

تأثیر کاربرد برگی متانول بر عملکرد و شاخص‌های ریخت‌شناسی کنجد (*Sesamum indicum* L.)حمید مقبلی^{۱*}، احمد غلامی^۲، محمدرضا امریان^۳ و حمید عباس دخت^۴

۱. دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه صنعتی شاهرود

۲، ۳ و ۴. دانشیاران گروه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه صنعتی شاهرود

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۰۳)

چکیده

به منظور بررسی اثر غلظت (صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد) و زمان محلول‌پاشی متانول (قبل از گلدهی و بعد از گلدهی) بر خصوصیات زراعی و ریخت‌شناسی کنجد، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت در سال ۱۳۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت متانول، به طور معنی‌داری تمام صفات مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داد، به گونه‌ای که بیشترین و کمترین میانگین بدست آمده، به ترتیب مربوط به غلظت ۴۰ درصد و شاهد بود. اثر زمان محلول‌پاشی نیز بر قطر ساقه اصلی، تعداد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه معنی‌دار بود و بیشترین و کمترین میانگین صفات، به ترتیب در مرحله قبل و بعد از گلدهی بدست آمد. اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی بر شاخص سطح برگ، تعداد برگ، تعداد کپسول، تعداد و طول شاخه‌های فرعی، ارتفاع بوته، وزن خشک و عملکرد دانه معنی‌دار شد. بیشترین میانگین این صفات، در محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و در مرحله قبل از گلدهی بدست آمد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که متانول، با افزایش غلظت CO₂، سبب افزایش میزان و کارایی فتوسنتز شد و تا حدود زیادی خصوصیات زراعی و ریخت‌شناسی کنجد را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، محلول‌پاشی، مرحله گلدهی، وزن خشک.

Effect of methanol foliar application on yield and morphological characteristics of sesame (*sesamum indicum*.L).Hamid Moqbeli^{1*}, ahmad Qolami², mohammad reza Ameriyan³ and Hamid Abas dokht⁴

1. Ph.D. Candidate of Crop Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, shahrood university of Technology, shahrood Iran (Corresponding author)

2,3 and 4. Associate Professors, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, shahrood university of Technology, shahrood Iran,

(Received: August 20, 2017- Accepted: December 24, 2017)

ABSTRACT

To evaluate the effects of methanol concentration (0, 20, 40 and 60% v/v) and application time (before and after flowering) on yield and some morphological characteristics of sesame, a field experiment was performed at the research field of Jiroft University in 2016. Treatments were arranged in a factorial based on a randomized complete block design with four replications. Based on results, Methanol concentration had significant effects on all studied characteristics, so that the highest and lowest mean value was observed at 40% methanol concentration and control, respectively. Methanol spraying time significantly influenced the stem diameter, seed number, harvest index and 1000-seed weight, so that the highest and lowest means were obtained at before and after flowering stages, respectively. The interaction of methanol concentration and methanol spraying time were significant on leaf area index, leaf number, length branches, number of lateral branches, number of capsules, seed number, plant height, shoot dry weight and seed yield. The best treatment in this study was foliar application of 40% methanol concentration at pre-flowering stage. According to the results, it can be concluded that the use of methanol could greatly improve the yield, and morphological characteristics of sesame.

Keywords: Flowering stage, Foliar application, Leaf area index, Seed yield, Shoot dry weight.

* Corresponding author E-mail: h.moqbeli@yahoo.com

مقدمه

(Nonomura & Benson, 1992). در مسیر متابولیسم متانول به دی‌اکسیدکربن، ابتدا متانول به وسیله آنزیم متانول‌اکسیداز به فرمالدهید، آلدهید و فرمات (متانوئیک اسید) تبدیل می‌شود و در نهایت با اکسیداسیون فرمات توسط آنزیم فرمات دهیدروژناز، به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود. متابولیسم شدن متانول به دی‌اکسیدکربن، با افزایش غلظت درون سلولی دی‌اکسیدکربن، سبب برتری CO₂ در رقابت با O₂ در اتصال به رابیسکو می‌شود و در نهایت، کاهش تنفس نوری و افزایش فتوسنتز و عملکرد را به همراه دارد (Giese et al., 1994; Gout et al., 2000). یکی از عوامل موثر در سرعت نفوذ مواد به داخل گیاه، وزن مولکولی یا اندازه مولکولی ماده مورد نظر است. به دلیل کوچکتر بودن اندازه و وزن مولکولی متانول نسبت به دی‌اکسیدکربن (وزن مولکولی متانول ۳۲/۰۴ گرم برمول و وزن مولکولی دی‌اکسیدکربن ۴۴/۰۰ گرم بر مول است)، جذب آن توسط گیاه، با سهولت بیشتری انجام می‌شود. همچنین متانول، حلالیت بسیار بالایی در مواد لیپیدی غشاء دارد که سبب افزایش سرعت ورود آن به سلول‌های گیاهی می‌شود. حلالیت متانول در مواد لیپیدی غشاء، ۳۰ برابر بیشتر از اوره و سرعت ورود متانول به سلول‌های گیاهی، حدود ۳۰۰ برابر اوره است (Downie et al., 2004). مطالعات زیادی در مورد تاثیر متانول بر گیاهان مختلف انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که تاثیر متانول بر گیاهان مورد مطالعه، بستگی زیادی به غلظت، زمان استفاده، ریخت‌شناسی و گونه گیاه دارد. نتایج کاربرد برگی متانول توسط Zbiec et al. (2003) نشان داد که متانول با اکسیداسیون سریع به دی‌اکسیدکربن و با افزایش غلظت CO₂ درونی گیاه، سبب بهبود کارایی فتوسنتز و در نهایت، افزایش ۲۲-۱۶ درصدی عملکرد در سویا (*Glycine max*) شده است. این محققین، کاهش تنفس نوری در گیاهان تیمار شده با متانول را علت افزایش فتوسنتز می‌دانند. تاثیر محلول پاشی متانول در گیاهان مورد مطالعه، بیانگر افزایش عملکرد در گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، تنباکو

فتوسنتز، اساس تولید ماده خشک و عملکرد در گیاهان زراعی است (Faville et al., 1999). بیش از ۹۰ درصد وزن خشک گیاهان، ترکیبات کربن‌دار حاصل آسیمیلایسیون CO₂ در فرایند فتوسنتز است و افزایش زیست توده و عملکرد گیاهان، رابطه مستقیمی با میزان و کارایی فتوسنتز دارد (Makhdum et al., 2002; Nonomura & Benson, 1997). در گیاهان سه کربنه، ماده خشک تولید شده در واحد سطح، حاصل برآیند فتوسنتز ناخالص، تنفس نوری و تنفس تاریکی است. این گیاهان، به دلیل تنفس نوری، مقدار قابل توجهی از مواد حاصل از فتوسنتز خود را در طی چند ثانیه پس از تثبیت CO₂ از دست می‌دهند و اگر در شرایطی قرار گیرند که از تنفس نوری آن‌ها جلوگیری شود یا مقدار آن کاهش یابد، رشد این گیاهان، ۲۵ تا ۵۰ درصد افزایش خواهد یافت (Feibert, et al., 1995; Gout et al., 2000). ترکیبات کربن‌دار زیادی از جمله اتانول، متانول، پروپانول، بوتانول و اسیدهای آمینه مانند گلايسین و آسپارات، برای افزایش غلظت CO₂ درون برگی و در نتیجه، افزایش میزان و کارایی فتوسنتز گیاهان، مورد استفاده قرار گرفته اند (Ramberg et al., 2002). کارکرد اصلی این مواد، در تولید CO₂ بیشتر و برتری نسبت CO₂/O₂ در رقابت برای جذب توسط آنزیم رابیسکو و در نتیجه کاهش تنفس نوری است (Downie et al., 2004; Safarzade Vishkaei., 2007). مطالعات متعدد انجام شده بیانگر آن است که رشد و عملکرد گیاهان سه کربنه (C₃)، با محلول پاشی متانول افزایش می‌یابد و متانول می‌تواند به عنوان منبع کربن برای این گیاهان عمل کند (Hanson & Roje, 2001; Hemming et al., 1995; Makhdum et al., 2002). اولین مطالعات تاثیر متانول بر گیاهان نشان داد که کاربرد برگی متانول با غلظت ۱۰ تا ۵۰ درصد حجمی، می‌تواند سبب بهبود رشد و عملکرد در گیاهان زراعی سه کربنه شود. متانول با اکسید شدن به دی‌اکسیدکربن، ضمن کاهش هدر رفت کربن گیاه در فرایند تنفس نوری در شرایط گرما و نور شدید، سبب افزایش کارایی فتوسنتز و عملکرد می‌شود

CO₂ به برگ‌ها و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز می‌شود و از طرفی با افزایش میزان تنفس نوری، سبب خروج CO₂ و کاهش عملکرد در گیاهان سه کربنه شده است. محلول‌پاشی متانول، با افزایش CO₂ درون برگ و تاثیر بر نسبت CO₂/O₂، موجب افزایش کارایی فتوسنتز و عملکرد، در تعدادی از گیاهان سه کربنه شده است. تحقیق حاضر، با هدف بررسی تاثیر محلول‌پاشی متانول بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و عملکرد کنجد رقم هلیل (*Sesamum indicum* L. cv. Halil). در منطقه جیرفت انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات زراعی و ریخت‌شناسی کنجد، آزمایش مزرعه‌ای در خرداد ماه سال ۱۳۹۵، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت، با عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۶۵۶ متری از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی منطقه جیرفت، ۱۴۰ میلی‌متر است. سایر مشخصات هواشناسی منطقه در جدول یک ارائه شده است.

(*Nicotiana tabacum* L.) و آرابیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) است (Ramirez et al., 2006). در تحقیق دیگری، کاربرد برگ‌گی متانول با نسبت حجمی ۲۰ درصد، سبب افزایش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه، کارایی فتوسنتز، پروتئین دانه، وزن هزار دانه، افزایش تعداد غلاف‌های رسیده و عملکرد دانه در بادام زمینی (*Arachis hypogaea*) شده است (Babaei et al., 2014). کاربرد برگ‌گی متانول با غلظت ۲۱ درصد، تاثیر بسیار معنی‌داری بر عملکرد ریشه، وزن برگ و عملکرد شکر در چغندرقد (*Beta vulgaris*) داشته است (Nadali et al., 2010). نتایج تحقیقات Hernandez et al., (2000) بیانگر آن است که محلول‌پاشی متانول، سبب افزایش طول و وزن خشک ساقه و سطح برگ در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) شده است. مطالعه Mirakhori et al., (2009) نشان داد کاربرد ۱۴ تا ۲۱٪ متانول، سبب افزایش عملکرد دانه، غلاف، وزن هزار دانه، شاخص سطح برگ و سرعت رشد گیاه در سویا شده است. نتایج تحقیقات انجام شده روی تاثیر متانول در گیاهان، بیانگر این است که افزایش گرما و نور شدید، از یک طرف باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش ورود

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش

Table 1. The meteorological information of the experimental site during 2016

Month	Temperature (°C)		Relative humidity (%)		Rainfall (mm)	Evaporation (mm)
	min	max	min	max		
Jun-Jul	30.2	42.8	12	32	0.0	553.5
Jul-Aug	30.5	44.0	12	44	0.0	490.2
Aug-Sep	31.2	43.9	14	39	0.0	457.4
Sep-Oct	27.9	40.6	19	41	2.4	370.2
Oct-Nov	24.1	36.3	24	61	6.0	269.2
Nov-Dec	17.0	29.1	25	54	2.9	180.9
Dec-Jan	9.5	22.0	25	57	4.5	136.0
Total					15.8	2457.4

جدول ۲. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Physicochemical properties of the experimental soil.

EC(dS.m ⁻¹)	pH	Organic matter (%)	Organic carbon (%)	N (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture
1.2	7.4	0.9	0.52	0.064	202	3.7	62	26	12	loam sandy

آزمایش به صورت فاکتوریل و بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با هشت ترکیب تیماری و چهار تکرار اجرا شد. عامل اول، غلظت متانول در چهار سطح صفر

(شاهد)، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد حجمی و عامل دوم، زمان محلول‌پاشی متانول در دو زمان قبل از گلدهی و بعد از گلدهی بود. به منظور کاهش اثرات گیاه‌سوزی و

هکتار و به فرم اوره استفاده شد. کود اوره در سه قسمت، یک نوبت همزمان با کاشت و نوبت دوم پس از تنک کردن و استقرار کامل بوته‌ها، در مرحله چهار تا شش برگی و نوبت بعدی نیز قبل از گلدهی مورد استفاده قرار گرفت. کود دی‌فسفات آمونیوم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و نیمی از کود سولفات پتاسیم مصرفی (۵۰ کیلوگرم در هکتار) نیز قبل از شخم به خاک اضافه شد. میزان ۵۰ کیلوگرم از کود سولفات پتاسیم نیز با سیستم آبیاری قطره‌ای و در مرحله قبل از گلدهی استفاده شد. محلول‌پاشی متانول در دو مرحله زمانی، در طی فصل رشد انجام شد. مرحله اول، ۳۵ روز بعد از سبز شدن و در مرحله رشد سریع و افزایش ارتفاع گیاه و قبل از ظاهر شدن جوانه‌های گل انجام شد و مرحله دوم، پس از اتمام گلدهی و سپری شدن ۹۰ روز از زمان کاشت، اجرا شد. محلول‌پاشی در ساعات پایانی روز انجام شد و تا جاری شدن قطره‌های محلول، روی شاخ و برگ، ادامه یافت. برای جلوگیری از تاثیر محلول‌پاشی هر کرت بر کرت‌های مجاور، در زمان محلول‌پاشی، از حفاظ‌های نایلونی قابل حمل، با ارتفاع دو متر، در حد فاصل کرت‌های مجاور استفاده شد. در تیمار شاهد (غلظت صفر درصد متانول)، برای محلول‌پاشی، از آب مقطر، به تنهایی استفاده شد. در هر کرت، ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات روی آن‌ها انجام شد. اندازه‌گیری قطر ساقه (به وسیله کولیس)، تعداد ساقه جانبی (شمارش)، تعداد برگ (شمارش)، سطح برگ (به وسیله دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ، مدل CI-203)، ارتفاع گیاه (خط‌کش)، میانگین طول شاخه‌های جانبی (خط‌کش)، تعداد کپسول در بوته (شمارش) و تعداد دانه در کپسول (۲۰ کپسول در هر بوته به طور تصادفی انتخاب شدند و تعداد بذر آن‌ها شمارش شد) انجام شد. میانگین بدست آمده از این صفات، به عنوان شاخص آن کرت منظور شد. برداشت نهایی، در تاریخ پنجم آذر و از دو ردیف وسط هر کرت و با حذف اثر حاشیه ای ۰/۵ متر، از ابتدا و انتهای هر ردیف انجام شد. برای نمونه‌برداری، ۷۵ بوته در هر واحد آزمایشی

سمیت متانول، به هر کدام از محلول‌های مورد استفاده، دو گرم در لیتر گلیسین اضافه شد (Farajpour *et al.*, 2011). برای محلول‌پاشی، سمپاش شارژی پستی سولو، مدل ۴۱۶، ساخت آلمان و با ظرفیت ۲۰ لیتر و فشار پاششی ۴/۳ بار و دبی ۱/۴۲ لیتر در دقیقه، مورد استفاده قرار گرفت.

حجم محلول به کار رفته در هر تیمار (مجموع چهار تکرار)، ۶/۴ لیتر بود که مقدار آب و متانول در تیمار صفر، ۶/۴ لیتر آب؛ در تیمار ۲۰ درصد حجمی، ۱/۲۸ لیتر متانول و ۵/۱۲ لیتر آب؛ در تیمار ۴۰ درصد حجمی، ۲/۵۶ لیتر متانول و ۳/۸۴ لیتر آب و در تیمار ۶۰ درصد حجمی، ۳/۸۴ لیتر متانول و ۲/۵۶ لیتر آب بود. در این مطالعه، از رقم کنجد اصلاح شده هلیل (*Sesamum indicum* L. cv. Halil) استفاده شد. این رقم، دیررس، چندشاخه و رشد نامحدود است و بذر آن از مرکز تحقیقات کشاورزی شهید مقبلی جیرفت تهیه شد. قبل از کاشت، ضدعفونی بذر با محلول ۱۰ درصد هیپوکلریت سدیم و به مدت دو دقیقه انجام شد و برای حفاظت بذر از پاتوژن‌های خاکریزی، از قارچ‌کش ویتاواکس، به نسبت دو در هزار استفاده شد. در این تحقیق، ۳۲ کرت به ابعاد دو متر در چهار متر تهیه شد و هر کرت شامل چهار ردیف کنجد، با فاصله ۴۰ سانتی‌متری بین ردیف‌ها و هشت سانتی‌متری بین بوته‌های روی ردیف (تراکم ۳۱ بوته در متر مربع) بود. با توجه به ریز بودن بذر کنجد و به منظور سهولت در کاشت، بذر با مقداری خاک مخلوط شده و سپس در جویچه‌های ایجاد شده، در عمق سه سانتی‌متری و در تاریخ ۲۸ خرداد کاشته شدند. پس از کاشت، اولین آبیاری انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا سبز شدن کنجد، به فاصله زمانی هر دو روز یک بار انجام شد. سایر آبیاری‌ها براساس نیاز آبی گیاه و با توجه به شرایط محیطی، از جمله دما، رطوبت نسبی هوا و وزش باد و به روش قطره‌ای انجام شد. تنک کردن بوته‌ها در مرحله چهار برگی و برای ایجاد فاصله حدود هشت سانتی‌متری بین بوته‌های مجاور انجام شد. در این آزمایش، کود نیتروژن به میزان ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در

(جدول ۴). تشکیل برگ‌ها، بیشتر در مرحله قبل از گلدهی است؛ لذا تعداد برگ در محلول‌پاشی متانول با غلظت ۲۰ تا ۴۰ درصد، روند افزایشی داشت و با افزایش غلظت متانول به ۶۰ درصد، تعداد برگ‌ها افزایش نیافت و با شاهد، در یک گروه آماری قرار گرفت. در مرحله بعد از گلدهی، تنها تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ درصد متانول، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد داشت (جدول ۴). افزایش تعداد برگ در مرحله بعد از گلدهی را می‌توان به نامحدود بودن رشد کنجد و تداوم رشد رویشی در این مرحله نسبت داد. همچنین افزایش معنی‌دار تعداد برگ در غلظت ۴۰ درصد متانول را می‌توان ناشی از تاثیر مثبت متانول، در افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش پتانسیل رشد ساقه‌های جانبی ایجاد کننده برگ دانست. اثرات تحریک کنندگی متانول بر تولید هورمون‌های محرک رشد از جمله اکسین و سیتوکینین می‌تواند، در افزایش تعداد برگ ایجاد شده در مراحل قبل و بعد از گلدهی موثر باشد. در مطالعه انجام شده در بادام زمینی، افزایش تعداد و سطح برگ در محلول‌پاشی متانول گزارش شده است (Safarzade Vishkaei, 2007). همچنین در سویا، افزایش تعداد برگ، تأخیر در پیری برگ‌ها و افزایش فتوسنتز در اثر مصرف متانول، گزارش شد (Nadali et al., 2010).

برداشت شدند. پس از برداشت، هزار دانه تعیین شد و برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه و عملکرد دانه، از یک ترازو با دقت یک هزارم گرم، استفاده شد و شاخص برداشت نیز محاسبه شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، پنج بوته از دو ردیف وسط (مجموعاً ده بوته)، به صورت تصادفی انتخاب شدند و پس از قطع کردن از سطح خاک، به مدت چهار شبانه روز، در آونی با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. آنالیز داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار SAS (SAS v9.3) انجام شد و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن، برای مقایسات میانگین استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده نشان دهنده معنی‌دار بودن اثرات ساده و متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول بر تعداد برگ، در سطح آماری یک درصد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین (۵/۵۱) و کمترین (۵/۴۲) تعداد برگ، به ترتیب در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ و ۶۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی بدست آمد. تفاوت میانگین بیشترین و کمترین تعداد برگ، ۲۱/۱۷ درصد بود

جدول ۳. آنالیز واریانس تاثیر غلظت و زمان کاربرد متانول بر صفات ریخت‌شناسی کنجد
Table 3. Analysis of variance of the effects of methanol concentration and foliar application time on some morphological characteristics of sesame plant.

V.O.S	df	Leaf number plant ⁻¹	Leaf area index	Branches length	branches Lateral number plant ⁻¹	Stem diameter	Plant height
Replication	3	4.69792 ^{ns}	0.00588 ^{ns}	0.511667 ^{ns}	0.0432 ^{ns}	0.03145 ^{ns}	16.54 ^{ns}
Time (T)	1	11.2813 ^{**}	0.012544 ^{ns}	81.92 ^{**}	0.96258 ^{**}	0.00488 ^{ns}	258.78 ^{**}
Methanol (M)	3	57.1979 ^{**}	0.40486 ^{**}	84.33417 ^{**}	0.49445 [*]	12.525 [*]	286.06 ^{**}
T×M	3	19.6979 ^{**}	0.386 ^{**}	24.0475 ^{**}	0.3549 ^{**}	0.01425 ^{ns}	154.16 ^{**}
Error	24	3.79818	0.0055	6.301042	0.06957	0.03139	13.66
CV (%)		12.87	26.65	16.47	16.25	13.15	12.25

به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns, *, **: No significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد کنجد

Table 4. Mean comparison of the effects of methanol concentration and foliar application time on some morphological characteristic and yield of sesame plant.

Time (T)	methanol (M)	Leaf number plant ⁻¹	Leaf area index	Branches length(cm)	Lateral branches plant ⁻¹	Plant height(cm)	Capsule number plant ⁻¹	Seed yield(g/m ²)	Harvest index(%)	Shoot dry weight(g/m ²)
Before flowering	0	43.25 ^{ef}	1.65 ^{de}	44.05 ^{ef}	4.07 ^{efg}	115.6 ^{c-h}	31.13 ^{e-h}	118.9 ^{ef}	29.54 ^b	402.49 ^{efg}
	20	47.75 ^b	1.93 ^b	48.65 ^b	4.22 ^{ab}	128.3 ^b	37.11 ^b	143.68 ^b	29.06 ^c	494.36 ^{bc}
	40	51.50 ^a	2.07 ^a	54.62 ^a	4.95 ^a	138.7 ^a	42.53 ^a	163.09 ^a	30.04 ^d	542.75 ^a
	60	42.50 ^{efg}	1.42 ^g	44.27 ^{de}	4.17 ^{cd}	118.9 ^{de}	31.96 ^{de}	115.94 ^{efg}	29.22 ^{bc}	396.68 ^{fg}
	0	43.50 ^{def}	1.58 ^e	43.55 ^{efg}	4.12 ^{d-g}	118.2 ^{c-h}	31.36 ^{d-h}	120.06 ^e	29.22 ^{bc}	410.88 ^e
	20	45.50 ^{cd}	1.68 ^d	45.55 ^{cd}	4.22 ^{ab}	120.4 ^{cd}	33.71 ^{cd}	132.41 ^d	29.04 ^c	459.24 ^{cd}
After flowering	40	46.50 ^{bc}	1.85 ^c	46.5 ^c	4.18 ^{cd}	121.6 ^{bc}	33.75 ^{cd}	139.72 ^c	28.83 ^d	496.89 ^b
	60	44.75 ^{de}	1.47 ^f	43.2 ^{efg}	4.15 ^{c-f}	118.5 ^{c-f}	31.66 ^{d-g}	117.67 ^{efg}	28.11 ^{de}	405.17 ^{ef}

میانگین‌ها با حروف مشترک در هر ستون، در سطح یک درصد و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean followed by the same letters in the same columns are not significant at 1% probability level, based on Duncan's multiple range test.

شاخص سطح برگ

گیاه در سویا نیز توسط *Mirakhori et al.* (2009) گزارش شده است. مقایسات میانگین، بیانگر کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ، در تیمارهایی با غلظت ۶۰ درصد متانول در مرحله قبل و بعد از گلدهی، نسبت به تیمار شاهد است (جدول ۴). با توجه به مقایسات میانگین شاخص سطح برگ و تعداد برگ، به نظر می‌رسد که در تیمار ۶۰ درصد متانول، از آن جا که تعداد برگ‌ها نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری ندارد، بنابراین کاهش سطح تک‌تک برگ‌هاست که سبب کاهش شاخص سطح برگ شده است.

طول شاخه‌های فرعی

اثرات ساده و اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول، بر طول شاخه‌های فرعی معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی بیانگر آن است که طول شاخه‌های فرعی در مرحله قبل و بعد از گلدهی، با افزایش غلظت متانول تا سطح ۴۰ درصد، افزایش معنی‌داری داشت و در غلظت ۶۰ درصد متانول، با تیمار شاهد در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین طول شاخه‌های فرعی، در ترکیب تیماری محلول‌پاشی ۴۰ درصد متانول و در مرحله قبل از گلدهی، با ۵۴/۶۲ سانتی‌متر و کمترین میانگین طول شاخه‌های فرعی با ۴۳/۲۰ سانتی‌متر، در ترکیب تیمار محلول‌پاشی ۶۰ درصد متانول و در

غلظت متانول، زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص سطح برگ، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین (۲/۰۷) و کمترین (۱/۴۲) شاخص سطح برگ، با تفاوت ۴۵/۸۹ درصدی، به ترتیب در تیمارهای محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ و ۶۰ درصد و در مرحله قبل از گلدهی مشاهده شد. با افزایش غلظت متانول از ۲۰ به ۴۰ درصد، شاخص سطح برگ کنجد افزایش یافت (جدول ۴). کنجد گیاهی رشد نامحدود است؛ بنابراین افزایش شاخص سطح برگ را می‌توان به افزایش تعداد و سطح برگ ناشی از کاربرد برگی متانول نسبت داد. همچنین تاثیر متانول در تحریک و افزایش تولید هورمون‌های رشد از جمله سیتوکینین، می‌تواند در افزایش سطح برگ موثر باشد. کاربرد برگی متانول، موجب تحریک ژن پکتین متیل استراز در برگ شد و این ژن با افزایش دسترسی گیاه به کلسیم، سبب افزایش سطح برگ در تنباکو و گوجه فرنگی شده است *Ramirez et al.*, 2006). همچنین در بررسی که بر روی نیشکر انجام شد، مشخص شد که کاربرد متانول، محتوی سیتوکینین را افزایش داد و سبب افزایش سطح برگ شد (Mahdian et al., 2002). نتایج بررسی کاربرد برگی متانول در آفتابگردان نیز بیانگر افزایش سطح برگ و ارتفاع بوته در این گیاه است (*Hernandez et al.*, 2000). افزایش شاخص سطح برگ و سرعت رشد

(Ehyaei *et al.*, 2010) شده است.

قطر ساقه اصلی

اثر زمان محلول‌پاشی متانول و اثر متقابل غلظت و زمان کاربرد برگی متانول بر قطر ساقه اصلی معنی‌دار نبود. تاثیر غلظت متانول بر قطر ساقه اصلی، در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). قسمت عمده‌ای از رشد و نمو ساقه اصلی، مربوط به بازه زمانی سبز شدن تا قبل از محلول‌پاشی است؛ بنابراین رشد قابل توجه قطر ساقه در این فاصله زمانی و قبل از محلول‌پاشی، می‌تواند به دلیل عدم اثر معنی‌دار زمان محلول‌پاشی متانول بر قطر ساقه اصلی باشد. مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین قطر ساقه (۲/۰۳ سانتی‌متر)، با کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی با به‌دست آمدن کمترین قطر ساقه (۱/۷۴ سانتی‌متر) نیز در محلول‌پاشی با غلظت صفر درصد متانول (شاهد) با بدست آمدن (جدول ۶). متانول با افزایش عرضه کربن قابل استفاده در فرایند فتوسنتز، سبب افزایش شاخص‌های رشد و نمو در گیاه شده است. افزایش میزان و کارایی فتوسنتز در کاربرد متانول به عنوان یک منبع کربن، در مطالعات متعددی گزارش شده است (Aslani *et al.*, 2011; Ramirez *et al.*, 2006; Zbiec *et al.*, 1997).

ارتفاع بوته

اثر ساده غلظت و زمان کاربرد برگی متانول و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع بوته، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین ارتفاع بوته (۱۳۸/۷ سانتی‌متر)، در تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ درصد متانول و در مرحله قبل از گلدهی و کمترین ارتفاع بوته، در تیمار شاهد (۱۱۵/۶ سانتی‌متر) مشاهده شد. بر اساس نتایج، بین تیمار شاهد و تیمارهای کاربرد متانول با غلظت ۶۰ درصد در مراحل قبل و مرحله بعد از گلدهی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت متانول تا سطح ۴۰ درصد، در مرحله قبل از گلدهی، ارتفاع بوته افزایش یافت و با افزایش غلظت متانول به ۶۰ درصد،

مرحله بعد از گلدهی مشاهده شد (جدول ۴). محلول‌پاشی متانول، علاوه بر تاثیر مثبت بر فتوسنتز و رشد، به عنوان یک محرک تولید هورمون‌های اکسین و سیتوکینین نیز عمل می‌کند؛ بنابراین افزایش طول شاخه‌های جانبی را می‌توان ناشی از افزایش فتوسنتز و اثرات هورمونی متانول دانست. افزایش تولید سیتوکینین و تحریک رشد گیاه در کاربرد برگی متانول گزارش شده است (Holland *et al.*, 1997). در تحقیق دیگری در بادام زمینی، بیشترین طول شاخه فرعی، در محلول‌پاشی با ۲۰ درصد متانول مشاهده شد (Safarzade Vishkaei, 2007). در مطالعه‌ای دیگر، محلول‌پاشی متانول، موجب افزایش طول ساقه‌های فرعی در پنبه شد (Makhdum *et al.*, 2002).

تعداد شاخه‌های فرعی

زمان کاربرد متانول و اثر متقابل غلظت و زمان کاربرد برگی متانول بر تعداد شاخه‌های فرعی، در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود اما اثر غلظت متانول، در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به جدول ۴، تفاوت ۲۱/۶۲ درصدی در بیشترین تعداد شاخه‌های فرعی، با ۴/۹۵ شاخه، در ترکیب تیماری محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و در مرحله قبل از گلدهی و کمترین تعداد شاخه فرعی نیز با ۴/۰۷ شاخه، در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی، سبب افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی نسبت به شاهد شد. تیمار محلول‌پاشی با غلظت ۶۰ درصد متانول، در مراحل قبل و بعد از گلدهی، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان ندادند (جدول ۴). افزایش تعداد شاخه‌های فرعی ایجاد شده در تحقیق حاضر را می‌توان ناشی از اثرات هورمونی متانول از یک سو و افزایش ظرفیت تولید مواد فتوسنتزی گیاه در نتیجه کاربرد متانول از سوی دیگر دانست. بر اساس مطالعات انجام شده، محلول‌پاشی متانول، سبب افزایش شاخه‌های جانبی در بادام زمینی (Mirakhori *et al.*, 2009) و نخود

دریافت متانول توسط باکتری‌های متیلوتروف موجود در سطح برگ‌ها و تولید هورمون‌های اکسین و سیتوکینین محرک رشد و تقسیم سلولی، دلیل افزایش طول ساقه گزارش شده است (Ivanova *et al.*, 2001; Li *et al.*, 1995) کاهش ارتفاع بوته در غلظت ۶۰ درصد متانول و در مرحله قبل گلدهی در مقایسه با غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد در مطالعه حاضر، بیانگر تاثیر منفی غلظت‌های بالای متانول است. در فرایند متابولیسم متانول و تولید CO₂، مواد حد واسط فرمالدهید و فرمات تشکیل می‌شود. در غلظت‌های بالای متانول، امکان تبدیل سریع فرمالدهید به فرمات وجود ندارد و تجمع فرمالدهید برای گیاه، سمی است و منجر به گیاه‌سوزی می‌شود (Cossins, 1980; Giese *et al.*, 1994) همچنین تجمع بالای فرمالدهید، سبب ممانعت از بیان ژن‌های درگیر در فتوسنتز و کاهش و خنثی‌سازی تاثیر مثبت متانول بر رشد می‌شود (Wang *et al.*, 2012). کاهش ارتفاع بوته در غلظت بالای متانول، به دلیل گیاه‌سوزی در گیاه دارویی بادرشوبه (Ramroudi *et al.*, 2016) Nonomura & Benson, (1992) نیز تاثیر سوء غلظت‌های بالای متانول را گزارش داده‌اند.

ارتفاع بوته، افزایش معنی‌داری نشان نداد. متابولیسم متانول و تبدیل سریع آن به دی‌اکسید کربن در برگ، غلظت کربن درون سلولی را افزایش داد و این کربن اضافی، با افزایش تولید آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز، منجر به افزایش شاخص‌های رشد، از جمله ارتفاع گیاه شده است. از طرفی، متانول با تحریک تولید اکسین و سیتوکینین در برگ و افزایش تقسیم سلولی، می‌تواند در افزایش ارتفاع بوته موثر باشد. در مرحله قبل از گلدهی، ساقه اصلی مهم‌ترین مخزن و مقصد مواد فتوسنتزی است؛ بنابراین افزایش مواد فتوسنتزی ناشی از کاربرد متانول، بیشترین تاثیر را بر ارتفاع کنجد در این مرحله نشان داد. در مرحله پس از گلدهی، به دلیل تقسیم مواد حاصل از فتوسنتز در مسیرها و مخزن‌های متعدد از جمله ساقه‌های جانبی و کپسول‌های ایجاد شده، سهم ساقه اصلی از این مواد کاهش یافت؛ بنابراین افزایش ارتفاع در مرحله بعد از گلدهی معنی‌دار نشد. نتایج تحقیق Mirakhori *et al.* (2009) نشان داد که محلول‌پاشی متانول، بر ارتفاع سویا و عملکرد دانه، تاثیر مثبت دارد. در مطالعات انجام شده، دلیل افزایش ارتفاع بوته را افزایش فتوسنتز و کاهش تنفس نوری، بیان داشته‌اند (Nonomura & Benson, 1992). در مطالعه دیگری،

جدول ۵. آنالیز واریانس تاثیر غلظت متانول و زمان کاربرد آن بر شاخص‌های عملکرد کنجد

Table 5. Analysis of variance of the effects of methanol concentration and foliar application time on sesame plant.

S.O.V	df	1000 Seed weight	Shoot dry weight	Harvest index	Seed yield	Capsule number	Seed number
Replication	3	0.024 ^{ns}	387.98 ^{ns}	0.44 ^{ns}	28.91 ^{ns}	14.22 ^{ns}	16.56 ^{ns}
Time (T)	1	0.0016 ^{ns}	2054.08 ^{**}	9.95 ^{**}	503.98 ^{**}	74.93 ^{**}	10.73 ^{ns}
Methanol (M)	3	0.2549 [*]	26328.26 ^{**}	9.32 ^{**}	2131.64 ^{**}	83.77 ^{**}	62.34 [*]
T×M	3	0.088 ^{ns}	1634.90 [*]	3.26 [*]	283.82 ^{**}	34.14 ^{**}	7.76 ^{ns}
Error	24	0.045	373.94	1.19	61.19	9.12	18.84
CV (%)	-	12.17	24.56	8.92	25.31	22.91	7.20

به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns, *, **.

ns, *, **: No significant, significant at 5 and 1% probability levels, probability.

بیشترین وزن هزاردانه (۳/۴۲ گرم) در تیمار ۴۰ درصد حجمی متانول مشاهده شد که با وزن هزاردانه در تیمار شاهد (۳/۰۵ گرم)، تفاوت ۱۲/۱۳ درصدی نشان داد. بین غلظت صفر درصد متانول (شاهد) با سطح ۲۰ و ۶۰ درصد، اختلاف معنی‌داری دیده نشد

وزن هزاردانه

اثر غلظت متانول بر وزن هزاردانه در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. تاثیر زمان محلول‌پاشی و اثر متقابل غلظت و زمان کاربرد آن بر وزن هزاردانه معنی‌دار نبود (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان داد که

سرعت در حال رشد است، در اختیار گیاه قرار گرفته است. در صورت فراهم بودن سایر عوامل موثر بر فتوسنتز و رشد، دی‌اکسیدکربن اضافی آزاد شده از متابولیسم متانول می‌تواند به عنوان کود کربن‌دار، بر میزان و کارایی فتوسنتز تاثیر گذارد و افزایش رشد و تولید بیوماس را توجیه کند. از این رو، افزایش وزن خشک در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی، با توجه به نقش مثبت متانول بر تولید زیست توده، قابل تفسیر است. غلظت ۶۰ درصد متانول، با تاثیر منفی بر کنجد، به صورت جلوگیری از بیان ژن‌های موثر بر فتوسنتز و ایجاد لکه‌های نکروزه حاصل از افزایش تجمع فرمالدهید، سبب کاهش سطح فتوسنتز کننده موثر گیاه و در نهایت، منجر به کاهش تولید ماده خشک شد به نحوی که با تیمار شاهد در یک سطح آماری قرار گرفت. نتایج مطالعات انجام شده توسط Nonomura & Benson (1992, 1997) نشان داد که تیمار متانول، سبب افزایش ۳۶ درصدی زیست توده در هندوانه، ۴۰ درصدی در گوجه فرنگی، ۶۰ درصدی در توت فرنگی، ۷۰ درصدی در پالم و ۱۰۰ درصدی در گندم شده است. نتایج تحقیق انجام شده در آفتابگردان بیانگر آن است که محلول‌پاشی متانول، سبب افزایش وزن خشک ساقه شده است (Hernandez et al., 2000). به طور کلی، افزایش وزن خشک اندام‌های هوایی در تحقیق حاضر می‌تواند به دلیل افزایش زیست توده ناشی از افزایش کربن تثبیت شده با کاربرد متانول باشد که با نتایج تحقیقات انجام شده توسط Li et al. (۱۹۹۵)، Joshi (۱۹۹۶) و Mirakhori et al. (۲۰۰۹) مطابقت دارد.

شاخص برداشت

اثرات غلظت و زمان محلول‌پاشی، در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل زمان محلول‌پاشی و غلظت متانول در سطح آماری پنج درصد، بر شاخص برداشت معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی نشان داد که بیشترین (۳۰/۰۴ درصد) و کمترین (۲۸/۱۱ درصد) شاخص برداشت، به

(جدول ۶). وزن هزاردانه در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد. نکروزه شدن مشهود برگ‌ها در غلظت ۶۰ درصد متانول، به دلیل افزایش تجمع فرمالدهید در مسیر تبدیل متانول به دی‌اکسید کربن سبب شد که افزایش وزن هزاردانه قابل انتظار در این غلظت، به دلیل کاهش سطح فتوسنتز کننده برگ‌ها، به صورت لکه‌های خشک شده و از بین رفتن قسمتهایی از هر برگ، خنثی شود و سبب شد که وزن هزار دانه در این غلظت با تیمار شاهد، در یک گروه آماری قرار گیرد. همچنین ممانعت از بیان ژن‌های موثر در فرایند فتوسنتز در غلظت ۶۰ درصد متانول را می‌توان دلیل دیگر عدم کارایی مناسب این غلظت در افزایش وزن هزار دانه کنجد ذکر کرد. افزایش وزن هزاردانه در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول را می‌توان ناشی از افزایش تخصیص تولیدات فتوسنتزی افزایش یافته از کاربرد متانول، به مخزن دانه و کپسول‌های در حال توسعه دانست. در مطالعه Emaratpardaz et al. (2015)، افزایش تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز در لوبیا چیتی، دلیل افزایش تعداد نیام، عملکرد و وزن صدانه ذکر شده است.

وزن خشک اندام‌های هوایی

اثر ساده غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول در سطح آماری یک درصد و اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی بر وزن خشک اندام‌های هوایی، در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی با ۵۴۲/۷۵ گرم در مترمربع، در تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد و در قبل از گلدهی بدست آمد. کمترین وزن خشک در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با غلظت ۶۰ درصد متانول در مرحله قبل از گلدهی، با تولید ۳۹۶/۶۸ گرم ماده خشک در هر مترمربع بدست آمد که با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). تاثیر مثبت محلول‌پاشی متانول به این دلیل است که کربن حاصل از متابولیسم متانول، در مناسب‌ترین زمان که گیاه به

معنی‌داری نداشت (جدول ۴). عملکرد دانه در غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد متانول، نسبت به شاهد، افزایش معنی‌داری نشان داد. غلظت ۶۰ درصد متانول، به دلیل ممانعت از بیان ژن‌های موثر بر فتوسنتز در این غلظت و همچنین افزایش تجمع مضر فرمالدهید و کاهش تبدیل آن به CO₂، ضمن کاهش فتوسنتز قابل انتظار، سبب نکروزه شدن برگ‌ها شده است؛ بنابراین عملکرد دانه در این غلظت با تیمار شاهد، در یک گروه آماری قرار گرفت. تاثیر کاربرد متانول بر افزایش عملکرد دانه در مطالعات متعددی گزارش شده است (Eehyaei *et al.*, 2010; Farahani *et al.*, 2015; Safarzade Vishkaei, 2007;) مطابق با یافته‌های Emaratpardaz *et al.* (2015)، افزایش عملکرد دانه لوبیا را می‌توان ناشی از افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به سمت نیام‌های در حال رشد و همچنین افزایش سرعت رشد نیام‌ها، به دلیل افزایش فتوسنتز حاصل کاربرد متانول دانست.

تعداد کپسول

تعداد کپسول، به طور معنی‌داری تحت تاثیر غلظت، زمان کاربرد برگی متانول و اثر متقابل آن‌ها قرار گرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر متقابل فاکتورهای مورد مطالعه، بیانگر آن است که بیشترین تعداد کپسول در هر بوته، در تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۴۰ درصد حجمی و در مرحله قبل از گلدهی با تعداد ۴۲/۵۳ کپسول بود که افزایش ۳۶/۶۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد (کمترین تعداد کپسول) با ۳۱/۱۳ کپسول در هر بوته نشان داد (جدول ۴). تعداد کپسول‌های تولید شده در محلول‌پاشی متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد در مرحله قبل از گلدهی و همچنین تیمار کاربرد متانول با غلظت ۴۰ درصد در مرحله بعد از گلدهی، تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد. کاربرد متانول در مرحله قبل از گلدهی، با افزایش تولید مواد حاصل از فتوسنتز، سبب افزایش رشد ساقه اصلی، شاخه‌های جانبی و تولید زیست توده بالاتر شد و افزایش این شاخص‌ها، بر تعداد کپسول تولید شده، تاثیر معنی‌داری نشان داد. اگرچه در مرحله بعد از گلدهی،

ترتیب در ترکیب تیماری محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ و ۶۰ درصد متانول، در مراحل قبل و بعد از گلدهی بدست آمد (جدول ۴). تیمارهای محلول‌پاشی متانول با غلظت‌های ۲۰ و ۴۰ درصد در مرحله قبل و بعد از گلدهی نیز با شاهد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. به نظر می‌رسد که کاربرد متانول در مرحله قبل از گلدهی، با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن درون برگی، ضمن افزایش کارایی فتوسنتز و بالا بردن ظرفیت منبع، تاثیر زیادی بر سهم مواد فتوسنتزی انتقال یافته به دانه و افزایش شاخص برداشت داشته است. در مرحله بعد از گلدهی، افزایش تعداد دانه‌های پوک در تیمارهایی با غلظت ۴۰ و ۶۰ درصد متانول را می‌توان دلیل کاهش معنی‌دار شاخص برداشت این تیمارها نسبت به شاهد دانست. مطالعات نشان داد که تاثیر مثبت متانول بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاهان، در ارتباط با تاثیر متانول به عنوان بازدارنده تنفس نوری و افزایش راندمان فتوسنتزی است (Nonomura & Benson, 1992; Fall, 1996) برداشت در نخود، یولاف، جو، کلزا و گندم (Rajala *et al.*, 1998) و سویا (Mirakhori *et al.*, 2009)، به دلیل افزایش عملکرد دانه حاصل از انتقال مواد فتوسنتزی از منبع به مخزن ایجاد شده است. نتایج مطالعه Farahani *et al.* (2015)، بیانگر تاثیر مثبت متانول بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در آفتابگردان بود که در تایید نتایج تحقیق حاضر است.

عملکرد دانه

عملکرد دانه، تحت تاثیر معنی‌دار اثرات ساده و اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی قرار داشت (جدول ۵). با توجه به مقایسات میانگین، بیشترین عملکرد دانه با ۱۶۳/۰۹ گرم در متر مربع، در ترکیب تیماری محلول‌پاشی در مرحله قبل از گلدهی و در سطح ۴۰ درصد متانول بدست آمد که تفاوت ۳۷/۲۳ درصدی را با تیمار شاهد با عملکرد ۱۱۸/۹۰ گرم در متر مربع نشان داد. کمترین عملکرد دانه ۱۱۵/۹۴ گرم در متر مربع) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله قبل از گلدهی و متانول ۶۰ درصد بدست آمد که با شاهد تفاوت

این اساس، تنها اثر ساده غلظت متانول بر تعداد دانه در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش غلظت متانول تا سطح ۴۰ درصد حجمی، تعداد دانه افزایش یافت و پس از آن، در سطح ۶۰ درصد متانول، تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در کپسول (۸۱/۴۰)، در غلظت ۴۰ درصد متانول مشاهده شد که تفاوت ۶/۹۶ درصدی با تیمار شاهد (۷۶/۱۰ دانه در کپسول) نشان داد. (جدول ۴). افزایش تعداد دانه در کپسول را می‌توان از یک سو، به تاثیر مثبت متانول بر رشد و نمو حاصل از تولید اکسین و سیتوکینین و از سوی دیگر، به افزایش اندازه کپسول حاصل از اثر بخشی متانول بر فتوسنتز و شاخص‌های رشد نسبت داد. همچنین افزایش سهم دانه‌ها از آسیمیلات‌های ذخیره شده در مراحل قبلی رشد، از طریق فرایند انتقال مجدد مواد فتوسنتزی، می‌تواند سبب افزایش تعداد دانه و وزن هزاردانه شود. تاثیر مثبت متانول بر تعداد دانه در کپسول در این تحقیق، با یافته‌های Safarzadeh Vishkaei (2007) مطابقت دارد؛ آن‌ها نشان دادند که محلول‌پاشی متانول، سبب افزایش تعداد دانه در غلاف‌های بادام‌زمینی شده است.

از شدت تاثیر متانول بر شاخص‌های رشد کاسته می‌شود اما محلول‌پاشی با غلظت ۴۰ درصد در این مرحله نیز با تاثیر بر فتوسنتز و افزایش زیست توده تولید شده می‌تواند، دلیل افزایش معنی‌داری تعداد کپسول در این غلظت باشد. با توجه به مقایسات میانگین، تعداد کپسول در تیمار شاهد و تیمار محلول‌پاشی متانول با غلظت ۶۰ درصد، تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۴). ایجاد لکه‌های نکروزه در برگ‌ها، با کاهش سطح موثر فتوسنتز کننده برگ‌ها، مانع تفاوت معنی‌دار غلظت ۶۰ درصد متانول با شاهد شده است. علاوه بر این، تاثیر منفی غلظت ۶۰ درصد متانول در بیان ژن‌های دخیل در فتوسنتز نیز می‌تواند در عدم افزایش تعداد کپسول در این غلظت موثر باشد. در مطالعات انجام شده، تاثیر متانول بر افزایش تعداد نیام در بادام زمینی (Babaei et al., 2014) و لوبیا چیتی گزارش شده است (Emaratpardaz et al., 2015).

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس، بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار اثر ساده زمان محلول‌پاشی متانول و همچنین اثر متقابل غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول بر تعداد دانه بود. بر

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات غلظت و زمان محلول‌پاشی متانول بر خصوصیات ریخت‌شناسی و عملکرد کنگد

Table 6. Mean comparison of the effects of methanol concentration and foliar application time on some morphological characteristic and yield of sesame plant.

Treatment	1000-Seed weight (g)	Seed number capsule ¹	Stem diameter (cm)
Time of spraying			
T1 (Before flowering)	3.15 ^a	78.52 ^a	1.88 ^a
T2 (After flowering)	3.19 ^a	77.36 ^a	1.85 ^a
Methanol concentration (%)			
M1 (0)	3.05 ^{bc}	76.10 ^{bc}	1.74 ^c
M2 (20)	3.17 ^{ab}	81.40 ^a	1.88 ^{ab}
M3 (40)	3.42 ^a	78.98 ^{ab}	2.03 ^a
M4 (60)	3.03 ^{bc}	75.30 ^c	1.81 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در ستون، در سطح یک درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.

Mean with the same letters in the columns are not significant at 1% probability level.

بررسی، غلظت ۲۰ و ۴۰ درصد متانول در مراحل قبل و بعد از گلدهی، تاثیر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه نشان داد اما بیشترین میانگین، در تیمار

نتیجه‌گیری

محلول‌پاشی متانول، ویژگی‌های زراعی و ریخت‌شناسی کنگد را تحت تاثیر قرار داد. در این

که با افزایش راندمان استفاده از کربن و جلوگیری از هدر رفت آن به واسطه تنفس نوری، عملکرد گیاهان سه کربنه افزایش می‌یابد و به گیاهان چهار کربنه نزدیک می‌شود.

سپاسگزاری

از دکتر ناصر برومند، رییس دانشگاه جیرفت، به پاس فراهم نمودن زمینه انجام این پژوهش و همچنین از مساعدت دکتر احمد آیین، مسئول مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهید مقبلی جیرفت و کهنوج، در تهیه بذر اصلاح شده رقم هلیل، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

غلظت ۴۰ درصد و در مرحله قبل از گلدهی بدست آمد. مرحله قبل از گلدهی، با تقسیم بهتر آسیمیلات‌های حاصل از فتوسنتز، باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد و سطح برگ، تعداد شاخه‌های جانبی، تعداد کپسول و وزن خشک اندام هوایی و در نهایت، سبب افزایش عملکرد دانه در کنجد شد. محلول‌پاشی با متانول ۶۰ درصد، به دلیل ایجاد لکه‌های کلروز و نکروزه و در نهایت خشک شدن قسمت‌هایی از برگ و کاهش سطح فتوسنتز کننده موثر در برگ، قابل توصیه نیست. به‌طور کلی، با استفاده از تاثیر مثبت متانول بر گیاهان سه کربنه مانند کنجد می‌توان عملکرد را به صورت معنی‌داری افزایش داد، به نحوی

REFERENCES

- Aslani, A., Safarzadeh Vishekaei, M.N., Farzi, M., Noorhosseini Niyaki, S.A. & Jafari Paskiabi, M. (2011) Effects of foliar Applications of Methanol on Growth and Yield of Mung bean (*Vigna radiata* L.) in Rasht, Iran. *African Journal of Agricultural Research*, African Journal of Agricultural Research, 6(15): 3603-3608.
- Babaei, F., Heydari shrifabad, H., Safarzadeh Vishekaei, M. N., Normohammadi, Gh. & Majidi Harvan, I. (2014). Effect of foliar application of methanol and ascorbic acid on physiological characteristics and yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Advances in Biology*, 8(16), 280-285.
- Cossins, E. A. (1980). One-carbon metabolism. In: Davies D.D. (ed.). *The biochemistry of plants*. 365-418.
- Devlin, R. M., Bhowmik, P.C. & Karczmarczyk, S.J. (1994). Influence of methanol on plant growth. *Plant Growth Regulator Society of America*, 22(4), 102-108.
- Downie, A., Miyazaki, S., Bohnert, H., John, P., Coleman, J., Parry, M. & Haslam, R. (2004). Expression profiling of the response of arabidopsis thaliana to methanol stimulation. *Photochemistry*, 65(16), 2305-2316.
- Ehyaiei, H., Kafi, M. & Nasiri mohalati, M. (2010). Effect of foliar application of methanol and irrigation regimes on yield and yield components of chickpea cultivars *Iranian Journal of Pulses Research*. 1, 37- 48. (in Farsi)
- Emaratpardaz, J., Hami, A. & Davati Kazemnia, H. (2015). Effect of foliar application of methanol in water stress condition on yield components of *Phaseolus vulgaris* L. *Journal of Sustain Agriculture*, 126-136. (in Farsi)
- Fall, R. & Benson, A. A. (1996). Leaf methanol - the simplest natural product from plants. *Trends in Plant Science* 1(9), 296-301.
- Farahani, M., Paknejad, F., Kashani, A., Ardakani, M, R., Bakhteyari Moghadam, M. & Rezaei, M. (2015). Effect of foliar application of methanol on yield and yield components of *Helianthus annuus* L azargol under different humidity conditions. *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, 8(1), 115-125. (in Farsi)
- Farajpour, A., Asghari, J., Safarzadeh Vishkaei, M. N. & Zvareh, M. (2011). Effects of methanol on fresh and dry yield of Tobacco plant (*Nicotiana tabacum* L.) *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 51-53.
- Faville, M., Silvester, W., Green, T. & Jermyn, W. (1999). Photosynthetic characteristics of three asparagus cultivars differing in yield. *Crop Science*, 39(4), 1070-1077.
- Feibert, E. B. G., James S. R., Rykbost K. A., Mitchell A. R. & Shock C.C. (1995). Potato yield and quality not changed by foliar-applied methanol. *Hort Science*, 30(3), 494- 495.
- Giese, M., Bauer-Doranth, U., Langebartels, C & Sandermann, H. J. R. (1994). Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max* L.) cell suspension cultures. *Journal of Plant Physiology*, 104, 1301-1309.

14. Gout, E., Aubert, S., Bligny, R., Rebeille, F., Nonomura, A. R., Benson, A. A & Douce, R. (2000). Metabolism of methanol in plant cells. carbon-13 nuclear magnetic resonance studies. *Plant Physiology* 123, 287-296.
15. Hanson, A. D. & Roje, S. (2001). One-carbon metabolism in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 52, 119-137.
16. Hemming, D. J. B., Criddle R.S. & Hansen L. D. (1995) Effects of methanol on plant respiration. *Journal of Plant Physiology*, 146(3), 193-198.
17. Hernandez, L. F., Pellegrini, C. N. & Malla, L. M. (2000). Effect of foliar applications of methanol on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal Experimental Botany*, 66, 1-8.
18. Holland, M. A.(1997). Occams razor applied to hormonology. Are cytokinins produced by plants?
19. *Plant Physiology*, 115(3), 865-868.
20. Ivanova, E. G., Dornina N. V. & Trotsenko Y. A. (2001). Aerobic methyl bacteria are capable of synthesizing axins. *Microbiology*, 70, 392-397.
21. Joshi, J. (1996). Foliar applied methanol and nitrogen for increased productivity on leguminous Plant. *Plant Physiology*, 45, 197- 209.
22. Li, Y., Gupta, J & Siyumbano, A. K.(1995). Effect of methanol on soybean photosynthesis and chlorophyll. *Journal of Plant Nutrition*, 18, 1875-1880.
23. Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Sundaram, S. P., Sa, T. A. (2006). New insight into foliar applied methanol influencing phylloplane methylotrophic dynamics and growth promotion of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Environmental and Experimental Botany*, 57, 168-176.
24. Makhdum, M. I., Malik, M. N. A., Din, S. U., Ahmad, F. & Chaudhry, F. I. (2002). Physiological response of cotton to methanol foliar application. *Journal of Research (Science)*, Bahauddin Zakariya University Multan Pakistan, 13, 37-43.
25. Mirakhori, M., Paknejad, F., Moradi, F., Ardakani, M. R., Zahedi, H & Nazeri, P. (2009). Effect of drought stress and methanol on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.). *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 5(4), 162-169.
26. Nadali, I., Paknejad, F., Moradi, F., Vazan, S., Tookalo, M., Jamialahmadi, M. & Pazoki, A. (2010). Effects of methanol on sugar beet (*Beta vulgaris*). *Australian Journal of Crop Science*, 4(6), 398-401.
27. Nonomura, A. M. and Benson, A. A (1992). The path of carbon in photosynthesis: improved crop yields with methanol. In: *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 89, 9794-9798.
28. Nonomura, A. M. & Benson, A. A. (1997). Methods and compositions for enhancing carbon fixation in plants. *Journal of Cleaner Production*, 5(3), 236-237.
29. Rajala, A. J., Karkkainen, J., Peltonen & Peltonen-Sainio, P. (1998). Foliar applications of alcohols failed to enhance growth and yield of C₃ crops. *Industrial Crops and Products*, 7(2), 129-137.
30. Ramberg, H. A., Olson, B, J. S. C., Nishio, J. N., Markwell, J. & Osterman. J. C. (2002). The role of methanol in promoting plant growth. An update review of *Plant Biochemistry and Biotechnology*. 1:113-126.
31. Ramirez, I., Dorta, F., Espinoza, V., Jimenez, E., Mercado, A. & Pen Cortes, A. (2006). Effects of foliar and root applications of methanol on the growth of arabidopsis, tobacco and tomato plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 25(1), 30-44.
32. Ramroudi, M., Chezgi, M. and Galavi M. (2016). Effect of methanol spraying on quantitative traits and osmotic adjustments in Moldavian (*Dracocephalum moldavica* L.) under low irrigation conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(1), 149-158.
33. Safarzadeh Vishkaei, M. N. (2007). *Effects of methanol on growth and yield of peanut*. Ph.D. thesis. Sciences and Research Unit, Islamic Azad University Tehran, Iran. 232 pp. (in Farsi)
34. Wang, S. S., Song, Z. B., Sun, Z., Zhang, J., Mei, Y., Nian, H. J., Li, K. Zh., Chen, L. M. (2012). *Plant Molecular Biology Reporter*, 30(6), 1291-1302.
35. Zbiec, I., Karczmarczyk, S. & Podsiado, C. (2003). Response of some cultivated plants to methanol as compared to supplemental irrigation. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 6, 1-7.
36. Zbiec, I. & Karczmarczyk, S. (1997). Effect of methanol on some plants. *Romanian Agricultural Research*, 7(8), 45-49.