



Tahıllarda bulunan antosiyaninler ve sağlık üzerine etkileri Anthocyanins in grains and their effects on health

Yavuz Yüksel ^{1,*} 

¹ Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir Türkiye
¹ Balıkesir University, Faculty of Engineering, Food Engineering Department, 10145, Balıkesir, Türkiye

Öz

Antosiyaninler, polifenolik bileşikler olup, flavonoid pigmentlerin en önemli grubudur. Tarımsal ürünlerde yaygın olarak bulunurlar. Antosiyaninler, tüm gelişmiş bitkilerin çiçekleri, meyveleri, yaprakları, gövdeleri ve köklerinde oluşmaktadır. Antosiyaninlerin renkleri gıdanın asitliliğine de bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çoğu antosiyanin asidik şartlarda kırmızı ve düşük asitli şartlarda ise mavi renge dönüşmektedir. Gıdalarda serbest halde bulunmazlar. Bazı organik bileşenler ile bağlı olarak bulunurlar. Antosiyaninlerin iltihap giderici, damar koruyucu, normal damar geçirgenliğini koruyucu, trombosit kümeleşmesini önleyici, tümör gelişimini önleyici, antiülser, diyabet kontrolü ve UV radyasyona karşı koruyucu etkileri gibi birçok faydalı yönünün olduğu bilinmektedir. Yapılan in vivo ve in vitro çalışmalar bu faydaları doğrulayıcı niteliktedir. Araştırma sonuçları incelendiğinde tahıllarda renk yoğunluğu arttıkça antosiyanin oranlarının yükseldiği gözlemlenmiştir. Tahıllarda çeşit farklılığına göre, siyanidin, pelargonidin, peonidin, delphinidin ve malvidin grubu antosiyaninler farklı oranlarda tespit edilmişlerdir. Bu çalışmada tahıllarda teknolojik uygulamalarda sınırlı kullanım alanı olan fakat insan sağlığı açısından önemli bir yeri olan antosiyaninlerin tahıllarda bulunma durumu ve ayrıca bunların insan sağlığı üzerine etkileri derlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Tahıllar, Antosiyaninler, Sağlık

1 Giriş

Antosiyaninler, 1664 yılından beri pH indikatörü olarak bilinmekteyken, isim olarak ilk kez 1835 yılında kullanılmaya başlanmıştır [1]. İlk antosiyanin 1913 yılında mavi çiçekli *Centaurea cyanus* bitkisinde tanımlanmış ve daha sonrasında antosiyanin sayısı günümüzde 600'ü aşmıştır. Antosiyaninleri de içeren flavonoidlerin bitkilerdeki görevleri, mikroorganizmalar için sinyal, patojenlere karşı koruma, biyotik ve abiyotik stresleri iyileştirme, oksinlerin taşınmasında ve bitki verimliliğinde etki, böcek ve diğer hayvan polinatörler için çiçekleri görünür yapmak, angiosperm çiçeklerinde renk çeşitliliğinin oluşturulması olarak sıralanabilir [2]. Antosiyaninlerin farklı fonksiyonlarının keşfi ve insan sağlığı üzerindeki olumlu etkilerinin anlaşılması, antosiyaninler üzerindeki araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur. Antosiyaninler suda çözünür flavonoidlerdir. Meyvelerde,

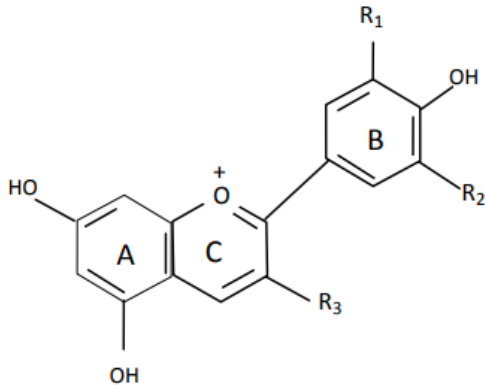
Abstract

Anthocyanins are polyphenolic compounds and are the most important group of flavonoid pigments. It is widely found in agricultural products. Anthocyanins occur in all advanced plants' flowers, fruits, leaves, stems, and roots. The colors of anthocyanins vary depending on the acidity of the food. Most anthocyanins turn red under acidic conditions and blue in low-acid conditions. They are not found free in foods. They are found bound together with some organic components. It is known that anthocyanins have many beneficial aspects such as anti-inflammatory, vascular protection, normal vascular permeability, platelet aggregation, tumor development, antiulcer, diabetes control, and protection against UV radiation. In vivo and in vitro studies confirm these benefits. When the research results were examined, it was observed that anthocyanin rates increased as the color intensity in grains increased. According to the variety differences in cereals, cyanidin, pelargonidin, peonidin, delphinidin, and malvidin group anthocyanins were detected in different amounts. In this study, the presence of anthocyanins in cereals, which have limited use in technological applications but have an important place in human health, and their effects on human health were compiled.

Keywords: Cereals, Anthocyanins, Health

sebzelerde ve tahıllarda kırmızı, mor ve mavi renklerin oluşumundan sorumludurlar. Antosiyaninler, gıdalarda serbest halde bulunmazlar ya glikoz, ksiloz, galaktoz, arabinoz ve fruktoz gibi şekerlerle esterleşmiş ya da şekerlere ilaveten 3. bir bileşen olarak p-kumarik asit, ferulik asit, kafeik asit, malonik asit, vanilik asit ya da asetik asit moleküllerinden biri veya birden fazlasıyla birleşmiş olarak bulunurlar [3]. Antosiyanin glikozil ünitelerine üçüncü bir komponentin ester bağları ile bağlanması olayına açılma denir. Açılma, genellikle aromatik veya alifatik asitlerle veya her ikisinin kombinasyonu ile meydana gelmektedir [4]. Şekil 1'de bir antosiyanin molekülünün temel yapısı gösterilmiştir. Temel yapıyı oluşturan üç halka A, B ve C harfleri ile işaretlenmiştir. Bu temel yapıya bağlı olan R1, R2 ve R3 ise antosiyanin çeşitlerinin oluşumunu sağlayan değişken grupları göstermektedir [5].

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: yavuzyuksele@balikesir.edu.tr (Y. Yüksel)
Geliş / Received: 01.08.2024 Kabul / Accepted: 22.11.2024 Yayınlanma / Published: 15.01.2025
doi: 10.28948/ngumuh.1524316



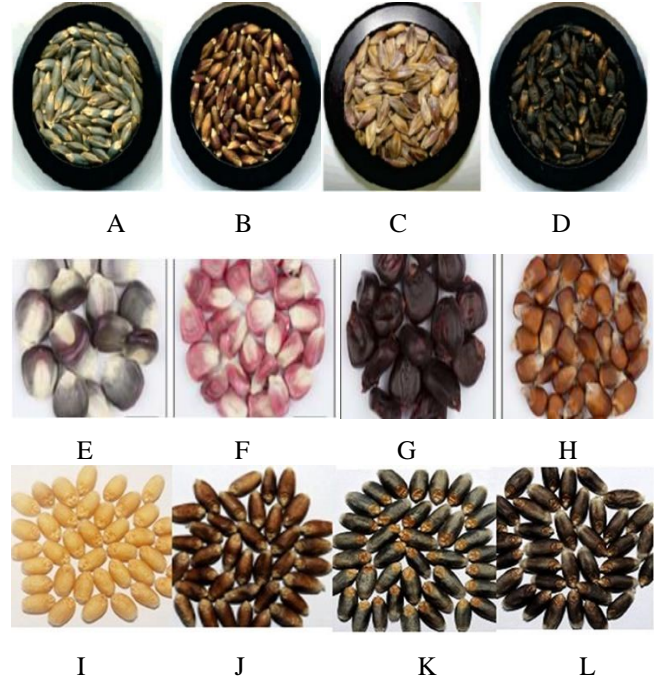
Şekil 1. Bir antosiyanin molekülünün temel yapısı [5].

2 Tahıllarda bulunan antosiyaninler

Tahıllar, insan beslenmesi için günlük temel gıdalardır. Küresel üretimde önemli paya sahip başlıca tahıllar mısır (*Zea mays*), pirinç (*Oryza sativa*), buğday (*Triticum spp.*), arpa (*Hordeum vulgare*) ve sorgumdur (*Sorghum bicolor*). Bunun yanı sıra darı, yulaf (*Avena sativa*), çavdar (*Secale cereale*) ve bunun gibi diğer tahıl çeşitleri de yöresel olarak öneme sahiptirler. Doğal yapısında farklı pigmentler içeren siyah, mor, mavi, pembe, kırmızı ve kahverengi tahıllar bulunmaktadır [6]. Bu renkli tahıllar antosiyaninler açısından zengindirler. Potansiyel sağlık etkilerini artırmaya yönelik üretilen yeni gıda ürünlerinin formülasyonlarında kullanılabilmektedirler [7].

Renkli (siyah, mor, mavi, pembe, kırmızı ve kahverengi) tahıl taneleri, dikkat çekici besin değerleri nedeniyle son zamanlarda büyük ilgi görmektedir. Şekil 2’de farklı renkteki bazı tahıl çeşitleri verilmiştir [5; 8-13]. Tahılların renklerinden ve sağlık yararlarından sorumlu olan önemli bir pigment türü antosiyaninlerdir. Çeşitli tahıllar arasında antosiyanin bileşiminde büyük bir çeşitlilik vardır. Çok gelişmiş antosiyanin içeriğine sahip özel tahıl genotipleri (örn. antosiyaninler açısından zengin pirinç tanelerinin endospermi) genetik yollarla geliştirilmiştir. Fonksiyonel gıda üretimi için potansiyel bileşenler olarak renkli tahıllar, sağlık yararları nedeniyle kapsamlı araştırmalara tabi tutulmuşlardır. İddia edilen sağlık yararları arasında antioksidasyon, anti-kanser, glisemik ve vücut ağırlığı düzenlemesi, nöro-koruma, retinal koruma, hipolipidemi, hepato-koruma ve yaşlanmayı geciktirme yer almaktadır. Bu pozitif sağlık etkileri, tahıl antosiyaninlerinin insan beslenmesinde bir potansiyel olduğunu göstermektedir [13].

Tahıllarda tane rengi esas olarak antosiyanin pigmentleri tarafından belirlenir. Farklı türlerin tahıllarında antosiyanin içeriği ve bileşiminde büyük bir genetik çeşitlilik gözlemlenmiştir. Çavdarda, altı gendeki resesif mutasyonlar, bitkinin tüm kısımlarında antosiyanin eksikliğine neden olmuştur. Ayrıca, aleuron ve perikarptaki antosiyanin sentezinin baskın genleri de tanenin rengini etkilemektedir [14].



Şekil 2. Farklı renk pigmentlerine sahip tahıl taneleri (A: Kabuksuz mavi arpa B: Kabuksuz mor arpa C: Kabuklu mor arpa D: Kabuklu siyah arpa E: Mavi mısır F: Pembe mısır G: Siyah mısır H: Bronz (kahverengi) mısır I: Amber buğday J: Mor Buğday K: Mavi buğday L: Siyah buğday)

Antosiyaninler asitleştirilmiş alkol sulu çözeltileri ile izole edildikten sonra kromatografik tekniklerle birbirinden ayrılmaktadırlar. Antosiyaninlerin yapısı, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), kütle spektrometrisi (MS), nükleer manyetik rezonans (NMR), hidroliz teknikleri ve ultraviyole görünür spektroskopisi (UVV) dahil olmak üzere bir dizi analitik yöntemle belirlenmektedir [6].

Son birkaç yılda, farklı renkteki tahılların yeni genotiplerinden antosiyaninlerin karakterizasyonu ile ilgili birçok makale yayınlanmıştır [14-18]. Aynı zamanda, son yıllarda birçok yeni renkli tahıl genotipi geliştirilmiş ve bunlar için analitik teknikler çalışılmıştır [6,19-23]. Örneğin, yakın zamanda transformasyon yoluyla renkli endospermi olan yeni bir pirinç genotipi geliştirilmiştir [24]. Ayrıca, renkli tahıllardan elde edilen antosiyaninlerin potansiyel sağlık etkileri in vitro ve in vivo olarak da incelenmiştir [25-29]. Renkli tahılların meyve sineklerinin ve nematodların ömrünü uzattığına yönelik araştırma sonuçları bulunmaktadır [29, 30]. Araştırmalar, polifenoller (antosiyaninler dahil) bakımından zengin bitkisel tarım ürünlerinin tüketiminin, kronik hastalıkların ve tıbbi bozuklukların ortaya çıkması ile negatif ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu konuda yapılan epidemiyolojik çalışmaların sonuçları bu tezi doğrulayıcı niteliktedir. Antosiyaninlerin iddia edilen sağlık etkileri, renkli tahılların sağlıklı gıda olarak tüketimlerini teşvik etmektedir [13]. Tahıllarda bulunan antosiyanin çeşitliliğinin coğrafi konum ve botanik özellikler açısından ne derecede değiştiğine yönelik araştırmaların daha da artırılması literatüre katkı sağlayacaktır. Bu sayede insan sağlığı açısından daha faydalı

ve fonksiyonel nitelikteki tahıllara olan ilginin giderek artacağı düşünülmektedir.

3 Çeşitli tahıllarda bulunan antosiyaninlerin bileşimleri

Tahıllarda ticari öneme sahip olan mısır, pirinç, buğday, arpa, çavdar ve sorgum çeşitlerine ait dünya üzerinde birçok farklı tür bulunmaktadır. Botanik ve ekolojik faktörler bu farklılıkların nedenlerindedir. Aşağıda farklı renklere sahip tahıl türlerinin antosiyanin içerikleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

3.1 Mısır

Mısır danesinin renginin oluşmasında karotenoidler ve antosiyaninler başlıca pigment gruplarıdır. Sarı renk oluşturanlar karotenoidler, kırmızıdan maviye kadar değişen renkleri oluşturanlar ise antosiyaninlerdir. Antosiyaninler, çekirdekte siyanidin, pelargonidin ve peonidin olarak bulunan flavonoid bileşiklerdir [31].

Mısır tanelerinin renginde (siyah, mavi, pembe, kırmızı, kahverengi) büyük bir genetik çeşitlilik vardır (Şekil 2-E, F, G, H). Mor mısır çekirdeğinde pigmentler çoğunlukla kalın olan perikarpta yoğunlaşmaktadır. İnce ve renksiz perikarpi olan mavi mısırdaki ise pigmentler alöron katmanlarında yoğunlaşmaktadır [5]. Antosiyaninler açısından zengin endospermilere sahip bir mısır genotipi henüz geliştirilememiştir. Mısır koçanı antosiyaninler açısından da zengin olabilir [32]. Collison vd. [33] mor mısır tanesinin mavi, kırmızı/mavi ve kırmızı mısırlara göre daha yüksek antosiyanin içeriğine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Harakotr vd. [34] 12 waxy mısır genotipinde farklı antosiyanin bileşiklerinin varlığını [siyanidin 3-glukozit, pelargonidin 3-glukozit, peonidin 3-glukozit, siyanidin 3-(6"-malonilglukozit), pelargonidin 3-(6"- malonilglukozit), peonidin 3-(6"- malonilglukozit), siyanidin 3-(3",6"-dimalonilglukozit), siyanidin 3-(6"- süksinilglukozit), siyanidin 3-(3",6"-malonilsüksinilglukozit) ve peonidin 3-(6"-süksinilglukozit)] tespit etmişlerdir. Diğer çalışmalar siyanidin 3-glikozit, peonidin 3-glikozit ve pelargonidin 3-glikozitin başlıca antosiyaninler olduğunu göstermiştir. Fakat antosiyanin bileşimi (örneğin, açillenmiş antosiyaninlerin miktarı) farklı çalışmalar arasında büyük farklılıklar göstermiştir [32, 35, 36]. Mor mısırdaki bulunan toplam antosiyanin içeriği oldukça yüksektir. Tam mor mısır için, mg siyanidin-3-glukozit/100 g cinsinden konsantrasyonunun kuru maddede 1779 mg/100 g olduğu belirlenmiştir. Bu durum antosiyaninler açısından zengin ekstraktların elde edilmesinde iyi bir kaynaktır. Bazı pigmentli tahılların antosiyanin bileşimi ne nitelik ne de niceliksel açıdan hâlâ tam olarak belirlenememiştir [37]. Bazı mısırların toplam antosiyanin içeriklerine ait sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir.

3.2 Pirinç

Beslenme ve sağlık özellikleri göz önüne alındığında, antosiyaninle zenginleştirilmiş pirinç veya pigmentli pirinç çeşitleri dünya çapında yetersiz beslenmeyi azaltmak için olası bir alternatiftir. Pirinçte antosiyanin biyosentezi ve depolanması, çeşitli yapısal ve düzenleyici genlerin dahil olduğu karmaşık süreçlerdir [38]. Mısır gibi, pirinç

tanelerinin renginde de büyük bir genetik çeşitlilik bulunmaktadır [24]. Birçok farklı renkli pirinç antosiyanin tipleri ve içerikleri yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [33, 39-49]. Örneğin, bir Japon siyah pirinçindeki tipik antosiyaninler;

- siyanidin 3,5-diglukozit (13 CGEµg/g),
 - siyanidin 3-glukozit (1239 µg/g),
 - siyanidin 3-(6"-p-kumaril) glukozit (4 CGE µg/g),
 - pelargonidin 3-glukozit (6 CGEµg/g),
 - peonidin 3-glukozit (131 CGEµg/g),
 - peonidin 3-(6"-p-kumaril)glukozit (4 CGEµg/g),
 - siyanidin 3-arabidozit (3 CGEµg/g) [33] .
- (CGE= Siyanidin 3-O-glukozit equivalent)

Goufo vd. [50] farklı pigmentli pirinç türlerinde antosiyanin ve proantosiyanin konsantrasyonu incelemişlerdir. Mor pirinç (2874 CGE/100 g) diğer renkli (esmer, kırmızı ve kahverengi) pirinç çeşitlerine göre daha fazla toplam antosiyanin içerdiğini, ayrıca kırmızı pirinç (716.6 CAE/100g) ise diğer renkli pirinç çeşitlerine göre daha fazla proantosiyanidin içerdiğini gözlemlemişlerdir (CAE= catechin acid equivalent). Pirinç karyopsisinde yaklaşık on sekiz tür antosiyanin bulunmaktadır; bunların arasında siyanidin-3-glikozit (C3G) ve peonidin-3-glikozit (P3G) en çok olanlardır [38], Bazı pirinçlerin toplam antosiyanin içeriklerine ait sonuçlar Tablo 1' de verilmiştir.

3.3 Buğday

Genellikle buğday tohumları renkli formda bulunmaz. Renkli buğday ya farklı yerel türlerden ya da geniş bir melezleştirme süreci yoluyla ortaya çıkmıştır. Renkli buğdaylar, buğday katmanlarındaki antosiyaninlerin türüne ve konumuna bağlı olarak mor, mavi ve siyah olmak üzere üç farklı biçimde oldukları bilinmektedir [51, 52]. Renkli buğday taneleri, karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi makro besinlerin yanı sıra antosiyaninler, vitaminler, mineraller ve karotenoidler gibi mikro besinler açısından zengin bir kaynaktırlar [52]. Günümüzde yaygın olarak yetiştirilen buğday çeşitlerinin rengi sarıdır. Ancak antosiyaninler ve diğer fitokimyasallar açısından zengin olan renkli buğdaylar, sağlık açısından sağladığı faydalar nedeniyle dünya çapında popüler hale gelmektedir (Şekil 2- I, J, K, L). Mor buğday 19. yüzyılda ortaya çıkarken [53], mavi buğday ise 20. yüzyılın ilk yarısında *Triticum aestivum*'un, *Triticum monococcum* L. spp. *aegilopoides*, *Thinopyrum ponticum* ve *Th. bessarabicum* gibi farklı yabancı buğday türleri ile melezlenmesiyle geliştirilmiştir [54, 55]. Cazip beslenme profilleri nedeniyle yabancı buğdayların yeni unlu mamullerin formülasyonunda kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Gelişmiş bir antosiyanin içeriğine sahip yabancı buğday genotiplerinin, potansiyel sağlıklı gıda uygulamaları için geliştirilmesi gerekmektedir [13, 56]. Buğdaylarda antosiyaninler endoplazmik retikulumda oluşturulmakta ve vakuollerde depolanmaktadır [57]. Antosiyanin içeren çeşitli renkli buğday türleri [*T. aestivum* (ekmeklik buğday), *T. durum* (durum buğdayı), *T. monococcum* (*einkorn*) ve diğer yabancı buğday türleri] araştırılmıştır.

Tablo 1. Çeşitli renkli tahıllarda antosiyanin bileşimleri

Tahıl Türü	Toplam antosiyanin içerikleri ve antosiyanin tipleri
Mısır	3–696 mg CGE/kg. db [36] 0–1439 µg CGE/g. db [34] 0–1063 µg CGE/g. db [77] Kırmızı örnekler için 9–127. mor örnekler için 891–3312. mavi örnekler için 0–540. kırmızı/mavi örnekler için 46–368 µg CGE/g. db [33] 4.3–117 (toplam antosiyaninler yöntemi); 3.1–100 (pH farkı); 3.1–98.1 (bozulmamış antosiyaninlerin HPLC'si); 1.1–56.1 (HCl ile hidrolize edilmiş antosiyaninlerin HPLC'si) µg CGE/g. db [32] 0.04–0.88 g CGE/kg çekirdek dokusu (pH farkı) [78] 23–252 mg CGE/kg (renk özelliklerinde farklılık gösteren 5 grubun ortalama değerleri) [5]
Pirinç	Siyah pirinç için 3.5 mg CGE/g. kırmızı pirinç için 4.3 CGE µg/g. kahverengi pirinç için 0 CGE µg/g [79] 1.4 CGE mg/g [80] Tam tahıl için 0.87 mg CGE/g. embriyo için 0.34. endosperm için 0 ve kepek için 6.3 [43] 417 mg CGE/g [41] Parlatılmış ve işlenmiş genotip için 1 mg/g'a kadar tahıl. db [24]
Buğday	Durum buğdayı; mor (8.12–50.22 µg/g), kırmızı (1.20–24.57 µg/g) [52] Mor buğday; Siyanidin 3-glukozit (2.64. 10.3. 12.02. 52.8. 103 mg/kg). Siyanidin-3-rutinozit (5.3. 32.53. 0.60 mg/kg). Siyanidin-3-arabinozit (25.1 mg/kg). Siyanidin -3-(6"-malonilglukozit (31.08 mg/kg). Siyanidin-3-(3".6"-dimalonilglukozit) (8.15 mg/kg). Siyanidin-3-galaktozit (0.98. 72.0 mg/kg). Siyanidin-3-süksinil-glukozit (1.2 mg/kg). Delfinidin-3-arabinozit (16.7 mg/kg). Delfinidin-3-galaktozit (38.3. 0.40 mg/kg). Delfinidin-3- glukozit (0.08 mg/kg). Malvidin-3- glukozit (0.48. 51.6. 1.32 mg/kg). Pelargonidin-3-galaktozit (26.1 mg/kg). Pelargonidin-3-arabinozit (9.3 mg/kg). Pelargonidin-3-glukozit (28.8. 2.58. 1.88 mg/kg) Peonidin-3-arabinozit (9.3 mg/kg). Peonidin-3- glukozit (4.61 mg/kg). Peonidin-3- galaktozit (0.58 mg/kg). Peonidin-3.5- rutinozit (9.36 mg/kg). Peonidin-malonil-glukozit (0.6 mg/kg). Petunidin-3- glukozit (40.4 mg/kg) [49. 51. 42. 81-87] Mavi buğday; toplam antosiyanin (82.75–174.27 µg/g). Siyanidin 3-glukozit (3.07. 10.54. 10.76. 4.5 mg/kg). Siyanidin-3-rutinozit (8.42. 12.78 mg/kg). Delfinidin-3- galaktozit (4.95 mg/kg). Delfinidin-3- glukozit (22.23. 29.03. 0.40 mg/kg). Delfinidin-3-rutinozit (29.65. 43.87. 33.44 mg/kg). Malvidin-3- glukozit (12.04. 5.5 mg/kg). Malvidin-3-rutinozit (2.0 mg/kg) Pelargonidin-3-glukozit (0.39 mg/kg). Peonidin-3- arabinozit (2.22 mg/ kg). Peonidin-3- glukozit (0.88 mg/kg). Peonidin-3- galaktozit (1.94 mg/kg). Peonidin-3-rutinozit (1.2. 0.76 mg/kg). Peonidin-3.5- diğlukoit (0.31 mg/kg). Petunidin-3- glukozit (3.18 mg/kg) Petunidin-3-rutinozit (4.5 mg/kg) [49. 51. 52. 81-87] Siyah buğday; Siyanidin 3-glukozit (20.5 mg/kg). Siyanidin-3-rutinozit (11.14 mg/kg). Delfinidin-3-galaktozit (29.14 mg/kg). Delfinidin-3-glukozit (25.64 mg/kg). Delfinidin-3-rutinozit (0.66 mg/kg). Malvidin-3-glukozit (2.18 mg/kg). Pelargonidin-3-glukozit (2.13 mg/kg). Peonidin-3-glukozit (1.40 mg/kg). Peonidin-3-rutinozit (0.97 mg/kg). Peonidin-3.5- diğlukoit (0.23 mg/kg). Petunidin-3-glukozit (2.29 mg/kg) [49. 51. 52. 81-87] Kırmızı buğday; Siyanidin 3-glukozit (4.02 mg/kg). Malvidin-3-glukozit (0.22 mg/kg). Peonidin-3- galaktozit (0.33 mg/kg) [49. 51. 52. 81. 82. 84. 87]
Arpa	17 farklı renkli arpa için ortalama antosiyanin miktarları (µg/g); Malvidin-3- glukozit 19.99 µg/g; Delfinidin-3- glukozit 4.90 µg/g; Peonidin-3- glukozit 0.94 µg/g; Delfinidin-3-rutinozit 0.54 µg/g; Siyanidin 3-glukozit 0.52 µg/g [21] Renkleri farklı 7 grubun ortalama değerleri 60–350 µg/g [8] Macar çeşitleri toplam antosiyanin miktarları; 47–84 mg/kg [88] Toplam antosiyanin içeriği yüksekten düşüğe sırasıyla; mor arpa 105.21 µg/g; mavi arpa 27.42 µg/g; siyah arpa 8.49 µg/g; sarı arpa 4.41 µg/g. Arpa çeşitlerinde yüksek oranda bulunan temel antosiyanin türleri siyanidin. siyanidin-3-glukozit. delfinidin. pelargonidin-3-glukozit. petunidin ve petunidin-3-glukozit olarak tespit edilmiştir [89].
Çavdar	Tam tahıl çavdar unundaki toplam antosiyanin miktarı 3.6 mg/kg olduğu ve tespit edilen antosiyanin çeşitlerinin ise delfinidin-3- glukozit (0.31 mg/kg). delfinidin-3-rutinozit (2.9 mg/kg). siyanidin-3-rutinozit (0.29 mg/kg) ve peonidin-3-rutinozit (0.12 mg/kg) olduğu belirlenmiştir. Çavdar kepeğinde ise toplam antosiyanin miktarı 29.3 mg/kg olarak bulunmuş ve bu antosiyaninlerden delfinidin-3- glukozit 3.1 mg/kg. delfinidin-3-rutinozit 22.8 mg/kg. siyanidin-3-rutinozit 2.3 mg/kg ve peonidin-3-rutinozit 1.1 mg/kg olarak tespit edilmiştir [65].
Sorgum	Kırmızı sorgum çeşitleri 3-deoksiantosiyanin içeriği 0-680 µg/g [90] Siyah sorgum kepeği toplam antosiyanin içeriklerinin 4.0-9.8 mg/g arasında olduğu belirlenmiş ve bu sonuçlara göre diğer tahıl çeşitlerinin kepeklerinden daha fazla antosiyanin içerdikleri tespit edilmiştir [91]. Kahverengi ve kırmızı çeşitlerde toplam 3-deoksiantosiyanidin miktarı 1.6-2.8 mg/g arasındadır [91].

Toplam antosiyanin içerikleri durum mor buğdaylarda 8.12–50.22 µg/g, durum kırmızı buğdaylarda 1.20–24.57 µg/g ve mavi ekmeçlik buğdaylarda ise 82.75–174.27 µg/g arasında tespit edilmiştir [29, 52, 58-61]. Araştırmalar sonucunda buğdaylarda tespit edilen antosiyaninlerin miktarları Tablo 1’de verilmiştir.

3.4 Arpa

Arpa tanelerinin renk çeşitliliği (örneğin siyah, mavi ve mor) ve antosiyanin içeriğindeki genetik değişkenlik araştırılmıştır. Renk özellikleri bakımından farklılık gösteren yedi arpa grubunun (toplam 127 genotip) tanelerindeki ortalama antosiyanin içerikleri 60 ila 350 µg/g arasında değişmektedir [8]. Diğer tahıllarda olduğu gibi, antosiyaninlerin çoğu tanelerin kepeğinde yoğunlaşmaktadır. Örneğin, bir arpa genotipinin kepeğindeki antosiyanin içeriği 1.66 g/kg'a kadar çıkmıştır [62]. Antosiyaninler esas olarak arpa tanesinin perikarp veya alöron katmanlarında bulunmakta ve bu da tane renginde mor veya mavi tonların oluşmasına neden olmaktadır. Genel olarak arpa tanesinin antosiyanin içeriği renginin koyuluğu ile orantılı olup, arpa çeşitleri arasında en yüksek flavonoid içeriğinin mavi ve mor arpa tanesinde olduğu belirlenmiştir [21, 63]. Abdel-Aal vd. [49] ile Mazza ve Gao [64] mor arpada en yaygın antosiyaninin siyanidin 3-glukozit olduğunu, bunu peonidin 3-glukozit ve pelargonidin 3-glukozitin takip ettiğini bildirmiştir. Arpada tespit edilen toplam antosiyanin miktarları Tablo 1’de verilmiştir.

3.5 Çavdar

Çavdar diyet lifinin yanı sıra (*Secale gravae*) taneleri fenolik asitler, lignanlar ve alkilresorsinoller gibi çeşitli fitokimyasallar açısından da zengin bir kaynaktır [65]. Dedio vd. [66] yaptıkları çalışmada, perikarpta siyanidin 3-glukozit, peonidin 3-glukozit ve açılmış formlar, koleoptilde siyanidin 3-rutinosid ve çavdarın ilk yapraklarında ise siyanidin 3-glukozit tespit edilmiştir. Çavdarda tespit edilen antosiyaninler ve miktarları Tablo 1’de gösterilmiştir.

3.6 Sorgum

Sorgum taneleri renkleri çok çeşitlidir [67]. Dünyada insanlar ve hayvanlar tarafından en çok tüketilen tahıl ürünlerinden biri olan *Sorghum bicolor* (L.) Moench, çeşitli bitki kaynaklı metabolitler içermektedir. Özellikle sorgum taneleri tanenler, antosiyaninler ve flavonoller gibi çeşitli fenolik bileşikler içerir ve bu sayede tohum yüzeyinin veya iç dokusunun renklenmesine neden olur [68-71].

Sorgumda çeşitli türde antosiyaninler bulunmaktadır. 3-deoksiantosiyanidinler ve bunların türevleri en fazla olanlardır. Sorgumun kepek kısmı diğer kısımlarından 3-4 kat daha fazla antosiyanin içermektedir [72]. Bu nedenle, kabuk ayırma işlemleri ile birlikte büyük oranda perikarp ve testa bölgesinden fenolik bileşik kaybı olmaktadır [73, 74]. Sorgumda bulunan 3-deoksiantosiyanidinler metoksilenmemiş formlardır. Buna ilaveten sorgumun yapısında, düşük miktarlarda metoksilenmiş 3-deoksiantosiyanidinler (5-metoksi-luteolinidin, 7-metoksi-luteolinidin ve 7-metoksi-apigenininidin), metoksilenmiş 3-

deoksiantosiyaninler (5-metoksi-luteolinidin 5-glukozit, 5-metoksi-luteolinidin 7-glukozit, 7-metoksi-luteolinidin 5-glikozit ve 7-metoksi-apigenininidin 5-glikozit) ve diğer metoksilenmemiş 3-deoksiantosiyaninler (apigenininidin 5-glikozit ve luteolinidin 5-glikozit) bulunmaktadır [18, 23, 75, 76]. Farklı renkte sorgum tanelerinde tespit edilen antosiyanin içerikleri Tablo 1’de verilmiştir.

4 Tahıl antosiyaninlerinin sağlık üzerine etkileri

Antosiyaninler birçok bitkisel üründe (meyve, sebze, tahıl, çiçek vb.) mavi, mor ve kırmızı gibi birçok rengin oluşumunda rol oynamaktadırlar. Ticari olarak önemli olan tahıl çeşitleri, birçok renk pigmentleri içermektedirler [92]. Bu renkler genellikle çekirdeklerde birincil doğal pigmentlerden biri olarak bulunan antosiyaninlerden kaynaklanır. Buğday, mısır, sorgum, arpa, pirinç ve darı çekirdeğin dış katmanlarında önemli miktarda antosiyanin bulunan çeşitlerdir. Antosiyanin açısından zengin renkli tahıllar, tam tahıllı fonksiyonel gıdaların geliştirilmesinde değerlendirilmektedir [93]. Antosiyaninler polifenolik bileşiklerdir. Renk oluşumundaki etkilerine ilaveten insan sağlığı üzerinde de faydalarının olduğu bilinmektedir [94].

Tahıllarda bulunan antosiyaninlerin sağlık üzerine etkileri ile ilgili son yıllarda (in vivo ve in vitro) birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, tahıl antosiyaninlerinin antioksidan aktivite, retinanın korunması, kolesterolün önlenmesi, glisemik indeksin düzenlenmesi, nöronların korunması, antihipertansiyon etkisi, sitoproteksiyon, antikanser, vücut yağ oranı düzenlenmesi, bağışıklık sisteminin geliştirilmesi ve yaşlanmayı geciktirme üzerine etkileri incelenmiştir [13, 95-97].

4.1 Buğday

16 ülkede 60'tan fazla enstitünün yaptığı araştırmalarda, renkli buğdayların sağlık üzerindeki olumlu etkilerinden bahsedilmiştir. Mavi, kırmızı mor ve siyah buğdaylar üzerinde çalışmalar yapılarak araştırma sonuçları yorumlanmıştır. Bu buğdaylar kullanılarak Hindistan, Güney Kore, Çin, Etiyopya, Avusturya, Rusya, Çek Cumhuriyeti, Almanya, Kanada, Hong Kong ve İtalya'daki farklı kurumlar in vivo ve in vitro çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca, 2018 ve 2020 yıllarında Çin ve Kanada'da insanlar üzerinde antosiyanin açısından zengin buğday türlerinin fonksiyonel gıda olarak kullanıldığını gösteren iki ayrı çalışma yapılmıştır [58]. Sharma vd. [96] renkli buğdaylardaki antosiyaninlerin pişirme sonucu oluşan amino asit kayıplarını önlemede etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Antosiyaninlerin gıda işleme ve sindirim sırasında bu bileşenlerle olan etkileşimleri sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterebileceği bildirilmiştir [98, 99]. Antosiyaninlerin insan sindirim sisteminde bulunan probiyotik metabolizmalar üzerindeki etkisini inceleyen bir in vitro çalışma yapılmıştır. Sonuç olarak, malvidin 3-glukozidinin ve metabolitlerinin *Lactobacillus-Enterococcus spp.* ve *Bifidobacterium spp.*'nin büyümesini büyük ölçüde artırdığı ve böylece bağırsak bakteri popülasyonunu olumlu yönde düzenlediği gözlemlenmiştir. [100].

Prokop vd. [101] çalışmalarında, mor buğdaydaki antosiyaninlerin Alzheimer hastalığının neden olduğu hafızadaki eksiklikleri önlediğini ve mor buğdayın nörodejeneratif bozuklukların erken tedavisinde umut verici bir fonksiyonel gıda kaynağı olabileceğini belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada, mor buğdayın etkileri ratlar, tavuklar ve balıklarda incelenmiştir. Ratlar ve tavukların karaciğerlerinde bulunan antioksidan ve enzim seviyelerinin olumlu yönde etkilendiği kanıtlanmıştır. Fakat balıklarda aynı etki gözlenmemiştir. Bunun nedeninin ise, balıkların mor buğdayı gerektiği gibi metabolize edememesinden kaynakladığı şeklinde yorumlanmıştır [102]. İnsanlarda yapılan çalışmalar siyah renkli buğdayın, kan şekeri ve insülin düzeylerinde herhangi bir fark olmadan tip 2 diyabetli bireyleri olumlu yönde etkilediğini göstermiştir [103]. Gamel vd. [104] sağlıklı bireyler üzerinde yaptıkları bir araştırmada, kepekli zenginleştirilmiş mor buğdaydan üretilen bar ve krakerlerin sindirim metabolizması üzerine pozitif etkisini gözlemlemiştir.

4.2 Mısır ve sorgum

Petroni vd. [105] mısır antosiyaninlerinin sağlık üzerindeki etkilerini literatürlerden 2013 yılına kadar derlemiştir. Yapılan in vivo çalışmalar, diyabet, obezite, kanser ve kalp-damar hastalıklarını önlemede olumlu etkilerinin olduğunu göstermiştir. Siyah sorgum ve mavi mısırdan elde edilen antosiyanin açısından zengin özütlerin nişasta sindirimi üzerindeki etkisi in vitro çalışma ile incelenmiştir. Her iki özütün de nişasta sindirimini ve glisemik indeks değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Siyah sorgum glisemik indeks değerini 90'dan 67 değerine düşürmüştür. Mavi mısır özütü ise sindirilebilir nişasta değerlerini düşürmüştür. Sonuçlar, siyah sorgum özütünün mavi mısır özütüne nazaran glisemik indeks düşürmede ve nişasta sindirilebilirliğini azaltmada daha etkili olduğunu göstermiştir [35, 99]. Renkli sorgum ve mısır özütlerinin çeşitli kanser hücreleri üzerindeki antikanser etkileri in vitro olarak incelenmiştir. Siyah sorgum özütlerinin diğer sorgum çeşitlerine nazaran tümör büyümesine karşı daha etkili olduğu belirlenmiştir [75, 106, 107]. Urias-Lugo vd. [107] mavi mısır özütünün meme, kolon, karaciğer ve prostat kanser hücreleri üzerindeki anti-proliferatif etkilerini incelemiştir. Sonuçlar HCl ile asitlendirilmiş etanol çözeltilisi kullanılarak hazırlanan özütlerin yüksek anti-proliferatif etki gösterdiğini ortaya koymuştur.

4.3 Pirinç

İn vivo yapılan çalışmalar, siyah pirinç antosiyaninleri farelerde yaşlanma karşıtı etki, sineklerde ise nöron dejenerasyonunu önleme etkisi göstermiştir [41]. Renkli tahıllardan yapılan gıda ürünleri yalnızca antosiyaninler değil, aynı zamanda diyet lifi, nişasta, protein ve diğer polifenoller gibi bir dizi başka bileşen de içermektedir [7]. Yapılan bir çalışmada, mor pirinç özütü ve içeriğindeki siyanidin 3-glukozit, hücre ölümüne karşı nöroprotektif aktivite göstermiştir [108]. Diğer bir çalışmada, siyah pirinç özleri farelerde hiperlipidemik koşulları iyileştirmiştir [109, 110]. Siyah pirinç/mor buğday özleri ile yapılan çalışma sonuçları, hayvan modellerinde yaşlanma karşıtı ve yaşam

süresini uzatıcı etkiler göstermiştir [29, 30, 111]. Siyah pirinçten saflaştırılan siyanidin 3-glukozidinin farelerde fibroza karşı koruma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, bu antosiyaninin farelerde hepatotoksisiteyi ve hepatik fibrozu önemli ölçüde azalttığını göstermiştir [112].

4.4 Arpa

Siyah arpa özütü ile yapılan in vivo çalışmada, özütün farelerde toplam kolesterol, düşük yoğunluklu lipoprotein kolesterol (LDL), ateroskleroz indeksini büyük ölçüde azalttığı, yüksek yoğunluklu lipoprotein kolesterolü (HDL) ise artırdığı gözlemlenmiştir. Özütün kolesterol düşürücü etkisi yapılan in vitro çalışmalar ile de doğrulanmıştır [113].

5 Sonuçlar

Son yıllarda antosiyanin bileşimi için farklı renkli tahılların birçok genotipi çalışılmıştır. Antosiyaninlerin bileşimi ve yapısı yetiştirme şartlarından ve botanik çeşitlilikten etkilenebilmektedir. Sonuçlar, tahıllarda toplam antosiyanin bakımından zengin tahıl çeşitlerinin mor mısır, mor pirinç, mavi ekmeklik buğday, mor arpa ve siyah sorgum olduğunu göstermiştir. Antosiyanin bileşik çeşitliliği bakımından tahıllarda yapılan araştırmalar incelendiğinde bazı bileşiklerin diğerlerine göre daha yüksek oranlarda oldukları gözlemlenmiştir. Bunlar içerisinde göze çarpan bileşiklerin siyanidin 3-glikozit, peonidin 3-glikozit, pelargonidin 3-glikozit ve 3-deoksiantosiyanidin olduğu tespit edilmiştir. Antosiyaninlerin belirlenmesine yönelik yapılan araştırmalarda farklı yöntemlerin kullanılmış olması ve genotip çeşitliliği nedeniyle literatürlerden alınan değerlerin karşılaştırılmasında zorluklar yaşanmıştır. In vitro ve in vivo çalışmalar, renkli tahıllarda belirlenen antosiyaninlerin birçok sağlık sorunu üzerine olumlu etkilerinin olduğunu ispatlar niteliktedir. Gözlemlenen en belirgin etkiler, antikanser, glisemik indeks düzenleme, nöronların korunumu, retinal koruma, karaciğer hasarı önleme, vücut ağırlığı kontrolü, vücut antioksidan aktivitesini artırma, bağırsıklığı artırma ve yaşlanmayı geciktirmedir. Antosiyaninler açısından zengin olan renkli tahıllar, farklı gıda uygulamalarında kısmen yapay renklendiricilerin yerini almak veya bazı kronik hastalıklarla mücadelede yardımcı olmak için fonksiyonel gıda bileşenleri olarak kullanılabilirler. Bugüne kadar renkli tahıllardaki antosiyaninlerin diğer gıda bileşenleri ile etkileşimleri üzerine yeteri kadar çalışma yapılmamıştır. Biyoyararlılığı arttırmak ve insan sindirim sisteminde hedeflenen faydayı sağlamak amacıyla renkli tahılların diyetlerdeki yeri artırılmalıdır. Son zamanlarda sağlığa yararlı ve besince zengin gıdalara yönelik ilginin artması da bu amaca katkı sağlayacaktır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %14

Kaynaklar

- [1] J. Harbone, A. C. Williams, Anthocyanins and other flavonoides. 15, pp. 631, 1998.

- [2] K. E. Schwinn, K. M. Davies, Flavonoids, in plant pigments and their manipulation. Annual Plant Reviews. Blackwell Publishing, 92, 149, 2004.
- [3] İ. Koca, B. Karadeniz, S. Tural, Antosiyaninlerin antioksidan aktivitesi. Türkiye, 9, 24-26, 2006.
- [4] M. Rein, Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins, Doctoral dissertation, Helsingin yliopiston, University of Helsinki, 2005.
- [5] M. Paulsmeyer, L. Chatham, T. Becker, M. West, L. West, J. Juvik, Survey of Anthocyanin Composition and Concentration in Diverse Maize Germplasms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65(21), 4341-4350, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00771>
- [6] M. T. Escribano-Bailón, C. Santos-Buelga, J. C. Rivas-Gonzalo, Anthocyanins in cereals. Journal of Chromatography A, 1054(1-2), 129-141, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.152>
- [7] D. B. Ficco, V. De Simone, A. M. De Leonardi, V. Giovannello, M. A. Del Nobile, L. Padalino, L. Lecce, G. M. Borrelli, P. De Vita, Use of purple durum wheat to produce naturally functional fresh and dry pasta. Food Chemistry, 205, 187-195, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.014>
- [8] M. J. Kim, J. N. Hyun, J. A. Kim, J. C. Park, M. Y. Kim, J. G. Kim, S. J. Lee, S. C. Chun, I. M. Chung, Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(12), 4802-4809, 2007. <https://doi.org/10.1021/jf0701943>
- [9] S. L. Dwivedi, A. K. Mattoo, M. Garg, S. Dutt, B. Singh, R. Ortiz, Developing germplasm and promoting consumption of anthocyanin-rich grains for health benefits. Frontiers in Sustainable Food Systems, 6, 867897, 2022. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.867897>
- [10] M. Garg, NABIMG-11-Black (BW/2* PBW621) (IC0620916; INGR17003), a wheat (*Triticum aestivum*) germplasm with black grain color (purple pericarp + blue aleurone). Indian Journal of Plant Genetic Resources, 31, 334-335, 2018.
- [11] M. Garg, NABIMG-10-Purple (BW/2* PBW621) (IC0620915; INGR17002), a wheat (*Triticum aestivum*) germplasm with purple grain (pericarp) color. Indian Journal of Plant Genetic Resources, 333-334, 2018.
- [12] M. Garg, NABIMG-9-Blue; BW/2*/PBW621 (IC0620914; INGR17001), a wheat (*Triticum aestivum*) germplasm with blue grain (aleurone) colour. Indian Journal of Plant Genetic Resources, 332-333, 2018.
- [13] F. Zhu, Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. Food Research International (Ottawa, Ont.), 109, 232-249, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.015>
- [14] P. A. Zykina, E. A. Andreeva, A. N. Lykholay, N. V. Tsvetkova, A. V. Voylov, Anthocyanin Composition and Content in Rye Plants with Different Grain Color. Molecules (Basel, Switzerland), 23(4), 948, 2018. <https://doi.org/10.3390/molecules23040948>
- [15] M. Paulsmeyer, J. Juvik, Functional characterization of an anthocyanin dimethyltransferase in maize. Molecules, 26(7), 2020, (2021). <https://doi.org/10.3390/molecules26072020>
- [16] S. Krüger, G. E. Morlock, Fingerprinting and characterization of anthocyanins in 94 colored wheat varieties and blue aleurone and purple pericarp wheat crosses. Journal of Chromatography A, 1538, 75-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.01.032>
- [17] K. V. Strygina, A. Börner, E. K. Khlestkina, Identification and characterization of regulatory network components for anthocyanin synthesis in barley aleurone. BMC Plant Biology, 17(1), 1-9, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1122-3>
- [18] X. Wu, R. L. Prior, Identification and characterization of anthocyanins by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry in common foods in the United States: Vegetables, nuts, and grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(8), 3101-3113, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf0478861>
- [19] T. T. Efremova, S. V. Morozov, E. I. Chernyak, E. V. Chumanova, Combining the genes of blue aleurone and purple pericarp in the genotype of spring bread wheat Saratovskaya 29 to increase anthocyanins in grain. Journal of Cereal Science, 109, 103616, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2022.103616>
- [20] M. P. Barbosa, R. de Araújo Miguel, R. R. P. da Conceição, C. N. Kbori, V. A. V. Queiroz, Optimization of extraction, characterization, and stability of the natural pigment from sorghum genotype SC 319. Brazilian Journal of Development, 9(3), 10783-10798, 2023. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-126>
- [21] S. Suriano, M. Savino, P. Codianni, A. Iannucci, G. Caternolo, M. Russo, N. Pecchioni, A. Troccoli, Anthocyanin profile and antioxidant capacity in coloured barley. International Journal of Food Science Technology, 54(7), 2478-2486, 2019. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14203>
- [22] O. Y. Tereshchenko, T. A. Pshenichnikova, E. A. Salina, E. K. Khlestkina, Development and molecular characterization of a novel wheat genotype having purple grain colour. Cereal research communications, 40, 210-214, 2012. <https://doi.org/10.1556/CRC.40.2012.2.5>
- [23] V. Taleon, L. Dykes, W. L. Rooney, L. W. Rooney, Effect of genotype and environment on flavonoid concentration and profile of black sorghum grains. Journal of Cereal Science, 56(2), 470-475, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.05.001>
- [24] Q. Zhu, S. Yu, D. Zeng, H. Liu, H. Wang, Z. Yang, X. Xie, R. Shen, J. Tan, H. Li, X. Zhao, Q. Zhang, Y. Chen, J. Guo, L. Chen, Y. G. Liu, Development of "Purple Endosperm Rice" by Engineering Anthocyanin Biosynthesis in the Endosperm with a

- High-Efficiency Transgene Stacking System. *Molecular plant*, 10(7), 918–929, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.05.008>
- [25] H. Wang, D. Liu, Y. Ji, Y. Liu, L. Xu, Y. Guo, Dietary supplementation of black rice anthocyanin extract regulates cholesterol metabolism and improves gut microbiota dysbiosis in C57BL/6J mice fed a high-fat and cholesterol diet. *Molecular Nutrition Food Research*, 64(8), 1900876, 2020. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900876>
- [26] S. Sharma, P. Khare, A. Kumar, V. Chunduri, A. Kumar, P. Kapoor, P. Mangal, K. K. Kondepudi, M. Bishnoi, M. Garg, Anthocyanin-biofortified colored wheat prevents high-fat diet-induced alterations in mice: nutrigenomics studies. *Molecular Nutrition Food Research*, 64(13), 1900999, 2020. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900999>
- [27] S. Fabroni, G. Ballistreri, M. Amenta, F.V. Romeo, P. Rapisarda, Screening of the anthocyanin profile and in vitro pancreatic lipase inhibition by anthocyanin-containing extracts of fruits, vegetables, legumes, and cereals. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 4713–4723, 2016. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7708>
- [28] Y.F. Chen, M.A. Shibu, M.J. Fan, M.C. Chen, V.P. Viswanadha, Y.L. Lin, C.H. Lai, K.H. Lin, T.J. Ho, W.W. Kuo, C.H. Huang, Purple rice anthocyanin extract protects cardiac function in STZ-induced diabetes rat hearts by inhibiting cardiac hypertrophy and fibrosis. *J. Nutr. Biochem.*, 31, 98–105, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.12.020>
- [29] W. Chen, D. Müller, E. Richling, M. Wink, Anthocyanin-rich purple wheat prolongs the life span of *Caenorhabditis elegans* probably by activating the DAF-16/FOXO transcription factor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(12), 3047–3053, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf3054643>
- [30] Y. Zuo, C. Peng, Y. Liang, K. Y. Ma, H. Yu, H.Y.E. Chan, Z. Y. Chen, Black rice extract extends the lifespan of fruit flies. *Food Function*, 3(12), 1271–1279, 2012. <https://doi.org/10.1039/c2fo30135k>
- [31] G. H. Yıldırım, F. Öner, Mısır danesinin fiziksel ve besinsel yapısı. *Harman Dergisi*, 92, 68-74, 2020.
- [32] F. Lao, M. M. Giusti, Quantification of purple corn (*Zea mays L.*) anthocyanins using spectrophotometric and HPLC approaches: Method comparison and correlation. *Food Analytical Methods*, 9, 1367–1380, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12161-015-0318-0>
- [33] A. Collison, L. Yang, L. Dykes, S. Murray, J. M. Awika, Influence of Genetic Background on Anthocyanin and Copigment Composition and Behavior during Thermoalkaline Processing of Maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(22), 5528–5538, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00798>
- [34] B. Harakotr, B. Suriharn, R. Tangwongchai, M. P. Scott, K. Lertrat, Anthocyanin, phenolics and antioxidant activity changes in purple waxy corn as affected by traditional cooking." *Food Chemistry*, 164,510-517, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.069>
- [35] G. A. Camelo-Méndez, E. Agama-Acevedo, M. M. Sanchez-Rivera, L. A. Bello-Pérez, Effect on in vitro starch digestibility of Mexican blue maize anthocyanins. *Food Chemistry*, 211, 281-284, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.024>
- [36] S. Zilić, A. Serpen, G. Akilloğlu, V. Gökmen, J. Vančetović, Phenolic compounds, carotenoids, anthocyanins, and antioxidant capacity of colored maize (*Zea mays L.*) kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(5), 1224–1231, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf204367z>
- [37] M. P. Georgiana, S. Muste, O. Ranta, A. Molnar, A. D. Păcurar, Anthocyanins in maize (*Zea mays*): composition and health effects-A Review. *Hop Med Plants*, 27(1-2), 50-56, 2019.
- [38] E. Mackon, G. C. J. D. E. Mackon, Y. Ma, M. H. Kashif, N., Ali, B. Usman, P. Liu, Recent insights into anthocyanin pigmentation, synthesis, trafficking, and regulatory mechanisms in rice (*Oryza sativa L.*) caryopsis. *Biomolecules*, 11(3), 394, 2021 <https://doi.org/10.3390/biom11030394>
- [39] S. Jiamyangyuen, N. Nuengchamngong, P. Ngamdee, Bioactivity and chemical components of Thai rice in five stages of grain development. *Journal of Cereal Science*, 74, 136-144, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.01.021>
- [40] M. H. Chen, A. M. McClung, C. J. Bergman, Phenolic content, anthocyanins and antiradical capacity of diverse purple bran rice genotypes as compared to other bran colors. *Journal of Cereal Science*, 77, 110-119, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.010>
- [41] J. Hao, H. Zhu, Z. Zhang, S. Yang, H. Li, Identification of anthocyanins in black rice (*Oryza sativa L.*) by UPLC/Q-TOF-MS and their in vitro and in vivo antioxidant activities. *Journal of Cereal Science*, 64, 92–99,2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.003>
- [42] M. Zaupe, L. Calani, D. Del Rio, F. Brighenti, N. Pellegrini, Characterization of total antioxidant capacity and (poly) phenolic compounds of differently pigmented rice varieties and their changes during domestic cooking. *Food Chemistry*, 187, 338-347, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.055>
- [43] Y. Shao, F. Xu, X. Sun, J. Bao, T. Beta, Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa L.*). *Journal of Cereal Science*, 59(2), 211–218, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.004>
- [44] M. Bordiga, S. Gomez-Alonso, M. Locatelli, F. Travaglia, J. D. Coisson, I. Hermosin-Gutierrez, M. Arlorio, Phenolics characterization and antioxidant activity of six different pigmented *Oryza sativa L.* cultivars grown in Piedmont (Italy). *Food Research*

- International, 65, 282-290, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.007>
- [45] Z. Hou, P. Qin, Y. Zhang, S. Cui, G. Ren, Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. Food Research International, 50(2), 691-697, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.037>
- [46] X. Q. Chen, N. Nagao, T. Itani, K. Irifune, Antioxidative analysis, and identification and quantification of anthocyanin pigments in different coloured rice. Food Chemistry, 135(4), 2783-2788, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.098>
- [47] T. Frank, B. Reichardt, Q. Shu, K. H. Engel, Metabolite profiling of colored rice (*Oryza sativa* L.) grains. Journal of Cereal Science, 55(2), 112-119, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.09.009>
- [48] M. Hiemori, E. Koh, A. E. Mitchell, Influence of cooking on anthocyanins in black rice (*Oryza sativa* L. japonica var. SBR). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5), 1908-1914, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf803153z>
- [49] E. S. M. Abdel-Aal, J. C. Young, I. Rabalski, Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54(13), 4696-4704, 2006. <https://doi.org/10.1021/jf0606609>
- [50] P. Goufo, H. Trindade, Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, γ -oryzanol, and phytic acid. Food Science Nutrition, 2(2), 75-104, 2014. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.86>
- [51] M. Garg, M. Chawla, V. Chunduri, R. Kumar, S. Sharma, N. K. Sharma, N. Kaur, A. Kumar, J. K. Munday, M. K. Saini, S. P. Singh, Tane renklerinin elit buğday çeşitlerine aktarılması ve karakterizasyonu. Journal of Cereal Science, 71:138-44, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.004>
- [52] D. B. Ficco, V. De Simone, S. A. Colecchia, I. Pecorella, C. Platani, F. Nigro, F. Finocchiaro, R. Papa P. De Vita, Genetic variability in anthocyanin composition and nutritional properties of blue, purple, and red bread (*Triticum aestivum* L.) and durum (*Triticum turgidum* L. ssp. *turgidum* convar. *durum*) wheats. Journal of agricultural and food chemistry, 62(34), 8686-8695, 2014. <https://doi.org/10.1021/jf5003683>
- [53] A. C. Zeven, Wheats with purple and blue grains: A Review. Euphytica, 56, 243-258, 1991.
- [54] V. Burešová, D. Kopecký, J. Bartoš, P. Martinek, N. Watanabe, T. Vyhnanek, J. Doležel, Variation in genome composition of blue-aleurone wheat. Theoretical and Applied Genetics, 128, 273-282, 2015.
- [55] L. A. Morrison, R. J. Metzger, A. J. Lukaszewski, Origin of the blue-aleurone gene in Sebesta Blue wheat genetic stocks and a protocol for its use in apomixis screening. Crop Science, 44(6), 2063-2067, 2004. <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.2063>
- [56] T. N., Er, N. Y. Ayhan, Bazı yerel buğday türlerinin ve kefirin ekmek yapımında kullanımı. Toros University Journal of Food Nutrition and Gastronomy, 2(1), 43-51, 2023.
- [57] S. Kaur, N. Sharma, P. Kapoor, V. Chunduri, AK. Pandey, M. Garg, Spotlight on the overlapping routes and partners for anthocyanin transport in plants. Physiologia Plantarum 2021, 171(4): 868-881 <https://doi.org/10.1111/pp1.13378>
- [58] M. Garg, S. Kaur, A. Sharma, A. Kumari, V. Tiwari, S. Sharma, P. Kapoor, M. Krishania, Rising demand for healthy foods-anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend. Frontiers in Nutrition, 9, 878221, 2022. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878221>
- [59] A. Brandolini, A. Hidalgo, S. M. Chemical composition of wild and feral diploid wheats and their bearing on domesticated wheats. Journal of Cereal Science, 63, 122-127, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.03.005>
- [60] C. E. Tyl, M. Bunzel, Antioxidant activity-guided fractionation of blue wheat (*UC66049 Triticum aestivum* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60, 731-739, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf203648x>
- [61] E. S. M. Abdel-Aal, A. A. Abou-Arab, T. H. Gamel, P. J. Hucl, C. Young, I. Rabalski, Fractionation of blue wheat anthocyanin compounds and their contribution to antioxidant properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 11171-11177, 2008.
- [62] C. Lee, D. Han, B. Kim, N. Baek, B. K. Baik, Antioxidant and anti-hypertensive activity of anthocyanin-rich extracts from hullless pigmented barley cultivars. International Journal of Food Science technology, 48(5), 984-991, 2013. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12050>
- [63] Z. Liu, Y. Liu, Z. Pu, J. Wang, Y. Zheng, Y. Li, Y. Wei, Regulation, evolution, and functionality of flavonoids in cereal crops. Biotechnology Letters, 35, 1765-1780, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10529-013-1277-4>
- [64] G. Mazza, L. Gao, Blue and purple grains. In: Specialty Grains for Food and Feed (edited by E. Abdel-Aal P. Wood). Pp. 45-67 St Paul: AACC International Inc. 2005.
- [65] J. M. Pihlava, J. Hellström, T. Kurtelius, P. Mattila, Flavonoids, anthocyanins, phenolamides, benzoxazinoids, lignans and alkylresorcinols in rye (*Secale cereale*) and some rye products. Journal of Cereal Science, 79, 183-192, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.009>
- [66] W. Dedio, R. D. Hill, L. E. Evans, Anthocyanins in the Pericarp and Coleoptiles of Purple-Seeded Rye. Canadian Journal of Plant Science, 52(6), 981-983, 1972. <https://doi.org/10.4141/cjps72-168>

- [67] D. H. Rhodes, L. Hoffmann, Jr, W. L. Rooney, P. Ramu, G. P. Morris, S. Kresovich, Genome-wide association study of grain polyphenol concentrations in global sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(45), 10916–10927, 2014. <https://doi.org/10.1021/jf503651t>
- [68] S. C. Choi, J. M. Kim, Y. G. Lee, C. Kim, Antioxidant activity and contents of total phenolic compounds and anthocyanins according to grain colour in several varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Cereal Research Communications*, 47, 228-238, 2019. <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.14>
- [69] A. Khoddami, M. Mohammadrezaei, T. H. Roberts, Effects of sorghum malting on colour, major classes of phenolics and individual anthocyanins. *Molecules*, 22(10), 1713, 2017. <https://doi.org/10.3390/molecules22101713>
- [70] L. Dykes, L. W. Rooney, Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52(3), 105-111, 2007.
- [71] L. Dykes, L. W. Rooney, R. D. Waniska, W. L. Rooney, Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6813-6818, 2005. <https://doi.org/10.1021/jf050419e>
- [72] J. M. Awika, L. W. Rooney, R. D. Waniska, Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), 4388-4394, 2004. <https://doi.org/10.1021/jf049653f>
- [73] L. E. Pinilla, Utilization of Sorghum in El Salvador: Grain, Flour and End-Product Quality, Doctoral dissertation, Texas A & M University, 2012.
- [74] J. R. Taylor, K. G. Duodu, Effects of processing sorghum and millets on their phenolic phytochemicals and the implications of this to the health-enhancing properties of sorghum and millet food and beverage products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 225-237, 2015. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6713>
- [75] L. Yang, J. D. Browning, J. M. Awika, Sorghum 3-deoxyanthocyanins possess strong phase II enzyme inducer activity and cancer cell growth inhibition properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1797-1804, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf8035066>
- [76] L. De Moraes Cardoso, T. A. Montini, S. S. Pinheiro, H. M. Pinheiro-Sant'Ana, H. S. D. Martino, A. V. B. Moreira, (2014). Effects of processing with dry heat and wet heat on the antioxidant profile of sorghum. *Food Chemistry*, 152, 210-217, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.106>
- [77] B. Harakotr, B. Suriharn, M. P. Scott, K. Lertrat, Genotypic variability in anthocyanins, total phenolics, and antioxidant activity among diverse waxy corn germplasm. *Euphytica*, 203, 237–248, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1240-z>
- [78] A. N. Nankar, B. Dungan, N. Paz, N. Sudasinghe, T. Schaub, F. O. Holguin, R. C. Pratt, Quantitative and qualitative evaluation of kernel anthocyanins from southwestern United States blue corn. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(13), 4542–4552, 2016. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7671>
- [79] G. Pereira-Caro, S. Watanabe, A. Crozier, T. Fujimura, T. Yokota, H. Ashihara, Phytochemical profile of a Japanese black–purple rice. *Food Chemistry*, 141, 2821–2827, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.100>
- [80] G. Pereira-Caro, G. Cros, T. Yokota, A. Crozier, Phytochemical profiles of black, red, brown, and white rice from the Camargue region of France. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 7976–7986, 2013. <https://doi.org/10.1021/jf401937b>
- [81] S. Sharma, P. Khare, A. Kumar, V. Chunduri, A. Kumar, P. Kapoor, P. Mangal, K. K. Kondepudi, M. Bishnoi, M. Garg, Anthocyanin-biofortified colored wheat prevents high fat diet–induced alterations in mice: nutrigenomics studies. *Molecular Nutrition Food Research*, 64(13), 1900999, 2020. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900999>
- [82] E. S. M. Abdel-Aal, P. Hucl, I. Rabalski, Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. *Food Chemistry*, 254, 13-19, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.170>
- [83] S. Žilić, D. Dodig, J. Vančetović, N. Grčić, V. Perić, P. Titan, V. Maksimović, Composition of anthocyanins in colored grains and the relationship of their non-acylated and acylated derivatives. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(2), 137-146, 2019. <https://doi.org/10.31883/pjfn-2019-105100>
- [84] J. Lachman, P. Martinek, Z. Kotíková, M. Orsák, M. Šulc, Genetics and chemistry of pigments in wheat grain—A review. *Journal of Cereal Science*, 74, 145-154, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.007>
- [85] P. Bartl, A. Albrecht, M. Skrt, B. Tremlová, M. Ošťádalová, K. Šmejkal, I. Vovk, N. P. Ulrih, Anthocyanins in purple and blue wheat grains and in resulting bread: Quantity, composition, and thermal stability. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 66(5), 514-519, 2015. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1056108>
- [86] D. C. Knievel, E. S. Abdel-Aal, I. Rabalski, T. Nakamura, P. Hucl, Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*, 50(1), 113-120, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.03.007>
- [87] F. S. Hosseinian, W. Li, and T. Beta, Measurement of anthocyanins and other phytochemicals in purple wheat, *Food Chemistry*, 109.4 916-924, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.12.083>
- [88] I. Diczházi, L. Kursinszki, Anthocyanin Content and Composition in Winter Blue Barley Varieties and

- Lines. Journal of Grain Chemistry, 91(2), 195–200, 2014. <https://doi.org/10.1094/cchem-05-13-0091-r>
- [89] H. M. Jin, B. Dang, W. G. Zhang, W. C. Zheng, X. J. Yang, Polyphenol and anthocyanin composition and activity of highland barley with different colors. *Molecules*, 27(11), 3411, 2022. <https://doi.org/10.3390/molecules27113411>
- [90] L. Dykes, L. M. Seitz, W. L. Rooney, L. W. Rooney, Flavonoid composition of red sorghum genotypes. *Food Chemistry*, 116(1), 313–317, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.052>
- [91] J. M. Awika, L. W. Rooney, R. D. Waniska, Anthocyanins from black sorghum and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 90(1-2), 293-301, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.058>
- [92] A. V. Rusu, C. T. Socol, S. P. Bangar, V. Coşier, M. Trif, Colored cereals: Genetics and chemistry of pigments. In *Functionality and Application of Colored Cereals*, Academic Press, pp. 111-134, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99733-1.00001-7>
- [93] A. Francavilla, I. J. Joye, Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*, 12(10), 2922, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12102922>
- [94] R. Ö. Aydın, S. Z. A. Köseoğlu, Mor Pigmentli Meyve ve Sebzelelerin Kanser ile İlişkinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (41), 485-491, 2022. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1114648>
- [95] M. A. Tikhonova, O. Y. Shoeva, M. V. Tenditnik, M. V. Ovsyukova, A. A. Akopyan, N. I. Dubrovina, T. G. Amstislavskaya, Khlestkina, E. K. Evaluating the effects of grain of isogenic wheat lines differing in the content of anthocyanins in mouse models of neurodegenerative disorders. *Nutrients*, 12(12), 3877, 2020. <https://doi.org/10.3390/nu12123877>
- [96] N. Sharma, A. Kumari, V. Chunduri, S. Kaur, J. Banda, A. Goyal, M. Garg, Anthocyanin biofortified black, blue and purple wheat exhibited lower amino acid cooking losses than white wheat. *LWT*, 154, 112802, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112802>
- [97] M. A. Tikhonova, O. Y. Shoeva, M. V. Tenditnik, A. A. Akopyan, E. A. Litvinova, N. A. Popova, T.G. Amstislavskaya, E. K. Khlestkina, Antitumor Effects of an Anthocyanin-Rich Grain Diet in a Mouse Model of Lewis Lung Carcinoma. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(11), 5727, 2024. <https://doi.org/10.3390/ijms25115727>
- [98] F. Zhu, Interactions between starch and phenolic compound. *Trends in Food Science and Technology*, 43(2), 129–143, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.02.003>
- [99] F. Zhu Interactions between cell wall polysaccharides and polyphenols. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*, 58(11), 1808–1831, 2018b. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1287659>
- [100] M. Hidalgo, M. J. Oruna-Concha, S. Kolida, G. E. Walton, S. Kallithraka, et al. Metabolism of anthocyanins by human gut microflora and their influence on gut bacterial growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 3882–3890, 2012. <https://doi.org/10.1021/jf3002153>
- [101] J. Prokop, P. Anzenbacher, E. Mrkvicová, L. Pavlata, I. Zapletalová, O. Šťastník, P. Martinek, P. Kosina, E. Anzenbacherová, In vivo evaluation of effect of anthocyanin-rich wheat on rat liver microsomal drug-metabolizing cytochromes P450 and on biochemical and antioxidant parameters in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 122, 225-233, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.10.029>
- [102] E. Mrkvicová, L. Pavlata, F. Karásek, O. Šťastník, E. Doležalová, V. Trojan, T. Vyhnanek, L.Hřivna, V. Holeksová, J. Mareš, T. Brabec, P. Horký, B. Ruttkay-Nedecký, V. Adam, R. Kizek, The influence of feeding purple wheat with higher content of anthocyanins on antioxidant status and selected enzyme activity of animals. *Acta Veterinaria Brno*, 85(4), 371-376, 2017. <https://doi.org/10.2754/avb201685040371>
- [103] Y. Liu, J. Qiu, Y. Yue, K. Li, G. Ren, Dietary black-grained wheat intake improves glycemic control and inflammatory profile in patients with type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *Therapeutics And Clinical Risk Management*, 247-256, 2018. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S151424>
- [104] T. H. Gamel, A. J. Wright, A. J. Tucker, M. Pickard, I. Rabalski, M. Podgorski,... E. S. M. Abdel-Aal, Absorption and metabolites of anthocyanins and phenolic acids after consumption of purple wheat crackers and bars by healthy adults. *Journal of Cereal Science*, 86, 60-68, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.11.017>
- [105] K. Petroni, R. Pilu, C. Tonelli, Anthocyanins in corn: a wealth of genes for human health. *Planta*, 240(5), 901–911, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2131-1>
- [106] P. Suganyadevi, K. M. Saravanakumar, S. Mohandas, The antiproliferative activity of 3-deoxyanthocyanins extracted from red sorghum (*Sorghum bicolor*) bran through P53-dependent and Bcl-2 gene expression in breast cancer cell line. *Life Sciences*, 92, 379–382, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2013.01.006>
- [107] D. A. Urias-Lugo, J. B. Heredia, M. D. Muy-Rangel, J. B. Valdez-Torres, S. O. Serna-Saldívar, J. A. Gutiérrez-Urbe, Anthocyanins and phenolic acids of hybrid and native blue maize (*Zea mays L.*) extracts and their antiproliferative activity in mammary (MCF7), liver (HepG2), colon (Caco2 and HT29) and prostate (PC3) cancer cells. *Plant Foods for Human Nutrition*, 70, 193–199, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0479-4>
- [108] S. Thummayot, C. Tocharus, D. Pinkaew, K. Viwatpinyo, K. Sringarm, J. Tocharus,

- Neuroprotective effect of purple rice extract and its constituent against amyloid beta-induced neuronal cell death in SK-N-SH cells. *NeuroToxicology*, 45, 149–158, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2014.10.010>
- [109] M. Y. Um, J. Ahn, T. Y. Ha, Hypolipidaemic effects of cyanidin 3-glucoside rich extract from black rice through regulating hepatic lipogenic enzyme activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 3126–3128, 2013. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6070>
- [110] Y. Yang, M. C. Andrews, Y. Hu, D. Wang, Y. Qin, et al. Anthocyanin extract from black rice significantly ameliorates platelet hyperactivity and hypertriglyceridemia in dyslipidemic rats induced by high fat diets. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 6759–6764, 2011. <https://doi.org/10.1021/jf201079h>
- [111] X. Lu, Y. Zhou, T. Wu, L. Hao, Ameliorative effect of black rice anthocyanin on senescent mice induced by D-galactose. *Food Function*, 5, 2892–2897, 2014.
- [112] X. Jiang, H. Guo, T. Shen, X. Tang, Y. Yang, W. Ling, Cyanidin-3-O- β -glu-coside purified from black rice protects mice against hepatic fibrosis induced by carbon tetrachloride via inhibiting hepatic stellate cell activation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63, 6221–6230, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02181>
- [113] Y. Shen, H. Zhang, L. Cheng, L. Wang, H. Qian, X. Qi, In vitro and in vivo antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley. *Food Chemistry*, 194, 1003–1012, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.083>

