

## انتاج البيرة

### المقدمة

ان دور الاحياء المجهرية في تخمر المشروبات الكحولية قد تم اكتشافه منذ اواسط 1600 مع ملاحظات العالم Antonie van Leeuwenhoek . وفي ذلك الوقت الاحياء المجهرية لم تعد من الكائنات الحية وظلت هذه الفكرة لغاية 1850- 1860 عندما اثبت Louis Pasteur في فرنسا بشكل لا لبس فيه ان تحويل عصير الفاكهة الى النبيذ والشعير الى البيرة بواسطة نمو والفعاليات الايضية للخمائر.

كلمة بيرة نشأت من الكلمة اللاتينية *bibere* والتي تعني الشرب وان عملية انتاج البيرة تسمى تخمير الجعة *brewing*. تخمير البيرة من الشعير وجدت في الحضارة المصرية القديمة قبل 4000 سنة.

البيرة تصنع حول العالم من المواد القابلة للتخمر والتوفرة موقعيا وهي السكريات التي تنشا اما من عصائر الفواكه وعصارة النباتات والعسل او من الحبوب المهدرجة و نشا جذور النبات. بعض المشروبات الكحولية تشرب طازجة ولكن الاغلب تعتق لتحسين رائحتها بينما البقية تقطر لزيادة قوة الكحول. وعلى الرغم من ان البكتيريا مثل *Zymomonas spp.* ممكن ان تساهم في انتاج نواتج معينة الا ان الخمائر وخاصة *Saccharomyces cerevisiae* تستعمل بالدرجة الاولى اما بشكل مفرد او بشكل مختلط. وان نواتج تخمرها تشمل الايثانول ومركبات حسية مرغوبة كالرائحة والطعم وثاني اوكسيد الكربون والذي يزود الصفة الغازية لبعض الغازات.

### مراحل انتاج البيرة

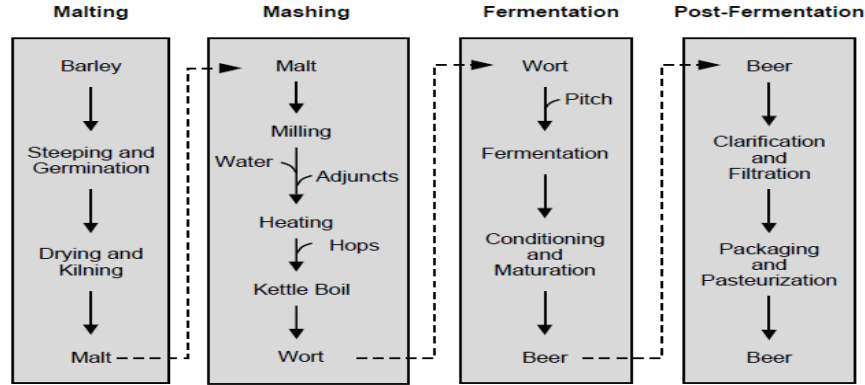
المواد الخام لتصنيع البيرة تترواح بين الشعير ونقيع الشعير و اضافات والخمائر ونباتات تستعمل لتعطي البيرة نكهتها المميزة بالاضافة للماء. الشعير يزود السكر لتخمر الكحول بواسطة الخمائر في البيرة وكذلك يكون كمصدر للنيتروجين احماض امينية والتي تكون ضرورية لدعم وتشجيع نمو الخمائر . في الشعير الخام تلك المواد تكون على شكل نشا مثل ( *amylose* ) and *amylopectin* وكميات قليلة من البروتين والتي لا تتحلل ببصورة مباشرة من قبل الخميرة. خطوات تنقيع وهرس الشعير تجلب الانحلال الانزيمي للشعير ليتحول الى سكريات قابلة للتخمر مثل الكلوكوز والمالتوز والاحماض الامينية. بقية المكونات مثل المطيبات تعطي البيرة خصائصها من النكهة والرائحة.

ان عملية انتاج البيرة تتضمن الخطوات التالية:

1. Malting
2. Cleaning and milling of the malt
3. Mashing
4. Mash operation
5. Wort boiling treatment
6. Fermentation

## 7. Storage or lagering

## 8. Packaging



**Figure 9-3.** Manufacture of beer. The beer manufacture process consists of four distinct stages: malting, in which barley is converted to malt; mashing, in which enzyme and substrate extraction and reactions occur and a suitable growth medium is prepared; fermentation, in which wort sugars are fermented to beer; and post-fermentation, in which the beer is made suitable for consumption.

### 1- نقيع الحبوب Malting

كما في تخمر الحبوب الشعير له عدة فوائد فان قشوره ثخينة وصعبة السحق وتلتصق بالنواة. هذا سوف يجعل التنقيع والترشيح بعد الجرش **mashing** اسهل بكثير من بقية الحبوب كالحنطة. وثانيا هذه القشور تزود حماية ضد هجوم الفطريات اثناء فترة الخزن. وثالثا فان الحرارة التي يتم عندها تحويل النشا الى جل ذائب في الماء (مزيج) تتراوح بين 52-59 °C هي اقل بكثير من الحرارة المثلى لالفا اميالايز (70°C) **alpha-amylase** و بيتا اميالايز **beta-amylase** (65°C) للشعير وان تاثير ذلك هو احتمال تحويل النشا الى محلول وتحليله يتم بعملية واحدة. واخيرا فان حبوب الشعير تحتوي حتى قبل تنقيعها كمية عالية من **beta-amylase** على عكس الحنطة والرز والذرة. اما **Alpha-amylase** ينتج فقط في الحبوب النابتة اي التي يتم تنقيعها بالماء.

ان الهدف من تنقيع الحبوب هو تطوير ال **amylases and proteases** في الحبوب اثناء عملية تنقيع الحبوب حبوب الشعير تنظف وتكسر بالاضافة الى ازالة البذور الغريبة والرمل الخ. الحبوب بعد ذلك تنقع في الماء بحرارة 10-15 درجة مئوية فالحبوب تمتص الماء وتزداد بالحجم واخيرا حجمها حوالي 4% من الحجم الاولي. سوف تنمو الاحياء المجهرية في النقيع ولعدم السماح بفساد او تلف الحبوب فان ماء النقيع يتم تبديله كل 12 ساعة حتى تكون محتويات الحبوب 45% من الحجم الاولي. عملية النقيع تستمر من يومين الى ثلاثة ايام. الانزيمات التي تتكون تنتشر الى داخل الحبوب حيث وجود السويداء **endosperm** وتحتوي خلايا السويداء على حبيبات النشا اذ تمتلك تلك الخلايا جدران من هميسليلوز **hemicellulose** والذي يتكسر بواسطة انزيمات ال **hemicellulases** قبل تحليل النشا بواسطة انزيم **amylases**. انزيمات ال **Alpha-amylase** تبني ايضا بواسطة الحبوب.

انزيمات ال **Beta-amylase** هي مبدئيا موجودة في الحبوب ولا تبني ولكن ترتبط بالبروتينات وتطلق بواسطة انزيمات **proteolytic enzymes**. وان عملية انتاج الانزيمات تكمل خلال 4-5 ايام من النمو النباتي والمدى يفحص تقريبا من

تطور المذاق الحلو في الحبوب وطول الجذر الشعري الجديد. الانزيمات المختلفة والمتكونة سوف تكسر بعض الكميات من موادها الاساس ولكن تكسير مواد الاساس بصورة كبيرة سوف يكون في مرحلة الهرس **mashing** . تفاعلات اخرى سوف تتوقف بالتدفئة والذي يتضمن تدفئة الشعير الاخضر النابت اولا بحرارة معتدلة حتى يختزل محتوى الرطوبة من 45% الى 6%. وبالنسبة فان درجة التدفئة تعتمد على نوع البيرة المراد انتاجها وتكون فترتها خمسة ايام. في نهاية هذه المرحلة سوف تحدث تغيرات في التركيب الاجمالي لحبوب الشعير. الجذور سوف تزال الجذور من الحبوب والوزن المفقود يعرف على انه خسارة النقيع والذي يحدث في كل مرحلة من هذه العملية وان الخسارة المتراكمة تكون اعلى من 15%. ان بيرة الشعير مع المحتوي الانزيمي العالي تشبة الحبوب المنتفخة والغير المطحونة من الرز ويمكن ان تخزن لفترة طويلة قبل استعمالها.

## 2- الهرس **Mashing**

الهدف من الهرس هو لاستخلاص اكبر نسبة ممكنة من الجزء الذائب من الشعير واخضاع الجزء غير الذائب من الشعير والملحقات الاخرى للتحليل الانزيمي. ويمكن اعتبار مرحلة الهرس كامتداد لعملية النقيع. في جوهره يتكون الهرس من خلط الشعير مع الملحقات بدرجة حرارية هي مثلى لانزيمات الامايليز والبروتينيز والتي تنشأ من الشعير. المحلول المائي الناتج من مرحلة الهرس يعرف بالنبتة **wort** . يتكون الوزن الجاف للحبوب من جزئين كبيرين وهما النشا 55% والبروتين 10-12% وان عملية السيطرة على تكسير تلك المكونات تمتلك التأثير الكبير على ميزات البيرة وسوف يتم ايضاحها ادناه.

### تكسير النشا خلال عملية الهرس **Starch breakdown during mashing**

يكون النشا في الشعير حوالي 55% من الوزن الجاف 20-25% منه يصنع من **amylose** والانزيمات الداخلة في تكسير النشا هي الالفا والبيتا امايليز **alpha and beta-amylases**. الجدول التالي يوضح درجات الحرارة المثلى والمحفمة لتلك الانزيمات والاس الهيدروجيني لها .

Enzyme	Optimum temperature	Temperature of destruction	Optimal pH
Alpha-amylase	70°C	80°C	5.8
Beta-amylase	60-65°C	75°C	5.4

### تكسير البروتينات خلال عملية الهرس **Protein breakdown during mashing**

ان تكسير بروتينات الشعير كالبومينات والكلوبيينات وال **hordeins** وهي عبارة عن بروتينات سكرية يبدأ خلال عملية النقيع وتستمر خلال عملية الهرس بواسطة انزيمات البروتينيز والذي يكسر البروتينات من خلال البيبتون الى بولي ببتايد والبولي ببتايد **polypeptidases** والذي يكسر البولي ببتايد الى احماض امينية. تكسير البروتينات لا يتم في درجة حرارية مثلى معروفة لكن خلال عملية الهرس تصل درجة الحرارة الى 60 درجة مئوية بعد هذه الدرجة انزيمات البروتينيز

والبوليببتايديز سوف تتحطم. الفعالية البروتينية في المستخلص بعد عملية الهرس الانبات wort يعتمد على الاس الهيدروجيني ولهذا السبب الاس الهيدروجيني لل wort يكون بين 5.2-5.5 مع حامض اللين وحوامض معدنية كبريتات الكالسيوم.

Wort عبارة عن سائل يستخلص من عملية الهرس ويحتوي على السكر الذي سوف يتخمر بواسطة الخمائر لينتج الكحول.

### الظروف البيئية العامة والتي تؤثر على عملية الهرس

ان التقدم في عملية الهرس تتاثر باندماج مجموعة من العوامل مثل الحرارة والاس الهيدروجيني والوقت وتركيز ال wort. عندما تكون درجة الحرارة ثابتة بين 60-65% لوقت طويل فان المستخلص المائي ال wort غني بالمaltوز بسبب ان فعالية انزيم البيتا اميليز تكون في ظروف مثلى وان ذلك الانزيم ينتج maltوز بصورة رئيسية. واذا ارتفعت درجة الحرارة لتصل الى 70% فان الدكسترين Dextrin سوف يتكون بصورة سائدة والاخير يكون ضمن مكونات البيرة الا انه لا يحلل بواسطة الخمائر. الهريس يتعرض لحرارة عالية جدا سوف يكون ذا مستوى منخفض من الكحول بسبب عدم كفاية انتاج maltوز. درجات الاس الهيدروجيني المثلى لعملية تحلل البروتينات ال proteolysisid هي نفسها لانزيمات البيتا اميليز في الجدول اعلاه. ان تركيز الهريس ضروري فالهريس الرقيق هو الاعلى الاستخلاص (المواد الذائبة من الشعير) والاعلى بمحتويات maltوز.

### طرق الهرس Mashing methods

هناك طرق واسعة للهريس منها:

- 1- الاستخلاص بالغلي decoction methods: والتي تتضمن نقل جزء من الهريس من برميل تخمر الهريس mash tun الى قدر الهريس الكبير ليتم غليانه.
- 2- طريقة الصب Infusion methods: اذ لا يتم فيها غلي الهريس لكن درجة الحرارة ترتفع تدريجيا.
- 3- طريقة الهريس المزدوج The double mash: والتي يتم فيها غليان الملحقات النشوية و اضافتها للشعير.

### كيفية اعداد وتحضير الهريس Mash separation

في نهاية عملية الهرس سوف يتم ازالة القشور والمواد غير الذائبة من المستخلص المائي ال wort في خطوتين الاولى يفصل ال wort من الجزء الصلب وثانيا الاجزاء الصلبة نفسها سوف تتحرر من المزيد من المواد المستخرجة بواسطة غسلها بالماء الحار. ان عملية الغسل بالماء الحار تتم بماء بدرجة حرارة 80 درجة مئوية و يستمر حتى تكتمل عملية الاستخلاص. المادة التي تترك بعد عملية الغسل بالماء الحار تعرف بالحبوب المصروفة spent grain وتستخدم كعلف للحيوانات. بعض الاحيان هذه الحبوب قد تتعرض لعملية الطرد المركزي والمستخلص يستخدم لطبخ الملحقات. في هذه المرحلة سوف يتم اضافة ال hops وهي عبارة عن مواد حافظة طبيعية وايضا الملحقات مثل شراب السكر.

### 3-غليان المستخلص المائي Wort boiling

الورت سوف يغلظمن ساعة الى ساعة ونصف في وعاء التخخير الذي يكون مصنوع من النحاس او الالمنيوم في الاوعية الحديثة. عندما يستعمل شراب الذرة او السكروز كملحقاتتضاف في بداية الغليان. مطيبات النكهة تضاف ايضا بعضها قبل وبعضها تضاف في نهاية الغليان وان الغرض من عملية الغليان كما ياتي:

- 1- لتركيز الورت والذي يفقد من 5-8% من حجمه من خلال التبخر خلال عملية الغليان
- 2- لتعقيم الورت لاختزال المحتوى المايكروبي قبل دخوله الى داخل المخمر.
- 3- لتعطيل اي انزيم وبالتالي لا يحدث تغيير في تركيب الورت.
- 4- لا ستخلص المواد الذائبة من مطيبات النكهة hops والتي لا تساعد فقط في ازالة البروتين ولكن ايضا في ادخال مرارة ال hops .
- 5- لغرض ترسيب البروتين والذي يشكل كتل كبيرة متجمعة من جسيمات دقيقة بسبب تحطيم الحرارة والارتباط مع العفص المستخرج من المطيبات وقشور الشعير.
- 6- البروتينات غير المترسبة تشكل عكورة او ضبابية في البيرة ولكن القليل من البروتين يؤدي إلى ضعف تكوين رأس الرغوة.
- 7- لتطوير عملية تكوين اللون في البيرة بعض اللون فيها ياتي من النقيع ولكن الجزء الاكبر ياتي من خلال عملية غلي الورت. اللون يتشكل بواسطة العديد من التفاعلات الكيميائية بضمنها عملية تسمير السكر اي جعل السكر قهوائي اللون وايضا اكسدة المركبات الفينولية والتفاعلات بين الاحماض الامينية والسكريات المختزلة.
- 8- ازالة المركبات الطيارة وهي الاحماض الشحمية والتي تؤدي الى نتانة البيرة.

#### 4- التخمر Fermentation

عملية التخمر تبدأ بتلقيح الورت بالسلالة المرغوبة من *S. cerevisiae* لتعطي العدد المطلوب من هذه الكائنات لبداية التخمر وهو  $10^6 \times 10^{15}$  CFU/ml. (ان الخصائص المميزة لهذه السلالة هي قابليتها لتكوين تخمر سريع وفعال تحت ظروف سائدة للورت مثلا وجود مستخلص مطيبات النكهة وتحليل المالتوز والمالتوترايوز وتعطي مذاق البيرة المقبول وامتلاكها للخصائص الرغوة المرغوبة وتمتلك صفات الخزن *handling properties* الجيدة مثل قابليتها لان تكون جاهزة للتكاثر ويمكن اعادة تحليلها).

وهذا يتم بالبداية مع مزرعة نقية على شكل مائل وتكاثر الخلايا خلال كميات متزايدة من حجوم معقمة من الورت لتعطي الكمية المطلوبة للتخمر. وبدلا من ذلك خلايا الخمائر يمكن الحصول عليها من التخمرات السابقة واعادة استعمالها. ويمكن استخدام خلايا الخمائر لحوالي 5-8 تخمرات بعدها تفقد الخلايا فعاليتها ويجب استبدالها بواسطة تكاثر مستعمرات جديدة.

لاعادة الاستعمال خلايا الخمائر تؤخذ في نهاية عملية التخمر ثم تغسل لازالة الخلايا الميتة ومواد الورت المترسبة وبعدها تخزن على هيئة شبه سائلة مركزة بين 0-5 درجة مئوية. وقبل بداية عملية التخمر في دفعة جديدة من الورت الخلايا تعلق في حامض ضعيف الفوسفوريك والكبريتيك في بيئة حامضية 2.2-2.4 لمدة 2-4 ساعة على درجة حرارة 5 مئوية لقتل الملوثات البكتيرية. وفحوصات ضمان الجودة مطلوبة للتحقق من الخمائر المعاد استعمالها تحتفظ ببقاء جيد وفعالية تخمرية وليس متلثة بمستوى غير مقبول من البكتريا او الخمائر البرية. في عملية تخمير الورت الخمائر تبدأ النمو بطور التطبع وان

التخمير النشط يمكن الشعور به بعد 12-24 ساعة. بعد 2-4 يوم الخمائر تتضاعف الى اقصى عدد وهو  $10^7 \times 6-8$  CFU/ml بعدها سوف يكون المعلق اكبر حجما. وعلى كل حال العديد من العوامل تؤثر في معدل التخمير وهي تركيز ومعدل البقاء لخلايا الخمائر الملقة ودرجة الحرارة التخمير وتركيز الاوكسجين المذاب في الورت في وقت التخمير وتركيز الكربوهيدرات المخمرة و النتروجين المتاح في الورت وكيفية ادارة الخمائر قبل عملية التخزين. تقوم الخمائر بتخمير سكريات الورت السكروز والكلكوز والفركتوز والمالتوز والمالتوترايوز Maltotriose بواسطة مسار the Embden-Meyerhof-Parnas للايثانول وثاني اوكسيد الكربون وكميات بسيطة من المركبات الثانوية والتي تشارك في مذاق البيرة.

بسبب ان المالتوز هو السكر السيادي في سكر الورت ولذلك فمن الضروري تخمره بسرعة وفعالية. وينقل داخل الخلايا بواسطة انزيم permease وبعدها يحلل بواسطة انزيم a-glucosidase الى كلكوز. Maltotriose يخضع لنفس المسار اعلاه. وان الخطوة المحددة الكبيرة في عملية التخمير هي امتصاص تلك المادتين كماد اساس حيث يتم قمع إنتاج انزيمات النقل عن طريق وجود الكلوكوز. وان تحليل المالتوز والمالتوترايوز تبدأ فقط عندما يتحلل حوالي 50-60% من الكلوكوز. وان المشكلة تكون كبيرة عند استخدام شراب الكلوكوز كملحقات الورت. خمائر التخمير لا تنتج amylases or amyloglucosidases لتخمير كميات كبيرة من maltooligosaccharides or starch dextrans في الورت. ولاحقا تلك السكريات تبقى في البيرة النهائية وتمثل خسارة في الايثانول وتشارك في القيمة الحرارية للنتاج. وقد لوحظ ان بعض الانزيمات تنتج من قبل انواع اخرى قادرة على تحليل تلك المواد. الاحماض الامينية في الورت تعد كمصدر للنتروجين لنمو الخميرة. وكما تطرق اليه فان الفعاليات الاحيائية والنمو للخمائر في الورت تنتج مدى واسع من المركبات الطيارة والتركيزات والكميات النسبية التي تؤثر بشكل كبير على مذاق وجودة البيرة. ومن ابرز هذه المواد الكحوليات العالية والاسترات والالديهيدرات والاحماض العضوية والكبريت المتطايرة وان تركيزها في البيرة يتاثر بعدة عوامل منها سلالة الخميرة وحرارة التخمير والاس الهيدروجيني ولزوجة الورت والملحقات المضافة وتهوية الورت وضغط ثاني اوكسيد الكربون. الدراسات الحديثة تركز على سرعة تكوين المركبات الطيارة خلال عملية التخمير وهدفها الرئيسي هو تطوير خطوات عملية للسيطرة على انتاجها.

## احياء مجهرية الشعير ونقيع الشعير Microorganisms of barley and malt

اعداد وانواع الاحياء المجهرية الموجودة الشعير المنقوع تعتمد على الظروف المناخية السائدة خلال نمو نبات الشعير وتلوث حبوب الشعير خلال عمليات الحصاد والخزن وظروف الخزن لما بعد الحصاد للشعير والنمو المايكروبي للحبوب خلال عملية النقيع وبقاء المايكروبات بعد ازالة الرطوبة من نقيع الشعير وظروف الخزن للنقيع. البكتريا 106-107 CFU في الحبوب والخمائر 104-105 CFU في الحبوب هي السائدة قبل وبعد حصاد الشعير ولكن الفطريات الخيطية تكون موجودة ايضا. البكتريا المعزولة في تلك المراحل هي انواع للبكتريا التالية

*Aureobacterium, Bacillus, Brevibacterium, Corynebacterium, Clavibacterium, Microbacterium, Oerskovia, Streptomyces, Erwinia, Pseudomonas and Chromobacterium.*

اما الخمائر فهي انواع تعودل

*Rhodotorula, Sporobolomyces, Hansenula, Candida and Cryptococcus.*

الفطريات فهي

*Alternaria alternata, Cladosporium spp., Epicoccum, Aureobasidium, Acremonium and Verticillium spp.*

ولغرض منع نمو الاعفان والفساد خلال فترة الخزن فان محتوى الرطوبة لحبوب الشعير يجب ان يكون اقل من 12.5%.

## التعبئة Packaging

تنقل البيرة الى خزانات الضغط ومن هناك يوزع للقناني المعدنية والزجاجية وبقية القناني. لايسمح البيرة للتماس مع الاوكسجين خلال تلك العملية ولايسمح ايضا لخسارة الCO2 او لتلوثها مع الاحياء المجهرية. لانجاز تلك الاهداف البيرة تضاف الى الخزانات في ظروف لاهوائية تماما اي وجود ثاني اوكسيد الكربون والتعبئة تتم تحت الضغط المضاد من الCO2 وتعقم كل الاجهزة والمعدات تنظف وتعقم بصورة دورية. القناني الزجاجية تغسل بالكامل بالماء الحار وهيدروكسيد الصوديوم قبل تعبئتها. القناني الزجاجية المعبئة والمغلقة تمرر لعملية البسترة اذ تنظم تلك القناني تحت حرارة 60 درجة مئوية لمدة نصف ساعة.

## عيوب البيرة Beer Defects

من اهم العيوب هي العكورة والتي يمكن ان تكون ذا اصل بيولوجي او فيزيائي كيميائي. العكورة البيولوجية تتسبب بواسطة الكائنات التي تسبب التلف والتي تنشأ ضعف نظام النظافة في مصانع الجعة مثلا عدم غسل الانابيب بصورة صحيحة وعدم كفاءة البسترة. الكائنات التي تسبب التلف في البيرة يجب ان تكون قيد الحياة في ظروف صعبة موجودة في البيرة مثل الاس الهيدروجيني الواطىء والمواد المطهرة antiseptic substances في المواد الحافظة ال hops وايضا بسترة البيرة والظروف اللاهوائية. الخمائر وبكتريا محددة هي مسؤولة عن سبب فساد البيرة بسبب انها تستطيع مقاومة تلك الظروف. الخمائر البرية او غير المرغوبة مثل *Sacch. diastaticus and cerevisiae var. turbidans* والاخير مهمة بسبب قدرتها على النمو في دكستريانات البيرة وبالتالي تسبب العكورة والطعم الغير مرغوب في البيرة. من بين البكتريا *Acetobacter, and the lactic acid bacteria, Lactobacillus and Streptococcus*

