Journal of Plant Environmental Physiology
ISSN: 7671-2423 (Print), 2783-4689 (Online) http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir

Doi: 10.30495/iper.2021.679552
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.66.2.7

Islamic Azad University
Gorgan Branch

Effect of superabsorbent polymer on photosynthetic traits, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence indices of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress

Ahmad Afkari*
Department of Physiology, Kaleybar Branch, Islamic Azad University Kaleybar, Iran, Email: afkariahmad@yahoo.com

Serial 66, 17th year, Number 2, Summer 2022 (57-73)

Article type:
Research Full Paper

Article history
Received: 2020/08/08
Revised: 2020/11/21
Accepted: 2020/11/25

Keywords
Bean
Chlorophyll fluorescence
Fv/Fm
Photosynthetic characteristics
Water deficit

Abstract

In order to investigate the effect of using superabsorbent polymer on photosynthetic traits, chlorophyll content, and chlorophyll fluorescence indices of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress, an experiment was conducted using a split-plot arrangement in randomized complete block design with 4 replications in the Research Field of Islamic Azad University, Kaleibar Branch, Iran in crop year 2018. Experimental treatments included irrigation intervals in the main plots (after 70, 140, and 210 mm water evaporation from class A evaporation pan) and application of different amounts of superabsorbent polymer (0, 75, and 150 Kg.ha-1) in sub plots. Results showed that the main effect of drought stress and superabsorbent were significantly different in most measured traits ($p \leq 0.01$). Interaction between drought stress and superabsorbent was significant only in the stomatal conductance, cell membrane stability, and chlorophyll index. Mean comparison results showed that severe drought stress significantly reduced maximum photochemical efficiency of PSII, maximal fluorescence (Fm), chlorophyll content, transpiration rate, CO2 concentration under stomatal chamber, and photosynthesis rate, indicating the role of stomatal factors in reducing photosynthesis under stress conditions. The use of superabsorbent significantly increased photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate, cell membrane stability, maximum photochemical efficiency of PSII, maximal fluorescence (Fm), minimum fluorescence (F0) and chlorophyll index while CO2 concentration under stomatal chamber reduced. The highest records of most measured traits were observed in 75 Kg.ha-1 superabsorbent polymer treatment. In general, it was concluded that superabsorbent improves photosynthetic properties, the maximum photochemical efficiency of PSII, and chlorophyll content of beans under drought stress.

Please cite this article as Afkari, A. 2022. Effect of superabsorbent polymer on photosynthetic traits, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence indices of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*. 65(2): 57-73.

© 2022. All Rights Reserved

نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا: (چاپی) ۲۴۲۳-۷۶۷۱ (آنلاین) ۴۶۸۹-۲۷۸۳، http://ecophysiologi.gorganiau.ac.ir
Doi: 10.30495/iper.2021.679552
Dor: 20.1001.1.24237671.1401.17.66.2.7
دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان

تأثیر پلیمر سوپرجاذب بر صفات فتوسنتزی، محتوای کلروفیل و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش خشکی

احمد افکاری*

گروه فیزیولوژی گیاهی، واحد کلیبر، دانشگاه آزاد اسلامی کلیبر، ایران، رایانامه: afkariahmad@yahoo.com

سال هفدهم، شماره ۶۶، تابستان ۱۴۰۱ / صفحات: ۷۳-۵۷

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۸
تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

واژه‌های کلیدی:
تنش کم‌آبی
عملکرد کوآنتوم فتوشمیایی
فلورسانس کلروفیل
لوبیا
ویژگی‌های فتوسنتزی

چکیده

به‌منظور بررسی اثر مصرف پلیمر سوپرجاذب بر صفات فتوسنتزی، محتوای کلروفیل و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان کلیبر در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فواصل آبیاری در کرت‌های اصلی (۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و مقادیر مختلف سوپرجاذب (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر اصلی تنش خشکی و سوپرجاذب بر اکثر صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال یک درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. برهمکنش تنش خشکی و سوپرجاذب تنها بر هدایت روزنه‌ای، پایداری غشای سلولی و محتوای کلروفیل معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش خشکی شدید باعث کاهش معنی‌داری در میزان حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، فلورسانس بیشینه (Fm)، محتوای کلروفیل، میزان تعرق، غلظت CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای و سرعت فتوسنتز شد. در حالی‌که استفاده از سوپرجاذب به‌طور معنی‌داری سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، پایداری غشای سلولی، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، فلورسانس بیشینه، فلورسانس کمینه (F0) و شاخص کلروفیل را افزایش ولی میزان CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای را کاهش داد .بیش‌ترین افزایش در اکثر صفات مورد ارزیابی در هنگام استفاده از سوپرجاذب با مقدار ۷۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که سوپرجاذب صفات فتوسنتزی، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II و محتوای کلروفیل را در شرایط تنش خشکی بهبود می‌بخشد.

استناد: افکاری، ا. (۱۴۰۱). تأثیر پلیمر سوپرجاذب بر صفات فتوسنتزی، محتوای کلروفیل و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) تحت تنش خشکی. *نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۶۵ (۲)، ۷۳-۵۷.

مقدمه

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) یکی از مهم‌ترین حبوبات در جهان است که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌عنوان یکی از منابع تأمین غذای انسان، دارای پروتئین بالا، فسفر، ویتامین‌ها، ریز مغذی‌ها و فیبر بوده و فاقد کلسترول و قند است (Farid et al., 2016). علاوه بر این، به‌دلیل همزیستی باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن اتمسفری با ریشه آن‌ها، در حاصلخیزی خاک موثرند و هر ساله مقادیر زیادی نیتروژن بعد از برداشت این محصولات به خاک اضافه می‌شود (Peralta et al., 2016).

تنش خشکی به واسطه‌ی عوامل محدود کننده روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای فتوسنتز را کاهش می‌دهد. چراکه با بسته شدن روزنه‌ها، CO_2 داخل سلولی کاهش می‌یابد و در نتیجه باعث تجمع ناقلین الکترون پر انرژی، آشفتگی و افت کارآیی کمپلکس‌های برداشت کننده نور فتوسنتز می‌شود. بنابراین برگ‌های گیاهان با بستن روزنه‌ها در جهت حفظ آب به مثابه اولین دفاع به تنش خشکی پاسخ می‌دهند (Afshar Mohamadian et al., 2018). تنش خشکی عامل برهم زننده تعادل از طریق اختلال در فرآیندهای زیستی و فیزیولوژیک در گیاه است. اثر خشکی و نور زیاد باعث اختلال در وظایف فتوشیمیایی فتوسیستم II شده و سبب بازدارندگی در انتقال الکترون می‌شود (Hosseinzadeh et al., 2013). Ohashi و همکاران (۲۰۱۲) اعلام نمودند، تنش خشکی به‌دلیل کاهش میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای، کاهش فتوسنتز ارقام سویا را در پی داشت. به‌طوریکه Ahmadi و Baker (۲۰۰۰) اظهار داشتند که تنش خشکی کوتاه مدت در گندم باعث توقف کامل فتوسنتز و افزایش نسبت کلروفیل a/b شد ولی اثری روی محتوای کلروفیل برگ نداشت. در بین فرآیندهای گیاهی، فتوسنتز فرآیندی مهم و کلیدی در زندگی گیاهان به‌شمار می‌آید و خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محیطی، اثر محدود کننده بزرگی بر فتوسنتز داشته باشد (Pakmehr et al., 2014). آسیمیلاسیون خالص CO_2 از طریق فرآیند فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس است (Heidari et al., 2014). به‌طور کلی فرض بر این است که تنش خشکی به‌علت اثر در بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه کاهش دسترسی به CO_2 در مزوفیل باعث کاهش فتوسنتز گیاه می‌شود (Yordanov et al., 2001). مکانیزم فتوسنتزی در کلروپلاست‌ها عمدتاً پیچیده است و در طی مراحل اولیه خشکی محدودیت عمده در فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها می‌باشد (Chaves, 2002). نقصان در فتوسنتز خالص در اثر تنش خشکی بیشتر به بسته بودن روزنه یا همان کاهش هدایت روزنه‌ای مربوط است (Ahmadi Mousavi et al., 2010). هم‌چنین افزایش در کارآیی تعرق می‌تواند هم به‌دلیل افزایش میزان فتوسنتز و هم به‌دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای باشد (Polley, 2002). تحقیقات نشان داه است افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌تواند اثر ناشی از تنش خشکی را خنثی کند (Hosseinzadeh et al., 2013).

بررسی پایداری غشای سلولی یکی از راهکارهای شناخت میزان تحمل تنش‌های محیطی از جمله خشکی در گیاهان می‌باشد (Munns, 2002). به‌نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی، تنش‌های اکسیداتیو به‌عنوان تنش ثانویه عمل کرده و ضمن کاهش پایداری غشاء سلولی، سرعت فتوسنتز و در نهایت عملکرد را کاهش می‌دهند (Fazeli et al., 2007). Farhoudi و Tafti (۲۰۱۱) مشاهده نمودند که تنش خشکی سبب تخریب شدید غشای سلولی برگ ارقام سویا شد.

کارآیی فتوشیمیایی یک علامت مفید است که برای ارزیابی فتوسیستم II وضعیت سیستم فتوسنتزی گیاه استفاده می‌شود. اندازه‌گیری این صفت غیر مخرب بوده و برای مقاصد آزمایشگاهی و مزرعه‌ای به کار می‌رود (Flexas et al., 2000). Shangguan و همکاران (۲۰۰۰) طی تحقیقی بر روی گندم زمستانه تحت تنش خشکی، تغییری در کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II مشاهده نکردند. نتایج Gale و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد با اعمال تنش خشکی بر روی ارقام گندم تغییری در برگ‌های سازگار شده به تاریکی ایجاد نمی‌شود و نشان می‌دهد که کارآیی کوآنتوم فتوسیستم II طی تنش کاهش نمی‌یابد. انرژی نورانی جذب شده به وسیله مولکول‌های کلروفیل برگ می‌تواند یکی از این سه سرنوشت را داشته باشد: بخشی از انرژی نور جذب شده به وسیله مولکول های کلروفیل در یک برگ برای پیشبرد فتوسنتز استفاده می‌شود (خاموشی فتوشیمیایی) و انرژی مازاد به‌صورت حرارت پراکنده شده (خاموشی غیر فتوشیمیایی) و یا به شکل نور با طول موج بلند از سطح برگ منعکس می‌شود که به این پدیده فلورسانس کلروفیل گفته می‌شود (Yordanov et al., 2001). به‌منظور تعیین وضعیت فیزیولوژیکی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی از تکنیکی به نام سنجش فلورسانس کلروفیل استفاده می‌شود. در حقیقت، مقدار فلورسانس کلروفیل می‌تواند توانایی گیاه در تحمل به تنش‌های محیطی، سالم بودن غشاء تیلاکوئید، کارآیی نسبی انتقال الکترون و میزان از فتوسیستم II به فتوسیستم I خسارتی که تنش به گیاه وارد می‌کند را به خوبی نشان دهد. رابطه بین فلورسانس کلروفیل و کارآیی فتوسنتزی گیاه در مطالعات زیادی بررسی شده است (Oukarroum et al., 2007؛ Baker, 2008؛ Afshar Mohamadian et al., 2018). در چنین شرایطی به دنبال کاهش فتوسنتز و ذخیره فرآورده‌های آن، انتقال الکترون یعنی ATP و NADPH در واکنش های وابسته به نور در فتوسنتز، عملکرد کوانتومی فتوسیستم II کاهش پیدا می‌کند. در حقیقت مقدار فرود (Quenching) انرژی الکترون برانگیخته شده از مسیر غیرفتوشیمیایی افزایش یافته و از این طریق فتوسیستم II به‌طور منفی تنظیم می‌شود (Afshar Mohamadian et al., 2018).

پلیمرهای سوپرجاذب (هیدروژل) ترکیبات آلی بوده و به‌صورت مصنوعی از پلی‌آکریلات پتاسیم و کوپلیمرهای پلی‌اکریل آمید ساخته شده‌اند و می‌توانند آب را به سرعت تا چندین برابر حجم خود جذب و قابلیت نگهداری آب را در خاک افزایش دهند و در نهایت با کاهش اثر تنش خشکی سبب بهبود رشد گیاه شوند (Nazarli et al., 2010). در تحقیقی رابطه بین مصرف پلیمرهای سوپرجاذب و افزایش آب در دسترس گیاه بررسی شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با مصرف سوپرجاذب، ۱۰/٦۸ درصد آب بیش‌تر نسبت به شاهد در خاک باقی ماند (Wu et al., 2008). Haghighi و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که بیش‌ترین شاخص پایداری غشا سلول، در تیمار ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کاربرد ۱۰ درصد سوپرجاذب حجمی مشاهده شد. تنش کمبود آب تمام صفات زراعی همچون محتوی کلروفیل را کاهش می‌دهد، اما به کار بردن سوپرجاب تمام صفات زراعی نظیر محتوی کلروفیل را افزایش می‌دهد (Tohidi-Moghadam et al., 2009).

با توجه به مطالب فوق هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی تأثیر اعمال تنش خشکی روی صفات فتوسنتزی و پارامترهای وابسته به آن در گیاه لوبیا و امکان استفاده از پلیمر سوپرجاذب جهت کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی و بهبود کارکردهای گیاهان تحت تنش کم‌آبی بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر مصرف پلیمر سوپرجاذب بر صفات فتوسنتزی، محتوا و شاخص‌های فلورسانس کلروفیل لوبیا چشم‌بلبلی تحت تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یکبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در شهرستان کلیبر در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل فواصل آبیاری در کرت‌های اصلی (۷۰، ۱۴۰ و ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) و مقادیر مختلف سوپرجاذب (صفر، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) در کرت‌های فرعی بودند. زمین مزرعهٔ آزمایشی با یک شخم سنگین پاییزه و دو دیسک عمود برهم تهیه شد. کودهای پایه NPK براساس آزمون خاک مزرعه محاسبه شد. کود نیتروژن از منبع اوره به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار و کودهای فسفر و پتاسیم به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از منابع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم بر اساس آزمون خاک استفاده شد. نصف کود نیتروژن و تمام کودهای فسفر و پتاسیم در زمان کاشت پس از باز نمودن ردیف‌های کاشت در داخل شیارها ریخته شد و باقی‌مانده کود نیتروژن در بهار به‌صورت سرک به زمین اضافه شد. پس از تسطیح زمین، کاشت دو عدد بذر روی خطوط به‌صورت کپه‌ای به فاصلهٔ ۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. هر کرت فرعی شامل پنج ردیف کاشت به طول پنج متر با فاصله خطوط ۵۰ سانتی‌متر بود. آبیاری اول بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت. تا قبل از اعمال تنش هر هفت روز یکبار آبیاری به‌طور مساوی صورت گرفت. اعمال تنش بعد از مرحله گلدهی آغاز گردید. در طول دوره رشد گیاه برای کنترل علف‌های هرز باریک برگ از علف‌کش نابواس به میزان دو لیتر در هکتار و جهت کنترل آفات مکنده از سم متاسیستوکس (یک و نیم درهزار) استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

پلیمر سوپرجاذب از نوع سوپر آب آ- ۲۰۰ محصول شرکت رهاب رزین (تحت لیسانس پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران) استفاده شد. سوپرجاذب در زمان کاشت در ۱۵ سانتی‌متری زیر بذر قرار داده و روی آن با خاک پوشیده شد و سپس بذور در عمق ۵ سانتی‌متری قرار داده شدند تا ریشه به راحتی به سوپر جاذب دسترسی داشته باشد و پس از آن آبیاری انجام گرفت. مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	بافت خاک	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)
۰-۳۰	شنی لومی	۷/۱	۱/۸	۱۲	۱۸۵	۰/۰۶	۳۲	۲۷	۴۱

جدول ۲: مشخصات پلیمر سوپرجاذب مورد استفاده

ترکیبات	پلیمر اکریلات پتاسیم و پلی‌اکریل آمید
مواد خشک	۸۵-۹۰ درصد
وزن مخصوص	۱/۱ (گرم در سانتی‌متر مکعب)
اسیدیته	۸/۱
جذب میزان حداکثر	۱۵۰-۴۰۰ برابر
کاتیونی تبادل ظرفیت	۴/۶ (میلی اکی والان /گرم)
عمر مفید	۵ سال

سنجش فتوسنتز و پارامترهای وابسته به آن: در مرحله پس از گلدهی برگچه وسطی هر برگ (برگ قبل از آخر) درون اتاقک اندازه‌گیری، طوری قرار داده شد که سطح فوقانی برگچه به طرف بالا قرار گیرد تا نور کافی دریافت کند. داده‌های اصلی هدایت روزنه‌ای براساس (مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)، غلظت CO_2 درون سلولی (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)، شدت تعرق براساس (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) و سرعت فتوسنتز براساس (میکرو مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) با دستگاه اندازه‌گیری میزان فتوسنتز (مدل LCA4، شرکت ADC، ساخت انگلستان) با میانگین‌گیری از سه قرائت، گزارش گردید (Lichtenthaler and Burkart, 1999).

شاخص محتوای کلروفیل: شاخص محتوای کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل cl- 0l شرکت Hansatech، ساخت انگلستان) استفاده شد. برای این منظور از هر کرت فرعی در مرحله پس از گلدهی، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و از قسمت وسط برگچه‌های وسطی جوان‌ترین برگ (برگ قبل از آخر) اندازه‌گیری گردید (Baker, 2008).

اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل و عملکرد کوانتومی فتوسیستم II: اندازه‌گیری میزان فلورسانس کلروفیل و کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در مرحله ۵۰ درصد گلدهی و بعد از اعمال تنش انجام شد. بدین صورت که ابتدا در ساعت ۱۰ الی ۱۲ صبح به‌صورت تصادفی از سطح جوان‌ترین برگ توسعه‌یافته گیاهان، با قرار گرفتن گیره بر روی آن‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار گرفت، سپس با استفاده از دستگاه کلروفیل فلورومتر PAM (Pulse-amplitude modulated)، (مدل OS5-FI شرکت Hansatech، ساخت انگلستان) پارامترهای فلورسانس از قبیل F0 (فلورسانس کمینه)، Fm (فلورسانس بیشینه) و Fv/Fm (عملکرد کوانتومی فتوسیستم II) یادداشت برداری شدند و فلورسانس کلروفیل در آن محل ثبت گردید (Klughammer, and Schreiber, 2008).

اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی: برای اندازه‌گیری پایداری غشای سلولی یک گرم بافت برگ بالغ را پس از شستشو با آب مقطر، در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر در قوطی‌های فیلم استریل شده شناور شده و به مدت چهار ساعت در انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از این مدت هدایت الکتریکی آن اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی آب توسط هدایت سنج الکتریکی مدل Inob1 در دمای اتاق سنجیده شد. سپس نمونه‌ها به حمام بخار بن ماری منتقل شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. پس از این مدت نمونه‌ها از انکوباتور خارج شده در دمای اتاق خنک شدند. در این زمان مجدداً هدایت الکتریکی نمونه‌ها را اندازه گرفته و از رابطه زیر پایداری غشای سلولی اندازه‌گیری شد (Farhuodi et al., 2014):

رابطه ۲: $\text{پایداری غشای سلولی} = (E_1/E_2) \times 100$

E_1: هدایت الکتریکی محلول قبل از حمام بخار

E_2: هدایت الکتریکی محلول بعد از حمام بخار

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۳ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج

تأثیر پلیمر سوپرجاذب و تنش خشکی بر صفات فتوسنتزی و فیزیولوژیک لوبیا چشم‌بلبلی

چشم‌بلبلی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی و سوپرجاذب بر صفات فتوسنتزی و پارامترهای وابسته به آن و هم‌چنین اثر

متقابل تنش خشکی و سوپرجاذب بر هدایت روزنه‌ای، پایداری غشای سلولی و شاخص کلرفیل اثر معنی‌داری را نشان داد. اما برهمکنش تنش خشکی و سوپرجاذب بر سرعت فتوسنتز، شدت تعرق، میزان CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای و حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II معنی‌دار نشد (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر روی صفات فتوسنتزی و پارامترهای وابسته به آن در لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		فتوسنتز	شدت تعرق	میزان CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای	هدایت روزنه‌ای	پایداری غشای سلولی	حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II	فلورسانس کمینه	فلورسانس بیشینه	شاخص کلروفیل
تکرار	۳	۲/۷۳۹^{ns}	۱/۰۶۵^{ns}	۸۹٤/۸۳٤^{ns}	۱/۷٤۹^{ns}	۲٦۹/٤۷^{ns}	۰/۰۰۵۲^{ns}	۲۷۸۱/٦٤^{ns}	۱۲۱۹۳/٤۱^{ns}	۲/۰۸٤^{ns}
تنش خشکی	۲	۲٤/٦۱۹**	۰/۰۵۸*	٦٤۸/۲٦۱*	۲/۰۸*	۱۰۱۹/۲۱**	۰/۰۰۵۷**	۸۱٤۱/۳۷**	۹۳۱۵۸۱٤/۰۹**	۱۱/۰۷**
اصلی اشتباه	٦	۰/۸۳۱	۰/۰۱۵	۸۲/۷۳	۰/۰۸۷	۱۱/۰٤	۰/۰۰۰۷	۱۹۸۳/۲۱	۸۹٦۵/۲٤	۰/۰۷
سوپر جاذب	۲	۷/۸۲٦**	۰/۰۹۳**	۷۱۹/٦۸**	۰/٦۳۳*	۵۱۳/۳٤**	۰/۰۰٦**	۳٤۵۷۰/۳٦**	٤۳۷۱٦/۰۰۳**	٤/۱٦۲**
تنش×سوپرجاب	٤	۱۹/۷۵۳^{ns}	۰/۰۸۳^{ns}	۷۳/۵۹^{ns}	۰/۳۵*	۱۳/۸۲*	۰/۰۰۲^{ns}	۱۷٦٤۲۹/٤^{ns}	۲٤۷/۵٤^{ns}	۲/۷۳۸**
اشتباه فرعی	۱۸	۰/۳۵۳	۰/۰۰۵٤	٦۷/۱۸	۰/۰۷۳	۷/۵۷	۰/۰۰۱٤	۱۳۸٤/۷۲	۸۵۹۳/۱۸	۰/۹٤٦
ضریب تغییرات (٪)		۱۷/۲۳	۷/۹۳	۳/۰۷	۲۱/۹٤	۹/٦۸	۵/۳۹	۱۰/۰۳	۱۲/۷٤	٦/۰۵

*، ns و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر سرعت فتوسنتز: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش سرعت فتوسنتز گیاهان شد. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب موجب افزایش سرعت فتوسنتز شد ولی در بالاترین مقدار (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) این روند معکوس گردید (جدول ٤). به‌نحوی که در بین تیمارها، تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب حداکثر سرعت فتوسنتز را دارا بودند. گیاهان شاهد دارای کم‌ترین مقدار از نظر سرعت فتوسنتز بودند.

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر میزان تعرق: داده های حاصل از این تحقیق نشان داد که بالاترین میزان تعرق (٤/۲۳ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) از تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین مقدار شدت تعرق (۰/۹٦ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) از تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری شدت تعرق را افزایش داد. بنابراین بالاترین مقدار شدت تعرق (٤/۷٦ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) از کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار شدت تعرق (۲/٦۸ میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه) از شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب) به‌دست آمد.

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر میزان تعرق بر میزان CO_2 اتاقک زیر روزنه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اعمال تنش کم‌آبی باعث افزایش میزان CO_2 اتاقک زیر روزنه گیاهان شد. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب باعث شد تا مقدار CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای به‌طور معنی‌داری کاهش یابد (جدول ٤). در بین تیمارهای سوپرجاذب، شاهد بیش‌ترین میزان CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای را دارا بود

که از این لحاظ اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها با مقادیر (۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب) داشتند.

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر فلورسانس کمینه و بیشینه: در این تحقیق مشاهده شد که فلورسانس کمینه در شرایط تنش نسبت به آبیاری نرمال افزایش ولی میزان فلورسانس بیشینه کاهش یافت. به‌طوریکه بیش‌ترین میزان فلورسانس کمینه (۸۲۷/٦۲) و فلورسانس بیشینه (۲۷۱۳/۲۸) به‌ترتیب از تیمارهای ۲۱۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین میزان فلورسانس بیشینه (۲۳۱۹/۲۸) و فلورسانس کمینه ٤۸۳/۲۹ نیز به‌ترتیب از تیمارهای ۲۱۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین میزان فلورسانس بیشینه (۲٦۳٤/۳۲) و فلورسانس کمینه (۸۳۸/٦۹) از کاربرد ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میزان فلورسانس بیشینه (۲۲۸۲/٦۱) و فلورسانس کمینه (٥٦۸/۱۸) از تیمار شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب) به‌دست آمد (جدول ٤).

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II: نتایج نشان داد که حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II از تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و کم‌ترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II از تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش داد. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II را افزایش داد. بنابراین بالاترین حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II (۰/۷۸۲) از کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II (۰/٦۰۲) از تیمار شاهد (عدم مصرف سوپرجاذب) به‌دست آمد (جدول ٤).

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر هدایت روزنه‌ای: با توجه به نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب ،بالاترین مقدار هدایت روزنه‌ای (٦/۳۱ مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) مربوط به تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار هدایت روزنه‌ای (۱/۸۷ مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه) مربوط به تیمار (۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب) بود (جدول ۵).

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر پایداری غشای سلولی: انالیز داده های این تحقیق نشان داد در برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب بالاترین میانگین درصد پایداری غشای سلولی از تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین میانگین درصد پایداری غشای سلولی از تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب به‌دست آمد (جدول ۵)

اثر تنش خشکی و پلیمر سوپرجاذب بر مقدار شاخص کلروفیل برگ: نتایج مقایسه میانگین مربوط به برهمکنش تیمارهای تنش خشکی و سوپرجاذب نشان داد بالاترین مقدار شاخص کلروفیل برگ به تیمار ۷۰ میلی‌متر تبخیر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب و کم‌ترین مقدار شاخص کلروفیل برگ به تیمار ۲۱۰ میلی‌متر تبخیر و عدم مصرف سوپرجاذب تعلق داشت (جدول ۵).

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای آزمایش بر میزان CO_2 رورنه‌ای، سرعت فتوسنتز، شدت تعرق و حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II در تنش خشکی و سوپرجاذب

تیمارهای آزمایش	میزان رورنه‌ای CO_2 (میلی‌مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)	سرعت فتوسنتز (میکرو مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)	شدت تعرق (میلی‌مول آب در مترمربع در ثانیه)	فلوسانس بیشینه	فلورسانس کمینه	حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستمII
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)						
۷۰	۳٦۸/٦۱^{c}	۱٦/۷۸^{a}	٤/۲۳^{a}	۲۷۱۳/۱۹^{a}	٤۸۳/۲۹^{c}	/۷۹۱^{a}
۱٤۰	۳۹۲/۲۱^{b}	۱۲/۰۱^{b}	۲/۸۹^{b}	۲٦۸۱/۵۳^{ab}	۷٤۱/۹۲^{b}	۰/۷٤٦^{b}
۲۱۰	٤۱٤/۸۳^{a}	٦/۳٤^{c}	۰/۹٦^{c}	۲۳۱۹/۲۸^{c}	۸۲۷/٦۲^{a}	۰/٦۸۳^{c}
سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار)						
۰	٤۰۱/۳٤^{a}	٦/۲۳^{c}	۲/٦۸^{c}	۲۲۸۲/٦۱^{c}	٥٦۸/۱۸^{b}	۰/٦۰۲^{c}
۷۵	۳۸٦/۳٦^{b}	۱۷/۱۲^{a}	٤/۷٦^{a}	۲٦۹۸/۷۵^{a}	۸٤۹/۲۱^{a}	۰/۷۰۹^{b}
۱۵۰	۳۷٤/۱۹^{c}	۱٤/۰۸^{b}	۳/۷۸^{b}	۲٦۳٤/۳۲^{ab}	۸۳۸/٦۹^{a}	/۷۸۲^{a}

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

جدول ۵: برهمکنش تنش خشکی× سوپرجاب بر شاخص کلروفیل، پایداری غشای سلولی و هدایت روزنه‌ای

تیمارهای آزمایشی		سوپرجاذب (کیلوگرم در هکتار)	شاخص کلروفیل (درصد)	پایداری غشای سلولی (درصد)	هدایت روزنه‌ای (مول دی‌اکسیدکربن در مترمربع در ثانیه)
تنش خشکی (میلی‌متر تبخیر)					
۷۰		۰	٦/۵۲^{a}	۵۳/۱۰^{d}	٤/۵۲^{b}
		۷۵	٦/۹۱^{a}	۵٤/٤٦^{cd}	٦/۳۱^{a}
		۱۵۰	٦/۷۹^{a}	۵٦/۹۵^{c}	۵/۷۱^{a}
۱٤۰		۰	۵/٦۷^{b}	۵۵/۷۱^{cd}	۲/۵۹^{cd}
		۷۵	٦/۰۷^{b}	۵٦/۸۷^{c}	٤/۳۷^{b}
		۱۵۰	۵/۹٤^{b}	۵۹/۳۲^{b}	۵/٤۹^{a}
۲۱۰		۰	۵/۲۵^{c}	۵۹/۳٦^{b}	۱/۸۷^{d}
		۷۵	۵/٦۵^{b}	٦۰/٤۷^{ab}	۳/٦٤^{bc}
		۱۵۰	۵/۵۱^{bc}	٦۳/٦۲^{a}	۳/۱٤^{c}

حروف مشابه در هر ستون به منزله عدم وجود اختلاف معنی‌دار بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

بحث

بهبود فتوسنتز به‌واسطه مصرف پلیمر سوپرجاذب تحت تنش ممکن است به‌دلیل اثر این کود در حفظ کلروفیل برگ باشد. به‌نظر می‌رسد مقادیر بالای سوپرجاذب دارای اثرات بازدارنده‌ای بر کارکرد دستگاه فتوسنتز باشد. آسیمیلاسیون خالص CO_2 از طریق فتوسنتز، اولین مرحله تولید بیوماس در گیاهان است. هم‌چنین گزارش شده است سرعت آسیمیلاسیون خالص حساس‌ترین جزء ظرفیت بیوشیمیایی فتوسنتز به تنش کم‌آبی است و می‌تواند نقطه کنترل کلیدی تحمل خشکی باشد (Pakmehr et al., 2014). Farhoudi و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند تنش خشکی سبب کاهش فتوسنتز برگ ارقام سویا شد. ایشان کاهش رطوبت نسبی برگ، تخریب

کلروفیل و اختلالات روزنه‌ای را دلیل کاهش فتوسنتز برگ سویا بیان نمودند. Zou و همکاران (۲۰۰۷) نیز در آزمایش‌های خود مشاهده کردند که تنش کم‌آبی طی دوره پر شدن دانه برنج میزان فتوسنتز خالص و هدایت روزنه‌ای را کاهش داده و پیری برگ را تسریع کرد. Souza و همکاران (۲۰۰٤) گزارش کردند اعمال تنش خشکی بر گیاه لوبیا چشم‌بلبلی موجب کاهش سرعت آسیمیلاسیون دی‌اکسیدکربن گردید که ارتباط قوی با هدایت روزنه‌ای داشت. آن‌ها اعلام کردند در طی مرحله اول تنش آبی فعالیت فیتوشیمیایی تحت اثر تنش قرار نگرفت. در حالی که در مراحل پیشرفته تنش، اختلال در فعالیت‌های فتوشیمیایی با تغییر در میزان فلورسانس فتوسیستم II مشاهده شد. این مطلب بیانگر اثر تنش آب بر سرعت فتوسنتز از طریق اثرات روزنه‌ای پیش از اثرات غیر روزنه‌ای است.

غلظت CO_2 زیر روزنه‌ای بالا بیانگر این مطلب است که در شرایط تنش، CO_2 وارد شده به برگ به خوبی در فرآیند فتوسنتز مورد استفاده قرار نگرفته است (Koc et al., 2004). Anyia و Herzog (۲۰۰٤) گزارش کردند در تیمارهای تحت تنش‌های شدید کم‌آبی، افزایش غلظت CO_2 زیر اتاقک روزنه‌ای در گندم دوروم را می‌توان به کاهش شدید در هدایت مزوفیلی و در نتیجه کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست نسبت داد که در این صورت CO_2 وارد شده به برگ نمی‌تواند به خوبی در فتوسنتز مورد استفاده قرار گیرد. کم‌تر بودن افزایش میزان زیر اتاقک روزنه‌ای در گیاهان تیمار شده با سوپرجاذب، شاید به‌دلیل عمل محافظتی سوپرجاذب بر آنزیم‌های فتوسنتزی باشد که موجب افزایش سرعت فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با سوپرجاذب گردید. نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از آزمایش‌های (Pakmehr et al., 2014) مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از پلیمر سوپرجاذب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری شدت تعرق را افزایش داد. سرعت تعرق نشانگر گشودگی بیش‌تر روزنه‌ها و به تبع آن بیانگر جذب بهتر آب از خاک است. در گیاهان زراعی تعرق بارزترین شکل تلفات آب است. تعرق بیش از حد ممکن است به کاهش قابل ملاحظه تولید محصول منجر شود. در واقع افزایش تعرق سبب افزایش هدر رفت آب توسط گیاه شده و گیاه جهت جلوگیری از کاهش بیش از حد آب، روزنه‌های خود را می‌بندد (Afshar Mohamadian et al., 2018). بسته شدن روزنه‌ها مانع از ورود CO_2 به درون گیاه و در نتیجه کاهش فتوسنتز و در نهایت بیوماس و عملکرد می‌گردد. کاهش تعرق منجر به افزایش دمای برگ می‌شود که ممکن است منجر به تجزیه کلروفیل گردد. تعرق روزنه‌ای بالا احتمالاً منجر به آسیمیلاسیون بیش‌تر CO_2 و در نهایت بیوماس و تولید بیش‌تر می‌شود (Pakmehr et al., 2014). زمانی که گیاه با کمبود آب مواجه می‌شود در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها، سرعت تعرق به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Hirayama et al., 2006).

اعمال تنش کم‌آبی باعث کاهش هدایت روزنه‌ای گیاهان شد. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب موجب افزایش هدایت روزنه‌ای شد. می‌توان چنین بیان کرد که در شرایط بدون تنش فضای روزنه‌ای کاملاً باز بوده و هیچ نوع رابطه معنی‌داری بین سرعت فتوسنتز و میزان هدایت روزنه‌ای وجود ندارد، ولی با افزایش تنش و به دنبال آن با افزایش مقاومت روزنه‌ای ارتباط این دو بیش‌تر و معنی‌دارتر می‌شود. افزایش مقاومت روزنه‌ای در شرایط تنش توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است (Javadipour et al., 2013). جلوگیری از رشد همراه با بسته شدن روزنه‌ها جزء اولین پاسخ‌های گیاهان به خشکی است

(Klamkowski and Treder, 2006). هم‌چنین اظهار شده است بسته شدن روزنه‌ها در پاسخ به کمبود آب رفتار مشترکی است که در میان گونه‌های گیاهی به چشم می‌خورد (Pearce et al., 2006). Anyia و Herzog (۲۰۰٤) گزارش کردند با گذشت زمان از تنش خشکی در لوبیا چشم‌بلبلی هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. آن‌ها بیان کردند که علت این امر ممکن است به خاطر پیری برگچه‌ها باشد. هم‌چنین کاهش در سرعت آسیمیلاسیون عموما به خاطر بسته شدن روزنه‌ها بود. از طرفی احتمالاً در دسترس بودن CO_2 در کلروپلاست، که عمدتاً توسط هدایت روزنه‌ای تنظیم می‌شود، در پاسخ به کمبود آب، به‌عنوان سیگنالی برای تنظیم متابولیکی در برگ عمل می‌کند (Flexas et al., 2008).

در واقع بررسی وضعیت فتوسنتز یک معیار قابل اعتماد برای ارزیابی میزان سازگاری گیاهان نسبت به محیط اطرافشان می‌باشد. مقدار عملکرد کوانتومی نشان دهنده بیشینه کارایی کوانتومی فتوسیستم II و معیاری از نحوه عملکرد فتوسنتز گیاهی است (Fracheboud, 2006). مقدار کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II نشان دهنده ظرفیت انتقال الکترون از فتوسیستم II است، بنابراین کاهش ۲/۳ درصد میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II نشان دهنده کاهش میزان حفاظت نوری بوده و هم‌چنین دلیلی است بر اینکه تنش خشکی بر کارایی فتوسنتزی اثر معنی‌داری داشته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II عمدتاً به خاطر وقوع آشفتگی در کلروپلاست بوده و کاهش عدد کلروفیل‌متر نیز این موضوع را تأیید می‌کند، زیرا فلورسانس کلروفیل به‌طور مستقیم به فعالیت کلروفیل در واکنش فتوسیستم‌ها ارتباط داشته و می‌توان از آن به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری کارایی فتوسیستم نام برد. در مقابل، کاربرد سوپرجاذب باعث شد تا حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II به‌طور معنی‌داری افزایش یابد (جدول ٤). Shangguan و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که تنش خشکی تغییری در کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II ایجاد نکرد. Gale و همکاران (۲۰۰۲) در ارقام مختلف گندم مشاهده کردند که با اعمال تنش خشکی تغییری در میزان کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II به وجود نمی‌آید. کاهش نسبت Fm/Fv در شرایط تنش خشکی می‌تواند نشان‌دهنده این موضوع باشد که انتقال الکترون از فتوسیستم II به فتوسیستم I تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفته و کاهش می‌یابد (Soheili movahhed et al., 2017). در یک آزمایش، نسبت Fm/Fv ژنوتیپ‌های نخود در اثر تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت و ژنوتیپ‌های نخود حساس به خشکی نسبت Fm/Fv کم‌تری نسبت به ژنوتیپ‌ها ی مقاوم به خشکی داشتند (Rahbarian et al., 2011). در مقابل Mamnoei و Seyed Sharifi (۲۰۱۰) در بررسی اثر محدودیت آبی بر شاخص‌های فلورسانس کلروفیل ارقام جو بیان کردند که به‌دلیل افزایش فلورسانس پایه و کاهش فلورسانس بیشینه (یا حداکثر)، کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II طی تنش کم‌آبی کاهش یافت. بنا به اظهار Abdoli و همکاران (۲۰۱۳) میزان کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II همبستگی مثبتی با تحمل به خشکی دارد و ارقامی که عملکرد کوانتوم بیش‌تری دارند، تحمل خشکی بالاتری خواهند داشت.

میزان فلورسانس کمینه و پیشینه در شرایط تنش نسبت به آبیاری نرمال به‌ترتیب افزایش و کاهش یافتند. در صورتیکه استفاده از پلیمر سوپرجاذب نسبت به عدم مصرف آن به‌طور معنی‌داری میزان فلورسانس بیشینه و کمینه را افزایش داد. به‌طور کلی معنی‌دار شدن تفاوت فلورسانس کمینه در رژیم‌های

مختلف آبیاری، احتمالاً نشان‌دهنده این است که نظام نوری دو در رژیم‌های مختلف آبیاری از کارآیی متفاوتی برخوردار می‌باشند و اینکه شدت تنش در آزمایش اخیرآنقدر زیاد است که توانسته موجب تخریب مراکز نظام نوری دو شود. افزایش فلورسانس اولیه می‌تواند نشان‌دهنده تخریب مرکز واکنش PSII، دگرگونی ساختار و تغییر در رنگدانه‌های فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی باشد. افزایش میزان فلورسانس کمینه نشان از آسیب به زنجیره انتقال الکترون فتوسیستم II در اثر کاهش ظرفیت کوئینون (Quinine) آ (QA) و عدم اکسیداسیون کامل آن به‌دلیل جریان کند الکترون در طول مسیر فتوسیستم II و در مجموع غیرفعال شدن فتوسیستم II دارد (Soheili movahhed et al., 2017). Premachandra و همکاران (۱۹۹۲) در بررسی روند فتوسنتزی و فلورسانس کلروفیل در گیاهان لوبیای تحت تنش و آبیاری مجدد شده اعلام کردند عدم دسترسی به آب در روزهای اول بعد از تنش، کاهش چندانی در فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای نداشت ولی با افزایش مدت زمان تنش کاهش شدیدی در فتوسنتز، تعرق و هدایت روزنه‌ای ایجاد می‌کند. افزایش میزان فلورسانس کمینه در اثر تنش خشکی توسط پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (Javadipour et al., 2013؛ Mamnoei and Seyed Sharifi, 2010). افزایش در مقدار فلورسانس کمینه و کاهش در فلورسانس بیشینه، فعالیت فتوسیستم II را مختل می‌کند (Paknejad et al., 2007). افت فلورسانس بیشینه ممکن است با کاهش فعالیت کمپلکس آنزیم تجزیه کننده آب و هم‌چنین چرخه انتقال الکترون در درون یا اطراف فتوسیستم II مرتبط باشد (Zlatev, 2009).

تنش خشکی باعث ایجاد اختلال در سیستم‌های آنزیمی فرونشاننده‌ی گونه‌های فعال اکسیژن می‌گردد که این امر منجر به افزایش پراکسیداسیون چربی‌های غشایی و در نتیجه خسارت به غشاء سلولی و هم‌چنین تخریب رنگدانه‌ها می‌گردد (Masoumi et al., 2010). بررسی تخریب غشاهای سلولی و نشت‌پذیری غشا ناشی از تخریب غشاهای سلولی یکی از معیارهای بررسی واکنش گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله خشکی است (Munns, 2002). با افزایش میزان تنش در دوره رشد تراوش مواد بیش‌تری صورت گرفته و در نتیجه پایداری غشاء سلولی کاهش یافت. افزایش درصد آسیب سلولی احتمالاً به‌دلیل کاهش درصد آب در ساختمان غشاء سلولی است زیرا ۵۰- ۳۰ درصد ساختمان غشاء را آب تشکیل می‌دهد (Chelgerdi et al., 2014). گرچه گزارش شده است که در غلات زمستانه پایداری غشاء در برابر تنش گرمایی و خشکی در ارقام مقاوم بیش‌تر از ارقام حساس است (Gavuzzii et al., 1997). Haghighi و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که بیش‌ترین شاخص پایداری غشا سلول، در تیمار ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و کاربرد ۱۰ درصد سوپرجاذب حجمی مشاهده شد. Inze و Van Montagu (۱۹۹۵) گزارش کردند مقادیر نشت یونی از یاخته‌های برگی در سطوح رطوبتی پایین، بیش‌تر اتفاق می‌افتد. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت مصرف سوپرجاذب موجب کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی بر غشاء سیتوپلاسمی می‌شود که نتایج به‌دست آمده با گزارش‌های Esmaeelpour و همکاران (۲۰۰۹) در ارقام لوبیا قرمز مطابقت دارد.

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد با افزایش تنش خشکی شاخص کلروفیل برگ کاهش یافت. در واقع محتوای کلروفیل برگ به افزایش سطوح تنش خشکی واکنش نشان داد، به‌طوریکه کم‌ترین مقدار کلروفیل مربوط به تیمار ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر (تنش شدید) بود.

شاخص کلروفیل به‌علت افزایش ضخامت برگ در اثر کاهش رشد و توسعه سلولی، در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ، روند کاهش تدریجی را همراه با افزایش تنش خشکی نشان داد کاهش این رنگیزه‌های مهم فتوسنتزی می‌تواند به‌علت اختلال در جذب عناصر غذایی ضروری در سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی باشد. تنش موجب افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر می‌شود و کاهش میزان کلروفیل، نشان‌دهنده وسعت آسیب‌های اکسیداتیو است. این کاهش می‌تواند به‌دلیل بازدارندگی مراحل مختلف بیوسنتز کلروفیل باشد. هم‌چنین کاهش غلظت کلرفیل در گیاهان تحت تنش ممکن است در ارتباط با افزایش فعالیت تجزیه کلروفیل توسط آنزیم کلروفیلاز باشد (Goldani, 2012). Ghahremani و همکاران (۲۰۱۵) گزارش نمودند گیاهانی که شاخص کلروفیل بالاتری دارند پایداری بیش‌تری داشته و مدت زمان استفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش می‌یابد. تخریب کلروپلاست‌ها و تجزیه کلروفیل در اثر فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز از جمله عوامل مؤثر بر کاش غلظت این رنگیزه در شرایط تنش کمبود آب محسوب می‌شود (Dehbashi et al., 2014). Pirzad و همکاران (۲۰۰۹) در بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) گزارش کردند که در تنش‌های خشکی، کاهش قابل توجهی در میزان کلروفیل نسبت به شرایط متعادل آبیاری وجود داشت. بنابراین، تنش‌های ملایم خشکی میزان کلروفیل را افزایش داد و با ادامه تنش‌های شدید خشکی، این مقادیر به حداقل میزان خود رسید و بیش‌ترین میزان محتوای کلروفیل با به‌کارگیری بیش‌ترین میزان سوپرجاذب حاصل شد. نتایج تحقیق حاضر نیز افزایش شاخص کلروفیل برگ تحت تیمارهای سوپرجاذب را نشان داد.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، می‌توان بیان کرد که تنش خشکی، اثر بازدارنده بر فعالیت‌های مختلف دستگاه فتوسنتزی به‌خصوص فعالیت فتوسیستم II، در گیاه لوبیا می‌گذارد. در این بررسی مشخص شد که پارامترهای فلورسانس کلروفیل به همراه محتوای کلروفیل، نقش ویژه‌ایی در بررسی اثرات تنش خشکی بر سیستم‌های فتوسنتزی گیاه دارند. بنابراین با اعمال تنش خشکی میزان تعرق، تبادلات گازی، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، فلورسانس بیشینه (Fm) و سرعت فتوسنتز کاهش یافت. اما استفاده از سوپرجاذب به‌طور معنی‌داری سرعت فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، شدت تعرق، حداکثر کارآیی فتوشیمیایی فتوسیستم II، فلورسانس بیشینه (Fm)، فلورسانس کمینه (F0) و محتوای کلروفیل را افزایش داد. سوپرجاذب با کاهش اثرات منفی تنش خشکی و با افزایش ویژگی‌هایی مانند افزایش قدرت نگهداری آب در خاک و ریشه و هم چنین حفظ عناصر مورد نیاز گیاه، که در نهایت منجر به حفظ کلروفیل گیاه و تداوم فتوسنتز می شود، می تواند در شرایط تنش، رشد معمو ل گیاه را منجر شود. هم‌چنین به‌نظر می‌رسد افزایش سرعت فتوسنتز با کاربرد سوپرجاذب ضمن اینکه از طریق اثرات روزنه‌ای انجام می‌گیرد، می‌تواند از طریق کاهش مقاومت مزوفیلی نیز انجام گردد. بنابراین می‌توان از تیمار ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب در مناطقی که با کمبود آب و یا پراکنش ناموزون نزولات جوی برای کشاورزی روبرو هستند و کشت و کار گیاهان در شرایط تنش باید انجام گیرد، استفاده نمود.

References

Abdoli, M., Saeidi, L., Jalali-Honarmand , S., Mansourifar, S. and Ghobadi, M.A. (2013). Evaluation of some physiological and biochemical traits and their relationships with yield and its components in some improved wheat cultivars under post-anthesis water deficit. Enviromental Stresses in Crop Sciences. 6(1): 47-63. (In Persian with English abstract).

Afshar Mohamadian, M Omidipour, M. and Omidi, J. (2018). Effect of different drought stress levels on chlorophyll fluorescence indices of two bean cultivars. Journal of plant Research (Iranian Journal of Biology). 31(3): 694-709. (In Persian with English abstract).

Ahmadi, A. and Baker, D.A. (2000). Stomatal and nonstomatal limitations of photosynthesis under water stress conditions in wheat plant. Iranian Journal Agriculture Science. 31(4): 813-825.

Ahmadi Mousavi, A., Manouchehri Kalantari, Kh., Jafari, R., Hasibi, N. and Mahdavian, K. (2010). Investigation of the effects of 24-Apy Brasinolide and dehydration stress on some physiological parameters of rapeseed (*Brassica napus* L.). Journal of plant Research (Iranian Journal of Biology). 23(8): 275-282. (In Persian with English abstract).

Ansari, M.H., Asadi, R. Mazaheri R., and Rezazadeh B. (2017). Effect of different nitrogen resources on nitrogen absorption and transferation in guilan local beans in organic agriculture. Scientific Journal of Plant Physiology. 9(35): 21-38. (In Persian with English abstract).

Anyia, A.O. and Herzog, H. (2004). Watar-use efficiency, leaf area and leaf gas exchange of cowpeas under mid-season drought. Europ Journal Agronomy. 20: 327-339.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts; polyphenol-oxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology. 24: 1-15.

Baker, N.R. (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. Annual Review of Plant Biology. 59:89-113.

Chaves, M. (2002). Water stress in the regulation of photosynthesis in the field. Annuual of Botany, 89: 907-916.

Chelgerdi, A., Saffari, M. and Abdolshahi, R. (2014). Effect of super absorbent polymer, potassium sulphate and farmyard manure on physiological characteristics of millet (*Setaria italica*) optimum irrigation and drought stress conditions. Journal of Crop Production. 6(2): 35-56. (In Persian with English abstract).

Dehbashi, S., Laden Moghaddam, A.R. and Ghafourian, A. (2014). The effect of superabsorbent on reducing the effect of drought stress on some physiological traits of parsley (*Tagetes marigold*). Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 9(3): 72-81. (In Persian with English abstract).

Dere, S., Gunes, T. and Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll- a, b and total carotenoids contents of some algae species using different solvents. Botany. 22: 13-17.

Esmaeelpour, P., Habibi, D. and Tavassoli, A. (2009). Super absorbent polymer water effect on different cultivars of red beans and physiological traits under drought stress under greenhouse conditions. Journal Plant Ecosystem Research. 21(6): 21. 75-91.

Farhoudi, R. and Tafti, M.M. (2011). Effect of salt stress on seedlings growth and ions homeostasis of soybean (Glysin max) cultivars. Advances in Environmental Biology. 5(8): 2522-2526.

Farhoudi, R., Modhej, A. and Payandeh, Kh. (2015). Effect of final season drought tension on photosynthesis, seed yield and seed vigor of five soybean cultivars. Crop physiology journal. 24(6): 41-55. (In Persian with English abstract).

Farid, M., Earl, H.J. and Navabi, A. (2016). Yield stability of dry bean genotypes across nitrogen-fixation-dependent and fertilizerdependent management systems. Crop Science. 56(1):173-182.

Fazeli, F., Ghorbanli, M. and Niknam, V. (2007). Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in tow sesame cultivars. Journal of Biologia Plantarum. 51: 98-103.

Flexas, J., Briantais, J.M., Cerovic, Z., Medrano, H. and Moya, I. (2000). Steady-state and maximum chlorophyll flurescence response to water stress in grapevine leaves: a new remote sensing system. Remote Sensing of Environment. 73: 283-297.

Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Diaz-Espejo, A., Galmes, J. and Medrano, H. (2008). Mesophyll conductance to CO_2: current knowledge and future prospects. Plant Cell & Environment. 31: 602-621.

Fracheboud, Y. (2006). Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. Institute of Plant Science ETH, Universitatstrass, CH- 8092 Zurich.

Gale, A., Csiszar, J., Tari, I. and Erdei, L. (2002). Change in water and chlorophyll fluorescence parameters under osmotic stress in wheat cultivars. Acta Biologica Szegediensis. 46(3-4). 85-86.

Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campanile, R.G., Ricciardi, G.L. and Borghi, B. (1997). Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. Canadian Journal of plant Science, 77(4): 523-531.

Ghahremani, M., Ebadi, A., Parmoon, Gh. and Jahanbakhsh, S. (2015). Investigation the effect of water deficiency tension on photosynthetic indices and yield of genotypes forage sorghum (*Sorghum bicolor*). Crop physiology journal. 25(7): 59-74. (In Persian with English abstract).

Goldani, M. (2012). Effect of irrigation intervals on some growth indices ecotypes basil (*Ocimum basilicum* L.) Iranian Agricultural Research. 10: 412-420.

Haghighi, M., Mozafariyan, M. and Afifipour, Z. (2014). The effect of superabsorbent polymer and different withholding irrigation level on some qualitative and quantitative traits of tomato (*Lycopersicum esculentum*). Journal of Horticultural Science. 28(1): 125-133. (In Persian with English abstract).

Heidari, N., Pouryousef, M. and Tavakkoli, A. (2014). ffects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Journal of plant Research (Iranian Journal of Biology). 27(5): 829-839. (In Persian with English abstract).

Hirayama, M., Wada, Y. and Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. Breed Science. 56: 47-54.

Hosseinzadeh, S.R., Salimi, A., Ganjeali, A. and Ahmadpour, R. (2013). Effects of foliar application of methanol on photosynthetic characteristics, chlorophyll fluorescence and chlorophyll content of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Plant Biology. 18 (5): 115-132. (In Persian with English abstract).

Inze, D. and Van Montagu, M. (1995). Oxidative stress in plants. Current Opinion in Biotechnology, 6: 153-158.

Javadipour, Z., Movahhedi Dehnavi, M. and Baluchi, H.R. (2013). Comparison of photosynthesis parameters and leaf chlorophyll content and fluorescence of safflower cultivars under slaine conditions. Journal of Crop Production. 6(2): 35-56. (In Persian with English abstract).

Klamkowski, K. and Treder, W. (2006). Morphological and physiological responses of strawberry plants to water stress. Agriculture Conspectus Science, 71(4): 159-165.

Klughammer, C. and Schreiber, U. (2008). Complementary PS II quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method. PAM Application Notes. 1: 27 -35.

Koc, M., Barutcular, C. and Genc, I. (2004). Photosynthesis and productivity of old and modern durum wheats in Mediterranean environment. Crop Science. 43: 2089-2098.

Kordrostami, F., Shirvany, A., Attarod, P. and Khoshnevis, M. (2014). Does drought stress induce physiological mechanisms in *Celtis caucasica* L. Seedlings. Advances in Bioresearch. 5(4): 30-34.

Lichtenthaler, H.K. and Burkart, S. (1999). Photosynthesis and high light stress. Bulgharestan Journal of Plant Physiology. 25: 3-16.

Mamnoei, E. and Seyed Sharifi, R. (2010). Study the effects of water deficit on chlorophyll fluorescenceindices and the amount of proline in six barley genotypes and its relation with canopy temperatureand yield. Iranian Journal Plant Biology. 5: 51-62.

Masoumi, A., Kafi, M. Khazaei, H.R. and Davari, K. (2010). Effect of drought stress on water status, electrolyte Leakage and enzymatic antioxidants of Kochia (*Kochia scoparia*) under saline conditions. Pakistan Journal of Botany. 42(5): 3517-3524.

Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell and Environment. 25: 239-250.

Nazarli, H., Zardashti, Darvishzadeh, M.R., R. and Najafi, S. (2010). The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower. Notulae Science Biologicae. 4: 53-58.

Ohashi, Y., Saneoka, H. and Fujita, K. (2012). Effect of water stress on growth, photosynthesis, and photoassimilate translocation in soybean and tropical pasture legume siratro. Soil Science and Plant Nutrition. 46(2): 417-425.

Oukarroum, A., El Madidi, S., Schansker, G. and Strasser, R.J. (2007). Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. Environmental and Experimental Botany. 60(3):438-446.

Pakmehr, A., Shekari, F. and Rastgoo, M. (2014). Effect of seed priming by salicylic acid on some photosynthetic traits of cowpea under water deficit in flowering stage. Iranian Journal of Pulses Research. 31(3): 694-709. (In Persian with English abstract).

Paknejad, F., Nasri, M., Tohidi Moghadam, H.R., Zahedi, H., and Jami Alahmad, M. (2007). Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence parameters chlorophyll content and grain yield of wheat cultivars. Journal of Biological Sciences. 7(6): 841-847.

Pearce, D.W., Millard, S., Bray, D.F. and Rood, S.B. (2006). Stomatal characteristics of riparian poplar species in a semi-arid environment. Tree Physiology. 26: 211-218.

Peralta, H., Aguilar, A., Díaz, R., Mora, Y., Martínez-Batallar, G., Salazar, E., Vargas-Lagunas, C., Martínez, E., Encarnación, S. and Girard, L. (2016). Genomic studies of nitrogenfixing rhizobial strains from Phaseolus vulgaris seeds and nodules. BMC Genomics. 17(1):711.

Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M. R., Zehtab-Salmasi, S. and Mohammad, A. (2009). Effect of water stress on chlorophyll amounts in german chamomile (*Matrica chamomilla* L.). Annals of Applied Biology. 6:315-317.

Polley, H.W. (2002). Implication of atmospheric and climatic change for crop yield and water use efficiency. Crop Science. 42: 131-140.

Premachandra, G.S., Saneoka, H., Fujita, K. and Ogata, S. (1992). Seasonal changes in leaf water relations and cell membrane stability in Orchard grass. Journal Agriculture Science. 121: 169-175.

Rahbarian, R., Khavari-nejad, R.A., Ganjeali, A., Bagheri, A.R. and Najafi, F. (2011). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. Acta biologica Cracoviensia Series botanica. 53: 47-56.

Shangguan, Z., Shao, M. and Dyckmans, J. (2000). Effects of nitrogen nuttition and water deficit on net photosynthetic rate chlorophyll florescence in winter wheat. Plant Physiology. 156: 45-51.

Soheili movahhed, S., Esmaeili, M.A., Jabbari, F., Khorramdel, S. and Fouladi, A. (2017). Effects of water

deficit on relative water content, chlorophyll fFluorescence indices and seed yield in four pinto bean genotypes. Journal of Crop Production. 10(1): 169-190. (In Persian with English abstract).

Souza, R.P., Machado, E.C., Silva, J.A.B. and Silveira, J.A.G. (2004). Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. Environmental & Experimental Botany. 51: 45–56.

Tohidi-Moghadam, H.R., Shirani Radi, A.H., Nour-Mohammadi, G., Habibi, D., Modarres-sanavy, S.A.M., Mashhadi-Akbar–boojar, M. and Dolatabadian, A. (2009). Response of six oil seed rape genotypes to water stress and hydrogel application. Pesquisa Agropecuaria Tropical. 39: 243-250.

Wu, L., Liu, M. and Liang, R. (2008). Preparation and properties of a double-coated slow-release NPK compound fertilizer with superabsorbent and water-retention. Bioresource Technology. 99: 547-554.

Yordanov, I., Tsonko, T., Velikova, V., Georgieva, K., Ivanov, P., Tsenov, N. and Petrova, T. (2001). Change in CO_2 assimilation, transpiration and stomatal resistance to different wheat cultivars expressing drought under field conditions. Bulgarian Journal of Plant Physiology. 27: 20-33.

Zlatev, Z. (2009). Drought-induced changes in chlorophyll fluorescence of young wheat plants. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 23(4): 438-441.

Zou, G.H., Liu, H.Y., Mei, H.W., Liu, G.L., Yu, X.Q. and Luo, L.J. (2007). Screening for drought resistance of rice recombinant inbred populations in the field. Journal Integrative Plant Biology. 49: 1508-1516.