

الفصل السابع

الإنزيمات في تصنيع الخبوط

الأميليزات . أميليزات الدقيق . قياس نشاط الأميليز . تحليل النشا إنزيمياً
فعل الأميليز في الخبز . المواد الغنية بالأميليز المضافة . أهمية تقدير نشاط
الأميليز . الأستيريزات تقدير نشاط الإستيريزات . تحضير الإنزيم . الحموضة
والحرارة المثلى للإنزيم . الليبيزات في خامات الخبز . فعل الإنزيمات المحللة
للدون . الفوسفاتيزات . إنزيمات الأكسدة . إنزيمات الحديد . الكتاليز .
البيروكسيديز . السيتوكروم أكسيديز . إنزيمات النحاس . الثيروزينيز .
الأسكوربيك أسيد أو أكسيديز . الفوسفوبيريدين نيوكليوتيد . الهكسوزداي
فوسفات ديهيدروجينيز . ديهيدروجينيز المالات وحمض الجلوتاميك .

ديهيدروجينيز حمض الفيوماريك والسكسينيك والفورميك . الأوكساليز .
إنزيمات الدهيدروجينيز الأخرى . الليبوكسيديز . الإنزيمات المؤكسدة في
الخميرة . نظام التأكسد والإختزال في الدقيق والعجينة . البروتينيزات . دقيق
مولت القمح . بروتينيز الخميرة . القمح المصاب بالحشرات . عملية التخمر
الكحولى . التحول اللاهوائى . خطوات التخمر الكحولى . الاتحاد بالفوسفات .
دورة الفوسفات . التخمر بالخميرة . تأثير الحرارة والحموضة الفعلية . تأثير
السكريات . تأثير المكونات غير السكرية . تكاثر الخميرة في العجينة .

الأميليزات

يرجع استخدام إنزيمات الأميليز في صناعة منتجات الحبوب الغذائية إلى عهد قديم جداً ، فالتاريخ يروى بعضاً عن تحضير المولت عام ٧٠٠٠ قبل الميلاد ، كما أن البيرة احترفت صناعتها عام ٥٠٠٠ قبل الميلاد ، ويبدو أن صناعة الخبز كانت معروفة في ذلك الوقت أيضاً .

عام ١٨١٦ اكتشف Kirchof أن الحبوب وخصوصاً النابتة منها ، قادرة على تحويل النشا المغلى إلى سكر . وقد أطلق Payen and Persoz اسم الدياستيز على المادة الفعالة في الحبوب عام ١٨٣٣ . وأشار Marcker عام ١٨٧٩ إلى وجود نوعين من الدياستيز في المولت . ثم استنتج Lintner عام ١٨٨٧ أن أحد الإنزيمات Liquifier والآخر Saccharifier ، وكلاهما يوجد في الحبوب غير النابتة . وفي عام ١٨٨٦ تبين jago أن تخمر العجينة يرجع إلى وجود السكريات بها من ناحية وإلى فعل إنزيمات الدياستيز على النشا من ناحية أخرى ، كما أثبت عام ١٨٩٥ أن إضافة المولت للعجينة تسبب زيادة كمية الغاز الناتجة أثناء التخمر وبالتالي زيادة حجم الخبز . وفي عام ١٩٠٢ أوضح Maurizio أن حجم الخبز يتأثر بكمية الغاز الناتجة أثناء التخمر وكذلك بقدرة العجينة على الاحتفاظ بالغاز .

أميليزات الدقيق :

يحتوى القمح والمولت على بيتا أميليز الذى يعمل على النشا المتجلتنة منتجاً

سكر الملتوز بتحليله الروابط الطرفية في جزيء النشا ، ويتخلف عن ذلك جزيء الديكسترين الذي يلون محلول اليود بلون قرمزي والذي يزيد من لزوجة المحلول .

وتحتوى الجيوب أيضاً على أنزيم الألفا أميليز الذى يسبب سيولة النشا وتحليل بعض روابطها الداخلية في الجزيء منتجاً دكستريانات ذات وزن جزيئى منخفض ليس لها تأثير على لون محلول اليود ، كما أن هذا التحلل يسبب انخفاض لزوجة مغلق النشا بشكل واضح . وتعتبر نسبة الألفا أميليز في حبوب القمح السليمة صغيرة للغاية مقارنة بنسبة البيتا أميليز . والمعروف أن جزءاً ليس بالقليل من هذين الإنزيمين يوجد في الجيوب على حالة مرتبطة فلايسهل استخلاصه بالماء ، بل يفصل هذا الجزء فقط بتأثير الإنزيمات البروتوليتية كالبابين أو بالفعل المرسب للأملاح . فنسبة الإنزيم الكلى تعنى في الواقع مجموع نسبتي الإنزيم المرتبط *alt net amylase* والإنزيم الحر *free amylase* الممكن استخلاصه بالماء أو بمحلول ملحي مخفف جداً . وعند الإنبات يفصل جزء كبير من البيتا أميليز المرتبط كما يزداد نشاط الألفا أميليز كثيراً ، ويتضح ذلك من الجدول التالى الذى يبين نشاط إنزيمى الأميليز الحر المستخلص بمحلول خلات كالسيوم مخفف لمدة ساعة والكلى المستخلص بالبابين لمدة ثمانية عشر ساعة ، في حبوب القمح المنبتة على درجة ١٥° مئوية .

فالجدول التالى يبين أن حوالى ثلث كمية البيتا أميليز ونصف كمية الألفا أميليز وجدت على حالة حرة . ويتضح أيضاً أن البيتا أميليز الحر تزداد كميته أثناء إنبات الجيوب إلى الحد الذى يقرب من كمية الإنزيم الكلى المستخلص بالبابين ، بينما كمية الإنزيم الكلى لا تزداد بل على العكس من ذلك تنخفض

قليلاً . أما إنزيم الألفا أميليز فيزداد نشاط كميته الحرة والكلية أثناء الإنبات وهذا يعنى أن البيتا أميليز يزداد نشاطه وينطلق أثناء الإنبات أما الألفا أميليز فيتكون مزيد منه أثناء الإنبات .

نشاط الألفا أميليز		نشاط البيتا أميليز		مدة الإنبات باليوم
الحر بالوحدة الكلى بالوحدة	الحر بالوحدة الكلى بالوحدة	الكلية بالوحدة	الحر بالوحدة	
٠,٠٤٣	٠,٠٢٧	٢٨,٤	١٠,١	٠
٤٠,٥	٣٥,٠	٢٨,٦	١٦,٣	٣
٩٠,٧	٨٧,٢	٢٦,٥	٢٠,٨	٤
٢٣٨,٠	٢٢٩,٠	٢٦,٢	٢٦,٦	٥

وتتفاوت كمية إنزيمات الأميليز في حبوب القمح تبعاً لعوامل البيئة والعوامل الوراثية . وتتناسب نسبة البروتين في نوع معين من القمح تناسباً طردياً مع كمية إنزيم البيتا أميليز الكلية وليس مع كمية الإنزيم الحرة . ولذلك فعينات اللدقيق تتفاوت فيما بينها في مدى نشاط إنزيمات الأميليز .

ويعتقد أن الدقيق يحتوى على إنزيم أميلوفوسفاتيز amylophosphatase يستطيع تحويل عجينة النشا إلى حالة شبه سائلة وإنتاج القليل من الدكسترينات وكمية واضحة من الفوسفات . وهذا الإنزيم لا تعرف طبيعته وأهميته على وجه التحديد للآن . ولذلك يعتقد حالياً أن الإنزيمات المؤثرة على النشا هي أساساً الألفا والبيتا أميليز . لكنه يجب ألا يغفل أن تحلل النشا إنزيمياً يتداخل فيه عوامل أخرى منها الإنزيمات المحللة للسكريات المعقدة غير النشا ، مثال ذلك إنزيم الفوسفوريليز الذى ينشط التفاعل العكسى بين النشا واسترورى أى جليكوجين \leftarrow فوسفات - ١ - جلوكوز ، وكذلك إنزيم الجليكوزيديز في ذرة السورجم النابتة الذى يشارك إنزيمى الألفا والبيتا أميليز فعلهما في تحويل النشا .

قياس نشاط الأميليز :

يمكن تقدير مدى نشاط إنزيمي الأميليز معاً عملياً ، كما يمكن تقدير نشاط كل من الإنزيمين على حدة . وتبنى طرق التقدير على استخلاص إنزيم المادة المراد اختبارها بمذيب مناسب وقياس نشاط المستخلص باستعمال نشا متجلتنة محددة الظروف . فلتقدير نشاط البيتا أميليز في الدقيق يؤخذ حجم معين من المستخلص ويعامل به محلول نشا ذائب قياسي تحت ظروف محددة ثم تقدر المجاميع المختزلة الناتجة وتحسب في صورة وحدات مناسبة . ولا يؤثر إنزيم الألفا أميليز في هذا التقدير لانخفاض نسبته في الدقيق إلى حد كبير . فقط في حالة إجراء التقدير على حبوب نابئة تتأثر النتيجة بكمية الألفا أميليز ، غير أنه يمكن حساب نشاط البيتا أميليز وحده بطرق أخرى .

ويقدر نشاط إنزيم الألفا أميليز بتقدير الانخفاض في لزوجة عجينة النشا عند المعاملة بمستخلص الإنزيم ، وهذا التقدير لا يتأثر بوجود البيتا أميليز ، أو بتقدير تكون الدكسترين . ويجرى الاختبار الأخير في وجود كمية زائدة من إنزيم البيتا أميليز فيصبح التغير في كمية الدكسترين منسوباً للتغير في مدى نشاط الألفا أميليز .

ويقدر نشاط الإنزيم أحياناً بطرق التحلل الذاتي autolytic evaluation فيهضم الدقيق لمدة ثلاث ساعات على درجة ٣٠ درجة مئوية تحت ظروف مشابهة لظروف الخبز ، وتقدر السكريات في نهاية المدة ، وبطرح قيمة اختبار بلائك blank من القيمة المقدره يستدل على نشاط الأميليز . وقد تعدل هذه الطريقة بإضافة خميرة الدقيق ثم تقدير السكريات عن طريق تقدير غاز ثاني أكسيد الكربون المتولد ، مع مراعاة إجراء اختبار بلائك . وهذا التقدير الأخير يتأثر بالوقت ودرجة الحرارة ونسبة الدقيق للماء والكميات المضافة وقد نصح باعتبار كمية الملتوز الناتجة أساس وحدة تقدير نشاط الأميليز ، وسميت القيمة برقم الملتوز maltose figure . ويقدر الملتوز بالتحليل البولاروجرافي

أو الرفرراكتومترى أو بانتاثير المختزل على محلول كبريتات النحاس أو
حديدى سيانيد البوتاسيوم القلوى .

وفى طريقة أخرى لتقدير نشاط الأميليز يستعمل الدقيق والماء والخميرة
بنسب محددة لمدة معينة على درجة حرارة ثابتة ويقدر الغاز الناتج حجماً
أو مانومترياً أو كيميائياً بالإمتصاص .

وبمقارنة طريقة رقم المتوز بطريقة الغاز يتضح أن رقم المتوز يتحصل
عليه بالتحليل لمدة ساعة وهو لا يعطى بيانات عن كمية السكريات غير
المختزلة القابلة للتخمر التى توجد فى الدقيق أصلاً ، أما طريقة الغاز فتستغرق
وقتاً طويلاً متمشياً مع مدة الخبز وهى تعطى نتائج مبنية على جميع السكريات
القابلة للتخمر سواء ما وجد منها أصلاً فى الدقيق أو ما يتكون . وهناك
علاقة وطيدة بين نتيجتى الطريقتين ، لكنه لا يستطاع التكهن من رقم المتوز
بكمية الغاز المتولدة بالضبط إلا فى حالة إطالة فترة التحليل الدائى لمدة
متمشية مع اختبار الغاز مع أخذ كمية السكريات غير المختزلة الموجودة
أصلاً فى الدقيق فى الاعتبار .

ولاندل كمية السكر المتكونة أثناء التحلل الدائى للدقيق دلالة صحيحة على
مدى نشاط إنزيم الأميليز ، إذ أن الدقيق يحتوى على نسبة من حيبيات
النشا المتهتكة التى يهاجمها إنزيم البيتا أميليز دون الحيبيات السليمة .
ونظراً لتوفر إنزيم الأميليز مقارناً بكمية حيبيات النشا المتهتكة ،
فإن تكون السكر يتوقف على كمية حيبيات النشا المتهتكة وليس على نشاط
الأميليز . لذلك فزيادة تنعيم الدقيق أثناء الطحن تسبب زيادة فى تحول النشا
بسبب زيادة نسبة حيبيات النشا المتهتكة . ولذلك أصبح مفضلاً الآن تجاهل
الاصطلاحات القديمة وهى نشاط الدياتستيزات diastatic activity أو قوة
الدياتستيزات diastatic power واستبدالها بعدد المتوز maltose figure
أو قيمة المتوز maltose value أو one-hour saccharogenic value .

تحلل النشا إنزيميا :

تتحلل النشا السليمة native starch granules والنشا المتجلتنة available starch بفعل الألفا أو البيتا أميليز أو كليهما معاً . وينقسم التأثير على النشا المتجلتنة إلى سيولة lipuefaction أو تكون دكستريينات dextrinization أو تكون سكر Saccharification.

وتتراوح نسبة حبيبات النشا المهتكة أثناء الطحن حسبما يستدل على ذلك من رقم الملتوز ، بين ١ إلى ٢ في المائة في دقيق القمح اللين ، ٣ إلى ٤ في المائة في دقيق القمح الصلب ، ٦ إلى ٨ في المائة في دقيق قمح الديورم . والحزاء الأكبر من حبيبات النشا في الدقيق يوجد على صورة سليمة غير مهتكة وهذه الحبيبات لا يؤثر فيها إنزيم البيتا أميليز ، وإن كان يعتقد أنه يوجد إنزيم آخر غير معروف طبيعته على وجه التحديد يهاجم هذه الحبيبات السليمة مؤدياً فعل الألفا أميليز ويسمى أميلير النشا الخام raw starch amylase

وتحضر النشا للتجارب الإنزيمية إما بالطحن الخاف أو بتسخينها في الماء حتى نقطة التجلت أو بإحداث الجلتنة بالقولوى وبغليان النشا المائية المحضرة بطريقة Lintner يتحصل على محلول منخفض اللزوجة يناسب تجارب التحلل إلى دكستريينات أو سكريات . وتحضر نشا البطاطا المتجلتنة لتجارب الأميليز . فعند المعاملة بالألفا أميليز يبدو الانخفاض في اللزوجة واضحاً تماماً في بداية التجربة ، ثم باستمرار العمل يبدأ بعد مدة ظهور الدكستريينات والسكريات وكلا الإنزيمين ، الألفا والبيتا أميليز يجللان النشا المتجلتنة منتجين دكستريينات وسكريات ، لكنهما يختلفان تماماً في نوع ناتجيات التحلل النهائية فالألفا أميليز يحول النشا دكستريينات منخفضة الوزن الجزيئى لا تلون محلول اليود وينتج قدر ضئيل من السكر القابل للتخمر ، بينما البيتا أميليز ينتهى تفاعله بتكون دكستريينات معقدة limit dextrin أو

alpha-amylo-dextrin وسكر قابل للتخمر . وتقرب كمية الملتوز المتكون من ستين في المائة من النشا . وبديهي أن ازدواج فعل كل من الألفا والبيتا أميليز يعطى أعلى نسبة ممكنة من السكر . ويمكن أن يقال أن أقصى إنتاج من سكر الملتوز يستلزم وجود كفاية من الألفا أميليز ويعززه البيتا أميليز . فالبيتا أميليز منفرداً ليس قادراً على إحداث سيولة النشا المتجلتنة أو تحويلها إلى دكستريبات أو سكريات أو تحليل النشا غير المهتكة .

فعل الأميليز في الخبيز :

تنقسم عمليات إنتاج الخبز إلى مرحلتين ، أولاهما عملية التخمر الثانية عملية الخبيز . ففي عملية التخمر يظهر تأثير إنزيمات الأميليز عند حدوث تجلن النشا وتأثير درجة الحرارة على نشاط الأميليز . وفي حالة عدم إضافة مستحضرات غنية بالإنزيم إلى الدقيق يكون هذا فقيراً في الأميليز ، لكنه لا يخلو من بعض الألفا أميليز . أما الدقيق المضاف له محسنات فيكون غنياً في كلى النوعين أى الألفا والبيتا أميليز .

ويتأثر نشاط الأميليز في العجينة بدرجة الحرارة والحموضة الفعلية ووجود المنشطات أو المثبطات . ويجب توفر الظروف المناسبة لنشاط الإنزيم أطول فترة ممكنة ليتسنى عمله على النشا المتجلتنة فترة طويلة . مثال ذلك الحموضة الفعلية المناسبة لإنزيم الألفا أميليز فهي pH خمسة في حالة قصر الفترة بينما تقرب من سبعة إذا أريد ثبات الإنزيم أى نشاطه فترة طويلة . أما إنزيم البيتا أميليز فالحموضة الفعلية المناسبة لنشاطه قريبة من تلك التي تناسب ثبات الإنزيم . وتتدخل عوامل الحموضة والحرارة والمدة معاً ، فمثلاً على على درجة ٣٠° مئوية تكون الحموضة المناسبة خلال عدة ساعات هي pH ٤,٥ إلى ٥,٥ . كذلك بارتفاع درجة الحرارة عن ٢٠ إلى ٣٠° مئوية يزداد نشاط إنزيمات الأميليز حتى تصل درجة الحرارة إلى حد معين بعدها لا يزيد ارتفاعها بقدر ضئيل نشاط الإنزيم بشكل ملحوظ ، وتسمى

هذه النقطة درجة الحرارة المثلى . وهذه الدرجة المثلى تعبر عن الاتزان بين الزيادة في نشاط الإنزيم والتفاعل العكسي المسبب لفقد الإنزيم وبتزايد درجة الحرارة عن ذلك يقل النشاط إلى أن يتوقف تماماً . ففي عجينة درجة جراتها ٣٠ مئوية تزداد سرعة الأميليز ويقل الفقد في النشاط الإنزيمي وعند وضع العجينة في الفرن يزداد النشاط الإنزيمي كثيراً ثم يعود للهبوط ، إلى أن يتوقف تماماً عند ما تصل حرارة الحبز الداخلية إلى ٨٠ مئوية .

ومن منشطات الأميليز بعض الأملاح وبعض ناتجات تحلل البروتينات فأيون الكالسيوم يزيد ثبات الألفا أميليز وقد يزيد قابليته للذوبان أي انطلاقه . ونظراً لوجود مثل هذه المواد في العجينة فإن فعلها قد يكون ذا أثر في عملية الحبز . وتوجد مواد مثبطة لنشاط الأميليز في العجينة منها سكر الملتوز نفسه الذي باستهلاكه في عملية التخمر يستمر نشاط الإنزيم .

ويحتوى الدقيق على قدر من حبيبات النشا المهتكة ، وهذه يعمل عليها إنزيم الألفا أميليز مسبباً سيولتها كما يقلل من امتصاصها للماء ، ثم تصبح أكثر قابلية للتأثر بالبيتا أميليز فتتكون الدكستريونات والسكريات . ولهذا فالدقيق الذى يحتوى على كمية كبيرة نسبياً من حبيبات النشا المهتكة تقل قدرته على تشرب الماء ويكون عجينة لزجة في حالة إضافة مواد غنية بالأميليز للعجينة . أما العجينة المفتقرة لإنزيم الألفا أميليز فيستمر بها تكون الملتوز بالقدر الذى تسمح به كمية البيتا أميليز الموجودة ويكون الانخفاض في قدرة العجينة على تشرب والاحتفاظ بالماء قليلاً .

وفي بداية عملية التخمر يستمر تكون سكر الملتوز بتأثير نشاط الألفا أميليز أو إنزيم مشابه على حبيبات النشا المهتكة وغير المهتكة . غير أن هذا القدر من الملتوز المتكون ضئيل للغاية مقارنة بكمية الملتوز التى تنتج

من تحلل النشا المتهتكة ، ولهذا يمكن أن يقال أنه بعد استنفاد كمية السكر الموجودة أصلاً في العجينة يعتبر المصدر الوحيد لسكر الملتوز في العجينة هو حبيبات النشا المتهتكة .

ويعتقد أن التفاوت في صفات العجينة الطبيعية ، خصوصاً من وجهة القوام واللزوجة ، وبين عجينة عادية وأخرى مضاف إليها مولت أو مستحضر أميليز يرجع إلى تحلل جزء من النشا أى إلى نوع الدكسترين المتكون . فالألفا أميلو دكسترين يكون في العجينة ذات الدقيق المفتقر في إنزيم الألفا أميليز بنسبة تقرب من أربعين في المائة من وزن النشا المتهتكة . بينما في حالة توفر إنزيم الألفا أميليز لا يتكون هذا الدكسترين إطلاقاً أو يتكون بنسبة تقل كثيراً عما ذكر .

ويسبب النشاط الإنزيمي أثناء فترة التخمر انخفاض أو تلاشي حبيبات النشا المتهتكة بحيث يصبح إنتاج السكر فيما بعد قاصراً على تحلل حبيبات النشا السليمة ويزداد فعل الإنزيم على الحبيبات السليمة بارتفاع درجة الحرارة إلى حد يقرب من التجلثن ، غير أن كمية التحلل التي تحدث في هذه المرحلة تعتبر ضئيلة مقارنة بالتحلل الذي يحدث في أثناء التجلثن . ومعنى هذا أن التحلل الإنزيمي الذي يحدث داخل فرن الخبز يتوقف على سرعة مرور العجينة بمرحلة تجلثن نشا الدقيق ، وأيضاً على درجة الحموضة الفعلية ووجود أو انعدام العوامل المثبتة للأميليز وكمية ونوع ونقاوة إنزيم الأميليز الموجود في العجينة .

وبديهي أن كمية الأميليز في العجينة بعد عملية الخاط مباشر تتساوى مع كميته في نهاية فترة التخمر . أما درجة تركيز أيون الإيدروجين فتزداد ، مع مراعاة عدم انخفاضها عن pH خمسة أو تكون حوالى ٥,٥ عند الخبز . وتتاثر درجة تركيز الإيدروجين بكفاءة المواد المنظمة في الدقيق وبطول مدة التخمر ونوع المواد المضافة . وتعتبر الدرجة تركيز أيون الإيدروجين

المذكورة مرتفعة عن درجة المثلي لثبات إنزيم الألفا أميليز لكنها تعتبر مناسبة للإبقاء على نشاط إنزيم البيتا أميليز .

ويتأثر مدى الاحتفاظ بنشاط الألفا أميليز عند pH خمسة ودرجة ٣٠° مئوية بأيون الكالسيوم الموجود في العجينة والذي مصدره أملاح الكالسيوم في كل من الدقيق وماء العجن وبعض المحسنات المضافة . وعملياً يحاول البعض استعمال ماء مقطر في العجن غير أنه تحت هذه الظروف يفقد جزء كبير من الألفا أميليز ، لذلك يضاف في مثل هذه الحالة قليل من أيونات الكالسيوم أثناء العجن ، فهذا يحقق ثبات الألفا أميليز في العجينة لكنه برغم تأثيره غير المثبت على إنزيم البيتا أميليز فإن القعد في البيتا أميليز يكون ضئيلاً للغاية .

وفي بداية الخبز يستمر عمل إنزيم الألفا أميليز الموجودة أصلاً في الدقيق وفي المحسنات المضافة ، كما يستمر عمل البيتا أميليز الذي تزداد كميته في هذه المرحلة بسبب تحرر الجزء المرتبط من الإنزيم خلال فترة التخمر . ويتأثر عمل الإنزيم في هذه المرحلة بدرجة حرارة الفرن وبالعوامل الأخرى . فالخبز الذي يزن نصف كيلو جرام ترتفع درجة حرارة لبابته إلى ٦٠ أو ٧٥° مئوية بعد حوالي ثلاث أو أربع دقائق . درجة pH في العجينة عند دخولها الفرن تكون عادة بين خمسة وخمسة ونصف . وعند هذه الدرجة من الحموضة يفقد جزء كبير من نشاط الألفا أميليز خصوصاً عند درجة حرارة مرتفعة ، لكنه بوجود أيون الكالسيوم تبقى كفاية من هذا الإنزيم في مرحلة تجلثن النشا أي عند درجة ٦٠ إلى ٧٥° مئوية . أما البيتا أميليز فتساعد هذه الدرجة من الحموضة على الاحتفاظ به ، ولكن أيون الكالسيوم يسرع من فقدته ، غير أن وجود كمية كبيرة من الإنزيم في البداية تحقق قيامه بوظيفته على در الحرارة العالية . ومن المؤكد أن إضافة مولت أو مستحضرات غنية بالأميليز (م ١٨ - الصناعات الغذائية ج ٢)

بنسبة كبيرة ينتج عنه زيادة في نشاط الألفا أميليز وبالتالي زيادة في تحلل النشا إلى دكستريانات وملتوز مما يسبب تلف صفات الخبز الناتج . وهذا يفسر أيضاً الفرق في صفات الخبز الناتج من طحن حبوب قمح سليمة وأخرى نابتة ، فالحبوب النابتة بها زيادة من الأميليز تحلل جزءاً كبيراً من النشا ، ويتضح ذلك من النتائج التالية :

تجربة ثانية		تجربة أولى		التركيب	القمح
خبز	عجينة	خبز	عجينة		
١٢,٧٤	٧,٧٠	١٦,٨٠	٩,٨١	الجزء الذائب في الماء	عادي
١,٢٦	١,٨٤	١,٠٠	١,٩٤	بروتين	
٢,٨١	٢,١٤	٢,٤٠	—	ملتوز	
٨,٦٧	٣,٧٢	١٣,٤٠	٧,٨٧	مواد غير نروجينية	
٤٣,٠٠	١٨,٠٠	٤٦,٠٠	٢١,٢٦	الجزء الذائب في الماء	منبت
١,٢٣	٢,٢٧	٢,٠٠	٢,٢٥	بروتين	
٥,٦٣	٧,٠٠	٩,٤٠	٦,٩٠	ملتوز	
٣٦,١٤	٨,٧٣	٣٤,٦٠	١٢,١١	مواد غير نروجينية	

وتتلخص أهمية فعل إنزيمات الأميليز في صناعة الخبز في تحويل جزء من النشا ، وهو الحبيبات الممتبكة ، إلى نواتج أخرى ، وفي خفض نسبة هذا النوع من الكربوهيدرات وفي إنتاج مواد أخرى ، ذات طبيعة مختلفة عن النشا وبكميات متفاوتة . فتحلل النشا الممتبكة ذات درجة الامتصاص المرتفعة يتبعه إنخفاض قدرة العجينة على الاحتفاظ بالماء ، ولذلك ففي العجينة المرتفعة الأميليز ينصح بإضافة كمية أقل نسبياً من الماء في العجن بحيث بعد تحلل جزء من النشا يصبح القدر من الماء المتبقى متمشياً مع درجة الإمتصاص . وتؤثر كمية النشا المتحللة على قوام لبابة الخبز وعلى حجمه عن طريق تأثيرها على درجة امتصاص الماء . وهناك أدلة على أن كمية الدكسترين

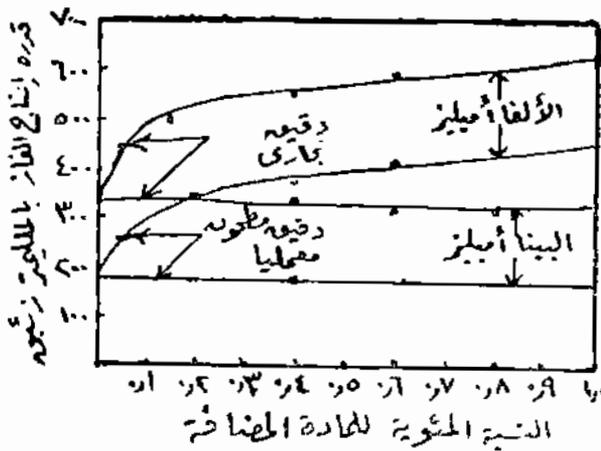
الناتجة من تحلل النشا تؤثر في قدرة العجينة على احتجاز غاز ثاني أكسيد الكربون. ويبدو أن أهم أثر لنشاط إنزيمات الأميليز هو إنتاج سكر الملتوز الذي تستعمله الخميرة، بشرط أن تكون كمية السكر الموجودة أصلاً في العجينة غير كافية للتخمر، أما في حالة إضافة كمية من السكر للعجينة تفي باحتياجات الخميرة وإنتاج الغاز فيصبح الأميليز غير ذي أثر مرموق.

وتؤثر البنتوزانات في التخمر وإنتاج الغاز. وقد لوحظ أن قدرة هذه البنتوزانات على تكرون جل عند معاملةها بمواد مؤكسدة تنعدم بوجود المولت أو ردة القمح أو مستخلص جنين القمح، وهذا يشير إلى احتمال احتواء مثل هذه المواد على إنزيم يحدث هذه الحالة.

المواد الغنية بالأميليز المضافة :

عرف تأثير إضافة المولت في صناعة الخبز منذ عهد Jago عام ١٨٨٦ إلى ١٨٩٥ وعزى Baker and Haton عام ١٩٠٨ تأثيره إلى إنزيم الأميليز. وقد ثبت فيما بعد أن إنزيم الألفا أميليز في المولت هو المسبب لزيادة إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون في العجينة وزيادة ليونة العجينة وزيادة حجم الخبز. ويمكن الإثبات عملياً أن حجم الخبز يزداد في حالة معالجة الدقيق المنقى في السكر بإضافة قدر من المولت إليه، وأن الإنزيم المؤثر في هذه الحالة هو الألفا أميليز، كما هو واضح في نتائج التجارب التالية :

المولت المضاف	نشاط البيتا أميليز	نشاط الألفا أميليز	الزيادة في حجم الخبز	مدة الإنضاج إلى ارتفاع ٩,٥ سم
غير معاملة	وحدة	وحدة	سم مكعب	دقيقة
معاملة بالحرارة	٨,٠	٥٠,٠	٦٤	٤٦
معاملة بالحرارة	٠,٠	٥٠,٠	٥٥	٤٧
معاملة بالحرارة	٠,٠	٤٠,٠	٤٧	٤٦
معاملة بالحرارة	٠,٠	٣٠,٠	٤٥	٤٧
معاملة بالحرارة	٠,٠	٢٠,٠	٢٦	٤٦
معاملة بالحرارة	٠,٠	١٠,٠	٢٢	٤٧
معاملة بالحامض	١٢,٤	٤,٨	١٢	٤٦
معاملة بالحامض	٦,٢	٢,٤	٠	٤٦



(شكل ٨٧)

تأثير إضافة الألفا والبيتا أميليز على قدرة الدقيق على إنتاج الغاز .

وتتلخص أغراض إضافة المولت والمواد المشابهة التأثير إلى العجينة فيما يلي :

- ١ - زيادة كمية الغاز الناتجة .
- ٢ - تحسين لون قصرة الخبز .
- ٣ - زيادة رطوبة لبابة الخبز وإطالة مدة حفظه .
- ٤ - تحسين نكهة الخبز .
- ٥ - زيادة قدرة العجينة على الاحتفاظ بالغاز .

وترفع نسبة الألفا أميليز في أي مرحلة من مراحل تداول القمح او الدقيق أو العجينة . فخلط القمح السليم بنسبة من الحبوب النابتة يزيد من كمية الأميليز . وقد تضاف مستحضرات الألفا أميليز للدقيق بعد الحصول على الإنزيم من الحبوب النابتة أو من الفطر أو من البكتريا أو من الحيوانات . وأكثر هذه المصادر استخداماً هو مولت الشعير أو مولت القمح . وفي الإمكان استعمال مولت الشيلم أو الزمير أو السورجيم أو النيرة ، إلا أنه يذكر أن كمية أنزيم البيتا أميليز في هذه الحبوب منخفضة خصوصاً في النيرة والسورجيم . ويلاحظ أن تلوث الحبوب بالفطر والبكتريا يرفع من نسبة الأميليز ، كما هو الحال في البكتريا المسببة لتحسب الخبز *Bacillus mesentericus* ، لكنه لا ينصح بطحن الحبوب الملوثة من أجل تحقيق هذا الغرض . فقط يمكن أن يستخلص الأميليز من هذه الأحياء الدقيقة ويضاف على حالة نقية .

وينمو الفطر *Aspergillus oryzae* على ردة القمح ، وهو يتميز بإنتاج كمية وافرة من الألفا أميليز . لذلك تضاف ردة الفطر هذه إلى الدقيق أو يستخلص منها الإنزيم ويضاف للدقيق . ويتصف مستحضر الأنزيم بعدم مقاومته للحرارة العالية . ويتميز هذا المستحضر بإمكان تحضيره في وقت قصير أي أن كميات كبيرة من الإنزيم تتكون خلال يومين أو ثلاثة . وفي الصناعة تحضر كميات كبيرة من الإنزيم بتسمية سلالات من *B. subtilis* أو *B. mesentericus*

والإنزيم في هذه الحالة يتميز بمقاومته للحرارة العالية فنشاطه يستمر فترة أطول داخل فرن الخبز وهذا يتلف من صفات لبابة الخبز .

والأميليز الحيوانى ، أى أميليز البنكرياس ، شائع الاستعمال أيضاً . وهو يتميز بثباته على درجة الحرارة المرتفعة مثل أميليز الفطر وبيتا أميليز الحبوب . والحموضة المثلى لهذا الإنزيم هى pH سبعة تقريباً ، وهى درجة من الحموضة لا توجد عادة فى العجينة مما يجعل استخدام هذا الإنزيم فى صناعة الخبيز غير ذى نفع . ويلاحظ أيضاً أن تحضير الإنزيم الحيوانى باهظ التكاليف نسبياً .

ومن ذلك يتضح أن أسهل الطرق لتدعيم العجينة بإنزيم الأميليز هى إضافة مولات الحبوب أو مولات الفطر . ويستعمل المولت إما فى صورة حبوب نابتة أو دقيق الحبوب النابتة أو مستخلص المولت أو عسل المولت . وحالياً توجد مستحضرات أميليز على حالة متبلورة يمكن تخفيفها بنشا القمح أو بدقيق القمح .

أهمية تقدير نشاط الأميلاز :

نظراً لإمكان إضافة مواد غنية بالأميليز للدقيق فليس من الضرورى اختبار نسبة الأميليز فى الدقيق أصلاً . لكنه فى حالة احتواء الدقيق على كمية زائدة من الأميليز فن الواجب إذن التعرف عليها . ولذلك يجرى البعض اختبار رقم الكسترين على عينات الدقيق .

ويقدر نشاط الأميليز فى الدقيق بطرق متعددة منها تقدير كمية الغاز الناتج ،

وتقدير قيمة الملتوز بالتحلل الذاتي ، وتقدير رقم الملتوز ، وتقدير نشاط الألفا أميليز .

ويجرى اختبار الغاز الناتج على عجينة قوامها الدقيق والماء والخميرة دون حاجة إلى إضافة ملح الطعام أو السكر أو المواد المؤكسدة ، مع مراعاة التحكم في درجة الحرارة والوقت ونسبة كل من الدقيق والماء والخميرة . فكمية الغاز يزداد بزيادة نشاط الأميليز .

وفي اختبار رقم الملتوز بالتحلل المائي للدقيق المعلق في الماء لمدة ساعة لوحظ أن الوقت لا يكفي لتحلل النشا ذات الدرجة المتوسطة من المقاومة كما أن السكريات الغير مختزلة الموجود أصلاً في الدقيق لا تؤخذ في الاعتبار . فنتيجة التقدير تدل على مدى مقاومة النشا للتحلل المائي الإنزيمي كما تدل دلالة محدودة على كمية الألفا أميليز في الدقيق . لذلك يعتقد أن رقم الملتوز لا يدل دلالة صادقة على قدرة الدقيق على إنتاج الغاز أثناء التخمر .

وفي بعض الأحيان يستخلص إنزيم الأميليز وتجري عليه تجارب التقدير باستعمال النشا ، غير أنه يتضح أن النتائج في هذه الحالة لا تمثل ما يحدث في العجينة .

لاختبار المواد المضافة تقدر كمية إنزيم الأميليز مباشرة في المادة أو يقدر نشاط الإنزيم تحت ظروف مشابهة لما يحدث في العجينة أثناء التخمر أو يقدر تأثير الإضافة أي تأثير الأميليز بمشاهدة الأثر الذي يتركه في صفات الخبز . وقد تجرى عدة تجارب على الدقيق بإضافة كميات متفاوتة من المادة الغنية في الإنزيم وتقدير رقم الملتوز وكمية الغاز الناتجة ومنها يتعرف على أنسب كميات تضاف للدقيق .

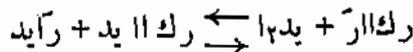
الإستيريزات

ينتمي الإسم « إستيريزات » إلى مجموعة الإنزيمات المحللة للدهون والإسترات، فهي تشمل الليبيزات وأستيريزات حمض الفوسفوريك والأحماض الدهنية. وقد تقسم هذه الإنزيمات إلى ليبيزات lipolyticenzymes or lipases وأستيريزات بسيطة simple esterses ، والأولى تختص بتحليل جليسيريدات الأحماض الدهنية . لكنه لا يغفل أن عددا من إنزيمات الأستيريزات يحلل كلاً من الجليسيريدات والإسترات البسيطة . وهناك أستيريزات أخرى تعرف بإسم كلوروفيليز وليسيثينيز وفوسفاتيز ، والأخيرة منها ذات أهمية في عمليات الطحن والخبز .

وتوجد الليبيزات في فول الصويا وبلرة القطن وحبوب الشعير والذرة ووالقمح وبنور الخروع . كما تحتوي الحبوب على إنزيم الفيتيز phytase أيضاً ، وهو يحلل حمض الفيتيك وأملاحه إلى إينوزيتول وحمض فوسفوريك .

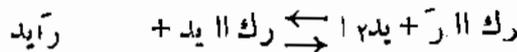
تقدير نشاط الإستيريزات :

يمثل فعل الإنزيم بالتفاعلين التاليين :



ليبيز حمض دهني + جليسرول

مرتفع الوزن الجزيئي



حمض دهني بسيط + كحول أحادي الكربون

وتعتمد طريقة تقدير نشاط الأستيريز على تقدير الارتفاع في الحموضة

تحت ظروف ثابتة من الحرارة والوقت ودرجة تركيز أيون الأيدروجين ، وذلك بالتعادل . كذلك في طريقة أخرى قد يقدر الجليسول الناتج عندما يكون التفاعل عبارة عن تحلل الجليسريدات . كذلك قد يقدر التغير في مقدار الجذب السطحي في حالة تحلل إسترات الأحماض الدهنية ذات الوزن الجزيئي المنخفض ، فتحلل الإستر يسبب لإرتفاع الجذب السطحي ويستدل على ذلك بانخفاض عدد نقط السائل التي تتساقط من الماصة أو من جهاز stalagmometer . وفي طريقة أخرى يستعمل التقدير المانومتري manometric determination حيث تقدر كمية الحامض المتكون عن طريق قياس حجم غاز ثنائي أكسيد الكربون المتولد من تأثير الحمض على محلول بيكربونات معلوم القوة . ومن الطرق المتبعة أيضاً تقدير التغير في مدى تحويل الضوء في حالة تحليل مواد لها القدرة على تحويل الضوء . optically active .

وتحسب نتائج تقدير نشاط الإنزيم بمعرفة حجم المحلول القلوي العياري الذي يلزم لمعادلة الحامض المتكون . كذلك قد يحدد النشاط بوحدة أخرى منها النسبة المئوية للمادة المتفاعلة Substrate ، أو عدد جزيئات الجليسريد الثلاثي المتحللة . وأشهر طرق تقدير نشاط الليبيزات تملخص فيما يلي :

في طريقة Lang and Holter تكون المادة المتفاعلة بيوتيرات الميثايل والمادة المنظمة جليسين وإيدروكسيد صوديوم ويجرى التعادل بحامض مخفف . فحمض البيوتريك المتكون يتعادل مع المحلول المنظم القلوي ، فالإنخفاض في القلوية إذن يكون نتيجة النشاط الإنزيمي . ورقم pH المستخدم هو ٨,٢ .

وفي طريقة Sullivan and Howe يوضع نصف جرام من القمح المطحون الناعم في عشرة مليلترات ماء ومليلترين تولوين وعشرة مليلترات محلول منظم ومليلتر واحد من محلول المادة المتفاعلة أو جرام واحد من

الدهن الصلب ، داخل دورق مخروطي سعة ربع لتر على درجة ٣٧,٩[°] مئوية لمدة ٢٤ ساعة . وفي نهاية المدة يضاف مائة مليلتر من مخلوط الأستون والإيثير بنسبة ٣ إلى ١ ، ويجرى التعادل بمحلول إيدروكسيد صوديوم عشر أساسي باستعمال دليل الفينول فتأين بتركيز واحد في المائة . ويعبر عن نشاط إنزيم الليباز بعدد ملياترات محلول إيدروكسيد الصوديوم المستعملة ويجب إجراء اختبار بلانك باستعمال نفس المواد مع الغليان قبل بداية فترة التحضين .

وفي طريقة^٢ Willstatter and Memmen يقدر نشاط الإنزيم بوحدات بيوتيريز B.E. وهي عبارة عن كمية الإنزيم التي إن وجدت في ٥٧ مليلترا محلول بيوترين ثلاثي مشبع ومليلترين محلول منظم مناسب ومليلتر معلق إنزيم تسبب انخفاض عدد النقاط المتساقطة من جهاز استلاجنومتر أوستوالد (الذي يعطى ستين نقطة ماء مقطر في الدقيقة) بمقدار عشرين نقطة بعد مضي خمسين دقيقة على درجة ٢٠[°] مئوية .

وفي طريقة Olcott and Fontaine توزن العينة وتوضع في زجاجة ويضاف إليها مليلتر واحد من المادة المتفاعلة وثلاث مليلترات ماء ومليلتر محلول منظم وتسد فوهة الزجاجة وترج ستة عشر ساعة على درجة حرارة الغرفة ثم تعامل المحتويات بقوة الطرد المركزي . ويغسل الراسب أربع مرات بمحلول الأيزوبروبانول في إيثير البترول بنسبة ٢ إلى ١ ، ويضاف ماء الغسيل المنفصل بعد الطرد المركزي إلى السائل السابق فصله عن الراسب بقوة الطرد المركزي ، ويعادل السائل جميعه بمحلول إيدروكسيد صوديوم في البروبانول المشابه قوته عشر أساسي باستعمال أزرق الأنيلين كدليل .

تحضير الإنزيم :

يستعمل في تجارب إنزيمات الليباز نفس المواد النباتية المحتوية على

الإنزيمات ، أو يستخلص الدهن من هذه المواد باستعمال الأسيتون أو الإيثير . ويتأثر النشاط الإنزيمي بدرجة نعومة المادة ، فكلما صغر حجم الحبيبات كلما زاد النشاط . وليس من الجدى تركيز الإنزيم باستخلاصه بالجليسرول لأن الإنزيم قليل الذوبان في معظم المذيبات العضوية وفي الماء . وقد يحاول البعض طحن الحبوب مع الماء لاستخلاص الإنزيم ثم معاملة المستحلب الناتج بالطرد المركزي لتركيزه . وقد يزداد التركيز في هذه الطريقة الأخيرة بطريق الادمصاص على Kieselguhr أو بالمعاملة بحامض كلوردريك مخفف أو محلول صودا كاوية مخفف أو محلول ملحي مخفف لفصل البروتين . غير أنه لوحظ عملياً أنه من الأفضل عدم التمادى في تنقية الإنزيم .

وفي تجارب تقدير نشاط الليبازيراعى التحكم في تركيز المادة المتفاعلة . كما أن طبيعة المادة المتفاعلة تؤثر في التفاعل ، فالشائع هو استعمال جليسيريدات منخفضة الوزن الجزيئي أو إسترات بسيطة ، كما قد يستعمل زيت الزيتون المستحلب . فنتائج التبادل تكون منخفضة في حالة استعمال جليسيريدات مرتفعة الوزن الجزيئي كالبالميتين الثلاثي والاسيتارين الثلاثي والدهن المستخلص من القمح ، ويعلل ذلك بقلة قابلية هذه الجليسيريدات المركبة للذوبان في الماء . وأنسب مادة متفاعلة لتجارب الليبازات هي الجليسيريد المتجانس القابل للذوبان الذي يسمح بقياس النشاط بطريقة التبادل خلال فترة قصيرة نسبياً

الحموضة والحرارة المثلى للإنزيم :

تختلف درجة pH المثلى للإنزيم باختلاف طبيعة المادة المتفاعلة وإضافة المنظمات . ففي تجارب متنوعة وجد أن قيمة pH المثلى كانت ٧,٢ ، ٨,٢ ، ٨,٥ ، ١٠,٥ ، ٧,٤ وأحياناً ٤,٥ إلى ٥,٠ .

أما درجة الحرارة المثلى للإنزيم فلم تحدد تماماً ، والشائع هو إجراء التجارب على درجة ٣٨° مئوية فيما عدا تجارب الاستلاب جو مرفق تجري على درجة ٢٠° مئوية .

الليبيزات في خدمات الخبز :

تحتوى حبوب القمح على إنزيم استيريز يتركز معظمه في الطبقات الخارجية للحبة . ويزاد نشاط الإنزيم بارتفاع رطوبة الحبة وبحدوث الإنبات ، بينما ينعدم النشاط بالتسخين إلى درجة ٦٠° مئوية لمدة ثلاث ساعة . وقد لوحظ أن النشاط الإنزيمي في حبوب القمح الصلب أكثر منه في حبوب القمح اللين . ويزداد نشاط الإنزيم على جلسريدات الأحماض الدهنية عنه على الاسترات المقابلة . فالتحلل يكاد يكون كاملاً في حالة جلسريدات الأحماض الدهنية المنخفضة الوزن الجزيئي مثل الأسيتين الثلاثي والبروبيونين الثلاثي .

وفيما يلي مقارنة لنشاط الإنزيم في القمح بعد استخلاصه بطرق متعددة وإستعماله في تحليل الأسيتين الثلاثي على درجات متفاوتة من تركيز الإيدروجين :

رقم p ^H :						مصدر الإنزيم
٥,٢	٥,٨	٦,٣	٧,٤	٧,٧	٥,٨	
مليالترات الصودا الكاوية عشر أساسى :						
١٤,٤	١٧,٩	٢٠,١	٢٥,٩	٢٧,٤	٢٢,١	قمح ساكن
١٢,٨	١٧,٦	٢١,٨	٢٧,٠	٢٩,٠	٢٣,١	غير مستخلص
١٤,٦	١٧,٥	٢١,٣	٢٥,٩	٢٨,٠	٢٢,٦	مستخلص بالتلوين
٢,٥	٣,٢	٤,٥	٣,١	٢,٩	٢,٥	مهضوم بالتريسين وغير مستخلص
٢,٠	٣,٣	٤,٠	٣,١	٤,٢	٣,١	مهضوم بالتريسين ومستخلص بالإيثير
—	—	—	٣٢,٥	٢٤,١	١٩,٥	الراشح بعد الهضم بالتريسين
٣,٢	٣,٧	٤,٠	٤,٠	٣,٠	٣,١	مهضوم بالدياستيز ومستخلص بالإيثير
—	—	—	١٩,٠	١٩,١	١٣,٥	الراشح بعد الهضم بالدياستيز
—	—	—	١٩,٧	١٩,٧	١٣,٦	مستخلص الخليسرول
٣,٨	٦,٣	٧,٨	٩,٢	١٠,١	٧,١	مستخلص بالماء
٦,٨	٨,٩	١٢,٦	١٦,٩	١٧,٩	٨,٤	الراشح بعد الاستخلاص بالماء
١٦,٥	١٨,٤	٢٢,٠	٢٧,٥	٢٩,٠	٢٢,٥	قمح ناب

ولا توجد علاقة بين نسبة الإنزيم ونسبة الدهن في الحبوب ، لكن النشاط يتأثر بدرجة نضج الحبوب ويزداد بطول فترة التخزين كذلك يزداد نشاط الليبيز في حالة الإنبات خصوصاً عندما تكون المادة المتفاعلة جليسيريدات ثلاثية مرتفعة الوزن الجزيئى . وفي الحبوب وجد أن أعلى نسبة للإستيريز توجد في القصة ، وأن نشاط هذا الجزء من الإنزيم ينخفض عند الإنبات ويحتوى الإندوسبرم على كمية من الإنزيم أقل مما فى القصة ، وهذه الكمية ترتفع خلال الإثني عشر ساعة الأولى من الإنبات ثم تعود للانخفاض سريعاً . وفي الحبوب النابتة تتركز أكبر كمية من الإنزيم في الفلقات ، وهذه الكمية تزداد خلال الإثني عشر ساعة الأولى من الإنبات ثم تعود للانخفاض سريعاً . ويحتوى الدقيق العادى الدقيق الأسمر على كمية من النشاط الإنزيمى تزيد على نظيرتها في الدقيق الفاخر وفي الخنن وفي الردة . والكمية من الإنزيم الموجود في الردة وأغلفة الحبة قليلة نسبياً وهي لا تتغير أثناء الإنبات .

ويحتوى اللبن أيضاً على قليل من إنزيم الليباز . وتحتوى الخميرة على كمية من الليباز باستعمالها على زيت الزيتون يكون pH المناسب ٦,٦ إلى ٦,٨ ودرجة الحرارة المثلى ٣٠ مئوية . ويتلف الإنزيم بتسمم الخميرة بالكلووروفورم أو خللات الإيثانيل أو الأثير أو غيرها . وتحتوى الخميرة أيضاً على فوسفاتيزات تحلل فوسفات الفينيل وكذلك الألفا أوالبيتا جليسر فوسفات . وكذلك تحتوى الخميرة على بر وفوسفاتيز .

والليبازات التى يعمل عليها الإنزيم تتوزع فى منتجات طحن القمح الصلب بالنسب التالية :

قمح	٣,٠ %	دقيق أسمر	٢,٢ %
دقيق فاخر	١,٣ %	ردة	٦,٥ %
دقيق عادى	١,٦ %	سن	٧,٥ %
دقيق مسمر	٢,٧ %	جنين	١٥,٥ %

وتتكون ليبيدات جنين القمح من أربعة فى المائة مادة غير متصبنة وأربعة إلى عشرة فى المائة ليسيتين وكفالين وحوالى ٨٦ إلى ٩٢ فى المائة جليسريدات ثلاثية . وبالتحليل تعطى هذه الجليسريدات الثلاثية المختلطة ١١,٨ فى المائة حمض بالميتيك ، ٣,٠ فى المائة حمض استياريك ، ١,٢ فى المائة حمض ليجنوسيرك ، ٢٨,١ فى المائة حمض أوليك ، ٥٢,٣ فى المائة حمض لينوليك ٣,٦ فى المائة حمض لينوليك . وتباغ نسبة الأحماض الدهنية المشبعة حوالى ١٦ فى المائة . ولا توجد جليسريدات تامة التشبع إطلاقاً ، فالدهن يتكون معظمه من خليط من جليسريدات حمض مشبع وآخرين غير مشبعين مع جليسريدات جميع أحماضها غير مشبعة .

ويحتوى الدقيق على أحماض طيارة بنسبة أعلى منها فى جنين القمح . وأكثر الأحماض الدهنية المشبعة وجوداً هو البالميتيك ، أما الأحماض غير

المشبعة في الدقيق وفي الحنين أيضاً فهي : الأوليك ، واللينوليك ، واللينوليك ، وأعلاها نسبة هو اللينوليك .

وتتكون الدهون المستخدة في الخبز كالتزبد والمسلى البنائى من جلسريدات قوامها سلسلة أحماض دهنية طويلة مستقيمة أحادية العدد تحتوى على أحماض تبدأ من البيوتيرك إلى الليجنوسيرك ، والجزء الغالب هو الأحماض الدهنية ذات العدد من ذرات الكربون المترواح بين ١٦ ، ١٨ ، وبعض الأحماض مشبع ، والبعض به روابط زوجية أو ثلاثية أو رباعية . وفي كثير من الأحيان يكون حمض الأوليك هو أكثر الأحماض غير المشبعة وجوداً .

وتعتبر نسبة الدهن في كل من الخميرة والابن والمولت وخامات الخبز الأخرى ضئيلة للغاية ولا تؤثر على عمالية التخمر .

فعل الإنزيمات المحللة للدهون :

تزداد حموضة الدهن في حبوب القمح أثناء تخزينها ، وتعزى هذه الزيادة إلى نشاط إنزيمات الليباز . ويزداد التحلل بارتفاع درجة حرارة الحبوب المخزونة ، وارتفاع درجة حرارة التخزين . ويحدث نفس التحلل في الدقيق أثناء تخزينه . والإنزيم الفعال في التحلل هو إنزيم القمح وليس إنزيم النطريات الملوثة للقمح . ويسبب هذا التحلل ضعف قوة الحلوتين فتقل مرونته ويتمزق بسهولة .

وقد لوحظ أن الأحماض الدهنية غير المشبعة تلتف صفات الخبز عندما تنأكد إذ تصبح العجينة ميتة dead وحجم الخبز صغيراً وطعم ونكهة الخبز فقيرين . وفي أثناء التخزين يتعرض الدقيق لكلى النوعين من التزنخ ، أى

الأكسیدی والتحللی أما المنتجات المخبوزة فتزخرها من النوع الأكسیدی فقط .

ويظهر التلف بدرجة أسرع في الدقيق الأسمر عنه في الدقيق الفاخر ، وفي دقيق القمح اللين عنه في دقيق القمح الصلب ، وفي الدقيق المبيض عنه في غير المبيض . وقد أصبح مألوفاً في بعض الدول تحديد حد أقصى لحموضة الدهن في الدقيق المستورد .

وفي عملية التخمر برغم مناسبة الظروف لنشاط إنزيمات الليباز ، إلا أن هذه الإنزيمات لا تسبب تأثيراً يذكر في العملية .

الفوسفاتيزات :

يحتوى الدقيق على فوسفاتيزات أى فوسفواستيريزات . ويحتوى رجيع الكون على phosphomonoesterase بعضه حر قابل للذوبان في الماء وبعضه مرتبط ودرجة الحموضة المثلى له هي $pH 5.5$ و phosphodiesterase . ويحتوى الأرز والشعير والذرة على إنزيم pyrophosphatase ، ويحتوى القمح على إنزيم adenosinetriphosphatase البالغ الأهمية . وإنزيمات الفوسفاتيز هذه ذات أهمية بالغة في عمليات تمثيل الكربوهيدرات أثناء إنبات الحبوب وكذلك في الحيوانات .

ويحتوى الأرز والشعير على استيريز يعرف باسم الفيتيز الذى يحلل الفيتين أو حمض الفيتيك إلى أينوزيتول وحمض فوسفوريك ، ويوجد الجزء الأكبر من الإنزيم في البريكارب . ويستخلص هذا الإنزيم بالماء على درجة ٢ إلى ٣ مئوية ويرسب بترشيح المستخلص واستقبال الراشح في كحول إيثايل . ويحتوى الدقيق على حوالى تسعة في المائة من فوسفور الردة ، والقدر من هذه الكمية الذى يوجد مرتبطاً مع حامض الفيتيك يتراوح بين ٢٤ ،

٣١ في المائة ، أى أنه قدر ضئيل . أما الكالسيوم والمغنسيوم في الدقيق فيقل امتصاصهما بوجود حمض الفيتيك ، ولذلك يراعى تدعيم الدقيق الأسمر بكمية من الكالسيوم . وهناك اعتقاد أن حمض الفيتيك يحول دون امتصاص الحديد أيضاً .

ونظراً لوجود إنزيم الفيتيز فإن حوالى ٨٥ في المائة من حمض الفيتيك يتلف بتأثير الإنزيم أثناء عمليات الخبز .

إنزيمات الأكسدة

تلعب إنزيمات الأكسدة دوراً هاماً في تنفس وإنبات الجيوب وفي عملية التخمر . وفي الواقع إن عملية التخمر ما هي إلا عملية تنفس لاهوائى وتمثيل الغذائى يتضمن سلسلة من التفاعلات التى تؤثر فيها إنزيمات الأكسدة .

وتعرف الأكسدة بأنها فقد إلكترونات سواء صحب ذلك فقد إيدروجين أو لم يصحبه . ويعرف الاختزال بأنه إكتساب الكترولونات مع أو بدون إكتساب أكسجين . وهذا يفسر خطأ تسمية بعض الإنزيمات المؤكسدة باسم نازعات الأيدروجين dehydrogenases إذ أن هذه الإنزيمات لا تنزع الإيدروجين فى كثير من الحالات . والمعروف أن انتقال الإلكترونات من المادة المتفاعلة إلى الأكسجين يحدث نتيجة لعدة عمليات تتضمن الكثير من الإنزيمات المساعدة والتفاعلات العكسية . لذلك فن الأوفق أن يقسم نظام الأكسدة والاختزال إلى :

‘phosphopyridine neocleotide ، copper-protein ، iron-porphyrin
lipoxidase ، oxalase ، other dehydrogenases ، flavin systems
إنزيمات الحديد :

(١) الكتاليز : التفاعل الوحيد الذى يؤثر فيه الكتاليز الذى يعتبر

إنزيم iron-porphyrin هو تحليل فوق أكسيد الإيدروجين إلى ماء وأكسجين ، ولذلك فالإنزيم يقدر بتقدير كمية الأكسجين المتولد أو كمية فوق أكسيد الإيدروجين غير المتحللة في نهاية مدة معينة . ويشبط الإنزيم بوجود حمض الإيدروسيانيك وكبريتيد الإيدروجين . وبالاحساب وجد أن الكتاليز المتبلور يحتوى على أربعة مجاميع هيماين .

ويبلغ نشاط الكتاليز المنروية في الردة وطبقات حبوب القمح الخارجية ، بينما يصل إلى حده الأدنى الأندرسبرم . لذلك فالنشاط الإنزيمي يزداد ارتفاع نسبة استخلاص الدقيق أى باستمرار لونه . وهذا يفسر أيضاً تمشى النشاط الإنزيمي للكتاليز طردياً مع نسبة الرماد في الدقيق ، ولهذا يقدر نشاط الكتاليز أحياناً ويعتبر دليلاً على نسبة استخلاص الدقيق . لكنه يعتقد أن هذه الطريقة الأخيرة أيسر سليمة حيث وجد أن النشاط الإنزيمي في عينات دقيق متشابهة يتفاوت تبعاً لمصدر عينات القمح وتبعاً لموسم زراعة القمح . وينخفض النشاط الإنزيمي أيضاً بتبييض الدقيق بثالث كلوريد النروجين أو بفوق أكسيد البنزويل ، وكذلك بطحن الدقيق في ball mill ، ويتخزينه على درجة حرارة الغرفة العادية . ويعوق إنزيم الكتاليز وجود الكلور أو الكلورات أو فوق الكلورات أو البرومات أو اليودات أو فوق اليودات أو فوق الكبريتيت في الدقيق . ويضعف نشاط الكتاليز في تحليل فوق أكسيد الأيدروجين بوجود نسبة ضئيلة من مواد مخترلة كحمض الأسكوربيك وحمض المالليك وكلوريد القصديروز وحمض الكارمينيك والفورمالدهيد والبيروكسيدات . والصعوبة التي تصادف تبييض الدقيق بفوق أكسيد الإيدروجين ترجع إلى وجود إنزيم الكتاليز . ويمكن التحكم في نشاط إنزيم الكتاليز في الدقيق بإضافة نسبة ضئيلة محددة من حامض الأسكوربيك كمادة مخترلة .

ويزداد نشاط الكتاليز سريعاً خلال الأربعة أيام الأولى من الإنبات ثم يعود للهبوط خلال فترة النمو بتأثير بعض المواد التي توجد في النبات .

ويعتبر فعل إنزيم الكتاليز الوسيلة للتخلص من الكميات الزائدة من فوق أكسيد الإيدروجين السام المتكون في عمليات التنفس وغيرها والذي يعرقل سير تفاعلات الأكسدة والاختزال في مجراها الطبيعي .

وفي بعض تجارب الحبيز أمكن التعرف على مدى إصابة الحبيز بيكتريا التحييل *B. mesentericus* بتقدير نشاط الكتاليز في الحبيز عن طريق تقدير كمية الأكسجين المتكون .

(ب) البيروكسيديز : يحتوي إنزيم البيروكسيديز على حديد ، وهو يعمل على أكسدة عدد كبير من الفينولات والأمينات الحلقية ، وفي وجود فوق أكسيد الإيدروجين ، مثل الجوايا كول والبنزيدين والهيدروكينون والبيروجالول والأرثوفينيلين داي أمين . ويوجد هذا الإنزيم في معظم النباتات . ويقدر الإنزيم بأكسدة البيروجالول وتقدير البريروجالين *purpurogallin* المتكون بالتعادل أو بالمقارنة بمحاليل ملونة قياسية .

يزداد نشاط البيروكسيديز أثناء إنبات حبوب القمح حتى يصل حده الأقصى بعد حوالي ثمانية أيام ثم يعود للهبوط . ويبدو أن نسبة الإنزيم في الردة أعلى منها في أجزاء حبوب القمح الأخرى . ويوجد الإنزيم في جميع الحبوب .

وتؤكسد المواد المختزلة في الدقيق بإضافة مواد مؤكسدة كالبرومات أو الآجين ، وقد تستبدل هذه بمخلوط من إنزيم البيروكسيديز وفوق أكسيد إيدروجين ١،٠ في المائة وحمض لكيتك ٠،٢ في المائة ، ولكن استعمال هذا المخلوط الأخير نادر الحدوث .

(ج) السيتوكروم أو أكسيديز :

يعرف من السيتوكروم الإنزيمات ا ، ب ، ج وجميعها تحتوي على حديد

وتتميز عن بعضها باختلاف امتصاصها للضوء . ويوجد إنزيم السيتوكروم ج أو كسيديز الذى كان يعرف قديماً باسم الاندوفينول أو كسيديز . ويساعد السيتوكروم أو كسيديز على أكسدة إنزيمات السيتوكروم التى لا تتأكسد ذاتياً ، ويتأكسد هو بفعل الأكسجين . ومثبطات إنزيم السيتوكروم أو كسيديز فى حبوب القمح هى حمض الإيدروسيانيك وأزيد الصوديوم وأول أو كسيد الكربون . ويضاد الضوء المرئى فعل أول أو كسيد الكربون المثبط .

إنزيمات النحاس :

(١) التيروزينيز : يعتمد هذا الإنزيم ، كباقى إنزيمات المعادن ، على أيون المعدن فى نقل الألكترونات إلى الأوكسجين . وهذا الإنزيم يعمل على أكسدة كثير من المركبات الفينولية كالفينول والباراكريزول والكاتيكول والتيروزين . ويقدر نشاط الإنزيم بتقدير كثافة اللون المتكون عند معاملة لفينول أو التيروزين بالإنزيم ، أو يقدر بحساب كمية الأوكسجين التى تؤخذ باستعمال جهاز الواربورج Warburg . وتتراوح درجة تركيز أيون الأوكسجين المثلى بين $pH 8.5$ تبعاً لطبيعة المادة المتفاعلة والمنظم .

ويوجد التيروزينيز فى حبوب القمح ، ويبدو أن الجزء الأكبر منه يوجد فى الردة . كذلك يعتقد أن تركيز الإنزيم فى حبوب القمح متعلق بالعوامل الوراثية ، ولذلك أجريت بعض التجارب لتمييز أصناف حبوب القمح باختبار وزينيز . للتبر .

(ب) الأسكوربيك أسيد أو كسيديز :

يعمل هذا الإنزيم على حمض الأسكوربيك اليسارى محولاً إياه إلى صورة مؤكسدة dehydro . ويقاس نشاط الإنزيم بتقدير كمية الأوكسجين المأخوذ فى جهاز واربورج أو بمعادلة ما يتبقى من حمض الأسكوربيك

بواسطة صبغة 2, 6 dichlorophenolindophenol .

وباعتبار حمض الأسكوربيك مادة مخترلة ، ومحسنات الدقيق مواد مؤكسدة ، فن الممكن إضافة حمض الأسكوربيك لتحسين صفات الدقيق لوني وبديهي أن الحمض المؤكسد يكون أكثر فاعلية . وفي حالة إضافة الحمض غير المؤكسد فإنه يتأكسد بفعل الإنزيم الدقيق ، ويقوم الجلوتاثيون في هذه الحالة بعمل وقائي . وهناك أدلة على أن d- isoascorbic acid يفيد في تحسين صفات العجينة .

الفوسفوربيريدين نيوكليوتيدو الفلافين :

جميع تفاعلات الأكسدة والإختزال تتضمن إنتقال الألكترونات . وتسمى الإنزيمات أو الإنزيمات المساعدة المتعلقة بهذه العمليات في كثير من الأحيان بنازعات الإيدروجين dehydrogenases ويقاس نشاط هذه الإنزيمات باستعمال صبغة أزرق الميثيلين أو الثيونين أو بتقدير الأكسجين المأخوذ في وجود الإنزيم المساعد باستعمال جهاز الواربورج .

(أ) الهكسوزداي فوسفات ديهيدروجينيز :

يحتوي الدقيق ، خصوصاً الأسمر ، على إنزيم ديهيدروجينيز يزيل لون صبغة - أزرق الميثيلين خصوصاً في وجود فوسفات الهكسوزوالإنزيم المساعد (DPN) diphosphopyridine nucleotide ، وسمى الإنزيم Hexosediphosphate dehydrogenase . ويعتقد الآن أن هذا الإنزيم لا وجود له ، وأن الفعل الإنزيمي المشاؤ إليه يرجع إلى وجود إنزيم 1,3 - diphosphoglyceraldehyde dehydrogenase .

(ب) ديهيدروجينيز المالات وحمض الجلوتاميك :

يوجد هذان الإنزيمان في القمح ، وبستدل عليهما باختبار صبغة أزرق الميثيلين .

(ج) دهيدروجينيز حمض الفيوماريك والسكسينيك والفورميك :

توجد هذه الإنزيمات في القمح ، ويستدل عليها بزوال لون صبغة أزرق الميثيلين في وجود الإنزيم DPN ، وقد يزول اللون في غياب الإنزيم المساعد ولكن ذلك يستغرق وقتاً أطول .

الأوكساليز :

يظن أن القمح يحتوي على دهيدروجينيز حمض الأوكساليك ، إذ يستدل على ذلك بأكسدة حمض الأوكساليك هوائياً أو لا هوائياً بالقمح مع قياس حجم ثاني أكسيد الكربون المتكون: ولا يتأثر هذا التفاعل بإضافة أزرق الميثيلين لكنه يشبط بفعل الكينون والهيدروكينون الذين يتلقفا الأوكسيجين الجزئى . ولهذا اعتبر الإنزيم عبارة عن دهيدروجينيز يستطيع نقل الإيدروجين إلى أوكسيجين جزئى فقط ، وهذا تفسير ضعيف .

إنزيمات الدهيدروجينيز الأخرى :

يعتقد أن التلف الذى يصيب الحبوب أثناء تخزينها يرجع إلى إنزيمات الدهيدروجينيز في الحنين وهذه الإنزيمات تنشط لحدا في الوسط الحمضى التأثير وتوقف تماماً عند PH ٥,٥ إلى ٥ . ويختلف رقم PH تبعاً لطبيعة المحاليل المنظمة المضافة . ويزداد نشاط الإنزيم بوجود حمض الخلوواتريك وفوسفات الهسكوز .

الليبوكسيديز

يؤكسد الليبوكسيديز الدهون والكاروتينويدات الملونة ، وهو يوجد في القمح بنسبة ٨١٠ وحدة للجرام الواحد من المادة الحافظة وفي فول الصويا بنسبة ٣٥٠٠٠ وحدة . وترجع أهمية الإنزيم إلى أثره في ترنخ الدهن وفقد الكاروتين وفيتامين أ وحمض الأسكوربيك .

ويقدر الإنزيم بقياس أثره في أكسيدة الكاروتين وفي تكوين البيروكسيد. ففي المعلق المائي المخفف تؤكسد بيروكسيدات الدهن الحديدوز إلى حديدك يمكن تقديره بالتحليل اللوني بطريقة الثيوسيانات. وطريقة أخرى يتتبع مدى أكسدة الكاروتين أو صبغة ليوكو leuco - o - chlorophenolindophenol .

وقد لوحظ أن إنزيم الليبوكسيديز في فول الصويا يؤكسد أحماض اللينوليك واللينوليك والأراكيدونك فقط دون حمض الأوليك. وقد ثبت أن البيروثيونين Purothionin في دقيق القمح يمنع الأكسدة.

الانزيمات المؤكسدة في الخميرة :

تحتوى الخميرة على إنزيمات مؤكسدة تؤثر في عملية التخمر ويتأثر نشاطها بوجود المراد المؤكسدة والمختزلة. فتخمر الجلو كوز بفعل الخميرة يصحبه عملية phosphorylation ويتحول جزى حمض فوسفوريك إلى إستر مقابل كل جزى ثاني أكسيد كربون متكون. فعملية التخمر الكحولى تتضمن عدداً من تفاعلات الأكسدة والاختزال يتحكم فيها عدد من إنزيمات الأكسدة والاختزال. وتحتوى الخميرة على إنزيم كربوكسيليز، وهو بروتين ثنائى فوسفات الثيامين، ينزع مجموعة الكربوكسيل من الأحماض الألفا كيتونية محولاً إياها إلى ألدهيدات وثانى أكسيد كربون. وإنزيم ميوتيز البيروفات، الشبيه في تكوينه بالإنزيم السابق، يعمل أثناء التخمر محولاً حمض البيروفيك إلى حمض لكتيك وحمض خليك. وتحتوى خميرة الخباز على ديهيدروجينيز الكحول الذى يحول كحول الإيثايل إلى أسيتالدهيد، ويزداد النشاط بوجود مجموعة Sulphydryl ويتدخل فيه الإنزيم المساعد DPN. ويوجد في الخميرة أيضاً إنزيم ديهيدروجينيز حمض اللكتيك الذى يحول الأحماض الإيدروكسيلية ألفا إلى أحماض كيتونية ألفا. وإنزيم ديهيدروجينيز حمض الجلوتاميك الموجود في الخميرة يحول حمض الجلوتاميك إلى حمض ألفا كيتوجلوتاريك في وجود الإنزيم المساعد t.riphosphopyridine (TPN) neocleotide لا يعرف على وجه التحديد إن كان لإنزيم ديهيدروجينيز حمض الجلوتاميك دخل في التخمر الكحولى.

والمعروف أن الإنزيم المساعد DPN يوجد في الدقيق بقلّة ، ولذلك فيعزز كميته وبالتالي عمله إضافة الخميرة التي تحتوى على نسبة منه .

نظام الأكسدة والاختزال في الدقيق والعجينة :

جميع منتجات طحن القمح لها قوة تأكسد واختزال ، وتنصف بالقدرة على الاختزال . والجهد الكهربائي potential في الدقيق أقل منه في الردة وأقل كثيراً منه في الحنين . فالجهد في الدقيق يتراوح بين + ٠,٠٨ ، + ٠,١٢ فولت عند ٦,٢pH ، بينما هو - ٠,١٦٩ في مستخلص جنين القمح عند نفس الحموضة الفعلية ومعلق الخميرة له نفس الجهد مثل الحنين ، فكلاهما مختزل بشدة . وتزداد قوة الاختزال في الدقيق باستمرار لونه أى بارتفاع نسبة استخلاصه . وتعزى قوة الاختزال الشديدة في جنين القمح إلى إحتوائه على الجلو تايون glutathione الذى ينشط العديد من الإنزيمات والذى يسمى إلى صفات الخبيز . ولهذا فتحسين صفات خبز الدقيق يجرى أحياناً بإضافة المواد المؤكسدة للدقيق ، ويحتاج الدقيق الكامل إلى كمية من المواد المؤكسدة تزيد عما يلزم للدقيق الفاخر . ويعتقد أن التحسين الطبيعي natura aging أو إضافة المحسنات improvers كالثالث كلوريد النروجين والبرومات واليودات وحمض الأسكوربيك المؤكسد تفيد عن طريق أكسدة مجموعة مختزلة في البروتين أو البيتيند المنخفض الوزن الجزيئى إيمائشاً عنه تحسن الخواص الغروية للجلوتين . ويعمل الأثر السئ للمواد المختزلة في الدقيق كالمستئين والجلوتاثيون وحمض الإيدروسيانيك بتقصير مدة الخلط وجعل العجينة لينة ولزجة وضعيفة القدرة على الاحتفاظ بغاز ثانى أكسيد الكربون . ولا يعرف على وجه التحديد الدور الذى تقوم به الإنزيمات المحتوية على رابطة كبريتية في عمليات الأكسدة والاختزال في الدقيق .

البروتينيزات

عرف منذ عام ١٨٨٤ أن جنين القمح يحتوى على إنزيم يسبب تحلل وليونة الحلوتين . ويزداد النشاط الإنزيمى بشكل واضح أثناء إنبات حبوب القمح .

ويقدر نشاط إنزيمات البروتينيز باتباع طريقة سورينسون - Sorenson formol titration method فيقدر النتروجين الأمينى الناتج بعد التحلل . وقد تكون نسبة النتروجين الأمينى ضئيلة جداً ، ولكن هذا لايعنى ضآلة التحلل الإنزيمى . وتزداد نسبة الإنزيم فى الدقيق الأسمر عنه فى الدقيق الفاخر . ويعتقد أن الإنزيم فى الدقيق من نوع البابين papain وينشطه المواد المختزلة كالمستئين والحلوتائون وينشطه البرومات وحمض الأيودوخلليك وبعض المواد المؤكسدة الأخرى .

وفى حالة ارتفاع نسبة إنزيمات البروتينيز فى القمح أو الدقيق يظهر أثرها واضحاً فى تحلل البروتين وزيادة ليونة الحلوتين ولزوجة العجينة وانخفاض قدرة العجينة على الاحتفاظ بالغاز .

ويعتقد أن المواد المؤكسدة كالبرومات واليودات المضافة للدقيق تحسن من صفاته لأنها تثبط نشاط إنزيمات البروتينيز التى توجد فى الدقيق والتى ينشطها أحياناً بعض المواد المنشطة التى توجد فى الخميرة . فى حين أن إضافة الحلوتائون أو معلق الخميرة المغلى تسبب ليونة وسيولة العجينة وبالتالي صغر حجم الحيز ورداءة صفاته الداخلية . ويعتقد البعض أن إضافة المواد المختزلة بنسبة ضئيلة تسبب زيادة فى نشاط إنزيمات البروتينيز ، بينما الكمية الزائدة من هذه المواد المختزلة تحدث تأثيراً كيميائياً على الحلوتين .

ومما يدعو إلى الاعتقاد أن البروتينيز فى الدقيق شبيه بالباين أن الإنزيم

يهضم الكازين ويحدث خثرة اللبن ويقلل لزوجة معلق الجيلاتين وتثبطه محسنات الدقيق كالبرومات والميثافانات ويوقف فعله حامض الأيودوخليك .

ويظهر تأثير البرومات بعد مضي بعض الوقت من بدء التخمر ، بينما اليودات يظهر فعلها سريعاً والكمية التي تلزم منها لإحداث نفس الأثر أقل مما يلزم من البرومات . وهذه المواد لا تؤثر على إنزيمات الأميليز أو على الليبيدات أو النشا أو السكريات .

ومن نتائج بعض التجارب على دقيق القمح يمكن أن يقال أن تأثير المواد المختزلة على الحلوتين و صفات العجينة هو تأثير كياوى أولاً مصحوب بالفعل الثانوى لهذه المواد على نشاط البروتينيز .

ويعتقد بعض الباحثين أن فعل المواد المختزلة والمواد المؤكسدة لا يرجع إلى تنشيط أو تثبيط إنزيمات البروتينيز ، ففعل البرومات بطيء ويستمر بعض الوقت . فعند معاملة عجينة دقيق غير مؤكسدة بالكمية العادية من برومات البوتاسيوم ، أى ملليجرام أو ملليجرامين بوبر ١٣ فى المائة جرام ، لا يظهر فعل الأكسدة إلا بعد مضي بعض الوقت من بدء التخمر ، كما أن ظهور الفعل المؤكسد أو تلاشى المواد المختزلة يكون تدريجياً . فإذا كان الفعل المختزل فى العجينة هو نتيجة تحلل البروتين فإن تلاشيه يعنى إعادة تكوين بروتين الحلوتين .

ويعتقد أن كمية الإنزيمات البروتينية فى الدقيق ضئيلة للغاية وأن تأثيرها على صفات الخبز يمكن تجاهله .

ويمكن تلخيص كل ما سبق عن تأثير الإنزيمات البروتينية فى صفات العجين فيما يلى :

١ - توجد هذه الإنزيمات فى دقيق القمح السليم ولكن بنسبة ضئيلة إلى

الحد الذي يجعل قياس نشاطها متعذراً .

٢ - الإنزيمات البروتينية في الدقيق من نوع البابين فهي تنشط بفعل المواد المختزلة الموجودة أصلاً في الدقيق أو في بعض خامات الخببز خصوصاً الخميرة أو المضافة . كذلك تثبط هذه الإنزيمات بإضافة مواد مؤكسدة مثل البرومات واليودات والكلوريت والفانادات .

٣ - برغم تشابه فعل العوامل المؤكسدة على الإنزيمات البروتينية وفعلها في تحسين صفات الخبز ، إلا أنه ليس من الضروري أن يكون فعل المحسنات هو إيقاف فعل الإنزيمات البروتينية .

ويبدو أن فعل إنزيمات البروتين في العجينة يكون مرغوباً في بدايته ، أى عندما يتم بنسبة ضئيلة ، إذ يحسن صفات الحلوتين ، كما أنه ينتج بعض المواد التروجينية التي تستعملها الخميرة في تغذيتها . وقد وجد في بعض التجارب أن صفات العجينة تتحسن بإضافة مستخلص إنزيم البروتين أو كمية مناسبة صغيرة من دقيق القمح النابت أو المولت أو البابين أو البيسين . ويحدث نفس التأثير بإضافة إنزيم البروتين بعد استخلاصه وترسيبه من المولت أو الدقيق ، وهذا يؤكد أن التحسين راجع إلى نشاط البروتين وليس إلى الإنزيمات الأخرى التي توجد في المولت أو غيره من المواد المضافة .

دقيق مولت القمح :

أصبح شائعاً إضافة قليل من دقيق القمح النابت للدقيق بقصد زيادة نشاط الإنزيمات البروتينية التي يزداد نشاطها بما يقرب من ستة أضعاف بعد مضي أربعة أيام على الإنبات . ويتضح ذلك من التجربة التالية .

نشاط الإنزيمات البروتينية مقدرة بالتبادل الكحولي لحساب الزيادة في التروجين الأميني بعد التحلل الذاتي			المواد
في وجود المادة المنشطة		بدون منشط	
سستين	جلوتاثيون		
مليالترات البوتاسا الكاوية عشر أساسي			
—	٢,٤٠	١,٩٥	دقيق قمح كامل
١,١٥	—	٠,٧٠	دقيق قمح كامل
٣,١٥	—	٣,٠٠	مولت القمح
٠,٧٥	—	٠,٤٥	دقيق أبيض

ويتضح الأثر المنشط للمواد المختزلة في الخميرة على إنزيمات البروتينيز
من النتائج التالية :

النشاط الإنزيمي			العينة
مليجرامات نروجين غير بروتيني في مائة جرام			
٣% خميرة + كحول أوكتايل	٣% خميرة	بدون خميرة	
—	٩٤	١١٧	دقيق فاخر ا
—	٧٠	٤٨	دقيق فاخر ب
—	٥٠	٣١	دقيق فاخر ج
٣٤٨	٣١٠	٢٥٧	دقيق مولت ا
٣٠١	٢٧٦	٢٣٣	دقيق مولت ب
٣٧٨	٣٣٦	٣١٧	دقيق مولت ج

وتشير بعض التجارب العملية إلى أن لبونة ولزوجة العجينة لا يمكن أن تعزى إلى نشاط إنزيمات البروتيز في دقيق الموات المضاف ولكنها ترجع أصلاً إلى الكمية الزائدة من إنزيم الألفا أميليز في هذه الكمية من دقيق الموات المضافة .

بوتينيز الخميرة :

يعتقد أن إنزيمات البروتينيز في الخميرة توجد مرتبطة داخل الخلايا وليس ممكناً إنتشارها إلى خارجها . وليس لهذه الإنزيمات في الخميرة أثراً واضحاً في بروتينات الدقيق أثناء فترة التخمر التي تبلغ حوالي أربع أو خمس ساعات . وفي حالة هلاك خلايا الخميرة تنطلق الإنزيمات المرتبطة داخل الخلايا وتؤثر على بروتينات العجينة . وعند حدوث ذلك يمكن تقليل أو منع الأثر السئ لهذه الإنزيمات بإضافة قليل من المواد المؤكسدة . لذلك عند استعمال خميرة جافة مخزنة على هيئة مسحوق مدة طويلة يجعلها عرضة للتلف جزئياً ينصح بإضافة برومات لمنع الأثر السئ للإنزيمات التي أصبحت حرة على بروتين الدقيق .

القمح المصاب بالعثرات :

تصاب الأقمح في جمهورية مصر العربية وفي بعض دول شمال إفريقيا وآسيا وأوروبا بالعثرات أثناء فترة نضج الحبوب ، خصوصاً بالأنواع 'Dolycoris' ، 'Aelia' ، 'Furygaster' . وهذه الإصابة تسبب زيادة قابلية ذوبان بروتينات القمح في الماء وفي الكحول تركيز ستين في المائة ، وهذا يعني تحليل البروتينات إنزيمياً بشكل واضح . ويمكن الاستدلال على مدى هذا التحلل بتقدير النتروجين الكلي الذائب في الماء والنتروجين الذي لا يترسب بواسطة ثالث كلورور حمض الخليك تركيز اثنين في المائة قبل وبعد التحلل الذاتي ، كما هو واضح في التجارب التالية :

النسبة المئوية للنتروجين منسوبة للنتروجين الكلي في العينة				الحبوب
بعد التحليل الذاتي		قبل التحليل الذاتي		
غير المترسب بمحلول ك كل ٣ ك ا ا يد	الذائب في الماء	غير المترسب بمحلول ك كل ٣ ك ا ا يد	الذائب في الماء	
١٦,١	٢٢,٧	٧,٦	١٢,٥	عادية
٤٣,٨	٥٢,٧	١٦,٣	٢٢,٠	مسوسة
١٣,٤	٢١,٢	٤,٧	١٠,٠	عادية
٤٢,٣	٥٦,٩	١٤,٠	١٩,٩	مسوسة

ويؤكد هذه النتائج اختبار مطاطية الجلوتين المغسول من عجينة عملت بمستخلص قمح عادي ومستخلص قمح مصاب ، حيث يلاحظ أن مطاطية جلوتين عجينة مستخلص القمح المصاب تزيد على نظيرتها في حالة القمح غير المصاب حوالي ٧٥ إلى ٣٠٠٠ مرة . ويبدو أن رقم pH المناسب لهذا التحلل الإنزيمي يتراوح بين ستة وسبعة . ويمكن تقليل حدة التحلل الإنزيمي برفع الحموضة قليلاً ، وكذلك يمكن معالجة الحبوب المصابة بالخشرات بالهواء الساخن أو البخار .

عملية التخمير الكحولي

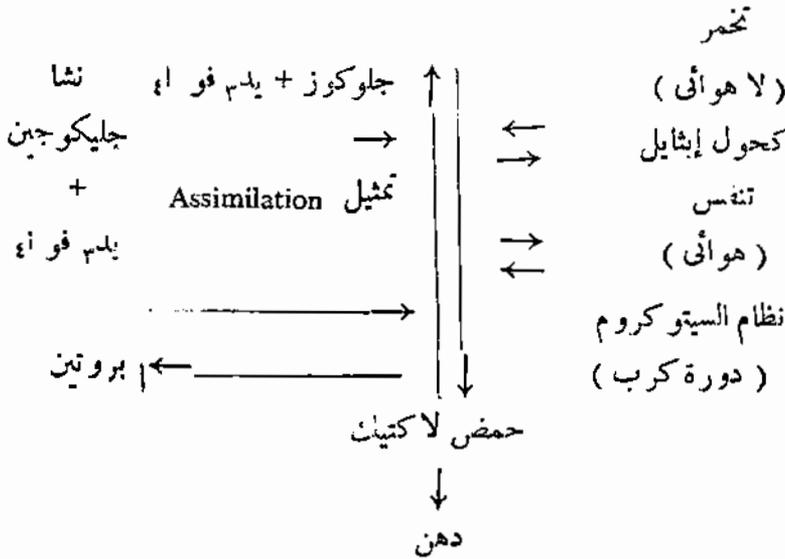
يعنى التخمير الكحولي تحول الكربوهيدرات في صورة نشا أو سكريات إلى كحول إيثانول وثاني أكسيد كربون مع قليل من الجليسرول وآثار من منتجات أخرى . ويحدث التخمير الكحولي بفعل الخميرة *Saccharomyces cerevisiae* . وينتج الكحول بفعل كثير من الأحياء الدقيقة الأخرى كبعض البكتريا والفطريات ، مثال ذلك *Escherichia coli* التي تكون حمض اللكتيك وحمض الخليك وحمض الفورميك وثاني أكسيد الكربون والإيدروجين من الجلوكوز تنتج أيضاً كحول الإيثانول بكمية كبيرة نسبياً . وهذه البكتريا توجد في الأمعاء . وللبكتريا *sarcina ventriculi* نفس قدرة الخميرة على تحويل الجلوكوز إلى كحول وثاني أكسيد كربون . كذلك الفطر *Fusarium* - ينتج كمية ملموسة من الكحول وثاني أكسيد الكربون .

وتتشابه عمليات التخمير الكحولي مع التمثيل اللاهوائي في الخلايا ، كما أن التحول الغذائي في الخلايا متشابه في النباتات الخضراء وفي الحيوان وفي البكتريا وفي الخمائر وفي الفطريات ، بل ويتشابه في خلايا الأنسجة المختلفة للكائن الحي كالمخ والكبد والعضلات مثلاً . ومعنى هذا أن الأنواع تختلف عن بعضها من هذه الوجهة اختلافات طفيفة . فالنواتج النهائية للتحول هي بالنسبة للخميرة إيثانول وثاني أكسيد كربون ، وبالنسبة للبكتريا *Aerobacter aerogenes* حامض خليك وحامض فورميك وحامض لكتيك وحامض سكسينيك وأسيتيل ميثايل كربينول و ٢ ، ٣ - بيوتيلين جليكول وإيثانول وثاني أكسيد كربون وإيدروجين ، وبالنسبة لبكتريا حامض البروبيونيك هي أحماض البروبيونيك والسكسينيك والخليك وثاني أكسيد الكربون . فنظام التحول اللاهوائي متشابه في حالة الأنواع الثلاثة من الأحياء الدقيقة ، فقط يختلف في التحولات الطرفية ويمثل تحول الكربوهيدرات إلى بيروفات ولاكتات بالشكل التالي :

التحول اللاهوائي

Anaerobic dissimilation

حمض بيروفيك



وعند هذا الحد يبدأ التفاوت في التحليل بين الأنواع المختلفة من الأحياء الدقيقة . كما تتفاوت أفراد النوع الواحد في كيفية التحلل تبعاً لاختلاف ظروف البيئة . فالبيروفات هي نقطة التحول التي عندها تنتهي المرحلة المتشابهة في التحلل بين الأحياء ويبدأ عندها التحولات انظرية اللاهوائية التي تتأثر بالنوع وظروف البيئة . وهذه البيروفات تتحول أيضاً إلى أحماض أمينية بحدوث تبادل الأمين transamination ، كما أنها الناتج الذي يوكسده أكسجين التنفس في دورة كرب وفي نظام التأكسد بالسيتوكروم ، وهي قد تتحول إلى دهن أيضاً . ومعنى ذلك أن البيروفات هي رابطة بين تحولات كل من البروتينات والكاربوهيدرات والدهون الغذائية داخل جسم الكائن الحي .

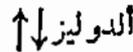
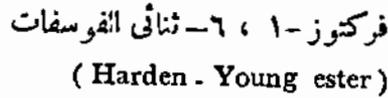
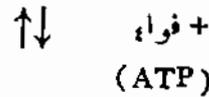
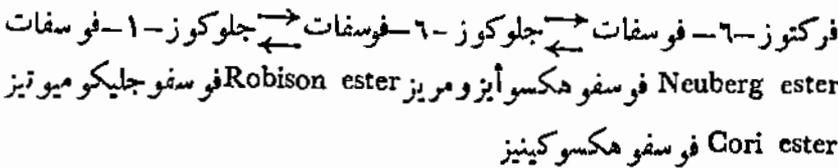
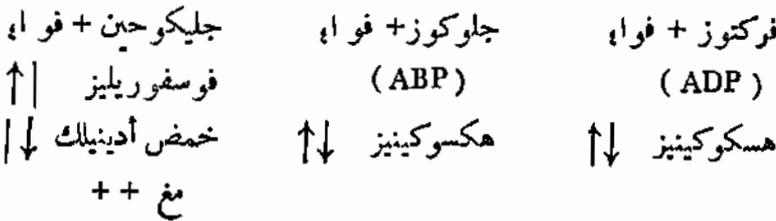
فالتخمير الكحولى عملية لاهوائية . ويطلق هذا الاصطلاح عادة على التحولات الغذائية اللاهوائية ، لكن اصطلاح التخمر قد يطلق فى الصناعة على أى عملية تقوم بها الأحياء الدقيقة أو الإنزيمات .

ويتلخص نظام التحول الغذائى المعروف باسم Embden Meyerhof scheme فى تحلل الكربوهيدرات فى العضلات وخلايا الخميرة لإنتاج الطاقة اللازمة للحياة والتكاثر عن طريق سلسلة من تفاعلات نقل الألكترونات التى يتبعها أحياناً وليس دائماً إنتقال الإيدروجين . ويساعد على سير هذه التفاعلات أى إنتقال الالكترونات عدد من ناقلات الالكترونات . وتقوم الإنزيمات المساعدة الثلاثة المعروفة بالأسماء إنزيم مساعد (١) وحمض الأدينيك والكوكربوكسيليز بدور هام فى هذه العميات . فالإنزيم المساعد (١) adenylic acid Coenzyme 1 يعدل كناقل للإيدروجين ، وحمض الأدينيك cocarboxylase فليس معروفاً على وجه التحديد الدور الذى يقوم به .

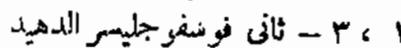
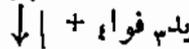
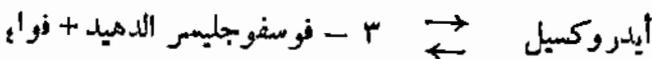
خطوات التخمير الكحولي :

تلخص تفاعلات التخمير الكحولي فيما يلي :

نشا أو



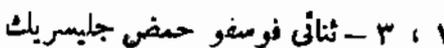
فوسفات ثنائي



إنزيم مساعد (١)



٢ يد =



١ ، ٣ - ثنائي فوسفو حمض جليسيريك

فوسفات أدينوسين

ثنائية Adp

٣ - حمض فوسفو جليسيريك + أدينوسين ثلاثي الفوسفات

فوسفو جليسيروميونيز

٢ - حمض فوسفو جليسيريك

إينوليز

↑↓

يدم ±

فوسفو إينول حمض بيروفيك + يدم ١

↓ حمض أدينيلك +

(Atp) أدينوسين ثلاثي الفوسفات + حمض بيروفيك + فوا، + حمض بيروفيك

↓

ك١٢ + أسيتيل فوسفات

↓ كربو كسيليز +

ك١٢ + أسيتا لدهيد

إنزيم مساعد (١) مختزل +

↓

يدم فوا، + حمض خليك

↓ يدم ±

كحول إيثايل

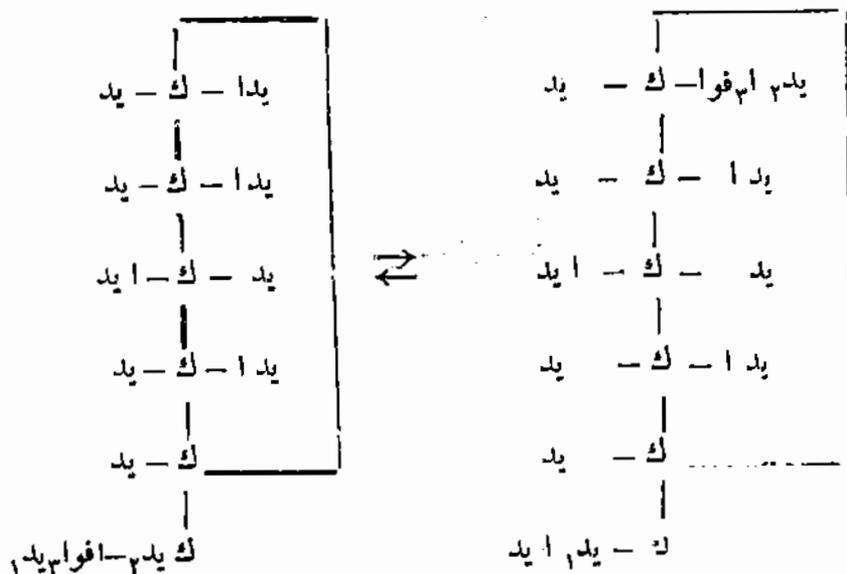
فالعملية تبدأ داخل الخلية بانحداد الفوسفات مع الجلوكوز الناتج من النشا أو من الجليكوجين . وهذا التفاعل عكسي ، لكن الجلوكز -١- فوسفات لا يتحول إلى سكريات معقدة إلا في وجود نسبة قليلة من السكر المعقد . ويكون الإتران عند pH سبعة ٧٧ إلى ٢٣ ، أما عند pH ثمانية فيكون الإتران ٩٢ إلى ٨ أى يميل إلى تكوين الجليكوجين . والإنزيم المتحكم في التفاعل يعرف باسم الفوسفوريليز وهو مركب بروتيني به مغنسيوم وحمض أدينيلك . ويعتقد أن خلايا الخميرة تستطيع بدء عملية التخمر بدون تدخل

الفوسفات وفي هذه الحالة يتكون مركب وسطى ثلاثى الكربون غير قابل للتخمر .

وتوجد إنزيمات الفوسفوريليز في العضلات وأعضاء الحيوان والبكتريا والخميرة وكثير من النباتات ، وتتوفر في البطاطس . ويعتقد البعض أن الإنزيم يحتاج إلى الإنزيم المساعد المعروف باسم حمض الأدينيلك . وتنشط إنزيمات الفوسفوريليز في النبات أو الحيوان بفعل العوامل المختزلة ، أما الجلوكر فيشطها .

ويحتوى الجليكوجين وكذلك النشا على الرابطة ١ ، ٤ ، والرابعة ١ ، ٦ ، وكلاهما تتحلل بفعل فوسفوريليز الخميرة والعضلات ، أما إنزيم البطاطس فيهاجم الرابطة ١ ، ٤ فقط .

ويتغير ترتيب الذرات في جزيء الجلوكوز-١- فوسفات داخل خلايا الخمير متحولاً إلى جلوكوز-٦- فوسفات ، وهذا التفاعل يحدث بتأثير إنزيم الفوسفوجلليكو ميوتيز البروتينى المحتوى على مغيسيوم ، ويحدث الإتران عند النسبة ٦ إلى ٩٤ أى يتجه التفاعل نحو تكوين الجزء الأكبر من إستر روبيسون جلوكوز-٦- فوسفات . ويعتقد أن هذا الإستر يوجد أحياناً في صورة مخلوط من جلوكوز-٦- فوسفات مع فركتوز-٦- فوسفات بنسبة ستين في المائة من الأول وأربعين في المائة من الثانى . ويتجمع في العصير وفي الخميرة الحاففة كمية من الفركتوز-١-٦- ثنائى فوسفات . ورقم pH المناسب لإنزيم الفوسفوجلليكو ميوتيز هو ٧,٥ إلى ٩,٢ ، وقد أمكن تحضيره خالياً من الفوسفوريليز ومن الفوسفوهكسوز أيزومريز . ويوضح التفاعل الإنزيمى بما يلى :

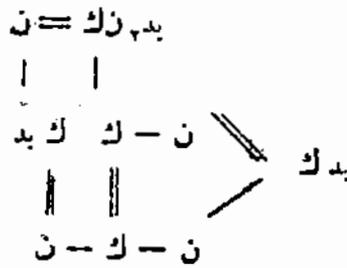


جلوكوز - ٦ - فوسفات

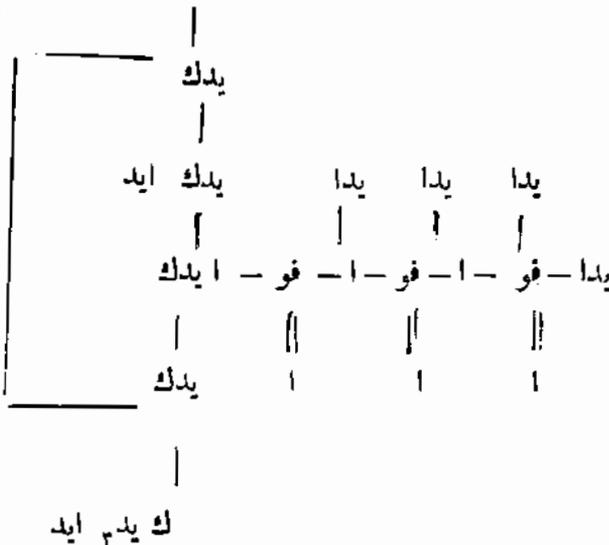
جلوكوز - ١ - فوسفات

وهذه التفاعلات تختلف عما يحدث في التخمر خارج الخلايا الحية ، حيث في هذه الحالة الأخيرة تبدأ العمليات بتحليل النشا أو الجليكوجين مائياً بفعل إنزيمات الأميليز أو الجليكوزيديز . لهذا فالصناعة تستخدم كربوايدرات بسيطة في صناعة الكحول نظراً لأن الخميرة لا تفرز إنزيمات الأميليز اللازمة لتحليل النشا .

وفي تفاعل الفوسفات مع الجلوكوز أو المانوز أو الفركتوز يتدخل الإنزيم المساعد ثالث فوسفات الأدينوسين الذي يمثله الرمز التالي عندما يستخرج من الخميرة بينما تكون مجموعة الفوسفات متصلة في الوضع خمسة في جزيء الريبوز في حالة إنزيم العضلات :



أدينوسين ثلاثي
الفوسفات



ويبدو أن تفاعلات مركب الأدينوسين يمكن أن يعبر عنها بصفة عامة بالتفاعل التالي :

أدينوسين ثلاثي الفوسفات + جلوكوز ← أدينوسين ثنائي الفوسفات + جلوكوز - ٦ - فوسفات

٢ أدينوسين ثنائي الفوسفات ← أدينوسين ثلاثي الفوسفات + حمض أدينيلك .

ودخول المجموعة الثانية من الفوسفات في جزيء السكر يحتاج إلى مجموعة غنية بالطاقة ، ولذلك أقترح لها التفاعل التالي :

٢ هكسوز أحادي الفوسفات ← هكسوز ثنائي الفوسفات + هكسوز

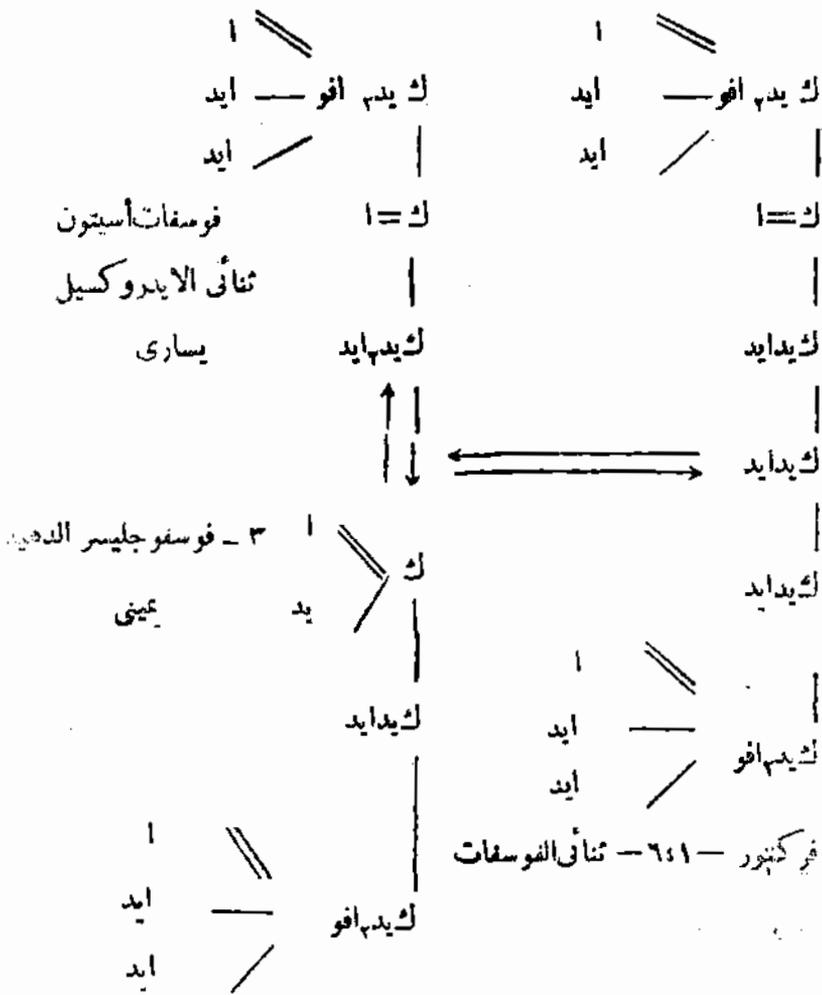
وحيث أن التغير في الترتيب الداخلي لجزء الإستر المحتوى على الفوسفات ممكن حدوثه ، فمن المحتمل أن الحلوكوز - ١ - فوسفات ينقل مجموعته الفوسفاتية إلى الوضع واحد في جزء الفركتوز - ٦ - فوسفات ، وبذلك لا تستنفذ رابطة فوسفاتية غنية بالطاقة لإدخال مجموعة الفوسفات الثانية في الجزء أحادي الفوسفات ، بعكس الحال عندما يتخمر الحلوكوز فإن مجموعتي الفوسفات المضافتين لجزء السكر تستلزم إضافتهما لإستفاذ رابطتين فوسفاتيتين غنيتين بالطاقة . ويتجدد تكون الرابطة الفوسفاتية الغنية بالطاقة في التفاعلات التي سوف تعقب ذلك وهي :

٣، ١ - حمض ثنائي الفوسفو جليسيريك + أدنوسين ثنائي الفوسفات →

٣ - حمض فوسفو جليسيريك + أدنوسين ثلاثي الفوسفات

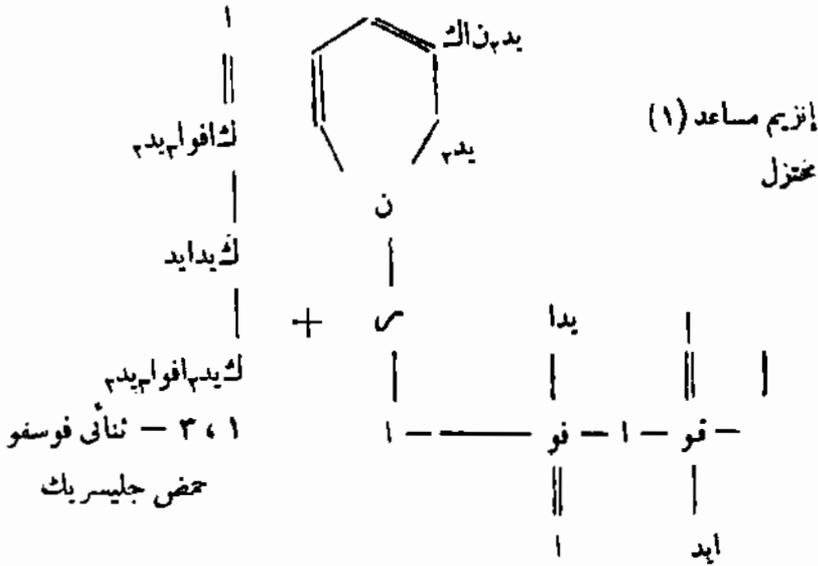
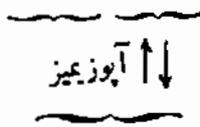
حمض فوسفواينول بيروفيك + أدنوسين ثنائي الفوسفات → حمض بيروفيك + أدنوسين ثلاثي الفوسفات .

ويتحلل جزء الفركتوز - ١ ، ٦ - ثنائي الفوسفات إلى مركبين كلاهما ثلاثي الكربون وهما فوسفات الأستون ثنائي الأيدروكسيل والفوسفو جليسرالدهيد . ويتحكم في حفظ الإتران بين هذين المركبين إنزيم تريوز أيزومريز . وقد بدأ أطلق الإسم فساغل الزيموهكسيز Zymohexase reaction على الإتران في تحلل الفركتوز ١ ، ٦ - ثنائي الفوسفات إلى المركبين ثلاثي الكربون وكذلك الإتران بين هذين المركبين . ويوجد هذان المركبان معاً بنسبة ٩٥ جزء كيتوتريوز أي فوسفات الأستون ثنائي الأيدوركسيل اليساوى إلى ٥ أجزاء من الألدوتريوز أي ٣ - فوسفو جليسرالدهيد النيبي .



وبرغم تفاوت نسبتي التريوز فإن المركب اليميني هو الذي يتحول إلى حمض فوسفو جليسر باك إذا أن الذي يتكون حمض يميني لا يتكون من المركب اليسارى .

وتنحصر عملية التحول glycolysis بعد هذه المرحلة في تحولات الفوسفو - جليسر الدهيد الذي يتأكسد في تفاعل يتضمن إختزال الإنزيم المساعد (١) في نفس الوقت ، ثم يعود هذا الإنزيم المساعد فيتأكسد بفعل



ويعتبر هذا التفاعل هو أول تفاعلات الأكسدة وفيه يقوم الإنزيم المساعد (١) المحتوى على النيكوتين أميد بنقل الألكترونات . ويعود الإنزيم المساعد المختزل إلى صورته الأصلية أى يتأكسد بانتقال ذرتا أيديروجين إلى الأستيتالدهيد الذى سوف يتكون فيما بعد نتيجة لانتزاع مجموعة الكربوكسيل من حمض البيروفيك . ويسمى الإنزيم المساعد (١) بأسماء متعددة هى 'cozymase' ، coreductase ، factor v ، coferment 1 ، codehydrogenase 1 ، diphosphopyridinenucleotide . ويوجد هذا الإنزيم المساعد فى جميع الحيوانات والنباتات والأحياء الدقيقة التى تحدث فيها تحولات الكربوليدرات . وتعتبر الخميرة غنية فى هذا الإنزيم المساعد (١) إذ تحتوى على نصف جرام لكل كيلوجرام من وزن الخميرة . ويكون حوالى ٣٥ إلى ٤٥ فى المائة من النيوكليوتيد الكلى فى صورة dihydro . ويحتاج هذا الإنزيم المساعد إلى شق برووتينى دائماً أى إلى أبو إنزيم ، apoenzyme ، كما أن تفاعلاته جميعها

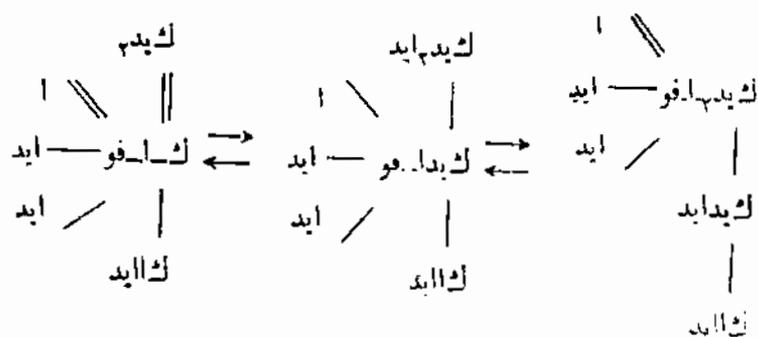
عكسية إلا أنها لا تصل إلى حالة الاتزان في الظروف العادية لأن التخلص من نواتج التفاعل يدعو إلى استمرار سير التفاعل .

ويفقد المركب ١ ، ٣ - ثنائي فوسفو حمض جليسيريك مجموعة فوسفات متحولاً إلى المركب ٣ - حمض فوسفو جليسيريك بفعل الأدينوسين ثنائي الفوسفات .

٣ - فوسفو جليسر الدهيد + يدم فواء + إنزيم مساعد (١) + أدينوسين ثنائي الفوسفات \rightarrow ٣ - حمض فوسفو جليسيريك + إنزيم مساعد (١) مختزل + أدينوسين ثلاثي الفوسفات .

ويتأكسد الإنزيم المساعد (١) المختزل عند تكون الأستالدهيد الذي يختزل لتكوين الناتج النهائي للتخمر وهو كحول الإيثانول ، ويستخدم الأدينوسين ثلاثي الفوسفات في نقل الفوسفات إلى الجلوكوز .

وتوجد حالة اتزان بين المركب ٣ - حمض فوسفو جليسيريك والمركب ٢ - حمض فوسفو جليسيريك بتأثير إنزيم الفوسفو جليسروميوتيز . ويتحول المركب الأخير إلى حمض فوسفو لينول بير وفليك بتأثير إنزيم الإينوايز ، وهذا الحمض الأخير تتركز الطاقة في رابطة الفوسفات به .



٣ - حمض فوسفو جليسيريك ٢ - حمض فوسفو جليسيريك حمض فوسفو لينول بير وفليك .

ويظهر الاتزان نتيجة لنشاط إنزيمى الفوسفو جليسر وميو تيز والإينوليز عند النسب التالية :

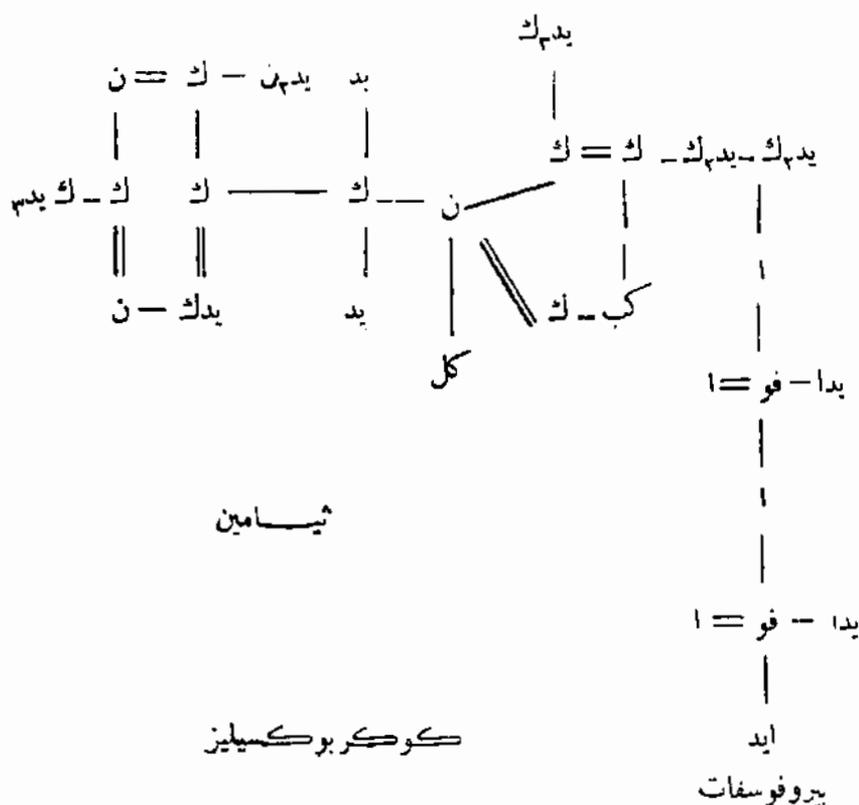
٣ - حمض فوسفو جليسرليك (٥٨.٥٪) \rightleftharpoons ٢ - حمض فوسفو جليسرليك (١٢.٥٪) \rightleftharpoons حمض فوسفو إينول بروفيك (٢٩٪) .

ويمكن إيقاف تحلل المركب ٢ - حمض فوسفو جليسرليك وبالتالي إيقاف عملية التخمر بإضافة فلوريد الصوديوم الذى يثبط نشاط الإينوليز عن طريق تكوين مركب معقد من أيون المغنسيوم يتحتم وجوده لتنشيط إنزيم الإينوليز . أما وجود المنجنيز كمنشط للإينوليز فيجعل إضافة فلوريد الصوديوم عديمة الأثر فى نشاط الإنزيم ، إذ لا يتحد الفلوريد مع المنجنيز ، بعكس المغنسيوم الذى يكون مركب فلوروفوسفات مغنسيوم مرتبطاً بالبروتين .

ويتحول حمض الفوسفو بروفيك إلى حمض بروفيك بتأثير إنزيم فوسفاتيز الفوسفو بروفات Phosphopyruvate Phosphatase فتتفصل الفوسفات التى يكتسبها الإنزيم متحولاً من مركب الأدينوسين ثنائى الفوسفات المرتبطة بالمغنسيوم والبروتين وهو المركب المعروف باسم إنزيم فوسفاتيز الفوسفو بروفات إلى مركب الأدينوسين ثلاثى الفوسفات الغنى بالطاقة . ويحدث انفصال الفوسفات عادة فى وجود مادة تتلقف الفوسفات كالحلوكوز أو الحلوكوز - ٦ - فوسفات ، فإذا لم توجد مثل هذه المواد فإن التفاعل يحدث فى وجود حمض الأدينيلك ويتكون حينئذ الأدينوسين ثلاثى الفوسفات .

وفى التخمر الكحول يتحلل حمض البيروفيك إلى أسيتالدهيد وثانى أكسيد كربون بفعل إنزيم الكربوكسيلاز . وهذا التفاعل يتدخل فيه الإنزيم المساعد كوكربوكسينيز وهو عبارة عن إستر حمض البيروفوسفوريك للثيامين . ويحتاج الإنزيم إلى أيون معدنى ثنائى التكافؤ كالمغنسيوم

أو المنجنيز لربط الجزء البروتيني أى الآبو إنزيم بالإنزيم المساعد . ويبدو أن تكون الكوكربوكسيليز يحدث بتأثير الأدينوسين ثلاثي الفوسفات على فيتامين ب فيكتسب الثيامين مجموعة فوسفات . ويكون رمز الكوكربوكسيليز كما يلي .



وتحتوى الخميرة على إنزيم فوسفاتيز قادر على فصل الثيامين من الكوكربوكسيليز . أما الفوسفاتيز في المصادر الأخرى فيكون قادراً على فصل مجموعة فوسفات واحدة تاركاً المجموعة الثانية . كما أن الخميرة قادرة على نقل الفوسفات من حمض الفوسفو بروفيك إلى الثيامين عن طريق نظام حمض الأدينيلك .

ويرجع التأثير الحيوى للثيامين إلى فعل مركبه مع حمض البيروفوسفوريك

ويستفاد من التأثير المنشط للثيامين على التخمر الكحولي في التقدير الكمي للثيامين في المواد الغذائية . كذلك تستعمل الخميرة في التقدير الكمي للكوكربوكسيليز بتقدير كمية غاز ثنائي أكسيد الكربون المنطلق من حمض البيروفيك .

ويختزل الأستيتالدهيد الناتج من إنفصال ثنائي أكسيد الكربون من حمض البيروفيك متحولاً إلى كحول بواسطة الإيدروجين الذي ينفصل عند تحول المركب ٣،١ - ثنائي الفوسفوجلوسر الدهيد إلى ٣،١ - حمض ثنائي الفوسفوجلوسريك . فالإيدروجين ينتقل إلى الإنزيم المساعد (١) . وتعتبر هذه الخطوة نهاية مراحل تحول النشا أو الجلوكوز إلى كحول ، أي نهاية عمليات التخمر الكحولي .

وفي حالة عدم اختزال الأستيتالدهيد لسبب ما ، فإن مركباً آخر قادراً على اكتساب الإيدروجين ، كفوسفات الجليسرالدهيد أو فوسفات الأستون ثنائي الإيدروكسيل ، ينشط ويتكون جليسر وفوسفات نتيجة للاختزال وهذه تتحلل مكونة جليسرول وحمض فوسفوريك بتأثير الفوسفاتيز . وفي مثل هذه الظروف تكون كمية كحول الإيثايل المتكونة ضئيلة بينما تنتج كميات كبيرة من الجليسرول . ومن العوامل المسببة لعدم اختزال الأستيتالدهيد وجود الكبريتات التي تتحد معه . وهذه الظروف لها أهمية صناعية ، ويعرف التخمر في هذه الحالة باسم *Neuberg, type 2* . وفي ظروف أخرى تعرف باسم *Neuberg, type 3 fermentation* عندما يكون الوسط قلوياً يتأكسد جزء من الأستيتالدهيد متحولاً إلى حامض خليك على حساب جزئ آخر يختزل إلى كحول إيثايل . والإيدروجين المتصاعد من أكسدة جزئ فوسفات جليسرالدهيد قادر على اختزال جزئ آخر إلى جليسر وفوسفات التي تتحلل مائياً بعد ذلك إلى جليسرول وحمض فوسفوريك .

الاتحاد بالفوسفات :

أفترض أحياناً أن عمليات التحول الغذائي للكربوهيدرات في العضلات glycolysis وفي الأنسجة تحدث بدون فسفرة phosphorylation غير أن هذا الرأي لم يلقى تعضيد الباحثين. وقد أصبح معروفاً الآن أن الفوسفات تتحد مع جزيء الكربوهيدرات في تفاعلات عكسية عديدة تتكون فيها رابطة إستيرية فيها ترتبط الفوسفات عن طريق مجموعة إيدروكسيل كحولية كما في فوسفات الهكسوز وفوسفات الثريوز والجليسر وفوسفات والمركب ٣-أو ٢ - حمض فسفو - جليسيريك . وتتشابه إسترات الفوسفات في كثير من الأحوال مع إسترات الكحولات والأحماض العضوية ، وتحسب الطاقة الحرة من علاقتها بثابت الإتزان من المعادلة :

$$\Delta F^{\circ} = - RT \ln K = - 4.58 \log K$$

وتكون الرابطة الجليكوسيدية في المركب جلوكوز - ١ - فوسفات مكافئة للرابطة الجليكوسيدية في جزيء الجلوكوز . وتقدر قيمة ΔF° بحوالى - ٣٠٠٠ سعراً وفي حالة مجموعة الفوسفات التي تتحول إلى إستر مع مجموعة إيدروكسيل كحولية تكون الطاقة الحرة ٢٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ .

والمركبات ذات الرابطة الفوسفاتية الغنية بالطاقة في عمليات التحلل الغذائي للكربوهيدرات هي حمض الفوسفو بيروفيك ، والأدينوسين ثلاثي الفوسفات وفوسفات الكرياتين ، ولكل منها رابطة مختلفة هي :

ك - ١ - فو ، فو - ١ - فو ، ن - فو على التوالي .

يدالك - ك = ك يدم

يد ن يد

||

|

ن - ك - ن ك يدم ك اليد

|

|

||

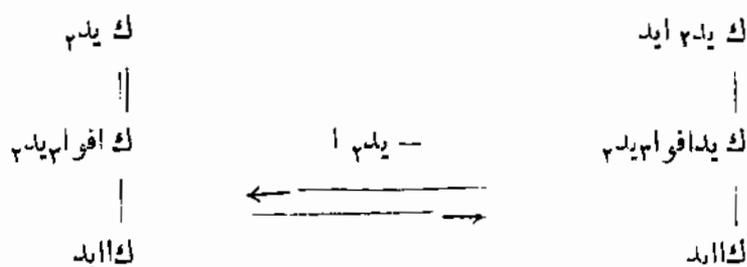
|

ك يدم

فوا٣يدم

فوا٣يدم

حمض فوسفور إينول بيروفيك (ك - - ا - فو) فوسفات كرياتين (ن - فو)
ومن أمثلة تحولات الرابطة الفوسفاتية الغنية بالطاقة ، تحول المركب
٢ - حمض فوسفور جليسريك إلى المركب حمض فوسفور إينول بيروفيك
بانزاع الماء :

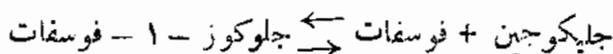


٢ - حمض فوسفور جليسريك حمض فوسفور إينول بيروفيك

ففي هذا التفاعل تتحول رابطة إستيرية فقيرة في الطاقة إلى رابطة ك - ا - فو غنية في الطاقة . وكمية الطاقة الكافية في المركبين السابقين متساوية ، ولكنه في المركب المتكون تكون الطاقة مركزة عند الرابطة الفوسفاتية في حمض الإينول بيروفيك . وهذا يعني أن فقد الماء من حمض الجليسريك الحر وتحوله إلى حمض بيروفيك يحدث بفقد طاقة تمتصها العوامل المحيطة ، بينما فقد الماء من حمض الفوسفور جليسريك وتحوله إلى حمض إينول فوسفور بيروفيك لا يترتب عليه فقد طاقة بسبب الاحتفاظ بهذه الطاقة في الرابطة الفوسفاتية الإينولية .

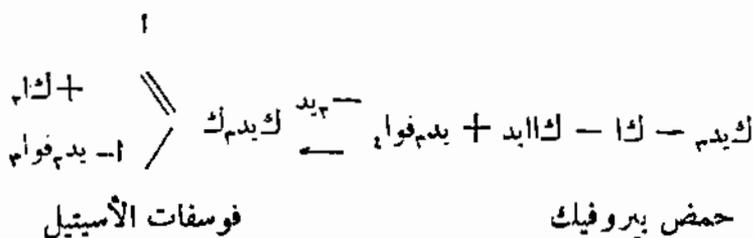
دورة الفوسفات :

تسلك الفوسفات في عمليات تحول الكربوهيدرات سلوكاً محدداً . فالتموسفات غير العضوية تبدأ الدورة بدخولها جزيء الكربوهيدرات حيث ترتبط فيه برابطة فقيرة في الطاقة عن طريق تفاعل عكسي .



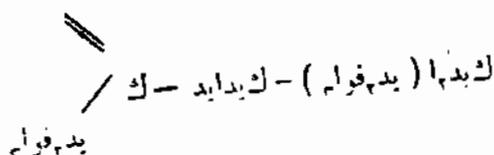
ويؤثر في سير هذا التفاعل إنزيم مجموعته المرتبطة عبارة عن حمض أدينيلك الذى يقوم بفعل الملاسة ولكنه لا يرتبط بالفوسفات .

وتدخل الفوسفات أيضاً في الجزئيات المحتوية على مجموعات كربوكسيل مثل :



٢ - يد

كيدم (يدم فواء) - كيدايد - كيدا + يدم فواء ←
فوسفو جليسر الدهيد



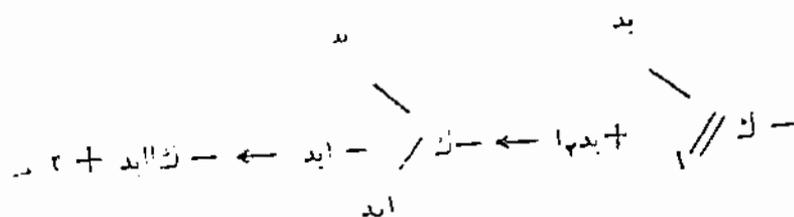
حمض ثنائى الفوسفو جليسر يك .

ففى كل من هذين التفاعلين تتكون رابطة فوسفاتية غنية في الطاقة .
والثابت أن أكسدة حمض البيروفيك تعطى حمض خليك نشط يدخل في
تفاعلات إضافة الحلات acetylation والتكثيف condensation بعد ذلك .
وتحدث الأكسدة بمرورها خلال مرحلة تكون فوسفات الأستيل :

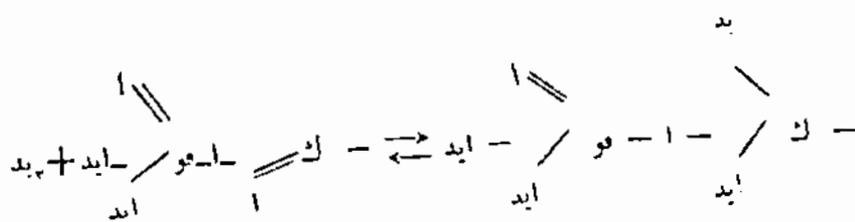
٢ فوسفات الأستيل + حمض أدينيلك ← ٢ حمض خليك + أدينوسين

ثلاثى الفوسفات

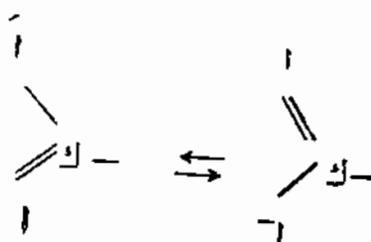
وحالياً أصبح معروفاً أن الفوسفات تتدخل في أكسدة مجموعات الكوبونيل
وهذه الأكسدة كان يعتقد أنها تستلزم التأدرت .



ويعتقد أن الفوسفات هي التي تداخل في هذه الأكسدة وليس الماء :



فوسفات الكربونيل فوسفات الكربوكسيل
وينشأ عن التآدرت والأكسدة إنخفاض كبير في الطاقة الحرة بسبب
تكون الكربوكسيل .



بينما الانخفاض في الطاقة الحرة عند أكسدة فوسفات الكربوكسيل ضئيل لأن التفاعل عكسي . فالطاقة في مجموعة الكربوكسيل يمكن أن تحفظ في هذه الحالة لتستخدم في تفاعلات أخرى . وتنتقل الفوسفات من فوسفات الكربوكسيل مباشرة بتأثير إنزيم معين لتكون adenosine. polyphosphate .

وفي عملية التخمر تحدث عدة تفاعلات لا هوائية والطاقة الناشئة عن

أكسدة الكربوهيدرات تتحول إلى طاقة رابطة فوسفاتية . وتتكون رابطتان فوسفاتيتان غنيتان في الطاقة لكل جزيء تريوز يتأكسد ، إحداهما في ثنائي الفوسفوجليسررات والثانية في الفوسفوإينول بيروفات . وتستعمل رابطة فوسفاتية واحدة غنية في الطاقة في تكوين رابطة إستيرية عند فسفرة الجلوكوز أى تحوله إلى جلوكوز-٦- فوسفات ، وذلك عن طريق الأدينوسين ثلاثي الفوسفات .

فالمركبات العضوية الفوسفاتية الغنية في الطاقة تتكون أثناء الأكسدة الحيوية مما يترتب عليه الإبقاء على مستوى ثابت من الطاقة في الخلايا الحية المثلة للغذاء . وهذه الطاقة تستعمل في انتقالات الفوسفات التي يتحتم حدوثها داخل الخلايا تحت تأثير الإنزيمات . ويقوم حمض الأدينيلك بعمل الأنزيم المساعد الذي ينقل الفوسفات من مركب غني بالطاقة إلى آخر غني بالطاقة أو إلى الإستر الأقل في الطاقة . وعادة تنفصل الفوسفات على صورة غير عضوية بتأثير الفوسفاتيز ، فتتخفف بذلك الطاقة بها إلى أقل المستويات . ويترتب على التفاعلات المذكورة والتي تنخفض فيها كمية الطاقة من أعلى مستوياتها أى ١٠٠٠٠ سعر إلى أقل المستويات ، كما يحدث عند تحول الأدينوسين ثلاثي الفوسفات إلى الإستر جلوكوز-٦- فوسفات ، أن يفقد ستة آلاف سعر . ومن المؤكد أن تبادل الفوسفات بين المركبات العضوية لا يمكن أن يحدث خلال الفوسفات غير العضوية لأن هذا إن حدث فسيبطله فقد في الطاقة م يستلزم تعويضه بعمليات أكسدة .

ويقوم الأدينوسين ثنائي الفوسفات والأدينوسين ثلاثي الفوسفات بعمل الملامسة الهام في عملية التخمر الكحولى ، وكلاهما يحتوى على الرابطة فو-١- فو الغنية في الطاقة . فتوجد مجموعة واحدة من هذه في المركب ثنائي الفوسفات ومجموعتان في المركب ثلاثي الفوسفات . والجزء المتبقى من مجموعة الفوسفات ليس غنياً في الطاقة ولا يدخل في تفاعلات التخمر الكحولى وهو يرتبط بالريبوز برابطة إستيرية عادية فقيرة في الطاقة .

« ب » ١ ، ٣ - حمض ثنائي فوسفو جليسيريك + أدينوسين ثنائي الفوسفات \rightarrow ٣ - حمض فوسفو جليسيريك + أدينوسين ثلاثي الفوسفات .

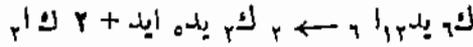
وعند إضافة فوسفات أثناء تخمر الجلوكوز بفعل الخميرة وجد أن سرعة التخمر تزداد وتكون الزيادة في كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المتولد متناسبة مع كمية الفوسفات المضافة .

التخمر بالخميرة

بعمل العجينة تبدأ سلسلة من التغيرات الكيميائية والحوية والطبيعية التي لا تتوقف حتى بعد خبز الخبز وتحولها إلى خبز وتناثر عملية رفع العجينة ، أي إنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون بعدة عوامل مباشرة . فالخميرة تخمر ثلاث سكريات على الأقل من بين الأربعة سكريات المختلفة الموجودة في العجينة . كما أن سرعة التخمر تتفاوت في السكريات الثلاث . ويرتب على ذلك تغير تركيز السكريات دواماً نتيجة لاستنفاذها بفعل الخميرة وكذلك لتكونها من مكونات أخرى في العجينة . وتمتص الخميرة أيضاً بعض الأملاح والفيتامينات والمركبات العضوية ، أو تتفاعل معها . فهذه المكونات يتغير تركيزها أيضاً في العجينة على مر الوقت بتأثير نشاط إنزيمات البروتيز والفيتيز والفوسفاتيز وغيرها . وتتغير بعض الظروف العجينة الأخرى فتصبح الظروف لاهوائية بدلا من هوائية والحموضة الفعلية pH ٥ بدلا من pH ٦ .

ويحتوى الدقيق على بكتريا وفطريات تسبب تغيرات في العجينة . إذ أن الدقيق لا يعتمد إطلاقاً . وقد يكون لتغير نسبة الأوكسجين في جو الخبز أثناء خلط العجينة أثر في نشاط إنزيمات العجينة . ويعتقد أيضاً أن الثيامين ، أي فيتامين ب يلعب دوراً هاماً في عملية التخمر .

ومن المؤكد الآن أن عملية تخمر العجين ماهي إلا عملية إنزيمية .
ويمثل التخمر الكحولي بمعادلة جاي لوساك Gay - Lussac التالية :



زيموهكسوز كحول ثاني أكسيد كربون

وهذه المعادلة لا تمثل التخمر الكحولي تمثيلاً صادقاً ، إذ المعروف أن عملية التخمر يصحبها تكون مركبات أخرى منها حمض السكسينيك والجليسول ، كما أن جزءاً من السكر تستنفذه الخميرة في تغذيتها . ومن المعادلة السابقة يتبين أن جزىء السكر ينتج جزئان من الغاز حجمهما ٤٤,٨ لترأ عند معدل الضغط ودرجة الحرارة ، وهذا يقابل ٢٤٩ مليلترأ من الغاز لكل جرام واحد من السكر ، أو ٢٨١ مليلترأ بعد أخذ تمدد الغاز وبخار الماء في الاعتبار عند درجة حرارة ٢٥° مئوية . وعملياً يتحصل على كمية من الغاز تقل عن الكمية المحسوبة نظرياً ، فبعض الباحثين حصل على ٢٠٠ مليلترأ من جرام الجاوكوز أو الملتوز و ٢١٠ مليلترأ من جرام السكروز . وفي تجارب أخرى أضيف فيها الشيامين لارتفاع هذان الرقمان إلى ٢١٥ ، ٢٢٥ مليلترأ على التوالي . وحقيقة الأمر أن هذه الأرقام تقريبية إذ أنه من الصعب تقدير كمية السكر في العجينة بالضبط لأن السكر يتكون دواماً من تحلل النشا .

تأثير الحرارة والحموضة الفعلية :

تؤثر درجة الحرارة تأثيراً كبيراً في سرعة التخمر سواء استخدمت خميرة البيرة أو غيرها، ويتضح ذلك بمقارنة معامل الحرارة سد + ١٠ على

سد

درجات حرارة مختلفة تقع بين ١٠ ، ٣٥° مئوية كما يلي :

درجة الحرارة	١٠	١٥	٢٠	٢٥	٣٠	٣٥
	٥,٦	٣,٨	٢,٨	٢,٢٥	١,٩	١,٦

ومعدل الحرارة لتخمير كل من السكروز والفركتوز يماثل المعدل للجلوكوز ، أما الملتوز فيرتفع معدله بشكل ملحوظ عند درجة حرارة تقل عن ٢٥° مئوية . وعند درجة حرارة تتراوح بين ٢٥ ، ٣٥° مئوية يماثل المعدل لجميع السكريات العادية المألوفة . وفي إحدى التجارب وجد أن سرعة التخمير في العجينة على درجة ٣٠° مئوية تكون ثلاثة أمثال سرعتها على درجة ٢٠° مئوية ، أى أن معامل الحرارة ثلاثة ، وهذا مرتفع نسبياً . ومن هذا يتضح أنه من الأهمية بمكان ضبط درجة حرارة العجينة ودرجة حرارة الجو المحيط بالعجينة .

ويبدو أن تغير درجة حرارة العجينة يؤثر في مدة التخمير ومدة إنضاج العجينة وليس له أثراً بخلاف ذلك في صفات الخبز الناتج .

ويبلغ نشاط الخميرة في التخمير وفي التنفس حده الأقصى في الوسط الحمضى . وقد وجد أن خميرة البيرة ، سواء سلالة السطح أو سلالة القاع ، تعمل بنشاط عند درجة حموضة تتراوح بين pH ٤ ، pH ٦ ، وكان أقصى نشاط لها عند pH ٤,٧ . أما خميرة الخباز فلم تتغير سرعة نشاطها على الجلاوكوز عندما تتغير الحموضة في . حدود pH ٣ إلى pH ٧ ، بينما كانت درجة الحموضة المثلى لنشاط هذه الخميرة على سكر الملتوز منحصرة بين pH ٤ ، pH ٦ .

والمعروف أن الحموضة الفعلية في الخميرة تتغير أثناء التخمير ، ففي إحدى التجارب وجد أن تغير رقم pH خلال فترة أربع ساعات تتراوح بين ٠,٤١ ، ٠,٤٧ وحدة : وبارتفاع درجة حرارة العجينة يُزداد ظهور

الحموضة . وتتأثر الحموضة الفعلية في العجينة أيضاً بإضافة الأحماض أو الأملاح الحمضية أو اللبن الفريز إليها . وتشير التجارب إلى أن الحموضة التي تتكون في العجينة يعزى ٧٥ في المائة منها إلى حمض اللكتيك و ٢٥ في المائة منها إلى حمض الخليك .

تأثير السكريات :

يحتوى الدقيق على حوالى واحد في المائة سكريات ، كما يضاف إليه أحياناً نسبة من السكر ، وهذا بخلاف السكر الذى يتكون في العجينة بفعل إنزيمات الدياستيز . ونظراً لانخفاض درجة امتصاص الدقيق للماء عن المائة دائماً ، فإن تركيز المحلول السكرى في العجينة الذى تعمل عليه الخميرة يكون معتدلاً ولا يؤثر تغيره المحدود في سرعة التخمير إلا في حالة استعمال قدر زائد غير عادى من الخميرة .

وفي حالة ارتفاع نسبة السكر في العجينة عن عشرة في المائة ، منسوباً لوزن الدقيق ، تنخفض سرعة التخمير بسبب التأثير الأسموزى على خلايا الخميرة . وهذا التأثير يحدث أيضاً بفعل الملح أو الجوامد اللبنية أو المواد الصلبة الذائبة في الدقيق .

ويحتوى الدقيق على نسبة ضئيلة من السكريات المختزلة القابلة للتخمير ، أى حوالى ٠,١ إلى ٠,٢ في المائة ونسبة من السكروز تعادل عشرة أمثال السكريات المختزلة ، أى حوالى ١,٠ إلى ١,٧٤ في المائة وفي بعض التجارب وجد أن الدقيق يحتوى على ٠,١٧ في المائة سكر هكسوز ، ٠,٢٢ في المائة سكروز ، ٠,٦ في المائة ليفوزين levosin . وهذا المركب الأخير عبارة عن مادة بيضاء غير متبلورة ضعيفة الحلاوة تذوب في الماء وفي الكحول الخفيف ودرجة تحويلها للضوء $D [\alpha]_{\text{D}}^{\text{C}}$ تساوى -٣٦ وبالتحليل الحمضى لها ينتج جزئىء جلوكوز وتسعة جزئيات فركتوز . وهذه المادة المسماة

ليفوزين غير قابلة للتخمير في محاليلها النقية ، لكن معظمها يخفى في أثناء تخمر العجينة .

ويضاف السكر للعجينة عادة في صورة سكروز وبنسبة قد تصل إلى خمسة في المائة من وزن الدقيق في عجينة الخبز ، أو إلى أربعين في المائة في عجينة المنتجات الحلوة . ويضاف عسل المولت أحياناً كمصدر للسكر ، إذ به نسبة مرتفعة من الملتوز مع قليل من الجلوكوز والدكسيريانات والسكروز والسكر المحلول .

والإنزيمات المسئولة عن تكون سكر الملتوز في العجينة هي إنزيمات الدياستيز التي تحلل نسبة من الدقيق قد تصل إلى خمسة في المائة .

ويتحلل الجلوكوز بسرعة أكبر من الفركتوز خصوصاً في التركيزات المنخفضة . فقد وجد أن ثابت ميخائيلس Michaelis constant هو 1.0×10^{-6} للجلوكوز 1.0×10^{-5} للفركتوز ، وهذا يوضح أن التآلف بين الإنزيم والجلوكوز أكبر منه بين الإنزيم والفركتوز . ويحدد الفرق في سرعة التخمير بالثابت الانتقائي selectivity constant (ت ج / ف) الذي يحدد العلاقة بين لوغاريتم (لو) تركيز الجلوكوز (ي) وتركيز الفركتوز (ز) البداية وتركيزهما (ي) ، (ز) في أي وقت أثناء التخمير :

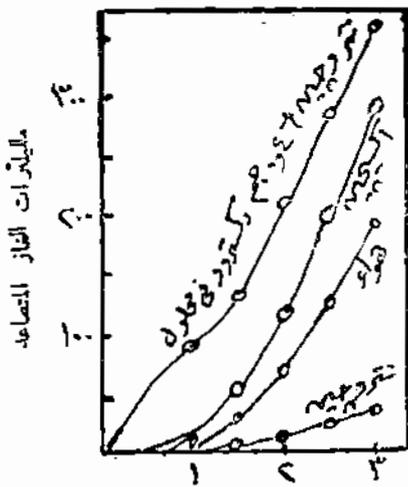
$$ت ج / ف = \frac{لوي - لوي}{لوز - لوز}$$

ولا يتأثر الثابت الانتقائي باختلاف نسبة الفركتوز إلى الجلوكوز في العجينة ولا بإضافة السكروز . وتبعاً لنظرية ميخائيلس ومنثن تمثل المعادلة التالية سرعة التفاعل (س) مع كل من مادتي التفاعل اللتين يحللها نفس الإنزيم ، باعتبار ث ثابت ميخائيلس :

$$\frac{\text{س ١ ث ٢}}{\text{س ٢ ث ١}} = \frac{\text{لوى - لوى}}{\text{لوز - لوز}}$$

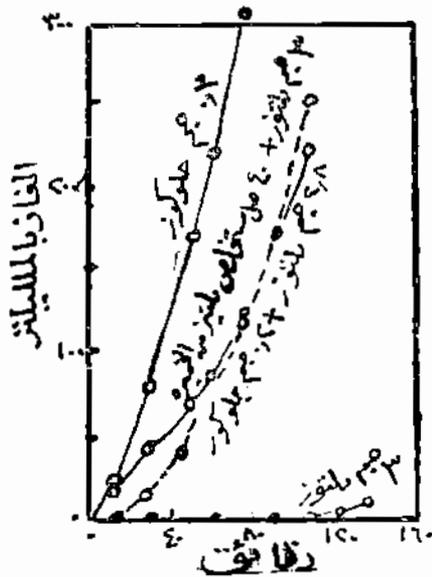
وبتطبيق هذه المعادلة على الجلو كوز والفر كتموز يوجد أن
 س ١ ÷ س ٢ = ٢,١ وهذا يتمشى مع الثابت الانتقائى المحسوب من
 التجارب وقدره اثنان .

ويعتبر الملتوز هو السكر الرئيسى الذى يتخمر فى المرحلة الأخيرة
 من فترة التخمر . وتخمر الملتوز يستدعى طول الفترة التى تمر من
 بداية عملية التخمر حتى الوصول إلى أقصى سرعة للتخمر ، وهى الفترة
 المسماة induction period . وتقتصر هذه الفترة عادة بوجود بعض
 المواد فى الدقيق تسمى بالعامل M ومن بينها الجلو كوز وإنزيم الماتيز
 والسكروز ، كما أنها تقتصر فى جو من الأكسجين النقى عنه فى الهواء
 عنه فى جو من الأزوت .



الوقت بالساعة
 (شكل ٨٩)

تأثير الأكسجين على تخمر الملتوز



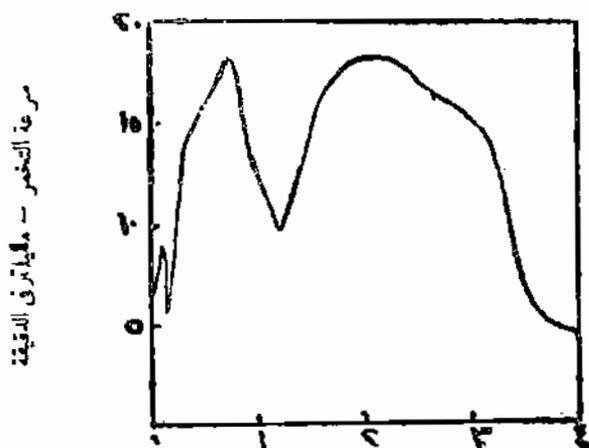
(شكل ٨٨)

تأثير الجلو كوز المضاف على تخمر الملتوز

ويميل البعض إلى الاعتقاد أن الخميرة تستطيع تخمير الملتوز مباشرة بدون تدخل إنزيم الملتيز ، أى بدون انتظار إلى أن يتحلل الملتوز .

ودرجة pH المثلى لإنزيم الملتيز قريبة من نقطة التعادل ، وعندما تنخفض الدرجة عن خمسة يصبح الإنزيم عديم النشاط في التجارب العملية .

وكثيراً ما يظهر الرسم البياني الموضح لسرعة التخمير بمرور الوقت ذو قمتين إحداهما تمثل أقصى سرعة لتخمير السكروز بفعل الخميرة : والثانية تمثل أقصى سرعة لتخمير الملتوز بعد استنفاذ السكروز في العجينة .



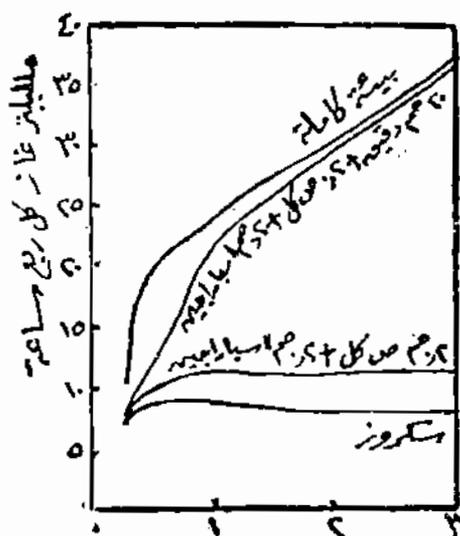
الزمن بالساعات
(شكل ٩٠)

سير التخمير في عينة من الدقيق النقي بالبروتين

تأثير المكونات غير السكرية :

لوحظ أن سرعة التخمير في العجينة تفوق كثيراً سرعتها في المحاليل النقية المحضرة معملياً . وقد استنتج من ذلك أن الدقيق يحتوي على مواد

غير سكرية تنشط عملية التخمر الكحولي ، وأطلق على هذه المواد اسم العامل Z ومنها الثيامين والبوتاسيوم والمغنسيوم والكبريتات والفوسفات. ويوضح الرسم البياني التالي الفارق بين سرعى التخمر مقسمة بكمية الغاز المتصاعد فى عجيئة الدقيق وفى محلول نقى يتربك من ٠,٠٦ جراماً صيدم فوا ، ٠,٠٤ جراماً مغ كب اء ٧,٠ يدم ا ، ٠,١٦ جراماً بوكل ، ٠,٢ جراماً أسباراجين ، ٠,٠٨ ملليجراماً ثيامين ، ٠,٠٨ ملليجراماً تيركسين ٠,٠٨ ملليجراماً نياسين ، ٢,٥ مليلترأ محلول سترات صوديوم منظم تركيزه ثلث جزىء فى اللتر ورقم pH له ٥,٥ ويستعمل من هذا المحلول عشرون مليلتر على درجة ٣٠ مئوية وتحتوى على جرامين سكروز مع ٠,٦ جرام خميرة .



الزمن بالساعات

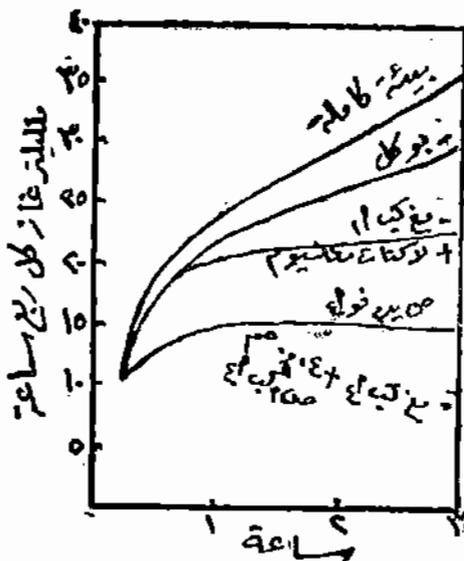
(شكل ٩١)

سرعة التخمر فى العجيئة وفى المحلول النقى

وللفوسفات أهمية خاصة فى التخمر الكحولى فهى تدخل ضمن تركيب

إنزيم الكوكربوكسيليز وهو ثنائي فسفوثيامين ، كما أنها تتدخل في سير تفاعلات التخمر الكحولى . لذلك يضاف قليل من الفوسفات الذائبة إلى المولاس في صناعة التخمر . ويحتوى الدقيق على فوسفات عضوية في صورة فوسفوليبيدات وحمض فينيك . وحيث أن حمض الفيتيك يتكسر في أثناء عملية التخمر فإنه من المحتمل أن الفوسفور المنفصل منه يستعمل في التخمر .

والكبريت من مكونات البروتوبلازم في الخلية . وتستعمل الكبريتات داخل الخلية الحية في بناء الأحماض الأمينية المحتوية على الكبريت وهى : الستين والمثيونين والجلوتاثيون . ويعتقد أن كمية الكبريتات في الدقيق تفى باحتياجات التخمر الكحولى . وبين الرسم البياني التالى تأثير الأملاح على سرعة تخمر السكروز .



(شكل ٩٢)

تأثير الأملاح على سرعة تخمر السكروز

والمغنسيوم يتدخل في عمليات تحول الكربوهيدرات أثناء التخمر الكحولى فهو يعتبر ذا دور فعال في التخمر . أما البوتاسيوم فيزيد سرعة التخمر ولكنه

لا يعرف على وجه التحديد الدور الذى يقوم به . وعموماً يمكن أن يقال أنه لا يعرف تماماً إذا كانت الفوسفات والكبريتات والبيوتاسيوم توجد فى الدقيق بكميات تكفى احتياجات التخمر الكحولى أم أن بعضها قد يوجد بتركيز منخفض فيصبح متحكماً فى مدى سير التخمر .

والنتروجين يزيد من سرعة التخمر لذا فهو يضاف فى صورة بيتون أو كلوريد أمونيوم أو بعض أحماض أمينية . والمعروف أن الخميرة تستعمل النتروجين فى تغذيتها وهى تستمده من أملاح الأمونيوم وكذلك من الأميدات ، مثل الأسباراجين الذى تحلله الخميرة بفعل إنزيم اسباراجينيز لتستفيد من النتروجين المنفصل . وللنتروجين فى العجينة ثلاث مصادر هى المركبات النتروجينية القابلة للذوبان فى الماء والموجودة أصلاً فى الدقيق ، والأحماض الأمينية الذائبة والنتروجين الذى يصبح فى متناول الخميرة لآثر نشاط الإنزيمات المحللة للبروتينات ، والمركبات النتروجينية التى تضاف للدقيق عند عمل العجينة . فالقمح يحتوى عادة على ٥٣ ، ٠ فى المائة مركبات أمينية ذائبة ، والدقيق الفاخر يحتوى على ملليجرامين نتروجين أمينى فى كل مائة جرام .

ويوجد الثيامين أى فيتامين ب ١ فى الدقيق بنسبة ضئيلة نظراً لانزاع الجزء الأكبر منه فى الردة . والكمية الضئيلة من الثيامين المتبقية فى الدقيق تزيد نشاط الخميرة إلى حده الأقصى . هذا فضلاً عن أن الثيامين يلعب دوراً هاماً فى تفاعلات التخمر الكحولى . لذلك فعند إضافة قليل من الثيامين يزداد نشاط الخميرة . وللبيرييلوكسين أى فيتامين ب ٦ أثر طفيف على نشاط الخميرة ، وللنياسين أثر أضعف من ذلك .

وقد وجد فى مستخلص الدقيق ، خصوصاً فى الجزء الجلوتينى ، مواد سامة للخميرة . وهذه المواد توجد بنسب ضئيلة ويظهر فعلها أثناء تخمر السكر ، ويمكن أن يوقف عملها بفعل أى ملح . وتفاوت الأملاح فى تأثيرها

على إيقاف فعل المواد السامة ، مثال ذلك كلوريد الكالسيوم الذى يكفى منه ٠.٢ ر. في المائة ليعطى تأثيراً مساوياً لما يعطيه كلوريد الصوديوم بنسبة واحد في المائة .

ويحتوى الدقيق على بروتامين Protamine وهى مادة سامة للخلايا الخميرة ، تفقد خاصيتها السامة بالحرارة أو بالتحلل الإنزيمى . ويتفاوت الأثر السام تبعاً لسلالة الخميرة ونسبة الخميرة .

تكاثر الخميرة فى العجينة

بديهى أن تغير عدد خلايا الخميرة فى العجينة يؤثر فى مدى التخمر الكحولى . ولذلك محصى عدد خلايا الخميرة فى كثير من التجارب باستعمال hemocytometer وبتابع طرق مختلفة منها هضم العجينة بالبيسين وحمض الكلوردريك قبل العد لتخليص الخلايا من الجلوتين ، ومنها هضم العجينة كما سبق ثم تحليل النشا بالتسخين على درجة ٩٠° مئوية والهضم بمستخلص المولت الدياستيزى على درجة ٦٥° مئوية . وتصبغ خلايا الخميرة بأزرق الميثيلين . وفى طريقة أخرى يوقف نمو الخميرة بالكاوروبورم ويغسل الجلوتين ، لتخلص من خلايا الخميرة ومن النشا ، ثم يحلل الجلوتين بحامض كلوردريك مخفف ، ويصبغ المحلول بالفوكسين carbol fuchsin الذى يعطى لخلايا الخميرة وأجزاء الجلوتين لوناً أحمرأ داكناً أما النشا فتلون بلون وردى خفيف .

وتسبب إضافة أملاح كلوريد الأمونيوم وكبريتات الكالسيوم زيادة تكاثر الخميرة فى العجينة . وهناك علاقة طردية بين عدد خلايا الخميرة وحجم الرغيف .

وعموماً لا يمكن أن يقال أن هناك علاقة ثابتة بين عدد خلايا الخميرة وبين سرعة التخمر ، وأنه فى تخمر العجين لا يلتفت إلى تكاثر الخميرة بل توجه العناية إلى كمية غاز ثانى أكسيد الكربون المتكون .