

DONDURULMUŞ EKMEK HAMURU VE SON ÜRÜN KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE FORMÜL BİLEŞENLERİNİN ETKİLERİ

Müge Hendek Ertop^{1*}, Hakiye Etgü², Mehmet Hayta³

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane

²Bingöl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bingöl

³Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Kayseri

Geliş tarihi / Received: 05.08.2011

Düzeltilerek Geliş tarihi / Received in revised form: 26.10.2011

Kabul tarihi / Accepted: 24.11.2011

Özet

Fırıncılık ürünleri pazarında dondurulmuş hamur kullanımı ve dondurulmuş ürünlere olan talep tüm dünyada giderek artmaktadır. Tüketici ihtiyaç ve eğilimleri zaman içinde değişiklikler gösterse de, fırıncılık ürünleri satın alınırken göz önüne alınan en önemli faktör hala ürünün tazeliğidir. Kısa bir muamele veya ısı işlemle bu ürünlerin tüketime hazır hale gelmesi ve depolama sürelerinin uzun olması bu artışta etkili olmuştur. Ancak henüz tam olarak çözülemeyen temel sorun dondurarak depolamaya bağlı olarak meydana gelen kalite kayıplarıdır. Kaliteyi bozan en önemli etkenler maya aktivitesinin ve hamur gluten yapısının donma ile zarar görmesidir. Dondurma prosesi ve dondurarak depolama sürecinin olumsuz etkilerinin giderilmesinde optimum proses ve depolama koşullarının belirlenmesi konusunda yapılan çalışmaların yanı sıra kullanılan formül bileşenlerinin fonksiyonlarının da çok önemli olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Bu çalışmada dondurulmuş ekmek hamuru ve son ürün kalitesi üzerine formül bileşenlerinin etkileri üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: BDondurulmuş hamur, ekmek katkı maddeleri, dondurulmuş hamur kalitesi

THE IMPACTS OF FORMULATION COMPONENTS ON IMPROVEMENT OF FROZEN BREAD DOUGH AND FINAL PRODUCT QUALITY

Abstract

In the bakery products market, the use of frozen dough and the demand to frozen products are increasing change over the world. Although consumer needs and trends changes over time, when purchasing bakery products, the most important factor that should be taken into consideration is still the product freshness. To become ready for consumption of these products with a short treatment or heat treatment have been effective for the increase in demand of them. However, the main problem that has not been still solved is loss of quality that occurs during the frozen storage. The most important factors that deteriorate the quality are damage of yeast and dough gluten network during frozen storage. Besides determination of optimum process and storage conditions, the functions of ingredients that used are also very important to eliminate undesirable effects of freezing and frozen storage process that has been determined in related studies. In this study, the effects of components of the formulation were evaluated for the frozen bread dough and its final product quality.

Keywords: Frozen dough, bread making ingredients, frozen dough quality

*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉ muge_ertop@hotmail.com

☎ (+90) 532 667 8240

☎ (+90) 332 834 0940

GİRİŞ

Ekmek dünyanın birçok ülkesinde besleyici, tekstürel ve duyuşal özelliklerinden dolayı en fazla tüketilen gıda maddelerinden biriyken; ekmek yapım teknolojisi bilinen en eski teknolojilerdendir. Bu teknoloji, ekmek üretiminde kalitenin iyileştirilmesi amacıyla yeni cihazların, malzemelerin ve katkıların kullanılması ile yıllar içerisinde sürekli gelişme göstermiştir (1, 2).

Ekmek yapımında kullanılan temel bileşenler un, su, tuz ve mayadır. Ayrıca, yağ, şeker, stabilizatörler, emülgatörler, oksidanlar, gamlar ve enzimler (α -amilaz, proteazlar, hidrolazlar, lipazlar ve lipoksigenazlar) ekmek yapımında sıklıkla kullanılan minör bileşenlerdir. Taze ekmek, altın kahverengi kabuğa, hoş bir aromaya, iyi dilimlenebilir özelliğe, yumuşak ve elastik bir içyapıya sahiptir (1).

Taze fırın ürünlerinin raf ömrü, depolama sırasında meydana gelen ve bayatlama olarak bilinen çeşitli fiziksel ve kimyasal değişimler sonucu oldukça kısadır. Tazeliğin azalmasına paralel olarak ekmek içi sertlikte artış, tat ve aromada azalma olmakta ve bu durum tüketici talebinde kayıplara yol açmaktadır. Nem kaybı ve nişasta retrogradasyonu, ekmek için sertleşmesinde etkili olan iki temel mekanizmadır. Artan piyasa talebinin karşılanmasında, üründe meydana gelen istenmeyen değişimlerin önlenmesinde ve daha uzun raf ömrüne sahip kaliteli fırın ürünlerinin üretilmesinde etkili metotların geliştirilmesine yönelik araştırmalar yapılmaktadır.

Fırıncılık sektöründe, dondurarak depolama teknolojisinin uygulanması giderek artış göstermekle birlikte dondurulmuş hamurun depolanması ve prosesin son ürün kalitesine etkilerini araştıran çok sayıda çalışma yapılmıştır (3). Dondurulmuş fırın ürünlerinde pazar payının büyümesi sonucu üretimin ve dağıtımın bir merkezden yapılması ekonomik avantaj sağlarken, ürün kalitesinde standardın yakalanmasında da etkili olmuştur. Ayrıca, bu ürünlerin üretiminde usta gibi uzman bir işçiye ihtiyaç duyulmaması ve günün herhangi bir zamanında taze ekmek yapma imkânının olması bir diğer avantajdır.

Tüm bu avantajlarına rağmen, dondurulmuş hamurdan yapılan ekmeklerin üretiminde çeşitli problemler mevcuttur. Bu problemler arasında hamur kuvvetinin azalması ve buna bağlı olarak

CO₂ tutulmasında azalma, fermantasyon süresinin uzaması, maya aktivitesinin azalması, ekmek hacminde azalma ve son ürünün tekstüründe bozulmalar sayılabilir. Dondurulmuş hamurdan yapılan ekmeğin kalitesi; formülü oluşturan bileşenlerden ve proses parametrelerinden (yoğurma süresi, dondurma hızı, depolama süresi, çözdürme hızı, vb.) etkilenmektedir (4-11).

Bu derlemede dondurulmuş ekmek hamuru ve son ürün kalitesini etkileyen formülasyon bileşenleri ve etkileri ile ürün kalitesinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların bir özeti verilmiştir.

FORMÜL BİLEŞENLERİ VE ETKİLERİ

Un

Dondurulmuş hamur formülasyonunda kullanılan en temel bileşen undur. Dondurulmuş hamurdan elde edilen ürünün kalitesi hamurun kuvvetine bağlıdır. Undaki gluten protein matris yapısının depolama sürecinde ve tekrarlayan donma/çözünme döngüsünde kırıldığı ve zarar gördüğü tespit edilmiştir (12), ki hamur yapısındaki bu zayıflama, gaz tutma kapasitesinin düşmesi ve ürün kalitesinin zarar görmesiyle sonuçlanmaktadır (12-16).

Dondurulmuş hamur için kullanılan un, normal ekmek üretiminde kullanılan undan daha güçlü proteine sahip olması (14) ya da gluten ilavesi ile güçlendirilmesi gerekmektedir (17). Oldukça kuvvetli glutene sahip unlardan yapılan dondurulmuş hamurların ekmeklerinde daha fazla fırın sıçraması olmakta, hacmi daha iyi olan ekmek elde edilmektedir. Ayrıca güçlü glutene sahip unlardan yapılan dondurulmuş hamurların dondurulması ve dondurarak depolanması aşamalarında meydana gelen olumsuzluklardan daha az etkilendiği belirlenmiştir (18). Dondurulmuş hamur unundaki diastatik aktivitede önemli bir parametredir. Düşme sayısının 300 saniye ya da daha fazla olması tercih edilmektedir (1, 18).

Son zamanlarda, fırın ürünlerinin kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla amilopektin düzeyi yüksek buğday unlarının kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (19-21). Geleneksel buğday unları %25-28 amiloz ile %72-78 amilopektin içermektedir. Düşük amiloz oranına sahip buğdayların nişastaları %95-100 oranında amilopektinden oluşmaktadır. Düşük amilozlu buğday nişastasası ile yapılan ürünlerin donma-çözme stabiliteleri, düşük amilozlu

olmayan nişasta kullanılmış ürünlerinkinden daha yüksektir. Yapılan bir çalışmada, dondurulmuş hamur ve son ürün kalitesinin iyileştirilmesi amacıyla yüksek amilopektinli buğday unu ve suyun spesifik kombinasyonları uygulanmıştır. %15 yüksek amilopektinli buğday unu ile %60 sudan oluşan dondurulmuş ve dondurulmamış hamurdan yapılan ekmeklerin tüm örnekler içerisinde en yüksek spesifik hacme sahip olduğu tespit edilmiştir (22).

Maya

Dondurulmuş hamurun üretimindeki en büyük problemler canlı kalan maya sayısının ve hamurun gaz tutma kabiliyetinin azalmasıdır. Dondurulmuş hamurun depolanması, canlı maya hücrelerinin sayısında önemli kayıplara sebep olmakta, 90 günlük depolama süresi sonrasında başlangıçtaki hücrelerin yaklaşık yarısı yaşamsal faaliyetlerini devam ettirememektedir. Hamur sisteminde dondurulan maya hücreleri ozmotik basınç altında olduğu için direk dondurulan maya hücreleri ile kıyaslandığında daha çok zarar görmektedir. Organik bileşikler sıvı fazın dondurulması ile daha konsantre hale gelmekte bu durum ise maya hücrelerinin otolizine sebep olmaktadır (1). Mayanın doğru suşunun seçimi ve optimum proses şartları istenilen kalitede ve raf ömrüne sahip dondurulmuş hamur üretimi için kritik faktörlerdir. Ayrıca maya tipi ve özellikleri, maya canlılığının devamı ve son ürün kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalarda, geleneksel ekmek hamurundan izole edilen *Torulaspora delbrueckii*'nin hamurun dondurulup -çözündürülmesi sırasında meydana gelen olumsuz etkilere *Saccharomyces cerevisiae*'dan daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle dondurulmuş hamur teknolojisinde kullanımı uygun görülmüştür (23, 24). Başka bir çalışmada ise, donmuş hamurun raf ömrünün korunmasında yaş maya yerine aktif kuru maya kullanımının daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır (25).

Su

Suyun hamur içerisinde homojen dağılımı, dondurma sürecinde oluşacak buz kristallerinin formasyonu açısından önemlidir (3). Dondurma sırasında büyük buz kristallerinin oluşumu veya dehidrasyon gibi fiziksel faktörler nedeniyle maya hücreleri zarar görebilir ki bu da son ürün kalitesini etkiler. Ayrıca dondurulacak hamurun yapısında serbest su bulunması istenmez. Yapıdaki

serbest su donma, depolama süreci ve çözündürme sırasında mayalara ve hamur sistemine zarar verir. Kaliteli unların su kaldırma kapasiteleri yüksek olduğundan, sistemde daha fazla suyu absorbe ederler (26). Hamur sisteminde suyun tutulabilmesi için diğer bir yöntem de tuz, şeker veya hidrokolloidlerin formüle ilave edilmesidir. Hamurun donmuş depolama süreci ile su kaldırma kapasitesi arasında bir ilişki olduğu ayrıca su fazının bırakılmasıyla ekmek hacmi arasında negatif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (3).

Emülgatörler

Sümfaktanlar yalnızca normal ekmekte değil ayrıca dondurulmuş hamur ekmeğinde de geniş ölçüde kullanılan hamur kuvvetlendirici ve geliştirici maddelerdir (3). Dondurulmuş hamur ürünleri genellikle normal fırıncılık ürünleri ile mukayese edildiklerinde raf ömürleri daha kısadır. Sümfaktanlar sayesinde hamurun yapısında yer alan su homojen olarak hamurun bünyesinde dağılıbilir. Hamurun dondurulması sırasında gluten yapısına ve maya hücrelerine zarar veren istenmeyen büyük buz kristallerinin oluşumu engellenir. Böylece, dondurulmuş hamurdan elde edilen fırıncılık ürünlerinin kalitesi sümfaktanlar kullanılarak geliştirilmiş olur. Ayrıca, bu katkıları ürünün kalitesini geliştirirken raf ömrünü de uzatır.

Monogliseridlerin diasetiltartarik asit esterleri (DATEM), gluten ve guar gum ilavesi ile katkısız ekmeğe göre yüksek hacimli, daha iyi tekstüre sahip ekmekler elde edilebileceği bildirilmiştir. Sodyum stearoyl-2-lactylate (SSL), DATEM, glycerol monostearate (GMS) ve distilled glycerolmonostearate (DGMS) gibi sümfaktanların ekmekte spesifik hacmi ve tekstürü iyileştirdiği ifade edilmiştir (3, 26, 27).

Sümfaktanların nişasta ile etkileşimi sonucu, gluten ve nişasta arasındaki su hareketi engellenmekte ve nişastadan suyun ayrılması önlenerek redrogradasyon yani ekmeğin bayatlaması gecikmektedir (28). Emülgatörler aynı zamanda formülasyonda kullanılan yağlar ile etkileşime geçerek; yağ-su ara yüzeyindeki yüzey gerilimini düşürerek yağ ve su fazlarının homojen karışımını sağlamakta; ayrıca gaz kabarcıklarının yüzey gerilimini azaltarak hamurda gaz hücrelerinin homojen dağılımını sağlamaktadır (1). Dondurulmuş hamurda DATEM ve sükröz esterleri (SE) ile SSL en çok kullanılan emülgatörlerdir (3).

DATEM

DATEM, yapıdaki protein etkileşimlerini teşvik ederek gluten ağı üzerindeki güçlendirici etkisi ile fırıncılık ürünlerinin gaz tutma kapasitesini artırır, böylece üründe hacim artışı sağlar (3). Dondurulmuş hamur formülasyonlarına DATEM ilavesi ekmeğin içi sıklığı azaltmakta ve bayatlama hızını yavaşlatmaktadır. DATEM'in ekmeğin kabuğunu yumuşatma özelliği nişasta ile özellikle lineer amiloz moleküllerinin etkileşimi ile yakından ilgilidir. Ekmeğin kabuğunu yumuşatıcı ajanlar glutenden nişastaya su hareketini nişasta ile kompleks oluşturarak azaltmaktadır (29). Donmanın olumsuz etkilerinin kuvvetli un veya gluten kullanımının yanı sıra DATEM veya SSL gibi katkıların ilavesiyle de azaltılabileceği bildirilmektedir (30). Dondurulmuş hamur stabilitesinin sağlanması ve kaliteli dondurulmuş bir hamur üretimi için yağ ile birlikte sürfaktan kullanımının gerekli olduğu, son fermentasyon süresini kısalttığı, 3 aylık depolama süreci sonunda hamur kalitesinin hala korunduğu, ayrıca dondurulmuş hamur üretiminde SSL ve DATEM'in birbirlerinin yerine kullanılabileceği tespit edilmiştir (31). Herhangi bir donma hasara karşı koruyucu etkiye sahip olmamakla birlikte DATEM'in hacim ve ekmeğin dokusunu iyileştirdiği bildirilmektedir (3).

SE

Hidrofilik şeker esterleri dondurulmuş hamurun reolojik ve fırınlanma özelliklerini iyileştirmektedir (32). SE'nin ilavesi buğday nişastasındaki donmayan su miktarını artırarak maya hücrelerinde oluşan hasarı azaltarak, mayaları donmanın zararlı etkilerinden korumaktadır. Ayrıca SE'nin ilavesi donma sırasında buğday proteinlerini denatürasyona karşı korumakta böylelikle dondurma işleminin hamurun fırınlama özelliklerine verdiği hasarı minimize edilebilmektedir (1).

SSL

SSL taze ve dondurulmuş hamur ürünlerinin hacmini ve yumuşaklığını korumaktadır. Dondurulmuş hamurlarda SSL kullanımı 2, 5 ve 8 haftalık depolama süreleri sonunda kontrol grubu ekmeğinle kıyaslandığında ekmeğin hacmini oldukça arttırdığı gözlenmiştir. Ekmeğin hacmi askorbik asit ve DATEM içeren ekmeğinle kıyaslandığında SSL içeren ekmeğin hacmi daha düşük olduğu saptanmıştır. Ekstensograf değerleri kontrol grubu ile kıyaslandığında SSL kullanımı yüksek R/E değerlerine

sahip kuvvetli hamur üretimini sağlamaktadır. Fakat sonuçlar askorbik asit ve DATEM kullanılmış hamurlarla karşılaştırıldığında değerlerin düşük olduğu belirlenmiştir (33).

Hidrokoloidler

Hamurda az miktarlarda (un bazında %0.1) kullanılan hidrokoloidler suyun alınmasını ve ekmeğin hacmini artırırken nişastanın retrogradasyonunu ve son üründe sertliği azaltmaktadır. Nişasta içeren dondurulmuş ürünlerde hidrokoloid kullanımı dondurma-çözdürme döngüsü sırasında stabilitenin sağlanmasına ve dondurarak depolama sonucu oluşan maya hücrelerinin zarar görmesi, zayıf hamur yapısı ve düşük ekmeğin kalitesi gibi olumsuzlukların azaltılmasına yardımcı olmaktadır (34, 35). Hamurun fonksiyonel performansı ve sonraki ekmeğin kalitesi temel bileşenlerin doğasına, orijinine ve partikül büyüklüğüne, formülasyonda kullanılan hidrokoloid miktarına bağlı olduğu kadar formülasyon, proses şartları ve diğer bileşenlere de bağlıdır. Hidrokoloid kullanımının raf ömrü süresince ekmeğin yumuşaklığına katkı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca ksantan, karregen, guar ve karboksimetilselüloz gibi hidrokoloidlerin ilavesiyle hamur performansı ve son ürün kalitesinde önemli iyileşme, özellikle spesifik hacimde artış olduğu tespit edilmiştir (36, 37). Ancak hidrokoloidlerin yüksek su tutma kapasitesinden dolayı kullanımlarında, diğer formül bileşenleri ile interaksyonuna ve kullanım miktarına dikkat edilmelidir (26).

Ksantan Gam

Dondurulmuş hamur formülasyonunda ksantan gam ilavesi un proteinleri ile güçlü bir etkileşim oluşturması neticesinde hamur kuvvetini iyileştirmektedir. Ayrıca su absorpsiyonunu, hamurun gaz tutma kabiliyetini, son ürün olan ekmeğin spesifik hacmini ve ekmeğin içi su aktivitesini arttırmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda kullanılan ksantan gam (un bazında %0.16) ekmeğin spesifik hacmini artırır, ekmeğin içi gözenek yapısını düzeltir ve ekmeğin kabuğunu yumuşatırken; ilave edilen ksantan gam miktarının artırılması kontrol grubu ile karşılaştırıldığında spesifik hacimde azalmaya neden olmaktadır (38).

Guar Gam

Donmuş hamurda guar gam kullanımının son ürün kalitesine etkisi ilave edilen miktar ile yakından ilgilidir. Düşük konsantrasyonlarda

kullanıldığında (un bazında %0.16 ve %0.65) kontrol grubu örneklerle kıyaslandığında daha düşük spesifik hacim, düzgün olmayan gözenek yapısı ve ince plastiğimsi kabuğa sahip ürünler elde edilmiştir (38). Formülasyondaki guar gam konsantrasyonu (un bazında %1.5) artırıldığında ise ekmek hacmini iyileştirdiği, gözenek yapısını düzelttiği ve gözenek sayısını fazlalaştırdığı gözlemlenmiştir (39). Yapılan bir çalışmada, üç farklı hidrokoloid (guar gam, karboksimetilselüloz ve keçiyoynuzu gamı) ile DATEM'in sert buğday unu hamurunun reolojik özellikleri üzerine etkileri araştırılmış ve hamurun uzamaya karşı gösterdiği maksimum direnç ile su absorpsiyonu değerleri üzerinde en önemli etkiyi guar gamın gösterdiği tespit edilmiştir (40).

Karboksimetilselüloz

Karboksimetilselüloz maya aktivitesi (fermantasyon süresi ve hızı) üzerine güçlü etkiye sahiptir. Mayaların spesifik fermentasyon hızı kullanılan karboksimetilselüloz miktarı ile yakından ilişkilidir. Hamur formülasyonunda un bazında %0.2 karboksimetilselüloz kullanımının mayaların fermentasyon hızında önemli bir etkiye sebep olmadığı, kullanılan miktarı artırıldığında (%0.6 ve %1 oranında) ise mayaların spesifik fermentasyon hızında azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (37).

Besinsel Lifler

Dondurulmuş hamurlarda, fibrex (şeker pancarı lifi), inulin HPX (yüksek performanslı inulin) ve GR (granül inulin) gibi ticari diyet liflerin mayalı hamurda, hamurun dondurularak depolanması sırasında reolojik özelliklerine ve ekmek kalitesine olan etkilerini araştırılan çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Lif çeşidi ve depolama süresi hamurun ve ekmeğin karakteristik özelliklerini etkilemektedir. Dondurulmuş hamurlarda uzun zincirli yapıya sahip olan inulin HPX kullanımının gluten ağı ile daha iyi etkileşim kurması ve mayayı dondurma sırasında buz kristallerinden koruması sonucu daha yüksek spesifik hacme sahip ekmekler elde edilmiştir (41).

Aminoasit ve Peptitler

Serbest aminoasitlerin, peptitlerin ve vital buğday glutenin hamurun yoğrulma ve dondurulmuş hamurun fırınlanma kalitesine etkileri konusunda yapılan bir çalışmada peptit kullanımının dondurulmuş hamurun fırınlanma kalitesini iyileştirdiği belirtilmiştir (42).

Kriyoprotektanlar

Kriyoprotektan ajanların gıda sistemlerindeki fonksiyonu donma noktasını düşürmek, hücre zarlarını donmanın zararlı etkilerinden ve ozmatik dehidrasyondan korumaktır. Kriyoprotektan etkiye sahip ajanlardan biri de trehalozdur. Disakkarit yapısındaki bu bileşiğin dondurulmuş hamurda mayanın soğuğa karşı direncini artırdığı ve dondurulmuş hamur sürecinde mayayı farklı stres tiplerine karşı koruduğu bildirilmiştir (14, 43). Ayrıca dondurulmuş hamurda kullanılan trehalozun ekmek hacmini arttırdığı ve ekmeğin tekstürel özelliklerini iyileştirdiği gözlemlenmiştir (44, 45).

Dondurulmuş hamurun fırınlanma kalitesini iyileştirmek amacıyla bir kriyoprotektan ajan olan antifriz proteinlerin (AFPs) kullanımıyla ilgili çalışmalar da mevcuttur. Balık, böcek, mantar ve bitkiler de bulunan antifriz proteinler, protein ailesine aittir ve organizmanın hücreler arası matriksinin ve vücut sıvısının donma noktasını termal histerisis (TH) olarak adlandırılan bir proses ile düşürerek organizmayı dondurucu ya da alt-dondurucu şartların zararlı etkilerinden koruyabilmektedir. AFPs buz kristallerinin boyutunu kontrol ederek buz kristallerinin büyümesini ve yapısını etkiler, fakat donmayı önleyemez. Bu özelliği sayesinde, hücrelerin ve dokuların yanı sıra gıdaların kriyojenik korunmasında da AFPs'nin kullanım imkânı araştırılmaktadır. Ayrıca, AFPs donmuş depolama, transfer ve çözündürme sırasında rekristalizasyonu önlemesi sonucu hücresel zararı azaltarak gıdanın tekstürünü korumaktadır (46, 47). Bitkisel antifriz proteinleri kış çavdarı (*Secale cereale*), havuç (*Daucus carota*) ve çavdar çimi (*Lolium perene*) gibi bitkilerde tespit edilmiştir. Bitkisel antifriz proteinlerin TH aktivitesi (yaklaşık 0.1-0.5 °C) balık ve böcek antifriz proteinlerine göre oldukça düşüktür. Fakat bitkisel antifriz proteinleri çok güçlü buz rekristalizasyonu engelleme aktivitesine sahiptir (48). Antifriz proteini içeren konsantre havuç proteini kullanımının dondurulmuş hamurun fermentasyon kapasitesini iyileştirdiği belirlenmiştir (47). *L. lactis* tarafından üretilen rekombinant tip I antifriz proteininin (rAFP) liyofilize edilerek dondurulmuş hamurun fermentasyon kapasitesini iyileştirdiği ayrıca duyu analizi sonucunda rAFP ilave edilerek hazırlanan dondurulmuş hamur ekmeklerinin dondurulmadan hazırlanan ekmekler ile aynı puanı aldığı bildirilmiştir (45).

Enzimler

Enzimler gıda endüstrisinde ürünün kalitesini ve tekstürel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yaygın olarak kullanılan, doğal, toksik olmayan gıda bileşenleridir. Özellikle ekmek yapımında kimyasal oksidanlar yerine enzimlerin kullanımına yönelik literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır (49). Yine aynı şekilde dondurulmuş hamurların kalite özelliklerinin iyileştirilmesinde enzimlerin etkilerini araştıran çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmaların özellikle pentozanaz, glukoz oksidaz ve transglutaminaz enzimlerinin etkileri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Pentozanaz

Pentozanaz ya da mikrobiyal endoksilanazlar buğday unundaki arabinoksilanların (pentozanlar) hidrolizini gerçekleştirirler. Enzimler suda çözünmeyen arabinoksilanlara etki yaptığında bu polimerlerin boyu ve dolayısıyla molekül ağırlığı azalarak suda çözünen formlara dönüşürler. Suda çözünen arabinoksilanlar ise hamurun ve ekmeğin özelliklerine olumlu etkide bulunurlar. Hamurun sıvı fazındaki viskozitesini, stabilitesini artırır ve hamurdaki gaz hücrelerinin stabilitesini sağlarlar. Ekmeğin spesifik hacmini ve iç yapısını iyileştirir, raf ömrünü uzatırlar (50-52).

Glukoz oksidaz

Glukoz oksidaz, oksijenin varlığında α -D-glukozun α -D-glukonolakton ve H_2O_2 'ye oksidasyonunu katalize eder. H_2O_2 ise gluten proteinindeki thiol gruplarını disülfid bağ formuna okside eder. Glukoz oksidaz ilavesinin hamurun elastikliğini ve yapışkanlığını artırırken; uzayabilirliğini azalttığı belirtilmektedir (50-52).

Transglutaminaz

Transglutaminaz, protein molekülü içi ya da protein molekülleri arası ϵ -(γ -glutamil) lisin izopeptit çapraz bağlarının oluşumunu katalize etmektedir. Ekmek yapımı sırasında buğday ununa transglutaminaz ilavesi hamurun özelliklerini etkilemektedir. Transglutaminaz kullanımının hamurun elastikiyetini ve ekmek iç yapısını iyileştirdiği, yüksek miktarlarda transglutaminaz kullanımının ise hamurun direncini artırması sonucu CO_2 gazının kabartma basınç etkinliğini azaltarak daha düşük hacimli ekmek eldesine neden olduğu tespit edilmiştir. Dondurulmuş hamurlarda transglutaminaz kullanımının gluten

proteininin dondurma kaynaklı zararlarını azalttığı, hacim ve tekstüre bağlı son ürün kalitesini iyileştirdiği belirtilmektedir (50-53).

SONUÇ

Dondurulmuş hamur ürünlerinin, kullanımının kolay olması, kısa bir fırınlamayla taze ürün tüketimi ihtiyacını karşılaması ve uzun raf ömrüne sahip olması gibi nedenlerden dolayı, dondurulmuş ürün pazarındaki payı gün geçtikçe büyümektedir. Bu ürünlerin kalitesinin geliştirilmesi, kalite problemlerinin giderilmesi ve yeni ürünlerin pazara arzı ise bir gereksinim haline gelmiştir. Bu gereksinimin karşılanmasında ise anahtar yöntem, formülasyonu oluşturan bileşenlerin hamur ve son ürün kalitesi üzerindeki fonksiyonlarını anlamak ve uygun formülasyonu ortaya çıkartmaktır. Mevcut problemlerin kaynağını ise hamurun dondurulması sonucu ortaya çıkan olumsuzluklar oluşturmaktadır. Çoklu etkileşimlerin bir sistemi olan hamur formülasyonlarında kullanılan hammadde ve katkıların, bireysel ve bir aradaki fonksiyonlarının, donmanın olumsuz etkilerini giderebileceği veya azaltabileceği yapılan araştırmalar ile ortaya konmuştur. Ancak bu konuda yeni bileşenlerin araştırılması ya da mevcutların farklı proses koşullarında ve uygun dozlarda kullanımı, hatta uygun kombinasyonlar oluşturulması doğrultusunda çalışmaların yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Selomulyo VO, Zhou W. 2007. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers. *J Cereal Sci*, 45: 1-17.
2. Hady EA, El- Samahy SK, Seibe W, Brümmer JM. 1996 Changes in Gas Production and Retention in Non-Prefermented Frozen Wheat Doughs. *Cereal Chem*, 73: 472-477.
3. Rosell CM, Gomez M. 2007. Frozen Dough and Partially Baked Bread: An Update. *Food Rev Int*, 23: 303-319.
4. Yi J, Kerr WL. 2009. Combined Effects of Dough Freezing and Storage Conditions on Bread Quality Factors. *J Food Eng*, 93: 495-501.
5. Phimolsiripol Y. 2009. Shelf Life Determination of Frozen Bread Dough Stored Under Fluctuating Temperature Conditions. *Kasetsart J. Nat Sci*, 43: 187-197.

6. Bhattacharya M, Langstaffa TM, Berzonskyb WA. 2003. Effect of Frozen Storage and Freeze-Thaw Cycle on Rheological and Baking Properties of Frozen Doughs. *Food Res Int*, 36: 365-372.
7. Phimolsiripol Y, Siripatrawan U, Tulyathan V, Cleland DJ. 2008. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *J Food Eng*, 84: 48-56.
8. Giannou V, Tzia C. 2007. Frozen dough bread: Quality and textural behavior during prolonged storage – Prediction of final product characteristics. *J Food Eng*, 79: 929-934.
9. Yi J, Kerr WL. 2009. Combined effects of freezing rate, storage temperature and time on bread dough and baking properties. *J Food Sci Tech*, 42: 1474-1483.
10. Leray G, Oliete B, Mezaize S, Chevallier S, Lamballerie M. 2010. Effects of freezing and frozen storage conditions on the rheological properties of different formulations of non-yeasted wheat and gluten-free bread dough. *J Food Eng*, 100: 70-76.
11. Gabric D, Ben-Aissa F, Le-Bail A, Monteau JY, Curic D. 2011. Impact of process conditions on the structure of pre-fermented frozen dough. *J Food Eng*, 105: 361-366.
12. Autio K, Sinda E. 1992. Frozen doughs rheological changes and yeast viability. *Cereal Chem*, 69: 409-413.
13. Le-Bail A, Nicolitch C, Vuillod C. 2010. Fermented Frozen Dough: Impact of Pre-fermentation Time and of Freezing Rate for a Pre-fermented Frozen Dough on Final Volume of the Bread. *Food Bioprocess Technol*, 3: 197-203.
14. Inoue Y, Bushuk W. 1992. Studies on frozen doughs. II. Flour quality requirements for bread production from frozen dough. *Cereal Chem*, 69: 423-428.
15. Huang L, Wan J, Huang W, Rayas-Duarte P, Liu G. 2011. Effects of glycerol on water properties and steaming performance of pre-fermented frozen dough. *J. Cereal Sci*, 53: 19-24.
16. Ashgar A, Anjum FM, Allen JC, Daubert CR, Rasool G. 2009. Effect of modified whey protein concentrates on empirical and fundamental dynamic mechanical properties of frozen dough. *Food Hydrocolloid*, 23: 1687-1692.
17. Wang ZJ, Ponte Jr JG. 1994. Improving frozen dough qualities with the addition of Vital wheat gluten. *Cereal Food World*, 39: 500-503.
18. Lu W. 1997. Biochemical factors influencing baking performance of frozen doughs. Ph.D. Dissertation, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, Fargo, USA.
19. Peng Q, Shun-he C, Chuan-xi M. 2007. Effect of waxy wheat flour blends on the Quality of Chinese steamed bread. *Agr Sci China*, 6: 1275-1282.
20. Yi L, Kerr WL, Johnson JW. 2009. Effects of waxy wheat flour and water on frozen dough and bread properties. *J Food Sci*, 74: 278-284.
21. Purna SKG. 2010. Understanding and improving functionality of waxy wheat flours. Ph. D. Dissertation, Department of Grain Science and Industry College of Agriculture, Kansas State University, Manhattan, Kansas. USA.
22. Yi J, Johnson JW, Kerr WL. 2009. Properties of bread made from frozen dough containing waxy wheat flour. *J Cereal Sci*, 50: 364-369.
23. Murakami Y, Hahn YS, Yokoigawa K, Endo K, Kawai H. 1994. Induction of freeze-sensitive mutants from a freeze-tolerant yeast *Torulasporea delbrueckii*. *Biosci Biotech Bioch*, 58: 206-207.
24. Hernández-López MJ, Pallotti C, Andreu P, Aguilera J, Prieto JA, Rande-Gil F. 2007. Characterization of a *Torulasporea delbrueckii* diploid strain with optimized performance in sweet and frozen sweet dough. *Int J Food Microbiol*, 116: 103-110.
25. Wolt MJ, D'Appolonia BL. 1984. Factors involved in the stability of frozen dough. II. The effect of yeast type, flour type, and dough additives on frozen-dough stability. *Cereal Chem*, 61: 213-221.
26. Asghar A, Anjum FM, Butt MS, Hussain S. 2006. Functionality of Different Surfactants and Ingredients in Frozen Dough, *Turk J. Biol.* 30: 243-250.
27. Sungur B. 2009. Bazı hidrokolloidler ve yüzey aktif maddenin hamurun reolojik özellikleri ile dondurulmuş hamurun ekmek kalitesi üzerine etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Ankara, Türkiye.
28. Rao PA, Nussinovitch A, Chinachoti P. 1992. Effects of selected surfactants on amylopectin recrystallization and on recoverability of bread crumb during storage, *Cereal Chem*, 69: 613-618.
29. Pisesookbuntern W, D'appolonia B. 1983. Bread staling studies. I. Effects of surfactants on moisture migration from crumb to crust and firmness values of bread crumb, *Cereal Chem*, 60: 298-300.

30. Meziani S, Jasniewski J, Gaiani C, Ioannou I, Muller JM, Ghoul M, Desobry S. 2011. Effects of freezing treatments on viscoelastic and structural behavior of frozen sweet dough, *J Food Eng*, 107:358-365.
31. Koca AF, Anil M. 2003. Dondurulmuş hamur kalitesine yağ ve yüzey aktif maddelerin etkisi, *GIDA* 28: 61-67.
32. Hosomi K, Nishio K, Matsumoto H. 1992. Studies on frozen dough baking. I. Effects of egg yolk and sugar ester, *Cereal Chem*, 69: 82-92.
33. Kenny S, Wehrle K, Dennehy T, Arendt EK. 1999. Correlations between empirical and fundamental rheology measurements and baking performance of frozen bread dough, *Cereal Chem* 76:421-425.
34. Pejin DJ, Dosanovia IS, Popov SD, Suturovia ZJ, Rankovia JA, Dodia SN, Dodia JM, Vuaurovia VM. 2007. Influence of dough freezing on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism, *Proc Nat Sci*, No: 113, 293-301.
35. Matuda TG, Chevallier S, Filho PAP, Le bail A, Tadini CC. 2008. Impact of guar and xanthan gums on proofing and calorimetric parameters of frozen bread dough. *J Cereal Sci*, 48: 741-746.
36. Hemedá HM, Mohamed EF. 2010. Pan bread quality as affected by low and high viscous hydrocolloids gum. *World J Dairy & Food Sci*, 5: 100-106.
37. Dodic J, Pejin D, Dodic S, Popov S, Mastilovic J, Popov-Raljic, Zivanovic S. 2007. Effects of Hydrophilic Hydrocolloids on Dough and Bread Performance of Samples Made from Frozen Doughs, *J Food Sci*, 72: 235-241.
38. Mandala IG. 2005. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids, *J Food Eng*, 66: 291-300.
39. Ribotto PD, Leon AE, Anon MC. 2001. Effect of Freezing and Frozen Storage of Doughs on Bread Quality. *J Agric Food Chem*, 49: 913-918.
40. Sungur B, Ercan R. 2011. Effects of some hydrocolloids and surfactant on the rheological properties of hard wheat flour dough by using resonance surface methodology. *GIDA* 36: 77-82.
41. Filipovic J, Filipovic N, Filipovic V. 2010. The effects of commercial fibres on frozen bread dough. *J Serb Chem Soc*, 75: 195-207.
42. Koh B, Lee G, Lim S. 2005. Effect of Amino Acids and Peptides on Mixing and Frozen Dough Properties of Wheat Flour. *J Food Sci*, 70 (6): 359-364.
43. Kim YS, Huang W, Du G, Pan Z, Chung O. 2008. Effects of trehalose, transglutaminase, and gum on rheological, fermentation and baking properties of frozen dough. *Food Res Int*, 41: 903-908.
44. Giannou V, Tzia C. 2008. Cryoprotective Role of Exogenous Trehalose in Frozen Dough Products. *Food Bioprocess Tech*, 1: 276-284.
45. Minervini F, Pinto D, Cagno R, Gobbetti M. 2011. Scouting the application of sourdough to frozen dough bread technology. *J Cereal Sci*, In Press, Accepted Manuscript.
46. Yeh C, Kao B, Peng H. 2009. Production of a Recombinant Type 1 Antifreeze Protein Analogue by *L. lactis* and Its Applications on Frozen Meat and Frozen Dough. *J Agric Food Chem*, 57: 6216-6223.
47. Zhang C, Zhang H, Wang L, Gao H, Guo XN, Yao HY. 2007. Improvement of Texture Properties and Flavor of Frozen Dough by Carrot (*Daucus carota*) Antifreeze Protein Supplementation. *J Agric Food Chem*, 55: 9620-9626.
48. Zhang C, Zhang H, Wang L, Guo X. 2008. Effect of carrot (*Daucus carota*) antifreeze proteins on texture properties of frozen dough and volatile compounds of crumb. *LWT*, 41: 1029-1036.
49. Wang X, Zhu K, Zhou H. 2011. Immobilization of Glucose Oxidase in Alginate-Chitosan Microcapsules. *Int. J. Mol. Sci*, 12: 3042-3054.
50. Steffolani ME, Ribotta PD, Perez GT, Puppo MC, León AE. 2011. Use of Enzymes to Minimize Dough Freezing Damage. *Food Bioprocess Technol*, (Published online, SpringerLink DOI: 10.1007/s11947-011-0538-2)
51. Steffolani ME, Ribotta PD, Pérez GT, León AE. 2010. Effect of glucose oxidase, transglutaminase, and pentosanase on wheat proteins: Relationship with dough properties and bread-making quality. *J Cereal Sci*, 51, 366-373.
52. Rocca P, Ribotta PD, Ferrero C, Pérez GT, León AE. 2010. Enzymes Action on Wheat-Soy Dough Properties and Bread Quality. *Food Bioprocess Technol*, (Published online, SpringerLink DOI 10.1007/s11947-010-0396-3)
53. Wang F, Huang W, Kima Y, Liu R, Tilley M. 2011. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin. *J Cereal Sci*, 54: 53-59.