Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
PSI
Phycological Society of Iran

The effect of sulfur fertilizers in intensifying or modulating the stressful effects of NPK fertilizer on the ornamental-medicinal plant *Euphorbia tirucalli* L. in potted conditions

Rahela Fernia[1], Arin Satei[2*], Mehdi Ebadi[3], Maziar Ahmadi Gholsfidi[4]

[1] Department of Biology, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran, Email: farniyaraheleh@yahoo.com
[2] Department of Biology, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran, Email: Arian.Sateei@iau.ac.ir
[3] Department of Chemistry, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran, Email:Golsefidi@gorganiau.ac.ir
[4] Department of Chemistry, Islamic Azad University, Gorgan Branch, Gorgan, Iran, Email: m.ebadi@gorganiau.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received:02.04.2021
Revised: 14.05.2021
Accepted: 21.05.2021
Published:24.12.2022

Keywords
Chlorophyll
Euphorbia tirucalli
Growth
NPK fertilizer
Phosphorus
Potassium
Protein
Stress
Sulphur fertilizer

Abstract

The present study investigates the effect of sulfur fertilizer on *Euphorbia tirucalli* L. in pot culture conditions. Plants were cultivated under 10 NPK treatments with sulfur fertilizers (granular or bentonite, with or without thiobacillus and ammonium sulfate each in two concentrations) and one NPK treatment without sulfur, compared with the control in randomized complete blocks for 4 months. Growth parameters including dry and fresh weight of plants, roots, shoots and the ratio of fresh or dry weight of roots to plants as well as protein, chlorophyll, potassium, phosphorus and sulfur content in roots or shoots were measured. NPK fertilizer did not increase phosphorus and potassium uptake but decreased root growth. Addition of sulfur fertilizers except for bentonite sulfur with a concentration of 0.8 g per 80 cm^2 of soil with Thiobacillus commercial liquid fertilizer, 250 ml / l, had no effect on recovering the negative effects of NPK and even in most treatments, shoot dry weight and fresh weight decreased. Ammonium sulfate showed the most negative effect on growth parameters. Also, some sulfur treatments had a positive effect on increasing the amount of shoot protein. Chlorophyll a, b and total levels did not show a significant difference between treatments. The effect of sulfur fertilizer on soil pH was different and higher concentration of granular sulfur fertilizer containing Thiobacillus caused a more severe drop. None of the sulfur treatments increased the phosphorus of the shoot and even some treatments had a negative effect on the phosphorus content of the roots as well as the potassium content of the roots and shoots. Only in the treatment of granular sulfur fertilizer with Thiobacillus at lower concentrations, root potassium content increased. Negative effects of sulfur fertilizers were not due to increased sulfur uptake, because the sulfur content changes between treatments were not significantly different.

Cite this article as: Fernia, R., Satei, A., Ebadi, M., Ahmadi Gholsfidi, M. (2022). The effect of sulfur fertilizers in intensifying or modulating the stressful effects of NPK fertilizer on the ornamental-medicinal plant *Euphorbia tirucalli* L. in potted conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 68(4): 123-139.

©The author(s)
Doi: 10.30495/iper.2022.690258
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan Branch
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.68.8.7

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

اثر کودهای گوگردی در تشدید یا تعدیل تاثیرات تنش زای کود NPK بر گیاه زینتی-دارویی *Euphorbia tirucalli* L. در شرایط کشت گلدانی

راحله فرنیا[۱]، آرین ساطعی[۲*]، مهدی عبادی[۳]، مازیار احمدی گل‌سفیدی[٤]

۱ گروه زیست‌شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه:farniyaraheleh@yahoo.com
۲ گروه زیست‌شناسی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه: Arian.Sateei@gorganiau.ac.ir
۳ گروه شیمی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه:Golsefidi@gorganiau.ac.ir
٤ گروه شیمی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران، رایانامه:m.ebadi@gorganiau.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۱/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱٤۰۰/۰۲/۲٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۲/۳۱
تاریخ چاپ :۱٤۰۱/۱۰/۰۳

واژه‌های کلیدی:
افوربیا تیروکالی
پتاسیم
پروتئین
تنش
رشد
فسفر
کلروفیل
کود گوگردی
کود NPK

چکیده

در پژوهش حاضر هدف بررسی اثر کود گوگردی بر گیاه افوربیا تیروکالی در شرایط کشت گلدانی بود. گیاهان تحت ۱۰ تیمار NPK همراه با کودهای گوگردی (گرانوله و یا بنتونیت دار، واجد یا فاقد تیوباسیلوس و نیز سولفات آمونیوم هر یک در دو غلظت) و یک تیمار NPK فاقد گوگرد، در قیاس با شاهد در بلوکهای کامل تصادفی به‌مدت ٤ ماه قرار گرفتند. پارامترهای رشد شامل وزن خشک و تر گیاه، ریشه، اندام هوایی و نسبت وزن تر یا خشک ریشه به کل گیاه و همچنین، محتوای پروتئین، کلروفیل، پتاسیم، فسفر و گوگرد در گیاه اندازه گیری شدند. مطابق با نتایج بدست آمده کود NPK جذب فسفر و پتاسیم را افزایش نداد ولی موجب کاهش رشد ریشه شد. افزودن انواع کود گوگردی به جز گوگرد بنتونیت دار با غلظت ۰/۸ گرم در هر cm^2 ۸۰ خاک همراه با کود مایع تجاری تیوباسیلوس با غلظت ۲۵۰ میلی لیتر در لیتر تاثیری بر بهبود اثرات منفی NPK نداشت و حتی در بیشتر تیمارها، کاهش وزن خشک و وزن تر اندام هوایی را موجب گشت. از سوی دیگر سولفات آمونیوم بیشترین تأثیر منفی را بر پارامترهای رشد نشان داد. همچنین برخی تیمارهای گوگردی اثر مثبت بر افزایش میزان پروتئین اندام هوایی داشت. میزان کلروفیل a، b و کل بین تیمارها اختلاف معنی داری نشان نداد. اثر کود گوگرد بر pH خاک متفاوت بود و غلظت بالاتر کود گوگرد گرانوله واجد تیوباسیلوس افت شدیدتری را موجب شد. هیچیک از تیمارهای گوگرد موجب افزایش فسفر اندام هوایی نشد و حتی برخی تیمارها بر محتوای فسفر ریشه و نیز محتوای پتاسیم ریشه و اندام هوایی اثر منفی داشتند، تنها در تیمار کود گوگردی گرانوله با تیوباسیلوس در غلظت پایینتر، مقدار پتاسیم ریشه نسبت به شاهد و دیگر تیمارها افزایش داشت. نتایج تحقیق شان داد اثرات منفی کودهای گوگرد ناشی از افزایش جذب گوگرد، نبود زیرا تغییرات محتوای گوگرد بین تیمارها، اختلاف معنی داری نداشت.

استناد: فرنیا، راحله؛ ساطعی، آرین؛ عبادی، مهدی؛ احمدی گل‌سفیدی، مازیار. (۱٤۰۱). اثر کودهای گوگردی در تشدید یا تعدیل تاثیرات تنش زای کود NPK بر گیاه زینتی-دارویی *Euphorbia tirucalli* L. در شرایط کشت گلدانی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ٦۸ (٤)، ۱۳۹-۱۲۳.

Doi: 10.30495/iper.2022.690258
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.68.8.7

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

گونه افوربیا تیروکالی (*Euphorbia Tirucalli* L.) یا کاکتوس مدادی از خانواده افوربیاسه یا فرفیون و جنس افوربیا یک گیاه ساکولنت به حساب می‌آید. این گیاه، یک گونه بومی در آفریقاست و با اقلیم گرمسیری سازگاری پیدا می‌کند. از نظر خواص درمانی، استفاده از این گیاه به‌طور گسترده به‌عنوان یک روش جایگزین برای درمان برخی از بیماری‌ها از بیماری‌های رایج پوستی تا سرطان و ایدز استفاده می‌شود که به‌دلیل وجود مواد مولکولی زیست فعال در بخش‌های مختلف این گیاه می‌باشد (Silva Santana et al., 2014). لاتکس این گیاه، ویسکوزیته بالایی داشته و در تماس با پوست و یا موکوس، بسیار سمی و آزاردهنده می‌باشد ولی مشخص شده که دارای اثرات مفیدی از قبیل خواص ضدسرطانی (Rahuman et al., 2008) و ضدمیکروبی (Brasileiro et al., 2006) است. گونه‌های مختلف جنس اوفوربیا معمولا حاوی مواد زیست فعال متعددی از جمله روغن‌های ضروری، آلدهیدها، لتکس، نشاسته و دی ترپن‌های نوع تیگلین (فوربول استر) و اینژنان (اینژنول استر)، دی ترپنوئیدهای نوع تیگلیان (فرمالدهید)، لیزوزیم و لکتین‌ها هستند (Souza et al., 2005).

تحقیقات نشان داده که تأمین مواد مغذی از طریق کودها برای گیاه می تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان، به خصوص گیاهان دارویی، شود (Hassan, 2012). گوگرد پس از عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم چهارمین عنصر عمده مورد نیاز اکثر گیاهان زراعی می‌باشد. این عنصر در ساختار برخی از اسیدآمینه‌ها وجود داشته و با وجود این که گوگرد در ترکیب کلروفیل برگ وجود ندارد ولی وجود آن برای بیوسنتز کلروفیل ضروری است. در خاک‌های آهکی، عملکرد گیاهان با مصرف کودهای گوگردی مثل گوگرد عنصری، گچ و سولفات آمونیوم تا حد زیادی افزایش می یابد (Chaghazardi et al., 2013). کمبود گوگرد با کاهش در میزان ترکیبات دفاعی محتوی گوگرد موجب کاهش تحمل گیاه می شود و در نتیجه مقادیر بالایی از گونه‌های اکسیژن واکنشگر یا رادیکال‌های آزاد انباشته می شود (Ghaderi et al., 2017).

مطالعات مختلفی در ایران و سایر نقاط جهان بر روی تأثیر افزودن کود گوگردی بر ویژگی‌های گیاهان مختلف انجام شده است. برای مثال (Mousavi Nik, 2012) در مورد گیاه دارویی اسفرزه (Chaghazardi et al., 2013) در مورد ذرت (هیبرید سینگل کراس ۷۰٤) در خاک‌های آهکی استان کرمانشاه (Ghaderi et al., 2017) در بررسی اثر کاربرد گوگرد عنصری بر عملکرد و برخی از ویژگیهای کیفی گندم آبی، همچنین اثرات مثبت کود گوگردی بر رشد و عملکرد گل آفتابگردان (Nasreen and Imamul Huq, 2002)، دانه کتان (Ahmad et al., 2005)، کلزا (Abdallah et al., 2010) و گندم (Klikocka and Marks, 2018)، همگی حاکی از بهبود رشد و عملکرد گیاهان تحت تاثیر کود گوگردی بوده است (Chotchutima et al., 2016). هم اعلام کردند که کاربرد کود گوگردی باعث ارتفاع گیاه، قطر ساقه و بیومس گیاه سوبابل (*Leucaena leucocephala*) گردید ولی تأثیر معنی داری روی برگدهی گیاه نداشت. با این حال، هیچیک از این مطالعات به بررسی تأثیر ای نوع کود بر روی جنس افوربیا نپرداخته اند. همچنین، علی رغم مطالعات گسترده در سطح جهان بر روی گونه افوربیا تیروکالی و تأکید بر خواص مختلف ترکیبات زیست فعال حاصل از بخش‌های مختلف این گیاه، در ایران مطالعات چندانی بر روی این گیاه زینتی-دارویی انجام نشده است. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی

تأثیر افزودن غلظت‌های مختلف کود گوگردی بر پارامترهای رشد و عناصر مختلف گیاه اوفوربیا تیروکالی (*Euphorbia tirucalli*) در شرایط کشت گلخانه ای و تولید اطلاعات پایه در این زمینه می باشد تا بتواند در پژوهش‌های تکمیلی به ویژه کاربرد کود برای بهبود احتمالی رشد از جنبه‌های تجاری و یا محتوای مواد زیست فعال دارای ارزش دارویی در این گیاه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

قلمه گیری و ریشه‌زایی: در یکم مرداد ۹۷، قلمه‌هایی با طول تقریبی ده سانتی‌متر از سرشاخه‌های پایه‌های مادری افوربیا تیروکالی، تهیه شده از شهرک گلخانه ای فرهیختگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان با طول و مشخصات نسبتاً مشابه جدا و برای ۱۰ روز داخل کاغذ روزنامه در جایی تاریک قرار داده شدند. بعد از بسته شدن انتهای قلمه‌ها (عدم خروج شیرابه از آنها)، قلمه‌ها در یکی از گلخانه‌های شهرک به داخل خاک گلدان نمره ۱۰ (قطر دهانه ده سانتیمتر و سطح حدود ۸۰ سانتیمتر مربع) منتقل شدند. به مدت ۷ ماه هر ۱۵ روز یکبار به مقدار ٤٠ میلی لیتر آبیاری جهت تکمیل ریشه‌زایی انجام شد. برای ریشه زایی از هورمون‌های مربوط استفاده نشد. شرایط دمایی گلخانه به‌طور خودکار در ماههای سرد در حدود ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتیگراد تنظیم شده بود و در ماههای گرم بدون کنترل دمایی تابع دمای محیط و تا حدود چهل درجه سانتیگراد در گرمترین روزها بوده است. خاک مورد استفاده مخلوط کوکوپیت و پیت ماس و پرلیت با نسبتهای مساوی بود.

به کارگیری تیمارها: تیماردهی در تاریخ ۳۰ بهمن ماه سال ۹۷ همراه با آبیاری به‌صورت هفتگی انجام گردید. شاهد و تیمارهای آزمایش و نحوه معرفی اختصاری آنها در این مقاله در جدول۱ ارائه شده است. همچنین قابل توجه است که خاک مورد استفاده برای شاهد و تیمارها با عنایت به مشخصات مندرج در بسته بندیهای مورد استفاده فاقد عناصر آزاد گوگرد و فسفر است. منشاء کوکوپیت و پیت ماس الیاف گیاهان نارگیل و خزه است که به طور عمده همراه پرلیت به‌عنوان بستر آلی و جاذب آب برای مرطوب نگهداشتن و کمک به ریشه زایی به کار میروند. پرلیت نیز حدود ۷۵ درصد سیلیس و مابقی مخلوطی از اکسیدهای فلزی است که قابلیت تبادل یونی ناچیزی دارند.

جدول ۱: معرفی شاهد و تیمارهای مورد استفاده برای کشت گیاه در گلدان‌های نمره ۱۰ با سطح ۸۰ سانتی‌مترمربع.

نوع تیمار	گوگرد گرانوله	گوگرد بنتونیت دار	کود زیستی (دارای تیوباسیلوس)	سولفات آمونیوم	NPK (20 20 20) 3g/l
شاهد (Control)	-	-	-	-	-
N.P.K (20.20.20)	-	-	-	-	+
$(NH_4)_2 SO_4$ + 20	-	-	-	+	+
SG-T-20	+	-	+	-	+
SB-T-20	-	+	+	-	+
SG-20	+	-	-	-	+
SB-20	-	+	-	-	+

به جز شاهد و تیمار N.P.K(20.20.20)، بقیه موارد در دوغلظت تهیه شدند. در مجموع یک شاهد و یازده تیمار استفاده شد. کود NPK سه بیست به صورت ۳ گرم در لیتر و به مقدار ٤٠ میلی لیتر برای کلیه تیمارها (به جز شاهد) و به‌مدت ٤ ماه استفاده شد. تیمارهای حاوی گوگرد گرانوله و یا بنتونیت دار در دو غلظت C1 و C2 به‌ترتیب ۰/٤ و ۰/۸ گرم در هر $80cm^2$ سطح خاک گلدان استفاده شدند. کود سولفات آمونیوم در دو غلظت C1 و C2 به‌ترتیب، ۲ گرم و ٤ گرم در لیتر و کود زیستی با مارک تجاری تیوباسیلوس بیولوژیک مایع تولید شرکت داروکشت خاور میانه حاوی باکتری Thiobacillus در دو غلظت، C2 و C4 به‌ترتیب حاوی ۱۲۵ و ۲۵۰ میلی‌لیتر کود زیستی در یک لیتر محلول NPK اضافه و تنها به‌مدت ۲ ماه استفاده شد و سپس تا پایان ٤ ماه مانند دیگر تیمارها فقط با کود NPK آبیاری انجام شد.

برداشت گیاه و سنجش pH خاک و پارامترهای رشد: بعد از ٤ ماه کوددهی، گیاه برداشت شد و سپس pH خاک از هر تیمار جهت مقایسه با pH اولیه خاک خالص سنجش شد. جهت سنجش، پس از آبیاری خاک بدون گیاه و سانتریفوژ مقادیر یکسانی از گل اشباع، در چهار هزار دور در دقیقه و به مدت ده دقیقه، از pH متر مدل PHS-550 جهت سنجش pH محلول رویی استفاده شد. پارامترهای رشد شامل وزن تر و خشک کل گیاه، ریشه و اندام هوایی و نسبت وزن تر یا خشک ریشه به بخش هوایی اندازه گیری شدند. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌های گیاهی به‌مدت بیست و چهار ساعت در نود و پنج درجه سانتیگراد در آون قرار داده شدند.

سنجش محتوای پروتئین: برای سنجش مقدار کلی پروتئینهای اندام هوایی از روش Lowry و همکاران (۱۹۵۱) استفاده شد و مقدار پروتئین به صورت میلی گرم معادل آلبومین گاوی به‌عنوان استاندارد محاسبه گردید.

سنجش محتوای کلروفیلی: میزان کلروفیل اندام هوایی پس از استخراج کامل کلروفیل‌ها در عصاره استنی حاصل از هموژناسیون در استن ۸۰ درصد و خواندن جذب نوری در ٦٦٣ و ٦٤٦ نانومتر تعیین گردید (Porra et al., 1989).

$$[Chla] = 12.25\times A663 - 2.55\times A646$$
$$[Chlb] = 20.31\times A646 - 4.91\times A663$$
$$[Chla+b] = 17.76\times A646 + 7.34\times A663$$

ابتدا با جایگزینی جذب نوری در طول موج‌های یادشده (A)، غلظت کلروفیل بر حسب میکروگرم بر میلی لیتر به دست آمد و سپس با لحاظ حجم عصاره استنی و وزن تر نمونه مقدار کلروفیل محاسبه و به صورت میلی‌گرم بر گرم وزن تر گزارش گردید.

سنجش محتوای فسفر، و پتاسیم: جهت اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم، ابتدا مقدار ۰/۲ گرم از نمونه خشک شده در محلول ۹ به ۱ اسید نیتریک و اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به مدت ۲٤ ساعت در دمای اتاق به طور کامل هضم و مواد آلی آن حذف شد. عصاره اسیدی حاصل جهت تعیین غلظت عناصر مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین غلظت فسفر نمونه‌ها، از روش رنگ سنجی استفاده شد. پس از برداشتن پنج میلی لیتر از عصاره تهیه شده، اندازه گیری فسفر با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر مدل BRITE انجام شد (Page و همکاران، ۱۹۸۷) که در آن از آمونیوم هپتامولیبدات و آمونیوم وانادات و اسید نیتریک ٦٥ درصد جهت تهیه محلول رنگی فسفر، استفاده شد. برای سنجش میزان پتاسیم، دستگاه فلیم فتومتر مدل JENWAY PFP7 بر اساس روش Emami (۱۹۹٦) مورد استفاده قرار گرفت. از محلول‌های KH2PO4 و KCl به‌ترتیب برای تهیه معادلات استاندارد در سنجش فسفر و پتاسیم استفاده شد.

سنجش محتوای گوگرد: سنجش گوگرد با استفاده از روش Novozamsky و Van Eck (۱۹۷۷) و به صورت کدورت سنجی یا turbidometery انجام شد. یک گرم از نمونه خشک ریشه یا بخش هوایی جهت هضم بدون کاهش و تلفات مقدار گوگرد و تهیه خاکستر مرطوب با مخلوط HClO4-H2O2 مورد استفاده قرار گرفت. جهت کدورت سنجی از کلرور باریم و دستگاه توربیدومتر مدل TL2350 و از سولفات سدیم جهت تهیه محلولها و معادله استاندارد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری: کلیه سنجش‌ها با لحاظ چهار تکرار انجام گرفتند. اثرات کلی تیماری با استفاده از آنالیزواریانس یک طرفه (one-way ANOVA) انجام گرفت. همچنین مقایسه بین گروه‌های تیماری براساس آزمون توکی (Tukey) در سطح $p\leq$۰/۰۵ و سنجش همبستگی‌ها هم با در نظرگیری ضریب همبستگی پیرسون (Pearson correlation coefficient) از طریق برنامه آماری SPSS (ویرایش ۲۳) صورت گرفت و رسم نمودارها نیز با کمک نرم‌افزار Excel (Microsoft Office, 2016) انجام شد.

نتایج

اثرات کلی تیماری: جدول ۲، نتایج آزمون آنالیز واریانس مربوط به هر سنجش به‌منظور تحلیل اثرات کلی تیمار را نشان می دهد. همانطور که می‌توان در این جدول مشاهده نمود، اثرات کلی تیماری بر مقادیر کلروفیل‌های a و b، گوگرد و فسفر اندام هوایی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبوده و اثرات کلی بقیه تیمارها در این سطح معنی‌دار بودند.

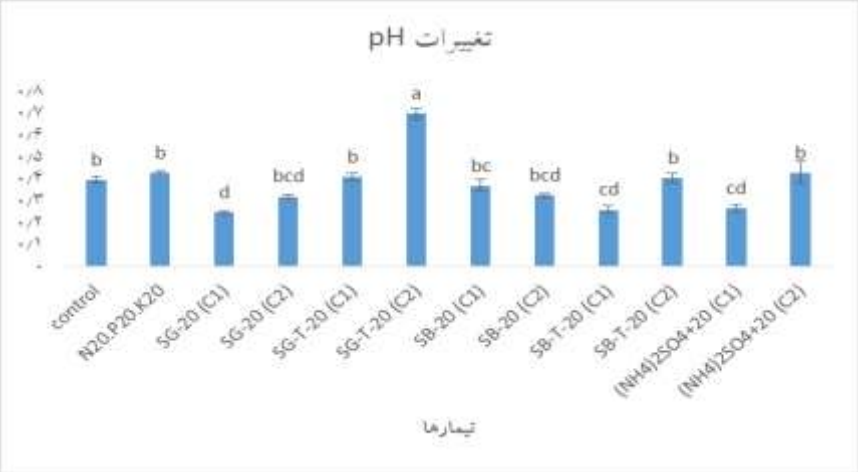
جدول ۲: نتایج آنالیز واریانس مربوط به هر سنجش برای تحلیل اثرات کلی تیمار

		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی داری
پروتئین اندام هوایی	بین گروه‌ها	۳٤٦٤/۸٥٤	۱۱	۳۱٤/۹۸۷	۳/۸٥۰	۰/۰۰۱
	درون گروه‌ها	۲۹٤٥/٦۷۹	۳٦	۸۱/۸۲٤		
	مجموع	٦٤۱۰/٥۳٤	٤۷			
وزن تر گیاه	بین گروه‌ها	٤٤۰٦/۷٤٥	۱۱	٤۰۰/٦۱۳	٥/٤۸۰	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۲٦۳۱/٥۳۸	۳٦	۷۳/۰۹۸		
	مجموع	۷۰۳۸/۲۸٤	٤۷			
وزن خشک گیاه	بین گروه‌ها	۱۱۱/۱۰۷	۱۱	۱۰/۱۰۱	۲/۸۷۳	۰/۰۰۸
	درون گروه‌ها	۱۲٦/٥٤٥	۳٦	۳/٥۱٥		
	مجموع	۲۳۷/٦٥۲	٤۷			
وزن تر ریشه	بین گروه‌ها	٦٥/۲۸۲	۱۱	٥/۹۳٥	٦/۱۱۸	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۳٤/۹۲٤	۳٦	۰/۹۷۰		
	مجموع	۱۰۰/۲۰٦	٤۷			
وزن خشک ریشه	بین گروه‌ها	٦/۷۲٥	۱۱	۰/٦۱۱	٥/۱۸۸	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	٤/۲٤۳	۳٦	۰/۱۱۸		
	مجموع	۱۰/۹٦۸	٤۷			
وزن تر اندام هوایی	بین گروه‌ها	۳٤۹۷/۸۹۳	۱۱	۳۱۷/۹۹۰	٤/۹۸۸	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۲۲۹٥/۲۱٥	۳٦	٦۳/۷٥٦		
	مجموع	٥۷۹۳/۱۰۸	٤۷			
وزن خشک اندام	بین گروه‌ها	٦۸/۹۲۱	۱۱	٦/۲٦٦	۲/۳۳٦	۰/۰۲۷

		مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	معنی داری
هوایی	درون گروه‌ها	۹۶/۵۷۷	۳۶	۲/۶۸۳		
	مجموع	۱۶۵/۴۹۸	۴۷			
نسبت وزن تر ریشه به وزن تر گیاه	بین گروه‌ها	۰/۰۳۷	۱۱	۰/۰۰۳	۲/۲۴۹	۰/۰۳۳
	درون گروه‌ها	۰/۰۵۴	۳۶	۰/۰۰۲		
	مجموع	۰/۰۹۲	۴۷			
نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک گیاه	بین گروه‌ها	۰/۰۸۲	۱۱	۰/۰۰۷	۲.۵۵۷	۰/۰۱۷
	درون گروه‌ها	۰/۱۰۴	۳۶	۰/۰۰۳		
	مجموع	۰/۱۸۶	۴۷			
پتاسیم ریشه	بین گروه‌ها	۳۳۴۱/۶۵۴	۱۱	۳۰۳/۷۸۷	۸۱/۲۸۶	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۸۹/۶۹۴	۲۴	۳/۷۳۷		
	مجموع	۳۴۳۱/۳۴۷	۳۵			
پتاسیم اندام هوایی	بین گروه‌ها	۲۸۴۴/۶۷۶	۱۱	۲۵۸/۶۰۷	۶/۱۳۹	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۱۰۱۱/۰۲۳	۲۴	۴۲/۱۲۶		
	مجموع	۳۸۵۵/۶۹۸	۳۵			
فسفر ریشه	بین گروه‌ها	۰/۴۶۳	۱۱	۰/۰۴۲	۲/۳۹۷	۰/۰۳۶
	درون گروه‌ها	۰/۴۲۲	۲۴	۰/۰۱۸		
	مجموع	۰/۸۸۵	۳۵			
فسفر اندام هوایی	بین گروه‌ها	۰/۰۷۵	۱۱	۰/۰۰۷	۱/۱۸۰	۰/۳۵۱
	درون گروه‌ها	۰/۱۳۸	۲۴	۰/۰۰۶		
	مجموع	۰/۲۱۳	۳۵			
گوگرد ریشه	بین گروه‌ها	۰/۷۶۸	۱۱	۰/۰۷۰	۳/۵۳۹	۰/۰۰۵
	درون گروه‌ها	۰/۴۷۳	۲۴	۰/۰۲۰		
	مجموع	۱/۲۴۱	۳۵			
گوگرد اندام هوایی	بین گروه‌ها	۰/۷۷۸	۱۱	۰/۰۷۱	۰/۹۲۴	۰/۵۳۴
	درون گروه‌ها	۱/۸۳۸	۲۴	۰/۰۷۷		
	مجموع	۲/۶۱۶	۳۵			
تغییرات pH	بین گروه‌ها	۰/۴۸۳	۱۱	۰/۰۴۴	۳۰/۱۳۹	۰/۰۰۰
	درون گروه‌ها	۰/۰۳۵	۲۴	۰/۰۰۱		
	مجموع	۰/۵۱۷	۳۵			
کلروفیل a	بین گروه‌ها	۱/۱۰۱	۱۱	۰/۱۰۰	۱/۰۲۲	۰/۴۴۸
	درون گروه‌ها	۳/۵۲۷	۳۶	۰/۰۹۸		
	مجموع	۴/۶۲۹	۴۷			
کلروفیل b	بین گروه‌ها	۵/۰۱۹	۱۱	۰/۴۵۶	۱/۵۷۳	۰/۱۴۹
	درون گروه‌ها	۱۰/۴۴۰	۳۶	۰/۲۹۰		
	مجموع	۱۵/۴۵۹	۴۷			

تغییرات pH خاک: میزان pH اولیه خاک مورد استفاده برای آزمایش حاضر ۶/۵۴ اندازه گیری شد، ولی این میزان در پایان دوره آزمایش کاهش پیدا کرد که میزان این کاهش در تیمارهای مختلف، تفاوت داشت (شکل ۱). بالاترین تغییرات pH در تیمار SG-T-20 (C2) مشاهده شد که اختلاف معنی داری با سایر تیمارها داشت ($p<0/05$). به نظر می‌رسد که افزودن غلظت بالای کود حاوی گوگرد گرانوله به همراه مایه تلقیح باکتری جنس تیوباسیلوس باعث افت شدید pH در خاک پس از دوره آزمایش شده

است. همچنین کمترین تغییرات pH در تیمار SG-20 (C1) مشاهده شد که اختلاف معنی داری با تیمار شاهد و تیمار NPK داشت ($p<۰/۰۵$).



شکل ۱: تغییرات pH در خاک مورد استفاده برای کاشت افوربیا تیروکالی تحت تأثیر کودهای مختلف در غلظت‌های متفاوت. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده تغییرات معنی دار بین نمونه‌ها می باشد ($p<۰/۰۵$).

سنجش پارامترهای رشد: وزن تر گیاه در نمونه شاهد نسبت به دیگر تیمارها بالاتر بود که اختلاف معنی داری با همه تیمارها به جز تیمارهای NPK، SG-T-20 (C1) و SB-T-20 (C2) داشت. همچنین کمترین وزن تر گیاه در تیمار $(NH_4)_2SO_4$+20 (C2) مشاهده شد که فقط با تیمارهای شاهد و SG-T-20 (C2) اختلاف معنی داری داشت. بالاترین وزن خشک گیاه نیز در نمونه شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی داری با SG-20 (C1)، SB-T-20 (C1) و $(NH_4)_2SO_4$+20 (C2) داشت. وزن تر ریشه نیز در نمونه شاهد به طور معنی داری از همه تیمارهای دیگر، به جز تیمار SB-T-20 (C1)، بالاتر بود. هرچند اختلاف معنی داری از لحاظ وزن تر ریشه بین دیگر تیمارهای آزمایش مشاهده نشد. در مورد وزن خشک ریشه، روند مشابهی با وزن تر ریشه مشاهده شد فقط با این تفاوت که وزن خشک ریشه در نمونه شاهد علاوه بر تیمار SB-T-20 (C1)، اختلاف معنی داری با تیمار SB-T-20 (C1) هم نداشت . نتایج متغیری در مورد وزن تر اندام هوایی در بین تیمارهای مختلف حاصل شد، اما در نگاه کلی، بیشترین و کمترین وزن تر اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای شاهد و $(NH_4)_2SO_4$+20 (C2) مشاهده شد که اختلاف معنی داری با یکدیگر داشتند. دقیقا همین روند در مورد وزن خشک اندام هوایی نیز مشاهده شد به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و تیمار $(NH_4)_2SO_4$+20 (C2) مشاهده شد اما بین تیمارهای دیگر اختلاف معنی داری از نظر این ویژگی وجود نداشت. همچنین نتایج نشان داد که هیچ اختلاف معنی داری از لحاظ نسبت وزن تر ریشه به وزن تر گیاه و نسبت وزن خشک ریشه به وزن خشک گیاه در بین تیمارهای آزمایش وجود نداشت.

نتایج بررسی میزان کلروفیل a، b و کل نشان داد که افزودن هیچ یک از کودهای مورد استفاده در این مطالعه در هیچ یک از غلظت‌های مورد نظر تغییر قابل توجهی را در محتوای کلروفیل گیاه افوربیا تیروکالی ایجاد نکرد. (شکل ۳).

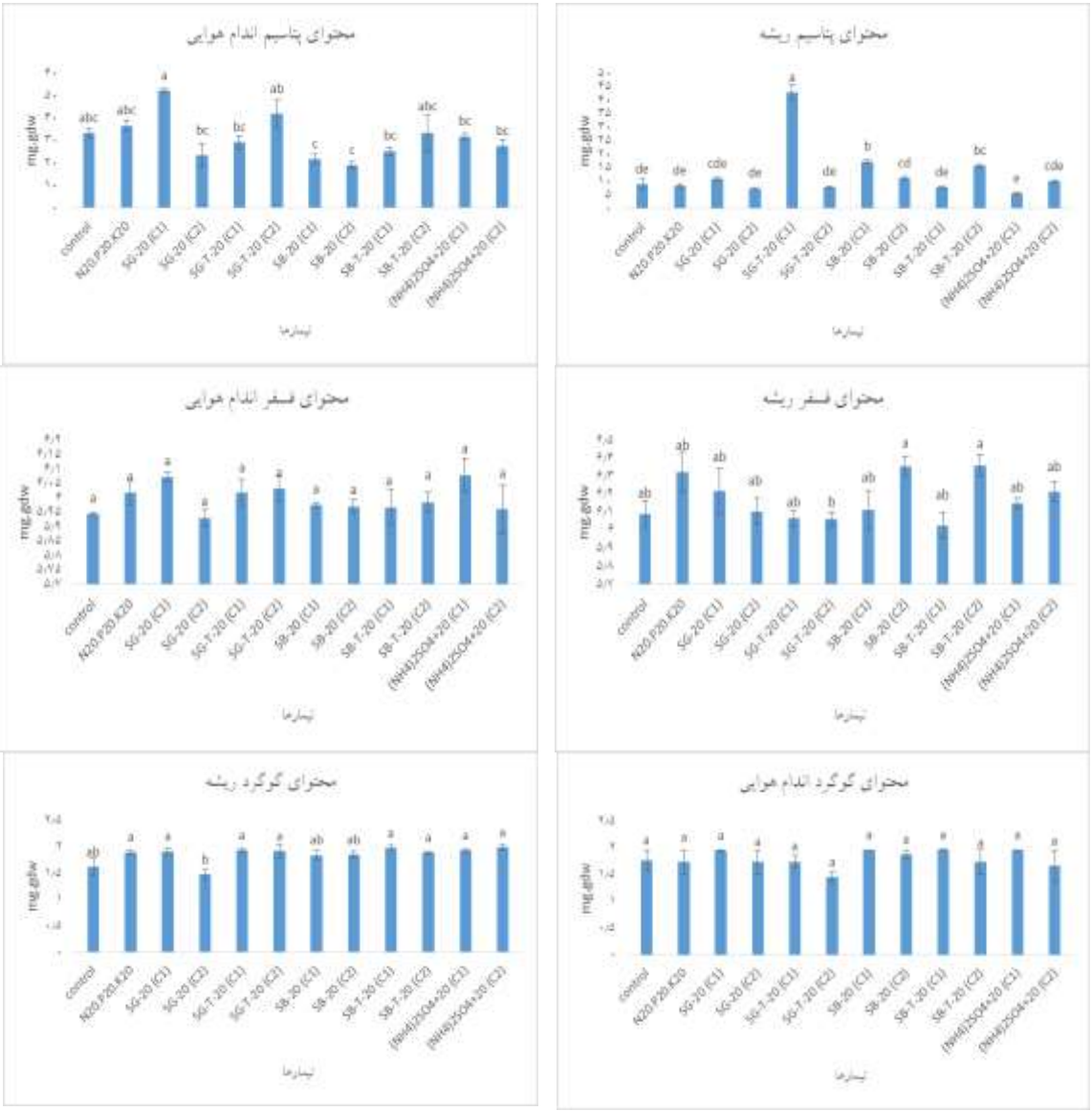
شکل ۲: پارامترهای رشد در افوربیا تیروکالی تحت تأثیر کودهای مختلف در غلظت‌های متفاوت. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده تغییرات معنی دار بین نمونه‌ها می باشد ($p<۰/۰۵$).

محتوای کلروفیل‌ها و پروتئین اندام هوایی: بالاترین میزان پروتئین در اوفوربیا تیروکالی رشد یافته در خاک حاوی SG-20 (C2) مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های شاهد و NPK بود. اختلاف معنی داری بین پروتئین این گیاه در غلظت‌های پایین تر SG-20 مشاهده نشد (شکل ۳).

شکل ۳: محتوای کلروفیل و پروتئین اندام هوایی در افوربیا تیروکالی تحت تأثیر کودهای مختلف در غلظت‌های متفاوت. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده تغییرات معنی دار بین نمونه‌ها می باشد ($p<۰/۰۵$).

محتوای پتاسیم، فسفر و گوگرد: شکل ٤ میزان عناصر مختلف (پتاسیم، فسفر و گوگرد) را در ریشه و اندام هوایی گیاه افوربیا تیروکالی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف انواع کودهای گوگردی نشان می دهد. همانطور که می‌توان در این شکل مشاهده نمود، بالاترین میزان پتاسیم ریشه در خاک حاوی SG-T-20 (C1) بود که اختلاف معنی‌داری با همه تیمارهای دیگر داشت. بعد از این تیمار، بالاترین میزان پتاسیم ریشه در تیمار SB-20 (C1) مشاهده شد که به جز با تیمار SB-T-20 (C2)، اختلاف معنی‌داری با تیمارهای باقیمانده داشت. اما میزان پتاسیم در اندام هوایی روند متفاوتی با میزان آن در ریشه را نشان داد به طوری که بالاترین میزان پتاسیم در اندام هوایی در تیمار SG-20 (C1) مشاهده شد که البته اختلاف معنی داری با نمونه‌های شاهد و NPK و همچنین تیمارهای SG-T-20 (C2) و SB-T-20 (C2) نداشت. همچنین پایین ترین میزان پتاسیم اندام هوایی در تیمار SB-20 (C2) مشاهده شد که به جز با SG-20 (C1) و SG-T-20 (C2)، با دیگر تیمارها اختلاف معنی داری نداشت. آنالیز میزان فسفر در اندام هوایی اوفوربیا تیروکالی نشان داد که هیچ اختلاف معنی داری از لحاظ این شاخص بین تیمارها وجود ندارد. همچنین شاهد، تیمار SG-T-20 در هردو غلظت و SG-B-20 در غلظت کمتر، پایینترین مقادیر فسفر ریشه را نشان

میدهند و بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهـای SB-20 و SB-T-20 در غلظت‌های بـالاتر اسـت. پـایین‌تـرین میزان گوگرد ریشه در تیمار SG-20 (C2) مشاهده شد اختلاف معنی داری با تیمارهـای شـاهد و SB-20 در هر دو غلظت مـورد اسـتفاده نداشـت، ولـی بـا سـایر تیمارها اختلاف معنـی داری را نشـان داد. امـا میـزان گـوگرد در انـدام هـوایی اوفوربیـا تیروکـالی الگـوی متفاوتی را با این میزان در ریشه نشـان داد بـه طـوری که هیچ اختلاف معنی داری بین هیچ یک از تیمارهای مورد بررسی از نظـر میـزان گـوگرد در انـدام هـوایی مشاهده نشد. به عبارت دیگـر، افـزودن هـیچ یـک از کودهای گوگردی در غلظت‌های مورد بررسـی باعـث ایجاد تغییر قابـل تـوجهی در میـزان گـوگرد در انـدام هوایی این گیاه نشد.



شکل ٤: محتوای عناصر مختلف در ریشه و اندام هوایی افوربیا تیروکالی تحت تأثیر کودهای مختلف در غلظـت‌هـای متفـاوت. حروف لاتین متفاوت نشان دهنده تغییرات معنی دار بین نمونه‌ها می باشد (p<۰/۰۵).

همبستگی‌هـا: نتـایج مربـوط بـه ضـریب همبسـتگی پیرسون بین فاکتورهای مورد بررسی در مطالعه حاضر در دو سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج و مطابق انتظـار، همبسـتگی

مثبتی بین پارامترهای مختلف رشد افوربیا تیروکالی جود دارد که در بیشتر موارد این همبستگی‌ها در سطح ۰/۰۱ هستند. با این وجود همبستگی معنی داری بین پارامترهای رشد با دیگر شاخص‌های مورد بررسی مشاهده نشد. همچنین بین فسفر اندام هوایی با کلروفیلها از یک سو و با گوگرد ریشه از سوی دیگر همبستگی مثبت وجود دارد. تغییر محتوای کلروفیل کل و کلروفیل b همچنین با شدت کاهش pH خاک همبستگی مثبت دارد و بین این کاهش و گوگرد اندام هوایی همبستگی منفی دیده می شود.

جدول ۳: نتایج بررسی ضریب همبستگی پیرسون بین فاکتورهای مختلف مورد بررسی در افوربیا تیروکالی

	پروتئین اندام هوایی	کلروفیل a	کلروفیل b	وزن تر گیاه	وزن خشک گیاه	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه به گیاه	وزن خشک ریشه به گیاه	پتاسیم ریشه	پتاسیم اندام هوایی	فسفر ریشه	فسفر اندام هوایی	گوگرد ریشه	گوگرد اندام هوایی	کلروفیل کل	تغییرات pH
پروتئین اندام هوایی	*											+۵							
کلروفیل a	*	*	-۱												+۵			-۱	
کلروفیل b	*	*	*												+۵			+۱	+۵
وزن تر گیاه	*	*	*	*	+۱	+۱	+۱	+۱	+۱										
وزن خشک گیاه	*	*	*	*	*	+۱	+۱	+۱	+۱										
وزن تر ریشه	*	*	*	*	*	*	+۱	+۱	+۱	+۱	+۱								
وزن خشک ریشه	*	*	*	*	*	*	*	+۱	+۱	+۱	+۱								
وزن تر اندام هوایی	*	*	*	*	*	*	*	*	+۱										
وزن خشک اندام هوایی	*	*	*	*	*	*	*	*	*										
وزن تر ریشه به گیاه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	+۱								
وزن خشک ریشه به گیاه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								
پتاسیم ریشه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
پتاسیم اندام هوایی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
فسفر ریشه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					
فسفر اندام هوایی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	+۵			
گوگرد ریشه	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
گوگرد اندام هوایی	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		-۱
کلروفیل کل	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	+۵
تغییرات pH	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

بحث

بر اساس نتایج پژوهش حاضر، تیمار NPK اثر مثبت بر رشد گیاه افوربیا تیروکالی نداشت و حتی باعث کاهش رشد آن و به ویژه کاهش رشد ریشه شد. از سوی دیگر و علی رغم انتظار، موجب افزایش جذب فسفر و پتاسیم نیز نگردید. از این نظر نتایج کار حاضر با نتایج دیگر پژوهش‌ها که تأمین مواد مغذی از طریق کودها برای گیاه می تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی شود (Nguyen et al. 2019, Hassan, 2012) همخوانی ندارد.

به نظر می‌رسد که دلیل اصلی عدم افزایش جذب فسفر و پتاسیم تحت تیمار NPK، قبل از هر چیز، کاهش شدید سیستم ریشه ای و در نتیجه کاهش سطح جذب ریشه به واسطه اثرات این کود باشد. همچنین به نظر می‌رسد که کاهش رشد ریشه در تیمار NPK، نتیجه فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ (پیام رسانی) خاصی در ریشه است که مستقل از افزایش محتوای فسفر و پتاسیم ریشه هستند.

از سوی دیگر در بین ۱۰ تیمار گوگردی به کار رفته در این تحقیق، تنها تیمار SB-T-20-C2 توانست

اثرات منفی کود NPK را در حداقل ممکن جبران نماید و البته این تیمار نیز موجب افزایش پارامترهای رشد در مقایسه با شاهد نشد. با این حال به نظر میرسد که حضور تیوباسیلوس محرک رشد ریشه و حتی بخش هوایی بوده و بر مسیرهای سیگنالینگ مربوط تاثیر داشته است. از این نظر سایر تیمارهای گوگرد نه تنها اثر جبرانی در افزایش رشد ریشه نداشتند بلکه به جز تیمار SG-T-20-C2، موجب کاهش شدید رشد اندام هوایی در مقایسه با شاهد شدند. حتی افزایش نسبی نسبت ریشه به گیاه در مقایسه با تیمار NPK در برخی از این تیمارها، به طور مشخص ناشی از کاهش رشد اندام هوایی بوده و بنابراین گوگرد در اکثر تیمارها، اثرات منفی کود NPK را تشدید کرده است.

در مطالعه حاضر، افزودن کود گوگرد باعث افزایش و یا بهبود جذب گوگرد و فسفر نشد. این یافته، به همراه تضعیف رشد اندام هوایی در حضور گوگرد، احتمال فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ خاص در جهت کاهش رشد اندام هوایی را که مستقل از افزایش محتوای فسفر و گوگرد گیاه هستند به طور مجدد تقویت می‌نماید.

از سوی دیگر در مقایسه SG-T-20-C2 و SB-T-20-C2، ملاحظه میشود که هر دو تیمار که حاوی تیوباسیلوس در غلظت بالاتر هستند اثر محرک بر رشد اندام هوایی را دارند ولی اثر محرک بر رشد ریشه در تیمار گوگرد گرانوله دیده نمیشود و از این نظر نوع بنتونیت دار گوگرد مناسبتر بوده است.

کاهش پارامترهای رشد تحت تاثیر کود گوگردی در مطالعه حاضر با نتایج مطالعه (Momen et al., 2011) همخوانی ندارد. این محققین بیان کردند که افزودن گوگرد به محیط کشت گندم باعث افزایش پارامترهای رشد از قبیل طول گیاه می شود. همچنین عنوان کردند اکسیداسیون گوگرد موجب تولید اسید سولفوریک می شود که باعث افزایش جذب فسفات از طریق تولید دی مونوفسفات و تری مونوفسفات می گردد. افزایش در جذب برخی عناصر، باعث جذب بیشتر عناصر دیگر نیز می شود و در نتیجه شاخص‌های رشد در گیاه بهبود پیدا می کند که مغایر با نتایج پژوهش حاضر است.

همبستگی‌ها (جدول ۳) نیز نشان می دهند که اسیدی تر شدن خاک و روند کاهش pH آن با روند تغییرات محتوای گوگرد اندام هوایی همبستگی منفی ولی با روند تغییرات میزان کلروفیل کل و کلروفیل b همبستگی مثبت دارد. به بیان دیگر، اسیدی تر شدن خاک، هر چند همراه با کاهش انتقال گوگرد به اندام هوایی است ولی همراه با افزایش مقدار کلروفیل کل و به طور مشخص کلروفیل b و کاهش کلروفیل a می باشد (به دلیل همبستگی منفی بین تغییرات محتوای کلروفیل a و کلروفیل b). از سوی دیگر آهنگ تغییرات کلروفیل کل و کلروفیل b، همسو با آهنگ تغییرات محتوای فسفر اندام هوایی است که آن هم با روند تغییرات محتوای گوگرد ریشه هم جهت است.

با این وجود و علی رغم روابط فوق، قابل توجه است که چون تغییرات جذب گوگرد و محتوای آن در ریشه و اندام هوایی و نیز تغییرات محتوای فسفر اندام هوایی در پژوهش حاضر، از نظر آماری معنی دار نبوده است، تغییر معنی دار در ترکیب آنتن فتوسنتزی از نظر محتوای کلروفیل‌ها نیز تحت تاثیر کود گوگردی صورت نگرفته است.

کاهش میزان محتوای کلروفیلی در اثر افزودن کود گوگردی در برخی پژوهشها مشاهده شده است. برای مثال، (Singh et al., 2018) بیان کردند که افزودن کود گوگردی باعث کاهش محتوای کلروفیل در نمونه‌های مورد آزمایش شده است. تخریب و کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر افزودن کود گوگردی

ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی ایجاد شود. برای مثال، ممکن است گوگرد افزوده شده به محیط کشت گیاه، جایگزین فسفات غیرآلی (فسفات آزاد) که برای بیوسنتز کلروفیل ضروری است، شده باشد (Mishra et al., 2016). دلیل دیگر می تواند سرکوب فعالیت‌های آنزیم‌های مورد نیاز برای بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی توسط گوگرد افزوده شده به محیط کشت گیاه باشد که باعث کاهش میزان کلروفیل گردد (Singh et al., 2018). همچنین افزودن کود گوگردی به محیط کشت گیاه ممکن است باعث تخریب پیش ماده‌های لازم برای بیوسنتز کلروفیل شده باشد (Mishra et al., 2016). در نهایت، دلیل دیگر این امر می‌تواند اکسیداسیون دستگاه فتوشیمیایی در اثر افزودن کود گوگردی باشد که منجر به آسیب رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Stoeva et al., 2005). با این وجود نتایج این قبیل پژوهش‌ها با نتایج پژوهش حاضر همخوانی ندارند زیرا اصولاً و همان طور که اشاره شد در عمل، محتوای گوگرد جذب شده و انتقال یافته به اندام هوایی در حدی که بتواند تاثیر معنیداری بر کاهش محتوای کلروفیلی بگذارد نبوده است.

Hrivna et al. (2015) چنین اظهارکردند که افزودن کود گوگردی می تواند منجر به افزایش اندک در میزان پروتئین نمونه‌ها شود هرچند این محققین عنوان کردند که این افزایش، معنی‌دار نبوده است. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، بیان کردند که افزودن کود گوگردی به میزان اندکی باعث افزایش میزان پروتئین می شود که این افزایش نیز معنی دار نبوده است (Klikocka et al., 2016).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که افزودن برخی از انواع کود گوگردی می تواند میزان پروتئین را به میزان قابل ملاحظه ای افزایش دهد. قابل ذکر است که در مطالعاتی دیگر، Randall و Wrigly (۱۹۸٦)، Zhao و همکاران (۱۹۹۹) و Hoel (۲۰۱۱) اذعان نمودند که افزودن کود گوگردی می تواند باعث افزایش معنی دار در میزان پروتئین نمونه‌ها شود که با نتایج کار حاضر مطابقت دارد.

افزایش میزان جذب پتاسیم با افزایش دسترسی به گوگرد در مطالعه Saha و همکاران (۲۰۱۳) مشاهده شد. این محققین بیان کردند که رابطه متقابل گوگرد و پتاسیم اهمیت بسزایی برای رشد و نمو گیاهان دارد چرا که گوگرد از طریق افزایش میزان جذب پتاسیم توسط ریشه موجب افزایش سنتز پروتئین در گیاه می‌شود. از طرف دیگر، گوگرد از جمله اجزاء تشکیل دهنده آمینواسیدهای سیستین، سیستئین و متیونین می‌باشد که سیستین برای تولید پروتئین‌های گیاهی حائز اهمیت فراوانی می‌باشد.

بررسی همبستگی در مطالعه حاضر (جدول ۳)، نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان پروتئین اندام هوایی و پتاسیم ریشه وجود دارد. با این حال نمی‌توان نتیجه‌گیری‌های پژوهش‌های فوق را تنها به واسطه مشاهده همبستگی بین پتاسیم ریشه و پروتئین اندامهای هوایی در کار حاضر قابل تعمیم دانست زیرا این همبستگی بین گوگرد و پتاسیم ریشه و یا بین گوگرد یا پتاسیم اندام‌های هوایی و پروتئین این اندام‌ها مشاهده نشده است و همچنین بین شاخص‌های رشد و محتوای پروتئین اندام هوایی نیز همبستگی دیده نمی شود. با این حال افزایش پروتئین اندام هوایی در برخی تیمارها و هم زمان با افزایش محتوای پتاسیم ریشه می‌تواند نشانگر پاسخ‌های چند جانبه گیاه برای مقابله با تنش به واسطه سنتز احتمالی پروتئین‌های خاص در اندام هوایی باشد. همچنین احتمال وجود یک سیستم سیگنالینگ مرتبط با پتاسیم ریشه از ریشه به اندام هوایی برای تقویت سنتز پروتئین را نباید از نظر دور داشت.

نتیجه‌گیری نهایی

در یک نگاه کلی، بررسی تاثیرات کود NPK بر گیاه افوربیا تیروکالی نشانگر افزایش معنی دار در پارامترهای رشد نبوده و حتی موجب کاهش رشد سیستم ریشه ای و سطح جذب گیاه شده و نتوانسته است میزان جذب فسفر و پتاسیم را افزایش دهد. نکته قابل توجه آنکه به نظر میرسد که کاهش رشد ریشه در تیمار NPK، نتیجه فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ (پیام رسانی) خاصی در ریشه است که مستقل از افزایش محتوای فسفر و پتاسیم ریشه هستند. به کارگیری کودهای گوگردی بدون تیوباسیلوس، همراه با کود NPK اثرات نامطلوب این کود بر روی رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای را جبران نکرده و حتی باعث تشدید تنش و کاهش رشد اندام هوایی شده است. از نظر تکاملی و با لحاظ سازگاریهای اکوفیزیولوژیکی این گیاه با خاک‌های فقیر از نظر مواد معدنی در مناطق بیابانی، به نظر میرسد که به کارگیری کود نه تنها سیستمهای جذب و اسیمیلاسیون فسفر و گوگرد و در اغلب موارد، پتاسیم را تحریک و تقویت نکرده، بلکه حتی با تضعیف رشد در بیشتر موارد، عملاً گیاه را در شرایط تنش قرار داده است. به کارگیری کودهای گوگردی واجد تیوباسیلوس، همراه با کود NPK نیز اثرات نامطلوب این کود بر روی رشد و توسعه سیستم ریشه ای را تنها در غلظت‌های بالاتر و آنهم فقط در تیمار گوگرد بنتونیت دار و در حد اقل ممکن تعدیل کرده است. ممکن است حضور این باکتری نوعی محرک رشد ریشه و اندام هوایی تلقی شود. با این وجود، حضور باکتری مزبور در غلظت‌های پایین تر و نیز در مورد گوگرد گرانوله در تعدیل اثرات منفی کود NPK بی‌تاثیر بوده است. افزودن کود گوگرد باعث افزایش و یا بهبود جذب گوگرد و فسفر نشد که این یافته، به همراه تضعیف رشد اندام هوایی در حضور گوگرد، احتمال فعال شدن مسیرهای سیگنالینگ خاص در جهت کاهش رشد اندام هوایی را که مستقل از افزایش محتوای فسفر و گوگرد گیاه هستند به طور مجدد تقویت می‌نماید. افزایش محتوای پتاسیم و پروتئین‌ها نیز که در برخی تیمارهای گوگرد مشاهده میشود با افزایش رشد همراه نبوده است و این پدیده نیز گواهی بر افزایش هزینه انرژتیک این گیاه برای کاربردی، این پژوهش می‌تواند در تجدید نظر در صرف هزینه مربوط به کود NPK و کودهای گوگردی برای پرورش گیاه زینتی–دارویی افوربیا تیروکالی در گلخانه‌ها ارزشمند باشد.

References

Abdallah, M., Dubousset, L., Meuriot, F., Etienne, P., Avice, J.C. and Ourry, A. (2010). Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. Journal of Experimental Botany. 61(10): 2635-2646.

Ahmad, A., Khan, I., Anjum, N.A. Diva, I., Abdin, M.Z. and Iqbal, M. (2005). Effect of timing of sulfur fertilizer application on growth and yield of rapeseed. Journal of Plant Nutrition. 28: 1049-1059.

Brasileiro, B.G., Pizziolo, V.R., Raslan, D.S., Jamal, C.M. and Silveira, D. (2006). Antimicrobial and cytotoxic activities screening of some Brazilian medicinal plants used in Governador Valadares district. Revista Brasileira de Cieˆncias Farmaceˆuticas. 42: 195-202.

Chaghazardi, H.R., Mohammadi, G.R. and Beheshti Ale-Agha, A. (2013). Effects of different amounts of sulfur and manure on soil acidity and plant traits of corn hybrid KSC 704. Iranian Journal of Field Crops Research. 11(1): 162-170.

Chotchutima, S., Tudsri, S., Kangvansaichol, K. and Sripichitt, P. (2016). Effects of sulfur and phosphorus application on the growth, biomass yield and fuel properties of

leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) as bioenergy crop on sandy infertile soil. Agriculture and Natural Resources. 50(1): 54-59.

Emami, A. (1996). Methods of plant analysis. Iranian Journal of Soil & Water Research Institute. 982: 128-128.

Ghaderi, J., Malakouti, M.J., Khavazi, K., and Davoudi, M.H. (2017). Determination of the element Sulphur on the performance and some quality characteristics of common wheat (*Triticum astivum* L.). Crop Physiology Journal. 33: 69-84.

Hassan, A. (2012). Effects of mineral nutrients on physiological and biological processes related to secondary metabolites production in medicinal herbs. Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology. 6: 105-110.

Hoel, B.O. (2011). Effects of sulphur application on grain yield and quality, and assessment of sulphur status in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Acta Agri. Scand. B-S P 61: 499-507.

Hrivna, L., Kotkova, B. and Buresova, I. (2015). Effect of Sulphur Fertilization on Yield and Quality of Wheat Grain. Cereal Research Communications. 43(2): 344-352.

Klikocka, H., Cybulska, M., Barczak, B., Narolski, B., Szostak, B., Nowak, A. and Wojik, E. (2016). The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat. Plant Soil Environ. (62)5: 230-236.

Klikocka, H. and Marksm M. (2018). Sulphur and Nitrogen Fertilization as a Potential Means of Agronomic Biofortification to Improve the Content and Uptake of Microelements in Spring Wheat Grain DM. Journal of Chemistry, 2018: 9326820.

Lowry, O.H., Rosenbrough, N.J. Farr, A.L. and Randall, R.J. (1951). Protein measurement with the folin fenol reagent. Journal of Biological Chemistry. 193: 265–275.

Mishra, S., Alfeld, M., Sobotka, R., Andresen, E., Falkenberg, G., and Küpper, H. (2016). Analysis of sublethal arsenic toxicity *to Ceratophyllum demersum*: subcellular distribution of arsenic and inhibition of chlorophyll biosynthesis. J. Exp. Bot. 67, 4639-4646.

Mohammadi, K., Pasari, B., Rokhzadi, A., Gholavand, A., Aghalikhani, M. and Eskandari, M. (2011). Response of grain yield and canola quality to different resources of farmyard manure, compost and biofertilizers in Kurdistan region. Journal of Crop Production. 4(2): 82-101.

Momen, A., Pazoki, A. and Momayezi, M.R. (2011). Effects of granular sulfur (bentonitic) and compost on quantitative and qualitative characteristics of bam wheat in Semnan Region. Crop Physiology Journal. 3(9): 31-46.

Mousavi Nik, M. (2012). Effect of drought stress and sulphur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago ovata* L.) in Baluchestan. Journal of Agroecology. 4(2): 170-182.

Nasreen, S., and Imamul Huq, S.M. (2002). Effect of sulphur fertilizer on yield and nutrient uptake of sunflower crop in an albaquept soil. Pakistan Journal of Biological Sciences. 5: 533-536.

Nguyen, T.D., Cavagnaro, T.R. and Watts-William, S.J. (2019). The effects of soil phosphorus and zinc availability on plant responses to mycorrhizal fungi: a physiological and molecular assessment. Scientific Reports, 9:14880.

Novozamsky, I., and van Eck, R. (1977). Total sulphur determination in plant material. Analytical and Bioanalytical Chemistry. 286: 367-368.

Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. (1987). Methods of soil analysis, part 2 chemical and microbiological properties. SSSA, ASA, Madison, Wisconsin, USA.

Porra R.J., Thompson W.A. and Kriedemann P.E. (1989). Determinationof accurate extinction coefficients and simultaneous equationsfor assaying chlorophyllsaandbextracted with four differentsolvents: verification of the concentration of chlorophyll stand-ards by atomic absorption spectrometry. Biochim Biophys Acta975: 384–394

Rahuman, A., Gopalakrishnan, G., Venkatesan, P. and Geetha, K. (2008). Larvicidal activity of some Euphorbiaceae plant extracts against Aedes aegypti and Culex quinquefasciatus (Diptera: Culicidae). Parasitology Research. 102: 867–873.

Randall, P.J. and Wrigley, C.W. (1986). Effects of the sulphur supply on the yield, composition and quality of grain from cereals, oilseed and legumes. In: Pomeranz, Y. (ed.), Advances in Cereal Science and Technology. Vol. VIII. AACC, St. Paul, MN, USA, 171-187.

Saha, S., Saha, M., Saha, A.R., Mitra, S., Kumar Sarkar, S., Kumar Ghorai, A. and Kumar Tripathi, M. (2013). Interaction effect of potassium and sulfur fertilization on productivity and mineral nutrition of sunnhemp. Journal of Plant Nutrition. 36: 1191–1200.

Silva Santana, S., Gennari-Cardoso, M.L., Carvalho, F.C., Roque-Barreira, M.C. da Silva Santiago, A., Cerqueira Alvim, F. and Pirovani, C.P. (2014). Eutirucallin, a RIP-2 Type Lectin from the Latex of Euphorbia tirucalli L. Presents Proinflammatory Properties. PLOS ONE. 9(2): e88422.

Singh, V.P., Srivastava, P.K. and Prasad, S.M. (2013). Nitric oxide alleviates arsenic–induced toxic eff ects in ridged Luff a seedlings. Plant Physiol. Biochem. 71, 155-163.

Singh, R., Parihar, P. and Prasad, Sh.M. (2018). Sulfur and Calcium Simultaneously Regulate Photosynthetic Performance and Nitrogen Metabolism Status in As-Challenged Brassica juncea L. Seedlings. Frontiers in Plant Science. 9: 772.

Souza, M.A., Amancio-Pereira, F., Cardoso, C.R.B., Silva, A.G.d., Silva, E.G., Andrade, L.R., Pena, J.D.O., Lanza, H. and Afonso-Cardoso, S.R. (2005). Isolation and partial characterization of a D-galactose-binding lectin from the latex of *Synadenium carinatum*. Brazilian Archives of Biology and Technology. 48: 705-716.

Stoeva, N., Berova, M., Vassilev, A. and Zlatev, Z. (2005). Eff ect of arsenic on some physiological parameters in bean plants. Biol. Planta. 49: 293-296.

Zhao F.J., Salmon S.E., Withers P.J.A., Evans E.J., Monaghan J.M., Shewry P.R. and McGrath S.P. (1999). Responses of breadmaking quality to sulphur in three wheat varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 79: 1865-1874.