تأثير عملية تخمير جنين القمح في محتوى المركَّبات الفينوليّة ومضادّات الأكسدة والغلوتاثيون

طالبة الدراسات العليا: سوسن بوطه

كلية الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة البعث

اشراف الدكتور: أحمد سمور الابراهيم

الملخص

هدف هذا البحث إلى دراسة تأثير عمليّة تخمير جنين القمح الخامّ باستخدام بادئين مختلفين (بادئ العجينة الحامضيّة، بادئ خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae*) في محتوى الفينولات الكليّة والغلوتاثيون ومركب 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون والقدرة المضادّة للأكسدة. وتمّت عمليّة التخمير ببادئ العجينة الحامضيّة عند الدرجة 30ºC لمدّة .24hrs، وبخميرة الخبز عند درجة حرارة 30ºC ولمدة .18hrs، وبعد ذلك تمّ تجفيده وحُدّدت فيه: الفينولات الكليّة بطريقة كاشف فولين سيكالتو ومركب 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون بواسطة الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء HPLCوالغلوتاثيون بالمعايرة باستخدام يودات البوتاسيوم ومضادّات الأكسدة بطريقة إرجاع الجذر الحرّ DPPH.

أظهرت نتائج البحث أنّه بمقارنة الجنين المخمّر ببادئ العجينة الحامضيّة FRGS مع الجنين المخمّر بخميرة الخبز FRGY فقد ازداد بشكل معنويّ محتوى المركَّبات الفينوليّة وقد ازدادت بنسبة 15.3 %و 31.5% على التوالي، كما كانت نسبة الزيادة في تثبيط الجذور الحرّة R % بعد التخمير (11.68, 7.68) % في FRGS و FRGY على التوالي، كما ازداد بشكل معنويّ 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون (0.93, 0.47)%، كما ارتفع تركيز الغلوتاثيون في FRGY بشكل معنويّ حيث بلغ 2.35mmol/g بنسبة زيادة 64.33% وانخفض في FRGS 0.97mmol/g بنسبة انخفاض 32.17%، أدّى التخمير ببادئ خميرة الخبز إلى رفع محتوى الجنين من محتوى الفينولات الكليّة والغلوتاثيون ومركب 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون والقدرة المضادّة للأكسدة بشكل أكبر من بادئ العجينة الحامضيّة، وكان الجنين المخمّر بخميرة الخبز أفتح لوناً فكان L* 77.81 وa* 3.89 وb* 24.47.

الكلمـــات المفتاحيّـــة: تخميـر، جنـين القمـح، خميـرة الخبـز، العجينـة الحامضـيّة، الفينولات الكليّة، مضادّات الأكسدة

Effect of Wheat Germ Fermentation on the Content of Phenolic Compounds, Antioxidants and Glutathione

Abstract

This research aimed to study effect of fermentation process on raw wheat germ using two different starters (sourdough starter, *Saccharomyces cerevisiae*) on total phenol content, glutathione, 2,6-dimethoxybenzoquinone and antioxidant capacity. The fermentation was carried out in sourdough starter at 30ºC for 24 hours, and in baker's yeast at 30ºC for 18 hours, after which it was lyophilized and determined: total phenols by the method of Folin-Ciocalteu reagent and 2,6-dimethoxybenzoquinone by HPLC and glutathione. Titration using potassium iodate and antioxidants by DPPH method.

The results of the research showed that by comparing the germ fermented with sourdough starter FRGS and FRGY baker's yeast, the content of phenolic compounds was significantly increased, and the increases percentage was 15.3% and 31.5%, respectively, the increase percentage of free radical inhibition R% was after fermentation (7.68, 11.68)% in FRGS and FRGY, respectively, and increased significantly by 2,6-dimethoxybenzoquinone (0.93, 0.47)%, and the concentration of glutathione in FRGY increased significantly, reaching 2.35 mmol/g with an increase of 64.33% and decreased in FRGS 0.97 mmol/g with a decrease of 32.17%, fermentation with bread yeast starter increased the germ content of total phenols, glutathione, 2,6-dimethoxybenzoquinone and the antioxidant capacity more than the sourdough starter, and the germ fermented with baker's yeast was lighter and was L* 71.81 and a* 3.89 and b* 24.47.

Key words: fermentation, wheat germ, baker's yeast, sourdough, total phenols, antioxidants

مقدمة Introduction:

تُستخدم تقانة التخمير بشكل شائع في الأغذية بهدف تحسين الصفّات التغذويّة والحسّيّة ولإطالة فترة الحفظ، وتشمل إمّا التخمّر الطبيعيّ للأغذية أو استخدام بادئ تخمير. تكون في التخمّر الطبيعيّ الميكروبات الداخليّة التي تنمو بشكل طبيعيّ هي أساس عملية التخمير، مثل العجينة الحامضيّة sourdough، بينما يتمّ إجراء النوع الثاني من التخمّر عادةً عن طريق التلقيح بميكروبات محدّدة مصنّفة على أنّها آمنة كما في خميرة الخبز [1].

يُعتبر تخمّر العجين بطريقة العجينة الحامضيّة sourdough أحد أقدم عمليّات التكنولوجيا الحيويّة المستخدمة في إنتاج الغذاء، تعمل العجينة الحامضيّة على تحسين الرائحة والقوام وتأخّر البيات وزيادة الثباتيّة الميكروبيولوجيّة والتوافر الحيويّ للمعادن وتزيد من كمية الموادّ النشطة حيويّاً وخفض استجابة نسبة السكّر في الدم في المنتجات المخبوزة المختلفة، وتكون منتجات التخمّر بشكل أساسيّ حمض اللبن والإيثانول/ حمض الخل، والإيثانول وثاني أوكسيد الكربون، ولا يزال التخمّر بالعجينة الحامضيّة أساسيّاً في إنتاج خبز الجاودار [3],[2].

عند تخمير العجين بخميرة الخبز تستهلك الخميرة في البداية السكّريّات الأحاديّة الموجودة في الدقيق، ثم يقوم أنزيم الأميلاز بتحويل النشاء المتهتّك في الدقيق إلى سكّريّات قابلة للتخمّر، خلال وبعد عملية المزج وتتضاعف كمية المالتوز في العجين من 10–15 مرة مقارنةً مع الكمية الموجودة في الدقيق عند بداية المزج وتقوم الخميرة بالتخمّر الكحوليّ وهو تحوّل لاهوائيّ للسكّر إلى غاز CO_2 وكحول إيثيلي، تحوّل الخميرة تحت الشروط اللاهوائيّة أكثر من 95% من الغلوكوز إلى إيثانول وCO_2، وبالرغم من أن معظم كمية الإيثانول تُفقَد خلال عملية الخبيز إلّا أنّه يُعدّ عنصراً مهماً في تحديد نكهة الخبز وفقده التدريجي بعد الخبيز هو أحد الأسباب

المرافقة لفقدان النكهة عند بيات الخبز [4].

لوحظ في السنوات الأخيرة تزايد استهلاك الخبز من دقيق القمح عالي الاستخراج أو من دقيق حبّة القمح الكاملة أو المدعّم بمكوّنات تُعزّز الصّحّة، وذلك لأنّ دقيق القمح منخفض الاستخراج مستنفذ من معظم العناصر الغذائيّة القيّمة، مثل الألياف الغذائيّة والمعادن والفيتامينات والتي يفقدها خلال مراحل الطحن [5].

يُعدّ جنين القمح مصدر أساسيّ للمواد المغذّية نظراً لتركيبه الكيميائيّ المميّز، ويُستخدم سواءً للاستهلاك المباشر أو لتعزيز القيمة الغذائيّة للمنتجات الغذائيّة، حيث يُشكّل جنين القمح WG حوالي (2.5-3%) من وزن حبّة القمح، ويُعتبر منتجاً ثانويّاً عن عملية طحن القمح [6]، عالي القيمة الغذائيّة فهو المصدر الرئيس لفيتامين E في حبّة القمح، كما أنّه غنيّ بمجموعة فيتامينات B والبروتينات ومعظم الأحماض الأمينيّة الأساسيّة، حيث تمّ تصنيف بروتينات جنين القمح من أفضل أنواع البروتينات مقارنةً مع البروتينات الحيوانيّة، والألياف الغذائيّة والمعادن، كما أنّه غنيّ بالأحماض الدّسمة غير المشبعة وبشكل أساسيّ حمض الأوليك، وحمض اللينوليئيك، حمض α- اللينولينيك والمركبات الحيويّة الوظيفيّة ومنها الفلافونوئيدات والستيرولات والغلوتاثيون [7].

تمّ تحديد الغلوتاثيون لأول مرّة في جنين القمح عام (1936) من قبل سوليفان وآخرون ووجد أنّه يضرّ بجودة الخبز الناتج، كما أنّ الغلوتاثيون المؤكسد يُؤثّر أيضاً على صفات الخبز، ووجد لاحقاً أنّه واحد من اثنين فقط من الببتيدات ثنائيّة الكبريتيد الذاتيّة قادرة على إحداث تغيير في الخصائص الفيزيائيّة لعجين دقيق القمح، وإنّ إضافة الغلوتاثيون إلى العجين يزيد من قابليتها للتمدّد ويُقلّل من ثباتها أثناء الخلط. بسبب زيادة معدّل تفاعلات تبادل زمرة الثيول SH– (المجموعة السولفوهيدريليّة) / ثنائي الكبريتيد S-S [8].

يعود الاستخدام المحدود لجنين القمح WG في الصناعات الخبيزيّة إلى عدم ثباته خلال فترة حفظ المنتجات الخبيزيّة، حيث إنّ الفعاليّة العالية لأنزيمات الليباز والليبوكسيداز تُسبّب تشكّل الأحماض الدّسمة الحرّة وبالتالي ظهور الطعم المتزنّخ في المخبوزات [9]، إضافةً إلى أنّ وجود جنين القمح يُؤثّر سلباً في الخصائص التكنولوجيّة للدقيق وبشكل أكبر على ثباتيّة العجين، ويتمثّل التحدّي في عزل وتخزين واستخدام جنين القمح بالحفاظ على هذه الجودة الغذائيّة العالية ومنع أكسدة الدّهون [10].

تمّ اقتراح تخمير جنين القمح WG بواسطة بكتيريا حمض اللّبن كوسيلة لحفظ جنين القمح. زاد التخمير أيضاً من إجماليّ نشاط مضادّات الأكسدة والفينولات والأحماض الأمينيّة الحرّة وزيادة هضم البروتين وانخفض الغلوتاثيون [6].

ظهرت العديد من الدراسات حول استخدام واعد لمستخلص جنين القمح المخمّر بواسطة خميرة الخبز والمعروف تجاريّاً باسم (Avemar®)، وذلك لفعاليّته المضادّة لتكاثر الخلايا السرطانيّة [10]. وتُعزى فعاليّته بشكل أساسيّ إلى اثنين من الكينونات هما 2 ميثوكسي بنزوكينون (2,MBQ) و6،2–ثنائي ميثوكسي بنزوكوينون (2,6-DMBQ)، وهي من المركَّبات النشطة بيولوجيّاً ذات إمكانات واعدة كمكوّنات لأدوية العلاج الكيميائيّ المضادّة للسرطان [11].

من المحتمل أن يكون جنين القمح أفضل خزّان للأشكال الغليكوزيديّة غير النشطة من 2–ميثوكسي بنزوكوينون و6،2–ثنائي ميثوكسي بنزوكينون. ويتطلّب تحويل الغليكوزيدات إلى مركَّبات غير غليكوزيديّة نشاط أنزيم β-glucosidase الموجود في خميرة الخبز، والذي يُؤدّي إلى زيادة ملحوظة في الأنشطة الوظيفيّة والتأثير المضادّ للسرطان والميكروبات وتنشيط المناعة للأشكال غير الغليكوزيديّة لكلا هذين المركبين [10] [12].

هدف البحث Objective:

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تخمير جنين القمح ببادئ من العجينة الحامضيّة وبادئ خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae* على محتوى المركّبات الفينوليّة ومضادات الأكسدة والغلوتاتيون ومركب 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون ومقارنة خصائص الجنين المتخمّر الفيزيائيّة والكيميائيّة بكلا البادئين.

الموادّ وطرائق البحث Materials and Methods:

الموادّ Materials:

عيّنات جنين القمح: تمّ أخذ عيّنات من جنين القمح من مطحنتين مختلفتين (A و B) تختلفان عن بعضهما بطول خط الإنتاج وفي التكنولوجيا المتّبعة في الإنتاج وفي نوعيّة القمح المستخدم. بالإضافة إلى ذلك تمّ أخذ عيّنات جنين لنوعين من القمح من المطحنة (A). أُستخدمت إحداها في عمليّة إضافة جنين القمح إلى الدقيق.

طرائق البحث Methods:

اختبارات جنين القمح:

تمّ تحديد رطوبة عيّنات جنين القمح المدروسة وفق [14] [13] (AACC,44-15, 2000)، والرّماد وفق (AACC, 2000, NO: 104/1)، ومحتوى البروتين باستخدام طريقة كلداهل (AACC, 2000, NO: 105/1)، ونسبة الألياف الخامّ (Crude fiber): تمّ تحديدها وفق طريقة (AOAC, 2000)، والسكّريّات المرجعة وفق: Lane-Eynon method (AOAC, 2000, NO:923/09)

تخمير جنين القمح Germ Fermentation:

تمّ تخمير جنين القمح بواسطة بادئين مختلفين، الأول بادئ العجينة الحامضيّة المحضّر من جنين القمح والثاني خميرة الخبز *Saccharomyces cerevisiae*.

الطريقة الأولى تخمير جنين القمح بطريقة العجينة الحامضيّة FRGS:

– تحضير بادئ طريقة العجينة الحامضيّة Sourdough Fermented Germ:

تم تخمير جنين القمح بطريقة العجينة الحامضيّة التقليديّة (خميرة طبيعيّة) وفق [15] حيث تعتمد عملية التخمير في هذه الطريقة على البكتيريا والخمائر الموجودة بشكل طبيعيّ على حبيبات جنين القمح المطحون حديثاً، وفق النسب (جنين القمح 50g+ دقيق 50g)+ سكر 25g+ ماء100g

تمّت عملية التخمير لمدّة سبعة أيام في الحاضنة عند درجة حرارة (27±2) ºC حيث كانت الحموضة 13mL 0.1NNaOH/10g ورقم pH 3.84 ونسبة تعداد البكتيريا اللّبنيّة إلى الخمائر 1:85.7، تمّ خلط كمية متساوية من البادئ مع جنين القمح مع الماء بحيث كان مردود العجين 160%، وتمّت عملية التخمير عند الدرجة 30ºC لمدّة 24hrs.

الطريقة الثانية تخمير جنين القمح باستخدام خميرة الخبز الطريّة FRGY :

استخدام مستخلص من الماء وجنين القمح بنسبة 1:4، وتخمير هذا المستخلص بخميرة الخبز بنسبة 1:2، تخمير لاهوائي عند درجة حرارة 30 ºC ولمدة 18hrs. [16,17].

تجفيد الجنين المخمّر Freeze Drying:

تمّ تجفيد جنين القمح المخمّر المحضّر بالطريقتين السابقتين في مجفّدة نوع (Freeze Dryer Machine-Type: ALPHA-1-2 LD CHRIST ro.:101021) عند 50- م° وضغط تخلخلي 0.1mbar، حفظت العيّنات بعدها عند 18– م°.

الاختبارات المكروبيولوجيّة [18]:

تمّ أخذ 10 غ من العيّنة ووضعت في كيس معقّم ومزجت مع 90 مل من ماء البيتون المعقّم وتمّ التهضيم باستخدام Stomacher AES Laboratories' لمدّة دقيقة واحدة، ثمّ حضّرت سلسة التمديدات العشريّة حتى التركيز 10^{-6} وأُنجزت التحاليل المكروبيولوجيّة التالية:

تعداد البكتيريا اللّبنيّة (LAB): تمّ الزرع في العمق على وسط Man Rogosa Sharp agar (MRS, Merck,Germany) وتمّ التحضين على الدرجة 37°C لمدة 48hrs.

تعداد الفطور والخمائر: تمّ الزرع على وسط تشابك Czapeks medium (Titan Bio-tech Ltd) عند الدرجة 30°C لمدة 72hrs.

التعداد العامّ للبكتيريا: تمّ الزرع على وسط الآغار المغذيّ Nutrient agar (Hardy Diagnostics) عند الدرجة 30°C لمدة 48hrs.

بعد ذلك تمّ عدّ المستعمرات الجرثوميّة Colony Forming Units (CFU) بجهاز عدّ المستعمرات colony counterوتمّ التعبير عن النتائج بواحدة (CFU/g).

تقدير الفينولات الكلّيّة [19]: تمّ تقدير الفينولات الكلّيّة لجنين القمح الخامّ والمجفّد باستخدام طريقة فولين– سيوكالتو Folin-Ciocalteu الذي يتمّ ارجاعه من اللون الأصفر إلى اللون الأزرق ويعطي أعلى امتصاصيّة لونيّة عند طول موجة 765nm، حيث يُؤخذ حمض الغاليك كمادّة قياسيّة. حضرت سلسة عياريّة من حمض الغاليك وتمّ رسم المنحني العياريّ وكانت المعادلة من الشكل Y= 0.0016 X+0.0395، وحُسبت كمية الفينولات الكلّيّة بعدد ميللي غرامات حمض الغاليك في الغرام.

تحضير المستخلص الميثانوليّ للعيّنة: يُؤخذ 5g من العيّنة مع 50mL من الميثانول 80%، يُحرّك المزيج لمدّة نصف ساعة ثمّ تمّ إجراء الطرد المركزيّ بسرعة 4000 rpm لمدة 10 min بواسطة جهاز طرد مركزيّ (scilogex llc,usa)، ثمّ أُخذ الجزء الطافيّ وحُفظ عند درجة الحرارة 18°C-.

يُؤخذ في أنبوب اختبار 20µL من المستخلص الميثانولي للعيّنة (أو السلسة العياريّة) مع 100 µL من كاشف فولين–سيوكالتو مع 1.58mL من الماء المقطّر ويُحرّك جيّداً ثمّ انتظار 5min وبعد ذلك يُضاف 300µL من محلول كربونات

الصوديوم 20%، ويُترك المزيج في الظلام مدّة ساعة ونصف، ومن ثمّ قيست الامتصاصيّة عند 765nm باستخدام جهاز السبيكتروفومتر نوع (Phylo, Italy).

تحديد القدرة المضادّة للأكسدة بطريقة الجذر الحرّ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl):

تمّ تقدير القدرة المضادّة للأكسدة بطريقة DPPH لجنين القمح الخامّ والمجفّد وفق [20]، حيث وُضع 1.5 mL من محلول الـ DPPH (0.025 g/L = 63.4 µM، حيث حُلّ DPPH في الميثانول 80%) في أنبوب اختبار، ثمّ أُضيف إليه 37.5 µL من محلول العيّنة (المستخلص الميثانولي)، حُرّك المزيج وتُرك في الظلام مدّة 30min، ثمّ قيست الامتصاصيّة عند طول موجة 517nm باستخدام جهاز السبيكتروفوتومتر. وحُسبت القدرة المضادّة للأكسدة كنسبة مئويّة لتثبيط الجذر الحرّ من العلاقة الآتية:

$$\%R = \frac{A0 - A}{A0} \times 100$$

حيث: A امتصاصيّة العيّنة، A0 امتصاصيّة الشاهد، R نسبة تثبيط الجذر الحرّ،%.

تحديد الغلوتاثيون المرجع: تمّ تحديد الغلوتاثيون المرجع باستخدام المعايرة بواسطة يودات البوتاسيوم KIO_3 0.001N وفق [21].

تحديد 2,6 ثنائي ميثوكسي بنزوكينون: وفق [22] باستخدام بالكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء HPLC: الطور الحامل: محلول الأسيتونتريل 20% Sigma-Aldrich في 0.025M من أحادي فوسفات البوتاسيوم (pH 5.8)، العمود: C18 NUCLEOSIL 100-5 EC 250/4.6، الكاشف:UV-Vis عند طول موجة 290nm.

اختبار اللون: باستخدام جهاز قياس اللون (Konica Minolta CM-3500d, Japan)

الدراسة الإحصائية: Statical Analysis:

تمّ إجراء 3 مكرّرات لجميع الاختبارات ثمّ التقييم الإحصائيّ للنتائج باستخدام برنامج Minitab الإصدار 19.0 عند مستوى وثوقيّة ($p \leq 0.05$).

النتائج والمناقشة Result and Discussion

توصيف جنين القمح المستخدم: يُبيّن الجدول (1) نتائج اختبارات عيّنات جنين القمح، حيث لوحظ عدم وجود فرق معنويّ بين محتوى نوعي الجنين الناتجتين عن المطحنة A ويعود الاختلاف البسيط إلى اختلاف نوع القمح المستخدم، في حين يُلاحظ ارتفاع نسبة البروتين والدّسم وانخفاض نسبة الألياف في عيّنات جنين المطحنة (B) مقارنةً مع عيّنات جنين القمح من المطحنة (A) دليل على نقاوة الجنين ويعود سبب هذه الاختلافات في تجهيزات المطحنة (B) عن المطحنة (A).
بالنسبة للدّسم: تُؤكّد النتائج التجريبيّة المبادئ النظريّة التي تُشير إلى ارتفاع كبير في محتوى الجنين من المواد الدّسمة، أمّا بالنسبة للرّماد فقد وُجد ارتفاع كبير في نسبة الرّماد في الجنين وهذا يدلّ على محتوى جنين القمح المرتفع من العناصر المعدنيّة.

جدول (1): نتائج اختبارات عيّنات جنين القمح

اسم العيّنة	الرطوبة، %	البروتين (على الجافّ)، %	الدّسم (على الجافّ)، %	الرّماد (على الجافّ)، %	الألياف الخامّ (على الجافّ)، %
A-1	10.6 ± 2.03^{c}	23.4 ± 1.07^{b}	7.7 ± 1.23^{b}	4.6 ± 0.06^{a}	6.75 ± 1.21^{a}
A-2	11.2 ± 1.91^{b}	24.3 ± 0.59^{b}	7.0 ± 0.94^{c}	4.8 ± 0.86^{a}	6.65 ± 1.07^{a}
B	13.9 ± 1.57^{a}	27.5 ± 0.62^{a}	8.3 ± 1.04^{a}	3.9 ± 0.48^{b}	5.21 ± 0.56^{b}

* الأرقام التي تتشارك نفس الحرف في العمود الواحد ليس لها تأثير معنويّ عند ($P<0.05$).

مواصفات بادئ العجينة الحامضيّة: حيث بلغ تعداد البكتيريا اللّبنيّة 1.2×10^{8} (CFU/g) والفطور والخمائر 1.4×10^{6} (CFU/g) والتعداد العامّ 2.0×10^{8}(CFU/g).

مواصفات خميرة الخبز: بلغت رطوبتها 70.32% والرّماد 2.2% والبروتين 42.64% والغلوتاثيون 12mg/g (على أساس الوزن الجاف) وكانت الخميرة

المستخدمة في الدراسة مطابقة لشروط الخميرة الطريّة المنصوص عليها في المواصفة القياسيّة السّوريّة 143:2016.

نتائج الاختبارات الفيزيائيّة والكيميائيّة لجنين القمح الخامّ والمخمّر:

يُظهر الجدول (2) نتائج كلٍّ من الرطوبة والرّماد والبروتين والفعاليّة المائيّة والسكّريّات لكلٍّ من جنين القمح الخامّ قبل التخمير RG وجنين القمح المخمّر بالعجينة الحامضيّة FRGS والمخمّر بخميرة الخبز FRGY.

حيث نلاحظ وجود فروق معنويّة مهمّة إحصائيّاً بين قيم الرطوبة والبروتين والرّماد والفعاليّة المائيّة و pH بتخمير جنين القمح بالطريقتين، إذْ وجد قيمة الرطوبة لجنين القمح الخامّ 13.9% والفعاليّة المائيّة 0.63% وانخفضت الرطوبة في الجنين المخمّر بالعجينة الحامضيّة وبخميرة الخبز وفق الآتي: (9.66 , 9.71)% والفعاليّة المائيّة (0.45 , 0.47)% على الترتيب ويعود ذلك لعملية التجفيد التي خضع لها الجنين المخمّر.

بينما أظهرت قيم الرّماد انخفاض معنويّ في الجنين بعد التخمير حيث سُجلت القيم (3.21, 2.91, 3.90)% لكلٍّ من RG و FRGS و FRGY على التوالي ويعود ذلك إلى الإضافات أثناء عملية تخمير الجنين وفق النسب المذكورة سابقاً.

لوحظ ازدياد نسبة **البروتين** عند تخمير الجنين بخميرة الخبز 30% ويعود ذلك إلى ارتفاع نسبة البروتين في الخميرة الطريّة، وانخفضت قيمته بشكل معنويّ بطريقة العجينة الحامضيّة، حيث بيّنت الدراسات أنّ بروتيناز البكتيريا اللّبنيّة أو الخميرة ليست هي المسؤولة عن عملية التحلّل [23]، وإنّما تتمّ عملية تحلّل البروتين إلى ببتيدات بفعل الأنزيمات المحلّلة للبروتين الموجودة في الدقيق والتي تنشط عند pH منخفضة، ويحلّل الببتيداز الموجود في خلايا LAB إلى أحماض أمينيّة [24].

انخفض محتوى **السكّريّات المرجعة** بشكل معنويّ في كلا الطريقتين ويكون محتواها FRGY أخفض من محتواها في FRGS بحوالي 94% وذلك كون السكّريّات المرجعة هي الوقود الأساسيّ لعملية التخمير بواسطة خميرة الخبز، كما

أنّ خميرة الخبز تفرز أنزيمات المعقّد الزيمازيّ بهدف توفير السكّريّات الأحاديّة في الوسط، كما ينخفض محتوى المواد الدّسمة في FRGS انخفاض معنويّ بحوالي 9% و 8% في FRGY وذلك بسبب تحلّل المواد الدّسمة بفعل أنزيمات الليباز في وهذا يتوافق مع [15].

الجدول (2): مواصفات جنين القمح الخامّ قبل وبعد التخمير

المؤشّر	RG	FRGS	FRGY
	قبل التخمير	بعد التخمير	
الرطوبة، %	13.90±0.39 a	9.66±1.23 b	9.71±1.04 b
الفعاليّة المائيّة a_w	0.63±0.02 a	0.45±0.08 c	0.47±0.10 b
pH	6.90±0.07a	4.64±0.14c	6.87±1.03b
الرّماد %*	3.90±0.31 a	2.91±0.19 c	3.21±0.21 b
البروتين %*	27.1 5±0.12 b	25.59±0.16 c	35.84±0.22 a
السكّريّات المرجعة %*	12.97±0.10a	7.77±0.32b	0.501±1.51c
الدّسم %	8.32±0.96a	7.56±0.74b	7.65±1.05b

*على أساس الوزن الجاف

** الأرقام التي تتشارك نفس الحرف في السطر الواحد ليس لها تأثير معنويّ عند (P<0.05).

يُظهر الجدول (3) نتائج كلٍّ من تعداد البكتيريا اللّبنيّة والخمائر والتعداد العامّ والفينولات الكلّيّة ومضادّات الأكسدة و6,2 ميثوكسي بنزوكينون والغلوتاثيون لكلٍّ من جنين القمح الخامّ قبل التخمير RG وجنين القمح المخمّر بالعجينة الحامضيّة FRGS والمخمّر بخميرة الخبز FRGY.

حيث نلاحظ وجود فروق معنويّة بين قيم **تعداد البكتيريا اللّبنيّة والخمائر والتعداد العام** بتخمير جنين القمح بالطريقتين، إذْ وجد قيمة البكتيريا اللّبنيّة لجنين

القمح الخامّ 5.2×10^2 CFU/g والخمائر 10 CFU/g و التعداد العام 8.3×10^3 CFU/g ازدادت في الجنين المخمّر بالعجينة الحامضيّة وفق الآتي: (4.1×10^7, 5.5×10^4, 7.6×10^7) CFU/g على الترتيب وبخميرة الخبز وفق الآتي: (3.9×10^5, 4×10^7, 7.2×10^7) CFU/g وهذا يتوافق مع [25]، الذي أوضح أنّ البكتيريا اللّبنيّة والخمائر تكون متواجدة بشكل طبيعيّ، ولكن يعتمد نموّها بشكل حيويّ على كثير من العوامل مثل التركيب الكيميائيّ والأنزيميّ للدقيق، ودرجة الحرارة، وتفاعلات الأكسدة والارجاع، ومحتوى الماء وزمن التخمير، وتهيمن بكتيريا حمض اللّبن على العجين المخمّر الناضج، حيث يجب أن يصل تعداد الخلايا اللّبنيّة إلى أكثر من 10^8 CFU/g، كما أوضح [26] أنّ نسبة البكتيريا اللّبنيّة: الخمائر تكون عادةً 1:100 في العجائن الحامضيّة.

يُظهر الجدول (3) كمية **الفينولات الكلّيّة ونسبة التثبيط لمضادّات الأكسدة** في جنين القمح الخامّ وجنين القمح المخمّر بعد عملية التجفيد، ارتفعت في المستخلصات الميثانوليّة للعيّنات نسبة المركّبات الفينوليّة بشكل ملحوظ في جنين القمح المجفّد حتى 319.9 mg GA/100g على الوزن الجافّ في FRGS و364.83 mg GA/100g على الوزن الجافّ في FRGY وقد ازدادت بنسبة 15.3 %، و31.5% على التوالي، وهذا يتوافق مع [25]، ولكن كانت نسبة الزيادة أعلى من 33% وذلك بسبب استخدام سلالات معزولة سابقاً، كما أنّ نسبة تثبيط الجذور الحرّة R% ارتفعت بشكل معنويّ بعد التخمير حتى 79.94% في FRGS و 82.5% في FRGY وهذا يتوافق مع [27]، حيث لوحظ زيادة في الخواص المضادّة للأكسدة (اختبار القدرة المضادّة للأكسدة بطريقة تثبيط الجذر الحرّ DPPH) وزيادة في كمية المركّبات الفينوليّة للمستخلصات الميثانوليّة لهذه المنتجات.

لوحظ ارتفاع معنويّ في تركيز مركب **2,6 ميثوكسي بنزوكينون** في FRGY حيث كان تركيزه 0.93 % أعلى من FRGS و RG (0.27-0.47)% على

الترتيب، وهذا يتفق [22] مع الذي أوضح أنّ أنزيمات الخميرة هي سبب تشكّل 2,6 ميثوكسي بنزوكينون.

كما ارتفع تركيز **الغلوتاثيون** بعد عملية التخمير بشكل معنويّ حيث بلغ 2.35 mmol/g في FRGY وانخفض في 0.97 mmol/g FRGS بنسبة انخفاض 32.17%، وقد فسّر [18] ذلك بأنّ البكتيريا اللّبنيّة تستخدم الغلوتاثيون كمصدر للأحماض الأمينيّة للنموّ، كما أنّ خميرة الخبز تحتوي على الغلوتاثيون، مما يرفع تركيزه في FRGY أكثر من FRGS.

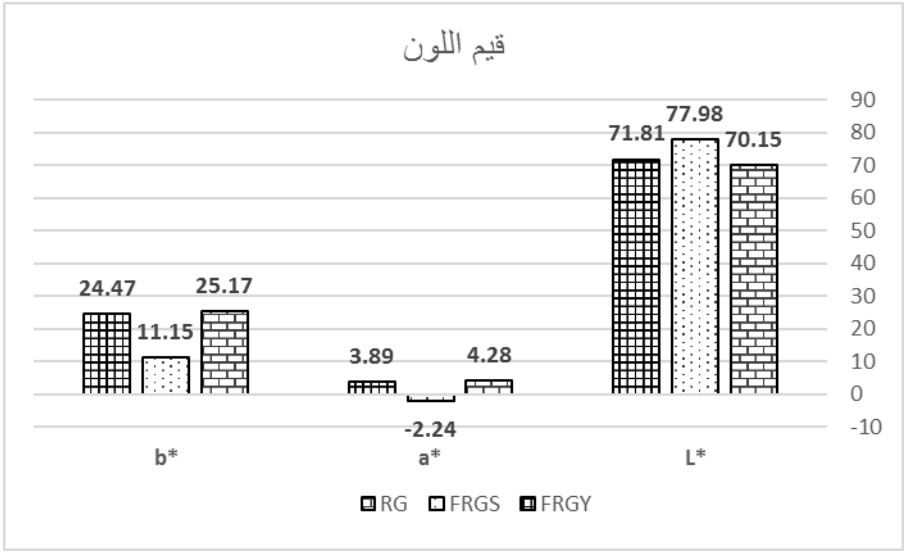
جدول (3): تأثير التخمير على تعداد البكتيريا اللّبنيّة والتعداد العامّ والفينولات الكلّيّة ومضادّات الأكسدة ومحتوى الغلوتاثيون ومركب 2,6 ميثوكسي بنزوكينون

المؤشّر	**RG**	**FRGS**	**FRGY**
	قبل التخمير	**بعد التخمير**	
البكتيريا اللّبنيّة CFU/g	5.2×10^{2}	4.1×10^{7}	3.9×10^{5}
الخمائر CFU /g	10<	5.5×10^{4}	4×10^{7}
التعداد العام CFU /g	8.3×10^{3}	7.6×10^{7}	7.2×10^{7}
الفينولات الكلية* mg GA/100g	277.39^{c}	319.90^{b}	364.83^{a}
نسبة تثبيط مضادات الأكسدة R%	73.87^{c}	79.54^{b}	82.5^{a}
2,6 ميثوكسي بنزوكينون، %*	0.27^{c}	0.47^{b}	0.93^{a}
الغلوتاثيون، mmol/g*	1.43^{b}	0.97^{c}	2.35^{a}

*على أساس الوزن الجاف،

** الأرقام التي تتشارك نفس الحرف في السطر الواحد ليس لها تأثير معنويّ عند ($P<0.05$).

نلاحظ من الشكل (1) ارتفاع قيم **L*** للجنين المخمّر بالعجينة الحامضيّة 77.98 وبخميرة الخبز 71. 81 بينما انخفضت قيم **a*** و **b*** بشكل معنويّ فكانت a* في FRGY و FRGS (3.89 , 2.24-) على التوالي، وقيم b* كانت على الترتيب (21.47, 24.47) أدّى ذلك إلى زيادة قتامة لون الجنين المجفّد ببادئ العجينة الحامضيّة بشكل أكبر.



الشكل (1): قيم اللون لعينات الجنين الخام والجنين المخمر ببادئ العجينة الحامضية FRGS والجنين المخمر بخميرة الخبز FRGY

الاستنتاجات:

1- وجد أنّ جنين القمح يمتلك قيمة غذائيّة مرتفعة من الدّسم والبروتين والمعادن.
2- تُغيّر عملية التخمير من خصائص جنين القمح، حيث ازدادت نسبة البروتين، وانخفض محتوى الرّماد والدّسم والكربوهيدرات.
3- تعمل عمليّة التخمير بخميرة الخبز على زيادة محتوى الفينولات الكلّيّة والقدرة المضادّة للأكسدة ومركب 2,6 ميثوكسي بنزوكينون ومحتوى الغلوتاثيون وكانت نسب الزيادة (31.52 و11.68، 244.4، 64.33) % على الترتيب.
4- أدّت عملية التخمير بالبكتيريا اللّبنيّة والخمائر على زيادة محتوى الفينولات الكلّيّة والقدرة المضادّة للأكسدة ومركب 2,6 ميتوكسي بنزوكينون وكانت نسب الزيادة

(15.32، 7.68، 74.07) % على الترتيب وهي أقل من نسب الزيادة عند التخمير بخميرة الخبز.

5- خفّضت عملية التخمير بالبكتيريا اللّبنيّة من محتوى الغلوتاثيون المرجع بنسبة 32.17%، وهو يُعتبر من العوامل المضعفة للعجين ريولوجيّاً.

المراجع الأجنبيّة:

1. Gan, R. Y., Li, H. Bin, Gunaratne, A., Sui, Z. Q., & Corke, H. (2017). Effects of Fermented Edible Seeds and Their Products on Human Health: Bioactive Components and Bioactivities. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 16(3), 489–531.
2. Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005). Potential of sourdough for healthier cereal products. ***Trends in Food Science & Technology,*** *16*(1-3), 104-112.
3. Angioloni, A., Romani, S., Pinnavaia, G. G., & Rosa, M. D. (2006). Characteristics of bread making doughs: Influence of sourdough fermentation on the fundamental rheological properties. ***European Food Research and Technology,*** *222*(1–2), 54–57
4. Struyf, N., Van der Maelen, E., Hemdane, S., Verspreet, J., Verstrepen, K. J., & Courtin, C. M. (2017). Bread dough and baker's yeast: An uplifting synergy***. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,*** *16*(5), 850-867.
5. Mahmoud, A. A., Mohdaly, A. A. A., & Elneairy, N. A. A. (2015). Wheat Germ: An Overview on Nutritional Value, Antioxidant Potential and Antibacterial Characteristics. **Food and Nutrition Sciences,** *06*(02), 265–277
6. Boukid, F., Folloni, S., Ranieri, R., & Vittadini, E. (2018). **A** compendium of wheat germ: Separation, stabilization and food applications**. Trends in Food Science and Technology,** *78*(June), 120–133.
7. Verni, M., Rizzello, C. G., Coda, R., & Bran, W. (2019).

Fermentation Biotechnology Applied to Cereal Industry By-Products *:* ***Nutritional and Functional Insights*****.** *6*(April)

8. Rojas Tovar, L. E., & Gänzle, M. G. (2021). Degradation of wheat germ agglutinin during sourdough fermentation. **Foods**, 10(2). https://doi.org/10.3390/foods10020340

9. Giuseppe, C., Luana, R., & Gobbetti, M. (2010). Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional , texture and sensory characteristics of the white bread. 645–654.

10. Demidov, L. V., Manziuk, L. V., Kharkevitch, G. Y., Pirogova, N. A., & Artamonova, E. V. (2008). Adjuvant fermented wheat germ extract (Avemar^{TM}) nutraceutical improves survival of high-risk skin melanoma patients: A randomized, pilot, phase II clinical study with a 7-year follow-up. ***Cancer Biotherapy and adiopharmaceuticals***, *23*(4), 477–482. https://doi.org/10.1089/cbr.2008.0486
11. Boros, L. G., Nichelatti, M., & Shoenfeld, Y. (2005). Fermented wheat germ extract (Avemar) in the treatment of cancer and autoimmune diseases. **Annals of the New York Academy of Sciences,** 1051, 529–542.
12. Rizzello, C. G., Nionelli, L., Coda, R., De Angelis, M., & Gobbetti, M. (2010). Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. **Food Chemistry**, *119*(3), 1079-1089.
13. AACC, 2000. Approved Methods of the AACC, 10th edn. Methods 38-12A, 08-01, 26-95, 26-50, 54-21, 30-10, 56-81B, 54-10, 44-15A, 46-10. St Paul, MN. AACC.
14. AOAC, 2000. Official methods of analysis, (16th ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. Bureau, W. G. 2007. History of Whole Grains.
15. Vrancken, G., Rimaux, T., Weckx, S., Leroy, F., & De Vuyst, L. (2011). Influence of temperature and backslopping time on the microbiota of a type I propagated laboratory wheat sourdough fermentation. **Applied and Environmental Microbiology,** *77*(8), 2716-2726.
16. Fermented Wheat Germ Extract. (2020). *Definitions*, *26*(10),
17. Granulate, A., Food, D., & Food, S. P. (2013). Avemar Granulate as Dietary Food / *Special Purpose Food for Cancer* **HEALTH TECHNOLOGY ASSESSMENT SECTION**

MINISTRY OF HEALTH.

18. Marti, A., Torri, L., Casiraghi, M. C., Franzetti, L., Limbo, S., Morandin, F., Quaglia, L., & Pagani, M. A. (2014). Wheat germ stabilization by heat-treatment or sourdough fermentation: Effects on dough rheology and bread properties. *LWT* - **Food Science and Technology**, *59*(2P1), 1100–1106.
19. Shahidi, F. and Naczk, M., 2005. Analysis of Polyphenols in Foods. In: Methods of Analysis of Food Components and Additives, (Semih Ötles eds), **Taylor Francis Group**, LLC, Boca Raton, FL, 9, 199-261
20. Bonina, F., Puglia, C., Ventura, D., Aquino, R., Tortora, S., Sacchi, A., Saija, A., Tomaino, A., Pellegrino, M. L., and DE Capraris, P., 2002. In vitro antioxidant and in vivo photoprotective effects of a lyophilized extract of Capparis spinosa L. buds. J. Cosmet Sci, 53, 321–335.
21. Every, D., Morrison, S. C., Simmons, L. D., & Ross, M. P. (2006). Distribution of glutathione in millstreams and relationships to chemical and baking properties of flour. **Cereal chemistry**, *83*(1), 57-61.
22. Tömösközi-Farkas, R., & Daood, H. G. (2004). modification of chromatographic method for the determination of benzoquinones in cereal products. **Chromatographia,** *60*(SUPPL.).
23. Wieser, H., N. Vermeulen, F. Gaertner and R.F. Vogel. 2008. Effects of different Lactobacillus and Enterococcus strains and chemical acidifi cation regarding degradation of gluten proteins during sourdough fermentation. European **Food Research and Technology,** 226: 1495–1502
24. Di Cagno, R., M. De Angelis, S. Auricchio, L. Greco, C. Clarke, M. De Vincenzi, C. Giovannini, M. D'Archivio, F. Landolfo, G. Parrilli, F. Minervini, E. Arendt and M. Gobbetti. 2004. Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected Lactobacilli is tolerated in celiac sprue patients. **Applied and Environmental Microbiology,** 70: 1088–1096.
25. Rizzello, C. G., Portincasa, P., Montemurro, M., di Palo, D. M., Lorusso, M. P., de Angelis, M., Bonfrate, L., Genot, B., & Gobbetti, M. (2019). Sourdough fermented breads are more digestible than those started with baker's yeast alone: An in vivo challenge dissecting distinct gastrointestinal responses. ***Nutrients,*** *11*(12).
26. M. Gobbetti. (1998). The sourdough microflora: Interactions of

lactic acid bacteria and yeasts. **Trends in Food Science and Technology,** *9*, 267–274.

27. Liukkonen, K. H., K. Katina, A. Wilhelmsson, O. Myllymaki, A.M. Lampi, S. Kariluoto, P. Vieno and K. Poutanen. (2003). Process-induced changes on bioactive compounds in whole grain rye. **Proceedings of the Nutrition Society,** 62: 117–122.