نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۴ شماره ۲ / تابستان ۱۴۰۳/ صفحات ۲۲۶-۲۱۳

Effect of Phosphate and Humic Fertilizers on Quantitative, Qualitative Indicators and Leaf Nutrients Concentrations in safflower

Mehsa Abedi[1], Jalil Shafagh Kolvanqh[*2], Saeid Zehtab Salmasi[3], Arash Hemati[4]

1-MSc Student in Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
2-Assoc. Prof., Dept. of Plant Ecophysiology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.
3- Center for Sustainable Agriculture Studies, School of Plant and Environmental Sciences, University of New Mexico, USA.
4-CEO of Qizil Topraq Sahand Company, Maragheh, Iran.
*Corresponding Author Email: shafagh.jalil@gmail.com

Abstract

Background and Objective: This research was conducted in order to reduce or replace phosphate fertilizer with humic acid and investigate growth characteristics, grain yield and absorption of macro and micronutrients in safflower plants For this purpose, triple superphosphate fertilizer and humic acid (Leonardite) were used in combined and separate treatments in safflower cultivation.

Materials and methods: Cultivation of safflower of Goldasht variety with 9 treatments: control, 100 kg phosphate (P100), 50 kg phosphate (P50), 200 kg Leonardite (H200), 100 kg Leonardite (H100), phosphate Received: 26 February 2023 Accepted: 27 July 202350 and Leonardite 100 kg (P50H100), phosphate 25 and Leonardite 150 kg (P25H150), phosphate 75 and leonardite 50 kg (P75H50), phosphate 25 and leonardite 50 kg (P25H50), were carried out a randomized complete block design. Morphological, vegetative growth and Yield traits and nutrients were measured in safflower leaves.

Results: The P50H100 treatment had the highest values in plant height, stem diameter, number of main branches, photosynthesis, chlorophyll index, stomatal conductance, capitol number, 100-grain weight, seed yield, biological yield, harvest index, oil percentage and oil yield. After P50H100 treatment, H200 and P25H150 treatments had better results in these indicators. P50H100 treatment has the highest significant percentage of leaf nitrogen, P50H100 and P50 treatment has the highest significant percentage of leaf phosphorus, H200, P25H150 and P50H100 treatments have the highest significant amount of leaf potassium, H200 treatment has the highest significant amount of leaf calcium, P25H150 treatment has the highest significant amount of leaf magnesium, H200 treatment has the highest significant amount of iron and zinc in leaves, The H200 and P25H150 treatments had the highest significant amount of leaf manganese and the P25H150 treatment had the highest significant amount of leaf copper.

Conclusion: This research showed that the most significant performance can be achieved with P50H100 treatment. After this treatment, H200 and P25H150 treatments had significant results and were appropriate. P100 and P50 treatments as well as H100 and P25H50 treatments did not have significant results compared to the superior treatments. The simultaneous use of Leonardite with phosphorus had more and significant results than the use of phosphorus alone.

Keywords: Humic Acid, Leaf Elements, Oil Percentage, Phosphorus, Safflower, Seed Yield

DOI: 10.22034/SAPS.2023.55579.3007

تاثیر کودهای فسفاته و هیومیکی بر شاخص‌های کمی، کیفی و غلظت عناصر غذایی برگ گلرنگ

مهسا عابدی[۱]، جلیل شفق کلوانق*[۲]، سعید زهتاب سلماسی[۳]، آرش همتی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۲- دانشیار گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
۳-
۴- مدیرعامل شرکت قیزیل توپراق سهند، مراغه، ایران
*مسئول مکاتبه Email: shafagh.jalil@gmail.com

چکیده

مقدمه و اهداف: این تحقیق به منظور امکان کاهش یا جایگزینی کود فسفات با اسیدهیومیک در جهت بررسی بر خصوصیات‌رشدی، عملکرد دانه و جذب عناصرغذایی پرمصرف و کم مصرف در گیاه گلرنگ در راستای کاهش هزینه‌ها و افزایش برداشت انجام گردید. برای این منظور از کود سوپرفسفات تریپل و اسید هیومیک (لئوناردیت) در تیمارهای ترکیبی و جداگانه در کشت گلرنگ استفاده شد.

مواد و روش ها: کشت گلرنگ رقم گلدشت با ۹ تیمار: شاهد، ۱۰۰ کیلوگرم فسفات (P100)، ۵۰ کیلوگرم فسفات (P50)، ۲۰۰ کیلوگرم لئوناردیت (H200)، ۱۰۰ کیلوگرم لئوناردیت (H100)، فسفات۵۰ و لئوناردیت ۱۰۰ کیلوگرم (P50H100)، فسفات۲۵ و لئوناردیت ۱۵۰ کیلوگرم (P25H150)، فسفات۷۵ و لئوناردیت ۵۰ کیلوگرم (P75H50) و فسفات۲۵ و لئوناردیت ۵۰ کیلوگرم (P25H50)، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. صفات ریخت‌شناسی، رویشی، عملکردی و عناصرغذایی در برگ گیاه گلرنگ اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: تیمار P50H100 در ارتفاع بوته، قطرساقه، تعدادشاخه اصلی، فتوسنتز، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، تعداد طبق، وزن صددانه، عملکرد دانه، وزن خشک اندام‌هوایی، شاخص‌برداشت، درصدروغن و محصول‌روغن بیشترین مقدار را داشت. بعد از تیمار P50H100 تیمار H200 و P25H150 نتایج بیشتر و معنی داری در این شاخص‌ها داشتند. تیمار P50H100 بیشترین درصد نیتروژن برگ، تیمار P50H100 و P50 بیشترین درصد فسفر برگ، تیمارهای H200، P25H150 و P50H100 بیشترین مقدار پتاسیم برگ، تیمار H200 بیشترین مقدار کلسیم برگ، تیمار P25H150 بیشترین مقدار منیزیم برگ، تیمار H200 بیشترین مقدار آهن و روی برگ، تیمارهای H200 و P25H150 بیشترین مقدار منگنز برگ و تیمار P25H150 بیشترین مقدار مس برگ را داشت.

نتیجه گیری: این تحقیق نشان داد با تیمار P50H100 می‌توان به بیشترین عملکرد معنی‌دار دست یافت. بعد از این تیمار، تیمارهای H200 و P25H150 نتایج معنی‌داری داشت و مناسب بود. تیمارهای P100 و P50 و همچنین تیمار H100 و P25H50 نتایج معنی‌داری نسبت به تیمارهای برتر نداشتند. استفاده همزمان لئوناردیت با فسفر نتایج بیشتر و معنی‌داری نسبت به کاربرد فسفر به صورت تنهایی داشت.

واژه های کلیدی: اسید هیومیک، فسفر، گلرنگ، عناصر برگ، درصد روغن، عملکرد دانه

مقدمه

گلرنگ گیاهی علفی و یک ساله با نام علمی *Carthamus tinctorius* از تیره آستراسه (Asteraceae) است (زو و همکاران ۲۰۲۳). منشأ آن جنوب آسیا بوده و از زمان های گذشته در چین، هند، ایران و مصر کشت گردیده و بعدها به آمریکا، مکزیک، ونزوئلا و کلمبیا برده شده است. گلرنگ تقریبا در ۶۰ کشور جهان کشت می شود (امانگو و امانجور ۲۰۲۳). در ایران کشت گلرنگ به عنوان یک دانه روغنی از سال ۱۳۳۶ آغاز شده است (زینالی ۱۹۹۹). اندام‌های گلرنگ خواص دارویی داشته و دانه آن به عنوان مسهل به کار می رود. گل های گلرنگ به عنوان ماده‌ای خلط آور و در رنگ کردن مواد غذایی، داروها و نوشیدنی ها مورد استفاده قرار می گیرد. روغن اشباع نشده دانه ی این گیاه نیز در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی مصرف می‌شود (زو و همکاران ۲۰۲۳).

به دلیل آهکی بودن بیشتر خاک‌های کشور و pH بالای این خاک‌ها، اغلب کمبود فسفر در خاک‌های کشاورزی ایران دیده می‌شود و این عنصر در هر دوره کشت به دلیل غیرقابل جذب شدن، مجددا استفاده می-شود. فسفر از عناصر ضروری و پرمصرف برای رشد و نمو، ذخیره و انتقال انرژی در گیاهان به شمار می رود. ناکافی بودن جذب فسفر توسط ریشه، محدودیت مهمی در رشد گیاهان به شمار می‌رود (تکاهشی و همکاران ۲۰۲۲). این عنصر جزء ترکیبات ساختمانی سلول ها و بسیاری از ترکیبات شیمیایی است و بعد از نیتروژن، دومین عنصر غذایی است که کمبودش محدود کنندهٔ رشد گیاهان است (هاپکینس و السوارس ۲۰۰۳). یکی از مؤثرترین عوامل در حلالیت، فراهمی و میزان جذب فسفر توسط گیاهان زراعی، اسیدیته خاک است (سانتو و همکاران ۲۰۲۲). به طوریکه در خاک های آهکی، فسفر محلول در خاک ممکن است تحت واکنش با ترکیبات کربناتی به شکل غیر قابل جذب تبدیل شود (مارساک و همکاران ۲۰۲۱). به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک، تقریباً ۱۵ تا ۳۰ درصد فسفر مصرف شده مورد استفاده گیاه قرار می گیرد و بقیه آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می یابد (لیو و همکاران ۲۰۲۲).

اثر مثبت کود فسفر بر گلرنگ که بر اجزای عملکرد (تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه)، و در نتیجه بر افزایش عملکرد دانه منعکس می‌شود، به دلیل نقش مستقیم این عنصر در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه از جمله، در تقسیم و رشد سلول، انتقال انرژی، ساخت مواد آلی، تنفس و فتوسنتز است (احمدپور ابنوی و همکاران ۲۰۱۹).

اسید هیومیک جزو مواد آلی پایدار و هیومیکی می-باشد که در اسید غیرمحلول و در قلیا محلول می‌باشد. اسید هیومیک می‌تواند مستقیماً عناصر مختلف را از مواد معدنی آزاد کرده، به خود جذب نموده و در زمان مناسب در اختیار ریشه قرار دهد. اسید هیومیک خوراک و محرک رشد ریزجانداران مفید خاک است که با روشهای گوناگون به آزادسازی عناصر در خاک کمک می کنند (لیو و همکاران ۲۰۲۲). اسید هیومیک می تواند پیوندهای Al-P یا Fe-P را در خاک‌های اسیدی و Ca-P را در خاک های قلیایی بشکند و فسفر را داخل محلول خاک آزاد سازد (مارساک و همکاران ۲۰۲۱). به دلیل جذب رقابتی که بین اسیدهای آلی و فسفات وجود دارد جذب فسفر روی سطوح فعال کمتر می شود که دلیلی برای افزایش بازده کود فسفر در خاک‌های اصلاح شده با مواد آلی است (لیو و همکاران ۲۰۲۲).

به‌نظر می‌رسد افزایش فتوسنتز و متابولیسم گیاهی در اثر مصرف اسید هیومیک، موجب افزایش مواد ذخیره شده و کاهش محدودیت منبع شده که موجب سرازیر شدن مواد پرورده به سمت دانه و افزایش وزن هزار دانه در گیاه گلرنگ می‌گردد (خرم قهفرخی ۲۰۱۸).

اسید هیومیک از طریق اثرات هورمونی و با تأثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و با قدرت کلات‌کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی، سبب افزایش رشد گیاه می-شود (ناردی و همکاران ۲۰۰۲). اسیدهیومیک حاوی بسیاری از عناصر غذایی نیز می‌باشد که حاصلخیزی خاک و محتوایی مواد آلی خاک را افزایش و در نتیجه رشد و عملکرد گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد

(مارساک و همکاران ۲۰۲۱). معمولاً استفاده ازکودهای ارگانیک، جذب فسفر، بیشینه ظرفیت بافری و انرژی پیوندی را کاهش و غلظت فسفر را در محلول خاک افزایش می‌دهد. مواد آلی می‌تواند به‌صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود یا به عنوان پیوند دهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفر آلی عمل نماید. در تمامی موارد، قابلیت استفاده فسفر برای گیاه افزایش می‌یابد و به تدریج فسفر در محلول خاک آزاد می‌شود (مارساک و همکاران ۲۰۲۱). مواد هیومیکی و کودهای فسفاته از طریق رقابت بر سر مکان های جذب و درنتیجه کاهش تثبیت فسفر در خاک، می تواند گامی مهم در کاهش مصرف کودهای فسفر در نتیجه کاهش اثرات زیست محیطی باشد (لیو و همکاران ۲۰۲۲). تخریب تدریجی کیفیت خاک، کاهش ارزش کیفی، برهم زدن تعادل اکوسیستم و گسترش آلودگی محصول، با مصرف غیراصولی و بلندمدت کودهای شیمیایی و لزوم سلامت محصولات تولید شده در نظام‌های مختلف کشاورزی و تأثیر آنها بر سلامت انسان و محیط زیست، سبب شده است تا روش‌های تولید و نهاده‌های بکار رفته مورد توجه خاص قرارگیرند. از مهم‌ترین مسائل مؤثر بر سلامت محیط زیست و پایداری تولید غذا، کاربرد کودهای ارگانیک به جای کودهای شیمیایی می باشد (یی و همکاران ۲۰۲۱).

برای این منظور این تحقیق به منظور امکان کاهش یا جایگزینی کودهای فسفاته با مواد هیومیک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در کشت گیاه گلرنگ انجام گردید. برای این منظور از کود سوپرفسفات تریپل و اسید هیومیک (لئوناردیت) در تیمارهای ترکیبی و جداگانه در کشت گلرنگ استفاده شد و شاخص‌های کیفی و کمی رشدی گلرنگ و عناصر تغذیه ای در برگ به عنوان شاخص های مهم اندازه‌گیری شد.

مواد و روش

محل اجرای این تحقیق در منطقه پرچین استان اردبیل در شهرستان گرمی با مختصات جغرافیایی ۳۹ درجه و ۰۸ دقیقه و ۴۷ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۳ دقیقه و ۶۰ ثانیه طول شرقی بود. این منطقه تقریبا از نقاط پربارش استان اردبیل بوده و متوسط بارندگی در این منطقه بالای ۵۰۰ میلی متر است. آب و هوای مدیترانه‌ای و گرم و نیمه‌خشک با تابستانی گرم و مرطوب و زمستان معتدل و ملایم می‌باشد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش با ۹ تیمار در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار در اواسط اسفند سال ۱۴۰۰ به مدت یک سال زراعی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل: ۱-شاهد بدون کود (شاهد)، ۲-سوپرفسفات تریپل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (P100)، ۳- سوپرفسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم در هکتار (P50)، ۴-لئوناردیت (منبع غنی از اسید هیومیک) ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (H200)، ۵- لئوناردیت (منبع غنی از اسید هیومیک) ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (H100)، ۶- سوپرفسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم و لئوناردیت ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار (P50H100)، ۷- سوپرفسفات تریپل ۲۵ کیلوگرم و لئوناردیت ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار (P25H150)، ۸- سوپرفسفات تریپل ۷۵ کیلوگرم و لئوناردیت ۵۰ کیلوگرم در هکتار (P75H50) و ۹- سوپرفسفات تریپل ۲۵ کیلوگرم و لئوناردیت ۵۰ کیلوگرم در هکتار (P25H50) بودند. آنالیز و مشخصات مواد استفاده شده در جدول ۲ آورده شد. هر واحد آزمایشی به ابعاد ۲×۲ متر در نظر گرفته شده و فاصله بین ردیف-ها، ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی-متر با تراکم ۴۰ بوته در متر مربع اجرا گردید. برای اجرای این تحقیق، بذرهای گلرنگ رقم گلدشت از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تهیه گردید. بذرهای گلرنگ در کاشت بهاره در اواسط اسفند ماه پس از ضدعفونی با بنومیل به نسبت دو در هزار، در شیارهایی به عمق ۴-۳ سانتی‌متر قرار گرفتند. آمادگی بستر کشت با گاوآهن قلمی و به صورت نیمه عمیق انجام شد و کلیه تیمارهای آزمایشی همراه با کاشت به خاک اضافه شدند. کلیه واحدهای آزمایشی به صورت دیم بود و آبیاری نشد.

جدول ۱- مشخصات خاک مورد مطالعه

OM (٪)	رطوبت اشباع (٪)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	MWDwet	MWDdry	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت
۲/۴۵	۳۵	۱/۴۵	۲/۵	۴/۵	۲۷	۲۸	۴۵	Clay Loam
pH	EC (dS/m)	N (٪)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)
۷/۱	۰/۴۵	۰/۱	۱۰/۱	۳۵۶	۴/۴	۰/۸	۰/۵	۵/۳

جدول ۲- خصوصیات کودهای مورد استفاده

	Ph	N (٪)	P (٪)	K (٪)	Fe (٪)	Zn (٪)	Mn (٪)	FA (٪)	HA (٪)	OM (٪)
لئوناردیت (اسید هیومیک)	۶/۵	۰/۷	۰/۳	۰/۷	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۱	۲۵	۴۹
سوپر فسفات تریپل	–	–	۴۶	–	–	–	–	–	–	–

صفات مورفولوژیکی و عملکرد:

در مرحله رسیدگی کامل پس از حذف حاشیه ها، ۱۰ بوته از هر کرت به طور تصادفی برداشت گردیده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در آزمایشگاه ارتفاع بوته ها توسط خط کش (سانتی متر) اندازه‌گیری شدند. قطر ساقه برحسب میلی متر توسط کولیس و از قسمت ساقه، زیر گره اول اندازه‌گیری گردید. تعداد شاخه های اصلی ثبت شدند. پس از شمارش تعداد کاپیتول‌های ۱۰ بوته و تعیین تعداد کاپیتول در بوته، ۱۰ کاپیتول به طور تصادفی انتخاب شده و در نهایت تعداد دانه در کاپیتول و وزن صد دانه تعیین شدند.

کلروفیل، فتوسنتز و هدایت روزنه ای:

به منظور تعیین میزان کلروفیل برگ، از دستگاه کلروفیل متر دستی SPAD-502 (مارک مینولتا ژاپن) بدون تخریب بافت های گیاهی و بدون عصاره گیری از برگ ها استفاده شد. بدین منظور در زمان گلدهی (اوایل گلدهی) بطور متوسط سه برگ انتخاب نموده و از نقطه میانی آن، پس از میانگین‌گیری میزان شاخص کلرفیل برگ ثبت گردید (قلیزاده و همکاران، ۲۰۰۹). میزان فتوسنتز به میکرومول CO_2 در متر مربع در ثانیه و هدایت روزنه ای (میکرومول بر متر مربع در ثانیه) با استفاده از دستگاه IRGA مدل LCA4-ADC (شرکت ADC، ساخت کشور انگلیس (U.K.)) انجام گردید.

محصول دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت:

از هر واحد آزمایشی پس از حذف حاشیه ها بوته‌های یک متر مربع انتخاب و کف بر شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. بذرهای جدا شده از بوته های مربوط به هر کرت آزمایشی به طور جداگانه توزین گردید و محصول دانه در واحد سطح تعیین گردید. پس از جدا کردن بذرها، اندام های هوایی ۵۰ بوته مربوط به هر واحد آزمایشی، به مدت ۴۸ ساعت در آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی گراد قرار داده شده و پس از خشک شدن توزین گردیدند و با افزودن وزن محصول دانه به آن در نهایت عملکرد بیولوژیکی تعیین شد. شاخص برداشت نیز بر اساس فرمول زیر محاسبه گردید (مغفرتی نایبی ۲۰۱۵):

$$\text{شاخص برداشت (٪)} = \frac{\text{عملکرد دانه (g) (عملکرد اقتصادی)}}{\text{عملکرد بیولوژیکی}(g)} \times ۱۰۰$$

اندازه‌گیری درصد و عملکرد روغن :

مقدار روغن دانه هر کرت، به روش سوکسله عمل اندازه‌گیری شد. بدین منظور ، مقدار دو گرم نمونه آسیاب و خشک شده مربوط به هر کرت، توسط دستگاه سوکسله (SOXTEC SYSTEM (HT 1043 (Extraction Unit) به مدت ۱۶ ساعت در مجاورت حلال پترولیوم اتر مورد استخراج روغن قرار گرفت و پس از توزین توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم، مقدار روغن نمونه هر کرت بر اساس ماده خشک، به صورت درصد در یک گرم نمونه، با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید (آکوستا و همکاران ۱۹۹۱).

$$\text{درصد} = \frac{\text{وزن بالن و روغن} - \text{وزن بالن خالی خشک}}{\text{وزن نمونه خشک}} \times ۱۰۰$$

روغن دانه بر اساس ماده خشک (٪)

عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در محصول دانه به دست آمد. برای استخراج روغن از دستگاه سوکسله و به روش (۱۹۹۳) AOCS استفاده شد.

اندازه‌گیری عناصر غذایی در برگ:

عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز به روش خشک و با روش های روتین آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند. برای این منظور نیتروژن کل با کلدال، فسفر با روش زرد، پتاسیم با فلیم فتومتر و بقیه عناصر با دستگاه جذب اتمی اتمی مدل **Shimadzu AA-670** اندازه‌گیری شد. برای تهیه عصاره گیاهی از روش خاکستر کردن خشک استفاده شد (رایان و همکاران، ۲۰۰۱).

نتایج به وسیله نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل آماری، پس از آزمون نرمال بودن داده ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطوح احتمال ۱٪ و ۵٪ انجام گردید. برای ترسیم نمودارها و شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث:

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تاثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع بوته و قطر ساقه در سطح احتمال ۱ درصد و در تعداد شاخه اصلی در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد بیشترین مقدار ارتفاع بوته با ۹۱ سانتی‌متر در تیمار P50H100 و کمترین آن با ۶۷، ۷۱، ۷۲ و ۷۴ در تیمارهای شاهد، H100، P25H50 و P50 مشاهده شد. با وجود عدم اختلاف معنی دار در بین تیمارهای شاهد، P50، H100 و P25H50، تیمار شاهد کمترین مقدار ارتفاع را داشت. تیمار P50H100، ۷۰ درصد، تیمار P25H150، ۳۵ درصد تیمار H200، P75H50 و P100، ۲۷ درصد افزایش ارتفاع نسبت به تیمار شاهد داشتند (جدول ۴). بیشترین قطر ساقه در تیمار P50H100 و کمترین قطر ساقه در تیمار شاهد مشاهده شد. بعد از تیمار P50H100 (۹۴ درصد افزایش)، تیمار P25H150 (۶۴ درصد افزایش) و تیمار H200 (۴۶ درصد افزایش) به ترتیب بیشترین قطر ساقه را داشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد تیمار P50H100 بیشترین و بقیه تیمارها دارای کمترین مقدار شاخه اصلی بود (جدول ۴). اسید هیومیک با تاثیر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و همچنین با قدرت کلات کنندگی و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش رشد و ارتفاع گیاه می‌شود (ناردی و همکاران ۲۰۰۲). احتمالا در تیمار P50H100 با استفاده همزمان اسید هیومیک و فسفر و افزایش قابلیت جذب فسفر توسط اسید هیومیک موجب افزایش صفات رویشی شده است. تشکیل کمپلکس بین اسید هیومیک و یون های معدنی، کاتالیز اسید هیومیک توسط آنزیم های گیاه، تاثیر اسید هیومیک بر تنفس و فتوسنتز، تحریک متابولیسم اسید نوکلئیک و فعالیت هورمونی اسید هیومیک از جمله مواردی است که برای توصیف اثر اسید هیومیک بر پارامترهای رشدی گیاهان بیان شده است (ال-ساید و همکاران ۲۰۱۴). نتایج سایر محققین نیز نشان می‌دهد که افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها در شرایط مصرف اسید هیومیک باعث افزایش معنی‌دار تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی نظیر اکسین، جیبرلین و سیتوکینین می‌شود. از طرفی افزایش سیتوکینین باعث افزایش سطح تقسیم سلولی و بزرگ

شدن سلولی و نهایتا باعث افزایش قطر ساقه گیاه می-گردد (سیلوا و همکاران ۲۰۲۱). اثر مثبت کود فسفر بر اجزای عملکرد به دلیل نقش مستقیم این عنصر در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه از جمله، در تقسیم و رشد سلول، انتقال انرژی، ساخت مواد آلی، تنفس و فتوسنتز است (احمد پور عبناوی و همکاران ۲۰۱۹).

نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان داد تاثیر تیمارهای مورد استفاده بر شاخص کلروفیل و هدایت روزنه ای در سطح احتمال ۱ درصد و بر شاخص فتوسنتز در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمار P50H100 بیشترین مقدار کلروفیل (با ۱۱ درصد افزایش)، هدایت روزنه ای (با ۲۸ درصد افزایش) و فتوسنتز (با ۵ درصد افزایش) را داشت. از لحاظ آماری تیمارهای شاهد، P50 و P25H50 با شاخص کلروفیل ۵۱، ۵۳ و ۵۵، کمترین مقدار شاخص کلروفیل برگ را داشت. تیمارهای شاهد، P50 و H100 کمترین مقدار هدایت روزنه ای و تیمار شاهد دارای کمترین مقدار فتوسنتز بود (جدول ۴). مصرف همزمان اسید هیومیک و فسفر بیشتر از مصرف جداگانه این کودها موثر بود. استفاده فسفر با اسید هیومیک باعث بهبود ذخیره سازی مواد فتوسنتزی (افزایش تخصیص کربن) در گیاهان شد. این انباشت مواد فتوسنتزی در گیاهان باعث افزایش فعالیت های آنزیمی، میکروبی و کاتالیزوری در گیاهان می شوند (ایژار شفی و همکاران ۲۰۲۰). اسید هیومیک، سبب افزایش تحرک و باز شدن روزنه‌ها شده و این موضوع می‌تواند سبب افزایش فعالیت فتوسنتزی شده و مواد فتوسنتزی بیشتری در اختیار گیاه قرار دهد (امینی فرد و همکاران ۲۰۱۲). همچنین اسید هیومیک تولید رنگیزه-های کلروفیلی را تحریک می‌کند و در نتیجه آن باعث افزایش فتوسنتز و رشد گیاه می‌شود (عصری و همکاران ۲۰۱۵). افزایش میزان کلروفیل در اثر کاربرد اسید هیومیک را می‌توان به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه نسبت داد که باعث افزایش سبزینگی گیاه می‌شود (عصری و همکاران ۲۰۲۱).

جدول تجزیه واریانس داده ها نشان داد تاثیر تیمارهای مختلف بر تعداد طبق و وزن صد دانه، عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد و شاخص برداشت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود ولی بر تعداد دانه در طبق تاثیر معنی داری نداشت (جدول ۵). بیشترین تعداد طبق، وزن صد دانه، عملکرد دانه، وزن خشک اندام هوایی و شاخص برداشت در تیمار P50H100 و کمترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد. بعد از تیمار P50H100، در طبق تیمار P25H150 بیشترین تعداد را داشت و در صد دانه تیمارهای H200 و P25H150 بیشترین وزن را داشت (جدول ۶). تیمار P50H100، ۸۵ درصد افزایش عملکرد دانه را داشت و تیمار H200 با ۵۳ درصد افزایش و تیمار P25H150 با ۴۵ درصد افزایش دارای مقدار بیشتری از عملکرد دانه بودند. در وزن خشک اندام هوایی بین تیمارهای شاهد، P50، H100 و P25H50 اختلاف معنی داری مشاهده نگردید (جدول ۶). اسید هیومیک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی (ناردی و همکاران ۲۰۰۲)و از طریق بهبود عناصر غذایی خاک به‌ویژه آهن و روی (یداللهی و همکاران ۲۰۱۵) باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می-شود. مصرف اسید هیومیک باعث افزایش دوام سطح برگ شده که این امر مواد فتوسنتزی بیشتری را جهت پر شدن دانه‌ها فراهم می‌کند که می‌تواند عملکرد را از طریق افزایش وزن هزار دانه افزایش دهد (خان و همکاران ۲۰۱۲). استفاده از کودهای فسفر به‌دلیل افزایش رشد ریشه و به تبع آن افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (جلیلیان و حیدر زاده ۲۰۱۵). در این تحقیق استفاده تنهایی فسفر نسبت به استفاده به همراه اسید هیومیک موثر نبود. به احتمال زیاد اسید هیومیک از طریق کمک به فرآیند ریشه‌زایی در گیاه باعث افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن و فسفر گردیده که با توجه به نقش مهم این دو عنصر در ساخت کلروفیل و پروتئین-های دخیل در فتوسنتز، افزایش جذب آنها منجر به افزایش فتوسنتز و به دنبال آن افزایش تولید ماده خشک

و وزن خشک اندام هوایی و عملکرد دانه و شاخص برداشت شده است (یوان و همکاران ۲۰۲۲).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف بر درصد روغن در سطح احتمال ۱ درصد و بر عملکرد روغن در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تیمار P50H100 بیشترین مقدار درصد روغن (با ۱۴ درصد افزایش) و محصول روغن (با ۳۷ درصد افزایش) و تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت. تیمارهای P50، H100، P75H50 و P25H50 از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با تیمار شاهد نداشتند و مقدار کمی از درصد روغن را داشتند (جدول ۶). عملکرد روغن با عملکرد دانه رابطه مثبت دارد و با افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن نیز افزایش می‌یابد (خاروارا و بیندرا ۱۹۹۲). جدا از عامل ژنتیک، مصرف بهینه فسفر به‌دلیل افزایش بیوسنتز اسیدهای چرب موجب افزایش عملکرد روغن در گلرنگ را فراهم می‌کند (ابراهیمیان و سلیمانی ۲۰۱۳). تامین بهینه فسفر در هنگام گلدهی باعث افزایش گرده‌افشانی در گیاه می‌شود، چرا که فسفر نقش مهمی در گرده-افشانی گیاهان دارد. از این رو به نظر می‌رسد، فسفر از راه افزایش اجزای عملکرد میتواند موجب بهبود عملکرد دانه و روغن گردد (جی دا سیلوا ۲۰۱۵). احتمالا مصرف اسید هیومیک با افزایش قابلیت جذب فسفر در تیمار P50H100 موجب افزایش این شاخص شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات رویشی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		قطر ساقه	ارتفاع بوته	تعداد شاخه اصلی	شاخص کلروفیل	هدایت روزنه ای	میزان فتوسنتز
بلوک	۲	۰/۹۲۰^{ns}	۴۲/۷۰۴^{ns}	۰/۴۴۴^{ns}	۱۸/۷۷۸^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}
تیمار	۸	۷/۹۶۱**	۶۱۶/۷۰۴**	۲/۲۵۰*	۱۶/۸۳۳*	۰/۰۰۳**	۰/۲۴۹*
خطا	۱۶	۰/۷۳۱	۳۵/۳۲۹	۰/۶۹۴	۶/۴۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۶۴
ضریب تغییرات (٪)		۱۱/۸۸۲	۷/۱۹۳	۳۵/۷۱۴	۴/۷۹۴	۷/۰۷۸	۱/۴۰۱

*و**به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج ویک درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دارمی‌باشد.

جدول ۴- میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات رویشی

تیمار	ارتفاع بوته (cm)	تعداد شاخه اصلی	قطر ساقه (mm)	شاخص کلروفیل سطح برگ	هدایت روزنه ای ($\mu molm^{-2}s^{-1}$)	میزان فتوسنتز ($\mu mol(CO_2)m^{-2}s^{-1}$)
شاهد	۶۷/۰^{c}	۱/۳^{b}	۵/۴^{e}	۵۰/۷^{cd}	۰/۳۳^{c}	۱۷/۶۳^{d}
P100	۸۴/۳^{b}	۲/۷^{b}	۷/۱^{cd}	۵۳/۰^{abcd}	۰/۳۶^{bc}	۱۸/۱۳^{abc}
P50	۷۳/۷^{c}	۲/۰^{b}	۵/۹^{de}	۵۰/۷^{cd}	۰/۳۳^{c}	۱۷/۸۳^{bcd}
H200	۸۵/۳^{b}	۲/۳^{b}	۷/۸^{bc}	۵۵/۷^{ab}	۰/۴^{ab}	۱۸/۳^{ab}
H100	۷۱/۰^{c}	۱/۷^{b}	۵/۸^{de}	۵۱/۳^{bcd}	۰/۳۳^{c}	۱۷/۹^{bcd}
P50H100	۱۱۴/۰^{a}	۴/۳^{a}	۱۰/۴^{a}	۵۶/۳^{a}	۰/۴۲^{a}	۱۸/۴۷^{a}
P25H150	۹۱/۰^{b}	۲/۷^{b}	۸/۸^{b}	۵۵/۰^{abc}	۰/۳۹^{ab}	۱۸/۲^{abc}
P75H50	۸۵/۳^{b}	۲/۰^{b}	۷/۲^{cd}	۵۲/۳^{Abcd}	۰/۳۶^{bc}	۱۷/۷۷^{cd}
P25H50	۷۲/۰^{c}	۲/۰^{b}	۶/۳^{cde}	۵۵/۰^{cd}	۰/۳۵^{bc}	۱۷/۷۳^{cd}

در هر ستون میانگین‌های دارای‌حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات رویشی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد روغن	وزن صد دانه	تعداد طبق	تعداد دانه در طبق
بلوک	۲	۴۲۱۱/۶۷۳^{ns}	۴۷/۵۸۳^{ns}	۲/۳۸۸^{ns}	۰/۴۸۱^{ns}	۰/۳۱۱^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۱^{ns}	۲/۴۸۱^{ns}
تیمار	۸	۵۸۱۳۳/۳۹۶**	۳۵۵۷/۰۴۲**	۲/۵۶۱*	۴/۷۸۷*	۴۳۳/۹۵۹**	۰/۲۳۴**	۱۳/۳۳۳**	۶/۹۵۴^{ns}
خطا	۱۶	۲۶۳۰/۶۰۳	۸۴/۰۱۰	۰/۶۹۰	۱/۴۴	۱۵/۵۴۶	۰/۰۱۹	۱/۵۸۳	۲/۸۱۵
ضریب تغییرات(٪)		۵/۶۵۱	۴/۶۸۶	۴/۶۸۶	۴/۳۸۴	۷/۳۱۴	۴/۷۴۱	۲۷/۱۶۷	۶/۱۴۶

*و**به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج ویک درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دارمی‌باشد.

جدول ۶- میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر خصوصیات رویشی

تیمار	عملکرد بیولوژیکی (g)	تعداد طبق	تعداد دانه در طبق	وزن صد دانه (g)	عملکرد دانه (g/m^2)	شاخص برداشت	درصد روغن (%)	محصول روغن (g/m^2)
شاهد	۷۴۱/۰^{d}	۲/۳^{e}	۲۴/۷^{c}	۲/۴^{d}	۱۴۴/۲^{f}	۱۶/۳^{d}	۲۶^{b}	۳۷/۵^{e}
P100	۹۵۸/۴^{bc}	۵/۳^{bcd}	۲۸/۳^{ab}	۳/۰^{b}	۱۹۷/۲^{cd}	۱۷/۱^{bcd}	۲۸/۳^{ab}	۵۵/۹^{bc}
P50	۷۹۸/۵^{d}	۳/۳^{de}	۲۷^{abc}	۲/۷^{c}	۱۸۰/۳^{de}	۱۸/۴^{abc}	۲۶/۳^{b}	۴۷/۵^{d}
H200	۱۰۲۳/۷^{b}	۶^{bc}	۲۸/۳^{ab}	۳/۱^{ab}	۲۲۱/۵^{b}	۱۷/۸^{abcd}	۲۸^{ab}	۶۲/۱^{b}
H100	۷۸۰/۰^{d}	۴/۳^{cde}	۲۶^{bc}	۲/۷^{c}	۱۷۷/۸^{e}	۱۸/۶^{ab}	۲۶/۳^{b}	۴۶/۸^{d}
P50H100	۱۱۴۷/۰^{a}	۹^{a}	۲۹/۳^{a}	۳/۳^{a}	۲۶۶/۷^{a}	۱۸/۹^{a}	۲۹/۷^{a}	۷۹/۱^{a}
P25H150	۱۰۲۱/۷^{b}	۷^{ab}	۲۸/۷^{ab}	۳/۱^{ab}	۲۰۹/۲^{bc}	۱۷/۱^{bcd}	۲۸/۳^{ab}	۵۹/۳^{b}
P75H50	۹۰۳/۱^{c}	۴/۷^{bcde}	۲۷/۳^{abc}	۲/۸^{c}	۱۸۳/۳^{de}	۱۶/۹^{cd}	۲۷^{b}	۴۹/۵^{cd}
P25H50	۷۹۵/۰^{d}	۳^{de}	۲۶^{bc}	۲/۷^{c}	۱۸۰/۳^{de}	۱۸/۵^{ab}	۲۶/۳^{b}	۴۷/۵^{d}

در هر ستون میانگین‌های دارای‌حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ گلرنگ

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		منگنز	مس	روی	آهن	منیزیم	کلسیم	پتاسیم	فسفر	نیتروژن
بلوک	۲	۰/۱۳۶^{ns}	۰/۰۲۵^{ns}	۰/۳۶۳^{ns}	۳۷/۸۳۵^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱۱^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۱۷^{ns}
تیمار	۸	۲/۶۴۳**	۰/۱۹۰**	۰/۶۷۰*	۱۱۰/۰۰۱**	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۸*	۰/۰۲۹**	۰/۰۰۲**	۰/۰۴۱**
خطا	۱۶	۰/۵۴۸	۰/۰۳۴	۰/۲۱۰	۲۷/۸۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات(٪)		۱/۹۴۵	۲/۴۲۲	۲/۵۵۵	۵/۴۶۴	۲/۹۰۴	۳/۰۲۵	۳/۵۵۳	۸/۴۴۸	۲/۲۳۸

*و**به‌ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج ویک درصد، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دارمی‌باشد.

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۷)، تاثیر تیمارهای مختلف بر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، مس و منگنز برگ در سطح احتمال ۱ درصد و بر کلسیم، منیزیم و روی برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۷). نتایج مقایسه میانگین داده های نیتروژن برگ نشان داد تیمار P50H100 با افزایش ۱۱ درصدی بیشترین و تیمارهای شاهد، P50 و P25H50 کمترین مقدار را داشتند. تیمارهای H200 و P25H150 از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با تیمار P50H100 نداشتند و به ترتیب موجب افزایش P75H50 و P25H150 درصدی نیتروژن برگ شدند (جدول ۸). بالابودن میزان نیتروژن را چنین می‌توان توجیه کرد که هیومیک اسید با تحریک جذب NO^{3-} توسط افزایش بیان پروتئین حامل نیتروژن در سطح غشای سلولی و همچنین تغییر در میزان

کاتیون‌ها جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد. همچنین می‌توان اثر هورمونی شبیه جیبرلین این ماده را در جذب نیتروژن دخیل دانست (خالد و فاوی ۲۰۱۱).

فسفر طبق نتایج مقایسه میانگین داده ها در تیمارهای P50H100 و P100 با افزایش ۳۸ درصدی بیشترین و در تیمار شاهد کمترین مقدار بود. همچنین از لحاظ آماری تیمارهای P75H50 (با افزایش ۳۱ درصدی)، تیمارهای P25H150 (با افزایش ۲۷ درصدی) و تیمارهای H200 (با افزایش ۲۵ درصدی) با تیمارهای برتر اختلاف معنی داری وجود نداشت و دارای بیشترین مقدار فسفر برگ بودند. بیشترین و تیمارهای شاهد، P50 و P25H50 کمترین مقدار را داشتند (جدول ۸). تیمارهایی که در آن کود فسفر استفاد شده بود مقدار فسفر بیشتری داشتند ولی در تیمارهای ترکیبی، اسید هیومیک موجب افزایش قابلیت جذب فسفر و مقدار فسفر برگ شد. تیمار اسید هیومیک به تنهایی نیز فسفر برگ بالایی داشت. اسید هیومیک از طریق ترکیب و ایجاد کمپلکس با آنزیم فسفاتاز باعث افزایش جذب فسفر در گیاه می‌شود (یوان و همکاران ۲۰۲۲). افزایش جذب فسفر را می‌توان به توسعه ریشه، ترشح اسیدهای آلی و یا ترشح یون پروتون داخل ریزوسفر، مرتبط دانست؛ علاوه بر این، می‌تواند به دلیل پاسخ به کود فسفر باشد (یوان و همکاران ۲۰۲۲). کاربرد اسید هیومیک در خاک اسیدی و قلیایی تشکیل کمپلکس فسفر را کاهش داده و باعث حل شدن فسفر نامحلول و غیر قابل دسترس می شود بنابراین فسفر قابل دسترس در خاک را برای گیاهان را افزایش می دهد (یوان و همکاران ۲۰۲۲). افزایش شکل فسفر قابل جذب برای گیاه (فسفر محلول در آب) با فسفر اضافه شده به خاک مرتبط است و همچنین با هیومیک که تثبیت فسفر را کاهش می دهد و فسفر محلول در آب بیشتری را برای گیاهان فراهم می کند (برایان و سومرس ۱۹۸۵).

پتاسیم برگ در تیمارهای H200، P25H150 و P50H100 به ترتیب با ۱۴ درصد، ۱۳ درصد و ۱۲ درصد افزایش بیشترین مقدار و در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت. بین تیمارهای P100، H100، P75H50 و P25H50 از لحاظ آماری با تیمارهای برتر اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۸). اسید هیومیک موجب افزایش قابلیت جذب پتاسیم برگ شد و در تیمارهای آزمایشی با افزایش مصرف هیومیک پتاسیم نیز افزایش یافت. همچنین در تیمارهای ترکیبی نیز اسید هیومیک کارایی فسفر را زیادتر و جذب پتاسیم را بیشتر کرد. اسید هیومیک با اسیدی‌کردن خاک سبب تسهیل در انحلال پتاسیم شده و میزان دسترسی به عناصر غذایی را افزایش می‌دهد (سانچز و همکاران ۲۰۰۲). همچنین فعالیت آنزیم ATP_{ase} پمپ پروتونی غشاء پلاسمایی در حضور مواد هومیک افزایش یافته و در نتیجه ورود مواد، مثل پتاسیم، به داخل سلول از طریق پروتئین‌های موجود در غشاء پلاسمایی افزایش می‌یابد (ناردی و همکاران ۲۰۰۲). در بسیاری از منابع درمورد اثرات مفید مواد هیومیکی بر رشد ریشه و ریشه های مویین اشاره شده است. افزایش سطح ریشه ها و ریزوسفر سبب جذب بهتر برخی عناصر نظیر پتاسیم یا فسفر می‌گردد (یانگ و همکاران ۲۰۲۱).

با توجه به جدول ۸ تیمار H200 بیشترین و تیمار شاهد کمترین مقدار کلسیم برگ را داشت. تیمار H200، ۱۱ درصد کلسیم برگ را افزایش داد ولی از لحاظ آماری با تیمارهای P50H100 و P25H150 اختلاف معنی داری نداشت (جدول ۸). عنصرکلسیم دارای تحرک کم در گیاه می‌باشد، مواد هومیک می‌توانند به عنوان کلاتورهای طبیعی کلسیم را در ساختمان خود به وسیله پیوند هیدروژنی به گروه‌های کربوکسیلیک، هیدروکسیلیک و فنولیک اتصال دهند و موجب انتقال این عنصر به سراسر گیاه شوند. این موضوع باعث می‌شود در نقاط دارای کمبود کلسیم این کمبود جبران شود (مرارد و همکاران، ۲۰۱۰).

منیزیم برگ در تیمار P25H150 با ۱۰ درصد افزایش بیشترین و تیمارهای شاهد، P100، P50، H100، P75H50 و P25H50 کمترین مقدار را داشتند. تیمارهای H200 و P50H100 نیز از لحاظ آماری با تیمار P25H150 اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۸). مواد هومیک می‌توانند از طریق فعال کردن ناقل‌های انتقال منیزیم در غشاء پلاسمایی باعث افزایش ظرفیت جذب منیزیم از طریق ریشه‌ها و انتقال به فضای درون سلولی شوند (پوزشی و همکاران ۲۰۱۱).

نتایج مقایسه میانگین داده های عناصر ریزمغذی نشان داد، تیمار H200 بیشترین مقدار آهن و روی برگ را داشت و تیمار شاهد کمترین مقدار این عناصر را داشت. آهن برگ در تیمار H200، ۲۵ درصد افزایش یافت و مقدار روی برگ در این تیمار P25H50 درصد افزایش داشت. مولکول‌های هیومیک اسید می‌توانند از غشاء سلول عبور و در آپوپلاست باعث احیای آهن شوند و در دسترس‌بودن آهن را افزایش دهند. اسید هیومیک با مکانیسم‌های متعددی به جذب بهتر ریزمغذی‌ها و بهبود کیفیت محصول کمک می‌کند. اثر افزایش جذب آهن توسط اسید هیومیک احتمالاً به خاصیت احیاکنندگی آن بر می‌گردد که در دسترس‌بودن و تجمع آهن را در بافت گیاهی افزایش می‌دهد (نیکولیک وهمکاران ۲۰۰۳). اسید هیومیک با دارا بودن میزان زیادی از گروه های اسید ضعیف در ساختمان مولکولی خود می توانند pH های قلیایی را اصلاح کند (کاراکورت وهمکاران ۲۰۰۹). با تعدیل pH توسط مواد هیومیک از رسوب آهن در خاک ها جلوگیری می شود (سانچز–سانچز و همکاران ۲۰۰۶). مکانیسم افزایش جذب روی توسط اسید هیومیک به خاصیت کلات کنندگی آن بر می‌گردد (خالد و فاوی ۲۰۰۱).

عنصر منگنز برگ در تیمارهای H200 و P25H150 با افزایش ۷ درصدی بیشترین و تیمار شاهد کمترین مقدار منگنز برگ را داشت. بین تیمارهای P100 و P50H100 با تیمارهای برتر از لحاظ آماری در درصد منگنز برگ اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۸). مقدار مس برگ نیز در تیمار P25H150 با افزایش ۱۱ درصدی بیشترین مقدار و در تیمار شاهد کمترین مقدار را داشت.تیمارهای H200 و P50H100 با تیمار P25H150 از لحاظ آماری اختلاف معنی داری نداشتند و دارای بیشترین مقدار عنصر مس برگ به ترتیب با ۷ و ۸ درصد افزایش بود (جدول ۸). مواد هومیک با بـر جذب و انتقال عناصر ریزمغذی تأثیر دارند. این مواد از طریـق گروه‌های فعال در ساختمان خود، کاتیون‌های مس و منگنز را جذب می‌کنند و از طریق پلاسمالما وارد سلول می‌شوند (ورانینی و پینتون، ۲۰۰۱). افزایش در جذب کاتیون‌ها به ویژگی کلات‌کنندگی مواد هومیک بر می‌گردد (ورانینی و پینتون، ۲۰۰۱). به ساختمان مواد هیومیک اتصال پیدا می‌کنند. بنابراین، جذب آنها، بار منفی سلول-های گیاهی و آوند چوب را کاهش می‌دهد. به‌طوری که جذب کاتیون به وسیله ریشه‌ها و انتقال بـه سراسر آوند چوبی به آسانی صورت گرفته و میزان عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی افزایش می‌یابـد (ورانینی و پینتون، ۲۰۰۱). به نظر می رسد استفاده از کودهای فسفر به‌دلیل افزایش رشد ریشه و به تبع آن افزایش جذب مواد غذایی، موجب افزایش جذب عناصر ریزمغذی شده است (جلیلیان و حیدر زاده ۲۰۱۵).

جدول ۸- تاثیر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ گلرنگ

تیمار	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	آهن	روی	مس	منگنز
	درصد					mg/kg			
شاهد	۳/۱۵^{d}	۰/۱۹^{d}	۲/۱۰^{c}	۱/۴۶^{d}	۰/۳۲^{b}	۸۷/۸^{c}	۱۷/۲۱^{c}	۷/۲۰^{e}	۳۶/۴۳^{c}
P100	۳/۲۶^{cd}	۰/۲۷^{a}	۲/۳۱^{ab}	۱/۵۳^{bcd}	۰/۳۳^{b}	۹۶/۲^{bc}	۱۷/۹۲^{bc}	۷/۶^{bcd}	۳۸/۴۴^{ab}
P50	۳/۲۰^{d}	۰/۲۲^{bcd}	۲/۱۹^{bc}	۱/۴۷^{cd}	۰/۳۳^{b}	۹۴/۶^{bc}	۱۷/۶۹^{bc}	۷/۵۰^{cde}	۳۷/۶۵^{bc}
H200	۳/۴۱^{ab}	۰/۲۴^{abc}	۲/۴۰^{a}	۱/۶۲^{a}	۰/۳۴^{ab}	۱۱۰/۵^{a}	۱۸/۸۱^{a}	۷/۴۹^{abc}	۳۹/۲۶^{a}
H100	۳/۳۶^{bc}	۰/۲۱^{cd}	۲/۳۳^{ab}	۱/۵۲^{bcd}	۰/۳۳^{b}	۹۵/۰^{bc}	۱۷/۹۹^{abc}	۷/۴۹^{cde}	۳۷/۴۹^{bc}
P50H100	۳/۵۱^{a}	۰/۲۷^{a}	۲/۳۸^{a}	۱/۵۷^{ab}	۰/۳۴^{ab}	۹۷/۶^{bc}	۱۸/۰۰^{abc}	۷/۸۷^{ab}	۳۸/۸۱^{ab}
P25H150	۳/۳۸^{abc}	۰/۲۴^{abc}	۲/۳۹^{a}	۱/۵۵^{abc}	۰/۳۵^{a}	۹۸/۵^{b}	۱۸/۴۹^{ab}	۸/۰۰^{a}	۳۹/۲۰^{a}
P75H50	۳/۲۵^{cd}	۰/۲۵^{ab}	۲/۳۳^{ab}	۱/۵۱^{bcd}	۰/۳۲^{b}	۹۴/۶^{bc}	۱۷/۸۹^{bc}	۷/۵۱^{cde}	۳۷/۷۴^{bc}
P25H50	۳/۲۲^{d}	۰/۲۱^{bcd}	۲/۳۰^{ab}	۱/۵۰^{bcd}	۰/۳۲^{b}	۹۳/۸^{bc}	۱۷/۵۸^{c}	۷/۴۶^{de}	۳۷/۴۸^{bc}

در هر ستون میانگین‌های دارای‌حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار هستند (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد)

نتیجه گیری کلی

خصوصیات رشد کمی و جنبه های کیفی مورد اندازه گیری با کاربرد اسید هیومیک و فسفر افزایش یافت. بیشترین افزایش در تیمار P50H100 مشاهده شد. بعد از تیمار P50H100 تیمار H200 و P25H150 نتایج بهتری در شاخص های مورد اندازه گیری داشتند. مصرف مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک و یا مصرف ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل با ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک می تواند از نظر جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم آهن و روی نیاز گیاه را تامین نموده و شاخص های عملکرد و روغن را افزایش دهد. مقدار و نوع مقدار ترکیب کودها در اثر بخشی عملکردی گلرنگ بسیار مهم بود. تیمارهای P100 و P50 و همچنین تیمار H100 و P25H50 نتایج مناسبی نداشتند. با توجه به مضرات کودهای شیمیایی و همچنین قیمت بالای این کودها، این تحقیق نشان داد با مصرف کم فسفر در کنار اسید هیومیک می توان به نتایج مناسبتری دست یافت. اسید هیومیک با ساخت کمپلکس های قابل جذب و تحریک رشد گیاه، و اصلاح محیط فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک نتایج بهتری در مقایسه با کود سوپرفسفات تریپل داشت. با توجه به هزینه بالای کود سوپرفسفات تریپل به ترتیب تیمار P25H150، H200 و P50H100 می تواند از لحاظ اقتصادی در کشت گلرنگ مناسب باشند. پیشنهاد می شود به منظور امکان جایگزینی نسبی اسید هیومیک با کود سوپرفسفات تریپل این تحقیق با ارقام مختلف و در مناطق با خاک های مختلف تکرار گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان از مساعدت و همکاری شرکت قیزیل توپراق سهند و آقای مهندس یاسر طالبی برای کلیه زحمات و حمایت هایشان تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

Ahmadpour Abnavi S, Ramroudi M and Galavi M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation condition. Agricultural Science and Sustainable Production, 29 (1): 269-284. (In Persian).

Aminifard MH, Aroiee H, Nemati H, Azizi M and Hawa ZE. 2012. Fulvic acid affects pepper antioxidant activity and fruit quality. African Journal of Biotechnology, 11(68), 13179-13185, https://doi.org/10.5897/AJB12.1507.

AOCS. 1993. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 4th edn. (Methods Ag 1–65 and Ce 1–62). Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.

Asri F, O,Dimirtas EI and Ari N. 2015. Changes in Fruit Yield, QualitY and nutrient Concentrations in response to soil humic acid applications in processing tomato. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 21 (No 3) 2015, 585-591.

Berti M, Wilckens R, Fischer S, Solis A, Johnson B. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile, Industrial Crops and Products, 34: 1358-1365, https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.008.

Brannon CA, Sommers LE. 1985. Preparation and characterization of model humic polymers containing organic phosphorus. Soil Biology and Biochemistry, 17: 213–219.

Castro TAVTD, Berbara RLL, Tavares OCH, Mello DFDG, Pereira EG, Souza CDCBD, Espinosa LM and García AC. 2021. Humic acids induce a eustress state via photosynthesis and nitrogen metabolism leading to a root growth improvement in rice plants, Plant Physiology and Biochemistry, 162, 2021: 171-184, https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.02.043.

Ebrahimian A and Soleymani A. 2013.Growth length and dry matter yield in different stages of safflower as affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. International Journal of Agronomy and Plant Production, 4 (5): 963-969.

EL-Sayed SAA, Hellal FA and Mohamed KAS. 2014. Effect of Humic acid and phosphate sources on nutrient composition and yield of Radish grown in calcareous soil. Plant Nutrition Dept., National Research Centre, Dokki, Egypt. 179.

Emongor VE and Emongor RA. 2023. Chapter 24 - Safflower (Carthamus tinctorius L.), Editor(s): Muhammad arooq, Kadambot H.M. Siddique, Neglected and Underutilized Crops, Academic Press. 683-731, https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90537-4.00024-7.

Golizadeh A, Kamali K, Fathipour Y, Abbasipour H. 2009. Journal of Agricultural Science and Technology, 11: 115-124.

Hopkins B and Ellsworth J. 2003. Phosphorus nutrition on potato production. Idaho Potato Conference. 22-23.

Izhar Shafi M, Adnan M, Fahad S, Wahid F, Khan A, Yue Z, Danish S, Zafar-ul H, Brtnicky M and Datta R. 2020. Application of Single Superphosphate with Humic Acid Improves the Growth, Yield and Phosphorus Uptake of Wheat (Triticum aestivum L.) in Calcareous Soil. 7-10, https://doi.org/10.3390/agronomy10091224.

J. da Silva C, da Silva AC, Zoz T, Victor B, Toppa E, Silva PB and Zanotto MD. 2015. Genetic divergence among accessions of Carthamus tinctorius L. by morphoagronomic traits. African Journal of Agricultural Research10 (25): 4825-4830, https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9859.

Jalilian, J, and Heydarzadeh S. 2015. The effect of cover plants, organic and chemical fertilizers on the qualitative and qualitative characteristics of safflower (Carthamus tinctorius) Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25 (4): 71-85. (In Persian).

Karakurt Y, Unlu H and Padem H. 2009. The influence of foliar and soli fertiizationn of humic acid on yeild and quality of pepper. Plant soil Science, 59(3): 233-237.

Khaled H and Fawy HA. 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. Soil and Water Research, 6: 21-29, https://doi.org/10.17221/4/2010-SWR.

Khan A, Guramni AR, Khan MZ, Hussain F, Akhtar ME and Khan S. 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (Pisum sativum L). Journal of The Chemical Society of Pakistan, 6: 56-63.

Kharwara PC, and Bindra AD. 1992. Effect of nitrogen and plant population on growth, uptake of nutrients and oil yield of spring sunflower (Helianthus annus). The Indian Journal of Agricultural Sciences, 37: 390-398.

Liu Y, Zhang K, Zhang H, Zhou K, Chang Y, Zhan Y, Pan C, Shi X, Zuo H, Li J and Wei Y. 2023. Humic acid and phosphorus fractions transformation regulated by carbon-based materials in composting steered its potential for phosphorus mobilization in soil, Journal of Environmental Management. 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116553.

Maghferati Nayebi R. 2015. Evaluation of some physiological and agronomic traits of safflower (Carthamus tinctorius L.) in reaction to nitrogen fertilizer and lack of water. Senior thesis. Tabriz University. Tabriz. Iran. (In Persian).

Marsac R, Catrouillet C, Davranche M, Bouhnik-Le Coz M, Briant N, Janot N, Otero-Fariña A, Groenenberg J, Pédrot M and Dia A. 2021. Modeling rare earth elements binding to humic acids with model VII, Chemical Geology, 567: 120099, https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120099.

Morard P, Eyheraguibel B, Morard M and Silvestre J. 2010. Direct effects of humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species. Journal of Plant Nutrition, 34: 46-59.

Nardi S, Pizzeghello D, Muscolo A and Vianello A. 2002. "Physiological effects of humic substances on higher plants", Soil Biology and Biochemistry, 34: 1527-1536..

Nikolic M, Cesco S, Romheld V, Varanini Z and Pinton R. 2003. Uptake of iron (Fe-59) complexed to waterextract able humic substances by sunflower leaves. Journal of Plant Nutrition, 26: 2243-2252.

Poozeshi R, Zabihi HR, Ramezani Mogadam MR, Rajabzadeh M, Mokhtari A. 2011. The effect of foliar spraying on zinc, humic acid and Acetic acid on yield, yield components and concentration of elements in Pikani grapes. Journal of Horticultural Sciences (Agricultural Sciences and Industries), 25 (3): 351-354. (In Persian).

Ryan J, Estefan J and Rashid A. 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. Jointly published by the International Centre Agricultural Research in Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria and National Agric. Res. Centre (NARC), Islamabad.

Saentho A, Wisawapipat W, Lawongsa P, Aramrak S, Prakongkep N and Klysubun W. 2022. Iso Christl, Speciation and pH- and particle size-dependent solubility of phosphorus in tropical sandy soils, Geoderma, 408: 0016-706, https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115590.

Sanchez A, Sanchez-Anderu J, Juarez M, Jorda J and Bermudez D. 2002. Humic substances and amino acid improve effectiveness of Chelate feEDDHA in Lemons trees. Journal of Plant Nutrition 25: 2433-2442, https://doi.org/10.1081/PLN-120014705.

Sanchez–Sanchez A, Sanchez–Andreu J, Juarez M, Jorda J and Bermudez D. 2006. Imporvement of iron uptake in table grape by addition of humic substancecs. Journal of Plant Nutrition. 29(2): 259-272.

Silva MSRA, Tavares OCH, Ribeiro TG, Silva CSRA, Silva CSRAG, Baldani JM, García AC, Berbara RLL and Jesus EC. 2021. Humic acids enrich the plant microbiota with bacterial candidates for the suppression of pathogens, Applied Soil Ecology. 168, https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104146.

Takahashi Y and Katoh M. 2023. Root response and phosphorus uptake with enhancement in available phosphorus level in soil in the presence of water-soluble organic matter deriving from organic material, Journal of Environmental Management: 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116038.

Varanini Z and Pinton R. 2001. Direct versus indirect effects of soil humic substances on plant growth and nutrition. PP. 141-157. In: Pinton, R., Varanini Z. and Nannipieri, P. (Eds.), the Rhizosphere, Marcel Dekker, New York.

Yadollahi P, Asgharipour MR, Kheiri N and Ghaderi A. 2015. Effects of drought stress and different types of organic fertilizers on the yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.). J. Oil Plant Product. 1: 29-40. (In Persian).

Yang F, Sui L, Tang C, Li J, Cheng K and Xue Q. 2021. Sustainable advances on phosphorus utilization in soil via addition of biochar and humic substances, Science of The Total Environment, 768: 145106, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145106.

Yi X, Yu L, Chang S H E, Yin C, Wang H and Zhang Z. 2021. The effects of China's Organic-Substitute-Chemical-Fertilizer (OSCF) policy on greenhouse vegetable farmers, Journal of Cleaner Production, 297: 126677, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126677.

Yuan Y, Gai S, Tang C, Jin Y, Cheng K, Antonietti M and Yang F. 2022. Artificial humic acid improves maize growth and soil phosphorus utilization efficiency, Applied Soil Ecology, 179: 104587, https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104587.

Zeynali A. 1999. Safflower (identification, production and consumption). Publications of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 144. (In Persian).

Zhou L, Yan Y, Wang Y, Wu Q, Yan J and Pei J. 2023. Research progresses and prospects of medicated oil dual-purpose crop safflower based on patent mining, Oil Crop Science. doi: https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2022.10.001.

Acosta-Callegos J A and Adams M W. 1991. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars under drought stress. The Journal of Agricultural Science, 117: 213-219.

Ahmadpour Abnavi S, Ramroudi M and Galavi M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.) under low irrigation condition. Agricultural Science and Sustainable Production, 29 (1): 269-284. (In Persian).

Khoram Ghahfarokhi A, Rahimi A, Torabi B, Maddah Hosseini SH. 2018. Effects of Soil Application of Humic Acid and Foliar Applications on Yield, Yield Component and Oil Content of Safflower (Carthamus Tinctorius L.). Journal of Crop Production 11(1): 37-39. (In Persian).