



***Oryza sativa* L. ve *Capsicum annuum* L.'nin bazı fizyolojik ve makromorfolojik gelişim parametreleri üzerine silisyum'un etkisi**

Ercan ÇATAK^a, Güler ÇOLAK^a, Necmettin CANER^b

^aEskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü, ESKİŞEHİR

^bEskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, ESKİŞEHİR

Anahtar Kelimeler

Oryza sativa L.,
Capsicum annuum L.,
Silisyum,
Çimlenme,
Fide büyümesi

ÖZET

Bu çalışma ile in vitro ortamlarda çimlendirme teknikleriyle inkübasyona alınan *Oryza sativa* L. ve *Capsicum annuum* L.'un başlangıç büyüme dönemlerinde bazı fizyolojik ve makromorfolojik parametreler üzerine silisyum etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Artan konsantrasyonlarda uygulanan silisyum fotoperiyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda inkübasyona alınan *Oryza sativa* L. cv. Kıral, Osmancık-97 ve Baldo genotipleri ile *Capsicum annuum* L. cv. Çetinel ve Ilıca genotiplerine ait tohumların çimlenme oranlarında anlamlı değişimler oluşturamamıştır. Fotoperiyodik indüksiyon altında çimlenmeye terk edilen *Capsicum annuum* L. cv. 11B-14 genotipine ait tohumların çimlenme oranlarında da istatistiki fark gözlenmemiştir. Silisyum uygulamaları, fotoperiyodik indüksiyon altında *C. annuum* cv. 11B-14 kök yaş ağırlıklarında, *C. annuum* cv. Çetinel kök kuru ağırlıklarıyla kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında, *O. sativa* cv. Osmancık-97 kök yaş ve kuru ağırlıklarında, *O. sativa* cv. Baldo hipokotil ve kök yaş ve kuru ağırlıklarıyla kın kuru ağırlıklarında anlamlı değişimlere neden olmuştur. Fotoperiyodik indüksiyon altında *O. sativa* cv. Kıral ve Osmancık-97 ile *C. annuum* cv. 11B-14 fideciklerinin, fotoperiyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda *O. sativa* cv. Baldo ve *C. annuum* cv. Çetinel fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde de anlamlı değişimler gözlenmiştir. Morfolojik ve kantitatif gelişim parametrelerinde ortaya çıkan tüm bu değişimlerin genotipler düzeyinde önemli farklılıklar sergileyebildiği de görülmüştür.

The effect of silicon on some physiological and macromorphological development parameters of *Oryza sativa* L. and *Capsicum annuum* L.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effects of silicon on some physiological and macromorphological parameters during initial growth phases of *Oryza sativa* L. and *Capsicum annuum* L. which were incubated by germination techniques in in vitro media. Silicon applied at increasing concentrations did not cause any significant change in germinating rates of seeds of *Oryza sativa* L. cv. Kıral, Osmancık-97 and Baldo genotypes, and *Capsicum annuum* L. cv. Çetinel and Ilıca genotypes incubated under photoperiodical induction and dark conditions. There was no statistically significant change in germinating rates of seeds of *Capsicum annuum* L. cv. 11B-14 genotype left for germination under photoperiodical induction. Silicon applications led to statistically significant differences for *C. annuum* cv. 11B-14 root fresh weights, *C. annuum* cv. Çetinel root dry weights and cotyledon fresh and dry weights, *O. sativa* cv. Osmancık-97 root fresh and dry weights, *O. sativa* cv. Baldo hypocotyl and root fresh and dry weights and sheath dry weights under photoperiodic induction. There were also statistically significant changes on the lateral root developments of *O. sativa* cv. Kıral and Osmancık-97 and *C. annuum* cv. 11B-14 seedlings under photoperiodic induction and *O. sativa* cv. Baldo and *C. annuum* cv. Çetinel seedlings under photoperiodic induction and dark conditions. All these changes occurred in the morphological and quantitative development parameters were observed to have significant effects at genotypes level.

Keywords

Oryza sativa L.,
Capsicum annuum L.,
Silicon
Germination
Seedling growth

* Sorumlu yazar (Corresponding author) e-posta: gulercolak@ttmail.com

1. GİRİŞ

Yerkabuğunun ağırlıkça çok önemli bir bölümünü (% 75) oksijen ve silisyum, yerkabuğundaki oksitlerin en önemli bölümünü ise (% 59.12) silisyum dioksit oluşturmaktadır [1]. Yerkabuğunda oksijenden sonra en fazla bulunan ikinci element olan ve hemen tüm minerallerin yapısında yer alan silisyum [2], yerkabuğunun elementer yapı taşı olarak da miktara göre ikincil derecede öneme sahiptir [3-5].

Silisyum bitkilerde kalsiyum, magnezyum ve fosfor gibi makro besin elementlerine eşdeğer miktarlarda, çimen veya çim gibi bazı bitki türlerinde ise herhangi bir diğer inorganik yapıtaşından daha yüksek miktarlarda mevcuttur [6]. Bir görüşe göre, silisyum *Poaceae*, *Equisetaceae* ve *Cyperaceae* familyalarına ait bitki türlerinde esansiyel besinlere eşit ya da daha yüksek seviyelerde biriktirilebilir [4]. Bir çalışmada, geniş kapsamlı bir bitki çeşitliliğinden doku analizleri bu bitkilerde silisyum konsantrasyonlarının kuru ağırlığın % 0.2'sinden % 10'una değişen oranlarına ulaşabildiğini göstermiştir ki, bu konsantrasyon dizisi esansiyel elementler kategorisine dahil edilen besin elementlerinden kalsiyum, magnezyum, fosfor ve kükürdüne eşdeğerdir [7]. Morikawa ve Saigusa'nın çalışmalarında, *Vaccinium corymbosus* genç çelikleri her gün bir saat $0.66-1.00 \text{ molm}^{-3} \text{ SiO}_2$ içeren nehir suyu ile sulandıklarında, silisyum, genç ve yaşlı yapraklarda sırasıyla 32.0 ve 60.0 mgg^{-1} kuru ağırlık ortalama içerikleri ile yapraklarda en fazla biriktirilen element olarak tespit edilmiş, genç yapraklardaki ortalama silisyum içeriği azot, fosfor, potasyum, kalsiyum ve magnezyum içeriklerinden sırasıyla 3.1-56.7-4.8-4.9 ve 85 kez daha yüksek iken, yaşlı yapraklarda aynı makro besin elementlerinden 5.4-60.0-8.8-6.8 ve 100 kat daha yüksek düzeylerde bulunduğu bildirilmiştir [8]. Epstein çalışmalarında [6, 9], bitkilerin mutlak bir mineral bileşeni olarak formülasyonunda silisyumun yer almadığı besin çözeltilerini anomalili, çelişkili ya da kural dışı olarak tanımlarken, silisyum ilave edilmemiş geleneksel besin çözeltilerinde silisyumdan mahrum bırakılan bitkileri de birçok yönlerden sadece deneysel artefaktlar boyutunda değerlendirmektedir.

Bitki beslenme ve metabolizma fizyolojisi açısından tüm mekanizmaları yeterince anlaşılamamış olsa da, silisyum uygulamalarının Chen ve arkadaşlarına göre, yaprak klorofil içeriği ve bitki metabolizmasını arttırmak, soğuk, sıcak ve kuraklık gibi çevresel streslere bitki toleransını geliştirmek, bitkilerde besin dengesizliği ve metal toksisitesini hafifletmek, besin elementi alımını, taşınımını ve dağılımını dengelemek suretiyle bitki büyümesini iyileştirmek, bitki hücre duvarlarını takviye ederek sağlamlaştırmak, bitki mekaniksel gücünü arttırmak, böylelikle patojen enfeksiyonlarına karşı koruma sağlamak gibi nitelikleri söz konusudur [7]. Richmond ve

Sussman'a göre de, silisyumun patojen dirençliliğinde, kuraklık ve ağır metal toleransında, tarımsal ürünlerin verim ve kalitelerinde artışları kapsayan yararları söz konusudur [10]. Brecht ve arkadaşları, *O. sativa* ve *Saccharum officinarum*'da silisyum uygulamalarının büyüme, mineral beslenme, mekaniksel kuvvet ve mineral toksisitesine, biyotik ve abiyotik streslere direnci arttırmak suretiyle verimliliği arttıracaklarını vurgulamakta [11], Rodrigues ve arkadaşları, *O. sativa*'da *Magnaporthe grisea* ve *Rhizoctonia solani*'nin neden olduğu enfeksiyonlarda silisyum uygulamalarını umut verici bir yöntem olarak tanımlamaktadırlar [12, 13]. Perry ve Keeling de silisyumun özellikle dioksit formunda birçok bitkiye yapısal, defansif ve fotosentetik avantajlar sunduğunu bildirmekte, ancak esansiyel elementlerin çoğunluğu için spesifik moleküler bağlayıcı bölgeler tanımlanmış olmasına rağmen, bunun silisyum için geçerli olmamasını silisyumun biyolojik sistemler üzerinde doğrudan eylemde bulunmaması olarak yorumlamaktadırlar [14].

Yasuto ve Eiichi, silisyumdan yoksun bir besi ortamında yetiştirilen *Lycopersicon esculentum*'un polinasyon başarısızlığına doğru bir eğilim, sakat veya kusurlu meyve verimi ya da hiç meyve verememe gibi reproduktif dönem anomalileri sergileyebileceklerine dikkat çekmekte [15]. *Cucumis sativus* bitkilerini silisyum içermeyen ya da 100 ppm düzeyinde SiO_2 ilave edilmiş iki ayrı besin çözeltilerinde inkübasyona aldıklarında ise, silisyum uygulanmayan bitkilerin polen fertilitesinde düşüşler kaydettiklerini bildirmektedirler [16]. Jianfeng ve arkadaşları, reproduktif evre esnasında silisyum ilavelerinin bitki büyümesi için son derece önemli olduğunu vurgulamakta [17], Mauad ve arkadaşları, silisyumun *O. sativa* için agronomik açıdan esansiyel olduğu kanısını paylaşmaktadırlar [18]. Fauteux ve arkadaşları da silisyumu bitkilerin mekanik ve fizyolojik özellikleri üzerinde faydalı etkileri ile ilişkilendirdikleri bir bioaktif element olarak tanımlamaktadırlar [19]. Ancak silisyum-bitki-toprak ilişkilerini sorgulayan araştırmaların başlangıcından bugüne yaklaşık 200 yıllık bir evreyi kapsayan tarihsel gelişim sürecinde, çok sayıda ve çok önemli araştırma bulgularının da mevcudiyetine rağmen, silisyumun bitki yaşamı için esansiyel olup olmadığı hususu üzerinde ne yazık ki hiçbir dönemde çok kesin bir görüş birliğinden bahsedilmemiştir [2, 7].

Bu çalışma ile, *O. sativa* ve *C. annuum*'un başlangıç büyüme evrelerindeki bazı fizyolojik ve makromorfolojik gelişim parametreleri üzerine silisyum etkilerinin araştırılması, bitki türlerinin artan silisyum konsantrasyonlarına olan hassasiyet veya toleranslarındaki varyasyonun genotipler düzeyinde ortaya koyulması, böylelikle erken vegetatif dönem büyüme parametreleri üzerinde silisyum kaynaklı büyüme cevaplarını belirlemeye yönelik araştırmalara

çok küçük de olsa bir katkıda bulunulabilmesi amaçlanmıştır. Araştırma materyalini oluşturan bitki türlerinin tüm dünya geneli ve Türkiye şartları için tarımsal üretimdeki potansiyeli ve bitkilerde silisyum kaynaklı büyüme cevaplarını belirlemeye yönelik araştırmaların daha çok fitopatolojik olgular ve reproduktif dönem büyüme parametreleri üzerinde yoğunlaşmış olması gerçeği araştırmanın önemini de kanaatimizce ortaya koymaktadır.

2. MATERYAL METOT

Çalışmanın araştırma materyalini *Poaceae* familyası üyelerinden olan *O. sativa* ve *Solanaceae* familyası üyelerinden olan *C. annuum* oluşturmaktadır. Silisyuma gösterilen reaksiyonlarda genotipler düzeyinde ortaya çıkabilecek varyasyonları test etmek amacıyla *O. sativa* ve *C. annuum*'un 3'er farklı kültür varyetesi incelenmiştir. Çalışmanın araştırma materyalini teşkil eden *C. annuum* cv. 11B-14, Çetinel ve Ilica genotiplerine ait bitki tohumları Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden, *O. sativa* cv. Kırıl, Osmançık-97 ve Baldo genotiplerine ait bitki tohumları Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edilmişlerdir.

Araştırma materyalini teşkil eden bitki tohumları standart doku kültürleri prosedürlerinde izlenen ve önerilen teknikler [20, 21] esas alınarak, öncelikle bir seri yüzeysel sterilizasyon işlemlerine maruz bırakılmışlardır. Sterilizasyon işlemleri tamamlandıktan sonra, çimlenme fizyolojilerinin belirlenmesine yönelik ilk etap çalışmalarda içlerinde steril filtre kağıtları bulunan steril petri kaplarına, steril bir ortamda ve steril pensler yardımıyla 50'şer adet olmak üzere ekilmişlerdir. Bu etapta her genotip ve her bir konsantrasyon değeri için 50'şerli gruplar halinde toplam 400'er adet tohumun ekimi gerçekleştirilmiştir. Tohum çimlenme fizyolojilerinin gözlenmesine yönelik ilk etap çalışmalarda inkübasyon süreleri, ön hazırlık çalışmalarında yapılan gözlem ve değerlendirmeler dikkate alınarak, her iki bitki türü için de 12'şer gün olarak belirlenmiştir.

Makromorfolojik değerlendirmelere yönelik ikinci etap çalışmalarda, aynı sterilizasyon işlemlerinden geçen bitki tohumları 100 ml'lik steril erlenmayerler içinde bulunan yarı-katı Difco-Bacto agar ile $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ formunda ve toplam 6 farklı konsantrasyonda silisyum içeren inkübasyon ortamlarına ekilmişlerdir. Her bir erlenmayer içinde 25 bitki tohumu inkübasyona alınmıştır. Her bir konsantrasyon serisi ve ışık düzeneği (inkübasyon ortamının fiziksel koşulları) için benzer işlemler 4

yinelemeli olarak gerçekleştirilmiştir. Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlandıktan sonra erlenmayerleri kapatan steril pamuklar parafilm ile izole edilmiştir. Kantitatif değerlendirmelere yönelik üçüncü etap çalışmalarda da benzer işlemlerden geçen bitki tohumları kullanılmıştır. Ancak her bir erlenmayer içine bu kez 30'ar adet bitki tohumunun ekimi gerçekleştirilmiştir. Her bir konsantrasyon serisi ve ışık düzeneği için yineleme sayıları *O. sativa* genotipleri için 9'ar, *C. annuum* genotipleri için 12'şer olarak düzenlenmiştir.

Araştırma materyalini teşkil eden bitki tohumlarının çimlenme fizyolojilerinin incelenmesine yönelik deneylerde, silisyum bitki tohumlarına $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ formunda ve toplam 7 farklı konsantrasyonda uygulanmıştır. Bu konsantrasyonlar 9.25, 29.8, 34.3, 158, 204, 408 ve 1155 ppm şeklindedir. Kullanılan çözeltilerin silisyum konsantrasyonları (Si^{+4}), Alev Fotometrik yöntemle Perkin-Elmer Marka, 3110 Model Atomik Absorbsiyon Spektrofometre Cihazı ile konsantrasyon serileri 50, 100 ve 150 mg/l olarak hazırlanan ve hassasiyeti ± 0.002 gram olan Merck Titrisol standarda göre hesaplanmıştır. Ayrıca bütün serilerde bir de kontrol grup bulundurulmuştur. Kontrol grubu oluşturan bitki tohumlarına araştırma süresince yalnızca steril saf su verilmiştir. Böylelikle her bir seri için 8 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. İlk ekim esnasında bitki tohumlarına uygulanan inkübasyon çözeltilerine ilaveten, daha sonra her 24 saatte bir yapılan gözlemlerde gereklikçe petri kaplarına eşit miktarlarda inkübasyon çözeltileri eklenmiştir. Makromorfolojik değerlendirmelere yönelik ikinci etap çalışmalarda kullanılan çözeltiler konsantrasyonları 9.25, 29.8, 34.3, 158, 204 ve 408 ppm olacak şekilde düzenlenirken, kantitatif değerlendirmelere yönelik üçüncü etap çalışmalarda çözeltiler konsantrasyonları 34.3, 158, 204, 408 ve 1155 ppm şeklindedir. Ayrıca her etapta bir de kontrol grup bulundurulmuştur. Kontrol grubu oluşturan agarlı besi ortamları yalnızca steril saf su ile hazırlanmıştır.

Sterilizasyon ve ekim işlemleri tamamlanan bitki tohumlarında fiziksel özellikleri farklı iki inkübasyon ortamı tercih edilmiştir. Tohum çimlenme fizyolojilerinin belirlenmesine yönelik ilk etap çalışmalarda, aynı genotipe ait olan ve her bir konsantrasyon serisi için 50'şerli gruplar halinde 400'er adet olarak ekimi yapılan tohumların yarısı 25 ± 1 °C sıcaklığı olan bir kültür odasında 16 saat ışık/8 saat karanlık şeklinde düzenlenen bir fotoperiyodik induksiyona maruz bırakılmışlardır. Burada petri kapları düzeyindeki ışık şiddetinin 11000 lüks civarında olmasına özen gösterilmiştir.

(11000±100 lüks). Aynı genotipe ait olan ve aynı deneysel işlemlerden geçen bitki tohumlarının diğer yarısı ise 25 °C sıcaklığı olan bir etüvde karanlık şartlarda inkübasyona alınmışlardır. Makromorfolojik gözlemlere yönelik çalışmalarda da benzer işlemler tekrar edilmiştir. Kantitatif değerlendirmelerde ise yalnızca fotoperyot şartları esas alınmıştır.

O. sativa cv. Kıral, Osmancık-97 ve Baldo ile *C. annuum* cv. 11B-14, Çetinel ve Ilica genotiplerine ait bitki tohumları için on ikişer gün olarak belirlenen inkübasyon süreleri sonunda tohumlarda öncelikle çimlenme oranları ve çimlenme zamanları açısından bir değerlendirme yapılmıştır. Çimlenme inkübasyon süresi boyunca her 24 saatte bir kaydedilmiştir. Bu aşamada tohumun testasından radikulanın kendini göstermesi çimlenmenin başlangıcı için yeterli kriter olarak değerlendirilmiştir [22, 23].

Makromorfolojik ve kantitatif değerlendirmelere yönelik ikinci ve üçüncü etap çalışmalarda genç fideciklerin silisyum içeren besin çözeltilerinde inkübasyon süreleri *O. sativa* genotipleri için 7 gün, *C. annuum* genotipleri için 14 gün olarak belirlenmiştir. Inkübasyon süreleri sona eren genç fideciklerin öncelikle agar artıklarından uzaklaştırılmaları sağlanmıştır. Bu amaçla fidecikler steril saf su banyolarından geçirilmişlerdir. Fazla suyu steril kurutma kağıtları ile alınan genç fidecik komponentleri kesilerek birbirlerinden izole edilmiş, radikula ve lateral kök gelişimlerinde makromorfolojik değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Kantitatif değerlendirmelere yönelik üçüncü etap çalışmalarda, izole edilen fidecik komponentlerinin yaş ağırlıkları hassas terazi ile kaydedilirken, kuru ağırlık tayinleri için taze ağırlıkları belirlenen fidecik komponentleri etüvde 70 °C'de minimum 72 saat süre ile kurutulmaya terk edilmişlerdir.

Çalışmada kantitatif ve makromorfolojik değerlendirmeler için verilerin analizi bilgisayarda SPSS 10.0 paket programında yapılmıştır. Ortalamalar, standart hatalar ve Range değerler hesaplanmıştır. Grupların karşılaştırılmasında istatistiksel testlerden ikiden fazla grubun ortalamalarının karşılaştırılması amacıyla (konsantrasyonlar arası karşılaştırmalarda) ANOVA tek yönlü varyans analizi yapılmış ve gruplar arası farkın belirtilmesinde en küçük kareler yöntemi uygulanmıştır. İki grubun ortalamalarının karşılaştırılmasında Student's t testi uygulanmıştır. Çimlenme oranlarını belirlemeye yönelik fizyolojik çalışmalarda istatistiksel bir değerlendirme yapabilmek için çimlenme deneyleri sonucunda tüm

yinelemelerin ortalaması alınmış, her bir konsantrasyon için ortalama tohum ve çimlenen tohum sayıları belirlenmiştir. Çimlenen ve çimlenmeyen tohum sayıları ile kontenjans tabloları yapılarak, her bir genotip ve ışık düzeneği için konsantrasyonlar arası farklılığı test etmek amacıyla non-parametrik testlerden X² testi uygulanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Çimlenme Deneyleri

Çalışmada *O. sativa* türüne dahil çeltik genotiplerinin tohum çimlenme oranlarında genotipler düzeyinde yapılan karşılaştırmalı analizlerde istatistiksel farklılıklarla karşılaşmıştır. Her iki inkübasyon ortamında da en yüksek değerlerle temsil edilen çimlenme oranları Baldo genotipi ile elde edilirken, bunu Kıral ve Osmancık-97 genotipleri ile elde edilen sonuçlar izlemiştir (fotoperyot ve karanlık uygulamaları için sırasıyla: $\chi^2= 7.138$; $p= 0.028$, $\chi^2= 9.695$; $p= 0.008$). Fotoperyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda inkübasyona alınan *C. annuum* tohumlarının çimlenme oranlarında da genotipler düzeyinde istatistiksel farklılıklar gözlenmiştir. Hem fotoperyot hem de karanlık uygulamalarında en yüksek değerlerle temsil edilen çimlenme oranları Çetinel genotipi ile elde edilirken, bunu Ilica ve 11B-14 genotipleri ile elde edilen sonuçlar izlemiştir (fotoperyot ve karanlık uygulamaları için sırasıyla: $\chi^2= 23.220$; $p= 0.000$, $\chi^2= 55.330$; $p= 0.000$).

Genotiplerin tohum çimlenme kapasitelerinin fotoperyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda yapılan karşılaştırmalı analizlerinde, her ne kadar fotoperyot ve karanlık uygulamalarının tohum çimlenme oranlarında istatistiksel farklılıklar oluşturmadığı gözlenirse de (*O. sativa* cv. Kıral, Osmancık-97 ve Baldo genotipleri için sırasıyla: $\chi^2= 0.065$; $p= 0.799$, $\chi^2 = 0.000$; $p= 1.000$, $\chi^2= 0.344$; $p= 0.558$, *C. annuum* cv. 11B-14, Çetinel ve Ilica genotipleri için sırasıyla: $\chi^2= 3.475$; $p= 0.062$, $\chi^2= 0.102$; $p= 0.749$, $\chi^2= 1.084$; $p= 0.298$), tohumların maksimum çimlenme oranlarına ulaşabilmeleri için gerekli inkübasyon süreleri açısından yapılan değerlendirmelerde, *O. sativa* cv. Kıral ($t= 2.788$; $p= 0.007$) ve Osmancık-97 ($t= 3.945$; $p= 0.000$) ile *C. annuum* cv. 11B-14 ($t= 2.113$; $p= 0.039$) ve Çetinel ($t= 2.966$; $p= 0.004$) genotiplerine ait tohumların fotoperyodik indüksiyon altında daha hızlı maksimum çimlenmeye ulaştıkları belirlenmiştir. Bu genotiplerde karanlık uygulamaları maksimum çimlenmeye ulaşılabilmesi için gerekli inkübasyon sürelerinin uzamasına neden olmuştur. Buna karşın *O. sativa* cv. Baldo ($t= 0.243$; $p= 0.809$) ve *C. annuum* cv. Ilica ($t= 0.297$; $p= 0.767$) genotiplerinde

fotoperyot ve karanlık uygulamalarının aynı parametrede istatistiki fark oluşturmadığı saptanmıştır.

Çalışmada artan konsantrasyonlarda uygulanan Si^{+4} fotoperyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda inkübasyona alınan *O. sativa* cv. Kıral ($x^2=2.814$; $p=0.902$, $x^2=2.848$; $p=0.899$), Osmancık-97 ($x^2=1.063$; $p=0.994$, $x^2=1.088$; $p=0.993$) ve Baldo ($x^2=4.124$; $p=0.765$, $x^2=1.348$; $p=0.987$) genotiplerine ait tohumların çimlenme oranlarında istatistiki fark oluşturamamıştır. Bununla birlikte fotoperyodik indüksiyon altında Si^{+4} uygulamaları Baldo genotipine ait bitki tohumlarında maksimum çimlenme zamanlarında gecikmelere neden olmuştur. Bu seride kontrol grubu oluşturan bitki tohumlarının en erken maksimum çimlenmeye ulaştıkları görülmüştür ($F=3.068$; $p=0.022$). Artan Si^{+4} konsantrasyonlarının fotoperyot ve karanlık uygulanan *C. annuum* cv. Çetinel ($x^2=4.418$; $p=0.731$, $x^2=5.696$; $p=0.576$) ve Ilica ($x^2=5.195$; $p=0.636$, $x^2=1.146$; $p=0.992$) genotipleri ile fotoperyodik indüksiyon altında çimlenmeye terk edilen *C. annuum* cv. 11B-14 ($x^2=2.50$; $p=0.927$) genotiplerine ait tohumların çimlenme oranlarında da istatistiki fark oluşturmadığı gözlenmiştir. 11B-14 genotipine ait tohumlar karanlık şartlarda inkübasyona alındığında ise Si^{+4} uygulanan tüm serilerin çimlenme oranları kontrol grup değerinden yüksektir ($x^2=33.22$; $p=0.000$).

3.2 Makromorfolojik Gözlemler

Çalışmada çimlenme ve ilk fide oluşturma evreleri esnasında, bazı tohumların komple bir fide gelişimini tamamlayamadıkları, bunlarda fidecik gelişimlerinin sadece radikula gelişimleri düzeyinde sınırlı kaldığı görülmüştür. Karanlık şartlarda *O. sativa* türüne dahil fideciklerin radikula gelişimlerinin genotipler düzeyindeki analizlerinde, en yüksek değerlerle temsil edilen radikula boyu ortalama uzunlukları Baldo genotipi ile belirlenmiş, bunu Osmancık-97 ve Kıral genotipleri ile elde edilen sonuçlar izlemiştir ($F=18.585$; $p=0.000$). Aynı fiziksel koşullarda *C. annuum* fideciklerinde Ilica, 11B-14 ve Çetinel

sıralamasını izleyen radikula gelişimleri belirlenmiştir ($F=3.942$; $p=0.021$). Fotoperyodik indüksiyon altındaki fideciklerin radikula gelişimlerinde, genotipler düzeyinde yapılan analizlerde istatistiki fark gözlenmemiştir (*O. sativa* ve *C. annuum* için sırasıyla: $F=0.785$; $p=0.461$ ve $F=2.779$; $p=0.066$).

Si^{+4} uygulamalarıyla fotoperyodik indüksiyon altında ve karanlık şartlarda inkübasyona alınan *C. annuum* cv. 11B-14 ($F=0.573$; $p=0.748$ ve $F=1.265$; $p=0.294$), Çetinel ($F=0.920$; $p=0.490$ ve $F=1.605$; $p=0.155$) ve Ilica ($F=0.525$; $p=0.787$ ve $F=0.805$; $p=0.569$) genotipleri ile *O. sativa* cv. Kıral ($F=0.638$; $p=0.699$ ve $F=0.303$; $p=0.932$) ve Baldo ($F=0.323$; $p=0.891$ ve $F=1.562$; $p=0.235$) genotiplerinin radikula boyu ortalama uzunluklarında istatistiki fark gözlenmemiştir. Karanlık şartlarda *O. sativa* cv. Osmancık-97'nin radikula boyu ortalama uzunluklarında da istatistiki fark görülmemiş ($F=0.297$; $p=0.937$), oysa fotoperyodik indüksiyon altında aynı genotipte en yüksek radikula boyu ortalama uzunluklarına kontrol grupla ulaşılmıştır ($F=3.545$; $p=0.014$).

Si^{+4} uygulamalarıyla karanlık şartlarda inkübasyona alınan *O. sativa* cv. Kıral fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde istatistiki fark gözlenmemiştir ($F=0.847$; $p=0.497$). Fotoperyodik indüksiyon altındaki fideciklerin lateral kök gelişimlerinde 408 ppm Si^{+4} konsantrasyonu ile belirgin bir düşüş gerçekleşmiştir ($F=3.845$; $p=0.001$).

Artan Si^{+4} konsantrasyonları etiolasyonun teşvik edildiği inkübasyon ortamlarında *O. sativa* cv. Osmancık-97'nin lateral kök gelişimlerinde de istatistiki fark oluşturamamıştır ($F=0.678$; $p=0.667$). Fotoperyodik indüksiyon altında 9.25, 29.8 ve 34.3 ppm Si^{+4} konsantrasyonları ile anlamlı artışlar elde edilmiştir. Örneklerin 408 ppm'e kadar olan diğer konsantrasyon serilerinde kontrole benzer lateral kök gelişimleri izlenirken, 408 ppm'de kontrole göre düzenli olmayan hafif bir artış söz konusudur (Tablo 1).

Tablo 1. *Oryza sativa* ve *Capsicum annuum* genotiplerinde artan Si⁺⁴ konsantrasyonlarına bağlı olarak lateral kök gelişimleri (adet)

Si ⁺⁴	Lateral Kök Sayıları					
	<i>Oryza sativa</i> L.			<i>Capsicum annuum</i> L.		
	Osmancık-97	Baldo	Baldo*	11B-14	Çetinel	Çetinel*
Kontrol	4,282±0,12	5,432±0,14	3,605±0,14	4,871±0,51	2,429±0,37	1,667±0,24
9,25 ppm	4,706±0,09	5,667±0,15	2,965±0,14	4,500±0,50	5,750±0,78	1,800±0,20
29,8 ppm	4,910±0,13	5,613±0,12	3,300±0,15	4,542±0,65	2,800±0,20	1,556±0,34
34,3 ppm	5,084±0,15	4,968±0,13	2,917±0,16	6,654±0,47	5,500±0,71	4,667±1,20
158 ppm	4,173±0,11	5,267±0,11	2,871±0,16	6,528±0,59	4,429±1,13	3,231±0,60
204 ppm	4,489±0,08	4,917±0,10	3,045±0,15	4,600±0,79	5,500±2,50	2,375±0,32
408 ppm	4,893±0,11	4,907±0,11	2,351±0,16	7,787±0,49	3,571±0,61	2,000±0,32
İstatistiki	F= 8,939	F= 6,986	F= 7,056	F= 5,868	F= 3,249	F= 3,335
Analiz	p= 0,000	p= 0,000	p= 0,000	p= 0,000	p= 0,007	p= 0,008

*: Karanlık şartlarda inkübasyona alınan *O. sativa* ve *C. annuum* genotiplerine ait verileri gösterir.

Fotoperyot uygulanan *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinde 9.25 ve 29.8 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonlarında kontrole benzer lateral kök gelişimleriyle karşılaşılmışken, 34.3 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonundan itibaren de düşük ve istatistiki açıdan 34.3 ppm değerine benzer lateral kök gelişimleri izlenmiştir. 9.25 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonunda karanlık uygulanan *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde anlamlı bir düşüşle karşılaşılmıştır. 408 ppm'e kadar olan diğer seriler de 9.25 ppm değerine benzer lateral kök gelişimleri sergilemişlerdir. 408 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonunda yeniden gerçekleşen anlamlı düşüşle de inceleme kapsamına alınan diğer tüm serilerden farklı lateral kök gelişimleri belirlenmiştir (Tablo 1).

Fotoperyodik indüksiyon altındaki *C. annuum* cv. 11B-14 fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde 9.25 ve 29.8 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonlarıyla kontrole benzer ortalama değerler elde edilirken, 34.3 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonuyla başlayan artışların 158 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonunda da benzer bir ortalama değerle devam ettiği görülmüş, 408 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonundaki anlamlı artışla da serinin en yüksek değerlerle temsil edilen lateral kök sayılarına ulaşılmıştır. Bu seride 204 ppm değeri düzensiz düşme eğilimi olarak değerlendirilmiştir. Aynı Si⁺⁴ uygulamaları karanlık şartlarda inkübasyona alınan *C. annuum* cv. 11B-14 fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde istatistiki fark oluşturamamıştır (F= 0.329; p= 0.909). Si⁺⁴ uygulamalarıyla *C. annuum* cv. Ilıca fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde de istatistiki fark gözlenmemiştir (fotoperyot ve karanlık uygulamaları için sırasıyla: F= 1.035; p= 0.408 ve F= 0.803; p= 0.570).

Karanlık şartlarda 9.25 ve 29.8 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonları *C. annuum* cv. Çetinel fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde kontrole benzer ortalama değerlerin elde edilmesine neden olmuştur. 34.3 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonunda lateral kök gelişimlerinde çok belirgin artışlar söz konusudur. Daha yüksek Si⁺⁴ konsantrasyonlarında her ne kadar düşüşler başlasa da bunlar yine de kontrolden yüksek ortalama değerlerdir. Fotoperyodik indüksiyon altında *C. annuum* cv. Çetinel fideciklerinde en düşük değerlerle temsil edilen lateral kök gelişimleri kontrol grupta elde edilmiştir. 9.25 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonu fideciklerin lateral kök gelişimlerinde kontrole göre anlamlı bir artış oluşturmuştur. 29.8 ppm'deki düzensiz düşme eğilimi hariç, diğer Si⁺⁴ uygulanan seriler 9.25 ppm değerine ve birbirlerine benzer lateral kök gelişimleri sergilemişlerdir (Tablo 1).

Çalışmada fotoperyodik indüksiyon altında inceleme kapsamına alınan tüm genotiplerde lateral kök gelişimlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür (*O. sativa* cv. Kırıl, Osmancık-97 ve Baldo genotipleri için sırasıyla: t = 22.289; p= 0.000, t = 13.009; p= 0.000, t = 29.166; p= 0.000, *C. annuum* cv. 11B-14, Çetinel ve Ilıca genotipleri için sırasıyla: t = 15.811; p= 0.000, t = 5.152; p= 0.000, t = 6.338; p= 0.000).

3.3. Kantitatif Değerlendirmeler

O. sativa türüne dahil çeltik genotiplerinde kantitatif gelişim parametrelerinin genotipler düzeyindeki analizlerinde, en yüksek değerlerle temsil edilen kök yaş ve kuru ağırlıklarına Kırıl genotipi ile ulaşıldığı görülmüş, bunu Baldo ve Osmancık-97 genotipleri ile elde edilen sonuçlar izlemiştir (F= 33.253; p= 0.000 ve F= 8.316; p= 0.000). Aynı sıralamanın hipokotil

yaş ve kuru ağırlıkları (F= 26.736; p= 0.000 ve F= 18.523; p= 0.000), kın yaş ve kuru ağırlıkları (F= 47.731; p= 0.000 ve F= 29.337; p= 0.000), koleoptil yaş ağırlıkları (F= 90.769; p= 0.000) için de geçerli olduğu saptanmıştır. Koleoptil kuru ağırlıkları (F= 6.567; p= 0.002) ile kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında (F= 6.969; p= 0.001 ve F= 202.888; p= 0.000) en yüksek ortalama değerlere Baldo, Kırıl ve Osmancık-97 sıralamasıyla ulaşılmıştır. *C. annuum* fideciklerinde en yüksek değerlerle temsil edilen kök yaş ve kuru ağırlıkları 11B-14 genotipi ile sağlanırken, bunu Çetinel ve Ilıca genotipleri ile elde edilen sonuçlar izlemiştir (F= 50.699; p= 0.000 ve F= 59.950; p= 0.000). Aynı sıralamanın hipokotil yaş ağırlıkları (F= 9.944; p= 0.000) ve kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları (F= 13.875; p= 0.000 ve F= 6.725; p= 0.002) için de geçerli olduğu saptanmıştır.

Artan konsantrasyonlarda uygulanan Si^{+4} , *C. annuum* cv. Ilıca fideciklerinde fotoperyodik indüksiyon altında ele alınan parametrelerin hiçbirinde istatistiki fark oluşturamamıştır (hipokotil yaş ve kuru ağırlıkları için: F= 1.152; p= 0.344, F= 1.320; p= 0.268, kök yaş ve kuru ağırlıkları için: F= 1.234; p= 0.305, F= 0.670; p= 0.648, kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları için: F= 1.357; p= 0.254, F= 1.098; p= 0.371).

Silisyum uygulamalarıyla *C. annuum* cv. 11B-14 fideciklerinin kök kuru ağırlıkları (F= 1.711; p= 0.149) ile hipokotil ve kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında da istatistiki fark gözlenmemiştir (hipokotil ve kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları için sırasıyla: F= 0.804; p= 0.552, F= 0.997; p= 0.429 ve F= 0.608; p= 0.694, F= 2.100; p= 0.080). Aynı genotipte en yüksek değerlerle temsil edilen kök yaş ağırlıklarına inceleme kapsamına alınan en yüksek Si^{+4} konsantrasyonuyla (1155 ppm) ulaşılmıştır (F= 4.011; p= 0.004).

Silisyum *C. annuum* cv. Çetinel fideciklerinin kök yaş ağırlıkları (F= 0.895; p= 0.491) ile hipokotil yaş ve kuru ağırlıklarında (F= 1.652; p= 0.161 ve F= 1.026; p= 0.411) istatistiki fark oluşturamamıştır. Buna karşın kök kuru ağırlıkları (F= 4.527; p= 0.001) ile kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında (F= 4.806; p= 0.001 ve F= 4.509; p= 0.002) anlamlı değişimlere neden olmuş, her üç parametrede de en yüksek ortalama değerler kontrol gruplarla elde edilmiştir. Artan konsantrasyonlarda Si^{+4} uygulanan *O. sativa* cv. Kırıl fidecikleri inceleme kapsamına alınan kök

yaş ve kuru ağırlıkları (F= 0.824; p= 0.539, F= 0.178; p= 0.970), hipokotil yaş ve kuru ağırlıkları (F= 1.836; p= 0.124, F= 1.944; p= 0.104), kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları (F= 1.421; p= 0.234, F= 0.937; p= 0.466), kın yaş ve kuru ağırlıkları (F= 1.609; p= 0.176, F= 0.533; p= 0.750), koleoptil yaş ve kuru ağırlıkları (F= 1.324; p= 0.270, F= 1.973; p= 0.100) gibi parametrelerde istatistiki fark sergileyememişlerdir. *O. sativa* cv. Osmancık-97 fideciklerinde 1155 ppm'e kadar olan Si^{+4} konsantrasyonlarında kontrol grup özelliklerinden farklı bir özellikte karşılaşılamazken, 1155 ppm Si^{+4} konsantrasyonunda kök yaş ve kuru ağırlıklarında artışlar belirlenmiştir (F= 3.678; p= 0.007 ve F= 4.397; p= 0.002). Buna karşın fideciklerin koleoptil (F= 0.237; p= 0.944 ve F= 1.234; p= 0.308) ve kotiledon yaş ve kuru ağırlıklarında (F= 2.022; p= 0.092 ve F= 0.565; p= 0.726) istatistiki fark gözlenmemiştir.

Si^{+4} uygulamalarıyla *O. sativa* cv. Baldo fidecikleri kök yaş ve kuru ağırlıklarında, hipokotil yaş ve kuru ağırlıklarında ve kın kuru ağırlıklarında anlamlı değişimler göstermişlerdir. 158 ppm Si^{+4} konsantrasyonuyla *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin hipokotil yaş ve kuru ağırlıklarında anlamlı artışlar gerçekleşmiştir. Daha yüksek Si^{+4} konsantrasyonları kontrole ve birbirine benzer ortalama değerlerin elde edilmesine neden olmuştur. 34.3 ppm Si^{+4} konsantrasyonunda ise kontrole göre düzensiz düşme eğilimleri söz konusudur. *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin kök yaş ve kuru ağırlıklarında da 158 ppm Si^{+4} konsantrasyonuyla artışlar sağlanmıştır. Her iki grupta da 34.3 ppm Si^{+4} konsantrasyonunda saptanan düzensiz düşme eğilimleri haricindeki diğer seriler kontrol grup değerinden anlamlı farklılıklar sergileyememiştir (Tablo 2).

O. sativa cv. Baldo fideciklerinin kın yaş ağırlıklarında silisyum uygulamalarına bağlı olarak saptanan değişimlerin istatistiki değeri yoktur (F= 2.188; p= 0.073). Aynı besi ortamlarında ve aynı deneysel şartlarda inkübasyona alınan fideciklerin kın kuru ağırlıklarında 158 ppm Si^{+4} konsantrasyonu anlamlı artışlar oluşturmuştur. Daha yüksek Si^{+4} konsantrasyonlarında elde edilen ortalama değerlerinde 158 ppm değerine benzer olduğu görülmüştür (Tablo 2). Si^{+4} etkilerine maruz bırakılan fideciklerin kotiledon (F= 0.731; p= 0.604, F= 1.622; p= 0.174) ve koleoptil yaş ve kuru ağırlıklarında (F= 1.170; p= 0.339, F= 1.093; p= 0.378) ise istatistiki fark gözlenmemiştir.

Tablo 2: *Oryza sativa* cv. Baldo fideciklerinde artan silisyum konsantrasyonlarına bağlı olarak bazı fidecik komponentlerindeki kantitatif değişimler (g/fide)

Si ⁺⁴	<i>Oryza sativa</i> cv. Baldo				
	Kök Yaş Ağırlıkları	Kök Kuru Ağırlıkları	Hipokotil Yaş Ağırlıkları	Hipokotil Kuru Ağırlıkları	Kın Kuru Ağırlıkları
Kontrol	0,0474±0,003	0,0047±0,0002	0,0047±0,0005	0,0008±0,0001	0,0010±0,0000*
34,3 ppm	0,0303±0,004	0,0034±0,0003	0,0029±0,0004	0,0005±0,0001	0,0008±0,0001
158 ppm	0,0528±0,001	0,0051±0,0001	0,0063±0,0003	0,0010±0,0001	0,0012±0,0000*
204 ppm	0,0467±0,004	0,0046±0,0002	0,0058±0,001	0,00098±0,0001	0,0011±0,0000*
408 ppm	0,0439±0,003	0,0040±0,001	0,0054±0,001	0,0009±0,0001	0,0011±0,0001
1155 ppm	0,0448±0,003	0,0046±0,0002	0,0058±0,0003	0,0009±0,0001	0,0011±0,0000*
İstatistiki	F= 6,067	F= 4,165	F= 6,457	F= 6,005	F= 9,697
Analiz	p=0,000	p=0,003	p= 0,000	p= 0,000	p= 0,000

*: Standart sapma değerleri 4 basamak gösterildiğinden dolayı 0,0000 şeklindedir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada çimlenmeye ait özelliklerde, silisyum içermeyen kontrol gruplarla yapılan karşılaştırmalı analizler neticesinde, artan Si⁺⁴ konsantrasyonlarının karanlık şartlarda inkübasyona alınan *C. annuum* cv. 11B-14 genotipine ait tohumlar dışındaki diğer tüm serilerin çimlenme oranlarında anlamlı değişimler oluşturmadığı görülmüştür. 11B-14 genotipine ait tohumlar karanlık şartlarda inkübasyona alındığında ise, silisyum uygulanan tüm serilerin çimlenme oranları kontrol grup değerinden yüksektir. Ancak literatürde çimlenme ve çimlenmeye ait prosesler üzerinde silisyum etkilerini belirlemeye yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı için, araştırmamızın bulguları ile literatür bilgileri arasında bir değerlendirme yapabileme imkanı olmamıştır.

Makromorfolojik ve kantitatif gelişim parametreleri açısından literatür bulguları değerlendirildiğinde, örneğin Datnoff ve Rodrigues'in çalışmalarında, silisyumun *Equisetum*, *O. sativa*, *Saccharum officinarum* ve *Triticum aestivum* ile bazı dikotilleri kapsayan bitki türlerinde büyüme, gelişme ve verimliliği arttırdığı görülmektedir [4]. Eneji ve arkadaşlarının çalışmalarında, *Chloris gayana* ve *Sorghum sudanense*'de bitki biokütlesi üzerinde silisyum uygulamalarının etkileri (1-6 Mg ha⁻¹) kontrole benzer sonuçlar verirken, sürgün ve kök kuru kütlesi toprak su rejimi ve bitki türüne bağımlı olarak anlamlı şekillerde değişmiş, örneğin *Sorghum sudanense* için kontrolde saksı başına 3.6 gram olan sürgün kuru kütlesi, 6 Mg ha⁻¹ kalsiyum silikat uygulamasında 4.3 grama kadar yükselebilmektedir [24]. Gong ve arkadaşlarının çalışmalarında, ekimden önce silisyum uygulanan saksılarda yetiştirilen *Triticum aestivum* bitkilerinin silisyum uygulanmayan bitkilerle karşılaştırıldıklarında, daha

büyük bitki boyu, yaprak alanı ve kuru maddeye sahip oldukları gözlenmiştir [25]. Gerroh ve arkadaşlarının çalışmalarında, kalsiyum silikat formunda silisyum uygulamaları *Cajanus cajan* büyümesinde anlamlı artışlarla sonuçlanmıştır [26]. Yasuto ve Eiichi'nin çalışmalarında, ilk fide büyüme evrelerinde silisyumdan yoksun ya da 100 ppm düzeylerinde SiO₂ içeren iki ayrı besin çözeltisinde inkübasyona alınan *Cucumis sativus*'ta, silisyum uygulanmayan bitkilerin büyüme ve verimlilik düzeyleri silisyum uygulanan bitkilerden önemli düzeylerde daha aşağı niteliklerde olarak tanımlanırken, çözeltideki silisyum konsantrasyonu ile orantılı olarak yaprakların silisyum içerikleri ve bitki büyümesinde artışlar izlenmiştir [16]. Chen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 39 süs bitkisi türünün kontrol grup hariç tüm bitkileri K₂SiO₃ formunda silisyum etkilerine (47 ppm) maruz bırakıldıklarında, silisyuma duyarlı bitkilerdeki kuru ağırlık artışlarının % 6 ile % 80 arasında değişkenlik gösterdiği saptanmıştır [7]. *Brachiaria decumbens* ve *Brachiaria brizantha*'nın kuru madde verimleri üzerinde silisyum etkilerini belirlemek amacıyla sera şartlarında yapılan bir çalışmada, toprağa silisyum ilaveleri (242-1452 kg/ha⁻¹) her iki *Brachiaria* türünde de silisyum içeriklerini arttırırken, su yetersizliğine toleranslarını değiştirmemiş, silisyum uygulamalarının bitkilerin kuru madde verimleri üzerinde de hiçbir etkisi görülmemiştir [27]. Dakora ve Nelwamonda'nın çalışmalarında, metasilik asidin (0.04-0.80 g L⁻¹) *Bradyrhizobium* ile enfekteli *Vigna unguiculata*'ya uygulanması, kök büyümesinde anlamlı artışlarla sonuçlanırken, sürgün büyümesinde aynı etkiler gözlenmemiş, kök:sürgün oranları da yüksek metasilikat uygulamaları ile anlamlı artışlar sergilemiş, gövdeler ve pedünküllerin mekaniksel kuvveti silisyum beslenmesi ile anlamlı şekillerde

artarken, köklerin mekaniksel kuvveti metasilikat uygulamalarından etkilenmemiştir [28].

Araştırma materyalimizi oluşturan bitki türleri üzerindeki önceki çalışmalarda, örneğin, Mauad ve arkadaşlarının bir *O. sativa* genotipinde, vegetatif gelişim ve verim parametreleri üzerinde azot ve silisyumun etkilerini karşılaştırmak amacıyla, üre formunda uygulanan 3 azot (5, 75 ve 150 mg N kg⁻¹ toprak) ve kalsiyum silikat formunda uygulanan 4 silisyum konsantrasyonunun (0, 200, 400 ve 600 mg SiO₂ kg⁻¹ toprak) etkilerini değerlendirme kapsamına aldıkları çalışmalarında, inkübasyon ortamlarında azot oranları artarken, bitki boylarında azalmalar gözlenmiş, oysa çalışmada artan silisyum konsantrasyonları bitki boylarında anlamlı değişimlere yol açmamıştır [18]. 23 çeltik yüzey toprağına uygulanan silisyum içeren materyale *O. sativa* ve *Triticum aestivum* tepkilerini belirlemek amacıyla, 1 saksı denemesi ve ardışık 4 yıl tarla denemeleri şeklinde gerçekleştirilen bir çalışmada, silisyumun çeltik verimini % 4.6-20.7, buğday verimini % 4.1-9.3 düzeylerine kadar arttırabildiği ispatlanmıştır [29]. *O. sativa*'nın vegetatif, reproduktif ve olgunlaşma evrelerindeki bazı büyüme parametreleri üzerinde silisyum etkilerini inceleyen bir araştırmada, silisyum reproduktif evrede ortamdaki uzaklaştırıldığında, gövde ve yaprakların geniş ve yassı kısımları ile danenin kuru ağırlıkları büyüme periyodunun başından sonuna kadar silisyumlu çözeltilerde kültüre alınan bitkilerle kıyaslandığında, % 20 ila % 50 düzeylerine kadar azalma eğilimleri sergilerken, reproduktif evrede ilave edildiğinde, silisyumdan yoksun çözeltilerde kültüre alınan bitkilerle kıyaslandığında, % 243 ila % 30 düzeylerine kadar artışlar belirlenmiş, oysa silisyum vegetatif ve olgunlaşma evrelerinde ortama ilave edildiği ya da uzaklaştırıldığı zaman aynı parametreler üzerindeki etkileri düşük olmuştur [17]. Agarie ve arkadaşları da bir çalışmalarında, silisyumun *O. sativa*'nın normal büyüme ve gelişimi için önemli olduğunu vurgulamışlardır [30].

Bizim çalışmamızda ise erken vegetatif büyüme döneminde silisyum uygulamalarıyla *C. annuum* cv. Çetinel fideciklerinde kök kuru ağırlıkları ile kotiledon yaş ve kuru ağırlıkları açısından yapılan değerlendirmelerde, inceleme kapsamına alınan hiçbir derişimde teşvik edici etkileri görülmemiştir. Silisyum uygulamalarıyla *C. annuum* cv. 11B-14 fideciklerinde en yüksek değerlerle temsil edilen kök yaş ağırlıklarına inceleme kapsamına alınan en yüksek Si⁺⁴ konsantrasyonunda ulaşılmış, aynı konsantrasyon değerinin *O. sativa* cv. Osmancık-97

fideciklerinin kök yaş ve kuru ağırlıklarında da anlamlı artışlar oluşturduğu gözlenmiştir. 158 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonuyla, *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin hipokotil yaş ve kuru ağırlıkları ile kök yaş ve kuru ağırlıklarında anlamlı artışlar izlenmiştir. Aynı Si⁺⁴ konsantrasyonu, fideciklerin kın kuru ağırlıklarında da anlamlı artışlara neden olmuş, daha yüksek Si⁺⁴ konsantrasyonlarında elde edilen değerlerinde 158 ppm değerine benzediği görülmüştür. Silisyumun diğer genotipler ve kantitatif gelişim parametrelerinde istatistiki fark oluşturmadığı gerçeği de göz önünde bulundurulduğunda, çalışmamızda silisyuma gösterilen reaksiyonlarda türler düzeyinde çok net bir genotipik farklılaşmadan söz edilebilir.

Literatürde silisyumun daha çok monokotil bitkiler ve bunlar içinde de özellikle *Gramineae* açısından çok daha önemli olduğu genel bir kabul olsa da, bizim çalışmamızda fideciklerin lateral kök gelişimlerinde daha farklı bir durumla karşılaşılmıştır. Nitekim silisyum monokotil bitki örneklerimizden karanlık uygulanan *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde hiçbir derişimde teşvik edici niteliklere sahip değilken, özellikle 408 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonundaki anlamlı düşüşle de inceleme kapsamına alınan diğer tüm serilerden farklı lateral kök gelişimleriyle karşılaşılmıştır. Fotoperyodik indüksiyon altında *O. sativa* cv. Kıral fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde de 408 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonu anlamlı bir düşüşle sonuçlanmıştır. Aynı fiziksel koşullarda 34.3 ppm Si⁺⁴ konsantrasyonundan itibaren de *O. sativa* cv. Baldo fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde düşüşler başlamıştır. Monokotil bitki örneklerimizden yalnızca *O. sativa* cv. Osmancık-97 fideciklerinin lateral kök gelişimlerinde 34.3 ppm'e kadar olan Si⁺⁴ konsantrasyonlarında ve fotoperyodik indüksiyon altında anlamlı artışlar gerçekleşmiştir. Karanlık uygulanan *O. sativa* cv. Kıral ve Osmancık-97'nin lateral kök gelişimlerinde ise istatistiki fark oluşturamamıştır.

Sonuç olarak çalışmamızda, silisyum uygulamalarıyla *O. sativa* ve *C. annuum*'un çimlenme ve başlangıç büyüme dönemlerinde değerlendirme kapsamına alınan bazı parametrelerde genotipler düzeyinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. Ancak ele alınan genotiplerde çimlenme ve başlangıç büyüme dönemleri için silisyumun esansiyel olup olmadığı kesin yargısına ulaşabilmek için ilave bazı parametrelerle yeni çalışmalara gereksinim vardır. Bu yeni çalışmalar da laboratuvarımızın çalışma programına dahil edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmamızın istatistiksel analiz ve yorumlarının yapılmasındaki çok değerli katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Selma Metintaş'a ve çalışmamızın araştırma materyalini teşkil eden bitki tohumlarını temin ettiğimiz Anadolu ve Trakya Tarımsal Araştırma Enstitülerine şükranlarımızı sunarız.

5. KAYNAKLAR

- Kantarıcı, D., Toprak İlmi, s. 420, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2001.
- Aydemir, O., İnce, F., Bitki Besleme, s. 653, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 1988.
- Mengel, K., Özbek, H., Kaya, Z., Tamcı, M., Bitkinin Beslenmesi ve Metabolizması, s. 590, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1984.
- Datnoff, L.E., Rodrigues, F.A., The Role of Silicon in Suppressing Rice Diseases, February APSnet Feature, American Phytopathological Society, 2005.
- Schachtschabel, P., Blume, H.P., Brümmer, G., Hartge, K.H., Schwertmann, U., Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., Kaptan, H., Toprak Bilimi, s. 816, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2001.
- Epstein, E., Silicon, Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 50, 641-664, 1999.
- Chen, J., Caldwell, R.D., Robinson, C.A., Steinkamp, R., Silicon: The Estranged Medium Element, University of Florida IFAS Extension Bulletin 341, 2000.
- Morikawa, C.K., Saigusa, M., Mineral Composition and Accumulation of Silicon in Tissues of Blueberry (*Vaccinium corymbosus* cv. Bluecrop) Cuttings, Plant and Soil, 258, 1, 1-8, 2004.
- Epstein, E., The Anomaly of Silicon in Plant Biology, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 91, 11-17, 1994.
- Richmond, K.E., Sussman, M., Got Silicon the Non Essential Beneficial Plant Nutrient, Current Opinion in Plant Biology, 6, 3, 268-272, 2003.
- Brecht, M., Datnoff, L., Nagata, R., Kucharek, T., The Role of Silicon in Suppressing Gray Leaf Spot Development in St. Augustinegrass, University of Florida IFAS Extension Bulletin, 2003.
- Rodrigues, F.A., Jurick, W.M., Datnoff, L.E., Jones, J.B., Rollins, J.A., Silicon Influences Cytological and Molecular Events in Compatible and Incompatible Rice-Magnaporthe grisea Interactions, Physiological and Molecular Plant Pathology, 66, 4, 144-159, 2005.
- Rodrigues, F.A., Vale, F.X.R., Datnoff, L.E., Prabhu, A.S., Korndörfer, G.H., Effect of Rice Growth Stages and Silicon on Sheath Blight Development, Phytopathology, 93, 256-261, 2003.
- Perry, C.C., Keeling, T.T., Aspects of the Bioinorganic Chemistry of Silicon in Conjunction with the Biometals Calcium, Iron and Aluminium, Journal of Inorganic Biochemistry, 69, 3, 181-191, 1998.
- Yasuto, M., Eiichi, T., Silicon Deficiency of Tomato Plant, Soil Science and Plant Nutrition, 24, 2, 175-189, 1978.
- Yasuto, M., Eiichi, T., Effect of Silicon on the Growth of Solution Cultured Cucumber Plant, Soil Science and Plant Nutrition, 29, 1, 71-83, 1983.
- Jianfeng, M., Kazuo, N., Eichii, T., Effect of Silicon on the Growth of Rice Plant at Different Growth Stages, Soil Science and Plant Nutrition, 35, 3, 347-356, 1989.
- Mauad, M., Crusciol, C.A.C., Filho, H.G., Correa, J.C., Nitrogen and Silicon Fertilization of Upland Rice, Scientia Agricola, 60, 4, 2003.
- Fauteux, F., Borel, W.R., Menzies, J.G., Belanger, R.R., Silicon and Plant Disease Resistance Against Pathogenic Fungi, FEMS Microbiology Letter, 249, 1, 1-6, 2005.
- Babaoğlu, M., Gürel, E., Özcan, S., Bitki Biyoteknolojisi, Doku Kültürü ve Uygulamaları, s. 374, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2001.
- Başaran, D., Bitki Doku Kültürleri, s. 208, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 1990.
- Başaran, D., Modern Genel Botanik, s. 427, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 1990.
- Önder, N., Genel Bitki Fizyolojisi, s. 175, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 1985.
- Eneji, E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., An, P., Hattori, T., Tsuji, W., Effects of Calcium Silicate on Growth and Dry Matter Yield of *Chloris gayana* and *Sorghum sudanense* under Two Soil Water Regimes, Grass and Forage Science, 60, 4, 393-398, 2005.
- Gong, H.J., Chen, K.M., Chen, G.C., Wang, S.M., Zhang, C.L., Effects of Silicon on Growth of Wheat under Drought, Journal of Plant Nutrition, 26, 5, 1055-1063, 2003.
- Gerroh, O., Gascho, G.J., Phatak, S.C., Pigeonpea Response to Silicon, Phosphorus and

- Rhizobium Inoculation in an Acidic Coastal Plain Soil, *Journal of Plant Nutrition*, 28, 5, 797-804, 2005.
27. Melo, S.P., Korndörfer, G.H., Korndörfer, C.M., Lana, R.M.Q., Santana, D.G., Silicon Accumulation and Water Deficit Tolerance in *Brachiaria* Grasses, *Scientia Agricola*, 60, 4, 755-759, 2003.
28. Dakora, F.D., Nelwamonda, A., Silicon Nutrition Promotes Root Growth and Tissue Mechanical Strength in Symbiotic Cowpea, *Functional Plant Biology*, 30, 9, 947-953, 2003.
29. Chao, L.Y., Sheng, M.T., Jun, L.F., Jun, F.Y., Silicon Availability and Response of Rice and Wheat to Silicon in Calcareous Soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 13, 14, 2285-2297, 1994.
30. Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kubota, F., Kaufman, P.B., Function of Silica Bodies in the Epidermal System of Rice (*Oryza sativa* L.) Testing the Window Hypothesis, *Journal of Experimental Botany*, 47, 298, 655-660, 1996.