

## Domatesin Gelişimi Sırasında Antioksidan Bileşiklerinde Meydana Gelen Değişimler

Esra Çapanoğlu, Dilek Boyacıoğlu

İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul  
E-posta: capanogl@itu.edu.tr

### ÖZET

Domates, en çok tüketilen meyvelerin başında gelmesinin yanı sıra yüksek ihracat değerleri açısından da önemli bir gıda maddesidir. Domates, insan sağlığı üzerindeki koroner ve kalp hastalıklarını önlemesi ve kanser riskini azaltması gibi olumlu etkileri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmekte ve bu etkileri sağlayan antioksidanları açısından incelenmektedir. Yapılan çalışmalar, domatesin farklı gelişme evrelerinde antioksidan miktarı ve profili açısından farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, domatesin gelişimi ve olgunlaşması sırasında antioksidatif özelliğe sahip bileşenlerinde meydana gelen değişimleri ele alan araştırmalar derlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Domates, Gelişim evreleri, Antioksidanlar

### Changes in Antioxidative Constituents during Development of Tomato

#### ABSTRACT

Tomato is one of the most important food crops because its consumption rate is high and it is processed into various products. It is also important in terms of international trade point of view. Tomatoes have received great interest of researchers because of its beneficial effects on human health like the prevention of cardiovascular diseases and cancer. Tomatoes have been widely investigated for their antioxidative compounds during development. Studies have been focused on the differences in the antioxidant contents and profiles of tomatoes at different development stages. In this study, changes in antioxidative constituents of tomatoes during development and ripening were reviewed.

**Key Words:** Tomatoes, Development stages, Antioxidants

#### GİRİŞ

Domates (*Solanum lycopersicum*), dünyada en çok üretilen, tüketilen ve ticarete konu olan tarım ürünlerinin başında gelmesi, insan beslenmesinde vazgeçilmez ürünlerden olması ve gıda sanayinde dondurulmuş, konserve, salça, ketçap, turşu üretimi gibi çok çeşitli kullanım alanlarına sahip olması nedeniyle önemli meyvelerin başında gelmektedir. Domates dünyada birçok ülkede yetiştirilmekle birlikte, uygun iklim koşulları nedeniyle Türkiye domates üretimi yapan önemli ülkelerden biridir [1].

Domatesin içerdiği antioksidan aktivitesi yüksek bileşenler son yıllarda domatese olan ilgiyi arttırmış ve sağlık üzerindeki faydaları pek çok çalışmada ele alınmıştır. Domates tüketiminin kardiyovasküler rahatsızlıklar, başta prostat kanseri olmak üzere bazı kanser türleri gibi çeşitli kronik rahatsızlıkları azaltmada ve serum lipid seviyesini düşürmede ve düşük

yoğunluklu lipoprotein oksidasyonunu engellemede olumlu bir etkisinin olduğu çalışmalarla tespit edilmiştir [2-10]. Daha önceleri yapılan çalışmalarda ana hedef domatesin raf ömrünün uzatılmasına dayanmaktayken [11, 12] sağlık üzerindeki tüm bu olumlu etkileri nedeniyle son yıllarda pek çok çalışmada domatesteki antioksidan bileşen miktarlarını arttırmak için yeni yetiştirme programları araştırılmış ve olgunlaşma sürecine müdahale edilerek antioksidan bileşen miktarında artış sağlanması için yeni yöntemler denenmiştir [13-15]. Domates antioksidan bileşenleri, C vitamini gibi suda çözünebilen bileşikler, likopen ve karotenler gibi lipofilik bileşikler ve hidrofobik özelliği orta seviyede olan kuersetin glikozitleri, narincenin-kalkon ve klorojenik asit gibi bileşenlerden oluşmaktadır [16].

Domates gibi klimakterik meyveler, klimakterik olmayanlardan artan solunum ve etilen biyosentez hızları ile ayrılmaktadır. Domatesin gelişimi, hücre duvarı bileşenlerinde ve polisakkaritleri parçalayıcı

enzimlerdeki önemli değişimler ile takip edilebilmektedir [17-20]. Bu enzimlerin aktivitesi doğrudan meyvenin raf ömrü ile ilişkilidir ve domatesin özellikle pazardaki önemli özelliklerinden birini oluşturmaktadır. Domates gibi etli meyveler temel olarak glikoproteinler, su ve pektik ve hemiselüloz polisakkaritlerden oluşan bir matriks içindeki selüloz mikrofibrillerden oluşan tabaka ile çevrelenmiş parenkima hücrelerinden oluşmaktadır [21-24].

Domatesin gelişimi farklı aşamalardan oluşmaktadır. Meyve gelişimi sırasında kompleks bir biyolojik proses olan doku özelleşmesi yer almakta ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik seviyelerde dönüşümler hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu dönüşümler tüm metabolik yollarda hücre bölünmesi, hücre genişlemesi ve olgunlaşmayı sağlayan bir dizi dinamik değişimlerle sonuçlanmaktadır. Gelişimin ilk basamakları, yüksek metabolik aktivite ve dokunun hızlı bir şekilde bölünmesiyle karakterize edilirken daha sonraki basamaklarda hücrenin genişlediği görülmektedir. Meyvenin olgunlaşması, çekirdek tamamen oluştuğunda ve meyve son büyüklüğüne ulaştıktan sonra başlamaktadır. Bu olgunlaşma süreci fizyolojik ve biyokimyasal seviyelerde gerçekleşen koordineli değişimler zincirinden oluşmaktadır [25]. Tohumun olgun bir meyveye dönüşümü ve bu esnada meydana gelen değişimler pek çok çalışmada araştırma konusu olmuştur [18, 26]. Bu çalışmada, domatesin gelişimi ve olgunlaşması sırasında antioksidan özellik taşıyan bileşenlerinde meydana gelen değişimler ele alınmıştır.

### DOMATESİN GELİŞİM EVRELERİ SIRASINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER

Olgunlaşma sırasında domates çok geniş kapsamlı metabolik reaksiyonlara maruz kalmakta ve bu reaksiyonlar sonucunda da meyvenin son bileşimi oluşmaktadır. Bu değişimler her hücre altı kompartmanda yer alan ve bitki hormonları ile düzenlenen ve genetik ve çevresel faktörler tarafından etkilenen oldukça düzenli değişimlerdir [27]. Kimyasal bileşimde nitel ve nicel olarak meydana gelen değişimler organik asitler, çözünür şeker, amino asitler, pigmentler ve aroma maddelerinde gözlenmekte olup domatesin tat, lezzet ve aroma profiline katkıda bulunmaktadır. Domatesin olgunlaşması meyvenin yumuşaması, klorofilin parçalanması ve solunum hızında, etilen üretiminde ve ayrıca asitlerin, şekerlerin ve likopenin sentezinde artış ile ayırt edilebilmektedir ayırt edilebilmektedir [23, 28].

Toplam çözünür katı madde miktarı temel olarak gelişimin hızlı olduğu aşamadaki nişasta birikimine bağlıdır [29]. Domateste toplam çözünür maddenin %65-70'i şekerlerde oluşmaktadır. Domateste organik asitler temel olarak sitrik asit ve malik asit olup sitrik asit olgun yeşil evrede maksimuma ulaşmakta ve olgunlaşma süresince sabit kalmaktadır. Diğer taraftan, malik asit miktarının azaldığı görülmektedir. Olgunlaşma sırasında malik asidin sitrik aside oranı 1,3'den 0,6'ya kadar düşmektedir. Şekerler, asitler ve bunların etkileşimi tatlılık, ekşilik ve lezzetin tüm izlenimi açısından önem taşımaktadır [24].

Domatesin olgunlaşmasında azot metabolizması da önemli bir rol oynamakta ve merkezi karbon metabolizması ile yakın ilişki içinde bulunmaktadır. Olgunlaşmanın çeşitli evrelerinde domateste amino asitlerin çeşit ve miktarında değişimler olduğu gözlenmiştir. Gelişimin ilk evrelerinde glutamin, alanin, asparagin, arginin, valin ve prolin baskın amino asitler olurken, gelişimin ilerleyen evrelerinde bu amino asitlerin konsantrasyonunun azaldığı belirlenmiştir. Diğer taraftan, glutamat, sistein, aspartam, triptofan, metionin ve putresinin gelişimin ilerleyen basamaklarında arttığı görülmektedir [19,25].

Meyve oluşumunda ve olgunlaşma sürecinde rol alan genler, transkript ve protein analizleri ve ayrıca bilinen az sayıdaki metabolitlerin gelişim evrelerindeki değişimleri önceki çalışmalarda rapor edilmiştir [26, 30, 31]. Yakın bir zamanda ise domateste metabolik faaliyetler metabolit ve transkript seviyelerinde incelenmiştir [19]. Son çalışmada, şekerler, organik asitler ve amino asitlerdeki değişimler meyve gelişimi sırasında incelenmiştir. Antioksidanlarda meydana gelen değişimler ise daha az sayıda çalışmada ele alınmıştır. Bu çalışmalardan biri Moco ve ark. [32] tarafından gerçekleştirilmiş olup, domatesin farklı dokularındaki metabolitler ve antioksidanlar ele alınmış ve çalışmanın sonucunda farklı antioksidanların gelişim evrelerinde gösterdiği değişimlerin farklı olduğu ve her antioksidanın domatesin farklı bir dokusunda birikme eğilimi gösterdiği ortaya konmuştur. Bu çalışmaya göre, domateste önemli flavonoidlerden biri olan rutin domates kırmızıya döndüğünde en yüksek değerine ulaşırken diğer önemli bir flavonoid olan narincenin en yüksek konsantrasyonu gelişimin pembe evresinde tespit edilmiştir. Çalışmanın antioksidan bileşiklerin hangi dokularda biriktiğini ortaya koyan bölümünde ise rutin, rutin apiozid, narincenin, likopen ve C vitamininin epidermis dokularında yoğunlaştığı, violaksantin ve luteinin ise en yüksek oranda vasküler eklenti bölgesinde bulunduğu görülmüştür.

Antioksidan bileşenler açısından incelenen bir diğer çalışmada ise ham (yeşil) domatesin perikarp ve pulpta yüksek düzeyde klorojenik asit içerdiği tespit edilmiştir [30]. Klorojenik asit seviyesi meyvenin rengi yeşilden, önce pembeye daha sonra ise kırmızıya dönerken hızlı bir şekilde azalmaktadır. Hidroksisinnamik asit miktarının da olgunlaşmayla birlikte azaldığı tespit edilmiştir [30]. Diğer çalışmalarda da domatesin farklı olgunluk aşamalarında klorojenik asit, *p*-kumarik asit ve rutin gibi bazı antioksidanların miktarının değiştiği tespit edilmiştir [33, 34]. Rutin miktarı yeşil domateste maksimum seviyelerdeyken meyvenin olgunlaşması sırasında azalmaktadır. Benzer şekilde domateste az miktarda bulunan serbest haldeki kuersetinin de olgunlaşma ile azaldığı görülmüştür [33]. Diğer taraftan, *p*-kumarik asit glukozit sadece pulpta bulunmakta ve meyvenin rengi yeşilden pembeye dönerken maksimum değerlere ulaşmaktadır. Fakat gelişimin sonraki evrelerinde bu bileşiğin miktarında hiçbir değişme görülmemektedir. Klorojenik asit ve rutin miktarındaki değişimler auksin (indol-3-asetik asit) metabolizmasındaki değişimlere benzemektedir. Bu nedenle, meyvenin olgunlaşma sürecinde rutin ve

klorojenik asidin auksin metabolizmasında regülatör olarak rol oynadıkları düşünülmektedir [34]. Narincenin konsantrasyonunun ise olgunlaşmanın ilk basamaklarında hızlıca arttığı ve meyvenin kutikular membranında biriktiği rapor edilmiştir [35]. Bir diğer çalışmada ise narincenin ilk basamaklarda artış gösterdiği fakat olgunlaşmanın son aşamasında hafif bir azalma olduğu belirtilmiştir [33]. Narincenin kalkanon ise yeşil basamakta mevcut olmadığı, kırılma evresinde olduğu ve miktarının pembe evreye kadar hızlı bir şekilde arttığı pembeden kırmızıya geçiş evresinde ise azaldığı görülmüştür [32].

Abushita ve ark. [36] ve Giovanelli ve ark. [37] domatesin olgunlaşması sırasında askorbik asit miktarının arttığını rapor etmiştir. Benzer şekilde *Ever* cinsi domateslerin olgunlaşma süresince tüm dokularda kırmızı evrede askorbik asit miktarının arttığı ve tüm gelişim evrelerinde en yüksek değerlere epidermiste rastlandığı belirtilmiştir [32]. Benzer bulgulara Yahia ve ark. [37] ve Giovanelli ve ark. [38]'na ait çalışmalarda da rastlanmaktadır. Diğer taraftan, Raffo ve ark. [33] olgunlaşma süresince çeri domateslerin askorbik asit miktarında önemli bir değişim olmadığını rapor etmiştir.

Domateste bulunan önemli pigmentler klorofil ve karotenoidlerdir. Domatesin yeşil evresinde pigmentler ağırlıklı olarak klorofil a ve klorofil b'nin karışımından oluşmaktadır. Olgunlaşma sırasında likopen biyosentezi kloroplastların kromoplastlara dönüşümü sonucunda hızla artmaktadır. Olgun kırmızı domateste biriken temel karotenoidler likopen (~%90),  $\beta$ -karoten (%5-10), lutein (%1-5) ve eser miktarda bulunan (<%1) diğer bazı karotenoidlerdir. Likopen ve  $\beta$ -karoten olgun domatesin rengini sağlayan iki pigment olup sırasıyla koyu kırmızı ve portakal renginden sorumludurlar [39]. Yapılan çalışmalarda, olgunlaşmanın kırılma aşamasında yüzeyin sadece %10'luk bir kısmı pembe veya kırmızı olup kırmızı evreye geçildiğinde yüzeyin %90'dan fazla bir kısmının kırmızı olduğu tespit edilmiştir [27]. Johjima ve Matsuzoe [40] meyve renk değerlerinin (Hunter a ve b renk değerlerinin oranı, a/b) *cis* ve *trans* formdaki likopen içeriği ile yüksek düzeyde orantılı olduğunu göstermiştir [40]. Likopen konsantrasyonu 32-43 mg/kg yaş madde aralığında olduğunda meyve portakal renginden kırmızıya dönmekte ve tamamen kırmızı rengin hakim olması için de 55 mg/kg yaş madde düzeyinde toplam karoten miktarına ihtiyaç duyulmakta bunun da %90'ı likopenden sağlanmaktadır. Likopen miktarının 0,25 mg/kg'dan aşırı olgunlaşmış domateslerde 70,50 mg/kg'a kadar yükselebildiği tespit edilmiştir [17]. Renk değişimleri olgunlaşmanın anahtar göstergelerinden olup dokuyla birlikte domatesin yenilebilirlik özelliklerinin temelini oluşturmaktadır [41].

Bitkinin genetik yapısına ilave olarak yetiştirilme koşulları da domatesin antioksidan miktarı üzerinde etkili olmaktadır [42]. Örneğin, ışık karotenoid miktarı üzerinde oldukça önemli bir role sahiptir ve bitkilerin daha fazla ışık alması durumunda karotenoid miktarının arttığı rapor edilmektedir [27]. Domateslerin antioksidan miktarı üzerinde etkili olan faktörler, çeşit, varyete, yetiştirilme koşulları, hasat zamanındaki olgunluk aşaması ve depolama koşulları olarak sıralanmaktadır

[33,43]. Leonardi ve ark. [44] karotenoid miktarı ve lipofilik antioksidan kapasitesinin olgunluk aşamasından çeşide göre daha fazla etkilendiğini ortaya koymuştur. Diğer taraftan, çeşidin de oldukça etkili olduğu ve çeri domateslerin İtalya'da tüketilen diğer yaygın çeşitlere göre oldukça yüksek lipofilik ve hidrofilik antioksidan aktivite gösterdiği belirtilmiştir. Benzer şekilde, Giovanelli ve ark. [37] serada yetiştirilen *MoneyMaker* tipi domateslerin iki farklı genotipini (Normal Kırmızı ve Crimson) yedi farklı olgunluk aşamasında incelemiş ve olgunlaşma basamaklarının son antioksidan içeriğini özellikle de olgunlaşmanın son aşamalarında birikim yapan likopen miktarını önemli düzeyde etkilediğini tespit etmiştir.

## SONUÇ

Domates, beslenme ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri açısından büyük bir değere sahiptir. Diğer taraftan, olgunlaşma çalışmaları için uygun bir model olması nedeniyle de üzerinde çok çalışılan meyvelerden birini oluşturmaktadır. Olgunlaşma sırasında domateste meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişimler pek çok çalışmada ele alınmıştır. Bu değişimler arasında pigment oluşumu, hücre duvarında meydana gelen değişimler, nişastanın şekere dönüşümü, lezzet maddelerindeki artış ve antioksidan özellik taşıyan bileşenlerindeki değişim sayılabilir. Fakat özellikle de olgunlaşma sırasında antioksidanların artışı veya azalmasında rol alan mekanizmaların işleyişi ve etkileşimi konusunda bilinmeyen bazı noktalar vardır ve bu noktalar pek çok çalışmaya konu olmaya devam etmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Keskin, G., Gül, U., 2004. Domates. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, *T.E.A.E. Bakış* 5 (13): 1-4.
- [2] Shahidi, F., Naczki, M., 1995. Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects, Applications. Technomic Pub., PA, USA.
- [3] Hollman, P.C.H., Hertog, M.G.L., Katan, M.B., 1996. Analysis and health effects of flavonoids. *Food Chemistry* 57: 1, 43-46.
- [4] Gerster, H., 1997. The potential role of lycopene for human health. *Journal of the American College of Nutrition* 16: 109-126.
- [5] Clinton, S. K., 1998. Lycopene: Chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews* 56: 35-51.
- [6] Rao, A. V., Agarwal, S., 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. *Nutrition Research* 19: 305-323.
- [7] Agarwal, A., Shen, H., Agarwal, S., Rao, A.V., 2001. Lycopene content of tomato products: its stability, bioavailability and in vivo antioxidant properties. *Journal of Medicinal Food* 4 (1): 9-15.
- [8] Campbell, J.K., Canene-Adams, K., Linshiedl, B.L., Boileau, T.W.M., Clinton, S.K., Erdman, Jr., J.W., 2004. Tomato Phytochemicals and Prostate Cancer Risk. *Journal of Nutrition* 1: 3486-3492.
- [9] Canene-Adams, K., Campbell, J.K., Zaripheh, S., Jeffery, E.H., Erdman, Jr., J.W., 2005. The tomato

- as a functional food. *Journal of Nutrition* 1: 1226-1230.
- [10] O'Kennedy, N., Crosbie, L., Whelan, S., Luther, V., Horgan, G., Brom, J.I., Webb, D.J., Duttaroy, A.K., 2006. Effects of tomato extract on platelet function: a double-blinded crossover study in healthy humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 561-569.
- [11] Kalt, W., Forney, C. F., Martin, A., Prior, R. L., 1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 47: 4638-4644.
- [12] Cano, A., Acosta, M., Arnao, M. B., 2003. Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biology and Technology* 28: 59-65.
- [13] Alba, R., Cordonnier-Pratt, C., Pratt, L.H., 2000. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiology* 123: 363-370.
- [14] Rosati, C., Aquilani, R., Dharmapuri, S., Pallara, P., Marusic, C., Tavazza, R., Bouvier, F., Camara, B., Giuliano, G., 2000. Metabolic engineering of  $\beta$ -carotene and lycopene content in tomato fruit. *Plant Journal* 24: 413-420.
- [15] Liu, Y.S., Gur, A., Ronen, G., Causse, M., Damidaux, R., Buret, M., Hirschberg, J., Zamir, D., 2003. There is more to tomato fruit colour than candidate carotenoid genes. *Plant Biotechnology Journal* 1: 195-207.
- [16] Seybold, C., Fröhlich, K., Bitsch, R., Otto, K., Böhm, V., 2004. Changes in contents of carotenoids and vitamin E during tomato processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 7005-7010.
- [17] Fraser, P.D., Truesdale, M.R., Bird, C.R., Schuch, W., Bramley, P.M., 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology* 105: 405-413.
- [18] Giovannoni, J., 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52: 725-749.
- [19] Carrari, F., Baxter, C., Usadel, B., Urbanczyk-Wochniak, E., Zanon, M.I., Nunes-Nesi, A., Nikiforova, V., Centero, D., Ratzka, A., Pauly, M., Sweetlove, L.J., Fernie, A.R., 2006. Integrated analysis of metabolite and transcript levels reveals the metabolic shifts that underlie tomato fruit development and highlight regulatory aspects of metabolic network behaviour. *Plant Physiology* 142: 1380-1396.
- [20] Tomassen M.M.M., Barrett D.M., van der Valk H.C.P.M., Woltering E.J., 2007. Isolation and characterization of a tomato non-specific lipid transfer protein involved in polygalacturonase-mediated pectin degradation. *Journal of Experimental Botany* 58: 1151-1160.
- [21] Burg, S.P., Burg, E.A., 1965. Ethylene action and the ripening of fruits. *Science* 148: 1190-1196.
- [22] Yanuriati, A., Savage, G. P., Rowe, R. N., 1999. The effects of ethanol treatment on the metabolism, shelf life and quality of stored tomatoes at different maturities and temperatures. *Journal of Science of Food and Agriculture* 79: 995-1002.
- [23] Toor, R.K., Savage, G.P., 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* 38: 487-494.
- [24] Carrari, F., Asis, R., Fernie, A.R., 2007. The metabolic shifts underlying tomato fruit development. *Plant Biotechnology* 24: 45-55.
- [25] Boggio, S.B., Palatnik, J.F., Heldt, H.W., Vale, E.M., 2000. Changes in amino acid composition and nitrogen metabolizing enzymes in ripening fruits of *Lycopersicon esculentum* Mill. *Plant Science* 159: 125-133.
- [26] Gillaspay, G., Bendavid, H., Gruissem, W., 1993. Fruits: A developmental perspective. *Plant Cell* 5: 1439-1451.
- [27] Guintini, D., Graziani, G., Lercari, B., Fogliano, V., Soldatini, G.F., Ranieri, A., 2005. Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53: 3174-3181.
- [28] Hernandez-Suarez, M., Rodriguez Rodriguez, E.M., Diaz Romero, E., 2008. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry* 106: 1046-1056.
- [29] Dinar, M., Stevens, M.A., 1981. The relationship between starch accumulation and soluble solids content of tomato fruits. *Journal of American Society and Horticultural Science* 106: 415-418.
- [30] Buta, J. G., Spaulding, D. W., 1997. Endogenous levels of phenolics in tomato fruit during growth and maturation. *Journal of Plant Growth and Regulation*. 16: 43-46.
- [31] Srivastava A., Handa, A.K., 2005. Hormonal regulation of tomato fruit development: A molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation* 24: 67-82.
- [32] Moco, S., Capanoglu, E., Tuginov, Y., Bino, R., Boyacıoğlu, D., Hall, R.D., Vervoort, J., De Vos, R., 2007. Tissue specialization at the metabolite level is perceived during the development of tomato fruit. *Journal of Experimental Botany* 58 (15-16): 4131-4146.
- [33] Raffo, A., Leopardi, C., Fogliano, V., Ambrosino, P., Salucci, M., Gennaro, L., Bugianesi, R., Giuffrida, F., Quaglia, G., 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 6550-6556.
- [34] Shahidi, F., Naczk, M., 2004. Phenolic Compounds in Fruits and Vegetables. In Phenolics in Food and Nutraceuticals, Edited by F. Shahidi, M. Naczk, CRC Press LLC, Boca Raton, 12p.
- [35] Macheix, J. J., Fleuriet, A., Billot, J., 1990. Changes and Metabolism of Phenolic Compounds in Fruits. In Fruit Phenolics, Edited by J.J. Macheix, A. Fleuriet, J. Billot, CRC, Boca Raton, FL, 149p.
- [36] Abushita, A. A., Hebshi, E. A., Daood, H. G., Biacs, P. A., 1997. Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry* 60: 207-212.
- [37] Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., Nobili, S., 1999. Variation in antioxidant components of tomato

- during vine and post-harvest ripening. *Journal of Science of Food and Agriculture* 79: 1583– 1588.
- [38] Yahia, E. M., Contreras-Padilla, M., Gonzalez-Aguilar, G., 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie* 34 (7): 452-457.
- [39] Schofield, A., Paliyath, G., 2005. Modulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit ripening through phytochrome regulation of phytoene synthase activity. *Plant Physiology and Biochemistry* 43: 1052–1060.
- [40] Johjima, T., Matsuzoe, N., 1995. Relationship between colour value and coloured carotenes content in fruit of various tomato cultivars and breeding lines. *Acta Horticulturae* 412:, 152–159.
- [41] Kaur, D., Sharma, R., Wani, A. A., Gill, B. S., Sogi, D.S., 2006. Physicochemical changes in seven tomato (*Lycopersicon esculentum*) cultivars during ripening. *International Journal of Food Properties* 9 (4): 747-757.
- [42] Hart D.J., Scott K.J., 1995. Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chemistry* 54:101-111.
- [43] Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Maiana, G., Quaglia, G., 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 11–19.
- [44] Leonardi, C., Ambrosino, P., Esposito, F., Fogliano, V., 2000. Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 4723-4727.
-