## المحاضرة السادسة – حفظ المنتجات الغذائية بالتخمير والتخليل والتجفيف والمواد الكيميائية والطبيعية

**الحفظ بالتخمير :** هو عملية **حيوية ميكروبية** تقوم بها كائنات دقيقة مثل **البكتيريا أو الخمائر**، حيث تُحوِّل السكريات إلى أحماض عضوية أو كحول أو غازات ، في الصناعات الغذائية، يستخدم التخمير **للحفظ ، أو تطوير الطعم ، أو زيادة القيمة الغذائية** .

**أنواع التخمير الغذائي**

| النوع | الناتج الرئيسي | مثال غذائي |
|---|---|---|
| تخمير لاكتيكي Lactic Acid Fermentation | حامض اللاكتيك | مخلل الملفوف ، اللبن |
| تخمير كحولي Alcoholic Fermentation | كحول إيثانول | الخبز |
| تخمير خليكي أو أسيتيكي Acetic acid fermentation | حامض الخليك | الخل |

**العوامل المؤثرة في التخمير**

| العامل | التأثير |
|---|---|
| درجة الحرارة | تسرّع أو تبطئ من نشاط الكائنات الدقيقة |
| تركيز الملح | يثبط الكائنات الضارة ويشجع النافعة |
| درجة الحموضة (pH) | بيئة منخفضة pH تعيق نمو البكتيريا الضارة |
| نوع الغذاء | مصدر السكر، والمركبات المضادة للميكروبات |

**طريقة صناعة المتخمرات**

**الأدوات المستخدمة :**

- موازين رقمية
- مقياس pH
- حاضنات حرارية
- برطمانات معقّمة
- ملعقة خشبية (غير معدنية)
- قفازات، كمامات، وأدوات نظافة

## تخمير الملفوف (Sauerkraut)

**المكونات :**

- 1 كغ ملفوف أبيض مفروم ناعماً
- 20غ ملح نقي (2%)

**الخطوات :**

1. **التعقيم** : غسل الأدوات والبرطمانات جيدًا بالماء الساخن المغلي.
2. **التحضير** : فرم الملفوف ناعمًا ثم وزن الكمية المطلوبة.
3. **الإضافة** : يُضاف الملح ويُفرك الملفوف جيدًا حتى يخرج منه العصير.
4. **التعبئة** : يوضع الملفوف في برطمان ويُضغط حتى يغمره السائل الخاص به.
5. **التخمير** : يُترك البرطمان في درجة حرارة (18 الى 22 $^0$م) لمدة 1-2 أسابيع.
6. **المتابعة** : يُراقب مستوى السائل كل يوم ويُضاف محلول ملحي إذا لزم الأمر.
7. **التحليل** : يتم قياس pH حيث يجب أن يصل إلى أقل من 4 درجة خلال أسبوع.

## تخمير اللبن الزبادي (Yogurt)

**المكونات :**

- 1 لتر حليب طازج
- 2 ملعقة طعام لبن زبادي جاهز (starter)

**الخطوات:**

1. **تسخين الحليب** :حتى 90 $^0$م ثم يُبرد إلى 43 °م
2. **إضافة البادئ** : تُخلط ملعقتان من اللبن الجاهز (المصنع سابقاً) بالحليب المبرد.
3. **التحضين** : يُغطى ويوضع في مكان دافئ 43 $^0$م لمدة 6-8 ساعات.
4. **التبريد** : يُحفظ في الثلاجة ليصبح جاهزًا بعد 12 ساعة.

## عجينة مخمرة (الخميرة الطبيعية - Sourdough)

**خطوات تصنيع خميرة برية :**

- اليوم 1 : اخلط 100غ طحين + 100مل ماء. ثم غطِّ في وعاء واتركه في مكان دافئ.
- الأيام 2 - 7 : كل يوم أضف 50غ طحين + 50مل ماء (تغذية).

**استخدام الخميرة في الخبز :**

- تُضاف الخميرة إلى العجينة الأساسية.
- تُترك لتختمر 4-12 ساعة حسب الحرارة.
- تُخبز عند حرارة 220 °م .

**القياسات العملية**

| النوع | درجة الحموضة النهائية | وقت التخمير |
|---|---|---|
| Sauerkraut | pH = 3.5 – 4.0 | 7 – 14 يومًا |
| Yogurt | pH = 4.0 – 4.6 | 6 – 8 ساعات |
| Sourdough | pH = 3.8 – 4.2 | 12 – 24 ساعة |

**الحفظ بالتخليل** : هو عملية حفظ الغذاء عن طريق النقع في محلول ملحي (NaCl) أو الخل، ما يؤدي إلى تثبيط نمو الكائنات الحية الدقيقة المسببة لفساد الغذاء.

**الأساس العلمي لعملية التخليل**

- البيئة المالحة أو الحامضية تمنع نمو الميكروبات الضارة .
- انخفاض النشاط المائي (a.w) .
- بعض التخليلات تتضمن تخمير لاكتيكي تلقائي .

**العوامل المؤثرة في التخليل**

| العامل | تأثيره |
|---|---|
| تركيز الملح | يزيد من الحفظ ولكن يؤثر على الطعم |
| درجة الحرارة | تؤثر على سرعة العملية |
| نوع الخضار | تختلف في النفاذية والأنسجة |
| وقت التخليل | كلما طال الوقت زادت الحموضة |

**طريقة صناعة المخللات**

**الأدوات المطلوبة :**

- برطمانات او علب زجاجية محكمة الإغلاق
- أوعية بلاستيكية غذائية
- ميزان حساس
- مقياس pH
- مقياس حرارة ثيرمومتر
- قفازات صحية

**مخلل الخيار (Pickled cucumber)**

**المكونات :**

- 1 كغ خيار صغير الحجم
- 100غ ملح (10%)
- 1 لتر ماء
- 5 فصوص ثوم
- 2 ملعقة شبت
- شرائح ليمون (اختياري)

**الخطوات :**

1. **التحضير** :غسل الخيار جيداً ، وإزالة أي أطرافه التالفة.
2. **تحضير المحلول الملحي** : إذابة 100غ من الملح في لتر ماء.
3. **التعبئة** : يوضع الخيار في البرطمان مع الثوم والشبت.
4. **إضافة المحلول** : يُسكب المحلول حتى يغمر الخيار بالكامل.
5. **الإغلاق** : يُغلق البرطمان جيداً ويوضع في مكان معتدل الحرارة.
6. **الملاحظة والمتابعة** : يبدأ التخليل خلال 3-5 أيام وتكتمل النكهة خلال 2-3 أسابيع.
7. **التحليل** : تقاس الحموضة (pH) ويجب أن تكون أقل من 4.6 لضمان الأمان الغذائي.

**ملاحظات السلامة :**

- النظافة أساس نجاح التخليل.
- استخدام أوعية غير معدنية لتجنب التفاعل مع الحامض.
- التخلص من أي تخليل تظهر فيه رغوة زائدة أو رائحة كريهة.

**مقارنة بين التخليل والتخمير**

**1. من حيث النشاط الميكروبيولوجي - الكيميائي**

| العنصر | التخليل (Pickling) | التخمير (Fermentation) |
|---|---|---|
| نوع التفاعل | كيميائي في الغالب (حامض أو ملح) | بيولوجي – نشاط بكتيري أو خميري (خمائر) |
| البيئة | حامضية مصطنعة (خل، أو تركيز ملح مرتفع) | حامضية طبيعية ناتجة عن الكائنات الدقيقة |
| دور الميكروبات | غير ضروري دائمًا (بعض التخليل لا يتضمن تخميرًا) | أساسي : بكتيريا لبنية ، خمائر |
| النشاط المائي | يُخفض بفضل الملح أو الحامض | لا يُخفض بنفس الدرجة ، بل يُتحكم فيه ميكروبيولوجيًا |

**2. من حيث القيمة الغذائية**

| العنصر | التخليل | التخمير |
|---|---|---|
| الفيتامينات | خسائر في الفيتامينات القابلة للذوبان | غالبًا ما تُنتج فيتامينات B وK |
| الفوائد الهضمية | نادرة | عالية: إنتاج بروبيوتيك ، تحسين الهضم |
| الإنزيمات | مفقودة أو غير فعالة | تنشط الإنزيمات المفيدة |
| التأثير على الجهاز المناعي | محدود | يُعزز مناعة الأمعاء |

**3. من حيث الصفات الحسية**

| العنصر | التخليل | التخمير |
|---|---|---|
| الطعم | حامض قوي أو مالح | أكثر توازنًا: حموضة ناعمة، طعم مركّب ومخمّر |
| القوام | يبقى مقرمشًا أو يلين حسب المدة | قد يصبح طريًا أكثر بسبب النشاط الإنزيمي |
| النكهة | تعتمد على التوابل والخل أو الملح | تُنتج نكهات مميزة نتيجة النشاط الميكروبي |

**ملاحظة : يتم متابعة المنتجات المخمرة والمخللة خلال فترة الحفظ وفق النموذج المبين أدناه**

| اليوم | اللون | وجود غازات | الملاحظات الحسية | pH | درجة الحرارة |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | أخضر فاتح | لا | طازج – لا تغيير | 6.5 | 20°C |
| 3 | يميل إلى الأصفر | بسيط | بداية ظهور حامضية | 5.2 | 22°C |
| 7 | أصفر | نعم | حموضة واضحة – طري | 4.2 | 23°C |
| 14 | ثابت | مستقر | نكهة جيدة – مستقر | 3.8 | 22°C |

**الحفظ بالتجفيف** : هو عملية إزالة معظم الماء من المنتج الغذائي لتقليل النشاط المائي **(a.w)**، مما يمنع نمو الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن التل ، اذ تُعد هذه الطريقة من أقدم وسائل حفظ الاغذية ، وتتميز بأنها **اقتصادية ، تقلل الوزن والحجم ، وتحافظ على الغذاء لفترات طويلة.**

**الاساس العلمي للتجفيف**

- **الهدف الأساسي** : تقليل النشاط المائي إلى أقل من 0.6 .
- **آلية العمل** : انتقال الحرارة إلى الغذاء ← تبخر الماء ← انتقال الرطوبة إلى السطح ← طرد بالبخار.
- **التجفيف يوقف :**
  - نمو البكتيريا والخمائر والفطريات
  - الإنزيمات المسببة للتلف

**أنواع التجفيف**

| النوع | الوصف | أمثلة |
|---|---|---|
| التجفيف الشمسي | باستخدام حرارة الشمس | الفواكه ، الأعشاب |
| التجفيف بالهواء الساخن | باستخدام مجفف حراري بتيار هوائي | الخضروات، الفواكه |
| التجفيف بالتجميد (Freeze Drying) | إزالة الرطوبة بالتسامي على حرارة منخفضة | منتجات عالية الجودة |
| التجفيف بالميكروويف | تجفيف سريع بالطاقة الكهرومغناطيسية | عينات صغيرة الحجم |

**العوامل المؤثرة على جودة التجفيف**

| العامل | التأثير |
|---|---|
| درجة الحرارة | ارتفاعها يسرّع التجفيف لكن قد يضر اللون أو الفيتامينات |
| سرعة الهواء | تعزز من تبخر الرطوبة |
| سمك الشرائح | الشرائح ذات السمك القليل تجف بسرعة أكبر |
| نوع المادة الغذائية | كل مادة تختلف في محتواها من الماء والسكريات |

**التجفيف لبعض العينات في المختبر**

**الأدوات والتجهيزات المطلوبة**

- ميزان رقمي دقيق
- مقص ومشارط لتقطيع الشرائح
- صواني تجفيف
- مجفف حراري (Oven)
- جهاز قياس الرطوبة (Moisture Analyzer)
- ميزان حرارة
- مقياس pH
- برطمانات للتخزين أو أكياس تفريغ هواء

**تجفيف شرائح التفاح بالهواء الساخن**

**المواد:**

- 1 كغ تفاح طازج
- عصير ليمون (لتجنب الاسمرار)

**الخطوات :**

1. يُغسل التفاح ويُقشر ويُقطّع إلى شرائح بسماكة 5 مم.
2. تُغمر الشرائح في محلول ليمون (5 دقائق) لتثبيط الإنزيمات المؤكسدة.
3. توضع على صينية التجفيف دون تراكب.
4. تُجفف في مجفف حراري عند 60°م لمدة 6–8 ساعات.
5. تُوزن قبل وبعد لتحديد نسبة الفقد في الرطوبة.
6. تُحفظ في أوعية زجاجية محكمة.

## تجفيف شرائح الطماطم

**الخطوات :**

1. تُغسل الطماطم وتُقطّع إلى شرائح رفيعة (4 مم).
2. يمكن إضافة القليل من الملح للمساعدة في السحب.
3. تُجفف على 55–60°م لمدة 10 ساعات تقريبًا.
4. تُختبر الجفاف عن طريق الملمس (غير لاصقة ومرنة).

## تجفيف النعناع أو الزعتر

**الخطوات :**

1. تُغسل الأوراق جيدًا وتُصفّى.
2. تُفرد على شبك أو قماش في مكان مظلل وجيد التهوية (تجفيف شمسي) أو في فرن 40°م لمدة 3–4 ساعة.
3. تحفظ في عبوات محكمة داكنة لتقليل التعرض للضوء.

**التعبئة والتخزين**

- المنتجات المجففة يجب أن تُحفظ في **مكان جاف، بارد، ومعتم.**
- **أنواع التعبئة :**
  - أكياس نايلون مع تفريغ هواء
  - برطمانات زجاجية محكمة
  - عبوات بلاستيكية غذائية
- يجب تسجيل **تاريخ الإنتاج ونوع المادة المجففة.**

**تحليل الرطوبة لبعض المنتجات المجففة :**

| المادة | الرطوبة قبل التجفيف | بعد التجفيف | الفقد |
|---|---|---|---|
| تفاح | 85% | 12% | -73% |
| طماطم | 94% | 15% | -79% |

**المواد الحافظة :** يُعد استخدام المواد الحافظة في الأغذية أحد أكثر الوسائل شيوعًا لإطالة فترة صلاحية الغذاء، **بتثبيط أو إبطاء نمو الكائنات الحية الدقيقة، ومنع التفاعلات الكيميائية الضارة** مثل الأكسدة.

**الفرق بين المواد الكيميائية والطبيعية**

| النوع | التعريف | أمثلة |
|---|---|---|
| **كيميائية** | مواد مضافة صناعية مخصصة للحفظ | بنزوات الصوديوم، سوربات البوتاسيوم |
| **طبيعية** | مستخلصات نباتية أو زيوت أساسية | الخل، مستخلص الزعتر، زيت القرفة |

**آلية عمل المواد الحافظة**

- **خفض الـ pH** لمنع نمو البكتيريا
- **تثبيط الإنزيمات** التي تحفّز التفاعل الحيوي
- **اختراق جدار الخلية البكتيرية** وإيقاف نشاطها
- **تشكيل طبقة حماية** تمنع الأكسدة أو التلوث الخارجي

**المواد الكيميائية الشائعة في الحفظ**

| المادة | الاستخدام | التركيز الآمن حسب Codex |
|---|---|---|
| **بنزوات الصوديوم (E211)** | عصائر – مشروبات غازية | % 0.1 |
| **سوربات البوتاسيوم (E202)** | منتجات الألبان – صلصات – حلويات | % 0.1–0.2 |
| **ثاني أكسيد الكبريت (E220)** | الفواكه المجففة – عصائر | حتى 200 ppm |
| **نيترات الصوديوم (E251)** | اللحوم المعالجة | حتى 150 ppm |

**المواد الطبيعية البديلة**

| المادة | المصدر | الآلية |
|---|---|---|
| **الخل (حمض الخليك)** | تخمير طبيعي | يخفض pH ويثبط الكائنات الدقيقة |
| **زيت الزعتر** | عشبة الزعتر | مضاد ميكروبي طبيعي |
| **مستخلص القرفة** | لحاء القرفة | مضاد فطري وبكتيري |
| **عصير الليمون** | الليمون الطازج | حمض الستريك كمضاد أكسدة |

**العوامل المؤثرة في فعالية المادة الحافظة**

| العامل | التأثير |
|---|---|
| تركيز المادة | كلما زاد التركيز زادت الفعالية (حتى حد الأمان) |
| نوع الغذاء | تأثير الحموضة، الرطوبة، الدهون |
| درجة الحرارة | الحرارة العالية قد تفسد المواد الطبيعية |
| التفاعل مع مكونات الغذاء | قد ترتبط بعض المواد بالبروتين وتفقد فعاليتها |

## حفظ عصير الفواكه باستخدام بنزوات الصوديوم

**المواد:**

- 500 مل عصير برتقال طبيعي
- بنزوات الصوديوم (0.1%)
- زجاجات زجاجية معقمة

**الخطوات :**

1. يُغلى العصير لمدة 2 دقيقة لتثبيط الإنزيمات.
2. يُبرد العصير إلى درجة حرارة الغرفة.
3. يُضاف 0.5 غ من بنزوات الصوديوم إلى 500 مل (تركيز 0.1%).
4. يُعبأ في زجاجات ويُغلق بإحكام.
5. تُحفظ عينات أخرى بدون مواد حافظة للمقارنة.
6. يُراقب التغير في اللون، الطعم، والتعكر خلال 10 أيام.

## حفظ المخللات بزيت الزعتر الطبيعي

**المواد:**

- 1 كغ خيار مخلل نصف مملح
- 5 مل زيت الزعتر(0.5%)
- برطمانات زجاجية محكمة

**الخطوات :**

1. تُصفى المخللات من المحلول الملحي.
2. يُضاف زيت الزعتر كمضاد ميكروبي طبيعي.
3. تُغلق البرطمانات وتُحفظ في درجة حرارة الغرفة.
4. تُقارن النتائج بعد أسبوع من التخزين: نمو العفن – الطعم – اللون.

**حفظ اللبن الرائب بسوربات البوتاسيوم**

**الخطوات :**

1. يُحضّر لبن رائب طازج.
2. تُضاف كمية محددة من سوربات البوتاسيوم (0.1%).
3. تُحفظ العينات في الثلاجة وأخرى بدون مادة حافظة.
4. يُلاحظ النمو الميكروبي وتغير الرائحة والقوام خلال 7 أيام.

**تقييم فعالية الحفظ بالمتابعة :**

| العينة | اليوم 0 | اليوم 5 | اليوم 10 |
|---|---|---|---|
| عصير بدون مادة | طبيعي | متعكر | متخمر |
| عصير مع بنزوات | طبيعي | طبيعي | طبيعي |
| مخلل بزيت الزعتر | طبيعي | طبيعي | بداية تعكر |
| لبن بدون مادة | طبيعي | حامض | منفصل |
| لبن مع سوربات | طبيعي | طبيعي | طبيعي |

**تقييم pH :**

| العينة | اليوم 0 | اليوم 10 |
|---|---|---|
| عصير برتقال | 3.8 | 3.6 |
| لبن رائب | 4.5 | 4.2 |

**ملاحظات السلامة عند العمل بالمواد الكيميائية (المضافات)**

- استخدام **قفازات وكمامات** عند التعامل مع المواد الكيميائية.
- التأكد من **قياس الكميات الدقيقة** لتجنب التسمم الغذائي.
- عدم تجاوز **التركيزات المسموح بها** دوليًا.
- حفظ العينات في أوعية نظيفة ومغلقة بإحكام.