مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۷ ، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۴

مجله پژوهش های به زراعی

اثر تراکم کاشت و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نانو بر عملکرد کمی و کیفی بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) در گیلان

مریم رضوانی وردم[۱]، سعید سیف زاده[۲]*، معرفت مصطفوی راد[۳]، سیدعلیرضا ولدآبادی[۴]، اسماعیل حدیدی ماسوله[۵]

۱-گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۲-استاد گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۳-بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، رشت، ایران
۴-دانشیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران
۵-استادیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۲۰**

چکیده

مقدمه و اهداف: تراکم نامناسب کاشت می‌تواند از طریق ایجاد رقابت، عملکرد و اجزای آن را محدود نماید. از سوی دیگر، بادام زمینی به دلیل توانایی همزیستی با میکروارگانیسم‌های مفید و پتانسیل استفاده از نانوکودها، گزینه‌ای مناسب برای کشاورزی پایدار است. این پژوهش به‌منظور بررسی اثرات متقابل تراکم کاشت، کودهای زیستی و نانوکودهای شیمیایی بر عملکرد و کیفیت بادام زمینی انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در رشت اجرا گردید. عامل اصلی شامل سه تراکم کاشت (۸۳۳۳۳، ۱۰۰۰۰۰ و ۱۲۵۰۰۰ بوته در هکتار) بود. عامل‌های فرعی به صورت فاکتوریل شامل چهار سطح کود زیستی (شاهد، ریزوبیوم، قارچ مایکوریزا آربوسکولار و ترکیب هر دو) و سه سطح نانوکود شیمیایی (منیزیم، مولیبدن و ترکیب منیزیم + مولیبدن) بودند.

یافته‌های تحقیق: بیشترین عملکرد روغن (۱۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۷۹۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ترکیبی تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار، کاربرد توأم کودهای زیستی (ریزوبیوم و مایکوریزا) و نانوکودهای شیمیایی (منیزیم و مولیبدن) حاصل شد. همچنین، کاربرد قارچ مایکوریزا به‌همراه نانوکود مولیبدن در تراکم ۸۳۳۳۳ بوته در هکتار، سبب افزایش معنی‌دار محتوای اسید اولئیک روغن به میزان ۵۸/۵۱ درصد گردید.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، استفاده از تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار همراه با تلقیح بذر با ترکیب ریزوبیوم و مایکوریزا و محلول‌پاشی با نانوکود مولیبدن، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود عملکرد کمی و کیفی بادام زمینی در شرایط اقلیمی مشخص توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب، بادام زمینی، تراکم کاشت، ریزوبیوم، عملکرد روغن، قارچ‌های میکوریزا، منیزیم، مولیبدن

* نگارنده مسئول (saeedsayfzadeh@iau.ac.ir)

مقدمه

بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) از جمله مهم‌ترین گیاهان روغنی و منبع باارزشی از پروتئین، روغن و ریزمغذی‌ها در جهان به شمار می‌رود (Arya *et al.*, 2016) . با افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به منابع غذایی، دستیابی به عملکرد مطلوب و بهبود کیفیت محصولات زراعی از جمله بادام زمینی ضروری است. در این راستا، مدیریت بهینه عوامل زراعی از قبیل تراکم کاشت و تغذیه گیاهی نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش عملکرد و بهبود شاخص‌های کیفی محصول ایفا می‌کند.

تراکم کاشت به‌عنوان یکی از ارکان مدیریت زراعی، اثر مستقیمی بر استفاده از منابع محیطی شامل نور، آب و مواد غذایی دارد (Kurt *et al.*, 2017). تراکم نامناسب بوته می‌تواند از طریق ایجاد رقابت ناسالم، عملکرد و اجزای آن را محدود نماید. از این رو، تعیین تراکم بهینه برای دستیابی به حداکثر پتانسیل عملکرد در هر منطقه اکولوژیک امری ضروری است.

از سوی دیگر، بادام زمینی به دلیل دارا بودن توانایی همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (ریزوبیوم) و قارچ‌های مایکوریزا، پتانسیل بالایی برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حرکت به سمت کشاورزی پایدار دارد(Asante *et al.*, 2020) . کاربرد این کودهای زیستی علاوه بر بهبود جذب عناصر غذایی، می‌تواند با افزایش تحمل به تنش‌ها، سبب بهبود عملکرد و کیفیت محصول گردد (Weisany *et al.*, 2016). همچنین، استفاده از کودهای شیمیایی نانو به دلیل راندمان جذب بالا و اثرات هدفمند، می‌تواند راهکار مؤثری در تغذیه دقیق گیاه باشد. در این میان، عناصری مانند منیزیم به‌عنوان هسته مرکزی مولکول کلروفیل و مولیبدن به‌عنوان کوفاکتور آنزیم‌های کلیدی در متابولیسم نیتروژن (نیترات ردوکتاز و نیتروژناز) از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Kaiser *et al.*, 2005؛ Grzebisz, 2013).

اگرچه تأثیر جداگانه این عوامل در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است، ولیکن برهمکنش این عوامل مدیریتی به ویژه در شرایط اقلیمی شمال ایران کمتر مورد توجه واقع شده است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی اثر متقابل تراکم کاشت، کودهای زیستی و کودهای شیمیایی نانو بر عملکرد و کیفیت دانه بادام زمینی در استان گیلان به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تراکم کاشت و کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی نانو بر عملکرد و کیفیت بادام زمینی، در ایستگاه تحقیقات زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان واقع در رشت به مدت دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید.

مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و اجرای نقشه آزمایش، به‌منظور تعیین بافت خاک و وضعیت عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری در ۹ نقطه از خاک مزرعه، نمونه‌برداری‌هایی به‌طور تصادفی صورت گرفت. برای این منظور از هر نقطه معادل یک کیلوگرم خاک جدا گردید، سپس نمونه‌های جمع آوری شده را روی‌هم ریخته و مخلوط کرده و نهایتاً یک نمونه مرکب یک کیلوگرمی که دربرگیرنده کل نمونه‌ها بود، جهت تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد.

در هر دو سال زراعی، قبل از عملیات کاشت جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در چند نقطه از خاک مزرعه نمونه‌برداری و به آزمایشگاه ارسال شد. نمونه خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، نیتروژن به روش کجلدال (Bremner, 1996)، فسفر قابل جذب به روش Olsen & Summers (۱۹۸۲) با استفاده از اسپکتوفتومتر مدل DTPA، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم با دستگاه فلیم‌فتومتر (Simard, 1993) مدل Jenway-Pfp7، کربن آلی

(Organic Carbon) به روش اکسایش تر (Keeney & Nelson, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity) به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی به روش جانزن (Bohn *et al.*, 1985) از عصاره گل اشباع و pH توسط دستگاه pH متر (Page *et al.*, 1982) اندازه‌گیری گردید. نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ و برخی پارامترهای اقلیمی محل آزمایش در جدول ۲ آورده شده است.

جدول۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷

عمق نمونه برداری (cm)	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته خاک	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/kg)	منیزیم قابل دسترس (mg/kg)	مولیبدون قابل دسترس (µg/g)
صفر تا ۳۰	شنی رسی	۳۱/۷	۲۷/۱	۴۱/۲	۵/۵۵	۵/۷	۱/۶۵	۰/۱۷۱	۵/۳	۲۱۰	۱/۳	۰/۷

سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸

عمق نمونه برداری (cm)	بافت خاک	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	هدایت الکتریکی (dS/m)	اسیدیته خاک	کربن آلی (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل دسترس (mg/kg)	پتاسیم قابل دسترس (mg/kg)	منیزیم قابل دسترس (mg/kg)	مولیبدون قابل دسترس (µg/g)
صفر تا ۳۰	شنی رسی	۳۱/۲	۲۶/۹	۴۱/۹	۵/۶۱	۵/۶	۱/۶۲	۰/۱۷۰	۵/۹	۲۰۷	۱/۳	۰/۶

آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار پیاده‌سازی شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح تراکم کاشت (۸۳۳۳۳، ۱۰۰۰۰۰ و ۱۲۵۰۰۰ بوته در هکتار) در کرت‌های اصلی، چهار سطح کود زیستی (شاهد، ریزوبیوم، قارچ مایکوریزا آربوسکولار و ترکیب ریزوبیوم + مایکوریزا) و سه سطح کود شیمیایی نانو (منیزیم، مولیبدن و ترکیب منیزیم + مولیبدن) در کنار هم به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. خاک مزرعه دارای بافت لومی رسی با pH حدود ۷/۲، مقدار ماده آلی ۱/۲ درصد، فسفر قابل جذب ۱۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب ۱۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در اجرای آزمایش، بذرهای مربوط به تیمارهای کود زیستی با

استفاده از روش استاندارد با باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزا مایه‌زنی شدند و کودهای نانو در مراحل رشد رویشی و آغاز غلاف‌دهی به صورت محلول‌پاشی اعمال گردیدند. سایر عملیات زراعی شامل آماده‌سازی زمین، آبیاری، وجین و کنترل آفات مطابق با توصیه‌های تحقیقاتی منطقه انجام شد. در طی دوره رشد و پس از برداشت، صفات مختلفی از جمله عملکرد دانه، درصد و عملکرد روغن، درصد و عملکرد پروتئین و ترکیبات اسیدهای چرب (اسید اولئیک، اسید لینولنیک و اسید بیهنیک) اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- پارامترهای اقلیمی ایستگاه تحقیقات زراعی و باغی رشت در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و ۱۳۹۹-۱۳۹۷

	۱۳۹۹						۱۳۹۸					
ماه‌های سال	میانگین حداقل درجه حرارت (°C)	میانگین حداکثر درجه حرارت (°C)	میانگین درجه حرارت (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	بارندگی (mm)	تعداد ساعات آفتابی	میانگین حداقل درجه حرارت (°C)	میانگین حداکثر درجه حرارت (°C)	میانگین درجه حرارت (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	بارندگی (mm)	تعداد ساعات آفتابی
فروردین	۸/۲	۱۳/۷	۱۳/۷	۸۷	۲۳۹/۲	۹۶/۵	۹/۹	۱۳/۶	۱۱/۶	۸۸/٤	۲۰۷/۸	۸۹/۷
اردیبهشت	۱۲/۵	۱۹/۶	۱۶/۱	۸۳	۷۹/۹	۱٤۱	۱۳/۷	۲۰/۷	۱۷/۲	۷۹/۵	۹۱/٤	۱۳۵/۲
خرداد	۱۷/٤	۲۸/۵	۲۳	۷۰	۱/۸	۳۲۰/۳	۱۸/۳	۲۹	۲۳/۷	٦۵/۵	۷	۳۱۸/٤
تیر	۲۰/۷	۳۱/۵	۲٦/۱	٦۵	۱/۳	۳۰۰/۳	۲۱/۱	۳۰/٦	۲۵/۹	٦۷	۸/٤	۲۹۱/٦
مرداد	۲۱	۲۹/۹	۲۵/۵	۷۲	۹۰	۲۰۳/۲	۲۱/۳	۳۰/٦	۲٦	٦۸	۹۰/۸	۲۰۰/۷
شهریور	۱۸/۹	۲۷/۷	۲۳/۳	۷۸	۲۳۲/۲	۲٤۱/۷	۱۹/۱	۲٦/۵	۲۲/۸	۷۵	٤۰۰/۵	۲۲۷/۳

ماخذ: سازمان هواشناسی استان گیلان

روش اندازه‌گیری اسیدهای چرب

برای اندازه‌گیری ترکیبات اسیدهای چرب روغن بادام‌زمینی، ابتدا روغن دانه‌ها با استفاده از دستگاه سوکسله و حلال هگزان استخراج شد. سپس استریفیکاسیون اسیدهای چرب طبق روش استاندارد AOCS Ce 2-66 انجام گرفت. برای این منظور، نمونه‌های روغن در محیط متانولیک و در حضور کاتالیست هیدروکسید پتاسیم (KOH) به متیل استرهای اسیدهای چرب (FAMEs) تبدیل شدند.

متیل استرهای حاصل با استفاده از کروماتوگرافی گازی (Gas Chromatography) مجهز به دتکتور

شعله‌ای (FID) و ستون مویینه CP-Sil 88 (با ابعاد ۱۰۰ متر × ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت فیلم ۰/۲۰ میکرومتر) جداسازی شدند. شرایط کروماتوگرافی به این صورت بود: دمای اولیه آون ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه، سپس با نرخ ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگهداری شد. دمای Injectorو Detector به ترتیب ۲۵۰ و ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت.

شناسایی پیک‌های اسیدهای چرب با مقایسه زمان بازداری نمونه‌ها با استانداردهای خالص متیل استرهای اسیدهای چرب انجام شد و مقدار هر اسید چرب بر اساس مساحت پیک آن محاسبه و به صورت درصد گزارش گردید.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها پس از حصول اطمینان از همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی برای صفات مورد مطالعه در دو سال آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

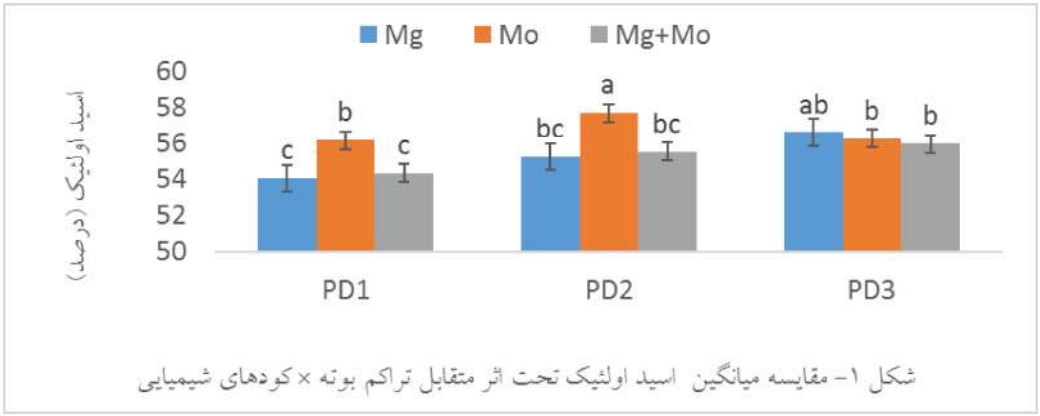
اسید اولئیک

در این آزمایش، اثر تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی و اثر متقابل تراکم بوته × کودهای شیمیایی و اثر متقابل کودهای زیستی × کودهای شیمیایی بر میزان اسید اولئیک موجود در روغن بادام زمینی معنی‌دار بود (جدول ۳). بالاترین میزان اسید اولئیک (۵۷/۶۸ درصد) در روغن بادام زمینی در کشت بادام زمینی با تراکم ۱۰۰هزار بوته در هکتار در واکنش به کاربرد برگی عنصر کم مصرف مولیبدون مشاهده گردید که تفاوت معنی‌داری با میزان اسید اولئیک (۵۶/۶۰ درصد) در تراکم ۱۲۵هزار بوته در هکتار در واکنش به محلول-پاشی کود پرمصرف منیزیم نداشت (شکل ۱).

جدول ۳-

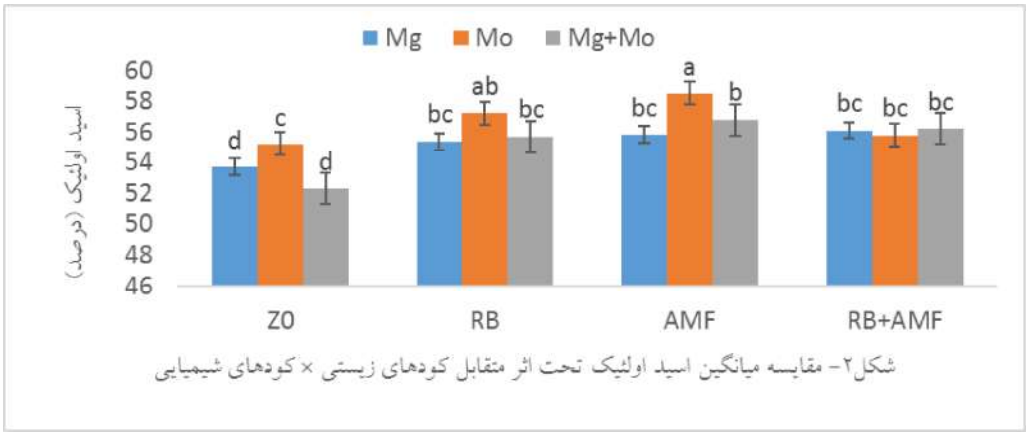
منبع تغییرات	درجه آزادی	اسید اولئیک	اسید لینولنیک	اسید بیهنیک	درصد روغن	عملکرد روغن	درصد پروتئین	عملکرد پروتئین
سال	۱	۱۷۳/۰۳ns	۰/۰۳۲ns	۴/۴۱ns	۲۶۱/۳۶ns	۸۷۱۰۳۹/۴۶ns	۶۰/۰۵ns	۱۸۹۰۸۹/۲۵ns
تکرار(سال)	۴	۲۴۷/۱۱	۰/۱۱۱	۱۱/۹۸	۱۳۳/۲۹	۲۳۹۳۲۶/۱۴	۴۸/۶۹	۹۷۵۴۶/۳۹
تراکم بوته	۲	۴۴/۹۶**	۰/۰۷۶**	۱/۵۲۴**	۴۵/۵۸**	۲۶۹۷۷۵۵/۴۸**	۱۶۳/۱۸**	۷۷۴۳۸۹/۰۷**
سال × تراکم کاشت	۲	۹/۵۹ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۰۳ns	۰/۱۸ns	۲۳۵۱۴/۹۳**	۰/۰۲ns	۵۵۳/۶۴ns
خطای کرت های اصلی	۸	۳/۰۵	۰/۰۰۳	/۰۱۷	۰/۰۸	۵۶۴۰/۴۶	۰/۳۵	۳۶۰۵/۱۹
کود زیستی	۳	۱۰۷/۸۰**	۰/۰۵۵**	۳/۹۲۸**	۱۲۲/۵۱**	۷۴۲۴۲۹/۱۲**	۳۵۱/۴۹	۲۸۹۵۱۲/۷۵**
سال × کود زیستی	۳	۲/۶۸ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۳۷ns	۰/۰۲ns	۵۲۳۰/۷۵ns	۰/۰۱ns	۶۳۲/۲۵ns
کود شیمیایی	۲	۴۸/۰۴**	۰/۰۱۲**	۱/۶۰**	۶۴/۱۳**	۳۱۷۷۸/۴۴**	۴۳/۷۶**	۳۰۲۲۷/۷۴**
سال × کود شیمیایی	۲	۸/۷۱ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۱۹ns	۰/۰۴ns	۱۸۳۹/۳۸ns	۰/۰۱ns	۵۱۵/۳۶ns
تراکم بوته × کود زیستی	۶	۷/۰۲ns	۰/۰۰۲**	۰/۰۴۹*	۱/۸۵**	۲۷۴۳۴۶/۰۴**	۱/۰۶**	۵۴۳۳۹/۵۵۵**
سال × تراکم بوته × کود زیستی	۶	۳/۲۵ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۱ns	۰/۱۱ns	۱۴۲۴/۲۸ns	۰/۰۱ns	۴۰۸/۰۱ns
تراکم بوته × کود شیمیایی	۴	۱۴/۷۱*	۰/۰۰۳ns	۰/۰۳۲ns	۱/۶۱*	۱۹۱۲۶۳/۱۳**	۰/۸۴**	۴۰۹۲۷/۰۹**
سال × تراکم بوته × کود شیمیایی	۴	۹/۰۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۵۰۱**	۰/۳۲ns	۴۴۸۵/۵۵ns	۰/۰۲ns	۴۸۴/۱۸ns
کود زیستی × کود شیمیایی	۶	۱۳/۴۰*	۰/۰۰۳ns	۰/۰۱۵ns	۱۰۷/۹۵**	۷۰۳۱۷/۰۹**	۷۸/۵۵**	۳۴۴۵۹/۸۵**
سال × کود زیستی × کود شیمیایی	۶	۳/۴۳ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۷ns	۰/۱۹ns	۲۸۴/۱۱.ns	۰/۰۲ns	۱۵۹/۳۹ns
تراکم بوته × کود زیستی × کود شیمیایی	۱۲	۸/۲۱ns	۰/۰۰۲**	۰/۰۱۲ns	۱/۳۶**	۹۶۵۸۱/۲۴**	۱/۴۶**	۲۷۸۷۷/۵۶**
سال × تراکم بوته × کود زیستی × کود شیمیایی	۱۲	۳/۹۲ns	۰/۰۰۱ns	۰/۰۲۵ns	۰/۲۶ns	۲۲۹۵/۶۲ns	۰/۰۳ns	۳۵۳/۲۳ns
خطای کرت‌های فرعی	۱۳۲	۵/۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲۲	۰/۴۹	۲۳۴۲/۰۱	۰/۱۶۷	۵۶۵/۹۱
ضریب تغییرات (C.V%)	-	۱۴/۳۳	۱۹/۹	۹/۲۷	۱۸/۲۳	۱۵/۶۹	۸/۲۶	۱۷/۳۴

همچنین، تلقیح بذور بادام زمینی با قارچ میکوریزای آربوسکولار همراه با محلول‌پاشی مولیبدون بالاترین میزان اسید اولئیک (۵۸/۵۱ درصد) نشان داد که در شرایط مشابه تفاوت معنی‌داری با میزان اسید اولئیک (۵۷/۲۳ درصد) تحت تاثیر تلقیح با ریزوبیوم نداشت (شکل ۲). در آزمایش مشابه‌ای گزارش شده است که محتوای اسید اولئیک کلزا با افزایش تراکم جامعه گیاهی کاهش پیدا کرد (Mohammad Agha *et al.*, 2022). محققان دیگری نشان دادند که محتوای اسید اولئیک موجود در روغن سویا تحت تاثیر تلقیح با ریزوبیوم افزایش نشان داد (Silva *et al.*, 2013 و Rahim *et al.*, 2015) و کاربرد مولیبدون سبب افزایش محتوای اسید اولئیک در روغن کلزا گردید (Chen *et al.*, 2004).



شکل ۱- مقایسه میانگین اسید اولئیک تحت اثر متقابل تراکم بوته × کودهای شیمیایی

D1 =۸۳۳۳۳ بوته در هکتار؛ D2 =۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار؛ D3 =۱۲۵۰۰۰ بوته در هکتار؛ Mg= منیزیم و Mo= مولیبدون



شکل۲- مقایسه میانگین اسید اولئیک تحت اثر متقابل کودهای زیستی × کودهای شیمیایی

Z0= عدم استفاده از کودهای زیستی؛ RB =باکتری ریزوبیوم؛ AMF=قارچ میکوریزا آربوسکولار ؛ Mg= منیزیم و Mo= مولیبدون

اسید لینولنیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۳)، اثر متقابل سه‌گانه تراکم بوته × کودهای زیستی × کودهای شیمیایی بر درصد اسید لینولنیک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) نشان داد که بیشترین مقدار اسید لینولنیک (۰/۴۲۷٪) در تیمار ترکیبی تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار (D2)، کود زیستی ترکیبی (ریزوبیوم + میکوریزا) و کود شیمیایی مولیبدن (Mo) و کمترین مقدار اسید لینولنیک (۰/۲۶۳٪) مربوط به تیمار تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار (D2)، کود زیستی قارچ میکوریزا (AMF) و کود شیمیایی مولیبدن

(Mo)بود. مقادیر کم اسید لینولنیک (کمتر از ۰/۵٪) گزارش شده در این آزمایش برای روغن بادام زمینی کاملاً طبیعی و از نظر کیفی مطلوب است. پایین بودن این اسید چرب چند غیراشباع (امگا-۳)، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن و طولانی‌تر شدن عمر انبارمانی آن می‌شود، زیرا اسید لینولنیک به دلیل داشتن سه پیوند دوگانه، بسیار مستعد اکسیداسیون و تندشدن است (Arya *et al.*, 2016).

به نظر می‌رسد کاربرد توأم کودهای زیستی ریزوبیوم و میکوریزا در ترکیب با مولیبدن در تراکم بهینه (D2)، مؤثرترین تیمار در افزایش سنتز اسید لینولنیک بوده است. عنصر کم‌مصرف مولیبدن نقش کلیدی به عنوان کوفاکتور آنزیم‌های حیاتی در متابولیسم نیتروژن، به ویژه نیترات ردوکتاز و نیتروژناز دارد (Kaiser *et al.*, 2005).کاربرد مولیبدن احتمالاً با کارآمدتر کردن فرآیند جذب و احیای نیتروژن، منابع کربنی و انرژی بیشتری را در اختیار مسیر بیوسنتز اسیدهای چرب قرار داده است. مطالعات Jaberimonjali *et al* (2014) نیز بر نقش مثبت مولیبدن در بهبود شاخص‌های کیفی دانه‌های روغنی تأکید داشته‌اند.

قارچ میکوریزا با بهبود جذب فسفر و سایر عناصر کم‌مصرف (Bitterlich *et al.*, 2018)و باکتری ریزوبیوم با تثبیت نیتروژن اتمسفری (Asante *et al.*, 2020)، به طور همزمان شرایط تغذیه‌ای گیاه را بهینه کرده و پیش‌ماده‌های لازم برای سنتز اسیدهای چرب را فراهم می‌کنند. گزارش شده است که این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند با تغییر فعالیت آنزیم‌های کلیدی در مسیر سنتز اسیدهای چرب، ترکیب روغن را تحت تأثیر قرار دهند (Weisany *et al.*, 2016).

این نکته حائز اهمیت است که هم بیشترین و هم کمترین مقدار اسید لینولنیک در یک تراکم ثابت (D2) اما با ترکیب کودی متفاوت رخ داده است. این پدیده به وضوح نشان می‌دهد که پاسخ اسید لینولنیک به مدیریت زراعی، یک پاسخ ساده خطی نبوده و برهمکنش پیچیده‌ای بین فاکتورها بر

متابولیسم ثانویه گیاه حکمفرما است. در تراکم بهینه، رقابت برای نور و مواد غذایی متعادل است و گیاه می‌تواند منابع خود را به طور کارآمد به فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف از جمله سنتز اسیدهای چرب اختصاص دهد (Kurt *et al.*, 2017).

با استناد به داده‌های این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که برای دستیابی به بالاترین درصد اسید لینولنیک در روغن بادام زمینی در شرایط اقلیمی مشابه، کشت با تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار به همراه تلقیح بذر با مایه‌زنی ترکیبی ریزوبیوم و میکوریزا و محلول‌پاشی با مولیبدن می‌تواند به عنوان یک راهکار مدیریتی توصیه شود. این ترکیب به نظر می‌رسد هماهنگی مطلوبی بین عوامل رشد ایجاد کرده و مسیر سنتز اسید لینولنیک را به طور خاصی تحریک کرده است. اگرچه افزایش این اسید چرب می‌تواند از نظر ارزش تغذیه‌ای امگا-۳ مفید باشد، ولی باید اثر آن بر پایداری اکسیداتیو روغن نیز مورد توجه قرار گیرد.

بیهنیک اسید

نتایج نشان داد که اثر تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی، اثر متقابل تراکم بوته × کود زیستی، اثر متقابل تراکم بوته × کودهای شیمیایی و اثر متقابل تراکم بوته × کودهای زیستی × کودهای شیمیایی بر محتوای بیهنیک اسید موجود در روغن بادام زمینی معنی‌دار بود (جدول ۳). کاشت بادام زمینی با تراکم ۱۲۵هزار بوته در هکتار در واکنش به عدم کاربرد کود زیستی و تحت شرایط کاربرد توام کودهای شیمیایی حاوی منیزیم و مولیبدون بیشترین میزان بیهنیک اسید موجود در روغن بادام زمینی (۳/۳۵ درصد) را نشان داد (جدول ۴). محققان گزارش کرده اند که محلول‌پاشی با مولیبدون تاثیر معنی‌داری بر محتوای اسیدهای چرب اشباع شده موجود در روغن آفتابگردان نداشت (Skarpa *et al.*, 2013).

درصد روغن دانه

نتایج نشان داد که اثر تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی و اثر متقابل دو جانبه و سه جانبه آن‌ها بر درصد روغن دانه بادام زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در این آزمایش، بیشترین درصد روغن دانه (۵۲/۴۶ درصد) به تراکم ۸۳۳۳۳ بوته در هکتار، استفاده توام از کودهای زیستی ریزوبیوم و میکوریزا و کود شیمیایی حاوی مولیبدون اختصاص داشت (جدول ۴). محققان نشان دادند که تلقیح ریزوبیوم سبب افزایش محتوای روغن دانه بادام زمینی گردید (Badawi *et al.*, 2011). محققان دیگری نشان دادند در اثر محلول‌پاشی مولیبدون درصد روغن دانه در آفتابگردان افزایش پیدا کرد (Skarpa *et al.*, 2013). براساس نتایج این آزمایش، به‌نظر می‌رسد که کودهای زیستی ریزوبیوم و میکوریزا همراه با کود شیمیایی حاوی مولیبدون از طریق افزایش جذب عناصر غذایی (Bitterlich *et al.*, 2018)، افزایش کارایی سیستم ریشه، بهبود روابط آبی و ظرفیت فتوسنتزی و مقاومت در برابر عوامل تنش زای زیستی و غیر زیستی (Johri *et al.*, 2015) سبب افزایش تامین انرژی و سنتز روغن در دانه بادام زمینی می‌گردد.

عملکرد روغن

در این آزمایش، اثر تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی و اثر متقابل دو جانبه و سه جانبه آنها بر عملکرد روغن بادام زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر بقیه تیمارها غیر معنی‌دار بود (جدول۳). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین عملکرد روغن بادام زمینی (۱۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) به اثر متقابل تراکم ۱۰۰/ هزار بوته در هکتار × کاربرد کود زیستی مایکوریزا × کاربرد توام کود شیمیایی حاوی منیزیم و مولیبدون اختصاص داشت (جدول ۴). محققان در آزمایش مشابه‌ای دریافتند که عملکرد روغن در تراکم‌های پایین دانه روغنی بادام زمینی (Onat *et al.*, 2017) و در تراکم بالا گیاه دارویی مرزه (Saki *et al.*, 2019) به‌ترتیب کاهش و افزایش پیدا کرد. محققان دیگری ثابت کردند که تلقیح باکتریایی با ریزوبیوم در

بادام زمینی (El-Habasha, 2004 و Sharma *et al.*, 2011) و سویا (Grossman *et al.*, 2011) و تلقیح قارچی با میکوریزا آربوسکولار (Nono-Carine *et al.*, 2017) در بادام زمینی نقش بارزی در افزایش عملکرد روغن داشت. به‌علاوه، دانشمندان نشان دادند که کاربرد برگی منیزیم بر روی بوته‌های سویا (Vrataric *et al.*, 2006) و محلول‌پاشی مولیبدون بر روی بوته-های بادام زمینی (Jabbari Manjili *et al.*, 2014) و خردل (Jahangir, 2005)، عملکرد روغن در واحد سطح را افزایش داد. در این آزمایش، وابستگی عملکرد روغن به عملکرد دانه بیشتر از محتوای روغن دانه بود و اعمال تیمارهای مورد مطالعه از طریق افزایش رشد اندام‌های رویشی و زایشی و ارتقای عملکرد دانه سبب افزایش عملکرد روغن در واحد سطح گردید.

درصد پروتئین دانه

نتایج نشان داد که اثر تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی و اثر متقابل دو جانبه و سه جانبه آن‌ها بر درصد پروتئین دانه بادام زمینی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول۳). بالاترین درصد پروتئین دانه (۲۹/۷۳ درصد) در واکنش به تراکم ۸۳۳۳۳ بوته در هکتار، عدم استفاده از کود زیستی ریزوبیوم و تحت تاثیر کاربرد هم‌زمان کودهای شیمیایی حاوی منیزیم و مولیبدون حاصل گردید (جدول ۴). محققان در آزمایش دیگری دریافتند که بذور سویا در تراکم پایین در مقایسه با تراکم‌های بالا، عملکرد پروتئین بیشتری داشتند (Khan *et al.* 2001). به-علاوه، گزارش شده است که همزیستی ریزوبیوم در سویا (Meng *et al.*, 2015) و تلقیح بذور بادام زمینی با ریزوبیوم (Badawi *et al.*, 2011) سبب بهبود محتوای پروتئین دانه گردید. منیزیم نقش بارزی در سنتز پروتئین دانه داشت و کمبود منیزیم سبب کاهش شدید سنتز پروتئین گردید

(Marschner, 2012) و کاربرد مولیبدون سبب افزایش سنتز پروتئین در دانه بادام زمینی شد (Nasar *et al.*, 2018). براساس شواهد موجود، کاربرد عنصر منیزیم از طریق افزایش متابولیسم و آسیمیلاسیون نیتروژن در گیاه (Grzebisz, 2013) و کاربرد مولیبدون از طریق بهبود تثبیت زیستی نیتروژن مولکولی (Nasar *et al.*, 2018) موجب افزایش محتوای پروتئین دانه می‌شود.

عملکرد پروتئین

در این آزمایش، تراکم بوته، کودهای زیستی، کودهای شیمیایی و اثر متقابل دو جانبه و سه جانبه آنها، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد پروتئین بادام زمینی در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین عملکرد پروتئین بادام زمینی در واکنش به اثر متقابل سه جانبه تراکم ۱۰۰هزار بوته در هکتار × کودهای زیستی (ریزوبیوم و میکوریزا) × کودهای شیمیایی (منیزیم و مولیبدون)، بالاترین عملکرد پروتئین بادام زمینی (۷۹۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد (جدول ۴). در این آزمایش، عملکرد پروتئین همانند عملکرد روغن در واکنش به کاربرد هم‌زمان کودهای زیستی و کودهای شیمیایی در تراکم کاشت ۱۰۰هزار بوته در هکتار افزایش یافت. محققان دیگری گزارش کردند که همزیستی سه جانبه بین سویا، باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آربوسکولار تاثیر مثبت بر تثبیت زیستی نیتروژن و عملکرد پروتئین نشان داد (Meng *et al.*, 2015). همچنین، گزارش شده است که عملکرد پروتئین بادام زمینی در واکنش به تلقیح ریزوبیوم افزایش پیدا کرد (El-Habasha, 2004; Badawi *et al.*, 2011). به‌علاوه، گزارش شده است که کاربرد برگی کودهای منیزیم و مولیبدون به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد پروتئین در بادام زمینی (Nasar *et al.*, 2018) و سویا (Vrataric *et al.*, 2006) گردید. به‌نظر می‌رسد که کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی مورد مطالعه از طریق بهبود تثبیت زیستی نیتروژن و فعالیت آنزیم نیتروژناز سبب افزایش سنتز پروتئین و عملکرد پروتئین در بادام زمینی گردید

Nasar *et al.*, ;Grzebisz 2013) 2018).

نتیجه‌گیری

بر پایه یافته‌های این پژوهش، مدیریت توأم تراکم کاشت و تغذیه از طریق کودهای زیستی و شیمیایی نانو تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و کیفیت بادام زمینی در شرایط اقلیمی استان گیلان دارد .تراکم بهینه ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار به همراه کاربرد ترکیبی کودهای زیستی (ریزوبیوم + مایکوریزا) و کودهای نانو (منیزیم + مولیبدن) به عنوان مؤثرترین تیمار شناخته شد که بالاترین عملکرد روغن (۱۵۱۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پروتئین (۷۹۳ کیلوگرم در هکتار) را تولید نمود. از جنبه کیفی، مشخص شد که کاربرد مایکوریزا به همراه مولیبدن در تراکم پایین (۸۳۳۳۳ بوته در هکتار) موجب افزایش معنی‌دار اسید اولئیک (۵۸,۵۱٪) می‌شود که از جنبه ارزش غذایی و پایداری اکسیداتیو روغن حائز اهمیت است. همچنین، پایین بودن محتوای اسید لینولنیک)کمتر از ۰,۵٪) در تمام تیمارها، نشان‌دهنده کیفیت مطلوب و پایداری بالای روغن بادام زمینی تولیدی در منطقه بود. به‌طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد تلفیقی مدیریت تراکم و تغذیه نه تنها می‌تواند عملکرد کمی محصول را افزایش دهد، بلکه قادر است شاخص‌های کیفی مهم از جمله ترکیب اسیدهای چرب و محتوای پروتئین دانه را نیز بهینه‌سازی نماید. بر این اساس، توصیه می‌شود در شرایط اقلیمی مشابه استان گیلان، از ترکیب تراکم ۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار، مایه‌زنی با ریزوبیوم و مایکوریزا و محلول‌پاشی با مولیبدن به عنوان یک راهکار عملی برای دستیابی به حداکثر عملکرد کمی و کیفی بادام زمینی استفاده گردد. این راهکار می‌تواند گامی مؤثر در جهت توسعه کشاورزی پایدار و افزایش بهره‌وری در واحد سطح باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات صفات کمی و کیفی دانه بادام زمینی در واکنش به اثر متقابل تراکم بوته × کودهای زیستی × کودهای شیمیایی

عملکرد پروتئین (کیلوگرم در هکتار)	پروتئین دانه (درصد)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)	روغن دانه (درصد)	اسید بیهنیک (درصد)	اسید لینولنیک (درصد)	کود شیمیایی	کود زیستی	تراکم بوته
g٤٠٦/٣٦	c٢٥/٦٢	hv٧٩٠/١٢	d٤٩/٨٤	d٢/٦٨	d٠/٢٨٣	منیزیم	عدم کاربرد کود زیستی	
g٤٠١/٣٩	b٢٧/٣١	i٦٨٥/٣٦	d٤٩/٣٨	ef٢/٤٥	d٠/٢٨٥	مولیبدون	(شاهد)	
ef٤٥٠/٣٣	a٢٨/٠٧	hv٧٠/٢٨	f٤٦/٧٦	b٣/١٤	cd٠/٣٠٧	مولیبدون + منیزیم		
ij٣١١/٢٢	d٢٣/٠٢	j٦١١/٨٤	e٤٨/٠٣	c٢/٩٠	bc٠/٣٤٩	منیزیم	ریزوبیوم	
gh٣٧٤/٤٥	c٢٥/٩٧	iv١٢/٥٥	g٤٥/١٩	e٢/٤٦	c٠/٣١٦	مولیبدون		
fg٤١٣/٣٣	b٢٦/٨٥	hiv٥٦/٣٣	cd٤٩/٩٣	de٢/٥٦	c٠/٣١٩	مولیبدون + منیزیم		۸۳۳۳۳ بوته در هکتار
fg٤١٠/٥٦	d٢٣/٥٩	g٨٧٠/٦٤	h٤٤/٨٨	e٢/٤٦	bc٠/٣٥١	منیزیم	میکوریزا	
f٤٤٣/٨٥	e٢٢/٣٥	e١٠٠٢/٤٦	c٥٠/٤٨	ef٢/٤٩	c٠/٣٢٢	مولیبدون		
h٣٦٢/٢٥	c٢٥/٧٣	ij٦٥٩/٢٢	ef٤٧/١١	de٢/٥٧	c٠/٣٢٤	مولیبدون + منیزیم		
ij٢٩٥/٧٩	d٢٣/٩٣	j٦٢٥/٤٤	c٥٠/٦٩	g١/٩٤	bc٠/٣٥٤	منیزیم	ریزوبیوم + میکوریزا	
hi٣٤٨/٨٥	h١٩/٤٢	f٩٢٦/٨٧	a٥٢/٢٣	g١/٩٩	a٠/٤٢٣	مولیبدون		
ij٣٠١/٤٥	j١٨/٦٠	hv٧٦٨/١٩	ef٤٧/٤٧	f٢/٣٠	bc٠/٣٥٥	مولیبدون + منیزیم		
cd٥٦٠/٤٤	d٢٣/٩٤	d١١١٩/٤٨	ef٤٧/٨١	cd٢/٧٥	cd٠/٣٠٩	منیزیم	عدم کاربرد کود زیستی	
bv٧٢/٥٩	c٢٥/٥٤	bc١٢٢٧/٠٨	i٤٣/٤٠	de٢/٥٧	d٠/٢٩٢	مولیبدون	(شاهد)	
c٥٩٤/٧١	b٢٧/١٥	e١٠٠٠/٥٥	ef٤٧/٧٩	bc٣/٠١	d٠/٢٩٥	مولیبدون + منیزیم		
hi٣٥٢/٤٤	f٢١/١٥	ij٧٠٧/١٥	j٤٢/٧٢	bc٢/٩٩	c٠/٣٢٥	منیزیم		
gh٣٧٧/٤٢	c٢٤/٨١	ij٧١٠/٠٥	f٤٦/٧١	d٢/٦٧	cd٠/٣١٢	مولیبدون	ریزوبیوم	۱۰۰۰۰۰ بوته در هکتار
e٤٨٥/٢٢	c٢٥/١٦	f٩٢٩/٥٨	e٤٨/١٨	cd٢/٨٣	c٠/٣٢٧	مولیبدون + منیزیم		
c٥٩٥/٢١	e٢٢/٥٣	b١٢٧٣/٢٨	e٤٨/٥٥	2.60de	c٠/٣٢٤	منیزیم	میکوریزا	
e٤٨٤/٢٨	g٢٠/٣٥	c١١٨٤/٤٧	d٤٩/٧٩	de٢/٦٢	d٠/٢٦٣	مولیبدون		
av٩٦/٣٩	i١٨/٢٩	a١٥١٧/٤٨	h٤١/٤٧	d٢/٦٨	bc٠/٣٥٢	مولیبدون + منیزیم		
d٥٤٦/٧٧	d٢٣/٧٥	d١١١٧/٦٧	e٤٨/٦٧	ef٢/٣٦	bc٠/٣٦٠	منیزیم	ریزوبیوم + میکوریزا	
hi٣٨٤/٢٢	k١٧/٩٢	e٩٩٥/٨٦	b٥١/٤٥	fg٢/١٦	a٠/٤٢٧	مولیبدون		
cd٥٦٠/١٧	de٢٢/٥٦	a١٤٧٧/٧٣	i٤٣/١٠	ef٢/٤٧	bc٠/٣٦٢	مولیبدون + منیزیم		
e٤٨١/٤٤	d٢٣/٢١	e١٠٤٣/٣٥	c٥٠/٣٢	d٢/٦٨	d٠/٢٦٩	منیزیم	عدم کاربرد کود زیستی	
de٥١٥/٢٦	d٢٣/٥٥	ef٩٧٩/٣٣	h٤٤/٧٦	ef٢/٤٥	d٠/٢٧٦	مولیبدون	(شاهد)	
fg٤١٢/٣٣	c٢٥/٢١	gh٨٢٦/٤٥	c٥٠/٥٢	b٣/١٤	cd٠/٣٠٤	مولیبدون + منیزیم		
j٢٧٧/٢٤	h١٩/٢٧	j٦٢٠/٢١	i٤٣/٣٦	c٢/٩٠	bc٠/٣٦٥	منیزیم		۱۲۵۰۰۰ بوته در هکتار
i٣١٤/٤٥	e٢٢/٤٠	ij٦٦٧/٢٢	ef٤٧/٥٧	e٢/٤٦	c٠/٣٣١	مولیبدون	ریزوبیوم	
327.45hi	d٢٣/١٤	ij٦٨٢/٥٩	e٤٨/٦٢	de٢/٥٦	c٠/٣٣٥	مولیبدون + منیزیم		
ij٣٠٢/٠٧	g٢٠/٢٥	hiv٧٤٣/٢٥	c٥٠/١٣	ef٢/٤٥	bc٠/٣٧١	منیزیم	میکوریزا	
ij٣٠٤/٥٣	i١٨/٤٥	gh٨٣٢/٢٨	c٥٠/٣٦	e٢/٤٩	c٠/٣٣٧	مولیبدون		
hi٣٥٣/٢٢	de٢٢/٨٨	ij٧١٢/٥٥	f٤٦/١٤	de٢/٥٧	c٠/٣٤٠	مولیبدون + منیزیم		
i٣٢٤/٥٢	g٢٠/٠٧	h٧٨٩/٨٨	d٤٩/٥٣	g٢/٩٤	bc٠/٣٥٤	منیزیم	ریزوبیوم + میکوریزا	
k٢٣١/٣٣	l١٦/٤٦	hiv٧٣٦/٤٦	a٥٢/٤٦	g١/٩٩	a٠/٣٩٩	مولیبدون		
k٢٣٧/٦٩	l١٦/٩٣	j٦٣٥/٠٨	f٤٦/٣٥	f٢/٥٦	bc٠/٣٧٢	مولیبدون + منیزیم		

میانگین‌هایی که در هر ستون برای هر تیمار دارای حروف مشترک می‌باشند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد آزمون دانکن ندارند.

منابع

جابری‌منجلی، ح.، ع. قلی زاده و م. رضوی. ۱۳۹۳. اثر کاربرد مولیبدن بر شاخص‌های کیفی دانه‌های روغنی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۲(۴): ۷۰۰-۶۸۹.

Arya, S.S., A.R. Salve, and S. Chauhan. 2016. Peanuts as functional food: a review. Journal of Food Science and Technology, 53(1): 31-41. https://doi.org/10.1007/s13197-015-2007-9

Asante, M., M. Acheampong, and K. Owusu. 2020. Role of rhizobium inoculation in sustainable agricultural production. Journal of Agricultural Science, 12(5): 112-125. https://doi.org/10.5539/jas.v12n5p112

Badawi, M.A., F.S. Taha, and M.A. Esmail. 2011. Effect of rhizobium inoculation on yield and quality of peanut. Journal of Agricultural Research, 36(2): 145-156.

Bitterlich, M., Y. Rouphael, J. Graefe, and P. Franken. 2018. Arbuscular mycorrhizas: a promising component of plant production systems provided favorable conditions for their growth. Frontiers in Plant Science, 9, 1329. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01329

Chen, Y., H. Wang, and X. Li. 2004. Effect of molybdenum application on oil quality of rapeseed. Plant and Soil, 267(1-2): 83-91. https://doi.org/10.1007/s11104-005-4680-3

El-Habasha, K. M. 2004. Response of peanut to rhizobium inoculation and nitrogen fertilization. Journal of Agronomy, 3(2), 112-118. https://doi.org/10.3923/ja.2004.112.118

Grossman, J. M., M.E. Schipanski, and T. Sooksanguan. 2011. The role of rhizobium in soybean oil production. Field Crops Research, 124(3): 345-352. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.005

Grzebisz, W. 2013. Magnesium - food and human health. Journal of Elementology, 18(1): 125-137. https://doi.org/10.5601/jelem.2013.18.1.12

Journal of Field Crops, 22(1): 88-95. https://doi.org/10.17557/tjfc.303873

Marschner, H. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (3rd ed.). Academic Press.

Meng, L., A. Zhang, and F. Wang. 2015. Synergistic effect of rhizobium and mycorrhiza on nitrogen fixation and protein content in soybean. Soil Biology and Biochemistry, 89, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.06.014

Mohammad Agha, M., M. Khajehpour, and Jabbari, H. 2022. Effect of plant density on oleic acid content of rapeseed. *Journal of Oilseed Crops*, 9(1), 45-56.

Nasar, J., G.Y. Wang, and X.B. Zhou. 2018. Molybdenum application enhances protein synthesis in peanut. Journal of Plant Growth Regulation, 37(3): 945-953. https://doi.org/10.1007/s00344-018-9789-8

Nono-Carine, M., S.N. Tchameni, and M.L. Sameza. 2017. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on peanut oil yield. Symbiosis, 73(2): 123-

Jabbari Manjili, H., A. Gholizadeh, and M. Razavi. 2014. Effect of molybdenum application on qualitative indices of oil seeds. Iranian Journal of Field Crops Research, 12(4): 689-700. Jahangir, M. M. 2005. Effect of molybdenum on mustard oil yield. Journal of Plant Nutrition, 28(12): 2147-
2157. https://doi.org/10.1080/01904160500324784

Johri, A.K., R. Oelmüller, M. Dua, and Y. Yadav. 2015. Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. Frontiers in Microbiology, 6: 984. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00984

Kaiser, B. N., K.l. Gridley, and B. Ngaire. 2005. The role of molybdenum in agricultural plant production. Annals of Botany, 96(5): 745-754. https://doi.org/10.1093/aob/mci226

Khan, M.A., M.K. Hassan and M, Ali. 2001. Effect of plant density on protein yield of soybean. Journal of Agronomy and Crop Science, 186(3): 187-191.

Kurt, O., A. Ozturk, and S. Bulut. 2017. Plant density effects on growth, yield and quality of peanut. Turkish

Science and Technology, 115(11), 1234-1242. https://doi.org/10.1002/ejlt.201300055

Skarpa, P., E. Kunzova, and H. Zukalova. 2013. Effect of molybdenum on sunflower oil quality. Plant, Soil and Environment, 59(6): 249-255. https://doi.org/10.17221/782/2012-PSE

Vrataric, M., A. Sudaric, and T. Duvnjak. 2006. Response of soybean to foliar magnesium application *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 71(2), 73-77.

Weisany, W., Y. Raei, and K.H. Allahverdipoor. 2016. Role of mycorrhizal fungi in plant fatty acid metabolism. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 16(4): 1000-1013. https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000073

131. https://doi.org/10.1007/s13199-017-0485-4

Onat, B., H. Bakal, and L. Gulluoglu. 2017. The effect of plant density on yield and quality of peanut. Turkish Journal of Field Crops, 22(2): 248-255. https://doi.org/10.17557/tjfc.356352

Rahim, A., G. Ranjbar, and S.K. Khorasani. 2015. Effect of rhizobium on soybean oil quality. Journal of Oilseed Research, 32(1): 45-52.

Saki, A., S.M. Mousavi, and P. Moradi. 2019. Plant density effects on essential oil yield of savory. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 12, 100-107. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2018.11.003

Sharma, P., F. Khare, E., & Arora, N. K. 2011. Effect of rhizobium inoculation on peanut yield and oil content. *Legume Research*, 34(4), 290-294.

Silva, L.R., J. Azevedo, and M.J. Pereira. 2013. Inoculation with rhizobium improves soybean oil quality. European Journal of Lipid

The effect of planting density and application of bio and chemical nano fertilizers on quantitative and qualitative yield of Peanuts (*Arachis hypogaea* L.) in Guilan

Maryam Rezvani Vardom[1], Saeed Sayfzadeh[2*] ,Marefat Mostafavi Rad[3], Seyed Alireza Valadabady[4], Esmaeil. Hadidi Masouleh[5]

1. **Department of Agronomy, Tak.C., Islamic Azad University, Takestan, Iran.**
2. **Professor, Department of Agronomy, Tak.C., Islamic Azad University, Takestan, Iran.**
3. **Crop and Horticultural Science department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.**
4. **Associate Professor, Department of Agronomy, Tak.C., Islamic Azad University, Takestan, Iran.**
5. **Assistant Professor, Department of Agronomy, Tak.C., Islamic Azad University, Takestan, Iran.**

Received: 2025/9/16 **Accepted: 2025/12/11**

Abstract

Background and Objectives: Inappropriate planting density can limit yield and its components through competition. On the other hand, peanuts have high potential for sustainable agriculture due to their symbiosis with beneficial microorganisms and the potential use of nano-fertilizers. This research was conducted to investigate the interactive effects of planting density, bio-fertilizers, and nano-chemical fertilizers on the yield and quality of peanuts.

Materials and Methods: A two-year experiment was carried out as a split-factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications in Rasht during 2019-2020 and 2020-2021.

The main factor consisted of three planting densities (83,333, 100,000, and 125,000 plants per hectare). The sub-factors were arranged factorially and included four levels of bio-fertilizers (control, Rhizobium, Arbuscular Mycorrhizal Fungi - AMF, and combined Rhizobium + AMF) and three levels of nano-chemical fertilizers (magnesium, molybdenum, and combined magnesium + molybdenum).

Research findings: The highest oil yield (1515 kg/ha) and protein yield (793 kg/ha) were obtained from the combined treatment of 100,000 plants per hectare density, simultaneous application of bio-fertilizers (Rhizobium and AMF), and nano-chemical fertilizers (magnesium and molybdenum). Furthermore, the application of AMF along with molybdenum nano-fertilizer at the density of 83,333 plants per hectare significantly increased the oleic acid content of the oil to 58.51%.

Conclusion: In general, employing a density of 100,000 plants per hectare along with seed inoculation using a combination of Rhizobium and AMF and foliar application of molybdenum nano-fertilizer is recommended as an effective strategy for improving the quantitative and qualitative yield of peanuts under similar climatic conditions.

Keywords: Fatty acids, Magnesium, Molybdenum, Mycorrhizal fungi, Oil yield, Peanut, Planting density, Rhizobium

* Corresponding author (saeedsayfzadeh@iau.ac.ir)