



Topraksız kültürde besin çözeltisindeki N:S oranlarının domates bitkisinin gelişimi, fotosentetik pigmentleri ve makro besin içeriği üzerine etkileri

 **Güney AKINOĞLU***

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Samsun

Öz

Bu çalışmada, topraksız yetiştiricilikte besin çözeltisindeki Azot (N) : Kükürt (S) oranındaki değişimin domates bitkisinde gelişme, makro besin kapsamı ve fotosentetik pigmentler üzerine etkisi incelenmiştir. Denemede 2:1 torf: perlit (v/v) karışımından her saksı için 1500 gram alınıp 3 litrelik saksılara konulmuştur. Her saksıya bir domates fidesi (Kardelen F1 çeşidi) dikilmiştir. Bitkilere farklı N ve S konsantrasyonlarına (mM) sahip besin çözeltisi uygulamaları [I] 12.5:0.125 (N_{12.5}:S_{0.125}), [II] 11.5:0.625 (N_{11.5}:S_{0.625}), [III] 10.5:1.125 (N_{10.5}:S_{1.125}), [IV] 9.5:1.625 (N_{9.5}:S_{1.625})] yapılmıştır. Deneme tamamen tesadüfi deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Besin çözeltisindeki N:S dengesindeki değişimin, bitkinin gövde ve yaprak kuru ağırlığı üzerine etkisi önemli bulunurken; bitkinin kök kuru ağırlığı, boyu, bitki gövde çapı, bitki yaprak sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Azotun azaltılırken kükürtün artırıldığı besin çözeltisi uygulaması yaprakta klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil kapsamalarını azaltmıştır. En yüksek klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil içeriği N_{12.5}:S_{0.125} uygulamasında; en düşük ise N_{9.5}:S_{1.625} uygulamasında elde edilmiştir. Besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişimin, yaprakta N, K, Ca, Mg ve S kapsamına etkisi önemli iken; P kapsamına etkisi önemsiz bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Domates, topraksız kültür, N/S oranı, gelişme, fotosentetik pigmentler.

The effects of N:S ratios in nutrient solution on the growth, photosynthetic pigments and macronutrient content of tomato plants in soilless culture

Abstract

In this study, the effects of changes in the N (Nitrogen) : S (Sulphur) ratio of the nutrient solution in soilless cultivation on the growth, macronutrient content, and photosynthetic pigments of tomato plants were investigated. One thousand five hundred grams (1500 g) of the substrate (2:1 peat: perlite (v/v) mixture) was added to each 3-litre pot. A tomato seedling (Kardelen F1 variety) was planted in each pot. Plants were fed with nutrient solution treatments [I] 12.5:0.125 (N_{12.5}:S_{0.125}), [II] 11.5:0.625 (N_{11.5}:S_{0.625}), [III] 10.5:1.125 (N_{10.5}:S_{1.125}), [IV] 9.5:1.625 (N_{9.5}:S_{1.625})] with different N and S concentrations (mM). The study was conducted with three replicates according to a completely randomized experimental design. The effect of the changes in N:S balance in the nutrient solution on the stem and leaf dry weight of the plant was significant, while its effect on the root dry weight, plant height, stem diameter, and leaf number of the plant was not significant. The increase in S concentration and the simultaneous decrease in N concentration in the nutrient solution reduced the content of chlorophyll-a, chlorophyll-b, and total chlorophyll in the leaf. The highest levels of chlorophyll-a, chlorophyll-b, and total chlorophyll were obtained in treatment N_{12.5}:S_{0.125} and the lowest in treatment N_{9.5}:S_{1.625}. The effect of the change in N:S ratios in the nutrient solution on the N, K, Ca, Mg, and S content in the leaves was found to be significant, while the effect on the P content was not significant.

Keywords: Tomato, soilless culture, N/S ratio, growth, photosynthetic pigments.

© 2024 Türkiye Toprak Bilimi Derneği. Her Hakkı Saklıdır

* Sorumlu yazar:

Tel. : 0 (542) 693 8570

E-posta : guney.akinoglu@omu.edu.tr

Makale Türü: **ARAŞTIRMA MAKALESİ**

Geliş Tarihi : 8 Temmuz 2024

Kabul Tarihi : 1 Kasım 2024

e-ISSN : 2146-8141

DOI : 10.33409/tbbbd.1512518

Giriş

Dünya genelinde 2022 yılı itibarıyla domates, 4.91×10^6 ha ekili alanı ve 1.86×10^8 kg tahmini üretimi ile en önemli bahçe mahsullerinden biridir (Jiang ve ark., 2024). Domates, yüksek tüketim oranı ve içeriğindeki sağlık açısından faydalı bileşikler nedeniyle, modern diyetin vazgeçilmez bir bileşeni olarak kabul edilmektedir (Dorais ve ark., 2010).

Son yıllarda seralarda topraksız domates yetiştiriciliği hızla artış göstermektedir (Anzalone ve ark., 2022). Birçok topraksız yetiştirme sistemi, “yetiştirme ortamı” veya “substrat” olarak adlandırılan katı köklendirme ortamlarına dayanmaktadır (Gruda ve ark., 2010). Topraksız yetiştiricilikte besin çözeltisinin bileşimi daha verimli bir şekilde kontrol edilebilmekte ve bitki ihtiyaçlarına daha uygun besin oranları sağlanabilmektedir (Nascimento ve ark., 2020).

Azot (N), bitki büyümesi ve gelişimi için en önemli besin elementlerinden biri olup, özellikle domates üretiminde en sınırlayıcı besin maddesi olarak kabul edilmektedir (Elia ve Conversa, 2012). Azot, proteinlerin, enzimlerin ve nükleik asitlerin kritik bir bileşeni olarak birçok fizyolojik ve metabolik süreçte rol oynar ve domates bitkilerinin yapısal bileşiminin temelini oluşturur (Albornoz, 2016).

Kükürt (S), bitkiler de dâhil olmak üzere tüm canlı organizmaların temel elementlerinden biridir (Narayan ve ark., 2023). Bu element, metiyonin ve sistein gibi proteinli amino asitlerin, glutatyon, vitaminler (biyotin ve tiamin), fitoşelatinler, klorofil, koenzim A ve S-adenosil metiyonin gibi bileşiklerin önemli bir bileşenidir (Li ve ark., 2020; Nakai ve Maruyama-Nakashita, 2020). Kükürt, bitkilerin büyüme ve gelişimini, beslenme kalitesini, hastalık toleransını ve direncini önemli ölçüde etkiler (Abdalla ve ark., 2020; Meschede ve ark., 2020; Kopriva ve ark., 2019).

Yetiştirme ortamında bulunan N ve S besinleri, bitki dokularındaki besin alımını ve her iki besin maddesinin konsantrasyonunu etkileyebilmektedir (Sutradhar ve ark., 2017; Carciochi ve ark., 2019). Kükürt ve nitrojen, bitkilerde protein sentezi için hayati öneme sahiptir ve bu elementlerin bulunabilirliği birbirine yakından bağlıdır (Jamal ve ark., 2010). Ayrıca, bitkinin S durumu N metabolizması üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir ve S gereksinimi N beslenmesi ile yakından ilişkilidir (Zenda ve ark., 2021).

Genel olarak, bitki performansı yalnızca yeterli S mevcutsa, N uygulanmasıyla maksimuma çıkarılabilir ve benzer şekilde, S uygulamasına maksimum yanıt yalnızca yeterli N mevcutsa ortaya çıkabilir. Dolayısıyla, S eksikliği N kullanımının etkinliğini azaltabilir ve ters yönde de benzer bir reaksiyon beklenir, yani N eksikliği S kullanımının etkinliğini etkiler (Pagani ve ark., 2009; Ghafoor ve ark., 2021). Bitkilerde N, protein formunda bulunur ve S, iki temel amino asit olan sistein ve metioninin bir bileşenidir. Bu elementlerin yokluğunda bu amino asitlerin üretimi azalır ve bunları içeren proteinler oluşmaz. Bu nedenle, gübreleme sırasında S ile birlikte N formuna bağlı olarak bitkinin metabolizması değişebilir (Marschner, 2012). Ayrıca, hem N hem de S sinerjik etkilere sahip olabilir ve meyve üretimini, olgunlaşmasını ve kalitesini bir dereceye kadar etkileyebilir (Marschner, 2012). Silva ve ark. (2014), N ve S arasındaki dengenin önemli olduğunu, çünkü besin maddelerinden birinin daha yüksek oranlarda kullanılmasının diğerinin bitkiler için daha az kullanılabilir olmasına neden olabileceğini ve bunun da ürünün büyüme, verim ve hasat sonrası kalite özelliklerini etkileyebileceğini bildirmiştir.

Bu çalışmada, topraksız yetiştiricilikte katı ortam kültürüne uygulanan besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişimin domates bitkisinde gelişme, makro besin kapsamı ve fotosentetik pigmentler üzerine etkisi incelenmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, 2022 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama alanındaki polikarbon örtülü, ısıtmasız serada yürütülmüştür. Yan yüzeylerden havalandırması olan seranın alanı yaklaşık 96 m^2 'dir. Denemenin yürütüldüğü araştırma alanı, $41^\circ 21'$ kuzey enlemi, $36^\circ 11'$ doğu boylamındadır. Ayrıca, denemenin yürütüldüğü ayların ortalama gündüz sıcaklığı ve nispi nem değerleri sırasıyla $29 \pm 4^\circ\text{C}$ ve $55 \pm 5\%$ olarak kaydedilmiştir. Denemede sırık domates çeşiti (*Lycopersicon esculentum* L. cv. Kardelen F1) fideleri her saksıya bir bitki gelecek şekilde 7 Temmuz 2022 tarihinde dikilmiştir. Domates fideleri Antalya'da fide üretimi yapan firma tarafından tedarik edilmiştir. Deneyde, yetiştirme ortamı için turba ve perlit 2:1 (v/v) oranında karıştırılmıştır. Turba yosunu (Klasmann), turba yosunu (Sphagnum) cinsine ait, su tutma kapasitesi yüksek, pH değeri 5.5 ile 6.0 arasında olan bir yosundur. Genleşmiş mineral perlit, nötr pH'ya ve yüksek havalandırma kapasitesine sahip, inert, tuz içermeyen bir

substrattır. 3 L kapasiteli, 16.5 cm çapında ve 19.0 cm derinliğindeki her bir saksıya bin beş yüz gram (1500 g) substrat konulmuştur. Drenaj için saksıların dibine delikler açılmıştır.

Substrat kültürüne eklenen besin çözeltisindeki azotun azaltılması veya kükürt içeriğinin arttırılması ve makro elementlerin konsantrasyonu ile ilgili konular Çizelge 1’de verilmiştir. Domates bitkisine (Kardelen F1 çeşidi) [Alpaslan ve ark. \(1998\)](#) tarafından önerilen besin çözeltisi formülü uygulanmıştır. Farklı azot ve kükürt konsantrasyonlarına sahip tüm besin çözeltilerinde toplam katyonlar (NH_4^+) + K^+ + Ca^{+2} + Mg^{+2} = 13.5 me L⁻¹) ve toplam anyonlar (NO_3^- + H_2PO_4^- + SO_4^{-2} = 13.5 me L⁻¹) dengededir. Bitki besin çözeltilerinin pH değeri 1.0 M KOH veya H_2SO_4 çözeltisi ile 5.5’e ayarlanmıştır. Besin çözeltisi hazırlığında kullanılan reaktiflerin tümü analitik saflıktadır.

Çizelge 1. Uygulamalara bağlı olarak besin çözeltisindeki makro elementlerin konsantrasyonu

N ve S konsantrasyonları mM	Makro-besin solüsyonu kompozisyonları	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{-2}	NH_4^+	K^+	Ca^{+2}	Mg^{+2}
					mM			
N_{12.5} : S_{0.125}	12.5 mM N	12.00	1.25	0.125	0.5	5.25	2.75	1.125
	1.25 mM KH_2PO_4		1.25			1.25		
	2.75 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.50					2.75	
	0.50 mM NH_4NO_3	0.50			0.50			
	4.00 mM KNO_3	4.00				4.00		
	0.125 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			0.125				0.125
	1.00 mM $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	2.00						1.00
N_{11.5} : S_{0.625}	11.5 mM N	11.00	1.25	0.625	0.5	5.25	2.75	1.125
	1.25 mM KH_2PO_4		1.25			1.25		
	2.75 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.50					2.75	
	0.50 mM NH_4NO_3	0.50			0.50			
	4.00 mM KNO_3	4.00				4.00		
	0.625 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			0.625				0.625
	0.50 mM $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	1.00						0.50
N_{10.5} : S_{1.125}	10.5 mM N	10.00	1.25	1.125	0.5	5.25	2.75	1.125
	1.25 mM KH_2PO_4		1.25			1.25		
	2.75 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.50					2.75	
	0.50 mM NH_4NO_3	0.50			0.50			
	4.00 mM KNO_3	4.00				4.00		
	1.125 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			1.125				1.125
N_{9.5} : S_{1.625}	9.5 mM N	9.00	1.25	1.625	0.5	5.25	2.75	1.125
	1.25 mM KH_2PO_4		1.25			1.25		
	2.75 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	5.50					2.75	
	0.50 mM NH_4NO_3	0.50			0.50			
	3.00 mM KNO_3	3.00				3.00		
	0.5 mM K_2SO_4			0.50		1.00		
	1.125 mM $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			1.125				1.125

Denemede kullanılan dört farklı besin çözeltisindeki mikro element konsantrasyonları aynı olup bu konsantrasyonlara ilişkin değerler Çizelge 2’de verilmiştir. Farklı deneme konularını içeren besin çözeltisi uygulamaları dikimle beraber başlatılmış, her saksıya yaklaşık 30 gün her gün 150 mL besin çözeltisi uygulanmıştır. Çiçeklenmeden veya meyve tutumu başlangıcından sonra ise bitki başına her saksıya günde 300 mL besin çözeltisi uygulanmıştır. Deneme süresince saksılardaki drenaj kontrol edilerek saksıların nem içeriği tarla kapasitesi civarında tutulmuştur. Domates bitkileri 7 Ekim 2022 tarihinde hasat edilmiştir.

Çizelge 2. Besin çözeltisindeki mikro elementlerin konsantrasyonu

Mikro besinler (µM)					
Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
40	5	0.75	4	30	0.5

Domates bitkilerinde yapılan ölçüm, gözlem ve analizler

Yaprak sayısı, bitki boyu (cm) ve gövde çapı (mm)

Hasattan hemen önce, gözlem bitkisinde yaprak sayıları tespit edilmiş, bitki boyu ölçümleri yapılmıştır. Bitkilerde kök boğazı ile büyüme ucu arasındaki mesafe şerit metre ile bitki boyu olarak ölçülmüştür. Substrat yüzeyinin 5 cm yukarısından 0.01 mm'ye duyarlı dijital kumpas ile gövde çapı ölçümleri yapılmıştır.

Kök, gövde ve yaprak vejetatif kuru ağırlıkları (g)

Hasat dönemine ulaşmış domates bitkisi, bıçak ile kök boğazı kısmından kesilerek ayrılmıştır. Domates bitkisinin topraküstü aksamına (gövde+yaprak) ek olarak, kökleri de substrat ortamından temizlenerek çıkartılmıştır. Bitkilerin kökleri, musluk suyu altında, kayıp olmayacak şekilde yıkanarak temizlenmiş ve daha sonra bu köklerin kurutma kağıdı ile nemi alınmış ve oda koşullarında 15 dakika süreyle bekletilmiştir. Son olarak kısımlarına ayrılmış domates bitkileri, kese kâğıtlarına koyulmuş ve 65-80°C'ye ayarlı etüvde (Nüve, ES-500, Türkiye) sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra 0.001 g'a duyarlı dijital hassas terazide (Precisa, XB-620M, Switzerland) tartılarak, kök, gövde ve yaprak vejetatif kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

Bitkinin taze yaprağında klorofil ve karotenoid konsantrasyonunun belirlenmesi

Klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid konsantrasyonunu belirlemek amacıyla domates bitkisinin tam gelişmiş, sağlıklı yapraklarından hasattan 1 hafta önce taze yaprak örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde, [Arnon \(1949\)](#); [Witham ve ark., \(1971\)](#) tarafından bildirildiği şekilde klorofil ve karotenoid analizi yapılmış ve analiz sonuçları bitkide mg g⁻¹ taze madde (TM) olarak ifade edilmiştir.

Kuru yaprakta makro element (N, P, K, Ca, Mg, SO₄⁻²-S) tayinleri

Kurutulmuş ve öğütülmüş domates bitkisinin yaprak numuneleri hacimce (% v/v) 4:1'lik nitrik : perklorik asit karışımı içerisinde ve hot plate üzerinde yaklaşık bir saat 200°C'de yakılma işlemine maruz bırakılmıştır. Yakma işleminin ardından örneklerin son hacmi 100 mL olacak şekilde saf su ile tamamlanmıştır. Böylece elde edilen bitki ekstraktlarındaki toplam potasyum, fosfor, kalsiyum, magnezyum ve kükürt tayinleri, [Kacar ve İnal \(2008\)](#)'e göre belirlenmiştir. Kurutulmuş ve öğütülmüş domates bitkisinin yaprak numunelerinde toplam azot (N) kapsamı ise modifiye Kjeldahl yaş yakma yöntemiyle tayin edilmiştir ([Bremner ve Mulvaney, 1982](#)).

İstatistiksel analizler

Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre her uygulamada 3 tekerrür ile kurulmuş ve toplamda 12 saksı kullanılmıştır. Verilerin varyans analizi ile incelenmesinde, SPSS 17.0 paket programından yararlanılarak Fisher LSD çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır ve farklılık dereceleri, %5 düzeyinde harflendirme yoluyla gösterilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Morfolojik gelişme üzerine etkisi

Besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişim, bitki gövde kuru ağırlığını p<0.01 seviyesinde etkilerken; bitki yaprak kuru ağırlığını p<0.05 seviyesinde etkilemiştir. Buna karşın, N:S oranındaki değişimin, bitki boyuna, gövde çapına, yaprak sayısına ve kök kuru ağırlığına etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. N:S dengesindeki değişimin domates bitkisinde morfolojik gelişme üzerine etkisi

N:S oranı	Bitki boyu (cm)	Bitki gövde çapı (mm)	Bitkide yaprak sayısı (adet)	Kök kuru ağırlığı (g)	Gövde kuru ağırlığı (g)	Yaprak kuru ağırlığı (g)
N _{12.5} :S _{0.125}	175.00	15.35	16.00	6.0	33.1 b	39.3 a
N _{11.5} :S _{0.625}	167.33	15.87	14.66	5.5	31.0 b	41.1 a
N _{10.5} :S _{1.125}	185.00	15.31	15.00	5.3	38.4 a	39.0 a
N _{9.5} :S _{1.625}	163.66	14.09	13.66	5.0	32.3 b	34.8 b
LSD _{0.05}	-	-	-	-	2.67	3.48
Önemlilik seviyesi	ns	ns	ns	ns	**	*

Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; ns: Anlamlı değil; *%5 düzeyinde anlamlı, **%1 düzeyinde anlamlı

Besin çözeltisinde azotun azaltılırken kükürtün 0.125 mmol/L seviyesinden 1.125 mmol/L düzeyine kadar arttırılması bitki gövde kuru ağırlığını arttırmıştır. Buna karşın, $N_{12.5}:S_{0.125}$, $N_{11.5}:S_{0.625}$, $N_{9.5}:S_{1.625}$ uygulamalarında bitki gövde kuru ağırlığı benzer bulunmuştur (Çizelge 3).

Besin çözeltisinde azotu azaltırken kükürt kapsamını 0.125 mmol/L düzeyinden 0.625 ve 1.125 mmol/L seviyesine kadar arttırılması halinde bitki yapraklarının kuru ağırlığı benzer kalmış; fakat kükürt 1.625 mmol/L seviyesine yükseltildiğinde yaprak kuru ağırlığı önemli bir şekilde azalma göstermiştir (Çizelge 3). [Nukaya ve Hashimoto \(1998\)](#) tarafından yapılan bir araştırmada, topraksız kültürde domates bitkilerinde S konsantrasyonunun 1.0 mM'den 3.8 mM'ye yükseltilmesinin bitki gelişimi üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, çeşitli araştırmalarda N ve S gübrelere uygulamasıyla birlikte bitkilerin gelişim parametrelerinde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir. [Javaid ve ark. \(2024\)](#) tarafından yapılan bir çalışmada, ayçiçeği bitkisinin büyüme parametrelerinin en yüksek değerlerine, 60 kg S/ha ve 40 kg N/ha düzeylerinde gübre uygulamalarında ulaşıldığı, en düşük değerlerin ise sülfür (S) veya azot (N) içermeyen (0 kg/ha) saksılarda gözlemlendiği bildirilmiştir.

Fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

Besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişimin domates bitkisi yaprağında fotosentetik pigmentler üzerine etkisi $p < 0.01$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. N:S dengesindeki değişimin domates bitkisi yapraklarında fotosentetik pigmentler üzerine etkisi

N:S oranı	Klorofil-a (mg/g taze yaprak)	Klorofil-b (mg/g taze yaprak)	Toplam Klorofil (mg/g taze yaprak)	Karotenoid (mg/g taze yaprak)
$N_{12.5}:S_{0.125}$	1.11 a	0.39 a	1.50 a	0.26 a
$N_{11.5}:S_{0.625}$	0.85 b	0.32 b	1.17 b	0.21 b
$N_{10.5}:S_{1.125}$	0.91 b	0.31 b	1.22 b	0.21 b
$N_{9.5}:S_{1.625}$	0.74 c	0.26 c	1.00 c	0.19 b
LSD _{0.05}	0.09	0.04	0.13	0.03
Önemlilik seviyesi	**	**	**	**

Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; **%1 düzeyinde anlamlı

Azotun azaltılırken kükürtün arttırıldığı besin çözeltisi uygulaması, yaprakta klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil kapsamını azaltmıştır. En yüksek klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil içeriği $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasında; en düşük ise $N_{9.5}:S_{1.625}$ uygulamasında elde edilmiştir. Yaprakta karotenoid kapsamı $N_{11.5}:S_{0.625}$, $N_{10.5}:S_{1.125}$, $N_{9.5}:S_{1.625}$ uygulamalarında benzer miktarlarda bulunmuş; fakat bu uygulamalarda $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasına göre yaprakta karotenoid kapsamı azalma göstermiştir. (Çizelge 4). Tüm temel besin maddeleri arasında, azot (N), bitki yetiştiriciliği için en temel elementtir ([Prieto ve ark., 2017](#)). Bu element, klorofilin önemli bir bileşenidir ([Dawar ve ark., 2023](#)). Kükürt ise klorofilin oluşumunda önemli bir rol üstlenir ([Javaid ve ark., 2024](#)). Kara bitkileri ve alglerin fotosentetik sisteminde bulunan en bol pigment olan klorofil, fotosentez sırasında ışık enerjisinin absorbe edilmesi ve elektronların aktarılması için vazgeçilmez bir pigmenttir ([Hu ve ark., 2021](#)). Dolayısıyla, azottaki sınırlanmanın bitkilerde fotosentez sürecini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir ([Tiancai ve ark., 2004](#)). Çalışmamızda, azotun; klorofil-a, klorofil-b ve karotenoidlerin pigment konsantrasyonu üzerindeki etkisi belirgindir. Tüm pigmentlerin konsantrasyonu azotlu gübre uygulama dozu düştükçe azalma göstermiştir. Araştırma bulgularımız, çeşitli literatür bulguları ([Wang ve ark., 2021](#); [Muhammad ve ark., 2022](#)) ile tutarlılık göstermiştir.

Makro besin kapsamı üzerine etkisi

Besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişimin, yaprakta N, K, Ca, Mg ve S kapsamına etkisi $p < 0.01$ seviyesinde önemli iken; P kapsamına etkisi önemsiz bulunmuştur (Çizelge 5). Besin çözeltisindeki azot konsantrasyonu azaldıkça ya da kükürt konsantrasyonu arttıkça yaprakta azot kapsamı önemli derecede azalma göstermiştir. Aynı şekilde azot konsantrasyonu azaldıkça yaprakta Ca kapsamı azalma göstermiş, bu azalmalar $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasındaki Ca kapsamına göre önemli bulunmuştur. Benzer şekilde, $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasındaki Mg kapsamına göre azot konsantrasyonunun azaldığı ya da kükürt konsantrasyonunun arttığı diğer uygulamalarda yaprakta Mg kapsamı önemli derecede azalma göstermiştir. Buna rağmen azotun azaltılması ya da kükürtün arttırılması yaprakta K kapsamını arttırmıştır. Fakat bu artışlar $N_{10.5}:S_{1.125}$ ve $N_{9.5}:S_{1.625}$ uygulamalarında $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasına göre önemli bulunmuştur. Besin çözeltisinde azotun azaltılması ya da kükürtün arttırılması yaprakta S kapsamını önemli derecede arttırmıştır (Çizelge 5). Zenda ve ark. (2021), N ve S uygulama dozlarının bitkilerin besin alımını etkilediğini bildirmiştir. Başka bir

çalışmada ise ayçiçeği bitkisine kükürtün ve azotun kombine uygulamasının ($S \times N$ etkileşiminin), K^+ , Ca^{+2} ve Na^+ iyonları alımı üzerinde etkisinin önemli olmadığı bildirilmiştir (Javaid ve ark., 2024). Çalışmamızda ayrıca, domates bitkisinin N, P, K, Ca, Mg ve S beslenmesinin, Hochmuth ve ark. (2012) tarafından bildirilen değerlere göre yeterli ve yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 5. N:S dengesindeki değişimin domates bitkisi yapraklarında makro element kapsamı üzerine etkisi

N:S oranı	N, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %	S, %
$N_{12.5}:S_{0.125}$	3.72 a	0.25	2.84 b	2.04 a	0.79 a	0.30 d
$N_{11.5}:S_{0.625}$	3.56 b	0.24	2.90 b	1.98 b	0.65 c	0.36 c
$N_{10.5}:S_{1.125}$	3.43 c	0.26	3.00 a	1.97 b	0.68 c	0.41 b
$N_{9.5}:S_{1.625}$	3.28 d	0.24	3.04 a	1.92 c	0.72 b	0.50 a
LSD _{0.05}	0.05	-	0.06	0.03	0.03	0.03
Önemlilik düzeyi	**	ns	**	**	**	**

Aynı harflerle gösterilen ortalamalar arasında 0.05 düzeyinde anlamlı bir fark yoktur; ns: Anlamlı değil; **%1 düzeyinde anlamlı

Sonuç

Besin çözeltisindeki N:S oranındaki değişimin, bitkinin gövde ve yaprak kuru ağırlığı üzerine etkisi önemli bulunurken; bitkinin kök kuru ağırlığı, boyu, bitki gövde çapı, bitki yaprak sayısı üzerine etkisi önemsiz bulunmuştur. Azotun azaltılırken kükürtün artırıldığı besin çözeltisi uygulaması yaprakta klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil kapsamalarını azaltmıştır. En yüksek klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil içeriği $N_{12.5}:S_{0.125}$ uygulamasında; en düşük ise $N_{9.5}:S_{1.625}$ uygulamasında elde edilmiştir. Besin çözeltisindeki N:S dengesindeki değişimin, yaprakta N, K, Ca, Mg ve S kapsamına etkisi önemli iken; P kapsamına etkisi önemsiz bulunmuştur. Sonuç olarak, topraksız yetiştiricilikte bitki besin çözeltisindeki N/S dengesinin doğru bir şekilde sağlanması, bitki gelişimini desteklemek, fotosentetik verimliliği artırmak ve makro besin alımını optimize etmek için kritik bir öneme sahiptir.

Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: PYO.ZRT.1908.22.015). Çalışmanın desteklenmesinden dolayı BAPKOP - BAPSİS birimine teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Kaynaklar

- Abdalla MA, Meschede CAC, Mühling KH, 2020. Selenium foliar application alters patterns of glucosinolate hydrolysis products of pak choi *Brassica rapa* L. var. Chinensis. *Scientia Horticulturae*, 273(9): 109614.
- Albornoz F, 2016. Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. *Scientia Horticulturae*, 205: 79-83.
- Alpaslan M, Güneş A, Inal A, 1998. Deneme Tekniği. Ankara Üniversitesi Yayın No: 1501, Ziraat Fakültesi Ders Kitabı: 455, ISBN: 975-482-438-X, p. 437, Ankara.
- Anzalone A, Mosca A, Dimaria G, Nicotra D, Tessitori M, Privitera GF, Pulvirenti A, Leonardi C, Catara V, 2022. Soil and soilless tomato cultivation promote different microbial communities that provide new models for future crop interventions. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15): 8820.
- Arnon D, 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. *Plant Physiology*, 24(1), 1-12.
- Bremner JM, Mulvaney CS, 1982. Total nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*, (eds. Page AL, Miller RH, Keeny, DR), American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, pp. 1119-1123.
- Carciochi WD, Reussi Calvo NI, Wyngaard N, Divito GA, Eyherabide M, Echeverría HE, 2019. Prognosis and diagnosis of sulfur status in maize by plant analysis. *European Journal of Agronomy*, 108: 1-10.
- Coletto I, de la Peña, M, Rodríguez-Escalante, J, Bejarano I, Glauser G, Aparicio-Tejo PM, González-Moro MB, Marino D, 2017. Leaves play a central role in the adaptation of nitrogen and sulfur metabolism to ammonium nutrition in oilseed rape (*Brassica napus*). *BMC Plant Biology*, 17: 157.
- Dawar K, Khan AA, Jahangir MMR, Mian IA, Khan B, Ahmad B, Fahad S, Moustafa M, Al-Shehri M, Mubashir M, Datta R, Danish S, 2023. Effect of nitrogen in combination with different levels of sulfur on wheat growth and yield. *ACS Omega*, 8(1): 279-288.
- Dorais M, Papadopoulos AP, Gosselin A, 2010. Greenhouse tomato fruit quality. In: *Horticultural Reviews*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, pp. 239-319.
- Elia A, Conversa G, 2012. Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *European Journal of Agronomy*, 40: 64-74.

- Ghafoor I, Habib-ur-Rahman M, Ali M, Afzal M, Ahmed W, Gaiser T, Ghaffar A, 2021. Slow-release nitrogen fertilizers enhance growth, yield, NUE in wheat crop and reduce nitrogen losses under an arid environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 43528-43543.
- Gruda N, Qaryouti MM, Leonardi C, 2013. Growing media. In: *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas*; FAO: Rome, Italy.
- Hochmuth GJ, Maynard D, Vavrina C, Hanlon E, Simonne E, 2012. "Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in Florida: HS964/EP081 Rev. 10/2012". EDIS, 2012(10). Gainesville, FL.
- Hu X, Gu T, Khan I, Zada A, Jia T, 2021. Research progress in the interconversion, turnover and degradation of chlorophyll. *Cells*, 10(11): 3134.
- Jamal A, Moon YS, Abdin MZ, 2010. Sulphur -a general overview and interaction with nitrogen. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7): 523-529.
- Javaid K, Mahmood A, Najeeb Alawadi HF, Saad Ullah M, Seleiman MF, Ameen M, Asghar A, Ali N, (2024). Synergic effect of sulfur and nitrogen on morpho-physiological and biochemical traits of sunflower. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 52(2), 13584.
- Jiang X, Fan M, Wang T, Gong S, Hao W, Ye Y, Zhao Y, Cui N, Zhao H, Zhao L, 2024. Modeling tomato yield and quality responses to water and nitrogen deficits with a modified crop water production function. *Horticulturae*, 10(9): 898.
- Kacar B, İnal A, 2008. *Bitki Analizleri*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti. Yayınları, Yayın No: 1241; Fen Bilimleri: 63, (I. Basım) Ankara.
- Kopriva S, Malagoli M, Takahashi H, 2019. Sulfur nutrition: Impacts on plant development, metabolism, and stress responses. *Journal of Experimental Botany*, 70(16): 4069-4073.
- Marschner P, 2012. *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. (3rd ed.). Academic Press.
- Meschede CAC, Abdalla MA, Mühling KH, 2020. Sulfur but not nitrogen supply increases the ITC/Nitrile ratio in Pak Choi (*Brassica rapa* subsp. *Chinensis* (L.) Hanelt). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 93: 95-104.
- Muhammad I, Yang L, Ahmad S, Farooq S, Al-Ghamdi AA, Khan A, Zeeshan M, Elshikh MS, Abbasi AM, Zhou X-B, 2022. Nitrogen fertilizer modulates plant growth, chlorophyll pigments and enzymatic activities under different irrigation regimes. *Agronomy*, 12: 845.
- Nakai Y, Maruyama-Nakashita A, 2020. Biosynthesis of sulfur-containing small biomolecules in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10): 3470.
- Narayan OP, Kumar P, Yadav B, Dua M, Johri AK, 2023. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 18(1): 2030082.
- Nascimento CS, Nascimento CS, Cecílio ABF, 2020. N:K ratio for phenological growth stages of net melon cultivated in NFT hydroponic system. *Revista Caatinga*, 33(1), 108-115.
- Nukaya A, Hashimoto H, 1998. Effects of nitrate, chloride and sulfate ratios and concentration in the nutrient solution on yield, growth and mineral uptake characteristics of tomato plants grown in closed rockwool system. In *Proceedings of the XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications-511*; International Society for Horticultural Science: Leuven, Belgium, pp. 165–172.
- Pagani A, Echeverría HE, Sainz Rozas H, 2009. Respuesta a nitrógeno y azufre en el cultivo de maíz en diferentes ambientes de la Provincia de Buenos Aires [Corn response to nitrogen and sulfur under different environments in the province of Buenos Aires]. *Ciencia del Suelo*, 27(1): 21-29.
- Prieto KR, Echaide-Aquino F, Huerta-Robles A, Valério HP, Macedo-Raygoza G, Prado FM Medeiros MHG, Brito HF, da Silva IGN, Felinto MCFC. et al. 2017. Endophytic bacteria and rare earth elements; promising candidates for nutrient use efficiency in plants. In: *Plant Macronutrient Use Efficiency: Molecular and Genomic Perspectives in Crop Plants* (eds. Hossain MA, Kamiya T, Burritt DJ, Tran L-SP, Fujiwara T), Elsevier, pp. 285–306.
- Salvagiotti F, Castellarín JM, Miralles DJ, Pedrol HM, 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. *Field Crops Research*, 113(2): 170-177.
- Silva MLS, Trevizam AR, Piccolo MC, Furlan G, 2014. Tomato production in function of sulfur rates application. *Applied Research & Agrotechnology*, 7(1): 47-54.
- Sutradhar AK, Kaiser DE, Fernández FG, 2017. Does total nitrogen/sulfur ratio predict nitrogen or sulfur requirement for corn? *Soil Science Society of America Journal*, 81(3): 564-577.
- Tiancai G, Wei F, Huijie Z, Guodian X, Huacen W, Yonghua W, Zhanjun Y, 2004. Photosynthetic characteristics of flag leaves and nitrogen effects in two winter wheat cultivars with different spike type. *Zuo Wu Xue Bao*, 30: 115-121.

- Wang N, Fu F, Wang H, Wang P, He S, Shao H, Ni Z, Zhang X, 2021. Effects of irrigation and nitrogen on chlorophyll content, dry matter and nitrogen accumulation in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). Scientific Reports, 11:16651.
- Witham FH, Blaydes DF, Devlin RM, 1971. Experiments in plant physiology. Van Nostrend Reinhold Company, New York.
- Zenda T, Liu S, Dong A, Duan H, 2021. Revisiting sulphur—The once neglected nutrient: It's roles in plant growth, metabolism, stress tolerance and crop production. Agriculture, 11(7): 626.