

BİTKİLERDE STRES

Stres (baskı) faktörleri, bitkileri yaşamlarının herhangi bir döneminde ortaya çıkararak etkileyen ancak değişik tepkilerin alınmasına yol açabilen diğer bir deyişle özellikleri birbirine benzemeyen bitkileri değişik olarak etkileyen çevresel etmenlerdir. Doğadaki çok çeşitli biyotik ve abiyotik çevre etmenleri bitkilerde strese neden olurlar. Biyotik ve abiyotik stres etmenlerinin etkisi altında bitkilerde ortaya çıkan değişimler de stres olarak tanımlanır. Stres, önemli fizyolojik ve metabolik değişimlere yol açarak bitkilerde büyüme ve gelişmeyi olumsuz şekilde etkilerken, üründe nitelik ve nicelik kaybına (ürün kalitesinin ve miktarının azalmasına), bitkinin ve ya organlarının ölümüne yol açabilmektedir.

Stres etmenlerinin oluşturduğu zarar bitkinin çevreye genetik adaptasyon derecesine bağlı olarak değişir. Bu olgu değişik bitkilerin değişik bölgelerde en iyi şekilde yetişmelerini belirleyen temel faktördür.

Biyoteknolojik uygulamalarla strese dayanıklı bitki çeşitlerinin üretilmesi ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel beslenme sorununun önlenmesi hedeflenmektedir.

Strese dayanıklılık mekanizması bitkilerde iki şekilde etkili olup bitkiler ya geliştirdikleri önleyici mekanizmalarla stres faktörlerinin etkinliğini önlemekte ya da tolerans mekanizmalarıyla karşı koyarak yaşamlarını sürdürmektedirler.

Stres faktörleri; biyotik ve abiyotik olmak üzere ikiye ayrılır:

Abiyotik faktörler		Biyotik faktörler
Fiziksel	Kimyasal	
Kuraklık, Tuzluluk, Yüksek ya da Düşük Sıcaklık, Radyasyon, Bitki Besin Maddesi (maddeleri), Yapraklarda Kıvrılma ve Katlanması (Işık stresi), Su baskını, mekanik etkiler (Rüzgar, kar ve buz örtüsü)	Hava kirliliği, bitki besin elementleri, pestisitler (zirai ilaçlar), toksinler, tuzlar, toprak pH'sı	Hastalık etmenleri (Patojenler) Yabancı bitkiler, böcekler, Mikroorganizmalar, Hayvanlar

Başlıca Stres Çeşitleri:

1. Su Stresi (Kuraklık Stresi): Bitkilerde belirli bir süre içerisinde terlemeyle (transpirasyon) yitirilen suyun, çevreden alınan su miktarından fazla olması durumunda ortaya çıkar. Su miktarı azalan bitkisel dokular arasında suyun alınması için rekabet başlar. Başka bir ifadeyle bitki dokuları arasındaki su dengesi bozulur.

Stres günlük ya da uzun süreli olabilir. Stres durumunda turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesi olumsuz olarak etkilendiğinden hücreler küçük kalırlar. Hücre büyümesindeki azalma çeper sentezini de etkiler. Protein ve klorofil olumsuz olarak etkilenirken, tohumların çimlenme yeteneklerini kaybettikleri görülür. Fotosentez ve solunum yavaşlar veya durur. Hücre büyümesindeki gerileme yaprakların küçülmesine ve fotosentez üretiminin daha da azalmasına yol açar. Yeterli miktarda suyun olmaması ksilem ve floemdeki madde iletimini olumsuz olarak etkilediğinden meyvelerin küçük kalmasına, tahıllarda ise tohumların (danelerin) dolgunlaşmamasına ve ürün kalitesinin düşmesine neden olur.

Su stresi bitkilerde enzim aktivitesi ve enzim miktarı üzerine de önemli bir etki yapar. Ayrıca Absisik asit (ABA; bitkisel bir hormon) miktarı yapraklarda 40 kat artarken kök dahil diğer organlarda bu artış daha azdır. Absisik asit stomaların kapanmasını sağlayarak suyun transpirasyonunu (terlemeyle kaybını) önler. Bitkinin tepe organlarında gelişmeyi azaltarak suyun kök sisteminde kullanılmasına, dolayısıyla kökün derinlere doğru inebilmesine ve daha fazla suya ulaşabilmesine imkan sağlar.

Kuraklığa dayanma stratejileri şunlardır: a) Kuraklık öncesi hızlı bir olgunlaşma ve yağış sonrası üreme, b) Su kaybını derin köklere sahip olarak geciktirme, c) Transpirasyona karşı koruma önlemleri veya taze dokularda suyu depo etme, d) Dokulardan su kaybına izin verme ve suyun azaldığı durumlarda büyüme devam etme, şiddetli su kaybında ise var olmaya çalışma.

Kuraklığa bağlı olarak bitkilerde çeşitli adaptasyonlar görülür. Bunlardan bazıları;

Tüyler, gerek yapraklarda gerekse bazı gövdelerde en net olarak görülen kurakçıl karakterli oluşumlardır. Tüylerin diğer görevlerini; bitki üzerine gelen ışınları dağıtmak veya topraktan yansıyan ışınları kırmak, sinek,

böcek gibi canlıların saldırılarından bitkiyi korumak ve yaprak yüzeyinin serinletilmesine katkıda bulunmak olarak sayabiliriz.

Stomaların kapanmasının transpirasyonun azaltılması üzerine önemli bir etkisi vardır ancak, stomaların kısmen kuraklığa dayanıklı bitkilerde daha az dayanıklı bitkilere göre daha hızlı kapandığı bilinmektedir. Stomaların erken kapanmasının, toprağın kurummasına ilişkin bir tepki olduğu, yaprağın transpirasyon hızına bağlı olarak ideal su dengesinin kurulmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Yaprak yüzeyinde mum tabakasının birikmesi ve bunun daha kalın kütikula oluşumuna yol açması epidermisten su kaybını azaltmaktadır. Bu aynı zamanda karbondioksit alımını da düşürmekte fakat yaprak fotosentezini etkilememektedir. Çünkü kütikula altındaki epidermal hücreler fotosentetik değildir.

Özetle, su stresi altında bitkilerde hayatta kalma ve büyüme stratejileri iki ana grup altında toplanabilir:

a. Morfolojik b. Fizyolojik

a. Morfolojik stratejiler:

Kök sistemlerinin daha derine inmesi veya uzamasında görülen artışlar,
Yaprak ve gövde şekillerinde yüzey azaltıcı değişimler,
Yaprak alanlarının değişik ölçülerde küçülmesi, parçalanması,
Stoma yüzeylerinin korunması amacı ile yaprakların kıvrılması veya yuvarlanması
Yaprak ve gövde üzerindeki tüylerin miktarlarındaki değişimler,
Epidermis üzerindeki kutikula ve mum tabakalarının kalınlığındaki artışlar
Stomaların daha derine gömülü olması
Yaprakların kaybedilmesi
Bazı gövdelerin fotosentetik işlev kazanması

b. Fizyolojik stratejiler:

Stomalar ile ilgili sorumluluklar
Fotosentez olayı ile ilgili düzenlemeler
Osmotik ayarlama
Yapraklarda koruyucu çözeltilerin ortaya çıkışları
Zardaki protein, yağ ve karbonhidrat miktarındaki değişimler
Koruyucu bitki yüzey lipidlerinin artması
Depo lipidlerinin miktarındaki değişimler
Su stresi proteinlerinin varlığı

2. Tuz Stresi: Dünyanın değişik ülkelerinde, özellikle de kurak ve yarı kurak bölgelerde yetiştirilen kültür bitkilerinde görülür. Yağışlı bölgelerde tuzlar yıkanarak yer altı sularına karışır ve sonra akarsularla denizlere taşınır. Bu nedenle tuzlaşma yağışlı bölgelerde genel olarak oluşmaz. Toprakların deniz suyunun etkisinde kaldıkları bölgeler ve denize yakın alçak araziler bunun dışındadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde yağış azlığı nedeniyle tuzların yıkanması yok denecek kadar azdır. Buharlaşıma (evaporasyon) nedeniyle su yitiminin yüksek olduğu bu tip bölgelerde toprakta ve toprak yüzeyinde tuzlar birikir. Suyun iyi bir şekilde akması ya da alt katmanlara doğru süzülmesi sağlanmadan yapılacak sulamalar da tuzluluğun artmasına neden olur.

Bitkiler karşı karşıya kaldıkları yüksek orandaki tuzluluk açısından iki büyük gruba ayrılırlar. Halofitler (*Halo*; tuz) topraktaki tuzluluğa alışık olup yaşam döngülerini bu ortamda sürdüren bitkilerdir. Glikofitler ise (tatlı bitkiler) halofit olmayan bitkiler olarak bilinirler ve tuzlu ortamlara halofitler kadar dayanıklı olmayan bitkilerdir. Glikofitler için topraktaki tuz konsantrasyonu eşiği geçildiğinde büyümede duralama, yaprakta renksizlik ve bitki kuru ağırlığında bir azalma meydana gelir. Aralarında mısır, soğan, limon-portakal, marul ve fasulyenin olduğu bitkiler tuza oldukça yüksek oranda hassas olup, pamuk ve arpa orta dereceli, şeker pancarı ve hurma ise tuzluluğa karşı yüksek oranda direnç gösteren bitkilerdir.

Tuz stresi bitkilerde genellikle iki nedenle ortaya çıkar. Kök bölgesinde çözünmüş tuzların fazlalığı sonucunda yoğunluğun artması nedeniyle bitkinin suyu almakta güçlük çekmesi ve bazı iyonların miktarındaki artışa bağlı olarak toksik etkiler göstermesiyle.

Aşırı tuz stresi bitkilerde bodurluğa ve kök büyümesinde gerilemeye neden olur. Tomurcuk oluşumu azalır, toprak üstü gelişme olumsuz etkilenir ve yapraklar küçük kalır. Hücrelerin ölmeleri sonucu köklerde, tomurcuklarda, yaprak kenarlarında ve büyüme uçlarında sarı lekeler (Nekroz) oluşur.

Bitkilerde suyun azalması ve tuzluluğa bağlı iyonların artmasıyla enzim aktivitesi azalırken, protein sentezi geriler, zar geçirgenliği azalır, kloroplastlar ve diğer hücresel yapılar önemli ölçüde zarar görür. İyonlar arasındaki denge bozulduğundan tuzu oluşturan iyonlarla bitki için gerekli besinler arasında rekabet görülür ve bitkiler kendileri için gerekli elementleri yeterli miktarda alamazlar.

3. Sıcaklık Stresi: Yüksek sıcaklık moleküllerin hareketini hızlandırırken büyük organik moleküller arasındaki bağların gevşemesine ve biyolojik zarların daha akışkan olmasına neden olur. Buna karşın düşük sıcaklıkta biyolojik zarlar sertleşir ve biyokimyasal işlevlerin gerçekleştirilmesi için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur.

Sıcak ve soğuk, şiddetlerine ve sürelerine bağlı olarak metabolik aktiviteyi, büyüme ve gelişmeyi etkileyerek bitki çeşitlerinin ülkelere ve bölgelere göre dağılımını sınırlar. Bitkilerin çoğu 15-45 C arasında iyi gelişirler. Bu sınırın altında ve üstünde bölgelere göre bitkilerin büyümeleri, metabolizmaları, ürünlerin kalite ve miktarı ciddi şekilde etkilenir.

Yüksek sıcaklık büyümeyi etkilerken özellikle gövdede lekelenmelere yol açar. Proteinlerin denatüre olması ve enzim aktivitesinin yitilmesi ile hücre yapısının ve fonksiyonlarının değişmesine neden olur.

Bitkiler ideal koşullarda ani hava değişiklikleri ile bir süre yüksek sıcaklık ve soğukla karşılaşabilirler. Bu şokla karşı karşıya kalan bitkiler henüz tam olarak açıklanamamış bazı mekanizmalarla strese karşı koymaya çalışırlar. Bu konuda araştırmalar üç şekilde gerçekleştirilmektedir.

a) Sıcaklıkları farklı ekolojilerden alınan bitkiler aynı sıcaklıkta yetiştirilerek gösterdikleri tepkiler belirlenmektedir

b) Aynı türe ait bitkiler farklı sıcaklıklarda yetiştirilerek ortaya çıkan değişiklikler incelenmektedir.

c) Sıcaklıkları giderek değiştirilen koşullarda yetiştirilen bitkilerde gelişme boyunca ortaya çıkan değişimler belirlenmeye çalışılmaktadır.

Sıcaklık değişimleri bitkilerde fotosentezi önemli miktarda etkiler. Örneğin düşük sıcaklıklarda, serin iklim bitkilerinde fotosentez miktarının sıcak iklim bitkilerindeki fotosentez miktarından yaklaşık 3 kat fazla olduğu, buna karşın yüksek sıcaklıkta sıcak iklim bitkilerinde fotosentez miktarının serin iklim bitkilerine göre de yaklaşık 5 kat fazla olduğu saptanmıştır.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, yüksek sıcaklık şokunda bitkilerin özel bazı proteinler ürettikleri bulunmuştur.

4. Soğuk Stresi: Soğuk stresi genellikle 0-15 C arasında değişen sıcaklıklarda görülür. Sıcak seven tropik ve yarı tropik bitkiler 15 C'nin altındaki sıcaklıklarda soğuk stresi gösterirler. Soğuk iklim bitkileri ise bu sıcaklıklara kolaylıkla adapte olarak gelişimlerini sürdürürler. Turunçgiller, pamuk, çeltik, şeker kamışı, soya fasulyesi ve patates gibi bitkiler don oluştuğunda ya da donma derecesinin biraz üzerindeki sıcaklıklarda zarar görürler. Muz gibi kimi tropik bitkiler ise 13 C'nin altındaki sıcaklıklarda birkaç saat içerisinde zarar görürler. Bu nedenle muzların buzdolabında saklanması doğru değildir.

Soğuk stresinde ortaya çıkan zararın derecesi soğuğun şiddetinin yanında soğukta kalma süresine ve ortam sıcaklığının soğuktan sığa dönüşmesindeki süreye de bağlıdır.

Duyarlı bitkilerde soğuk stresinin ilk belirtisi toprakta yeterli su bulunmasına rağmen bitki yapraklarının solmasıdır. Bu durum üç nedenle gerçekleşir;

a) Düşük sıcaklıkta köklerde hücre zarlarının geçirgenliğinin azalması nedeniyle yeterli suyun alınamaması

b) Suyun viskozitesinin artması (Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak tanımlanabilir. Ters akışkanlık)

c) Soğukta gözeneklerin açık kalması ya da çok az kapanması

Bu nedenlerden dolayı aynı zamanda su stresi de oluşmaktadır. Ancak su stresinin oluşması bitki için soğuğa karşı direnç sağlayacağından koruyucu bir duruma da neden olmaktadır. (Sıcaklığın yavaş düşmesi bitkinin su miktarını kademeli olarak azaltmasına imkan vereceğinden donmasını ve zarar görmesini önler.)

5. Don stresi: Sıcaklığın 0 C'nin altına düşmesi sonucu oluşan don stresinin olumsuz etkisi çevre sıcaklığının düşük olmasından çok hücre suyunun donmasından kaynaklanır. Bu sıcaklıkta metabolizma en aza iner ve hayati tüm faaliyetler durur.

Buz oluşumu hücreler arası boşlukta başlar. Buradaki suyun donması osmotik bir etki yaparak hücre içindeki (simplast) suyun hücre arası boşluğa (Apoplast) geçmesine ve donmasına yol açar. Bu durum hücrelerde su eksikliğine neden olur. Başlangıçta sadece hücreler arasındaki su donduğundan bitki fazla zarar görmez. Ayrıca hücre içerisindeki su miktarı da azalmış olduğundan hemen donmayacaktır. Ancak soğuğun sürmesiyle hücre içindeki su da donar. Oluşan buz kristalleri hücredeki biyolojik zarları parçalayarak ölmelerine neden olur. Bazı bitkiler ise henüz tam olarak açıklanamayan mekanizmalarla buz kristallerinin oluşmasını engelleyerek dona dayanıklılık gösterirler. Mekanizması henüz aydınlatılmamış olsa da bazı bitkilerin hücrelerinde şeker gibi bazı moleküllerin miktarını arttırdıkları, buna karşılık su miktarını azalttıkları yine suyun donmasını geciktiren antifriz özellikte maddeler sentezledikleri bilinmektedir.

Tüm bilgiler ışığında soğuğa dayanıklı bitkilerin donmaya karşı direnci üç şekilde gösterdikleri söylenebilir;

a) Hücre zarının güçlendirilmesi: Donma evresinde zar yapısı değişirken proteinler denatüre olur. Zarın yağ kompozisyonuyla birlikte, yağ asitleri, fosfolipitler ve çeşitli steroidler yanında, özellikleri de önemli ölçüde değişmektedir.

b) Sitoplazma içeriğinin değiştirilmesi: Başta basit şekerler olmak üzere, prolin gibi diğer bileşikler (yoğunluğu arttıran) hücrede birikirler. Ayrıca donmayı engelleyen özel antifriz proteinleri de birirmektedir.

c) Gen kontrolündeki değişiklikler: Dona karşı direncin sağlanmasında çeşitli genlerin görev aldığı bulunmuştur. Ancak genlerin bu işlevi nasıl gerçekleştirdikleri henüz aydınlatılmamıştır.

6. Işık Stresi: Işık stresi gün ışığının bitkilerde oluşturduğu stres olup öncelikle fotosentez üzerine etkilidir. Işık şiddetinin azlığı ya da fazlalığı bitkide metabolik işlevler üzerinde de önemli etkiler yapar. Güneş ışığı fotosentezi etkilemesinin yanında bitkinin sıcaklığını ve ışığa bağlı tepkimeleri de etkileyerek stres yapar.

Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisinin miktarı, havadaki tozlar, kirlilik, bulutlanma durumu, enlem ve boylam derecelerine göre değişir. Denilebilir ki bitkilerin yararlandığı güneş enerjisinin miktarı çeşitli çevre faktörlerinin etkisiyle azaltılmaktadır. Bu nedenle bitkilerde ışık stresi genellikle ışığın fazlalığından değil yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.

Güneş enerjisinin gücü yalnızca atmosferdeki faktörlerle azaltılmaz, bitkilerin konumu ve durumundan da etkilenir. Fotosentezin olduğu yaprakların üst üste gelmeleri ve bitkilerdeki dizilişleri nedeniyle ışıktan yararlanma kademeli olarak gerçekleşir. Bitki yoğunluğu, bitki boyu ve yaprakların şekli yararlanan ışığın kalite ve miktarını etkiler. Yaprığın yapısı ve kalınlığı ışık geçirgenliği üzerinde etkilidir.

Gölge ve güneş bitkilerinin ışık şiddeti karşısındaki tepkileri farklıdır. Bir bitkinin değişik bölgelerde yetiştirme başarısı sıcaklık, su vb. yanında düşük ışık karşısında fotosentezi sürdürme yeteneğiyle de ilgilidir.

Gölge ve güneş bitkilerinde bulunan kloroplastlar yapı olarak birbirinden önemli ölçüde farklıdır. Kloroplastlardaki klorofil miktarları gibi klorofil a ve klorofil b miktarları da farklıdır.

Bitkinin ışık tutma gücü birim alandaki klorofil miktarına bağlıdır. Gölge koşullarında bitkideki klorofil miktarı azalır.

Işığın yetersiz olması durumunda ortaya çıkan streste bitkilerde karbonhidrat üretimi azalır. Bunu bir seri metabolik değişim izler. Karbonhidratlar solunumda da kullanıldığından hücredeki miktarı düşmeye başlar. Bu durumda bitkiler köklere daha az besin göndererek kök gelişimini yavaşlatırlar. Ayrıca yaprak alanlarını genişleterek ve ışığı daha az yansıtma için incelterek güneş ışığından daha fazla yararlanmaya çalışırlar. Işığın fazla olduğu durumlarda ise yaprakların kalınlaştığı görülür.

Güneş bitkileri fazla ışık aldıklarında fotosentezi hızlandırır. Ayrıca yapraklarında mantarlaşma artar, mum tabakası oluşur ve kütikula tabakası kalınlaşır. Böylece ışığı daha fazla yansıtırlar.

Gölge bitkileri genellikle yüksek ışık şiddetine maruz kaldıklarında ölürlar. Bunun nedeni fotosentezin artması sonucu oluşan ve yapraktan uzaklaştırılmayan oksijen radikalleri ve hidrojen peroksit gibi zehir etkisi yapan ürünlerin birçok biyolojik moleküle tepkimeye girerek yapısını bozmasıdır.

UV ışınları da yüksek miktarda enerji taşıdıkları için zararlı etkiler gösterebilirler. Özellikle proteinlerdeki disülfid bağlarını parçalar ve DNA'nın yapısını bozarlar. Yüksek bitkiler özellikle kütikula tabakasındaki mumlar ve sitoplazmalarındaki bazı maddelerle UV ışınlarını tutarak korunmaya çalışırlar.

7. Hastalık Stresi: Virüs, bakteri ve mantarlar insan ve hayvanlarda olduğu gibi bitkilerde de hastalıklara neden olurlar. Patojenik organizmalardan etkilenen bitkilerde uygun karşı mekanizmalar oluşur.

Patojen organizmalar stomalardan, gövdedeki yarıklardan ve ya çiziklerden bitki içine girerek enfeksiyon yaparlar. Eğer bitki çok duyarlı, patojen de etkin ise ölüm görülür. Yapraklarda sararma (Kloroz), lekelenme (nekroz), solma, kabuk bağlama, kök ve meyve çürükleri hastalıkların belirtileridir.

Hastalıklara karşı koruyucu dokulardaki kalınlaşmalarla fiziksel önlemler alınır. Bunların yanında kimyasal önlemler de alınabilir. Taninler, alkaloidler gibi kimyasallar mantar misellerinin gelişmesini önlemek için üretilirler. Çoğu bitki epidermis tabasını mantarlara zehir etkisi yapan maddelerle güçlendirir.

Bazıları mantar misellerinin bitkiye girmeye çalıştığı bölgelerde hücre duvarlarını kalınlaştırarak ya da bu bölgedeki hücreleri öldürüp mantarın emici organını bir kapsül içerisine alarak önlem alırlar.

8. Su Taşkınlığı (Fazla Su) Stresi: Su azlığında olduğu gibi su fazlalığında da bitkiler strese girerler. Nehir, ırmak ve derelerin taşması ya da aşırı yağışlar sonucu suyu alt katmanlara geçiremeyen topraklar geçici olarak suyla kaplanır. Bu durumda toprağa oksijen giremediği için bitki kökleri ve diğer organlar solunum yapamaz. Bitkilerde büyüme olumsuz şekilde etkilenir, fotosentez miktarı azalır ve ciddi ürün kaybı görülür.

Bitki köklerine oksijen sağlanmasında; topraktaki boşlukların oranı, su içeriği, sıcaklık, kök yoğunluğu gibi etmenlerin yanında alglerin ve aerobik mikroorganizmaların bulunup bulunmaması önemli etki yapar. Su ile kaplı topraklarda oksijen bir iki saat içerisinde tükenir. Bu koşullarda anaerobik mikroorganizmaların faaliyetleri sonucu Fe, Mn, H₂S, sülfidler, laktik asit, bütirik asit, vb. maddelerin miktarları hızla zehir etkisi yapacak düzeylere yükselir.

Oksijen eksikliğine dayanıklılık sürelerine göre bitkiler genelde; sulak alan bitkileri, su taşkınlığına dayanıklı bitkiler ve su taşkınlığına duyarlı bitkiler şeklinde sınıflandırılır.

Su taşkınlığına duyarlı bitkiler, su taşkınlığında hücre sitoplazmalarının asitlik kazanması nedeniyle hemen ölürlar. Oksijen eksikliği protein sentezini önemli ölçüde azaltır, mitokondriler zarar görür, hücre bölünmesi ve uzaması geriler, iyon taşınması olumsuz olarak etkilenir ve kök meristemi hücreleri ölür. Bu koşullarda duyarlı bitkilerde absisik asit ve etilen (bitkisel bir hormon) miktarları hızla artar, yapraklardaki stomalar kapanır, yapraklar aşağı doğru bükülüp sarkar ve çoğu zaman ölüm görülür.

9. Oksidatif Stres: Hücrelere zarar veren ya da hücreleri öldüren reaktif oksijen türlerinin bitki hücrelerinde oluşması ile ortaya çıkar.

Ozon bu stresin en önemli etkenlerinden biridir. Atmosferin üst katmanlarında bulunan ozon dünyamızı UV ışınlarının etkisinden koruduğu için yararlı olsa da yeryüzünün hemen üst katmanlarındaki ozon (son derece reaktif olduğundan) canlılar için oldukça zararlıdır.

10. Hava Kirliliği Stresi: Atmosfere, toprağa ve suya karışarak kirliliğe neden olan toksik maddelerin temel kaynağını endüstri, trafik, tarımsal ve evsel ilaçlar yanında özellikle fosil yakıtlar oluşturur.

Bitkilere zarar veren hava kirlleticilerinin başında; SO₂, N₂O, NO, NO₂, O₃(ozon), H₂S (Hidrojen sülfür) gelir. Çeşitli kirliticilerin bitkilerde oluşturdukları zarara ilişkin belirtiler bitkiden bitkiye değişir. Bir başka deyişle aynı kirleticinin çeşitli bitkilerde oluşturduğu zararın belirtileri farklı olabileceği gibi benzer belirtiler çeşitli kirliticilerden de kaynaklanabilir.

11. Ağır Metal Stresi: Atık maddelerle topraklar, yer altı ve yer üstü suları giderek daha fazla kirlenmektedir. Özellikle ağır metal kirliliği uzun süreli sorunlara neden olmaktadır. Organizmalarda birikerek besin zincirinde yer almakta ve zararlarını yıllarca sürdürmektedirler.

Çinko, kurşun, nikel, kobalt, krom, bakır, mangan, kadmiyum, selenyum, arsenik ve alüminyum gibi belirli bir miktarı aştıklarında zehir etkisi yapan kirliticilerdir. Bunların birçoğu belirli bir miktarda bitkiler için hayati öneme sahip olsalar da fazla miktarda bulunmaları birçok zarara yol açmaktadır.

Genellikle elektron aktarımında devreye girerek solunum ve fotosentez üzerine olumsuz etki yaparlar. Hayati öneme sahip enzimleri inhibe ederek çalışmalarını engellerler. Böylece bitkilerin enerji üretme ve kaliteli ürün oluşturma yetenekleri azaltılır.

Kaynak: http://biyoloji.ataturkfenlisesi.com/ders_notlari/bitkilerde-stres.html [Erişim 26.05.2011]