

تأثیر محلول پاشی کائولین، فسفر و پتاسیم بر میزان فتوسنتز و برخی شاخص‌های آن در گیاه پسته رقم کله قوچی

هدیه کدخدا و محمدحسین شمشیری*

گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۱)

چکیده

در یک آزمایش باغی در سال ۱۳۹۵، اثرات کاربرد برگی کائولین، پتاسیم و فسفر و ترکیب‌های مختلف آنها بر پارامترهای فتوسنتزی، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو فاکتور (فاکتور اول تیمارهای محلول پاشی در ده سطح و فاکتور دوم زمان‌های نمونه برداری در پنج سطح) روی درختان هشت ساله پسته رقم کله قوچی مورد تحقیق قرار گرفت. تیمارهای محلول پاشی شامل کائولین پنج درصد، فسفر در دو غلظت (یک و دو درصد)، پتاسیم در دو غلظت (یک و نیم و سه درصد)، کائولین پنج درصد + فسفر یک درصد، کائولین پنج درصد + فسفر دو درصد، کائولین پنج درصد + پتاسیم یک و نیم درصد، کائولین پنج درصد + پتاسیم سه درصد و شاهد (محلول پاشی با آب مقطر) بودند. کاربرد برگی تیمارهای بالا در اوایل تیرماه، هم‌زمان با آغاز رشد جنین (حداکثر نیاز فتوسنتزی درخت) انجام شد. پارامترهای فتوسنتزی (نرخ فتوسنتز و تعرق، هدایت روزنه‌ای و غلظت CO_2 زیرروزنه)، پارامترهای فلورسانس کلروفیل (PI و Fv/Fm) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a ، کلروفیل b ، مجموع کلروفیل و مجموع کارتنوئیدها) در پنج مرحله اندازه‌گیری شدند (مرحله اول یک روز پس از محلول پاشی و مراحل بعد هر یک به فاصله یک هفته). نتایج نشان داد که هیچ یک از پارامترهای فتوسنتزی بجز غلظت دی‌اکسید کربن زیرروزنه نسبت به تیمار شاهد تحت تأثیر تیمارهای محلول پاشی قرار نگرفت در حالیکه شاخص‌های فلورسانس کلروفیل تحت تأثیر تیمارهای کائولین بهبود یافت و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز تحت تأثیر اکثر تیمارهای آزمایش افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که با گذشت زمان نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای افزایش و غلظت CO_2 زیرروزنه کاهش یافت. شاخص‌های فلورسانس کلروفیل و غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز با گذشت زمان افزایش یافت. در مجموع تأثیر تیمارهای این آزمایش بر پارامترهای فتوسنتزی درختان پسته کمتر از حد مورد انتظار بود.

کلمات کلیدی: پتاسیم، پسته، فتوسنتز، فسفر، کائولین

مقدمه

دارای مرغوبیت بالایی بوده و از نظر کیفیت بین رقبای خارجی خود کم‌نظیر است (Hokmabadi et al., 2005). مشکلات مربوط به شوری و کم‌آبی حاشیه کویر و خشکسالی‌های اخیر سبب کاهش قابل توجه عملکرد و تولید پسته در کشور شده

پسته یکی از محصولات مهم باغبانی کشور است که از جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. به دلیل شرایط مناسب اقلیمی، پسته ایران

است (Hokmabadi *et al.*, 2005).

تنش‌های محیطی شامل تنش شوری، خشکی، گرما، عدم‌تأمین نیاز سرمایی و شدت تابش بر فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیر گذاشته و عملکرد را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهند (Heidari and Jamshidi, 2011). بنابراین با توجه به اینکه مناطق پسته‌کاری ایران معمولاً در مناطق گرم و خشک و دارای شدت نور بالا واقع شده‌اند، عملکرد کمی و کیفی درخت پسته به‌شدت تحت تأثیر این عوامل قرار می‌گیرد. فتوسنتز یکی از فرایندهای اساسی و ضروری گیاه است که در شرایط تنش گرما، تشعشع بالا، خشکی و شوری به‌شدت کاهش یافته و در نتیجه تولید ماده آلی طی فرایند فتوسنتز کاهش می‌یابد (Wolpert and Ferguson, 1990; Sajjadinia *et al.*, 2010) که در پسته سبب تشدید سال‌آوری و درنهایت کاهش عملکرد می‌شود (Vemmos, 2010).

به‌طور کلی در شرایط تشعشع و دمای بالا و کاهش فشار بخار هوا، آسیمیلایون دی‌اکسید کربن به‌شدت کاهش می‌یابد (Gosavi *et al.*, 2014; Lipova *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2002). افزایش تشعشع سبب افزایش دمای برگ نسبت به دمای محیط شده که این افزایش دما منجر به افزایش اختلاف فشار بخار آب درون برگ نسبت به اتمسفر می‌شود و در نتیجه، تعرق افزایش می‌یابد که با ادامه آن، طی مکانیسم‌هایی روزنه‌ها بسته شده و تبادلات گازی کاهش می‌یابد (Jones, 1992; Evans *et al.*, 1998). دمای بالا علاوه بر اینکه میزان فتوسنتز برگ را کاهش می‌دهد، سبب آسیب به دستگاه فتوسنتزی و در نتیجه پیری برگ می‌گردد (Buchner *et al.*, 2015; Makino *et al.*, 1994). فتوسیستم II در واکنش‌های نوری فتوسنتز جز حساس‌ترین قسمت‌های دستگاه فتوسنتزی نسبت به گرما و شدت بالای تابش نور است که با آسیب آن، انتقال الکترون در واکنش‌های نوری فتوسنتز دچار اختلال شده و درنهایت کارایی دستگاه فتوسنتز با مشکل مواجه و رادیکال‌های آزاد در گیاه تولید می‌شود که در صورت ادامه تنش، پیری و مرگ برگ را به‌همراه دارد (Ducruet *et al.*, 2007; Eggink *et al.*, 2001).

بنابراین حفظ یا افزایش کارایی فتوسنتز طی فصل رشد می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد کمی و کیفی باغات پسته در کشور داشته باشد. در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای کاهش گرما و تشعشعات خورشید در باغات میوه نظیر استفاده از سیستم آبیاری بارانی (Schrader *et al.*, 2001) یا استفاده از سایبان (Widmer, 2000) به‌کار گرفته شده است ولی با توجه به مشکل کم‌آبی و عدم‌سازگاری درخت پسته با شرایط رطوبت نسبی بالا روش اول غیر ممکن و روش دوم نیز بسیار هزینه‌بر است. کاربرد برخی مواد ریز بازتابنده نور روی تاج درخت که سبب بازتابش نور خورشید شده و در پی آن دمای برگ را کاهش دهد (۲-۶ درجه سلسیوس) نیز مورد آزمون قرار گرفته است (Rosati *et al.*, 2006; Lombardini *et al.*, 2005).

کائولین نوعی رس سفیدرنگ خنثی و بی‌اثر است. این ماده در دامنه وسیعی از pH خنثی است و به‌صورت مستقیم تأثیر بدی بر موجودات زنده ندارد (Rosati *et al.*, 2006b). از کائولین در باغبانی برای اولین بار برای جلوگیری از آفتاب سوختگی سیب استفاده گردید (Glenn *et al.*, 2003). همچنین از کائولین برای ممانعت از آفتاب سوختگی میوه انار نیز استفاده شده است (Melgarejo *et al.*, 2004). گزارشاتی نیز مبنی بر تأثیر کائولین بر کاهش خسارت آفات مکنده روی گیاهان وجود دارد (Glenn and Puterka, 2005; Showler and Armstrong, 2007). همچنین کاربرد کائولین سبب افزایش کارایی فتوسنتز و آسیمیلایون دی‌اکسید کربن درختان گریپ فروت گردیده است (Jifon and Syvertsen, 2003). کاربرد کائولین در شرایط تنش خشکی سبب افزایش رنگیزه‌های کلروفیل و کاهش فلورسانس کلروفیل برگ درختان زیتون شده است (Khaleghi *et al.*, 2014). در همین رابطه، کلروفیل برگ ارقام زیتون که با کائولین تیمار شده بودند از مقدار بیشتری نسبت به گیاهان تیمار نشده برخوردار بودند (Saour, 2005).

تنش‌های شوری، خشکی و همچنین pH بالا از مشکلات اساسی مناطق پسته‌کاری ایران بوده که عملکرد پسته را به‌طور

منظور ۳۰ درخت رقم کله قوچی با شرایط یکسان انتخاب و چهار شاخه در جهات اصلی هر درخت اتیکت زده شد. برای محلول پاشی درختان از کائولین در دو غلظت (صفر و پنج درصد)، پتاسیم در سه غلظت (صفر، یک و نیم و سه درصد با استفاده از پتاسیم سولفات) و فسفر در سه غلظت (صفر، یک و دو درصد با استفاده از نانو کود کلات فسفر ۱۷ درصد شرکت خضرا) مطابق با شرح جدول ۱ استفاده گردید.

محلول پاشی در اوایل تیرماه سال ۱۳۹۵ همزمان با پایان مرحله دوم رشد میوه و آغاز رشد جنین (حداکثر نیاز فتوستتزی درخت) انجام شد. در محلول پاشی های انجام شده تمامی نکات فنی (ساعت محلول پاشی، میزان محلول پاشی، استفاده از سورفکتانت و غیره) مورد توجه بود. اندازه گیری فعالیت فتوستتزی درختان در پنج مرحله انجام شد به طوریکه مرحله نخست آن یک روز پس از محلول پاشی و چهار مرحله بعدی هر یک به فاصله یک هفته انجام گردید.

اندازه گیری پارامترهای فتوستتزی: به منظور اندازه گیری پارامترهای فتوستتزی از دستگاه سنجش فتوستتزر (LCpro-SD, ADC, UK) استفاده گردید. برای اندازه گیری ابتدا یکی از برگ های بالغ قسمت های میانی شاخه در نظر گرفته شد و پهنک برگچه انتهایی آن درون محفظه دستگاه قرار گرفت به طوریکه سطح درونی محفظه را کاملاً بپوشاند. پس از ثابت شدن نوسانات ابتدایی در تبادلات گازی درون محفظه، رکوردگیری در فواصل زمانی یک دقیقه در پنج نوبت انجام شد. در نهایت از رکوردهای ثبت شده برای هر برگ میانگین گرفته شد و برای هر درخت (به عنوان یک تکرار) از میانگین های ثبت شده برای چهار شاخه در جهات اصلی درخت میانگین گرفته شد. پارامترهای فتوستتزی شامل شدت فتوستتزر، A (میکرومول CO_2 در مترمربع در ثانیه)، تعرق، E (میلی مول H_2O در مترمربع در ثانیه)، غلظت دی اکسید کربن زیر روزنه ای، Ci (میکرومول CO_2 بر مول) و هدایت روزنه ای، gs (مول CO_2 در مترمربع در ثانیه) بود.

اندازه گیری فلورسانس کلروفیل: برای اندازه گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه فلوریمتر (Pocket PEA,

چشم گیری کاهش داده است. نتیجه این تنش ها اغلب به صورت کاهش پتانسیل اسمزی محلول خاک (تنش اسمزی)، اثرهای سمی برخی از یونها، عدم تعادل در جذب برخی از عناصر غذایی یا مجموعه این عوامل پدیدار می شود. (Khan et al., 2009) که حاصل آن افزایش نیاز داخلی گیاه برای برخی از عناصر از قبیل فسفر و پتاسیم است (Hu and Schmidhalter, 2005; Raghmi et al., 2016). با توجه به نقش عناصر پتاسیم و فسفر در بسیاری از فعالیت های آنزیمی و همچنین فرایندهای فیزیولوژیکی از جمله فتوستتزر، کاهش این عناصر در گیاه رشد و عملکرد را به طور قابل توجهی کاهش می دهد (Khan et al., 2009). یکی از راهکارهایی که برای رفع کمبود این عناصر در گیاهان به کار گرفته شده است، تغذیه برگ گیاهان با محلول های حاوی این عناصر است.

با توجه به مطالب فوق مبنی بر شرایط نامطلوب جوی (گرما و تشعشع بالا) و خاکی (شوری، خشکی و pH بالا) مناطق پسته کاری کشور، کاهش محصول و همچنین افزایش سالآوری پسته به دلیل کاهش فتوستتزر و سایر فعالیت های متابولیکی گیاه امری اجتناب ناپذیر است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات کاربرد توأم کائولین، فسفر و پتاسیم بر فعالیت و راندمان دستگاه فتوستتزی درختان پسته در طول فصل تابستان اجرا گردید با این فرض که ایجاد پوشش کائولین بر روی برگ علاوه بر اینکه سبب ایجاد محدودیت در فتوستتزر نمی شود بلکه با کاهش دمای برگ سبب حفظ رطوبت درونی درخت می گردد و کاربرد برگی عناصر فسفر و پتاسیم می تواند موجب افزایش فتوستتزر گردد.

مواد و روش ها

آزمایش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو فاکتور (فاکتور اول تیمارهای محلول پاشی در ده سطح و فاکتور دوم زمان های نمونه برداری در پنج سطح) روی درختان هشت ساله پسته رقم کله قوچی در سال آور (on) طی فصل تابستان سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. بدین

جدول ۱- شرح تیمارهای آزمایش شامل غلظت و ترکیب های مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم

کد اختصاری تیمار	تیمار	Treatment
-	شاهد (محلول پاشی با آب مقطر)	Control
Kao _{5%}	کائولین ۵ درصد	Kaolin 5%
P _{1%}	فسفر ۱ درصد	Phosphorus 1%
P _{2%}	فسفر ۲ درصد	Phosphorus 2%
K _{1.5%}	پتاسیم ۱/۵ درصد	Potassium 1.5%
K _{3%}	پتاسیم ۳ درصد	Potassium 3%
Kao _{5%} + K _{1.5%}	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	Kaolin 5% + Potassium 1.5%
Kao _{5%} + K _{3%}	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	Kaolin 5% + Potassium 3%
Kao _{5%} + P _{1%}	کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	Kaolin 5% + Phosphorus 1%
Kao _{5%} + P _{3%}	کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	Kaolin 5% + Phosphorus 2%

$OD_{663.6} \times [V/W]$
 $Chl\ a\ (mg/gfw) = [(12.25 \times OD_{663.6}) - (2/55 \times OD_{646.6})] \times [V/W]$
 $Chl\ b\ (mg/gfw) = [(20/31 \times OD_{646}) - (4/91 \times OD_{663.9})] \times [V/W]$
 $Car\ (mg\ /gfw) = [(1000 \times OD_{470}) - (3/27 \times Chla)] - 104[Chl\ b] \times [5.227 \times 0.25]$
 OD: میزان جذب خوانده شده، V: حجم استون مصرف شده، W: وزن تر نمونه (گرم).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: داده‌های این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده شد.

نتایج

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، محلول پاشی‌های انجام شده تأثیر معنی‌داری بر نرخ فتوسنتز و تعرق نداشت در حالیکه هدایت روزنه‌ای و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای تحت تأثیر این تیمارها قرار گرفت. همچنین زمان‌های نمونه‌برداری تأثیر معنی‌داری بر تمام پارامترهای فتوسنتزی داشت در حالیکه برهمکنش تیمارهای محلول پاشی و زمان‌های نمونه‌برداری بر هیچ یک از این پارامترها تأثیری نداشت. براساس نتایج مقایسه میانگین در جدول ۳، تیمارهای محلول پاشی تأثیری بر نرخ فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای

(Hansatech, UK) استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را براساس پارامترهای F_v/F_m و PI ثبت نمود. روش کار بدین صورت بود که از همان برگی که برای اندازه‌گیری فتوسنتز استفاده شد برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل نیز استفاده گردید. ابتدا برگچه انتهایی در گیره مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفت و پس از این مدت میزان فلورسانس کلروفیل ثبت گردید.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی: میزان کلروفیل a، b، کلروفیل کل و مجموع کارتنوئیدها با نمونه‌گیری از برگ‌های اشاره شده در بالا و عصاره‌گیری با استون ۸۰ درصد اندازه‌گیری گردید. برای این کار ابتدا نمونه‌های برگ در فویل آلومینیومی پیچیده شد و پس از قراردادن بر روی یخ، به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس مقدار ۰/۵ گرم از نمونه برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده شد تا به صورت مخلوط یکنواختی در آید، سپس نمونه‌ها به لوله‌های سانتریفیوژ منتقل و به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند، در مرحله بعد میزان جذب نور محلول با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (T80, PG Instruments Ltd, UK) در طول موج‌های ۶۴۶/۶، ۶۶۳/۶ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت کلروفیل با استفاده از روابط زیر محاسبه شد (Porra, 2002):

$$Chl\ total\ (mg/gfw) = [(17/76 \times OD_{646.6}) + (7/37 \times$$

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای فتوستتزی درختان پسته رقم کله-قوچی تحت تأثیر محلول پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر در زمان‌های مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
نرخ فتوستتزی	هدایت روزنه‌ای	تعرق	دی‌اکسید کربن زیرروزنه		
۳۳/۷۱ *	۰/۰۰۰۵ ^{ns}	۳/۴۰۵ ^{ns}	۳۲۸۰ ^{ns}	۲	بلوک (B)
۱۳/۵۹ ^{ns}	۰/۰۰۳ *	۳/۴۸۶ ^{ns}	۹۷۸ *	۹	تیمار (T)
۵۱/۷۱ **	۰/۰۰۴ *	۱۰/۵۲۰ *	۲۷۶۳ **	۴	زمان نمونه برداری (ST)
۹/۳۷ ^{ns}	۰/۰۰۹ ^{ns}	۱/۹۴۳ ^{ns}	۷۰۴ ^{ns}	۳۶	ST × T
۱۰/۲۶۶	۰/۰۰۱	۳/۵۹۲	۶۴۷/۱۸	۹۸	خطا
۸/۳۶	۲/۶	۳/۶۹	۱۲/۲۰		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی دار وجود ندارد.

جدول ۳- اثر ترکیب‌های مختلف کائولین، پتاسیم و فسفر بر پارامترهای فتوستتزی درختان پسته رقم کله قوچی در زمان‌های مختلف نمونه برداری

تیمارها	دی‌اکسید کربن زیر روزنه (Ci) ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)	تعرق (E) ($\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (gs) ($\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	شدت فتوستتزی (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
شاهد (آب مقطر)	۲۲۶/۸۶ ± ۷/۳۱ ^a	۶/۷۸۸ ± ۰/۴۸ ^a	۰/۱۶۶ ± ۰/۰۱۲ ^a	۱۱/۰۴ ± ۱/۰۳ ^{ab}
کائولین ۵ درصد	۲۰۷/۰۵ ± ۸/۳۲ ^b	۸/۱۳۸ ± ۰/۴۲ ^a	۰/۱۶۵ ± ۰/۰۰۶ ^a	۱۲/۱۵ ± ۰/۷۲ ^a
فسفر ۱ درصد	۱۹۹/۹۲ ± ۷/۳۳ ^b	۸/۳۹۲ ± ۰/۳۵ ^a	۰/۱۶۱ ± ۰/۰۱۰ ^a	۱۲/۴۷ ± ۰/۹۷ ^a
فسفر ۲ درصد	۲۰۳/۰۱ ± ۵/۴۲ ^b	۸/۵۲۷ ± ۰/۴۷ ^a	۰/۱۵۷ ± ۰/۰۰۹ ^a	۱۲/۰۲ ± ۰/۷۹ ^{ab}
پتاسیم ۱/۵ درصد	۲۱۴/۲۲ ± ۱۱/۷ ^{ab}	۸/۰۷۶ ± ۰/۴۵ ^a	۰/۱۴۱ ± ۰/۰۰۹ ^{ab}	۱۰/۶۹ ± ۱/۱۳ ^{ab}
پتاسیم ۳ درصد	۲۰۸/۶۷ ± ۶/۳۶ ^{ab}	۷/۷۲۶ ± ۰/۶۱ ^a	۰/۱۲۰ ± ۰/۰۱۰ ^b	۹/۳۲ ± ۰/۸۸ ^b
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	۲۰۰/۹۱ ± ۶/۶۲ ^b	۷/۹۹۵ ± ۰/۵۷ ^a	۰/۱۵۲ ± ۰/۰۱۱ ^a	۱۱/۹۸ ± ۱/۰۸ ^{ab}
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	۲۱۳/۸۰ ± ۵/۳۶ ^{ab}	۷/۹۲۶ ± ۰/۴۷ ^a	۰/۱۴۳ ± ۰/۰۰۷ ^{ab}	۱۰/۴۵ ± ۰/۶۱ ^{ab}
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	۲۰۶/۳۴ ± ۴/۱۴ ^b	۸/۲۱۷ ± ۰/۴۰ ^a	۰/۱۵۱ ± ۰/۰۰۶ ^a	۱۱/۴۴ ± ۰/۵۷ ^{ab}
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	۲۰۳/۹۵ ± ۶/۴۰ ^b	۸/۱۹۵ ± ۰/۴۳ ^a	۰/۱۴۸ ± ۰/۰۰۸ ^a	۱۱/۳۷ ± ۰/۸۱ ^{ab}
مرحله ۱	۲۱۸/۹۶ ± ۵/۷۹ ^a	۷/۴۳۶ ± ۰/۳۴ ^a	۰/۱۴۷ ± ۰/۰۰۸ ^b	۱۰/۲۵ ± ۰/۷۰ ^c
مرحله ۲	۲۱۸/۷۲ ± ۴/۶۱ ^a	۸/۰۰۸ ± ۰/۲۹ ^{ab}	۰/۱۳۸ ± ۰/۰۰۵ ^b	۹/۹۱ ± ۰/۵۶ ^c
مرحله ۳	۲۰۲/۰۶ ± ۴/۲۷ ^b	۸/۵۳۰ ± ۰/۴۲ ^b	۰/۱۴۴ ± ۰/۰۰۷ ^b	۱۱/۱۵ ± ۰/۶۲ ^{bc}
مرحله ۴	۱۹۹/۱۲ ± ۴/۲۶ ^b	۸/۴۶۲ ± ۰/۲۵ ^b	۰/۱۶۹ ± ۰/۰۰۶ ^a	۱۳/۱۱ ± ۰/۵۵ ^a
مرحله ۵	۲۰۳/۴۹ ± ۵/۳۹ ^b	۷/۳۷۴ ± ۰/۳۰ ^b	۰/۱۵۶ ± ۰/۰۰۵ ^{ab}	۱۲/۰۵ ± ۰/۵۲ ^{ab}

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

نداشت در حالیکه به عنوان نمونه در تیمارهای Kao_{5%}, P_{1%}, Kao_{5%} + K_{1.5%}, P_{2%} سبب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای گردید. زمان نمونه برداری بر تمام پارامترهای فتوستتزی تأثیر معنی دار داشت به طوری که نرخ فتوستتزی و

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر بر مقدار شاخص‌های فلورسانس کلروفیل درخت پسته در زمان‌های مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
PI	F_v/F_m		
کارایی دستگاه فتوسنتز	نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر		
۵۸/۷۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۹ [*]	۲	بلوک (B)
۸۳/۶۰۷ ^{**}	۰/۰۰۵ [*]	۹	تیمار (T)
۴۵/۴۱ ^{ns}	۰/۰۰۵ ^{**}	۴	زمان نمونه برداری (ST)
۱۶/۳۷۳ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}	۳۶	ST × T
۳۲/۴۴۷	۰/۰۰۳	۹۸	خطا
۱۸/۹۵	۶/۶۴		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی دار وجود ندارد.

محلول پاشی شده بودند به ترتیب حدود ۳۸، ۴۸، ۸، ۶ و ۲۰ درصد نسبت به درختان شاهد بیشتر بود (جدول ۵ و ۷). نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها همچنین نشان داد که با افزایش فاصله زمانی اندازه‌گیری صفات مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، شاخص (F_v/F_m) و (PI) افزایش یافت و در مرحله آخر یک روند ثابتی را داشت به طوری که تفاوت معنی داری بین مرحله چهارم نمونه برداری با مرحله ۵ از لحاظ پارامترهای مذکور مشاهده نشد (جدول ۵ و ۷).

نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد که محلول پاشی توأم کائولین، پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار کلروفیل a برگ در تمام زمان‌های نمونه‌گیری گردید ولی بیشترین مقدار کلروفیل a برگ در مرحله چهارم نمونه‌گیری در درختانی که با 3% K + 5% Kao تیمار شده بودند مشاهده گردید (جدول ۸).

بحث

فتوسنتز یکی از مهم‌ترین فرآیندهای گیاهی است که با خروج لپه‌ها از بذر و تولید برگ شروع می‌شود و با استفاده از دی‌اکسید کربن، مواد آلی لازم برای رشد و همچنین سوخت و ساز گیاه را فراهم می‌کند (Glenn et al., 1999). هر عاملی در طی فصل رشد بر فتوسنتز تأثیر سو داشته باشد در واقع

هدایت روزنه‌ای از نمونه برداری چهارم (سه هفته پس از محلول پاشی) افزایش یافت و میزان تعرق و غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه‌ای از نمونه برداری سوم (دو هفته پس از محلول پاشی) به ترتیب افزایش و کاهش نشان داد که این تغییرات از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود.

بر اساس نتایج جدول‌های ۴ و ۶ اثر تیمارهای محلول پاشی و زمان اندازه‌گیری تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد بر مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) داشت در حالیکه اثر متقابل محلول پاشی و زمان اندازه‌گیری تأثیری بر مقدار این صفات بجز کلروفیل a در سطح احتمال پنج درصد نداشت. نتایج مقایسه میانگین بین تیمارها نشان داد که کاربرد توأم کائولین، پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوسنتزی گردید. بیشترین مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) در تیمار 3% Kao + 5% Kao مشاهده شد، به طوری که مقدار کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئید، شاخص F_v/F_m و PI درختانی که با این تیمار

جدول ۵- تأثیر محلول پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر پارامترهای فلورسانس کلروفیل درختان پسته رقم کله قوچی در زمان‌های مختلف نمونه برداری

PI	F _v /F _m	تیمارها
کارایی دستگاه فتوستتزر	نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر	
۷/۷۴ ± ۱/۶۴ ^c	۰/۷۵ ± ۰/۰۱۴ ^c	شاهد (آب مقطر)
۱۴/۹۵ ± ۱/۸۴ ^{ab}	۰/۸۰ ± ۰/۰۰۶ ^a	کائولین ۵ درصد
۸/۲۲ ± ۱/۶۵ ^c	۰/۷۵ ± ۰/۰۱۵ ^c	فسفر ۱ درصد
۹/۹۸ ± ۰/۸۳ ^{bc}	۰/۷۶ ± ۰/۰۱۹ ^{bc}	فسفر ۲ درصد
۸/۳۲ ± ۱/۲۰ ^c	۰/۷۸ ± ۰/۰۰۹ ^{bc}	پتاسیم ۱/۵ درصد
۱۰/۳۰ ± ۱/۵۲ ^{bc}	۰/۷۷ ± ۰/۰۱۸ ^{bc}	پتاسیم ۳ درصد
۱۱/۰۳ ± ۱/۰۹ ^{ab}	۰/۷۸ ± ۰/۰۰۸ ^{ab}	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد
۱۲/۰۵ ± ۱/۰۳ ^{ab}	۰/۷۹ ± ۰/۰۱۴ ^a	کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد
۱۳/۶۰ ± ۱/۴۶ ^{ab}	۰/۷۹ ± ۰/۰۰۷ ^a	کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد
۹/۹۴ ± ۱/۲۶ ^c	۰/۸۰ ± ۰/۰۰۶ ^a	کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد
۸/۶۳ ± ۰/۹۲ ^c	۰/۷۶ ± ۰/۰۰۶ ^b	مرحله ۱
۱۰/۵۲ ± ۱/۱۷ ^b	۰/۷۶ ± ۰/۰۱۰ ^b	مرحله ۲
۱۰/۶۴ ± ۱/۰۲ ^b	۰/۷۸ ± ۰/۰۱۲ ^a	مرحله ۳
۱۱/۷۱ ± ۰/۷۸ ^a	۰/۷۹ ± ۰/۰۰۵ ^a	مرحله ۴
۱۱/۵۶ ± ۱/۲۰ ^a	۰/۷۷ ± ۰/۰۱۰ ^a	مرحله ۵

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۶- تجزیه واریانس تأثیر محلول پاشی کائولین، پتاسیم و فسفر بر مقدار رنگیزه‌های فتوستتزی برگ درخت پسته در زمان‌های مختلف نمونه برداری

میانگین مربعات				درجه	منابع تغییرات
کارتونوئیدها	کلروفیل کل	کلروفیل b	کلروفیل a	آزادی	
۰/۰۳۹ ^{ns}	۱۲/۷۶۷ ^{**}	۰/۱۵۴ ^{**}	۱۲/۱۴۳ [*]	۲	بلوک (B)
۰/۰۱۶ ^{**}	۲/۷۱۱ ^{**}	۰/۰۶۳ ^{**}	۲/۹۸۶ ^{**}	۹	تیمارها (T)
۰/۰۳۹ ^{**}	۲/۰۵۱ ^{**}	۰/۵۴۰ ^{**}	۰/۶۴۵ ^{**}	۴	زمان نمونه برداری (ST)
۲/۶۲ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{ns}	۶/۴۹ ^{ns}	۰/۰۱۸ ^{**}	۳۶	ST × T
۰/۰۰۳	۰/۱۰۰	۰/۰۱۲	۰/۹۰	۹۸	خطا
۸/۶۲	۲۶/۱۳	۸/۹۹	۹/۲۷		ضریب تغییرات

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و ns تفاوت معنی دار وجود ندارد.

کامبود عناصر غذایی، سمیت عناصری نظیر سدیم و کلر در طی فصل رشد سبب تغییر در فرایند فتوستتزر و در نهایت کاهش آن می‌شوند (Jones, 1992). معمولاً در شرایط تنش

کارخانه تولید و ذخیره سازی گیاه را تحت تأثیر قرار داده و در نهایت سبب کاهش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Jifon and Syvertsen, 2003). عوامل متعددی نظیر تشعشع، گرما،

جدول ۷- تأثیر محلول پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر رنگدانه‌های فتوسنتزی درختان پسته رقم کله قوچی در زمان‌های مختلف نمونه برداری

تیمارها	کلروفیل b (mg.g ⁻¹ fw)	کلروفیل کل (mg.g ⁻¹ fw)	کارتنوئیدها (mg.g ⁻¹ fw)
شاهد (آب مقطر)	۲/۸۸ ± ۰/۰۴۲ ^e	۸/۱۹ ± ۰/۱۵ ^e	۱/۰۹ ± ۰/۰۲۰ ^d
کائولین ۵ درصد	۳/۹۵ ± ۰/۰۴۱ ^a	۱۱/۵۳ ± ۰/۱۴ ^a	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۱ ^{bc}
فسفر ۱ درصد	۳/۱۲ ± ۰/۰۴۴ ^{cd}	۹/۴۵ ± ۰/۱۳ ^d	۱/۰۹ ± ۰/۰۲۲ ^d
فسفر ۲ درصد	۳/۱۴ ± ۰/۰۴۳ ^c	۹/۶۳ ± ۰/۱۴ ^{cd}	۱/۱۲ ± ۰/۰۲۱ ^{cd}
پتاسیم ۱/۵ درصد	۳/۱۱ ± ۰/۰۴۱ ^d	۹/۴۴ ± ۰/۱۳ ^d	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۰ ^{bc}
پتاسیم ۳ درصد	۳/۲۲ ± ۰/۰۳۹ ^c	۹/۸۰ ± ۰/۱۴ ^{cd}	۱/۰۹ ± ۰/۰۱۹ ^d
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	۳/۳۵ ± ۰/۰۴۲ ^b	۱۰/۱۹ ± ۰/۱۵ ^{bc}	۱/۱۲ ± ۰/۰۲۰ ^{cd}
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	۴/۰۱ ± ۰/۰۴۱ ^a	۱۲/۱۸ ± ۰/۱۶ ^a	۱/۱۷ ± ۰/۰۲۱ ^a
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	۳/۳۳ ± ۰/۰۴۱ ^{bc}	۱۰/۱۲ ± ۰/۱۴ ^{bc}	۱/۱۳ ± ۰/۰۲۰ ^{bc}
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	۳/۱۲ ± ۰/۰۴۰ ^{cd}	۱۱/۰۳ ± ۰/۱۶ ^{cd}	۱/۱۶ ± ۰/۰۱۹ ^{abc}
مرحله ۱	۳/۰۳ ± ۰/۰۲۵ ^c	۷/۸۱ ± ۰/۱۳ ^d	۱/۰۶ ± ۰/۰۱۲ ^d
مرحله ۲	۳/۳۵ ± ۰/۰۲۴ ^b	۸/۷۶ ± ۰/۱۵ ^c	۱/۰۷ ± ۰/۰۱۱ ^d
مرحله ۳	۳/۳۷ ± ۰/۰۲۳ ^b	۱۰/۷۹ ± ۰/۱۲ ^b	۱/۱۳ ± ۰/۰۱۱ ^c
مرحله ۴	۳/۵۵ ± ۰/۰۲۰ ^a	۱۱/۸۲ ± ۰/۰۹ ^a	۱/۱۷ ± ۰/۰۱۰ ^b
مرحله ۵	۳/۴۰ ± ۰/۰۱۴ ^{ab}	۱۱/۱۰ ± ۰/۰۷ ^{ab}	۱/۲۲ ± ۰/۰۰۷ ^a

ستون دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۸- تأثیر محلول پاشی ترکیبات مختلف کائولین، فسفر و پتاسیم بر غلظت کلروفیل a (mg.g⁻¹ fw) درختان پسته رقم کله قوچی در زمان‌های مختلف نمونه برداری

تیمارها	مرحله ۱	مرحله ۲	مرحله ۳	مرحله ۴	مرحله ۵
شاهد (آب مقطر)	۳/۴۳ ± ۰/۰۴۱ ^P	۳/۳۷ ± ۰/۰۴۵ ^P	۲/۵۰ ± ۰/۰۴۰ ^{g-j}	۲/۸۴ ± ۰/۰۲۰ ^{f-i}	۲/۳۳ ± ۰/۰۱۲ ^{h-k}
کائولین ۵ درصد	۵/۲۰ ± ۰/۰۴۲ ^{l-o}	۵/۹۹ ± ۰/۰۴۱ ^{i-l}	۸/۰۰ ± ۰/۰۴۰ ^{c-e}	۹/۹۳ ± ۰/۰۲۱ ^b	۷/۷۹ ± ۰/۰۱۱ ^{c-f}
فسفر ۱ درصد	۵/۲۰ ± ۰/۰۳۹ ^{l-o}	۵/۲۲ ± ۰/۰۳۹ ^{l-o}	۷/۰۱ ± ۰/۰۳۸ ^{e-h}	۷/۳۹ ± ۰/۰۱۹ ^{c-g}	۶/۸۴ ± ۰/۰۱۰ ^{f-i}
فسفر ۲ درصد	۴/۸۳ ± ۰/۰۴۱ ^{no}	۴/۴۵ ± ۰/۰۴۰ ^{k-o}	۷/۳۲ ± ۰/۰۳۹ ^{c-g}	۷/۷۰ ± ۰/۰۲۰ ^{c-f}	۷/۱۳ ± ۰/۰۱۱ ^{d-h}
پتاسیم ۱/۵ درصد	۴/۹۸ ± ۰/۰۳۷ ^{m-o}	۵/۲۵ ± ۰/۰۳۶ ^{l-o}	۷/۰۷ ± ۰/۰۳۶ ^{c-h}	۷/۴۴ ± ۰/۰۱۸ ^{c-g}	۶/۸۹ ± ۰/۰۰۹ ^{f-i}
پتاسیم ۳ درصد	۴/۸۰ ± ۰/۰۴۱ ^o	۵/۵۵ ± ۰/۰۴۰ ^{j-o}	۷/۴۴ ± ۰/۰۳۹ ^{c-g}	۷/۸۳ ± ۰/۰۲۰ ^{c-f}	۷/۲۵ ± ۰/۰۱۰ ^{c-h}
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۱/۵ درصد	۴/۸۰ ± ۰/۰۴۴ ^o	۵/۸۰ ± ۰/۰۴۳ ^{j-n}	۷/۷۹ ± ۰/۰۴۳ ^{c-f}	۸/۲۰ ± ۰/۰۲۱ ^c	۷/۵۹ ± ۰/۰۱۱ ^{c-f}
کائولین ۵ درصد + پتاسیم ۳ درصد	۴/۸۰ ± ۰/۰۴۶ ^o	۵/۸۱ ± ۰/۰۴۵ ^{j-n}	۷/۸۰ ± ۰/۰۴۴ ^{c-f}	۱۱/۳۶ ± ۰/۰۲۲ ^a	۷/۶۰ ± ۰/۰۱۲ ^{c-f}
کائولین ۵ درصد + فسفر ۱ درصد	۴/۹۵ ± ۰/۰۴۲ ^{no}	۵/۷۳ ± ۰/۰۴۱ ^{j-o}	۷/۶۹ ± ۰/۰۴۰ ^{c-f}	۸/۰۹ ± ۰/۰۲۰ ^{cd}	۷/۵۰ ± ۰/۰۱۱ ^{c-g}
کائولین ۵ درصد + فسفر ۲ درصد	۴/۸۳ ± ۰/۰۴۰ ^{no}	۵/۹۶ ± ۰/۰۴۵ ^{i-m}	۷/۵۶ ± ۰/۰۳۴ ^{c-f}	۷/۹۵ ± ۰/۰۲۶ ^{c-e}	۷/۳۶ ± ۰/۰۰۵ ^{c-g}

ستون‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون دانکن تفاوت معنی داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

خشکی به دلیل کاهش آب و جذب آن توسط ریشه، روزه‌های گیاه در پاسخ به تنش برای جلوگیری از تلفات آب بسته شده

مشاهده باشد. در عین حال کاهش غلظت دی‌اکسید کربن زیر روزنه در این آزمایش تحت تأثیر برخی تیمارها نظیر کائولین، فسفر و تیمارهای ترکیبی آنها، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این تیمارها بر ظرفیت فتوستتزی برگ است.

رنگدانه‌های فتوستتزی نه تنها در تعیین رنگ و فرایند فتوستتزی مؤثرند بلکه این رنگدانه‌ها به‌عنوان عوامل ضد‌اکسیداسیونی در بافت گیاه عمل می‌کنند (*Khaleghi et al., 2015*). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که برخی از عناصر معدنی نقش به‌سزایی در تولید رنگدانه‌ها دارند (*Weinbaum et al., 2001; Zhao et al., 2001; Marschner, 2015; Boussadia et al., 2011*). براساس نتایج تحقیق حاضر کاربرد کائولین به‌همراه پتاسیم و فسفر سبب افزایش قابل توجهی در مقدار رنگدانه‌های فتوستتزی برگ درختان پسته گردید، این نتایج با نتایج سایر محققان روی سبب (*Glenn et al., 2003*) و زیتون (*Khaleghi et al., 2015*) مبنی بر تأثیر کائولین بر افزایش مقدار رنگیزه‌های فتوستتزی مطابقت داشت. از طرف دیگر در شرایط تنش ممکن است فعالیت آنزیم کلروفیل‌از افزایش یابد در نتیجه مقدار کلروفیل برگ به‌طور قابل توجهی کاهش یابد (*Woodward and Bennett, 2005*). بنابراین کاربرد توأم کائولین، پتاسیم و فسفر به‌دلیل تعدیل شرایط تنش (گرما و تشعشع) سبب کاهش تجزیه کلروفیل گردید (*Khaleghi et al., 2014*).

در آزمایش حاضر علیرغم افزایش غلظت رنگیزه‌های کلروفیل و کارتنوئیدی تحت تأثیر اکثر تیمارهای محلول‌پاشی، افزایش در میزان فتوستتزی برگ درختان پسته مشاهده نگردید. عدم تأثیر این رنگیزه‌ها بر فتوستتزی را می‌توان به اصل عوامل محدودکننده بلکمن (black man's) نسبت داد (*James et al., 2002*) بدین معنی که وقتی سرعت انجام یک فرآیند به چندین عامل بستگی دارد، همواره عاملی که در حداقل است سرعت واکنش را کنترل می‌نماید. پس افزایش غلظت این رنگیزه‌ها مازاد بر ظرفیت فتوستتزی برگ بوده و احتمالاً عوامل دیگری همچون آنزیم‌ها (به‌ویژه روبیسکو) و کوآنزیم‌های لازم برای استفاده از انرژی تولیدشده در واکنش‌های نوری تعیین‌کننده

و به‌دنبال آن تبادلات گازی و درنهایت فتوستتزی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، دمای بالا به‌همراه تشعشع بالا در طی روز آسیب دستگاه فتوستتزی و درنهایت پیری برگ را به‌همراه دارد (*Denaxa et al., 2012; Buchner et al., 2015*). محلول‌پاشی‌های انجام‌شده در این آزمایش تأثیر معنی‌داری بر نرخ فتوستتزی و تعرق نداشت. در یک بررسی، کاربرد کائولین در شرایط تنش خشکی روی درختان گردو و بادام تأثیری بر پارامترهای فتوستتزی نظیر آسیملاسیون دی‌اکسید کربن، تبادلات گازی و همچنین دی‌اکسید کربن زیر روزنه نداشت (*Rosati et al., 2006a*). همچنین در پژوهشی دیگر روی درختان لیمو مشخص شد محلول‌پاشی کائولین تأثیر معنی‌داری بر فتوستتزی، تعرق و هدایت روزنه‌ای ندارد، کائولین روزنه‌ها را نمی‌بندد و تبادلات گازی را مختل نمی‌کند (*Kerns and Wright, 2000*). تعرق، خروج آب از قسمت‌های هوایی گیاه خصوصاً برگ‌هاست که از طریق روزنه‌ها اتفاق می‌افتد، بنابراین بازشدن روزنه‌ها سبب افزایش تعرق و همچنین افزایش تبادلات گازی بین هوا و گیاه می‌گردد. بنابراین تعرق ارتباط مستقیمی با درجه بازشدن روزنه و سطح برگ دارد (*Liu et al., 2013*). در این پژوهش میزان هدایت روزنه‌ای و در نتیجه تعرق تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی قرار نگرفت. هدایت روزنه‌ای به‌شدت تحت تأثیر ساختار ژنتیکی گیاه قرار می‌گیرد. که میزان جذب دی‌اکسید کربن و از دست‌دادن آب توسط گیاه را کنترل می‌کند. حساسیت دستگاه فتوستتزی گیاه به عوامل محیطی بسته به آناتومی گیاه متفاوت است. گیاهان مقاوم نسبت به شرایط تنش سازگارند و این امر تا حدی سبب حفظ ظرفیت فتوستتزی می‌گردد. (*Gao et al., 2016*). در این آزمایش عدم‌تغییر شدت فتوستتزی، هدایت روزنه‌ای و تعرق تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی نشان می‌دهد که در پسته مقاومت‌های ساختاری ناشی از نوع ساختمان برگ و سیستم ریشه تأثیری به مراتب بیش از تیمارهای آزمایشی بر حفظ ظرفیت فتوستتزی برگ داشته و تأثیر عوامل محیطی همچون گرمای هوا و تشعشع بالا، آنچنان تأثیر معنی‌داری بر قابلیت فتوستتزی برگ نداشته تا اثرات تیمارهای آزمایشی قابل

افزایش فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوستتزی درختان زیتون گردید (Khaleghi et al., 2014). در آزمایش حاضر، تیمارهای کائولین سبب افزایش غلظت کارتئوئیدها گردید و همچنین تیمارها سبب کاهش فلورسانس کلروفیل شدند که نمود آن در افزایش نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر (Fv/Fm) و کارایی دستگاه فتوستتزی (PI) قابل مشاهده است (جدول ۵). کارتئوئیدها نقش مهمی در فرآیند فتوستتز بر عهده دارند به طوری که از یک طرف به عنوان رنگدانه‌ای کمکی، با جذب انرژی نورانی و انتقال آن به مولکول کلروفیل سبب افزایش بهره‌وری سیستم فتوستتزی گیاه می‌گردند و از طرف دیگر زمانیکه برگ در معرض انرژی نورانی مازاد بر ظرفیت فتوستتزی قرار دارد با آزاد کردن بخشی از انرژی نورانی جذب شده توسط چرخه‌ی زانتوفیل سبب ممانعت از آسیب نوری به دستگاه فتوستتزی برگ و کاهش فلورسانس کلروفیل می‌گردند (Young and Frank, 1996) که نتایج ما در این راستا قابل ارزیابی است.

بوده‌اند (James et al., 2002). تبادلات گازی و فلورسانس کلروفیل بخش جدایی‌ناپذیر فرایند فتوستتز در برگ هستند. طی واکنش‌های نوری، رنگدانه‌های فتوستتزی انرژی نورانی را از طریق فتوسیستم یک و دو جذب کرده و آن را به انرژی شیمیایی تبدیل می‌نمایند که این انرژی برای تثبیت دی‌اکسید کربن در واکنش‌های تاریکی به‌کار گرفته می‌شود. در صورتیکه میزان جذب انرژی نورانی فراتر از فرایندهای فتوشیمیایی تثبیت دی‌اکسید کربن باشد، می‌تواند به صورت گرما و فلورسانس کلروفیل بازتابش نماید. حداکثر ظرفیت فتوستتزی وابسته به ظرفیت انتقال الکترون (انتقال انرژی) و غلظت فسفر در کلروپلاست برای مدیریت فتوفسفریلاسیون و بیوستتز کربوهیدرات است. افزایش استفاده از انرژی نورانی جذب شده در واکنش‌های تاریکی سبب کاهش فلورسانس کلروفیل می‌گردد (Singh and Reddy, 2014). در این آزمایش کاربرد کائولین به‌تنهایی و همچنین ترکیب با پتاسیم و فسفر سبب افزایش در نسبت فلورسانس متغیر به حداکثر و کارایی دستگاه فتوستتزی گردید. در یک بررسی انجام شده نیز نشان داده شد که کاربرد کائولین سبب

منابع

- Boussadia, O., Steppe, K., Van Labeke, M. C., Lemeur, R. and Braham, M. (2015) Effects of nitrogen deficiency on leaf chlorophyll fluorescence parameters in two olive tree cultivars 'Meski' and 'Koroneiki'. *Journal of Plant Nutrition* 38: 2230-2246.
- Buchner, O., Stoll, M., Karadar, M., Kranner, I., and Neuner, G. (2015) Application of heat stress in situ demonstrates a protective role of irradiation on photosynthetic performance in alpine plants. *Plant, Cell and Environment* 38: 812-826.
- Denaxa, N. K., Roussos, P. A., Damvakaris, T. and Stournaras, V. (2012) Comparative effects of exogenous glycine betaine, kaolin clay particles and Ambiol on photosynthesis, leaf sclerophylly indexes and heat load of olive cv. *Chondrolia Chalkidikis* under drought. *Scientia Horticulturae* 137: 87-94.
- Ducruet, J. M., Peeve, V. and Havaux, M. (2007) Chlorophyll thermo fluorescence and thermo luminescence as complementary tools for the study of temperature stress in plants. *Photosynthesis Research* 93: 159-171.
- Eggink, L. L., Park, H. and Hooper, J. K. (2001) The role of chlorophyll b in photosynthesis: hypothesis. *BMC Plant Biology* 1: 2.
- Evans, J. R. (1998) Carbon dioxide diffusion inside C3 leaves. *Photosynthesis, Mechanisms and Effects*: 3463-3466. Springer, Dordrecht.
- Gao, T. T., Zheng, S. W., Zhou, X. H., Wang, D. X. and Lu, X. P. (2016) August. Photosynthetic Physiological Characteristics of *Gazania rigens* L. Under Drought Stress. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 41: 012-027.
- Glenn, D. M., Erez, A., Puterka, G. J. and Gundrum, P. (2003) Particle films affect carbon assimilation and yield in Empire apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 356-362.
- Glenn, D. M., Puterka, G. J., Vanderzwet, T., Byers, R. E. and Feldhake, C. (1999) Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests and plant diseases. *Journal of Economic Entomology* 92: 759-771.
- Glenn, D. M. and Puterka, G. J. (2005) Particle films: a new technology for agriculture. *Horticultural Reviews* 31: 1-44.

- Gosavi, G. U., Jadhav, A. S., Kale, A. A., Gadakh, S. R., Pawar, B. D. and Chimote, V. P. (2014) Effect of heat stress on proline, chlorophyll content, heat shock proteins and antioxidant enzyme activity in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedlings stage. *Indian Journal of Biotechnology* 13: 356-363.
- Heidari, M. and Jamshidi, P. (2011) Effects of salinity and potassium application on antioxidant enzyme activities and physiological parameters in Pearl Millet. *Agricultural Sciences in China* 10: 228-237.
- Hokmabadi, H., Arzani, K. and Grierson, P. F. (2005) Growth, chemical composition, and carbon isotope discrimination of pistachio (*Pistacia vera* L.) rootstock seedlings in response to salinity. *Australian Journal of Agricultural Research* 56: 1-10
- Hu, Y. and Schmidhalter, U. (2005) Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168: 541-549.
- James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R. and von Caemmerer, S. (2002) Factors affecting CO₂ assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology* 29: 1393-1403.
- Jifon, J. L. and Syvertsen, J. P. (2003) Kaolin particle film applications can increase photosynthesis and water use efficiency of 'ruby red' grapefruit leaves. *Journal of American Society for Horticultural Science* 128: 107-112.
- Jones, H. G. (1992) Stomatal control of photosynthesis and transpiration. *Journal of Experimental Botany* 49: 387-398.
- Kerns, D. L. and Wright, G. C. (2000) Protective and yield enhancement qualities of kaolin on lemons. *Citrus and Deciduous Fruit and Nut Research Report* 14-20.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. (2014) Studying the effect of kaolin on fluorescence and chlorophyll content in leaves of olive plants (*Olea europaea* L. cv Dezful) under water deficit stress. *Journal of Horticultural Science* 37: 127-140.
- Khaleghi, E., Arzani, K., Moallemi, N. and Barzegar, M. (2015) The efficacy of kaolin particle film on oil quality indices of olive trees (*Olea europaea* L.) cv 'Zard' grown under warm and semi-arid region of Iran. *Food Chemistry* 166: 35-41.
- Khan, M. S., Zaidi, A. and Wani, P. A. (2009) Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture-a review. *Sustainable agriculture* 551-570.
- Li, D., Ruan, X., Xu, Q., Wang, K., Gong, Y., Kuang, T. and Zhao, N. (2002) Heat denaturation of protein structures and chlorophyll states in PSII membranes. *Tsinghua Science and Technology* 7: 407-410.
- Lipova, L., Krchnak, P., Komenda, J. and Ilik, P. (2010) Heat-induced disassembly and degradation of chlorophyll-containing protein complexes in vivo. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 1797: 63-70.
- Liu, X., Fan, Y., Long, J., Wei, R., Kjelgren, R., Gong, C. and Zhao, J. (2013) Effects of soil water and nitrogen availability on photosynthesis and water use efficiency of *Robinia pseudoacacia* seedlings. *Journal of Environmental Sciences* 25: 585-595.
- Lombardini, L., Harris, M. K. and Glenn, D. M. (2005) Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in mature pecan trees. *HortScience* 40: 1376-1380.
- Makino, A., Nakano, H. and Mae, T. (1994) Effects of growth temperature on the responses of ribulose -1, 5-biphosphate carboxylase, electron transport components, and sucrose synthesis enzymes to leaf nitrogen in rice, and their relationships to photosynthesis. *Plant Physiology* 105: 1231-1238.
- Marschner, H. (2011) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press.
- Melgarejo, P., Martinez, J. J., Hernandez, F., Martinez Font, R., Barrows, P. and Erez, A. (2004) Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349-353
- Porra, R. J. (2002) The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research* 73: 149-156.
- Raghmi, M., Estaji, A., Bagheri, V. and Aryakia, E. (2016) Effect of salinity stress and salicylic acid on some morphophysiological characteristics of eggplant (*Solanum melongena* var. Taki) in soilless culture. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture* 7: 78-86.
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E. and Lampinen, B. D. (2006a) Effects of kaolin application on light absorption and distribution, radiation use efficiency and photosynthesis of almond and walnut canopies. *Annals of Botany* 99: 255-263.
- Rosati, A., Metcalf, S. G., Buchner, R. P., Fulton, A. E. and Lampinen, B. D. (2006b) Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. *Annals of botany* 98: 267-275.
- Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M. and Gholami, M. (2010) Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *Australian Journal of Agricultural Engineering* 1: 1-6.
- Saour, G. (2005) Morphological assessment of olive seedlings treated with kaolin-based particle film and biostimulant. *Advances in Horticultural Science* 193-197.
- Schrader, L. E., Zhang, J. and Duplaga, W. K. (2001) Two types of sunburn in apple caused by high fruit surface (peel) temperature. *Plant Health Progress* 10: 1-5.
- Showler, A. T. and Armstrong, J. S. (2007) Kaolin particle film associated with increased cotton aphid infestations in cotton. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 124: 55-60.

- Singh, S. K. and Reddy, V. R. (2014) Combined effects of phosphorus nutrition and elevated carbon dioxide concentration on chlorophyll fluorescence, photosynthesis, and nutrient efficiency of cotton. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 892-902.
- Vemmos, S. N. (2010) Alternate bearing and the possible role of carbohydrates in bud abscission of pistachio (*Pistacia vera* L.). In: XIV Grempa Meeting on Pistachios and Almonds, Zaragoza. (ed. Zakyntinos, G.) Pp. 9-18. Ciheam /FAO/AUA/TEI Kalamatas/NAGREF, Options Mediterraneennes, Serie A, Seminaires Mediterraneens.
- Weinbaum, S. A., Brown, P. H. and Johnson, R. S. (2001) Application of selected macronutrients (N, K) in deciduous orchards: physiological and agrotechnical perspectives. In *International Symposium on Foliar Nutrition of Perennial Fruit Plants* 594: 59-64.
- Widmer, A. (2000) Light intensity and fruit quality under hail protection nets. 7th International Symposium on Orchard and Plantation Systems.
- Wolpert, J. A. and Ferguson, L. (1990) Inflorescence bud retention in 'kerman' pistachio: effects of defruiting date and branch size. *Hortscience* 25: 919-921.
- Woodward, A. J. and Bennett, I. J. (2005) The effect of salt stress and abscisic acid on proline production, chlorophyll content and growth of in vitro propagated shoots of *Eucalyptus camaldulensis*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 82: 189-200.
- Young, A. J. and Frank, H. A. (1996) Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 36: 3-15.
- Zhao, D., Oosterhuis, D. M. and Bednarz, C. W. (2001) Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica* 39: 103-109.

The effect of foliar application of kaolin, phosphorus and potassium on photosynthesis rate and some of its indices in pistachio plant cv. "Kalle-Ghouchi"

Hediyeh Kadkhoda and Mohammad Hossein Shamshiri*

Department of Hort.Science, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan
(Received: 18/04/2018, Accepted: 01/05/2019)

Abstract

In an orchard experiment in 2016, the effects of foliar application of kaolin, potassium, phosphorus and their different combinations were examined on photosynthesis parameters of 8-year-old pistachio trees cv. "Kalle-ghouchi" based on a randomized complete block design as factorial with two factors (spray treatments at 10 levels and samplind dates at 5 levels) with 3 replications. There were ten spray treatments including kaolin 5%, P at two concentrations (1 and 2%), K at two concentrations (1.5 and 3%), kaolin 5%+ P 1%, kaolin 5%+P 2%, kaolin 5%+ K 1.5%, kaolin 5%+ K 3% and the control (use of distilled water). Foliar application of above treatments were performed in mid June when embryo growth started (the maximum demand for photoassimilates). Photosynthetic parameters (photosynthesis and transpiration rate, stomatal conductance and sub stomatal CO₂ concentration), chlorophyll fluorescence parameters (F_v/F_m and PI), photosynthetic pigments (chlorophyll a, b and total and total carotenoids) were measured in 5 stages (the first stage was one day after spray treatments and the others were performed with one week interval). The results showed that non of treatments could improve photosynthesis parameters except Ci while chlorophyll fluorescence parameters were improved by kaolin treatments and photosynthetic pigments were increased by most of experimental treatments. The result also showed that photosynthesis and transpiration rate and stomatal conductance were increased with time whereas sub-stomatal CO₂ concentration was decreased. Chlorophyll fluorescence indices and photosynthetic pigments were also increased with time. Totally, the effect of experimental treatments on photosynthetic parameters was less than we expected.

Keywords: Kaolin, phosphorus, Photosynthesis, Pistachio, Potassium