مجله علمی ترویجی گل و گیاهان زینتی (۱۳۹۵)، ۱(۱): ۶۰-۷۷

نقش رنگدانه‌ها و ساز و کارهای احتمالی درگیر در تغییر رنگ برگ گیاهان و اهمیت آن در فضای سبز

فرهمند همایون *، مهدیخانی نجمه

بخش علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید باهنر کرمان.

* homayoun.farahmnad@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۳/۰٦، تاریخ بررسی مجدد: ۱۳۹٤/۰۸/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۱/۲۳

چکیده

رنگدانه‌های گیاهی ترکیباتی شیمیایی هستند که نور را در طیف قابل دیدن دریافت و یا بازتاب می‌کنند. چهار گروه مهم رنگدانه های گیاهی کلروفیل‌ها، آنتوسیانین‌ها، کارتنوئیدها و بتالائین‌ها هستند. تغییر رنگ برگ‌ها یکی از پدیده‌های شگفت انگیز روی کره زمین است که به ویژه در فصل پاییز مناطق سردسیر و معتدله، بسیار تماشایی است. تغییر رنگ برگ‌ها تنها محدود به گیاهان خزان دار نمی‌شود، بلکه در گیاهان همیشه سبز و برگ‌های نورسته گیاهان خزان‌دار و همیشه سبز نیز دیده می‌شود. تغییر رنگ، پیامد رخدادهایی بسیار پیچیده، هماهنگ و پویا است که با دریافت پیام‌هایی مانند کوتاه شدن طول روز، کاهش دما و افزایش طول موج‌های آبی و پرتو فرابنفش در پاییز آغاز می‌شود و با تغییرات گسترده در سطح سلولی، مولکولی و سرانجام تغییر در بیان ژن ها ادامه می‌یابد. بر همکنشی چندین عامل مانند ژنتیک، مرحله رشد و نمو گیاه، سن برگ، طول روز، دما، نور، پرتو فرابنفش، رطوبت نسبی، ارتفاع از سطح دریا، هورمون‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی، ترکیب رنگدانه‌ها، رنگدانه‌های کمکی، یون های فلزی، pH تغییرات رنگ برگ را تعیین می‌کنند. کاهش تولید اکسین، افزایش تولید اتیلن و آبسزیک اسید و نیز کاهش مقدار نیتروژن و فسفر از تغییرات درونی هستند که هنگام تغییر رنگ برگ‌ها به ویژه در پاییز دیده می‌شود. اگرچه تغییر رنگ برگ در گونه‌های گیاهی خزان‌دار در ارتباط با فرایند پیری است، اما این فرایند الزاما مربوط به پیری نیست. به طور کلی، پذیرفته شده است که تغییر رنگ برگ ها در گیاهان با ساز و کارهای سازگاری گیاهان در برابر تنش های گوناگون مانند تنش نوری، پرتو فرابنفش، دمای پایین و بالا، گیاهخواری در ارتباط است. گونه‌های گیاهی به ویژه درختان و درختچه‌های دارای برگ رنگی و یا خزان زیبا، از دیدگاه زیباشناختی بسیار ارزشمند هستند و به طور گسترده‌ای برای اهداف طراحی فضای سبز به کار می‌روند. بنابراین، تغییر رنگ برگ گونه‌های گیاهی از دیدگاه اقتصادی اهمیت فراوان دارد و در بخشی از مناطق معتدله جهان، درآمد زیادی به دلیل اهمیت گردشگری جنگل‌های خزان دار به دست می‌آید.

کلمات کلیدی: پردیسه، رنگ برگ، رنگدانه‌های گیاهی.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2020-12-15 at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

مقدمه

گیاهان بیش از ۲۰۰۰۰۰ فراورده[1] تولید می‌کنند که بسیاری از این فراورده‌ها رنگی هستند و رنگدانه[2] یا رنگیزه نام دارند (Tanaka *et al*, 2008). رنگدانه‌ها ترکیبات شیمیایی هستند که نور را در طیف قابل دیدن دریافت می کنند (Delagado-Vergas 2000). رنگدانه‌های گیاهی اهمیت بسیار زیادی در کره زمین دارند و کاربرد آنها توسط انسان ها، به بیش از۱۰۰۰۰ سال پیش بر می‌گردد (Davies 2004; Blackburn 2007). راز رنگدانه‌ها سالیان درازی است که گیاه شناسان را به خود مشغول کرده است و مطالعه رنگیزه‌های گیاهی، یکی از کهن‌ترین زمینه‌های مطالعه گیاهان است (Mlodzinska 2009). برخی از بزرگ‌ترین پژوهش‌های علمی در قلمرو گیاهی مانند کارهای بزرگ گرگورمندل و داروین به گونه‌ای در ارتباط با رنگدانه‌ها بوده است. رنگدانه‌ها در دریافت جایزه نوبل توسط چندین دانشمند نیز نقش داشته‌اند (Davies 2004). در دنیای کنونی نیز مهندسی رنگیزه[3] و دستکاری‌های ژنتیکی برای بهره‌گیری بیشتر از رنگدانه به ویژه در مورد گیاهان زینتی، در حال انجام است (Rosati *et al*. 2009). ظاهر گیاهان بازتاب رنگدانه‌هایی است که طیف‌های گوناگون نوری را دریافت و یا بازتاب می‌کنند (Mlodzinska 2009). نور دریافت شده وارد رنگدانه می‌شود و نور بازتاب شده، به عنوان رنگ دیده می‌شود (Davies 2004). رنگدانه‌ها در گیاهان عالی (جدول ۱)، در چهار گروه بزرگ کلروفیل‌ها، کارتنوئیدها[4]، فلاونوئیدها[5] (آنتوسیانین‌ها[6]) و بتالائین‌ها[7] قراردارند (Davies 2004; Tanaka *et al*, 2008, Mlodzinska 2009, Gandia Hererro, *et al*. 2013).

جدول ۱- رنگدانه‌های مهم گیاهان و انواع آنها به همراه طیف رنگی ایجاد شده (Davies 2004).

رنگدانه	انواع معمولی	رنگ‌های معمول ایجاد شده
بتالائین ها	بتاسیانین‌ها و بتازانتین‌ها	زرد، نارنجی، قرمز، بنفش
کارتنوئیدها	کاروتن‌ها و زانتوفیل‌ها	زرد، نارنجی، صورتی، قرمز،
کلروفیل‌ها	کلروفیل	سبز
فلاونوئیدها	آنتوسیانین‌ها، آرون‌ها، کالکون‌ها، فلاونول‌ها، پیش آنتوسیانیدین‌ها	زرد، قرمز،آبی، بنفش

نقش رنگ در زندگی انسان‌ها

انسان‌ها رابطه بسیار تنگاتنگی با رنگ دارند. رنگ یکی از عمیق‌ترین رمز و رازها را ایجاد می‌کند و دارای قدرتی زیاد در افزایش احساسات و عواطف است (کافی و خان سفید، ۱۳۸۷). حضور رنگ در بخش‌های مختلف زندگی را نمی توان انکار کرد، زیرا که بر اندیشه، روابط و احساسات انسان‌ها تاثیر فراوان دارد (نوری و همکاران، ۱۳۸۷). رنگ در طراحی فضای سبز نیز از اهمیت فروانی برخوردار است و به نظر می‌رسد که در طراحی فضای سبز و پردیسه در دنیای کنونی، نیاز بیشتری به رنگ است (Xu 2013). طراحان فضای سبز با توجه به اصول روانشناسی رنگ‌ها، زیرساخت فرهنگی و اجتماعی، دانش بومی و برخی ویژگی های دیگر از رنگ‌های گوناگون در طراحی فضای سبز بهره می‌گیرند. بنابراین، رنگدانه‌های گیاهی که رنگ‌های گوناگون

[1] - Products
[2]- Pigment
[3] - Pigment engineering
[4] - Carotenoids
[5] - Flavenoids
[6] - Anthocyanins
[7]- Betalains

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

را در برگ‌ها، گل‌ها و میوه‌های گیاهان ایجاد می‌کنند، از دیدگاه زیباشناختی ارزش بسیار بالایی دارند (Kaufman & Lohr, 2004). زیبایی مناظر ساخته انسان، به کاربرد صحیح رنگ در طرح بستگی دارد. به طور کلی، رنگ‌های قرمز، نارنجی و زرد جزو رنگ‌های گرم محسوب می‌شوند و در طراحی باغ و پردیسه، برای شاد جلوه دادن محیط و ایجاد تنوع در فصل‌های مختلف سال، از رنگ‌های گرم استفاده می‌شود. از سوی دیگر، رنگ‌های سبز و آبی جزو رنگ‌های سرد طبقه‌بندی می‌شوند و از این رنگ‌ها برای بزرگ‌تر نمایاندن باغ و پردیسه استفاده می‌شود (روحانی ۱۳۹۳). در طبیعت، خودنمایی رنگ‌ها به ویژه در بهار و پاییز چشمگیر است (خوشخوی ۱۳۹۳). فصل پاییز در مناطق سردسیر و معتدله، یکی از بارزترین فصل های سال است که تغییر رنگ برگ گیاهان بسیار شگفت انگیز و دیدنی می‌شود. آلبرت کاموس[8]، رمان نویس برجسته فرانسوی و دارنده جایزه نوبل ادبی می‌گوید "پاییز، بهار دومی است وقتی که هر برگ خودش یک گل است". در این مقاله مروری، در آغاز رنگدانه‌های مهم گیاهی به طور خلاصه معرفی می‌شوند و در ادامه، نقش آنها در تغییر رنگ برگ گیاهان و به ویژه درختان و درختچه‌های زینتی بررسی می‌شود.

کلروفیل‌ها

کلروفیل که برای نخستین بار در سال ۱۸۱۸ به کار رفت از دو واژه یونانی Choloros به معنای سبز و Phyllos یا Phyllon به معنای برگ، گرفته شده است و در مجموع بیانگر برگ سبز است (Davies 2004; Mlodzinska 2009; Pale 2011). کلروفیل‌ها گسترده‌ترین، آشکارترین، حساس‌ترین و تواناترین رنگیزه‌های دریافت کننده نور در جهان هستند که در برگ‌های سبز گیاهان و دیگر اندام‌های سبز گیاهی دیده می‌شوند و به دلیل توانایی فتوسنتز، مهم ترین مولکول‌های ارگانیک زمین هستند (Davies 2004; Blackburn 2007; Mlodzinska 2009; Pale 2011). بیشترین نور دریافتی کلروفیل‌ها در طول موج‌های ۳۸۰ و ۷۳۰ نانومتر است. در گیاهان عالی، دو نوع کلروفیل عمده وجود دارد. کلروفیل a که سبز- آبی است و کلروفیل b که سبز- زرد است. مقدار این دو نوع کلروفیل به گونه گیاهی، میزان نور و در دسترس بودن یون منیزیم بستگی دارد (Mlodzinska 2009). این دو نوع کلروفیل به دلیل جذب سطح بالایی از نور آبی و قرمز، سبز رنگ دیده می شوند (Davies 2004). کلروفیل‌ها در پلاستیدها قرار دارند، محلول در چربی بوده و نیمه عمر[9] کلروفیل در یک برگ معمولی در گیاهان، بین ٦ تا ٥٠ ساعت است (Davies 2004).

کاروتنوئیدها

کارتنوئیدها که در دامنه رنگ‌های زرد تا قرمز دیده می شوند، یک زیر گروه از ترپنوئیدها[10] هستند که بین ۷۵۰- ٦۰۰ ترکیب از آنها گزارش شده است و قابل حل در چربی هستند (Nisar *et al*. 2015; Tanaka *et al*, 2008). این رنگدانه‌های گیاهی برای نخستین بار از گیاه هویج[11] استخراج شدند و به همین دلیل کارتنوئید نامیده شدند (Davies 2004). کارتنوئیدها دومین گروه بزرگ رنگدانه های گیاهی هستند که از کاروتن‌ها[12] (آلفا کاروتن و بتا کاروتن) و زانتوفیل‌ها[13] تشکیل شده اند (Davies 2004; Blackburn 2007; Ougham *et al*. 2005). معروف‌ترین زانتوفیل‌ها، ویولازانتین، آنترازانتین، زئازانتین، نئوزانتین و لوتئین هستند. ویولازانتین و لوتئین مسئول رنگ زرد در

[8] - Albert Camus

[9] - Half-life
[10]- Terpenoids
[11] - Carrot (*Daucus carota*)
[12]- Carotenes
[13] - Xanthophylls

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

برگ‌های پاییزی برخی از گونه‌های گیاهی هستند. خود واژه Xanthopyll، از دو واژه Xanthos به معنای زرد و Phyll به معنای برگ گرفته شده است که بیانگر زرد بودن رنگ برگ‌ها در پاییز است (Davies 2004). کارتنوئیدها، انرژی نورانی را در دامنه ۵۰۰-۴۰۰ نانومتر جذب می کنند (Mlodzinska 2009).

آنتوسیانین‌ها

آنتوسیانین‌ها متابولیت‌های ثانویه و از گروه بسیار بزرگ فنول‌ها هستند، که به طور کلی تحت عنوان فلاونوئیدها شناخته می‌شوند (Neill 2002). فلاونوئیدها تقریبا در تمام بافت‌های گیاهی دیده می‌شوند و تا کنون بیش از ۷۰۰۰ ترکیب از آنها شناخته شده است. آنتوسیانین‌ها که گروهی از فلاونوئیدها می‌باشند، رنگدانه‌های محلول در آب هستند که دامنه گسترده‌ای از رنگ‌ها را از نارنجی- قرمز تا آبی- بنفش در برگ‌ها، گل‌ها، میوه‌ها و اندام‌های ذخیره‌ای تولید می‌کنند (Neill 2002; Davies 2004, Tanaka *et al.* 2008; Hughes 2009; Mlodzinska 2009). آنتوسیانین‌ها از فنیل آلانین[14] مشتق می‌شوند و در واکوئل ها ذخیره می‌شوند (Tanaka *et al.* 2008). آنتوسیانین نخستین بار در عصاره رنگی سلول مشاهده شد. در سال ۱۸۳۵ میلادی یک گیاهشناس آلمانی[15]، این رنگدانه را آنتوسیانین نامید که واژه‌ای یونانی بوده و از دو کلمه Anthos (گل) و Kyanos (آبی) مشتق شده است (Davies 2004; Ougham *et al.* 2005).

بتالائین‌ها

بتالائین‌ها، رنگدانه‌های نیتروژنی قابل حل در آب هستند که در واکوئل قرار دارند و نسبت به سه گروه دیگر رنگدانه‌ها، از گسترش محدودی در قلمرو گیاهی برخوردارند (Davies 2004;Tanaka *et al.* 2008; Mlodzinska 2009). این ترکیبات نیتروژن‌دار، متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که از اسید آمینه تیروزین[16] به دست می‌آیند و چون از مشتقات اسید بتالامیک می‌باشند، به نام بتالائین‌ها شناخته می‌شوند (Davies 2004; Tanaka *et al.* 2008; Gandia Herero *et al.* 2013). بتالائین‌ها در بسیاری از تیره‌های گیاهی راسته Caryophyllales به جز Caryophyllaceae و Molluginaceae، جایگزین آنتوسیانین‌ها می‌شوند و رنگ‌های زرد تا قرمز را تولید می کنند (Davies 2004; Tanaka *et al.* 2008, Mlodzinska, 2009; Gandia Hererro *et al.* 2013). با توجه به این که تغییر رنگ برگ‌ها تنها به مناطق معتدله و سردسیر و گیاهان خزان‌دار محدود نمی‌شود و در مناطق گرمسیری و گیاهان همیشه سبز نیز رخ می‌دهد، در ادامه نقش رنگدانه‌ها در انواع تغییر رنگ بررسی می‌گردد.

نقش رنگدانه‌ها در تغییر رنگ برگ‌ها در مناطق سردسیر و معتدله

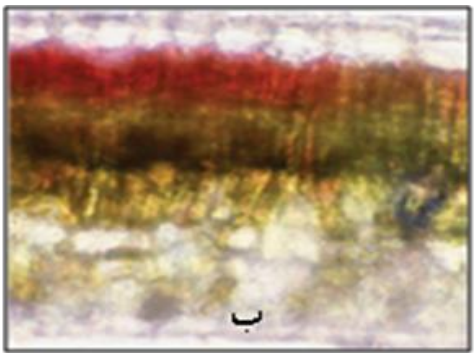
سرخ شدن برگ‌ها یک نمایش بی مانند است که در همه فصل‌ها دیده می‌شود ولی بازتاب آن در پاییز، بیشترین توجه‌ها به خود جلب کرده است (Hughes, 2011). در مناطق سردسیر و معتدله، تغییر رنگ برگ‌ها در پاییز چشم اندازها را به طور کلی دگرگون می‌کند و رنگین کمانی از رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز (شکل۱) ایجاد می‌شود (Archetii *et al.* 2009).

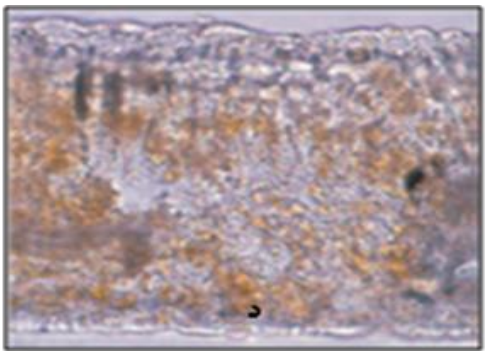
[14] - Phenylalanie
[15]- Ludwig Marquart
[16] - Tyrosine

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

شکل ۱- تغییر رنگ برگ‌ها در پاییز و ایجاد پردیسه‌های زیبا در مناطق معتدله و سردسیر

در حدود ۱۵ درصد گونه‌های درختی مناطق معتدله در پاییز تغییر رنگ می‌دهند و این نسبت در جنگل‌های ایالت‌های شرقی آمریکا به ویژه نیوانگلند[17]، به ۷۰ درصد هم می‌رسد و همین خزان شگفت انگیز و زیبا یک منبع درآمد اقتصادی بسیار بزرگ برای این ایالت‌ها و ایالت‌های همجوار آن در کانادا است (Archetti *et al*. 2013). تغییر رنگ برگ‌ها در پاییز، یکی از پدیده های شگفت انگیز روی کره زمین است که پس از سال‌ها دانشمندان ساز و کارهای آن را دریافتند (Chaney 1997, Ougham *et al*. 2005). این پدیده، پیامد رخدادهایی بسیار پیچیده، هماهنگ، پویا و پیوسته است که با دریافت پیام‌هایی مانند کوتاه شدن طول روز و کاهش دما در پاییز آغاز می‌شود و با تغییرات گسترده در سطح سلولی، مولکولی و سرانجام تغییر در بیان ژن‌ها ادامه می‌یابد (شکل ۲).





شکل ۲- نمای بیرونی (الف) و میکروگراف درونی (ب) تغییر رنگ برگ بلوط قرمز (Red oak (*Quercus rubra*)) و نمای بیرونی (ج) و میکروگراف درونی (د) تغییر رنگ برگ هاما ملیس ویرجینیایی (American witch hazel (*Hamamelis virginiana*))

دستاورد این دگرگونی‌های پیوسته و هدفمند، تغییر چهره طبیعت به ویژه در مناطق سردسیر و معتدله است که چشم اندازهای چشم نوازی (شکل ۱) را پدید می‌آورد (Chaney 1997; Ougham *et al*. 2005).

[17] - New England

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

دریافت پیام‌های محیطی توسط برگ‌ها و آغاز فرآیندهای تغییر رنگ

پیری برگ‌ها و تغییر رنگ آنها یک فرایند بسیار برنامه ریزی شده، سازمان یافته و در عین حال پیچیده است که به طور تنگاتنگی تحت تاثیر عوامل ژنتیکی و محیطی است (Keskitalo *et al*. 2005; Wen *et al*. 2015). برهمکنشی ازچندین عامل مانند ژنتیک، مرحله رشد و نمو گیاه، طول روز، دما، نور، پرتو فرابنفش، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، هورمون‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی، ترکیب رنگدانه‌ها، رنگدانه‌های کمکی، سن برگ، یون‌های فلزی، pH و غیره تغییرات رنگ برگ را تعیین می‌کند (Davies 2004; Ougham *et al*. 2005; Tanaka *et al* 2008; Mlodzinska 2009; Archetti *et al*. 2009). همچنین، تغییر رنگ برگ نه تنها از درختی به درخت دیگر متفاوت است، بلکه حتی بین برگ‌های روی یک شاخه هم تفاوت دارد. در برخی از درختان، حتی در بین بخش‌های یک برگ هم تغییر رنگ دیده می‌شود (Archetti & Brown 2004). در شکل ۳، در روند تغییر رنگ برگ در انجیلی یا درخت آهن که از گونه‌های بومی و انحصاری شمال ایران است، دیده می‌شود.

شکل ۳- تغییر رنگ در برگ‌های انجیلی یا درخت آهن از گونه های انحصاری جنگل‌های شمال ایران

رنگ سبز برگ‌ها در طول تابستان، به دلیل غلظت بیشتر کلروفیل نسبت به دیگر رنگدانه‌ها است (Koike 1990; Chaney *et al*. 1997; Archetii *et al*. 2009; Hoch 2004). در اواخر تابستان و آغاز پاییز، یک سری تغییرات محیطی مانند کوتاه شدن طول روز، کاهش دما و افزایش طول موج‌های آبی و پرتو فرابنفش، پیام‌هایی هستند که توسط گیاهان دریافت شده و باعث ایجاد یک سری تغییرات درونی به ویژه تغییرات هورمونی مانند کاهش تولید اکسین، افزایش تولید اتیلن و افزایش آبسزیک اسید می‌شود. به دنبال این تغییرات هورمونی، سنتز کلروفیل کاهش می‌یابد و سرانجام به طور کامل متوقف می‌شود (Chaney 1997; Ougham *et al*. 2005). به همین دلیل، در برگ‌ها تولید قندها و کربوهیدرات‌ها کاهش می‌یابد و سپس متوقف می‌شود. در گونه‌های گیاهی خزان‌دار، به دنبال این فرایندها، تولید رنگیزه آنتوسیانین آغاز می‌شود (Chaney 1997; Ougham *et al*. 2005). آنتوسیانین‌ها پس از تجزیه حدود نیمی از کلروفیل و پیش از ریزش برگ‌ها، تولید می‌شوند. بنابراین، رنگ قرمز که به دلیل تولید آنتوسیانین‌ها است، از یک فرایند فعال ایجاد می‌شود و پیامد فرایند پیری نیست (Koike 1990; Chaney *et al*. 1997; Hoch 2004; Archetii *et al*. 2009). سرخ شدن برگ‌ها در پاییز و زمستان در همیشه سبزهای علفی، درختان، درختچه‌ها و گیاهان بالارونده در مناطق مدیترانه-ای، معتدله، آلپاین و مناطق قطبی دیده می‌شود. در گونه‌های خزان‌دار برگ‌ها سرانجام ریزش می‌کنند اما در برخی همیشه سبزها، این تغییر رنگ تا چندین ماه ادامه داشته و با گرم شدن در فصل بهار ناپدید می‌شود (Hughes 2011). کارتنوئیدها در طول سال در برگ‌ها حضور دارند اما به دلیل چیرگی کلروفیل دیده نمی‌شوند. در پاییز با کوتاه شدن طول روز و کاهش دما، کلروفیل‌ها تجزیه شده و به متابولیت‌های ثانویه بی رنگ شکسته می‌شوند و در ادامه کارتنوئیدها پدیدار می گردند که مسئول رنگ زرد- نارنجی برگ‌ها در پاییز هستند. در برخی از درختان مانند ژینکو[۱۸]، زیبایی فریبنده پاییزی (شکل ٤) به خاطر کارتنوئیدها است

[18] - *Ginkgo biloba*

(Ougham *et al.* 2005; Matile 2000). نسبت کارتنوئیدها با گونه گیاهی، سن برگ و عوامل محیطی تغییر می‌کند. این رنگیزه‌ها به طور عمده رنگ‌های زرد و نارنجی را ایجاد می‌کنند (Ougham *et al.* 2005).

شکل ٤- تغییر رنگ پاییزی در برگ های ژینکو به دلیل وجود کارتنوئیدها

برخی از درختان و درختچه‌ها دارای برگ‌های رنگی هستند و ارزش زینتی چشمگیری دارند. رنگ برگ این درختان و درختچه‌ها اغلب به دلیل وجود کاروتنوئیدها و آنتوسیانین ها زرد، قرمز و ارغوانی است. همه این گیاهان برای فتوسنتز دارای کلروفیل کافی می‌باشند، اما سطوح کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها بیشتر از مقدار کلروفیل می‌باشد، که باعث می شود رنگشان در حضور کلروفیل دیده شود (Chaney 1997). وجود چنین درختان و درختچه‌هایی برای ایجاد فضای سبز رنگارنگ و متنوع بسیار سودمند است. برای نمونه، زرشک زینتی یکی از گونه‌های بسیار ارزشمند است و به صورت تک نما، پرچین رنگی و یا آرایش‌های هندسی دیگر در فضای سبز به کار می‌رود. همچنین، تغییر رنگ برگ در جنس سه رنگ[19] که بیشتر گونه‌ها آن همیشه سبز هستند، زیبایی خاصی را در پردیسه‌ها ایجاد می‌کند. از این تغییر رنگ به آسانی می‌توان برای طراحی منظر بهره برد و با ترکیبی از گونه‌های خزان‌دار و نیز همیشه سبز، دامنه‌ای از رنگ را در طول سال برای بازدید کنندگان فضای سبز فراهم کرد.

به طور کلی، در نهاندانگان، آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های غالب در ایجاد رنگ قرمز در پاییز و زمستان هستند اما در بازدانگان، رنگدانه‌های عمده درگیر در رنگ سرخ برگ‌ها، کارتنوئیدهای قرمز هستند (Hughes 2011). بنابراین، رنگ های پاییزی به طور عمده توسط آنتوسیانین‌ها (قرمز–ارغوانی) و کارتنوئیدها (زرد–نارنجی) ایجاد می شود (Archetti 2009). به همین دلیل، در ادامه متن، چگونگی نقش این دو رنگیزه مهم در تغییر رنگ برگ‌ها، با جزئیات بیشتری آورده می‌شود.

نقش آنتوسیانین‌ها و عوامل محیطی در تغییر رنگ برگ در گونه‌های خزان‌دار

دمای پایین و شدت نور بالا

در آغاز دیدگاه نادرستی در زمینه تولید آنتوسیانین وجود داشت و تصور بر این بود که آنتوسیانین از شکستن کلروفیل در پاییز ایجاد می‌شود. تولید آنتوسیانین زمانی آغاز می‌شود که رنگیزه کلروفیل به صورت تدریجی تخریب می شود (William *et al.*, 2001). آنتوسیانین‌ها ممکن است در برگ‌ها در تمام مراحل رشد و در هر زمانی از سال دیده شوند. برای نمونه، در برگ‌های جوان بلوط سفید[20] در بهار

[19] -*Photinia* spp.
[20] - *Quercus alba*

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2020-12-15]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]
[Downloaded from flowerjournal.ir on 2020-12-15 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

آنتوسیانین تولید می‌شود. در افرای قندی[۲۱]، آنتوسیانین‌ها در برگ‌های در حال پیر شدن در پاییز تولید می‌شوند (Schanber *et al*. 2003; Hughes 2009). در گیاهانی مانند بلوط سرخ، افرای سرخ (شکل ۲)، نوعی زغال اخته[۲۲] و برخی از دیگر گونه‌های گیاهی که دارای برگ‌های سرخ رنگ در پاییز هستند، نقش آنتوسیانین‌ها در تغییر رنگ برگ ها به روشنی دیده می‌شود (Lee & Gould 2002). برگ های گیاهانی که در مناطق با شدت نور بالا رشد می‌کنند، به دلیل تولید آنتوسیانین در طول زمستان، قرمز رنگ می‌شوند (Carpenter *et al*. 2014). در شرایط آب و هوای پاییزی، آنتوسیانین بیشتری نسبت به سایر رنگدانه‌ها در برگ‌ها دیده می‌شود. تولید آنتوسیانین‌ها با کاهش دما و به دنبال آن روزهای آفتابی درخشان و شب های خنک تحریک می شود (Wojciechowska *et al*. 2014). هر چه روزهای پاییز روشن‌تر و خنک‌تر باشد و شب‌ها سرد باشد (اما نه یخبندان)، تولید آنتوسیانین بیشتر می‌شود که نتیجه آن رنگ های روشن‌تر و درخشان‌تر و پاییزی زیباتر است (Chaney 1997; William *et al*. 2001; Wojciechowska *et al*. 2014). علت این موضوع این است که در این شرایط فتوسنتز انجام می‌شود و قندهای بیشتری تولید می‌شود و افزایش قندها در برگ‌ها به افزایش تولید آنتوسیانین می انجامد. اما اگر در پاییز دماهای یخبندان وجود داشته باشد، باعث مرگ و ریزش برگ‌ها می‌شود و نمایش خوبی از رنگیزه‌ها دیده نمی‌شود (Chaney 1997; Ougham *et al*. 2005).

تجمع آنتوسیانین‌های پاییزی، بیشتر در برگ‌هایی است که در معرض آفتاب مستقیم قرار دارند، در حالی که در برگ هایی که در سایه قرار دارند مقدار تولید آنتوسیانین کم است و یا اصلا تولید نمی‌شود. دلیل این پدیده این است که فتوسنتز به مقدار مناسب در این برگ‌ها انجام نمی‌شود و نیز پرتوهایی که باعث تولید رنگیزه می‌شوند، در دسترس نیستند (William *et al*. 2001). در جانمایی گونه‌های گیاهی برای فضای سبز، به خوبی می‌توان از موقعیت محل پردیسه (آفتاب، سایه، نیم سایه) استفاده کرد و گونه‌ها را به گونه‌ای کاشت که بهترین نمایش را در روزهای پاییزی داشته باشند.

کربوهیدرات‌ها و عناصر غذایی

تولید آنتوسیانین‌ها به شکستن قندها بستگی دارد و شکستن قند در برگ زمانی رخ می‌دهد که سطحی از مواد غذایی خاص در برگ‌ها کاهش پیدا کند. بنابراین، وجود قندها برای تولید و نمایش آنتوسیانین لازم است (Close & Bedale 2003; Schaberg *et al*. 2003). همچنین، یکی دیگر از پیش نیازهای ساخت آنتوسیانین‌ها، کاهش سطح برخی از عناصر غذایی است. در برخی از گونه‌های گیاهی، بخش عمده‌ای از عناصر غذایی در پاییز از برگ‌ها به دیگر قسمت های گیاهان منتقل و ذخیره می‌گردد. این جابه‌جایی و کاهش سطح عناصر ضروری رشد و نمو، به ویژه فسفر و نیتروژن، سبب تولید آنتوسیانین‌ها می‌شود (Close & Bedale 2003; Schaberg *et al*. 2003; Keskitalo *et al*. 2005; Hagen-Thorn *et al*. 2006; Fracheboud *et al*. 2009). کمبود نیتروژن اثر منفی بر کارکرد و راندمان فتوسنتز دارد و سطح آنزیم‌های چرخه کالوین را کاهش می دهد و همچنین باعث بیان ژن‌هایی می‌شود که آنزیم‌های مرتبط با بیوسنتز آنتوسیانین را رمزگذاری می‌کنند. کمبود فسفر نیز باعث افزایش مقدار آنتوسیانین برگ‌ها می‌شود (Close & Bedale 2003).

پرتو فرابنفش و تئوری حفاظت نوری

پرتو فرابنفش (۲۸۰- تا ۳۲۰ نانومتر) در حدود ۷ درصد نور خورشید را تشکیل می‌دهد (Neill 2002; Guo *et al*. 2008). پرتو فرابنفش عاملی است برای تحریک تولید

[21] - *Acer saccharum*
[22] - Red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*)

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

آنتوسیانین. در واکنش به پرتو فرابنفش در گیاهان، ژن‌هایی فعال می‌شوند و سرانجام آنتوسیانین‌ها تولید می‌شوند تا گیاهان را در برابر این اشعه که سبب تخریب پروتئین‌ها، اکسیداسیون چربی‌ها و نوکلئیک اسیدها می‌شود، حفظ کنند (Hoch *et al*. 2001; Neill 2002; Hughes 2005; Guo *et al*. 2008; Montolio 2013). پذیرفته شده‌ترین فرضیه در زمینه نقش آنتوسیانین‌ها در بیشتر گیاهان، حفاظت نوری[۲۳] است (Sims & Gamon 2002; Close & Bedale 2003; Hughes 2005; Hughes 2009; Zhang *et al*. 2010). در واقع آنتوسیانین نقش محافظتی از سیستم فتوسنتزی در برابر پرتو فرابنفش دارد. در چنین مواردی، مقدار انرژی دریافتی بیشتر از مقدار مورد نیاز برای فرایند فتوسنتز است و انرژی اضافی سبب می‌شود که گونه-های فعال اکسیژن[۲۴] تولید شوند و حساسیت به اکسیداسیون نوری[۲۵] فزایش می‌یابد (Hughes 2009). بنابراین، در این شرایط یا آنتوسیانین‌ها تولید می‌شوند یا کارتنوئیدها از طریق چرخه زانتوفیل[۲۶]، مقدار نور را کاهش می‌دهند (Hoch *et al*. 2001). آنتوسیانین‌ها یا به طور مستقیم (مانند یک چتر و یا کرم ضد آفتاب) درگیر کاهش صدمات فتو اکسیداتیو هستند که در شرایط نور شدید (به ویژه پرتو فرابنفش) و دمای پایین رخ می‌دهد و یا به طور غیر مستقیم سبب ربایش گونه‌های فعال اکسیژن می‌شوند (Archetti *et al*. 2009). نقش حفاظتی آنتوسیانین ها در طبیعت به حدی است که این گروه از مواد را چاقوی نظامی سوئیسی طبیعت[۲۷] می‌نامند (Gould 2004). عوامل موثر در تعیین رنگ توسط آنتوسیانین شامل ترکیب با قندهای مختلف، pH واکوئل، افزایش و کاهش سطح یون‌های فلزی و حضور کمک رنگیزه‌هایی مانند فلاونول‌ها و فلاون‌ها، دما، میزان روشنایی، pH خاک، رطوبت خاک و مکان و ارتفاعی که گیاه در آن قرار دارد، می‌باشد (William *et al*. 2001). بدون توجه به این که تولید آنتوسیانین مربوط به کدام از شرایط بالا باشد، تغییر رنگ برگ‌ها در همه زمان‌های سال و به ویژه در پاییز مناطق معتدله و سردسیر، چشم اندازهایی زیبا را ایجاد می‌کند. اوج این زیبایی در جنگل‌های آمیخته[۲۸] (شکل ۱) که ترکیبی از گونه‌های خزان دار و همیشه سبز را دارند، دیده می‌شود. طراحان و مدیران فضای سبز از همین الگوی طبیعی الهام گرفته و پردیسه‌های بی مانندی را ایجاد می‌کنند.

نقش آنتوسیانین‌ها در تغییر رنگ برگ گونه‌های همیشه سبز

برگ بسیاری از گونه‌های پهن برگ همیشه سبز در شرایط نور شدید در زمستان به دلیل تولید آنتوسیانین‌ها، به رنگ قرمز و ارغوانی در می‌آیند (Hughes 2009; Hughes *et al*. 2010). در درختان پهن برگ همیشه سبز نیز آنتوسیانین ها یک نقش موقت حفاظت نوری را در زمان تغییر فصل (در زمستان) بر عهده دارند و چون دمای پایین و شدت نور با هم در این زمان ترکیب می‌شوند، پس تغییر رنگ برگ‌ها خطر تنش نوری یا بازدارندگی نوری[۲۹] را کاهش می‌دهد (Adams *et al*. 2004; Archetii *et al*. 2009; Hughes 2009; Nikiforou *et al*. 2014). در بسیاری از گونه‌های گیاهی همیشه سبز، قرمز شدن برگ‌ها در زمستان موقتی است و دوباره با گرم شدن هوا در فصل بهار، به رنگ سبز در می‌آیند (Hughes 2011). در بررسی چندین درختچه همیشه سبز مانند *Rhododendon maximum*، *Rhododendron catawbiens*، *Kalmia latifolia* و *Leocothoe fontanesiana*، نقش آنتوسیانین‌ها به عنوان محافظت کننده نوری در زمستان گزارش شده است (Hughes & Smith 2007).

[23] - Photoprotection
[24] - Reactive oxygen species (ROS)
[25] - Photooxidation
[26] - Xanthophyll cycle
[27] - Nature's Swiss Army Knife
[28] - Mixed forests
[29] - Photoinhibition

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

نقش آنتوسیانین‌ها در تغییر رنگ برگ‌های جوان

رنگ سرخ برگ‌ها، الزاما با پیری برگ‌ها و پاییز در ارتباط نیست. در گیاهان همیشه سبز و برگ‌های نورسته گیاهان خزان‌دار و همیشه سبز نیز رنگ قرمز تولید می‌شود (Feild *et al*. 2001; Archetii *et al*. 2009). در بسیاری از گونه های درختی و درختچه‌ای، برگ‌های نورسته و در حال توسعه و جوانه‌هایی که در اوایل بهار تازه ظاهر شده‌اند، در آغاز به دلیل حضور آنتوسیانین در برگ‌های نابالغ، سرخ هستند و به تدریج با بلوغ برگ‌ها سبز می‌شوند. این پدیده هم در گونه‌های مناطق گرمسیری و هم گونه‌های مناطق معتدله رخ می‌دهد (Karageorgou & Manetas 2006; Archetii *et al*. 2009). وجود آنتوسیانین‌ها در برگ‌های بسیار جوان برخی گونه‌ها، گذرا است و نقش کلیدی آنتوسیانین در این برگ‌ها به عنوان یک محافظت کننده نوری[30] می‌باشد. بنابراین، در برگ‌های جوان این گونه از گیاهان، محتوای بالایی از آنتوسیانین وجود دارد اما در برگ های بالغ، میزان آنتوسیانین کاهش می‌یابد یا از بین می‌رود (Close *et al*. 2003). در آزمایش‌های گوناگون دیده شده است که محتوای کاروتنوئیدها در برگ‌های جوان حاوی آنتوسیانین، پایین است درحالی‌که میزان کاروتنوئید در برگ های بالغ بیشتر است و این یکی از دلایل حضور آنتوسیانین ها در برگ‌های جوان برخی از گونه‌های گیاهی است (Archetti *et al*. 2009).

نقش کارتنوئیدها

چرخه زانتوفیل و کاهش صدمات نوری

کاروتنوئیدها در طی فصل رشد در برگ‌ها وجود دارند، اما به دلیل وجود کلروفیل دیده نمی‌شوند. همزمان با تخریب کلروفیل، رنگ‌های زرد و نارنجی تولید شده توسط این رنگیزه نمایان می‌شوند (Ougham *et al*., 2005, Archetti *et al*., 2009). کارتنوئیدها در کلروپلاست ساخته می‌شوند و برای حفظ یکپارچگی دستگاه فتوسنتزی ضروری هستند (Tanaka *et al*. 2008). در سلول‌های مزوفیل سبز، کاروتنوئیدها به عنوان رنگیزه‌های کمکی[31] در فرایند فتوسنتز نقش دارند و به ویژه در زمان انتقال انرژی و الکترون درگیر هستند و همچنین از رنگیزه کلروفیل در برابر صدمات ناشی از اکسیداسیون نوری[32] محافظت می‌کنند. کارتنوئیدها به عنوان کمک رنگیزه، نور دریافتی را به کلروفیل b منتقل می‌کنند و و از فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن در شرایط تنش نوری جلوگیری می‌کنند (Ougham *et al*. 2005; Mlodzinska 2009; Jahns & Holzwarth 2012). لوتئین فراوان‌ترین زانتوفیل در گیاهان عالی است و در ربایش گونه‌های فعال اکسیژن نقش دارد (Jahns & Holzwarth 2012). در عدم حضور کارتنوئیدها، به دلیل وجود نور زیاد که به تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌انجامد، برگ‌ها دچار سوختگی نوری[33] می شوند که دلیل آن آسیب دیدن چربی‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است (Davies 2004). در گیاهان عالی، فرایندی به نام چرخه زانتوفیل وجود دارد. در این چرخه، انرژی اضافی مصرف می‌شود و از تخریب دستگاه فتوسنتزی جلوگیری می‌شود. اهمیت چرخه زانتوفیل در سازگاری گونه‌های گیاهی به شرایط نوری، در مورد *Betula pendula*، *Populus tremula* ، *Tilia cordata* و *Arbutus undeo* گزارش شده است (Ninemets *et al*. 1998; Baraldi *et al*. 2008). تحمل به دمای پایین زمستانه در گیاهان همیشه سبز، نیازمند ساز و کارهایی برای کاهش اکسیداسیون نوری است، زیرا در دمای پایین سرعت فرایند فتوسنتز کاهش می‌یابد و نور دریافتی تغییری نمی

[30]- Photoprotective

[31]- Co-pigments
[32]- Photooxidation
[33]- Photobleach

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

کند و احتمال تشکیل گونه های فعال اکسیژن افزایش می یابد (Arora & Rowland 2013). ساز و کارهای رویارویی با تنش ناگهانی دمای پایین نیز در چند گونه درختی و درختچه‌ای همیشه سبز مدیترانه‌ای بررسی شده است و بر نقش چرخه زانتوفیل در کاهش تنش تاکید شده است (Garcia- Plazola *et al*. 2003). اگرچه آنتوسیانین‌ها در پدیدار شدن رنگ قرمز در برگ گیاهان، بیشتر از کارتنوئیدها دیده می‌شوند، اما در برخی گونه‌های گیاهی مانند نوش قرمز آمریکا یا سدر کانو[۳۴]، سوجی یا سدر ژاپن[۳۵] و گونه‌ای شمشاد[۳۶]، در شرایط بازدارندگی نوری، کارتنوئیدهای قرمز تجمع پیدا می‌کنند (Hormaetxe *et al*. 2005). رقمی از سوجی یا سدر ژاپنی به نام 'Elegans'، به دلیل همین تغییر رنگ، یکی از زیباترین سوزنی برگان جهان است و در سطح گسترده‌ای برای اهداف فضای سبز به کار می‌رود. رنگ این رقم در تابستان سبز روشن متمایل به آبی بوده و در زمستان به رنگ برنزه مایل به قرمز در می‌آید (فرهمند، ۱۳۹٤).

نقش بتالائین‌ها

در حالی که رنگ گل، برگ و میوه در بسیاری از گونه‌های گیاهی مربوط به آنتوسیانین‌ها است، در ۱۳ تا ۱۵ تیره در راسته Caryophyllales رنگ گل، میوه و گهگاهی بخش های رویشی به دلیل حضور بتالین‌ها است که جایگزین آنتوسیانین‌ها شده‌اند (Strack *et al*. 2003; Moreno *et al*. 2008; Harrison *et al*. 2010). در این راسته تنها دو تیره Caryophyllaceae و Molluginaceae به جای بتالین‌ها، دارای آنتوسیانین هستند (Strack *et al*. 2003). نبود این رنگیزه در بسیاری از گونه‌های گیاهی، انگیزه انتقال این رنگدانه‌ها را به دیگر گونه‌های گیاهی به ویژه از طریق مهندسی ژنتیک افزایش داده است (Nakatsuka *et al*. 2013; Cabanes *et al*. 2014; Guaadaoui *et al*. 2014). بتالائین‌ها همچنین، در گیاهان زینتی مانند لاله عباسی[۳۷]، ناز آفتابی[۳۸] و گل کاغذی[۳۹] وجود داشته و دامنه-ای از رنگ‌های زرد، قرمز و حتی بنفش را ایجاد می‌کنند (Lee & Gould 2002; Atintzig & Carle 2004; Gandia Hererro *et al*. 2013). جالب است که بتالین‌ها و آنتوسیانین‌ها هرگز با هم در یک گونه گیاهای دیده نشده اند (Han *et al*. 2009).

نقش رنگدانه‌ها در تنش‌های زیستی

با توجه به این که نقش رنگدانه‌ها در تنش‌های زیستی موضوع این مقاله مروری نبوده است، به صورت بسیار خلاصه اشاره‌ای به این موضوع می‌شود. تولید رنگدانه‌ها در برخی گیاهان به نوعی بازتاب دهنده واکنش گونه‌های گیاهی به تنش‌های زیستی مانند گیاه‌خواری (چرا) و آفات است. برای نمونه، بیان شده است که رنگ قرمز تولید شده در برگ برخی گونه‌های گیاهی، هشداری (مانند چراغ قرمز) برای برخی از حشرات است و به همین دلیل چنین گیاهانی کمتر مورد حمله آفات مربوطه قرار می‌گیرند. همچنین وجود آنتوسیانین‌ها در برگ‌های جوان برخی گونه ها برای جلوگیری از حمله بعضی حشرات است، زیرا چنین برگ‌های جوان و لطیفی بهتر می‌توانند توسط برخی آفات خورده شوند. این نوع از سازگاری در اصل به نام تئوری هم تکاملی[۴۰] یا تکامل همگرا نامیده می‌شود که به نوعی بیانگر تکامل دو سویه بین حشرات و گیاهان است (Neil 2002; Archetti *et al*. 2009; Archetti & Brown 2004; Ougham *et al*. 2005; Blackburn 2007; Rolshausen & Schaefer 2007; Mlodzinska 2009; Hughes 2011). در پایان یادآوری می‌شود که رنگدانه

34 - Western red cedar, Canoe cedar (*Thuj aplicata*)
35 - Sugi, Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*)
36 - *Buxus sempervirens*
37 - *Mirabilis jalapa*
38 - *Portulaca grandiflora*
39 - *Bougainvillea* sp.
40 - Coevolution theory

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

هایی مانند آنتوسیانین‌ها، کارتنوئیدها و بتالائین‌ها، نقش بسیار مهمی نیز در اندام‌های زایشی گیاهان و به ویژه رنگ گلبرگ‌ها و کاسبرگ‌ها دارند که برای اهداف گرده افشانی، تشکیل میوه و پخش میوه و بذر توسط حشرات، حیوانات و پرندگان ضروری است.

نتیجه‌گیری نهایی

تغییر رنگ برگ‌ها در پاییز، یکی از پدیده‌های شگفت انگیز روی کره زمین است که پس از سال‌ها دانشمندان ساز و کار های آن را دریافتند. این تغییر رنگ در بیشتر موارد و به ویژه در مورد درختان و درختچه‌های مناطق سردسیر و معتدله، سرآغاز فرایند پیری است و سرانجام با مرگ و ریزش برگ‌ها همراه است. البته تغییر رنگ برگ‌ها در گیاهان، الزاما به معنای پیری نیست و در برگ‌های گونه های همیشه سبز و نیز برگ‌های نورسته گونه‌های همیشه سبز و خزان‌دار، نیز دیده می‌شود. تغییر رنگ برگ‌ها، پیامد رخدادهایی بسیار پیچیده، هماهنگ، پویا و پیوسته است که با دریافت پیام‌هایی مانند کوتاه شدن طول روز، کاهش دما و افزایش طول موج‌های آبی و پرتو فرابنفش در پاییز آغاز می شود و با تغییرات گسترده در سطح سلولی، مولکولی و سرانجام تغییر در بیان ژن‌ها ادامه می‌یابد. چهار گروه از رنگدانه‌ها یا رنگیزه‌ها در تغییر رنگ برگ‌ها درگیر هستند که برخی از آنها همیشه در برگ‌ها وجود داشته و برخی دیگر در شرایط ویژه‌ای از عوامل محیطی و یا در مرحله خاصی از رشد و نمو گیاهان تولید می‌شوند. رنگ سبز برگ ها در طول تابستان، به دلیل غلظت بیشتر کلروفیل نسبت به دیگر رنگدانه‌ها است. در بیشتر درختان و درختچه‌ها، تغییر رنگ برگ به دلیل تولید رنگدانه‌های گروه آنتوسیانین و کارتنوئید و نیز تجزیه کلروفیل است. همچنین، برهمکنشی از چندین عامل مانند ژنتیک، مرحله رشد و نمو گیاه، سن برگ، طول روز، دما، نور، پرتو فرابنفش، رطوبت، ارتفاع از سطح دریا، هورمون‌های گیاهی، کربوهیدرات‌ها، مواد معدنی، ترکیب رنگدانه‌ها، رنگدانه‌های کمکی، یون‌های فلزی و pH تغییرات رنگ برگ را تعیین می‌کنند. تغییر رنگ برگ‌ها در گیاهان در بیشتر موارد، ساز و کاری برای سازگاری‌های گوناگون است که در طول میلیون‌ها سال تکامل در زیست بوم‌های طبیعی ایجاد شده است. تغییر رنگ برگ‌ها در تمام فصل‌های سال و به ویژه در پاییز و زمستان، ویژگی‌هایی زیباشناختی هستند که اهمیت بسیار زیادی از دیدگاه طراحان، مدیران و کاربران فضای سبز دارد. از سوی دیگر رنگ در زندگی انسان‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. به همین دلیل، تلاش‌های زیادی در سطح حرفه‌ای صورت می‌گیرد تا از ترکیب گیاهان زینتی همیشه سبز، نیمه همیشه سبز و خزان‌دار برای پردیسه‌ها و منظرها استفاده شود. افزون بر این، خزان زیبا به ویژه در جنگل‌های بزرگ در برخی از مناطق جهان، از دیدگاه صنعت گردشگری بسیار مهم است و اثرات چشمگیر اقتصادی دارد.

دستورالعمل ترویجی

با توجه به این که هدف این مقاله مروری، بررسی ساز و کارهای درگیر در تغییر رنگ برگ بوده و بررسی نقش رنگ در طراحی فضای سبز، خود نیاز به مقاله‌ای جداگانه دارد، به طور خلاصه پیشنهادهایی ترویجی در این راستا ارائه می-شود. رنگ یکی از عناصر[41] ضروری در طراحی فضای سبز است. در طراحی فضای سبز، علاوه بر کاربرد گیاهان فصلی برای ایجاد تنوع در طول سال، از درختان و درختچه‌ها به طور گسترده‌ای برای افزایش تنوع و کیفیت طراحی استفاده می‌شود. برخی از درختان و درختچه ها مانند زرشک زینتی، به طور کلی دارای برگ‌های رنگی هستند و کاربرد درست و جانمایی اصولی آنها در طرح باعث می‌شود که از این

[41] - Element

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]
[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

ویژگی به خوبی استفاده شود. درختان و درختچه‌هایی مانند انجیلی، ژینکو، درخت آزاد، ذغال اخته، توت معمولی و توت مجنون، توت آمریکایی، درخت لاله، افرای سرخ، افرای قندی، بلوط سرخ، درخت پر یا دودی، درخت آتش یا بامبوی آتشین، دار تالاب، عنبرالسائل، سه رنگ، توری، پده، بید سرخ، چنار، نارون، شاه بلوط، نمدار، تمشک، برخی از هسته دارها، برخی از گونه‌های پسته، سیب‌های زینتی، برخی سپیدارها و بسیاری از گونه‌هایی که بافت ناهمسان فراپوش (Periclinal chimera) هستند و برگ ابلق دارند مانند برگ نو طلایی و ابلق، شمشاد ابلق، سنجد زینتی ابلق، افرای ابلق و نیز سوزنی برگان دارای برگساره زرد و طلایی مانند سرو طلایی، سرو لاوسون طلایی، سدر کاند، برخی از رقم های سدر ژاپنی و...گزینه‌هایی بی‌مانند برای طراحی پردیسه می‌باشند. تغییر رنگ برگ گونه‌های یاد شده، زمانی بیشترین نمایش و زیبایی را دارد که با گیاهان سوزنی برگ همیشه سبزی مانند سروها، کاج‌ها، نوئل‌ها، نرادها، ارس‌ها، سرخدارها و نیز پهن برگان همیشه سبز به صورت آمیخته در فضای سبز کاشته شده باشند. اوج این زیبایی نیز هنگامی دیده می‌شود که در پاییز در مناطق سردسیر و معتدله، یخبندان ناگهانی رخ ندهد زیرا این نوع یخبندان سبب ریزش ناگهانی برگ در گیاهان خزان‌دار می-شود.

منابع

خوشخوی م (۱۳۹۳). اصول نوین باغبانی. انتشارات دانشگاه شیراز. ٦٣٨ صفحه.

روحانی غ (۱۳۹۳). طراحی باغ و احداث فضای سبز. انتشارات فرهنگ جامع. ١٨٤ صفحه.

فرهمند ه (١٣٩٤). درختان و درختچه های زینتی (بازدانگان). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ٤٥٩ صفحه.

کافی م، خان سفید، م (۱۳۸۷). طراحی کاشت منظر (رویکردی حرفه ای به طراحی باغ). ترجمه. انتشارات آییژ. ٢٤٦ صفحه.

نوری ع ر، نوری س، نوری س (۱۳۸۷). هنر باغبانی (ترجمه). انتشارات آییژ. ۲۳۹ صفحه.

Adams WW, Zarter CR, Ebbert V, Demmig-Adams B (2004). Photoprotective strategies of overwintering evergreens. Bioscience. 54: 1-9.

Archetti M. 2009. Phylogenetic analysis reveals a scattered distribution of autumn colors. Ann Bot. 103: 703-713.

Archetti, M, Brown SP (2004). The coevolution theory of autumn colors. Proc R Soc Lond. 271: 1219-1223.

Archetti M, Richardson AD, OKeefe J, Delpierre N (2013). Predicting climate change impacts the amount and duration of autumn colors in a New England forest. PLOS ONE. 8: 1-8.

Archetti M, Doring, TF, Hagen SB, Hughes NM, Leather SR, Lee DW, Lev- Yadun S, Manetas Y, Ougham HJ, Schaberg PG, Thomas H (2009). Unraveling the evolution of autumn colors: an interdisciplinary approach. Trends Ecol Evol. 24: 166-173.

Arora R, Rowland LJ (2013). Physiological research on winter hardiness: Deacclimation resistance,

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

reacclimation ability, photoprotection strategies and a cold acclimation protocol design. HortScience 46: 1070-1078.

Baraldi R, Canaccini F, Cortes S, Magnani F, Rapparini F, Zamboni A, Raddi S (2008). Role of zanthophyll cycle-mediated photoprotection in *Arbutus undeo* plants exposed to water stress during Mediterranean summer. Photosynthetica 48: 378-388.

Bartley GK (2012). Applicability of Chemical Compounds for Reducing Light Stress in Bentgrass. MS.c. Thesis. The University of Tennessee, Knoxville. 81p.

Berardi A, Frey FM, Denton EM, Wells JH (2013). Betalain color morphs exhibit differential growth rate, defensive ability, and pollen tube growth rates in *Mirabilis jalapa* (Nyctaginaceae). Int J Plant Sci. 174: 1229-1238.

Blackburn GA (2007). Hyperspectal remote sensing of plant pigments. J Exp Bot. 58: 855-867.

Cabanes F, Gandia-Herrero J, Edscribano J, Garcia-Carmona F, Jimenes-Atienzar M (2014). One-step synthesis of betalains using a novel betalamic acid derivatized support. J Agric Food Chem. 62: 3776-3782.

Carpenter KL, Keidel TS, Pihl MC, Hughes NM (2014). Support for a photopropective function of winter leaf reddening in nitrogen-deficient individuals of *Lonicera japonica*. Molecules 19: 17810-17828.

Chaney WR (1997). Why leaves Change color-The Physiological Basis. Department of Forestry and Natural Resources. Purdue University. Available at: www.fnr.prdue.edu

Close DC, Bedale CL (2003). The Ecophysiology of Foliar Anthocyanin. The Botanical Review 69:149-161.

Davies KM (2004). Plant Pigments and Their Manipulation. Ann. Plant Rev. Vol. 14. Blackwell Polishing Ltd. 369p.

Delagado-Vergas F, Jimenes AR, Paredes-Lopez O (2000). Natural pigments: Carotenoids, Anthocyanins and Betalains- characteristics, biosynthesis, processing and stability. Critical Rev. Food Sci Nut. 40: 173-289.

Feild TS, Lee DW, Holbrook NM (2001). Why leaves turn red in autumn. The role of anthocyanins in senescing leaves of red-osier dogwood. Plant Physiol. 127: 566-574.

Fracheboud Y, Luquez V, Bjorken L, Sjodin A, Tuominen H, Jansson S (2009). The control of autumn senescence in European aspen. Plant Physiol. 149: 1982-1991.

Gandia-Herrero F, Garcia- Carmona F (2013). Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. Trends in Plant Science 18: 334-343.

Garcia-Plazola JI, Olano JM, Hernandez A (2003). Photoprotection in evergreen Mediterranean plants during sudden periods of intense cold weather. Trees 17: 285-291.

Gould KS (2004). Nature's Swiss army knife: The diverse protective roles of anthocyanins in leaves. J Biomed Biotech. 5: 314-320.

Guaadaoui A, Saddik R, Bouali A, Boukhatem N, Benchat N, Hamal A (2014). Betalains polyacetylenes and tocols as biocomponactives: A concise review for enriching the bioactivity concept. Int J Nu Food

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

Sci. 3: 230-237.

Guo J, Han W, Wang MH (2008). Ultraviolet and environmental stresses in the induction and regulation of anthocyanin biosynthesis: a review. Afric J Biotech. 7: 4966-4972.

Hagen-Thorn A, Varnagirte I, Nihlgard B, Aromalaitis K (2006). Autumn nutrient resorption in four deciduous forest tree species. Forest Ecol Man. 228: 33-39.

Han XH, Gao ZJ, Xiao XG (2009). Enzymes and genes involved in the batalain biosynthesis in higher plants. Afric J Biotech. 8: 6735-6744.

Harisson D, Kochanek J, Joyce D (2010). Understanding the Chemical Basis of flower color in Australian native *Ptilotus* and *Gomphrena*. Final Research Report. Australia Flora Foundation. Center for Native Floriculture. School of Land, Crop and Food Sciences. The University of Queensland.10p.

Hoch W (2004). Leaf color change in autumn. University of Wisconsin garden facts. Wisconsin Cooperative Extension. Wisconsin University.

Hormaetxe K, Mara Becerril J, Fleck I, Pinto M, Garcia-Plazaola JI (2005). Functional role of red (retro)-carotenoids as passive light filters in the leaves of *Buxus sempervirens* L.: increased protection of photosynthetic tissues? J Exp Bot. 56: 2629-2636.

Hughes NM (2009). The Photoprotective Role of Anthocyanin Pigments in Leaf Tissue. Ph.D. Thesis. Department of Biology, Wake Forest University. 169p.

Hughes NM (2011). Winter leaf reddening in evergreen species. New Phytol. 190: 573-581.

Hughes NM, Neufeld HS, Berkey KO (2005). Functional roles of anthocyanins in high-light winter leaves of the evergreen herb *Galax urceolata*. New Phytol. 168: 575-587.

Hughes NM, Smith WK (2007). Seasonal photosynthesis and anthocyanin production in 10 broadleaf evergreen species. Func Plant Biol. 34: 1072-1079.

Jahns P, Holzwarth AR (2012). The role of the xanthophyll cycle and lutein in photoprotection of photosystem II (Review). Biochimica et Biophysica Acta. 1817: 182-193.

Jain J, Gould KS (2015). Functional significance of betalain biosynthesis in leaves of *Disphyma austral* under salinity stress. Environ Exp Bot. 109: 131-140.

Kaufman AJ, Lohr VI (2004). Does plant color affect emotional and psychological responses to landscape? Proc. XXVI IHC, Horticulture, Human well-being and life quality. Acta Hort. 639: 229-223.

Keskitalo J, Bergquist G, Gardestrum P, Jansson S (2005). A cellular timetable of autumn senescence. Plant Physiol. 139: 1635-1648.

Koike T (1990). Autumn coloring, photosynthetic performance and leaf development of deciduous broad-leaves trees in relation to forest succession. Tree Physiol. 7: 21-32.

Lee DW, Keefe JO, Holbrook MN, Field TS (2003). Pigment dynamics and autumn leaf senescence in New England forest, Eastern USA. Ecol Res. 18: 677-694.

Manetas Y, Drinia A, Petropoulou Y (2002). High contents of anthocyanins in young leaves are correlated with low pools of xanthophylls cycle components and low risk of photoinhibition.

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

Photosynthetica 40:349-354.

Matile P (2000). Biochemistry of Indian summer: Physiology of autumnal lead coloration (Review). Exp Gerontol. 35: 145-158.

Mlodzinska E (2009). Survey of plant pigments: molecular and environmental determination of plant colors. Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica 51: 7-16.

Moreno DA, Garcia-Viguera C, Gil JI, Gil-Izquierdo A (2008). Betalains in the era of agri-food science, technology and nutritional health. Phytochem Rev. 7: 161-280.

Nakatsuka T, Yamada E, Takahashi H, Imamura T, Suzuki M, Ozeki Y, Tsujimura I, Sakamoto Y, Sasaki N (2013). Genetic engineering of yellow betalain pigments beyond the species barrier. Scientific Reports.

Neil SO (2002). The Functional Role of anthocyanins in Leaves. Ph.D. Thesis. Scholl of Biological Science, University of Auckland. New Zealand. 196p.

Niliforou C, Pilippou P, Menetas Y, Fotopoulos V (2014). Winter leaf redness in mastic tree (*Pistacia lentiscus* L.) is asociayed with increased cellular damaged levels and modified nitric oxide and hydrogen peroxide biosynthesis. Adv Plants Agric Res. 1: 1-5.

Ninemets U, Bilger W, Kull O, Tenhunen JD (1998). Acclimation to high irradiance in temperate deciduous trees in the field: changes in xanthophyll cycle pool size and in photosynthetic capacity along a canopy light gradient. Plant, Cell and Environ. 21: 1205-1218.

Nisar N, Li L, Lu S, Khin NC, Pogson BJ (2015). Carotenoid metabolism in plants. Molecular Plant 8: 68-82.

Pale V (2011). Improving the Optical Properties of Chlorophyll Aggregates with Supramolecular Design. MS.C. Thesis. School of Electronic Engineering. Aalto University. 60p.

Queenborough SA, Metz MR, Valencia R, Wright SJ (2013). Demographic consequences of chromatic leaf defence in tropical tree communities: do red young leave increase growth and survival? Ann Bot. 112: 677-684.

Ougham H, Morris P, Thomas H (2005). The colors of autumn leaves as symptoms of cellular recycling and defenses against environmental stresses. Current Topics in Developmental Biol. 66:135-160.

Ravichandran K, Thaw Saw NMM, Mohdaly AAA, Gabr AAM, Kastell A, Riedel H, Cai Z, Knorr D, Smetanska I (2013). Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity. Food Res Int. 50: 670-675.

Rolshausen G, Schaefer HM (2007). Do aphids paint the tree red (or yellow) - can herbivore resistance or photoprotection explain colorful leaves in autumn? Plant Ecol. 191: 77-84.

Rosati C, Diretto G, Giuliano G (2009). Biosynthesis and Engineering of Carotenoids and Apocartenoids in Plants: State of the Art and Future Prospects. Biotech Gen Eng Rev. 26: 151-174.

Schaberg PG, Van Den Berg AK, Murakami PF, Shane JB, Donnelly JR (2003). Factors influencing red expression in autumn foliage of sugar maple trees. Tree Physiol. 23: 325-333.

Stintzig FC, Carle R (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and human nutrition. Trends in Food Sci Technol. 15: 19-38.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2020-12-15 at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

Strack D, Voght T, Schliemann W (2003). Recent advances in betalain research. Phytochemistry. 62: 247-269.

Swarna J, Lokewari TS, Smita M, Ravindhran R (2013). Characterization and determination of in vitro antioxidant potential of betalains from *Talinum triangulare* (Jack.) Wild. Food Chem.141: 4382-4390.

Tanaka Y, Sakaki N, Ohmiya A (2008). Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. The Plant Journal. 54: 733-749.

Wen C.H, Lin SS, Chu FH (2015). Transcriptome analysis of a subtropical deciduous tree: autumn leaf senescence gene expression profile of Formosan gum. Plant Cell Physiol. 56: 163-174.

William A, Zeidan L, Brent H (2001). Physiological significance of anthocyanins during autumnal leaf senescence. Tree Physiol. 21:1-8.

Wojciechowska R, Skowronek K, Kolton A, Czaja M (2014). Some physiological changes in *Parcthenocissus inserta* growing in urban conditions. Proceeding of International Symposium on Plants in Urban Areas and Landscape. Faculty of Horticulture and Landscape Engineering. Slovak University of Agriculture. 20-23.

Xu H (2013). Study on color in landscape architecture. In: Yang, Y. and M. Ma (Eds.). Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 223-229.

Zhang KM, Yu HJ, Xhou YH, Yu JQ, Xia XJ (2010). Photoprotective role of anthocyanin in *Begonia semperflorens*. Plant Science. 179: 202-208.

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

The Role of Pigments and the Putative Mechanisms Involved in Plants' Leaf Color Change and its Importance in Landscape

Farahmand Homayoun*, Mehdikhani Najmeh

Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.

* homayoun.farahmnad@gmail.com

[Downloaded from flowerjournal.ir at 23:07 +0330 on Tuesday December 15th 2020]

[DOR: 20.1001.1.26765993.1395.1.1.6.9]

Abstract

Plant pigments are chemical compounds that absorb or reflect light in visible spectrum. Four important plant pigments include chlorophylls, anthocyanins, carotenoids and betalains. Leaf color change is an amazing phenomenon on the earth which is spectacular especially during autumn in cool and temperate zones. Leaf color change is not merely restricted to deciduous species but also it occurs in evergreen species and new emerging shoots of both deciduous and evergreen ones. These changes are the consequence of very complex, harmonious and dynamic occurrences which are triggered by perception of some signals such as short days, low temperature and the increment of blue and violet wavelengths in autumn followed by extensive changes at cellular, molecular and ultimately gene expression. The interaction of some factors such as genetic base, growth and developmental stage, leaf life, day length, temperature, light intensity, UV, relative humidity, elevation, plant hormones, carbohydrates, minerals, pigment combination, co-pigments, metal ions, pH determine leaf color change. Reduction in auxin synthesis, the increase of ethylene and abscisic acid and the reduction of nitrogen and phosphorus are among internal changes occurring during leaf color change especially in autumn. Although, leaf color change in deciduous species is associated with senescence but this process is not necessarily related to senescence. It is generally accepted that leaf color change is closely linked with adaptation mechanisms against various stresses including light stress, UV, low and high temperature, herbivory. Color is an important element in landscape design. Therefore, plant species particularly trees and shrubs with colored leaves or elegant autumn are very important from aesthetic perspective and are extensively used for landscape purposes worldwide. Furthermore, leaf color change is significant from economic viewpoint and in some regions of temperate zones, a considerable income is obtained due to tourism importance of deciduous forests.

Key words: Landscape, Leaf color, Plant pigments.