

Possibilities and Future Perspectives of Using Microorganisms Against Abiotic Stress Factors in Garden Plants

Fadimana Özel^{1,*}, Beyza Hafçı¹, Yaşar Ertürk¹

Kırşehir Ahi Evran University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture, 40100, Kırşehir, Türkiye.

Abstract

Global climate change has placed increasing pressure on production systems in recent years; In particular, the distribution of garden flowers, which exhibits a high degree of detail, leads to significant yield and quality losses. Climate-related abiotic stress factors such as increasing temperature fluctuations, heat-induced rainfall, drought, salinity, flooding, and heavy metal levels lead to a decrease in the amount of homeostasis in plants, the establishment of photosynthetic activity, and intensified oxidative stress, resulting in a significant metabolic disruption. This situation has made the development of sustainable production models imperative; beneficial organisms, among environmentally friendly biological treatments, have emerged as an important research area in stress management.

This group of systematics is classified by summarizing the possibilities and future potential of using microorganisms against abiotic stress in garden plants. The first part of the article addresses the effects of global climate change on the production systems of garden flowers and the morphological, biochemical, and maintenance disruptions in plant physiology caused by abiotic stresses. Subsequently, a complex and detailed classification of fundamental abiotic stresses such as drought and flood-related water stress, salinity and osmotic stress, thermal stress from high and low temperatures, heavy metal damage, and nutrient imbalances was conducted.

The study also evaluated the stress tolerance of different microbial bacteria such as rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), endophytic microorganisms, and Trichoderma species that support plant growth. In the review, microorganism-induced tolerance loss was addressed within the framework of morphological and visible adaptations, such as root structure, stomatal regulation, water use efficiency, and mineral nutrient uptake. In addition, the contributions of biochemical changes to stress tolerance, such as the accumulation of osmolytes like proline, glycine betaine, and sugars, activation of antioxidant defense performance, and reduction of lipid peroxidation, were evaluated. Specifically, the reduction of stress-induced ethylene levels through ACC deaminase activity, the regulation of ABA and auxin signaling, and the level of changes in the expression of stress response genes such as HSP, ERF, WRKY, and DREB have been indicated. The application-focused section of the article examines stored microbial application examples in vegetable varieties, fruit types, viticulture, and ornamental plants; these effects on yield, quality, and stress tolerance are evaluated. Furthermore, multi-strain microbial consortia, metagenomics and transcriptomics computational omics technologies, nano-formulation systems, and “designer microbiota” methods, which have gained importance in recent years, are discussed within the framework of current literature. However, the reproducibility of laboratory results under field conditions, the effects on microbial colonization in the region, the stability of the formulations, and problems related to the administration of biological preparations are addressed within the scope of existing limitations.

In conclusion, beneficial microorganisms offer sustainable and advanced biological tools for abiotic stress management in horticultural plants under climatic conditions. It is predicted that microbiome engineering will become more effective in this field through AI-powered data analysis and the involvement of regionally specific microbial consortia.

Keywords: Abiotic stress, horticultural plants, beneficial microorganisms, PGPR, stress tolerance.

Bahçe Bitkilerinde Abiyotik Stres Faktörlerine Karşı Mikroorganizmaların Kullanım İmkanları ve Gelecek Perspektifi

Özet

Küresel iklim değişikliği, son yıllarda tarımsal üretim sistemleri üzerinde giderek artan baskılar oluşturmaktadır; özellikle çevresel koşullara yüksek duyarlılık gösteren bahçe bitkileri üretiminde önemli verim ve kalite kayıplarına sebep olmaktadır. Artan sıcaklık dalgalanmaları, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık, tuzluluk, su baskını ve ağır metal birikimi gibi iklimsel kaynaklı abiyotik stres faktörleri; bitkilerde hücrel homeostazın bozulmasına, fotosentetik aktivitenin azalmasına, oksidatif stresin artmasına ve metabolik süreçlerin sekteye uğramasına yol açmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir üretim modellerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiş; çevre dostu biyolojik yaklaşımlar arasında yer alan faydalı mikroorganizmalar, stres yönetiminde önemli bir araştırma alanı olarak öne çıkmıştır. Bu derleme makalede, bahçe bitkilerinde abiyotik stres faktörlerine karşı mikroorganizmaların kullanım imkânları ve geleceğe yönelik potansiyeli kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir.

Makalenin ilk bölümünde küresel iklim değişikliğinin bahçe bitkileri üretim sistemleri üzerindeki etkileri ile abiyotik streslerin bitki fizyolojisinde meydana getirdiği morfolojik, biyokimyasal ve moleküler bozulmalar ele alınmıştır. Sonrasında kuraklık ve su baskınına bağlı su stresi, tuzluluk ve ozmotik stres, yüksek ve düşük sıcaklık kaynaklı termal stresler ile ağır metal toksisitesi ve besin elementi dengesizlikleri gibi temel abiyotik stres faktörleri ayrıntılı olarak



incelenmiştir. Değerlendirme çalışmasında ayrıca bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), arbusküler mikorizal funguslar (AMF), endofitik mikroorganizmalar ve *Trichoderma* türleri gibi farklı mikrobiyal grupların stres toleransındaki işlevleri değerlendirilmiştir. Derlemede, mikroorganizmalar aracılığıyla indüklenen tolerans mekanizmaları; kök mimarisinin iyileştirilmesi, stoma regülasyonu, su kullanım etkinliğinin artırılması ve mineral besin alımının desteklenmesi gibi morfolojik ve fizyolojik adaptasyonlar çerçevesinde ele alınmıştır. Bunun yanında prolin, glisin betain ve çözünür şekerler gibi ozmolitlerin akümüasyonu, antioksidan savunma sistemlerinin aktivasyonu ve lipid peroksidasyonunun azaltılması gibi biyokimyasal değişimlerin stres toleransına katkıları değerlendirilmiştir. Özellikle ACC deaminaz aktivitesi aracılığıyla stres kaynaklı etilen düzeylerinin azaltılması, ABA ve oksin sinyalizasyonunun düzenlenmesi ile HSP, ERF, WRKY ve DREB gibi stres yanıt genlerinin ekspresyonundaki değişimler moleküler düzeyde açıklanmıştır.

Makalenin uygulama odaklı bölümünde sebze yetiştiriciliği, meyve türleri, bağcılık ve süs bitkilerinde gerçekleştirilen mikrobiyal uygulama örnekleri incelenmiş; bu uygulamaların verim, kalite ve stres toleransı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca son yıllarda önem kazanan çoklu suş içeren mikrobiyal konsorsiyumlar, metagenomik ve transkriptomik temelli omics teknolojileri, nano-formülasyon sistemleri ve “designer microbiota” yaklaşımları güncel literatür çerçevesinde tartışılmıştır. Bununla birlikte laboratuvar sonuçlarının saha koşullarında tekrarlanabilirliği, çevresel faktörlerin mikrobiyal kolonizasyon üzerindeki etkileri, formülasyon stabilitesi ve biyolojik preparatların tescil süreçlerine ilişkin sorunlar mevcut sınırlamalar kapsamında ele alınmıştır.

Sonuç olarak faydalı mikroorganizmaların, iklim değişikliği koşullarında bahçe bitkilerinde abiyotik stres yönetimine yönelik sürdürülebilir ve yenilikçi biyolojik araçlar sunduğu; gelecekte mikrobiyom mühendisliği, yapay zekâ destekli veri analizleri ve bölgeye özgü mikrobiyal konsorsiyumların geliştirilmesiyle bu alandaki uygulamaların daha etkin hale geleceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, bahçe bitkileri, faydalı mikroorganizmalar, PGPR, stres toleransı.

