

## GIDA İŞLEMEDE TRANSGLUTAMİNAZ KULLANIMI

### THE USAGE OF TRANSGLUTAMINASE IN FOOD PROCESSING

Meltem SERDAROĞLU, Gülen Yıldız TURP

Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir

**ÖZET:** Özel enzimlerin kullanımı ile, gıda proteinlerinin fonksiyonel özellikleri değiştirilebilmektedir. Transglutaminaz enzimi, gıda proteinlerinin fonksiyonel özelliklerini modifiye etmek amacıyla kullanılabilir. Transglutaminaz ile gıda proteinlerinin modifikasyonu, lisini kimyasal reaksiyonlardan korumaya, fonksiyonel özellikleri modifiye etmeye ve tamamlayıcı veya sınırlayıcı elzem amino asitleri içeren farklı proteinlerin çapraz bağlanması vasıtasıyla daha yüksek besin değerlerinde gıda proteinlerinin üretimine yardımcı olmaktadır. Bu derlemede transglutaminazın fonksiyonel özellikleri ve gıda işlemede kullanımı incelenmiştir.

**ABSTRACT:** The functional properties of food proteins may be changed by the use of specific enzymes. Transglutaminase has been used to modify functional properties of food proteins. The modification of food proteins by transglutaminase may help protect lysine from chemical reactions, modify functional properties and produce food proteins with higher nutritive values through cross-linking different proteins containing complementary or limiting essential amino acids. This paper describes functional properties of transglutaminase and the usage of this enzyme in the food processing.

#### GİRİŞ

Enzimolojideki gelişmelerle birlikte, proteinlerin fonksiyonel özelliklerini ve besin değerlerini geliştirmek amacıyla enzimatik modifikasyonların kullanılması son yıllarda gıda endüstrisinin önemli girişimleri arasında yer almaktadır. Transglutaminaz, hayvan dokuları ve vücut sıvılarının çoğunda bulunan ve kan pıhtılaşması, doku yenilenmesi, üst deriye alt keratinizasyon ve eritrosit membranının sertleşmesi gibi biyolojik olaylarda görev yapan bir enzimdir. Transglutaminazın, hücresel büyüme, farklılaşma ve çoğalmada sorumluluğu bulunmaktadır (MOTOKI ve SEGURO, 1998).

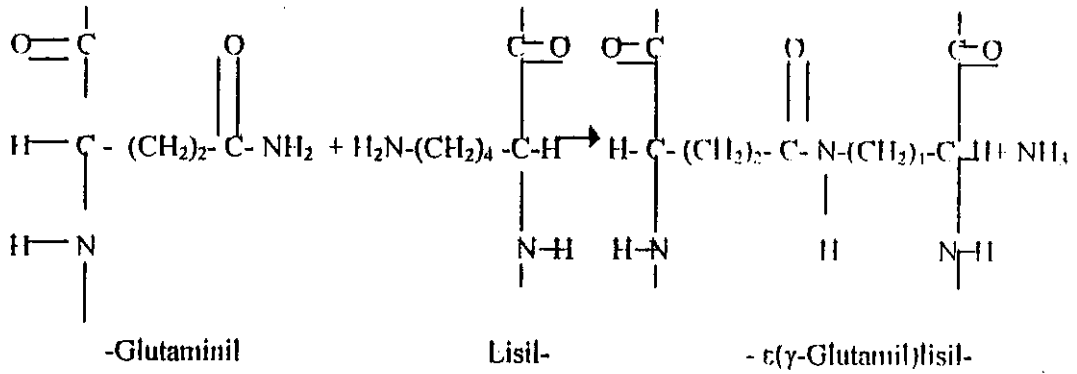
Gıda endüstrisinde, potansiyel kullanıma sahip bir enzim olan transglutaminaz (R-glutaminil-peptid:amin  $\gamma$ -glutamiltransferaz; EC 2.3.2.13), proteinlerin glutaminil residue'larının,  $\gamma$ -karboksit grupları ile çeşitli asil aminler arasında bir açıl transfer reaksiyonu katalizlemektedir (MOTOKI ve ark., 1984) (şekil 1). Bu reaksiyonda, protein bağlı glutamin residue'larının  $\gamma$ -karboksiamid grupları, açıl vericilerdir. Glutamin residue'ları, proteindeki konumlarına bağlı olarak, farklı hızlarda reaksiyona girmektedir. Verici substrat spesifikliğinin sınırlı olmasına rağmen, transglutaminaz, alıcı substratlar için, geniş bir spesifikliğe sahiptir. Çeşitli bileşenlerin asil amino grupları, açıl alıcılar olarak fonksiyon gösterebilmektedirler. Protein bağlı lisin residue'larının e-amino grupları, alıcı olduğunda, e( $\gamma$ -glutamil) lisin köprüleri vasıtasıyla protein çapraz bağlanması oluşmaktadır (MATHEIS ve WHITAKER, 1987)

Protein moleküllerinin transglutaminaz vasıtasıyla çapraz bağlanması, proteince zengin gıdalarda büyük fiziksel değişikliklere neden olmaktadır ve bu benzersiz enzim reaksiyonu ile, gıda proteinlerin reolojik özelliklerini değiştirmek mümkün olabilmektedir (KURAIŞI ve ark., 1997; KURAIŞI ve ark., 1999).

#### TRANSGLUTAMİNAZIN ELDE EDİLME KAYNAKLARI

Transglutaminaz, hayvan dokuları, bitkiler ve mikroorganizmalarda bulunabilen bir enzimdir (MOTOKI ve SEGURO, 1998).

Transglutaminaz, elde edilme kaynaklarına göre, hayvan dokuları ve organlarında bulunan yapısal transglutaminaz ve mikrobiyal transglutaminaz olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.



Şekil 1. Transglutaminazın katalizlediği açıl transfer reaksiyonu

Hayvan dokuları ve organlarında geniş olarak yer alan hayvansal kaynaklı transglutaminaz, kobay karaciğer enzimi tarafından temsil edilen doku tipi, trombosit tipi, özellikle kan pıhtılaşmasında faktör XIIIa. ve saç folikül tipi (hair follicle) olmak üzere 3 tiptedir (MATHEIS, ve WHITAKER, 1987).

Transglutaminaz, çeşitli hayvanların dokularından veya organlarından saflaştırılarak alınmaktadır. Bununla birlikte hayvanlardan izolasyon ve saflaştırma olanaklarının kısıtlı ve zor olması, transglutaminaz'dan ticari olarak yararlanılabilmesi için geniş ekonomik kaynak bulma zorunluluğunu getirmektedir. Transglutaminaz'ın mikrobiyal kaynaklardan elde edilmesine dair az sayıda çalışma bulunmaktadır. ANDO ve ark. (1989) tarafından *Streptovorticillium* türüne ait olduğu düşünülen S8112 suşu kültür filtratından ,aktivite için kalsiyum iyonları gerektirmeyen bir transglutaminaz tipi saflaştırılmış ve mikrobiyal transglutaminaz olarak adlandırılmıştır.

Kobay karaciğer enzimini içeren transglutaminazlar ise, enzimatik aktivitenin gerçekleşmesi için  $\text{Ca}^{+2}$  gerektirmektedir. Bununla birlikte, *Streptovorticillium mobaraense*'nin bir türünden elde edilen mikrobiyal transglutaminaz,  $\text{Ca}^{+2}$ 'dan tamamen bağımsızdır. Bu türlü bir özelliğin, gıda proteinlerinin modifikasyonundaki işlevleri önemlidir (MOTOKI ve SEGURO, 1998).

### TRANSGLUTAMİNAZIN KULLANIM ALANLARI VE ETKİ MEKANİZMASI

Transglutaminaz, farklı fonksiyonel özelliklerde ve daha yüksek besin değerinde yeni gıda proteinlerinin üretimi için yararlı bir araç olabilmektedir (NIO ve ark., 1986). Transglutaminaz tarafından farklı gıda proteinleri arasında çapraz bağlar oluşturulabilmektedir. Örneğin kazelin ve soya fasulyesi globullini, kazelin ve myosin, myosin ve soya fasulyesi, peynir altı suyu ve kazeinler, soya fasulyesi proteinleri ve et arasında oluşturulan çapraz bağlar yardımıyla, yeni proteinli gıdaların gelişiminin mümkün olabileceği düşünülmektedir. Yüksek konsantrasyonlu protein solüsyonları, transglutaminaz tarafından sıkıca bağlanabilmektedir. Bu teknik, yenilebilir filmlerin ve surimi bazı ürünlerin hazırlanmasına uygulanabilmektedir (TSAI et.al., 1996).

Transglutaminazın kazelin, b-laktoglobulin ve soya fasulyesi proteinini gıblı gıda proteinleri arasında epsilon-(gamma-glutamil) lisin çapraz bağları oluşumuyla fonksiyonel özellikleri geliştirdiği saptanmıştır (KURTH ve ROGERS, 1984; MATHEIS ve WHITAKER, 1987; NONAKA ve ark., 1989; TSAI ve ark, 1996). Bununla birlikte, ovalbumin,  $\gamma$ -globulin ve serum albumin transglutaminaz için substrat özelliği göstermemektedir. Kazein bileşenleri  $\alpha$ s1-,  $\beta$ - ve k-kazein,  $\beta$ -laktoglobulin ve soya fasulyesi proteinleri (7S ve 11S) transglutaminaz için uygun substratlardır (MOTOKI ve NIO, 1983; MATHEIS ve WHITAKER, 1987).

Pek çok araştırmacı, ısıtmayla dahi jel oluşturma yeteneği olmayan süt kazeininin, çeşitli transglutaminazlar için iyi bir substrat olduğunu göstermişlerdir. Transglutaminaz reaksiyonunda, kazeinden ısıya dayanıklı sıkı bir jelin oluştuğu bulunmuştur. Mikrobiyal transglutaminazın, yoğurt üretiminde kullanılmasıyla, serum ayrılması probleminin önlenildiği saptanmıştır. Bu özellik, mikrobiyal transglutaminazın, jelin su tutma kapasitesini geliştirmesine dayanmaktadır (MOTOKI ve SEGURO, 1998).

Transglutaminaz kullanımıyla aynı zamanda, gıda proteinlerini zenginleştirmek amacıyla, elzem amino asitlerin ilavesi de katalizlenebilmektedir (TSAI ve ark., 1996). Yapılan çalışmalarda, methioninin, soya fasülyesi globulinlerine ve lisinin, buğday glutenine eklenmesinde başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu araştırmalara dayanılarak, transglutaminazın gıda proteinlerinin besin değerinin geliştirilmesinde kullanılabileceği düşünülmüştür. Transglutaminazın protein karışımları üzerindeki aktivitesi ile oluşan polimerlerin farklı reolojik özelliklerde ve besin değerlerinde olabilmesi ilginçtir. Böylelikle, transglutaminaz, benzersiz özelliklerde yeni gıda maddelerinin üretiminde kullanılabilmektedir (MOTOKI ve NIO, 1983).

Transglutaminazın katalizlediği modifikasyonlarla, tekstürlü ürünlerin üretilmesi, gıda proteinlerindeki lisinin çeşitli kimyasal reaksiyonlardan koruma (örn. mallard reaksiyonları, peroksitide lipidlerle reaksiyonlar), çözünürlüğün ve fonksiyonel özelliklerin modifiye edilmesi ve elzem aminoasitleri içeren farklı gıda proteinlerinin çapraz bağlanması vasıtasıyla daha iyi besin değerinde gıda proteinlerinin üretilmesi sağlanabilmektedir (MATHEIS ve WHITAKER, 1987).

Motoki ve ark. (1984), transglutaminaz aracılığıyla modifiye olan proteinlerin yüksek hidrasyon yeteneğinde olduğunu ve bu özelliğin orta düzeyde nem içeren proteinli gıdaların üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bir proteinin emülsiyeye, özelliklerinin, transglutaminaz kullanarak protein polimerizasyonunun kontrolü ile geliştirilebileceği belirtilmiştir. Bu polimerler ile oluşan su içinde yağ emülsiyonlarının stabilitesindeki gelişimin, polimerlerin dallı yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir (LIU ve DAMODARAN, 1999).

Şehriye ve makarnaya mikrobiyal transglutaminaz ilavesi ile pişirmeden sonra tekstürdeki bozulmanın önlenmesi saptanmıştır. Ekmek üretiminde, mikrobiyal transglutaminaz kullanılmasıyla, hamurun karıştırılması sırasında bazı katkıların eklenmemesi veya daha az kullanıldığı durumda, somunun hacminin artırıldığı veya korunduğu öne sürülmüştür (MOTOKI ve SEGURO, 1998).

Transglutaminaz aracılığıyla, aktomyosin polimerizasyonu, ürün bütünlüğünü korumak için dondurma veya pişirme gerektirmeden et ürünlerine tekrar şekil ve form verme işlemini sağlayabilmektedir (KIM ve ark., 1993).

YILDIRIM ve HETTIARACHCY (1997), transglutaminaz aktivitesi ile protein moleküllerinin, moleküller arası veya moleküller içi çapraz, bağlanması vasıtasıyla ısıl stabilitesinin artırılabilmesini saptamışlardır. Proteinlerin çapraz bağlanmasının ısı stabilitesi gelişmiş biopolimerler oluşturduğu ve bu tip biopolimerlerin ısıya dayanıklı yapısının onların daha yüksek sıcaklıkta solüsyonda kalmalarını mümkün kıldığını belirtmişlerdir.

## **TRANSGLUTAMINAZIN SU ÜRÜNLERİNDE KULLANIMI**

Kamaboko, chikuwa ve yengeç eti gibi bazı geleneksel Japon balık hamuru (surimi) ürünlerinde jel oluşturma yeteneği ve viskoelastik özellikler kalite açısından çok önemlidir. Yapısal transglutaminazın, bu ürünlerin viskoelastik özelliklerini geliştirmede önemli etkisi bulunmaktadır (OHTSUKA ve ark., 1996). Bu özellikler, büyük oranda, interaksiyonların ve bağların tipine bağlıdır. Disülfid bağları ve  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamil)- lizin ( $\epsilon$ -( $\gamma$ -Glu) Lys) çapraz bağının surimi sol'unun jelle dönüşümü işlemi süresince olduğu öne sürülmüştür.  $\epsilon$ -( $\gamma$ -Glu) Lys çapraz bağı kovalenttir, peptid bağı glutamin kalıntılarının,  $\gamma$ -karboksiamid grubu ile peptid bağı lizin kalıntıları veya serbest lisinin  $\epsilon$ -amino grubu arasında oluşan, transglutaminaz'ın katalitik bir üründür. Bu bağ, jel oluşturma ve viskoelastik özellikleri geliştirme yeteneğindedir. (SEGURO ve ark., 1995). Transglutaminaz aracılığıyla oluşturulan protein jellerinin mikroyapıları, 3 boyutlu ağ örgüsü şeklindedir (NIO ve ark., 1986).

Alaska mezzitinden yapılan surimi hamuru, transglutaminaz inhibitörü varlığında, 25, 35, 45 ve 55°C'de inkübe edildiğinde yapısal transglutaminaz'ın inhibitörle önlenmesinin, myosin çapraz bağlanmasının tamamen durdurulmasına neden olduğu saptanmıştır. 45°C üzerinde transglutaminazın inaktive olması, çapraz bağlanmanın önlenmesinin diğer bir nedenidir (TAKEDA ve SEKI, 1996).

Jelleşme surimi bazlı ürünlerin reolojik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Tuzlanmış balık hamuru 80-90°C'ye ısıtılmadan önce, 40°C'nin altındaki sıcaklıklarda 10 dk. -1 saat tutulduğu durumda reolojik

özellikleri değişerek yüksek elastikiyet ve su tutma kapasitesine sahip olan kamaboko jeleri elde edilebilmektedir. Yapılan bir araştırma sonucunda, kamaboko jelerinde  $\epsilon$ -( $\gamma$ -glutamil) lisin oluşumunun gerçekleştiği ve transglutaminazın jelleşmeyi destekleyen bir enzim olduğu ve jelleşme işlemi ile ilişkili olduğu belirtilmiştir (KİMURA ve ark., 1991).

Yapılan bir çalışmada, transglutaminaz inaktive edilerek hazırlanan balık eti hamurlarının jel kırılma kuvvetinin transglutaminaz aktivitesinin yüksek olduğu hamurlara oranla çok daha düşük olduğu belirlenmiştir. Transglutaminazın inaktivasyonu, jellerin inkübasyonu süresince kuvvet kırılmasındaki artışı ve myosin ağır zincir içeriğini azaltmaktadır (NIWA ve ark., 1995).

İki farklı balık türünden elde edilen (Alaska mezgiti, Atlantic croaker) aktomyosinin, dinamik reolojik özellikleri incelendiğinde, kobay karaciğeri transglutaminazının, surimli hamurunun inkübasyonla jelleşmesi için optimum olan pH ve sıcaklık ile aynı şartlarda maksimum jelleşmeyi sağladığı saptanmıştır. Bu durum, surimide transglutaminaz aracılığıyla jelleşme reaksiyonunun enzimin uygunluğundan ziyade, substratın (örn. myosin) uygunluğundan daha fazla etkilendiğini göstermektedir (JOSEPH ve ark., 1994).

Sazandan elde edilen transglutaminazın, çeşitli balık aktomyosinlerinde reaktivitesi, myosin ağır zincirinin polimerizasyon hızı ile belirlendiğine, polimerizasyon hızının, aktomyosin kaynağına göre, önemli oranda farklılık gösterdiği saptanmıştır. Transglutaminaz tarafından myosin ağır zincirinin çapraz bağlanma reaksiyonunun, balık türlerine bağlı olarak substrat aktomyosinin uygun faktörü vasıtasıyla düzenlenebileceği bildirilmiştir (ARAKI ve SEKI, 1993).

JIANG ve LEE (1992) tarafından, faktör XIII, insan plazmasından ve trombositten saflaştırılmış, faktör XIII'ün katalitik özelliklerinin dokulardan ve mikroorganizmalardan elde edilen transglutaminaza ait özelliklerden farklı olduğu saptanmıştır. Faktör XIII'ün kıyılmış uskumruya ilavesinin, jel kuvvetini önemli oranda arttırdığı belirlenmiş ve bu enzimin kıyılmış balık işlemede uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

Sazan (*Cyprinus carpio*) aktomyosin sol'una mikrobiyal transglutaminaz ilavesinin aktomyosin sollarının inkübasyonuna neden olduğu ve transglutaminaz aktivitesinin artışı ile, son jel kuvvetinin arttığı saptanmıştır (NI ve ark., 1998).

Mikrobiyal transglutaminaz ilavesi ile, düşük surimli içeriğine ve düşük kaliteye sahip formülasyonların jel kalitesi artırılarak ekonomik olarak daha cazip surimli şehriyesi üretilebilmektedir. Mikrobiyal transglutaminaz, patates nişastası ve surimli içeriğinin surimli şehriyesinin tekstürü üzerine etkileri incelendiğinde, surimi jel/shetriye kuvveti, mikrobiyal transglutaminaz ilavesi ile özellikle pişirmeden önce, 25°C 'de ön inkübasyon uygulandığında arttırıldığı saptanmıştır. Azaltılmış surimli içeriği ve/veya artan nişasta seviyelerinde, jel mukavemeti veya sertliğinin azaldığı ve mikrobiyal transglutaminaz ilavesi ile, düşük surimi ve yüksek nişasta içeriğinde, jel mukavemetini ve şehriye sertliğinin geliştirilebileceği gözlenmiştir (WANG ve LANIER, 1999).

Ürünlerde ilave edilen mikrobiyal transglutaminaz miktarı arttığında, jel kuvvetinin arttığı tespit edilmiştir. Kıyılmış uskumru hamuruna ilave edilen transglutaminaz miktarı 0.34 birim/g. et olduğunda, jel kuvvetinin kontrolden yaklaşık 3.9 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. İlave edilen transglutaminaz, bu miktardan daha yüksek olduğunda, kıyılmış uskumru ürününün sertliği (kırılma kuvveti, kırılma kuvveti üretimi (g) ve deformasyonunun (cm) düştüğü belirlenmiştir. Bu nedenle, surimi bazlı ürünlere ilave edilen transglutaminaz miktarları ve reaksiyon süresi, önceden optimize edilmelidir (TSAI, et.al., 1996).

Tazelikte azalma ve donmanın neden olduğu denatürasyon sonucu ortaya çıkan zayıf jelleşme gücü mikrobiyal transglutaminaz kullanılarak engellenebilmektedir. Sonuçta, surimi jeli, surimiye mikrobiyal transglutaminaz ilave edilerek GL çapraz bağlarının oluşumu vasıtasıyla geliştirilebilmektedir (SAKAMATO et.al., 1995).

YASUNAGA ve ark. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada, Alaska mezgiti (*Alaska pollack*, *Theragra chalcogramma*) veya Chum som (*Oncorhynchus keta*)'dan yapılmış donmuş surimilere, tuz ve mikrobiyal transglutaminaz ilavesi yapılmış ve kıyma işleminden sonra iki aşamalı ısıtma işlemi yapılarak (kamaboko) jel elde edilmiştir. Her iki türden tuzlu kıyılmış surimide jel oluşumu, kullanılan ısıl işlem göz önünde bulundurulmadan, transglutaminaz ilavesi ile arttırılmıştır.

RAMÍREZ ve ark. (1999), tropik balıklardan üretilen suriminin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, mikrobiyal transglutaminaz uygulamasının optimum koşullarını araştırdıklarında inkübasyon koşullarını, farklı türlerden gelen balıklar için farklılık gösterdiğini, özellikle suyun sıcaklığından etkilendiğini saptamışlardır. Tropik balıklar için optimum şartların, soğuk su bölgelerindeki balıklar için gereken optimum şartlardan farklı olduğu belirlenmiştir. Mikrobiyal transglutaminazın, ılık su bölgelerinden elde edilen bazı balık türlerinin düşük mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılmasının kalite problemlerini engelleyebileceği düşünülmektedir.

LEE ve ark.(1977), surimli sol'larındaki transglutaminazdan etkilenen kovalent çapraz bağ oranının çeşitli yöntemlerle ayarlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu yöntemler; EDTA ilavesi (yapısal transglutaminazın kalsiyum ayırıcı ile önlenmesi), ön inkübasyon süresi ve sıcaklığındaki değişim ve mikrobiyal transglutaminaz ilavesini içermektedir.

JIANG ve ark. (1998), *Streptovorticillium ladakamum'* dan elde edilen mikrobiyal transglutaminaz'ın UV radyasyonla kombimasyonunun kıyılmış uskumrunun jelleşmesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Mikrobiyal transglutaminaz eklenmiş kıyılmış uskumrunun jel kuvveti, 0.47 birim/g'dan kontrolden 3 kat daha büyük olan 1789 g/cm. değerine ulaşmıştır. Mikrobiyal transglutaminaz, ilave edilmiş kıyılmış uskumru UV ışığa optimum radyasyon süresi olan 20 dak. tutulduğunda, jel kuvveti %25 artmıştır. UV radyasyonu, uskumru aktomyosininde, mikrobiyal transglutaminaz'ın katalize ettiği myosin ağır zincirinin çapraz bağlanmasını hızlandırdığı ve mikrobiyal transglutaminaz için optimum değeri, 0.47 birim/g. ve UV radyasyon için optimum sürenin, 20 dak. olduğu belirlenmiştir.

## ET ÜRÜNLERİNDE TRANSGLUTAMİNAZ KULLANIMI

Şekil verilmiş ve çeşitli katkıların kullanımıyla hacimce artırılmış et ürünlerinin formülasyonu üzerine önemli araştırmalar yapılmıştır (FUKAZAWA ve ark., 1961; HUANG, 1992; KURASHI, 1997). Bu araştırmaların çoğu; yapı, uygulanan teknikler ve et sistemlerindeki proteinler arasında bağlama kuvvetleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Pişmiş et sistemlerindeki protein-protein interaksiyonları incelendiğinde bir et sisteminde myosin jelleşmesinin tekstür ve bağlanmaya katkıda bulunan en önemli olay olduğu saptanmıştır. Et bazlı ürünlere, bu ürünlerin bağlama kuvvetini geliştirme amacıyla zincirler arası ve zincirler içi kovalent çapraz bağlarının dahil edilmesi imkanları araştırılmıştır.

Proteinlere kovalent çapraz bağların ilavesinde, enzimatik yöntemler kimyasal modifikasyonlara göre araştırmacılar ve tüketiciler tarafından daha kolay kabul edilmektedir. Yapılan bir araştırmada, plazma transglutaminazının, et işlemede ortak sıcaklık ve pH oranlarında myosin ve bazı yaygın olarak kullanılan et dolgu katkıları arasında kovalent çapraz bağlanmayı katalize edebildiği sonucuna varılmıştır. Kovalent bağlar, enzim tarafından hem sertlik öncesi hem de sertlik sonrası kasta bulunan pH değerlerinde oluşabilmektedir. Kazein, enzim için en iyi substrat olarak görülmektedir ve myosine en yüksek oranda çapraz bağlanmayı göstermektedir. Bunun, kazein ve plazma transglutaminazı için bir in vivo substratı olan fibrinojen arasındaki bazı benzerlikler nedeniyle olabileceği tahmin edilmektedir (KURTH ve ROGERS, 1984).

Mikrobiyal transglutaminazın iskelet kısımlarındaki proteinlerinin üzerindeki aktivitesi ile ilgili yapılan bir çalışmada, enzimin myosinin çubuk kısmında myosin filamentlerini hızla çapraz bağladığı belirlenmiştir. Bu çapraz bağlı myosin filamentleri yüksek iyonik kuvvetlerde çözünmemektedirler. Myosinin iç ve ara çubuk kısımları, çapraz bağlanma reaksiyonunda yer almaktadır. Ancak mikrobiyal transglutaminazın myosin S1'i aktine çapraz bağlamadığı ve ayrıca myosin MgTPase aktivitesini değiştirmediği belirlenmiştir (HUANG et.al., 1992).

KİM ve ark. (1993), tarafından yapılan bir araştırmada, kobay karaciğerinden elde edilen transglutaminazın, sığır aktomyosinin polimerizasyonunu arttırdığı saptanmıştır. Transglutaminaz yokluğunda, sığır aktomyosin solüsyonları, farklı sıcaklıklarda yapılan inkübasyonlarda hiçbir değişiklik göstermediği ve transglutaminaz ile 120 dak. inkübasyondan sonra, jel ağ örgüsü yapısının en fazla yoğunlaştığı saptanmıştır.

Bu sonuçlar, gıda proteinlerinin fonksiyonel ve reolojik özelliklerinin gelişmesi veya modifiye edilmesi için, transglutaminaz kullanım olanağını göstermektedir. Mikrobiyal transglutaminazın gelişimi, gelecekte, gıda işlemede fiyatın düşürülerek uygulanmasını hızlandırabilecektir. Transglutaminaz üzerine yapılan çalışmalar önemli finansal destek gerektiği için, bu alanda yapılan aktivitelerin çoğu, A.B.D. Japonya ve Kore'de gerçekleştirilmektedir. Çalışmaların daha geniş alana yayılarak hızlandırılması, Gıda Sanayii'nde gelişmelere neden olacaktır.

## KAYNAKLAR

- ANDO, H.; ADACHI, M.; K.; MATSUURA, A.; NONAKA, M.; UCHIO, H.; TANAKA, H.; MOTOKI, M., 1989. Purification and characteristics of a Novel Transglutaminase Derived from Microorganism. *Agricultural Biological Chemistry*, 53 (10) 2613-2617.
- ARAKI, H. and SEKI, N., 1993. Comparison of Reactivity of Transglutaminase to Various Fish Actomyosins. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (4) 711-716.
- FUKAZAWA, T.; HASMITO, Y.; YASU, T., 1981. Effects of Some Proteins on the Binding Quality of an Experimental Sausage. *Journal of Food Science*, 26: 541.
- HUANG, Y.P.; Seguro, K.; Motoki, M.; TAWADA, K., 1992. Cross-Linking of Contractile Proteins From Skeletal Muscle by Treatment with Microbial Transglutaminase. *Journal of Biochemistry*, 112, 229-234.
- JIANG, S.T. and LEE, J.J., 1992. Purification, Characterization and Utilization of Pig Plasma Factor XIIIa. *Journal of Agricultural Chemistry*, 40 (7) 1101-1107.
- JIANG, S.T.; LEU, S.Z.; TSAI, G.J., 1998. Cross Linking of Mackerel Surimi Actomyosin by Microbial Transglutaminase and Ultraviolet Irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 (12) 5278 - 5282.
- JOSEPH, D.; LANIER, T.C.; WICKER, L., 1993. Polymerization of Beef Actomyosin Induced by Transglutaminase. *Journal of Food Science*, 58 (3) 473-474. 491.
- KIM, S.H.; CARPENTERS, J.A.; LANIER, J.C.; WICKER, L., 1993. Polymerization at Beef Actomyosin Induced by Transglutaminase. *Journal of Food Science*, 58 (3) 473-474, 491
- KIMURA, I.; SUGIMOTO, M.; TOYODA, K.; SEKI, N.; ARAI, K.; FUJITA, T., 1991. A Study on the Cross-Linking Reaction, of Myosin In Kamaboko "Suwari" Gels. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57 (7) 1389-1396.
- KURASHI, 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.
- KURASHI, C.; TANNO, H.; SAKAGUCHI, S.; TANAKA, H., 1999. Effect of Transglutaminase Treatment on Retorted Surimi Gel. IFT Annual Meeting, Chicago, IL, USA-July 24-28.
- KURTH, L. and Rogers, P.J., 1984. Transglutaminase Catalyzed Cross-Linking of Myosin to Soya Protein, Casein and Gluten. *Journal of Food Science*, 49, 573-576.
- LEE, H.G.; LANIER, T.C.; HAMANN, D.D., 1997. Covalent Cross-linking Effects on Thermo-Rheological Profiles of Food Science, 62 (1) 25-28,32.
- LIU, M. and DAMODARAN, S., 1999. Effect of Transglutaminase-Catalyzed Polymerization of b-Casein on Its Emulsifying Properties. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 47 (4) 1514-1519.
- MOTOKI, M and Nio, N., 1983. Crosslinking Between Different Food Proteins by Transglutaminase. *Journal of Food Science*, 48, 561-566.
- MOTOKI, M., NIO, N.; TAKINAMI, K., 1984. Functional Properties of Food Proteins Polymerized by Transglutaminase. *Agricultural Biological Chemistry*, 48 (5) 1257-1261.
- MOTOKI, M. and SEGURO, K., 1998. Transglutaminase and Its Use for Food Processing. *Trends In Food Science and Technology* 9, 204-210.
- MATHEIS, G. and WHITAKER, J.R., 1987. A Review: Enzymatic Cross-Linking of Proteins Applicable to Foods.
- NI, S.; Nozawa, H.; SEKI, N., 1998. Effect of Microbial Transglutaminase on Thermal Gelation of Carp Actomyosin Sol. *Fisheries Science* 64 (3) 434-438.
- NIWA, E.; Suzumura, T.; Nowsad, A.A.; Kanoh, S., 1993. Setting of Actomyosin Paste Containing Few Amount of Transglutaminase. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (12), 2043-2046.
- NIO, N.; MOTOKI, M.; TAKINAMI, K., 1986. Gelation Mechanism of Protein Solution by Transglutaminase. *Agricultural Biological Chemistry*. 50 (5) 851-855.
- NONAKA, M.; TANAKA, H.; OKIYAMA, A.; MOTOKI, M.; ANDO, H.; UMEMA, K.; MATSUURA, A., 1989 *Agricultural Biological Chemistry*, 53 (10) 2619-2623.
- OHTSUKA, T.; SEGURO, K.; MOTOKI, M., 1996. Microbial Transglutaminase Estimation In Enzyme-treated Surimi-based Products by enzyme Immunosorbent Assay. *Journal of Food Science*. 61 (1) 81-84.

- RAMIREZ, J.A.; SANCHEZ, S.I.A.; GONZALEZ, M.O.G.; Vazquez,V.M., 1999. Optimal Setting Conditions for Surimi Gels Obtained from Silver Carp with Addition of Microbial Transglutaminase. IFFT Annual meeting, Chicago, II, USA- July 24-28.
- SAKAMOTO, H.; KUMAZAWA, Y.; TOIGUCHI, S.; SEGURO, K.; SOEDA, T.; MOTOKI, M., 1995. Gel Stength Enhancement by Addition of Microbial Transglutaminase during Onshore Surimi Manufacture. *Journal of Food Science*. 60 (2) 300-304.
- SEGURO, K.; KUMAZAWA, Y.; OHTSUKA, T.; TOIGUCHI, S.; MOTOKI, M., 1995. Microbial Transglutaminase and e-(a Glutamy) lysni eCrosslink Effects on Elastic Properties of Kamaboko Gels. *Journal of Food Scince*, 60 (2) 305-311.
- TAKEDA, H. and SEKI, N., 1996. Enzyme-catalyzed Cross-linking and Degradation of Myosin Heavy Chain in Walleye Pollack Surimi Paste During Setting. *Fisherles Science*, 62 (3) 462-467.
- TSAI, G.J.; LIN, S.M.; JIANG, S.T., 1996. Transglutaminase from *Streptovercillum ladakanum* and Application to Minced Fish Product. *Journal of Food Science*, 61 (6) 1234-1238.
- YASUNAGA, K.; ABE, Y.; NISHIOKA, F.; ARAI, K., 1998. Change in Quality of Preheated Gel and a Two-step Heated Gel from Walleye Pollack and Chum Salmon on Addition of microbial Transglutaminase. *Nippon Suisan Gakkaishi* 64 (4) 702-709.
- YILDIRIM, M., and HETTIARACHCHY, 1997. Biopolymers Produced by Cross-linking Soybean 11S Globulin with whey proteins Using Transglutaminase. *Journal of Food Science*. 62 (2) 270-275.
- WANG, S.L. and LANIER, T.C., 1999. Application of Microbial Transglutaminase in the Development of a Surimi Based Noodle. IFT Annual Meeting, Chicago, II, USA-July 24-28.