

GIDA ENDÜSTRİSİNDE TRANSGLUTAMİNAZ UYGULAMALARI: 2. ENZİMİN GIDA SÜREÇLERİNDE KULLANIM OLANAKLARI

APPLICATIONS OF TRANSGLUTAMINASE IN FOOD INDUSTRY: 2. POSSIBLE USAGE OF THE ENZYME IN THE FOOD PROCESSES

Zerrin YÜKSEL, Yaşar Kemal ERDEM*

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş Tarihi: 21 Temmuz 2006

ÖZET: Transglutaminaz enzimi (Tgaz), protein zincirindeki Gln ile Lys arasında gerçekleştirdiği çapraz bağlanmalar ile neden olduğu protein modifikasyonu gıda bilimcilerinin son dönemde gündemine oturmuş durumdadır. Tgaz kullanımıyla gıda işleme teknolojisinde, düşük viskoziteli protein çözelti ve/veya dispersiyonlarında jel yapı oluşturma, mekanik dayanımı artırma, düşük yağ – protein içeriğinde mekanik yapı oluşturma, var olan yapıya eksikliği duyulan amino asit katılımını sağlama, tekstürel deformasyonu ve gıda katkı maddeleri kullanımını azaltma veya tamamen ortadan kaldırma olasıdır.

Anahtar kelimeler: Transglutaminaz, gıda, protein, çaprazbağlanma, tekstür, fonksiyonellik, katkı maddeleri

ABSTRACT: The modification of food proteins by transglutaminase (tgase) which catalyzes the crosslinkings between Gln and Lys has recently become a great interest to food scientists. The gel formation in dilute protein dispersions or solutions, improvement of the mechanical strength, physical texture formation in dilute oil-protein dispersions, the corporation of aminoacids which were lack in the structure to the proteins, prevent the textural deformations, reducing the usage of the food additives will be possible with usage of tgase.

Keywords: Transglutaminase, food, protein, crosslinking, texture, functionality, additives

MİKROBİYEL TRANSGLUTAMİNAZIN (MTGAZ) GIDA SÜREÇLERİNDE KULLANIMI

Bilindiği gibi gıda proteini substratları, Mtgaz ile inkübe edildiğinde jelleşmektedir. Bu jel oluşumu sonucunda;

- Isı yoluyla jelleşmeyen proteinler jelleşebilmekte.
- Yüksek sıcaklıkta eriyen jeller, MTgaz jelleşmesinden sonra erimemekte.
- Yağ emülsiyonundaki proteinler şeker ve/veya sodyum klorid varlığında jelleşebilmekte.
- Jel sertliği ısıtma sonucu artar. Oluşan jeller deterjan veya denatürantlarla çözündürülemez.

ET ÜRÜNLERİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Sütte olduğu gibi ette de sözkonusu olan karmaşık protein sistemlerinde ϵ -(γ -glutamil)lisil çapraz bağlarının ve aldol kondensasyonundan gelen çapraz bağların tekstür oluşumundan sorumlu olduğuna inanılmaktadır. Balık, kabuklu deniz ürünleri ve etler, diğer gıda grupları ile karşılaştırıldığında ϵ -(γ -glutamil)lisil içerikleri açısından çok geniş bir çeşitliliğe sahip oldukları görülmüştür. Ayrıca, konserve et, derin kızartılmış tavuk, grill domuz gibi pişmiş ürünlerin ϵ -(γ -glutamil)lisil içeriği çiğ ete göre daha yüksektir (1).

Son yıllarda, diyetle sodyum alımı ile ilgili düşüncelerin gelişmesi ve hipertansiyon rahatsızlığının artış göstermesi, işlenmiş et ürünlerinde tuz içeriğini azaltma yollarının araştırılmasına neden olmuştur. "Comminuted" et ürünlerinde tuz içeriği azaltılıp, su niceliği artırıldığında, geleneksel olarak ısı etkisiyle oluşan

*E-posta: erdem@hacettepe.edu.tr

myosin matriksi, düşük iyonik güce bağlı olarak sınırlı düzeyde oluşum göstermektedir. Tuz içeriğinin düşürülmesi protein ekstraksiyonunu, et jellerinin su bağlama gücünü ve sertliği azaltmaktadır. Ayrıca, farklı damak tadı özellikleri ortaya çıkmaktadır. Aşırı derecede su kaybı nedeniyle, yumuşak bir tekstür ortaya çıkmakta ve jel oluşumunda yetersizlik görülmektedir

Et ürünlerinde sodyum içeriğini azaltmak amacıyla diğer klorit tuzlarının, diğer bağlayıcı ajanların kullanımı veya alternatif işleme uygulamalarının geliştirilmesine ilişkin çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Diğer bir alternatif yöntem ise bağlama özelliklerine bağlı olarak istenen miktarda tuz ve fosfat içeriğini azaltabilen kalsiyumdan bağımsız mikrobiyel transglutaminazın kullanılmasıdır. TGaz, protein molekülleri arasında kovalent bağlar yaparak, proteinlerin çapraz bağlanmasını ve polimerizasyonunu katalizleyen bir enzimdir. ϵ -(γ -glutamil)lisil çapraz bağlantı yapısının; düşük konsantrasyonda NaCl ve/veya fosfatlarla birlikte veya bu katkıları olmadan üretilen et jelleri veya yeniden yapılandırılan kıyılmış etlerde bağlanma sıklığı sağladığı ortaya konulmuştur (2, 3, 4).

Domuz eti hamuru jel özellikleri üzerine yapılan çalışmada, mikrobiyel transglutaminaz (MTGaz % 0- 0.6) niceliğinin artırılması pişirme kaybını önemli ölçüde etkilemektedir ve tüm NaCl oranlarında (% 0 –2) pişirme kaybı elverişli şekilde azalmaktadır. Ne kadar çok MTGaz eklenirse, pişirme sırasında o kadar az ağırlık kaybı olmuştur. Aynı çalışmada, ürün sertliği ve çiğnenebilirliğinde de artış olduğu gözlenmiştir (5). Ayrıca, MTGaz eklenmesinin jellerin renk parametreleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Ancak, bu bulgu daha önce Tgaz'ın renk üzerine etkisiyle ilgili çalışmalarda bulunan sonuçlarla çelişmektedir. Nielsen ve diğerleri (4) %0, 4 MTGaz eklenmiş et örneklerinin kontrollere göre daha düşük a^* değerine sahip olduklarını belirtmiştir, ancak, çiğ et rengini ölçmüştür ve bu yüzden pişirme sonrası Tgaz'ın etkisinin ne olduğunu belirlemek olası olamamıştır. Pietrasik ve Li-Chan (5) yaptığı çalışmada, sığır jellerine "comminution" sırasında eklenen kollagen izolatu ve Mtgaz, hiçbir ingredient içermeden hazırlanan jellerle kıyaslandığında L^* ve a^* değerlerinde farklılık görülmemiştir. MTGaz eklenmesi, jellerin b^* renk parametresinde de önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Parlaklık ve kırmızılık, kullanılan proteinler arası etkileşim sonucunda değişim göstermiştir. Mtgaz eklenmesi, sırasıyla %8 et proteini, yumurta proteini ve karragenan içeren jellerin parlaklık ve kırmızılığını artırmıştır. Arttırılan Mtgaz derişimi ile kimi soslerde sarılığın azaldığı saptanmıştır. %0-1 oranında domuz plazması t gaz'nin eklenmesi, düşük tuzlu tavuk eti toplarının rengine önemli bir farklılık yaratmamıştır. Yapılan çalışmada kanatlı göğüs etine göre daha yüksek myoglobin içeriğine sahip domuz eti kullandıkları için renk sonuçlarında farklılıklar oluşmuştur (4). Diğer bir çalışmada da düşük tuzlu tavuk eti toplarının verimi, Tgaz yüzdesi (%0-1) arttırıldıkça artış göstermiştir (6).

Tgaz eklendiğinde moleküllerarası ϵ -(γ -glutamil)lisil çapraz bağları nedeniyle daha sık bir jel ağı olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde, SEM sonuçlarına göre, t gaz içermeyen kontrol örneklerindeki jel ağı, t gaz kullanılarak üretilen düşük tuzlu tavuk eti toplarına göre daha gevşek bulunmuştur (6). Tgaz ile oluşturulan jellerin ısıyla oluşturulanlara göre daha düzenli bir yapıya sahip olduğu saptanmıştır. Burada sözü edilen izopeptid bağlarının oluşumu geri dönüşümsüzdür ve güçlü bir protein-protein etkileşimi sonucu kararlı bir ağ yapısına sahip oldukları görülmüştür. %0-1 arası t gaz uygulaması ürünün dış görünüşünde, renk ve tat-kokusunda önemli farklılıklar yaratmamıştır.

Düşük değerli ve trimming uygulanmış et parçalarının yeniden yapılandırılması için geliştirilen yöntemler ürün görünümünü, tekstürel özellikleri geliştirip, satış değerini arttırmak için kullanılmaktadır (2). Ayrıca, kıyılmış et parçalarından t gaz etkisiyle yeni ürün üretmek için bir yöntem geliştirmişlerdir. Tgaz kıyılmış et ve diğer gıda ingredientleri ile karıştırılır, şekil verilir, basınca dirençli kaplarda paketlenir ve hamburger, et topları, dolgu hamuru ve shoo-moi (tipik bir Çin yemeği) gibi et ürünlerinin üretimi için kullanılır. Gıdaların elastikiyeti, tekstür, tat ve flavorunda gelişme görülür (7). Fakat, bu yeniden yapılandırılan ürünlerdeki bir problem, et parçalarının bağlanması için tuz ve fosfat eklenmesi ve genellikle bu ürünlerin dondurularak dağıtılmasıdır. Bu durum üründe renk bozukluğuna neden olmaktadır ve yeniden yapılandırılıp dondurulan bu ürünlere karşı tüketici

talebi taze, dondurulmamış et ürünleriyle karşılaştırıldığında daha azdır. Et bağlama proseslerinde tğaz (FXIIIa) enziminin kullanımı, dondurma gereksinimini ortadan kaldıracaktır ve bağlayıcı özellikleri nedeniyle tuz ve fosfat kullanımını azaltabilir veya tamamen ortadan kaldıracaktır. Tuz niceliği azaltılan ve % 0,5 kazeinat ile % 0,1 Mtgaz kullanılan yeniden yapılandırılmış çiğ et ürünlerinin üretiminde etkili bir bağlanma olduğu saptanmıştır (2). Yapılan çalışmalarda, kazeinatın tğaz için iyi bir substrat olduğunu bulmuşlardır. Mtgaz ile birlikte uygulanan kazeinat, et parçalarının birbirine bağlanması için zank görevinde olan viskoz sol formundadır. Fakat, soya proteini veya jelatin ile Mtgaz kullanıldığı zaman etkili bir bağlanma gücü oluşmamıştır (8). Kazeinat ϵ -(γ -glutamil)lisil oluşumunun artmasında ve yeniden oluşturulan ürünlerin gelişiminde etkiliyken, soya proteinin kazeinata göre daha az ϵ -(γ -glutamil)lisil çapraz bağı oluşumunu indüklemektedir ve yetersiz bağlanma göstermektedir. Kazeinat ve diğer proteinler arasındaki bu farklılık substrat özgülüğüne bağlı olabilmektedir. Kazeinin myosin için, soya proteini ve faktör XIII ile kullanılan glutene göre daha fazla çapraz bağlanma gösterdiği bildirilmektedir. Kullanılan Mtgaz niceliğinin artırılması, yeniden yapılandırılan etler için bağlanma gücünü arttırmaktadır. Tüm Mtgaz niceliklerinde en güçlü bağlanma %1 kazeinat kullanıldığında görülmüştür. Kazeinatın daha yüksek oranlarda kullanımı bağlanma gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Fazla kazeinat, et küpleri arasında küçük jel ceplerinin oluşmasına neden olmakta ve bu yüzden bağlanma gücü zayıflamaktadır (2).

Nielsen ve diğerleri (4), 37°C'de 90 dakikalık bir uygulamada Faktör XIIIa'nın üst düzeyde bir bağlanma sağladığını bulmuşlardır. Fakat bu durum hızlı bakteri gelişimini de beraberinde getirmektedir. Bozulma ve patojen bakteri gelişimine bağlı olan değişiklikler, ürünün raf ömrünün kısa olmasına sebep olup, tüketiciler açısından risk oluşturabilir. Kuraishi ve diğerleri (2) yaptıkları çalışmada, 5°C'de 2 saatlik enzim tepkime koşulları herhangi bir bakteri artışına sebep olmamıştır ve ürün renginde farklılaşma görülmemiştir. Bu Mtgaz/kazeinat sistemi Faktör XIIIa'nın uygulandığı sistemlere göre daha pratik ve kullanışlıdır.

Tuz, fosfat ve Faktör XIIIa arasında ürün tekstür özellikleri bakımından önemli bir etkileşim olduğu görülmüştür. %0-2 tuz ve fosfat ile birlikte FXIIIa'nın karıştırıldığı et, sertlik, elastikiyet ve kohezyon kazanmıştır. Tekstür üzerine fosfatın etkisi FXIIIa'dan bağımsız olarak %0,2 derişiminde olmuştur. %0,5 oranında fosfat, sertliği en düşük değerine getirmiştir. Tuz, fosfat ve FXIIIa arasındaki sinerjetik etki, tekstür özelliklerinde bozulma olmaksızın ürünün tuz ve fosfat içeriğini azaltmak için yeni fırsatlar ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, yüksek pH değerinde çiğ materyal kullanılarak tuz içeriğini azaltıcı yöntemler geliştirmek olası olabilmektedir (4).

Fosfatlar suyu yapıda tutabildikleri için, et işleme endüstrisinde et tekstürünü, et nemliliğini ve ürün verimini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadırlar. Genellikle et endüstrisinde sodyum- trifosfatlar kullanılmaktadır ve et ürünlerinde formülasyonun %0,5'i kadar kullanımına izin verilmektedir. Fakat, çeşitli nedenlerle, tüketiciler gıdalarda daha az sentetik kimyasal katkı kullanılmasını istemektedirler. Yapılan çalışma sonunda, sodyumtrifosfat niceliği azaltılmış sosis karışımlarında, %3 tğaz ile modifiye edilen proteinlerin, sosis tekstürünü geliştirebildiği ortaya koyulmuştur (9). Ayrıca dilimlenmiş et içeren et parçalarının fosfat ve tuz içermeden Mtgaz yoluyla bağlanabileceği ve sonuçta sağlıklı et üretilebileceği belirtilmiştir (3). Transglutaminaz kullanılmasıyla, gıdalara jelatin eklenmeden su tutma kapasitesi yüksek ürünler üretilebilmektedir (10).

Kobay çiğlerinden elde edilen Tgaz sığır aktomyosininin polimerizasyonunu teşvik etmektedir. Tgaz ile aktomyosinin polimerizasyonu dondurma veya pişirme yapılmadan yeni oluşturulacak et ürünlerinde uygulanabilir bir yöntemdir.

Sodyum kazeinat ve Mtgaz kullanılarak yapılan tavuk döner kebabının sertliğinde ve çiğnenebilirlik değerinde artış görülmüştür. Ayrıca, Mtgaz uygulanan döner kebabların sululuğu ve toplam kabul edilebilirliği artmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda, sodyum kazeinat eklenerek veya eklenmeden Mtgaz ile işlenen et proteinleri arasında çapraz bağlanma görülmüştür. Ancak, Na kazeinat kullanıldığı zaman enzim daha etkili sonuç vermektedir. Döner kebabının üretiminde, üniform olmayan küçük parçaların yapıdan ayrılmasını engellemek amacıyla Mtgaz Na kazeinat ile birlikte kullanılabilir. Marinasyon işleminden önce tavuk göğüs etinin dilimlenmesi bu problemi çözmeye yardımcı olabilir (11).

Kazeinat Mtgaz ile işlendiği zaman viskoz hale gelir ve bu viskoz kazeinat farklı dolgu maddelerinin bir arada tutulması için zamp olarak görev alır. Motoki ve Seguro (3) inek, domuz ve balık fletolarının küçük parçalarından daha büyük yeniden yapılanmış et üretimi için bu yöntemin kullanılabilirliğini açıklamışlardır. Kas proteinlerinin jelleşmesi, işlenmiş etlerde istenen tekstürün ve yağ-su emülsiyonlarının stabilizesinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Sağlık bilincinin ve diyetteki aşırı yağ oranı nedeniyle obezite gibi sorunların artması nedeniyle, tüketiciler düşük yağ içeren gıdaları tüketmek istemektedirler (9). Mtgaz düşük yağlı et üretimine olanak sağlamakta ve Bologna tipi sosislerde yağ ikamesi olarak çapraz bağlı kazeinat kullanılması önerilmektedir. Isıtma ve/veya dondurmaya gerek duymadan, tğaz ile istenilen bağlanma sağlanabilmektedir (10).

Tgaz kullanılarak çapraz bağlanma sağlanan proteinlerde ısıl kararlılığı gelişmektedir ve bu birçok ısıl işlem uygulanacak proteinler için uygulanabilir bir özelliktir. Tavuk sosisinin tekstürel özellikleri üzerine yapılan çalışmada, proteinlerin emülsifiye edici özelliklerinin tğaz ve kazeinin birlikte kullanılması sonucu en iyi şekilde geliştiği bulunmuştur (9). Ayrıca, floresans ölçümler yapılmış ve Tgaz ile modifiye edilen proteinlerin yüzey hidrofobitesinde bir düşüş belirlenmiştir. Yüksek hidrofilik proteinlerin yüzey hidrofobitesindeki (kazein, soya fasulyesi protenleri, peyniraltı suyu protein izolatu) bu düşüşün emülsiyon aktivitesini azalttığı düşünülebilir. Fakat, toplam yüzey alanında biyopolimer oluşumu artmaktadır ve emülsiyon aktivitesinde yükselme olmaktadır.

Sığır jellerinin bağlanma ve tekstürel özellikleri üzerine yapılan çalışmada, Mtgaz eklenen sığır homojenizatında su tutma kapasitesi önemli ölçüde artış göstermiştir. %0,5 tğaz içeren uygulamalar tğaz içermeyenlere göre daha fazla nem içermektedirler (5). Ayrıca, çeşitli boyutlardaki et parçalarından uniform ürünlerin yapılması gıda kaynaklarının daha etkili kullanılmasını sağlamaktadır (10). Ayrıca, tüketiciler tat-koku, beslenme değeri, görünüş, raf ömrü ve aroma gibi özelliklere karşı oldukça duyarlıdırlar. Bu nedenle, enzimlerle özellikle Mtgaz ile protein modifikasyonu protein içeren yeni gıdaların geliştirilmesinde önemli bir alternatiftir (7).

MTgaz, et parçalarının 1 gece için 10°C' nin altında tutularak bağlanması ile yapısal değişim sağlamaktadır. Kazeinat, MTgaz ile işlem gördüğünde daha viskoz bir yapı kazanmakta, ve viskoz kazeinat farklı gıda maddelerini bir arada tutan bir yapışkan görevi üstlenmektedir. Bu yöntemle küçük boyutlardaki dana, domuz eti parçaları veya balık filetoları birleştirilerek daha büyük boyutlar elde edilebilir. MTgaz kullanımı tuz ve fosfatlarla sinerjist etki göstermektedir (3).

SÜT ÜRÜNLERİNDE KULLANIM OLANAKLARI

Mikrobiyel Tgaz'ın protein reaktivitesi, sadece glutamin kalıntılarının dağılımına bağlı değildir. Bunun yanı sıra proteinlerin sekonder ve tersiyer yapılarından da kaynaklanmaktadır (12). Kazeininin, Tgaz için iyi bir substrat olduğu bilinmektedir (13). Bazı uygulamalarda süt proteinlerinin viskoelastik yapısını ve jelleşmesini modifiye etmek amacıyla mikrobiyal Tgaz kullanılmaktadır. Enzim kullanımı ile ısıl işlemin birlikte kombinasyonu sonucu, β-laktoglobulin veya emülsiyonlarının üzerinde elastik yapı ve daha güçlü jel yapısı oluşturduğu, ancak bunun yanı

sıra Tgaz uygulanmış β -lactoglobulinin reaktivitesinin sodyum kazeinattan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Faergemand ve Qvist (14), serum proteinlerinin bir indirgeyici (reducing) ajana gerek gösterdiğini (ditiotreitol gibi) veya çapraz bağlama reaksiyonlarının ancak uygun pH aralığında gerçekleşebileceğini bildirmişlerdir.

Mikrobiyel Tgaz'ın yağsız süttozu jellerinin reolojik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır (15). Tgaz ile işlemde geçirilmiş yağsız süttozu (TG-SMP), işlemde geçirilmemiş (C-SMP) göre kararlı bir protein yapısına sahiptir.

Birçok araştırmacı ısı ile işlemle jel oluşturmayan süt kazeininin farklı Tgazlar için iyi bir substrat olduğunu göstermiştir. Tgaz reaksiyonu ile kazeinden ısıya dirençli sert jel oluştuğu gözlenmiştir. Buna bir örnek, yoğurt üretiminde MTgaz kullanımınıdır. Yoğurt, laktik starterlerin asidik fermentasyonu ile oluşan bir süt jelidir. Yoğurt sıcaklık değişimi veya fiziksel etkiler sonucu serumun ayrılması ile zarar görebilir. Bu problem MTgaz ilavesi ile çözülebilir; zira MTgaz jelin su tutma kapasitesini geliştirir. Ayrıca süt endüstrisinde dondurma, az yağlı peynir gibi ürünlerin üretiminde de kullanılmaktadır.

SOYALI ÜRÜNLERDE KULLANIM OLANAKLARI

11S ve 7S gibi soya proteinleri MTgaz için iyi birer substrattır. 'Tofu' –soya ve pıhtılaşmış süttten elde edilen bir ürün- soya proteinlerinin Ca^{+2} , Mg^{+2} iyonları ve/veya glukonodeltalakton (GDL) ilavesi ile koagülasyonu ile elde edilir. Sterilizasyon tofunun yumuşak yapısını bozduğu için uzun ömürlü tofu üretmek oldukça zordur. MTgaz kullanımı ile sterilizasyon sonunda yumuşak yapı korunabilmektedir (3).

SONUÇ

MTgazın kontrollü kullanımı; emülsiyon damlacıklarından ağ yaratmada ve gıda kolloidlerinde proteinle kaplı ara yüzeylerin kararlı kılınmasında potansiyel bir yeni yöntemdir (16, 17, 18).

Bugün gıda uranında bu konu uygulamaya geçirilmeye çalışılmakla birlikte, gıda niteliği ve güvenliği konularında açıklıklar varlığını sürdürmektedir. Gerçi MTgaz ile protein modifikasyonu istenmeyen aroma, toksik kalıntı ya da besin öğesi kaybı gibi sorunları beraberinde getirmemektedir. ϵ -(γ -glutamil)lisin çapraz bağları hayvan ve bitki dokuları ile işlenmiş gıdalarda doğal olarak oluşmakta (1) ve düzeyi pişirme ile artmaktadır (19). Bu çapraz bağlar, memeli sindirim sistemi enzimlerince sindirilememekle birlikte (bunlara karşı duyarlı değil), böbrek enzimleri tarafından yıkıma uğratılabilirler (20). Sonuçta ϵ -(γ -glutamil) kısmı tamamen metabolize olmakta, lizin ise dokuya tam olarak entegre olmaktadır.

Kovalent çapraz bağlanma elastikliği (çiğnenabilirlik) arttırma eğilimindedir, oysa daha zayıf olan fiziksel çapraz bağlanma yalancı-plastik yapıyla daha ilintilidir. Isıtma veya UHP gibi diğer uygulamalar ile birlikte uygulanması istenen tekstürel özelliklerde yeni ürün geliştirmeyi de olası kılmaktadır.

MTgaz, diğer Tgaz' larda olduğu gibi birçok gıda proteininde G-L bağı oluşumunu katalizler. Oluşan çapraz bağlanma sonucu proteinin özellikleri değişmektedir. Çeşitli aminlerin, amino asitlerin, lisin ve glutamin içeren peptidlerin ve heterojen polipeptidlerin birleşmesi üzerine de birçok uygulama vardır. Hiç şüphe yoktur ki MTgaz gelecekte gıda ve diğer proseslerde protein modifikasyonu için gerekli bir enzim olacaktır.

80li yılların başında, süt kazeini ve soya globulininin işlevsel özelliklerinin modifikasyonu, kobay karaciğeri (21) ve sığır kan plazması (18) örneklerinden elde edilen Tgaz'ın kullanımı ile belirlenmiştir. Her iki çalışmada da farklı gıdaların proteinlerindeki çapraz bağ oluşumu ve amino asitlerden, peptidlerden birleşerek protein oluşumu gözlenmiştir. Endüstride deneysel enzim kullanımı ile gıda proteinlerinin modifikasyonunun fizibilitesi üzerine araştırmalar yapılmıştır (22, 23, 24, 25, 26, 27, 28). Çalışmalar sonucunda yüksek konsantrasyondaki

serum proteinleri çözeltisinde ve domuz, balık, tavuk ve dana aktomyosin substratlarında, enzim tarafından oluşturulan bir jelleşme gözlenmiştir. Bu olay, gıda proteinlerindeki su tutma kapasitesi, ısı kararlılık ve çözünürlük özelliklerini geliştirmektedir. Yapılan çalışmalarda yağ-su tipi emülsiyonlarda da jelleşme olduğu görülmüştür. Tgaz ile bir protein çözeltisi hazırlandığında yüzeye düzlemsel bir yayılım olduğu ve suya dayanıklı, transparan bir protein filminin olduğu görülmektedir. Bu tabaka proteazlarca çok yavaş parçalanabilmektedir. Bütün bu sonuçlara göre Tgaz'ın proteinler üzerinde yeni farklı işlevsel özellikler oluşturduğu belirlenmiştir. Ancak gıdalarda kullanımı açısından belli bir sınırı hala vardır (3).

KAYNAKLAR

1. Sakamoto H, Kumazawa Y, Kawajiri H, Motoki M. 1995. e-(g-glutamyl)lysine crosslink Distribution in Foods as Determined by Improved Method. *J. Food Sci.*, 60: 416-419.
2. Kuraishi C, Sakamoto J, Yamazaki K, Susa Y, Kuhara C, Soeda T. 1997. Production of restructured meat using microbial transglutaminase without salt or cooking. *Journal of Food Science*, 62:(3) 488-490, 515.
3. Motoki M, Seguro K. 1998. Transglutaminase and Its Use For Food Processing. *Trends in Food Sci. and Technol.*, 9: 204-210.
4. Nielsen GS, Petersen BR, Moller AJ. 1995. Impact of salt, phosphate and temperature on the effect of a Transglutaminase (F XIIIa) on the texture of restructure meat. *Meat Science*, 41:(3) 293-299.
5. Pietrasik Z, Li-Chan ECY. 2002. Binding and textural properties of beef gels as affected by protein, k-carrageenan and microbial transglutaminase addition. *Food Research International*, 35: 91-98.
6. Tseng TF, Liu DC, Chen MT. 2000. Evaluation of transglutaminase on the quality of low-salt chicken meat-balls. *Meat Science*, 55:427-431.
7. Zhu Y, Rinzema A, Tramper J, Bol J. 1995. Microbial Transglutaminase-A Review of Its Production and Application in Food Processing. *Appl. Microbiol Biotechnol.*, 44: 277-282.
8. Sakamoto H, Kumazawa Y, Motoki M. 1994. Strength of Protein gels Prepared with Microbial Transglutaminase as Related to Reaction Conditions. *J. Food Sci.*, 59: 866 – 871.
9. Muguruma M, Tsuruoka K, Katayama K, Erwanto Y, Kawahara S, Yamauchi K, Sathe SK, Soeda T. 2003. Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduced levels of phosphate. *Meat Science*, 63: 191-197.
10. Kuraishi C, Sakamoto J, Soeda T. 1996. USA. The usefulness of transglutaminase for food processing. *Biotechnology for Improved Foods and Flavor*. Edited by: Takeoka, G., ACS Symposium Series Chapter, 3, 29-38.
11. Kılıç B. 2002. Effect of microbial transglutaminase and sodium caseinate on quality of chicken döner kebab. *Meat Science*, 61:120-126.
12. Matsumura Y, Moti T. 1996. 'Gelation' in *Methods of Testing Protein Functionality* (Hall, G.M., ed.), pp. 76-109.
13. Cristensen BM, Sorensen ES, Hojrup P, Petersen TE, Ramussen LK. 1996. Localization of Transglutaminase Crosslinking sites in bovine Caseins. *J. Agric. Food Chem.*, 44: 1943-1947.
14. Faegermand M, Quvist KB. 1997. Transglutaminase: effect on rheological properties, microstructure and permeability of set style acid milk gel. *Food Hydrocolloids*, 11: 287-292.
15. Dickinson E, Yamato Y. 1996. Rheology of Milk Protein Gels and Protein – stabilized Emulsion Gels Crosslinked with Transglutaminase. *J. Agric. Food Chem.*, 44: 1371 – 1377.
16. Ikura K, Kometani T, Sasaki R, Chiba H. 1980 . Crosslinking of Soybean 7S and 11S Protein by Transglutaminase. *Agric. Biol. Chem.*, 44: 2979 – 2984.
17. Motoki M, Nio N. 1983. Crosslinking Between Different Food Proteins by Transglutaminase. *J. Food Sci.*, 48: 561 – 566.
18. Kurth L, Rogers PJ. 1984. Transglutaminase Catalyzed Crosslinking of Myosin to Soya Protein, Casein and Gluten. *J. Food Sci.*, 49: 573 – 589.
19. Hurrel RF, Carpenter KJ, Sinclair WJ, Otterburn MS, Asquith RS. 1976. Mechanisms of Heat Damage in Proteins. *British J. Nutr.*, 35: 383-395.

20. Seguro K, Kumazawa Y, Kuraishi C, Sakamoto H, Motoki M. 1996. The e-(g-glutamyl)lysine Moiety in Crosslinked Casein is an Available Source of Lysine For Rats. *J. Nutr.*, 126: 2557-2562.
21. Ikura K, Sasaki R, Motoki M. 1992. Use of Transglutaminase in Quality Improvement and processing of Food Proteins. *Comments Agric. Food Chem.*, 2: 389-409.
22. Koseki T, Kitabatake N, Doi E. 1989. Irreversible Thermal Denaturation and Formation of Linear Aggregates of Ovalbumin. *Food Hydrocolloids*, 3: 123-134.
23. Clark AH, Lee Tuffnell DD. 1986. Gelation of Globular Proteins in Functional Properties of Food Macromolecules, JR Mitchell and DA Ledward (eds.), pp. 203-272.
24. Dickinson E, Stainsby G. 1982. *Colloids in Food*, pp. 411-461, Applied Science, London, UK.
25. Hamada JS. 1992. Modification of food Proteins by Enzymatic Methods, in *Biochemistry of Food Proteins* (Hudson, B.J.W., ed.), pp.249-270, Elsevier.
26. Robinson DS. 1987. in *Food: Biochemistry and Nutritional Value*, pp.196-205, Longman.
27. Folk JE, Finlayson JS. 1977. The e-(g-glutamyl)lysine Crosslink and the Catalytic role of Transglutaminase. *Adv. Protein Chem.*, 31: 1-133.
28. Berbers GAM, Bentlage HGM, Brans AMM, Bloemendal H, Jong WW. 1983. b-crystallin:Endogenous substrate of Lens Transglutaminase. *Eur. J. Biochem.*, 135: 315-320.