تأثير المعاملة ببعض الإنزيمات في الصفات الريولوجية لطحين الحنطة*

سكينة طه حسن
الشركة العامة لتجارة الحبوب\ فرع نينوى

وليد أحمد محمود
قسم علوم الأغذية \ كلية الزراعة والغابات
جامعة الموصل

المستخلص

هدفت الدراسة الحالية إلى تحسين الخواص الريولوجية لأحد أنواع طحين الحنطة الضعيفة والموجود في الأسواق المحلية وذلك بمعاملته بمزيج من بعض الإنزيمات المؤكسدة والمقوية للعجينة وكذلك تلك المحللة للسكريات المكوثرة. أضيفت الإنزيمات المقوية للعجينة بصورة منفردة أولاً إلى الطحين وبتراكيز مختلفة. تم الحصول على أعلى مقاومة للمطاطية بإضافة التراكيز 5 و83.3 و0.133 وحدة\100 غم طحين من كل من الكلوكوزاوكسيديز والبيروكسيديز والترانس كلوتامينيز، وعلى التوالي. بينت النتائج عدم وجود تأثير لهذه الإنزيمات في درجتي حرارة تهلم النشا وحرارة اللزوجة القصوى.

أشارت نتائج معاملة الطحين بمزيج الإنزيمات المذكورة إلى انخفاض المطاطية مع ارتفاع كبير في مقاومة المطاطية لتصل إلى 942 مقارنة بـ420 وحدة برابندر للعينة الضابطة. أدت إضافة الزايلانيز بتركيز 13.7 وحدة\100غم طحين مع هذا المزيج إلى تدهور في صفات العجينة وارتفاع لزوجتها وأصبحت غير قابلة للتداول، إذ انخفضت مساحة منحنى الإكستنسوكراف إلى 49 سم^2 وهي غير مناسبة لصناعة اللوف. تم خفض تراكيز الإنزيمات في المزيج إلى 1 و50 و0.033 و10.3 وحدة\100غم طحين لكل من الكلوكوزاوكسيديز والبيروكسديز والترانس كلوتامينيز والزايلانيز، وعلى التوالي، فانخفضت المقاومة إلى 525 وحدة برابندر والمطاطية إلى 146 ملم. أضيف الألفاأميليز إلى المزيج وبتركيز 86.7 وحدة\100غم طحين فوصلت اللزوجة إلى 598 وحدة برابندر كما تحسنت الصفات الريولوجية للعجينة، إذ أصبحت مقاومة المطاطية 506 وحدة برابندر والمطاطية 157 ملم، كما أصبحت العجينة أسهل تداولاً. إزداد امتصاص العجينة للماء عند معاملتها بمزيج الإنزيمات كما ارتفع كل من زمن نضج العجينة وزمن الثبات وكان الزمن الأعلى لهما عند إضافة مزيج الإنزيمات المقوية مع الزايلانيز بتركيز 10.3 وحدة\100غم طحين. وقد تم اختيار المعاملة الأخيرة كأفضل النتائج التي تم الحصول عليها.

الكلمات المفتاحية: إنزيمات، الخواص الريولوجية، عجينة الحنطة.

(*) البحث مستل من أطروحة الدكتوراه للباحث الأول.

EFFECT OF TREATMENT WITH SOME ENZYMES ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF WHEAT FLOUR

S. T. Hasan **W. A. Mahmood**

Abstract

The present study was aimed to improve rheological properties of weak wheat flour by treating with a mixture of oxidizing, binding and polysaccharide hydrolyzing enzymes. At the beginning, the oxidizing and binding enzymes were individually added to the flour using different concentrations. Maximum resistance of extension was obtained by the concentrations of 5, 83.3 and 0.133 unit/100gm of flour for glucose oxidase, peroxidase and transglutaminase, respectively. These enzymes exhibited no effect on starch gelation and maximum viscosity temperatures.

Treatment of the flour with a mixture of the above mentioned concentrations of enzymes resulted in decreased extensibiliy accompanied with a large increase in extension resistance (942 B.U.) as compared to the control sample (420 B.U.). In order to oppose this effect, xylanase (13.7 unit/100 gm flour) was added. This treatment resulted in retardation of dough properties and increasing its viscosity. Extensograph area had decreased to 49 cm^2 which was very low and unsuitable for loaf production. To decease this effect, the concentrations of the four enzymes were decreased to 1, 50, 0.033 and 10.3 unit/100gm flour, respectively. Resistance was dropped to 525 B.U. and extensibility to 146 mm. The addition of amylase (86.7 unit/100 gm flour) resulted in improving rheological properties of the dough. Viscosity had raised to 598 B.U. Resistance and extensibility became 506 B.U. and 157 mm, respectively. Handling of the dough became easy. The last treatment was considered to be the best for improving rheological properties of the flour.

Key words: Enzymes, Rheological properties, Wheat flour.

المقدمة

استعملت المحسنات الكيميائية، لعقود طويلة، في صناعة الخبز لغرض توحيد صفات المنتوج والتغلب على الاختلافات في صفات الطحين وظروف عمليات الخبز. وفي الوقت الحالي فإن مصانع الخبيز تهتم كثيراً بالدراسات والبحوث التي تتناول استخدام بدائل عن المركبات الكيميائية، وذلك بسبب المحاذير والمخاطر الكامنة لاستخدامها. فعلى سبيل المثال أثبتت بعض الدراسات وجود علاقة ما بين تناول برومات البوتاسيوم ومرض السرطان، فضلاً عن أن استعمال الكلورين وأوكسيده يقلل من امتصاص بعض الفيتامينات مثل B_6 و A و E في

منتجات الحنطة المدعمة بهذه الفيتامينات، وكذلك فإن إضافة مركب Azodicarbonamide تسبب تكوين مادة Semicarbazide في المنتوج النهائي وتتركز هذه المادة الناتجة في قشرة الخبز ويعتقد أن لها تأثير مسرطن (21).

تعد المعاملة الإنزيمية لطحين الحنطة بديلاً مهماً للحصول على التغيرات المطلوبة في تركيب العجينة، ومن ثم تحسين خواصها الوظيفية. عدّت هذه الإنزيمات عالمياً على أنها مأمونة الاستخدام (Generally Recognized As Safe; GRAS) وهي تفقد فعاليتها في المنتوج النهائي بعد عملية الخبز، ولهذا لا يلاحظ وجود أسماء الأنزيمات على غلاف المنتوج (Label)، وتعد هذه فائدة تجارية إضافية (36).

يعود تاريخ أول استخدام للإنزيمات في عمليات الخبيز إلى أكثر من قرن. وفي الوقت الحاضر هناك الكثير من الإنزيمات تم إنتاجها خصيصاً للاستخدام في صناعة الخبز. قد تضاف الإنزيمات لأهداف متنوعة مثل الوصول إلى تحلل جزئي للكلوتين لتحسين قابلية تداول العجينة أو للحصول على سكريات قابلة للتخمر بإجراء تحلل للنشأ أو للوصول إلى حد معين من أكسدة الدهون لغرض تقوية العجينة أو تقليل تدهور وتصلب اللب خلال تحلل النشأ المتهلم. كما تؤدي إنزيمات الربط التقاطعي للكلوتين دوراً مهما في تصنيع عمليات تصنيع الخبز ومن خلال آليات كيميائية مختلفة (مثل أكسدة مجاميع الثايول وربط مجاميع التايروسين تقاطعياً بفعل مركبات وسطية فعالة مثل بيروكسيد الهيدروجين وتفاعل نقل مجموعة الاسيل بين وحدات الأحماض الأمينية) مما يؤدي إلى تحسين السلوك الوظيفي للعجينة خلال عملية الخبز (14)، كما يمكن لبعض الإنزيمات المؤكسدة مثل الكلوكوز أوكسديز والبيروكسديز واللاكسيز توليد تأثيرات مفيدة خلال صناعة الخبز والتي تنعكس إيجابياً على الصفات الريولوجية للعجينة وعلى جودة المنتوج النهائي. وتعمل إنزيمات البروتييز على أجزاء بروتينية مختلفة (Protein fractions) مثل الكلوتنين والكلياذين والالبيومين والكلوبيولين وحسب تخصصها الدقيق، لذلك فهي تؤثر في خواص العجينة بطرق مختلفة (9). إن تداخلات التفاعلات على الركائز في عجينة الخبز معقدة نوعاً ما، وقد لوحظ وجود أفضلية لاستخدام أكثر من إنزيم وبتراكيز واطئة، والتي قد تعمل بصورة تكافلية، بدلاً عن استخدام إنزيم واحد. وفي أحيان كثيرة يكون لاستخدام تراكيز عالية من الإنزيم تأثير سلبي في العجينة والخبز المنتج، فعلى سبيل المثال وجد أن إضافة نسب عالية من الألفاأميليز أو الزايلانيز تؤدي إلى الحصول على عجينة لزجة يصعب التعامل معها، لذلك يفضل إضافة تراكيز واطئة من مزيج الإنزيمات المستخدمة مثل الألفا–أميليز مع الزايلانيز والكلوكوز أوكسديز للحصول على عجينة أكثر تناسقاً وتماسكاً واستقرارية، ومن ثم الحصول على خبز ذي جودة عالية (3).

تتناول الدراسة الحالية التأثيرات الفردية والتكافلية لبعض الإنزيمات في الخواص الريولوجية للعجينة المحضرة من أحد أنواع طحين الحنطة الضعيفة.

مواد وطرائق العمل

الإنزيمات: استخدم نوعان من الإنزيمات المؤكسدة وهما الكلوكوز أوكسديز (4.5 وحدةاملغم من شركة Fluka) والبيروكسديز (226 وحدةاملغم من شركة Sigma). استخدم الترانس كلوتامينيز (0.09 وحدةاملغم من شركة Ajinomoto) وهو إنزيم رابط للبروتينات، كما استخدم إنزيما الألفاأميليز (60.2 وحدةاملغم من شركة Fluka) والزايلانيز (2.0 وحدةاملغم من شركة Fluka) المحللين للسكريات المتعددة. استعمل في الدراسة طحين حنطة تركي، ماركة النورس، وبينت الفحوصات الريولوجية أنه طحين ضعيف لايصلح لإنتاج خبز اللوف.

تقدير الفعالية الإنزيمية الكمية للإنزيمات المستخدمة: تم قياس فعالية الكلوكوز أوكسديز حسب الطريقة التي وصفها (7) والتي تعتمد على قياس الزيادة في الامتصاص الضوئي (Absorbance) على طول موجي 436 نانوميتر والناتجة عن أكسدة الكواياكول في مزيج التفاعل المحتوي على انزيم البيروكسديز. قدرت فعالية البيروكسديز حسب طريقة (35) وذلك بقياس التغير في الامتصاص الضوئي على طول موجي 436 نانوميتر لمحلول يحتوي على الكواياكول وبيروكسيد الهيدروجين. قدرت فعالية الترانس كلوتامنيز بطريقة هيدروكزاميت اللونية الموصوفة من قبل (13) التي تعتمد على تحرير حامض الهيدروكزاميك (Hydroxamic acid) من مادة CBZ–L–GLN–GLY وقياس الامتصاص الضوئي على طول موجي 525 نانوميتر. تم قياس فعالية الألفاأميليز تبعاً للطريقة التي ذكرها (25) التي تعتمد على قياس كمية السكريات المختزلة الناتجة من تحلل النشأ وباستخدام كاشف 3,5–Dinitro salicylic acid. قدرت فعالية الزايلانيز حسب الطريقة الموصوفة من قبل (4) التي تعتمد على قياس كمية السكريات المختزلة الناتجة من تحلل الزايلان وباستخدام الكاشف المذكور أعلاه.

الاختبارات الريولوجية: اختبار الاميلوكراف (Amylograph test): أجري هذا الإختبار وفق الطريقة المذكورة في (1) والمرقمة (22–10). يفيد هذا الجهاز في قياس كل من درجة حرارة تهلم النشأ وأقصى لزوجة لمعلق الطحين ودرجة حرارتها.

اختبار الفارينوكراف (Farinograph test): يستخدم هذا الجهاز في دراسة نوع الطحين وقوته ودرجة امتصاصه للماء. تم إجراء الاختبار وفق الطريقة المذكورة في (1) والمرقمة (54–21). أمكن الحصول على بعض المعايير من منحنى الفارينوكراف مثل نسبة امتصاص الماء (Water absorption) وزمن نضج العجينة (Dough developing time) ومدة الثبات

(Stability time) ومعامل العجن الحرج (Tolerance mixing index) وزمن ضعف القوام (Break down time) ورقم تقييم الفارينوكراف (Farinograph quality number).

إختبار الاكستنسوكراف (Extensograph Test): تم إجراء هذا الاختبار وفق الطريقة المذكورة في (1) والمرقمة (54–10) وذلك بعد 135 دقيقة من بدء التخمر واستخدم جهاز الفارينوكراف المذكور سابقاً لتحضير العجينة قبل وضعها في جهاز الاكستنسوكراف. أمكن الحصول على بعض المعايير من منحنى الإكستنسوكراف منها مساحة المنحنى (Area) ومقاومة المطاطية (Extension resistance) والمطاطية (Extensibility) والرقم النسبي (Ratio number) وهو نسبة مقاومة المطاطية إلى المطاطية والمقاومة القصوى (Maximum resistance).

النتائج والمناقشة

صفات الطحين المستخدم (العينة الضابطة): كان الهدف الرئيس لهذه الدراسة هو محاولة تحسين خواص عجينة طحين الحنطة الضعيف، الذي لا يصلح لصناعة خبز اللوف، باستخدام بعض المعاملات الإنزيمية للحصول على عجينة صالحة لصناعة الخبز، ولذلك فقد تم اختيار طحين تبين بعد إجراء عملية تقييم له باستخدام بعض أجهزة قياس الصفات الريولوجية على أنه طحين ضعيف، فقد كان زمن كل من نضج وثبات العجينة، المقاس بالفارينوكراف، منخفضاً (1.5 و1.7 دقيقة، وعلى التوالي) علما أن الطحين الجيد ينبغي أن يزيد زمن الثبات له عن 3 دقائق (2). إتضح من تقييم قيم الاكستنسوكراف أن الطحين المستخدم كان متوسط القوة، إذ بلغت مقاومة المطاطية 420 وحدة برابندر والمطاطية 129 وحدة برابندر والمساحة 87 سم^3، وذلك بعد 135 دقيقة من التخمر. وعند قياس لزوجة النشأ في الطحين، وجد أن الحد الأقصى للزوجة كان مرتفعاً (1703 وحدة برابندر)، إذ يعدّ المدى بين 400 و600 وحدة برابندر هو المناسب لطحين الخبز الاعتيادي (يدل ارتفاع القيمة عن هذا المدى على انخفاض في الفعالية الأميليزية والعكس بالعكس) (16). كانت نسبة البروتين في الطحين منخفضة (7.5٪) مما قد يؤثر سلباً في صفاته الريولوجية.

ولغرض تحسين الصفات الريولوجية للطحين المستعمل ليكون مناسباً لإنتاج اللوف، فقد تم استخدام خمسة إنزيمات ثلاثة منها مقوية للشبكة الكلوتينية، وهي الكلوكوزأوكسيديز والبيروكسيديز والترانس كلوتاميناز، وإنزيمين محللين للسكريات المتعددة، وهما الزايلانيز والالفاأميليز. وقد درس أولاً تأثير إضافة هذه الإنزيمات بصورة منفردة وبتراكيز مختلفة إلى العجينة المحضرة من الطحين في خواصها الريولوجية، ثم تلا ذلك دراسة تأثير إضافتها بشكل مزيج في خواصها الريولوجية.

تأثير المعاملة بالالفاأميليز في صفات معلق طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاميلوكراف: أضيفت تراكيز متدرجة من الإنزيم تراوحت بين 86.7 و173.3 وحدة\100غم طحين. كان الهدف هو الحصول على لزوجة قصوى (مقاومة) مقاسة بالاميلوكراف تتراوح بين 500–600 وحدة برابندر، وهو المدى المناسب لهذه الصفة ليكون الطحين صالحاً لصناعة اللوف. إن التركيز المناسب من الالفاأميليز في العجينة يؤدي إلى الحصول على عجينة طرية مرغوبة ويؤدي ارتفاع التركيز عن المستوى المطلوب إلى زيادة في تحلل النشأ وإنتاج عجينة لزجة (32). يبين الجدول (1) نتائج بيانات جهاز الأميلوكراف بإضافة الالفاأميليز بتراكيز مختلفة. كان تأثير هذا الإنزيم قليلاً جداً في خفض درجة حرارة تهلم النشا ودرجة حرارة اللزوجة القصوى، بينما كان تأثيره واضحاً في خفض اللزوجة القصوى وكانت العلاقة عكسية بين تركيز الالفاأميليز المضاف وقيمة اللزوجة القصوى. كان أفضل تركيز لهذا الإنزيم هو 130 وحدة\100غم طحين، إذ أعطى لزوجة قصوى مقدارها 593 وحدة برابندر، ويقع هذا الرقم ضمن المدى المطلوب لإنتاج اللوف.

الجدول (1) تأثير المعاملة بالالفاأميليز في صفات معلق طحين الحنطة المقاسة بجهاز الاميلوكراف.

تركيز الالفاأميليز (وحدة \ 100 غم طحين)	درجة حرارة تهلم النشا (م°)	اللزوجة القصوى (وحدة برابندر)	درجة حرارة اللزوجة القصوى (م°)
العينة الضابطة	61.3	1703	90.9
86.6	60.9	742	89.5
130	61.1	593	89.3
173.3	60.8	403	89

تأثير المعاملة بالزايلانيز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف: يعمل هذا الإنزيم على تحلل الزايلانات الموجودة في الطحين. ولغرض التعرف على تأثيره في صفات العجينة، فقد أضيف إلى الطحين بنسب 10.3–17.1 وحدة\100غم طحين. يبين الجدول (2) نتائج بيانات الإكستنسوكراف للعجينة المعاملة بهذا الإنزيم. أدت زيادة تركيز الزايلانيز المضاف إلى حصول انخفاض تدريجي في مقاومة المطاطية مصحوباً بارتفاع في المطاطية ولغاية الوصول إلى تركيز 13.7 وحدة\100 غم طحين، وقد تم اختيار هذا التركيز واستخدامه في تقليل تأثير مقاومة المطاطية المرتفعة التي تسببها إضافة الإنزيمات المقوية للعجينة فيما بعد. وعند زيادة التركيز عن ذلك أصبح التأثير معكوساً، إذ بدأت مقاومة المطاطية

بالارتفاع والمطاطية بالانخفاض مما يدل على أن إضافة الزايلانيز تزيد من ليونة العجينة. إن هذا التأثير قد أدى بالتالي إلى انخفاض نسبة المقاومة\المطاطية مقارنة بالعينة الضابطة لتصبح ضمن المدى المرغوب لإنتاج الخبز بمواصفات جيدة التي تتراوح بين 2–4، وهذه النسبة تحدد قدرة العجينة للتمدد والاحتفاظ بالغاز وهي تعد مؤشراً لتوازن صفتي المقاومة والمطاطية للعجينة وتحديد صلاحيتها لإنتاج الخبز. إن الانخفاض عن هذا المدى يعطي عجينة لينة لا تصلح لإنتاج الخبز والعكس بالعكس (8). يعمل الزايلانيز على تحلل الارابينوزايلانات غير القابلة للذوبان في الماء والتي تتداخل سلباً مع تكوين الشبكة الكلوتينية. ينتج عن ذلك تكوين أرابينوزايلانات ذائبة ذات أوزان جزيئية عالية تعمل على ربط الماء في العجينة مما يقلل صلابتها وزيادة حجمها ومطاطيتها وخفض مقاومتها ومؤدية إلى تحسين خواصها الريولوجية وتحسين ثباتها (18). إن زيادة تركيز الزايلانيز المضاف تؤدي إلى زيادة رخاوة وتلاصق (Stickiness) العجينة، وعند استخدام التراكيز المناسبة من الإنزيم فإن تحوير البنتوزانات إنزيميا يحسن من حجم اللوف ونسجة اللب ولكنه قد يؤثر سلباً في تداول العجينة وقابليتها للعجن (34).

الجدول (2) تأثير المعاملة بالزايلانيز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الإكستنسوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100غم طحين)	المساحة (سم^2)	مقاومة المطاطية (وحدة برابندر)	المطاطية (ملم)	المقاومة القصوى (وحدة برابندر)	مقاومة المطاطية\المطاطية
العينة الضابطة	87	420	129	516	3.3
زايلانيز (10.3)	115	391	159	558	2.5
زايلانيز (12.0)	101	360	169	477	2.1
زايلانيز (13.7)	111	356	183	514	2.0
زايلانيز (15.4)	96	356	159	477	2.2
زايلانيز (17.1)	113	409	155	575	3.7

توافقت النتائج مع ما توصل إليه (24) الذين لاحظوا أن إنزيمي الزايلانيز والبنتوزانيز قد أنتجا عجينة أكثر مطاطية وأقل مقاومة للمطاطية نتيجة عملهما على تحلل الارابينوزايلانات غير الذائبة في الماء والتي تتداخل مع تكوين الشبكة الكلوتينية وتحويلها إلى الحالة الذائبة. إن هذا التحلل يسبب إعادة توزيع الماء بسحبه من الارابينوزايلان وإعطاءه الى الكلوتين والنشأ مما يجعل العجينة أكثر ليونة وطراوة. كما أثبت (21) أن إضافة هذا الإنزيم بتركيز 15.8غم\100كغم

طحين سبب انخفاضاً في كل من مساحة منحنى الإكستنسوكراف والمقاومة وارتفاعاً في مطاطية العجينة، ونتيجة لذلك انخفضت نسبة المقاومة\المطاطية.

إختيار التراكيز المناسبة من الإنزيمات المؤكسدة أو المساعدة في تقوية الشبكة الكلوتينية:

1. تأثير المعاملة بالكلوكوزأوكسيديز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف:

أضيف هذا الإنزيم إلى الطحين بتراكيز 0.3–7.0 وحدة\100 غم طحين لغرض التعرف على تأثيره في الصفات التي يسجلها جهاز الاكستنسوكراف (الجدول 3). لوحظ بعد 135 دقيقة من بدء التخمر حصول ارتفاع واضح في مقاومة المطاطية وصل أقصاه عند التركيز 5 وحدة\100 غم طحين. وقد اختير هذا التركيز من الإنزيم للاستخدام في التجارب اللاحقة لأنه أعطى أعلى مقاومة للمطاطية. وعند هذا التركيز وصلت نسبة المقاومة\المطاطية إلى 6.4 ومساحة منحنى الإكستنسوكراف، التي تعبر عن مقدار الطاقة اللازمة لعملية المط، إلى 145 سم^3. تدل هذه البيانات على كون الطحين المعامل بالتركيز المذكور من الإنزيم لازال غير ملائم لصناعة الخبز لكون التغير في المطاطية ومقاومة المطاطية لم يكن متوازناً بصورة جيدة مما أدى إلى الحصول على نسبة بينهما مقدارها 6.4 وهي تعد مرتفعة وبعيدة عن المدى المناسب ليكون الطحين ملائماً لصناعة الخبز، كما حصل ارتفاع كبير في المقاومة القصوى وصل إلى 941 وحدة برابندر. ويعتقد أن بيروكسيد الهيدروجين الناتج من فعل هذا الإنزيم ينشط عمل البيروكسيديز الطبيعي الموجود في الطحين والذي يعمل على أكسدة مجاميع السلفهادريل لتكوين أواصر ثنائية الكبريت وكذلك تأثيره في تكوين أواصر تقاطعية من ثنائي التايروسين (25)، وفي خفض مستوى الكلوتاثيون المختزل الذي يؤدي إلى إضعاف تكوين الشبكة الكلوتينية (19). كذلك فإن تهلم البنتوزانات بفعل بيروكسيد الهيدروجين المتكون يساعد أيضاً في زيادة قوة العجينة التي تسببها إضافة هذا الإنزيم. إن جميع هذه الآليات تؤدي إلى تحسين تداول العجينة وزيادةالاحتفاظ بالغاز ومن ثم الحصول على خبز ذي تركيب ناعم (17). توافقت هذه النتائج مع تلك التي توصل إليها (23) لدى إضافة 50 وحدة من الكلوكوزأوكسيديز لكل 100 غم طحين، إذ سبب ارتفاعاً في مقاومة المطاطية، كما وجد (28) أن إضافة هذا الإنزيم بتركيز 100 وحدة\100غم طحين.

الجدول (3) تأثير المعاملة بالكلوكوزأوكسيديز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100غم طحين)	المساحة ($سم^2$)	مقاومة المطاطية (وحدة برابندر)	المطاطية (ملم)	المقاومة القصوى (وحدة برابندر)	مقاومة المطاطية\المطاطية
العينة الضابطة	87	420	129	516	3.3
كلوكوزأوكسيديز (0.3)	116	526	137	628	3.8
كلوكوزأوكسيديز (0.6)	117	598	126	697	4.8
كلوكوزأوكسيديز (1.0)	138	664	130	809	5.1
كلوكوزأوكسيديز (2.0)	94	725	116	743	6.3
كلوكوزأوكسيديز (3.0)	136	732	123	897	5.9
كلوكوزأوكسيديز (4.0)	132	745	120	882	6.2
كلوكوزأوكسيديز (5.0)	145	782	123	941	6.4
كلوكوزأوكسيديز (6.0)	134	776	116	935	6.7
كلوكوزأوكسيديز (7.0)	123	734	120	881	6.2

سببت زيادة مقاومة المطاطية مصحوبةً بانخفاض في المطاطية، وقد بدأت المقاومة بالانخفاض بزيادة تركيز الإنزيم المضاف. تؤدي إضافة تراكيز عالية من الكلوكوزاوكسيديز إلى زيادة الربط التقاطعي بين بروتينات الكلوتين، ومن ثم زيادة قوة العجينة مع ارتفاع نسبة المقاومة\المطاطية (31). كان تأثير إضافة هذا الإنزيم واضحاً في زيادة مقاومة المطاطية وتقليل المطاطية وإنتاج عجينة قوية (11). وفي دراسة لـ(19)، أدى استخدام الكلوكوزأوكسيديز

(0.4 ملغم\100غم طحين) إلى زيادة كبيرة في المقاومة مع انخفاض في المطاطية. أما نسبة المقاومة\المطاطية فقد ارتفعت من 1.42 إلى 2.63. لاحظ (27) انخفاضاً قليلاً في مطاطية العجينة المعاملة بهذا الإنزيم.

2. تأثير المعاملة بالبيروكسديز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف:

أضيف هذا الإنزيم بتراكيز تراوحت بين 33.3 و116.7 وحدة\100 غم طحين. من المتوقع أن يعمل البيروكسيديز على تقوية العجينة نتيجة للربط التقاطعي بين وحدتين من حامض الفيريوليك على سلسلتين متجاورتين من الارابينوزايلان وكذلك الربط التقاطعي لوحدات التايروسين في البروتينات لتكوين أواصر ثنائية التايروسين (12) (الجدول 4).

الجدول (4) تأثير المعاملة بالبيروكسديز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الإكستنسوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100غم طحين)	المساحة ($سم^2$)	مقاومة المطاطية (وحدة برابندر)	المطاطية (ملم)	المقاومة القصوى (وحدة برابندر)	مقاومة المطاطية\المطاطية
العينة الضابطة	87	420	129	516	3.3
بيروكسيديز (33.3)	107	515	137	615	3.8
بيروكسيديز (50)	114	526	136	631	3.9
بيروكسيديز (66.7)	121	575	130	709	4.4
بيروكسيديز (83.3)	114	600	130	703	4.6
بيروكسيديز (100)	125	580	134	708	4.4
بيروكسيديز (116.7)	114	513	137	628	3.8

يتبين من الجدول (4) حصول ارتفاع في مقاومة المطاطية مع زيادة في مساحة المنحنى عند إضافة الإنزيم وتم الوصول إلى أقصى مقاومة عند تركيز 83.3 وحدة\100غم طحين ثم بدأت المقاومة بالانخفاض بزيادة تركيز الإنزيم. كما أدت إضافة الإنزيم إلى زيادة قليلة في المطاطية، ونتيجة لذلك ارتفعت نسبة المقاومة \ المطاطية من 3.3 للعينة الضابطة إلى 4.6 للعينة المعاملة بالإنزيم. توافقت هذه النتائج مع تلك التي حصل عليها (23)، إذ أدت إضافة البيروكسيديز بتركيزي 1.5 و3 وحدة\100 غم طحين إلى ارتفاع في مقاومة المطاطية من 368 وحدة برابندر للعينة الضابطة إلى 380 و427 وحدة برابندر، وعلى التوالي، وارتفعت

المطاطية من 159 ملم للعينة الضابطة إلى 167 و161 ملم للمعاملة بالتركيزين المذكورين، وبعد 135 دقيقة من بدء تخمر العجينة، وعلى التوالي. كما أثبت (28) ارتفاع كل من مقاومة المطاطية والمطاطية بعد إضافة البيروكسديز بتركيز 10 وحدة\100 غم طحين، ولم يحدث تغير في نسبة المقاومة\المطاطية، ولكن عند زيادة تركيز البيروكسيديز إلى 50 وحدة\100 غم طحين لوحظ تأثير سلبي في صفات العجينة، إذ أدت هذه المعاملة إلى ارتفاع في المطاطية مع انخفاض في كل من المقاومة ونسبة المقاومة\المطاطية مما يدل على أن العجينة أصبحت رخوة جداً.

3. تأثير المعاملة بالترانس كلوتامينيز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف:

أضيف هذا الإنزيم إلى الطحين بتراكيز تراوحت بين 0.02–0.2 وحدة\100 غم طحين. يبين الجدول (5) حصول زيادة في مقاومة المطاطية نتيجة إضافة هذا الإنزيم ولكن التأثير كان أقل منه عند إضافة الكلوكوز اوكسيديز. تم الحصول على أعلى مقاومة للمطاطية عند التركيز 0.133 وحدة\100 غم طحين. أما بالنسبة للمطاطية فقد حصل ارتفاع قليل فيها مقارنة بالعينة الضابطة ونتيجة لذلك فقد ازدادت مساحة المنحنى بإضافة الإنزيم وبلغت 136 سم^2 عند التركيز 0.133 وحدة\100 غم طحين، كما ارتفعت المقاومة القصوى بزيادة تركيز الإنزيم المضاف مما يدل على تأثيره المقوي للعجينة، ونتيجة لهذه التغيرات فقد ارتفعت نسبة المقاومة\المطاطية. إن تأثير هذا الإنزيم في الخواص الريولوجية قد يشابه تأثير الأكسدة ويتم ذلك بزيادة اتحادات مختلف بروتينات الطحين، وخاصة الكلوتنينات والالبيومينات والكلوبيولينات، عن طريق الربط التقاطعي مع الكلوتامين مما يؤدي إلى الحصول على تركيب بروتيني جديد، وكذلك تأثير زيادة أعداد الأواصر ثنائية الكبريت بين وحدات الأحماض الأمينية المتجاورة والحاوية على الكبريت (31). ذكر (6) أن التأثير السلبي للتراكيز العالية من الترانس كلوتامينيز في حجم الخبز قد يعود إلى كثرة الروابط التقاطعية المتكونة التي تسبب زيادة غير طبيعية وغير مرغوبة في قوة العجينة. توافقت نتيجة تأثير إضافة هذا الإنزيم مع ما توصل إليه (6) الذين لاحظوا زيادة في كل من المقاومة والمطاطية ومساحة المنحنى، بينما وجد (22) أن إضافة هذا الإنزيم أدت إلى زيادة كبيرة في مقاومة المطاطية ولكنها أدت إلى خفض المطاطية. أما (31) فقد لاحظ أن إضافة الترانس كلوتامنيز بتركيز 0.01٪ أدت إلى حصول زيادة قليلة في كل من المقاومة والمطاطية والمساحة بينما أدت زيادة تركيز الإنزيم إلى 0.5٪ إلى زيادة المقاومة والمساحة وإلى انخفاض المطاطية.

الجدول (5) تأثير المعاملة بالترانس كلوتامينيز في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الإكستنسوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100غم طحين)	المساحة (سم^2)	مقاومة المطاطية (وحدة برابندر)	المطاطية (ملم)	المقاومة القصوى (وحدة برابندر)	مقاومة المطاطية\المطاطية
العينة الضابطة	87	420	129	516	3.3
ترانس كلوتامينيز (0.02)	110	454	139	614	3.3
ترانس كلوتامينيز (0.026)	107	474	138	588	3.5
ترانس كلوتامينيز (0.033)	121	492	145	643	3.4
ترانس كلوتامينيز (0.066)	123	542	137	681	4.0
ترانس كلوتامينيز (0.1)	126	603	131	737	4.7
ترانس كلوتامينيز (0.133)	136	640	135	780	4.7
ترانس كلوتامينيز (0.166)	119	578	128	705	4.5
ترانس كلوتامينيز (0.2)	119	532	138	660	3.8

تأثير المعاملة ببعض الإنزيمات المفردة في صفات معلق طحين الحنطة المقاسة بجهاز الأميلوكراف:

تمت معاملة الطحين بإنزيمات الكلوكوزأوكسيديز والبيروكسديز والترانس كلوتامينيز والزايلانيز بشكل منفرد (بتراكيز 5.0 و83.3 و0.133 و13.7 وحدة\100 غم طحين، وعلى التوالي) لمعرفة تأثيرها في صفات اللزوجة لمعلق طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاميلوكراف (الجدول 6).

الجدول (6) تأثير المعاملة ببعض الإنزيمات المفردة في صفات معلق طحين الحنطة المقاسة بجهاز الأميلوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة \ 100 غم طحين)	درجة حرارة تهلم النشا (م°)	اللزوجة القصوى (وحدة برابندر)	درجة حرارة اللزوجة القصوى (م°)
العينة الضابطة	61.3	1703	90.9
كلوكوزاوكسيديز 5.00	61.1	1559	90.1
البيروكسيديز 83.3	61.4	1500	90.3
ترانس كلوتامينيز 0.133	60.9	1342	91.3
زايلانيز 13.7	61.6	987	91.1

بينت النتائج عدم وجود تأثير لهذه الإنزيمات وبالتراكيز المذكورة في درجة حرارة تهلم النشا ودرجة حرارة اللزوجة القصوى. أما بالنسبة للتأثير في اللزوجة القصوى فقد كان تأثير الإنزيمات الثلاثة الأولى قليلاً وبدرجات متباينة، بينما كان لإضافة الزايلانيز (13.7 وحدة\100 غم طحين) تأثيراً أكبر، إذ انخفضت قيمة اللزوجة القصوى إلى 987 وحدة برابندر مقارنة بلزوجة العينة الضابطة (1703 وحدة برابندر)، وقد يعود السبب إلى أن الزايلانيز يعمل على تحلل الأرابينوزايلانات غير الذائبة في الماء التي تتداخل مع تكوين الشبكة الكلوتينية وتحويلها إلى الحالة الذائبة مما يؤدي إلى إعادة توزيع الماء بسحبه من الأرابينوزايلان وإعطاءه إلى الكلوتين والنشأ مما يجعل العجينة أكثر ليونة وطراوة ودبقاً مما يقلل من لزوجة معلق الطحين (29).

تأثير المعاملة بمزيج الانزيمات المقوية للبروتين في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف:

تم تحضير مزيج من الإنزيمات الثلاثة المقوية للعجينة وبالتراكيز التي أعطت أعلى مقاومة للمطاطية عند إضافتها بشكل منفرد إلى العجينة وهي الكلوكوزأوكسديز والبيروكسيديز والترانس كلوتامينيز (بتراكيز 5 و83.3 و0.133 وحدة\100 غم طحين، وعلى التوالي). تم اختبار تأثير هذه المعاملة الإنزيمية في صفات العجينة باستخدام الاكستنسوكراف. أظهرت النتائج وبوضوح ظهور التأثير التكافلي للإنزيمات الثلاثة في تقوية العجينة وارتفاع مقاومة المطاطية بشكل كبير، إذ وصلت المقاومة إلى 942 وحدة برابندر مقارنة بـ420 وحدة في العينة الضابطة و782 وحدة بإضافة الكلوكوزأوكسيديز بمفرده (الجدول 7). كذلك يلاحظ ارتفاع المقاومة القصوى لتصل إلى 1095 وحدة برابندر في نهاية فترة التخمر. كما كان تأثير مزيج الإنزيمات الثلاثة المضافة في تقليل المطاطية أكبر من تأثير الكلوكوزأوكسيديز عند إضافته بشكل منفرد. وكما مر سابقاً فإن إنزيمي الكلوكوز اوكسديز والبيروكسديز يؤثران في المجاميع ثنائية الكبريت

في الكلوتين وكذلك في تهلم البنتوزانات القابلة للذوبان في الماء، فضلاً عن آليات أخرى سبق الكلام عنها. أما الترانس كلوتاميناز فيكون تأثيره من خلال إحداث ربط تقاطعي للبروتين، وأكثر البروتينات تأثراً به هي الكلوتنينات عالية الوزن الجزيئي والألبيومينات والكلوبيولينات. إن هذه التأثيرات أدت إلى ارتفاع نسبة مقاومة المطاطية\المطاطية لتصل إلى 8.3 في نهاية فترة التخمر لتدل على زيادة قوة الطحين كثيراً. إن التوازن بين مقاومة المطاطية والمطاطية يعد ضرورياً في صناعة الخبيز، إذ أن الزيادة الكبيرة للمقاومة تعد غير مرغوبة في صناعة الخبيز بسبب صعوبة العمليات التصنيعية للخبز خاصة التشكيل كما أنها تؤدي إلى قلة نفاشية اللوف الناتج.

الجدول (7) تأثير المعاملة بمزيج الإنزيمات في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف.

العينات وحدة /100 غم طحين	المساحة (سم^2)	مقاومة المطاطية (برابندر)	المطاطية (ملم)	المقاومة القصوى (برابندر)	مقاومة المطاطية\المطاطية
العينة الضابطة	87	420	129	516	3.3
كلوكوزاوكسيديز 5 + ترانس كلوتامينيز 0.133 + بيروكسيديز 83.3	156	942	113	1095	8.3
كلوكوزاوكسيديز 5 + ترانس كلوتامينيز 0.133 + بيروكسيديز 83.3	49	448	104	449	4.3
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50	135	797	114	938	7.0
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 13.7	131	620	154	768	5.0
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3	128	524	146	707	3.6
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3 + أميليز 86.7	133	506	157	713	3.2

تأثير المعاملة بمزيج الانزيمات المقوية للبروتين مع الانزيمات المحللة للسكريات المتعددة في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاكستنسوكراف:

لغرض إجراء التعديل المناسب للصفات الريولوجية للعجينة ولتقليل تأثير ارتفاع مقاومة المطاطية الناجم عن إضافة الإنزيمات المقوية للعجينة كان لابد من إضافة إنزيمات تعمل على تخفيف بعض التأثيرات السلبية التي أحدثتها هذه الإنزيمات مثل تعديل نسبة المقاومة\المطاطية لتكون ضمن المدى المناسب لإنتاج خبز ذي نوعية جيدة ومنع تجلده. لهذا استعملت بعض الإنزيمات المحللة للسكريات المكوثرة، إذ تمت أولاً إضافة الزايلانيز الذي يعمل على تحويل الهيميسليولوز إلى هيئة ذائبة تعمل على ربط الماء في العجينة مما يقلل صلابتها وزيادة حجمها لأنه يعمل على تحويل الارابينوزايلانات غير القابلة للذوبان في الماء (WU–AX)، والتي تتداخل سلباً مع تكوين الشبكة الكلوتينية، إلى أرابينوزايلانات ذائبة في الماء (WE–AX) ذات أوزان جزيئية عالية ومؤدية إلى زيادة لزوجة العجينة وتحسين ثباتها. أضيف هذا الإنزيم إلى الطحين بتركيز 13.7 وحدة\100 غم طحين، وهو التركيز الذي أعطى أعلى مطاطية للعجينة عند استخدامه بشكل مفرد، مع مزيج الإنزيمات المقوية للعجينة والتي استخدمت في المرحلة السابقة. تم اختبار تأثير هذه المعاملة الإنزيمية في بعض الصفات الريولوجية العجينة باستخدام الإكستنسوكراف.

أظهرت النتائج (الجدول 7) أن الزايلانيز المضاف مع مزيج الإنزيمات لم يتمكن من تحسين الصفات المتوقع تحسينها، فعلى الرغم من تأثيره الإيجابي في خفض كل من مقاومة المطاطية والمقاومة القصوى إلى أقل من النصف وكذلك خفض نسبة المقاومة\المطاطية إلى 4.3 لتصبح مناسبة لإنتاج الخبز الجيد ولكن إضافته بهذا التركيز كان له تأثير سلبي، إذ سبب انخفاضاً كبيراً في مساحة منحنى الإكستنسوكراف التي أصبحت 49 سم^2، مقارنة بـ156 سم^2 بدون إضافة الزايلانيز، وهذه القيمة مرفوضة في صناعة منتجات الخبيز، إذ أنها ينبغي أن تكون بين 80–150 سم^2 في الطحين الجيد، فضلاً عن انخفاض المطاطية إلى 104ملم، بينما كان المطلوب من إضافته رفعها لتصبح ضمن المدى المطلوب لإنتاج الخبز الجيد. قد يكون السبب في هذه النتائج هو ارتفاع تراكيز الإنزيمات المستخدمة وخاصة الزايلانيز الذي سبب زيادة تحلل البنتوزانات مما زاد من تحرر الماء مع زيادة التفاعلات الحاصلة بين البنتوزانات والكلوتين والذي أدى تدهور صفات الكلوتين نتيجة التحلل الزائد، وأدى ذلك إلى تدهور القوام وزيادة لزوجة العجينة والتي يصعب تداولها أثناء العمليات التصنيعية.

ولحل هذه المشكلة أعيدت تجربة إضافة الإنزيمات المقوية للعجينة ولكن مع تقليل تراكيز الانزيمات المستخدمة، إذ تم اختيار التراكيز التي بدأ عندها التأثير الواضح في الصفات

الريولوجية للعجينة فأصبحت للكلوكوز اوكسيديز 1 والترانس كلوتامينيز 0.033 والبيروكسيديز 50 وحدة\100 غم طحين. استخدم مزيج هذه الإنزيمات الثلاثة المقوية للعجينة أولاً بدون إضافة الزايلانيز. أجري اختبار الإكستنسوكراف للعجينة فتم الحصول على مقاومة المطاطية مقدارها 797 مقارنة بـ942 وحدة برابندر عند استخدام المزيج ذي التراكيز المرتفعة، وفي الوقت نفسه انخفضت المقاومة القصوى من 1095 إلى 938. لم يلاحظ حدوث تغير يذكر في المطاطية نتيجة تقليل التراكيز ولذلك فقد انخفضت نسبة المقاومة\المطاطية إلى 7 ولازالت صفات الطحين غير مناسبة لإنتاج اللوف.

كررت التجربة بإضافة الزايلانيز وبنفس التركيز السابق (13.7 وحدة\100 غم طحين) فلوحظ حدوث تحسن نسبي في صفات العجينة الريولوجية، إذ تم الحصول على مقاومة مطاطية مقدارها 620 وحدة برابندر. أما المطاطية فقد ارتفعت إلى 154 ملم في نهاية فترة التخمر، كما بلغت مساحة المنحنى 131سم^2 وهي مناسبة إلى حد ما لصناعة اللوف. يلاحظ في هذه المرحلة أن نسبة المقاومة\المطاطية لازالت مرتفعة نوعاً ما (5)، ومن المفضل خفضها لتكون ضمن المدى المفضل، ولهذا فقد كررت التجربة ولكن باستخدام تركيز منخفض نسبياً من الزايلانيز (10.3 وحدة\100 غم طحين). كانت النتائج في التجربة الأخيرة إيجابية، إذ انخفضت مقاومة المطاطية إلى 524 والمقاومة القصوى إلى 707 وحدة برابندر. وعلى الرغم من حصول انخفاض قليل في مطاطية العجينة لتصل إلى 146 ملم فإن نسبة المقاومة إلى المطاطية قد انخفضت بصورة ملحوظة ووصلت إلى 3.6، كذلك فإن مساحة المنحنى قد بقيت ضمن المدى المطلوب لهذا المعيار. تعد قيم المواصفات التي تم الحصول عليها لحد الآن جيدة ومناسبة للحصول على خبز ذي مواصفات مقبولة.

أجريت محاولة للوصول بالصفات الريولوجية للعجينة إلى مستوى أفضل وتحسين لزوجتها والوصول بها إلى حوالي 600 وحدة برابندر، وهي القيمة المفضلة في الطحين المستخدم في إنتاج اللوف، والتي كانت مرتفعة في عجينة الطحين الضابطة غير المعاملة إنزيمياً (1703 وحدة برابندر) وذلك بإضافة إنزيم الألفاأميليز الذي يعمل في مرحلة التخمير على تحلل النشا المتضرر منتجاً دكسترينات ومالتوز وبالتعاقب مع إنزيم البيتاأميليز الموجود أصلاً في الطحين لينتجا كميات كافية من السكريات القابلة للتخمر بوساطة الخميرة مما يؤدي إلى زيادة إنتاج الغاز وبالتالي زيادة نفاشية الخبز، كما أن هذا الإنزيم يقلل من اللزوجة خلال تهلم النشأ ومن ثم يعمل على تحسين حجم وطراوة المنتوج (15)، فضلاً عن أن وجود السكريات البسيطة يحفز تفاعل ميلارد الذي يعطي قشرة الخبز لونها المرغوب وكذلك يعزز نكهة الخبز (33). وكما ذكر سابقاً فإن الألفاأميليز غير موجود في الحنطة بصورة طبيعية. أضيف هذا الإنزيم إلى الطحين بتركيز

86.7 وحدة\100غم طحين، وهذا التركيز قد تم اختياره بناءً على نتائج بيانات تجربة جهاز الأميلوكراف التي أجريت لاختبار تأثير مزيج الإنزيمات سابقة الذكر مع إضافة الأميليز والمبينة نتائجها في الجدول (8). أدت إضافة الأميليز مع مزيج الإنزيمات إلى خفض مقاومة المطاطية في نهاية التخمر إلى 506 وحدة برابندر بينما ارتفعت المطاطية قليلاً لتصل إلى 157 ملم مما سبب انخفاض نسبة المقاومة\المطاطية إلى 3.2، وتقع هذه القيمة ضمن المدى المطلوب لإنتاج خبز جيد. والجدير بالذكر أن الغرض الرئيسي لإضافة الأميليز كان لتحسين لزوجة العجينة.

تأثير المعاملة بمزيج الانزيمات في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الاميلوكراف:

استعمل هذا الإختبار لغرض التعرف على تأثير المعاملات الإنزيمية في الصفات المقاسة بالأميلوكراف، وخاصة صفة اللزوجة، وذلك بعد إضافة إنزيم الالفاأميليز مع مزيج الإنزيمات المضافة وبتركيز 130 وحدة/100 غم طحين، وهو التركيز الذي أعطى أفضل نتيجة للزوجة العجينة عند استخدامه بمفرده (الجدول 1). يتبين من الجدول (8) أن إضافة الأميليز بهذا التركيز مع مجموعة الانزيمات الأخرى قد أعطت لزوجة منخفضة نوعاً ما (528 وحدة برابندر)، ومن المرجح أن سبب ذلك يعود لتأثير نشاط الالفاأميليز مع الزايلانيز واللذين يساهمان في تقليل لزوجة معلق الطحين. وللحصول على اللزوجة المطلوبة فقد أعيدت التجربة مع تخفيض تركيز الالفاأميليز إلى 86.7 وحدة/100 غم طحين، وقد أدى ذلك إلى الحصول على عجينة ذات لزوجة مقدارها 598 وحدة برابندر وكانت ذات قابلية تداول جيدة، وهذه الدرجة من اللزوجة تعد مناسبة جداً لإنتاج اللوف.

الجدول (8) تأثير المعاملة بمزيج الإنزيمات في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الأميلوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100 غم طحين)	درجة حرارة تهلم النشا (م°)	اللزوجة القصوى (وحدة برابندر)	درجة حرارة اللزوجة القصوى (م°)
العينة الضابطة	61.3	1703	90.9
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3 + أميليز 130	61.8	528	90.1
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3 + أميليز 86.7	61.4	598	90.1

تأثير المعاملة بمزيج الإنزيمات في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الفارينوكراف:

من الصفات المستخدمة لاختبار نوعية العجينة التي يمكن الحصول عليها بجهاز الفارينوكراف هي درجة امتصاص الطحين للماء وزمن النضج ومدة ثبات العجينة. وتعد صفة امتصاص الماء إحدى العوامل الفيزيائية الرئيسة التي تؤثر في صفات منحنى الفارينوكراف (1). توجد علاقة طردية بين قدرة الطحين لامتصاص الماء وبين مقدار ما يحتويه من البروتين والنشأ. تعد زيادة امتصاص الطحين للماء من الصفات الإيجابية للطحين بشرط أن يصاحبها ارتفاع في درجة الضعف (Degree of softening)، أما إذا كان في الطحين انخفاض في درجة الضعف فإن ذلك يدل على نوعية طحين رديئة سواءً كان ذي امتصاصية عالية أو واطئة للماء. يبين الجدول (9) تأثير مزيج الإنزيمات المقوية للعجينة مع الإنزيمات المحللة والمضافة إلى الطحين في صفات منحنى الفارينوكراف. يلاحظ أن المعاملات الإنزيمية، وبصورة عامة، كانت ذا تأثير قليل في رفع نسبة امتصاص الماء مقارنة بالعينة الضابطة، وظهر أعلى امتصاص في العينة التي أضيف إليها الزايلانيز بتركيز مرتفع مع الإنزيمات المقوية للعجينة وبدون إضافة الأميليز. لم يكن لإضافة الأميليز أي تأثير في نسبة الماء الممتص.

يعمل الزايلانيز على تحلل السلسلة الرئيسية لجزيئات الارابينوزايلان مصحوباً بتحرير الماء مع انفصال الارابينوزايلانات غير القابلة للذوبان في الماء، وهذا قد يفسر التأثير الايجابي للزايلانيز في طراوة الخبز. ذكر (25) أن امتصاص العجينة للماء يعتمد على أنواع وتراكيز الانزيمات المضافة وبين أن الكلوكوزأوكسيديز المقوي للشبكة الكلوتينية يزيد من امتصاص العجينة للماء. وجد (23) أن إضافة الزايلانيز أو البيروكسديز بشكل منفرد وبتركيز 15 و1.5 وحدة\100 غم طحين، وعلى التوالي، قد أدت إلى زيادة امتصاص الماء بينما لم يحدث تغير في الامتصاص بإضافة الكلوكوز اوكسيديز بتركيز 25 وحدة\100غم طحين. وأدت إضافة مزيج الإنزيمات الثلاثة إلى انخفاض امتصاص الماء. أما (11) فقد لاحظا أن إضافة الكلوكوز اوكسيديز (6 ملغم\كغم طحين) قد أدت إلى زيادة الامتصاصية. وازدادت نسبة الماء الممتص بإضافة الهيميسليوليز (50 ملغم\كغم طحين) مع الكلوكوزاوكسيديز. وجد (32) أن إضافة كل من الكلوكوزاوكسيديز (0.01٪) والترانس كلوتامينيز (0.5٪) والبنتوزانيز (0.012٪) لم تؤثر في امتصاص الماء.

الجدول (9) تأثير المعاملة بمزيج الإنزيمات في صفات عجينة طحين الحنطة والمقاسة بجهاز الفارينوكراف.

المعاملة الإنزيمية (وحدة\100 غم طحين)	امتصاص الماء (٪)	زمن النضج (دقيقة)	مدة الثبات (دقيقة)	معامل العجن الحرج (وحدة برابندر)	زمن تدهور القوام (دقيقة)	درجة التقييم
العينة الضابطة	56.8	1.5	1.7	52	2.1	21
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 13.7	59.5	11.3	15	28	16.7	167
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3	58.7	13.2	17.5	27	19.0	190
كلوكوزاوكسيديز 1 + ترانس كلوتامينيز 0.033 + بيروكسيديز 50 + زايلانيز 10.3 + أميليز 86.7	58.6	12.7	17.4	22	19.4	194

يشير زمن نضج العجينة (Dough development time) إلى المدة التي تكتمل فيها شبكة الكلوتين بحيث تكون للعجينة صفات اللزوجة والمطاطية المثلى مع قابلية الشبكة بالاحتفاظ بالغاز. تدل زيادة مدة نضج العجينة على قوة الطحين والعكس بالعكس. ولذلك يلاحظ انخفاض زمن نضج عجينة عينة الطحين الضابطة (1.5 دقيقة) مما يدل على ضعف الطحين المستخدم. ارتفع زمن النضج إلى 11.3 دقيقة في العجينة المعاملة بالإنزيمات المقوية مع الزايلانيز (13.7 وحدة\100غم طحين) مما يدل على زيادة قوة العجينة نتيجة معاملتها بالإنزيمات المقوية، وارتفع الزمن إلى 13.2 دقيقة بعد خفض تركيز الزايلانيز إلى 10.3 وحدة\100 غم طحين ويدل ذلك على أن للزايلانيز تأثيراً مضعفاً للعجينة. وكان لإضافة الألفاأميليز بتركيز 86.7 وحدة\100 غم طحين دقيقة مع المزيج السابق تأثيراً مخفضاً لزمن النضج (12.7 دقيقة) ليدل أيضاً على تأثير الأميليز المضعف للعجينة. يلاحظ بوضوح تأثير التداخل بين الانزيمات المقوية للعجينة مع الإنزيمات المحللة للسكريات المتعددة في زمن نضج العجينة. يمكن تفسير فعل الزايلانيز المضعف للعجينة في منعه تكوين التداخلات بين البنتوزانات والكلوتين نتيجة تحويله للبنتوزانات غير الذائبة إلى بنتوزانات ذائبة في الماء (34)،

كما يعمل الأميليز على تحلل النشأ مؤدياً إلى خفض اللزوجة ويؤدي كذلك إلى خفض زمن نضج العجينة. أما الإنزيمات المقوية للعجينة فإن تأثيرها واضح في زيادة قوة العجينة من خلال الآليات المختلفة والتي سبق الكلام عنها ولذلك فإن إضافتها إلى الطحين تؤدي إلى زيادة زمن نضج العجينة. يعمل الكلوكوزأكسيديز على زيادة مدة نضج العجينة (25)، وأيد ذلك (32) الذين لاحظوا أن إضافة الكلوكوزاوكسيديز سببت زيادة في مدة نضج العجينة من 1.9 دقيقة للعينة الضابطة إلى 15.9 دقيقة. بينما سببت إضافة كل من الترانس كلوتاميناز والبنتوزانيز ارتفاعاً طفيفاً في مدة النضج (2.25 و2 دقيقة، وعلى التوالي).

يعطي ثبات العجينة (Stability) ومعامل العجن الحرج (Tolerance mixing index)، مؤشراً على مدى تحمل العجينة للعجن الزائد. تتميز العجينة القوية التي تتحمل عملية العجن لفترة طويلة وتكون مدة ثباتها طويلة بكونها ذات معامل عجن حرج منخفض (30).

ازداد ثبات العجينة بشكل واضح بعد المعاملات الإنزيمية التي أجريت لغرض زيادة قوتها، إذ وصلت مدة الثبات إلى 17.5 دقيقة بعد إضافة الإنزيمات المقوية للعجينة مع الزايلانيز (10.3 وحدة\100 غم طحين) مقارنة بـ1.7 دقيقة فقط للعينة الضابطة. كما انخفض معامل العجن الحرج إلى 28 مقارنة بـ52 وحدة برابندر للعينة الضابطة ليعطي دلالة إضافية على زيادة ثبات العجينة. ونتيجة لذلك فقد ازداد زمن تدهور القوام بعد إضافة الإنزيمات ووصل إلى 19.4 دقيقة للمعاملة الأخيرة. كان تأثير إضافة الأميليز إلى الطحين في مدة ثبات العجينة قليلاً جداً عند إضافته مع مزيج الإنزيمات، ولكن تأثيره في معامل العجن الحرج كان واضحاً إذ انخفض إلى 22 وحدة برابندر ليعطي دلالة على تحسن قوة العجينة وتداولها. ذكر (10) أن الزايلانيز يستخدم لزيادة ثبات العجينة ويحسن من قوة الكلوتين، كما أن إضافته تقلل من مدة نضج العجينة وتخفض من لزوجتها بسبب تفكك مجاميع الارابينوزايلان (Depolymerization). أما الالفاأميليز فعند إضافته الى الطحين ذي الفعالية الأميليزية الضعيفة فانه يقلل من زمن الثبات (28).

تعطي درجة تقييم الفارينوكراف دلالة على جودة الطحين، وكلما كانت درجة التقييم عالية دل على نوعية طحين جيدة للخبز والعكس بالعكس. يلاحظ من الجدول التأثير الواضح لإضافة مزيج الإنزيمات في رفع درجة تقييم الفارينوكراف من 21 للعينة الضابطة إلى 94 للعينة المعاملة بمزيج الإنزيمات النهائي مما يدل على تحسن الخواص الريولوجية للعجين بعد إجراء المعاملة الإنزيمية.

الاستنتاجات

يستنتج من الدراسة، أن إضافة مزيج إنزيمات الكلوكوزأوكسيديز والبيروكسيديز والترانس كلوتاميناز وبتراكيز واطئة إلى طحين الحنطة الضعيف وغير الصالح لإنتاج الخبز قد أدت إلى تحسن نسبي في خواصه الريولوجية، إذ انخفضت مطاطية العجينة وارتفعت مقاومة المطاطية. كما أدت إضافة تراكيز قليلة من الزايلانيز والألفاأميليز مع المزيج المذكور إلى الحصول على طحين ذي خواص ريولوجية جيدة ومطابقة لخواص الطحين المستخدم في إنتاج خبز اللوف.

المصادر

1- AACC, (2000). Approved Methods of the American. Association of Cereal Chemists, 10th ed. AACC, St. Paul, MN, USA.

2- Aberham, H. (1975). Proposed classification of dough properties. 73(16). (Food Sci. Tech. Abst.8:3M389:162 (1976).

3- Almeida, E. L. and Y. K. Chang. (2012). Effect of the addition of enzymes on the quality of frozen pre-baked French bread substituted with whole wheat flour. LWT-Food Science and Technology, 49(1): 64-72.

4- Bailey, M. J., P. Beily and K. Poutanen. (1992). Inter-laboratory testing and methods for assay of xylanase activity. J. Biotechnol. 23: 257-70.

5- Bak, P. I., L. Nielsen, H. C. Thogersen. and H. C. Poulsen (1995). A method for testing the strengthening effect of oxidative enzymes in dough In: Wheat Structure, Biochemistry and Functionality. J. D. Schofield (ed.). Royal Society of Food Chemistry. 361-367.

6- Basman, A., H. Köksel and K. W. Perry (2002). Effects of increasing levels of transglutaminase on the rheological properties and bread quality of two wheat flours, Eur. Food Res. Technol. 215: 419-424.

7- Bergmeyer, H. U., K. Grassl (1970) Methods of Enzymatic Analysis. 416.

8- Bhatty, M. R. (1986). Bread making. Phsiochmical and functional. (bread making) properties of hull-less barley fractions. Cereal Chemistry, 63, 31-35.

9- Caballero, P., A. Bonet, C. Rosell and M. Gomez (2005). Effect of microbial cflour. Journal of Cereal Science, 42(1): 93-100.

10- Collins, T., A. Hoyoux, A. Dutron, J. Georis, B. Genot, T. Dauvrin, F. Arnaut and C. Gerday (2006). Use of glycoside hydrolase family 8 xylanases in baking. Journal of Cereal Science; 43(1): 79–84.

11- Dagdelen, F. A., D. Goemen (2007). Effects of glucose oxidase, hemicellulase and ascorbic acid on dough and bread quality. Journal of Food Quality. 30: 1009–1022.

12- Dunnewind, B., T. Vliet and R. van and Orsel (2002). Effect of oxidative enzymes on bulk rheological properties of wheat flour dough. Journal of Cereal Science 36: 357–366.

13- Folk, J. K. (1970). Tranaglutaminase in: Methods in Enzymology, H. Tabor and C. W. Tabor. (eds.) 17: 889-894. Academic Press, New York.

14- Gerrard, J. A. (2002). Protein-protein crosslinking in food: Methods, consequences, applications. Trends in Food Science and Technology. 13: 389-397.

15- Goesaert. H., L. Slade, H. Levine and J. Delcour (2009). Amylases and bread firming-an integrated view. Journal of Cereal Science. 50(3): 345–352.

16- Gupta, R., P. Gigras, H. Mohapatra, V. K. Goswami and B. Chauhan (2003). Microbial α-amylases:abiotechnological perspective. elsevier science biochemistry. 1-18.

17- Lagrain, B., B. G. Thewissen, K. Brijs and J. A. Delcour (2008). Mechanism of gliadin-glutenin crosslinking during hydrothermal treatment. Food Chemistry, 107 (2): 753–760.

18- Martinez-Anaya, M. and T. Jimenez (1997). Rheological properties of enzyme supplemented doughs. Journal of Texture Studies, 28(5): 569–583.

19- Mitami, M., T. Maeda and N. Morita (2003). Effects of various kinds of enzymes on dough properties and bread qualities. Part IV. In: Enzymes in Grain Processing. C. M. Courtin, W. S. Veraverbeke and J. A. Delcour, (eds.). Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, Belgium. 295–303.

20- Nonan, G. O., T. H. Begley and G.W. Diachenko (2008). Semicarbazide formation in flour and bread. Journal of Agricultural and Food Chemistry 56: 2064–2067.

21- Ognean, M., C. and F. N. Darie (2011). Rheological evaluation of some commercial xylanases. journal of agroalimentary processes and technologies. 378-384.

22- Oort, M. V. (2010). Enzymes in bread making. In: Enzymes in Food Technology, second ed. R. J. Whitehurst and M. V. Oort (eds.). Chichester: Wiley-Blackwell. 103-143.

23- Pescador-Piedra, J. C., A. Garrido-Castro, J. Chanona-Pérez, R. Farrera-Rebollo, G. Gutiérrez-López and G. Calderón-Domínguez, (2009). Effect of the addition of mixtures of Glucose Oxidase, Peroxidase and Xylanase on Rheological and Breadmaking Properties of Wheat Flour, International Journal of Food Properties. 12 (4): 748-765.

24- Primo-Martin, C., R. Valera and M. A. Mart´ınez-Anaya. (2003). Effect of pentosanase and oxidases on the characteristics of dough and the glutenin macropolymer (GMP). J. Agric Food Chem 51: 4673-4679.

25- Rasiah, I. A., K. H Sutton, F. L. Low, H. M. Lin and J. A. Gerrard (2005). Crosslinking of wheat dough proteins b y glucose oxidase and the resulting effects on bread and croissants. Food Chemistry. 89 (3): 325–332.

26- Rick, W. and H. P. Stegbauer (1974). Alpha amylase measurement of reducing groups. In: Methods of Enzymetic Analysis, H.V. Bergmeyer. (Ed.) 2nd ed., V. 2, Academic Press.

27- Rosell, C. M., J.Wang, S. Aja, S. Bean and G. Lookhart, (2003). Wheat flour proteins as affected by transglutaminase and glucose oxidase. Cereal Chem. 80: 52-55.

28- Shafisoltani, M., M. Salehifar and M. Hashemi (2014). Effects of enzymatic treatment using Response Surface Methodology on the quality of bread flour. Food Chemistry. 148: 176–183.

29- Shah, A. R., R. K. Shahen and D. Madamwar (2006). Improvement of the quality of whole wheat bread by supplementation of xylanases from Aspergillus foetidus, Bioresour. Technol. 97: 2047–2053.

30- Shuey, W. C. (1984). Physical factors influencing farinograms. In: Farinograph Handbook. B. L. D'Appolonia, W. H. Kunerth, (Eds.). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists. 24-30.

31- Steffolani, M. E., P. D. Ribotta, G. T. Perez and A. E. Leon (2012). Combination of glucose oxidase, a-amylase and xylanase affect dough properties and bread quality. International Journal of Food Science and Technology. 47: 525–534.

32- Steffolani, M. E., P. D. Ribotta, G. T. Perez, A. E. Leon (2010). Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality. Journal of Cereal Science. 51 (3): 366-373.

33- Tomoko, M.; H. Tetsu, M. Masahi, T. Shin-ichiro and M. Naofumi, (2003). Effect of mutant thermostable α-amylase on rheological properties of wheat dough and bread. Cereal Chem. 80 (6): 722-727.

34- Wang, M., T. van Vliet and R. J. Hamer (2004). Evidence that pentosans/ xylanase affects the re-agglomeration of the gluten network, J. Cereal Sci., 39: 341-349.

35- Whitaker, J. R., and R. A. Bernhard (1972) Enzymology. The Wiber Press Davis. 112-126.

36- Wolf, D. C., L. M. Crosby, M. H. George, S. R. Kilbur, T. M. Moore, R. T. Miller and A. B. DeAngelo (1998). Time and dose dependent development of potassium bromate induced tumors in male Fischer 344 rats. Toxicol. Pathol. 26: 724-729.