

Gizemli Kimya Ortanca Çiçeklerinin Rengini Belirliyor

Temel Kaynak: Henry Schreiber, American Scientist, Nov-Dec 2014, Vol.103, No: 6, p: 444

Hazırlayanlar: Gülnur Polat, Mustafa Tunçgenç, Ocak 2021

Çiçeklerdeki renk çeşitliliği etkileyen nedenler hem toprağın pH'sına ve hem de toprağa verilen katkı maddelerine kadar gerilere uzanır. Farklı pH ve kimyasal katkı kombinasyonları ile doğada daha önce görülmemiş yeni renkler üretilebilir mi?

Dünyanın en popüler süs bitkilerinden biri, biyolojik ve biyokimyasal sürprizlerden oluşan bir kombinasyonu bünyesinde barındırır. "Kartopu" şeklindeki çiçekleriyle *hydragea macrophylla* yani BÜYÜK YAPRAKLI ORTANCA arka bahçelerin ortak ögesidir. Büyük yapraklı ortanca çiçeği ile yakın akraba olan birçok diğer tür, aynı zamanda hem peyzaj hem de kesme çiçek pazarında rağbet görmelerine neden olan, bol, gösterişli ve uzun ömürlü çiçekleriyle bilinirler. Ve popüleriteleri artmaya devam ediyor: Her yıl, bahçe hobisi ile ilgili basılan dergiler bu cazip bitkilerin yeni çeşitlerini kayıtlarına ekliyor.

Başka çiçeklerin çoğunda yeşil olan çanak yapraklar, ortancalarda, çiçek olgunlaşma sürecinde dönüşüme uğrayarak, ortancanın türüne göre pembe, kırmızı veya mavi renklere bürünürler. Yani, ortanca çiçeğinde gördüğümüz renkli yapraklar sanıldığı gibi taç yapraklar değil, dönüşüme uğramış olan çanak yapraklardır.

Bitkiyi cazip hale getiren şey ortanca toplarının renkleridir: Pembeden maviye, lavanta tonlarından mora ve yeşil ile beyaz arasındaki renklere kadar uzanır. Renk yoğunlukları renk tonunu canlı renklerden pastel renklere kadar çeşitlendirir. Ortanca çiçeğinin renk cümbüşünde gözlenemeyen renkler sarı ve portakal rengidir.

Öte yandan, ortanca renkleri de gördükleri gibi değildir; Ortancanın aldığı farklı renkleri, gül veya lalede olduğu gibi farklı pigmentler belirlemez. Tursunol kağıdında (çözeltilerin asidik veya bazik olup olmadığını belirlemek için klasik olarak kullanılan kimyasal işlemde geçirilmiş şeritler) görülen renklerle daha yakından ilgilidirler. Moleküler düzeyde, asitler proton (veya hidrojen iyonu) vericileridir ve bazlarsa kimyasal reaksiyonlarda proton alıcısıdır. Mavi renkli bir turnusol kâğıdı asidik yani pH değeri 7'den küçük olan bir çözeltiye daldırıldığında (pH, hidrojen iyonlarının konsantrasyonunun bir ölçütüdür), kâğıt kırmızıya dönerken, bazik bir çözeltinin varlığında (pH > 7) turnusol kâğıdı maviye döner.

Benzer biçimde birçok ortancanın renginin, üzerinde yetiştiği toprağın doğal pH indikatörü gibi davrandığını görürüz. Bu çiçeklerin yaprakları ortanca ağacı şayet asidik toprakta yetiştiyse mavi buna mukabil bazik veya nötr toprakta yetiştiyse kırmızı veya pembe rengi alır. Ortanca çiçeğinin rengi toprağın pH sınını gösterir fakat renk sıkalası turnusol kağıdındaki tersi şekilde davranır. Ortanca çiçeği

toprağın asidite durumunu gösterme konusundaki özelliğiyle eşsiz bir konuma sahiptir.

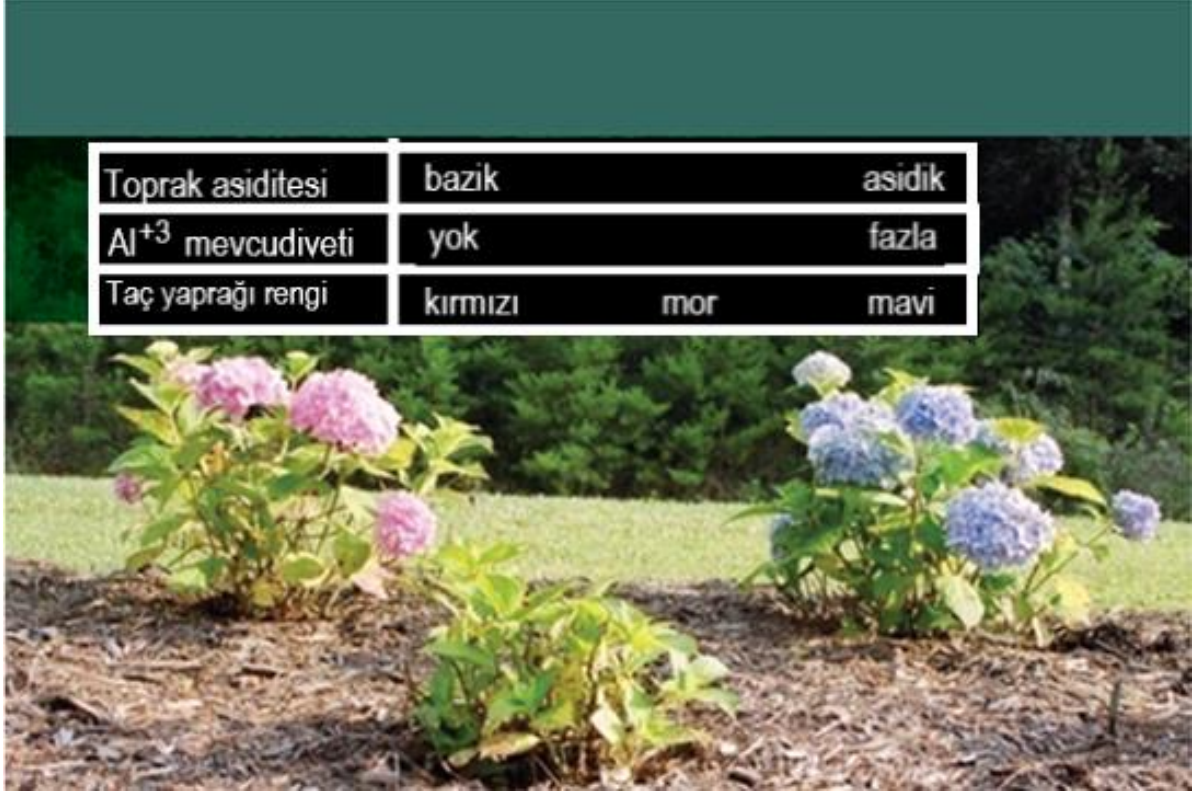
Ortancanın bu özelliğinden dolayı bahçıvanlar, toprağa katkı maddeleri ilave ederek ortanca çiçek renklerini kimyasal olarak manipüle edebilirler. Esasen aynı ortanca grubu kökü farklı pH değerinde topraklarda bulunuyorsa çiçekleri farklı renklere bürünebilir. Ortancanın rengini pembeden maviye çevirmede kullanılan çok sayıda ortanca reçetesi vardır: Bunlardan bazıları toprağa sirke veya limon suyu dökmektir. Reçeteleri, bitkinin kökünü kahve ile örtmek, limon kabuğu rendelemek veya çam ağacı yaprakları ile kökü örtmek şeklinde çoğaltılmak mümkün; toprağa paslı çivi, eski teneke kutu ya da bakır para gömme de bu yöntemlerden bazıları. Bütün bu stratejiler, toprağı daha asidik hale getirme yönünde etki yaparlar ve sonunda çiçek mavi renk alır.

Bununla birlikte, ortanca renklerinin oluşumu daha da karmaşıktır. Toprağın asiditesi, renk değişiminin altında yatan asıl kimyasal mekanizma değildir. Cevap daha derinlerde, toprak kompozisyonu ile çanak yaprağın arasındaki ilişkidir. Bu, çiçekli bitkilerin biyokimyası üzerine devam eden araştırmalarımıza ilham veren bir bağlantıdır.

Anahtar Metal

Ortanca renkleri, son tahlilde, toprağın içinde alüminyum iyonlarının (Al^{3+}) bulunup bulunmadığına bağlıdır. Alüminyumun rolü 1940'lardan beri biliniyordu, ancak, bu bilgi, son yirmi yıla kadar yaygın kullanılan bitki kültürü literatüründe yer almadı ve kesin mekanizma ancak yakın zamanda tanımlanabildi. Alüminyum iyonları, tepkimeye girebilecekleri diğer iyonların toprakta mevcut olmaları durumunda asidik topraklarda hareket halinde olurlar; bu durumda ortancanın bünyesine girerler, tomurcuğa ulaşarak kırmızı pigmentle etkileşime girebilirler. Ancak, nötr ila bazik topraklarda, alüminyum iyonları, ortamdaki hidroksit iyonlarıyla (OH^-) birleşerek hareketsiz alüminyum hidroksit, $Al(OH)_3$ bileşiğini oluştururlar. Sonuç olarak, ortanca çiçeklerinin mavi olması için hem alüminyum iyonlarına hem de asidik toprağa ihtiyaç vardır. Mavi renk oluşumu için en iyi toprak katkısı hem alüminyum sağlayan hem de asitlik veren alüminyum sülfat, $Al_2(SO_4)_3$ yani şaptır. Tersine, eğer mavi çiçek açan ortayı kırmızı çiçek haline getirmek isteniyorsa, toprağa sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit, $Ca(OH)_2$) ekleyerek, toprak bazik duruma getirilir ve istenen renk dönüşümü sağlanır.

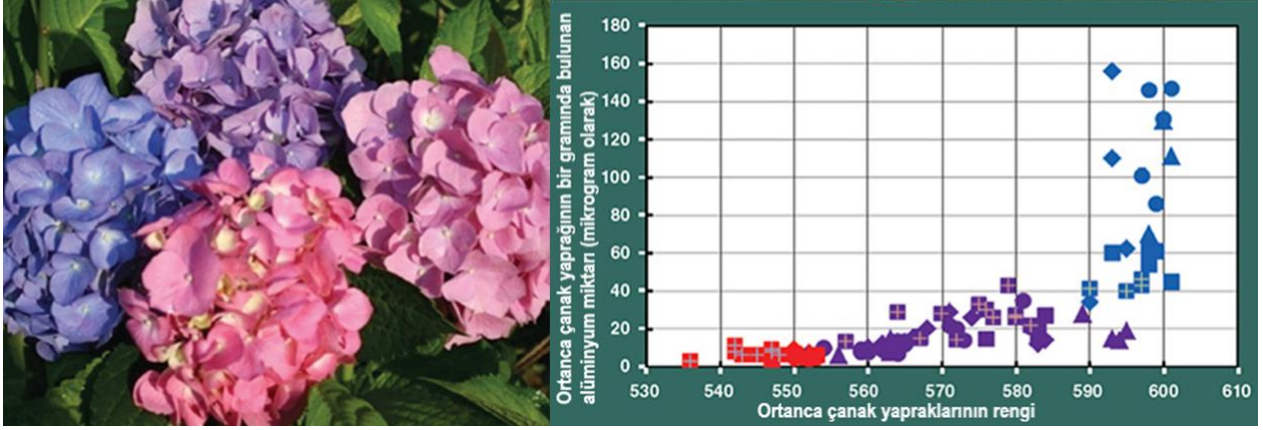
Bununla birlikte, kırmızıdan maviye veya maviden kırmızıya doğru bu zorlamalı renk değişiklikleri anında gerçekleşmez; Bir çiçek bahçesindeki otsu bitkilerde istenilen rengi yerleştirmek genellikle bir ya da iki mevsim gerektirir. Oluşan mavi renklenmeyi sürdürmek için de ortancalar düzenli olarak, içine iri çakıl büyüklüğündeki şap ($Al_2(SO_4)_3$) taşları konulan suyla sulanmalıdır. Ama, bitkinin ihtiyacı olanın çok ötesinde sulama durumunda fazla Al^{3+} iyonunun bitkiyi öldürebileceği de unutulmamalıdır.



"Sonsuz Yaz" adıyla da anılan ortanca türünün rengi toprağın pH'sına bağlı olarak değişir. Nötr topraklardan bazık tarafa doğru gidildikçe (yani pH değeri 7 ve üzerine doğru büyüdükçe) pembe ve kırmızı, asidik koşullar oluştuğunda da (yani pH değeri 7'nin altına indikçe) mavi çiçekler oluşur. Ama, aslında, renk değişiminin altında yatan mekanizmayı, sadece asidik koşullarda toprak içinde hareket edebilen alüminyum iyonlarının (Al³⁺) toprakta bulunmasının belirlediği anlaşılmıştır.

Alüminyumun kimyası, topraktaki asitli ve bazık koşullar altında farklı özelliklerini ortaya koyar. Asidik topraklarda, alüminyum, Al³⁺ iyonlarının merkezde bulunduğu, diğer moleküllerin bağlı halde çevresine dizildiği koordinasyon komplekslerinin içinde ortaya çıkar. Bu tür ortamlardaki alüminyum iyonları topraktan bitkinin bünyesine geçebilir. Fakat nötr ila bazık pH'da, alüminyum alüminyum hidroksit olarak çöker ve bitkiye geçmek için kullanışsız bir hale gelir. Asidik ile bazık pH'lar arasında kalan geçiş bölgelerindeki pH'a sahip topraklarda, alüminyum iyonlarının az bir kısmı bitkiye geçer ve çiçekler lavanta rengi, morumsu kırmızı ve mor renklere sahip olurlar.

Bitkilerin yetiştirilmesinde yararlanılan topraksız besi sıvıları olan hidroponik sistemler gibi aşırı yüksek pH değerine sahip yani çok bazık olan koşullarda alüminyum, tetrahidroksialuminat iyonu (Al(OH)₄⁻) formunda bulunur. Bu, alüminyum için kararlı bir iyonik konumdur ve yüksek pH'a rağmen alüminyum çökmez. Dolayısıyla, toprak içinde, bitkiye doğru hareketlenebilir. Bu aşırı yüksek pH ortamlarında, ortanca bitkisi, kısa bir süre mavi çiçeklere sahip olur fakat ardından, hücre hasarı nedeniyle ölür. Diğer taraftan, Yüksek fosfat içerikli gübreler verilmesi, toprak asidik olsa da, ortancanın mavi çiçek vermesini önler. Çünkü, bu ortamda alüminyum, çözünürlüğü düşük olan alüminyum fosfata dönüşür ve topraktan bitkiye geçmesi engellenebilir.



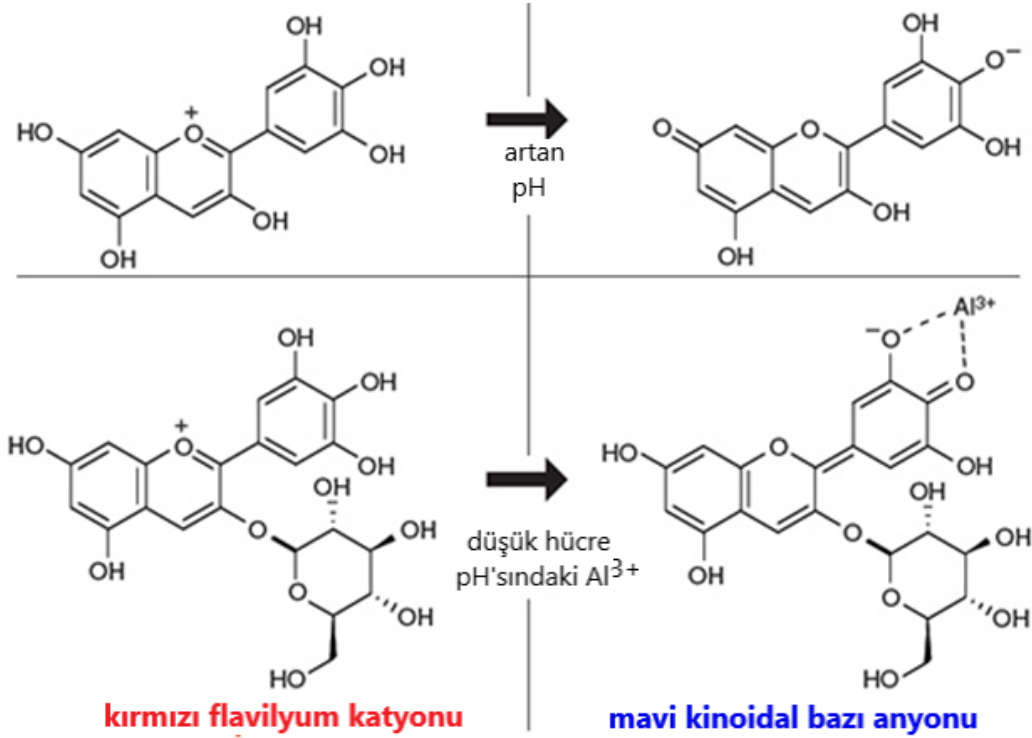
Renkten bağımsız olarak bir ortanca çiçeği içinde bulunan pigment miktarı aynıdır. "Mavi Tuna" çeşidi ortancanın çanak yaprağının bir gramı başına her zaman 140 ila 180 mikrogram pigment bulunur. Aynı türün farklı renklerde çiçek açmasındaki tek farklılık, çanak yapraklarındaki alüminyum içeriğidir. Grafikte gösterildiği gibi mavi renk için taze tç yaprağının bir gramında en az 40 mikrogram alüminyuma ihtiyaç vardır. Ancak alüminyum miktarının daha da artması rengi daha mavi yapmaz. Lavanta renginden mora uzanan ara renklerde, yapraklardaki alüminyum oranı bu değerden biraz altındadır.

Tek Bir Pigment

Bir bitkinin çiçeğinin farklı renklerde olduğu durumlarda, genellikle altta yatan sebep, farklı pigmentlerin mevcut olması veya bunların birbirlerine oranlarının farklı olmasıdır. Ama, ortancadaki durum kendine özgüdür. Çünkü farklı renkler tek bir pigment olan delphinidin-3-glukozitten kaynaklanır. Bu pigment antosiyanin ailesinden bir pigmenttir. Antosiyanin, aynı zamanda, sonbaharda yaprakları kırmızıya çeviren ve meyveleri renklendiren pigmenttir.

Diğer antosiyaninlerde olduğu gibi delphinidin-3-glucosidinin rengi de moleküler yapının bir fonksiyonudur ve bu yapı soğurulan dalga boyunu belirler. Antosiyaninlerin merkezinde, üzerinde bir oksijen bulunan ve düşük pH değerlerinde aflavilum katyonu adı verilen üç halkalı bir karbon zinciri bulunur. Bu zincire çeşitli şeker molekülleri de bağlıdır. Ortam pH değeri değiştikçe antosiyanin bir ya da daha fazla hidrojen iyonunu kaybeder ve bu da oluşan rengi tayin eder.

Hücrenin içerisindeki pigment seviyesinde olan değişiklikler, toprak pH'sının doğrudan renk değişiminden sorumlu olmadığını, fakat kullanılabilir alüminyum iyonu mevcudiyetinin işareti olduğunu gösterir. Hücre içindeki pH kırmızı ve mavi çanak yapraklar için sabit değerlere sahiptir. Flavilyum katyonu, düşük pH'da kırmızı renkte ve kararlı yapıdadır. Asidik koşullar altında çiçek rengi mavi uca kayar. Nötr koşullar altındaysa, molekül bir hidrojen iyonunu kaybeder, çift bağlarının dizilimi değişir ve akinoidal baz olarak adlandırılan mor forma dönüşür. Bazik pH'larda bir hidrojen iyonunu daha kaybeder, çift bağlarının dizilimi değişir ve kinoidal baz anyonu adı verilen mavi renkli yapı ortaya çıkar.

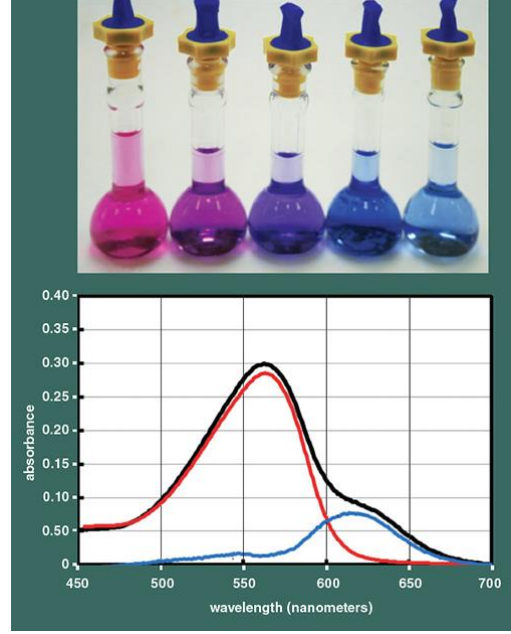


Ortanca pigmentinin rengini maviye dönüştürmenin iki yöntemi vardır. Pigmentin, flavilyum kasyonu adı verilen ve asidik durumda kırmızı olan merkezi bölümü (Üst solda), pH artınca, iki hidrojen iyonunu yitirir ve çift bağlarının diziliminin değişmesiyle mavi renkteki kinoidal baz anyonunu oluşturur (Üst sağda). Ortancadaki delphinidin-3-glukozit adı verilen pigmenti oluşturan aynı flavilyum kasyonu, hücrenin iç koşulları asidikken alüminyum iyonlarıyla karşılaşır ve alüminyumla bir kompleks oluşturarak yine mavi rengin oluşmasına yol açan bir anyon oluşturur.

Öte yandan, çalışmalar, bu mavi kinoidal baz anyonun asidik bir hücre ortamında stabilize edilmesinin bir yolunun olduğunu göstermiştir. Alüminyum iyonları normalde kırmızı olan pigmentle bir kompleks oluşturur, ayrıca sağdaki şekilde delphinidin-3-glukozit için de gösterildiği gibi ek mavi renk oluşumu ile sonuçlanır. Bir kez daha, Al³⁺ iyonunun varlığı, ortanca çanak yapraklarının hem moleküler düzeyde hem de tarlada mavileşmesinde anahtar haline gelir. Varlığı, mavi yapıyı oluşturmak için hücreler içinde yüksek bir pH'ya olan ihtiyacı ortadan kaldırır.

Al³⁺ + -antosiyenin kompleksinin tam doğasını bulmak için araştırma grubu, asitli etanolü bir çözücü olarak kullanarak kimyasal modelleme çalışmalarını yürüttü (Antosiyeninler, kimyasallarla pigmentler gibi davranmayan *kalkonlar* diye adlandırılan sarımsı ila renksiz yapıları oluşturmak için su ile reaksiyona girer, bu yüzden su bir çözücü olarak kolaylıkla kullanılamaz). Oluşturulan asidik koşullarda, sabit bir delphinidin konsantrasyonuna veya delphinidin-3-glukozit'e eklenen alüminyum klorür alüminyum iyonlarına parçalanır

Sağdaki şekil, solvent içindeki delphinidine giderek artan miktarlarda Al^{3+} eklendiği bir dizi örneği göstermektedir. Al^{3+} artışına paralel olarak renk, sistematik olarak kırmızıdan önce morun değişik tonlarına, sonra da maviye değişir. Bir kez mavi oluştuğunda daha da artan Al^{3+} ile mavinin yoğunluğu artmaz. Çalışmada, moleküllerin yüksek enerjili bir görünür ışık ile uyarılıp, yapılarına göre farklı dalga boyunda ışığı soğurdıkları bir spektroskopi yöntemi kullanıldı. Bu veriler, Al^{3+} 'ün delphinidine kompleksleştirildiği mekanizmayı çözmeyi olanaklı kıldı. Yaklaşık 620 nanometre dalga boyundaki zirve, alüminyum ile kompleks yapan mavi kinoidal baz anyonunun karakteristiğidir. Al^{3+} miktarı arttıkça, bu tepenin yoğunluğu (veya kompleks miktarı) artar, ancak nihayetinde platolar oluşur.



Şeklin alt kısmındaki grafikteki siyah eğri toplam ışık soğurmasını, kırmızı eğri flavilyum katyonunun soğurmasını, mavi eğri ise Al^{3+} mevcudiyetinde oluşan kinoidal bazı anyonunun soğurmasını göstermektedir.

Al^{3+} -delfinidin kompleksinin yapısını tam olarak anlamak için, araştırmacılar, flavilyum katyonunun neden bir renk geçişine uğradığını incelediler. Veriler, ne kadar Al^{3+} eklendiğinden bağımsız olarak, delfinidin moleküllerinin sadece yarısının Al^{3+} ile kompleksler oluşturduğunu (dolayısıyla mavi kinoidal baz anyonu yapıları yaptığını) gösterdi. Gerek Al^{3+} -delfinidin kompleksinin tükenmesi, gerekse kinoidal baz anyonu miktarının artması süreçleri, mavi rengin baskın çıkmasında eşit rol oynamaktadır.

Al^{3+} -delfinidin yarısından oluşan kinoidal baz anyonu birincil mavi kompleksi oluşturur. Kompleksin, artırılmış mavileşmeye yol açan ikinci bir kısmı, flavilyum katyonunun kalan yarısının, bu birincil kompleks üzerinde ikimci bir katman olarak istiflenmesinden kaynaklanır. Flavilyum katyonu ve kinoidal baz anyonu, sadece karşıt yüklerinden kaynaklanan elektrostatik çekim ile değil, aynı zamanda halkalı yapıları benzer olduğu için de birlikte tutulurlar, moleküllerin elektron orbitalleri daha öte stabilizasyon sağlamak üzere birbirlerine göre hizalanmış olabilirler. Böylece, hem bir kimyasal bir mekanizma oluşturulmuş hem de mavileşme için bir model üretilmiş oldu.

Unutmamak gerekir ki, Al^{3+} 'ün, kompleks için merkezi bir iyon olarak değil, muhtemelen çanak yaprak hücrelerindeki bir fosfat ağına bağlanan bir çapa görevi gördüğünü unutmayın. Aslında, alüminyum iyonunun rengi oluşturan değil stabilize eden madde olduğu görülmüş oldu. Bu nedenle, Al^{3+} iyonunun yerini başka metal iyonlarının alması rengi değiştirmeyecektir. Testler, skandiyum, galyum, kalay, molibden, uranyum ve diğer metal iyonlarının da delfinidine benzer etkileşmeye girdiklerini ve mavi kompleksler oluşturduklarını gösterdi. Diğer bir deyişle, mavileşmede kritik olanın iki katmanlı istiflenmeye yol açan aynı kimyasal mekanizma olduğu, ama, spesifik bir metal iyonunun istiflenmiş kompleks oluşumundaki etkisi olması gerektiği anlaşıldı.

Diğer bulgular, üste yayılan flavilyum katyonun alttaki kinoidal bazı anyonu katmanıyla belli bir açı yaparak eğrildiğini göstermek suretiyle Al^{3+} -delfinidin kompleksinin yapısını daha da netleştirdiler. Ortanca Al^{3+} yapraklarının hücresel ortamı içerisinde doğal olarak oluşan kompleks, ilave yığılma ve sistemdeki diğer yardımcı pigmentler ile de istiflenerek stabilize olurlar. Muhtemelen her ortanca türünde farklı karışım oranlarında bulunan bu yardımcı pigmentler aslında sadece mavi kompleksin kararlı hale gelmesine hizmet ederler, renk oluşumuna ise katkıları olmaz. Fakat sonuçta oluşan, muhtemelen, basit bir istif yerine, sarmal bir spiral şeklinde bir komplekstir.

Alüminyumun İzlediği Rota

Çanak yaprakların mavi renk almasındaki anahtar adım, Al^{3+} iyonunun bitkiye alınıp çanak yapraklara taşınmasıdır. Fakat, alüminyumun taşınmasında bir başka adımın daha olduğu anlaşılmaktadır. Al^{3+} , asidik toprak koşullarında hareket halindedir ve bu hareketin yarattığı uyarıya cevaben, ortancenin kökleri sitrik asit ($C_6H_8O_7$) salgılar. Sonuç olarak, sitrat iyonları ($C_6H_5O_7^{3-}$) ve sitrik asit içeren bir çözelti, toprağın pH'ına göre belirlenen bir derişimde olmak üzere köklerin etrafında oluşur. Al^{3+} daha sonra, sitrat iyonlarıyla, ortanca köklerinin emebildiği kararlı bir kompleks oluşturur. Bitki, Al^{3+} iyonunu sitrat kompleksi halinde kendi içinde taşır. Karabuğday ve çavdar gibi Al^{3+} iyonuna toleransı olan diğer bitkiler de alüminyumun toksik etkisini yok etmek için, ortanca köklerinin sitrik asit salgılamasına benzer biçimde, basit organik asitler salgırlar. Aslında, bu tür stratejiler Al^{3+} iyonunca zengin asidik topraklarda yaşayabilmeleri için tahıl türlerini geliştirme ve genetik mühendislikle üretme çalışmalarında da oldukça önem kazanmaktadır.

Resimde de gösterildiği gibi, bu sitrat kompleksi Al^{3+} iyonunun sadece köklere girmesi açısından değil, aynı zamanda sabit bir Al^{3+} sirkülasyonu sağlamak için de çok önemlidir. Al^{3+} iyonları sadece çanak yapraklarda birikmezler, tüm yapraklarda yaklaşık aynı derişimde bulunurlar. Ama, yalnızca çanak yapraklar, iyonlarla reaksiyona girmek için doğru pigmentlere sahiptirler. Çanak yapraklar modifikasyona uğramış yapraklar oldukları için bu davranışı göstermeleri beklenebilir.



Üst sıradaki çiçeklerde, çiçeklerde alüminyumun bulunmasının rolü gösterilmiştir. Üst soldaki kontrol amaçlı çiçek, sadece alüminyum verilmiş olan en sağdaki çiçeğe göre biraz farklı renktedir. Sitrat-sitrik asit tampoü içindeki sulu çözeltisinde bulunan alüminyum iyonları ise ortadaki çiçeği maviye

konsantrasyonu, renk ister kırmızı ister mavi renkte olsun, pastelden canlıya renklenmenin yoğunluğunu belirler.

Yaşlı dalların üzerinde çiçek açan çeşitler, soğuk bir kışa veya geç bir dona maruz kalırlarsa tüm büyüme mevsiminde, gözler donacağı için çiçek açmayabilirler. En popüler "Sonsuz Yaz" ın da aralarında olduğu bazı çeşitler çiçeklerini taze dalların üzerinde açarlar ve kışın veya ilkbaharın hava koşullarından etkilenmeden her yıl çiçek verirler. Bununla birlikte, bu çeşitler genellikle belirsiz olan sebeplerden ötürü diğer ortanca çeşitlerine göre daha cansız renklerde olurlar. Tür geliştirme ve genetik mühendisliği için çalışmalarında önemsenen bir konu, benzer türleri daha parlak veya daha yoğun renklerde üretmektir.

Alternatif olarak, renk canlılığını artırmak için bitkiye magnezyum iyonları (Mg^{2+}) verilmesi denenmiştir. Böyle bir yaklaşımla, önceki başka çalışmalarda, üzümün ve diğer antosiyanin esaslı çiçeklerin renklerini canlandırma mümkün olmuştur. Ortancalara magnezyum iyonu verildiğinde, çanak yaprakların renk derişiminin artmadığı, ama beklenmedik biçimde, beyaz, kırmızı ve mavi renkleri bir arada içeren çanak yaprakların ortaya çıktığı görülmüştür (bkz. Sağdaki şekil). Bunun neden ve nasıl olduğu halen yanıtlanmamış bir araştırma konusudur.

Bu sonuçlar, ortanca kimyasına tamamen yeni renkler üretmek üzere yön verilip verilemeyeceğinin araştırılmasının yolunu açmıştır. Ortanca çiçeğinde sarı veya turuncu çanak yaprak oluşturmak için gerekli pigment yoktur. Bu renkleri üretmeye yönelik ilk strateji, ilk önce Al^{3+} 'yı başka bir metal ile değiştirmek olmuştur. Ancak, mavileşme için geliştirilen kimyasal mekanizma böyle bir yaklaşımın başarısız olabileceğini göstermişti, çünkü alüminyum gerçekten mavi renge katkıda bulunmuyor, sadece delphinidin mavi formu için bir çapa gibi davranarak etki ediyordu. Bu nedenle, delphinidinle kompleks oluşturmak için kullanımı denenilen farklı metallerle yapılan deneylerde, mavi tonlarda sadece ufak farklılıklar oluşması şaşırtıcı olmamıştır.



Ortanca kimyasıyla ilgili bilgiler yeni renklerde çiçek üretmeye olanak sağlar. Mavi ortanca çiçeklerinin üzerine magnezyum iyonları püskürtülerek beyaz, kırmızı ve mavi çanak yapraklar üretmek mümkün olmuştur (Üst sıra). Bir molibden bileşiğiyle, beyaz ortancalardan sarılar üretilebilmiştir (ortadaki resim). Kırmızı ortancalar da, kesildikten sonra kontrollü alüminyum verilerek de tek bir çiçekte mavi ve kırmızı renk karışımını içeren çiçeklere dönüştürülebilmiştir.

Kaynakça:

- Dirr, Michael A. 2004. *Hydrangea for American Gardens*. Portland, OR: Timber Press.
- Schreiber, H. D., C. M. Lariviere, and R. P. Hodges. 2012. Developing hydrangea with yellow blooms by chemical manipulation. *The Cut Flower Quarterly* 24(4):18–20.
- Schreiber, H. D., A. H. Jones, C. M. Lariviere, K. M. Mayhew, and J. B. Cain. 2011. Role of aluminum in red-to-blue color changes in *Hydrangea macrophylla* sepals. *BioMetals* 24:1005–1015.
- Schreiber, H. D., A. M. Swink, and T. D. Godsey. 2010. The chemical mechanism for Al^{3+} complexing with delphinidin: A model for the bluing of hydrangea sepals. *Journal of Inorganic Biochemistry* 104: 732–739.
- Schreiber, H. D., S. E. Wade, K. M. Mayhew, and J. A. Cobb. 2011. Characterization of *Hydrangea macrophylla* cultivars by the anthocyanin content in their sepals. *Journal of Environmental Horticulture* 29:131–136.

