الهواء المضغوط ونمو الكائنات الدقيقة

تونـي بيكمانس
مدير قطاع الأغذية والمشروبات - الصناعات الدوائية

عادة ما يكون عملاء الهواء المضغوط ومستخدموه، بالتأكيد في التطبيقات الأهم، في أفضل وضع لتحديد الجودة والنقاء المطلوبين لأدوات مثل الهواء المضغوط.
ومن ثم، يتحملون مسؤولية إصدار المواصفات الصحيحة لمورد معدات الهواء المضغوط. ويتحمل المورد بدوره مسؤولية توفير المعدات وفق مستوى النقاء المطلوب.

في التطبيقات الصحية المهمة مثل الأغذية والمشروبات، كثيرًا ما تُحدد نقطة تكاثف الضغط (PDP) للهواء المضغوط تبلغ -40 درجة فهرنهايت/درجة مئوية.
ويجب فهم أنه يمكن أن تمثل متطلبات الطاقة لتحقيق نقاط تكاثف منخفضة في تجهيزات الهواء المضغوط جزءًا كبيرًا من إجمالي تكلفة الطاقة. ومن حيث المبدأ، كلما انخفضت نقطة التكاثف المطلوبة، زاد الطلب على الطاقة.

لتوفير الطاقة في التجهيزات، تم التحقيق في سبب تحديد التطبيقات الصحية المهمة نقطة تكاثف ضغط تبلغ -40 درجة فهرنهايت/درجة مئوية في كثير من الأحيان، يُشار إليها أيضًا بـ Class 2 وفق المعيار ISO 8573-1. تستخدم شركات الصناعات الغذائية على سبيل المثال الهواء المضغوط ذا الاتصال المباشر وغير المباشر.
حيث يُعد الهواء ذو الاتصال المباشر عملية يتم خلالها استخدام الهواء المضغوط كجزء من المنتج نفسه، و/أو عملية الإنتاج، بما في ذلك تعبئة المنتجات الغذائية الآمنة ونقلها. وفي حين يمثل الهواء غير المتصل العملية التي لا يتصل فيها الهواء المضغوط مباشرةً مع المنتج الغذائي، إلا أنه لا يمكن إطلاقه في الغلاف الجوي للمكان المحيط بتحضير الأغذية أو معالجتها أو تخزينها.
لا يكون التقسيم واضحًا دائمًا.

تحاول التطبيقات الصحية الحساسة مثل تلك المستخدمة في شركات الأغذية والمشروبات تقليل خطر نمو الكائنات الدقيقة في المنتج النهائي، ومن ثمّ التخلص كذلك من مصادر التلوث المحتملة بفعل الأدوات مثل الهواء المضغوط. شركات الأغذية معنية في الوقت الحالي بسلامة الأغذية بشكل قانوني

نظرية نمو الكائنات الدقيقة والاستخدام العملي للهواء المضغوط

تنص المراجع التي تصف آليات نمو الكائنات الدقيقة والفطريات على ما يلي:

"لدعم نمو الكائنات الدقيقة، تلزم تهيئة الظروف التي تسمح بتكاثر الكائنات الحية. وتتطلب كل الكائنات الدقيقة ما يلي لتظل على قيد الحياة وتنمو في وسط استنبات:

1) *مواد مغذية*
2) *درجة حموضة مناسبة*
3) *درجة حرارة مناسبة*
4) *غازات*
5) *رطوبة*

لا يتأثر *1) 2) 4)* مبدئيًا بعملية ضغط الهواء، بشرط استخدام ضاغط خالٍ من الزيت مع مبرد لاحق.
بينما يمكن أن يرتبط *3)* و*5)* بضغط الهواء الجوي أو يتأثرا به.

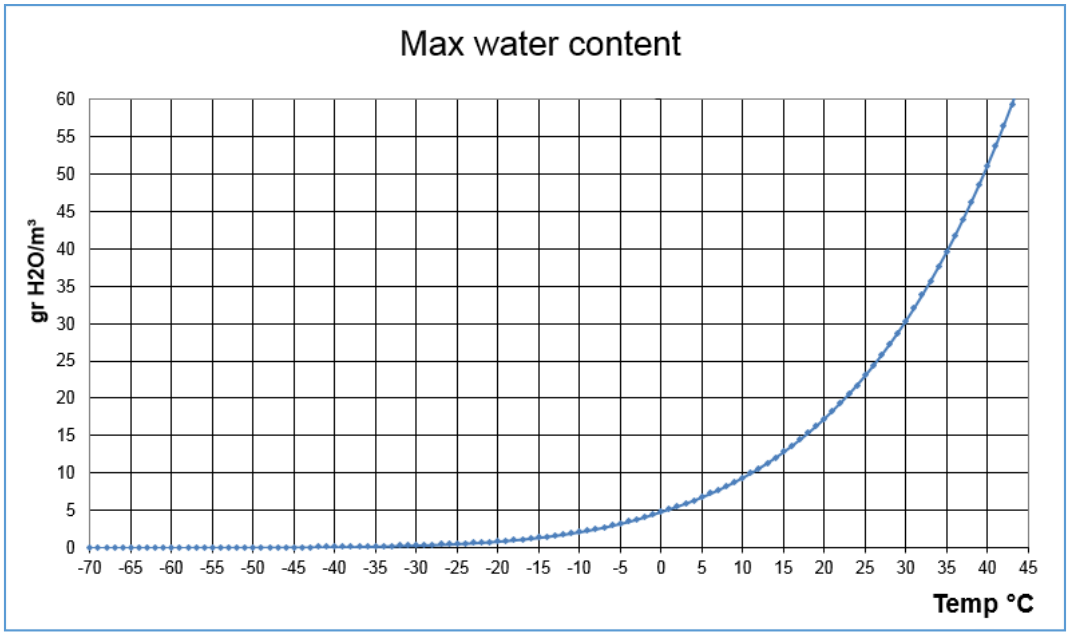
3) درجة الحرارة المناسبة
تشهد البكتيريا والفطريات أليفة الحرارة المعتدلة نموًا مثاليًا في درجات حرارة تتراوح بين 25 درجة مئوية/77 درجة فهرنهايت و40 درجة مئوية/104 درجة فهرنهايت. بينما تنمو الكائنات الدقيقة الأليفة للحرارة المرتفعة، أو المحبة للحرارة، عند درجات حرارة أعلى من 45 درجة مئوية/113 درجة فهرنهايت حتى 90 درجة مئوية/194 درجة فهرنهايت تقريبًا. كما تقتل الحرارة الكائنات الدقيقة، ولكن لكل نوع تحمل حراري خاص به. وأثناء عملية إتلاف حرارية، مثل البسترة، تكون قيمة معدل الإتلاف أسية، كما هو الحال في معدل نموها. ومن ثمّ، يتم قتل البكتيريا المعرضة للحرارة عند معدل يتناسب مع عدد الكائنات الحية الموجودة. وتعتمد العملية على درجة حرارة التعرض والوقت المطلوب عند درجة الحرارة هذه معًا لتحقيق معدل الإتلاف المطلوب. وتُعد درجة الحرارة المرتفعة في عناصر الضغط الخالية من الزيت (>180 درجة مئوية/356 درجة فهرنهايت) مرتفعة بما يكفي لتقليل الكائنات الدقيقة الموجودة إلى حدٍ كبير. ومع ذلك، يُعد الزمن الذي يوجد فيه الهواء عند درجة الحرارة المرتفعة هذه في أجزاء الضاغط قصيرًا للغاية بحيث لا يمكن اعتباره تعقيمًا.

كما يؤدي كذلك انخفاض درجة الحرارة من الناحية الأخرى، خصوصًا لأقل من 18 درجة مئوية/64 درجة فهرنهايت، إلى تقليل نشاط النمو. يتوقف نشاط الكائنات الدقيقة تقريبًا عند نقطة تجمد الماء تقريبًا.
وأشارت الدراسات إلى أن نمو الكائنات الدقيقة (الفطريات والبكتيريا) يتوقف تمامًا أيضًا عندما تكون درجة الحرارة أقل من -10 درجات مئوية /14 درجة فهرنهايت إلى -18 درجة مئوية/0 درجة فهرنهايت حسب الكائن الحي. *(مرجع 1)*

5) الرطوبة
تعتمد على كمية الماء (البخار) التي يحتاج إليها النوع المحدد من الفطريات أو البكتيريا للتكاثر أو النمو؛ ومع ذلك، تحتاج جميعها إلى بعض أشكال الماء للتكاثر. وتتطلب الغالبية رطوبة نسبية (RH) تبلغ 75% أو أكثر.
كما يمكن لبعضها البقاء على قيد الحياة والتكاثر في رطوبة نسبية بمعدل > 50% (RH). ولا يوجد عادةً تكاثر ميكروبي عند رطوبة نسبية أقل، أو نشاط مائي < 0.5 (مرجع 2 نشاط مائي).

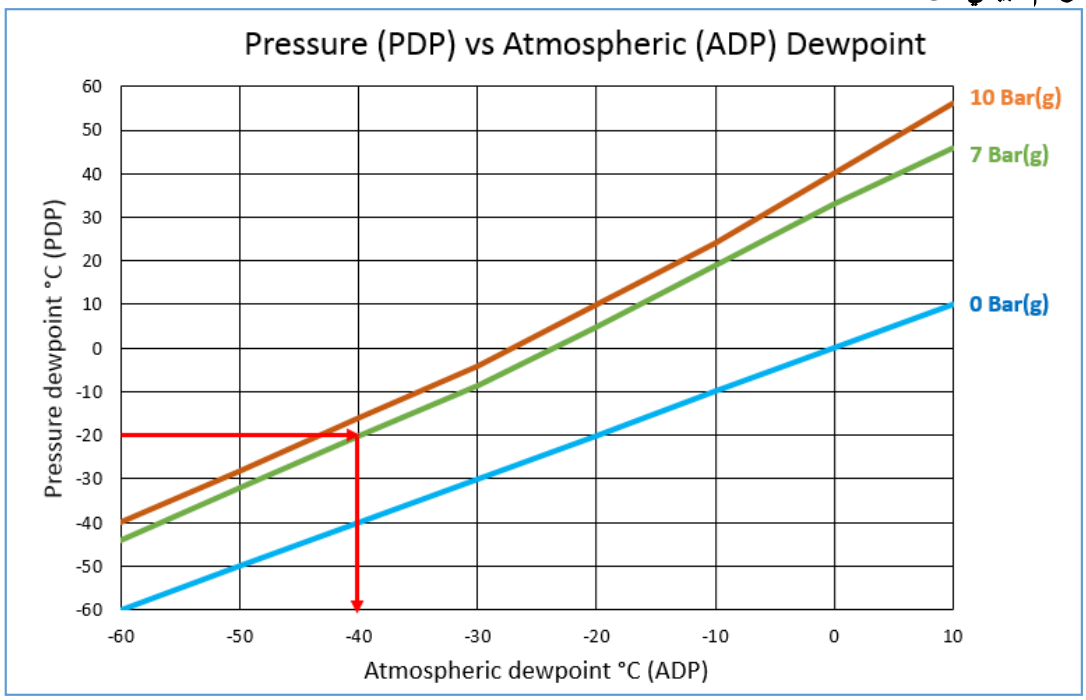
بعبارة أخرى، يعمل انخفاض درجات الحرارة والرطوبة، أو الرطوبة النسبية، على تقليل احتمالية توفير مناخ يتيح بقاء الكائنات الدقيقة على قيد الحياة.

تعريف نقطة التكاثف
درجة حرارة نقطة التكاثف أو نقطة التكاثف هي درجة الحرارة التي سيكوّن عندها تركيز معين لبخار الماء في الهواء ندى أو بعبارة أخرى هي درجة الحرارة التي يجب تبريد الهواء إليها للوصول إلى التشبع. وهي مقياس للرطوبة الموجودة في الهواء.
يتم التعبير عن نقطة التكاثف بأنها درجة حرارة على المقياس بدرجة مئوية أو درجة فهرنهايت، ويمكن أن تمثل أيضًا أقصى محتوى مائي، بالجرام أو الأوقية، لحجم الهواء القياسي عند درجة الحرارة المعينة تلك.
ويمكن أن يبدو الفرق بين -40 درجة مئوية / -40 درجة فهرنهايت و-20 درجة مئوية / -4 درجات فهرنهايت كبيرًا على مقياس درجة الحرارة، على الرغم من أن الفرق المطلق في المحتوى المائي بوحدة الجرام أو الأوقية ضئيلاً.



ومن الأمور التي يجب مراعاتها أنه كثيرًا ما يتم تحديد نقطة تكاثف الضغط عند تحديد الهواء المضغوط. مما يعني أقصى محتوى مائي في الهواء المضغوط، تحت الظروف مكيفة الضغط. إذا كان الهواء يتصل بالمنتج بعد التمدد، وهو الوضع القائم في معظم الحالات، فستنخفض نقطة التكاثف أو المحتوى المائي بدرجة كبيرة.
ستقل الرطوبة الحالية بمعامل: *الضغط (المطلق) / ضغط (الغلاف الجوي)*. (راجع الرسم البياني G1) في هذه الحالة تكون ADP (نقطة تكاثف الهواء الجوي) مناسبة أكثر.

الرسم البياني G1



مثال: نقطة تكاثف الضغط البالغة -20 درجة مئوية / -4 درجات فهرنهايت عند ضغط 7 بار/102 رطل لكل بوصة مربعة تساوي نقطة تكاثف الهواء الجوي البالغة -41 درجة مئوية / -42 درجة فهرنهايت

نقطة التكاثف وعلاقتها بالرطوبة النسبية

لنأخذ حالتَين كمثال:

1) درجة حرارة محيطة تبلغ +20 درجة مئوية / 68 درجة فهرنهايت برطوبة نسبية تبلغ 70%.

يتضمن الهواء الجوي الداخل محتوى مائيًا يبلغ 12 جرامًا من الماء/م٣.
يبلغ ضغط الخط بعد الضاغط والمجفف 7 بار (مقيس) بنقطة تكاثف ضغط = -20 درجة مئوية / -4 درجات فهرنهايت في درجة الحرارة المحيطة.
في هذه الحالة، ستبلغ الرطوبة النسبية للهواء المضغوط في خط الأنابيب 5.1% وسيبلغ المحتوى المائي 0.9 جرام من الماء/م٣. بعد التمدد، ستنخفض الرطوبة النسبية (نقطة تكاثف الهواء الجوي) لتبلغ 0.64% وتتضمن 0.11 جرام من الماء/م٣

2) درجة حرارة محيطة تبلغ -15 درجة مئوية/5 درجات فهرنهايت ورطوبة نسبية تبلغ 85% وهواء مضغوط بنقطة تكاثف ضغط تبلغ -30 درجة مئوية/-22 درجة فهرنهايت.

يتضمن الهواء المحيط الداخل محتوى مائيًا يبلغ 1.18 جرام/م٣. في الهواء المضغوط بعد المجفف، يبلغ المحتوى المائي 0.34 جرام/م٣ ورطوبة نسبية تبلغ 24%.
حيث إن درجة الحرارة المحيطة أقل بكثير من نقطة تجمد الماء، فمن ثمّ لن توجد مياه حرة وتكون درجة الحرارة منخفضة للغاية بحيث لا تؤثر في نمو الكائنات الحية.
وبمجرد ارتفاع درجة الحرارة المحيطة، يمكن للكائنات الحية في بعض الحالات استعادة النشاط. ومع ذلك، إذا ارتفعت درجة الحرارة، فستنخفض الرطوبة النسبية في شبكة الهواء المضغوط وتظل أقل بكثير من الظروف الجوية الصالحة للحياة وهي رطوبة نسبية أقل من 40%.

حلول تجفيف الهواء المضغوط الموفّرة لاستهلاك الطاقة

بالنسبة إلى متطلبات نقطة التكاثف المنخفضة، يمكن استخدام تقنيات مختلفة مثل المجففات غير الحرارية ذات الأبراج المزدوجة التي تعمل بمادة مجففة والمجففات من نوع النوافخ ذات الحرارة المعاد توليدها والبرج المزدوج الذي يعمل بحرارة الضغط والأسطوانة الدوارة التي تعمل بحرارة الضغط والمجففات المبردة وغير ذلك.
قد تستهلك بعض تقنيات التجفيف، المصممة للوصول إلى نقطة تكاثف ثابتة ومنخفضة للغاية، من 10 إلى 20% من طاقة الضاغط المتصل بها.
ويمكن أن تصل تكلفة الطاقة السنوية المطلوبة لتقنيات التجفيف هذه إلى 13000 يورو لكل 100 كيلو واط من قدرة الضاغط المُركّب.

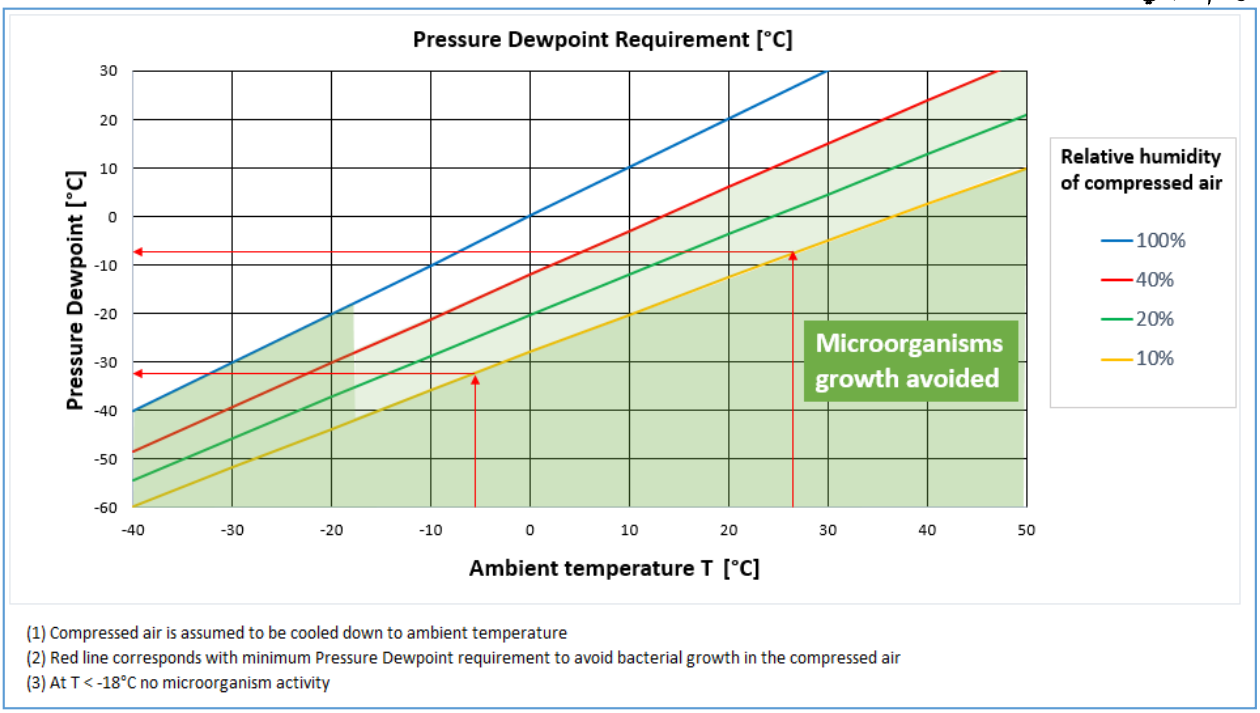
تعد الرطوبة النسبية التي تبلغ من 10 إلى 20% كحد أقصى في معظم الحالات منخفضة بما يكفي لتوفير مناخ لا يمكن لمجموعة من الكائنات الحية النمو فيه.
كما يمكن أن يسهم استخدام الرطوبة النسبية في مواصفات الهواء المضغوط، بدلاً من نقطة تكاثف الضغط على مقياس درجة الحرارة، في توفير تركيب آمن صحيًا وموفر للطاقة.

الخاتمة:

عند تحديد نقطة تكاثف الضغط، ينبغي وضع المعايير بناء على معرفة ودافع صحيح.
بالإشارة إلى المعيار ISO 8573 تكون نقطة تكاثف الضغط من الفئة 4 أو 3 أو 2 مقبولة، لكن الفرق بين 3+ درجات مئوية و-20 درجة مئوية و-40 درجة مئوية على التوالي كبير، مع مراعاة متطلبات الطاقة بالتأكيد للحصول على نقاط تكاثف معينة.
يكون المحتوى المائي الفعلي، الذي ينبغي أن يكون هو العامل الحاسم، لدرجات الحرارة الأقل من نقطة التجمد ثابتًا إلى حدٍ كبير.
يمكن تحقيق مستويات كبيرة في توفير الطاقة عند تحديد نقطة التكاثف الصحيحة ضمن تقنيات التجفيف المتوافرة، وذلك دون المساس بسلامة الأغذية أو التسبب في حالة صحية خطيرة.

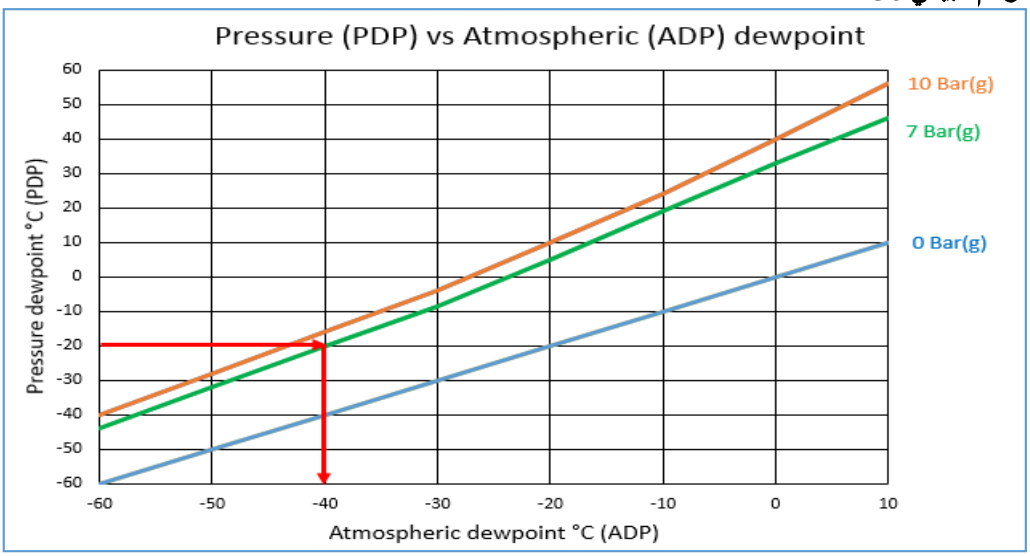
تحتاج الكائنات الحية الدقيقة إلى الماء لتنمو في المنتجات الغذائية. يعدّ التحكم في محتوى الرطوبة في الأغذية من أقدم إستراتيجيات الحفظ المستخدمة.
بوجه عام، يصف علماء الأحياء الدقيقة للأغذية متطلبات المياه للكائنات الحية الدقيقة بالإشارة إلى النشاط المائي (aw) للغذاء أو البيئة. *(المرجع 3)*
من الضروري التمييز بين البكتيريا والعفن. بالنسبة إلى البكتيريا، يكون الحد الأدنى للنشاط المائي البالغ 0.75 (رطوبة نسبية 75%) مقبولاً بوجه عام (المكورات العنقودية الذهبية). بالنسبة إلى العفن يعد الحد الأدنى للنشاط المائي البالغ 0.6 (رطوبة نسبية 60%) حدًا آمنًا (فطر زيروميسس) *(المرجع 4)*.
ومن ثمّ، يمكن اعتبار مواصفات الرطوبة النسبية لنقطة تكاثف الضغط البالغة ≥10% أو حتى ≥ 20% آمنة على الأغذية والصحة. استنادًا إلى الرسم البياني أدناه (G2)، يمكن حساب نقطة التكاثف المطلوبة لتحقيق نشاط مائي (رطوبة نسبية) محددة في الهواء المضغوط عند درجة حرارة محيطة معينة.

الرسم البياني G2



لحساب نقطة تكاثف الهواء الجوي (ADP) المطابقة من نقطة تكاثف الضغط (PDP) أو العكس، يمكن استخدام الرسم البياني أدناه (G3).

الرسم البياني G3



المراجع

1) The microbiological safety and quality of food Barbara M. Lund, A.C. Baird, Grahame W. Gould

2) Water activity or aw is the partial vapor pressure of water in a substance divided by the standard state partial vapor pressu re of water. In the field of food science, the standard state is most often defined as the partial vapor pressure of pure water at the same temperature. Using this particular definition, pure distilled water has a water activity of exactly one. As temperature increases, aw typically increases, except in some products with crystalline salt or sugar. Higher aw substances tend to support more microorganisms. Bacteria usually require at least 0.91, and fungi at least 0.7 Rockland, L.B.; Beuchat, L.R. (1987). Water Activity:Theory and Applications to Food (2nd ed.). New York: Marcel Dekker.

3) Evaluation and Definition of Potentially Hazardous Foods - Chapter 3. FDA http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/094145.htm

4) Prof.Zwietering in answer to the NEN Expertgroup medical gasses 2014