



Mikrobiyal Karotenoidler

O. TURKCAN*

G. OKMEN

Muğla Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kötekli, Muğla, TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar

ontrkcn@gmail.com

Geliş Tarihi : 27 Şubat 2012

Kabul Tarihi : 01 Nisan 2012

Özet

Gıdalarda sentetik boyaların tartışılabilir konumu uzun yıllar tartışılmıştır. Modern tüketicinin sentetik gıda boyalarını olumsuz değerlendirmesi doğal renklendirici alternatiflerine de güçlü bir ilgi sağlamıştır. Karotenoidler sarı turuncu ile kırmızı arasında değişen renklerden sorumlu doğal pigmentlerdir ve tüm fotosentetik organizmalar da sentezlenmektedir, siyanobakteriler, *Alphaproteobacteria* dahil fotosentetik bakterileri, algler, yüksek bitkiler, ve ayrıca bazı fotosentetik olmayan bakteriler, mayalar ve fungusları kapsar. Farklı karotenoid pigmentler su ürünleri yetiştiriciliği ve kümes hayvancılığında hayvan besin katkıları olarak ve gıda renklendiricileri olarak ticari anlamda kullanılmışlardır. Bundan başka, karotenoidler kozmetik özellikleri için kullanılmaktadır. Karotenoidler fotooksidatif süreçlere karşı bitkilerin korunmasında önemli bir rol oynayan pigmentlerdir. İnsanda, karotenoidler antioksidan savunma sisteminin bir parçasıdır. Fotosentetik organizmalarda, ışık yakalamaya ilaveten, tekli oksijen, süperoksit anyon radikalleri veya üçlü- konumda klorofil tarafından ışık- kaynaklı hasara karşı korunmada önemli bir rol gerçekleştirirler. Siyanobakterilerde çeşitli karotenoidler tanımlanmıştır. Işığa- karşı koruyucu rolü fotosentetik olmayan bakterilerde ki karotenoidler için de ileri sürülmüştür. Bu derleme mikrobiyal karotenoidlere genel bir bakış sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Karotenoid, bakteri, mikrofungus, mikroalg

Abstract

The controversial topic of synthetic dyes in food has been discussed for many years. The negative assessment of synthetic food dyes by the modern consumer have raised a strong interest in natural colouring alternatives. Carotenoids are natural pigments responsible for colors ranging from yellow through orange to red, and are biosynthesized in all photosynthetic organisms, including cyanobacteria, photosynthetic bacteria belonging to *Alphaproteobacteria*, algae, and higher plants, and also in some non-photosynthetic bacteria, yeasts, and fungi. Several carotenoid pigments have been used commercially as food colorants and as animal feed additives in poultry farming and aquaculture. Therefore, carotenoids are also being used for cosmetic properties. Carotenoids are pigments which play a major role in the protection of plants against photooxidative processes. In the human organism, carotenoids are part of the antioxidant defense system. In photosynthetic organisms, in addition to light harvesting, they perform an essential role in protecting against light-induced damage by quenching singlet oxygen, superoxide anion radicals, or triplet-state chlorophyll. In these cyanobacteria, various carotenoids have been identified. A photoprotective role has also been suggested for carotenoids in non-photosynthetic bacteria. This review provides an overview of microbial carotenoids.

Key words: Carotenoid, bacteria, microfungi, microalgae

Karotenoidlerin Yapısı ve Özellikleri

Karotenoidler, yağda çözünebilen renk maddeleridir. Karotenoidlerin merkezi iskeleti 8 izoprenoid ünitesinin yan yana dizilmesiyle oluşmuştur. Genel formülü $C_{40}H_{56}$ olup yapılarında çok sayıda çift bağ bulunmaktadır [1].

Karotenoidlerin renk özellikleri yapılarındaki konjuge çift bağlardan kaynaklanmaktadır. Karotenoidler belirli bir renk oluşumu için en az yedi konjuge çift bağ içermelidir. Konjuge bağ sayısı arttıkça renk yoğunluğu da artmaktadır. Beş konjuge çift bağ içeren phytoene renksiz, on bir çift bağ içeren likopen ise kırmızı renklidir. Aynı sayıda çift bağ içeren karotenoidler, siklizasyon nedeniyle farklı renk tonlarında bulunabilmektedir. Genel olarak karotenoidlerin renkleri, konsantrasyona ve molekülün yapısına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca farklı karotenoidlerin karışım halinde kullanılmasıyla farklı renk tonları elde edilmektedir [2]. Karotenoidlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri Şekil 1’de özetlenmiştir.

Karotenoidler genel olarak karotenler, ksantofiller, karotenoid ketonlar ve karotenoid asitler olarak dört ana grupta toplanmaktadır. Karoten yapısında eğer karbon bulunduyorsa karotenoid, oksijen bulunduyorsa ksantofil adı verilmektedir (Şekil 2) [2].

β -karoten, doğada en yaygın bulunan pigmentlerdendir [4]. Elli farklı karotenoid içinden β -karotenin en yüksek provitamin A aktivitesine sahip olduğu bilinmektedir [5]. Bunun nedeni, diğer karotenoidlerden farklı olarak zincir yapısının her iki ucunda da β -iyonon halkasının bulunmasıdır (Şekil 2) [6].

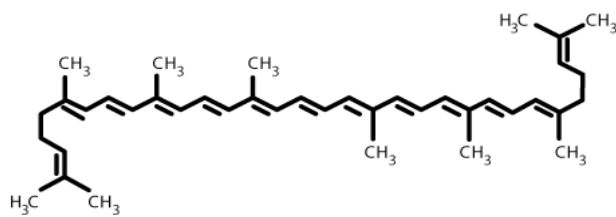
Lutein ve zeaksantin zeaksantin, ksantofil ailesinin üyeleridir [7, 8]. Lutein ve zeaksantin, retinada makular pigment olarak belirtilen sarı pigment oluşumundan sorumludurlar. Sarı pigmentler gözü ışıktan korumada etkin rol oynamakta ve retinanın zarar görmesini engellemektedirler (Şekil 2) [9].



Şekil 1. Karotenoidlerin özellikleri [3]

I. Karotenler (Hidrokarbon yapıları)	α-karoten	
	β-karoten	
	γ-karoten	
	δ-karoten	
	Lutein	
II. Ksantofiller (Karotenoid alkoller)	β-Kriptoksantin	
	α-Kriptoksantin	
	Lutein	
	Flavoksantin	
	Violaksantin	
III. Karotenoid Ketonlar	Astaksantin	
	Kapsantin	
	Fukoksantin	
IV. Karotenoid Asitler	Biksin	
	Krosetin	

Şekil 2. Karotenoidlerin sınıflandırılması [2]



Şekil 3. Likopenin yapısı [11]

Likopen, halka yapısı göstermeyen düz zincir yapıda bir hidrokarbon bileşiktir ve 13 adet çift bağ içermektedir. Konjuge çift bağ sayısı 11 olan likopenin, 2¹¹ adet geometrik konfigürasyonu bulunmaktadır (Şekil 3) [10].

Karotenoidleri Etkileyen Çevresel Faktörler

Karotenoidler oksijen, sıcaklık, ışık, pH, su aktivitesi ve sülfidlerin etkisiyle oksidatif olarak parçalanmaktadır. Oksijen, konjuge çift bağların okside olmasına neden olarak çift bağ sayısını azaltmakta ve buna bağlı olarak ta renk yoğunluğu azalmaktadır. Işık, organizmada pigment oluşum metabolizmasını etkilemektedir, böylece ışığın etkisi ile birbirine dönüşümünü sağlayarak karotenoid konsantrasyonunu değiştirmekte ve ayrıca pigment parçalanmasını teşvik edici etki yaparak karotenoidlerin yapısını da bozmaktadır. Isıl işlem uygulamasında ise karotenoidlerde enzimatik olan ve enzimatik olmayan değişiklikler oluşmaktadır [2].

Karotenoidler oksijensiz ortamlarda ısıl işlem uygulamalarına daha fazla dayanmakta, ayrıca farklı pH değerlerinde, farklı izomer yapı gösterdikleri belirlenmiştir. Yüksek pH değerinde poli-, cis formlarında olan karotenoidlerin düşük pH değerinde cis- izomer formunda artış olduğu saptanmıştır. Ortamın nem oranı ise, karotenoidlerin stabilitesinin korunmasında etkili olmaktadır. Yüksek nem oranında (% 10- 14) karotenoid parçalanmasının yavaşladığı, düşük nem oranının da ise (< % 8) karotenoid parçalanmasının hızlandığı açıklanmıştır. Nemin, ortamdaki serbest radikallere doğrudan etki ederek karotenoidleri oksidasyondan koruduğu belirtilmektedir [2].

Kükürtdioksit ve sülfidin, karotenoidleri oksidasyona karşı koruyan en etkili inhibitör oldukları belirtilmiştir. Gıdaların karotenoid oranının değişmeden depolanması için inert gaz altında ve ışık geçirgenliği az olan ambalajlarda muhafaza edilmesi gerektiği belirtilmiştir [2].

Karotenoidlerin Fonksiyonları ve Biyolojik Sistemlerdeki Önemi

Karotenoidler tekli oksijen yakalayıcı ve antioksidan olarak oldukça etkilidir. Son yıllarda biyolojik antioksidan olarak karotenoidler birçok çalışmanın ilgi odağı haline gelmiştir. Ksenobiyotik adı verilen dış etkenler (sigara, çevre kirleticileri, karsinojenler) ve ayrıca çoklu doymamış yağ asitlerince zengin bir diyet aracılığıyla oluşabilen tekli oksijen (O₂), peroksil radikali (ROO⁻) süperoksit anyonu (O₂⁻), hidrojen peroksit (H₂O₂) ve hidroksi radikali (OH⁻) gibi çeşitli reaktif oksijen türleri ve serbest radikaller vücutta normal metabolizma sırasında oluşabilmektedir. Bu radikaller DNA, protein, karbonhidrat ve lipit gibi biyolojik açıdan önemli materyallere zarar verebilmekte aynı zamanda kanser, kalp damar hastalıkları ve sinir hastalıkları gibi birçok dejeneratif hastalığın oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Buna karşılık canlılar, serbest radikallerin bu potansiyel yıkıcı etkilerine karşı kendilerini korumak için çeşitli enzimatik savunma sistemlerine sahip olmakla birlikte bu sistemlerinin etkinliği bazı bileşiklerin ve iz elementlerin gıda takviyelerinde yeterince alınmasına bağlıdır (karotenoidler, Se, Cu, Zn vb.) [12].

Karotenoidlerin bağışıklık sistemini kuvvetlendirdiği ve gözdeki dokuları koruduğu da belirtilmektedir [9]. Bundan başka, kalp-damar hastalıkları riskini ve kalp damar tıkanıklığını azalttığı bundan başka, kemik kalsifikasyonu ve sinirsel rahatsızlıklar gibi bazı hastalıkların riskinin azaltılması arasında kuvvetli ilişkinin olduğu aktarılmaktadır [13].

Karotenoidlerin biyolojik sistemlerde antioksidant aktivitelerini etkileyen bazı faktörler bildirilmiştir. Bunlar;

1. Yapı (boyut, doğası, pozisyonu, grup sayısı vb.) ve fiziksel formu (kümüli, monomerik vb.),
2. Hücre içinde karotenoid molekülünün aktif bölgesi veya yerleşimi,
3. Diğer karotenoidler veya antioksidantlar ile etkileşim potansiyeli (vitamin C ve E),
4. Karotenoidin konsantrasyonu,
5. Oksijen basıncıdır [14].

Son yıllarda, antaksantin, β -kriptoksantin, lutein, zeaksantin ve likopeni kapsayan bazı karotenoidlerin insan sağlığı üzerinde yararlı etkilerine büyük dikkat çekilmiştir. Örneğin, kanser [15-17], kardiovasküler hastalık [18-20], ve yaşa bağlı makuler bozulma [21,22] gibi kronik hastalıkların önlenmesinde, kozmetik ve farmasötik olarak ticari amaçlı kullanılmıştır.

Sağlık açısından birçok önemli fonksiyonu bulunmakla birlikte yapısında iki β - iyonon halkası bulunan β - karotenin önemli fonksiyonu yüksek provitamin A aktivitesine sahip olmasıdır, bundan başka α - karoten, γ - karoten ve β -kriptoksantin gibi diğer bazı karotenoidlerin de bu aktiviteye sahip olduğu bildirilmektedir [23].

Biyolojik sistemlerde, ışığa maruz kalma sonucunda reaktif oksijen türleri gelişmekte bu da biyomoleküllere zarar vermekte sonuç olarak ta hücre içi yapılarının stabilitesini ve bütünlüğünü etkilemektedir. Fotooksidatif süreç ışığa maruz kalan dokuların çeşitli hastalıklarının patobiyokimyasında rol oynamaktadır [24-27, 5]. UV ışığa maruz kalan deride ilk belirti eritemdir. *In vitro* ve *in vivo* çalışmalardan elde edilen kanıt, β -karotenin fotooksidatif zararı önlediği ve güneş yanıklarına karşı koruduğu yönündedir [26]. Tek başına veya α -tokoferol ile kombine β -karoten 12 hafta uygulandığında, eritem oluşumunu sekiz haftada anlamlı bir şekilde azalttığı rapor edilmiştir [28].

Karotenoidlerin Biosentezi

Günümüze kadar doğal kaynaklardan 750' den fazla farklı karotenoidler izole edilmiştir [29]. Karotenoidler bitkiler, algler ve mikroorganizmalar tarafından sentezlenebilen ancak hayvanlar tarafından sentezlenmeyen pigmentlerdir. Karotenoidler, mevalonik asit (MVA) aracılığıyla asetil koenzim A' dan sentezlenmektedir. Tüm izoprenoid bileşiklerinde biosentez iz yolunun ilk basamağında, iki molekül geraniilgeraniil difosfat (GGDP) molekülünden prefitoen difosfat (PPDP) aracılığıyla 40 karbonlu bir hidrokarbon olan fitoen oluşmaktadır. Üç konjuge çift bağ içeren ve renksiz olan fitoen, daha sonra her enzimatik basamakta moleküle yeni bir çift bağ eklenmek suretiyle bir dizi dehidrojenasyon reaksiyonu geçirdikten sonra 13 tane çift bağ içeren simetrik bir molekül olan likopen oluşmaktadır. Likopenin sonraki basamak ise, uç gruplarda halka oluşumdur (siklizasyon). Bunun sonucunda da monosiklik (γ -karoten, δ - karoten) ve bisiklik (α -karoten, β -karoten) yapıdaki karotenoidler oluşmaktadır. Ayrıca α -karoten ve β -karotenin hidroksilasyonu sonucunda da lutein ve zeaksantin gibi ksantofiller meydana gelmektedir [30].

Mikroorganizmalar Tarafından Üretilen Karotenoidler

Karotenoidler bütün fotosentetik organizmalar ve fotosentetik olmayan birçok bakteri tarafından üretilmektedirler [31]. Mikroorganizma hücresinde çoğunlukla sferosomlar ya da lipid yapılarında oluşmakta ve endoplazmik retikulumda da sentezlenerek lipolitik orta katmanda biriktirmektedirler. Sferosomlarda oluşan karotenoidler ise, belirli bir miktara

ulaştığında sitoplazmaya geçmektedir. Mikroorganizmalarda, karotenoid mevalonik asit üzerinden sentezlenmektedir [32]. Mikroorganizmaların oluşturduğu karotenoidler içersinden gıdalara renk vermek amacı ile kullanılanlar, β -karoten, ksantofil, astaksantin, zeaksantin 'dir.

Ticari olarak üretimi 1950' li yıllardan itibaren yapılmakta olan ve günümüzde en yaygın kullanılan mikroorganizmalar *Dunaliella salina*, *D. bardawil* [33] ve astaksantin üretiminde ise *Haematococcus* tur [34, 35]. Mikroalgler bitkilerle karşılaştırıldığında kolay ve hızlı kültive edilebilmesinden dolayı tercih edilmekte ayrıca çok yüksek miktarda karotenoid üretimi [36], yüksek biyokullanılabilirlik ve biyoyararlılık söz konusu olduğu için üretimde daha fazla talep görmektedirler [37]. *Dunaliella salina* kuru ağırlığının %3'ü düzeyinde karotenoid içeriğine sahip bir mikroalg türüdür. İçerdiği büyük karotenoid grubu β -karoten başta olmak üzere, α -karoten, lutein ve likopendir. Total karoten içeriğinin %86.5' u β -karoten'den oluşmaktadır (Tablo 1) [38].

Tablo 1. Mikroalg ve mikrofunguslar tarafından üretilen karotenoidler

Karotenoid	Organizma	Referans
β -karoten	<i>Dunaliella salina</i>	[54, 55]
	<i>Blakesla trispora</i>	[56]
	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	[57]
	<i>Mucor circinelloides</i>	[58]
	<i>Neurospora cressa</i>	[59]
	<i>Phycomyces blakesleeanus</i>	[60]
	<i>Scenedesmus almeriensis</i>	[61]
	<i>Coelastrella striolata var. multistriata</i>	[62]
Lutein	<i>Chlorococcum sp.</i>	[63]
	<i>Clamydomonas sp.</i>	[63]
	<i>Spongiococcum sp.</i>	[63]
	<i>Scenedesmus almeriensis</i>	[61]
	<i>Haematococcus pluvialis</i>	[54, 64]
Kantaksantin	<i>Haematococcus pluvialis</i>	[54, 64]
	<i>Chlorella sp.</i>	[54, 65]
	<i>Clamydomonas sp.</i>	[66]
	<i>Scenedesmus sp.</i>	[66]
	<i>Ankistrodesmus sp.</i>	[66]
	<i>Dictyococcus cinnabarinus</i>	[67, 68]
	<i>Coelastrella striolata var. multistriata</i>	[62]
Astaksantin	<i>Haematococcus pluvialis</i>	[54, 64]
	<i>Mycobacterium lacticola</i>	[69, 70, 71]
	<i>Coelastrella striolata var. multistriata</i>	[62]
Likopen	<i>Blakesla trispora</i>	[72]
	<i>Fusarium sporotrichioides</i>	[57]

Astaksantin üretiminde halen bilinen en zengin mikrobiyal kaynak *Haematococcus*' tur. Bu mikroalg türünden elde edilen astaksantin için en büyük pazar, akuakültür uygulamalarında salmonid yemleri olup [39], tropikal süs balıklarının renklerinin korunmasında [40], kümes hayvanları endüstrisinde yumurta sarılarının renklendirilmesinde de başarıyla kullanılmaktadır [41]. Ayrıca son zamanlarda insanlardaki olumlu etkilerinden dolayı [42, 43] besin takviyesi ve antioksidan olarak kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. FDA (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi) tarafından *Haematococcus* 'tan elde edilen astaksantin pigmenti içeren gıdaların toksikolojik etkileri olmadığı için insan beslenmesinde kullanımları kabul görmüştür (Tablo 1) [44].

Funguslar da, pigmentlerin ilginç doğal kaynaklarından biridir [45, 46]. Karotenoid üretiminde fungusların araştırmacılar tarafından tercih edilme sebebi kolay gelişmeleri ve manipule edilmeleridir [52]. Endüstriyel uygulamalarda fungal pigmentlerin kullanım gereksesi ise, pigment veriminde yüksek üretim kapasitesine sahip olmaları ayrıca kimyasal ve ışık stabilizasyonuna sahip olmalarıdır [47]. Çok sayıda fungus yüksek verimde pigment üretme yeteneğine sahiptir, bu türler arasında *Monascus* da bulunmaktadır [48, 49]. *Monascus* ilginçtir çünkü farklı renkte pigmentler üretme yeteneğine sahiptir ve yüksek kimyasal stabilite göstermektedirler [48-51]. *Blakesia trispora* 'dan elde edilen likopen gıdalarda renklendirici olarak kullanılmaktadır. *B. trispora* %95 likopen, % 5 oranında diğer karotenoidleri içermektedir [11]. *Mucor circinelloides* yabancı tipinin ana karotenoidi β -karoten olduğu için sarı renklidir (Tablo 1) [53].

Mor bakteriler spirilloksantin ve speroiden gibi asidik karotenoidleri, yeşil sülfür ve yeşil filamentli bakteriler ise izoreneraten ve klorobakter gibi karotenoidleri içermektedir (Tablo 2) [73, 74].

Siyanobakteriler ise içermiş oldukları yüksek düzeyde protein, vitamin, mineral, yağ asitleri ve pigmentler nedeniyle son zamanlarda biyoteknoloji şirketlerinin dikkatini çekmiş ve üzerinde en fazla çalışılan organizma gruplarından biri olmuştur. Goodwin (1983) ilk kez yaklaşık 40 siyanobakterinin karotenoidlerini listelemiştir [75]. Siyanobakterilerde bulunan büyük karotenoidler β -karoten, bunların hidroksil ile keto türevleri ve karotenoid glikozidlerdir. Ketokarotenoidler ve karotenoid glikozidler doğada oldukça yaygındırlar özellikle fotosentetik organizmalar arasında [76]. *Nostoc punctiforme*, *Gloeobacter violaceus* ve 3 *Anabaena* türü β -karoten içermekte olup, zeaksantini ise az veya hiç içermemektedir. *Synechocystis* sp. PCC 6803 β -karoten, *Thermosynechococcus elongatus* β -karoten ve zeaksantine ilaveten nostoksantin de içermektedir. *Synechococcus* 'un 3 türü β -karoten, zeaksantin ve nostoksantin içerirken, *Prochlorococcus marinus* ise α -karoten ve ilişkili karotenoidleri, β -karoten ve zeaksantin içermektedir [77]. Siyanobakteriyel karotenoidlerin 2 temel fonksiyonu vardır, bunlar fotosentez için ışık hasat etmek ve fotooksidatif hasara karşı koruma sağlamaktır (Tablo 2) [78].

Fotosentetik olmayan bakterilerde karotenoidlerin yaygın oluşması bu canlıların doğal ortamlarındaki canlılığı için önemlidir. Bazı mikrobiyal suşlarda karotenoid üretimi ışığa bağımlı şekilde, hücreleri fotooksidatif zararlardan korunmak için ortaya çıkmaktadır [79]. *Alphaproteobacteria* sınıfına ait *Paracoccus*, *Brevundimonas* ve *Bradyrhizobium* cinsleri gibi bazı fotosentetik olmayan bakteriler astaksantin ve kantaksantin gibi önemli karotenoidleri üretmektedirler (Tablo 2) [80-82].

Tablo 2. Bakteriler tarafından üretilen karotenoidler

Karotenoid	Organizma	Referans
β -karoten	<i>Erythrobacter longus</i>	[83]
	<i>Pantoea agglomerans</i>	[84]
	<i>Streptomyces coelicolor</i> A3(2)	[85]
	<i>Streptomyces griseus</i>	[86, 87]
	<i>Brevibacterium</i> sp. strain 103	[88, 89]
	<i>Brevibacterium</i> sp.	[90]
	<i>Mycobacterium marinum</i>	[91]
	<i>Anabaena</i> sp. PCC 7120	[92]
	<i>Anabaena variabilis</i> ATCC 29413	[93]
	<i>Anabaena variabilis</i> IAM M-3	[92]
	<i>Nostoc punctiforme</i> PCC 73102	[92]
	<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	[94]
	<i>Gloeobacter violaceus</i> PCC 7421	[95]
<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6301	[96]	
Likopen	<i>Pantoea agglomerans</i>	[84]
	<i>Corynebacterium glutamicum</i>	[97]
	<i>Chlorobium limicola</i>	[98]
Zeaksantin	<i>Pantoea agglomerans</i>	[84]
	<i>Paracoccus zeaxanthinifaciens</i>	[99, 100]
	<i>Flavobacterium</i> sp.	[101]
	<i>Spirulina</i> sp.	[102]
	<i>Synechocystis</i> sp.	[103]
	<i>Anabaena</i> sp. PCC 7120	[92]
	<i>Nostoc punctiforme</i> PCC 73102	[92]
<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	[94]	
Astaksantin	<i>Agrobacterium aurantiacum</i>	[104]
	<i>Pseudomonas</i> sp. SD-212	[105]
	<i>Paracoccus carotinifaciens</i>	[106]
	<i>Paracoccus marcusii</i>	[107]
	<i>Paracoccus haeundaensis</i>	[108]
	<i>Paracoccus</i> sp.	[104]
	<i>Brevibacterium</i> sp. 103	[88, 89]
Kantaksantin	<i>Bradyrhizobium</i> spp.	[109]
	<i>Brevibacterium</i> sp.	[90]
	<i>Micrococcus roseus</i>	[110, 111]

Son yıllarda karotenoid pigmentler üzerine yapılan araştırma sayısı giderek artmasına rağmen, daha detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı ekosistemlerden elde edilen mikrobiyal pigmentlerin içerikleri ve aktivitelerine yönelik çalışmalara gereksinim giderek artmaktadır. Özellikle gıdalarda renklendirici ve katkı maddesi olarak kullanılacak pigmentler üzerindeki çalışmaların alana büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Denizci A. 1990. Phaffia rhodozyma NRRLY-10921 Mayası ile Astaksantin Pigmentinin Üretimi ile ilgili Bir Araştırma. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 50s.
- [2] Bağdatlıoğlu N, Demirbaker B. 1999. Gıda İşlemede Karotenoidlerde Meydana Gelen Gelişmeler. Gıda. 9:48-51.
- [3] Rodriguez-Amaya DB. 1997. Carotenoids and Food Preparation: The Retention of Provitamin A Carotenoids in Prepared, Processed, and Stored Foods. Opportunities for Micronutrient Intervention (OMNI), Arlington.
- [4] Stahl W, Sies H. 1996. Lycopene: A biologically important carotenoid for humans. Arch. Biochem. Biophys. 336:1-9.
- [5] Krinsky NI, Johnson EJ. 2005. Carotenoid actions and their relation to health and disease. Mol. Aspects Med. 26:459-516.
- [6] Woutersen RA, Wolterbeek APM, Appel MJ, Van der Berg H, Goldbohm RA, Feron VJ. 1999. Safety evaluation of synthetic β -carotene. Crit. Rev. Toxicol. 29:515-542.
- [7] Landrum JT, Bone RA. 2001. Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. Arch. Biochem. Biophys. 385:28-40.
- [8] Garcia-Casal MN. 2006. Carotenoids increase iron absorption from cereal-based food in the human. Nutr. Res. 26:340-344.
- [9] Kopsell DA, Kopsell DE. 2006. Accumulation and bioavailability of dietary carotenoids in vegetable crops. Trends Plant Sci. 11:499-507.
- [10] Shao A, Hathcock JN. 2006. Risk assessment for the carotenoids lutein and lycopene. Regul. Toxicol. Pharm. 45:289-298.
- [11] http://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/jecfa/cta/67/lycopene_trispora.pdf
- [12] Koca N, Karadeniz F. 2003. Serbest radikal oluşum mekanizmaları ve antioksidan savunma sistemler. Gıda Mühendisliği Dergisi. 16:32-37.
- [13] Barba AIO, Hurtado MC, Mata MCS, Ruiz VF, de Tejada MLP. 2006. Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and β -carotene in vegetables. Food Chem. 95: 328-336.
- [14] Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. FASEB J. 9:1551-1558.
- [15] Nishino H, Murakoshi M, Ii T, Takemura M, Kuchide M, Kanazawa XY, Mou S, Wada M, Masuda Y, Ohsaka S, Yogosawa Y, Satomi K, 2002. Carotenoids in cancer chemoprevention. Cancer Metastasis Rev. 21:257-264.
- [16] Vogt TM, Mayne ST, Graubard BI, Swanson CA, Sowell AL, Schoenberg JB, Swanson GM, Greenberg RS, Hoover RN, Hayes RB, Ziegler RG. 2002. Serum lycopene, other serum carotenoids, and risk of prostate cancer in US Blacks and Whites. Am J Epidemiol 155:1023-1032.
- [17] Mannisto S, Smith-Warner SA Spiegelman D, Albanes D, Anderson K, van den Brandt PA, Cerhan JR, Colditz G, Feskanich D, Freudenheim JL, Giovannucci E, Goldbohm RA, Graham S, Miller AB, Rohan TE, Virtamo J, Willett WC, Hunter DJ. 2004. Dietary carotenoids and risk of lung cancer in a pooled analysis of seven cohort studies Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. 13:40-48.
- [18] Iwamoto T, Hosoda K, Hirano R, Kurata H, Matsumoto A, Miki W, Kamiyama M, Itakura H, Yamamoto S, Kondo K, Atheroscler J, Thromb. 2000. Inhibition of low-density lipoprotein oxidation by astaxanthin. 7:216-222.
- [19] Pashkow FJ, Watumull DG, Campbell C.L. 2008. Astaxanthin: A novel potential treatment for oxidative stress and inflammation in cardiovascular disease. Am. J. Cardiol. 101:58-68.
- [20] Sugiura M, Nakamura M, Ogawa K, Ikoma Y, Matsumoto H, Ando F, Shimokata H, Yano M. 2008. Associations of serum carotenoid concentrations with the metabolic syndrome: Interaction with smoking. Br. J. Nutr. 100:1297-1306.
- [21] Mozaffarieh M, Sacu S, Wedrich A. 2003. The role of the carotenoids, lutein and zeaxanthin, in protecting against age-related macular degeneration: a review based on controversial evidence. Nutr. J. 2:20.
- [22] Roberts RL, Green J, Jewis B. 2009. Lutein and zeaxanthin in eye and skin health. Clin. Dermatol. 27:195-201.
- [23] Von Elbe JH, Schwartz SJ. 1996. Colorants. In: Food Chemistry (ed. O. R. Fennema, Marcel Dekker), pp. 651-765. New York.
- [24] Brown L, Rimm EB, Seddon JM, Giovannucci EL, Chasan-Taber L, Spiegelman D, Willett WC, Hankinson SE. 1999. A prospective study of carotenoid intake and risk of cataract extraction in US men. Am. J. Clin. Nutr. 70:517-524.
- [25] Mares-Perlman JA, Fisher AI, Klein R, Palta M, Block G, Millen AE, Wright JD. 2001. Lutein and zeaxanthin in the diet and serum and their relation to age-related maculopathy in the third national health and nutrition examination survey. Am. J. Epidemiol. 153:424-432.
- [26] Stahl W, Sies H. 2001. Protection against solar radiation—protective properties of antioxidants. In: Giacomoni (ed. P.U.), Sun Protection in Man. Elsevier Science BV. pp. 561-572.
- [27] Krutmann J. 2000. Ultraviolet A radiation-induced biological effects in human skin: relevance for photoaging and photodermatosis. J. Dermatol. Sci. 23:22-S26.
- [28] Stahl W, Heinrich U, Jungmann H, Sies H, Tronnier H. 2000. Carotenoids and carotenoids plus vitamin E protect against ultraviolet light-induced erythema in humans. Am. J. Clin. Nutr. 71:795-798.
- [29] G. Britton; S. Liaaen-Jensen; H. Pfander, Eds., 2004. Carotenoid Handbook. Birkhauser Verlag. Basel.
- [30] Britton G. 1992. Carotenoids, In: Natural Food Colorants. Hendry, (ed. Houghton, GAF, JD.) Blackie and Sons Ltd. pp. 141-182. New York.
- [31] Olson JA, Krinsky NI. 1995. The colorful, fascinating world of the carotenoids: important physiologic modulators. FASEB J. 9:1547-1550.
- [32] Malgalith PZ. 1992. Pigment Microbiology, pp. 152. Chapman and Hall. London.
- [33] Vandamme EJ. 1992. Production of Vitamins, Coenzymes and Related Biochemicals by Biotechnological Processes. Journal of Chemical Technical Biotechnology. 53:313-327.
- [34] Gavrilov AS, K Seleva AI, Matushk Na SA, Kordyukova NP, Feof Lova EP, 1996. Industrial Production of Lycopene by a Microbiological Method. Applied Biochemistry and Microbiology. 32(5):492-494.

- [35] Tereshina VM, Feofilova EP, Memorskaya AS, Vakulova LA, Terent'ev PB. 1996. Effect of Azines on Lycopene Formation in the Mycelial Fungus *Blakeslea trispora*. *Industrial of Microbiology*. 32(4):388- 390.
- [36] South Y, Whittick H. 1987. *Introduction to Phycology*. Blackwell. New York.
- [37] Yeum KJ, Russel RM. 2002. Carotenoids: bioavailability and bioconversion. *Annu. Rev. Nutr.* 22:483.
- [38] Murthy KNC, A.Vanitha J, Rajesha MM, Swamy PR, Sowmya GA Ravishankar, 2005. *In vivo* Antioxidant activity of carotenoids from *Dunaliella salina* - a green microalga. *Life Sci.* 76:1381-1390.
- [39] Torrisen O, Christiansen R. 1995. Requirements for carotenoids in fish diets. *J. Appl. Ichtiol.* 11:225-230.
- [40] Ako H, Tamaru CS. 1999. Are feeds for food fish practical for aquarium fish. *Intl. Aqua Feeds.* 2:30-36.
- [41] Inbarr J. 1998. *Haematococcus*, The poultry pigmentor. *Feed Mix.* 6:31-34.
- [42] Terao J. 1989. Antioxidant activity of beta-carotene related carotenoids in solution. *Lipids.* 24:659-662.
- [43] Guerin M, Huntley ME, Olaizola M. 2003. *Haematococcus* astaxanthin: applications for human health and nutrition. *Trends in Biotechnology.* 21:210-216.
- [44] Tanaka T, Kawamori T, Ohnishi M, Makita H, Mori H, Satoh et al. 1995. Suppression of azoxymethane-induced rat colon carcinogenesis by dietary administration of naturally. *Carcinogenesis.* 16:2957-2963.
- [45] Gill M, Steglich W. 1987. Pigments of fungi (macromycetes). *Progress in the Chemistry of Organic Natural Products.* Vol. 51: pp.1-317, Springer- Verlag, Wien. New York.
- [46] Raisanen R. 2001. Emodin and dermocybin natural anthraquinones as high temperature disperse dyes for polyester and polyamide. *Textile Research Journal.* 71:922-927.
- [47] Sardaryan E, Zihlova H, Strnad R, Cermakova Z. 2004. Arpink Red – Meet a New Natural Red Food Colorant of Microbial Origin. In: *Pigments in Food, More than Colour*, L.Dufossé (Ed.), pp. 207-208. Université de Bretagne Occidentale Publ. Quimper. France.
- [48] Hajjaj H, Blanc P, Groussac E, Uribelarra JL, Goma G, Loubiere P. 2000. Kinetic analysis of red pigment and citrinin by *Monascus* rubber as a function of organic acid accumulation. *Enzyme and Microbial Technology.* 27:619-625.
- [49] Yongsmith B, Krairak S, Bavavoda R. 1994. Production of yellow pigments in submerged culture of a mutant of *Monascus* sp. *Journal of Fermentation and Bioengineering.* 78:223-228.
- [50] Mak NK, Fong WF, Wong-Leung L. 1990. Improved fermentative production of *Monascus* pigment in roller bottle culture. *Enzyme and Microbial Technology.* 12:965-968.
- [51] Hamdi M, Blanc PJ, Loret MO, Goma G. 1997. A new process for red pigment production by submerged culture of *Monascus purpureus*. *Bioprocess Engineering.* 17:75-79.
- [52] Neff MM, Fankhauser C, Chory J. 2000. Light: an indicator of time and p. *Genes Deb.* 14:257-271.
- [53] Ruiz-Hidalgo MJ. 1990. Aislamiento y Caracterización de Mutantes de *Mucor circinelloides* Alterados en la Carotenogenesis. Master thesis, Universidad de Salamanca, Salamanca, Spain.
- [54] Rabbani S, Beyer P, von Lintig J, Huguency P, Kleinig H. 1998. Induced β -carotene synthesis driven by triacylglycerol deposition in the unicellular alga *Dunaliella bardawil*. *Plant Physiol.* 116:1239-1248.
- [55] Demming-Adams B, Adams WW. 2002. Antioxidants in photosynthesis and human nutrition. *Science.* 298:2149-2153.
- [56] Lampila LE, Wallen SE, Bullerman LB. 1985. A review of factors affecting biosynthesis of carotenoids by the order *Mucorales*. *Mycopathologia.* 90:65-80.
- [57] Jones JD, Hohn TM, Leathers TD. 2004. Genetically Modified Strains of *Fusarium sporotrichioides* for Production of Lycopene and b-Carotene. *Society of Industrial Microbiology Annual Meeting.* pp. 91. San Diego. USA.
- [58] Iturriaga EA, Papp T, Breum J, Arnau J, Eslava AP. 2005. Strain and Culture Conditions Improvement for b-Carotene Production with *Mucor*. In: *Methods in Biotechnology: Microbial Processes and Products*, Vol. 18. (ed. Barredo JL.), pp. 239-256. Humana Press Inc. Totowa. New Jersey. USA.
- [59] Hausmann A, Sandmann G. 2000. A single five-step desaturase is involved in the carotenoid biosynthesis pathway to b-carotene and torulene in *Neurospora crassa*. *Fungal Genet. Biol.* 30:147-153.
- [60] Cerdá-Olmedo E. 2001. *Phycomyces* and the biology of light and color. *FEMS Microbiol. Rev.* 25:503-512.
- [61] Macías-Sánchez MD, Fernandez-Sevilla M, Acién-Fernández FG, Cerón-García MC, Molina-Grima E, Supercritical fluid extraction of carotenoids from *Scenedesmus almeriensis*. *Food Chem.* 123:928-935.
- [62] Abe K, Hattori H, Hiran M. 2005. Accumulation and antioxidant activity of secondary carotenoids in the aerial microalga *Coelastrrella striolata* var. *multistriata*. *Food Chem.* 100:656-661.
- [63] Anon. 1962. Algae derived xanthophylls for pigmentation control. *Feeds Illustrated.* November. 24-25.
- [64] El-Baky HHA, El-Baz FK., El-Baroty GS. 2003. *Spirulina* species as a source of carotenoids and α -tocopherol and its anticarcinoma factors. *Biotechnology.* 2:22-240.
- [65] El-Baky HHA, El-Baroty GS. 2011. Enhancement of carotenoids in *Dunaliella salina* for use as dietary supplements and in the preservation of foods. *Food Chem. Toxicol.* (in press).
- [66] Czyganf C. 1968. Sekundar-Carotinoide in Grünalgen. I. Chemie, Vorkommen und Faktoren welche die Bildung dieser Polyene beeinflussen. *Archiv für Mikrobiologie.* 61:81-102.
- [67] Dentice DI, Accadia F, Gribanovski-Sasos, Romagnolai and Tuttobelli O. 1966. Isolation and identification of carotenoids produced by a green alga (*Dictyococcus cinnabarinus*) in submerged culture. *Biochemical Journal.* 101:735-740.
- [68] Dentice DI, Accadia F, Gribanovski-Sasos U, and Lozanor Eyes N. 1968. Blushing effect of some carbohydrates on the green alga *Dictyococcus cinnabarinus*. *Experientia.* 24:1177-1179.
- [69] Goodwint W. 1980. *The Biochemistry of the Carotenoids*, Vol. I, Plants 2nd ed.: Chapman & Hall. London.
- [70] Kikui H, Bauernfeind C. 1981. Carotenoids as food colors. In: *Carotenoids as Colorants and Vitamin A*

- Precursors (ed. Bauernfeind JC.), Chap. 2. pp. 48-317. Academic Press. New York.
- [71] Marusichw L, Bauernfeind C. 1981. Oxycarotenoids in poultry feeds. In: Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors. (ed. Bauernfeind JC.), Chap. 3. pp. 319-462. Academic Press. New York.
- [72] <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/lycopene.pdf>
- [73] Takaichi S. 1999. Carotenoids and carotenogenesis in anoxygenic photosynthetic bacteria. In: The Photochemistry of Carotenoids. (ed. Frank HA, Young AJ, Britton G, Cogdell RJ.), pp. 39 – 69. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [74] Takaichi S. 2008. Distribution and biosynthesis of carotenoids. In: The Purple Photosynthetic Bacteria, Hunter, C. N., Daldal, F., Thurnauer, M. and Beatty, J. T. (eds.), Volume 28, pp 2:97-117. Springer.
- [75] Hirschberg J, Chamovitz D. 1994. Carotenoids in cyanobacteria. In: The Molecular Biology of Cyanobacteria. (ed. Bryant DA.), pp. 559 – 579. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [76] Britton G., Liaaen-Jensen S. and Pfander H. 2004. Carotenoids Handbook. Birkh user. Verlag, Basel.
- [77] Stickforth P, Steiger S, Hess WR, Sandmann G. 2003. A novel type of lycopene e-cyclase in the marine cyanobacterium *Prochlorococcus marinus* MED4. Arch. Microbiol. 179:409 – 415.
- [78] Bryant DA. 1996. The molecular biology of cyanobacteria.. Kluwer Academic publishers. 559-579.
- [79] Martinez-Laborda A, Balsalobre JM, Fontes M, Murillo FJ. 1990. Accumulation of carotenoids in structural and regulatory mutants of the bacterium *Myxococcus xanthus*. Mol. Gen. Genet. 223:205–210.
- [80] Hannibal L, Lorquin J, D’Ortoli NA, Garcia N, Chaintreuil C, Masson-Boivin C, Dreyfus B, Giraud E. 2000 Isolation and characterization of the canthaxanthin biosynthesis genes from the photosynthetic bacterium *Bradyrhizobium* sp. strain ORS278. J. Bacteriol. 182:3850–3853.
- [81] Yokoyama A, Izumida H, Miki W. 1994. Production of astaxanthin and 4-ketoxanthin by the marine bacterium, *Agrobacterium aurantiacum*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 58:1842–1844.
- [82] Yokoyama A, Miki W, Izumida H, Shizuri Y. 1996 New trihydroxy-keto-carotenoids isolated from an astaxanthin-producing marine bacterium. Biosci. Biotechnol. Biochem. 60:200–203.
- [83] Takaichi S, Shimada K, Ishitsu J. 1990. Carotenoids from the aerobic photosynthetic bacterium, *Erythrobacter longus*: betacarotene and its hydroxy derivatives. Arch. Microbiol. 153:118–122.
- [84] Hundle BS, O’Brien DA, Beyer P, Kleinig H, Hearst JE. 1993. *In vitro* expression and activity of lycopene cyclase and betacarotene hydroxylase from *Erwinia herbicola*. FEBS Lett. 315:329–334.
- [85] Takano H, Obitsu S, Beppu T, Ueda K. 2005. Light-induced carotenogenesis in *Streptomyces coelicolor* A3(2): identification of an extracytoplasmic function sigma factor that directs photodependent transcription of the carotenoid biosynthesis gene cluster. J. Bacteriol. 187:1825–1832.
- [86] Krugel H, Krubasik P, Weber K, Saluz HP, Sandmann G. 1999. Functional analysis of genes from *Streptomyces griseus* involved in the synthesis of isorenieratene, a carotenoid with aromatic end groups, revealed a novel type of carotenoid desaturase. Biochim. Biophys. Acta. 1439:57–64.
- [87] Lee HS, Ohnishi Y, Horinouchi S. 2001. A rB-like factor responsible for carotenoid biosynthesis in *Streptomyces griseus*. J. Mol Microbiol. Biotechnol. 3:95–101.
- [88] Iizuka H, Nishimura Y. 1969. Microbiological studies on petroleum and natural gas X Carotenoid pigments of hydrocarbon utilizing bacteria. J. Gen. Appl. Microbiol. 15:127–134.
- [89] Sakurai H, Kato K, Sakai T, Masuda Y, Kuriyama T. 1971. Studies on microbial utilization of petroleum I separation and characterization of carotenoids produced by a species of *Brevibacterium* in hydrocarbon media. Bull. Chem. Soc. Japan. 44:481–484.
- [90] Nelis HJ, De Leenheer AP. 1989. Reinvestigation of *Brevibacterium* sp. strain KY-4313 as a source of canthaxanthin. Appl. Environ. Microbiol. 55:2505–2510.
- [91] Rilling HC. 1962. Photoinduction of carotenoid synthesis of a *Mycobacterium* sp. Biochim. Biophys. Acta. 60:548–556.
- [92] Takaichi, S, Mochimaru, M, Maoka T, Katoh H. 2005. Myxol and 4-ketomyxol 2'-fucosides, not rhamnosides, from *Anabaena* sp. PCC 7120 and *Nostoc punctiforme* PCC 73102, and proposal for the biosynthetic pathway of carotenoids. Plant Cell Physiol. 46:497 – 504.
- [93] Takaichi S, Mochimaru M, Maoka T. 2006. Presence of free myxol and 4-hydroxymyxol and absence of myxol glycosides in *Anabaena variabilis* ATCC 29413, and proposal of a biosynthetic pathway of carotenoids. Plant Cell Physiol. 47:211 – 216.
- [94] Takaichi S, Maoka T, Masamoto K. 2001. Myxoxanthophyll in *Synechocystis* sp. PCC 6803 is myxol 2'-dimethylfucoside, (3R,2-S)-myxol 2-(2,4-di-O-methyl-a-L-fucoside), not rhamnoside. Plant Cell Physiol. 42:756 – 762.
- [95] Tsuchiya T, Takaichi S, Misawa N, Maoka T, Miyashita H, Mimuro M. 2005. The cyanobacterium *Gloeobacter violaceus* PCC 7421 uses bacterial-type phytoene desaturase in carotenoid biosynthesis. FEBS Lett. 579:2125 – 2129.
- [96] Buchecker R, Liaaen-Jensen S, Borch G, Siegelman HW. 1976. Carotenoids of *Anacystis nidulans*, structures of caloxanthin and nostoxanthin. Phytochemistry. 15:1015 – 1018.
- [97] Krubasik P, Takaichi S, Maoka T, Kobayashi M, Masamoto K, Sandmann G. 2001. Detailed biosynthetic pathway to decaprenoxanthin diglucoside in *Corynebacterium glutamicum* and identification of novel intermediates. Arch. Microbiol. 176:217–223.
- [98] Schmidt K. 1980. A comparative study on the composition of chlorosomes (chlorobium vesicles) and cytoplasmic membranes from *Chloroflexus aurantiacus* strain Ok-70-f1 and *Chlorobium limicola* f. thiosulfatophilum strain 6230. Arch. Microbiol. 124:21–31.
- [99] Berry A, Janssens D, Humbelin M, Jore JPM, Hoste B, Cleenwerck I, Vancanneyt M, Bretzel W, Mayer AF, Lopez- Ulibarri R, Shanmugam B, Swings J, Pasamontes L. 2003. *Paracoccus zeaxanthinifaciens* sp. nov., a zeaxanthin-producing bacterium. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 53:231–238.

- [100] McDermott JC, Britton G, Goodwin TW. 1973. Carotenoid biosynthesis in a *Flavobacterium* sp: stereochemistry of hydrogen elimination in the desaturation of phytoene to lycopene, rubixanthin and zeaxanthin. *Biochem. J.* 134:1115-1117.
- [101] Gierhart DL, inventor; 1995. Applied Food Biotechnology Inc., date of issue June 27 1995. Zeaxanthin-containing compositions produced by *Flavobacterium multivorum*. U.S. patent 5:427-783.
- [102] Liao HH, Medwid RD, Heefner DL, Sniff KS, Hassler RA, Yarus MJ, inventors; 1995. Carotenoid producing culture using *Nesporangiococcus excentricum*. U.S. patent 5:437-997.
- [103] Lagarde D, Beuf L, Vermaas W. 2000. Increased production of zeaxanthin and other pigments by application of genetic engineering techniques to *Synechocystis* sp. strain PCC 6803. *Appl. Environ. Microbiol.* 66:64–72.
- [104] Yokoyama A, Izumida H, Miki W. 1994. Production of astaxanthin and 4-ketozeaxanthin by the marine bacterium, *Agrobacterium aurantiacum*. *Biosci. Biotech. Biochem.* 58:1842–1844.
- [105] Yokoyama A, Miki W, Izumida H, Shizuri Y. 1996. New trihydroxy-keto-carotenoids isolated from an astaxanthin-producing marine bacterium. *Biosci. Biotech. Biochem.* 60:200–203.
- [106] Tsubokura A, Yoneda H, Mizuta H. 1999. *Paracoccus carotinifaciens* sp. nov, a new aerobic Gram-negative astaxanthin producing bacterium. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 49:277–282
- [107] Harker M, Hirschberg J, Oren A. 1998. *Paracoccus marcusii* sp. nov., an orange Gram-negative coccus. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 48:543–548.
- [108] Lee JH, Kim YS, Choi TJ, Lee WJ, Kim YT. 2004. *Paracoccus haeundaensis* sp. nov., a Gram-negative, halophilic, astaxanthin-producing bacterium. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54:1699–1702.
- [109] Lorquin J, Molouba F, Dreyfus BL. 1997. Identification of the carotenoid pigment canthaxanthin from photosynthetic *Bradyrhizobium* strains. *Appl. Environ. Microbiol.* 63:1151–1154.
- [110] Cooney JJ, Marks JHW, Smith AM. 1966. Isolation and identification of canthaxanthin from *Micrococcus roseus*. *J. Bacteriol.* 92:342–345.
- [111] Strand A, Shivaji S, Liaaen-Jensen S. 1997. Bacterial carotenoids 55. C50-carotenoids 25. Revised structures of carotenoids associated with membranes in psychrotrophic *Micrococcus roseus*. *Biochem. Syst. Ecol.* 25:547–552.