



Derleme/Review

Hümik Asitler, Bitki Büyümesi ve Besleyici Alımı

Şener AKINCI

Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü Göztepe 34722, İstanbul

Özet

Hümik asitler renkleri sarıdan siyaha değişen, bozulmaya dayanıklı, yüksek moleküler ağırlığa sahip, heterojen doğal kaynaklar olarak tanımlanırlar. Torf, turbiyer, hayvan gübreleri, linyitler ve leonardit gibi kaynaklarda değişik konsantrasyonlarda bulunabilirler. Hümik asitlerin tarımsal işlemlerde önemli rolleri vardır. Katyon değişim kapasitesini (KDK) artırır ve toprak verimliliğini yükseltirler; böylece mineral besleyicileri bitkiler için alınabilir hale getirirler. Humik asitler, toprakta suda-çözünbilir inorganik gübreleri muhafaza ederek, büyümekte olan bitkilere gerektiği kadarını serbest bırakırlar. Hümik maddeler özellikle kimyasal gübrelerin olumsuz etkilerini azaltırlar.

Anahtar Kelimeler: Hümik asitler, bitki büyümesi, besleyici alımı.

Humic Acids, Plant Growth and Nutrient Uptake

Abstract

Humic acids are defined as heterogenic natural resources that have colours changing from yellow to black, high molecular weight and resistance to decay. They can be found, in varying concentrations in such sources as turf, peat-bogs, animal fertilizers, lignites and leonardites. Humic acids have an essential role in agricultural processes. Increasing cation exchange capacity (CEC) and enhancing soil fertility, they promote the mineral nutrients into forms available to plants. Humic acids help to retain water-soluble inorganic fertilizers in the soil, releasing them as needed for the growing plants. In particular, humic substances decrease the negative effects of chemical fertilizers.

Keywords: Humic acids, plant growth, nutrient uptake.

Giriş

Canlı yapısının dört temel elementi C, O, H ve N yanında, bileşimlerinde önemli oranda karboksilik asit grupları, fenolik ve alkolik hidroksil keton ve kinon gibi organik kimyanın önemli öğelerini barındıran humik asitler günümüz tarımında giderek daha etkin bir rol oynamaktadır. Hümik maddeler topraktaki suyun buharlaşma hızını düşürmenin yanında, toprakların katyon değişim kapasitelerini (KDK) artırır ve toprak verimliliğini yükseltir. Hümik maddelerin eşsiz özelliği ise geniş bir pH aralığında tampon özelliği göstermesidir. Hümik asitler negatif yükleri sayesinde katyonları bağ yaparak tutarlar, böylece bitki kökleri tarafından kolayca emilirler [1].

Hümik asitlerin yapıları

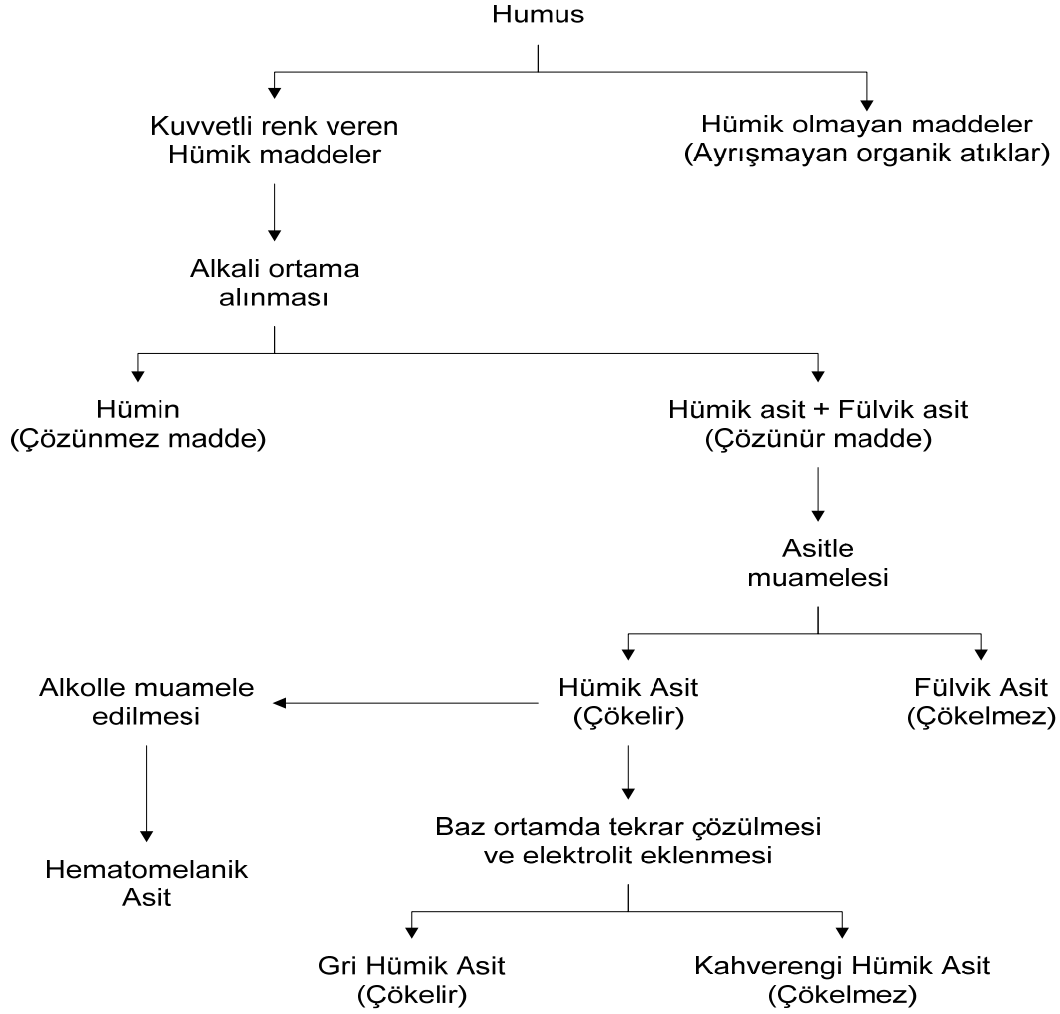
Hümik maddeler doğal olarak oluşan, renkleri sarıdan siyaha değişebilen, yüksek moleküler ağırlığa sahip, bozulmaya dayanıklı, heterojen maddeler olarak tanımlanmaktadır. Hümik maddeler şekilsiz, kısmen aromatik ve çok iyi bir şekilde tanımlanan organik bileşikler gibi kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip olmayan maddelerdir. Hümik maddeler asit ve bazlardaki çözünürlüklerine göre hümik asit, fülvik asit ve hümin olarak üç gruba ayrılırlar [2]. Chen ve Avnimelech [3] hümik maddeler ile fülvik asitleri humustan başlayarak sınıflandırmışlardır (Şekil 1). Fülvik asit, hümik asite göre daha küçük bir moleküler yapıya sahiptir [4], topraktaki kalıcılığı daha azdır ve daha kolay mikrobiyal bozunmaya uğrarlar. Hüminler, ne asit ne de alkali ortamlarda çözünemeyen hümik yapılarıdır [5,6]. Hümik asit ise büyük bir moleküler ağırlığa sahiptir ve parçalanması daha uzun sürer. Bu nedenle genel olarak toprak uygulamalarında hümik asitlerden faydalanılmaktadır [1,3].

Topraklara değişik yollarla gelmiş olan çok çeşitli organik maddelerin değişimi, önce parçalanmaları daha sonra da mineralizasyona (ayrışma) ve hümfikasyona uğramaları ile işlerlik kazanır [7]. Organik bileşiklerin toprakta çeşitli faktörlerin etkisiyle parçalanarak inorganik maddeler haline dönüşmesine mineralizasyon adı verilir. Topraktaki mineralizasyon olayı sürerken, parçalanma olayları sırasında oluşan bir kısım ara ürünler de kendi aralarında tepkimeye girerek polimerize olurlar ve koyu renkli, kolloyidal özellikte aromatik yapı ve yüksek moleküllü organik bileşikler oluşur; "hüminleşme" gerçekleşir [8].

Aynı kaynaktan elde edilen hümik maddeler arasında farklılıklar bulunurken onların bazı özelliklerinin benzerlikleri, farklılıklarından daha da etkileyicidir. Buna ek olarak, farklı coğrafya ve iklim tiplerinden elde edilen hümik maddeler arasında benzerlikler bulunabilmektedir. Dünyanın her yerindeki hümik maddelerin elementsel yapıları fark edilir bir şekilde benzerdir. Bütün hümik maddeler aynı genel fonksiyonel gruplara sahiptirler. Eski ve yeni hümik materyaller arasında önemli bileşimsel farklılıklar bulunmamaktadır ve aynı tip reaksiyonları ve etkileşimleri göstermektedirler [9].

Bütün toprakların hümik maddelerin her bir çeşidini içerdiği umulmaktadır. Buna karşın, bu dağılım topraktan toprağa değişmektedir. Örneğin, orman topraklarının humusu yüksek miktarda fülvik asit içerirken; turbalar ve çayır alanları ise yüksek miktarda hümik asit ihtiva etmektedir. Bununla birlikte orman topraklarının hümik asidi kahverengi hümik asit çeşidi iken; çayırılıkların toprakları gri hümik asit çeşidini bulundurmaktadır [3].

Hümik maddelerin saf halini elde etme denemelerinde, ayrımsal çöktürme gibi klasik metotlardan başlayarak kromotografinin bütün çeşitlerine ve elektroforez gibi daha modern ayırıştırma metotlarının hemen hemen hepsine başvurulmuştur. Fakat, bütün saflaştırma çalışmalarında, elde edilen küçük parçaların oldukça kompleks bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir [9]. Bundan dolayı hümik maddelerin düzenli bir şekilde devam eden ve tekrarlayan yayılmış bir moleküler iskeletten yoksun olduğu anlaşılmıştır [10].



Şekil 1. Hümik maddelerin sınıflandırılması (Chen ve Avnimelech, 1986) [3].

Kimyasal olarak kararlı, koyu renkli ve yüksek moleküler ağırlıklı yapıya sahip olan hümik maddelerin yapısı % 44–58 Karbon (C), % 42–46 Oksijen (O), % 6–8 Hidrojen (H) ve % 0,5–4 Nitrojen (N) içermektedir [11]. Nitrojen belirgin metallerle çok kuvvetli bağlar oluşturmak için önemli bir rol oynamaktadır. Hümik maddedeki hidrojenlerin % 80’i karbona; geri kalanları da oksijene bağlıdır. Asit-baz titrasyonlarından, nükleer manyetik rezonans (NMR) ve infra-red (IR) spektroskopisi gibi analitik metotlardan elde edilen veriler hümik maddelerin fenolik ve karboksilik OH içeren bir sıra zayıf asit gruplarına sahip olduğunu göstermektedir.

Hümik moleküllerin doğal yapısı benzen halkaları, alifatik kısımlar, heksoz, pentoz ve az sayıdaki amino asit gibi yapılar, karboksil, hidroksil, amin gibi fonksiyonel gruplar ile ester, amid, eter gibi bağları içermektedir [12].

Kimyasal karakterleri benzer olan hümik ve fülvik asitlerin temel yapısının aromatik halkasının $-CH_2-$, $-O-$, $-NH-$, $-N\equiv$, $-S-$ ve diğer grupların bağlarından oluştuğuna inanılmaktadır [3,12].

Hümik maddelerin kimyasal reaktifliği

Hümik ve fülvik asitlerin kimyasal reaktifliği onların belli başlı karakteristiklerinden biridir. Hümik maddeler bol miktarda karboksil ve aynı zamanda zayıf asidik fenol gruplarına sahiptirler. Hümik maddelerin bu asidik özelliğe sahip olmalarına ilaveten, sahip oldukları bu gruplar onların karmaşıklığına ve iyon değişim özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Hümik maddeler aynı zamanda redoks aktivite sağlayanlar olarak da bilinirler ki bu aktivite onların jeokimyasal ve çevresel olarak önemli oluşumlar olduklarını ortaya koyar. Hümik maddeler serbest radikallere sahip olduklarından ötürü, hidrojen bağları ve polar olmayan etkileşimlerle küçük moleküllere kolaylıkla bağlanabilirler. Hümik maddeler hidrofobik ve hidrofilik karakteristiklerin her ikisini birden gösterirler ve minerallerin yüzeylerine tutunabilirler [9].

Hümik moleküllerin içerisindeki çok çeşitli fonksiyonel gruplar, birçok değişik yollarla, metallere kompleks oluştururlar [13]. —COOH fonksiyonel grubuna ek olarak, bu maddelerin negatif yükleri fenolik —OH, enolik —OH, alkolik —OH, =NH ve C=O yapıları gibi yüksek miktarda oksijen içeren fonksiyonel gruplara sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu grupların varlığı toprak organik maddesinin topraktaki katyonlarının süzülmemesini sağlamaktadır ve topraklarda doğal şelat olarak görev yapmaktadır. Hümik maddelerin metal iyonlarıyla stabil kompleksler oluşturmalarının sebebi, üzerlerinde bulunan fonksiyonel gruplarla ilişkilidir [14].

Ortamdaki metal konsantrasyonunun düşmesi ve hümik asit konsantrasyonunun artışıyla birlikte, metallerin hümik asite bağlanma meyili artış göstermektedir. Bu etki aynı zamanda pH'ın yükselmesiyle birlikte de meydana gelmektedir.

Hümik asidin üzerinde bulunan fonksiyonel gruplar arasında metallerin bağlanması için bir rekabet olduğunun kanıtları bulunmuştur. Bu fonksiyonel gruplar metal iyonlarıyla, metal oksitlerle, metal hidroksitlerle ve minerallerle metal-organik komplekslerini oluşturmaktadırlar [15].

Hümik maddelerin sahip oldukları fonksiyonel grupların varlığı kabul edilmesine karşın; onların bütün detaylarının yeterince anlaşılmasının sebebi tam olarak saflaştırılmamalarına bağlıdır. Her ne kadar metallere oluşturdukları kompleksin mekanizması açıklanamamış olsa da, hümik maddeler metallerin çözünürlüğü ve biyolojik elverişliliği gibi davranışları değiştirmektedir.

Hümik maddelerin topraktan alımı besleyicilerin topraktan alımındaki önemi

Hümik maddelerin yapılarında bulunan önemli orandaki karboksilik asit grupları, fenolik ve alkolik hidroksil keton ve kinon gibi ögeler, onlara negatif (-) elektriksel yük kazandırarak katyonları absorbe etmelerine ve topraklarda doğal şelat olarak görev yapmalarına olanak vermektedir. Hümik maddeler toprakların katyon değişim kapasitelerini (KDK) artırır ve toprak verimliliğini yükseltir. Hümik maddelerin katyon değişim gücü, kil minerallerinden oldukça fazladır [14]. Bundan dolayı, toprakta bulunan tüm gerekli metaller hümik asitlerle şelat yapabilmektedir.

Toprak içerisindeki besin elementleri arasında rekabet olmakta, uygulanan besin elementleri bitkinin alamayacağı formlara dönüşmekte ve bazı kayıplar kaçınılmaz olmaktadır. Örneğin; demir, bakır, çinko, mangan gibi elementler hümik asitlerce fakir, kireçli topraklarda bitkilerce alınamayan metal karbonatlara, oksitlere, sülfütlere ve hidroksitlere dönüşebilirler. Hümik asitler, demir gibi elementlerin kristalize olmasını önlerler ve bu gibi metalleri şelatlayarak bitkinin rahatlıkla kullanabileceği şekilde kök çevresinde tutabilirler. Kumlu topraklarda bulunan besin maddeleri, suyla birlikte kök çevresinde tutunamayarak toprağın alt kısımlarına doğru kolayca süzülüp giderler. Hümik asitler negatif yükleri

sayesinde kationları bağ yaparak tutarlar, böylece bitki kökleri tarafından kolayca emilirler. Hümik asitler elementlerin topraktan bitkiye geçişi için son derece önemli bir ortam oluşturur. Kök sistemi de hümik asitler gibi negatif yüke sahiptir. Fakat kök sisteminin sahip olduğu bu negatif yük, hümik asitlerinkinden daha büyüktür. Böylece, hümik asitlere bağlanan mikro-elementler ayrılarak kökteki hücrelerin zarından bitkiye geçerler [1, 12, 16].

Bir toprağın kimyasal niteliğinin ölçülmesindeki en önemli faktörlerden birisi toprak pH'sıdır. Besin maddelerinin topraktan bitkilerce alınımını da etkilemektedir. Bundan dolayı toprak pH'ı bitki yetiştirme ortamının en önemli unsurlarından biridir. Toprağın asidik, bazik ya da nötr olması çeşitli bileşiklerin çözülmesini, iyonların nispi bağlarını ve toprak sistemi içerisinde bulunan mikroorganizmaların aktivitesini etkilemektedir. Örneğin; toprak pH'sı 5'in altına düştüğünde toksik alüminyumun ortaya çıkmasına, veya pH'nın 7.8–8.2 aralığında olmasında kalsiyum karbonatın varlığına işaret edilmektedir. Asidik topraklarda P, Ca ve Mg gibi besin elementlerinin eksikliği veya yüksek konsantrasyonlarda bulunmaları ile toksik olan Al, Mn gibi elementlerin ortaya çıkışı, ürün verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Alkalın topraklarda ise Fe, Zn gibi elementlerin noksanlığı sıkça görülmektedir. Özetle, uygun olmayan pH değerinde, topraktan yeterli besin elementleri bitkiler tarafından alınmamaktadır [17].

Hümik maddelerin eşsiz özelliği geniş bir pH aralığında tampon özelliği göstermesidir. Bu tampon kapasitesi dar bir pH aralığında yetişen bitkiler için çok önemlidir [14]. Hümik maddeler toprak pH'ını nötralize etmektedir. Toprak pH'ı nötralize olduğu zaman, toprakta bağlı duran ve bitki kökleri tarafından alınamayan birçok iz element alınabilir hale gelmektedir [1]. Hümik maddeler ayrıca toprakta bulunan kalsiyum karbonattan (kireç) karbondioksiti serbest hale getirirler. Serbest hale gelen CO₂ bitki tarafından alınabilir [11].

Hümik asitler bitki büyümesi ve gelişmesi üzerine toprağın yapısını iyileştirerek katkıda bulunurlar. Topraktaki kil tabakaları birbirinin üzerinde bulunurlar. Topraktaki tuz, toprağın negatif elektrik yükünü azaltır. Fakat kilin kenarlarındaki pozitif yüklerin artmasını sağlar. Bu pozitif yükler kilin yüzeyinde bulunan negatif yüklerin birbirlerini çekmesiyle toprağın daha da sıkışmasını ve bitki köklerinin büyümesini zorlaştırır. Hümik asitler kil partiküllerinin olduğu yere su girişini sağlarlar. Bunu hümik asitler iki yolla gerçekleştirirler. İlk olarak, hümik asitler tuzu ayrıştırarak tuzları kil partiküllerinin yüzeyinden uzaklaştırırlar. Net negatif yükteki artıştan dolayı kil partikülleri birbirlerini iterler ve toprak yapısını gevşetirler. Ayrıca hümik asit molekülünün üzerindeki negatif yüklü karbon grubu (karboksil grubu) pozitif yüklü kil parçacığının kenarına bağlanarak kilin üzerindeki net negatif yükü azaltır. Bu da kil parçacıklarının birbirlerini iterek toprağı gevşetmesini sağlamaktadır [3].

Hümik asitler topraktaki suyun buharlaşmasını yavaşlatırlar. Bu, özellikle, kilin olmadığı ya da az olduğu topraklarda su tutma kapasitesini arttırmak için önemlidir. Suyun varlığında absorbe olmuş kationlar kısmen iyonize olurlar ve hümik asitlerin okside olmuş bölgelerinden ayrılırlar. Bu hümik asitlere bağlanmış iyonlarda pozitif bir çekim gücü oluşturur. Su molekülleri dipolar ve elektriksiz olarak nütürdür. Su molekül içeriğinde bulunan oksijen atomları iyonlarla zayıf olarak bağlanır. Hidrojen veya su molekülünün negatif sonu kısmen nütürleşir ve sonucunda hidrojeni ile pozitif çekim kuvveti artar. Negatif uçlu oksijen atomu başka bir su molekülüne, hidrojen atomunun pozitif çekim gücüyle bağlanır. Bu sayede hümik asitler kumlu ve kilsiz topraklarda suyun %30 oranında buharlaşmasını azaltırlar.

Hümik maddeler kalsiyum karbonatla bağlandığında zayıf çözünebilir kalsiyum hümatları oluştururlar. Hümik maddeler toprağın kil minerallerine bağlandığında da kil-hümik komplekslerini oluşturmaktadır. Bu kompleksler birbirlerine bağlı olarak toprak yapısında bulunmaktadır. Kil-hümik kompleksleri topraklarda küçük toprak porlarını oluşturmaktadır. Bu porlar hava veya su ile doludur. Bu porlar toprak organizmalarının yaşadığı çevreyi de oluşturmaktadır. Ayrıca hümik maddeler yapılarındaki C, N, S ve P gibi elementler sayesinde

mikroorganizmalar için bir rezerv niteliğindedir. Bu özelliğinden ötürü, hümik maddeler toprağın mikroflorasını zenginleştirirler [1,11].

Pestisitler ve herbisitler, tarımı yapılan ürünlerin yetiştirilmesinde dünyada oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu kimyasalların çevredeki hareketleri hayati derecede önemlidir. Hümik bileşiklerin reaktif yan gruplarının iyon değiştirme kapasitelerinden ötürü, bu bileşiklerin yer değiştirme reaksiyonlarıyla pestisitleri bağlama rolünde büyük bir önem taşımaktadır. Hümik maddeler pestisitler ve herbisitlerle etkileşip kararlı yapılar oluşturarak onları bitkiler ve yeraltı suları için zararsız hale getirirler [18].

Bitki kökleri, belirli konsantrasyonlardaki hümik maddelerle temas halinde olduklarında, bitkinin köklerinin ya da tamamının katyonik ve anyonik makro besinlerinin miktarında bir artış görülmektedir. Hümik maddelerin besin alınımındaki etkilerinin, membran taşıyıcılarının görevleri ve senteziyle ilgili olduğu düşünülmektedir. Hodges ve ark. [19], plazma membranının H-ATPaz enzimi üzerine çalışmışlardır ve bu enzimin bitki gelişiminde ve mineral besinlerin alınımındaki rolünü net olarak belirtmişlerdir. Gerçekten, bu enzim hücre apoplastına protonların taşınmasından ve minerallerin hücre zarının karşı tarafına taşınması için gerekli enerji olan elektrokimyasal gradientin oluşumundan sorumludur. Hücre zarı, sitoplazma ile kök bölgesi arasındaki ana bariyerdir. Bundan dolayı membranın kendisi ve ilgili aktiviteleri hümik maddelerin ilk etkilediği yerdir. Hümik moleküllerin plazma membranının H-ATPaz aktivitesi ve besin alımı mekanizmaları üzerine olan etkisinin kanıtı, bu moleküllerin nitrat alınımıyla ilgili olan çalışmalardan elde edilmektedir. Suda çözülebilir hümik madde ile köklerin teması nitrat alım kapasitesinin artmasıyla birlikte plazma membrandaki ölçülen H-ATPaz aktivitesinde de hızlı bir artış görülmektedir [20].

Hümik asitlerle hormonlar arasında yakın bir ilişkinin olduğu bilinmektedir. Organik maddece zengin topraklar bitki gelişiminde etkili olan oksin ve diğer hormonların etkilerini gösterebilen hümik maddeleri içermektedir [21-24]. Hümik asit içeren bütün örneklerde, hümik asitlerin koleoptillerin büyümesine yararlı bir etki yaptığı saptanmıştır. Fakat, en büyük etkiyi karboksilik ve aromatik grup içeriği düşük ama moleküler ağırlığı yüksek olan gri renkli hümik asit göstermiştir. Bu gerçek, hümik maddelerin oksin gibi aktivitelerini doğrulamaktadır [16].

Hümik asitlerin bitki büyümesine ve mineral alınımına etkileri

Eyheraguibel ve ark. [25], kavak talaşından elde edilen hümik maddelerin mısır bitkisinin büyüme ve gelişimiyle birlikte mineral kompozisyonuna olan etkisini araştırmışlardır. Su kültüründe yetiştirilen mısır fidelerine hümik asit uygulanmasının sonucunda köklerin, gövdelerin ve yaprakların yaş ağırlıklarında sırasıyla % 48.8, % 60 ve % 57.3 oranlarında artış sağlanmıştır. Hümik asit; mısır köklerinin, gövdelerinin ve yapraklarının kuru ağırlıklarını ise kontrole göre % 35.8, % 102.2 ve % 53.2 oranında arttırmıştır. Bununla birlikte mısır fidelerine hümik asit eklenmesi ile bitkilerin kök ve gövde uzunluklarında sırası ile % 23 ve % 72.5 oranında artış gözlenmiştir.

Ferrara ve ark. [26], topraktan ve kompostan elde ettikleri hümik asidi üzüm (*Vitis vinifera* L.) bitkilerine yapraktan uyguladıklarında, hümik asidin ürün miktarını ve niteliğini kontrol gruplarına göre oldukça olumlu etkilediğini saptamışlardır. Topraktan elde edilen hümik asidin 5 ve 20 mg/l konsantrasyonlarda uygulanması sonucu asmalardan ortalama olarak sırasıyla 32.2 ve 29.9 kg üzüm elde edilirken, hümik asit verilmeyen kontrol grubunda ise bu miktar sadece 28.2 kg olarak ölçülmüştür. Her iki çeşit hümik asidin de asmalara verilmesi, üzüm tanelerinin boyunda, çapında ve ağırlığında belirgin artışlar yaratmıştır. Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) fide gelişimi üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla uygulanan 60 g hümik asit dozunun, kök uzunluğu, bitki boyu ve fide kuru ağırlığında artış

sağladığı [27], karpuz *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai hibritlerinin ürün miktarında ve kalitesinde belirgin olmak üzere, hümik asit uygulanan karpuzların ortalama uzunluğunda, çap ve ağırlığında artışlara neden olduğu rapor edilmiştir [28].

Sharif ve ark. [29] çalışmalarında, toprak içeren saksıların içerisinde yetiştirilen mısır (*Zea mays* L.) fidelerine 0, 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 mg/kg oranındaki linyit kömüründen türevli hümik asitle birlikte N, P ve K uygulamışlar; 50 ve 100 mg/kg eklenen hümik asitin, mısır bitkisinin gövdelerinde sırasıyla % 20'lik ve % 23'lük artışa sebep olduğunu rapor etmişlerdir. Toprağın N konsantrasyonu ve bitkilerin N alınımı kontrol grubuna göre belirgin olarak artmıştır. Kimyasal ve mikrobiyal yollardan bozunmaya uğramış kavak talaşından elde edilen hümik maddelerin delice otu bitkisinin (*Lolium temulentum* L.) yapraklarında artan P konsantrasyonu sonucunda yaprak kuru ağırlığının da arttığı kaydedilmiştir [30]. Hümik asitin 50, 100, 150 ve 200 ml/l lik konsantrasyonlarının domates ve patlıcan fidelerinin makro ve mikro besin içeriklerinin bitkilerin yaprak sayılarını, yaprak alanlarını, kök ve gövdelerin yaş ve kuru ağırlıklarını belirgin bir şekilde arttırdığı [31]; ayrıca 0, 640, 1280 ve 2560 mg/l hümik asidin sera ortamında sınırlı besin içeriğine sahip çözültide yetiştirilen domates fidelerinin büyümesine ve besin alınımına olumlu etkileri olduğu [32] rapor edilmiştir.

Bir başka çalışmada, hümik asitin baklanın (*Vicia faba* L.) yaprak yaş ağırlığını kontrol grubuna göre % 10.5; yaprak kuru ağırlığını % 3.8 ve gövde yaş ağırlığını % 6.8 oranında yükselttiği rapor edilmiştir. Bu sonuçlar hümik asidin baklanın özellikle kök gelişimini olumlu olarak etkilediğini ortaya konmuştur. Hümik asidin bakla fidelerinin saçak ve yan kök gelişimine yaptığı olumlu etkiler sonucunda bitkilerin besin maddelerini ve suyu topraktan daha rahat alabilmeleri, hümik asit uygulamasının bitki büyüme ve gelişimini olumlu olarak desteklediğini, ayrıca, hümik asidin köklenmeyi teşvik eden oksinlerin yarattığı benzer morfolojik değişikliklere sebep olduğunu düşündürmektedir [33].Baklaya hümik asit uygulaması sonucunda, fidelerin toprak altı ve üstü organlarının mineral kompozisyonlarının oldukça etkilendiği belirlenmiştir. Hümik asit, bakla köklerinin Na ve K içeriğini sırasıyla kontrole göre % 86.4 ve % 111.4 oranında belirgin olarak arttırırken, toprak üstü organların Na ve K miktarlarını ise % 52 ve % 6.7 oranında yükseltmiştir. Hümik asit uygulaması, köklerin Ca miktarında % 32.5, toprak üstü organların Fe ve Mn içeriklerinde sırasıyla % 427.7 ve % 49 oranında artışa sebep olmuştur [33-35].

Hümik asit, mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde Zn, Fe, Mn ve Cu gibi mikro-elementlerinin içeriklerini [29]; K, Ca, N, P, Cu, Mn, Zn ve Fe alınımını arttırmıştır [25]. Ayrıca hümik maddelerin delice otu fidelerinin kök gelişimini olumlu olarak uyararak N, K, Cu ve Mn alınımını arttırdığı belirtilmiştir [30]. Kullanılan farklı dozlardaki hümik asidin domates (*Lycopersicon esculentum* L.) ve patlıcan (*Solanum melongena* L.) yapraklarında N, P, K, Na, Mg, Ca, Mn, Fe, Zn ve Cu içeriklerinde kontrol gruplarına göre belirgin olarak artış sağladığı [31], 1280 mg/l oranında eklenen hümik asitin domates gövdesinde P, K, Ca, Mn, Fe, Mg ve Zn birikimini belirgin olarak yükselttiği, köklerde ise daha fazla K ve Ca birikiminin gerçekleştiği [32]; karpuz yapraklarında ise N, P ve K içeriklerini arttırdığı [28] rapor edilmiştir.

Bu sonuçlar bize hümik asidin kök hücrelerinin zar geçirgenliğini arttırarak Na, K, Ca, Fe ve Mn gibi besin maddelerinin alımı ve bitkide taşınmasını olumlu olarak etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, hümik asit uygulamasıyla besin minerallerinin bitkiye alınımındaki artış, hümik asidin kök hücrelerinin H-ATPaz enzim aktivitesini uyarabildiğini kanıtlamaktadır.

Büyükkeskin [33], Büyükkeskin ve ark. [34], Büyükkeskin ve Akinci [35] tarafından yapılan çalışmalarda, hümik asidin Al^{+3} gibi çok değerlikli metallere yaptığı bağların Na^{+1} , K^{+1} , Ca^{+2} gibi alkali metallere oluşturduğu bağlardan daha kuvvetli olduğu gösterilmiştir. Bu sebeple Al^{+3} 'ün bitkiye alınmasının hümik asit tarafından engellendiği anlaşılmaktadır. Hümik

asit, 50 ve 100 μM Al içeren ortamda yetiştirilen baklanın büyüme parametreleri üzerine olumlu etkiler yapmıştır. 50 μM Al varlığında hümik asit, bakla bitkisinin boy uzunluğunu, yaprak sayısını, yaprak yaş ve kuru ağırlığını, gövde yaş ve kuru ağırlığı ile kök yaş ağırlığını kontrol grubu bitkilerine göre belirgin olarak arttırmıştır. 100 μM Al varlığında ise uygulanan hümik asit, baklanın yaprak sayısını; yaprak yaş ve kuru ağırlığı ile kök yaş ağırlığını belirgin olarak yükseltmiştir. PH'sı 4.5 olan bakla bitkisinin yetiştirildiği ortama 50 μM Al eklenmesiyle ortaya çıkan alüminyum toksisitesine rağmen, hümik asit, köklerin Na, K, Cu, Mn ve Zn içeriğinde, 100 μM Al varlığında ise bakla köklerinin Na, K, Ca, Mn ve Zn miktarlarında kontrol bitkilerine göre belirgin artışlar sağlamıştır. Hümik asit baklanın toprak üstü organlarının Na, K ve Ca konsantrasyonlarını da anlamlı olarak yükseltmiştir. Fakat Mn ve Fe içeriklerinde sebep olduğu artışlar belirgin değildir.

50 ve 100 μM Al toksisitesi altında yetiştirilen baklanın hem toprak üstü hem de toprak altı organlarının Al konsantrasyonlarında, uygulanan hümik aside bağlı olarak düşüşler kaydedilmiştir. Baklaya "hümik asit uygulaması" ile, alüminyum toksisitesinin bitki büyümesine ve mineral kompozisyonuna olan zararlı etkilerinin giderebileceği ortaya konulmuştur [33-35].

Hümik asidin bakla yapraklarının klorofil miktarını % 5.6 ve protein içeriğini ise % 412 oranında arttırması, bakla gelişimini ve ürün kalitesini belirgin olarak etkileyebilecek olduğunu düşündürmektedir. 50 ve 100 μM Al varlığında yetiştirilen baklalara hümik asit uygulaması sonucu yaprakların klorofil içerikleri az da olsa yükselmiştir. Hümik asit 50 μM Al varlığında yaprakların protein miktarını % 18.1 kadar, 100 μM Al varlığında ise % 14.6 oranında arttırmıştır. Bu sonuçlar, hümik asidin bitki metabolizmasını doğrudan etkileyerek klorofil ve protein sentezi üzerinde etkili olabileceğini düşündürmektedir [33].

Sonuçlar ve değerlendirme

Hümik asitlerin kullanılmasıyla, bakla ve literatürde geçen diğer bitkilerde fide gelişimi ve mineral alımı ile çeşitli stres faktörleri karşısındaki etki ve yararlarını şöyle sıralayabiliriz:

- 1- Hümik asit özellikle kök gelişimini sağlayarak bitki büyüme ve gelişimini olumlu olarak desteklemektedir. Hümik asidin yaratmış olduğu bu olumlu etki köklerde daha fazla ortaya çıktığından iyi bir köklendirici olarak işlev yapabilir.
- 2- Hümik asit kök oluşumunu desteklediği gibi, kök hücrelerinin H-ATPaz enzim aktivitesini de uyararak bitkilerin besin ve su alımını arttırmaktadır. Hümik asit kullanımına paralel olarak ürün miktarı ve kalitesinde yükselme söz konusudur.
- 3- Hümik asidin yapısında bulunan fonksiyonel grupların metallerle bağ yapabilme özelliğinden dolayı, bu molekül, kumlu topraklar gibi katyon değişim kapasitesi düşük olan topraklarda kullanılarak besin maddelerinin topraktan akıp gitmesi engellenebilir. Ayrıca besin maddelerini şelatlayarak kök çevresinde tutup bitki kullanımına her zaman hazır halde bulundurabilir.
- 4- Üreticiler ürün kalitesini ve miktarını yükseltmek için aşırı miktarlarda kimyasal gübre kullanmaktadırlar. Toprağa uygulanan fazla gübre hem toprakların yapısını bozmakta hem de ekonomik açıdan büyük bir külfet getirmektedir. Hümik asidin şelatlama kabiliyetinden dolayı topraklarda meydana gelen besin elementlerinin kayıplarının önüne geçilerek bu sayede, uygulanan gübre miktarında bir azalma olacağı şüphesizdir. Böylece hümik asit kullanımı ülke ekonomisine büyük bir katkıda bulunulabilir.
- 5- Hümik asitler leonardit, taş kömürü, hayvan gübresi, kompost, toprak ve arıtma çamuru gibi doğal kaynaklardan elde edilebildiğinden ve ayrıca kimyasal maddeler içermediğinden organik tarımda kullanılmasında hiçbir sakınca yoktur. Böylece hümik asit kullanımıyla bitki gelişimini desteklerken insan sağlığı da korunmuş olacaktır.

- 6- Endüstriyel kirliliğe bağlı asit yağmurlarının olması ve çiftçilerin topraklarda ürün yetiştirmeleri sonucunda asitleşen topraklarda, alüminyum toksisitesi bitki gelişimini engelleyen en önemli faktörlerden birisi olmuştur. Bu toprakların tekrar tarıma kazandırılması için kireçleme veya fosfat ilavesi yapılmaktadır. Fakat bu uygulamalar oldukça pahalı olup ekonomik açıdan büyük bir yük oluşturmaktadır. Hümik asit toksik Al^{+3} iyonlarıyla kuvvetlice bağlanarak Al toksisitesinin bitki gelişimine olan olumsuz etkilerini ortadan kaldırabilir.

Sonuç olarak, son yıllarda yapılan birçok çalışma, hümik asidin çeşitli kültür formları ile doğal bitkilerin büyüme ve gelişmeleri yanında susuzluk, tuzluluk gibi stres faktörleri, toksik miktarlardaki elementlerin olumsuz etkilerinin giderilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu araştırmalar, uygun konsantrasyonlardaki hümik asitin, özellikle bahçecilik, ziraat ve tarımda kullanıldığında susuzluk ve tuzluluk gibi ürün verimliliğini azaltıcı stres faktörleriyle mücadele etmede ve belirli ölçülerde kirlenmiş topraklarda yetişen bazı bitkilerin toksik etkilerini indirgemede önemli bir destekleyici olabileceğini ortaya koymaktadır.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, C.: “Hümik ve Fülvik Asit”, *Hasad Bitkisel Üretim*, Ocak, 260 (2007) 74.
- [2] Sparks, D. L. : “*Environmental Soil Chemistry*”, Second Edition, Academic Press, San Diego (2003) 82.
- [3] Chen, Y.; Avnimelech, Y. : “*The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*”, Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, (1986) 80.
- [4] Grenthe, I.; Puigdomenech, I.: “*Modelling in Aquatic Chemistry*”, OECD Nuclear Energy Agency, Paris, (1997) 154.
- [5] Banta, S.; Mendoza, C. V.: “*Organic Matter and Rice*”, International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, (1984) 93.
- [6] Sposito, G.: “*The Environmental Chemistry of Aluminum*”, CRC Pres, (1996) 186.
- [7] Altınbaş, Ü.; Çengel, M.; Uysal, H.; Okur, B.; Okur, N.; Kurucu, Y.; Delibacak, S.: “Toprak Bilimi”, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, İzmir, Türkiye, 557 (2004) 175.
- [8] Özbek, H.: “Tarımda organik maddenin önemi”, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yay. No: 13*, Ankara, (1971).
- [9] Ghabbour, E. A.; Davies G.: “*Humic Substances: Structures, Models and Functions*”, Royal Society of Chemistry, England (2001) 21.
- [10] MacCarthy, P.: “The Principles of Humic Substances”, *Soil Science*, 166, (2001) 738.
- [11] Larcher, W.: “*Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*”, 4th. Edition, Springer, New York (2003) 7.
- [12] Tipping, E.: “*Cation Binding by Humic Substances*”, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 12 (2002) 4.
- [13] Livens, F. R.: “Chemical Reactions of Metals with Humic Material”, *Environmental Pollution*, 70 (1991) 183.
- [14] Stevenson, F. J.: “*Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*”, 2nd. Edition, John Wiley and Sons, Inc, New York (1994) 285.
- [15] Kerndorff, H.; Schnitzer, M.: “Sorption of Metals on Humic Acid”, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 (1980) 1701.

- [16] Kulikova, N. A.; Stepanova, E. V.; Koroleva, O. V.: "Mitigating Activity of Humic Substances Direct Influence on Biota", *Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice*, Perminova, I.V.; Hatfield, K. and Hertkorn, N.; Springer, Netherlands, (2005) 285.
- [17] Pessarıklı, M.: "*Handbook of Plant and Crop Stress*", Second Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, USA (1999) 51.
- [18] Helal, A. A.; Imam, D. M.; Khalifa, S. M.; Aly, H. F.: "Interaction of Pesticides with Humic Compounds and Their Metal Complexes", *Radiochemistry*, 48 (2006) 419.
- [19] Hodges, T. K.; Leonard, R. T.; Bracker, C. E.; Kenan, T. W.: "*Purification of an Ion-stimulated Adenozine Triphosphate from plant Roots: Association with Plasma Membranes*", Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A., 69 (1972) 3307.
- [20] Pinton, R.; Cesco, S.; Iacoletti, G.; Astolfi, S.; Varanini, Z.: "Modulation of NO₃⁻ Uptake by Water-extractable Humic Substances: Involvement of Root Plasma Membrane H⁺-ATPase", *Plant and Soil*, 215 (1999) 155.
- [21] Cacco, G.; Dell'Angola, G.: "Plant Growth Regulator Activity of Soluble Humic Complexes", *Canadian Journal of Soil Sciences*, 64 (1984) 225.
- [22] Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Muscolo, A.; Vianello, A.: "Physiological Effects of Humic Substances on Higher Plants", *Soil Biology and Biochemistry*, 34 (2002) 1527.
- [23] Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Faraña-Okorokova, A. L.; Faraña, A. R.: "Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots", *Plant Physiology*, 130 (2002) 1.
- [24] Quaggiotti, S.; Ruperti, B.; Pizzeghello, D.; Francioso, O.; Tugnoli, V.; Nardi, S.: "Effect of Low Molecular Size Humic Substances on Nitrate Uptake and Expression of Genes Involved in Nitrate Transport in Maize (*Zea mays* L.)", *Journal of Experimental Botany*, 55 (2004) 803.
- [25] Eyheraguibel, B.; Silvestre, J. and Morard, P.: "Effects of Humic Substances Derived from Organic Waste Enhancement on the Growth and Mineral Nutrition of Maize", *Bioresource Technology*, 99 (2008) 4206.
- [26] Ferrara, G.; Pacifigo, A.; Simeone, P.; Ferrara, E.: "Preliminary Study on the Effects of Foliar Applications of Humic Acids on Italia Table Grape", XXXth *World Congress of Vine and Wine*, Budapest, Romania, June, (2007).
- [27] Kolsarıcı, Ö.; Kaya, M. D.; Day, S.; İpek, A.; Uranbey, S.: "Farklı Hümik Asit Dozlarının Ayçiçeğinin (*Helianthus annuus* L.) Çıkış ve Fide Gelişimi Üzerine Etkileri", *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2005) 151.
- [28] Salman, S. R.; Abou-hussein, S. D.; Abdel-Mawgoud, A. M. R.; El-Nemr, M. A.: "Fruit Yield and Quality of Watermelon as Affected by Hybrids and Humic Acid Application", *Journal of Applied Sciences Research*, 1 (2005) 51.
- [29] Sharif, M.; Khatkhat, R. A.; Sarir, M. S.: "Effect of Different Levels of Lignitic Coal Derived Humic Acid on Growth of Maize Plants", *Soil Science and Plant Analysis*, 33 (2002) 3567.
- [30] Bidegain, R.A.; Kaemmerer, M.; Guiresse, M.; Hafidi, M.; Rey, F.; Morard, P.; Revel, J. C.: "Effects of Humic Substances from Composted or Chemically Decomposed Poplar

- Sawdust on Mineral Nutrition of Ryegrass”, *Journal of Agricultural Science*, 134 (2000) 259.
- [31] Dursun, A.; Güvenç, İ.; Turan, M: “Macro and Micro Nutrient Contents of Tomato and Eggplant Seedlings and Their Effects on Seedling Growth in Relation to Humic Acid Application”, *Improved Crop Quality by Nutrient Management*, Anaç, D.; Martin-Prevel, P. Editors.; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London (1999) 229.
- [32] David, P. P.; Nelson, P. V.; Sanders, D. C.: “A Humic Acid Improves Growth of Tomato Seedling in Solution Culture”, *Journal of Plant Nutrition*, 17 (1994) 173.
- [33] Büyükkeskin, T.: “Hüyük Asitin *Vicia faba* L. (Bakla) da Fide Gelişimine ve Alüminyum Toksikitesine Etkisinin Belirlenmesi”, Doktora tezi, *M.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2008) İstanbul.
- [34] Akıncı, Ş.; Büyükkeskin, T.; Eroğlu, A.; Erdoğan, B. E.: “The Effect of Humic Acid on Nutrient Composition in Broad Bean (*Vicia faba* L.) Roots”, *Not Sci Biol*, 1(1) (2009) 81-87.
- [35] Büyükkeskin, T.; Akıncı, Ş.: “The Effects of Humic Acid on Above-Ground Parts of Broad Bean (*Vicia faba* L.) Seedlings Under Al³⁺ Toxicity”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 20: 3 (2011) 539-548.