الفصل العاشر

النشاط المائى وقوة حفظ الجبن
Water activity and keeping quality of cheese

١- مقدمة

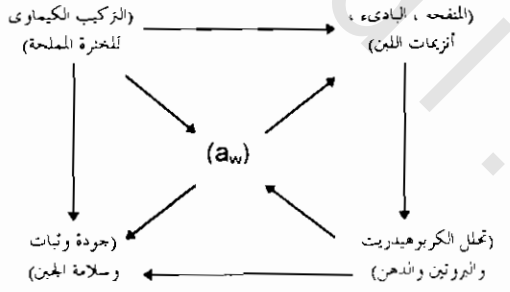
الجبن ليس نظاما ثابتا حيث توجد به تغيرات مستمرة فى الصفات الطبيعية والكيماوية والبيولوجية نتيجة للنشاط البيوكيماوى سواء للميكروبات المفيدة أو الضارة (المسببة للتغيرات غير المرغوبة والمرضية) والذى يؤدى الى تكوين نظام بيئى مناسب يعتمد على سلسلة تفاعلات بين العوامل الطبيعية والكيماوية والبيولوجية والتى تنتهى الى تهيئة ظروف معينة داخل الجبن تحدد قوة حفظ وسلامة الناتج النهائى. ويعتبر النشاط المائى (a_w) من العوامل الأكثر أهمية فى هذا المجال والتى تلعب دورا هاما فى تحديد قوة حفظ الجبن keeping quality (أى ثبات الجبن stability of cheese) حيث تقوم بتهيئة الظروف الملاءمة لنمو ونشاط ومقاومة الميكروبات فى الجبن والذى يؤدى الى تغيرات فى صفات الجبن الناتج تؤثر على تحدد قوة حفظه وصلاحيته للأستهلاك .

تعتبر صناعة الجبن أساسا وسيلة لحفظ مكونات اللبن لفترات متباينة حيث يتم تحويل اللبن، مادة سريعة الفساد (a_w مرتفع ، pH قريب من التعادل) الى جبن يتميز بقوة حفظ أفضل (a_w و pH منخفض). فى بداية صناعة الجبن يكون a_w حوالى ٠,٩٩ . حيث يأخذ فى الأنخفاض طبقا لطريقة الصناعة وفترة تسوية الجبن التى تختلف طبقا لنوع الجبن . لذلك فإن a_w فى الناتج النهائى يلعب دورا هاما فى تحديد قوة حفظه . والجبن الطرية والنصف طرية تتميز بقوة حفظ قصيرة نسبيا (٢-١٢ أسبوع) حيث تكون a_w مرتفعة وتتراوح بين ٠,٩٦-٠,٩٩ (a_w فى جبن الكممبير ٠,٩٨ ومدة الحفظ لا تتجاوز ٨-١٢ أسبوع ، جبن الكوارج ، Cottage حيث تكون a_w ٠,٩٩ ومدة الحفظ فى حدود أسبوعين). الجبن شديدة الجفاف مثل البرمسان تتميز بقوة حفظ طويلة تصل الى أكثر من سنتين حيث تكون a_w منخفضة نسبيا (٠,٩). الجبن المرتفعة فى a_w تكون سريعة الفساد

بدرجة ملحوظة وقد تسبب بعض حالات التسمم الغذائى ومن الضرورى حفظها تحت درجات حرارة منخفضة حتى الأستهلاك . وعموما لا تستطيع الميكروبات أن تنمو فى الأغذية التى تقل فيها قيم a_w عن ٠,٦ ، لذلك فإن حدوث أى تغيرات غير مرغوبة (تؤدى الى فساد وعدم الصلاحية للأستهلاك) فى هذه الأغذية لا ترجع الى نشاط ميكروبيولوجى ولكن ترجع بصفة أساسية الى آفات حشرية أو تفاعلات كيماوية مثل الأكسدة .

الأساس فى صناعة الجبن الطرية والنصف طرية تتضمن أنخفاض pH والنشاط المائى a_w من خلال تخمر حمض اللاكتيك الذى يتبعه طرد الشرش وتمليح الخثرة . يتم تجبن اللبن بواسطة التجبن الأنزيمى بأستخدام أنزيم بروتينيز مناسب (قد يكون منفحة حيوانية أو ميكروبية) مع أنتاج حمض لاكتيك بواسطة بكتريا البادئ . زيادة الحموضة خلال مراحل التصنيع مثل تسوية اللبن ، التجبن ، تصفية الخثرة ثم تسوية الجبن على جانب كبير من الأهمية فى تحديد a_w وقوة حفظ وسلامة الجبن .

يعتبر النشاط المائى (a_w) حاليا من أهم التطورات فى مجال علوم الأغذية والألبان فى خلال ٥٠ سنة الأخيرة حيث يتم حاليا دراسة تأثير a_w على التغيرات الطبيعية والكيماوية والميكروبيولوجية التى تحدث فى الأغذية على أسس علمية . وتعتبر a_w حاليا بعد درجة الحرارة من أهم العوامل فى تكنولوجيا الأغذية والألبان . وتلعب a_w دورا مركزيا فى الجبن كما يتضح من المخطط التالى حيث يؤثر على جودة وقوة حفظ وسلامة الناتج النهائى من الجبن .



٢- النشاط المائى وعلاقته بنمو الميكروبات

جميع أنواع الميكروبات لا تستطيع أن تنمو فى عدم توفر الماء . تختلف كمية الماء المطلوبة لنمو الميكروبات والتى يعبر عنها بالماء المتاح available water أو النشاط المائى

water activity (a_w) . وهناك عدة طرق قد تؤثر على عدم إتاحة الماء لنشاط الميكروبات:
١- المواد الذائبة والأيونات ترتبط بالماء لذلك فإن أى زيادة فى تركيز المواد الذائبة مثل السكريات والأملاح يؤدى الى تقليل الماء المتاح. هذا بالإضافة الى أن الماء يميل الى التسرب من الخلايا الميكروبية بفعل الأسموزية نظرا لأرتفاع تركيز المواد الذائبة خارج الخلايا عنها داخل الخلايا .
٢- الغرويات المحبة للماء hydrophilic (الجل) يجعل الماء غير متاح . وجود كميات ضئيلة من السكر (حوالى ٣-٤٪) فى البيئة قد تمنع نمو البكتريا نتيجة لأنخفاض كمية الماء المتاح عن الحد المطلوب لنمو هذه البكتريا .
٣- ماء البللورة crystallization أو التشرب hydration عادة يكون غير متاح للميكروبات . الماء نفسه عندما يتحول الى بللورات ثلجية لا يمكن استخدامه بواسطة الميكروبات . a_w لمخلوط الماء والثلج ينخفض بأنخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى . قيم a_w للماء النقى ١,٠ عند الصفر المئوى ، ٠,٩٥٣ عند-٥°م ، ٠,٩٠٧ عند-١٠°م ، ٠,٨٤٦ عند-١٥°م ، ٠,٨٢٣ عند -٢٠°وهكذا . عندما يتكون بللورات ثلجية فى الغذاء فإن تركيز المواد الذائبة فى الماء غير المتجمد يرتفع ويؤدى الى خفض a_w .

يتوقف الأنخفاض فى a_w بواسطة المواد الذائبة بصفة أساسية على التركيز الكلى للجزئيات والأيونات الذائبة ، كل من هذه الجزئيات والأيونات محاطة بجزئيات من الماء مرتبطة بدرجات مختلفة من القوة . لذلك فإن درجة تجمد المحلول تنخفض وكذلك الضغط البخارى مقارنة بالماء النقى . فى هذه الحالة فإن الميكروبات يجب أن تتنافس مع هذه الجزئيات والأيونات على جزئيات الماء المتاح حتى يمكن أن تنمو .

aw عبارة عن النسبة بين الضغط البخارى vapor pressure للمحلول (المواد الذائبة فى رطوبة الجبن) والضغط البخارى للمذيب (عادة الماء) عند نفس درجة الحرارة .

$$\frac{\text{الضغط البخارى للمحلول (P)}}{\text{الضغط البخارى للماء النقى (Po)}} = a_w$$

وقيمة a_w للماء النقى ١,٠ ولمحلول بتركيز ١ مول ٠,٩٨٢٣ والـ a_w(x ١٠٠) تكون فى حالة أتزان مع الرطوبة النسبية relative humidity (RH) للهواء الجوى المحيط بالجبن أى أن الرطوبة النسبية عند الأتزان :

equilibrium relative humidity (ERH) = a_w x ١٠٠ أو a_w = ERH/100

الرطوبة النسبية فى الهواء المحيط بالغذاء (الجبن) تعادل قيم a_w أقل من الموجوده فى الغذاء والتى قد تسبب جفاف سطح الغذاء ، وعلى العكس من ذلك فإذا كانت الرطوبة النسبية

أعلا من قيم a_w المقابله فإن ذلك يؤدى الى زيادة a_w عند سطح هذه الأغذية .

الأنخفاض فى الضغط البخارى لأى مذيب مثالى يتبع قانون Raoult's law : الضغط البخارى للمحلول بالنسبة للمذيب النقى يعادل التركيز المولى للمذيب أى أن :

$$P/P_o = n_2 / n_1 + n_2$$

حيث أن P ، P_o = الضغط البخارى لكل من المحلول والمذيب على التوالى

n_1 ، n_2 = تركيز المواد الذائبة والمذيب بالمول على التوالى .

بالرغم من أن a_w تختلف بأختلاف درجة الحرارة إلا أن التباين يكون ضئيل جدا فى نطاق درجات الحرارة التى تسمح بنمو الميكروبات . وعلى أى حال فإن زيادة تركيز المواد الذائبة يجعل الأختلاف فى درجة الحرارة يصبح أكثر أهمية بالنسبة للـ a_w نظرا لزيادة التأين بأرتفاع درجة الحرارة .

لكل ميكروب قيم مثلى ودنيا وقصوى من a_w للنمو . عندما ينخفض a_w الى أقل من الدرجة المثلى فإنه يحدث أطالة لمرحلة النمو اللاحى lag phase وبالتالى أنخفاض فى كل من معدل النمو وبناء مواد الخلايا . تختلف معدل هذه التغيرات بإختلاف الميكروب والمواد الذائبة المستخدمة فى خفض a_w . تتضمن طرق قياس أو تقدير قيم a_w فى الأغذية: تقديرات نقطة التجمد ، أستخدام المانومترات وكذلك معدات كهربائية . تقدير نقطة التجمد تكون ذات جدوى فقط فى حالة الأغذية السائلة ذات a_w مرتفعة وتستخدم بصفة روتينية فى برامج مراقبة الجودة فى صناعة الألبان للكشف عن غش الألبان بإضافة الماء ويمكن تطبيقها فى مراقبة جودة الجبن . تستخدم طرق المانومترات لقياس الضغط البخارى مباشرة فى الحيز البخارى vapor space المحيط بالغذاء وهى طريقة دقيقة . يستخدم معدات كهربائية لقياس a_w بطريقة غير مباشرة حيث تستخدم حساس sensor الذى يقيس الرطوبة النسبية فى الحيز البخارى المحيط بالغذاء على أساس المقاومة الكهربائية electrical resistance . عادة يوضع الغذاء فى وعاء خاص ويترك حتى يحدث اتزان بين الماء فى الغذاء والحيز البخارى المحيط به وتصل عادة حالة الأتزان فى خلال ساعة أو عدة ساعات. وعادة تستخدم جداول قياسية لتحويل المقاومة الكهربائية الى قيم a_w أو نسبة مئوية للرطوبة النسبية .

معظم الميكروبات تنمو بصورة جيدة فى البيئات التى تقترب فيها a_w من ١,٠ (من ٠,٩٩٥-٠,٩٩٨) أى أن الميكروبات تنمو بدرجة أفضل فى التركيزات المنخفضة من السكر أو الملح بالرغم من أن هناك أستثناءات واضحة فى هذا الشأن . بيئات المزارع لمعظم البكتريا تحتوى على سكر بنسبة لا تزيد عن ١٪ ، ٠,٨٥٪ NaCl (محلول ملحى

فسيولوجى) . وجود السكر بتركيز ٣-٤٪ ، NaCl بتركيز ١-٢٪ قد يثبط نمو بعض البكتريا . تختلف درجة a_w المثلى والحد الأدنى للنمو بأختلاف البكتريا وكذلك نوع الغذاء ، درجة الحرارة ، pH ، وجود الأكسجين ، CO_2 والمواد المثبطة . عموما فإن البكتريا تحتاج الى رطوبة أعلا من الخمائر ، الخمائر تحتاج رطوبة أعلا من الفطريات كما يتضح من جدول (١-١٠) الذى يبين الحدود الدنيا للـ a_w للبكتريا ، الخمائر والفطريات. توجد بعض الأستثناءات فى هذا المجال حيث توجد بعض الفطريات تحتاج الى a_w أعلا للنمو (وأنبات الجراثيم) عما يحتاجه كثير من الخمائر وبعض البكتريا . الميكروبات التى تستطيع أن تنمو فى وجود تركيزات مرتفعة من المواد الذائبة (مثل السكر والملح) يكون a_w لها منخفضة . تحتاج البكتريا المحبة للملوحة halophilic bacteria الى حد أدنى من تركيزات NaCl لكى تنمو ، الخمائر المحبة للتركيزات المرتفعة من السكر osmophilic yeasts تنمو بدرجة أفضل فى وجود تركيزات مرتفعة من السكر .

جدول ١-١٠ : الحد الأدنى لقيم a_w التى تسمح بنمو نشط للميكروبات

الميكروبات	الحد الأدنى للقيم a_w
البكتريا السالبة لـجرام	٠,٩٧
البكتريا الموجبة لجـرام	٠,٩٠
الخمائـر	٠,٨٨
الفطريات	٠,٨٠
البكتريا المحبة للملوحة Halophilic bacteria	٠,٧٥
الفطريات التى تنمو على الأغذية الجافة Xerophilic fungi	٠,٦٥
الخمائر المحبة للتركيزات المرتفعة من السكر Osmophilic yeasts	٠,٦٠

٣- تقدير النشاط المائى فى الجبن

الجبن ليس نظام ثابت حيث أن كمية الماء (المذيب) التى توجد فى الجبن تتناقص بصفة مستمرة نتيجة البخر evaporation مع أنتاج مواد ذائبة جديدة منخفضة الوزن الجزئى بصورة تدريجية من العمليات البيوكيماوية التى تحدث فى الجبن خلال التسوية . هذه التغيرات المستمرة فى كل من المواد الذائبة فى الماء وتفاعلات الأيونات الصغيرة فى الماء ونتيجة لفقد الماء فإن النسبة بين الماء والجوامد غير الذائبة تنخفض وبالتالى تسرع من التفاعلات الداخلية بين الكازين والماء والتى بدورها تقلل من النسبة بين الماء غير المرتبط والماء المرتبط غير المشترك فى الذوبان . تأثر هذين العاملين (تغير الرطوبة وتكوين المواد

الذائبة) يكون ضئيل فى الجبن الطازجة ومع ذلك فعندما تسوى هذه الجبن فإن التأثير المشترك للتجفيف والتحلل الكيماوى يصبح على جانب كبير من الأهمية .

تتراوح a_w فى الجبن عادة من ٠,٧-١,٠ بالرغم من أن معظم الأنواع يكون فيها a_w أعلا من ٠,٩ ويجب أن يؤخذ ذلك فى الأعتبار عند أختيار الطريقة لتقدير a_w فى الجبن وكذلك زيادة نشاط الميكروبات فى بعض أنواع وأنفراد بعض المركبات الطيارة على مراحل والتى قد تتداخل مع تقدير a_w بواسطة بعض الطرق . تتضمن طرق قياس أو تقدير a_w فى الأغذية بالإضافة إلى الطرق السابق الإشارة اليها طريقة وزنيه تعتمد على التغيرات فى محتوى الرطوبة للعينة بعد الوصول الى حالة أتزان مع الجو المحيط بالعينه معروف الرطوبة النسبيه ، فإذا كانت a_w للعينة أقل من الرطوبة النسبية فى الجو المحيط فإن وزن العينة يزيد إذا كان a_w أعلا فإن وزن العينة ينخفض . بأجراء وزن العينه فى نطاق مختلف من الرطوبة النسبية فإنه من الممكن تحديد الرطوبة النسبية التى لا تسبب تغيير فى وزن العينة وبالتالى حساب a_w للعينة من المعادلة التالية : $a_w = ERH/100$

استخدام طرق التجميد فى قياس a_w فى الجبن يمكن تطبيقها فى مراقبة جودة صناعة الجبن وتعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين a_w عند ٢٠°م للجبن التى يكون فيها a_w ٠,٩ أو أعلا ونقطة تجمد المستخلصات المائية لهذه الجبن . وتتلخص طريقة الأعداد فيما يلى :

جزء واحد بالوزن من الجبن يخلط مع ٣ أجزاء بالحجم من ماء مقطر ويعرض المخلوط للطرد المركزى عند سرعة ١٣٢٥ (g) لمدة ٥ دقائق ثم تترك أنابيب الطرد المركزى ساكنة فى حمام ثلجى ice bath حتى تتجمد الطبقة الدهنية المتكونة على السطح . عند هذه النقطة يتم التقدير نقطة تجمد (f.p.) الوسط المائى الموجود فى الوسط (أسفل طبقة الدهن) وتحسب a_w لعينة الجبن الأصلية من نقطة تجمد (بالدرجات المئوية) لمستخلص الجبن من المعادلة التالية : $a_w = 1.0155 + 0.1068\ f.p.$

وعند استخدامها للجبن الطرى فإن هذه الطريقة تعطى نتائج مماثلة للطرق الأخرى . وهناك طريقة أخرى تعتمد على نقطة التجمد يمكن أستخدامها للجبن المطبوخة فقط حيث تستخدم فى الأتحاد السوفيتى (سابقا) معتمدة على المعادلة التالية :

$$\log a_w = - 0.004221 - 0.000002\ \Delta t^2$$

حيث أن Δt عبارة عن الأنخفاض فى نقطة تجمد الجبن المطبوخة المسالة (الذى تم تسيحها) عند ٧٠°م ثم حفظت عند ١٠-١٢°م لمدة ٢٤ ساعة .

هناك طرق أخرى لحساب a_w بطريقة مباشرة بأستخدام معادلات خاصة تعتمد على التركيب الكيماوى للجبن . بعض هذه المعادلات يمكن تطبيقها على النتائج المتوفرة من

البحوث السابق إجرائها أو من جداول التركيب الكيماوى للأغذية للحصول على تقدير تقريبى للـ a_w لأنواع مختلفة من الجبن . وفيما يلى بعض المعادلات المختارة لحساب a_w لأنواع مختلفة من الجبن على النحو التالى:

١ – الجبن غير المسواه unripened cheese

$$a_w = 0.9719 - 0.0044\ (NaCl) + 0.0041\ pH$$

٢ – الجبن المسواه بالبكتريا bacterial ripened cheese

$$a_w = 1.0234 - 0.0070\ (Ash)$$

٣ – الجبن المسواه بالفطر mold ripened cheese

$$a_w = 1.0058 - 0.0045\ (Ash) - 0.0107\ (NPN)$$

أ – الجبن الطرية soft cheese

$$a_w = 0.9960 - 0.0029\ (Ash) - 0.0106\ (NPN)$$

ب – جبن معرقة بالفطر blue cheese

$$a_w = 0.9808 - 0.0058\ (Ash).$$

٤ – جبن مطبوخة processed cheese

$$a_w = 0.9951 - 0.0032\ (Ash)$$

٥ – جميع أنواع الجبن ذات a_w أعلا من ٠,٩

$$a_w = 0.9450 - 0.0059(NaCl) - 0.0056(NPN) - 0.0019\ [(Ash)-(NaCl)] + 0.0105\ pH$$

حيث أن NPN النتروجين غير البروتينى (النتروجين الذائب فى ١٢٪ TCA) و جميع مكونات الجبن الكيماوية يعبر عنها بالجرام / ١٠٠ جرام رطوبة .

ويمكن تقدير a_w فى الجبن الطازج بواسطة محلول مركز من NaCl ، حيث ترتبط تركيز المحاليل الملحية بالمول (m) بالنشاط المائى ، من خلال هذه العلاقة :

$$a_w = 1 - 0.033\ [NaCl_m]$$

لحساب الحد الأعلى لـ a_w للجبن غير المسواه بدقة عالية بشرط أن يكون تركيز محلول NaCl لا يزيد عن ١,٢ مول . قيم a_w الحقيقة دائما تكون أقل ويرجع ذلك الى وجود مواد ذائبة أخرى .

ولتبسيط ذلك فإن المعادلة تصبح على النحو التالى :

$$a_w = 1 - 0.00565\ [NaCl]$$

التى تستخدم للخثرة المملحة salted curd والجبن الطازجة (حديثة العمر) والتى يكون فيها تركيز الملح فى الرطوبة salt-in-moisture أقل من ٧ جرام / ١٠٠ جرام ماء .

وقد وجد أن a_w لنوع من الجبن المسواه بالبكتريا ترتبط مباشرة بمحتواها من الرطوبة من خلال المعادلة التالية :

$$a_w = 0.7662 + 0.0046 \text{ (g } H_2O/100 \text{ g cheese)}$$

ولكن أيضا تكون أكثر أرتباطا (عكسيا) بمحتوى الرماد فى الرطوبة . وقد وجد أن هذه المعادلة يمكن استخدامها لعديد من أنواع الجبن المسواه بالبكتريا . ومع ذلك لم تختبر لبعض أنواع من الجبن الرئيسية مثل التشدر والأنواع الهولندية والسويسرية والإيطالية . حيث أن ثوابت الانحدار regression constant تختلف كنتيجة لبعض الصفات المميزة للجبن (التمليح ، الحجم والشكل ، التغليف أو التشميع ، السمط ، تخمر حمض البروبيونيك ، تحلل الدهن بواسطة أنزيم الليبيز المضاف). وقد أقترحت المعادلة التالية لتقدير a_w فى الجبن المسواه بالفطر :

$$a_w = 1.0076 - 0.0079 \text{ (Ash)}$$

محتوى NPN فى الجبن يؤثر أيضا على a_w لهذه الجبن ولكن فى البحث عن الأرتباطات بين a_w وكمية الرماد فى الرطوبة لجاميع الجبن التى يحدث بها تحلل البروتين بدرجات مختلفة ولكن متماثلة فى خلال كل مجموعة (أى الجبن التى تسوى بالبكتريا أو الفطر). محتوى NPN ، أقل فى الجبن المسواه بالبكتريا عن الجبن المسواه بالفطر ، قد يؤثر (بدرجة تتناسب مع محتوى الجبن من NPN) على أنخفاض a_w فى جميع الجبن فى كل مجموعة ولذلك فإنه لا يؤثر بدرجة محسوسة على الأرتباطات مع محتوى الرماد فى كل مجموعة .

يمكن تقدير a_w للجبن المسواه بالفطر الأبيض ليس فقط من المعادلة (٣أ) السابقة ولكن أيضا من العلاقات الأخرى التى تكونت بواسطة الارتباطات البسيطة :

$$a_w = 0.9769 - 0.0019 \text{ (Ash)}$$

$$a_w = 0.9793 - 0.0101 \text{ (NPN)}$$

a_w للجبن المعرقة بالفطر يمكن تقديرها من المعادلة (٣ ب) :

$$a_w = 1.0013 - 0.0051 \text{ (Ash)} - 0.0056 \text{ (SN)}$$

حيث أن SN تعنى محتوى الجبن من النتروجين الذائب عند pH ٤,٦ . المعادلة (٥) يمكن استخدامها فى جميع أنواع الجبن والتى تكون فيها a_w أعلى من ٠,٩ وهى ذات قيمة علمية أكثر من قيمتها العملية وبالرغم من أنها تعطى نظرة شاملة للعوامل الكيماوية الرئيسية الأربعة والعامل الطبيعى الرئيسى الذى يؤثر على النشاط المائى فى الجبن فإن الأمر يتطلب الحصول على بعض النتائج التى يمكن استخلاصها بسهولة من نتائج البحوث

السابقة (جداول التركيب الكيماوى) ولذلك فإنه يجب تقديرها معمليا بطرق أكثر تعقيدا عن الطرق المستخدمة فى قياس a_w وعلى أية حال فأنه قد تم إستخدامها بنجاح لمئات من عينات الجبن لعديد من الأنواع ولكن لا يمكن إستخدامها لبعض أنواع من الجبن المعرقة بالفطر Blue cheese (a_w أقل من ٠,٩) كما تكون النتائج مبالغ فيها لقيم a_w للجبن المسواه سطحيا بالفطر .

٤- النشاط المائى فى الجبن

تعتبر صناعة الجبن بصفة أساسية وسيلة لحفظ مكونات اللبن لمدة قصيرة أو متوسطة مع وجود صفات أساسية مثل إنخفاض pH والنشاط المائى (a_w) . يعتبر اللبن مادة سريعة الفساد نظرا لأرتفاع a_w حيث يصل الى ٠,٩٩٥ ويتراوح pH من ٦,٥-٦,٧ بينما الجبن يكون أكثر ثباتا فى التخزين لفترة أطول أى ذات مدة حفظ أطول حيث يكون أقل عرضة للفساد نظرا لإنخفاض pH ، a_w . خلال المراحل الأولى فى صناعة الجبن يكون a_w حوالى ٠,٩٩ حيث يأخذ فى الإنخفاض طبقا لعمليات التصنيع المستخدمة فى كل نوع من الجبن . عموما فإن الجبن الأكثر جفافا (أعلا فى المواد الصلبة اللادهنية MFFC) تكون أقل فى قيم a_w على عكس الجبن الأكثر طرواة (أقل فى MFFC) تكون أعلا فى قيم a_w . ويعتبر قيم a_w على درجة كبيرة من الأهمية عند الأخذ فى الاعتبار صفات التسوية وقوة حفظ ومدة تخزين أنواع الجبن المختلفة بعد ذلك . بعد التمليح والتسوية بصفة عامة فإن قيم a_w تكون أقل من القيم المثلى اللازمة لنمو بكتريا البادئات وبالتالى فإن a_w تنظم أو تحد من نشاط ونمو الميكروبات خلال فترة التسوية ومدة الحفظ المتوقعة للجبن . لذلك فإن جبن مثل البرمسان التى تكون a_w فيها منخفضة نسبيا (٠,٩٠) تسوى ببطء ويكون pH فيها مرتفع نسبيا ومدة الحفظ تزيد عن سنتين .

فى الجبن الطرية مثل الكوارج Quarg أو Cottage حيث تكون قيم a_w مرتفعة (٠,٩٩) وبالتالى فإن نشاط بكتريا البادىء يكون عاليا بدرجة كبيرة مما يؤدى الى خفض pH بدرجة ملحوظة مع فترة حفظ قصيرة فى حدود أسبوعين . جبن الكممبير حيث تكون قيم a_w ٠,٩٨ و pH فى البداية فى حدود ٤,٦ يتم تسويتها فى فترة قصيرة نسبيا (٤-٨ أسابيع) وتكون أقصى فترة حفظ لها ٨-١٢ أسبوع . تتراوح قيم a_w فى الجبن الطرية والنصف طرية بصفة عامة من ٠,٩٦-٠,٩٩ ، pH من ٤,٣-٥,٠ ومدة حفظ تتراوح من ٢-١٢ أسبوع تحت درجات حرارة التبريد . لذلك ينظر الى هذه المنتجات على أن مدة حفظها قصيرة وتحتاج الى نظام تبريد يبدأ من الصناعة حتى الأستهلاك .

تتراوح a_w فى الجبن عادة بين ٠,٧ - ١,٠ بالرغم من أن معظم الأنواع يكون فيها a_w أعلا من ٠,٩ (جدول ٢-١٠) ويرجع هذا الأختلاف ، بالإضافة الى نوع الجبن من حيث محتوى الرطوبة ، إلى الأختلاف فى النشاط الأيضى metabolism للميكروبات فى أنواع الجبن المختلفة وأنفراد المكونات الطيارة على مراحل والتى قد تتداخل مع تقدير a_w بواسطة بعض الطرق .

جدول ٢-١٠ : النشاط المائى (a_w) فى بعض أنواع من الجبن

الجبن	a_w
الكوارج ، Cottage	٠,٩٩
مطبوخة	٠,٩٨
الكممبير والبراى والأمينتال	٠,٩٧
الأيدام والتليست	٠,٩٦
التشدر ، الجودا ، الجرويير والجروجونزلا	٠,٩٥
الموزاريلا ، رومانو وستليتون	٠,٩٤
البرمسان	٠,٩٢
البرفلونو والركفور	٠,٩١
الجمالوست	٠,٩٠

النظام البيئى فى الجبن ليس ثابتا نتيجة للتغيرات التى تطرأ على محتوى الجبن من الماء والصفات الطبيعية والكيماوية والبيولوجية نتيجة لنشاط الميكروبات الموجودة فى الجبن مما ينتج عنه فقد فى الرطوبة وزيادة فى المواد الذائبة ، مثل هذه التغيرات تقلل من النسبة بين الماء الحر والماء المرتبط فى الجبن وتساهم فى أنخفاض a_w فى الجبن خلال فترة التسوية. وكما لوحظ سابقا فإن هذه التغيرات تنتج من كل من الفقد فى الماء (المذيب) من خلال التجفيف الطبيعى physical dehydration ومن تكوين أنواع جديدة من المواد الذائبة المنخفضة الوزن الجزئيى من خلال تحلل المكونات الأصلية . وفى حالة تسوية الجبن فالمكونات الكبيرة الحجم (مثل البروتينات والدهن والسكريات العديدة) التى يحدث لها تحليل مائى مثل الكربوهيدريت glycolysis ، البروتين proteolysis والدهن lipolysis تتأثر بالعوامل البيوكيماوية والميكروبيولوجية .

٤-١- النشاط المائى فى الخثرة المملحة

يمكن النظر الى الجبن المملحة بطريقة مبسطة كنظام طبيعى - كيماوى يتكون من نسيج (شبكه) بنائى structural matrix للمكونات ذات الأوزان الجزئية الكبيرة والقطبية يمتلأ جزئيا بالجليسريدات الثلاثية غير المحبة للماء hydrophobic وجزئيا بالماء والذى بدوره يحتوى على المواد الذائبة المنخفضة الوزن الجزيئى . وبعض من الماء (حوالى ١٠٪) يكون مرتبط بالباراكازينات المرتفعة الوزن الجزئى كماء غير مذيب non-solvent (ماء مرتبط) بينما باقى الماء ، الموجود على حالة حرة محتجز طبيعيا فى فراغات الشبكة ، يحفظ قدرته على الإذابة ولكن يكون الضغط البخارى له أقل من الماء النقى (a_w) نظرا لوجود NaCl المضاف عند التمليح وبقايا اللاكتوز وأملاح اللبن (من الشرش) .

ونظريا إذا كانت التفاعلات بين البروتينات والماء والأيونات الصغيرة التى تحدث فى خثرة الجبن لا تؤثر بدرجة كبيرة على الضغط البخارى للوسط المائى الحر فإن قيم a_w القصوى فى أى جزء فى الخثرة المملحة يمكن حسابها بدقة كبيرة من المعادلات السابق ذكرها والتى تربط التركيز المولى للمحاليل الملحية بالنشاط المائى (a_w) لهذه المحاليل . وفى خلال المراحل الأولى من التمليح فإن a_w للخثرة المملحة أو الجبن الطازجة قد تكون ثابتة كنتيجة للتغيرات المستمرة الناتجة من أنتشار الماء فى البداية متجهاً إلى الخارج وتحلل الكربوهيدريت glycolysis أو نتيجة أنتشار الملح/الرطوبة لمعادلة أختلاف التركيز . وقيم a_w المذكورة للجبن الطازجة هى فى الحقيقة متوسط قيم متحصل عليها من عينات ممثلة ومتجانسة للناتج متحصل عليها عند وقت معين بعد الصناعة أو عند وقت غير معلوم خلال فترة حفظه تحت الظروف التجارية .

ومن الناحية العملية فإن تفاعلات البروتينات مع الماء والأيونات يجب أن تلغى تأثير كل منهما تقريباً عندما تكون a_w فى الجبن الطازجة والمحتوية على نسبة رطوبة أعلا من ٤٠٪ محسوبة من تركيز NaCl فى الرطوبة الكلية التى تكون أعلا قليلاً من قيم a_w المقدرة فى عينات الجبن . وقيم a_w الحقيقية فى الجبن الطازجة أقل لحد ما من القيم المقدرة حسابياً (NaCl فى رطوبة الجبن) ، وغالباً ما تكون نتيجة إنخفاض أضافى لضغط بخار الماء ناتج من المواد الذائبة المنخفضة الوزن الجزئيى غير NaCl (مثل اللاكتوز والأملاح فى الشرش المتبقى) .

لذلك فإن التمليح هو أهم المعاملات التى تؤثر فى الأنخفاض الأولى للضغط البخارى للماء فى خثرة الجبن .

٤-٢- دور فقد الماء فى أنخفاض a_w

من المعروف أن صناعة الجبن أساساً عبارة عن عملية تجفيف والتى قد تستمر خلال فترة طويلة من التسوية قد تصل إلى أكثر من سنة . فإذا كان اللبن يتم تركيزه إلى ٤ أضعاف فإن a_w فى البداية تقريباً ٠,٩٩٥ تنخفض إلى حوالى ٠,٩٩٠ والتى تعادل اضافة ٢٥ جرام من NaCl لكل لتر من اللبن. التجفيف يؤثر على الجبن المملحة بدرجة أكثر وضوحاً بالنسبة لأنخفاض a_w لذلك فإن جزء من الرطوبة الكلية تكون مرتبطة بالكازين (ماء مرتبط) لدرجة أن فقد الماء الحر نتيجة التبخير بمفرده يزيد من نسبة الماء المرتبط بالنسبة للرطوبة المتبقية الكلية كما أن تركيز المواد الذائبة فى الماء الحر سوف يكون أكبر بكثير عن المتوقع من النسبه بين المواد الذائبة / الرطوبة الكلية .

تأثير التجفيف على النشاط المائى فى الجبن يمكن تقييمه من معامل الأرتباط بين a_w والرطوبة الكلية فى الجبن أو تركيز المحلول المائى (بالجرام /١٠٠ جرام رطوبة) لبعض المكونات الخاملة inert والتى تؤخذ كمقياس . لذلك فإن نتائج ٢٠ عينة من دفعتين لنوع من جبن مسواه بالبكتريا تعطى علاقة مستقيمة ذات معنوية عالية بين محتواها من الرطوبة تتراوح بين ٢٠ - ٤٦٪ ، a_w من ٠,٩٨ إلى ٠,٨٥ مع معامل أرتباط r = ٠,٩٨ .

معامل الأرتباط بين محتوى الرماد فى الرطوبة (جرام رماد لكل ١٠٠ جرام ماء) والنشاط المائى أعلا (r = ٠,٩٩) من المتوقع لعينات مماثلة فى العدد نظراً لأن محتوى الرماد يعكس أختلاف كمية الملح المضافة فى عمليات التصنيع . كما أن النتائج المتحصل عليها من ٨٢ عينة جبن مختلفة فى قيم a_w فى نطاق ٠,٩٩٤ - ٠,٨٧ أوضحت أن a_w يرتبط بالنتروجين الكلى ومحتوى الرماد ، الذى لم يحدث له تغيرات كمية أثناء التسوية ويعزى إليه الأختلافات فى التمليح على التوالى ، مع معامل أرتباط من -٠,٨ ، - ٠,٩ على التوالى أى أعلا من الناتج من أى مكون آخر أو معامل أختلاف (NaCl، NPN ، pH) عند التعبير عنه على أساس نسبة الرطوبة . وعموماً فإنه يوجد معامل أرتباط مرتفع فى معظم عينات الجبن لأنواع مختلفة من الجبن بين a_w والجوامد اللادهنية فى الجبن (MFFC) يصل إلى ٠,٩ .

ومن الملاحظات السابقة يمكن القول أن فقد الماء الحر من الجبن نتيجة التمليح (خلال عملية التجفيف وطوال فترة التسوية) يعتبر أهم عملية فردية يرجع اليها الزيادة فى تركيز المواد الذائبة والأنخفاض المصاحب فى a_w فى معظم أنواع الجبن وخاصة فى الجبن الجافة المسواه بالبكتريا لفترة طويلة . ومن الأستثناءات لهذه الملاحظة ،الجبن الطازجة ، التى تغلف بأغشية غير نافذة للرطوبة والأنواع المسواه بالفطر والتى تكون فى حالة أتزان

مع الرطوبة النسبية المرتفعة فى هواء غرف التسوية خلال فترات التسوية .

لذلك فإن تركيز جميع المكونات الكيماوية المتضمنة فى المعادلات المستخدمة فى تقدير a_w يجب أن يعبر عنها على أساس نسبتها فى الرطوبة .

٤-٣- مساهمة تحلل الكربوهيدريت فى أنخفاض a_w فى الجبن الطازج

يعتبر تحلل الكربوهيدريت من أول التغيرات البيوكيماوية التى تساهم فى أنخفاض الضغط البخارى فى الجبن الطازج نتيجة زيادة أعداد الجزئيات والأيونات الذائبة .حامض اللاكتيك الناتج من تخمر اللاكتوز يمثل زيادة فى عدد الجزيئات تصل إلى ٤ أضعاف حيث أن تحلل مول واحد من اللاكتوز يعطى نظرياً ٤ مول من حمض اللاكتيك وبالتالى فإن كفاءته تصل إلى ٤ أضعاف كفاءة اللاكتوز فى خفض الضغط البخارى .

وتحتوى خثرة المنفحة على بعض المكونات غير العضوية ، أساساً فوسفات الكالسيوم الغروية وكميات محسوسة من مغنسيوم جسيمات الكازين وبعض السترات والتى تتحول إلى الحالة الذائبة خلال عملية تخمر الكربوهيدريت وبالتالى تسبب أنخفاضاً أكبر فى a_w .

أنخفاض pH الناتج من حمض اللاكتيك المتكون من تخمر اللاكتوز يؤثر على أتزان فوسفات الكالسيوم بزيادة كمية كل من الكالسيوم الذائب والكالسيوم الأيونى والفوسفات الذائبة على حساب فوسفات الكالسيوم الغروية $Ca_3 (PO_4)_2$. لذلك فإن دور pH يكون أكثر تاثيراً عن دور حمض اللاكتيك .

٤-٤- مساهمة تحلل البروتين فى أنخفاض a_w فى الجبن المسواه بالفطر

بعد الأنخفاض الأولى فى a_w فى خثرة الجبن نتيجة التمليح والفقد التدريجى فى الرطوبة أثناء تسوية كثير من أنواع الجبن والذى يعتبر أكثر أهمية فى أنخفاض a_w ، فإن تحلل البروتين يعتبر أهم التغيرات البيوكيماوية التى تساهم فى انخفاض a_w أثناء تسوية الجبن (وخاصة من خلال نشاط الفطر) نتيجة تكوين مواد ذائبة منخفضة الوزن الجزئيى نتيجة تحلل البروتين التدريجى والمتزايد .

العوامل الرئيسية لتحلل البروتين فى الجبن هى المنفحة ، أنزيمات اللبن وبكتريا البادئ. فى جميع أنواع الجبن فإن α_{s1}-casein هو الهدف الرئيسى لتحلل البروتين بواسطة بقايا المنفحة ، التى تنتج ببتيدات عديدة polypeptide كناتج رئيسى من هذا التحلل ذائب فى الماء . والبلازمين ، أنزيم البروتينيز الرئيسى فى اللبن ، يحلل β-casein منتجاً أيضاً نواتج عديدة ذائبة من ببتيدات وبروتيوز ببتون. جميع هذه النواتج الرئيسية من تحلل

البروتين والناتجة بفعل المنفحة والبلازمين من α_{s1}.caseins ، -β على الترتيب تكون ببتيدات عديدة مرتفعة الوزن الجزئيى نسبياً (نيتروجين ذائب SN عند pH ٤,٦) التى يكون لها تأثير ضئيل على a_w والذى يتضح من عدم وجود أرتباط معنوى .

من ناحية أخرى بالرغم من أن بكتريا حمض اللاكتيك المستخدمة كبادئات فى الجبن تكون قدرتها على تحلل البروتين ضعيفة وتحتوى على أنواع من أنزيمات البروتينيز والببتديز والتى فى مجموعها تكون قادرة على تحلل β-casein أساساً وكذلك الببتيدات العديدة الكبيرة والمتوسطة ، إلى ببتيدات أصغر وأحماض أمينية حرة لذلك تكون مسئولة بصفة رئيسية عن تكوين NPN (نيتروجين ذائب SN فى ١٢٪ TCA) والذى بدوره يكون له تأثير قوى على a_w . كمية المكونات النيتروجينية الذائبة (فى صورة ببتيدات ذات أوزان جزئية مختلفة وأحماض أمينية) الناتجة من جبن الجودا المصنوعة تحت ظروف معقمة نتيجة الفعل المشترك أو المنفرد للمنفحة ، بروتينيز اللبن وبكتريا البادىء قد تم تقديرها .

وفى الجبن المسواه بالفطر يتحلل البروتين إلى درجة أكبر بكثير عن الجبن المسواه بالبكتريا . وفى الجبن المسواه سطحياً بالفطر والجبن المعرقة بالفطر Blue cheese فإن المواد النيتروجينية الذائبة SN تمثل ٣٠ - ٦٠٪ ، ٥٠ - ٧٥٪ من النتروجين الكلى على التوالى . عمق تحلل البروتين يكون أكثر أهمية من درجة تحلل البروتين بالنسبه للـ a_w والناتج من فعل أنزيمات الفطر (أنزيمات البروتينيز الخارجية الحامضية والمتعادلة التى تفرز بواسطة *P. roqueforti, P.camemberti* ، فى Blue cheese ، أنزيمات البروتينيز والببتديز الداخلية الناتجة من تحلل ميسليوم الفطر) التى قد تحول إلى NPN بنسبه تصل إلى ٢٠ - ٤٠٪ من النتروجين الكلى فى الجبن الطرية وحتى ٤٠ - ٧٥٪ من النتروجين الكلى فى الجبن المعرقة بالفطر والتى تمثل فيها الأحماض الأمينية الحرة حوالى ١٠٪ من النتروجين الكلى . لذلك فإن المكونات النتروجينية المنخفضة الوزن الجزئيى تلعب دوراً أكثر أهمية عن عملية التجفيف فى أنخفاض a_w فى الجبن المسواه بالفطر حيث أن الرطوبة تفقد لدرجة محدودة فقط بعد رفع الجبن من غرف التسوية . لذلك فإن محتوى NPN يجب أن يؤخذ فى الأعتبار عند تقدير a_w بدقة أكبر فى الجبن المسواه بالفطر .

٤-٥- مساهمة تحلل الدهن فى أنخفاض a_w فى الجبن أثناء التسوية

العلاقة بين تحلل الدهن أثناء التسوية والأنخفاض فى a_w ما زالت غير واضحة وتسوية معظم الجبن عادة تكون مصحوبة بمستوى منخفض من تحلل الدهن حيث يشمل أقل من ٢٪ من الجليسريدات الثلاثية . ومع ذلك كما فى تحلل البروتين فإن تحلل الدهن فى الجبن المسواه بالفطر يكون بدرجة أكبر وقد يصل إلى ٢٠٪ من الجليسريدات الثلاثية . فى الجبن

المعرقة بالفطر يحدث تحلل الدهن أساساً بفعل أنزيمات الليبيز الناتجة من *P.roqueforti* بالرغم من أن أنزيم ليبيز اللبن الطبيعى قد يساهم أيضاً لدرجة معينة خاصة فى جبن اللبن الخام .

أنواع الجبن الأيطالية الجافة (البرمسان والرومانو) يحدث بها أيضاً تحلل الدهن بدرجة كبيرة أثناء التسوية بواسطة أنزيم الأيستريز المعوية من عجينة المنفحة rennet paste الذى يؤدى إلى انفصال الأحماض الدهنية الذائبة (قصيرة السلسلة) من الجليسريدات الثلاثية لينتج كميات كبيرة نسبياً من حمض البيوتريك وبالرغم من أن a_w يؤثر على تحلل الدهن فى جبن الرومانو فإن محتوى الأحماض الدهنية الحرة (FFA) تزيد مع a_w . ومن غير المؤكد أن العكس صحيح ، أى أن المستويات المرتفعة من الأحماض الدهنية الحرة قصيرة السلسلة تخفض a_w بدرجة كبيرة .

وبدون شك فإن الأحماض الدهنية الحرة والجليسريدات الأحادية والثنائية الناتجة من تحلل اللبيبدات ، تتفاعل بطرق مختلفة مع جزيئات الماء وبالتالى يؤثر على التركيب الطبيعى وصفات الماء ، ومع ذلك فإنه كقاعدة فإن الأهمية العملية لهذه التفاعلات فى أنخفاض الضغط البخارى للماء (a_w) يكون ضئيل جداً يمكن التغاضى عنه بالمقارنة بالأنخفاض الناتج من التجفيف ، التمليح وتحلل البروتين والكربوهيدريت .

ومن ناحية أخرى ، بالرغم من أن الجليسرول له تأثير خافض للـ a_w ويستخدم كمادة مقاومة للرطوبة ، مقاومة للتجميد antifreeze أو مقاومة للتبريد فإن كمية الجليسرول الحر الناتج من التحلل الكلى للروابط الثلاثة فى جزئى الجليسريدات الثلاثية (بأستخدام ليبيز البنكرياس) يجب أن يكون ضئيل جداً ليحدث تأثير يمكن قياسه فى معظم أنواع الجبن .

بالرغم من أن تحلل الدهن من المحتمل أن يكون له تأثير ضئيل على a_w فى كثير من الجبن المسواه بالبكتريا (مثل الجودا ، التشدر ، الجروييز والتى يمثل فيها الأحماض الدهنية الحرة أقل من ٣٪ من الأحماض الدهنية الكلية) وحتى فى الجبن المسواه بالفطر الناتج من فعل الفطريات السطحية (الكممبير ، البراى ٣ - ١٠٪ أحماض دهنية حرة) أو الفطريات الداخلية (مثل الركفور ١٠ - ١٥٪ أحماض دهنية حرة) فإنها تبقى لمعرفة إذا كان تأثير تحلل الدهن على بعض أنواع الجبن المعرقة بالفطر (Cabrales , Danablu ، ١٥ - ٢٠٪ أحماض دهنية حرة) وخاصة على الجبن المضاف إليها ليبيز ، والتى فيها الأحماض الدهنية الحرة تمثل أكثر من ٢٠٪ من الأحماض الدهنية الكلية ، يجب أن تؤخذ فى الأعتبار فى وضع المعادلات للجبن المعرقة بالفطر أو للجبن الإيطالية (مثل البرمسان

والبرفولونو والرمانو) .

تأثير الأحماض الدهنية الحرة الكلية (كدليل على تحلل الدهن) على أنخفاض a_w فى الجبن المعرقة بالفطر المسواه لفترات طويلة ما زال يحتاج إلى دراسة . ومع ذلك فإنه من الأفضل أختيار جبن الرومانو (٣٠ - ٤٥٪ أحماض دهنية حرة) كنموذج نظام model system والذى يتحدد فيه دور تحلل الدهن فى خفض a_w وتكوين عدة علاقات خطية :

$$a_w = a - b\,(Ash) - c(FFA)$$

والتى يمكن أستخدامها للجبن الأيطالية الجافة فى ضوء :

(أ) على عكس الجبن المعرقة بالفطر ، فإن مستوى ونوع تحلل البروتين فى هذه الجبن يكون عادى ومماثل لما هو موجود فى معظم الجبن النصف الجاف والجبن الجافة المسواه بالبكتريا .

(ب) تفقد هذه الجبن رطوبة أكثر عن الجبن المسواه بالفطر وبالتالى تعطى أسس مختلفة بدرجة أكبر للتعبير عن تركيز الأحماض الدهنية الحرة والرماد .

(ج) أرتفاع نشاط الأيستريز فى هذه الجبن يؤدى إلى تحلل الجليسريدات الثلاثية وبالتالى أنفراد أحماض دهنية حرة ذائبة فى الماء قصيرة السلسلة (C_6 - C_{10}) وخاصة حمض اليبوتريك ، بدرجة أكبر عن الأنواع الأخرى من الجبن .

٤-٦- العوامل الرئيسية التى تؤثر على أنخفاض a_w فى الجبن

تلعب العوامل الطبيعية الكيماوية الرئيسية دوراً هاماً فى أنخفاض a_w أثناء تسوية الجبن ، من أهم هذه العوامل والتى تؤثر على a_w فى الجبن :

- محتوى الرطوبة فى جميع أنواع الجبن .
- نسبة الرطوبة الكلية / المواد الصلبة اللادهنية فى الجبن الجافة والشديدة الجفاف.
- محتوى الجبن من NaCl .
- pH فى حالة الجبن الطازجة غير المسواه .
- محتوى الرماد فى جميع أنواع الجبن .
- محتوى النتروجين اللابروتينى (NPN) فى الجبن المسواه بالفطر.
- محتوى الأحماض الدهنية الحرة الكلية أو الأحماض الدهنية الحرة الذائبة فى الماء (C_2-C_{10}) فى الجبن المعرقة بالفطر Blue cheese وفى أنواع الجبن الجافة المضاف إليها ليبيز.

٥- تفاعلات a_w مع عوامل أخرى بالنسبة لقوة حفظ وسلامة الجبن

٥-١- العوامل الطبيعية الأساسية

تشمل العوامل الطبيعية الأساسية فيما يتعلق بقوة حفظ الأغذية درجة الحرارة و a_w للبيئات الصلبة والسائلة (والرطوبة النسبية ، $ERH = a_w \times ١٠٠$ للبيئات الغازية) pH ، جهد الأكسدة والأختزال (E_h) . النشاط الميكروبى يمكن أن يحدث فقط فى نطاق من درجات الحرارة حوالى ١٠٠ درجة (يبدأ من مرحلة أنتقال الماء السائل من حوالى - ١٠°م للبكتريا المقاومة للبرودة إلى ٩٠°م) . وبالرغم من أن الميكروبات بصفة عامة تتأقلم على درجة الحرارة للنظام البيئى الطبيعى التى تعيش فيه فإن هناك مدى أكثر تحديداً من درجات الحرارة للمجموعات الميكروبية المختلفة (مثل المحبة للبرودة psychrophilies ، والمقاومة للبرودة psychrotrophs ، المحبة للحرارة المعتدلة mesophiles والمحبة للحرارة المرتفعة thermophiles ، جميع هذه الميكروبات لها درجات حرارة مثلى ودنيا وقصوى والذى يختلف داخل كل جنس ونوع وسلالة .

يعتبر a_w ثانى أهم العوامل الطبيعية الحرجة بالنسبة لميكروبيولوجيا الأغذية . ويتراوح نطاق a_w من صفر إلى ١,٠ ولكن النشاط الميكروبى microbial metabolism يتم عادة عند قيم a_w فى نطاق أعلا من ٠,٦ حيث يكون هناك ماء حر غير مرتبط (مفيد للميكروبات) قريب جداً من الوحدة (أى ٠,٩٩٩) حيث يوجد كميات كافية متاحة من العناصر الغذائية الذائبة . معظم الميكروبات تحتاج إلى أكثر من الماء العادى (أى بعض العناصر الغذائية) لتنمو وتبقى . قيم a_w المثلى والقصوى لمعظم الميكروبات قريبة جداً من الوحدة (البكتريا المرضية وكثير من الميكروبات الأخرى تنمو بدرجة أسرع عند قيم a_w فى نطاق٠,٩٩٥ إلى ٠,٩٨٠) وقيم a_w الدنيا للنمو وإنتاج التوكسين تعتبر من أهم العوامل المرتبطة بتكنولوجيا حفظ الأغذية وحماية الصحة العامة .قيم a_w لمعظم بيئات مزارع البكتريا الشائعة تقع فى نطاق ٠,٩٩٩ إلى ٠,٩٩٠ بالرغم من أن هناك بعض البكتريا extremophilic لها القدرة على النمو فى بعض الأغذية الجافة عند قيم منخفضة من a_w (من البكتريا المحبة للملوحة halophilic ، الخمائر المقاومة للتركيزات المرتفعة من السكر osmotolerant والمحبة للتركيزات المرتفعة من السكر osmophilic ، إلى فطريات xerophilic fungi القادرة على النمو على الأغذية الجافة) والتى تتطلب بيئات نمو خاصة ذات قيم a_w أقل من ٠,٩٨ . البيئات الخاصة المناسبة لمثل هذه الميكروبات تتراوح فيها a_w من ٠,٩ إلى ٠,٧ .

من المعروف أن تركيز أيونات الأيدروجين التى يعبر عنها بمقياس pH يؤثر على حياة وموت الميكروبات ، حدود النمو للميكروبات يختلف فى نطاق واسع من pH (١ - ١١) . وكقاعدة فإن قيم pH القصوى للنمو متماثلة للبكتريا ، الخمائر والفطريات ولكن الخمائر والفطريات تنمو عند pH أقل بكثير عن البكتريا . وبالرغم من النمو الأمثل للبكتريا عادة يكون عند قيم pH قريبة من ٧ ، فإن بكتريا حمض اللاكتيك وغيرها من البكتريا تنمو بدرجة مثلى بين pH ٥,٥ أو أقل و ٦ .

أهمية جهد الأكسدة والأختزال (E_h) بالنسبة للميكروبات غير واضحة تماماً . نطاق E_h للتفاعلات الكيماوية الكهربائية electrochemical يكون فى حدود حوالى ± ٣ فولت ولكن نمو البكتريا يكون فى نطاق E_h ± ٠,٥ فولت . بينما بعض الميكروبات التى تحتوى على نظام واحد لإنتاج الطاقة تكون نشطة فى نطاق ضيق نسبياً من E_h ، البعض الآخر يحتوى على أنظمة بديلة والتى يمكن تنشيطها أو أيقافها بواسطة E_h أو وجود أو غياب الأكسجين ، والميكروبات الهوائية إجبارياً تستخدم الأكسجين كمستقبل طرفى terminal acceptor للألكترون فى التنفس بينما اللاهوائية إجبارياً يمكن أن تنمو فقط عند قيم E_h منخفضة (سالبة) والبعض ينمو فى غياب الأكسجين الجزيئى . ومن ناحية أخرى فإن البكتريا اللاهوائية أختيارياً (مثل *Lactobaillaceae*) يمكن أن تستخدم الأكسجين كمستقبل طرفى terminal acceptor للالكترون ولكن فى غياب الأكسجين يمكن أن تستخدم أيضاً أنواع مختلفة من مستقبلات الألكترون . فى المزارع الميكروبية المختلفة قد تتراوح E_h من حوالى + ٣٠٠ mV للميكروبات الهوائية إلى أقل من -٤٠٠ mV للميكروبات اللاهوائية .

وبالرغم من ان كل عامل قد يؤثر بمفرده على النشاط الميكروبى وقد يكون قاتل عند مستويات غير عادية ، إلا أن جميع هذه العوامل عادة تتفاعل مع بعضها أو بالتبادل فى التأثير على حياة وموت الميكروبات .

٥-٢- التفاعل بين العوامل الطبيعية

نظرياً فإن كل عامل من العوامل الطبيعية الأربعة (E_h , pH , T , a_w) يمكن أن تستخدم تكنولوجيا لأيقاف التفاعلات الكيماوية والأنزيمية إذا وصل واحد منهم إلى الحد المثبط حتى إذا بقيت العوامل الثلاثة الأخرى عند حدودها المثلى . ومع ذلك فإن هذه العوامل بالرغم من وجودها على حالة نشطة إلا أنه يمكن الحصول على نفس التأثير المثبط بأستخدام قيم أقل من الحدود المثلى لعاملين أو أكثر .

يعتبر الجبن والمنتجات المتخمرة مثل السجق النصف جاف تطبيق نموذجى للأستفادة

من التأثير الفعال لـ a_w مع pH فى حفظ الأغذية . التأثير المثبط المشترك لهذين العاملين على مقاومة الميكروبات يكون additive (أى عند أى قيم a_w معينة ينخفض نشاط الميكروبات بإنخفاض pH والعكس صحيح) أو أكثر تعاونى synergistic (أى أن تأثير أنخفاض a_w , pH على مقاومة الميكروبات المسببة للفساد أو المرضية يتحسن بالتبادل) . تتكاثر السالمونيلا *Salmonella* عند a_w = ٠,٩٧١ ، pH = ٥,٨ ومع ذلك فإذا أنخفض pH إلى ٥,٠ فإن قيم a_w الدنيا ترتفع إلى ٠,٩٨٦ أو أعلا كما لوحظ سلوك مماثل لهذا التأثير بالنسبة *Staphylococcus aureus* . وعموماً فإن أنواع الجبن المرتفعة فى a_w و pH تكون أقل ثباتاً عن الأنواع المنخفضة فى هذين العاملين . عادة يكون تأثير pH أكثر فاعلية فى الجبن الطازجة والمعرقة بالفطر بينما تأثير a_w يكون عادة أكثر فاعلية فى الجبن الجافة والشديدة الجفاف وهناك كثير من الأحتمالات المعروفة التأثيرات الثنائية المشتركة والتى سوف يذكر بعض أمثلة لها . حدود درجة الحرارة وpH لمقاومة ونمو البكتريا المرضية الرئيسية فى الجبن قد تم تقديرها (جدول ٣-١٠) ، فإذا كان أى من العاملين عند قيمته المثلى بالرغم من أن العامل الآخر يكون أقل من قيمته المثلى فإن معدل نمو الميكروب المعنى يكون أعلا عما إذا كان كل من العاملين أقل من قيمتهما المثلى . بعض التأثيرات الثنائية مع a_w يكون مرتبط مع درجة الحرارة وإزالة الأكسجين أو أنخفاض E_h (مثل الحد الأدنى a_w لنمو *S.aureus* يكون ٠,٨٦ تحت ظروف هوائية ، ٠,٩ تحت ظروف لا هوائية) بينما *C.botulinum* عند الحد الأمثل a_w ، والذى يكون مرتفعاً جداً ، ينمو جيداً فى نطاق+٦٠ إلى -٤٠٠ mV ولكن عند E_h أقل (-٤٠٠ mV) فإن أنخفاض بسيط فى a_w (٠,٩٨) عند أضافة NaCl يقلل بدرجة كبيرة أحتمال نمو الجراثيم.

ومثال للتأثير المشترك لثلاثة عوامل طبيعية على إمكانية حدوث فساد ميكروبى للأغذية أو تسمم غذائى موضح فى الجدول (٤-١٠) وفيه القيم الدنيا للثلاثة عوامل (T ، a_w ، pH) والتى تسمح بنمو الميكروبات المسببة للأمراض المنقولة عن طريق الغذاء موضح أيضاً فى هذا الجدول، فإذا كان عاملين من هذه العوامل عند قيمتهما المثلى فإن النمو يحدث عند قيم غير عادية للعامل الثالث ولكن نطاق النمو يكون محدود عندما يكون العاملين الآخرين عند قيمتها الأقل من المثلى . عند ٣٧°م فإن نمو *C.botulinum* نوع A يحدث عند a_w ٠,٩٤ ، pH ٧,٠ بينما عند pH ٥,٣ فإن الحد الأدنى لـ a_w يرتفع إلى ٠,٩٩ .

جدول ٣-١٠ : نطاق درجة الحرارة و pH لمقاومة ونمو بعض البكتريا المرضية فى الجبن

مستوى المخاطرة في الجبن	البكتريا المرضية	درجة حرارة (°م)		pH	
		أدنى	أقصى	أدنى	أقصى
مرتفع (High)	*Salmonella paratyphy*	٦,٥	٥٧	٤,٦	١٠,٠
	S.senftenberg	٧,٠	٤٧	٤,٧	١٠,٠
	Listeria monocytogenes	١,٠	٤٥	٤,٨	٩,٦
	Escherichia coil (EEC)	٢,٥	٤٥	٤,٦	٩,٥
متوسط (Medium)	*Yersinia enterocolitica*	١,٠	٤٤	٤,٤	٩,٠
	Mycobacterium tuberculosis	٣٠,٠	٣٨	٦,٣	٧,٨
منخفض (Low)	*Staphylococcus aureus*	٧,٠	٤٨	٤,٠	٩,٨
	Clostridium botulinum (A,B)	١٠,٠	٥٠	٤,٧	٩,٠

٣-٥-التفاعلات الطبيعية ، الكيماوية والميكروبيولوجية فى الجبن

بالإضافة إلى العوامل الطبيعية فإن المواد الكيماوية (المواد الحافظة preservatives) والميكروبيولوجية (الميكروبات المنافسة competitive flora) يجب أيضاً أن تؤخذ فى الأعتبار بالنسبة لقوة حفظ وسلامة الأغذية بصفة عامة وفى الجبن بصفة خاصة .

الأضافات الكيماوية المختلفة الشائعة الأستخدام فى صناعة الجبن (مثل H_2O_2 ، $CaCl_2$ ، NaCl ، حمض السوربيك ، حمض البروبيونيك وغيرها من الأحماض ، النترات nitrate والنيتريت nitrite ...) قد تغير من العوامل الطبيعية (E_h , pH , a_w) من خلال التفاعلات ، بالرغم من أن بعضها أيضاً يحدث تأثيرات معينة على بعض الميكروبات. لهذا فإن H_2O_2 يزيد E_h ويحفظ اللبن الخام ، أضافة Co_2 إلى اللبن الخام والذى يخفض pH اللبن ويحد من نمو البكتريا المقاومة للبرودة psychrotroph كما يؤثر على مزارع البادئات وتكوين العيون فى الجبن بواسطة البكتريا المنتجة للنكهة ، $CaCl_2$ يحسن من قابلية اللبن للتجبن بالمنفحة وأنكماش الخثرة وطرد الشرش منها syneresis ويخفض من a_w ويؤثر أيضاً على نمو بكتريا البادىءوبكتريا من غير البادىء ، ونشاط أنزيمات اللبن الطبيعية ، والأنزيمات المجبنة والميكروبية ، وجميع هذه الأنزيمات بدورها تؤثر على تسوية الجبن والتركيب الكيماوى ، وجودة وقوة حفظ وسلامة الجبن . حمض السوربيك وأملاحه من الكالسيوم ، الصوديوم والبوتاسيوم تكون فعالة جدا فى منع نمو الخمائر والفطريات السطحية وإنتاج التوكسينات الفطرية mycotoxin . السوربات والبروبيونات والمواد الحامضية acidulants (أحماض السوربيك ، الخليك ، اللاكتيك ،الستريك) بالأضافة إلى

خفض pH فأنها تؤثر على مقاومة *Listeria monocytogenes* فى الجبن ، النترات والنيتريت (الذى يعتمد نشاطه المثبط للميكروبات على pH ، E_h ، a_w مثل تأثير NaCl) يثبط نمو *Clostridium* spp. وبالتالى يمنع إنتاج الغاز المتأخر فى الجبن late bloating of cheese وهذه بعض أمثلة لتفاعلات العوامل الكيماوية والطبيعية والبيولوجية .

جدول ٤-١٠ : القيم الدنيا لثلاثة عوامل طبيعية التى تسمح بنمو بعض البكتريا المرضية فى الجبن.

مستوى المخاطرة فى الجبن	البكتريا المرضية	درجة الحرارة (°م)	a_w	pH
مرتفع (High)	*Salmonella* spp.	٥,٣	٠,٩٤	٤,٠
متوسط (Medium)	*Vibrio parahaemolyticus*	٥,٠	٠,٩٤	٤,٨
	Yersinia enterocolitica	صفر	-	٤,٤
منخفض (Low)	*Staphylococcus aureus*	٦,٧	٠,٨٦	٤,٥
	(toxin production)	(١٠,٠)	(٠,٩٠)	-
	Clostridium botulinum			
	(A,B)	١٠,٠	٠,٩٤	٤,٧
	(E)	٣,٠	٠,٩٧	-
	Clostridium perfringens	١٢,٠	٠,٩٣	٥,٠
	Bacillus cereus	٧,٠	٠,٩٥	٤,٣

العوامل البيئية الطبيعية والكيماوية والميكروبية التى تشجع نمو أنواع أو سلالات معينة من البكتريا المختلفة المتواجدة فى الغذاء قد تسبب تأثيرات خاصة من خلال التنافس والتفاعلات المشتركة بين الأنواع المختلفة من البكتريا محدثاً تغيرات فى العلاقات الميكروبية السائدة والتى يكون لها تأثير واضح على تتابع نمو الميكروبات فى الغذاء . تعتمد صناعة الجبن على التأثير الناتج من تفاعل بعض العوامل الطبيعية (T ، pH ، E_h ، a_w) الكيماوية (المواد الحافظة) والميكروبيولوجية (الميكروبات المتنافسة) تحت ظروف معتدلة أقل من المثلى لذلك فإن a_w فى صناعة وتسوية الجبن تلعب دوراً على جانب كبير من الأهمية فى البداية ودوراً أساسياً فى النهاية . المادة الخامة سريعة الفساد (اللبن يحتوى على ميكروبات طبيعية ، a_w مرتفع ، pH قريب من التعادل ، E_h مرتفع نسبياً) عادة يحفظ عند درجة حرارة منخفضة ، يسخن إلى درجة حرارة البسترة للقضاء على الميكروبات غير المرغوبة الموجودة فى اللبن وخاصة المرضية ثم يحضن بميكروبات تنافسية (بكتريا حمض اللاكتيك) لتحدث تغيرات خاصة من خلال التنافس ، أنخفاض فى pH و E_h للسيطرة على نمو الميكروبات المتبقية غير المرغوبة (المسببة للفساد) ثم تنخفض بعد ذلك a_w نتيجة

طرد الشرش من خلال أنكماش وكبس الخثرة ، تمليح الخثرة وتجفيف وتسوية الجبن عند درجات حرارة منخفضة إلى أن يصبح النشاط المائى منخفضاً بدرجة كافية تزيد من حفظ الجبن تحت الظروف العادية (غير المبردة) . أثناء صناعة بعض أنواع من الجبن عادة يضاف مواد حافظة بخلاف الملح ، بعض أنواع الجبن يجرى لها عملية تدخين بعد الصناعة والتى تضيف مواد حافظة من الدخان smoke preservatives على سطح الجبن بينما الهواء الساخن يخفض من النشاط المائى .

تعتبر a_w العامل الرئيسى المحدد لقوة حفظ وسلامة الجبن لفترة طويلة ،معظم الجبن الجافة المسواه تكون لها قوة حفظ جيدة عند درجة الحرارة العادية وكثير من الجبن تتميز بقوة حفظ ذاتية self-.stable products جيدة نظراً لأنخفاض a_w فيها .الجبن المرتفعة فى قيم a_w فقط تكون سريعة الفساد بدرجة ملحوظة وقد تسبب بعض حالات التسمم الغذائى ومن الضرورى حفظها تحت التبريد لحين أستهلاكها .

قد تتواجد البكتريا المرضية فى الجبن المرتفعة a_w (مثل الجبن الطرية المسواه سطحياً مثل البراى والكممبير) ، الجبن الطازجة أو المسواه لمدة أقل من شهرين ، وتسبب بعض الأمراض مثل brucellosis *(Brucella abortus,B.melitensis)* ، listeriosis *(L.monocytogenes)* والشيجلا shigellosis *(Shigella* spp.) أساساً كنتيجة لأستخدام اللبن الخام أو اللبن غير المبستر بكفاءة فى صناعة الجبن ، لـ salmonellosis (*Sallmonella*) ، botulism (*C.bolulinum*) ، تسمم غذائى بالبكتريا العنقودية (*S.aureus*) وبعض الأضطرابات المعوية (*E.coli-EEC* المرضية، *Y.enterocolitica*) نتيجة لتلوث الجبن بصفة أساسية بعد البسترة أو عدم كفاءة عملية بسترة لبن الجبن . وجود *E.coli* (EEC) , *L.momocytogenes* , *Salmonella* فى الجبن تعطى أهمية خاصة لما تسببه من مخاطر صحية شديدة عند تناولها بينما *S.aureus* يعتقد أنها تسبب خطورة أقل حيث يمكن بسهولة السيطرة عليها فى صناعة الجبن . تعتبر المعاملة الحرارية المعتدلة (٦٥-٦٦°م / ١٦-١٨ ثانية) كافية للقضاء على جميع الميكروبات المرضية الموجودة فى اللبن والتى تعرض ثبات وسلامة الجبن لمخاطر كبيرة ، ومع ذلك فإنه يعتقد أنه لا يمكن للبسترة (نتيجة للتلوث بعد البسترة) أو أى عامل آخر بمفرده أن يؤكد السلامة الكاملة فى الجبن وقوة حفظ جيدة للجبن الناتج .

بعض الجبن الجافة والنصف جافة وخاصة الأنواع الأيطالية (مثل الرومانو والبرمسان والبرفلونو) التى تتميز بقيم a_w منخفضة نسبياً نادراً ما تسبب تسمم غذائى ولكن تكوين التيرامين والهستامين من خلال نزع مجموعة الكربوكسيل من الأحماض الأمينية التيروسين

والهستدين على التوالى بواسطة أنزيم decarboxylaes البكتيرى قد تسبب بعض المخاطر الصحية ، من ناحية أخرى ، هذه الأمينات يمكن أن تتحلل بواسطة بعض مزارع البادئات المحتوية على نشاط mono-, diamine oxidase .

obeikandl.com