

Basturk, M. H., S. F. Arslanoglu, and R. Ozturk, Karbon Noktaların Tarımsal Üretimde Kullanılması. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2022. 5(3): p. 669-679. DOI: 10.38001/ijlsb.1134751

Karbon Noktaların Tarımsal Üretimde Kullanılması

Mehmet Han Basturk^{1*} , Sahane Funda Arslanoglu¹ , Rumeysa Ozturk¹ 

ÖZET

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre dünya nüfusunun 2050 yılında 10 milyara ulaşacağını ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıda ihtiyacının %50 oranda arttıracağı tahmin edilmektedir. Bu durum Dünya'da tarımsal anlamda köklü değişimlere gidilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Son yıllarda tarımsal alanlarda girdi verimliliğini arttırarak, gıda üretimini ve güvenliliğini arttırmak, tarım ve çevresel sorunlara çözüm sunmak amacıyla tarımda nanoteknoloji kullanılması umut verici bir gelişmedir. Nanoteknolojinin bir ürünü olan nano parçacıklar yeni kimyasal ve fiziksel özellikleri sayesinde tıp, elektronik, malzeme bilimi, biyoteknoloji ve enerji sektörlerinde kullanımı hızla artmaktadır. Karbon malzemeler arasında son zamanlarda çok popüler olan Karbon noktaları (Carbon dots), boyutları genellikle 0.1-20 nm aralığına sahip yarı karbon bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Yapıları, özellikleri, görüntüleme ve karakterizasyon seçenekleri bakımından daha önce çalışılmış karbon formlarına göre önemli farklılıklara sahip Karbon Noktalar çeşitli fizikokimyasal özellikleri, yüksek biyo-uyumluluk, yüksek stabilite ve optik özellikleri ile öne çıkmaktadır. Karbon noktalar bitkilerin verimini önemli ölçüde arttıran kül bileşenidir. Tarımsal üretimde tohum çimlenmesi, kök uzaması, bitki hastalıklarına karşı direnç ve karbon fiksasyonu artırma gibi pozitif etki göstererek bitki büyümesini desteklemektedir. Son zamanlarda Karbon noktalar tarımda, kimyasal ilaç kullanımı azaltma, gübrelemede bitki besin elementi kaybını minimuma indirmede, su ve besin elementinden etkin yararlanmayı sağlayarak verimi arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu derlemede, yeni bir nanogübre olarak tanımlayabileceğimiz Karbon noktaların, sentezi, tarımsal üretimde kullanımı ve etkileri üzerine yaptığımız literatür incelemeleri sonucunda elde ettiğimiz bilgiler mevcuttur.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş

24 Haziran 2022

Kabul

22 Kasım 2022

ANAHTAR KELİMELER

Çimlendirme,
gübre,
karbon noktalar,
nanoteknoloji

¹ Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Samsun / Türkiye

* Sorumlu yazar: Mehmet Han Basturk, e-mail: mehmethanbasturk75@gmail.com

The Use of Carbon Dots in Agricultural Production

ABSTRACT

According to the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), it is estimated that the world's population will reach 10 billion in 2050 and that the need for food, especially in developing countries, will increase by 50%. This situation shows the need for fundamental changes in the agricultural sense in the world. In recent years, the use of nanotechnology in agriculture has been a promising development in order to increase input efficiency in agricultural fields, increase food production and safety, and provide solutions to agricultural and environmental problems. Nanoparticles, which are a product of nanotechnology, are rapidly increasing in use in medicine, electronics, materials science, biotechnology and energy sectors due to their new chemical and physical properties. Carbon dots, which have recently become very popular among carbon materials, are defined as a semi-carbon material, the dimensions of which usually have a diameter of 0.1-20 nm. Structures, properties, characterization, and imaging options in terms of various physicochemical properties of Carbon Dots with significant differences according to the form previously studied carbon, high bio-compatibility, high stability, and optical properties stand out. Carbon is the component of ash, which significantly increases the yield of plants. It supports plant growth by showing positive effects such as seed germination, root elongation, resistance to plant diseases and increasing carbon fixation in agricultural production. Recently, carbon dots have been used in agriculture to reduce the use of chemical drugs, minimize the loss of plant nutrients in fertilization, and increase yields by providing effective use of water and nutrients. In this review, the information we have obtained as a result of literature reviews on the synthesis, use and effects of carbon dots, which we can define as a new nanogubber, in agricultural production, is available.

ARTICLE HISTORY

Received

24 June 2022

Accepted

22 November 2022

KEYWORDS

Carbon dots,
nanotechnology,
fertilizer,
germination

Giriş

Dünya’da tarımsal üretim, iklim değişikliği, çevresel kirlilik, girdi maliyetlerinin yüksekliği, pestisitlerin kontrolsüz kullanımı ve tarım arazilerinin azalması nedenleriyle büyük bir sorunla karşı karşıyadır [1]. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü’ne [2] göre dünya nüfusunun 2050 yılında 10 milyara ulaşacağı ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde gıda ihtiyacının %50 oranda artacağı tahmin edilmektedir. Günümüz verilerine göre yaklaşık 1 milyar insan gıda kıtlığı yaşamaktadır. Bunun 2050 yılında 2 milyar olması beklenmektedir [2]. Bu durum Dünya’da tarımsal üretimde köklü değişimlere gidilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır [1]. Araştırmacılar son zamanlarda tarım ve çevre sorunlarına çözüm bulmak amacıyla tarımsal girdi verimliliğini, tarımsal üretimi ve gıda güvenliğini artırmak için nanoteknolojik gelişmelerden yararlanmak gibi farklı çözüm önerileri sunmaktadır [3-5].

Nanoteknoloji, konusu biyoloji olsun veya olmasın 0.1-100 nanometre (nm) boyutlara sahip yapıları üretmek, karakterize etmek ve fonksiyonel hale getirmek için kullanılmaktadır [6]. Boyutlarının bir sonucu olarak nanoteknolojik malzemeler fiziksel

dayanıklılık, kimyasal reaktivite, elektriksel iletkenlik, optik ve manyetizma gibi özellikler bakımından mikrometrik veya daha büyük moleküllerden çok farklı kimyasal ve fiziksel özellikler sergilemektedir [3, 7, 8]. Bu özellikleri nedeniyle nano parçacıkların tıp, elektronik, malzeme bilimi, biyoteknoloji ve enerji sektörlerinde kullanımı hızla artmaktadır [9]. Bu sektörlerde yaşanan umut verici gelişmeler, araştırmacıları tarımsal üretimde yaşanan sorunların çözümü yönünde nanoteknolojinin kullanılabilirliğine yönlendirmiştir [9].

Neolitik çağdan bu yana karbon parçacıkları ve iyonik besin içeriği nedeniyle kül, tarımsal üretimi iyileştirmek amacıyla kullanılmıştır. Bu bilgiden yola çıkarak yapılan çalışmalarda, karbon nano malzemelerin, kül etkilerine benzer şekilde bitkilerin su ve besin alımını artırdıkları gözlemlenmiştir [10]. Geleneksel karbon (aktif karbon) ile endüstriyel karbon (karbon fiber, grafit ve karbon nanotüpler) gibi karbon bazlı malzemeler sağlam ve çevre dostu olmaları sebebiyle kimya, malzeme bilimi ve diğer disiplinlerin gelişmesinde önemli rol oynamaktadırlar. Makroskobik karbon malzemeleri etkili bir floresan ışımadan yoksundur, bu sebeple biyolojik çalışmalarda optik uygulamalar için uygun değildir. Karbon malzeme grubuna 2004 yılında eklenen karbon noktaları, floresan ışımaya özelliği ile bu açıklığı gidermiş ve biyolojik uygulamalarda etkili bir biçimde kullanılmasını sağlamıştır [11].

Karbon Noktalar (Carbon Dots)

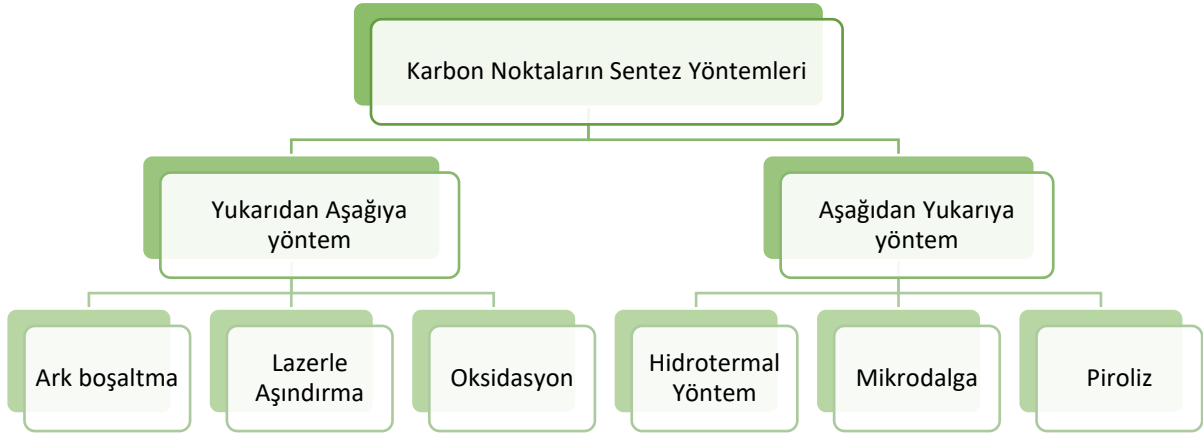
İlk defa tesadüfen 2004 yılında, tek duvarlı karbon nanotüplerin saflaştırılması ile floresan karbon nano parçacıklar elde edilmiştir [12]. Sun ve ark., [13], karbonun lazer ablasyonu ile sentezlenen nano ölçekli karbon parçacıklarını ‘‘Karbon Noktalar (Carbon Dot)’’ olarak adlandırmışlardır. Genellikle 20 nm’ den küçük boyutlara sahip yarı karbon bazlı bir malzeme olarak tanımlanan karbon noktalarının en önemli özelliği doğal fotoluminesans olmalarıdır [11].

Karbon noktaları (KN); fotostabilite, küçük boyut, biyo uyumluluk, suda çözünürlük, biyo moleküller ile kolay etkileşime girmesi ve yüksek kuantum verimi gibi özellikleri nedeniyle biyo izleme, algılama, ilaç ve gen dağıtımı gibi optik araştırmalara konu olmuştur [14, 15].

Karbon noktaların sentezi

Karbon malzemelerden, karbon noktaların sentezlenmesinde yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır [16]. Sentez yöntemi Şekil 1’ de şematik olarak gösterilmiştir.

Lazer ablasyonu, asidik aşındırma ve elektrokimyasal aşındırma yöntemlerinin uygulandığı yukarıdan aşağıya sentezlenmesi metoduyla kaliteli ve saf karbon noktalar üretilebilmektedirler [10]. Ancak bu yöntem, fazla enerji kullanımı, fazla atık madde oluşumu, sentez yolunun karmaşık olması ve maliyetinin yüksekliği gibi nedenlerden dolayı çok tercih edilmemektedir. Bunun yerine hidrotermal, mikrodalga, piroliz gibi yöntemlerin uygulandığı aşağıdan yukarıya sentez yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 1) [10, 16].



Şekil 1 Karbon noktaların sentez yöntemleri

Fig 1 Methods of synthesis of carbon dots

Bu yöntemde karbon noktalar, karbonhidrat, organik asitler ve polimerler gibi organik maddelerden yüksek sıcaklık altında çözücü olarak su veya etanol kullanılmasıyla kolayca sentezlenmektedir [5, 16].

Karbon noktalarının fiziksel ve kimyasal özellikleri, sentez yöntemi, reaksiyon süresi, çözücü madde, sıcaklık, boyut ve yüzeylerinde bulunan fonksiyonel gruplara (hidroksil, eter, karbonil, karboksilik asit) göre farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar sebebiyle teorik ve pratik uygulamalar için gerekli standartlar her zaman sağlanamamaktadır [10]. Ancak şimdiye kadar yapılan çalışmalarda karbon noktaların bitkilerin bütün kısımlarına girerek, besin ve su alınımlarını arttırdığını, bitkilerde büyüme ve gelişmeyi desteklediğini, hücre ve doku görüntülemeye kullanımı konularında oldukça başarılı

bulunmuştur [17]. Bu sonuçlar doğrultusunda KN' lerin tarımda gübre olarak iyi bir aday olabileceği ve biyoteknolojide büyük potansiyel uygulamaları olduğunu göstermektedir [18].

Karbon Noktaların Tarımsal Üretime Etkileri

Tarımsal anlamda ilk olarak sitrik asit ve üreden hazırlanan karbon noktaları model bitki olarak fasulyede denenmiş ve toksik olmadığı bildirilmiştir [19]. Bu çalışma sonrasında karbon noktalarının bitki büyümesi üzerine potansiyel etkilerinin araştırılma süreci başlamıştır [20]. Aşağıda karbon noktaların bitki büyümesi, fotosentez, biyotik ve abiyotik stres, *Azotobacter chroococum*'un aktivitesi üzerine etkileri hakkında yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

Karbon noktaların bitki büyümesi üzerine etkileri

Maş fasulyesi, hızlı büyümesi nedeniyle çalışmalarda sıklıkla model bitki olarak kullanılmıştır [18, 21]. Karbon noktaları (KN) kök ve gövde uzamasını teşvik ederek bitkilerde biyokütle artışını desteklemektedir. Örneğin; Wang ve ark., [18], 0.02 mg ml⁻¹ KN uygulaması ile birlikte maş fasulyesinde kök uzunluğu, gövde uzunluğu ve bitki yaş ağırlığını sırasıyla %29.9, %18.3, %14.9 oranında arttırdığını (Şekil 2A), Zheng ve ark. [22], 3.5 mg L⁻¹ KN uygulamasının Çin lahanasında sürgün ve kök yaş ağırlıklarını sırasıyla %69.9 ve %66.12 oranda arttırdığını (Şekil 2B), marula KN uygulamasında konsantrasyon arttıkça biyokütle artışının olduğunu ve 30 mg L⁻¹ konsantrasyonda %48.09'lük bir artış olduğunu (Şekil 2C) ve Su ve ark. [23], Yer fıstığında 180 mg L⁻¹ KN uygulaması ile birlikte kök aktivitesi bakımından 3.5 kat, kök uzunluğu, fide yüksekliği, kök sayısı, kök kuru ağırlığı, kök yaş ağırlığı ve sürgün yaş ağırlığı bakımından ise 1.5 kat (Şekil 2D) daha iyi sonuç aldıklarını bildirmişlerdir.

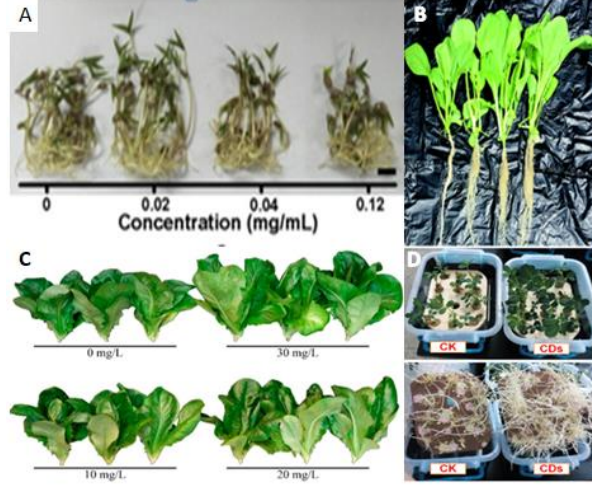
Karbon noktaların bitkilerde fotosentez üzerine etkileri

Fotosentez, bitkilerin güneş enerjisini kimyasal enerjisine çevirdiği, bu sırada bitki büyümesi ve biyokütle birikiminde önemli rol oynadığı bilinmektedir. Karbon noktalar hem iyi bir elektron verici hem de alıcı olarak ışık enerjisinin dönüşüm uygulamalarını desteklemektedir [20].

Fotosentezde elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüştürülmesinde karbondioksit (CO₂) fiksasyonu önemli bir role sahiptir. Ribuloz bifosfat karboksilaz oksijenaz (RuBisCo) enzimi fotosentezin calvin döngüsü sırasında CO₂ sabitleyen önemli bir

enzimdir. RuBisCo aktivitesi fotosentez hızı ve karbonhidrat birikimini doğrudan etkilemektedir [18].

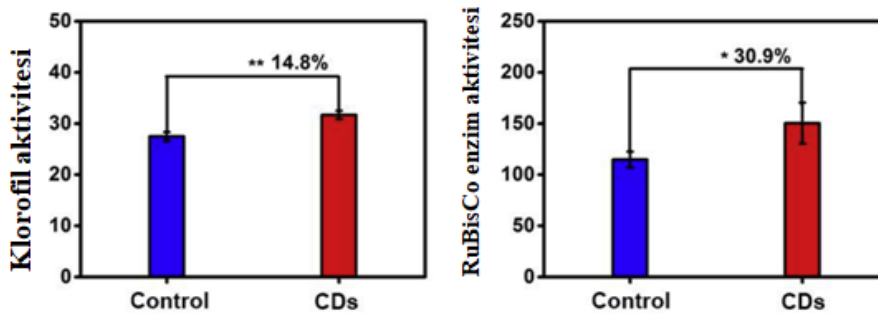
Wang ve ark., (18), Karbon noktaları uyguladıkları Maş fasulyesinde klorofil içeriğinin ve RuBisCo aktivitesinin sırasıyla %14.8 ve %30.9'a (Şekil 3) kadar arttığını bildirmişlerdir.



Şekil 2 Karbon noktaların; (A) maş fasulyesi [18], (B) çin lahanası [22], (C) marul [22], (D) yer fıstığı [23] bitkilerinde büyüme üzerine etkileri

Fig 2 Karbon dots; (A) mung beans [18], (B) Chinese cabbage [22], (C) lettuce [22], (D) peanuts [23] effects on plant growth

Li ve ark., [24], karbon noktaların çeltik üzerindeki etkilerini incelemiş ve RuBisCo enzim aktivitesinin %42 oranda artması sonucunda %14.8 lik bir verim artışı gözlemlemişlerdir.



Şekil 3 Karbon noktaların mas fasulyesinde klorofil ve RuBisCo enzim aktivitesi üzerine etkileri (18)

Fig 3 The effects of carbon dots on the enzyme activity of chlorophyll and RuBisCO in mas beans [18]

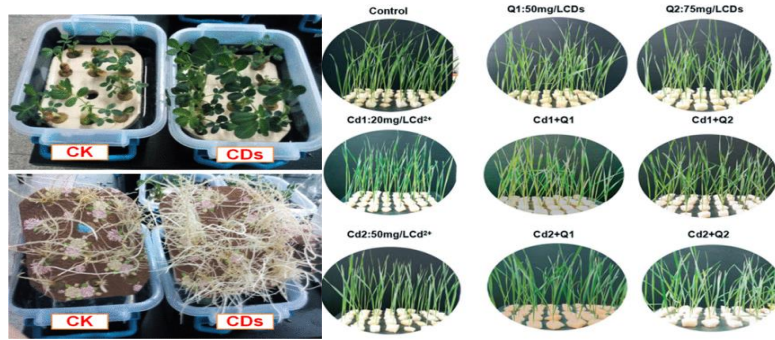
Karbon noktaların bitkilerde abiyotik ve biyotik streslere karşı toleransı

Bitkilerde stres, bitkilerin büyümesini, gelişmesini veya üretkenliğini olumsuz yönde etkileyen dış koşulları ifade etmektedir. Bitkilerde biyotik (mantar, bakteri, nematod vb.) ve abiyotik (sıcaklık, kuraklık, tuzluluk vb.) olmak üzere iki tür stres vardır. Bitkiler, bu çevresel streslerin üstesinden gelmek için bir takım savunma mekanizmaları geliştirmişlerdir [25].

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü' nün (FAO) 2007 yılında hazırlamış olduğu rapora göre Dünya'da tarımsal alanların %96 sı çeşitli abiyotik streslerden etkilenmekte, bunun sonucu olarak %50'ye varan verim kayıplarına uğramaktadır [26].

Reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşumundaki artış, bitki büyümesini etkileyen abiyotik streslerin ana faktörüdür ve ROS' un birikmesi genellikle proteinler, lipidler, karbonhidratlar ve DNA' da oksidatif hasara yol açar [27]. Son yıllarda yüzeylerindeki karboksil ve amino grupları nedeniyle radikal süpürücü özelliğe sahip KN' ler abiyotik strese karşı direnci arttırabileceği bildirilmiştir [28, 29].

Bu bilgiler doğrultusunda [23], karbon noktaların, yer fıstığında kuraklık stresi üzerine etkisini inceledikleri çalışmada, karbon nokta (CD) uygulanmış yer fıstığı bitkilerinde süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz (CAT) aktivitelerinin arttığı ve malondialdehit (MDA) içeriğinin azaldığı görülmüştür. Araştırmacılar, yer fıstığında CD uygulamasının stres direncini arttırdığı ve kuraklık stresini azalttığı sonucuna varmışlardır (Şekil 4). Xiao ve ark., (30)'nın buğday'da kadmilyum toksisitesinin negatif etkilerine karşı yaptıkları çalışmada, karbon noktalarının Kadmilyum'u absorbe ettiğini, bitkide çözünür şeker ve protein içeriğini arttırdığını, bunun yanı sıra buğday yapraklarında askorbat peroksidaz (APX), katalaz (CAT) ve peroksidaz'ı (POD) arttırarak bitkide kadmilyum toksisitesine karşı toleransı yükselttiğini belirlemişlerdir.

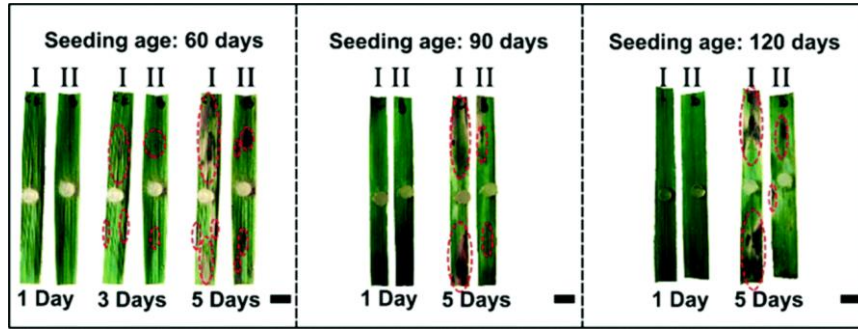


Şekil 4 Karbon noktaların abiyotik stres üzerine etkileri; yerfıstığı [23], buğday [30]

Fig 4 The effects of carbon dots on abiotic stress; peanut [23], wheat [30]

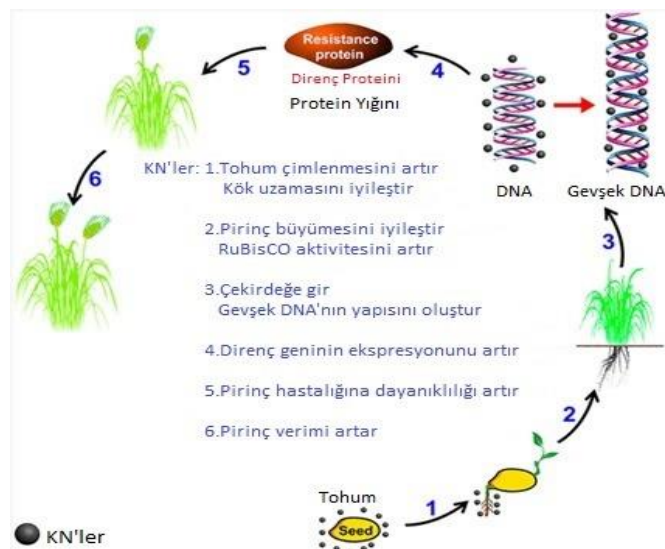
Bitkiler farklı büyüme evrelerinde böcek, bakteri, fungus, virüs veya nematod gibi organizmalar tarafından besin kaynağı olarak kullanılmaktadırlar, bununla birlikte bitkilerde biyotik stres oluşumuyla birlikte hastalıkların ortaya çıkması ve sonucunda da ürün kayıpları meydana gelmektedir [31]. Bitkiler biyotik streslere karşı dayanıklılık genleri geliştirmişlerdir. Bu genlerin ürünü olan proteinler, hastalık etmeninin bitkiye girmesiyle birlikte savunma sistemini harekete geçirerek antimikrobiyal etkiye sahip birçok proteinin bitkide üretilmesini sağlamaktadır [32].

Fitopatojenlerle enfeksiyon, tarımsal üretimde ciddi kayıplara yola açan biyotik bir streştir (Şekil 5) [11]. Çeltik üzerinde bir dizi deney sonucunda [24], Karbon noktalarının hücre çekirdeği içerisine girerek DNA'nın yapısını gevşettiğini ve bunun sonucunda bitki hastalık direnç genlerinin ifade düzeyinde bir artış sağlandığını bildirmişlerdir (Şekil 6) [24].



Şekil 5 Karbon noktalarının biyotik stres üzerine etkileri [24]

Fig 5 The effects of carbon dots on biotic stress [24]

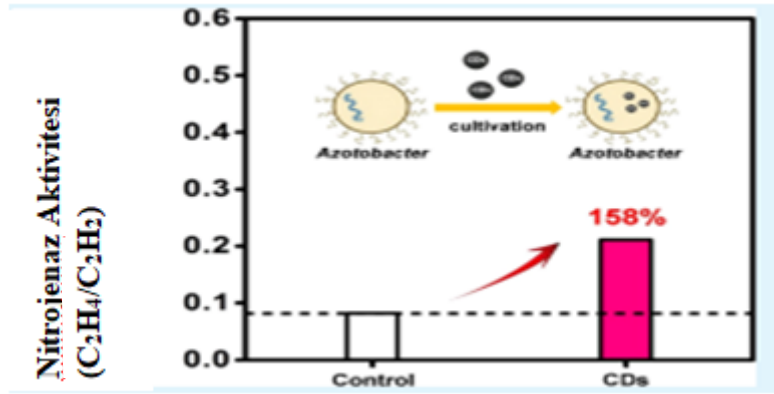


Şekil 6 Karbon noktalarının zamana göre çeltik üzerindeki etkisi [24]

Fig 6 The effect of carbon dots on paddy with respect to time [24]

Karbon noktaların *Azotobacter chroococum*'un azot fiksasyonu üzerine etkileri

Azot, bitkiler için en önemli bitki besin elementlerinden birisidir. Azotlu gübrelerin fazla kullanımı çevresel kirlilik ve yüksek girdi maliyeti sebebiyle endişe kaynağıdır. Atmosfer bol miktarda azot (Nitrojen formda) içermektedir. Ancak, bitkiler bu azotu doğrudan kullanamazlar. Azot sabitleyici bakteriler azot fiksasyonu ile birlikte serbest atmosferdeki serbest azotu toprağa bağlayarak bitkilerin alımı için uygun hale getirebilmektedirler [33]. Wang ve ark., [18], *Azotobacter chroococum*'un aktivitesi üzerine karbon noktaların etkisini inceledikleri araştırmada, KN uygulamasının %158 oranında azot fiksasyonu aktivitesininin artırdığı bildirmişlerdir (Şekil 4). Buna ek olarak karbon noktaların nitrojenaz ile birleşerek nitrojenazın ikincil yapısını etkileyebileceği, biyokatalitik süreçte elektron transferini iyileştirebileceği ve son olarak azot fiksasyonu için nitrojenaz aktivitesini geliştirebileceği sonucuna varmışlardır(Şekil 7) [18].



Şekil 7 Karbon noktaların *Azotobacter chroococum*' un aktivitesi üzerine etkileri [18]

Fig 7 Effects of carbon dots on the activity of *Azotobacter chroococum* [18]

Sonuç

Yapılan literatür çalışmalarında karbon noktaların yüksek konsantrasyonlarda kullanılmadığı takdirde tarımsal üretimde bitki büyümesi, verim artışı, su ve besin emilimini artması, hastalık ve zararlılara karşı direncin artması, biyotik ve abiyotik strese karşı tolerans gibi konularda pozitif yönlü etkilerinin olduğu görülmüştür.

Başlangıç materyallerinin ucuz ve kolay temin edilebilir olmasıyla birlikte karbon noktaların hazırlanması için çok yönlü sentez yöntemleri geliştirilmiştir. Bununla birlikte, standart boyut, şekil ve fonksiyonel gruplara sahip yüksek kaliteli ve saf karbon noktaları için sistematik ve ölçeklenebilir bir sentez yöntemi henüz yoktur. Bu sebeple

çalışmalar çimlendirme veya saksı denemeleri ile sınırlı kalıp tarla koşullarında çalışmaya rastlanmamıştır. Yaptığımız literatür çalışmaları arasında ürün kalitesi üzerine yapılan bir çalışma bulunamamıştır.

Ancak, günümüzde tarımsal üretimde kuraklık, su kısıtı, kimyasal ilaç kullanımının yarattığı olumsuz etkileri azaltmak, gübre girdi maliyetleri düşürmek, hastalık ve zararlılara dayanıklılık sağlamak gibi konularda olumlu katkılar sağladığı laboratuvar ve saksı çalışmaları ile belirlenmiş olan karbon noktaların çevre dostu, biyoyumluluk özelliği ve toksisitesinin olmaması özellikleri dikkate alınarak, kullanımıyla ilgili tarla-sera koşullarında, verim ve kaliteyi artırmak yönünde fizyolojik çalışmaları da kapsayan daha geniş kapsamlı araştırmalara ihtiyaç olduğu görülmüştür.

Kaynakça

1. Usman, M., et al., Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment*, 2020. 721: p. 137778.
2. FAO, F., The future of food and agriculture—Trends and challenges. *Annual Report*, 2017. 296: p. 1-180.
3. Demirbilek, M.E., Tarımda ve gıdada nanoteknoloji. *Gıda Ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi*, 2015(15).
4. Erdem, S. and G.T. Gülel, Gıda endüstrisinde nanoteknoloji uygulamaları. *Etlık Veteriner Mikrobiyoloji Dergisi*, 2015. 26(2): p. 52-57.
5. Li, Y., et al., Magnesium-nitrogen co-doped carbon dots enhance plant growth through multifunctional regulation in photosynthesis. *Chemical Engineering Journal*, 2021. 422: p. 130114.
6. Yildirim, N., Nanoteknoloji ve geleceğin çevreci polimeri nanoselüloz. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 2018. 5(2): p. 185-195.
7. Modi, S., et al., Recent Trends in Fascinating Applications of Nanotechnology in Allied Health Sciences. *Crystals*, 2021. 12(1): p. 39.
8. Wu, D., et al., Phenolic-enabled nanotechnology: Versatile particle engineering for biomedicine. *Chemical Society Reviews*, 2021. 50(7): p. 4432-4483.
9. Parisi, C., M. Viganı, and E. Rodríguez-Cerezo, Agricultural nanotechnologies: what are the current possibilities? *Nano Today*, 2015. 10(2): p. 124-127.
10. Kang, Z. and S.-T. Lee, Carbon dots: advances in nanocarbon applications. *Nanoscale*, 2019. 11(41): p. 19214-19224.
11. Liu, J., R. Li, and B. Yang, Carbon dots: A new type of carbon-based nanomaterial with wide applications. *ACS Central Science*, 2020. 6(12): p. 2179-2195.
12. Xu, X., et al., Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. *Journal of the American Chemical Society*, 2004. 126(40): p. 12736-12737.
13. Sun, Y.-P., et al., Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence. *Journal of the American Chemical Society*, 2006. 128(24): p. 7756-7757.
14. Zheng, X.T., et al., Glowing graphene quantum dots and carbon dots: properties, syntheses, and biological applications. *small*, 2015. 11(14): p. 1620-1636.
15. Peng, Z., et al., Carbon dots: biomacromolecule interaction, bioimaging and nanomedicine. *Coordination Chemistry Reviews*, 2017. 343: p. 256-277.

16. Dinç, S. and M. Kara, Synthesis and applications of carbon dots from food and natural products. *Journal of Apitherapy and Nature*, 2018. 1(1): p. 33-37.
17. Verma, S.K., et al., Applications of carbon nanomaterials in the plant system: A perspective view on the pros and cons. *Science of the Total Environment*, 2019. 667: p. 485-499.
18. Wang, H., et al., Carbon dots promote the growth and photosynthesis of mung bean sprouts. *Carbon*, 2018. 136: p. 94-102.
19. Qu, S., et al., A biocompatible fluorescent ink based on water-soluble luminescent carbon nanodots. *Angewandte Chemie international edition*, 2012. 51(49): p. 12215-12218.
20. Li, Y., et al., A review on the effects of carbon dots in plant systems. *Materials Chemistry Frontiers*, 2020. 4(2): p. 437-448.
21. Li, W., et al., Phytotoxicity, uptake, and translocation of fluorescent carbon dots in mung bean plants. *ACS applied materials & interfaces*, 2016. 8(31): p. 19939-19945.
22. Zheng, Y., et al., Pollen derived blue fluorescent carbon dots for bioimaging and monitoring of nitrogen, phosphorus and potassium uptake in *Brassica parachinensis* L. *RSC advances*, 2017. 7(53): p. 33459-33465.
23. Su, L.-X., et al., Carbon nanodots for enhancing the stress resistance of peanut plants. *Acs Omega*, 2018. 3(12): p. 17770-17777.
24. Li, H., et al., Impacts of carbon dots on rice plants: boosting the growth and improving the disease resistance. *ACS Applied Bio Materials*, 2018. 1(3): p. 663-672.
25. Gull, A., A.A. Lone, and N.U.I. Wani, Biotic and abiotic stresses in plants. *Abiotic and biotic stress in plants*, 2019: p. 1-19.
26. Van Velthuisen, H., Mapping biophysical factors that influence agricultural production and rural vulnerability. 2007: Food & Agriculture Org.
27. Choudhury, F.K., et al., Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal*, 2017. 90(5): p. 856-867.
28. Das, B., et al., Carbon nanodots from date molasses: new nanolights for the in vitro scavenging of reactive oxygen species. *Journal of Materials Chemistry B*, 2014. 2(39): p. 6839-6847.
29. Zhao, S., et al., Green synthesis of bifunctional fluorescent carbon dots from garlic for cellular imaging and free radical scavenging. *ACS applied materials & interfaces*, 2015. 7(31): p. 17054-17060.
30. Xiao, L., et al., Carbon dots alleviate the toxicity of cadmium ions (Cd²⁺) toward wheat seedlings. *Environmental Science: Nano*, 2019. 6(5): p. 1493-1506.
31. Sarikaya, F., Domates (*solanum lycopersicum* l.)te virüs enfeksiyonu ve kuraklık stresi sırasında mirnalar ve hedefledikleri myb transkripsiyon faktörlerinin ekspresyonlarının belirlenmesi. 2020, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
32. Esra, K. and A.S. Üstün, Patojenlere Karşı Bitkilerde Savunma Ve Antioksidanlar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 2008. 24(1): p. 82-100.
33. Bohlool, B., et al., Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. *Plant and soil*, 1992. 141(1): p. 1-11.