ارزیابی کمیت و کیفیت اسیدهای چرب در گیاه دارویی *Linum usitatissimum* L. تحت تأثیر محلول‌پاشی بوریک‌اسید، سالسیلیک‌اسید و اوره در طول روز

مهتاب پویان‌فر[۱]، ناصر محب‌علی‌پور[۲]، حسن نورافکن[۳]*، علی فرامرزی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات ارگانیک، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

[۲]استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

[۳] استادیار، گروه علوم باغبانی، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات ارگانیک، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

تاریخ دریافت: ۰۰/۶/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۰۰/۸/۸

چکیده

بذر کتان *Linum usitatissimum* L. یکی از مهمترین محصولات دانه روغنی جهان است و روغن آن منبع ارزشمندی از اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ از نوع آلفالینولنیک‌اسید می‌باشد. این گیاه نسبت به کودی که در نزدیکی ساقه ریخته می‌شود حساس است، بنابراین تغذیه برگی عناصر غذایی به عنوان یک روش کارآمد با تأثیرگذاری عمده بر رشد، کمیت و کیفیت مواد مؤثره این محصول به‌کار می‌رود. پژوهش حاضر در مزرعه گیاهان دارویی دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه طی سال ۱۳۹۸ جهت ارزیابی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف بوریک‌اسید، سالسیلیک‌اسید و اوره در ساعات مختلف روز به منظور افزایش کمیت و کیفیت اسیدهای چرب ضروری به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارها به فواصل ده روز در سه دوره پس از شروع گلدهی اعمال و برداشت نهایی جهت استخراج روغن توسط حلال نرمال هگزان پس از رسیدن کپسول‌ها انجام گرفت. درصد پروفایل اسیدهای چرب روغن کتان با استفاده از دستگاه کروماتوگراف گازی و کروماتوگراف گازی متصل به طیف سنج جرمی تعیین شد. بر اساس نتایج بدست آمده محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب بر درصد آلفالینولنیک‌اسید و ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید بعد از غروب بر لینولئیک‌اسید، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید قبل از طلوع بر ایکوزادی‌انوئیک‌اسید و ۵ گرم در لیتر اوره بعد از غروب بر پالمیتولئیک‌اسید مؤثر واقع شد. همچنین می‌توان گفت ترکیبی از اثرات محیط بر گیاه قبل و حین محلول‌پاشی و فیزیولوژی گیاه در هنگام جذب و پس از جذب، بر میزان تأثیر ماده محلول‌پاشی شده تأثیرگذار است.

واژه‌های کلیدی: آلفالینولنیک‌اسید، تغذیه برگی، عناصر غذایی، کتان، نرمال هگزان

*نویسنده مسئول: hassannourafcan@gmail.com

مقدمه

کتان با نام علمی *Linum usitatissimum* L. یکی از مهمترین محصولات دانه روغنی متعلق به جنس Linum از خانواده Linaceae یکی از گیاهان روغنی دارویی است که کاربردهای فراوانی در صنایع دارویی و صنعتی دارد (Bunga and Patlolla, 2020). روغن کتان منبع ارزشمندی از ترکیبات فنولی، آنتی‌اکسیدانی، اسیدهای چرب ضروری امگا-۳ از نوع آلفالینولنیک[1] (ALA)، امگا-٦ و همچنین فیبر رژیمی، مواد معدنی و ویتامین‌ها است (Andronie et al., 2021). میزان روغن دانه این گیاه‌دارویی از ۳۰ تا ۵۰ درصد متغیر است و بخش اعظم آن را لینولئیک‌اسید[2]، لینولنیک‌اسید[3]، اولئیک‌اسید[4]، پالمیتیک‌اسید[5] و استئاریک‌اسید[6] تشکیل می‌دهد (Tadesse et al., 2009). که البته میزان این ترکیبات تحت تأثیر شرایط اقلیمی تغییرپذیر است. طول دوره رشد کتان به‌طور متوسط ۱۰۰ روز و دمای متوسط ۲۷-۲۱ درجه سانتی‌گراد جهت داشتن عملکرد بالا تعیین شده است (Mishra and Awasthi, 2021). شرایط حرارتی به‌طور دقیق تمام مراحل چرخه زندگی گیاه را تنظیم می‌کند (Rojo et al., 2020). از آن‌جا که ترکیب اسیدهای چرب غیراشباع (PUFA)[7] امگا[8]-۳ و امگا-٦ در بدن انسان سنتز نمی‌شود، بایستی به‌صورت مواد غذایی مصرف شوند(Andronie et al., 2021). بنابراین توجه بیشتر مطالعات به سمت اسیدهای چرب امگا-۳ به‌دلیل اهمیت آن‌ها در محافظت مقابل برخی از عفونت‌ها و پتانسیل آن‌ها برای استفاده در درمان بسیاری از بیماری‌ها (Harper et al., 2006) از جمله کاهش غلظت کلسترول در خون (Parwaiz Alam et al., 2020) می‌باشد. به‌دلیل ارزش اقتصادی و اهمیت کتان روغنی در صنایع دارویی، بایستی راه‌های افزایش عملکرد کمی و کیفی را بررسی و روش‌های مناسبی را در ارتباط با این موضوع ارائه نمود. تغذیه گیاهی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد و کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی می‌باشد (Izadi and Tadayoun, 2015). محلول‌پاشی با عناصر غذایی یکی از روش‌های نوین مؤثر در تغذیه گیاه است. به‌خصوص زمانی‌که شرایط خاک برای دسترسی عناصر نامناسب است، کارایی بالاتری نسبت به مصرف خاکی دارد (Patil and Chetan, 2018). ریزمغذی‌ها به‌ویژه بُر در افزایش عملکرد، جذب و کیفیت بذر کتان نقش بسیار مهمی دارند. بُر نقش مهمی در فعال‌سازی آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، بهبود فتوسنتز و جذب کلسیم و استفاده از آن دارد و همچنین روند مثبتی را در تولید بیشتر روغن ایجاد می‌کند (Parwaiz Alam et al., 2020). بررسی نتایج بسیاری از پژوهش‌ها بیانگر تأثیر نیتروژن و بُر، بر کیفیت روغن و درصد اسیدهای چرب دانه‌های روغنی است. به‌عنوان مثال استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش استئاریک‌اسید و پالمیتیک‌اسید در روغن کنجد می‌گردد (Ganjineh et al., 2019). علاوه براین، امروزه با توجه به ملاحظات زیست محیطی، استفاده از ترکیبات الیسیتوری مانند سالسیلیک‌اسید برای بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات زراعی، دارویی و باغی رواج پیدا کرده است (Rasouli et al., 2014). عزتی و همکاران (Ezati et al., 2020)، هورمون سالیسیلیک‌اسید را

1. Alpha-linolenic acid (ALA)
2. Linoleic acid
3. Linolenic acid
4. Oleic acid
5. Palmitic acid
6. Stearic acid
7. Polyunsaturated fatty acids (PUFA)
8. Omega

جهت بالابردن عملکرد کمی و کیفی کلزا به‌کار برده و در نتایج افزایش اسیدهای چرب تحت تأثیر این هورمون را گزارش کرد.

به‌دلیل کاربرد روزافزون گیاه دارویی کتان در صنعت و داروسازی، در این پژوهش اثر افزاینده محلول‌پاشی برخی عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید بر اسیدهای چرب ضروری روغن کتان مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد میانه به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. نتایج میانگین پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی منطقه طی فصل رشد در جدول ۱ و آزمون خاک محل آزمایش در جدول دو ارائه شده است. فاکتور اول آزمایش شامل محلول‌پاشی اوره در سه سطح (۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در لیتر)، بوریک‌اسید در سه سطح (۳، ٦ و ۹ گرم در لیتر)، سالیسیلیک‌اسید در سه سطح (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و تیمار شاهد شامل محلول‌پاشی با آب‌مقطر و بدون محلول‌پاشی (در مجموع ۱۱ تیمار) بود. فاکتور دوم زمان محلول‌پاشی در دو سطح قبل از طلوع خورشید (حدود ساعت ۰۵:۳۰) و بعد از غروب خورشید (حدود ساعت ۲۰:۳۰) تعیین گردید. اعمال تیمارها به فواصل ۱۰ روز در سه دوره همزمان با وارد شدن گیاه به فاز زایشی آغاز شد. پس از آماده‌سازی زمین، کاشت بذرها با فواصل ۳۰ × ۳۰ سانتی‌متر در کرت‌های ۱/۵×۲ متری طی اردیبهشت ماه انجام شد. آبیاری بلافاصله پس از کاشت و بعد از آن با توجه به نیاز گیاه و وضعیت آب و هوایی منطقه صورت گرفت. برداشت نهایی با توجه به رسیدن کپسول‌ها به‌صورت دوره‌ای صورت پذیرفت. جهت بررسی اثر تیمارها بر خصوصیات فیتوشیمیایی روغن کتان نمونه‌های جمع‌آوری شده در سایه خشک و سپس بذور به روش دستی از کپسول جدا شد. استخراج چربی جهت تعیین نوع و میزان ترکیبات صورت گرفت. از آن‌جا که ترکیبات روغن کتان در مقابل حرارت مقاوم نیستند جهت استخراج چربی مقداری از نمونه توسط میکسر پودر و داخل بالن درب سمباده‌ای ریخته شد سپس مقداری حلال انهگزان[1]؛ طوری که حلال روی پودر را کاملاً بپوشاند به آن اضافه شد. پس از چند ساعت محلول را صاف کرده چربی توسط دستگاه روتاری اواپراتور[2] از حلال جدا شد (Piva et al., 2018). در مرحله بعدی، درصد پروفایل اسیدهای چرب روغن کتان به روش کروماتوگرافی گازی[3] طبق مدارک مرجع SOP[4] سازمان غذا و دارو و استانداردهای ملی توسط دستگاه کروماتوگراف گازی مدل YL6500 و کروماتوگراف گازی متصل به طیف سنج جرمی در آزمایشگاه کیفیت سنجش زاگرس انجام شد. بدین صورت که ابتدا جهت آماده‌سازی نمونه روغن (متیلاسیون نمونه) در لوله درب‌دار ۱۰۰ میلی‌گرم با دقت، پنج میلی‌گرم از روغن یا چربی استخراجی از نمونه به‌وسیله پیپت پاستور و هفت میلی‌لیتر حلال انهگزان و دو میلی‌لیتر پتاس متانولی اضافه شد. سپس درب لوله بسته و به‌وسیله شیکر گردابی مخلوط شد و در بن‌ماری که حاوی آب مقطر ۵۵-۵۰ درجه سلسیوس دما بود قرار گرفت و پس از پنج دقیقه

1. N-Hexane
2. Rotary Evaporator
3. Gas Chromatography
4. Standard Operating Procedures (SOP)

دوباره شیکر شده و مجدداً در بن‌ماری قرار گرفت آماده تزریق شود.
این کار سه بار به فاصله پنج دقیقه تکرار شد تا نمونه

جدول ۱: میانگین پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی منطقه میانه طی فصل رشد

	پارامترهای اقلیمی	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین
دما (^{0}C)	بالاترین	۱۷/۰	۲۶/۵	۳۱/۵	۳۵/۹	۳۷/٤	۳٤/۵	۳۰/٤۷
	پایین‌ترین	٤/۹	۱۰/۹	۱٤/۵	۲۰/۰	۲۰/٦	۱۷/۵	۱٤/۷۳
	میانگین	۱۰/۹	۱۸/۷	۲۳/۰	۲۷/۹	۲۹/۰	۲۵/۹	۲۲/۵۷
	ساعت ۰۵:۳۰ صبح	۵/۸	۱۱/۲	۱۷/۸	۲۲/۱	۲۲/۵	۱۹/۳	۱٦/٤۵
	ساعت ۱۸:۰۰ غروب	۱۵/٦	۲۳/٦	۲٦/۲	۳۱/۹	۳۱/٦	۳۰/۰	۲٦/٤۸
رطوبت نسبی (٪)	بالاترین	۸۵/۳	۸۹/۹	٦۳/۲	۵۱/۰	۵۲/۷	۵٦/٤	٦٦/٤۲
	پایین‌ترین	۳۷/۱	۲٦/۱	۱٦/٦	۱۷/۵	۱٦/۳	۱٦/۷	۲۱/۷۲
	میانگین	٦۱/۲	۵۲/۵	۳۹/۹	۳٤/۲	۳٤/۵	۳٦/۵	٤۳/۱۳
	ساعت ۰۵:۳۰ صبح	۸۰/٤	۷۳/۰	۵٦/۱	٤۷/۸	٤۸/٤	۵۳/۲	۵۹/۸۲
	ساعت ۱۸:۰۰ غروب	٤۹/۲	۳۷/۱	۲۳/۷	۲٤/۳	۲٤/۸	۲۷/۱	۳۱/۰۳
	تابش خورشید (h)	٦/۰	۸/٤	۱۰/۳	۱۱/٦	۱۱/٦	۱۰/۵	۹/۷۳
	بارندگی (mm)	۱/۵	۰/۹	۰/۵	۰/۰	۰/۰	۰/۷	۰/٦۰

جدول ۲: برخی از ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی خاک محل آزمایش

شوری EC (ds/m)	اسیدیته PH	آهک T.N.V (%)	رس Clay (%)	سیلت Slit (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	کربن‌آلی OC (%)	ازت‌کل N (%)	فسفر P (ppm)	پتاسیم K (ppm)	درصداشباع SP (%)
۱/۱۰۷	۷/۷٦	۲۵/۷	٤۸	۲۹	۲۳	C	۱/۵	۰/۱	۵/۷۰	۳۰۱	۷۵/۱۹

جهت تحلیل آماری ابتدا نرمال‌سازی داده‌های به دست آمده با استفاده از آزمون کولموگراف–اسمیرنف[1] و تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS[2] نسخه ۹/۲ انجام گرفت و سپس مقایسه میانگین با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

پس از آماده شدن دستگاه، به‌وسیله سرنگ هامیلتون یک میکرولیتر از نمونه متیله شده به دستگاه تزریق شد. پس از آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی، اطلاعات مربوط به درصد اسیدهای چرب ثبت گردید. با مقایسه اطلاعات به‌دست آمده از نتایج آنالیز و اسیدهای چرب استاندارد مطابق دستورالعمل، نوع اسیدهای چرب شناسایی و بر حسب درصد گزارش شد.

1. Kolmogorov–Smirnov test
2. Statistical Analysis System

جدول ۳: تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف در دو زمان قبل از طلوع و بعد از غروب بر کیفیت اسیدهای چرب گیاه کتان

فرمول شیمیایی	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)							
		C16:0	C16:1(ω−7)	C18:0	C18:1(ω−9)	C18:2(ω−6)	C20:0	C18:3(ω−3)	C20:2(ω−6)
منابع تغییرات		C17H34O2	C16H30O2	C19H38O2	C18H34O2	C19H34O2	C20H40O2	C19H32O2	C20H36O2
		Palmitic acid	Palmitoleic acid	Stearic acid	Oleic acid	Linoleic acid	Arachidic acid	α-Linolenic acid	Eicosadienoic acid
تکرار	۲	۱/۵۳ ns	۰/۰۰۰۱ *	۰/۳۲ ns	۱/۶۸ ns	۰/۳۰ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۵۴ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns
محلول‌پاشی	۱۰	۰/۱۵ ns	۰/۰۰۱ **	۰/۱۵ ns	۳/۵۵ *	۰/۵۰ ns	۰/۰۰۱ **	۳/۵۲ **	۰/۰۰۲ **
زمان	۱	۰/۱۷ ns	۰/۰۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۴۱ ns	۰/۱۶ ns	۰/۰۰۰۲ *	۰/۲۴ ns	۰/۰۰۰۱ ns
محلول‌پاشی × زمان	۱۰	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۸ **	۰/۱۹ ns	۰/۷۱ ns	۰/۸۲ *	۰/۰۰۲ **	۱/۶۳ **	۰/۰۰۲ **
خطای آزمایشی	۴۲	۰/۴۷	۰/۰۰۰۰۲	۰/۱۶	۱/۴۵	۰/۳۵	۰/۰۰۰۰۴	۰/۴۸	۰/۰۰۰۰۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۰/۵۳	۴/۲۷	۷/۶۸	۵/۰۹	۴/۸۸	۳/۰۱	۱/۴۱	۳/۷۰

ns، * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر محلول‌پاشی ترکیبات مختلف در دو زمان قبل از طلوع و بعد از غروب بر کیفیت اسیدهای چرب گیاه کتان

محلول‌پاشی	زمان محلول‌پاشی	پالمیتولئیک اسید	لینولئیک اسید	آراشیدیک اسید	آلفالینولنیک اسید	ایکوزادی انوئیک اسید
عدم محلول پاشی		۰/۱۱^{e}	۱۲/٤۱$^{a.e}$	۰/۲۱^{h}	٤٦/٥٨^{c}	۰/۲۳٦^{be}
آب مقطر		۰/۱۲^{e}	۱۳/۲^{a}	۰/۲۳۳^{de}	٤۷/۰۳^{c}	۰/۱۷٦^{k}
ASA 1		۰/۱۲^{e}	۱۱/٤۹^{de}	۰/۲٥^{bc}	٥۰/٥٤^{a}	۰/۲۲٦^{efg}
ASA 2		۰/۱۱٦^{e}	۱۲/۲٥$^{a.e}$	۰/۲٤^{cd}	٤۹/۷۸^{ab}	۰/۲٥۳^{a}
ASA 3		۰/۱۲^{e}	۱۱/۹۹$^{b.e}$	۰/۲٥٦^{ab}	٤۹/٦۲^{ab}	۰/۲۳۳$^{c.f}$
BA 1	عصر	۰/۱۱٦^{e}	۱۲/۷۸^{ab}	۰/۲٥^{bc}	٤۹/٦٥^{ab}	۰/۲٥۳^{a}
BA 2		۰/۱۱٦^{e}	۱۲/۳٦$^{a.e}$	۰/۲۳٦^{d}	٤۹/۹۹^{ab}	۰/۲۱۳^{ghi}
BA 3		۰/۱۲^{e}	۱۲/۰۳$^{a.e}$	۰/۲۲^{fgh}	٤۹/٦^{ab}	۰/۱۷۳^{k}
U1		۰/۱۷٦^{a}	۱۱/۳۱^{e}	۰/۱۸٦^{i}	٤۹/۲٤^{ab}	۰/۱۸٦^{jk}
U2		۰/۱٤۳^{d}	۱۲/۲۳$^{a.e}$	۰/۲۳۳^{de}	٤۹/۳۹^{ab}	۰/۲٤٦^{abc}
U3		۰/۱۲^{e}	۱۲/٦۷$^{a.d}$	۰/۱۸^{i}	٤۹/۱۳^{b}	۰/۲۲^{fgh}
عدم محلول پاشی		۰/۱۱^{e}	۱۲/٤۱$^{a.e}$	۰/۲۱^{h}	٤٦/٥٨^{c}	۰/۲۳٦^{be}
آب مقطر		۰/۱۱^{e}	۱۱/۹۹$^{b.e}$	۰/۲٤^{cd}	٤۹/۰۸^{b}	۰/۲٥^{ab}
ASA 1		۰/۱۷^{ab}	۱۲/۰۲$^{b.e}$	۰/۲۳٦^{d}	٤۸/۷٦^{b}	۰/۲۱^{hi}
ASA 2		۰/۱۱۳^{e}	۱۱/٥۹^{cde}	۰/۲٥^{bc}	٤۸/۸۳^{b}	۰/۲٥٦^{a}
ASA 3		۰/۱۱۳^{e}	۱۱/۸٥$^{b.e}$	۰/۲۳۳^{de}	٤۹/٥۱^{ab}	۰/۲۳^{def}
BA 1	صبح	۰/۱٥۳^{c}	۱۲/۱۳$^{a.e}$	۰/۲۳^{def}	٤۹/۳^{ab}	۰/۲^{ij}
BA 2		۰/۱۱٦^{e}	۱۲/۷^{abc}	۰/۱۸۳^{i}	٤۹/٤۸^{ab}	۰/۱۷۳^{k}
BA 3		۰/۱۱۳^{e}	۱۲/٤٥$^{a.e}$	۰/۲۱٦^{gh}	٤۸/۹۲^{b}	۰/۲۳^{def}
U1		۰/۱٦٦^{b}	۱۲/٤۱$^{a.e}$	۰/۲٥^{bc}	٤۹/۸٤^{ab}	۰/۲۰۳^{i}
U2		۰/۱۱۳^{e}	۱۲/٤۱$^{a.e}$	۰/۲۲۳^{efg}	٥۰/۰٤^{ab}	۰/۲٤۳$^{a.d}$
U3		۰/۱۱٦^{e}	۱۱/۷۱$^{b.e}$	۰/۲٦٦^{a}	٤۸/۹۲^{b}	۰/۲۲^{fgh}
میانگین عصر		۰/۱۲٥	۱۲/۲٤	۰/۲۲٦	٤۹/۱٤	۰/۲۱۹
میانگین صبح		۰/۱۲٦	۱۲/۱٥	۰/۲۳۰	٤۹/۰۲	۰/۲۲۲

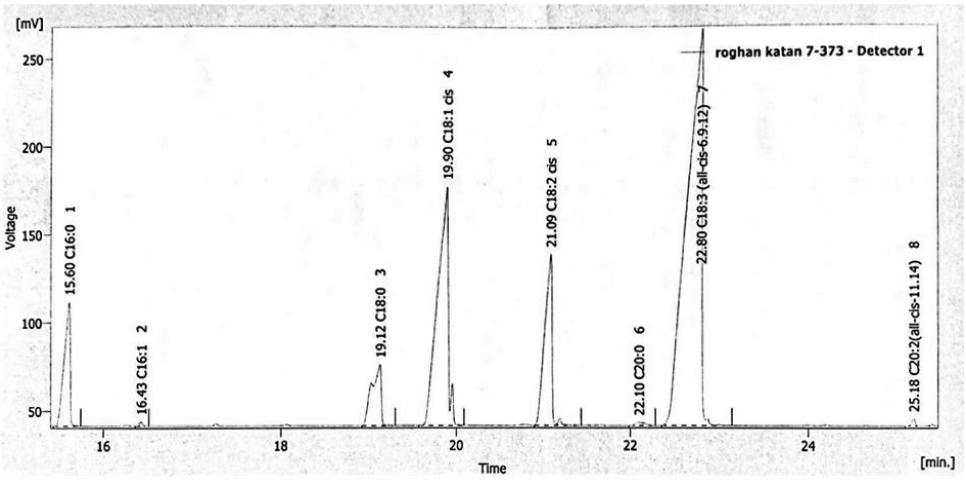
در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک‌اند، تفاوت معنی‌داری از لحاظ آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن ندارند (α=۰/۰٥).
تیمارها: ASA1 (غلظت ٥۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)، ASA2 (غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)، ASA3 (غلظت ۱٥۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)؛ BA1 (غلظت ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید)، BA2 (غلظت ٦ گرم در لیتر بوریک‌اسید)، BA3 (غلظت ۹ گرم در لیتر بوریک‌اسید)؛ U1 (غلظت ٥ گرم در لیتر اوره)، U2 (غلظت ۱۰ گرم در لیتر اوره)، U3 (غلظت ۱٥ گرم در لیتر اوره)

نتایج

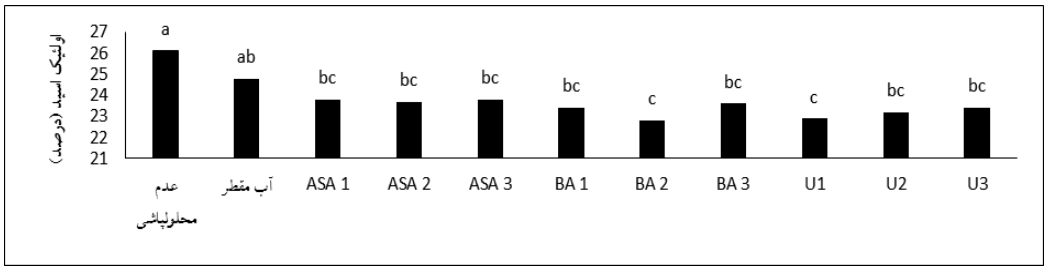
تجزیه فیتوشیمیایی روغن کتان توسط دستگاه کروماتوگراف گازی تحت تأثیر تیمارهای اعمال شده نشان داد نوع اسیدچرب تشکیل دهنده روغن کتان در تیمارهای مختلف یکسان بوده و تنها در درصد اسیدهای چرب تفاوت مشاهده شد. اسیدهای چرب شناسایی شده عبارت بودند از پالمیتولئیک‌اسید ($C_{16:1}$)، ایکوزادی‌انوئیک‌اسید ($C_{20:2}$)، آراشیدیک‌اسید ($C_{20:0}$)، اولئیک‌اسید ($C_{18:1}$)، لینولئیک‌اسید ($C_{18:2}$)، آلفالینولنیک‌اسید ($C_{18:3}$)، استئاریک‌اسید ($C_{18:0}$) و پالمیتیک‌اسید ($C_{16:0}$)؛ که به دلیل اهمیت بسیار زیاد امگا-۳ منحنی حاصل از کروماتوگرافی گازی نمونه محلول‌پاشی شده توسط ٥۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب خورشید که بیشترین اثر را بر این ترکیب نشان داد در شکل ۱ ارائه گردید. در ادامه تأثیر تیمارهای اعمال شده بر هر یک از اسیدهای

چرب به‌صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است.

اولئیک‌اسید: در تجزیه آماری بین عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید محلول‌پاشی شده، تمام غلظت‌های سالیسیلیک‌اسید، غلظت ۱۰ و ۱۵ گرم در لیتر اوره و غلظت ۳ و ۹ گرم در لیتر بوریک‌اسید به دلیل تفاوت ناچیز درصد اولئیک‌اسید در یک کلاس قرار گرفتند اما از لحاظ عددی بیشترین مقدار این اسید چرب ضروری که نقش مهمی در بیوسنتز اسیدهای چرب دارد ۲۳/۸ درصد در محلول‌پاشی غلظت ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید و کمترین درصد با مقدار ۲۲/۸ درصد در محلول‌پاشی با غلظت ٦ گرم در لیتر بوریک‌اسید حاصل شد (شکل ۲).



شکل ۱: نمونه‌ای از کروماتوگرام ارزیابی و تشخیص اسیدهای چرب روغن کتان تحت تیمار محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید



شکل ۲: مقایسهٔ میزان اولئیک اسید در محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید، بوریک اسید و اوره

حروف غیرمشابه، بیان‌کنندهٔ اختلاف معنی‌دار براساس آزمون مقایسه میانگین چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵ درصد است.

تیمارها: ASA1 (غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)، ASA2 (غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)، ASA3 (غلظت ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید)؛ BA1 (غلظت ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید)، BA2 (غلظت ٦ گرم در لیتر بوریک‌اسید)، BA3 (غلظت ۹ گرم در لیتر بوریک‌اسید)؛ U1 (غلظت ۵ گرم در لیتر اوره)، U2 (غلظت ۱۰ گرم در لیتر اوره)، U3 (غلظت ۱۵ گرم در لیتر اوره)

آلفالینولنیک‌اسید: بررسی غلظت‌های مختلف هر یک از عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید به صورت جداگانه در دو زمان قبل از طلوع و بعد از غروب نشان داد بین عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید محلول‌پاشی شده، سالیسیلیک‌اسید و بوریک‌اسید نسبت به اوره تأثیر بیشتری بر درصد آلفالینولنیک‌اسید داشتند. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب بهترین تیمار محلول‌پاشی گیاه کتان جهت به‌دست آوردن بالاترین مقدار آلفالینولنیک‌اسید در روغن کتان می‌باشد. به‌طوریکه بالاترین درصد آلفالینولنیک‌اسید در محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید

بعد از غروب (۵۰/۵٤ درصد) با افزایش ۸/۵ درصدی نسبت به عدم محلول‌پاشی و پایین‌ترین درصد در محلول‌پاشی ۱۵ گرم در لیتر اوره بعد از غروب (٤۹/۱۳ درصد) با افزایش حدود ۵/٤ درصدی نسبت به عدم محلول‌پاشی حاصل شد. محلول‌پاشی بعد از غروب سالیسیلیک‌اسید با افزایش غلظت سیر نزولی درصد آلفالینولنیک را نشان داد. تمامی غلظت‌های بوریک‌اسید بعد از غروب باعث افزایش درصد آلفالینولنیک نسبت به تیمارهای شاهد گردید و محلول‌پاشی ٦ گرم در لیتر بعد از غروب بالاترین درصد آلفالینولنیک‌اسید را بین غلظت‌های مختلف بوریک‌اسید نشان داد. با افزایش غلظت اوره بعد از غروب از غلظت ۵ به ۱۰ گرم در لیتر میزان آلفالینولنیک افزایش یافت (جدول ٤).

پالمیتولئیک‌اسید: براساس نمودار مقایسه میانگین، بین عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید، محلول‌پاشی غلظت ۵ گرم در لیتر اوره (۰/۱۷٦ درصد) بعد از غروب، غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید (۰/۱۷ درصد) و غلظت ۵ گرم در لیتر اوره (۰/۱٦٦ درصد) قبل از طلوع به ترتیب اثر افزایشی را بر درصد پالمیتولئیک‌اسید نشان دادند. محلول‌پاشی تمامی غلظت‌های بوریک‌اسید قبل از طلوع باعث افزایش درصد پالمیتولئیک‌اسید نسبت به تیمارهای شاهد شد و افزایش غلظت بوریک‌اسید سیر نزولی در درصد پالمیتولئیک‌اسید نشان داد (جدول ٤).

لینولئیک‌اسید: افزایش درصد لینولئیک‌اسید به‌ترتیب توسط غلظت ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید بعد از غروب (۱۲/۷۸درصد) و غلظت ۱۵ گرم در لیتر اوره بعد از غروب (۱۲/٦۷ درصد) نسبت به عدم محلول‌پاشی و سایر ترکیبات حاصل شد. افزایش غلظت بوریک‌اسید و کاهش غلظت اوره روند نزولی درصد لینولئیک‌اسید را نشان داد به‌طوری‌که نسبت به تیمارهای شاهد نیز درصد لینولئیک‌اسید کاهش یافت. در مقایسه با تیمارهای شاهد محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب کمتر از تیمارهای شاهد بر درصد لینولئیک اثرگذار بود با این حال می‌توان گفت غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب باعث افزایش لینولئیک‌اسید نسبت به سایر غلظت‌های سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب می‌شود. محلول‌پاشی ۱۵ گرم در لیتر اوره بعد از غروب نسبت به عدم محلول‌پاشی درصد لینولئیک‌اسید را افزایش داد اما محلول‌پاشی آب مقطر بعد از غروب نسبت به آن درصد بیشتری داشت. با مقایسه درصد لینولئیک در مقابل محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اوره می‌توان گفت افزایش غلظت اوره بعد از غروب باعث افزایش درصد لینولئیک می‌گردد. غلظت ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید بعد از غروب بالاترین درصد لینولئیک را نسبت به عدم محلول‌پاشی و سایر غلظت‌های بوریک‌اسید، اوره و سالیسیلیک‌اسید داشت و با افزایش غلظت بوریک‌اسید بعد از غروب از ۳ به ۹ گرم در لیتر درصد لینولئیک کاهش یافت (جدول ٤).

ایکوزادی‌انوئیک‌اسید: مقایسه میانگین اثر متقابل زمان در محلول‌پاشی بر ایکوزادی‌انوئیک‌اسید نشان داد که محلول‌پاشی آب مقطر قبل از طلوع نسبت به عدم محلول‌پاشی درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید را افزایش داد که این نشان دهنده تأثیر مثبت محلول‌پاشی بر درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید است. بیشترین درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید (۰/۲۵) در محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید قبل از طلوع و بعد از آن با اختلاف جزئی در محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید و غلظت ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید بعد از غروب حاصل گردید. غلظت ۱۰ گرم در لیتر اوره قبل از طلوع نسبت به عدم محلول‌پاشی منجر به افزایش ایکوزادی‌انوئیک‌اسید شد. مابقی غلظت محلول‌ها در

طلوع نسبت به تیمارهای شاهد اثر افزایشی نداشتند. هرچند محلول‌پاشی بعد از غروب بر ایکوزادی‌انوئیک‌اسید معنی‌دار نشده است اما غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید و غلظت ۱۰ گرم در لیتر اوره نسبت به تیمارهای شاهد محلول‌پاشی بعد از غروب نیز باعث افزایش درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید شده است. هیچ‌یک از غلظت‌های بوریک‌اسید قبل از طلوع نسبت به تیمارهای شاهد اثر مثبت بر درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید نشان نداد (جدول ٤).

اسیدهای چرب اشباع: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید در دو زمان قبل از طلوع و بعد از غروب بر کیفیت اسیدهای چرب اشباع، عدم معنی‌داری تیمارهای اعمال شده بر اسیدهای چرب اشباع از جمله استئاریک‌اسید و پالمیتیک‌اسید و معنی‌داری آراشیدیک‌اسید تحت تأثیر برهم‌کنش زمان × محلول‌پاشی در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۳). در بین تیمارهای اعمال شده محلول‌پاشی ۱۵ گرم در لیتر اوره قبل از طلوع بالاترین درصد آراشیدیک‌اسید حاصل شد که در مقایسه با عدم محلول‌پاشی حدود ۲٦ درصد و آب‌مقطر حدود ۱۰/۸ درصد افزایش یافت. افزایش درصد آراشیدیک‌اسید در محلول‌پاشی اوره، بوریک‌اسید و سالیسیلیک‌اسید قبل از طلوع در مقایسه با تیمار عدم محلول‌پاشی مشاهده شد. غلظت ۵ گرم در لیتر اوره قبل از طلوع و غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید قبل از طلوع به یک میزان باعث افزایش درصد آراشیدیک نسبت به تیمارهای شاهد شد. سایر غلظت‌های سالیسیلیک‌اسید و اوره قبل از طلوع در مقایسه با تیمارهای شاهد باعث افزایش درصد آراشیدیک نسبت به عدم محلول‌پاشی گردید. بین غلظت‌های به‌کار برده شده بوریک‌اسید محلول‌پاشی ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید قبل از طلوع تأثیر بیشتری بر افزایش درصد آراشیدیک داشت (جدول ٤).

بحث

مطابق با نتایج بسیاری از پژوهش‌ها در معرفی روغن کتان به عنوان غنی‌ترین منبع امگا-۳ بین دانه‌های روغنی (Ghobadi et al., 2021) و با مشاهده درصد پروفایل اسیدهای چرب در نتایج مقایسه میانگین این پژوهش نیز مشخص گردید آلفالینولنیک‌اسید (C18:3)، اسید چرب غالب نمونه‌های روغن کتان می‌باشد. بررسی‌های مقایسه میانگین درصد اسیدهای چرب روغن کتان در این آزمایش از زیاد به کم به ترتیب شامل آلفالینولنیک‌اسید، اولئیک‌اسید، لینولئیک‌اسید، آراشیدیک‌اسید، ایکوزادی‌انوئیک‌اسید و پالمیتولئیک‌اسید می‌باشد که هر یک تحت تأثیر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید در زمان‌های مختلف طول روز واکنش متفاوتی را نشان دادند. نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اعمال محلول‌پاشی در دو زمان قبل از طلوع و بعد از غروب خورشید در جدول شماره سه نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در گروه اسیدهای چرب ضروری برهم‌کنش زمان × محلول‌پاشی بر آلفالینولنیک‌اسید، ایکوزادی‌انوئیک‌اسید و پالمیتولئیک‌اسید در سطح یک درصد و لینولئیک‌اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. اثر تیمارهای اعمال شده بر ترکیبات اسیدچرب روغن کتان بسیار متنوع و متفاوت بود. به‌این صورت‌که بر اساس نتایج مقایسه میانگین مؤثرترین تیمار در اثر برهم‌کنش زمان × محلول‌پاشی بر درصد آلفالینولنیک‌اسید ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب، لینولئیک‌اسید ۳ گرم در لیتر بوریک‌اسید بعد از غروب، ایکوزادی‌انوئیک‌اسید ۱۰۰

میلی‌گرم در لیتر سالیسیلیک‌اسید قبل از طلوع و پالمیتولئیک‌اسید ۵ گرم در لیتر اوره بعد از غروب بود (جدول ٤). طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر و با توجه به این‌که اکثر شرایط در زمان اعمال تیمار نمی‌توانند به‌طور کامل کنترل شوند (Motesharezade et al., 2016) می‌توان چنین استنباط کرد که یکی از دلایل تنوع در نتایج علاوه بر تأثیرات ژنوتیپ گیاه و شرایط آب و هوایی بر جذب عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید تأثیر شرایط اقلیمی، جوی و تغذیه طی رشد محصول است که سنتز اسیدهای چرب را نیز تحت تأثیر قرار داده و بر ترکیب اسیدهای چرب تأثیر می‌گذارد (Pettigrew, 2008). اثر افزایشی سالیسیلیک‌اسید بر اسیدهای چرب اشباع نشده توسط بسیاری از محققین تأیید شده است (Khani Basiri et al., 2017). این تأثیرگذاری مشابه نتایج به‌دست آمده توسط نورن و اشراف (Noreen and Ashraf, 2010) است که ذکر کردند سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش قابل توجه درصد برخی اسیدهای چرب اصلی و کاهش قابل توجه استئاریک‌اسید روغن آفتاب‌گردان می‌گردد. پالمتیک‌اسید و استئاریک‌اسید در مقایسه با اسیدهای چرب غیراشباع در تحقیق خانی‌بصیری و همکاران (Khani Basiri et al., 2017)، نیز روند معکوس نشان دادند. همچنین اثر افزایشی محلول‌پاشی سالیسیلیک‌اسید بر محتوای اولئیک‌اسید روغن آفتاب‌گردان توسط این محقق گزارش گردیده است. افزایش قابل توجه سطح اسیدهای چرب اشباع نشده کتان از جمله اولئیک‌اسید در معرض محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سالیسیلیک‌اسید در نتایج تحقیقات باکری و همکاران (Bakry et al., 2012) نیز گزارش شده است. در پژوهش حاضر محلول‌پاشی بعد از غروب سالیسیلیک‌اسید با افزایش غلظت سیر نزولی درصد آلفالینولنیک‌اسید را نشان داد. این نتایج با یافته‌های باکری و همکاران (Bakry et al., 2012)، هم‌خوانی دارد. در مطالعه پتیگرو (Pettigrew, 2008)، به نقش کلیدی تغذیه برگی بُر در کیفیت و ترکیب روغن از طریق تأثیر بر ساخت و متابولیسم کربوهیدرات‌ها به عنوان پیش‌ماده سنتز روغن و نیز تنظیم فعالیت‌های آنزیمی مؤثر در سنتز اسیدهای چرب، ساختار موادآلی و بهبود فتوسنتز اشاره شده است. در پژوهش حاضر افزایش غلظت بوریک‌اسید سیر نزولی بر درصد پالمیتولئیک‌اسید نشان داد و با افزایش غلظت بوریک‌اسید بعد از غروب از ۳ به ۹ گرم در لیتر درصد لینولئیک‌اسید کاهش یافت. در واقع فاصله کمی بین کمبود و سمیت بُر وجود دارد (Brdar-Jokanovic, 2020) که این سمیت سبب توقف فتوسنتز و پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (Motesharezade et al., 2016). در تحقیق حمیدی‌مقدم و همکاران (Hamidi Moghadam et al., 2010) مشخص گردید اسیدچرب اشباع نشده اولئیک در کدوی تخمه‌کاغذی تحت محلول‌پاشی بوریک‌اسید در سطح پنج درصد معنی‌دار است. هر چند در این آزمایش تیمارهای اعمال شده در مقایسه با محلول‌پاشی با آب‌مقطر و عدم محلول‌پاشی اثر کمتری بر افزایش درصد اولئیک‌اسید داشتند که دلیل این امر می‌تواند شرایط اقلیمی باشد. هیچ‌یک از غلظت‌های بوریک‌اسید قبل از طلوع نسبت به تیمارهای شاهد اثر مثبت بر درصد ایکوزادی‌انوئیک‌اسید نشان ندادند در تحقیق حمیدی‌مقدم و همکاران (Hamidi Moghadam et al., 2010)، نیز محلول‌پاشی بوریک‌اسید بر کدوی تخمه کاغذی به غیر از اولئیک‌اسید بر روی سایر اسیدهای چرب اثر معنی داری نداشت. اثر زمان محلول‌پاشی بر اولئیک‌اسید معنی‌دار نشد اما با این حال کمتر بودن درصد این اسیدچرب اشباع‌نشده را در مقایسه با تیمارهای شاهد می‌توان به شرایط آب و

هوایی نسبت داد. اثرات دما بر روی اسیدهای چرب قبلاً بررسی شده است. به عنوان مثال سنتز اسید چرب لینولنیک تحت شرایط آب و هوایی گرم در فصل برداشت کاهش می‌یابد (García-Inza et al., 2018) زیرا تحت شرایط آب و هوایی گرم آنزیم سازنده اسید چرب لینولنیک غیرفعال می‌گردد (Rahimi and Nourmohammadi, 2010). بسیاری از گزارش‌ها حاکی از آن است که سرما و گرما می‌تواند بر ترکیب اسیدهای چرب در کلزا و به‌خصوص محتوای لینولنیک‌اسید تأثیر بگذارد (Baux et al., 2013). بن‌عاری و همکاران (Ben-Ari et al., 2021) نیز به نگران کننده بودن تأثیر درجه حرارت بالای محیط بر عملکرد و کیفیت روغن زیتون اشاره کرده است.

در این پژوهش، محلول‌پاشی پس از رسیدن گیاه به مرحله گل‌دهی از اواخر خرداد آغاز و تا اواسط تیر در سه دوره با فاصله ۱۰ روز در دو زمان قبل از طلوع خورشید (ساعت ۰۵:۳۰) و بعد از غروب خورشید (ساعت ۱۸:۰۰) انجام شد. همان‌طور که در جدول میانگین پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی منطقه میانه طی فصل رشد مشاهده شد (جدول ۱)، میانگین دمای هوا در طول دوره رشد گیاه ۲۲/۵۷ درجه سلسیوس بود. بدین صورت‌که از اوایل رشد گیاه (اردیبهشت) تا زمان پر شدن دانه (مرداد) افزایش دما (از ۱۸/۷ به ۲۹ درجه سلسیوس) و در زمان برداشت (شهریور) دما رو به کاهش (۲۵/۹ درجه سلسیوس) گزارش شده است. بررسی اثر درجه حرارت بر روی میزان درصد اسیدهای چرب کتان توسط گرین (Green, 2000) نشان داد مصادف شدن زمان گل‌دهی و دانه بستن کتان با درجه حرارت بالا متفاوت بودن کیفیت روغن از نظر ترکیبات اسیدهای چرب را در پی دارد. در تحقیق خواجه‌پور (Khajehpour, 2010)، ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس به عنوان دمای مطلوب جهت رشد کتان تعیین شده است. این محقق با بحث در مورد نتایج مطالعه خود بیان کرد هوای خشک و حرارت‌های بیش از ۲۰ درجه سلسیوس، به‌خصوص طی دوران پرشدن دانه، درصد و کیفیت روغن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش میانگین دمای هوا در محلول‌پاشی صبح (ساعت ۰۵:۳۰)، ۱۶-۱۷ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد و در محلول‌پاشی غروب (ساعت ۱۸:۰۰)، ۲۶-۲۷ درجه سلسیوس با رطوبت نسبی حدود ۳۰ درصد بود. بنابراین در غروب به دلیل دمای بالاتر هوا و رطوبت نسبی پایین‌تر جذب عناصر غذایی نسبت به طلوع عملاً باید کمتر باشد که در خصوص محلول‌پاشی نیتروژن چنین نتیجه‌ای مشاهده شد. تأثیر رطوبت نسبی را نیز نمی‌توان نادیده گرفت. افزایش رطوبت نسبی بر افزایش نفوذ اوره به کوتیکول تأثیرگذار است. بر این اساس می‌توان ادعا کرد که محلول‌پاشی گیاهان با نیتروژن باعث افزایش تعداد و اندازه روزنه در برگ‌ها و در نتیجه، هدایت روزنه‌ای برگ‌ها می‌شود. از طرف دیگر، رابطه مستقیمی که بین هدایت روزنه‌ای برگ‌ها و شدت تعرق و فتوسنتز آن‌ها وجود دارد این واقعیت را تأیید می‌کند که دی‌اکسیدکربن از طریق مسیری که بخارها از برگ خارج می‌شوند به پارانشیم جذب کننده نفوذ می‌کند (Borowski and Michałek, 2008). سبک‌روفومنی و همکاران (Sabokroofoomani et al., 2020)، محلول‌پاشی در زمان صبح را به دلیل تبخیر کمتر محلول در زمان صبح و سرعت نفوذ بیشتر به درون بافت‌ها توصیه می‌کنند. رطوبت در درجه اول از طریق تأثیر آن بر اندازه قطره و ماندگاری محلول در سطح برگ، بر جذب محلول‌پاشی تأثیر می‌گذارد. همچنین باعث تغییر ترکیب کوتیکول برگ و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود و تأثیرات مستقیمی بر روی فیزیولوژی برگ و فرآیندهای انتقال دارد

(Fernández et al., 2013). در تحقیقات متعددی به وضوح دیده شده که درجه حرارت هوا بر کل فعالیت متابولیکی برگ‌های گیاه تأثیر دارد (Jakovljevic et al., 2021). طبق گفته‌های رید و توکی (Reed and Tukey, 1982)، در شرایط دمای بالای هوا عناصر موم اپیکتیکولاریک پیکربندی عمودی به خود می‌گیرند و باعث کاهش پوشش سطح برگ و در نتیجه افزایش جذب عناصر معدنی می‌شود، این موضوع توسط استور و گرین (Stover and Greene, 2005) نیز با استناد به تنظیم کننده‌های رشد تأیید می‌شود. در این پژوهش دمای هوا در ساعت محلول‌پاشی صبح نسبت به غروب پایین‌تر اما رو به افزایش بوده است در حالی‌که در ساعات بعد از محلول‌پاشی غروب دما کم‌کم کاهش پیدا کرده است. این‌که دما در مدت زمان لازم برای جذب مواد محلول‌پاشی شده بالا یا پایین بوده است بر جذب عناصر تأثیرگذار است (Mahmoodi Sourestani, 2016). در تحقیق اوربوویک و همکاران (Orbovic et al., 2001)، در چهار تا شش ساعت اولیه محلول‌پاشی اوره درصد جذب بالاتری داشته و این در شرایطی بوده است که دمای هوا در ساعات اولیه از ۱۹ درجه سلسیوس شروع به افزایش کرده و زمانی که به ۳۸ درجه سلسیوس رسیده جذب هیچ افزایشی نشان نداده است. نتایج مشابهی در تحقیق بوروسکی و میشالک (Borowski and Michałek, 2008)، نیز دیده می‌شود طبق گزارش این محقق، استفاده از نیتروژن در دمای هوا ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین تأثیر مثبت را در روند تبادل گاز یعنی هدایت روزنه‌ای، فتوسنتز، تعرق و کمترین در دمای ۵ درجه سلسیوس دارد. با گزارش نتایج سایر پژوهشگران در تحقیق اوربوویک و همکاران (Orbovic et al., 2001)، می‌توان گفت تغییرات نور، دما و رطوبت در طول روز روی وضعیت روزنه‌ای و میزان دی‌اکسیدکربن درونی برگ و همچنین آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز اثر می‌گذارند. تحقیقات روی گیاهان نشان داده که دمای مناسب برای فتوسنتز ۲۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد و افزایش دمای سطح برگ بیشتر از دامنه ذکر شده، باعث کاهش فتوسنتز می‌شود. در محلول‌پاشی غروب بالا رفتن حرارت افزایش تنفس را در پی دارد در نتیجه مواد فتوسنتز شده در تنفس مصرف گشته و درصد کمتری از مواد ساخته شده کربوهیدرات تبدیل به روغن جهت ذخیره در گیاه می‌گردد (Saeidi, 2002). این‌که در این پژوهش آلفالینولنیک تحت تأثیر سالیسیلیک‌اسید بعد از غروب بیشترین درصد را داشته می‌تواند به دلیل اثر سالیسیلیک‌اسید در راستای بالابردن توان گیاه در تعدیل اثرات نامطلوب محیطی غیرزیستی باشد. اسید چرب لینولئیک در محلول‌پاشی بوریک‌اسید بعد از غروب بیشترین درصد را داشته است. این در حالی است که دمای هوا در ساعت محلول‌پاشی غروب نسبت به طلوع بالاتر و رطوبت نسبی کاهش یافته است. فرناندز و همکاران (Fernández et al., 2012)، در این خصوص گزارش‌های مختلفی را در پژوهش خود ارائه داد که در بین آن‌ها افزایش جذب توسط برگ‌ها در دمای بالا در چندین گونه ثبت شده است.

نتیجه‌گیری نهایی

از نکات اولیه قابل توجه در انتخاب زمان محلول‌پاشی, باز و بسته بودن روزنه‌ها است در واقع برای حداکثر جذب توسط روزنه، باید از اسپری‌های مغذی هنگام باز شدن روزنه‌ها استفاده شود. از آن‌جا که روزنه در شب و در اواسط روز بسته می‌شود، بهتر است محلول‌پاشی در صبح زود که رطوبت نسبی بالاتر و تبخیر محلول نیز کمتر است انجام شود زیرا در این حالت فرصت بیشتری برای جذب حداکثر فراهم می‌شود. نور، رطوبت و دما می‌توانند از طریق

تأثیر مستقیم بر محلول اسپری شده قبل از جذب برگ و یا تأثیر بر روند رشد برگ و تغییر فتوسنتز، باز شدن روزنه‌ها، تنفس، توسعه برگ و فعالیت آن از طریق تغییر انرژی و دسترس بودن متابولیت‌ها برای جذب و انتقال مواد، جذب عناصر غذایی و سالیسیلیک‌اسید محلول‌پاشی شده را تحت تأثیر قرار دهد.

با توجه به مطالب گفته شده در نهایت می‌توان گفت ترکیبی از اثرات محیط بر گیاه قبل و حین محلول‌پاشی و فیزیولوژی گیاه در هنگام جذب و پس از جذب است که میزان تأثیر ماده محلول‌پاشی شده را تعیین کند. انتخاب زمان بهینه از روز با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و نوع ماده منتخب جهت محلول‌پاشی امری ضروری به نظر می‌رسد که برای هر گیاه باید به صورت جداگانه بررسی و به صورت دستورالعمل به جهادکشاورزی و مراکز مرتبط با ترویج کشاورزی ارائه گردد. از آن‌جا که میزان اسیدهای چرب مختلف در روغن بذر کتان تحت عوامل مختلف محیطی و آب و هوایی هستند لذا تحقیق و بررسی جهت تعیین شرایط و عواملی که سبب افزایش یا کاهش هر یک از اسیدهای چرب گشته و در نهایت منجر به تولید دانه‌های روغنی مطلوب‌تر می‌شود، پیشنهاد می‌گردد.

References

1. Andronie, L., Pop, I.D., Sobolu, R., Diaconeasa, Z., Truţă, A., Cristina, H. and Ancuta R. 2021. Characterization of flax and hemp using spectrometric methods. Applied Sciences, 11(18):8341.
2. Bakry, B.A., El-Hariri D.M., Sadak, M. and El-Bassiouny, H.M.S. 2012. Drought stress mitigation by foliar application of salicylic acid in two linseed varieties grown under newly reclaimed sandy soil. Journal of Applied Sciences Research, 8(7): 3503-3514.
3. Baux, A., Colbach, N., Allirand, J.M., Jullien, A., Ney, B. and Pellet, D. 2013. Insights into temperature effects on the fatty acid composition of oilseed rape varieties. European Journal of Agronomy, 49: 12–19.
4. Borowski, E. and Michałek, S. 2008. The effect of nitrogen form and air temperature during foliar fertilization on gas exchange, the yield and nutritive value of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Folia Horticulturae Journal, 20(2): 17-27.
5. Brdar-Jokanovic, M. 2020. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. International Journal of Molecular Sciences, 21(4): 1424.
6. Bunga, A.P. and Patlolla, P.R. 2020. Linseed (*Linnum usitatissimum* L.) an oilseed crop with potential to be used in many ways: review article. Acta Scientific Agriculture, 4(10): 42-46.
7. Ezati, N., Maleki, A. and Fathi, A. 2020. Effect of drought stress and spraying of gibberellic acid and salicylic acid on the quantitative and qualitative yield of Canola (*Brassica napus*). Journal of Plant Environmental Physiology, 14(56): 96-109. (in Persian).
8. Fernández, V., Sotiropoulos, T. and Brown, P. 2012. Foliar fertilization scientific principles and field practices. International Fertilizer Industry Association (IFA) Paris, France, p: 53-70.
9. Ganjineh, E., Babaii, F., Mozafari, A., Heydari, M. and Naseri, R. 2019. Effect of urea, compost, manure and bio-fertilizers on yield, percentage and composition of fatty acids of sesame seed oil (*Sesamum indicum* L.). Journal of Cellular and Molecular Biology (Noisy-le-Grand, France), 65(5): 64-72.
10. García-Inza, G.P., Hall, A.J. and Rousseaux, M.C. 2018. Proportion of oleic acid in olive oil as influenced by the dimensions of the daily temperature oscillation. Scientia Horticulturae, 227: 305–312.
11. Ghobadi, R., Rostami Ahmadvandi, H., Zeinodini, A. and Akbarabadi, A. 2021. Nutritional properties and benefits of camelina oil and meal. Agrotechniques in Industrial Crops, 1(2): 71-76.

12. Green, A. 2000. Variation for oil quantity and quality in linseed. Australian Journal of Agricultural Research, 32(4): 599-607.
13. Harper, C.R., Edwards, M.J., DeFilipis, A.P. and Jacobson, T. 2006. Flaxseed oil increases the plasma concentrations of cardioprotective (n–3) fatty acids in humans. The Journal of Nutrition, 136(1): 83-87.
14. Hamidi Moghadam, A., Fakhr Tabatabai, S.M. Kashi, A. and Omidbegi, R. 2010. The effect of boric acid foliar application on the amount of boron accumulated in the seeds and some active compounds of pumpkin (*Cucurbita pepo* subsp. Pepo var. Styriaca). National Conference on Medicinal Plants, Sari, Academic Jihad, Mazandaran Branch. (in Persian).
15. Izadi, Z. and Tadayoun, M.R. 2015. Effect of salicylic acid and spermine on yield and yield components of castor seed (*Ricinus communis* L.) under drought stress conditions. Journal of Environmental Stresses in Crop Science, 8(2): 167-159. (in Persian).
16. Jakovljevic, D., Momcilovic, J., Bojovic, B., and Stankovic, M. 2021. The Short term metabolic modulation of basil (*Ocimum basilicum* L. cv. 'Genovese') after exposure to cold or heat. Plants, 10: 590.
17. Khajehpour, M. 2010. Industrial plants. University Jihad, Isfahan Branch. Chapter 9, p: 300-280. (in Persian).
18. Khani Basiri, H., Sedghi, M. and Seyed Sharifi, R. 2017. Effect of salicylic acid on the quality of edible oil and fatty acids composition in different regions of sunflower (*Helianthus annuus* L.) heads. Iranian Journal of Plant Physiology, 8(1): 2285-2292.
19. Motesharezade, B., Rezaezadeh, S. and Fekri, M. 2016. The effect of nitrogen application on Boron toxicity reduction in pistachio (*Pistacia vera* cv. Badami-Zarand Saplings). Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology), 30(2): 472-483. (In Persian).
20. Mahmoodi Sourestani, M. 2016. The study on diurnal changes in leaf gas exchange of lemon balm, Catnip, Holy basil and Sweet basil in Ahvaz. Journal of Horticultural Science, 30(3): 395-405.
21. Mishra, D.K. and Awasthi, H. 2021. Quality evaluation of flaxseed obtained from different locations. Biology and Life Sciences Forum, 4(1):70.
22. Noreen, S. and Ashraf, M. 2010. Modulation of salt (NaCl)-induced effects on oil composition and fatty acid profile of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by exogenous application of salicylic acid. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(15): 2608-2616.
23. Orbovic, V., Achor, D., Petracek, P. and Syvertsen, J.P. 2001. Air temperature, humidity, and leaf age affect penetration of Urea through grapefruit leaf cuticles. Journal of the American Society for Horticultural Science, 126(1): 44–50.
24. Patil, B. and Chetan, H.T. 2018. Foliar fertilization of nutrients. Marumegh, 3(1): 49-53.
25. Parwaiz Alam, Md., Menka, K., Sulochna, Md., Naiyar, A. and Lakra, R.K. 2020. Effect of zinc and boron on uptake, yield and quality of linseed *(Linum usitatissimum* L.). International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(12): 3512-3519.
26. Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiology Plant, 133: 670-681.
27. Piva, G.S., Weschenfelder, T.A., Franceschi, E., Cansian, R.L., Paroul, N. and Steffens, C. 2018. Linseed (*Linum usitatissimum*) oil extraction using different solvents. Food Technology and Biotechnology, 56(3): 366–372.
28. Rahimi, M. and Nourmohammadi, G. 2010. Effects of planting date and different nitrogen level on linseed (*Linum usitatissimum*). Crop Production in Environmental Stress, 2(1-2(serial 4)): 11-22. (In Persian).
29. Rasouli, D., Solouki, M., Fakheri, B.A. and Esmaeilzadeh Bahabadi., S. 2014. The effect of manganese and salicylic acid on gene expression of Menthone reductase and menthol content in *Mentha piperita*. Genetic Engineering

and Biosafety Journal, 3(1): 1-8. (in Persian).

30. Reed, D.W. and Tukey, H.B.J.R. 1982. Light intensity and temperature effects on epicuticular wax morphology and internal cuticle ultrastructure of carnation and Brussels sprouts leaf cuticles. Journal of the American Society for Horticultural Science, 107: 417-420.
31. Rojo, J., Orlandi, F., Ben Dhiab, A., Lara, B., Picornell, A., Oteros, J., Msallem, M., Fornaciari, M. and Pérez-Badia, R. 2020. Estimation of chilling and heat accumulation periods based on the timing of olive pollination. Forests, 11: 835.
32. Stover, E.W. and Greene, D.W. 2005. Environmental effects on the performance of foliar applied plant growth regulators: a review focusing on tree fruits. Hort Technology, 15(2): 214-221.
33. Sabokroofoomani, K., Safarzadeh, M., Ranjbarchoobeh, M., Daneshian, J. and Sabokroofoomani, K. 2020. Effect of time and values of methanol foliation on growth and yield of Coker 347 type tobacco. New Findings in Agriculture, 4(3(15)): 217-229. (in Persian).
34. Saeidi, G. 2002. Effect of seeding date on seed yield and yield components in edible oil genotypes of flax in Isfahan. Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 6(3): 175-187. (in Persian).
35. Tadesse, T., Singh, H. and Weyessa, B. 2009. Correlation and pathccoefficient analysis among seed yield traitsand oil content in ethiopian linseed germplasm. International Journal of Sustainable Crop Production, 4: 8-16.

Evaluation of quantity and quality of *Linum usitatissimum* L. fatty acids under the influence of boric acid, salicylic acid, and urea foliar application during the day

Pouyanfar, M.[1], Mohebalipour, N.[2], Nourafcan, H.[3]*, Faramarzi, A.[2]

[1]PhD student, Department of Horticulture, Physiology and Cultivation of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

[3]Assistant Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran

Received: 28-8-2021; Accepted:30-10-2021

Abstract

Linum usitatissimum L. is one of the most important oilseed crops in the world and moreover, its oil is a valuable source of essential fatty acids composed of omega-3 such as alpha-linolenic acid. This plant is sensitive to fertilizer that is poured near the stem. Therefore, foliar application of nutrients is used as an efficient method with a major impact on the growth, quantity and quality of active ingredients in this product. This factorial experiment was performed based on a randomized complete block design with three replications in the Medicinal Plants Research Farm of Islamic Azad University, Miyaneh Branch, during 2019 to assess the effect of foliar application of different concentrations of boric acid, salicylic acid and urea at different hours of the day on increasing the quantity and quality of essential fatty acids. Treatments were applied at ten-day intervals in three periods after the beginning of flowering and the final harvest was performed to extract the oil with N-hexane solvent after capsule maturity. The percentage of fatty acid profile of flaxseed oil were determined using GC and GC-MS connected to mass spectrometer. Based on the results, the foliar application 50 mg/l salicylic acid on the percentage of alpha-linolenic acid and 3 liters of boric acid on linoleic acid after sunset, and 100 mg/l salicylic acid on eicosadienoic acid before sunrise and 5 g/l urea on palmitoleic acid after sunset were effective. Therefore, a combination of environmental effects on the plant before and during foliar application and plant physiology during and after uptake determines the effect of foliar application.

Keywords:Alpha-linolenic acid, Foliar application, *Linum usitatissimum* L. , N-hexane, Nutrients.

*Corresponding author; hassannourafcan@gmail.com