذور الخاضعة لهذه العملية، حيث تعد عملية الانبات تكنولوجيا منخفضة التكلفة وفعالة لتحسين الجودة الغذائية للخضروات، من خلال قدرتها المضادة للأكسدة، وقابلية هضم البروتينات، وزيادة محتواها من فيتامين C و E وتقليل عواملها المضادة للتغذية (Sá et al., 2020, Ohanenye et al., 2020)، حيث اكدوا أن عملية الإنبات كان لها تأثير في تغيير خصائص نكهة البذور مثل الترمس وفول الصويا. وكذلك أكدوا أنه بعد عملية الإنبات، زادت كمية المركبات العضوية المتطايرة مثل 2-methylbutanal و dimethyltrisulfite، الأمر الذي كان له تأثير في تكثيف نكهة البذور. في نفس الوقت، تم تكثيف الطعم الحلو للبذور.

بعض الدراسات أظهرت أنه في حالة الحمص، فإن التغييرات في خاصية النكهة كانت غير مرغوب فيها بعد فترة 4 أيام من تعرض البذور لعملية الإنبات (Ohanenye et al., 2020). هذا قد يعزى إلى أن فترة الإنبات الأطول تكشف النكهة النوعية للفاصوليا، أما بالنسبة للعدس والحمص، تقل النكهة بشكل عام وتختفي الروائح الكريهة (Rifna et al., 2019). بالإضافة إلى ذلك ، أوضحت دراسة اخرى أن رائحة العدس والبازلاء، بعد الإنبات ، كانت متشابهة ، وفي حالة دقيق الحمص تقل النكهة النوعية للفاصوليا، وظهرت روائح كريهة (Padmashree et al., 2019, Zhao et al., 2024). من المستحسن دراسة التغييرات في الاستجابة لتعريف النكهة أثناء عملية الإنبات لتحقيق النجاح في تحسين الملف الغذائي للبذور، دون التأثير سلبًا على نكهتها . بشكل عام ، مع زيادة فترة الإنبات، يصبح المظهر الحسي للحبوب والبقوليات المعرضة لعملية الإنبات أكثر وضوحًا (Avezum et al., 2023)، الرائحة المميزة للبقوليات تصبح أكثر وضوحا في حالة الحمص والعدس والبازلاء، مع زيادة الفترة التي تخضع فيها تلك البقوليات لعملية الإنبات (Avezum et al., 2023, Brandhorst et al., 2024). كذلك اكدت الدراسة أن ثلاثة مركبات تشترك في تكوين المظهر الحسي تقل في التركيز مع زيادة وقت الإنبات. هذا يرجع إلى حقيقة أن الإنبات يحلل السويداء، ويعمل على القضاء على مركبات النكهة، وعليه فأن الحل الامثل لتقليل الرائحة الخاصة للبقوليات هو إضافة مضادات الأكسدة في عملية الإنبات (Chu et al., 2020).

عملية إنبات البذور تعمل على ازدياد كمية المركبات الفينولية والألياف الغذائية للبذور والذي بدوره يؤثر على مذاقها (Ma et al., 2018; Nascimento et al., 2024). كانت هذه النتائج في اتفاق مع تلك المذكورة في دراسة (Sangronis and Machado, 2007) التي خلصت إلى أن المركبات الفينولية أثرت على الجودة الحسية للخبز بشكل كبير، حيث كان الطعم أحد الخصائص الرئيسية التي تأثرت بها.

اكدت الدراسة التي أجراها (Ma et al., 2018)، أن عينات الخبز التي تحتوي على كمية عالية من المركبات الفينولية والالياف اظهرت طعم قابض أكثر من عينة المراقبة. ومع ذلك، يبدو أن الألياف الغذائية لم تؤثر بشكل كبير على مذاق عينات الخبز، وبالتالي يمكن استنتاج أن المركبات الفينولية لها تأثير أكبر على طعم الخبز من الألياف الغذائية.

الخصائص الغذائية:

الغرض الأساسي من استخدام البذور النابتة أو الدقيق الذي يتم الحصول عليه منها في وصفات منتجات الصناعات الغذائية كما تم ذكره سابقًا هو تحسين التغذية وخصائص العناصر المغذية. تؤدي عملية الإنبات رفقة التغييرات الفيزيائية للبذور، إلى تحسين المكونات الغذائية(Polat et al., 2020). على سبيل المثال، أظهرت الدراسات أن عملية الإنبات تؤثر على محتوى الدهون في البذور، وأُستنتج أن الانخفاض في محتوى الدهون قد يكون بسبب زيادة نشاط تحلل الدهون أثناء عملية الإنبات، وبالتالي يتم تحلل المركبات الدهنية لضمان نمو البذور (Yiming et al., 2015, Zhao et al., 2024). ومع ذلك ، فإن تقليل كمية الدهون يعتمد على الأنواع التي تمر بعملية الإنبات. تظهر بعض الدراسات أن محتوى الرماد زاد أثناء عملية الإنبات، في حالة القطيفة والأرز. ويرجع ذلك إلى انخفاض كمية المواد الصلبة الذائبة (مثل النشا وأنواع مختلفة من السكريات)(Xu et al., 2017)، بينمالا يؤثر الإنبات بشكل كبير على محتوى الكربوهيدرات، حيث يبدو أن محتوى الأميلوز ينخفض ويزداد محتوى السكر الكلي. نظرًا لحقيقة أنه من خلال عملية الإنبات ، تتحسن الخصائص الغذائية للبذور، يمكن استخدام البذور النابتة بنجاح في منتجات المخابز. فعلى سبيل المثال أن عملية الإنبات في حالة فول الصويا تزيد من محتوى الأحماض الأمينية الحرة والسكريات والمركبات الفينولية وقدرتها على مضادات الأكسدة بعد 32 ساعة من الإنبات (Chu et al., 2020). بتسليط الضوء على السعة القصوى لمضادات الأكسدة، اتضح أن القدرة المضادة للأكسدة تبدأ في الزيادة بعد 8 ساعات من الإنبات، وهكذا، أثبتت إمكانية استخدام فول الصويا المنبت لتطوير أغذية مبتكرة ذات خصائص خاصة، مثل حليب الصويا (Cornejo et al., 2019). في حالة بذور الحنطة السوداء، ثبت أن الإنبات يؤدي لزيادة المحتوى الكلي للفلافونويد والأحماض الأمينية ويقلل من السكريات، في المقابل يزداد محتوى البروتين والسكر الكلي (Nascimento et al., 2024)، في الوقت نفسه، انخفض محتوى فيتامين C و B1. أما في حالة الفيتامينات B2 و B6 لم تكن هناك تغييرات كبيرة. علاوة على ذلك، زادت قيمة أنشطة إزالة الجذور الحرة بسبب زيادة نشاط مضادات الأكسدة (Nascimento et al., 2024, Onwuka et al., 2024).

يتم استخدام دقيق العدس وفول الصويا والترمس والفول بشكل متزايد لتحسين الخصائص الغذائية للطعام، لهذا السبب، غالبًا ما تسلط الدراسات الحالية الضوء على تأثير إنباتهم، من أجل التعرف على إمكانيات تحسين المظهر الحسي للغذاء من خلال الإنبات (Rifna et al., 2019).

1. العدس: تحسين الخصائص الغذائية من خلال الإنبات:

العدس من البقوليات التي ثبت أن استهلاكها له العديد من الفوائد الصحية، بما في ذلك تقليل خطر الإصابة بالسرطان بسبب محتواه من المواد المضادة للسرطان مثل الليكتين، السابونين الجليكوسيد، الببتيدات النشطة بيولوجيًا والتي تشمل مثبطات الأنزيم البروتيني والألياف القابلة للتخمير والسكريات القليلة. يحتوي العدس على نسبة عالية من البوليفينول له تأثير مضاد للأورام (Park and Oh, 2007, Zhang et al., 2017, Nascimento et al., 2024). يعد العدس ذا أهمية كبيرة في دمجه في الأطعمة المختلفة لأنه لا يحتوي على الجلوتين بينما يحتوي على نسبة عالية من البروتين ، أي 30.65 جم / 100 جم. زاد هذا المحتوى أثناء الإنبات إلى 33.60 جم / 100 جم (Marchini et al., 2021). محتوى النشا الكلي في حالة العدس النابت انخفض خلال هذه العملية. في نفس الوقت، كان لعملية الإنبات تأثير في زيادة لزوجة دقيق العدس بقيمة 1061 سنتي بواز حتى بعد أول يومين من الإنبات. بعد الإنبات، تحسنت قدرة امتصاص الماء بدرجة عالية (Marchini et al., 2021, Ma et al., 2020). في حالة العدس، لوحظت التغييرات التالية بعد ستة أيام من الإنبات: زيادة في كمية الرماد وانخفاض كمية النشا والدهون والأميلوز. يرجع الانخفاض في كمية النشا إلى إطلاق الإنزيمات من الغلاف الخارجي للبذور (α-amylase و glucosidase و dextranase) ومن السويداء (α -amylase). يؤدي وجود الإنزيمات المتحللة للماء إلى تحول النشا إلى سكريات قليلة السكاريد أو السكريات الأحادية، مما يؤدي إلى انخفاض كمية النشا (Ma et al., 2020; Marchini et al., 2021; Hernandez-Aguilar et al., 2020). وفقًا لدراسة سابقة يعود الانخفاض في كمية الدهون إلى استخدامها بواسطة البذور أثناء عملية التطوير (Hernandez -Aguilar et al., 2020). وكذلك، لوحظ أنه خلال الإنبات يتم استخدام ثلاثي الجلسرين والتي يتم تحللها بواسطة الإنزيمات لإطلاق الأحماض الدهنية، وتتأكسد على مستوى العصارة الخلوية والميتوكوندريا لتحرير الطاقة اللازمة في عملية الإنبات (Singh and Sharma, 2017).

أوضح (Marchini et al., 2021)، أن إنبات بذور العدس عند درجة حرارة 25 درجة مئوية لمدة 3–6 أيام، في ظروف مظلمة يؤدي إلى انخفاض في محتوى الدهون. فيما يتعلق بخصائص دقيق العدس، فقد حدثت بعض التغييرات بسبب عملية الإنبات أيضًا، كذلك زادت لزوجة دقيق العدس بعد ثلاثة أيام من الإنبات، وبإستمرار عملية الانبات سجلت اللزوجة انخفاض ملحوظ. قد يرجع ذلك إلى أن الإنزيمات قامت بتحلل كمية كبيرة من الأميلوز والأميلوبكتين، وقد يؤدي هذا أيضًا إلى زيادة قابلية هضم النشا (Sá et al., 2020). أثناء عملية الإنبات كمية الميلاتونين في العدس تزداد، تحدث هذه الزيادة مع زيادة حجم الجذر، وعليه فأن عملية الإنبات تحسن بشكل كبير الخصائص الغذائية للعدس، مثل مضادات الأكسدة (Singh and Sharma, 2017). مع الأخذ في الاعتبار أن العدس من البقوليات الخالية من الجلوتين ، يمكن أيضًا استخدامه بنجاح للحصول على المواد الغذائية للأشخاص الذين يعانون من مرض الاضطرابات الهضمية (Gao et al., 2017).

2. الحمص: تحسين الخصائص الغذائية من خلال الإنبات:

الحمص هو نوع آخر من البقوليات المهمة في صناعة المواد الغذائية لما لها من خصائص مميزة لتحسين صحة الإنسان (Jukanti et al., 2012). في الآونة الأخيرة ، كان هناك اهتمام خاص بالحمص بأعتبارها مصدر مثالي للبروتينات والألياف والكربوهيدرات وكذلك المعادن وبالتالي تساعد في الحفاظ على نظام غذائي متوازن. بالنسبة

للنباتيين، يعتبر الحمص مصدرًا مثاليًا للبروتينات. علاوة على ذلك، المحتوى من المواد المسببة للحساسية منه منخفضة، في الوقت نفسه، يمكن اعتبار الحمص بديلاً لفول الصويا (Ahmed et al., 2020).

أظهرت الدراسات المعملية ان للحمص قابلية عالية للهضم تصل نسبتها مابين 48٪ و 89.01٪ مقارنة بكل من فول الصويا والفاصوليا على التوالي (Barbana and Boye, 2013). في حالة الحمص، تبين أن الإنبات يزيد من محتوى الفلافونويد الكلي، مركبات البوليفينول التي لها تأثير مضاد للأكسدة يزداد محتواها الكلي بعد الإنبات من 0.22 إلى 0.42 جم / كجم، عند درجة حرارة إنبات 30 درجة مئوية. عند درجة حرارة الإنبات أكثر من 10 درجة مئوية، كان محتوى الفلافونويد الكلي 0.38 جم / كجم. وبالتالي، يمكن استنتاج أن درجة حرارة الإنبات لها تأثير مباشر على زيادة محتوى الفلافونويد. هذه الزيادة تعتمد على استجابة البذور لضغوط مختلفة، حيوية وغير حيوية (Zhang et al., 2015). إن إنبات الحمص، على النحو المبين في الدراسات التي أجريت حتى الآن، لا يؤثر بشكل كبير على محتواه في البروتينات والدهون والألياف والرماد والكربوهيدرات. ومع ذلك، تزيد هذه العملية من كمية حامض الأسكوربيك. يزيد هذا المحتوى من 1.9 مجم / 100 جرام إلى 9.4 مجم / 100 جرام (بعد فترة إنبات 24 ساعة) وإلى 15.6 مجم / 100 جم (بعد فترة إنبات 48 ساعة) (Masood et al., 2014; Raza et al., 2019). في نفس الوقت، لوحظ زيادة في بعض من الأحماض الأمينية الاساسية بعد الإنبات. على سبيل المثال، ازداد محتوى كل من الثريوسين، لايسين، الليوسين، وكذلك كل من حمض الفالين والأيزولوسين بعد 24 ساعة من الإنبات (Kuo et al., 2004, Papayata et al., 2024). ومع ذلك، فقد أظهرت الدراسات أن إنبات الحمص فقط في الظروف المثلى يؤدي إلى التحسين الغذائي للحمص. وبالتالي، فإن مراقبة درجة الحرارة ووقت الإنبات أمر ضروري للغاية من أجل تحقيق التحسين الغذائي المطلوب(Rifna et al., 2019). خلصت دراسة أجراها (Modarresi et al., 2024) إلى أن المعايير المثلى لعملية الإنبات في حالة الحمص كانت: 27.5 – 35 درجة مئوية و 125 – 240 ساعة. عملية الإنبات التي سجلت فيها المركبات الغذائية (محتوى البوليفينول، المحتوى الكلي للفلافونويد، النشاط المضاد للأكسدة) أعلى قيم كانت عند 33.7 درجة مئوية و 171 ساعة. في ظل هذه الظروف، تبين أن محتوى الألياف الغذائية يزداد بشكل كبير في حالة الحمص. علاوة على ذلك ، بعد عملية الإنبات ، لوحظت زيادة معنوية في أحماض الفيروليك والإيلاجيك، والتي لها تأثيرات مضادة للأكسدة. في نفس الوقت أدى الإنبات إلى زيادة كبيرة في محتوى البروتين (حدث الإنبات عند 33.7 درجة مئوية لمدة 171 ساعة) (Modarresi et al., 2024). تُعزى الزيادة في محتوى البروتين إلى فقدان المادة الجافة، خاصة في الكربوهيدرات، أثناء عملية تنفس البذور خلال فترة الإنبات. بالإضافة إلى ذلك، لوحظ انخفاض في محتوى الدهون، بسبب استهلاكها كمصدر للطاقة في عملية الإنبات (Kuo et al., 2004; Ohanenye et al., 2020).

3. فول الصويا: تحسين الخصائص الغذائية من خلال الإنبات:

البقوليات الأخرى التي تحتل مكانة خاصة بين النباتيين هي فول الصويا، والذي يعتبر استهلاكه ذو فوائد صحية مختلفة (Lisciani et al., 2024a). أظهرت الدراسات أن الايزوفلافون من محتويات الصويا فهي مركبات ثنائي الفينول غير الاستيرويدية ومضادة للأكسدة لها دور إيجابي في الوقاية من الأمراض مثل هشاشة العظام وأمراض القلب والأوعية الدموية ومتلازمة ما بعد انقطاع الطمث (Virtuoso et al., 2024). بروتين الصويا هو أيضا مصدر مهم للأحماض الأمينية الاساسية و المركبات الفينولية التي تتأثر نسبتها بشكل كبير بوقت الإنبات ودرجة

الحرارة (Virtuoso et al., 2024; Wang et al., 2024). دراسة تأثير عملية الإنبات على ألياف فول الصويا اظهرت أن المحتوى الكلي للألياف الغذائية (الذائبة وغير القابلة للذوبان) زاد بشكل معنوي مقارنة بالبذور غير النابتة. وبالتالي، يمكن استخدام عملية الإنبات كوسيلة لتحسين محتوى الألياف الغذائية لفول الصويا، وهذا له آثار صحية إيجابية (Mitharwal et al., 2024). فيما يتعلق بفول الصويا الأخضر، بعد الإنبات، كان هناك انخفاض بنسبة 14٪ في البروتين، 37٪ في الدهون، 22٪ في الكربوهيدرات و 16٪ في الرماد. تُعزى الزيادة في محتوى البروتين إلى فقدان المادة الجافة، وخاصة الكربوهيدرات، أثناء عملية تنفس البذور أثناء الإنبات (Wang et al., 2024). بالإضافة إلى ذلك، لوحظ انخفاض في محتوى الدهون، بسبب استهلاكها كمصدر للطاقة في عملية الإنبات (Nascimento et al., 2024).

4. الفاصوليا: تحسين الخصائص الغذائية من خلال الإنبات:

تعتبر الفاصوليا ذات أهمية لأنها تحتوي على قيمة غذائية عالية كما أن استهلاكها له آثار إيجابية على صحة الإنسان. أثناء عملية الإنبات، تمر الفاصوليا بعدة تغييرات مهمة تعزز من خصائصها. من الناحية الغذائية، يزداد توفر الفيتامينات، خاصة فيتامين C وبعض فيتامينات B، وكذلك المعادن مثل الحديد والزنك والكالسيوم. كما تعزز العملية مستويات الأحماض الأمينية الأساسية، مما يجعل البروتينات أكثر تكاملاً. يقلل الإنبات من المواد المضادة للتغذية مثل حمض الفيتيك، التانينات، والبوليفينولات التي يمكن أن تعيق امتصاص المغذيات. تتحسن قابلية هضم البروتينات والكربوهيدرات بسبب تنشيط الإنزيمات مثل البروتياز والأميليز، ويزداد محتوى الألياف الغذائية القابلة للذوبان، مما يفيد صحة الجهاز الهضمي (Alhebeil et al., 2023).

من الناحية الوظيفية والحسية، يمكن أن يعزز الإنبات من نكهة الفاصوليا، مما يجعلها أكثر حلاوة واستساغة، على الرغم من الحاجة إلى التحكم الدقيق لتجنب النكهات غير المرغوب فيها. يصبح قوام الفاصوليا أكثر ليونة، مما يحسن من تطبيقاتها الطهوية وقبول المستهلكين لها. من الناحية الصحية، يزيد الإنبات من مستويات مضادات الأكسدة مثل المركبات الفينولية والفلافونويدات التي تساعد في تقليل الإجهاد التأكسدي في الجسم. تؤدي العملية أيضًا إلى تكوين مركبات نشطة بيولوجيًا لها فوائد صحية متنوعة، بما في ذلك الخصائص المضادة للالتهابات والمضادة للسرطان(Lisciani et al., 2024b). عمليًا، يمكن أن يؤدي دمج دقيق الفاصوليا المنبتة في وصفات الخبز إلى تحسين القيمة الغذائية للخبز دون التأثير بشكل كبير على خصائصه الحسية. يمكن أيضًا استخدام الفاصوليا المنبتة في مجموعة متنوعة من المنتجات الغذائية مثل البسكويت، المشروبات، أغذية الأطفال المهروسة، المافن، والزبادي، مما يعزز من قيمتها الغذائية. من خلال الاستفادة من عملية الإنبات، يمكن تحويل الفاصوليا إلى مكون أكثر تغذية، قابلية للهضم، ومتعدد الاستخدامات، مناسب لمجموعة واسعة من التطبيقات الطهوية (Aderinola et al., 2024).

استخدام البذور النابتة في وصفة صنع الخبز من أجل تحسين جودة الخبز من الناحية التغذوية:

جرت محاولة لدمج دقيق من بذور مختلفة في وصفات صناعة الخبز. في الوقت نفسه ، تم تحليل التأثير الناتج عن هذه الإضافة على المظهر الحسي والفيزيائي والكيميائي للخبز، وكذلك التغييرات التي أجريت على الخصائص الانسيابية لعينات العجين (Alhebeil et al., 2020). ومع ذلك، هناك القليل من الدراسات حول كيفية تأثير إضافة البذور النابتة على خصائص العجين ونوعية الخبز. أظهرت الدراسات تأثيراً إيجابياً لإضافة دقيق البذور

النابتة على الخصائص الريولوجية لعينات العجين لانها بشكل عام، تزيد الإضافة من قيم امتصاص الماء في عجائن الخبز بشكل ملحوظ والذي من شأنه يؤثر بشكل كبير على سلوك العجين خلال العملية التكنولوجية لصنع الخبز (Marchini et al., 2021). إن تأثير إضافة دقيق البذور النابتة الي عجينة دقيق القمح يزيد من نسبة الامتصاصية للماء. بالإضافة إلى ذلك، زاد حجم الرغيف أثناء عملية التخمير مقارنةً بإضافة دقيق فول الصويا غير النابت ودقيق فول الصويا على البخار ودقيق فول الصويا المحمص (Magaña et al., 2023).

(Rosales et al., 2008) استنتجوا ان بعض قراءات الفارينوجراف مثل وقت تطور العجين وثبات العجين زادت بشكل طفيف عندما تم دمج دقيق فول الصويا المنبت في وصفة العجين. يعزى ذلك إلى زيادة النشاط الأنزيمي من نظام العجين أو إلى المكونات المحبة للماء بسبب عملية الإنبات. أشارت بعض الابحاث إلى إمكانية استخدام دقيق من فول الصويا النابت في دقيق القمح الذي يحتوي على كمية قليلة من البروتين لتحسين خصائص عجين دقيق القمح. بالإضافة إلى ذلك ، يبدو أن إضافة دقيق البذور النابت يؤثر على لزوجة عجينة دقيق القمح، وذلك بسبب أن فول الصويا يحتوي على كمية كبيرة من الكربوهيدرات (بما في ذلك البنتوزان) التي يمكن أن تؤثر على قدرة الدقيق على امتصاص الماء (Ribotta et al., 2005). أظهرت بعض الدراسات أن ارتفاع مستوى البنتوزان أدى إلى عجين لزج وإلى تأخير في تكوين الجلوتين (Labat et al., 2002). ومع ذلك ، سيكون من الضروري إجراء مزيد من الدراسات حول التأثيرات المتداخلة المحتملة بين كربوهيدرات الصويا ودقيق القمح على ريولوجيا العجين (Rosales-Juárez et al., 2008). هناك دراسات أظهرت أن إدماج دقيق القمح النابت مع الدقيق العادي خلال صناعة الخبز له تأثير في زيادة وقت خلط العجين الذي يتم الحصول عليه ويقويها أيضًا. علاوة على ذلك ، لوحظ أن زيادة نشاط تحلل الدهون في نظام العجين قد يؤدي إلى انخفاض العمر الافتراضي لعينات الدقيق المخلوط. بشكل عام، إضافة أقل من 10٪ دقيق مسحوق دقيق البذور النابت له تأثير إيجابي على الخصائص الانسيابية للعجين (Morad et al., 1980, Aprodu et al., 2019). يؤدي ارتفاع مستوى إضافة دقيق البذور النابتة إلى انخفاض حجم عينات العجين مما يؤدي أيضًا إلى انخفاض حجم رغيف عينات الخبز (Boukid et al., 2018). علاوة على ذلك، أظهرت بعض الدراسات أن تعريض حبوب القمح للإنبات يقلل من كمية الببتيدات التي تلعب دورًا مهمًا في إحداث مرض الاضطرابات الهضمية (Millar et al., 2019). أفادت دراسات مختلفة أن إضافة كمية من البذور النابتة تصل إلى 10٪ في دقيق القمح ليس لها أي آثار سلبية على الخصائص الانسيابية للعجين. وفقا لتلك الدراسات، يبدو أن إضافة 5٪ من بذور الإنبات أدت إلى الحصول على الخصائص الريولوجية لعجين دقيق القمح (Boukid et al., 2018, Millar et al., 2019).

تأثير دمج دقيق البذور النابتة في صناعة الخبز: تحسين الخصائص الريولوجية والجودة

(Millar et al., 2019)، أوضح أن إضافة دقيق البازلاء المنبتة لعجينة دقيق الخبز أدى لتقليل حجم رغيف لعينات الخبز. كما ذكرت الدراسة ايضا أن إضافة دقيق الحمص النابت يؤثر بشكل سلبي على حجم رغيف عينات الخبز. ومع ذلك، ذكرت الدراسة أن إضافة 10٪ من دقيق الحمص النابت قد حسن خصائص عينات الخبز التي تم الحصول عليها، وذلك قد يرجع لزيادة النشاط الإنزيمي المائي في نظام العجين ومكوناته القابلة للذوبان. أدت إضافة 20٪ من دقيق الحمص النابت إلى تقليل حجم رغيف عينات الخبز. بالإضافة إلى ذلك، لم يتأثر لون عينات الخبز بإضافة 10٪، ولكنه تأثر معنوياً بإضافة 20٪ (Mostafa et al., 1987). أن إضافة دقيق الحمصى النابت يقلل

من حجم رغيف الخبز بمعدل 7-13 ٪. في الوقت نفسه، الخبز الذي يتم الحصول عليه من دقيق الحمص النابت يكون ذو قشرة أغمق وفتات أغمق وكثافة أعلى (Guardado-Félix et al., 2020).

من المعروف أنه من خلال عملية الإنبات، تزداد كمية الألياف الغذائية ومركبات البولي فينول من الخضروات (Setia et al., 2019). من ناحية جودة الخبز، يبدو أن هذه المركبات من الخضار النابتة لها تأثير كبير على خصائصها . الألياف الغذائية لا تؤثر بشكل كبير على الخصائص الحسية للخبز مثل الطعم والنكهة ولكن كان لها تأثير كبير على حجم الرغيف (Almeida et al., 2013).

(Almeida et al., 2013)، ذكروا أنه حتى عند إضافة 20٪ من الألياف في دقيق القمح، الخصائص الحسية للخبز مثل الطعم والنكهة لم تتأثر بشكل كبير. علاوة على ذلك، أفادوا أن إضافة الألياف لدقيق القمح أدت إلى تحسين جودة الخبز من خلال زيادة نضارة بسبب زيادة قدرة امتصاص الماء والاحتفاظ بالرطوبة. بالنسبة للون، يكون على حسب مصدره، قد تؤثر إضافة الألياف على هذه الخاصية. على سبيل المثال، أدت نخالة القمح إلى انخفاض بياض عينات الخبز. بشكل عام، أظهرت الدراسات أنه لم يكن هناك تأثير سلبي كبير لإضافة الألياف (في شكل ألياف الخروب، والأنولين ونوع ألياف البازلاء، وما إلى ذلك) على الجودة الإجمالية والاقبال عليه (Wang et al., 2002). تم تسليط الضوء على أن إضافة المركبات الفينولية قللت من حجم الرغيف وزادت من قيمة صلابة الخبز (Xu et al., 2020). كما تم تأكيد عن أن إضافة البولي فينول لعملية جلتنة النشا يؤدي إلى زيادة في درجة حرارة الجلتنة مما يؤثر على تراجع النشا وزيادة نضارة الخبز (Sivam et al., 2012). وفقا لهذه الدراسات، فقد استنتج أن إضافة مكونات ثنائية في صناعة الخبز تحتوي على كمية عالية من محتوى البولي فينول قد يكون بديلا جيدا لاستبدال المضافات الكيميائية الاصطناعية، حيث تعتبر هذه الأصباغ الطبيعية مواد حافظة ومواد مضادة للأكسدة.

الخلاصة والتوصيات:

يمكن استخدام البقوليات المنبتة بنجاح في العديد من وصفات تصنيع الأغذية، على وجه الخصوص من أجل تحسين القيمة الغذائية للمخبوزات. يمكن استخدام عملية الإنبات بنجاح لتحسين دقيق القمح من أجل الحصول على منتجات المخابز الصحية. فضلاً عن ذلك، يمكن استخدام الدقيق الذي يتم الحصول عليه من البذور النابتة كبديل للإضافات الكيميائية المختلفة التي غالبًا ما تستخدم في صناعة المخابز بسبب محتواها العالي من الإنزيمات وحمض الأسكوربيك والليسيثين. ومع ذلك، على الرغم من وجود العديد من الدراسات السابقة حول تأثير إضافة أنواع مختلفة من دقيق البقوليات في وصفات صنع الخبز، هناك القليل من الدراسات حول إضافة دقيق البقوليات في شكل منبت وعلى تأثيرها في صناعة الخبز. الدراسة الحالية سلطت الضوء على استخدام بدائل جديدة لتحسين صنع الخبز، مع التأكيد على كيف يمكن للأنواع المختلفة من البقوليات في شكلها النابت أن تحسن الخصائص الريولوجية للعجين والجودة النهائية للخبز المنتج. تؤكد النتائج على إمكانات دقيق البقوليات المنبتة في تحسين الجودة الغذائية والحسية للخبز، مما يجعلها مكونات قيمة في تطوير الأغذية الوظيفية. يجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على تحسين ظروف الإنبات وطرق المعالجة لتعظيم فوائد دمج البقوليات في صناعة الخبز. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي استكشاف التأثيرات التآزرية لدمج أنواع مختلفة من البقوليات وتأثيرها على جودة الخبز إلى تقدم مجال علوم الأغذية بشكل أكبر. سيكون من الضروري مواصلة التحقق في درجة قبول المستهلك من خلال أجراء التقييم الحسي لضمان دمج هذه المكونات بنجاح في منتجات المخابز التجارية.

المراجع:

Abdel-aty, A.M., Salama, W.H., fahmy, A.S., & mohamed,. A. (2019). Impact of germination on antioxidant capacity of garden cress: new calculation for determination of total antioxidant activity. Scientia Horticulturae, 246, 155-160.

Aderinola, T., Ajayeoba, T., Akanni, G., Uzomah, A., Onyeaka, H., & Adeboye, A. (2024). Legume-based functional foods in West Africa for managing non-communicable diseases: a comprehensive review of dietary strategies. Nutrire, 49, 1-17.

Ahmed, I.B.H., Hannachi, A., & Haros, C.M. (2020). Combined Effect of Chia Flour and Soy Lecithin Incorporation on Nutritional and Technological Quality of Fresh Bread and during Staling. Foods, 9, 14-20

Alhebeil, S.A., Alhadi, N., & Shniba, S.M. (2020). Effect of partial substitutions with barley flour on rheological properties of white flour dough and bread produced. Journal of Pure and Applied Sciences. Vol. (18) :2, 27-34.

Alhebeil, S.A., & Shniba, S.M.S. (2023). Effect of partially replacement of wheat flour with Cowpea flour on the physicochemical and sensory properties of bread. Science and technology`s development journal (STDJ), v (4) :2, 21-27.

Almeida, E.I., Chang, Y.k., & Steel, C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. LWT-Food Science and Technology, 50, 545-553.

Aprodu, I., Yasilean, I., Muntenită, C., & PATRASCU, L. (2019). Impact of broad beans addition on rheological and thermal properties of wheat flour-based sourdoughs. Food chemistry, 293, 520-528.

Atudorei, D., Atudorei, O., & Codină, G.G. (2022). The Impact of Germinated Chickpea Flour Addition on Dough Rheology and Bread Quality. Plants, 11, 1225.

Atudorei, D., & Codină, G.G. (2020). Perspectives on the Use of Germinated Legumes in the Bread Making Process, A Review. Applied Sciences, 10, 6244.

Atudorei, D., Mironeasa, S., & Codină, G.G. (2023). Dough Rheological Behavior and Bread Quality as Affected by Addition of Soybean Flour in a Germinated Form. Foods, 12, 1316.

Avezum, L., Rondet, E., Mestres, C., Achir, N., Madode, Y., Gibert, O., Lefevre, C., Hemery, Y., Verdeil, J.L., & Rajjou, L. (2023). Improving the nutritional quality of pulses via germination. Food Reviews International, 39, 6011-6044.

Barbana, C., & Boye, J.I. (2013). In vitro protein digestibility and physico-chemical properties of flours and protein concentrates from two varieties of lentil (Lens culinaris). Food Funct, 4, 310-21.

Boukid, F., Prandi, B., Vittadini, E., Francia, E., & Sforza, S. (2018). Tracking celiac disease-triggering peptides and whole wheat flour quality as function of germination kinetics. Food Research International, 112, 345-352.

Brandhorst, J. R., Wesley, T.L., & Phippen, W.B. (2024). Evaluating germination rates for short-and long-term storage methods of pennycress seed. Industrial Crops and Products, 222, 119564.

Bubel, N., & Nick, J. (2018). The new seed-starters handbook, Rodale.

Carrera-Castaño, G., Calleja-Cabrera, J., Pernas, M., Gómez, L., & Oñate-Sánchez, L. (2020). An Updated Overview on the Regulation of Seed Germination. Plants, 9, 703.

Chu, C., Du, Y., Yu, X., Shi, J., Yuan, X., Liu, X., Liu, Y., Zhang, H., Zhang, Z., & Yan, N. (2020). Dynamics of antioxidant activities, metabolites, phenolic acids, flavonoids, and phenolic biosynthetic genes in germinating Chinese wild rice (Zizania latifolia). Food Chemistry, 318, 126483.

Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., & Rosell, C.M. (2019). Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (Amaranthus quitensis and Amaranthus caudatus) after germination. Food Research International, 121, 933-939.
Dabija, A., Ciocan, M.E., Chetrariu, A., & Codină, G.G. (2022). Buckwheat and Amaranth as Raw Materials for Brewing, a Review. Plants, 11, 756.
Diaz-Vivancos, P., Barba-Espín, G., & Hernández, J.A. (2013). Elucidating hormonal/ROS networks during seed germination: insights and perspectives. Plant Cell Reports, 32, 1491-1502.
Duenas, M., Sarmento, T., Aguilera, Y., Benitez, V., Mollá, E., Esteban, R.M., & Martín-Cabrejas, M.A. (2016). Impact of cooking and germination on phenolic composition and dietary fibre fractions in dark beans (Phaseolus vulgaris L.) and lentils (Lens culinaris L.). LWT-Food Science and Technology, 66, 72-78.
EL-Adawy, T.A. (2002). Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (Cicer arietinum L.) undergoing different cooking methods and germination. Plant foods for human nutrition, 57, 83-97.
Farooq, M.A., Ma, W., Shen, S., & Gu, A. (2022). Underlying biochemical and molecular mechanisms for seed germination. International Journal of Molecular Sciences, 23, 8502.
Gao, Y., Janes, M.E., Chaiya, B., Brennan, M.A., Brennan, C.S., & Prinyawiwatkul, W. (2017). Gluten-free bakery and pasta products: prevalence and quality improvement. International Journal of Food Science and Technology, 53, 19-32.
Gong, K., Chen, L., Li, X., Sun, L., & Liu, K. (2018). Effects of germination combined with extrusion on the nutritional composition, functional properties and polyphenol profile and related in vitro hypoglycemic effect of whole grain corn. Journal of Cereal Science, 83, 1-8.
Gong, M., Kong, M., Huo, Q., He, J., He, J., Yan, Z., Lu, C., Jiang, Y., Song, J., Han, W., & Lv, G. (2024). Ultrasonic treatment can improve maize seed germination and abiotic stress resistance. BMC Plant Biology, 24, 758.
Guardado-Félix, D., Lazo-Vélez, M.A., Pérez-Carrillo, E., Panata-Saquicili, D.E., & Serna-Saldívar, S.O. (2020). Effect of partial replacement of wheat flour with sprouted chickpea flours with or without selenium on physicochemical, sensory, antioxidant and protein quality of yeast-leavened breads. Lwt, 129, 109517.
Gunathunga, C., Senanayake, S., Jayasinghe, M.A., Brennan, C.S., Truong, T., Marapana, U., & Chandrapala, J. (2024). Germination Effects on Nutritional Quality: A Comprehensive Review of Selected Cereal and Pulse Changes. Journal of Food Composition and Analysis, 106024.
Han, A., Jinn, J.R., Mauromoustakos, A., & Wang, Y.J. (2016). Effect of parboiling on milling, physicochemical, and textural properties of medium-and long-grain germinated brown rice. Cereal Chemistry, 93, 47-52.
Hernandez-Aguilar, C., Dominguez-Pacheco, A., Palma Tenango, M., Valderrama-Bravo, C., Soto Hernández, M., Cruz-Orea, A., & Ordonez-Miranda, J. (2020). Lentil sprouts: a nutraceutical alternative for the elaboration of bread. Journal of Food Science and Technology, 57, 1817-1829.
Idowu, A.T., Olatunde, O.O., Adekoya, A.E., & Idowu, S. (2020). Germination: An alternative source to promote phytonutrients in edible seeds. Food Quality and Safety, 4, 129-133.

Jukanti, A.K., Gaur, P.M., Gowda, C.L.L., & Chibbar, R.N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (Cicer arietinum L.): a review. British Journal of Nutrition, 108, S11-S26.
Kaur, A., Kaur, R., & Bhise, S. (2020). Baking and sensory quality of germinated and ungerminated flaxseed muffins prepared from wheat flour and wheat atta. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 19, 109-120.
Kermode, A. R. (1990). Regulatory mechanisms involved in the transition from seed development to germination. Critical Reviews in Plant Sciences, 9, 155-195.
Kornelia, T.K., Chandra-Hioe, M.V., Frank, D., & Arcot, J. (2018). Enhancing wheat muffin aroma through addition of germinated and fermented Australian sweet lupin (Lupinus angustifolius L.) and soybean (Glycine max L.) flour. Lwt, 96, 205-214.
Kuo, Y.H., Rozan, P., Lambein, F., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2004). Effects of different germination conditions on the contents of free protein and non-protein amino acids of commercial legumes. Food chemistry, 86, 537-545.
Labat, E., Rouau, X., & Morel, M.H., (2002). Effect of flour water-extractable pentosans on molecular associations in gluten during mixing. LWT-Food Science and Technology, 35, 185-189.
Li, Q.F., Zhou, Y., Xiong, M., Ren, X.Y., Han, L., Wang, J.D., Zhang, C.Q., Fan, X.L., & Liu, Q.Q. (2020). Gibberellin recovers seed germination in rice with impaired brassinosteroid signalling. Plant Science, 293, 110435.
Lisciani, S., Marconi, S., Le Donne, C., Camilli, E., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Gambelli, L., Kunert, K., Marais, D., & Vorster, B. J. (2024a). Legumes and common beans in sustainable diets: nutritional quality, environmental benefits, spread and use in food preparations. Frontiers in Nutrition, 11, 1385232.
Lisciani, S., Marconi, S., Le Donne, C., Camilli, E., Aguzzi, A., Gabrielli, P., Gambelli, L., Kunert, K., Marais, D., Vorster, B. J., Alvarado-Ramos, K., Reboul, E., Cominelli, E., Preite, C., Sparvoli, F., Losa, A., Sala, T., Botha, A.M., & Ferrari, M. (2024b). Legumes and common beans in sustainable diets: nutritional quality, environmental benefits, spread and use in food preparations. Frontiers in Nutrition, 11.
Liu, S., Wang, W., Lu, H., Shu, Q., Zhang, Y., & Chen, Q. (2022). New perspectives on physiological, biochemical and bioactive components during germination of edible seeds: A review. Trends in Food Science and Technology, 123, 187-197.
Ma, M., Zhang, H., Xie, Y., Yang, M., Tang, J., Wang, P., Yang, R., & Gu, Z. (2020). Response of nutritional and functional composition, anti-nutritional factors and antioxidant activity in germinated soybean under UV-B radiation. Lwt, 118, 108709.
Ma, Z., Boye, J.I., & Hu, X. (2018). Nutritional quality and techno-functional changes in raw, germinated and fermented yellow field pea (Pisum sativum L.) upon pasteurization. Lwt, 92, 147-154.
Magaña, L.M.S., López, L.L., Rodríguez, E.O.C., & Arispuro, D.M.D. (2023). Cereal Based Functional Products. Cereal-Based Food Products, 273-311.
Maleki, S., Razavi, S.H., & Yadav, H. (2023). Diabetes and seeds: New horizon to promote human nutrition and anti-diabetics compounds in grains by germination. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63, 8457-8477.
Marchini, M., Carini, E., Cataldi, N., Boukid, F., Blandino, M., Ganino, T., Vittadini, E., & Pellegrini, N. (2021). The use of red lentil flour in bakery products: How do particle size and substitution level affect rheological properties of wheat bread dough? Lwt, 136.

Masood, T., Shah, H., & Zeb, A. (2014). Effect of sprouting time on proximate composition and ascorbic acid level of mung bean (Vigna radiate L.) and chickpea (Cicer arietinum L.) seeds. JAPS: Journal of Animal and Plant Sciences, 24.
Millar, K.A., Barry-Ryan, C., Burke, R., Mccarthy, S., & Gallagher, E. (2019). Dough properties and baking characteristics of white bread, as affected by addition of raw, germinated and toasted pea flour. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 56, 102189.
Mitharwal, S., Saini, A., Chauhan, K., Taneja, N. K., & Oberoi, H. S. (2024). Unveiling the nutrient-wealth of black soybean: A holistic review of its bioactive compounds and health implications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23, e70001.
Modarresi, M., Karimi, N., Chaichi, M., Chahardoli, A., & Najafi-Kakavand, S. (2024). Salicylic acid and jasmonic acid-mediated different fate of nickel phytoremediation in two populations of Alyssum inflatum Nyár. Scientific Reports, 14, 13259.
Morad, M., Leung, H., Hsu, D., & Finney, P. (1980). Lentil, and faba bean flours and starches. Cereal Chem, 57, 390-396.
Mostafa, M., Rahma, E., & Rady, A. (1987). Chemical and nutritional changes in soybean during germination. Food Chemistry, 23, 257-275.
Nascimento, G.K.S.D., Silva, M.S., Andressa, I., Fagundes, M.B., Vendruscolo, R.G., Oliveira, J.R., Barcia, M.T., Benassi, V.M., Neves, N.D.A., & Lima, C.T. (2024). A New Advancement in Germination Biotechnology of Purple Creole Corn: Bioactive Compounds and In Situ Enzyme Activity for Water-Soluble Extract and Pan Bread. Metabolites, 14, 35.
Ohanenye, I.C., Tsopmo, A., Ejike, C.E., & Udenigwe, C.C. (2020). Germination as a bioprocess for enhancing the quality and nutritional prospects of legume proteins. Trends in Food Science and Technology, 101, 213-222.
Onwuka, Q.I., Chinma, C.E., Ezeocha, V.C., Otegbayo, B., Oyeyinka, S.A., Adebo, J.A., Wilkin, J., Bamidele, O.P., & Adebo, O.A. (2024). Short-term germinated legume flours as functional ingredients in food products. Journal of Food Science.
Padmashree, N.N., Handu, S., Khan, M., Semwal, A., & Sharma, G. (2019). Effect of germination on nutritional, antinutritional and rheological characteristics of chenopodium quinoa. Energy (K cal), 375, 353.02b.
Papayata, C., Saensouk, S., & Chumroenphat, T. (2024). Influence of germination time on free amino acids, phenolic compounds and γ-aminobutyric acid in pigeon pea (Cajanus cajan (L.) Huth) seeds. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 52, 13674-13674.
Park, K.B., & Oh, S.H. (2007). Production of yogurt with enhanced levels of gamma-aminobutyric acid and valuable nutrients using lactic acid bacteria and germinated soybean extract. Bioresource technology, 98, 1675-1679.
Polat, H., Capar, T.D., Inanir, C., Ekici, L., & Yalcin, H. (2020). Formulation of functional crackers enriched with germinated lentil extract: A Response Surface Methodology Box-Behnken Design. LWT, 123, 109065.
Raza, H., Zaaboul, F., Shoaib, M., & Zhang, L. (2019). An overview of physicochemical composition and methods used for chickpeas processing. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 7, 495-500.
Ribotta, P.D., Arnulphi, S.A., Leon, A.E., & Añón, M.C. (2005). Effect of soybean

addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85, 1889-1896.
Rifna, E., Ramanan, K.R., & Mahendran, R. (2019). Emerging technology applications for improving seed germination. Trends in Food Science and Technology, 86, 95-108.
Rosales-Juárez, M., González-Mendoza, B., López-Guel, E.C., Lozano-Bautista, F., Chanona-Pérez, J., Gutiérrez-López, G., Farrera-Rebollo, R., & Calderón-Domínguez, G. (2008). Changes on dough rheological characteristics and bread quality as a result of the addition of germinated and non-germinated soybean flour. Food and Bioprocess Technology, 1, 152-160.
Sá, A.G.A., Moreno, Y.M.F., & Carciofi, B.A.M. (2020). Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60, 3367-3386.
Sangronis, E., & Machado, C. (2007). Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan. LWT-Food Science and Technology, 40, 116-120.
Setia, R., Dai, Z., Nickerson, M.T., Sopiwnyk, E., Malcolmson, L., & Ai, Y. (2019). Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. Food Research International, 122, 263-272.
Singh, A., & Sharma, S. (2017). Bioactive components and functional properties of biologically activated cereal grains: A bibliographic review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57, 3051-3071.
Sivam, A., Sun-Waterhouse, D., Perera, C., & Waterhouse, G. (2012). Exploring the interactions between blackcurrant polyphenols, pectin and wheat biopolymers in model breads; a FTIR and HPLC investigation. Food Chemistry, 131, 802-810.
Sokrab, A.M., Ahmed, I.A.M. & Babiker, E.E. (2012). Effect of germination on antinutritional factors, total, and extractable minerals of high and low phytate corn (Zea mays L.) genotypes. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 11, 123-128.
Steinbrecher, T., & Leubner-Metzger, G. (2017). The biomechanics of seed germination. Journal of Experimental Botany, 68, 765-783.
Virtuoso, S., Raggi, C., Maugliani, A., Baldi, F., Gentili, D., & Narciso, L. (2024). Toxicological Effects of Naturally Occurring Endocrine Disruptors on Various Human Health Targets: A Rapid Review. Toxics, 12, 256.
Wang, J., Rosell, C. M., & De Barber, C.B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. Food chemistry, 79, 221-226.
Wang, X., Fan, B., Li, Y., Fei, C., Xiong, Y., Li, L., Liu, Y., Tong, L., Huang, Y., & Wang, F. (2024). Effect of Germination on the Digestion of Legume Proteins. Foods, 13. white flour dough and bread produced. Journal of Pure and Applied Sciences, Vol.18 No. 2, 27-34.
Xu, J., Wang, W., & Li, Y. (2019). Dough properties, bread quality, and associated interactions with added phenolic compounds: A review. Journal of functional foods, 52, 629-639.
Xu, K., Guo, M., Roman, L., Pico, J., & Martinez, M.M. (2020). Okra seed and seedless pod: Comparative study of their phenolics and carbohydrate fractions and their impact on bread-making. Food Chemistry, 317, 126387.
Xu, L., Chen, L., Ali, B., Yang, N., Chen, Y., Wu, F., Jin, Z., & Xu, X. (2017). Impact of

germination on nutritional and physicochemical properties of adlay seed (Coixlachryma-jobi L.). Food chemistry, 229, 312-318.
Yiming, Z., Hong, W., Linlin, C., Xiaoli, Z., Wen, T., & Xinli, S. (2015). Evolution of nutrient ingredients in tartary buckwheat seeds during germination. Food Chemistry, 186, 244-248.
Zhang, G., Xu, Z., Gao, Y., Huang, X., Zou, Y., & Yang, T. (2015). Effects of germination on the nutritional properties, phenolic profiles, and antioxidant activities of buckwheat. Journal of food science, 80, H1111-H1119.
Zhang, H., Zhou, K.X., Wang, W.Q., Liu, S.J., & Song, S.Q. (2017). Proteome analysis reveals an energy-dependent central process for Populus× canadensis seed germination. Journal of plant physiology, 213, 134-147.
Zhao, S., Jiang, H., Liu, Y., Xian, L., Fu, W., Yuan, S., Yin, L., & Li, W. (2024). Germination Requirement and Suitable Storage Method of Hydrocharis dubia Seeds. Biology, 13, 246.

Enhancing bread quality and nutritional value with germinated legume flours: A Comprehensive Review

Salah Ali Al-Hebeil[*1], Altaher Omar Elfeturi[2], Sumaia Moftah Shniba[3]
[1,2,3] **Department of food science and technology, faculty of Agriculture,University of Tripoli, Tripoli, Libya**
[*]**S.alhebeil@uot.edu.ly**
Received 17-10-2024, Accepted 15-12-2024, Pulished 31-03-2025

doi.org/10.5281/zenodo.15286863

Abstract
This study reviewed the effect of integrating different legume flour in its germinated and non-germinated forms in the bread industry, focusing on its effects on dough properties, bread quality and nutritional value. Sprouted legume flour significantly improves dough elasticity and water absorption due to the breakdown of starches and proteins during germination, resulting in a softer and more elastic dough compared to non-germinated legumes. Conversely, non-germinated legume flour tends to increase the hardness of the dough and reduce gas retention, which can affect the size and texture of bread. The study highlighted the effect of germinated legumes in improving the nutritional value of bread by increasing the content of protein, dietary fiber, vitamins and minerals, while reducing anti-nutritional factors. The study also emphasized the need for precision processing techniques to mitigate the negative effects of non-germinated legumes on the properties of the dough. The incorporation of both germinated and non-germinated legumes provides a balanced approach to improving the functional properties of bread, making germinated legumes a superior choice for functional bakery products.
Keywords: *Germination process, legumes, bread quality, rheological characteristics.*