

SURİMİ JELİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

FACTORS AFFECTING PHYSICAL PROPERTIES OF SURIMI GEL

Meltem SERDAROĞLU, Elvan FELEKOĞLU

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir
Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama ve İşleme Bölümü, İzmir

ÖZET: Surimi ticari olarak jel oluşturma özelliğine sahip kıyılmış balık etinin rafine edilmiş halidir. Kas proteinlerinin jelleşmesi, bu ürünlerde istenen su ve doku stabilizasyonunu sağlar. Balık protein jelinin fiziksel özellikleri bazı faktörlerle etkilenir. Bunlar çiğ balığın özellikleri, yıkama ve arıtma, parçalama, ısı setting ve depolamadır. Bu derlemede, surimi tipi ürünlerde stabilizasyonu ve jel formasyonunu etkileyen faktörler değerlendirilmiştir.

ABSTRACT: Surimi products are minced and refined fish meat which have gelling ability. Gelation of muscle proteins contributes to desirable texture and stabilization of water in muscle protein products. There are some factors which affect the physical properties of fish protein gel. These factors are; condition of raw fish, washing and refining, comminuting and heat application and storage. In this review, factors affecting gel formation and stabilization in surimi type products were evaluated.

GİRİŞ

Surimi, suyla yıkanıp süzildükten sonra raf ömrünü uzatmak amacıyla, çeşitli katkı maddeleri ile karıştırılan, kıyılmış balık etidir. Surimi, balık ve diğer su ürünlerinden üretilen bir çok ürünün temel katkısıdır. Üretimde en çok kullanılan balıklar, Alaska mezgit ve kırmızı mezgit, bunların yanı sıra bol av veren ve önemli ekonomik değeri olmayan bir çok balık türü ve yengeç, istakoz gibi su ürünleri de surimi üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır (REPPOND ve ark., 1995; PARK ve ark., 1997; GAO ve ark., 1999; VISSANGUAN ve ark., 2000).

Surimi üretiminde kullanılacak olan hammadde, önce baş ve iç organlardan temizlenir, fileto çıkarılır ve et, %2-3 tuz ile parçalanarak kıyma haline getirilir. Kıyılmış balık eti birkaç kez buzlu suyla yıkanır, süzülür ve nemi %74-78'e ayarlanır. Kıyılmış et yıkanıp süzildükten sonra iyice öğütülerek karıştırılır. Daha sonra şeker aroma vericiler, protein katkıları, jelleşmeyi arttırıcı maddeler (KBrO ve CaCl₂, nişasta) ve yumurta akı, soya proteinleri gibi, bağlayıcı katkılar eklenir. Elde edilen hamur paketlenir ve dondurulur (LEE, 1992; MARTIN, 1992; GAO ve ark., 1999)

2. SURİMİ JELLEŞMESİNİN KİMYASI:

Et ürünlerin üretiminde proteinlerin ısıyla jelleşmesi üründe tekstürel özelliklerin geliştirilmesi açısından önemli bir özelliktir. Tuzla beraber parçalanmış balık etinde 40°C altındaki sıcaklıklarda jelleşme oluşur, bu düşük sıcaklıkta, sol haldeki balık eti üç boyutlu protein ağının gelişmesi ile jel hale döner (NIWA, 1992).

Surimi, kıyılmış balık etinden sarkoplazmik proteinler uzaklaştırılarak, konsantrasyon haline gelen miyofibriller proteinlerin jelleştirilmesi ile elde edilen bir üründür (VISSANGUAN ve ark., 2000). Balık kas proteinlerinin yaklaşık %70'ini tuzlu suda çözünebilir miyofibriller proteinler (aktin, miyosin), %30'unu ise suda çözünebilir sarkoplazmik proteinler oluşturur. Bağ doku proteinlerinin toplam protein içindeki oranı çok düşüktür. Ayrıca balık kası, bağ doku proteinlerini memeli kasından çok daha az içermektedir (KIMURA, 1991).

Suriminin elastik jel haline gelmesinden büyük oranda miyosin sorumludur, miyosin kas proteinlerinin %55-60'ını oluşturur. Balık kasında bulunan miyofibriller ve sarkoplazmik proteinlerinin dağılımı türlere göre farklılık göstermektedir. Balık kas dokusu, tuz ile işlendiğinde memeli kas dokusuna oranla daha kararlı jel matrisi oluşturmaktadır. Miyofibriller proteinlerinin bu fonksiyonel özelliği, çeşitli ürünlerin üretilmesinde temel basamağı oluşturan surimi üretiminde önemlidir (LEE, 1992).

Suriminin ısıyla jelatinizasyonu myofibriller proteinlerde yapısal ve fonksiyonel değişikliklere yol açan karmaşık fizikokimyasal işlemdir. Myofibriller ağın oluşumu ayrışma, ısı denatürasyonu ve toplanma gibi üç basamakla oluşur. (ROUSSEL ve CHEFTEL, 1990). Balık kıyması, tuzlu su ile parçalandığında akışkan özellikte sol oluşur. Miyofibriller proteinlerin sol oluşturabilmesi için, tuz yardımıyla suda çözünmesi gerekmektedir. Tuz, kas lifleri ve roteinlerde önemli yapısal değişikliklere neden olur ve myosin, aktin ve diğer myofibriller yapının çözülmesini sağlar. Protein yapısının kısmen açılması, artırılan sıcaklıkla hızlanır ve üç boyutlu ağı oluşturmak üzere protein molekülleri arasındaki açılmış bölgeler toplanır (PARSONS and KNIGHT, 1990).

Surimide myosin, aktin ve diğer proteinler kompleks halinde bulunur ve hepsine birden elastik jel haline dönebilen aktomyosin denir. Aktin tek başına ısıtıldığında kuvvetli jel oluşturamaz, aktomyosinin jel oluşturma özelliği myosinden kaynaklanır, bununla birlikte, aktinle bağlanma myosinin jel oluşturma karakteristiklerini modifiye eder.

Aktomyosinin jelleşme karakteristikleri, türe özgü myosin özelliklerine ve molekülün ağır zincirdeki kalıtsal özelliklerine bağlıdır. Myosini oluşturan amino asitlerin yarıdan fazlası, hidrofilik özelliktedir ve yaklaşık %80'i bazik ve asidik amino asitlerden oluşmuştur, bu amino asitler moleküler yüzey üzerinde dağılırlar ve su ile etkileşebilirler. Ölüm sonrası balık etinin yada suriminin pH ında, glutamik asit ve aspartik asitin karboksil grupları negatif olurken, lizin ve arginin kalıntılarının amino grupları pozitif olur. Böylece, moleküller arası tuz bağlanması bu gruplar arasında oluşur ve suda çözünmeyen miyofibriller proteinler birbirleri ile bağlanır. Tuz katıldığında, tuz iyonları su ile hidrat oluşturur ve protein yüzeyine bağlanır. Tuzun eklenmesi, parçalamanın yada öğütmenin derecesine etki ederek protein çözünürlüğünü artırır. Bununla birlikte, ısı-setting jelde elastik yapının gelişmesi için de gereklidir.

Endojen transglutaminaz, suriminde jelleşmeden sorumlu bir enzimdir (SEKİ ve ark., 1990). Üretim sırasında eklenen mikrobiyal transglutaminaz ise, düşük sıcaklık sırasında surimi jellerinin sertleşmesine yardımcı olmaktadır.

Transglutaminazın etkisi ile artan kovalent çapraz bağlar, surimi jellerinde kauçuk elastik davranışın derecesini Jelatinizasyon disülfid bağları oluşumu ve hidrofobik interaksyonları da kapsayan, molekül içi kovalent ve kovalent olmayan interaksyonlara yol açan protein denatürasyonunun sonucudur (LEE ve LANIER, 1995).

Surimi üretiminde, proteinlerin jel matriksi oluşturmasını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Protein jeli oluşumunu, kullanılan balık türü ve balığa ait özellikler, arıtma işleminde kullanılan suyun özellikleri, sol oluşumu, jelleşme sıcaklığı, ve myofibriller proteinler arasındaki interaksyonlar etkilemektedir (SHIMIZU ve ark., 1981; SHIMIZU ve KAGURI, 1986).

3. ÇİĞ BALIĞIN ÖZELLİKLERİ

Balık, avlama yöntemine göre ölüm sonrası biyokimyasal değişimler açısından farklı durumlarda bulunur. Balık etinin sertlik öncesi ve sertlik sonrasında işlenmesi, jel kalitesini önemli oranda etkilemektedir (PARK ve ark., 1990). Sertlik öncesi surimiye işlenen balıklarda, protein dönüşümü, ürün kalitesi ve ürün verimi daha yüksek olmaktadır. Sertlik öncesinde suyla yıkanan balık kıymalarında, parçalanmamış partiküller oluşur ve partiküllerin parçalanmamış olması, daha az şişmeye neden olur. Balık etinde ölüm sertliğinin gelişmesi toplam ekstrakte edilebilen protein miktarını azaltır (SWAFFORD ve ark., 1985).

Balık jellerinin jel kuvvetinden, ısıya dayanıklı proteaz sorumludur. Ölüm sonrasında, kas proteazlarının aktivitesi sonucu, kas dokuda proteoliz başlar. Proteolitik aktivite, balığın türü, balık gövdesinin çeşitli bölümleri, sıcaklık pH' ya bağlı olarak değişir. Miyofibriller proteilerin proteolitik parçalanması, balık etinin jelleşme yeteneğinin önemli oranda azalmasına neden olur, hatta balık buzda depolandığında bile aktomyosin miktarında azalma gözlenir. Proteolitik aktivite için optimum sıcaklık olan 60°C da, tekstür sıklığı azalmaktadır, bu sıcaklıkta işlenen jellerde, tekstürel sıklık kaybolur ve ekstrakte edilebilen myosin miktarı azalır. Katepsin B ve L gibi ısıya dayanıklı alkali proteazlar surimi üretiminde modori olarak anılan doku yumuşamasına neden

olabilmektedir. Her iki enzimde aktomyosini düşük moleküler ağırlıklı fragmentlerine ayırabilir (JIANG ve ark., 1997). Buzda depolanan baklıklarda, proteoliz gelişimi türe göre değişim göstermektedir. Bu sıcaklığın altında ve üstünde, jellerin tekstürel sıklığı ve ekstrakte edilebilen myosin miktarı artar (LANIER ve ark., 1981). Kıyma halindeki balık etinin jelleşme yeteneği ekstrakte edilebilen aktomyosin konsantrasyonu ve toplam ATP-az aktivitesi ile saptanabilir. Surimi bazlı gıdalarda endojen proteazların neden olduğu yumuşak tekstür problemi, sığır plazma proteini, peynir suyu proteinleri, yumurta beyazı, buğday gluteni gibi proteaz inhibitörlerini içeren katkılarla azaltılabilir. (REPPOND ve ark., 1995; KANG ve LANIER, 1999).

Türe bağlı olarak miyofibriler proteinlerinin jelleşme yeteneği, balığın tazelik durumu ve mevsim faktöründen etkilenir, bununla birlikte, genetik faktörler ve yaşadığı ortam da etkili olabilir. Genelde, miyofibriler ve sarkoplazmik proteinlerin dağılımı aynı olmasına rağmen gadoid türlerin etleri, yassı balıklardan daha iyi jelleşme yeteneğine sahiptir. Jelleşme yeteneğini belirlemede, kalıtsal fonksiyonel özellikler ve miyofibriler proteinlerin tipi önemlidir. Her türe özgü jelleşmenin uygun olarak sağlanabildiği, en uzun depolama süresi tespit edilebilir. Alaska mezgiti (*Theregra chalcogramma*) ve kırmızı mezgit (*Urophycis chuss*) buzda iki gün jelleşme yeteneği etkilenmeden depolanabilmektedir (SEKİ, 1990).

Üretimde kaliteyi etkileyen problemlerden biri de, farklı mevsimlerde, türlerde gözlenen kalite değişimidir. Hayvanın vücudu, özellikle kas dokusu, beslenme ve yumurtlama nedeniyle mevsimsel değişiklikler geçirmektedir. Yumurtlama sırasında ve sonrasında, beslenme mevsimi başlamadan önce, balık eti jelleşme yeteneğini yitirir, bunun nedeni ise, bu devrede kas dokunun proteolitik yıkımına neden olan proteolitik aktivitenin artmasıdır (JIANG ve ark., 1996).

Surimi üretiminde kuvvetli elastik özelliklerde jel elde etmek için dondurarak depolama sırasında denatürasyon olmaması gerekir, taze yüksek kaliteli hammadde kullanılması gerekir. Dondurularak depolama sırasında protein polimerizasyonu, kalitenin düşmesine neden olur (SAKAMOTO ve ark., 1995).

4. PARÇALAMA

Parçalama ve kıymanın amacı, kas dokusunun küçük parçalara ayırarak tuzun daha geniş bir yüzeye yayılmasını ve böylece miyofibriler proteinlerin etkili olarak çözünmesini sağlamaktır. Balık kas dokusu, tuz ve su ile parçalandığında, öncelikle miyofibriler proteinler (myosin ve aktomyosin) çözülebilir hale gelir ve yapışkan özellikte sol oluşur. Solun özelliği, akış davranışı yani vizkozite ile belirlenir. Sol görünüşü, protein çözünürlüğünden etkilenmektedir. Solun viskozitesi, surimi kalitesinde önemli bir fiziksel parametredir ve proteinin fonksiyonelliği yani jelleşme yeteneği ile ilişkilidir (GAO ve ark., 1999; LEE, 1992).

Solun ve jelin fiziksel ve reolojik (vizkozite) özellikleri birçok faktörden etkilenir. Bu faktörler, miyofibriler proteinlerin fonksiyonel özelliği, kullanılan tuz oranı (iyonik güç), nem, parçalama süresi, sıcaklık, pH, katılma zamanı ve sıcaklığıdır (LEE ve ark., 1997).

4.1. Tuz

Tuz (NaCl), solun oluşumunda miyofibriler proteinlerin çözünürlüğünün sağlanması için kullanılır. Isıyla jelleşmenin açılması, elastikleşme için temel adımdır Na⁺ ve Cl⁻ iyonları, asidik ve bazik amino asit kalıntılarını bağlar, protein molekülleri arasındaki iyonik bağlar kırılır, su molekülleri yer değiştirir ve miyofibriler proteinler tuz solusyonu içinde çözünür hale gelir. (LANIER, ve ark., 1981). Her balık türü için, miyofibriler proteinlerin en yüksek çözünürlüğü için gereken farklı şartlar bulunmaktadır. Alaska mezgiti için %1.5, kırmızı mezgit için %2 tuz konsantrasyonu yeterlidir. Memeli kas proteinleri ise, maksimum çözünürlük için, balık kas proteinlerinden daha yüksek tuz konsantrasyonlarını gerektirmektedir. Örneğin, sığır eti proteinlerinin en yüksek çözünürlüğü için yaklaşık %5 NaCl gerekir (LEE 1992). Yapılan bir çalışmada sardalya balıklarında %2.44, %2.8 ve %2.04 oranında tuz kullanılmış ve artan tuz oranı gel kuvvetini artırdığı saptanmıştır (ALVEREZ ve ark., 1995)

4.2. Nem

Suyun tutulması proteinlerin fonksiyonel özelliklerinden biridir. Protein jeli, protein matriksi ve sudan oluşmaktadır ve jel şiddeti, matriks içindeki suyun bağlanma oranına bağlıdır. Suyun az miktarda bağlanması jel gücünü artırır.

Balık kıymasının jel şiddeti, eklenen suyun miktarının artmasıyla doğrusal olarak azalır (GAO ve ark., 1999). Yıkılmamış İspanyol uskumru kıymasında (*Scomberomorus maculatus*) nem seviyesi, kritik nokta %74'ün altına düştüğünde jel esnekliği ve yapışkanlık azalır, ve sertlik artar, ayrıca eklenen suyun miktarı, son ürünün dokusunu da etkilemektedir. ALVAREZ ve ark., (1995) ise sardalyalarda %78 nem oranında en yüksek jel kuvvetinin sağlandığını belirtmişlerdir.

Pratikte, su bağlama yeteneği formülasyonu optimize etmede çok yararlıdır. Su bağlama kabiliyeti kırmızı mezgiti için %6.8/kg, Alaska mezgiti için %9.0/ kg dir. Su aynı zamanda, jelin dondurma-soğutma stabilitesini de etkiler (LEE, 1992). Jel gücü, bağlı suyun sahip olduğu içeriklerle gelişebilir. Suyu bağlama kapasitesine sahip katkılar; nişasta, toz selüloz ve balıkta bulunmayan proteinlerdir (THIEBAUD ve ark., 1996, GAO ve ark., 1999). Nişasta, hem suyu absorbe eder hemde ısı jelatinizasyonu sırasında genişler ve bir elastik doku formunu alır. Böylece jel matriksi oluşur. Nişastanın aksine, selüloz ve proteinler jel güçlendirme yeteneğine sahip değildir, bu katkılar yayılmaz ve etkili olarak suyu absorbe edebilmelerine rağmen nişasta gibi elastik doku formunu alamazlar (YANG ve PARK, 1998).

Surimi jellerinin tekstürü üzerine nişastanın etkileri kullanılan nişasta miktarına, modifikasyonuna, ve amiloz ve amilopektin oranına bağlıdır. Nişasta jel şiddetini düşük konsantrasyonlarda daha fazla artırır, modifikasyon granüllerin kolayca şişmesine neden olur ve jel gücünü artırır, amilopektin içeriği ise granülleri şişirir ve jel gücünü artırır yüksek miktarlarda amiloz ise, jel gücünü azaltır (LEE ve ark., 1997; YANG ve PARK 1998).

4.3. pH:

Surimi protein jelinin gücü, karıştırılmış surimi hamurunun pH sına bağlıdır. Optimum pH, suriminin hazırlandığı balık türlerine, formülasyona, katkı maddelerinin tiplerine ve birbirleri ile olan etkileşimlerine göre değişir. Katkı maddeleri eklenmediği durumda surimide pH 6-7 arasında olmaktadır, minimum jel gücünün pH 5 de olduğu belirtilmektedir. pH 7 nin üzerine çıkmasıyla jel gücünde kademeli bir azalma olur. pH nin jel formasyonunu etkilemesinin nedeni, miyofibriler proteinlerin su bağlama yeteneğinin pH ya bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. (LEE, 1992).

4.4. Parçalanma Süresi ve Sıcaklık:

Miyofibriler proteinlerin en yüksek çözünürlüğünü ve fonksiyonel özelliklerin en az etkilemesini sağlamak amacıyla, parçalama süresi ve sıcaklığı kontrol altında tutulur. Böylece protein polimerizasyonu sağlanır. Dolayısıyla ekstrakte edilebilir miyosin miktarı, parçalama süresinin belli bir noktaya yükselmesiyle artar. Bu noktanın ötesinde ekstrakte edilebilir miyosin oranı, protein-protein etkileşimi nedeniyle ve protein polimerizasyonu sonucu azalır. Bu nedenle fonksiyonel bir özellik olan bağlayıcı özelliğini yitirir. Jel şiddetindeki azalma, uzayan parçalama süresi ile ekstrakte edilebilir miyosinin de azalmasından kaynaklanmaktadır. Parçalama kabının dönme hızı, bıçak hızı ve büyüklüğü ve protein çözünürlüğünü etkiler (TOYODA ve ark., 1992).

Kıyma-parçalama işlemi sırasında sulu hamurun sıcaklığının artması nedeniyle, balık miyofibriler proteinlerinin tolere edebildiği sıcaklık göz önünde bulundurulmalıdır. Kırmızı mezgiti, alaska mezgitinden ısısal olarak daha stabil olduğu görülmüştür. Kırmızı mezgiti ve alaska mezgiti için tolere edilebilir parçalama sıcaklıkları sırasıyla 15° C ve 10°C dir. Parçalama sıcaklığındaki artış ile jelleşme yeteneğindeki azalma, protein-protein interaksyonundan kaynaklanan protein fonksiyonelliğindeki değişimler nedeniyle olur. Bununla birlikte, protein-protein interaksyonu ısısal yada ısısal olmayan nedenlerle oluşur. Protein çözünürlüğünde sıcaklık yükselmesi dışında, mekanik karıştırma da etkilidir (LEE, 1992).

5. ARITMA

Aritma terimi, yıkama ve süzmeyi içermektedir. Yıkama işlemi ile sarkoplazmik proteinler uzaklaştırılır (Şekil 1). Bu işlemde; 1:3 oranında et:su kullanıldığında uzaklaştırılan sarkoplazmik protein miktarı en yüksek değere ulaşmaktadır, sarkoplazmik proteinler aktomyosin çapraz bağlanmasını etkileyerek üç boyutlu jel olu-

şumunu geciktirmektedir. Miyofibriler proteinlerin yoğun hale gelmesi, balık kıymasının jelleşme özelliğinin artmasına neden olur, ikinci yıkamadan sonra yapılan yıkama işlemleri, miyofibriler protein oranında artışa neden olmakla birlikte, jel oluşum gücünü etkilememektedir (LEE, 1992).

Yıkama işlemi sonrasında, kıymada az miktarda bulunan yağ dokuyu uzaklaştırmak amacıyla süzme işlemi uygulanır. Süzülen kıymadan elde edilen jel, pürüzsüz, düzgün ve hafif balık tadına sahiptir bununla birlikte, süzmenin jel şiddeti üzerine etkisi yoktur. Arıtma işleminin etkinliği su kalitesi ve yıkama süresi ve su sıcaklığına bağlıdır (LEE, 1992).

5.1. Su Kalitesi

Surimi üretiminde yıkama amacıyla kullanılan suyun kalitesi ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Yıkama suyunda fazla miktarda bulunan Ca ve Mg gibi inorganik tuzlar, çığ suriminin dondurularak depolanması sırasında aktomiyosin denaturasyonuna neden olarak proteinlerin jelleşme yeteneğini azaltır. Ca^{+2} konsantrasyonunun yüksek olması, jel matriksi sıkılaşmasının azalmasına neden olur. Donmuş depolama sırasında jel özellikleri üzerinde Ca^{+2} nin tipik etkisi, sert ve lastiksi dokunun gelişmesi ile gözlenir (TOYODA ve ark., 1992; LEE, 1992).

Ca^{+2} etkisi için istenen mekanizma, protein- Ca^{+2} kompleksinin stabilitede artışı sağlanmasıdır. Yıkama suyunun pH sı, arıtma işlemi sırasında su tutmayı ve jelleşme yeteneğini etkiler. Yıkama suyunun pH sı 6.5-7.0 olduğunda balık proteinlerinin fonksiyonel özellikleri yüksek olmaktadır (TOYODA ve ark., 1992; SAKEI ve ark., 1989).

5.2. Yıkama Süresi ve Su Sıcaklığı

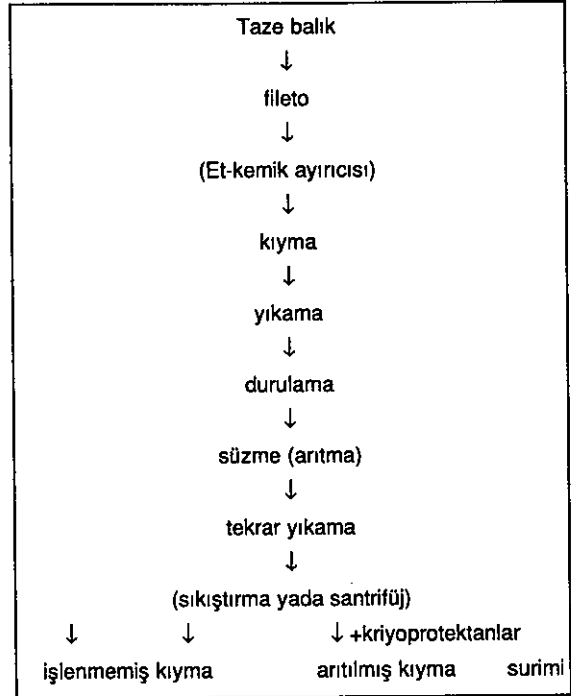
Yıkama işlemi ile balık kıymasından kan, yağ, suda çözünen proteinler ve diğer azotlu bileşikler uzaklaştırılır (LEE, 1984). Yıkama ile suda çözünen sarkoplazmik fraksiyonda bulunan jel inhibitör faktörleri de uzaklaştırılır.

Yıkama süresi 9-12 dk. arasında tutulduğunda ekstrakte edilen protein miktarı en yüksek düzeyde olmaktadır (TOYODA ve ark., 1992). Bununla beraber çeşitli balık türlerine ait myosin özellikleri araştırıldığında ısı kararlılığı en yüksek olanın ringa kası, kararlılığı en düşük olanın ise mezzit kası olduğu saptanmıştır (CONNELL, 1961). Sarkoplazmik proteinlerin uzaklaştırılması sıcaklığa da bağlıdır. 3-27°C arasındaki çalışma sıcaklığında, protein ekstraksiyonunun yıkama suyu sıcaklığındaki artış ile doğrusal olarak arttığı saptanmıştır. Uygun seçilen sıcaklık, miyofibriler proteinlerin ısı dayanıklılığını etkilememektedir. Bunun dışında kullanılan sıcaklıklarda miyofibriler proteinler jelleşme yeteneğini yitirir.

6. JELLEŞME

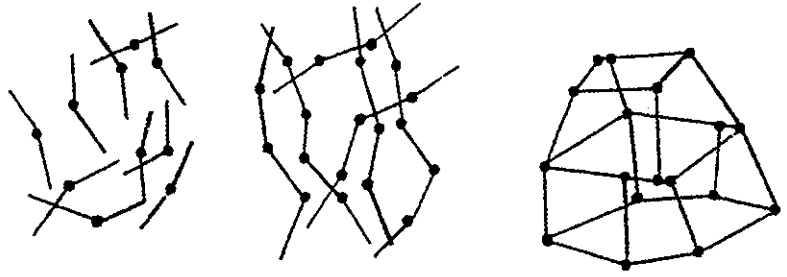
Miyofibriler proteinlerin, tuz ve suyun uygun miktarları ile parçalanma sonrasında dönüştüğü sol formu, ısıtılarak veya ısıtılmadan peptid zincirinin geri dönüşümsüz değişimiyle jel formuna dönüşür. Jel, miyofibriler proteinlerin ısı nedeniyle birbirine geçişi veya bağlanması sonucu oluşur. Solun jelle dönüşümünde, 3 boyutlu ağ yapısı oluşur (NIWA, 1992) (Şekil 2).

Balık protein jeli ısı işlem uygulaması ile üç boyutlu yapısında oluşan değişiklikler göz önüne alındığında üç basamak geçirir; suwari modori ve kamaboko. Suwari jel oluşma basamağıdır, balık kıyması



Şekil 1. Balık kıymasının arıtılma işlemi: (LEE, 1992)

%2-3 tuz içerdiğinde 40-50°C ısıtıldığında oluşan gevşek protein ağını tanımlar. Modori, gevşek protein ağının 50-60°C'ye ısıtılması ile kısmen tahrip olmuş halidir. Modori, ısıyla aktive olan endojen proteinazlar veya/ve myofibriller proteinlerin termal davranışının sonucu gelişir. Kamoboko ise, 65-70°C'de oluşan sağlam elastik jel yapıyı tanımlar (VISESSANGUAN ve ark., 2000).



Şekil 2. Surimide jel ağ oluşumu (NIWA, 1992)

Jelleşme süresi sıcaklığa bağlıdır, ısısal olmayan denaturasyon uzun süre gerektirir. Soğuk, kısmen sıcak ve sıcak olmak üzere 3 farklı şekilde jelleşme yapılabilir.

6.1. Soğuk Jelleşme

Soğuk jelleşme, ısı gerektirmez, buzdolabında 0-4°C veya oda sıcaklığında 22°C'de yapılır. Buzdolabı sıcaklığında 22°C'de yapılır. Buzdolabı sıcaklığında jelleşme süresi uzun olmakla birlikte, oda sıcaklığında gelişen jelle oranla daha biçimli bir jel elde edilir.

Soğuk jelleşmede jel gücü, süreye ve jel ağ formasyonundaki birincil H bağının tipine bağlıdır. Proteinin ısısal denaturasyonu sonucu, opak bir görünüme sahip olan ürün, pişmiş jellerle karşılaştırıldığında şeffaf ve camsı görünüme sahiptir.

6.2. Kısmen-Sıcak Jelleşme

Kısmen-sıcak jelleşme, proteinin hafif denature olduğu 40-50°C sıcaklıkta uygulanır. Bu sıcaklıklarda elde edilen jellere suvari denir. Bu uygulamada, ağ formasyonunda hidrofobik bağlanmalar gereklidir. En az jel gücü 60°C'deki jelde gözlenmiştir. Jel yumuşaklığının artmasına "jel yumuşaması" yada "moderi denir. Balık kas proteininin jel yumuşaklığı türlere göre değişir (JIANG ve ark., 1997).

Jel oluşumu düşük sıcaklıklarda uzun sürede, yüksek sıcaklıklarda ise kısa sürede gerçekleşir. Sıcaklık ve zaman arasındaki denge yüksek kalitede ürünlerin üretimi için önemlidir. Pratikte, kısmen-sıcak jelleşme son pişirme işleminden önce yapılır. Son ürünün doku kalitesi büyük ölçüde kısmen sıcak jelleşmenin ayanlanmasına bağlıdır (LEE, 1992)

6.3. Sıcak Jelleşme

Sıcak jelleşmede sol, 80-95°C'de işlenir. Jel oluşum süresi, ürünün büyüklüğüne ve tipine göre genellikle 20-40 dk sürer. Sıcak jelleşme sırasında, proteinler denature olur ve hidrofobik ve disülfid bağları H bağlarına eklenir. Bu sıcaklıkta oluşan jellere kamaboko denir. Yüksek sıcaklıkla olan protein topaklanması yüzünden, pişirilen jelin protein ağı, sıcak jelleşme ile hazırlanana oranla daha düşük şekillenme ve yoğun yapı gösterir. Jel gücü ve yapışkanlık, ısının yayılmasıyla azalır. Jel yapışkanlığındaki azalma, ısısal topaklanmanın yayılması sonucu oluşur. Jelin dokusal özellikleri, ön-ısıtma sırasında sıcaklık kullanımına bağlıdır (LEE, 1992).

Sonuç olarak, surimi üretiminde önemli bir basamak olan protein jelleşmesini etkileyen koşullarla ilgili bazı soruların yanıtızsız kaldığı söylenebilir. Proteinlerin jelleşme yeteneğinin türe bağlı olarak değişimi, proteolitik enzim sisteminin depolama sırasında kontrolü, stabiliteyi arttırmak için çeşitli katkı maddelerinin denenmesi gibi araştırılması gereken konuların olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ALVAREZ, C., COUSO, I and TEJADA, M. 1995. Sardine surimi gels as affected by salt concentration, blending, heat treatment and moisture, J. Food Sci. 60: 3, 622-626.
- ALVAREZ, C., COUSO, I and TEJADA, M. 1999. Thermal gel degradation (modern) In sardine surimi gels. J. Food Sci. 64:4, 633-637.

- CONNELL, J.J. 1961. The relative stability of the skeletal muscle myosin of some Animals. *Biochem. J.* 80: 503-509.
- GAO, J.C., PIGOTT, M.G. and RENIE, B. 1999. Gel forming additive effects on properties of thermally induced minced fish gel. *J. Food Sci.* 64: 3, 414-417.
- JIANG, S.T; LEE, J.J and CHEN, HC. 1996. Proteolysis of actomyosin by cathepsins B, L, L-like and X from mackarel (*Scomber australis*). *J. Agric. Food Chem.* 44: 768-773.
- JIANG, S.T; LEE, B.L; TSAO, C.Y. and LEE, J.J. 1997. Mackarel cathepsins B and L effects on thermal degradation of surimi. *J. Food Sci.* 62: 2, 310-315.
- KANG, I. S and LANIER, T.C. 1999. Bovine plazma protein functions in surimi gelation compared with cysteine protease inhibitors. *J. Food Sci.* 64: 5, 842-846.
- KIMURA, I., MASAOKI, S., TOYODA, K., SEKI, N., ARAI, K and FUJITA, T. 1991. A study on the cross-linking reaction of myosin in kamaboko "suwari" gels. *Nip. Suis. Gak.* 57:7, 1389-1396.
- LANIER, T.C., LIN, T.S., HAMANN, D.D and THOMAS, F.B. 1981. Effects of alkaline protease in minced fish on texture of heat-processed Gels. *J. Food Sci.* 46: 1643-1645
- LEE, C.M., 1984 Surimi process technology. *Food Technol.* 38: 11, 69-80
- LEE, C.M. 1992. Factors affecting physical properties of fish protein gel, p. 43-68 In George R R Flick, JR; Roy E. Martin (Eds), *Advances in Seafood Biochemistry, Composition and Quality*, Technomic publishing Co, Lancaster, Basel.
- LEE, H.G. and LANIER, T.C, 1995. The role of covalent linking in the texturizing of muscle protein sols. *J. Muscle Foods* 6: 125-138.
- LEE, H.G; LANIER, T.C; HAMANN, D.D and KNOPP. A. 1997. Transglutaminase Effects on low temperature gelation of fish protein sols. *J. Food Sci.* 62: 1, 20-24.
- MARTIN, R. 1992. Surimi products, p. 377-391. In GEORGE R Flick, JR; ROY E. MARTIN (Eds), *Advances in Seafood Biochemistry, Composition and Quality*, Technomic publishing Co, Lancaster, Basel.
- NIWA, E. 1992. Chemistry of surimi gelation p. 389-427. In T.C. Lanier and C.M. Leed (Eds.), *Surimi Technology*, p. Marcel Dekker, New York.
- PARK, W.J., KORHOREN, R.W. and LANIER, T.C. 1990 Effects of rigor mortis on gel-forming properties of surimi and unwashed mince prepared from tilapia. *J. Food Sci.* 55: 2, 353, 360.
- PARK, J.W; LIN, T.M; YONGSAWATDIGUL, J. 1997. New developments in manufacturing of surimi and surimi seafood. *Food Rev. Int.* 577-610.
- PARSONS, N and KNIGHT, P. 1990, ORIGIN of variable extraction of myosin from myofibrils treated with salt and pyrophosphate. *J.Sci. Food Agric.* 51-71.
- REPPOND, K.D., BABBITT, J.K., BERNTSEN, S and TSURUTA, M. 1995. Gel properties of surimi from pacific herring. *J. Food Sci.* 69:4, 707,714.
- ROUSSEL, H and CHEFTEL, C. J. 1990. Mechanizms of gelation of sardine proteins: influence of thermal processing and various additives on the texture and protein solubility of kamaboko gels. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25: 260-280.
- SAKAMOTO, H., KUMAZAWA, Y., TOIGUCHI S., SEGURO, K., SODEA, T and MOTOKI, M. 1995. Gel strength enhancement by addition of microbial transglutaminase during onshore surimi manufacture. *J. Food Sci.* 60: 2, 300-304.
- SAKEI, H; WAKAMEDA, A., ICHIARA, Y and SASAMOTO, Y. 1989. Effect of CaCl₂ on the elution of cross linking factor in Alaska Pollack. *Nip. Suis. Gak.* 55: 1867-1869.
- SEKI, N., UNO, H., LEE, N-H; KIMURA, I., TOYODA, K., FUJITA, T and ARAI, K. 1990. Transglutaminase activity in Alaska pollock muscle and surimi and its reaction with myosin B. *Nip Suis Gak.* 56: 125-132.
- SHIMIZU, Y., MACHIDA, R and TAKENAMI, S. 1981. Spices variation in gel forming characteristics of fish meat paste. *Nip. Suis. Gak.* 47: 95-104.
- SHIMIZU, Y and KAGURI, A. 1986. Influence of death condition and freshness on the gel forming characteristics of fish meat paste. *Nippon Suis. Gakkaishi* vol. 52: 1837-1841
- SWAFFORD, T.C., BABBITT, J., REPPOND, K. and HARDY, A. 1985 SURIMI Process yield improvements and quality contribution by centrifuging. *Proc. Intl. Symp. Eng. Seafood Incl. Surimi*. National Fisheries Institute. P: 483.
- THIEBAUD, M., DUMAY, E and CHEFTEL, J.C. 1996. Influence of process variables on the characteristics of a high moisture fish soy protein mix texturized by extrusion cooking *Lebensm. Wiss U.- Technol.*, 29: 526-535.
- TOYODA, K., KIMURA, I., FUJITA, T., NOGUCHI, S.F., LEE, C. M. 1992. The surimi manufacturing process. In: LANIER, C.T. and LEE, M.C. (eds.) *Surimi Technology*. Marcel Decker Inc. New York.
- VISSANGUAN, W., OGAWA, M., NAKAI, S and AN, H. 2000 Physicochemical changes and mechanism of heat-induced gelation of arrowtooth flounder myosin. *J. Agric Food Chem.* 48: 1016-1023.
- YANG, H and PARK, W.J. 1998. Effects of starch properties and thermal processing conditions on surimi-starch gels. *Lebensm.-Technol.* 31: 344-353.