GIDA (2011) 36 (6): 349-356 Derleme / *Review*

SERBEST RADİKALLERİN ÖNEMİ VE GIDA İŞLEME SIRASINDA OLUŞUMU

Mustafa Erbaş*, Hanife Şekerci

Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisli Bölümü, Antalya

Geliş tarihi / *Received*: 25.05.2011
Düzeltilerek Geliş tarihi / *Received in revised form*: 24.06.2011
Kabul tarihi / *Accepted*: 10.07.2011

Özet

Serbest radikaller son yörüngelerinde eşlenmemiş elektron bulunduran süperoksit anyonu ve hidroksil radikali gibi aşırı reaktif kimyasal yapılardır. Serbest radikaller vücutta solunum gibi normal metabolik faaliyetler sırasında oluşarak fizyolojik düzeyde faydalı olurken; aşırı spor, enfeksiyon, radyasyon, sigara içme ve serbest radikallerce zengin gıda ile beslenme gibi olumsuz dış etkenler nedeniyle patolojik seviyeye ulaşırsa; diyabet, katarakt, kanser, kalp-damar rahatsızlıkları ve Alzheimer gibi hastalıkların oluşumuna neden olabilmektedirler. Hammaddelerde çok düşük miktarlarda bulunan serbest radikalerin miktarı gıdalara uygulanan dezenfeksiyon, boyut küçültme, ısıl işlem ve katkılama gibi işleme teknikleriyle artmaktadır. Özellikle oksijenli ortamlarda yüzey alanının artması ve yüksek sıcaklık uygulaması gıdaların oksijen bazlı serbest radikal içeriğini artırmaktadır. Hastalıkların oluşmasını önlemede ve kaliteli bir hayat sürmede en önemli önleyici faktörlerden biri de gıda güvenliğinin sağlanması ve doğru beslenmedir. Sonuç olarak gıdaların serbest radikal içeriklerini artıran aşırı işlemeden kaçınılması ve minimal işlem tekniklerin kullanılması toplum sağlığının koruması bakımından oldukça önemlidir.

Anahtar kelimeler: Serbest radikal, gıda, sağlık

IMPORTANCE OF FREE RADICALS AND OCCURRING DURING FOOD PROCESSING

Abstract

Free radicals are defined as highly reactive chemicals having unpaired electron in the their outer orbit such as superoxide anion and hydroxyl radical. Although free radicals produce in body by normal metabolic activities like respiration have benefit effects in terms of physiologic level, when they reach pathologic level because of exogenous reason such as extreme sport, infection, radiation, smoking and nutrition of diets with rich free radicals some disease might occur such as diabetes, cataract, cancer, cardiovascular problems and Alzheimer. The amount of free radicals, existing at a very low level in raw materials, is increased by food processing techniques such as disinfection, size reduction, heat treatment and addition. Especially, reactive oxygen species content of food is increased with accompanied oxygen abundance by surface expanding and exposing to high temperature. Ensuring food safety and right nutrition is one of the important preventive factors occurring of disease and keep on life quality. Conclusion, avoiding from over-processing because it increase free radical content of food and using minimal techniques are very important in point of protect public health.

Keywords: Free radical, food, health

*Yazışmalardan sorumlu yazar / *Corresponding author*;
erbas@akdeniz.edu.tr (+90) 242 310 6575 (+90) 242 2274564

GİRİŞ

Gelişen teknoloji ile birlikte tüketicilerin daha güvenli ve kaliteli gıdalara olan talepleri, gıda işleme tekniklerini de çeşitlendirmektedir. Bu teknikler, doğru uygulandıkları zaman güvenli ve kaliteli işlenmiş gıdalar sağlarken, yanlış ve aşırı uygulandıkları zaman ise, serbest radikaller (SR) gibi vücutta zararlı etkiler gösteren kimyasal yapıların oluşmasına neden olmaktadırlar. SR'ler yaklaşık yüzyıl kadar önce tanımlanmış olmalarına rağmen, biyolojik sistemlerdeki önemleri 1950 yılından sonra anlaşılmaya başlamıştır (1, 2). Günümüzde ise birçok hastalığın SR'lerle ilişkili olduğunun bilinmesi, konunun önemini daha da arttırmıştır.

Vücutta SR riskini artıran en önemli faktörlerden biri de, SR'lerce zengin gıdalar ile beslenme olduğu için, gıda üretiminde SR oluşumunu en aza indirebilecek tedbirlerin alınması son derece önemlidir. Bu derlemede SR'lerin tanımlanması, beslenme ve sağlık açısından önemlerinin belirtilmesi ve işleme sırasında gıdaların SR içeriğinin azaltılabilmesi için alınabilecek tedbirlerin vurgulanması amaçlanmıştır.

SERBEST RADİKALLER

SR'ler, son yörüngelerinde eşleşmemiş elektron bulunduran ve bu açığı kapatabilmek için başka bileşiklerin elektronlarını paylaşmaya çalışan yüksek akiviteli kimyasal yapılardır. SR'ler, düşük molekül ağırlıklı, kısa ömürlü ve kararsız yapılardır (3-6).

Canlı için hayati önemi olan oksijen ve azot, aynı zamanda en önemli SR kaynaklarıdır. Oksijen (reactive oxygen species, ROS) ve azot (reactive nitrogen species, RNS) içeren SR'ler canlıda fizyolojik düzeyde oluşarak yararlı etkiler gösterirken, bu düzeyin patolojik seviyeye yükselmesiyle zararlı etkiler göstermeye başlamaktadırlar. Organizmada solunum ve sinirsel iletim gibi metabolik faaliyetler sırasında oluşarak fizyolojik düzeyde faydalı etkileri bulunan ve antioksidan enzimler (süperoksit dismutaz, glutation peroksidaz, glutation redüktaz ve katalaz) ve diyetsel antioksidan bileşikler (A, E ve C vitaminleri, glutation, vb.) ile kontrol altında tutulmaya çalışılan SR'ler, olumsuz dış etkenler nedeniyle patolojik seviyeye ulaşırsa diyabet, kalp-damar rahatsızlıkları, katarakt, kanser, Alzheimer ve ihtiyarlık gibi hastalıkların oluşumuna neden olmaktadır (2, 5–11).

Yüksek sıcaklık veya yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar gibi etkenler ile bir bileşikteki kovalent bir bağın kırılması veya bileşiğin elektron kaybetmesi ya da kazanması sonucu bileşiğin son yörüngesindeki elektron dengesinin bozulmasıyla SR'ler oluşmaktadır. SR'ler; süperoksit anyonu ($O_2^{\bullet-}$), hidroksil ($HO^{\bullet}$), alkil ($R^{\bullet}$), alkoksi ($RO^{\bullet}$), peroksi ($ROO^{\bullet}$), hidroperoksi ($HOO^{\bullet}$), lipit peroksi ($LOO^{\bullet}$) nitrik oksit ($NO^{\bullet}$) ve nitrojen dioksit ($NO_2^{\bullet}$) gibi farklı kimyasal yapılara sahiptir. Ayrıca, singlet oksijen ($^1O_2$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hipoklorit (HOCl) gibi bazı bileşiklerde kimyasal olarak SR olmamakla birlikte, onlar gibi yüksek aktiviteye sahiptirler (2, 6, 11, 12).

Çeşitli nedenler ve reaksiyonlar ile oluşan SR'ler hücrenin protein, lipit ve DNA gibi birçok hayati bileşeniyle reaksiyona girerek bu bileşenlerin yapı ve fonksiyonlarını bozabilmektedir. Bu durumun sonucu olarak ise birçok ciddi sağlık sorunları oluşabilmektedir. Örneğin ROS radikalleri çoklu doymamış yağ asitlerini hızlı bir şekilde oksidasyona uğratabilmesi nedeniyle, yapısında bu yağ asitlerini yüksek miktarda bulunduran beyinde iskemi (kansızlık), Alzhemier ve Parkinson gibi önemli hastalıkların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ayrıca ROS radikalleri başta olmak üzere SR stresi oluşturan tüm bileşikler, biyolojik olarak yaşlanmayı da hızlandırmaktadır. Nitrik oksit radikalinin birçok hastalığın başlangıcında ana faktör olarak yer aldığı bilinmektedir (2, 9, 13, 14).

Gıdaların SR içeriği elektron spin rezonans (ESR) veya elektron para-manyetik rezonans (EPR) olarak adlandırılan bir yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu yöntem ile çok düşük SR içerikleri dahi iyi bir doğrululukla tespit edilebilmektedir. Atmosferik basınç altında ve oda sıcaklığındaki doğal gıdalarda dahi SR'ler bulunabilmektedir (15-21).

SERBEST RADİKALLERİ OLUŞTURAN SEBEPLER

Biyolojik sistemlerde SR oluşumu normal metabolik olayların ve bazı yabancı kimyasal maddelerin metabolize edilmesi gibi iç faktörler veya çeşitli dış faktörlerin etkisiyle oluşabilmektedir. Bu nedenle SR'leri oluşturan sebepler endojen ve ekzojen kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Canlılığın devam edebilmesi için gerekli olan SR yapısına sahip ara ürünler, normal metabolizma sırasında çeşitli basamaklarda meydana gelmekte ve endojen kaynak olarak isimlendirilmektedir. Endojen olarak

SR üreten metabolik faaliyetler, bazı küçük moleküllerin (tiyoller, hidrokinonlar ve flavinler) otooksidasyonu, bazı enzimlerin (ksantin oksidaz, aldehit oksidaz ve triptofan dioksijenaz) katalitik döngüsü ve mitokondriyal elektron transferi gibi birkaç grup olarak sınıflandırılmaktadır. Biyokimyasal tepkimelerde kullanılabilmesi için reaktif formlara çevrilmesi zorunlu olan oksijen, mitokondride aerobik solunum sırasında kullanılmakta ve toplam oksijenin %2–5'i ROS radikallerine dönüştürülmektedir (2, 8, 10, 12, 22, 23).

Yanlış üretim veya hazırlama nedeniyle SR içeriği yüksek gıda tüketimi, radyasyon, ozon, fosil yakıtlar, ultraviole (UV) ışınları, tarım ilaçları, enfeksiyon, sigara, aşırı spor, travma ve stres gibi faktörler SR'leri oluşturan ekzojen kaynaklar olarak bilinmektedir. Ayrıca serbest formdaki demir, bakır ve krom gibi katalitik metaller de SR'leri oluşturabilen Fenton ve Haber-Weiss reaksiyonların hızlarını artırabilmektedir (11, 14, 15, 24-26). Beslenmede enerji içeriği yüksek gıdaların fazla miktarda kullanılmasının ve özellikle içerisinde oksitlenmiş yağ bulunan gıdaların tüketiminin vücutta SR'lerin oluşmasına neden olduğu ve hücre bileşenlerine zarar verdiği bilinmektedir (27, 28).

Gelişen teknolojik yöntemler, daha güvenli ve kaliteli işlenmiş gıda üretimini sağlarken SR'ler gibi vücutta zararlı etkiler gösteren bazı istenmeyen bileşiklerin de oluşmasına neden olabilmektedir. Gıdaların SR içeriği, canlılık sürecindeki metabolik faaliyetler sırasında oluşanlara ilave olarak hammaddenin yanlış şekilde veya zamanda hasadı, kötü veya aşırı işleme, ısıl işlem, boyut küçültme, oksidasyon, mikrodalga, UV ışınları, radyasyon, klorlama, ozonlama ve uygun olmayan şartlarda uzun süre depolanma gibi işlemler sırasında meydana gelen SR'lerden oluşur. Birçok gıdada düşük miktarda bulunan SR'ler, gıda işleme tekniklerine bağlı olarak artmaktadır. Yani işlenmiş gıdanın SR içeriği, hammaddeninkinden daha yüksek olmaktadır (11, 16, 19, 21, 26). SR'ler, gıdaya uygulanan teknolojik işlemler sırasında artmaktadır. Ancak oluşan SR'lerin bir kısmı gıdalardaki antioksidan bileşiklerce indirgediği için, gıdaların SR içerikleri daha düşük oranlarda tespit edilmektedir (16).

Hammadde

Sağlıksız bitkiler ve hasta hayvanlardan elde edilen gıdaların SR içerikleri, sağlam bitki ve hayvanlardan elde edilen gıdaların SR içeriklerinden daha yüksek olmaktadır. Çünkü canlılar vücutlarında var olan enfeksiyonlarla mücadele için tahrip gücü yüksek SR'leri üretmektedir. Gıda olarak değerlendirilecek olan bitkilerin hasadından veya hayvanların kesiminden önce sağlam ve sağlıklı olmaları oldukça önemlidir. Gıda işlemede hammadde olarak kötü şartlarda yetişmiş ve depolanmış ürünler (susuz, hastalıklı, bereli, vb) kullanılmamalıdır. Ayrıca bitkilere yapılan insektisit ve herbisit uygulamaları ile hayvanlara verilen veteriner ilaçları gibi kimyasallardan kaynaklanan risklerin de mümkün olduğunca düşük olmasına dikkat edilmelidir (24, 29- 33).

Hammadde kalitesi için önemli ve yaygın bir dış faktör olan kuraklık nedeniyle de gıdalar, yüksek oranlarda SR'ler içermektedir. Yapılan birçok incelemede kuraklığa maruz kalan bitkilerin yapraklarında yüksek oranda SR belirlenmiştir. Hammaddeyi etkileyen diğer bir faktör olan hasat zamanı da, ürünlerin SR içeriğini etkilemektedir. Kurak topraklarda yetiştirilen bitkilerin SR içeriğinin erken hasatta, geç hasada göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (24, 29, 30).

Gıda olarak değerlendirilecek olan hayvanların kesim öncesi ve sonrasındaki şartlarda da oksidatif stres oluşabilmektedir. Boyut küçültme işlemi sırasında kas dokusunun doğrudan oksijen ile temas etmesi, proteinlere bağlı olarak bulunan demir ve bakır gibi katalitik metallerin serbest hale geçmesi ve pişme sırasında antioksidan enzimlerin inaktive olması gibi nedenlerle et ürünlerinin SR içeriği artabilmektedir (31).

Isıl işlem

Gıda güvenliğinin ve lezzetinin sağlanması için uygulanan haşlama, kızartma, ızgara etme, kavurma, kurutma ve dondurma gibi ısıl işlemler gıdalarda SR'lerin oluşmasına neden olmaktadır. Kavrulmuş kahve, kahveli içecekler, ekmek ve dondurarak kurutulmuş ürünler yüksek konsantrasyonlarda ROS radikallerini içermektedirler (18, 19, 29, 32-34). Isıl işlem sırasında özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında, aşırı reaktif SR'ler oluşmakta ve tekrar ortam sıcaklığına düşülse dahi oluşan bu radikaller yapılarını koruyabilmektedir (32). Oda sıcaklığında çok uzun süre sonunda ulaşılan otooksidasyon oranına, 70 °C'deki ısıl işlem ile birkaç saatte ulaşılabildiği bildirilmektedir (35).

Gıdalarda ısıl işleme bağlı olarak oluşan Maillard reaksiyonu ve karamelizasyon gibi enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları SR oluşumuna neden olmaktadır (18, 34). Bu nedenlerle kavurma ve fırınlama gibi işlemlerle gıdaları aşırı ısıl işleme tabi tutmaktan kaçınılmalıdır.

Beyaz, esmer, çavdar ve kızarmış ekmek parçalarının kabuk ve içlerinden alınan örneklerle yapılan bir araştırmada, ekmeklerdeki SR içeriğinin üretildiği tane ve una göre yaklaşık 50–100 kat ve aynı tip ekmeklerde kabuktaki SR içeriğinin ekmek içine göre 2–5 kat daha yüksek olduğu ve kızarmış ekmeğin SR içeriğinin diğerlerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni ekmek kabuğun iç kısmına göre daha yüksek sıcaklığa maruz kalması olarak bildirilmiştir (19). Buğday tanesinde yapılan bir çalışmaya göre ise 100-200 °C'de yapılan ısıl işlemler, örneklerin SR içeriklerinde artışa neden olmuştur. Oluşan SR'lerin çoğunluğunun tanenin yüzeyinde olduğu ve tanenin kepek kısmının, iç kısmına göre yaklaşık 100 kat daha fazla SR içerdiği tespit edilmiştir (17). Cevizler üzerinde yapılan bir araştırmada ise; süreye bağlı olarak ısıl işlem esnasında SR konsantrasyonun arttığı tespit edilmiştir. Vakum altında kavurma işleminin ise atmosferik kavurmaya göre daha düşük SR oluşumuna sebep olduğu tespit edilmiştir (16, 36). Bir çalışmada kırmızı biberlerde düşük konsantrasyonlarda bulunan SR'lerin, oda sıcaklığından 100 °C'ye çıkma sırasında yapılarının bozulduğu ve bu sıcaklığın üzerinde ise yeni SR'lerin oluştuğu bildirmiştir (32).

Gıda işleme teknikleri olarak kullanılan kurutma, dondurma ve dondurarak kurutma işlemleri sırasında da SR'ler oluşmaktadır. Çilekler üzerinde yapılan bir çalışmada dondurulmuş ve dondurularak kurutulmuş çileklerin her ikisinin de orijinal meyveye göre SR içeriğinin daha yüksek olduğu ve kuru madde bazında dondurularak kurutulmuş çileğin, dondurulmuş çilekten 10 kat daha fazla SR içerdiği tespit edilmiştir (29).

Oksidasyon

Gıdalarda acılaşmaya neden olan oksidasyon, gıda işleme ve depolama sürecinde oksijen ve gıda lipitleri arasında bir reaksiyonlar serisi şeklinde oluşarak devam etmekte ve çeşitli SR'ler oluşturmaktadır. Oksidasyonu başlatan faktörler arasında oksijen, gıdanın içerdiği yağ asitlerinin miktarı ve çeşitliliği, sıcaklık, nem ve UV ışık gibi faktörler yer almaktadır. Bu faktörler ile başlangıç enerjisini alan oksidasyon, otokatalitik olarak devam etmekte ve otooksidasyon olarak tanımlanmaktadır. Otooksidasyon reaksiyonları sürecinde peroksi, hidroksi, alkoksi ve alkil gibi SR'ler oluşmaktadır. Oluşan peroksi SR'leri, diğer lipit molekülleri veya radikalleri ile reaksiyonlara girerek yayılma reaksiyonları sonucunda aşırı aktif olan hidroperoksi SR'lerini oluşturmaktadır. Oluşan hidroperoksi radikalleri ise, bozunarak oksijenle çok hızlı reaksiyon veren yeni SR'ler oluşturabildiği için tehlikeli olmaktadır (8, 27, 28, 37-39).

Işınlama, ultrasonikasyon ve dezenfeksiyon

Gıda ışınlama işlemi için, kobalt 60 ve sezyum 137 radyoaktif kaynaklarından üretilmekte olan gama ışınları kullanılmaktadır. Gama ışınları ile muamele edilen gıdalarda yüksek miktarlarda SR'ler oluşmaktadır. Uygulama esnasında su içeriği %70–90 olan hücrelerde su molekülleri hidrojen ve hidroksil radikaline ayrışmakta, oluşan bu hidroksil radikali de çeşitli gıda bileşenleri ile yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonlarına girmektedir (15, 20, 21, 35). Yapılan bir çalışmada sulu sistemlere ultrasonik ses uygulamasının SR oluşumuna neden olduğu, oluşan SR'lerin miktarının genlik, sıcaklık ve basınç ile artığı belirlenmiştir (21, 40).

Gıdaları ozonlu ve klorlu çözeltilere daldırmak veya bu çözeltilerin uygulandığı yüzeyleri yeterince durulamadan gıdaları bu yüzeylere doğrudan temas ettirmek, gıdaların SR içeriğini arttırmaktadır. Gıda endüstrisinde içme sularının ve balık, tavuk ve meyve-sebze işleme tesislerinin dezenfeksiyonunda kullanılan ozonlama, SR üretimine neden olmaktadır. Ozonun dezenfektan özelliği, kararsız yapısının hızla moleküler ve atomal oksijene parçalanmasından ve atomal oksijenin hücre duvarına verdiği zarardan kaynaklanmaktadır. Atomal oksijen, bu özelliğinin yanında gıda bileşenlerini de oksitleyerek SR üretimine neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada, ozona maruz bırakılan bitkilerde diğer bitkilere göre %60–70 daha fazla SR bulunduğu tespit edilmiştir. Ozonlama arttıkça bitkilerin antioksidan içeriklerinde azalma dolayısıyla da SR içeriklerinde artış olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ozonla muamele edilen gıdaların SR içerikleri de yüksek olmaktadır (30).

Katkılama

Her ne kadar katkılamanın amaçlarından biri de gıdaların kararlılığını artırmak ise de, bu işlem bazen SR oluşumuna da neden olabilmektedir. Florca katkılanmış gıda tüketimi, vücutta SR üretimini arttırmaktadır. Florun fazla alınması solunumu arttırmakta ve süperoksit ve hidroksil radikallerinin daha fazla üretilmesine neden olmaktadır. Yapılan bir çalışmada, 16 hafta boyunca içme suyuyla 25 mg/L dozunda flor alan kobaylarda lipit peroksidasyonunda bir artış ve antioksidan enzimlerin konsantrasyonlarında ise bir azalış belirlenmiştir. Bunların nedeni olarak da artan SR üretimi gösterilmiştir (41). Ayrıca demir içeren bir renk maddesi olan eritrosin ilavesi de gıdalarda fotooksidasyona ve SR oluşumuna neden olabilmektedir (27). Bazı durumlarda ingredientler birbirlerinin SR içeriklerini artırabilmektedir. Yapılan bir çalışmada; çorba olarak kullanılmak üzere hazırlanan karnabahar tozu, kolza yağı ve diğer ingredientlerin ayrı ayrı ve çorba karışımı olarak depolandıkları zamanki SR içerikleri ölçülmüş ve karışımın en yüksek SR içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir (33).

Makine korozyonu ve kontaminasyon

Her ne kadar SR'ler, öncelikli olarak işleme teknikleri nedeniyle oluşuyor olsalar da amacına uygun olmayan metallerden yapılmış makinelerin gıdalarla temasıda SR oluşumuna katalitik etkide bulunmaktadır. Makineler, imal edildikleri metallerin korozyonu ile ilişkili olarak SR'lerin oluşumunu arttırmaktadır. Gıda işleme sırasında gıda ile temas eden yüzeylerden korozyon sonucu bulaşan demir, gıdalarda SR oluşum reaksiyonlarını katalize etmektedir. Demir katalizörlüğünde süperoksit radikali, su ile reaksiyona girdiğinde çok zararlı olabilen hidroksil radikallerini oluşturmaktadır (11, 26). Birçok meyve ve sebzede bulunan antioksidan özellikteki flavonoidler, demir ve bakır gibi metallerin varlığında SR oluşumuna neden olabilmektedir. Bu tip gıda bileşenlerini içeren ürünlerin işlenmesi sırasında SR oluşmaması için kullanılan makine ve aletlerin korozyona uğramayacak nitelikte olması önemlidir. Bu nedenlerle gıdalarla temas eden makine ve alet yüzeylerin korozif özellikte olmamasına, makinelerin çalışmasını kolaylaştırıcı yağlama unsurlarının üretim sırasında gıdalara bulaşmamasına dikkat edilmelidir.

Toksik bir metal olan kadmiyum, serbest oksijen radikallerinde artışa yol açmakta ve özellikle de hidroksil radikalini oluşturmaktadır. Bu nedenle gıdaların yetiştirilmesi ve işlenmesi sırasında çevreden kadmiyum, civa ve kurşun gibi ağır metallerin bulaşması engellenmelidir. Bu ağır metaller fosil yakıtların yakılması ve sanayi faaliyetleri sonucu atmosfere, toprağa ve sulara karışarak hammaddeleri kirletmekte ve işleme sırasında gıdalara kontamine olabilmektedir. Özellikle yol kenarlarında yetiştirilen ürünler egzoz gazı içeriğindeki toksik bileşenler ve ağır metaller ile kontamine olmaktadır (42).

Depolama ve Sunum

Gıdalarda oluşmuş olan SR'ler, depolama boyunca yeni SR'lerin oluşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle depolama süre ve koşullarının gıdalarda SR içeriklerini en düşük seviyede tutacak şekilde olmasına özen gösterilmelidir. Uygun olmayan depo bağıl nemi, sıcaklığı ve depolama sırasında oluşan lipit peroksidasyonu gibi kimyasal reaksiyonlar SR üretimini artırmaktadır (12).

Bademler üzerinde de yapılan bir araştırmada, üründeki SR'lerin depolama koşullarına bağlı olarak oluştuğu belirlenmiş ve gıdaların azot, argon ve helyum gibi inert atmosfer şartlarında depolanmasının SR artışını yavaşlatan önemli bir yöntem olduğu tespit edilmiştir (36). Uygun işlenmiş gıdaların, tüketilmeden önce belli bir süre dinlendirilmesi SR içeriğini azaltabilmektedir. Yapılan bir çalışmada kuru yemişlerin 110 °C'de 50 dakika kavrulmasının, örneklerin SR içeriğini arttırdığı ve kavrulmuş bu ürünlerin 2 gün dinlendirilmesiyle bu içeriğin %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yine takip eden 10 gün içinde ise ürünlerin SR içeriğinin daha yavaş olmak üzere azalmaya devam ettiği ancak bu süreden sonra bu içeriğin tekrar artmaya başladığı tespit edilmiştir. Bu radikal artışını mümkün olduğu kadar azaltmak için kavurma işleminin düşük sıcaklıklarda ve uzun süre yapılması gerektiği de belirlenmiştir (36).

Tüketiciye sunum aşamasında da gıdaların SR içerikleri artabilmektedir. Güneş, flöresans lamba ve UV gibi ışık kaynakları da fotokatalitik etki nedeniyle gıdaların SR içeriklerinin yükselmesine neden olabilmektedir. Gıdaların gereksiz yere ışığa maruz kalmasının engellenmesi ile SR içeriğinde azalmalar sağlanabilmektedir (26, 35).

SERBEST RADİKALLERİN GIDA BİLEŞENLERİ İLE ETKİLEŞİMLERİ

SR'ler gıdaları sağlıksız hale getirebildiği gibi; gıdaların lipit, protein, karbonhidrat, vitamin ve diyetsel antioksidan gibi bileşenleri ile de reaksiyonlara girerek onların besinsel ve duyusal özelliklerini de olumsuz etkilemekte ve raf ömürlerinde kısalmaya neden olmaktadır. Lipitler, genellikle hidroperoksi radikalleri ve hidroksil radikali tarafından okside edilmektedir. Bu şekilde başlatılan lipit oksidasyonu ise, otooksidasyon olarak devam etmektedir. Protein ve aminoasitler, çoğunlukla hidroksil radikalleri tarafından okside edilmektedir. Süperoksit ve hidroperoksi radikalleri, proteinler ile düşük seviyelerde reaksiyona girebilmektedir. Glikoz ve früktoz gibi şekerler hidroksil radikali ve singlet oksijen ile reaksiyona girmektedirler (12).

Gıdaların A, E ve C vitaminleri ve fenolik maddeler gibi bileşenlerinden kaynaklanan antioksidan kapasitesi, bu bileşiklerin SR'lere elektron veya hidrojen vererek onları indirgemesi ve olumsuz etkilerini önemli ölçüde azaltması olarak tanımlanmaktadır (2, 6, 14, 43-48). Diyetsel antioksidanlar etkilerini SR'leri indirgeme, onların yayılımını yavaşlatma veya engelleme ve katalitik metal iyonlarını bağlama gibi yollarla doğrudan veya dolaylı olarak gösterirler (8, 41, 45, 49-51). Gıdaların antioksidan kapasiteleri ABTS (2,2'-azinobis-(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonate) ve DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) gibi radikalleri indirgemelerinden hareketle bir E vitamini analoğu olan troloks'un eşdeğeri olarak belirlenmektedir (45).

Diyetsel antioksidanlar organizmaya gıdalarla kimyasal bileşikler ve antioksidan enzimler olmak üzere iki temel formda alınmaktadır (51). Karotenoidler, tokoferoller, fenolik bileşikler ve askorbik asit gibi antioksidanlar diyetle alınarak sindirim sisteminde ve absorbe edildikten sonra hücrelerde doğrudan antioksidan etki göstererek, selenyum ve çinko gibi mineraller ise antioksidan enzimlerin kofaktörü veya aktivatörü olarak dolaylı antioksidan etkiler göstermektedirler. Diyetsel antioksidan enzimler ise çiğ olarak tüketilmesi uygun olan gıdalarla vücuda alındıktan sonra sindirim sisteminde koşullar uygun olduğu sürece çalışarak gıdalarla vücuda alınan SR'leri sindirim yolunda etkisiz hale getirebilmektedirler (58).

Son yıllarda yapılan çalışmalar diyetsel antioksidanlarca yetersiz ve/veya SR'lerce zengin beslenmenin DNA, mitokondrial sistem ve hücre zarı gibi molekül veya sistemlerin oksidasyonuna neden olarak hücre ve doku zararlanmasını artırdığını göstermiştir. Diyetsel antioksidan alımının kanser, kalp-damar rahatsızlıkları, diyabet ve katarakt gibi bazı hastalıkların oluşma riskini önemli derecede azatlığı tespit edilmiştir. Birçok meyve ve sebzenin, kepekli tahılların, baklagillerin ve fermente ürünlerin iyi birer diyetsel antioksidan kaynağı olduğu, SR'leri indirgediği ve bazı hastalıklarının oluşma risklerini azalttığı bilinmektedir (8, 9 14, 44-46, 49-58).

SONUÇ

Hastalıkların oluşmasını önlemede ve kaliteli bir hayat sürmede en önemli faktörlerden biri de doğru ve güvenli gıda ile beslenmedir. Sonuç olarak gıdaların işlenmesi sırasında SR'lerin oluşumunun azaltılması için aşırı işlemeden kaçınılması ve minimal işlem tekniklerinin kullanılması, SR'lerin sindirim sistemi üzerindeki etkilerinin ve absorpsiyon oranlarının belirlenmesine ve ayrıca gıdaların antioksidan kapasitelerinin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması toplumun sağlığı açısından oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Çakatay U, Kayalı R. 2006. Serbest radikal biyokimyasının tarihsel süreçteki gelişimi. *Cerrahpaşa Tıp Dergisi*, 37: 162–167.

2. Kumar S. 2011. Free radicals and antioxidants: Human and food system. *Adv Appl Sci Res*, 2: 129-135.

3. Thomas MJ. 2000. The role of free radicals and antioxidants. *Nutrition*, 16: 7-8.

4. Fang YZ, Yang S, Wu G. 2002. Free radicals, antioxidants, and nutrition. *Nutrition*, 18: 872– 879.

5. Garrido G, Gonzalez D, Romay C, Nunez-Selles AJ, Delgado R. 2008. Scavenger effect of a mango (*Mangifera indica* L.) food supplement's active ingredient on free radicals produced by human polymorphonuclear cells and hypoxanthine–xanthine oxidase chemiluminescence systems. *Food Chem,* 107: 1008-1014.

6. Halliwell B. 2009. The wanderings of a free radical. *Free Radical Bio Med,* 46: 531-542.

7. Ames BN. 1983. Dietary carcinogens and anticarcinogens: Oxygen radicals and degenerative diseases. *Science,* 221: 1256-1264.

8. Halliwell B, Murcia MA, Chirico S, Aruoma OI. 1995. Workshop on the substantiation of the impact of nutrient and nonnutrient antioxidants on health. *Crit Rev Food Sci Nutr,* 35: 7-20.

9. Getoff N. 2007. Anti-aging and aging factors in life: The role of free radicals. *Radiat Phys Chem*, 76: 1577-1586.

10. Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *Int J Biochem Cell Biol,* 39: 44–84.

11. Bercu V, Negut CD, Duliu OG. 2011. EPR studies of the free radical kinetics in γ-rays irradiated *Pleurotus ostreatus* oyster mushrooms. *Food Res Int,* 44: 139–145.

12. Choe E, Min DB. 2005. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. *J Food Sci,* 70: 142–158.

13. Koca N, Karadeniz F. 2003. Serbest radikal oluşum mekanizmaları ve vücuttaki antioksidan savunma sistemleri. *Gıda Mühendisliği Dergisi,* 6: 32- 37.

14. Herrera E, Jimenez R, Okezie IA, Hercberg S, Sanchez-Garc a I, Fraga C. 2011. Aspects of antioxidant foods and supplements in health and disease. *Nutr Rev,* 67: 140–144.

15. Rice-Evans C, Halliwell B, Lunt GG. 1995. Free radicals and oxidative stress: Environment, drugs and food additives. *Biochemical Society Symposium,* 61: 247-258.

16. Szocs F. 2002. Walnut free radicals studied by ESR. *J Food Sci,* 67: 953–955.

17. Szocs F. 2002. Free radicals in wheat seeds studied by electron spin resonance. *J Food Sci,* 67: 2079–2082.

18. Rizzi GP. 2003. Free radicals in the Maillard reaction. *Food Rev Int,* 19: 375–395.

19. Yordanov ND, Mladenova R. 2004. EPR study of free radicals in bread. *Spectrochim Acta A,* 60: 1395–1400.

20. Shimoyama Y, Ukai M, Nakamura H. 2006. ESR detection of wheat flour before and after irradiation. *Spectrochim Acta A,* 63: 888–890.

21. Bhat R, Sridher KR. 2011. Influence of ionizing radiation and conventional food processing treatments on the status of free radicals in lotus seeds: An ESR study. *J Food Compos Anal,* doi: 10.1016/j.jfca.2010.12.008.

22. Murrell GAC. 2007. Oxygen free radicals and tendon healing. *J Shoulder Elb Surg,* 16: 208-214.

23. Liu J, Wang C, Wang Z, Zhang C, Lu S, Liu S. 2011. The antioxidant and free-radical scavenging activities of extract and fractions from corn silk (*Zea mays* L.) and related flavone glycosides. *Food Chem,* 126: 261–269.

24. Velioğlu S. 2000. Doğal antioksidanların insan sağlığına etkileri. *GIDA,* 25: 167–176.

25. Dellinger B, Lomnicki S, Khachatryan L, Maskos Z, Hall RW. Adounkpe J. Mcferrın C. Truong H. 2007. Formation and stabilization of persistent free radicals. *P Combust Inst,* 31: 521–528.

26. Rohan V, Tikekar RV, Johnson A, Nitin N. 2011. Fluorescence imaging and spectroscopy for real-time, in-situ characterization of interactions of free radicals with oil-in-water emulsions. *Food Res Int,* 44: 139-145.

27. Henry C, Chan WS. 1987. Oxygen free radicals in food. *Proc Nutr Soc,* 46: 35-41.

28. Baublis AJ, Lu C, Clydesdale FM, Decker EA. 2000. Potential of wheat-based breakfast cereals as a source of dietary antioxidants. *J Am Coll Nutr,* 19: 308–311.

29. Pirker KF, Goodman BA, Pascual EC, Kiefer S, Soja G, Reichenauer TG. 2002. Free radicals in the fruit of three strawberry cultivars exposed to drought stress in the field. *Plant Physiol Biochem,* 40: 709–717.

30. Pirker KF, Reichenauer TG, Pascual EC, Kiefer S, Soja G, Goodman BA. 2003. Steady state levels of free radicals in tomato fruit exposed to drought and ozone stress in a field experiment. *Plant Physiol Biochem,* 41: 921–927.

31. Üzümcüoğlu Ü, Soyer A. 2002. Kaslı gıdalarda lipid ve protein oksidasyonu. Türkiye 7. Gıda Kongresi, 22–24 Mayıs, Ankara, 889-896.

32. Korkmaz M, Polat M. 2001. Radical kinetics and characterization of the free radicals in gamma irradiated red pepper. *Radiat Phys Chem,* 62: 411–421.

33. Raitio R, Orlien V, Skibsted LH. 2001. Free radical interactions between raw materials in dry soup powder. *Food Chem*, doi:10.1016/j.foodchem. 2011.05.051.

34. Goodman BA, Pascual EC, Yeretzian C. 2011. Real time monitoring of free radical processes during the roasting of coffee beans using electron paramagnetic resonance spectroscopy. *Food Chem*, 125: 248–254.

35. Neta P, Simic MG. 1985. Free radical chemistry of natural products. In: *Chemical Changes in Food During Processing,* Richardson T, Finley JW (Editors), Von Nostrand Reinhold Company Inc, New York, 63–72.

36. Yordanov ND, Mladenova R. 2007. EPR study of thermally generated free radicals in nuts. *Int J Food Sci Tech,* 42: 1384-1389.

37. Hamilton RJ, Kalu C, Prisk E, Padley FB, Pierce H. 1997. Chemistry of free radicals in lipids. *Food Chem,* 60: 193–199.

38. Bonnely S, Davis AL, Lewis JR, Astill C. 2003. A model oxidation system to study oxidised phenolic compounds present in black tea. *Food Chem,* 83: 485–492.

39. Naz S, Sheikh H, Siddiqi R, Sayeed S. 2004. Oxidative stability of olive, corn and soybean oil under different conditions. *Food Chem,* 88: 253-259.

40. Vercet A, Lopez P, Burgos J. 1998. Free radical production by manothermosonication. *Ultrasonics,* 36: 615-618.

41. Mercan U. 2004. Toksikolojide serbest radikallerin önemi. *YYÜ Veterinerlik Fakültesi Dergisi,* 15: 91-96.

42. Almeida JA, Diniz YS, Marques SFG, Faine LA, Ribas BO, Burneiko RC, Novelli ELB. 2011. The use of the oxidative stress responses as biomarkers in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to in vivo cadmium contamination. *Environ Int,* 27: 673-679.

43. Chandrika M, Shahidi F. 2007 Antioxidant and free radical scavenging activities of whole wheat and milling fractions. *Food Chem,* 101: 1151-1157.

44. Astley SB. 2003. Dietary antioxidants-past, present and future. *Trends Food Sci Tech,* 14: 93–98.

45. Benzie IF. 2003. Evolution of dietary antioxidants. *Comp Biochem Physiol,* 136: 113-126.

46. Erbaş M. 2006. Yeni bir gıda grubu olarak fonksiyonel gıdalar. Türkiye 9. Gıda Kongresi 24-26 Mayıs, Bolu, 791-794.

47. Tao F, Zhang M, Yu H. 2007. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *J Food Eng,* 79: 1302-1309.

48. Ekici L, Sağdıç O. 2008. Serbest radikaller ve antioksidan gıdalarla inhibisyonu. *GIDA*, 33: 251-260.

49. Çavdar C, Sifil A, Çamsarı T. 1997. Reaktif oksijen partikülleri ve antioksidan savunma. *Türk Nefroloji Diyaliz ve Transplantasyon Dergisi,* 3–4: 92–95.

50. Yu L, Perret J, Davy B, Wilson J, Melby CL. 2002. Antioxidant properties of cereal products. *J Food Sci,* 67: 2600–2603.

51. Wang SY, Ballington JR. 2007. Free radical scavenging capacity and antioxidant enzyme activity in deerberry (*Vaccinium stamineum* L.). *LWT-Food Sci Technol,* 40: 1352–1361.

52. Serteser A, Gök V. 2003. Doğal antioksidanların biyoyarlılığı. 3. Gıda Mühendisliği Kongresi, 2-4 Ekim 2003, Ankara, 83-98.

53. Doğan İS, Meral R. 2006. Buğdayda bulunan antioksidan maddeler. Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongresi, 7–8 Eylül, Gaziantep, 360-365.

54. Ragaee S, Abdel-Aal E, Noaman M. 2006. Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chem*, 98: 32-38.

55. Liyana-Pathirana CM, Shahidi F. 2007. Antioxidant and free radical scavenging activities of whole wheat and milling fractions. *Food Chem,* 101, 1151-1157.

56. Erbaş M, Şekerci H. 2007. Important of free radicals on food processing. 2nd international congress on food and nutrition, 24-26 October, İstanbul, 158-158.

57. Reiter RJ, Manchester LC, Tan D. 2005. Melatonin in walnuts influence on levels of melatonin and total antioxidant capacity of blood . *Nutrition,* 21: 920-924.

58. Rubin J. 2010. *Raw Truth.* Garden of Life, LLC, West Palm Beach, Florida, USA, 203 s.