

NORMAL, MUMLU (WAXY) VE YÜKSEK AMİLOZLU NIŞASTALAR VE GIDALARDAKİ FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Erkan Yalçın^{1*}, M. Tuğrul Masatcıoğlu², Betül Cındık¹

¹Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

²Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Hatay, Türkiye

Geliş / *Received*: 09.10.2020; Kabul / *Accepted*: 25.11.2020; Online baskı / *Published online*: 04.12.2020

Yalçın, E., Masatcıoğlu, M.T., Cındık, B. (2020). Normal, mumlu (waxy) ve yüksek amilozlu nişastalar ve gıdalardaki fonksiyonel özellikleri. *GIDA* (2020) 45(6)1261-1271 doi: 10.15237/gida.GD20117

Yalçın, E., Masatcıoğlu, M.T., Cındık, B. (2020). *Normal, waxy and high-amylose starches and their functional properties in foods*. *GIDA* (2020) 45(6)1261-1271 doi: 10.15237/gida.GD20117

ÖZ

Nişasta, amiloz ve amilopektin polisakaritlerinden meydana gelmiş, gıdalara yapısal özellikler kazandıran, beslenmemizde enerji ihtiyacımızın önemli bir kısmını karşılayan, sindirilebilir bir karbonhidrattır. Nişastaların farklı amiloz/amilopektin oranları; granüler yapıda, fiziko-kimyasal özelliklerde ve son ürün kalitesinde bazı farklılıklara sebep olmaktadır. Genellikle, normal, mumlu ve yüksek amilozlu nişastalarda amiloz/amilopektin oranı sırasıyla 25/75, 0/100 ve 70/30 olarak belirtilmiştir. Doğal nişastaların gıdalardaki kullanımı sınırlı kalmaktadır. Normal nişasta hızlı sindirilebilir olması sebebiyle gıdanın glisemik indeksini yükseltir. Yüksek amilozlu tahıl nişastaları, enzime dirençli nişasta üretiminde kullanılmaktadır. Amiloz içeriği arttıkça nişasta sindirimi de yavaşlamaktadır. Gıdaların beslenme kalitesinin farklı yapısal ve fonksiyonel özellikteki nişasta tipleri kullanılarak artırılması, beslenmeye bağlı kronik hastalıkları azaltmada etkili olabileceği belirtilmektedir. Beslenmedeki önemi dışında, nişastanın gıdalarda çirşlenme, su tutma, geçirgenlik, stabilizatör ve kıvam artırıcı özelliklerinin iyileştirilebilmesi için farklı tipte nişastalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Normal nişasta, mumlu nişasta, yüksek amilozlu nişasta, fonksiyonel özellikler, çirşlenme özellikleri, nişasta sindirilebilirliği, enzime dirençli nişasta

NORMAL, WAXY AND HIGH-AMYLOSE STARCHES AND THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES IN FOODS

ABSTRACT

Starch, which is consisting of amylose and amylopectin polysaccharides, gives textural properties to food products, and provides the most of the energy in our nutrition, and is a digestible carbohydrate. Different amylose/amylopectin ratios in starch structure cause some distinctions in granular structure, physicochemical properties, and final product quality. Generally, amylose/amylopectin ratios of normal, waxy, and high amylose starches are indicated as 25/75, 0/100 and 70/30, respectively. The utilization of native starches in foods is limited. Normal starch, which is rapidly digestible, raises the glycaemic index of food. High-amylose cereal starches are used in the production of enzyme resistant starch. An increase in amylose content slows down the starch digestibility. An

* Yazışmalardan sorumlu yazar/*Corresponding author*:

✉ : yalcin_e@ibu.edu.tr

☎ : (+90) 374 253 4640 / 4832

☎ : (+90) 374 253 4558

Erkan Yalçın; ORCID no: 0000-0002-7417-9088

M. Tuğrul Masatcıoğlu; ORCID no: 0000-0002-2583-8796

Betül Cındık; ORCID no: 0000-0001-9765-9861

increase in nutritional quality of foods using starch types having different structural and functional properties exhibits a great impact on decreasing chronic diseases depended on nutrition. In addition to nutritional importance, to improve the pasting, water holding, transmittance, stabilization, and thickening properties of starch in foods, the different starch types are required.

Keywords: Normal starch, waxy starch, high-amylose starch, functional properties, pasting properties, starch digestibility, enzyme resistant starch

GİRİŞ

Nişasta, günlük kalorinin %75'inden fazlasını sağlar ve yem, biyo-yakıt ve şeker şurupları gibi birçok endüstride önemli bir hammadDEDİR. Nişastanın, tahıllar, baklagiller ve kök bitkilerinde başlıca depo karbonhidrat olduğu bildirilmiştir. Amiloz ve amilopektin olarak adlandırılan sırasıyla doğrusal ve dallanmış gluklan polimerlerinden oluşan nişastanın, granüller şeklinde meydana geldiği belirtilmiştir. Amiloz ve amilopektin, granül içinde yarı-kristal formda, suda çözünmeyen tabakalar halinde bulunmaktadır. Amilozun, α -1,4 glikozidik bağlarıyla bağlı 2000-5000 adet D-glukopiranozil polimerinden meydana gelen ve %0.2-0.5 oranında dallanma gösteren bir polisakkarit olduğu belirtilmiştir. Amilopektin ise yaklaşık 10000 polimerizasyon derecesine (PD) sahip, %5-6 oranında α -1,6 glikozidik bağlarıyla bağlı dallanma noktaları ve yüzlerce kısa α -1,4 bağlarıyla bağlı D-glukopiranozil birimlerinden oluşan bir polisakkarit olarak tanımlanmıştır. Gıdalardaki normal nişastaların amiloz ve amilopektin oranları sırasıyla, %25-28 ve %72-75 olarak belirtilmiştir. Yüksek amilozlu (amilotip) nişastalar %85'e kadar amiloz içerirken, mumlu (waxy) nişastalar %0 amilozdan yaklaşık %9'a (mumlu arpa) kadar amiloz içerebilmektedir. Doğal nişastalar, sıcaklık ve pH değişimlerine karşı kararsız olduklarından ve dengesiz jel stabilitesi gösterdiklerinden endüstriyel kullanım için uygun olmadığı ifade edilmiştir. Bu sebeple, doğal nişastalar, fonksiyonel özelliklerini iyileştirmek için çeşitli yöntemler ile modifiye edilmektedir (Hung vd., 2006; Ahmed vd., 2016; Shevkani vd., 2017; Precha-Atsawan vd., 2018; Yoo vd., 2018; Samarakoon vd., 2020). Gıda endüstrisinin kimyasal yöntemlerle modifiye edilmiş nişasta kullanımını azaltmak için çeşitli nişasta modifikasyonları üzerinde çalışılmaktadır. Buna göre, yüksek nemde (%40-76) ve jelatinizasyon sıcaklığının altında fakat camısı geçiş sıcaklığının üstünde yapılan yumuşatma (tavlama)

yönteminin, nişastanın granül yapısını değiştirmeden fiziko-kimyasal özelliklerini iyileştirebilen bir modifikasyon olduğu belirtilmiştir. Kesikli veya kesiksiz yapılan bu yöntemde, nişastanın molekül ağırlığı (amiloz/amilopektin oranı), mikroskopik kristal yapısı, fiziko-kimyasal özellikleri ve *in vitro* sindirilebilirliğinin değiştirilebildiği ifade edilmiştir (Samarakoon vd., 2020; Su vd., 2020). Doğal pirinç ve diğer nişastaların teknolojik eksikliklerinin üstesinden gelmenin alternatif bir yolu da, doğal nişastalara hidrokolloidlerin eklenmesidir (Lee ve Kim, 2020).

MUMLU VE YÜKSEK AMİLOZLU NİŞASTALARIN SENTEZİ

Amiloz, waxy veya wx enzimi olarak da bilinen granüle bağlı nişasta sentetaz enzimi I (*granule-bound starch synthase I-GBSSI*) tarafından sentezlenirken; amilopektin, çözünür nişasta sentetaz enzimi (*soluble starch synthase-SSIIa*), dallanmış nişastadan sorumlu enzim (*starch branching enzyme-SBE*) ve nişastanın dallanma noktalarını kıran enzim (*starch debranched enzyme-DBE*) tarafından sentezlenmektedir. Ekmeklik buğday hegzaploid yani A, B ve D genomlarına sahip bir tahıldır. Her üç genomdan geçersiz/boş (null) sentezlenen GBSSI genleri (GBSSI-A1, GBSSI-B1 ve GBSSI-D1) amiloz sentezini durdururken amilopektin sentezini artırmaktadır. Tam tersine yine her üç genomdan geçersiz/boş sentezlenen SSIIa genleri (SSIIa-A1, SSIIa-B1 ve SSIIa-D1) ise amilopektin sentezini durdururken amiloz miktarını oransal olarak artırdığı ifade edilmiştir. Her iki gendeki (GBSSI ve SSIIa) geçersiz/boş mutasyonlar sonucu "tatlı buğday" olarak adlandırılan yüksek şekerli (özellikle yüksek maltozlu) çeşitlerin meydana geldiği bildirilmiştir. Tahıllarda, nişasta dallanma noktalarından sorumlu enzimin üç adet izozim formu (I, IIa ve IIb) keşfedilmiştir. Bunlardan nişastada dallanma noktalarından sorumlu enzimlerin (IIa ve IIb) RNA üzerindeki gen dizilimlerinin baskılanması

ile amiloz içeriğinin buğdayda %74'e kadar yükseltilebileceği saptanmıştır (Inokuma vd., 2016; Shevkani vd., 2017).

Mumlu (waxy) özellik, waxy lokusundaki granüle bağlı nişasta sentetazının (GBSSI enzimi) sentezi sırasındaki mutasyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak waxy geni, GBSSI enzimini kodlayan genlerdeki doğal veya doğal olmayan genetik mutasyonlardan kaynaklanmaktadır ve pirinç, arpa, mısır ve buğday dâhil birçok tahılda tanımlanmıştır (Graybosch vd., 2016; Fleischman vd., 2016; Svihus vd., 2005). Mumlu buğday ilk olarak 1994 yılında geleneksel yetiştirme tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Mumlu buğdayda, amiloz sentezinden sorumlu granüle bağlı nişasta sentetaz I (GBSSI) enziminin baskılanması sayesinde endospermde saptanabilir amiloz bulunmadığı görülmüştür (Hsieh vd., 2019). Mumlu nişasta neredeyse sadece α -(1,6)-glikozidik bağları ile oldukça dallanmış bir yapı gösterip, çok az düzeyde kısa α -(1,4)-D-glikopiranozil zincirleri içeren, yüksek molekül ağırlıklı ve yoğun kristal yapıya sahip polisakkarittir (Šárka ve Dvořáček, 2017).

MUMLU VE YÜKSEK AMİLOZLU NİŞASTALARIN YAPISAL ÖZELLİKLERİ

Nişasta granülü, amiloz ve amilopektin polisakkaritlerinden meydana gelmiş yarı-kristal bir makromoleküldür. Nişasta granülü katmanlı tabakalardan meydana gelmiştir (Hung vd., 2006). Nişasta; değirmen, mikser, durultucu ve filtrasyonlu santrifüj, hidrosiklonlar ve siklonlar, vakum filtreleri, akışkan kurutucular ve elekler gibi birçok makine ve ekipmanı içeren bir teknolojiyle izole edilmektedir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Nişasta granüllerinin boyutu, şekli, yapısı ve sayısı nişasta izolasyonu için çok önemli kriterlerdir ve nişasta tipine göre farklılık gösterir. Botanik açıdan farklı spesifik şekil, boyut ve yüzeylere (pürüzsüz veya pürüzlü) sahip nişasta granüllerinin fonksiyonel özellikleri ve sindirimi de farklılık gösterir (Magallanes-Cruz vd., 2017; Su vd., 2020).

Nişastadaki amilozun amilopektine oranı, amiloz ve amilopektin yapıları, bu iki polimerin düzenlenme şekli, bulunduğu yer ve diğer

moleküller ile etkileşimleri nişastanın fiziko-kimyasal ve fonksiyonel özelliklerini belirlemektedir. Amilozun amilopektine oranı, hamurun özelliklerini ve son ürün kalitesini de etkiler. Lipitler ve proteinler gibi az miktarda bulunan bileşenlerle etkileşimlerin de granüllerin molekül yapılarını etkilediği bildirilmiştir. Örneğin, mumlu nişastalar, normal ve yüksek amilozlu nişastalara göre daha az protein ve lipit içeriğine sahiptir (Singh vd., 2006; Shevkani vd., 2017; Kim vd., 2020; Li vd., 2020a). Normal ve yüksek amilozlu buğday nişastaları ile karşılaştırıldığında mumlu çeşitlerin daha küresel disk benzeri granül morfolojisi, daha küçük granül çapı ve daha fazla kristal yapı gösterdiği bildirilmiştir (Xu vd., 2020). Shevkani vd. (2017), mumlu ve normal mısır nişastalarının küresel ve poligonal-çokgen granül şekillerine sahipken, yüksek amilozlu mısır nişastasının uzun granül şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Kristallik özelliği, granüller içindeki amilopektin çift sarmallarının hiyerarşik organizasyonu sonucu ortaya çıkar. Amilopektinin dallanmış zincirleri birbirine dolanmış şekilde çift-sarmal yapıyı meydana getirir ve bu yapı sıkıca kapanarak kristal kümeleşmeler oluşturur. Amiloz ise daha az düzenli olup amorf yapıdan sorumludur. Bu sebeple, amiloz miktarı arttıkça nişasta kristallikliği azalmaktadır. Yüksek amilozlu buğday nişastaları %9, mumlu buğday nişastaları ise %40 oranında kristallenme derecesine sahiptir. X-ışını difraktometresinden elde edilen sonuçlar, mumlu nişastaların, normal ve yüksek amilozlu nişastalardan daha kristal bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Normal nişastaların ise yüksek amilozlu nişastalardan daha çok kristal yapı sergilediği belirtilmiştir (Shevkani vd., 2017; Zhu., 2017; Nivelle vd., 2019).

FARKLI NİŞASTA TİPLERİNİN FONKSİYONEL ÖZELLİKLERİ

Nişastanın kritik sıcaklığın üzerinde yeterli su ile ısıtılması, jelatinizasyon olarak bilinen geri dönüşümsüz bir faz geçişine yol açmaktadır. Jelatinizasyon, önce hidrasyon ve amorf bölgenin su absorbe ederek şişmesi ile başlar. Sonra moleküler düzenin bozulması (hidrojen bağlarının kopması) kristal yapının kaybolması (kristal bölgelerdeki amilopektinin ayrışması) meydana

gelir. Bu da artan hidrasyon ve geri dönüşümsüz değişimlere, yani granüllerin şişmesine ve çözünmesine sebep olur (Li vd., 2020b). Jelleşme ise sulu ortamdaki dağılık-çözünmüş nişasta moleküllerinin soğuma ile birlikte üç boyutlu ağ yapılarını yeniden oluşturmaya başladığı süreç olarak karakterize edilebilir. Nişasta jeli, kovalent olmayan, genellikle hidrojen bağıyla stabilize edilmiş, moleküller arası çift sarmal oluşum olarak tanımlanabilir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Kristal stabiliteye bağlı olan jelatinizasyon sıcaklığı, amiloz içeriği ile değişen kristal yüzey serbest enerjisi ve amilopektinin polimerizasyon derecesi tarafından olumsuz etkilenir (Nivelle vd., 2019). Normal nişastaların jelatinizasyonu genellikle düşük sıcaklık derecesi aralıklarında gerçekleşir. Amilopektinin moleküler boyutu ve dallanmış zincir uzunluğu, mumlu nişastaların jelatinizasyon davranışını ve ekmeğin hamurunun reolojik özelliklerini etkilemektedir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Ayrıca, yüksek miktardaki amiloz varlığı, yarı-kristal yapının erime noktasını ve jelatinizasyon için gerekli enerjiyi düşürmektedir. Bu sebeple, mumlu nişastalar, normal ve yüksek amilozlu nişastalardan daha yüksek jelatinizasyon sıcaklıkları ve endotermik entalpiye sahiptir (Shevkani vd., 2017; Li vd., 2020a). Kong vd. (2016) çeşitli arpalar ile ilgili yaptıkları bir çalışmada, amiloz içeriğinin, çirşlenme özellikleri ve jelatinizasyon entalpisi ile negatif korelasyona sahip olduğunu gözlemlemiştir. Nivelle vd. (2019), kısa zincirli amilopektin yüksek miktarda içerildiğinde daha düşük, uzun zincirli amilopektin yüksek miktarda içerildiğinde ise daha yüksek jelatinizasyon sıcaklığı sergilendiğini rapor etmişlerdir. Mumlu nişastada amilopektin molekülleri uzun süreli ısıtma ile büyük bir kısmı granüllerden ayrılmakta ve sistem amilopektin çözeltisi haline dönüşmektedir. Öte yandan şişmiş granüller, mekanik bozulma viskozitesine (breakdown) oldukça duyarlıdır ve daha hızlı çözündüğü bildirilmiştir (Šárka ve Dvořáček, 2017). Normal nişastalara kıyasla, mumlu patates, mumlu mısır ve mumlu arpa gibi amiloz içermeyen nişastalar, dar bir sıcaklık aralığında daha fazla su absorbe ederek şişme özelliği sergilerler. Ayrıca, nişasta granül yüzeyindeki protein ve lipit miktarı azaltılırsa, mısır ve buğday nişastası granüllerinde su absorpsiyonu sonucu

şişme oranının artabileceği ifade edilmiştir (Vamadevan ve Bertoft, 2018).

Çirşlenmiş nişastada soğuma ile birlikte amiloz ve amilopektin molekülleri arasında hidrojen bağları ile moleküler etkileşimler meydana gelmekte ve bu olay retrogradasyon olarak isimlendirilmektedir (Vamadevan ve Bertoft, 2018). Retrogradasyon, nişasta bazlı gıdaların raf ömrü kalitesini etkileyen başlıca faktördür, özellikle fırıncılık ürünlerinde istenmeyen değişikliklere sebep olur (Mahmood vd., 2017). Retrogradasyona en güzel örnek ekmeğin bayatlaması verilebilir. Genel olarak, düşük amiloz içeriğinde yani mumlu nişastada, daha yüksek hamur viskozitesi ve düşük retrogradasyon eğilimi görülür (Hung vd., 2006). Nişasta çirşinin soğutulması ve depolanması sırasında, amiloz molekülleri çift sarmallar oluşturmak için yeniden birleşirken, amilopektinin dallanma noktaları kristal yapıyı oluşturmak için kendilerini kısmen düzenli yapılar halinde sıralarlar. Amiloz, retrogradasyon hızını artırmaktadır ve nişasta çirşinin soğutulması ve kısa süreli depolanması sırasında esnekliğin artmasından (ekmeğin kabuğunun bayatlaması) büyük ölçüde sorumludur (Shevkani vd., 2017). Weil vd. (2020) normal tapiyoka (manyok) nişastası ile karşılaştırıldığında, mumlu tapiyoka nişastasının 130°C'de daha yüksek bir çözünürlük, daha iyi berraklık ve daha düşük retrogradasyon eğilimine sahip olduğunu bildirmiştir. Li vd. (2020a), kısa amilopektin zincirlerinin (PD=13-24) retrogradasyonu teşvik ettiğini; uzun amilopektin zincirlerinin (PD≥37) daha düşük retrogradasyon eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Ekmeğin bayatlaması üzerine yapılan çalışmalarda, amiloz/amilopektin oranının nişasta retrogradasyonu üzerinde belirgin bir etkisi olduğu ve mumlu nişasta ilave edilmesinin retrogradasyonu geciktirebileceği ifade edilmiştir (Luo vd., 2020). Mumlu nişastalardaki yüksek amilopektin oranı, yapışkan ve sakızimsı bir doku sağlamaktadır (Mahmood vd., 2017). Yüksek amilozlu nişastada meydana gelen hızlı retrogradasyon, amilozun düşük molekül ağırlığı ile açıklanmaktadır. Depolama süresince amilopektinin tekrar agregat bir yapıya ulaşması ise daha yavaş seyretmektedir. Dolayısıyla, mumlu ve normal nişastalar, yüksek amilozlu

nişastalardan daha yavaş ve daha az retrogradasyon eğilimindedir (Shevkani vd., 2017). Yapılan bir çalışmada, mumlu buğday nişastası depolama sırasında retrogradasyona karşı yüksek direnç gösterdiği bulunmuştur. Örneğin, 3 hafta depolama süresince, mumlu buğday nişastası jellerinin entalpisi bir miktar değişirken, normal buğday nişastası jellerinin entalpisinin iki kat arttığı bildirilmiştir (Hung vd., 2006).

Amiloz/amilopektin oranının yanı sıra; amilopektinin yapısı, lipitler ve lipitlerin amiloz ile kompleks oluşturması nişasta çirşlenme özelliklerini etkiler. Genel olarak, amiloz ve amiloz-lipit kompleksi miktarı ile pik viskozite değeri arasında ters orantı bulunmaktadır. Çünkü artan amiloz ve amiloz-lipit oranı, granüler sertliği ve bütünlüğü artırarak çirşlenme sıcaklığını yükseltmekte ve pik viskoziteyi düşürmektedir. Bu sebeple, mumlu nişastalar, normal ve yüksek amilozlu nişastalardan daha yüksek pik viskozite ve kınlma viskozitesi gösterirken, daha düşük çirşlenme sıcaklığına sahip olduğu bildirilmiştir (Shevkani vd., 2017).

Hsieh vd. (2019), mumlu buğday, mısır, pirinç ve tapiyoka nişastaları normal muadillerine göre daha yüksek viskozite gösterirken, mumlu patates nişastasının normal patates nişastasından daha düşük viskozite gösterdiğini rapor etmişlerdir. Park vd. (2009)'nin yaptığı bir araştırmaya göre, patates nişastası, mumlu mısır nişastasından daha yüksek pik ve son viskoziteye sahip olduğu bulunmuştur. Mumlu mısır nişastasının karışımındaki oranı arttıkça karışımın pik ve son viskozitesi azalmıştır. Patates nişastası (67.9°C), mumlu mısır nişastasından (75.8°C) daha düşük jelatinizasyon derecesi göstermiştir. Bu yüzden, karışımın jelatinizasyon derecesinin, mumlu mısır nişastası oranı arttıkça arttığı bildirilmiştir (Park vd., 2009). Yapılan çalışmalarda, mumlu buğday unlarının, hamur hazırlama sırasında normal buğday unlarına göre daha düşük son viskozite gösterdiği görülmektedir. Garimella Purna vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, mumlu buğday nişastasının daha düşük jelatinizasyon sıcaklıklarına ve normal buğday nişastasından 2.5 kat daha fazla pik viskoziteye sahip olduğu bildirilmiştir. Ayrıca, mumlu buğday nişastasının, daha iyi bir kıvamlaştırma gücüne sahip modifiye

nişasta ürünleri üretmek için iyi bir kaynak olduğu belirtilmiştir (Garimella Purna vd., 2015).

FARKLI NİŞASTA TIPLERİNİN ÜRÜN KALİTESİNE ETKİLERİ

Amiloz/amilopektin oranı nişastanın fiziko-kimyasal özelliklerini belirlediğinden, buğday unundaki nişasta, erişte, ekmekek, bisküvi gibi ürünlerin üretilmesi sırasındaki hamur özelliklerini ve son ürün kalitesini belirler. Mumlu nişastaların geliştirilmesi de sanayide kullanılan nişastanın bazı özelliklerinin iyileştirilmesini sağlamıştır (Šárka ve Dvořáček, 2017; Wang ve Shi, 2020). Mumlu buğdayda yüksek amilopektin düzeyinin, un ve nişasta özellikleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğu, mumlu buğday ununun daha fazla su emdiği ve hamur gelişimi için daha kısa süre ve enerji gerektirdiği ifade edilmektedir. Mumlu buğday unu hamurunun karıştırmaya karşı direncinin normal nişastadan daha az olduğu belirtilmiştir (Abdel-Aal vd., 2002). Mumlu buğday nişastasının normal buğday nişastasına göre bazı avantajları olmasına rağmen, gıdalardaki uygulamalarını sınırlayan istenmeyen lifli hamur dokusu ve depolama sırasındaki retrogradasyonu gibi bazı dezavantajları vardır. Mumlu buğday nişastası hamurunun tekstürünü iyileştirmek için çapraz bağlama yapılabilir. Nişastanın propilen oksit ile modifikasyonu olan hidroksipropilasyon yönteminin nişastadaki hidroksil gruplarının yerini alarak mumlu buğday nişastasının işlevselliğini artırabileceği bildirilmiştir. Buna göre, normal ve mumlu buğday ve mumlu mısır nişastalarının %3-9 oranında hidroksipropilasyonu sonucunda molar süstitüsyon oranındaki artışla birlikte jelatinizasyon sıcaklığı ve entalpi değerlerinin azaldığı, şişme derecelerinin arttığı ve soğukta depolama süresince retrogradasyon eğiliminin azaldığı ifade edilmiştir (Wang ve Shi, 2020).

Choi ve Baik (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı nişasta tiplerine ve tane sertliğine sahip 20 adet buğday unundan veya nişastalarından pandispanya keki yapılmış, normal ve mumlu nişasta karışımındaki amiloz içeriği azaldıkça kek hacminin de azaldığı ve kek hacminin çirşlenme (pasting) özellikleri ile önemli derecede ilişkili olduğu belirtilmiştir. Hung vd. (2007) tarafından

buğday nişastasındaki amilopektinin, su absorbe ederek nişasta granüllerinin şişmesine ve çirşlenmesine katkı sağlarken, amiloz ve lipitlerin bu aşamaları geciktirmeye çalıştığı bildirilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ($>50^{\circ}\text{C}$), mumlu buğday nişastasının şişme gücü hızla artmış, normal ve yüksek amilozlu buğday nişastalarından daha fazla gerçekleşmiştir. Bu sebeple, mumlu buğday nişastası ısıtma sırasında suyun büyük miktarını absorbe ederek yüksek şişme gücüne ve viskozitede bir artışa sebep olmuş, 70°C 'den daha fazla sıcaklıklarda ısıtıldığında sudaki çözünürlüğü artmıştır. Yüksek amilozlu buğday nişastasının ise 50°C 'den düşük sıcaklıklarda ısıtıldığında normal ve mumlu buğday nişastasından daha yüksek şişme gücüne sahip olduğu ifade edilmiştir (Hung vd., 2007).

Mumlu nişastaların, ekmeğin bayatlamasını yavaşlatmak için kullanılabileceği belirtilmiştir. Düşük amiloz içeriği ekmeği başlangıçta çok yumuşak hale getirmekte ve bayatlama sırasında amilopektin retrogradasyonunun çok sert bir ekmek yapısı vermediği ve amilopektin retrogradasyonunun su içeriğine bağlı olduğu rapor edilmiştir (Eliasson vd., 2013). Mumlu buğday ununun fırıncılık ürünlerinin hacmini, nem tutma kapasitesini, yumuşaklığını ve raf ömrünü artırdığı, ayrıca bu ürünlerde yağ miktarını azalttığı ifade edilmiştir. Kahvaltılık mısır gevrekleri, krakerler ve tuzlu atıştırmalıklar gibi kuru tahıl ürünlerinde, ürünün ısınmasını kolaylaştırmak ve ufalanabilirliğini artırmak amacıyla mumlu buğday unu eklendiği belirtilmiştir (Garimella Purna vd., 2015). Witczak vd. (2019) mumlu nişastanın nişasta temelli glutensiz ekmek yapımı ve bayatlamasının geciktirilmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Mısır/patates nişastaları karışımının %10'unun mumlu nişasta karışımı (mumlu mısır/mumlu patates nişastası) ile yer değiştirilmesi, ekmek hacminde optimum bir artışa, ekmek içi yapısında çok az bir değişime sebep olmuştur. Mumlu nişasta karışımının %10-15 oranlarında eklenmesi ile ekmek içi tekstüründe olumlu bir etki, ekmek sertliği ve çignenebilirlik özelliğinde bir azalma fakat depolama süresince bir artma ve amilopektin retrogradasyon entalpisinde bir azalma tespit etmişlerdir. Singh vd. (2006) tarafından, mumlu

mısır nişastalarının şişme gücünün ($30.2-39.2$ g/g), amilotip mısır nişastası (7.8 g/g) ve normal mısır nişastalarından ($11.6-15.2$ g/g) daha yüksek olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada, normal nişastalar ve amilotip nişastanın amiloz içeriği sırasıyla %29.5-32.6 ve %41 olarak belirlenirken; amilotip, normal ve mumlu nişastalarının DSC'de ölçülen faz geçiş sıcaklık aralıkları (T_o-T_i) sırasıyla; $60.5-76.1$, $63.5-76.3$ ve $64.4-81.3^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. Mumlu buğday unundan yapılan ekmeğin kalitesinin düşük ve tüketiciler tarafından kabul görmediği bildirilmiştir. Çünkü mumlu buğday unundan yapılan ekmeğin fazla miktarda gözenek ve zayıf ekmek içi yapısına sahip olduğu ve depolama ile birlikte bu yapının çökerek yapışkan bir ekmek içinin olduğu bildirilmiştir. Mumlu buğday unundan hazırlanan eriştelere, normal nişastalı buğday unundan yapılan eriştelere göre pişirmeden sonra oldukça yapışkan ve yumuşak olduğu, yüzeyinde çok sayıda kabarcığın meydana geldiği ve kızartma sırasında birbirine yapıştığı ve aşırı yağ absorbe ettiği ifade edilmiştir (Jung vd., 2015). Mumlu buğday ununun farklı buğday kepekleri ile %12.5-37.5 oranında katlandıktan sonra yapılan ekstrüzyon işlemiyle üretilen ekstrüde ürünlerin fiziksel ve çirşlenme özelliklerinin oldukça farklılık gösterdiği ifade edilmiştir (Fleischman vd., 2016). Hogg vd. (2015) tarafından, makarna yapımında yüksek amilozlu makarnalık buğdayın kullanılmasının, aşırı pişmeye karşı daha dirençli ve sert makarna verdiği, son ürün kalitesini ve bununla birlikte beslenme kalitesini de artırdığı bildirilmiştir. Yüksek amilozlu makarnanın, bağırsak ve kardiyovasküler hastalıkları önleyen ve glisemik tepkiyi azaltan enzime dirençli nişasta bakımından zengin olduğu rapor edilmiştir. Liu vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmada; peynirde daha homojen bir yapının elde edilmesi amacıyla sodyum kazeinatın yerine mumlu pirinç nişastasının kullanılması ve mumlu pirinç nişastasının peynirlerin yapısı üzerindeki etkisi araştırılmış, mumlu pirinç nişastasının peynirlerin olgunlaşmasını, homojenliğini, sertliğini, kokusunun keskinliğini ve rengini iyileştirdiği gösterilmiştir.

FARKLI NİŞASTA TİPLERİNİN SİNDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİ

Nişastanın sindirimi sonucu, örneğin Tip II diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi metabolik hastalıkları tetikleyen glukoz salınımı gerçekleşmektedir. Dolayısıyla, insanların sağlığını korumak için nişasta sindirilebilirliğinin düzenlenmesine (sindirim oranı ve derecesi vb.) büyük ölçüde dikkat edilmelidir (Qiao vd., 2017). Nişastalar sindirilebilirlik özelliklerine göre hızlı sindirilebilir nişasta (HSN), yavaş sindirilebilir nişasta (YSN) ve enzime dirençli nişasta (EDN) olmak üzere üçe ayrılır. İnsan vücudunda, HSN, yemek sonrası ilk 20 dakikadaki kan glukoz seviyesindeki artıştan sorumlu olup, tüketilen gıdanın glisemik indeks (GI) değeri ile bağlantılıdır. HSN'nin, diyabet, obezite ve kardiyovasküler hastalıklar gibi birçok kronik hastalıklara sebep olan hiper-glisemiye yol açtığı bildirilmiştir. YSN, ince bağırsakta yavaşça sindirilen, 120 dakikaya kadar kan glukoz seviyesini yükseltmeyen nişasta tipi olup, glisemik tepkiyi ve hiper-lipidemiye azalttığı, zihinsel performansı ve tokluğu etkili bir şekilde düzenlediği ifade edilmiştir. EDN, ince bağırsakta amilolitik enzimlerin sindirime direnç gösteren ve kalın bağırsaktaki bakteriler tarafından kısmen veya tamamen fermente edilerek kısa zincirli yağ asitleri gibi önemli son ürünler meydana getiren nişasta olarak tanımlanır. Ayrıca, EDN, ülseratif kolit ve kolon kanserinin önlenmesi, glisemik tepkiyi düşürmesi, kolesterol seviyesi, safra taşı oluşumu, Tip II diyabet ve obezitenin önlenmesi ve mineral emilimini artırması gibi fizyolojik yararları sahiptir ve probiyotiklerin gelişmesini teşvik ettiği için iyi bir prebiyotiktir. Bu sebeple, son yıllardaki beslenme rehberleri, HSN tüketimini azaltmayı ve insan sağlığına fizyolojik yararlar sağlayan EDN tüketimini artırmayı önermektedir (Lu ve Baik, 2015; Ahmed vd. 2016; Sui vd., 2017; Zhong vd., 2018; Yoo vd., 2018; Situ vd., 2019; Kim vd., 2020; Zhang vd., 2020; Xu vd., 2020).

Nişastanın sindirimi; kristal yapının düzenliliği, amiloz ve amilopektinin moleküler yapıları, dallanmış yapının yoğunluğu ve amiloz miktarından büyük ölçüde etkilenmektedir. Amiloz/amilopektin oranı, nişasta

sindirilebilirliğini etkileyen ana faktörlerden birisidir. Mumlu nişastalar genellikle hızlı sindirilebilir nişastalardır. Yüksek amilozlu nişastalar ise yavaş sindirilir ve EDN kaynağıdır. Yüksek amilozlu nişastalar, yüzeyindeki porlar sebebi ile daha yavaş hidrolize edilirken, mumlu nişastaların iç taraflarındaki porlar sebebi ile daha yüksek oranlarda sindirildiği belirtilmiştir. *In vitro* sindirim sonuçları, EDN miktarının, yüksek amiloz içeriği, tek helikslü yapı ve yüzey kısa-sıralı yapının miktarı ile arttığını göstermiştir. EDN'nin, tek helikslü yapıdan ve 13-24 polimerizasyon dereceli kristalitlerden oluştuğu bildirilmiştir. YSN ise tek helikslü yapıdan oluşurken, hızlı sindirilebilir nişastanın düzensiz amorf bölgelerden meydana geldiği ifade edilmiştir. Araştırmalar amilopektinin amiloza göre daha hızlı sindirildiğini göstermiştir. Mumlu nişastaların amilolitik aktiviteye hassasiyeti, yapısındaki amilopektin molekülünün yüzey alanının oldukça fazla olmasından ileri gelmektedir. Bununla birlikte uzun amiloz zincirinin, nişasta sindirilebilirliğini artırdığı rapor edilmiştir. Kısa çift sarmallı normal nişastalar, amilolitik aktiviteye oldukça hassastır ve yüksek miktarda hızlı ve yavaş sindirilebilir nişasta içerirler. Ayrıca, jelatinize mumlu nişastanın enzimatik hidrolize hassasiyetinin, normal ve yüksek amilozlu nişastalara göre daha fazla olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte nişastaya bağlı protein ve lipitlerin nişasta sindirilebilirliğini azalttığı çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Svihus vd., 2005; Shevkani vd., 2017; Situ vd., 2019; Xu vd., 2020). Yapılan bir çalışmada, yüksek amilozlu durum buğdayından yapılan makarnanın besinsel kalitesinin iyileştiği ve uzun süre pişmeye karşı direncinin arttığı tespit edilmiştir (Hogg vd., 2015). Yüksek amilozlu nişastanın, gıdalardaki lif içeriğini veya EDN içeriğini artırarak Tip II diyabet ve obezite gibi metabolik bozuklukları azalttığı, bağışıklık sistemi ve kolonik hastalıkları iyileştirdiği rapor edilmiştir (Li vd., 2020). Amilozun sindirimi amilopektine göre daha yavaştır ve glukozun kandaki dolaşımı da daha yavaş seyreder. Amilozun ince bağırsaktaki sindirimini tam olarak tamamlanmadığı ve amiloz ile zengin nişastaların sindirime daha fazla direnç gösterdiği bildirilmiştir. Yüksek amilozlu nişastaların sindirime olan direnci çeşitli

mekanizmalar ile açıklanmıştır, bunlar: **a.** nişasta granüllerinin, amilozun amilopektin kristalleri arasında sarmalanması sebebiyle kapalı bir bütünlük arz etmesi; **b.** fazla miktardaki amiloz-lipit kompleksi sayesinde sulu ortamda ısıtma süresince nişasta granüllerinin sınırlı düzeyde şişmesi; **c.** jelatinize nişastanın depolama süresince retrogradasyonu sonucu muntazam kristal yapılara dönüşmesidir. Hem insan hem de hayvan deneylerinde bulunan sonuçlara göre, diyetle yüksek amilozlu mısır nişastası eklenmesinin, yağ birikimini azalttığı veya vücuttaki yağ dağılımını değiştirdiği rapor edilmiştir. Yüksek amilozlu mısır nişastası ile beslenmenin ayrıca, serum kolesterol, serum trigliserit ve hepatik trigliserit düzeylerini düşürdüğü ve adipoz dokuda yağlanmayı engellediği, obezite ve ilgili kronik hastalıkların ortaya çıkışının azaltılabildiği bildirilmiştir (Ai ve Jane, 2016). Probiyotikler (*Clostridium butyricum* veya *Bifidobacterium lactis*) ile kombinasyon halinde kullanılan yüksek amilozlu mısır nişastasının, kolon kanserinin veya onun varsayılan öncü lezyonlarının gelişimini etkin bir şekilde inhibe ettiği bildirilmiştir. Ayrıca, hayvan deneyleri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar, yüksek amilozlu mısır nişastasının gıdalara eklenmesinin, Ca, Mg, Zn, Fe ve Cu dâhil olmak üzere önemli minerallerin emilimini belirgin şekilde artırdığı ifade edilmiştir. Minerallerin gelişmiş emiliminin, yüksek amilozlu mısır nişastasının fermantasyonu ile birlikte meydana gelen kısa zincirli yağ asitlerinin üretilmesi ve daha düşük bir pH'da bağırsak ve kolondaki artan çözünürlükleri ile ilgili olduğu ifade edilmiştir (Ai ve Jane, 2016).

Nişasta granülleri, özel koşullar altında pullulanaz ve izoamilaz gibi enzimlerle α -1,6 bağlı dallanma noktalarından hidroliz edilebilirler. Mumlu nişastanın tamamen dallanma noktalarından ayrılması ile her nişasta kaynağının yapısına bağlı olarak, yaklaşık 6-100 arasında değişen zincir uzunluklarına sahip doğrusal dekstrin/amiloz zincirleri meydana gelebilmektedir. Bir dizi patentli gıdada ve gıda dışı üründe dallanma noktaları hidroliz edilerek çeşitli nişasta tipleri ortaya çıkarılmıştır. Örneğin bu nişastaların EDN kaynağı, yağ ikame maddesi, opaklaştırıcı madde, içeceklerde renklendirici ve kozmetikte

nemlendirici ve dokusal özellikleri iyileştiren ajan olarak kullanılabilmesi ifade edilmiştir. Dallanma noktalarından hidrolize olmuş nişastalardan EDN ve YSN üretimi ile ilgili güncel çalışmalar halen sürmektedir (Precha-Atsawan vd., 2018).

YÜKSEK AMILOZLU NİŞASTADAN DİRENÇLİ NİŞASTA ÜRETİMİ

Enzime dirençli nişasta (EDN) beş farklı tipte bulunur: EDN₁: kısmen veya tamamen öğütülmüş tohumlar gibi sindirilemeyen bir matris içinde fiziksel olarak tutulmuş, erişilemeyen nişasta; EDN₂: doğal granül formundaki nişasta; EDN₃: ısıtılmış daha sonra soğutulmuş retrograde nişasta; EDN₄: kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta; EDN₅: amiloz sarmal yapısında lipit bileşeni ile kompleks yapmış nişasta olarak karakterize edilmektedir (Masatcioğlu vd., 2017). EDN₂, patates, yeşil muz, yüksek amilozlu mısır nişastası ve bazı baklagillerde bulunur. Bu nişastalarda, uzun zincirli dallanmış amilopektin molekülü oransal olarak daha fazla bulunur. Bu ise esnek olmayan bölgelerin ve zayıf noktaların meydana gelmesine yol açmakta ve böylece doğal nişasta granüllerini enzimatik hidrolize karşı dirençli hale getirmektedir. Nişastadaki yüksek miktardaki ve uzun amiloz içeriği genel olarak yüksek miktardaki EDN içeriği ile ilişkilendirilmekte olup, ıslah çalışmaları yoluyla amiloz seviyesinin yükseltilmesi ile endojen EDN miktarının artırılmasının olası bir yöntem olduğu ifade edilmiştir. İki metodun başarı ile kullanılabilmesi belirtilmiştir, bunlar: yüksek amiloz üretimini sağlayan genlere sahip mutantlar ile melezleme ve nişasta sentezinde dallanmadan sorumlu enzimlerin inhibisyonu şeklinde açıklanmıştır (Dupuis vd., 2014). Retrograde amiloz, EDN₃'nin bir formudur ve çok yavaş sindirildiğinden besinsel lif gibi davrandığı belirtilmiştir. Amiloz amilopektine göre daha kısa sürede retrograde olabilmektedir. Bu sebeple; amiloz/amilopektin oranı ne kadar yüksekse retrogradasyon o kadar hızlı gerçekleşmekte ve amiloz bakımından zengin olan nişastalardan daha fazla EDN üretilmektedir. Mumlu, normal ve yüksek amilozlu mısır nişastaları, nişasta yapılarındaki düzenliliği azaltmak için su ile karıştırıldıktan sonra ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuş ve yalnızca yüksek amilozlu ekstrüde mısır nişastasının

sindirime karşı direncinin en fazla olduğu görülmüş, uzun zincir yapısına sahip amiloz molekülünün bunda önemli rol oynadığı belirtilmiştir (Zhang vd., 2015). Yüksek amilozlu buğdayların besinsel lif içeriklerinin EDN miktarları sayesinde 10 kat artması ile kronik hastalıkların önlenmesi için gerekli sağlıklı gıdaların üretilmesinde kullanılabileceği rapor edilmiştir (Bird ve Regina, 2018).

SONUÇ

Mumlu ve yüksek amilozlu tahıl nişastaları, tahıl genomlarında bazı modifikasyonlar yapılarak geliştirilmiştir. Mumlu ve yüksek amilozlu tahıl nişastaları son ürünün tekstürünü ve kalitesini istenilen şekilde iyileştirmek için gıda ürünlerinde tercih edilmektedir. Bu nişastalar, çeşitli fizyolojik etkilere sahip besinsel lif ve enzime dirençli nişasta kaynakları olarak son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Yüksek amilozlu nişasta, prebiyotik özelliğe sahip EDN üretiminde önemli bir kaynaktır. Yüksek amilozlu tahıl nişastaları ile beslenmenin kronik hastalıkların önlenmesinde önemli olduğu vurgulanmıştır. Amiloz biyosentezinden sorumlu GBSS genlerinin baskılanması ile sentezlenen mumlu nişasta, yüksek düzeyde dallanmış ve kristal yapıya sahiptir. Bu yapısal özellikler mumlu buğday nişastasına, yüksek şişme gücü ve çirş viskozitesi ve fakat düşük çirşlenme sıcaklığı, düşük retrogradasyon eğilimi yani katılma viskozitesi gibi fonksiyonel özellikler kazandırmaktadır. Bundan dolayı, gıda ürünlerinde normal buğday nişastasının yerine mumlu buğday nişastasının kullanımı ile daha geç bayatlayan ve uzun raf ömrüne sahip fırıncılık ürünlerinin üretilabileceği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

YAZAR KATKILARI

EY, MTM ve BC derlemeyi birlikte planlamış, yazmış ve son halini onaylamışlardır.

KAYNAKLAR

Abdel-Aal, E.-S.M., Huck, P., Chibbar, R.N., Han, H.L., Demeke, T. (2002). Physicochemical

and structural characteristics of flours and starches from waxy and nonwaxy wheats. *Cereal Chem*, 79(3): 458–464.

Ahmed, Z., Tetlow, I.J., Falk, D.E., Liu, Q., Emes, M.J. (2016). Resistant starch content is related to granule size in barley. *Cereal Chem*, 93(6): 618-630.

Ai, Y., Jane, J.-I. (2016). Macronutrients in corn and human nutrition. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 15(3): 581-598.

Bird, A.R., Regina, A. (2018). High amylose wheat: A platform for delivering human health benefits. *J Cereal Sci*, 82: 99-105.

Choi, H.-W., Baik, B.-K. (2014). Significance of starch properties and quantity on sponge cake volume. *Cereal Chem*, 91(3): 280–285.

Dupuis, J.H., Liu, Q., Yada, R.Y. (2014). Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 13(6): 1219-1234.

Eliasson, A.-C., Bergenstal, B., Nilsson, L., Sjöo, M. (2013). From molecules to products: Some aspects of structure-function relationships in cereal starches. *Cereal Chem*, 90(4): 326-334.

Fleischman, E.F., Kowalski, R.J., Morris, C.F., Nguyen, T., Li, C., Ganjyal, G., Ross, C.F. (2016). Physical, textural, and antioxidant properties of extruded waxy wheat flour snack supplemented with several varieties of bran. *J Food Sci*, 81(11): E2726-E2733.

Garimella Purna, S.K., Shi, Y.-C., Guan, L., Wilson, J.D., Graybosch, R.A. (2015). Factors governing pasting properties of waxy wheat flours. *Cereal Chem*, 92(5): 529-535.

Graybosch, R.A., Ohm, J.-B., Dykes, L. (2016). Observations on the quality characteristics of waxy (amylose-free) winter wheats. *Cereal Chem*, 93(6): 599-604.

Hogg, A.C., Martin, J.M., Manthey, F.A., Giroux, M.J. (2015). Nutritional and quality traits of pasta made from SSIIa null high-amylose durum wheat. *Cereal Chem*, 92(4): 395-400.

- Hsieh, C.-F., Liu, W., Whaley, J. K., Shi, Y.-C. (2019). Structure and functional properties of waxy starches. *Food Hydrocoll*, 94: 238-254.
- Hung, P.V., Maeda, T., Morita, N. (2006). Waxy and high-amylose wheat starches and flours-characteristics, functionality and application. *Trends Food Sci Technol*, 17(8): 448-456.
- Hung, P.V., Maeda, T., Morita, N. (2007). Study on physicochemical characteristics of waxy and high amylose wheat starches in comparison with normal wheat starch. *Starke*, 59(3-4): 125-131.
- Inokuma, T., Vrinten, P., Shimbata, T., Sunohara, A., Ito, H., Saito, M., Taniguchi, Y., Nakamura, T. (2016). Using the hexaploid nature of wheat to create variability in starch characteristics. *J Agric Food Chem*, 64(4): 941-947.
- Jung, T.-H., Kim J.Y., Baik, B.-K., Park, C.S. (2015). Physicochemical and thermal characteristics of starch isolated from a waxy wheat genotype exhibiting partial expression of wx proteins. *Cereal Chem*, 92(1): 14-21.
- Kim, H.R., Jun Choi, S., Choi, H.-D., Park, C.-S., Moon, T.W. (2020). Amylosucrase-modified waxy potato starches recrystallized with amylose: the role of amylopectin chain length in formation of low-digestible fractions. *Food Chem*, 318: 126490.
- Kong, X., Kasapis, S., Zhu, P., Sui, Z., Bao, J., Corke, H. (2016). Physicochemical and structural characteristics of starches from Chinese hull-less barley cultivars. *Int J Food Sci Technol*, 51(2): 509-518.
- Lee, H., Kim, H.-S. (2020). Pasting and paste properties of waxy rice starch as affected by hydroxypropyl methylcellulose and its viscosity. *Int J Biol Macromol*, 153: 1202-1210.
- Li, C., Zhou, D., Fan, T., Wang, M., Zhu, M., Ding, J., Zhu, X., Guo, W., Shi, Y.-C. (2020a). Structure and physicochemical properties of two waxy wheat starches. *Food Chem*, 318, 126492.
- Li, C., Dhital, S., Gilbert, R. G., Gidley, M. J. (2020b). High-amylose wheat starch: structural basis for water absorption and pasting properties. *Carbohydr Polym*, 245, 116557.
- Li, H., Dhital, S., Flanagan, B. M., Mata, J., Gilbert, E. P., Gidley, M. J. (2020). High-amylose wheat and maize starches have distinctly different granule organization and annealing behaviour: A key role for chain mobility. *Food Hydrocoll*, 105, 105820.
- Liu, L., Zhang, H., Li, X., Han, X., Qu, X., Chen, P., Wang, H., Wang, L. (2018). Effect of waxy rice starch on textural and microstructural properties of microwave-puffed cheese chips. *Int J Dairy Technol*, 71(2): 501-511.
- Lu, L., Baik, B.-K. (2015). Starch characteristics influencing resistant starch content of cooked buckwheat groats. *Cereal Chem*, 92(1): 65-72.
- Luo, Y., Xiao, Y., Shen, M., Wen, H., Ren, Y., Yang, J., Han X, Xie, J. (2020). Effect of *Mesona chinensis* polysaccharide on the retrogradation properties of maize and waxy maize starches during storage. *Food Hydrocoll*, 101, 105538.
- Magallanes-Cruz, P.A., Flores-Silva, P.C., Bello-Perez L.A. (2017). Starch structure influences its digestibility: A Review. *J Food Sci*, 82(9): 2016-2023.
- Mahmood, K., Kamilah, H., Shang, P.L., Sulaiman, S., Ariffin, F., Alias, A.K. (2017). A review: Interaction of starch/non-starch hydrocolloid blending and the recent food applications. *Food Biosci*, 19: 110-120.
- Masatcioğlu, T.M., Sumer, Z., Koksels, H. (2017). An innovative approach for significantly increasing enzyme resistant starch type 3 content in high amylose starches by using extrusion. *J Cereal Sci*, 74: 95-102.
- Nivelle, M.A., Remmerie, E., Bosmans, G.M., Vrinten, P., Nakamura, T., Delcour, J.A. (2019). Amylose and amylopectin functionality during baking and cooling of bread prepared from flour of wheat containing unusual starches: A temperature-controlled time domain 1H NMR study. *Food Chem*, 295: 110-119.
- Park, E.Y., Kim, H.N., Kim, J.Y., Lim, S.T. (2009). Pasting properties of potato starch and waxy maize starch mixtures. *Starke*, 61(6): 352-357.

- Precha-Atsawan, S., Puncha-Arnon, S., Wandee, Y., Uttapap, D., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. (2018). Physicochemical properties of partially debranched waxy rice starch. *Food Hydrocoll*, 79: 71-80.
- Qiao, D., Xie, F., Zhang, B., Zou, W., Zhao, S., Niu, M., Lv, R., Cheng, Q., Jiang, F., Zhu, J. (2017). A further understanding of the multi-scale supramolecular structure and digestion rate of waxy starch. *Food Hydrocoll*, 65: 24-34.
- Samarakoon, E. R. J., Waduge, R., Liu, Q., Shahidi, F., Banoub, J. H. (2020). Impact of annealing on the hierarchical structure and physicochemical properties of waxy starches of different botanical origins. *Food Chem*, 303, 125344.
- Šárka, E., Dvořáček, V. (2017). Waxy starch as a perspective raw material (a review). *Food Hydrocoll*, 69: 402-409.
- Shevkani, K., Singh, N., Bajaj, R., Kaur, A. (2017). Wheat starch production, structure, functionality and applications-A review. *Int J Food Sci Technol*, 52(1): 38-58.
- Singh, N., Inouchi, N., Nishinari, K. (2006). Structural, thermal and viscoelastic characteristics of starches separated from normal, sugary and waxy maize. *Food Hydrocoll*, 20(6): 923-935.
- Situ, W., Song, X., Luo, S., Yang, J. (2019). Digestibility and structures of vinasse starches with different types of raw rice and fermented leaven. *Food Chem*, 294: 96-103.
- Su, C., Saleh, A. S. M., Zhang, B., Zhao, K., Ge, X., Zhang, Q., Li, W. (2020). Changes in structural, physicochemical, and digestive properties of normal and waxy wheat starch during repeated and continuous annealing. *Carbohydr Polym*, 247, 116675.
- Sui, Z., Yao, T., Ye, X., Bao, J., Kong, X., Wu, Y. (2017). Physicochemical properties and starch digestibility of in-kernel eat-moisture-treated waxy, low-, and high-amylose rice starch. *Stärke*, 69(7-8): 1600164.
- Svihus, B., Uhlen, A.K., Harstad, O.M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Anim Feed Sci Technol*, 122(3-4): 303-320.
- Vamadavan, V., Bertoft, E. (2018). Impact of different structural types of amylopectin on retrogradation. *Food Hydrocoll*, 80: 88-96.
- Wang, W., Shi, Y.-C. (2020). Gelatinization, pasting and retrogradation properties of hydroxypropylated normal wheat, waxy wheat, and waxy maize starches. *Food Hydrocoll*, 106, 105910.
- Weil, W., Weil, R. C., Keawsompong, S., Sriroth, K., Seib, P. A., Shi, Y.-C. (2020). Pyrodextrin from waxy and normal tapioca starches: Physicochemical properties. *Food Hydrocoll*, 104, 105745.
- Witczak, M., Korus, J., Ziobro, R., Juszcak, L. (2019). Waxy starch as dough component and anti-staling agent in gluten-free bread. *LWT-Food Sci Technol*, 99: 476-482.
- Xu, J., Chen, L., Guo, X., Liang, Y., Xie, F. (2020). Understanding the multi-scale structure and digestibility of different waxy maize starches. *Int J Biol Macromol*, 144: 252-258.
- Yoo, H.J., Kim, H.R., Choi, S.J., Park, C.-S., Moon, T.W. (2018). Characterisation of low-digestible starch fractions isolated from amylosucrase-modified waxy corn starch. *Int J Food Sci Technol*, 53(3): 557-563.
- Zhang, B., Dhital, S., Flanagan, B.M., Luckman, P., Halley, P.J., Gidley, M.J. (2015). Extrusion induced low-order starch matrices: Enzymic hydrolysis and structure. *Carbohydr Polym*, 134, 485-496.
- Zhang, Y., Gladden, I., Guo, J., Tan, L., Kong, L. (2020). Enzymatic digestion of amylose and high amylose maize starch inclusion complexes with alkyl gallates. *Food Hydrocoll*, 108, 106009.
- Zhong, Y., Zhu, H., Liang, W., Li, X., Liu, L., Zhang, X., Yue, H., Xue, J., Liu, X., Guo, D. (2018). High-amylose starch as a new ingredient to balance nutrition and texture of food. *J Cereal Sci*, 81: 8-14.
- Zhu, F. (2017). Barley starch: Composition, structure, properties, and modifications. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 16(4): 558-579.