تقرير تِقنِيّ
ثبات تركيبة بروتين شرش اللبن إزاء تعرُّضه للحرارة

بقلم:

كيمبرلي (ك.ج) بورينجتون

مركز ويسكونسن لأبحاث الألبان والأجبان

مراجعة:

المجلس الوطني للألبان والأجبان

في إطار التوجّه للاهتمام المتزايد بالصحَّة والعافية، يعزّز مُصنِّعو الأغذية والمشروبات محتوى منتجاتهم من البروتين ويقع اختيار العديد منهم على بروتين شرش اللبن كمصدر للبروتين في ابتكاراتهم الإنتاجيَّة. يوفّر الاستخدامُ الواسعُ لهذه المكوّنات إمكانيَّاتٍ هائلةٍ لصياغة تركيباتٍ جديدةٍ من خلال تحسينِ نوعية شرش اللبن وأدائه.

يلخِّص هذا التقريرُ أبحاثًا حديثةً حول تحسين ثبات مكوّنات بروتين شرش اللبن إزاء تعرُّضه للحرارة من أجل مساعدة مطوِّري المنتجات على استخدام هذه المكوِّنات في تطبيقات إضافيَّة. ينصُّ القانون الفدرالي على أنَّ شرش اللبن هو السائل الذي ينتج عن فصل الخثرة عن اللبن أو القشدة في أثناء صناعة الجبن. تشكِّل بروتيناتُ شرش اللبن حوالى عشرين بالمائة من بروتينات اللبن التي تبقى في المصل في خلال صناعة الجبن لتعود وتشكِّل في وقتٍ لاحق عدَّة مكوِّنات أخرى. إنَّ بروتينات شرش اللبن الأساسيّة هي البيتا لاكتوجلوبيولين، والألفا لاكتالبيومين، وألبيومين المصل البقري، والجلوبولين المناعي، وببتون البروتيوز[1].

تشكِّل بروتينات شرش اللبن، وهي مجموعة فريدة من البروتينات ذات خصائص فيزيائية مميّزة، مُكوِّنًا لعددٍ كبير من الخلطات التجاريَّة التي تساهم في النكهة، والتركيبة، والعناصر الغذائية لتشكيلة واسعة من المواد الغذائيّة. وتؤدّي المستويات العالية من الحوامض الأمينيَّة الأساسيَّة في بروتين شرش اللبن، وبالأخص الحوامض الأمينيَّة المتفرِّعة السلسلة، إلى زيادة الطلب على هذا المكوِّن الغذائي، كما وتساهم الخصائص الفيزيائية لمكوّنات بروتين شرش اللبن في استخدامه في تطبيقات غذائية عدّة. إلا أنّ جانب بروتين شرش اللبن الذي قد يشكّل تحديًا بالنسبة لصياغة بعض التركيبات هو حساسيَّته تجاه الحرارة. لذلك قام معهد أبحاث الألبان والأجبان "ناشيونال دايري كاونسيل" (National Dairy Council)، الذي أسّس بقيادة منتجي الألبان والأجبان في الولايات المتحدة الأمريكية ضمن البرنامج الوطني المخصّص للألبان والأجبان الذي تتولّى إدارته "دايري ماناجمنت إنك"(علامة تجاريّة) (Dairy Management Inc.®)، بدعم مجموعة من البحوث التي تهدف إلى تحسين أداء بروتين شرش اللبن أثناء المعالجة الحرارية الحراريّة الأكثر شدّة.

خصائص بروتين شرش اللبن

تركيبة مكونات بروتين شرش اللبن

تتضمَّن مكوِّنات بروتين شرش اللبن كلّ من مُرَكَّز بروتين شرش اللبن ومعزول بروتين شرش اللبن اللذين غالبًا ما تراوح نسبتهما بين ٢٥ و ٩٠ بالمائة من البروتين[2] الذي يتألّف بشكلٍ أساسيّ من البيتا لاكتوجلوبيولين والالفا لاكتالبيومين بنسبةٍ تصل إلى سبعين بالمائة من مجمل مكوّنات البروتين (الجدول ١). ويعود الكثير من المواصفات الفيزيائية لمكوّنات بروتين شرش اللبن إلى خصائص هذين البروتينين.

الجدول رقم ١: تركيب بروتين الشرش

بروتين شرش اللبن	مُرَكَّز بروتين شرش اللبن ٪	معزول بروتين شرش اللبن ٪
ألفا لاكتالبيومين	١٢ إلى ١٦	١٤ إلى ١٥
بيتا لاكتوجلوبيولين	٥٠ إلى ٦٠	٤٤ إلى٦٩
الجليكوماكروبيبتيد	١٥ إلى ٢١	٢ إلى٢٠
ألبيومين المصل	٣ إلى ٥	١ إلى ٣
الجلوبيولين المناعي	٥ إلى ٨	٢ إلى ٣
اللاكتوفيرين	أقل من ١	النسبة غير متوفرة

١ والسترا، ج ت م ووترز، ت ج جورتز. مكونات، مجلّة علم وتكنولوجيا الألبان والأجبان "دايري ساينس أند تكنولوجي" (Dairy Science and Technology)، الطبعة الثانية. دار نشر "سي آر سي بريس" (CRC Press)؛ ٢٠٠٦، الفصل ٢.

٢ فوجدينج، ب لاك، ب فاردهانابهوتي. موسوعة علوم الألبان والأجبان. الطبعة الثانية "ألسفير ليميتد"؛ ٢٠١١، منتجات بروتين شرش اللبن.

Think USA Dairy
brought to you by U.S. Dairy Export Council

© 2017 U.S. Dairy Export Council | WW058A

فعالية بروتين شرش اللبن

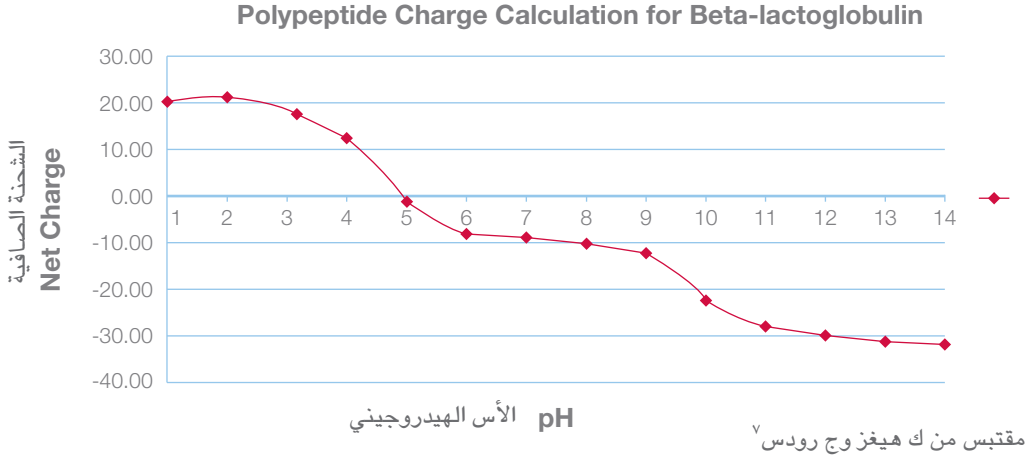
تعتبر مكوّنات بروتين شرش اللبن مكوّناتٍ متعدّدة الوظائف إذ تمنح خاصّيات مثل التهلّم (التحوّل إلى جل)، والتماسك مع الماء، وقابلية الذوبان، والإرغاء، واللزوجة، والاستحلاب. تعتبر قابلية الذوبان من أهمّ هذه الخصائص إذ أنّ قابليّة الذوبان العالية ضروريّة للخصائص الوظيفيّة الأخرى. وتثبت فعاليّة البروتين عبر تفاعل جزيئات البروتين مع المادة المذيبة (كالماء)، والأملاح (كالأيونات)، بالإضافة إلى مكوّنات غذائية أخرى[٣]. أمّا إحدى خصائص بروتين شرش اللبن الفريدة فتكمن في قابلية ذوبانه العالية في الماء ضمن نطاق واسع من درجات الحموضة (تتراوح بين ٢ إلى ٩) وهي خاصيّة مهمّة لعددٍ كبيرٍ من تطبيقات المشروبات. ويبقى التحدي الأكبر الذي يواجهه بروتين شرش اللبن هو المحافظة على قابلية الذوبان عند تعرّضه لمعالجة حراريّة. إنّ معظم الأغذية معالَجة حراريًّا كما وإنّ بروتينات شرش اللبن عرضة لتغييرات عديدة في أثناء التسخين ومنها التمسّخ.

الثبات الحراري وزعزعة الثبات

يتمثَّل الثبات الحراري لتركيبة بروتين شرش اللبن بقدرة البروتين على تحمل معالجته على حرارة مرتفعة من دون التعرُّض لتغيُّرات مدمِّرة كالتعكُّر المفرط، أو اللزوجة الزائدة، أو فصل الطور، أو الترسُّب، أو التهلُّم. أضف أنّ البيتا لاكتوجلوبيولين والالفا لاكتالبيومين هي بروتينات شرش اللبن الأكثر أهمّية والمسؤولة عن خصائص الثبات الحراري لمكونات مُرَكَّز بروتين شرش اللبن ومعزول بروتين شرش اللبن[٤]. يقوم مسخ بروتينات الشرش اللبن بفعل الحرارة بتكسير البروتين ثمَّ جمعه بما في ذلك من تفاعلات إسهاميّة التكافؤ (غير قابلة للانعكاس) وغير إسهاميّة التكافؤ (قابلة للانعكاس) قائمة بين البروتينات[٥].

إنَّ تشكُّل روابطٌ ثُنائيُّ الكبريتيد بين جزيئيتين من البيتا لاكتوجلوبيولين الذي يمكن أن يَنتج عن أكسدة السَلْفَهَيْدريل أو التبادُل بين السَلْفَهَيْدريل وثُنائيُّ الكبريتيد، هو مثال واضح على التفاعلات الإسهاميّة التكافؤ. تؤثر الحرارة، والشدَّة الأيونيّة (تركيز الأملاح)، والمصدر الأيوني، والاس الهيدروجيني للمحلول البروتيني على تجمّع بروتين شرش اللبن بفعل الحرارة. كما وتُظهر البروتينات درجات وأنواع مختلفة من التجمّعات وذلك وفقًا للظروف السابقة الذكر. في أغلب الأحيان، تزيد التجمّعات الكبيرة والكثيفة من تعكُّر المحلول، في حين تؤثر التجمّعات الأصغر حجمًا والأكثر استقامة على اللزوجة بشكلٍ كبيرٍ وتزيد نسبة التعكُّر بشكلٍ بسيطٍ. وتشكل تكدسات البروتين تعكُّرًا أو شبكة شفافة من الجل في حال كان البروتين كثيفًا بما يكفي في المحلول[٦]. تتزايد نسبة تجمّع البروتين لدى وجود الملح (فعلى سبيل المثال تسبّب الأملاح ثنائية التكافؤ مثال كلوريد الكالسيوم تزايدًا في نسبة تجمّع البروتين مقارنة بالأملاح أحادية التكافؤ مثال كلوريد الصوديوم). ويزيد الملح هذا التجمّع إما عبر الحدّ من تنافر الشحنات بين البروتينات (الشبيه بفكرة جمع قطبي الشمال التابعان لحجري مغنطيس) وإما عبر تشكيل جسور من الملح بين البروتينات. وبما أنّ كلتي الآليتين تستخدمان الشحنات الكهربائية الساكنة على جزيئات البروتين، فإنّه يتم تغييرها على مستويات مختلفة من الأس الهيدروجيني pH. تتجمع بروتينات شرش اللبن بسرعة وسهولة في مدى الأس الهيدروجيني الذي يراوح بين ٤,٨ و٥,٣ وهو أيضًا مدى نقاط التعادل الكهربائي (الأس الهدروجينيّ الذي يكونُ البروتينُ عِندهُ مُحايِداً أي لا يحمل شحنة كهربائية) لالفا لاكتالبومين وبيتا لاكتوجلوبيولين (الرسم البياني ١).

الرسم البياني رقم ١ احتساب شحنات عديد الببتيد في بيتا لاكتوجلوبيولين



مقتبس من ك هيغز وج رودس[٧]

٣ ي ل شيونغ، تأثير الأس الهيدروجيني والبيئة الايونية على التجمّع الحراري لبروتينات شرش اللّبن. مجلة الكيمياء الزراعية والغذائية (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ١٩٩٢؛ ٤٠، ص. ٣٨٠–٣٨٤.

٤ ب فاردانابوتي، ا ا فوغيدينغ، آثار كبريتات الديكستران، وكلوريد الصوديوم، وتركيز البروتين الأولي على الثبات الحراري لبيتا لاكتوجلوبيولين والفا لاكتالبومين في وسط ذي أس هيدروجيني متعادل. مجلة "فود هايدروكولويدز" (Food Hydrocolloids) ٢٠٠٨؛ ٢٢ (٥)، ص. ٧٥٢–٧٦٢.

٥ ك ن رايان، ب فاردانابوتي، د ب جاراميلو، ج ه فان زانتن، ج ن كوبلاند، ا ا فوغيدينغ، ثبات وآلية تجمّعات بروتين شرش اللبن القابلة للتحلل المعالجة حراريًا مع الأملاح. مجلة "فود هايدروكولويدز" (Food Hydrocol-loids) ٢٠١٢؛ ٢٧، ص. ٤١١–٤٢٠.

٦ س براباكاران، س دامودران، التكسر الحراري لبيتا لاكتوجلوبيولين: توصيف الأحداث الجارية الأوليّة المسؤولة عن التجمّع بفعل الحرارة. مجلة الكيمياء الزراعية والغذائية (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ١٩٩٧؛ ٤٥، ص. ٤٣٠٣–٤٣٠٨.

٧ مقتبس من الرسم البياني لاحتساب شحنات عديد الببتيد في بيتا لاكتوجلوبيولين الذي أعدّه غايل رودز، جامعة ثاوذرن ميْن. متوفّر على الرابط الالكتروني التالي spdbv.vital-it.ch/TheMolecularLevel/Goodies/PeptChg.xls. تمت زيارته في تاريخ ١٩ نيسان/إبريل ٢٠١٢.

يتراوح الأس الهيدروجيني pH لمعظم أنواع الأغذية التي نستهلكها بين ٣ و٧. يتمتّع بيتا لاكتوجلوبيولين بشحنة موجبة صافية عالية جدًّا في وسط ذي أس هيدروجيني ٣، ما يعني أنّ القوى التنافرية بين البروتينات في المحلول ستكون عالية. وستثبّط هذه القوى التنافرية التفاعلات بين البروتينات حتّى تحت تأثير الحرارة– وبالتالي فإنّ ثبات الحرارة ونسبة الصفاء (غياب العكر) سيكونان عاليين حتى في تركيزات البروتين التي تبلغ نسبة البروتين فيها ٧ بالمائة. أما عند زيادة الأس الهيدروجيني إلى ٤، تنخفض الشحنة الصافية والتنافر على حدّ سواء. عندئذٍ يزيد تعكّر محلول بروتين شرش اللبن بفعل التجاذب بين البروتينات، حتى بدون التسخين. وعند تسليط الحرارة على درجات أعلى من حرارة المسخ (زعزعة الثبات) التي تبلغ ٧٨ درجة مئوية لبيتا لاكتوجلوبيولين، تتجمّع البروتينات وتترسّب إلاّ في حال إضافة مكوّنات أخرى لتعزيز الثبات الحراري للبروتينات. أما متى كان الوسط ذي أس هيدروجيني بدرجة ٥,٢ وهي نقطة التعادل الكهربائي فتكون شحنة البروتين الصافية صفر كما ويكون احتمال حصول تفاعل بين البروتينات في أعلى مستوياته. وسيترسّب البروتين في المحلول بسهولة وسرعة على درجة الأس الهيدروجيني هذه. ومع زيادة درجة الأس الهيدروجيني لتصل إلى ٧ تتحوّل الشحنة الصافية في البروتين إلى شحنة سالبة، غير أنّ الشحنة السالبة الصافية على درجة الأس الهيدروجيني ٧ تكون مشابهة للشحنة الموجبة الصافية على درجة الأس الهيدروجيني ٤,٢[٨].

المكوّنات التجارية الثابتة حراريّاً

نجد اليوم تقنيات تهدف إلى تحسين الثبات الحراري لمكوّنات بروتين شرش اللبن، ويتم استخدام بعض هذه التقنيات في المكوّنات التجارية، مثال حلمأة البروتين، وتغيير التركيبة المعدنية، وإضافة عناصر الإستخلاب المعدنيّة. ستتم مناقشة هذه التقنيات وغيرها من البحوث الجديدة في القسم الآتي.

بحوث وأساليب جديدة لتحسين الثبات الحراري في المكوّنات التجارية المستقبلية

سلّطت بحوث حديثة ممولة من قبل معهد أبحاث الألبان والأجبان "دايري ريسورش إنستيتوت" تركيزها على تحسين الثبات الحراري لبروتينات شرش اللبن بهدف زيادة استخدامها في مجموعة أكبر من المنتجات الغذائية. وقد اختار الباحثون مقاربات مختلفة لتحسين الثبات الحراري لبروتين شرش اللبن، بما في ذلك التحكم بحجم تجمّعات البروتين عبر إضافة السكر والترابط الإنزيمي المتصالب والإستخلاب المعدني وتسليط الموجات فوق الصوتية؛ أو تغيير بروتين شرش اللبن لتفادي حصول التجمّع عبر المرافقات الجزيئية، والحلمأة الأنزيمية والتنافر الكهربائي المتعادل والاقتران مع الكربوهيدرات وتغليف البروتينات.

التحكّم بحجم تجمّعات البروتين

إضافة السكر

قام عددٌ كبير من الباحثين بدراسة العلاقة بين إضافة السكر والثبات الحراري لمكوّنات بروتين شرش اللبن. وقد وجدوا أنّ إضافة السُكروز تزيد حرارة تهلّم كما وقوّة جل معزول بروتين شرش اللبن وألبومين المصل البقري.[٩،١٠،١١،١٢،١٣] كما وتبين لهم أنّ إضافة الجليسيرول تحسّن الثبات الحراري لمعزول بروتين شرش اللبن وتخفّض من التعكّر ومن تهلّم البروتين.[١٠،١٤] أما إضافة السوربيتول فترفع أيضًا درجات الحرارة التي تؤدي إلى مسخ معزول بروتين شرش اللبن ووجدوا أنّه فعال أكثر من الجليكول. لم يحصل أيّ تهلّم بعد تسخين محلول يحتوي على ١٠ بالمائة بيتا لاكتوجلوبيولين ومضاف إليه ٠ إلى ٥٥ بالمائة سوربيتول في وسط ذي اس هيدروجيني٧ [١٥]. يحتوي عدد كبير من التطبيقات الغذائية على أنواع من السكر أو من السكريات الكحولية ويمكن أن يساعد وجودها على تحسين الثبات الحراري لمكوّنات بروتين شرش اللبن عبر تفادي تشكّل التجمّعات الضخمة وتوفير صفاء أفضل في التطبيقات الغذائية مثل المشروبات.

٨ اتصال شخصي مع آلين فوغيدينغ.

٩ ا ا فوغيدينغ، ج ب ديفيس، د دوسيه، م ك ماكجافي، التقدّم في تعديل وظائف بروتين شرش اللبن وفهمها. مجلة "تريندز فود ساينس أند تكنولوجي" (Trends Food Sci Technol.) ٢٠٠٢؛ ١٣، ص. ١٥١–١٥٩

١٠ ل م ريتش، وا ا فوغيدينغ، آثار السكر على تهلّم معزول بروتين شرش اللّبن. مجلة الكيمياء الزراعية والغذائية (Journal of Agricultural and Food Chemistry)٢٠٠٠؛ ٤٨ (١٠)، ص. ٥٠٤٦– ٥٠٥٢.

١١ س باير، د ج ماككليمنتس، وقع التفاعلات التفاضلية على الثبات الحراري لألبومين المصل البقري وتهلّمه في محاليل السكروز المائية. مجلة الكيمياء الزراعية والغذائية (Journal of Agricultural and Food Chem-istry) ٢٠٠١؛ ٤٩ (٥)، ص. ٢٦٠٠– ٢٦٠٨.

١٢ س ك باير، د ج ماككليمنتس، تأثير الأنظمة المذيبة المساعدة على آلية تهلّم البروتين الكروي: الجوانب الديناميّة الحراريّة، والحركيّة، والهيكليّة لتهلّم البروتين الكروي. مجلة "كومبريهينسف ريڤيوز إن فود ساينس أند فود سيڤتي" (Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety) ٢٠٠٥؛ ٤ (٣)، ص. ٤٣–٥٤.

١٣ س ك باير، د ج ماككليمنتس، تأثير الأنظمة المذيبة المساعدة الثنائية (خلطات الجليسيرول– السكروز) على آلية تهلّم ألبومين المصل البقري بفعل الحرارة. مجلة "إنترناشونال جورنال أوف فود ساينس أند تكنولوجي" ٢٠٠٦؛ ٤١ (٢)، ١٨٩–١٩٩.

١٤ أ كولميزيف، س برايند، د ج ماككليمنتس، تأثير السكروز على المسخ الحراري لبروتينات شرش اللّبن وتهلّمها وثبات استحلابها. مجلة الكيمياء الزراعية والغذائية (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٠؛ ٤٨، ١٥٩٣–١٥٩٧.

١٥ و شناساترو، ا ا ديكير، د ج ماككليمنتس، تعديل الثبات الحراري لبيتا لاكتوجلوبيولين وتهلّمه بفعل الحرارة عبر مستويات عالية من الجليسيرول والسوربيتول. مجلة "فود كيميستري" (Food Chem.) ٢٠٠٧؛ ١٠٣، ص. ٥١٢–٥٢٠.

الترابط الأنزيمي المتصالب

برهنت البحوث أيضًا أنّ الترابط الانزيمي المتصالب بين بروتينات شرش اللّبن الفردية وغيرها من البروتينات من جهة وناقلة الجلوتامين من جهة أخرى إنّما يزيد من الثبات الحراري.[١٦،١٧،١٨] أما الترابط المتصالب لبيتا لاكتوجلوبيولين والكازيين فلم يؤد إلى تشكّل جل في تركيزات بنسبة ٥ بالمائة فيما أدّى إلى جل خفيف في تركيزات بنسبة ١٠ بالمائة مع معالجة بالماء وبالحرارة على درجة ٩٥ مئوية لمدة ٣٠ دقيقة. وقد تمّ تحقيق الثبات الحراري الأقصى في وسط ذي أس هيدروجيني ٨ ولكن تمت المحافظة على قابلية ذوبان بنسبة ٩٠ بالمائة في وسط ذي أس هيدروجيني ٧ وتحت حرارة ١٠٠ درجة مئوية مع تركيزات تصل إلى ٥ بالمائة١٦. وأظهرت المعالجة بالماء لمحاليل معزول بروتين شرش اللّبن مع ناقلة الجلوتامين على تركيزات بنسبة ٤ و٨ بالمائة في وسط ذي أس هيدروجيني ٧،٥، تزايدًا في حرارة الجل من ٦٨ درجة مئوية إلى ٩٤ درجة مئوية وانخفاضًا في قوّة الجل. وقد تبيّن أنّ الترابط المتصالب الناتج بين ألفا لاكتالبومين وبيتا لاكتوجلوبيولين واسعٌ ويعتقد أنّه يشكّل بوليمرات كبيرة بما يكفي لتحول دون تشكّل شبكة جل[١٥]. أما الترابط المتصالب لتركيزات بروتين شرش اللّبن (بتركيز بروتين يراوح بين ٣٠ و٣٥) مع ناقلة الجلوتامين فقد أمّن ثباتًا حراريًّا زائدًا على حرارة ٩٠ درجة مئوية لمدة ٣٠ دقيقة وفي وسط ذي أس هيدروجيني يراوح بين ٦،٤ و٧،٢ في تركيزات بروتين بنسبة ٣،٥ بالمائة[١٧].

استخدم هذا البحث الفرضية التي خرج بها باحثون آخرون والقائلة بأنّ الثبات الحراري المعزّز لمركز بروتين شرش اللّبن المترابط يعود بشكل أساسي إلى الترابط المتصالب بين ألفا لاكتالبومين وبيتا لاكتوجلوبيولين. وأظهرت دراسة إضافية حديثة آثار الترابط المتصالب لناقلة الجلوتامين الجرثومية ومعزول بروتين شرش اللبن على الأس الهيدروجيني والثبات الحراري للبروتينات. فقد زاد الترابط المتصالب حرارة مسخ بيتا لاكتوجلوبيولين بشكل ملحوظ من ٧١،٨٤ درجة مئوية في العينة غير المعالجة إلى ٧٨،٥ درجة مئوية إثر التفاعل مع ناقلة الجلوتامين على مدى ٣٠ ساعة[١٩].

فصل (إستحلاب) المعادن

إنّ المواد المعدنية موجودة بشكل طبيعي في مُركّز ومعزول بروتين شرش اللّبن. وتستطيع الكاتيونات ثنائية التكافؤ تشكيل جسر إيوني بين مجموعتي كاربوكسيل متاخمتين من سلاسل ببتيدية مختلفة، فيما لا تستطيع الأيونات أحادية التكافؤ مثال الصوديوم القيام بذلك. أما إضافة فوسفات الصوديوم فخفّضت التفاعل بين البروتينات في محاليل معزول بروتين شرش اللبن بتركيز ١٠ بالمائة تم تسخينها على درجة حرارة تصل إلى ٩٦ درجة مئوية[٣]. ونجحت دراسة أخرى باستخدام مركب N,N,N',N' الايثيلين جليكول تترا اسيتيك (EGTA) أو الايثيلين داي أمين تترا اسيتيك (EDTA) كعناصر استخلاب في الحدّ من تجمّع البروتين وتهلّمه في محاليل مركز بروتين شرش اللبن ومعزول بروتين شرش اللبن (بتركيز ١١ بالمائة مع الماء) في وسط ذي أس هيدروجيني ٧ [٢٠]. وفي دراسة مختلفة لم تُنشَر بعد ممولة من قبل معهد أبحاث الألبان والأجبان قام بها فوغيدينغ، تم استخدام سترات الصوديوم والايثيلين داي أمين تترا اسيتيك (EDTA) وحُلامات بروتينيّة لربط الكالسيوم بهدف تصنيع منتج ثابت حراريًّا على ٩٠ درجة مئوية على مدة ٥ دقائق وبتركيز بروتين بنسبة ٥ بالمائة في مشروب ذو اس هيدروجيني متعادل.

تسليط الموجات فوق الصوتية

تم تسليط الموجات فوق الصوتية على فترات مختلفة (٥ و١٥ دقيقة) وحرارات مختلفة (٢٠ درجة مئوية و٦٠ درجة مئوية وعلى حرارة غير مضبوطة) على تحاليل شرش اللبن ذات تركيز مواد صلبة كلية يراوح بين ٦،٩ و٣٠،٢ بالمائة وتركيز بروتين يراوح بين ١٣،٥ و٨٨ بالمائة. وسُجِّلَ انخفاضٌ في نسبة التعكّر بنسبة ٩٠ بالمائة في محلول شرش اللبن ذي تركيز مواد صلبة بنسبة ٢٨،٢ بالمائة وتركيز بروتين بنسبة ٣٥،٦ بالمائة وذلك لدى تسليط الموجات فوق الصوتية على طاقة ١٥ واط تحت حرارة ٦٠ درجة مئوية كما وتحت حرارة غير مضبوطة. وأدى تسليط الموجات فوق الصوتية على تحاليل ذات تركيز بروتين بنسبة ٨٨ بالمائة إلى زيادة نسبة التعكّر[٢١]. وتعزى آلية هذا العمل الجديد الذي هو حاليًّا في طور الحصول على براءة اختراع إلى قوى فيزيائية مولدة عبر عملية التكهّف السمعي تنتج مقاسًا أكثر صغرًا للجسيمات كما وبروتينات شرش اللبن ذات ثبات حراريّ وصفاء أفضل. ووجدت دراسة أخرى أنّ جمع تسليط الموجات فوق الصوتية مع معالجة التسخين المسبق على حرارة ٨٠ درجة مئوية لدقيقة واحدة أو على حرارة ٨٥ درجة مئوية لثلاثين ثانية يحسّن بشكل ملحوظ الثبات الحراري لمركزات بروتين شرش اللبن. وتمت المحافظة على الثبات الحراري بعد التجفيف الرّذي وإعادة التكوين[٢٢].

١٦ ف د تروونج، د أ كلير، ج ل كاتينياني، ه ا سوايزجود. الترابط المتصالب والتغييرات التميعيّة لبروتينات شرش اللبن المعالجة بناقلة الجلوتامين الجرثومية.

مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٤؛ ٥٢، ص. ١١٧٠ – ١١٧٦.

١٧ س ي تانيموتو، ج ا كينسيلا، التعديل الأنزيمي للبروتينات: آثار الترابط المتصالب لناقلة الجلوتامين على بعض خصائص بيتا لاكتوجلوبيولين الفيزيائيّة.

مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ١٩٨٨؛ ٣٦، ص. ٢٨١ – ٢٨٥.

١٨ ب س لورنزن، آثار ظروف الوقت/الحرارة المتغيّرة للتسخين المسبق وللترابط الأنزيميّ المتصالب على الخصائص الفنّية الوظيفيّة لمكوّنات الأجبان والألبان المسترجعة. مجلة الأبحاث الغذائيّة العالميّة (Food Re-search International) ٢٠٠٧؛ ٤٠، ص. ٧٠٠ – ٧٠٨.

١٩ ك أجيار، س دانوداران، ثبات الإس الهيدروجيني والخصائص الحراريّة لمعزول بروتين شرش اللبن المعالج بناقلة الجلوتامين الجرثوميّة. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠١٠؛ ٥٨، ص. ١٩٤٦ – ١٩٥٣.

٢٠ ب كوهن، ا أ فوجيدينج، العوامل المؤثرة في علم انسياب جل بروتين شرش اللبن: الفصل الغشائي واستخلاب الكالسيوم. مجلّة علم الغذاء (Journal of Food Science) ١٩٩١؛ ٥٦ (٣)، ص. ٧٨٩ – ٧٩١.

٢١ س مارتيني، ر بوتر، م ك والش. تحقيق الاستخدام الأمثل للموجات فوق الصوتيّة للطاقة لتخفيف التعكّر في مستعلقات بروتين شرش اللبن. مجلّة الأبحاث الغذائيّة العالميّة (Food Research International) ٢٠١٠؛ ٤٣ (١٠)، ص. ٢٤٤٤ – ٢٤٥١.

٢٢ ب زيسوا، ر بهاسكاراشارياب، س كنتيشب، م أشوكومار. المعالجة فوق الصوتيّة لأنظمة الأجبان والألبان في المفاعلات الكبيرة. مجلة "ألتراسونيكس سونوكميستري" (Ultrasonics Sonochemistry). ٢٠١٠؛ ١٧(٦)، ص. ١٠٧٥ – ١٠٨١.

التحكّم بتجمّع البروتين

المرافقات الجزيئيّة

المرافقات الجزيئيّة هي مركّبات تساعد في تثبيت بروتينات شرش اللبن وتمنعها من التكسّر والتجمّع والترسّب. ويتمتّع الكازيين بالقدرة على الاتصال ببروتيناتٍ أخرى ليجعلها أكثر ثباتًا كيميائيًّا وحراريًّاوأكثر مقاومة للتجمّع؛ وهكذا يلعب الكازيين دور مرافقٍ جزيئي. ويمكن أن يتفاعل الألفا كازيين مع بروتينات متكسّرة جزئيًّا من خلال أسطح كارهة للماء، مانعًا بهذه الطريقة التبادل الطبيعيّ ثيول – ثنائي الكبريتيد مع غيرهما من بروتينات شرش اللبن والتجمّع في نهاية المطاف. كما ويستطيع بروتين الكازيين هذا جعل البروتينات المتجمّعة بسبب كرهها للماء قابلةً للذوبان، وتزيد قدرته على المرافقة مع انخفاض الحرارة[٢٣]. ولابدّ من الإشارة هنا إلى أنّ باحثين آخرين درسوا أيضًا قدرة الألفا كازيين والبيتا كازيين والكابا كازيين على تأدية دور المرافقات الجزيئيّة[٢٤].

يشكّل البيتا كازيين مركّبًا مع البروتينات بواسطة الشحنات الكهربائيّة. وقد يطرأ تكوّن شكلٍ مركّب مع بروتين شرش اللبن الحلول أو المتجمّع وينتج عن ذلك مركّبٌ أصغر حجمًا من مركّب بروتين شرش اللبن المتجمّع ذاتيًّا. وتبيّن أن المركّبات الأصغر حجمًا كانت أكثر حلوليّة وتحمّلاً للحرارة التي بلغت ١٤٥ درجة مئويّة، ما أدّى إلى الحصول على محاليل أكثر صفاءً. وقد تمّ تقييم تاثير مرافقة مركّز بروتين اللبن بالتوافق مع محاليل بروتين شرش اللبن وثبُتَ استقراره في مشروبٍ بديلٍ للوجبات معالجٍ في ظلّ ظروف التسخين في الإنبيق وتبلغ نسبة البروتين فيه ١٠ بالمائة[٢٥،٢٦].

الحلمأة الانزيميّة

إنّ الحلمأة الانزيميّة لبروتينات شرش اللبن هي طريقةٌ شائعة لتحسين الثبات الحراريّ. وتجدر الإشارة في هذا السياق إلى أنّ بروتينات شرش اللبن المحلمأة التجاريّة التي تمّ تصميمها للحصول على ثباتٍ حراريّ أفضل تبغ درجة الحلمأة فيها نسبة تراوح بين ٥ إلى ١٠ بالمائة. أمّا التغييرات التي تطرأ على الخصائص الوظيفيّة لبروتينات شرش اللبن المحلمأة فتنتج عن الخصائص الفيزيائيّة للببتيدات. تتحلّى الببتيدات عادةً بوزنٍ جزيئيّ أخفّ، وبمجموعاتٍ كارهة للماء مكشوفة، ومجموعاتٍ مؤيّنة أكثر. وتتمتّع بروتينات شرش اللبن المحلمأة بشكلٍ نموذجيٍّ بقابليّة ذوبانٍ كبرى ولزوجيّة متراجعة وخصائص إرغاء وتهلّم واستحلاب معدَّلة مقارنةً بالبروتينات غير المعدَّلة[٢٧]. وتنتج عمليّة الحلمأة ببتيداتٍ تفتقر لبنيةٍ ثانويّةٍ، ما يؤدّي إلى حدوث الحدّ الأدنى من التغيّرات البنيويّة في خلال المعالجة بالحرارة[٧]. كما وإنّ الخصائص الفيزيائية الكيميائية لبروتينات شرش اللبن المحلمأة مرتبطةٌ بنقاوة ركيزة البروتين؛ وبالمعالجة المسبقة لركيزة البروتين؛ وبنوعيّة الأنزيم المستخدم للتحلل البروتيني؛ وبالظروف الفيزيائية الكيميائية (الإس الهيدروجيني، والحرارة، والشدّة الأيونيّة، والمنشّط) المستخدمة في خلال الحلمأة؛ وبدرجة الحلمأة؛ وبالتقنيّة المستخدمة لإبطال تفعيل الانزيم (المعالجة الحراريّة، أو التحميض، أو الترشيح الغشائي)؛ وباستخدام علاجات تلي الحلمأة[٢٦]. وأظهرت أبحاثٌ اجريت مؤخّراً أن الحلمأة الجزئيّة لبروتينات شرش اللبن عزّزت ثباتها الحراري ووظيفيّتها، إلا أنّ الحلمأة المفرطة قد تخفّف الثبات الحراري والوظيفيّة[٢٨].

إستخدم مشروعٌ آخرٌ محاليل بروتين تحتوى على ٥ إلى ٣٥ جرام من البروتين في كلّ ٨ أونصات مع إس هيدروجيني تراوح بين ٣.٠ و ٤.٥. كما وتمّ اللجوء إلى تقنيّة طرد مركزيّ لإزالة آثار بروتين شرش اللبن المرسَّب في محاليل والمعدّل ليبلغ رقم الحموضة فيه ٤.٦. كما وتمّ الحصول على صفاءٍ أفضل في المشروبات النهائيّة من خلال استخدام هذه الطريقة أيضًا. وقد وحّدت هذه الدراسة استخدام الانزيمات لتقسيم البروتين إلى أجزاءٍ حلولة في الماء وأخرى غير حلولة وألحقتها بعمليّة طرد مركزيّ أو ترشيحٍ في ظلّ درجة حموضة بلغت ٤.٦[٢٩].

استخدم باحثون انزيم التريبسين لصنع أجزاء ببتيدات شاملة كانت أكبر من أن تكون مرّة وأصغر من أن تُجمع لغرض تصنيع بروتينات شرش اللبن المصمّمة للمشروبات ذات الإس الهدروجيني الحمضيّ أو المتعادل. وقد تمّ ابتكار مشروباتٍ ذات صفاءٍ وثباتٍ حراريٍّ محسّنين يصل الإسّ الهيدروجينيّ فيها إلى ٤.٦، وذلك باستخدام هذه الطريقة.

التنافر الكهربائي الساكن

قامت أبحاث جديدة يرعاها معهد الأبحاث الخاصّة بالأجبان والألبان " دايري ريسورش إنستيتوت" (The Dairy Research Institute) بجمع الحلمأة الانزيميّة والتنافر الكهربائي الساكن لتحسين الثبات الحراري لبروتينات شرش اللبن وصفائها. واستخدمت مقاربتان لتعديل الشحنة على بروتينات شرش اللبن. حيث أنّه تمّ في المقاربة الأولى صدّ الأجزاء إيجابيّة الشحن على البروتين من خلال تفاعل استخدم مركب السكسينيل (تعديل المجموعات الأمينية الأوّلية) في وسطٍ ذي إسّ هيدروجيني بلغ ٨. وقد قلّص هذا التفاعل عدد المجموعات القلويّة بينما زاد حمضيّة البروتين وعزّز تنافر الشحنات الكهربائيّة الساكنة. أمّا في المقاربة الثانية، فتمّ صدّ مجموعات الأوميجا كربوكسيل ذات الشحنات السلبيّة وتمّ تحويلها إلى أحماض أمينيّة غير مشحونة، وذلك بواسطة تفاعل أميديٍّ. حدّد هذا البحث العدد الأدنى من الشحنات التي يجب أن تعدَّل لزيادة التنافر الكهربائي الساكن وتجنّب التجمّع في وسطٍ يتراوح الاس الهيدروجيني فيه بين ٣.٨ و ٤.٦[٣٠].

٢٣ ج. بهاتاشاريا، ك ب داس. خصائص البروتين المتكسّر المشابهة للمرافقات الجزيئيّة، الألفا كازيين. مجلّة الكيمياء الاحيائيّة (Journal of Biological Chemistry) ١٩٩٩؛ ٢٧٤، ص. ١٥٥٠٥ – ١٥٥٠٩.

٢٤ ب ا مورجن، ت م تريويك، ر ا ليندر، و ا برايس، ج أ كارفر. بروتينات الكازيين كرافقات جزيئيّة. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٥؛ ٥٣، ص. ٢٦٧٠ – ٢٦٨٣.

٢٥ ش درانج، ش فو، ه درانج، ت ليو، و جياو، د تشانج. نشاط خطّ المرافقات للبيتا كازيين. مجلّة البيوكيمياء والبيولوجيا الخلوية الدوليّة (International Journal of Biochemistry & Cell Biology) ٢٠٠٥؛ ٣٧، ص. ١٢٣٢ – ١٢٤٠.

٢٦ ي ه يونج، ا أ فوجيدينج. آثار الكازيينات على الثبات الحراري للبيتا لاكتوجلوبيولين البقري. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٨؛ ٥٦، ص. ١٠٣٥٢ – ١٠٣٥٨.

٢٧ س ف جوتييه، إ بوليو. الخصائص الوظيفيّة والبيولوجيّة للببتيدات التي تنتج عن الحلمأة الانزيميّة لبروتينات شرش اللبن. مجلّة علم الألبان (Journal of Dairy Science) ٢٠٠٣؛ ٨٦ (١٣)، ص. هـ٧٨ – هـ٨٧.

٢٨ د دوسيه، ا أ فوجيدينج. تشكّل جل من الببتيدات منتج بواسطة الحلمأة الانزيميّة واسعة النطاق لبيتا لاكتوجلوبيولين. "بيوماكروموليكيولز" (Biomacromolecules) ٢٠٠٥؛ ٦ (٢)، ص. ١١٤٠ –١١٤٨.

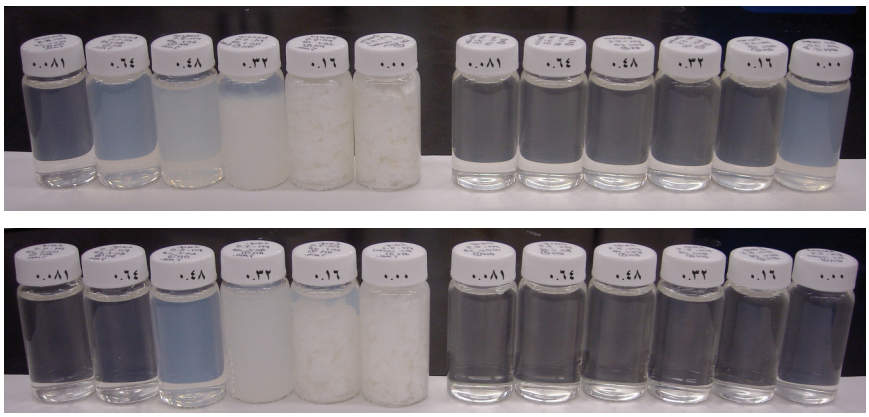
٢٩ د درو، س دامودارن، ج أ لوسي. الخصائص الفيزيائية الكيميائية والاستحلابية لمعزول بروتين شرش اللبن المقترن بالديكستران المنتج في محلولٍ مائي. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠١٠؛ ٥٨، ص. ٢٩٨٨ – ٢٩٩٤.

٣٠ ا يلماز–جميلي. تعزيز التنافر الكهربائي الساكن لمشروبات بروتين شرش اللبن الصافية الثابتة حراريًّا. رسالة الماجستير في العلوم، ٢٠١٢.

الرسم البياني رقم ٢.

قبل التسخين

بعد التسخين على حرارة تبلغ ١٢١ درجة مئوية لمدة خمس دقائق



المحلول رقم ١: لقد تمّ اختبار المحاليل عندما سجّلت أرقام الحموضة ٥.٥ و ٦.٠ و٧.٠. وتبيّن أنه عندما تمّت زيادة رقم الحموضة من ٥.٥ إلى ٧.٠ قلّت الحاجة إلى تعديل الشحنة لمنع تجمّع البروتين وإنتاج مشروبٍ صافٍ.

وأصبح من الضروري استخدام تعديل شحنات أكثر للحصول على مشروب صاف لمحاليل معزول بروتين الشرش ١ (أعلاه) مقارنةً بمعزول بروتين شرش اللبن ٢. وكان ضروريًا تعديل ٧٧ بالمائة من مجموعات ابسيلون الأمينيّة لإنتاج مشروب صاف في معزول بروتين شرش اللبن ذي اس هيدروجيني يبلغ ٥.٥ (٠.٠٨١ جرام من أنهيدريد السكسينيل (SA)/ جرام من البروتين).

المحلول رقم ٢: وكان من الضروريّ تعديل ٦٥ بالمائة من مجموعات ابسيلون الأمينيّة لإنتاج مشروب صافٍ في معزول بروتين شرش اللبن ٢ (٠.٠٦٤ من أنهيدريد السكسينيل (SA)/ جرام من البروتين).

يوضّح الرسم البياني رقم ٢ المبيّن في هذه الصفحة مقاربة استخدام مركّب السكسينيل المذكورة أعلاه. وصدّ باحثون مجموعة الكربوكسيل سلبيّة الشحن من خلال إضافة أنهيدريد السكسينيل (SA) لمحلولين مختلفين من معزول بروتين شرش اللبن المعدّل. وتحسّن صفاء بروتين شرش اللبن وثباته الحراري كلّما ازداد عدد الشحنات في نموذج التحقّق المأخوذ من معزول بروتين شرش اللبن قبل التسخين (إلى اليسار) وبعده (إلى اليمين) مع اس هيدروجيني يبلغ ٥.٥. إنّ الأرقام المذكورة على القوارير تمثّل نسبة جرامات أنهيدريد السكسينيل (SA) إلى جرامات معزول بروتين الشرش، علمًا أنّه تمّ تحضير نماذج تحقّق ذات درجات حموضة مختلفة باستخدام العمليّة نفسها من دون زيادة أنهيدريد السكسينيل (SA).

الاقتران مع الكربوهيدرات

استكشف باحثون كثيرون اقتران بروتينات شرش اللبن مع متعددات السكريات بهدف تحسين الثبات الحراري لبروتينات شرش اللبن في الأغذية. وقد قامت دراسةٌ بتقييم آثار كلوريد الصوديوم، وكبريتات الديكستران، وتركيز البروتين في بيتا لاكتوجلوبيولين وألفا لاكتالبيومين على الثبات الحراري (على حرارة ٨٥ درجة مئويّة لمدّة ١٥ دقيقة) مع إس هيدرروجيني يبلغ ٦.٨. وتبيّن أنّ كلوريد الصوديوم هو الأكثر تأثيرًا على زيادة تجمّع البروتينات التي تشهد عليها الزيادات في التعكّر، والحجم الجزيئي وفقدان قابليّة ذوبان البروتين. ووفّر كبريتات الديكستران تأثيرًا وقائيًّا ضدّ تجمّع البروتين في تركيزات منخفضة[٤]. كما وأنّ أبحاث لاحقة تمّ فيها استخدام كبريتات الديكستران وبيتا لاكتوجلوبيولين (٦ بالمائة مع الماء) على درجة حموضة تتراوح بين ٥.٦ و ٦.٢ وتمّ تسخينها على حرارة ٨٥ درجة مئوية لمدة ١٥ دقيقة خفّضت من تعكّر المحاليل من خلال خفض حرارة مسخ بيتا لاكتوجلوبيولين وتعديل تجمّعه[٣١]. واستكشفت أبحاث أخرى تفاعل الاقتران بين معزول بروتين شرش اللبن والديكستران في محلول في المرحلة الأولى من تفاعل "مايار". وقد بلغ تفاعل الاقتران (٢٤ ساعة) حدّه الأمثل مع إس هيدروجيني بلغ ٦.٥ وحرارة بلغت ٦٠ درجة مئوية، وتركيز معزول بروتين شرش اللبن بنسبة ١٠ بالمائة وتركيز الديكستران بنسبة ٣٠ بالمائة[٣٢]. كما ودرست أبحاث أجريت لاحقًا الثبات الحراري والخصائص المستحلِبة لمركبات معزول بروتين شرش اللبن والديكستران في ظروفٍ مماثلة لمدّة ٤٨ ساعة. وتجدر الإشارة هنا إلى أنّ المركب المنقّى قد حسّن الثبات الحراري بشكلٍ كبيرٍ على حرارة ٨٠ درجة مئوية لمدّة ٣٠ دقيقة وحافظ على قابليّة الذوبان مع إس هيدروجيني تراوح بين ٣.٢ إلى ٧.٥ وشدّة أيونيّة تراوحت بين ٠.٠٥ و ٠.٢ مولار إذا قارنّاه مع نماذج تحكّم من معزول بروتين شرش اللبن. وتبيّن أنّ قدرة استحلاب والثبات كانا أفضل من محلول معزول بروتين شرش اللبن والصمغ العربي[٢٧].

تغليف البروتين

ضمّ العمل الأساسي مقاربتين مختلفتين لمعزول بروتين شرش اللبن قبل التجليف، حيث أحدِثَ في المقاربة الأولى ترابط متصالب لنسبة ٥ بالمائة من تشتّت معزول بروتين شرش البروتين بواسطة ناقلة الجلوتامين قبل دمجها في مستحلَباتٍ مجهريّة ومعالجتها حراريًّا على ٩٠ درجة مئويّة لمدّة ٢٠ دقيقة. أمّا في المقاربة الثانية فقد تمّ إحداث تربط متصالب لمعزول بروتين شرش اللبن بواسطة ناقلة الجلوتامين في داخل المستحلبات المجهريّة قبل المعالجة الحراريّة. أنتجت هاتان المقاربتان جسيمات مختلفة من حيث الأحجام والثبات الحراري. وتمّ تعزيز الثبات الحراري من خلال زيادة تركيز ناقلة الجلوتامين ومدّة الترابط المتصالب[٣٣]. وقد أظهرت أبحاث حديثة أكثر أنّه تمّ تكوين تجمّعات ثابتة حراريًّا من بروتين شرش اللبن

٣١ ب فاردهانابهوتي، أ يوسل، ج ن كوبلاند، ا أ فوجدينج. التفاعل بين البيتا لاكتوجلوبيولين وكبريتات الديكستران مع اس هيدروجيني يكاد يكون متعادل وأثرهما على الاستقرار الحراري. "فود هايدروكولويدز" (Food Hydrocolloids). ٢٠٠٩؛ ٢٣، ص. ١٥١١ – ١٥٢٠.

٣٢ د درو، س دامودارن، ج أ لوسي. تكوّن مقارنات معزول بروتين شرش اللبن والديكستران في محاليل مائيّة. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٨؛ ٥٦، ص. ٧١١٣ – ٧١١٨.

٣٣ و درانج، ك درونج. عمليات الاستحلاب المجهريّة مفاعلاتٍ قزميّة لإنتاج جزيئات قزميّة من بروتين شرش اللبن ذات حراريّ حراريّ معزّز بواسطة ترابط انزيمي متصالب ومعالجات حراريّة مسبقة متتالية. مجلّة الكيمياء الزراعيّة والغذائيّة (Journal of Agricultural and Food Chemistry) ٢٠٠٩؛ ٥٧، ص. ٩١٨١ – ٩١٨٩.

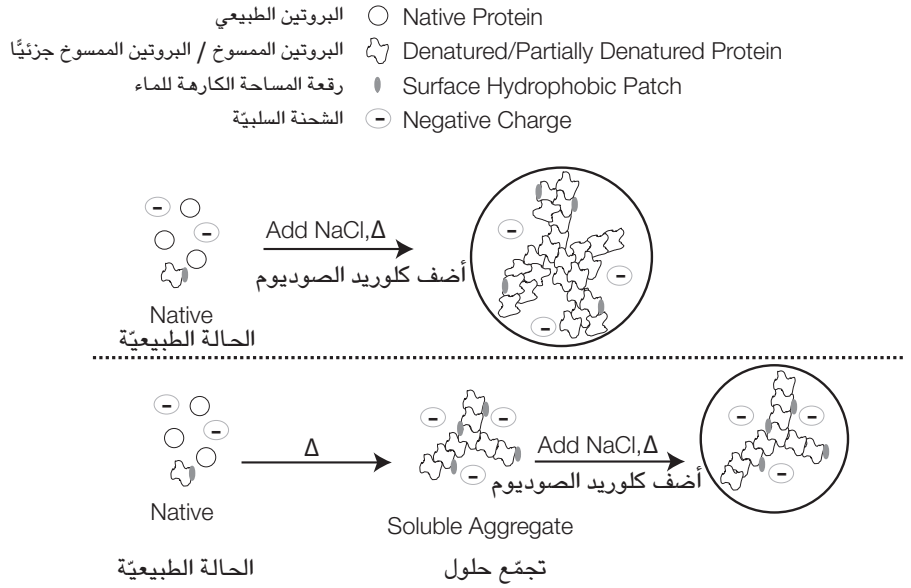
من خلال استخدام مستحلَبات مجهريّة من نوع زيت في الماء. وتمّ غمر هذه الجسيمات القزميّة في عوامل ذات فعاليّة سطحيّة مختلفة لإنتاج تشتّتٍ شفّاف ثابت حراريًا حتّى في ظلّ تركيز عالٍ من الملح[٣٤].

ويقوم حاليًا بحثٌ عالي الأهميّة ممولٌ من قبل معهد الأبحاث لمنتجات الألبان والأجبان "دايري ريسورش إنستيتوت" (Dairy Research Institute) باستخدام مقاربات مختلفة لتجليف البروتين لإنتاج محاليل تحتوي على نسبة ١٠ إلى ١٥ بالمائة من بروتينات شرش اللبن الصافية والثابتة حراريًا في ظروف معالجة قاسية بما فيها التقطير بإنبيق مع إس هيدروجيني حمضي أو متعادل.

تكوّن تجمّعاتٍ قابلة للذوبان

درس بحثٌ نُشِر مؤخّرًا تكوّن تجمّعات من معزول بروتين شرش اللبن والبيتا لاكتوجلوبيولين. وتمّ تسخين محاليل تحتوي على ٧ بالمائة من البروتين (مخفّفة إلى اس هيدروجيني من ٦.٨) على حرارة بلغت ٩٠ درجة مئويّة لمدّة ١٠ دقائق ومن ثمّ تمّ تبريدها في حمام من الثلج لمدّة ١٠ دقائق أيضًا[٣٥]. وتمّ تقييم الثبات الملحي لمحاليل التجمّعات الحلولة العاديّة والمسخّنة وذلك من خلال مزجها مع محلول كلوريد الصوديوم وتخفيف تركيز البروتين بنسبة ٣ بالمائة. ومن ثمّ تمّت معالجة محاليل الملح /البروتين حراريًا مرّة أخرى على حرارة ٩٠ درجة مئوية لمدّة خمس دقيقة وتمّ تبريدها بعد ذلك في حمام من الثلج حتّى بلوغها درجة حرارة الغرفة. وتبيّن أنّ تجمّعات بروتين شرش اللبن القابلة للذوبان عزّزت الثبات الحراري في ظلّ توفّر الملح في وسطٍ ذي اس هيدروجيني متعادل. إنّ الآليّة المقترحة مبيّنة في الرسم البياني رقم ٣.

الرسم البياني رقم ٣. [٥]



تتوفّر البروتينات الممسوخة في معزول بروتين شرش اللبن بفعل التجفيف الرذيّ، وقد كشفت عن مجموعاتٍ كارهة للماء بسبب التكسّر. تعكس الشحنات السلبيّة المبيّنة الشحنة المتوسّطة للبروتينات. ويقترح الباحثون أنّ استخدام تجمّعات حلولة يزيد من الثبات الحراري من خلال تصغير حجم التجمّع وتعديل شكله. وتجدر الإشارة هنا إلى أنّ هذه الشحنات تحدّ من التعكّر واللزوجة وتزيد قابليّة ذوبان المكوّن النهائي. كما وأنّ التسخين في محاليل ملحيّة يخفّف أيضًا إمكانيّة حدوث تفاعلات ثانويّة بسبب شحنتها الأكثر سلبيّة وبنيتها الأكثر تراصًا مع تشعّبات أقلّ وحجمٍ أصغر.

ابتكار تركيبات لتطبيقات ثابتة حراريّاً

إنّ الثبات الحراري المعزَّز لبروتين شرش اللبن يمكن أن يكون مفيدًا لأنواع متعدّدة من الأطعمة والمشروبات. وقد صُمّم كثير من المشاريع المذكورة في هذه الدراسة بهدف الحصول على المشروبات المعزّزة بالبروتين، أضف أنّه سبق أن تمّ نشر فهم مبسّط لطريقة تكوين تركيبات لمشروبات تحتوي على بروتينات شرش اللبن[٣٥]. غير أنّه وبالرغم من هذا التقدّم، قد يواجه مطوّرو مشروبات البروتين تحدّيات في التركيب، إذ يكمن هدف الباحثين الذي يعنون بشؤون بروتين شرش اللبن في تطوير تكنولوجيّات تعالج مسائل الثبات التي تنشأ عن بروتينات شرش اللبن.

٣٤ و درانج، ك درونج. المستحلَبات المجهريّة مفاعلاتٍ قزميّة لإنتاج جسيمات قزميّة من بروتين شرش اللبن ذات ثبات حراريّ معزّز بواسطة المعالجة الحراريّة المسبقة. مجلّة الكيمياء الغذائيّة (Journal of Food Chemistry) ٢٠١٠؛ ١١٩، ص. ١٣١٨ – ١٣٢٥.

٣٥ س ريتمانيك، ك بارينجتون. دراسة مجلس تصدير الألبان والأجبان في الولايات المتحدة (USDEC) حول تطبيقات شرش اللبن: بروتينات شرش اللبن الأميركية في المشروبات الجاهزة للاستهلاك. ٢٠٠٦. متوفّرة على الموقع: www.usdec.org/files/Publications/BEVERAGESwebversion٨-١٦-٠٦..pdf تمّ الولوج إليها في ١٩ أبريل/نيسان ٢٠١٢.

تقرير تقني: الثبات الحراري لبروتين شرش اللبن

تشكّل المشروبات التحدّي الأكبر بالنسبة لثبات البروتين بسبب تركيزات البروتين العالية التي يأمل بعض المطوّرين تحقيقها. ويكمن واحد من الإجراءات الأهمّ لتحقيق ثباتٍ حراريّ جيّد في إماهة مكوّن بروتين شرش اللبن. تجدر الإشارة هنا إلى أنّ مكوّنات بروتين شرش اللبن هي مساحيق تتطلّب إماهة جيّدة لتحقيق الأداء الأمثل في خلال المعالجة الحراريّة. وتتضمّن الممارسات الفضلى للإماهة مزج مكوّن بروتين شرش اللبن في ماء تقلّ حرارتها عن ٦٠ درجة مئويّة بواسطة خلاط فائق السرعة، ومن ثمّ السماح لشرش اللبن أنّ يتميّه مع تحريك بطيء أو من دون تحريك وذلك لمدّة ٣٠ ثانية قبل المعالجة الحراريّة ٣٤. إنّ المزج المستمرّ بخفقٍ قويّ ينتج رغوةً ويمسخ بروتينات شرش اللبن قبل المعالجة الحرارية، وسينجم عن هذا المسخ قوامٌ غير صافٍ أو محبّب/طباشيري وترسّب بروتيني بعد المعالجة الحراريّة.

إنّ التعزيزات التي تطال الثبات الحراري في بروتين شرش اللبن ستساعد أيضًا في تطبيقاتٍ غذائيّةٍ أخرى يكون تحسين البروتين مرغوبًا فيها، مثل أنواع الحساء والصلصة المقطّرة بالتسخين، والحلويات مثال الكاراميل ومثلوجات اللبن المعزّزة بالبروتين وغيرها من الأغذية التي تخضع لمعالجة بالحرارة المرتفعة لإطالة مدّة صلاحيّتها. ستستمرّ جهود الأبحاث المموّلة من معهد الأبحاث حول الالبان والأجبان "ناشيونال دايري كاونسيل" (National Dairy Council) في تحسين وظائف مكونات بروتين شرش اللبن التي يمكن أن تستخدم مع الأغذية والمشروبات المستقبليّة.

لمزيدٍ من المعلومات حول بروتين شرش اللبن والبحث المستمرّ في مكونات الألبان والأجبان، زوروا الموقع التالي: ThinkUSAdairy.org/me

فهرست

القسم	رقم الصفحة
خصائص بروتين شرش اللبن	١
تركيبة مكونات بروتين شرش اللبن	١
فعالية بروتين شرش اللبن	٢
الثبات الحراري وزعزعة الثبات	٢
المكوّنات التجارية الثابتة حراريّاً	٣
بحوث وأساليب جديدة لتحسين الثبات الحراري في المكوّنات التجارية المستقبلية	٣
التحكّم بحجم تجمّعات البروتين	٣
التحكّم بتجمّع البروتين	٥
ابتكار تركيبات لتطبيقات ثابتة حراريّاً	٧

© 2017 U.S. Dairy Export Council | WW058A