

مقایسه برخی صفات فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های زیتون (*Olea europaea* L.) در شرایط تنش گرماییComparison of Some Photosynthetic Traits in Olive (*Olea europaea* L.) Genotypes under Heat Stress Conditions

علی اصغر زینانلو*

دانشیار، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

چکیده

زینانلو، ع. ا. ۱۴۰۲. مقایسه برخی صفات فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های زیتون (*Olea europaea* L.) در شرایط تنش گرمایی. نهال و بذر ۳۹: ۵۴۵-۵۶۶.

دمای بالا تاثیر منفی بر گلدهی، رشد میوه و تشکیل روغن در زیتون دارد. در این پژوهش واکنش ۱۲ رقم و ژنوتیپ زیتون (ارقام زرد، آربکین، دیره، امین، کرونیکی، مانزانیلا، مشکات، زاگرس و ژنوتیپ‌های اوزینه، گرگان ۳، Tmn2, Kh15) به تنش گرما مورد بررسی قرار گرفت و صفات مرتبط با فتوسنتز تحت تاثیر چهار تیمار دمایی (T1: ۳۷ ± ۱/۵ °C، T2: ۴۰ ± ۱/۵ °C، T3: ۴۳ ± ۱/۵ °C) و T4 (۴۰ ± ۱/۵ °C) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات زیتون طارم ارزیابی شد. نتایج نشان داد با افزایش دما از میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب (WUE) کاسته شد. بالاترین میزان فتوسنتز در تیمار T1 معادل ۱۱/۸۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و کمترین آن در تیمار T4 با ۴/۸۷ میکرومول بر متر مربع در ثانیه بدست آمد. در تیمار T4 رقم مانزانیلا بیش از ۵۰ درصد و رقم امین ۴۴ درصد از کارایی فتوسنتز خود را نسبت به تیمار T1 حفظ کردند. اثر متقابل ژنوتیپ × دما نشان داد بیشترین میزان فتوسنتز در تیمار T1 در ارقام امین و دیره به ترتیب با ۱۷/۴۲ و ۱۷/۲۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بود. دمای بیش از ۴۰ سانتی گراد سبب کاهش شدید در هدایت روزنه‌ای برگ‌ها شد. بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب به ترتیب در رقم آربکین ۲/۶۳ و ژنوتیپ اوزینه با ۱/۸۴ میلی مول گاز کربنیک بر مول آب بدست آمد. همچنین بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار T1 و ژنوتیپ KH15 و رقم دیره بدست آمد. با توجه به کاهش شدید میزان فتوسنتز در دمای بالای ۴۰ سانتی گراد، کشت زیتون در مناطق با تابستان‌های گرم موجب کاهش زیاد عملکرد میوه و کاهش درصد روغن می شود.

واژه‌های کلیدی: زیتون، تغییر اقلیم، میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق.



مقدمه

در نتیجه تغییر اقلیم میانگین دمای جهانی در طول قرن ۲۱ از ۲/۶ تا ۴/۸ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت (Hatfield and Dold, 2019). درختان می توانند دماهای خیلی بالا را از طریق رسانش، همرفت و سرمایه تبخیری تحمل کنند (Marchin et al., 2022). یکی از مشکلات زیتون کاری کشور که در سال‌های اخیر بیشتر نمود یافته، تغییر اقلیم و گرم شدن هوا می باشد. افزایش دمای هوا سبب عدم سازگاری ارقام کشت شده زیتون در مناطق گرم می باشد. بررسی‌های سازگاری تعداد زیادی از ارقام زیتون در مناطق گرم متضمن هزینه و مدت زمان طولانی است. اما با اندازه گیری میزان فتوسنتز در ارقام و ژنوتیپ‌ها در زمان اوج گرمای تابستان می توان ارقام با توانایی فتوسنتز بالا را غربال کرد و تعداد محدودی را برای بررسی‌های سازگاری در مناطق گرم مورد بررسی قرار داد (Zeinanloo et al., 2015).

رقم سازگار مهمترین عامل موثر در کمیت و کیفیت روغن زیتون است، اما عوامل محیطی به ویژه دما در رشد میوه و تشکیل روغن و کیفیت آن موثر است. در بررسی سازگاری ارقام زیتون در سرپل ذهاب و کازرون (منطقه گرم)، طارم و رودبار (منطقه نیمه گرم)، نتایج نشان داد وزن میوه، نسبت گوشت به هسته و درصد روغن به طور معنی دار در مناطق گرم نسبت به منطقه نیمه گرم کاهش داشت (Zeinanloo et al., 2015). پروفایل اسیدهای

چرب نیز با کاهش اسید اولئیک و افزایش اسید پالمیتیک در منطقه گرم روی داد، هرچند رقم آمفیسس در شرایط نیمه گرم رودبار و گرم سرپل ذهاب نیز دارای اسید اولئیک بالا بود (Zeinanloo et al., 2015).

میزان فتوسنتز در برگ‌های سال جاری زیتون بیشتر از برگ‌های دو ساله است (Proietti and Palliotti, 1997; Proietti et al., 2012). میزان فتوسنتز در برگ‌های جوان رقم والانولیا ۱۳ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود (Loreto et al., 2003). نقطه اشباع نوری در فتوسنتز در ارقام مختلف متفاوت می باشد. در شرایط یکسان چگالی شارژ فوتون فتوسنتزی (Photosynthetic Photon Flux Density = PPFD)، مجموع میزان فتوسنتز در هر دو سطح برگ زیتون بیشتر از فتوسنتز سطح رویی و یا زیرین برگ است. میزان فتوسنتز (A) در برگ جوان زیتون در شرایط نوری ۱۳۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه معادل ۹/۱ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود. با کاهش شدت نور به ۸۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه، میزان فتوسنتز (A) به ۰/۲ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه کاهش یافت. در چگالی شارژ فوتون فتوسنتزی (PPFD) با ۱۲۰۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه افزایش معنی دار در میزان فتوسنتز (A) روی نداد (Proietti and Palliotti, 1997).

حداقل دما، دمای مناسب و دمای بحرانی زیتون به ترتیب ۴، ۳۰-۲۵ و ۴۰ درجه

تنش‌ها محیطی نقش زیادی در کاهش میزان فتوسنتز دارند. میزان فتوسنتز در رقم شمالال و شتوئی در شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۱۷/۵ و ۲۴/۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه و در شرایط تنش خشکی به ترتیب ۶/۱ و ۶/۷ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود. همچنین تنش خشکی سبب کاهش ۶۷ درصدی هدایت روزنه‌ای در رقم شتوئی شد (Guerfel *et al.*, 2009). فعالیت‌های مهم فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز، بیشتر با رطوبت نسبی برگ مرتبط بوده و پتانسیل آب برگ در آن کمتر دخیل است (Sinclair and Ludlow, 1985). کاهش رطوبت نسبی برگ از ۹۶ درصد به ۶۵ درصد سبب کاهش ۸۵ درصدی در میزان فتوسنتز درختان زیتون شد. مقدار تعرق در برگ‌های جوان نسبت به برگ‌های یکساله کمی بیشتر می‌باشد و میزان تعرق در بعد از ظهر بیشتر از صبح است (Proietti *et al.*, 2012).

روش‌های مختلفی برای غربالگری مواد ژنتیکی برای بهبود کارایی مصرف آب (Water use efficiency = WUE) در شرایط تغییر اقلیم وجود دارد، یکی از آنها انتخاب ارقام با کارایی مصرف آب (WUE) بالا است. چند روش برای محاسبه کارایی مصرف آب در سطح برگ پیشنهاد شده است. کارایی مصرف آب آنی (Instantons water use efficiency = WUE) که با تقسیم میزان فتوسنتز (A) بر میزان تعرق (E) محاسبه می‌شود

سانتی‌گراد است (Tombesi, 2002). در پژوهشی دیگر نشان داده شد که با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، میزان فتوسنتز افزایش یافت و پس از آن سیر نزولی داشت (Sghaier *et al.*, 2019). در مطالعه ای حرارت مناسب فتوسنتز چهار رقم زیتون ۲۸ درجه سانتی‌گراد بود، اما در دامنه ۲۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد دارای فعالیت فتوسنتز بالایی بودند، در حالیکه ارقام دارای دامنه درجه حرارت متفاوتی بودند. در صورتی که همه ارقام در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد کاهش شدید (تا ۹۰ درصد کاهش نسبت به حداکثر میزان فتوسنتز) و در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد کاهش معنی‌دار (بیش از ۵۰ درصد نسبت به حداکثر میزان فتوسنتز) نشان دادند، ولی رقم مانزانیلا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بامیزان ۸۰ درصد فتوسنتز پایدار باقی ماند (Chartzoulakis *et al.*, 1999a; Bongi *et al.*, 1987). برای دو رقم آربکین و مائورینو بیشترین میزان فتوسنتز در ساعت ۹ صبح بود و با گرم شدن هوا در ظهر کاهش یافت. فعالیت فتوسنتزی زیتون در ماه آوریل - می در حداکثر ۳۰ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود و پس از آن مجدداً شروع به کاهش کرد و در ماه اوت به حداقل ۲/۷ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه رسید و دوباره در اکتبر به ۲۲/۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه افزایش یافت. از دسامبر تا فوریه میزان فتوسنتز به کمتر از ۱/۵ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه رسید (Proietti *et al.*, 2012).

کرونیکی، مانزانیلا، مشکات، زاگرس و ژنوتیپ‌های اوزینه، گرگان ۳، (Tmn2, Kh15) به تنش گرما مورد بررسی قرار گرفت و صفات مرتبط با فتوسنتز تحت تاثیر چهار تیمار دمایی T₁: (۳۴ ± ۱/۵ °C)، T₂: (۳۷ ± ۱/۵ °C)، T₃: (۴۰ ± ۱/۵ °C) و T₄: (۴۳ ± ۱/۵ °C) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در تابستان سال ۱۳۹۵ در ایستگاه تحقیقات زیتون طارم ارزیابی شد.

برای اندازه‌گیری صفات مرتبط به فتوسنتز از دستگاه فتوسنتز متر مدل LCI شرکت ABC-UK استفاده شد. اندازه‌گیری صفات از ساعت ۱۱-۱۵ در ایستگاه تحقیقات زیتون طارم انجام شد. اندازه‌گیری صفات مرتبط با فتوسنتز، در طی دو روز در سه مرحله قبل از ظهر، ظهر و بعد از ظهر و در سه تکرار و در هر تکرار حداقل سه برگ از برگ‌های رشد یافته بالغ سال جاری در هر رقم انجام گرفت. دستگاه LCI دمای برگ (T_{leaf}) و دمای چمبر را جداگانه نشان می‌داد، ولی با توجه به اهمیت دمای برگ در فتوسنتز، داده‌های حاصله در نرم افزار اکسل براساس دمای برگ مرتب شد. سپس داده‌ها در چهار گروه دمایی T₁: (۳۴ ± ۱/۵ °C)، T₂: (۳۷ ± ۱/۵ °C)، T₃: (۴۰ ± ۱/۵ °C) و T₄: (۴۳ ± ۱/۵ °C) در سه تکرار برای هر رقم تنظیم گردید.

صفات مورد اندازه‌گیری شامل موارد زیر بود: گازکربنیک مرجع، تفاوت غلظت گازکربنیک اتمسفر با اتاقک زیر روزنه،

(Bongi *et al.*, 1987; Chartzoulakis *et al.*, 1999b). روش دیگر کارایی مصرف آب ذاتی (Intrinsic water use efficiency = WUEi) است که با تقسیم میزان فتوسنتز (A) بر هدایت روزنه‌ای (gs) بدست می‌آید (Hatfield and Dold, 2019).

یک هکتار باغ زیتون سالانه ۴/۵ تن گازکربنیک ترسیب می‌کند. برای تولید یک کیلوگرم روغن زیتون ۱۰ کیلوگرم گازکربنیک اتمسفر جذب می‌شود. با وجود ۱۰/۵ میلیون هکتار باغ زیتون در دنیا سالانه ۴۷ میلیون تن گازکربنیک توسط این باغ‌ها ترسیب می‌شود. نتایج بعضی از پژوهشگران نشان داده است که نسبت غلظت گازکربنیک بین سلولی به اتمسفر از صبح تا ظهر به میزان قابل توجهی افزایش یافت. بنابراین، در نتیجه برهمکنش کمبود فشار بخار در جو با درجه حرارت بالا و تابش زیاد، برگ‌ها می‌تواند ورود گازکربنیک را به طور قابل ملاحظه‌ای محدود کنند (Bacelar *et al.*, 2007).

هدف از اجرای این پژوهش بررسی واکنش برخی ارقام و ژنوتیپ‌های برتر زیتون به تنش گرمایی و انتخاب ارقام مناسب برای مناطق با شرایط اقلیمی گرم و با قابلیت فتوسنتز در دمای بالا بود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش واکنش ۱۲ رقم و ژنوتیپ زیتون (ارقام زرد، آربکین، دیره، امین،

۶/۱۳ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بدست آمد (جدول ۱).

در زیتون عکس العمل فتوسنتز به تغییرات شدت تابش نور به صورت تابع لگاریتمی است. با افزایش شدت نور از صفر تا ۱۰۰۰۰ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه به سرعت بر میزان فتوسنتز افزوده می‌شود و پس از آن از روند افزایشی آن کاسته و در بالاتر از ۲۰۰۰ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه به شکل خط مستقیم در می‌آید (Sghaier et al., 2019). میزان فتوسنتز زیتون در شدت تابش ۹۰۰ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بیشتر از ۱۸ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه نمی‌باشد (Bongi and Loreto, 1988).

مقایسه میانگین‌های اثر رقم بر کارایی مصرف آب (WUE) در سطح برگ نشان داد بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در رقم آربکین با میزان ۲/۶۳ میلی مول گاز کربنیک بر مول آب و کمترین کارایی مصرف آب در رقم کرونیکی و ژنوتیپ اوزینه به ترتیب با ۱/۸۹ و ۱/۸۴ میلی مول گاز کربنیک بر مول آب بود (جدول ۱). با افزایش میزان فتوسنتز بر میزان کارایی مصرف آب نیز افزوده شد و بین این دو صفت همبستگی خطی مثبت با ضریب تبیین $R^2 = 0/47$ وجود داشت (شکل ۱). مقدار کارایی مصرف آب با سرعت فتوسنتز رابطه مستقیم و با میزان تعرق رابطه عکس دارد (Atashkar et al., 2019).

گاز کربنیک اتاقلک زیر روزنه‌ای، تشعشع فعال فتوسنتزی (Photosynthetic active radiation = P.A.R.)، دمای محفظه (چمبر)، دمای برگ، هدایت روزنه‌ای (gs)، تعرق (E)، نرخ فتوسنتز (A)، کارایی مصرف آب (WUE) که از نسبت میزان فتوسنتز بر مقدار تعرق (A/E) بدست آمد (Bongi et al., 1987). میانگین غلظت گاز کربنیک اتمسفر ۳۸۸ قسمت در میلیون بود. حداقل، حداکثر و میانگین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی به ترتیب ۱۵۴۷، ۱۸۸۰ و ۱۷۲۱ میکرو مول بر مترمربع در ثانیه بود. داده‌های حاصله با استفاده از نرم افزار Minitab version 17 مورد تجزیه و تحلیل آماری شدند و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر رقم، دما و اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار دمایی بر میزان فتوسنتز در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم امین با میانگین ۱۲/۱۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه دارای بیشترین میزان فتوسنتز بود. میزان فتوسنتز در ارقام امین، دیره، زاگرس و مانزانایلا تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین میزان فتوسنتز در رقم زرد و ژنوتیپ اوزینه به ترتیب با ۶/۹۷ و

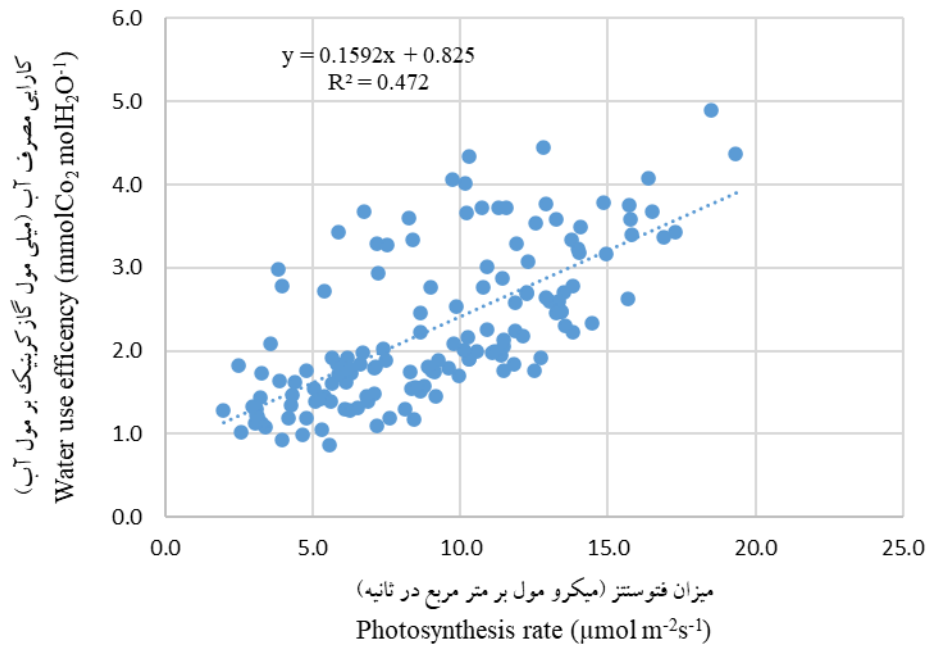
جدول ۱- مقایسه میانگین برای میزان هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز، تعرق و کارایی مصرف آب در ژنوتیپ های زیتون

Table 1. Mean comparison for stomatal conductance, photosynthetic rate, transpiration and water use efficiency in olive genotypes

ژنوتیپ Genotype	میزان فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع در ثانیه)	کارایی مصرف آب (میلی مول گاز کربنیک بر مول آب)	هدایت روزنه‌ای (مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه)	تعرق (میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه)
	Photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Water use efficiency ($\text{mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$)	Stomatal conductance ($\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transpiration ($\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
Amin	12.14a	2.17be	0.239a	5.84a
Direh	11.17ab	2.37ac	0.185ab	5.11ab
Manzanilla	10.79ab	2.34ac	0.185ab	4.66bc
Zagros	10.06ab	2.38ac	0.156bc	4.17be
Arbequina	9.33bc	2.63a	0.144bd	3.62ce
Tmn2	9.32bc	2.32ac	0.142bd	4.05be
Kh15	9.03bd	2.57ab	0.131bd	3.81ce
Gorgan3	8.37ce	2.08ce	0.161bc	3.86ce
Koroneiki	8.01ce	1.89de	0.131bd	4.31bd
Meshkat	7.86ce	2.35ac	0.099cd	3.52de
Zard	6.97de	2.30ad	0.113cd	3.11e
Ozineh	6.13e	1.84e	0.091d	3.59ce

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Tukey test.



شکل ۱- همبستگی بین کارایی مصرف آب و میزان فتوسنتز در زیتون

Fig. 1. Correlation between water use efficiency and photosynthetic rate in olive

گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه مشابه بودند. ارقام زرد، مشکات و ژنوتیپ اوزینه با حداقل هدایت روزنه‌ای در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۱). میزان هدایت روزنه‌ای در رقم کرونیکی ۰/۱۳۱ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه و کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ اوزینه با ۰/۰۹۱ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه بود. در پژوهشی دیگر هدایت روزنه‌ای در رقم کرونیکی بین ۰/۲۲۸-۰/۶۵ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه گزارش شده است (Siakou et al., 2021).

در شرایط دیم بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای در رقم شمالی در ماه می ۰/۱۸۳ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه بود

بدون شک در درون و بین گونه‌ها تفاوت در حساسیت روزنه‌ها به دمای محیط وجود دارد و این می‌تواند به توضیح ناهماهنگی‌های مشاهده شده در پاسخ به دمای بالا توسط روزنه‌ها کمک نماید. رفتار پویای روزنه‌ها در تنظیم از دست دادن آب، مقدار از دست دادن آب را بر اساس آب قابل دسترس در خاک تعیین میکند، بنابر این درک پاسخ روزنه‌ها در دمای بالا برای پیش بینی مرگ گیاه در شرایط گرم و خشک ضروری است (Marchin, et al., 2022).

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین هدایت روزنه‌ای (gs) مربوط به رقم امین با ۰/۲۳۹ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه بود. ارقام دیره و مانزانیلا با ۰/۱۸۵ مول

مول گار کربنیک بر مول آب در تیمار دمایی T₁ بدست آمد و کمترین میزان آن در تیمار دمایی T₄ با ۱/۴ میلی مول گار کربنیک بر مول آب بود. با افزایش دما از میزان فتوسنتز کاسته شد. بالاترین میزان فتوسنتز در تیمار دمایی T₁ با ۱۱/۸۴ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بود و کمترین آن در تیمار دمایی T₄ با ۴/۸۷ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه رسید. میزان هدایت روزنه‌ای نیز با افزایش دما روند کاهشی یافت. در تیمار دمایی T₄ میزان هدایت روزنه‌ای ۰/۰۶۴ مول بر متر مربع در ثانیه بود که نسبت به تیمار دمایی T₂ به میزان ۶۹/۸ درصد کاهش نشان داد (جدول ۲). روزنه‌های گیاهی به کسر فشار بخار (Vapor pressure deficit = VPD) بسیار حساس می‌باشند و با افزایش دمای هوا در دهه‌های اخیر میزان کسر فشار بخار آب به صورت تصاعدی افزایش یافته است (Marchin *et al.*, 2022). هدایت روزنه‌ای نقش مهمی در تعادل آب موجود در بافت برگ و در فرآیند فتوسنتز دارد. کاهش هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش گرما و خشکی، برای پیشگیری از کاهش محتوای آب سلول‌ها است و با افزایش مقاومت روزنه‌ای از رسیدن گاز کربنیک به کلروپلاست در غلظت مورد نیاز جلوگیری می‌شود و در نهایت سبب کاهش جذب در سیستم نوری دو (Photosystem II = PSII) می‌شود (Loreto *et al.*, 2003).

(Ben Rouina *et al.*, 2006). در شرایط نور کامل (۱۳۰۰ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه)، میزان هدایت روزنه‌ای معادل ۰/۱۴۵ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه بود (Proietti and Palliotti, 1997). اجاق لو و همکاران (Ojaghloo *et al.*, 2021) نشان دادند که رقم کنسروالیا بیشترین هدایت روزنه‌ای را در شرایط بدون تنش رطوبتی (ظرفیت مزرعه) داشت، ولی در شرایط تنش رطوبتی شدید (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه)، رقم مانزانیلا بیشترین هدایت روزنه‌ای را دارا بود. بین ایمنی و کارایی روزنه‌ها یک ارتباط معنی دار وجود دارد، گونه‌های با هدایت روزنه‌ای بالا حساسیت زیادی برای بسته شدن در دوره تنش رطوبتی دارند (Henry *et al.*, 2019).

مقایسه میانگین‌های میزان تعرق برگ (E) در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف نشان داد رقم امین با ۵/۸۴ میلی مول آب در متر مربع بر ثانیه بالاترین و رقم زرد با ۳/۱۱ میلی مول آب در متر مربع بر ثانیه پایین‌ترین میزان تعرق را داشتند. ارقام دیره و مانزانیلا با ۰/۱۸۵ میلی مول آب در متر مربع بر ثانیه نتایج مشابه بودند و بقیه ارقام و ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی دار نداشتند (جدول ۱).

با افزایش دما میزان کارایی مصرف آب روند کاهشی یافت (جدول ۲)، به طوری که بالاترین میزان کارایی مصرف آب با ۳/۵۱ میلی

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای دمایی مختلف بر کارایی مصرف آب، میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در زیتون

Table 2. Mean Comparison effect of different temperature treatments on water use efficiency, photosynthetic rate and stomatal conductance in olive

تیمار دمایی Temperature treatment	میزان فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	تعرق (میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه) Transpiration ($\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه) Stomatal conductance ($\text{molCO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	کارایی مصرف آب (میلی مول گاز کربنیک بر مول آب) Water use efficiency ($\text{mmolCO}_2 \text{molH}_2\text{O}^{-1}$)
T1 (34±1.5 °C)	11.84a	3.40b	0.195a	3.51a
T2 (37±1.5 °C)	11.58a	4.80a	0.212a	2.44b
T3 (40±1.5 °C)	8.10b	4.64a	0.120b	1.74c
T4 (43±1.5 °C)	4.87c	3.65b	0.064c	1.40d

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.
Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Tukey test.

است، ولی با افزایش دمای محیط، کاهش هدایت روزنه‌ای و به سبب آن کاهش تعرق برگ روی می‌دهد و این منجر به افزایش دمای برگ نسبت به دمای محیط می‌شود و ممکن است دمای برگ را به دمای بحرانی (T_{crit}) برساند. در دمای بحرانی کلروفیل فلورسنس به سرعت افزایش می‌یابد که نشان دهنده اختلال در سیستم نوری دو (PSII) و شروع آسیب غیر قابل برگشت بافتی است. مرگ سلولی در عرض چند دقیقه پس از قرار گرفتن در معرض دمای بالای برگ (T_{leaf}) می‌تواند روی دهد (Hüve *et al.*, 2011). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که میانگین دمای برگ $0/81$ درجه سانتی گراد بیشتر از دمای محیط بود.

مطالعه سازگاری ارقام و ژنوتیپ‌های زیتون به شرایط اقلیمی مختلف نشان داد، دمای بالای $37/8$ درجه سانتی گراد، در یک دوره یک ساله، در دزفول 1217 ساعت، در سرپل ذهاب 718 ساعت و در طارم و قم 8 ساعت بود. میانگین دمای سالانه در دزفول $24/6$ درجه سانتی گراد و در سرپل ذهاب $20/1$ درجه سانتی گراد و در طارم 17 درجه سانتی گراد است. میانگین میزان روغن در ماده خشک در این مناطق به ترتیب $7/6$ ، $37/3$ ، $55/3$ درصد گزارش شده است. با توجه به نتایج فوق مناطقی با میانگین دمای سالانه بالای 19 درجه سانتی گراد و با میانگین دمای تابستان بیش از 29 درجه سانتی گراد برای کشت زیتون مناسب نیستند (Zeinanloo 2006; Zeinanloo *et al.*, 2009; Azimi, *et al.*, 2016).

سازگاری فرایند فتوسنتز در گیاهان به دماهای بالاتر می‌تواند در چند ساعت پس از قرار گرفتن در معرض دمای بالا از طریق چندین سازکار فیزیولوژیکی از جمله، تغییرات در اشباع چربی غشا سلولی، تجمع پروتئین‌های شوک حرارتی، آنتی‌اکسیدان‌ها، اسمولیت‌ها و متابولیت‌های ثانویه روی می‌دهد (Hüve *et al.*, 2011). سازگاری به دماهای بالاتر نیاز به انرژی زیادی دارد و به طور نامحدود قابل تامین نیست (Marchin *et al.*, 2022). نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش دما از 34 به 37 درجه سانتی گراد کاهش معنی‌داری در میزان فتوسنتز روی نداد، اما در تیمارهای دمایی T_3 و T_4 میزان فتوسنتز کاهش معنی‌دار داشت و نسبت به تیمار دمایی T_1 به ترتیب از $68/4$ و $40/3$ درصد کارایی برخوردار بود (جدول ۲).

میزان تعرق برگ با افزایش دما روند صعودی داشت، به طوری که در تیمار دمایی T_1 $3/4$ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه بود و در T_3 به $4/64$ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه رسید، ولی در تیمار دمایی T_4 به $3/65$ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه کاهش یافت (جدول ۲). این کاهش تعرق در دماهای بالای 43 درجه سانتی گراد به دلیل بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد. تغییرات ماهانه میزان تعرق با بیشینه 3 میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه در می - جولای، مشابه روند میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در این دوره زمانی گزارش شده است (Ben Rouina *et al.*, 2006). یکی از سازکارهای کاهش دمای برگ در گیاهان تعرق

بالا تر بود، بنابراین رقم مانزانایلا با کارایی فتوسنتز ۸/۱۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه توانست در تیمار دمایی T₄ بیش از ۵۰ درصد از کارایی فتوسنتز را نسبت به تیمار دمایی T₁ حفظ کند. پس از آن رقم امین در تیمار دمایی T₄ قادر به حفظ کارایی فتوسنتز تا ۴۴ درصد نسبت به تیمار دمایی T₁ بود (جدول ۳). میزان فتوسنتز رقم مانزانایلا در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد نسبت به دمای مطلوب، ۸۰ درصد پایدار باقی ماند (Bongi *et al.*, 1987). مقدار کمینه، بیشه و میانگین میزان فتوسنتز در رقم آریکین در شرایط بهینه به ترتیب ۱/۴۲، ۹/۳۵ و ۵/۵۷ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه گزارش شده است (Vahedi *et al.*, 2022).

بررسی اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار دمایی بر فتوسنتز نشان داد بیشترین میزان فتوسنتز در تیمار دمایی T₁ مربوط به ارقام امین و دیره به ترتیب با ۱۷/۴۲ و ۱۷/۲۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بود (جدول ۳). کمترین میزان فتوسنتز نیز در ارقام مشکات و کرونیکی در تیمار دمایی T₄ به ترتیب با ۳/۰۳ و ۳/۱۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه حاصل شد. گزارش شده است که بیشترین فعالیت فتوسنتز زیتون در شرایط دیم در ماه جون ۳۰ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه و کمترین آن در ماه اوت ۷/۲ بود (Ben Rouina *et al.*, 2006). با توجه به اینکه یکی از اهداف پژوهش حاضر شناسایی ارقام با قابلیت فتوسنتز مطلوب در دماهای

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار دمایی دما بر میزان فتوسنتز و کارایی مصرف آب در زیتون

Table 3. Mean comparison of genotype × temperature treatment interaction effect on photosynthesis rate and water use efficiency in olive

ژنوتیپ Genotype	میزان فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع بر ثانیه) Photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				کارایی مصرف آب (میلی مول گاز کربنیک بر مول آب) Water use efficiency ($\text{mmolCO}_2 \text{molH}_2\text{O}^{-1}$)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Amin	17.42a	12.47af	11.02bi	7.64fm	3.47ad	2.29fn	1.72kr	1.19pr
Direh	17.25a	12.21ag	8.97dl	6.27hm	4.11ab	2.80cj	1.50lr	1.07qr
Arbequina	15.38ab	11.51bh	6.56gm	3.88lm	3.22ag	3.55ad	2.11hq	1.64kr
Manzanilla	14.89ac	12.38af	7.75em	8.15em	3.61ad	2.28fo	1.82jr	1.66kr
Zagros	14.11ad	12.82af	7.93em	5.4jm	3.43ae	2.64ck	1.91ir	1.56lr
Gorgan3	13.18ae	11.1bh	5.51im	3.69mn	3.28af	2.16fn	1.67kr	1.2or
Meshkat	12.58af	7.74em	8.03em	3.08m	3.45ad	2.69ck	2.04hr	1.22nr
Tmn2	12.06ag	12.104af	10.16cj	4.32jm	3.59ad	3.05cf	1.67kr	1.47lr
Kh15	10.95bi	11.36bh	9.46ck	4.34jm	4.28a	1.99hr	2.01hr	2.02hr
Koroneiki	9.77cj	11.16bh	7.95em	3.15lm	2.92ci	1.97ir	1.48lr	1.21or
Zard	9.75cj	8.96dl	5.23jm	3.95jm	3.69ac	2.36em	1.54lr	1.61kr
Ozineh	8.47em	6.43hm	5.00jm	4.64jm	3.09bh	1.9ir	1.37mr	0.99r

میانگین هایی، برای هر صفت، که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Mean, for each trait, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Tukey test.

بیشترین هدایت روزنه ای بود، و ارقام دیره، گرگان ۳، مانزانیلا در رتبه های بعد از آن قرار گرفتند (جدول ۴). کمترین میزان هدایت روزنه ای در تیمار دمایی T₄، در ارقام مشکات، آربکین و ژنوتیپ Kh15 بود. افزایش دما به بیش از ۴۰ درجه سانتی گراد سبب کاهش شدید در میزان هدایت روزنه ای شد. رقم کرونیکی و مشکات با ۰/۰۳۵ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه کمترین میزان هدایت روزنه ای را در تیمار دمایی T₄ نشان دادند. هدایت روزنه ای در رقم کرونیکی در تیمار دمایی T₄ نسبت به تیمار دمایی T₁ به میزان ۸۴/۷۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۴).

گونه هایی که دارای هدایت روزنه ای بالایی هستند در مقابل تغییرات زیاد دمای برگ، دارای قابلیت تحمل (بافری) بیشتری هستند. در گونه هایی با ظرفیت تعرق کمتر، در صورت بسته شدن روزنه ها، خطر گرم شدن بیش از حد وجود دارد. بسته شدن روزنه ها در شرایط دمای بیش از حد، آستانه تحمل را نشان می دهد که در گونه های با هدایت روزنه ای بالا روی می دهد (Marchin et al., 2022). بررسی اثر دما بر میزان فتوسنتز و هدایت روزنه ای در چهار رقم زیتون در ایتالیا نشان داد که بیشترین هدایت روزنه ای و فتوسنتز معادل ۶ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد بود. در دماهای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی گراد هدایت روزنه ای و فتوسنتز به سرعت کاهش می یابد. در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد میزان

مقایسه میانگین های اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار دمایی بر کارایی مصرف آب نشان داد در تیمار دمایی T₁ ژنوتیپ Kh15 با ۴/۲۸ میلی مول گاز کربنیک بر مول آب بیشترین کارایی مصرف آب را داشت (جدول ۳). کمترین کارایی مصرف آب نیز مربوط به ژنوتیپ اوزینه در تیمار دمایی T₄ با ۰/۹۹ میلی مول گاز کربنیک بر مول آب بود. در برخی موارد کارایی مصرف آب در ژنوتیپ های زیتون مورد مطالعه با دما متناسب نبود. برای مثال: کارایی مصرف آب در رقم آربکین در تیمارهای دمایی T₁ و T₂ تفاوت معنی دار نداشت. در ژنوتیپ Kh15 کارایی مصرف آب در تیمارهای دمایی T₂, T₃, T₄ نیز تفاوت معنی دار نداشتند (جدول ۳).

کمترین مقدار کارایی مصرف آب در کلیه ارقام زیتون، بجز رقم زرد، در تیمار دمایی T₄ بدست آمد. مصرف کارایی آب در کلیه ارقام بین تیمارهای دمایی T₃ و T₄ تفاوت معنی دار وجود نداشت، و این به دلیل بسته شدن روزنه ها و کاهش شدید تعرق در تیمار دمایی T₃ است که در تیمار دمایی T₄ نیز تداوم یافته است (جدول ۳). کارایی مصرف آب به عنوان یک شاخص مهم در سنجش تحمل ژنوتیپ ها و ارقام زیتون به تنش خشکی معرفی شده است (Ahmed et al., 2002).

مقایسه میانگین ها نشان داد که هدایت روزنه ای (gs) در میان ارقام و ژنوتیپ های زیتون مورد مطالعه متفاوت بود. رقم امین در تیمار دمایی T₁ با ۰/۳۶ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه دارای

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تیماردمایی بر هدایت روزنه‌ای و تعرق در زیتون

Table 4. Mean Comparison of genotype × temperature treatment interaction effect on stomatal conductance and transpiration in olive

ژنوتیپ Genotype	هدایت روزنه‌ای (مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه) Stomatal conductance (molCO ₂ m ⁻² s ⁻¹)				تعرق (مول آب بر متر مربع در ثانیه) transpiration (molH ₂ O m ⁻² s ⁻¹)			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Amin	0.36a	0.266ae	0.193bk	0.130cl	5.14ag	5.47ad	6.37a	6.39a
Direh	0.29ab	0.173bl	0.166bl	0.113el	4.27aj	4.38aj	5.90ab	5.89ab
Arbequina	0.193bk	0.233ah	0.100gl	0.050jl	2.04j	4.33aj	5.50ad	2.61fj
Manzanilla	0.273ac	0.27ad	0.103gl	0.93gl	4.12aj	5.42ad	4.23aj	4.89ah
Zagros	0.21ai	0.23ah	0.120cl	0.063il	4.16aj	4.95ag	4.10aj	3.46bj
Gorgan3	0.28ab	0.24ag	0.070il	0.050jl	4.03aj	5.14ag	3.29bj	3.00cj
Meshkat	0.096gl	0.173bl	0.093gl	0.035l	2.22ij	4.70ai	3.94aj	2.53gj
Tmn2	0.170bl	0.23ah	0.123cl	0.045kl	3.35bj	4.75ai	5.23af	2.87dj
Kh15	0.116dl	0.26af	0.113el	0.036l	2.55gj	5.66ac	4.77ai	2.27hj
Koroneiki	0.160bl	0.203bj	0.126cl	0.035l	3.65bj	5.66ac	5.34ae	2.62fj
Zard	0.146bl	0.170bl	0.080hl	0.056jl	2.64fj	3.79aj	3.38bj	2.65fj
Ozineh	0.123cl	0.106fl	0.066il	0.070il	2.70ej	3.37bj	3.63bj	4.66aj

میانگین هایی، برای هر صفت، که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند براساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Mean, for each trait, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Tukey test.

میزان تعرق این رقم در تیمار دمایی T₃ با تیمار T₄ تفاوت معنی دار نداشت. رقم دیره نیز در تیمارهای دمایی T₃ و T₄ بیشترین میزان تعرق را داشت. میزان تعرق در رقم امین در تیمار دمایی T₁ بیش از میزان تعرق ارقام مانزانلیلا و اوزینه در تیمار دمایی T₄ بود. در ارقام امین، مانزانلیلا، دیره، زرد، آربکین، زاگرس و ژنوتیپ Tmn2 و گرگان ۳، تفاوت میزان تعرق در تیمار دمایی T₁ و T₄ معنی دار بود (جدول ۴). کمترین میانگین میزان تعرق مربوط به رقم زرد با ۳/۱۲ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه و بیشترین میزان آن به ترتیب در رقم امین ۵/۸۴ و دیره ۵/۱۱ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه بود. در رقم آربکین نیز میانگین میزان تعرق ۳/۶۲ میلی مول آب بر متر مربع بدست آمد (جدول ۴).

فتوسنتز در ارقام مانزانلیلا و کراتینا به ترتیب ۴/۸ و ۲/۵ میکرو مول بر متر مربع در ثانیه بود (Bongi *et al.*, 1987). حداقل هدایت روزنه‌ای در زیتون، کمتر از ۰/۰۲ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه در شرایط دیم اسفاکس تونس در ماه اوت به دلیل گرما، پایین بودن رطوبت نسبی هوا و خاک بدست آمد (Ben Rouina *et al.*, 2006). مقدار کمینه، بیشینه و میانگین هدایت روزنه‌ای رقم آربکین در شرایط بهینه به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۱ و ۰/۰۵ مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه گزارش شده است (Vahedi *et al.*, 2022).

مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × تیمار دمایی بر تعرق، بیانگر وجود میزان تعرق زیاد در تیمار دمایی T₄ در رقم امین به میزان ۶/۳۹ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه بود (جدول ۴). البته

بین هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق رابطه خطی مثبت و با ضریب تبیین $R^2=0/253$ وجود داشت. در پژوهش دیگری حدافل، حداکثر و میانگین میزان تعرق در رقم آربکین به ترتیب $0/6$ ، $3/22$ و $1/83$ میلی مول آب بر متر مربع در ثانیه بود و همبستگی بالایی بین میزان تعرق و هدایت روزنه‌ای با حجم گاز کربنیک اتاقک زیر روزنه‌ای گزارش شد (Vahedi et al., 2022). ارقام و ژنوتیپ های زیتون که بتوانند تعادل بین هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق را حفظ کنند، به خوبی عملکرد میوه در مناطق گرم و خشک را حفظ می کنند (Boughalleb and Hajlaoui, 2011). بین میزان هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز رابطه خطی با همبستگی مثبت بالایی با ضریب تبیین $R^2=0/78$ وجود داشت (شکل ۲). در شرایط کشت فوق متراکم رقم آربکین در منطقه طارم سفلی، بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای رابطه خطی و همبستگی بالا با ضریب تبیین $R^2=0/86$ گزارش شد (Vahedi et al., 2022). در ارزیابی اثر سطوح شوری بر میزان فتوسنتز در شش رقم زیتون، ضریب تبیین $R^2=0/70$ برای رابطه بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای و $R^2=0/80$ بین میزان فتوسنتز و هدایت مزوفیلی گزارش شد (Loreto et al., 2003). سایر پژوهشگران نیز گزارش کرده اند که میزان فتوسنتز خالص دارای رابطه خطی با هدایت روزنه‌ای بود (Boughalleb and Hajlaoui, 2011; Chartzoulakis et al., 1999a).

میزان فتوسنتز (میکرو مول بر متر مربع در ثانیه) (Photosynthesis rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$))

هدایت روزنه‌ای (میلی مول گاز کربنیک بر متر مربع در ثانیه) (Stomatal conductance ($\text{mmolCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$))

شکل ۲- همبستگی بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در زیتون

Fig. 2. Correlation between photosynthesis rate and stomatal conductance in olive

باغ‌های موجود زیتون و توسعه کشت آن در کشور استفاده شود.

سپاسگزاری

این مقاله از داده‌های پروژه پژوهشی به شماره ۹۵۱۰۷-۳۳-۳۳-۲ مصوب سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی تهیه و نگارش شده است. نگارنده بدین وسیله از همکاری آقایان مهندس اسماعیل سهرابی و مهندس عزیز عبدلهی در ایستگاه تحقیقات زیتون طارم و همکاری آقای دکتر امیرعباس تقی‌زاده بابت تجزیه آماری داده‌ها سپاسگزاری می‌کند.

عدم تعارض منافع

نگارنده اعلام می‌دارد که تعارض منافی با دیگران ندارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد با افزایش دما میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای به طور معنی‌دار کاهش یافت. بین میزان فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای و همچنین بین هدایت روزنه‌ای و میزان تعرق همبستگی مثبت وجود داشت. کاهش میزان فتوسنتز به طور مستقیم بر عملکرد محصول و کمیت و کیفیت روغن زیتون تاثیر معنی‌دار دارد. با بررسی عوامل موثر بر میزان فتوسنتز می‌توان شرایط بهینه را برای بهبود میزان فتوسنتز فراهم کرد. استفاده از ارقام متحمل به گرما مانند مانزانیا، کنسروالیا و رقم امین (در کشت زیتون با تراکم بالا) می‌تواند در بهبود میزان فتوسنتز و عملکرد میوه و روغن موثر باشد. پیشنهاد می‌شود با استفاده از نتایج مربوط به میزان فتوسنتز نسبت به تولید مدل‌های دقیق برای پیش‌بینی اثر تغییرات اقلیمی به ویژه تنش گرمایی بر مدیریت

References

- Atashkar, D., Ershadi, A., Taheri, M. and Abdollahi, H. 2019. Screening for drought tolerance in some hybrid apple rootstocks based on photosynthesis characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(4), pp.1013-1024 (in Persian). DOI: 10.22059/IJHS.2018.239276. 1299
- Ahmed, S., Nawata, E., Hosokawa, M., Domae, Y. and Sakuratani, T. 2002. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activity of mung bean subjected to waterlogging. *Plant Science*, 163, pp.117-123.
- Azimi, M., Arji, I., Zeinanloo, A.A., Taslimpor, M.R. and Ramazani, M. 2016. Evaluation of adaptability of some olive (*O. europaea* L.) cultivars in different climates of Iran. *Journal of Seed and plant*, 1-32(3), pp.275-292 (in Persian). DOI: 10.22092/SPIJ.2016.112605
- Ben Rouina, B., Trigui, A. and Boukhris, M. 2006. Effects of drought on the

- ecophysiological characters of olive trees under field condition in arid area. *Olivebioteq*, Marsela, Italy, pp.269-273.
- Bacelar, E.A., Santos, D.L., Moutinho-Pereira, J.M., Lopes, J.I., Gonçalves, B.C., Ferreira, T.C., and Correia, C.M. 2007.** Physiological behavior, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. *Plant Soil*, 292(1), pp.1–12. DOI: 10.1007/s11104-006-9088-1
- Bongi, G. Mencuccini, M. and Fontanazza, G. 1987.** Photosynthesis of olive leaves: effect of light flux density, leaf age, temperature, peltates, and H₂O vapor pressure deficit on gas exchange. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(1), pp.143-148. DOI: 10.21273/JASHS.112.1.143
- Bongi, G. and Loreto, F. 1988.** Broadleaved evergreen variation in Fv/Fm induced by photo inhibition are coupled to reductions in PSII unit size. Pp. 555-559. In: Barber, J. and Malkin (eds.) *Techniques and New Developments in Photosynthesis Research, Nato ASI Series (NASSA, Volume168)*. Plenum Press, New York.
- Boughalleb, F. and Hajlaoui, H. 2011.** Physiological and anatomical changes induced by drought in two olive cultivars (cv. Zalmati and Chemlali). *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, pp.53–65. DOI: 10.1007/s11738-010-0516-8
- Chartzoulakis, K., Patakas, A. and Bosabalidis, A.M. 1999a.** Changes in winter relation photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environmenta and Experimenta Botany*, 42(2), pp.113-120. DOI: 10.1016/S0098-8472(99) 00024-6
- Chartzoulakis, K., Michelakis, N. and Stefanoudaki, E. 1999b.** Water use, growth, yield and fruit quality of "Bonanza" oranges under different soil water regimes. *Advances in Horticultural Science*, 13(1), pp.6-11.
- Guerfel, M. Ouni, Y., Boujnah, D. and Zarrouk, M. 2009.** Photosynthesis parameters and activities of enzymes of oxidative stress in two young 'Chemlali' and 'Chetoui' olive trees under water deficit. *Photosynthetica*, 47(3), pp.340-346. DOI: 10.1007/s11099-009-0054-z.
- Hatfield, J.L. and Dold, C. 2019.** Water-use efficiency: Advances and challenges in a changing climate. *Frontiers in Plant Science*, 10(103), pp.1-14. DOI: 10.3389/fpls.00103
- Henry, C., John, G.P., Pan, R.H., Bartlett, M.K., Fletcher, L.R., Scoffoni, C. and Sack, L. 2019.** A stomatal safety-efficiency trade-off constrains responses to leaf dehydration.

- Nature Communications*, 10, 3398. DOI: 10.1038/s41467-019-11006-1
- Hüve, K., Bichele, I., Rasulov, B. and Niinemets, Ü. 2011.** When it is too hot for photosynthesis: Heat-induced instability of photosynthesis in relation to respiratory burst, cell permeability changes and H₂O₂ formation. *Plant Cell and Environment*, 34(1), pp.113–126. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2010.02229
- Loreto, F., Centritto, M. and Chartzoulakis, C. 2003.** Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. *Plant Cell and Environment*, 26(4), pp.595-601. DOI: 10.1046/j.1365-3040.2003.00994.x
- Marchin, R.M., Backes, D., Ossola, A., Leishman, M.R., Tjoelker, M.G. and Ellsworth, D.S. 2022.** Extreme heat increases stomatal conductance and drought induced mortality risk in vulnerable plant species. *Global Change Biology*, 28(3), pp.1133–1146. DOI: 10.1111/gcb. 15976
- Ojaghloo, B., Rabiei, V., Taheri, M., Nikbakht, J. and Azimi, M. 2021.** Effect of drought stress on some photosynthesis related parameters in commercial olive cultivars (*O. europaea* L.). *Pomology research*, 6(2), pp.101-113. DOI: 10.30466/RIP.2021.53279.1154
- Proietti, P. and Palliotti, A. 1997.** Contribution of the adaxial and abaxial surfaces of olive leaves to photosynthesis. *Photosynthetica*, 33(1), pp.63-69. DOI: 10.1023/A: 1022175221813
- Proietti, P., Nasini, P. and Ilarioni, L. 2012.** Photosynthetic behavior of Spanish Arbequina and Italian Maurino olive (*O. europaea* L.) cultivars under super-intensive grove conditions. *Photosynthetica*, 50(2), pp.239-246. DOI: 10.1007/s11099-012-0025-7
- Sghaier, A., Perttunen, J., Sievaenen, R., Boujnah, D., Ouessar, M., Ben Ayed, R. and Naggaz, K. 2019.** Photosynthetical activity modelisation of olive trees growing under drought conditions. *Scientific Reports*, 9(1), 15536. 1-11. DOI: 10.1038/s41598-019-52094-9
- Siakou, M., Brugeman, A., Eliades, M., Zoumides, C., Djuma, H., Kyriacou, M.C., Emmanouilidou, M.G., Spyros, A., Manolopoulou, E. and Moriana, A. 2021.** Effects of deficit irrigation on 'Koroneiki' olive tree growth, physiology and olive oil quality at different harvest dates. *Agricultural Water Management*, 258, 107200. DOI: 10.1016/j.agwat.107200
- Sinclair, T. and Ludlow, M.1985.** Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled

- potential of water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 12(3), pp.213-217.
- Tombesi, A. 2002.** Tecniche per lo sviluppo dell'olivicultura italiana. *Frutticoltura*, 64(10), pp.17-28.
- Vahedi, S., Beshsrat, S., Davatgar, N. and Taheri, M. 2022.** Effects of leaf nutrient contents on photosynthetic indices in olive tree. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 53(2), pp.309-320 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2020.300543.1787
- Zeinanloo, A.A. 2006.** Olive Industry in Iran. *Olivebioteq*, 2006, Marsella, Italy, pp.173-182.
- Zeinanloo, A.A. Roshan, A.A., Mirzaei Nodoshan, H. and Arab, J. 2009.** Investigation of adaptability of olive growing (*O. europaea* L.) in different region of Iran according to chilling requirement. *Olivae*, 111, pp.19-26.
- Zeinanloo, A.A., Arji, I., Taslimpour, M.R., Ramazani malakroodi, M. and Azimi, M. 2015.** Effect of cultivar and climatic conditions on olive oil fatty acid composition. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 26(2), pp.232-242 (in Persian). DOI: 10.22059/IJHS.2015. 54619.

RESEARCH ARTICLE

**Comparison of Some Photosynthetic Traits in Olive (*Olea europaea* L.)
Genotypes under Heat Stress Conditions**

A. A. Zeinanloo * 

Associated Professor, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Zeinanloo, A.A. 2023. Comparison of some photosynthetic traits in olive (*Olea europaea* L.) genotypes under heat stress conditions. *Seed and Plant*, 39, pp.545-566 (in Persian).

High temperature has negative effects on olive physiology, especially flowering, fruit growth and oil production. To identify olive cultivars/genotypes tolerant to heat stress, 12 olive cultivars and genotypes with four temperature treatments T₁: (34 ± 1.5 °C), T₂: (37 ± 1.5 °C), T₃: (40 ± 1.5 °C) and T₄: (43 ± 1.5 °C) were evaluated at Tarom olive research station, Iran, in 2016. The experiment was conducted as factorial arrangement in randomized complete block design with three replications. The results showed that the photosynthesis rate and water use efficiency decreased with increasing temperature. The results showed that the highest photosynthesis rate was obtained in T₁ with 11.84 μmol m⁻² s⁻¹ and the lowest in T₄ with 4.87 μmol m⁻² s⁻¹. In T₄ temperature treatment, cv. Manzanilla maintained more than 50% and cv. Amin 44% of their photosynthesis efficiency compared to T₁ temperature treatment. The of cultivar temperature × treatment interaction effect showed that the highest photosynthesis rate in T₁ was 17.42 and 17.25 μmol.m⁻²s⁻¹ in cv. Amin and cv. Deira, respectively. At temperatures > 40° C, there was a sharp decrease in the stomatal conductance of the leaves. Cv. Arbequina and Ozine genotype had the highest and lowest water use efficiency with 2.63 and 1.84 mmolCO₂ molH₂O⁻¹, respectively. Also, the highest water use efficiency was obtained in KH15 genotype and cv. Deira in T₁ temperature treatment. Due to the considerable decrease in photosynthesis rate at temperatures above > 40 °C, olive cultivation in areas with hot summers will cause significant reduction in fruit yield and in fruit oil content.

Keywords: Olive, climate change, photosynthesis rate, stomatal conductance, transpiration.

Introduction

One of the problems of olive cultivation that has become more apparent in recent years is climate change particularly rising temperatures. The increase in temperature has caused dramatically decreases in the fruit yield and oil content of olive warm and dry areas of the world. (Siakou *et al.*, 2021) Adaptability of large number of olive cultivars in warm regions require many resources and time (Azimi *et al.*, 2016). However, by examining the factors related to photosynthesis during the peak of summer heat, cultivars with high photosynthesis rate can be screened (Bongi *et al.*, 1987). Then, the selected cultivars can be evaluated for heat tolerance and adaptability to target areas.

The aim of this research was to identify cultivars/genotypes tolerant to heat stress and suitable for regions with warm and dry climatic conditions with high photosynthesis rate under high temperatures.

Materials and Methods

This research was carried out to identify olive cultivars/genotypes tolerant to heat stress, 12 olive cultivars and genotypes (Zard, Arbequina, Deira, Amin, Koroneiki, Manzanilla, Meshkat, Zagros and genotypes of Ozineh, Gorgan3, Tmn2, Kh15) with four temperature treatments T₁: (34 ± 1.5 °C), T₂: (37 ± 1.5 °C), T₃: (40 ± 1.5 °C) and T₄: (43 ± 1.5 °C) were evaluated at Tarom olive research station, Iran, in 2016. The experiment was conducted as factorial arrangement in randomized complete block design with three replications. Physiological indices were measured using the LCI model of UK-ABC. Photosynthesis related indices were measured in three replications, and in each replication at least on three leaves from completely developed leaves of the current year for each cultivar/genotype. The measured indices included: difference of reference CO₂ and atmospheric CO₂ concentration with CO₂ of the sub-stomatal chamber, photosynthetic active radiation (P. A. R.), chamber temperature, leaf temperature, stomatal conductance (gs), transpiration (E), photosynthesis rate (A), water use efficiency (WUE), which was calculated from the A/E ratio (Bongi *et al.*, 1987). The mean leaf temperature was 0.81 °C higher than the ambient temperature, during the implementation of the experiment. The average atmospheric CO₂ concentration was 388 ppm. The minimum, maximum and mean of P. A. R was 1547, 1880 and 1721 μmol m⁻² s⁻¹, respectively. Analysis of variance was performed using Minitab version 17 software, and means were compared using Tukey's test at the 5% probability level.

Results and Discussion

Analysis variance showed that the effect of cultivar, temperature and genotype \times temperature treatment interaction effect on photosynthesis rate (A) were significant at the 5% level. Means comparison revealed that cv. Amin had the highest mean photosynthesis rate with $12.14 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. There was no significant difference between cv. Amin, cv. Deira, cv. Zagros and cv. Manzanilla for photosynthesis rate. The lowest (A) was obtained in cv. Zard and Ozine genotype with 6.97 and $6.13 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. The interaction effect of genotype \times temperature on (A) indicated that lowest (A) was obtained in cv. Meshkat and cv. Koroneiki in T_4 with 3.03 and $3.15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectively. The photosynthesis rate of olive leaves usually does not exceed $18 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ at light intensity of $1900 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Bongi *et al.*, 1987).

The mean comparison effect showed that the highest stomatal conductance (gs) was related to cv. Amin with $0.239 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and the lowest was related to Ozine genotype with $0.091 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Cv. Deira and cv. Manzanilla had similar stomatal conductance with $0.185 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. The stomatal conductance in cv. Koroneiki was $0.131 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and Ozine genotype with $0.091 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ had the lowest (gs). Siakou *et al.* (2021) reported that the stomatal conductance in cv. Koroneiki was between 0.65 - $0.228 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As the temperature increased, the stomatal conductance decreased. In T_4 , the stomata conductance was $0.064 \text{molCO}_2 \text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ which decreased by 69.8% as compared to T_2 temperature treatment. There was linear relationship between photosynthesis rate and stomatal conductance with coefficient of determination of $R^2 = 0.7873$.

Cultivar Arbequina with $63.2 \text{mmolCO}_2 \text{molH}_2\text{O}^{-1}$ had the highest water use efficiency and the lowest water use efficiency belonged to cv. Koroneiki and Ozine genotype with 1.89 and $1.84 \text{mmolCO}_2 \text{molH}_2\text{O}^{-1}$, respectively. Water use efficiency had a direct relationship with (A) and a negative relationship with transpiration (E) (Chartzoulakis *et al.*, 199b). The lowest water use efficiency for all cultivars/genotypes was in T_4 in, except in cv. Zard. The lowest water use efficiency belonged to Ozine genotype in T_4 with $0.99 \text{mmolCO}_2 \text{molH}_2\text{O}$. The mean comparison indicated that the cv. Amin had the highest transpiration with $5.84 \text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and cv. Zard the lowest with $3.11 \text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and other genotypes had no significant differences. With increasing temperature, leaf transpiration increased but decreased in T_4 . The reduction of (E) at temperature $> 43^\circ\text{C}$ was due to the closing of the stomata.

References

- Azimi, M., Arji, I., Zeinanloo, A.A., Taslimpor, M.R. and Ramazani, M. 2016.** Evaluation of adaptability of some olive (*O. europaea* L.) cultivars in different climates of Iran. *Journal of Seed and plant*, 1-32(3), pp.275-292 (in Persian). DOI: 10.22092/SPIJ.2016.112605
- Bongi, G. Mencuccini, M. and Fontanazza, G. 1987.** Photosynthesis of olive leaves: effect of light flux density, leaf age, temperature, peltates, and H₂O vapor pressure deficit on gas exchange. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(1), pp.143-148. DOI: 10.21273/JASHS.112.1.143
- Chartzoulakis, K., Michelakis, N. and Stefanoudaki, E. 1999b.** Water use, growth, yield and fruit quality of "Bonanza" oranges under different soil water regimes. *Advances in Horticultural Science*, 13(1), pp.6-11.
- Siakou, M., Bruggeman, A., Eliades, M., Zoumidis, C., Djuma, H., Kyriacou, M.C., Emmanouilidou, M.G., Spyros, A., Manolopoulou, E. and Moriana, A. 2021.** Effects of deficit irrigation on 'Koroneiki' olive tree growth, physiology and olive oil quality at different harvest dates. *Agricultural Water Management*, 258. DOI: 10.1016/j.agwat.107200

*Corresponding author: azeinanloo@yahoo.com

Tel.: +982636702541

Received: 06 November 2023

Accepted: 15 January 2024



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.