

اثر ترکیب بروماید آ-ام با سولفات آمونیوم، سیتوگیت و سالیسیلیک اسید بر فلورسانس کلروفیل *a*تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)سهیلا پورحیدرغفاری^{۱*}، حمید رحیمیان مشهدی^۲، حسن علیزاده^۲، سیروس حسن نژاد^۳۱. فارغ‌التحصیل دکتری علوم علف‌های هرز و استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،
۳. دانشیار علوم علف‌های هرز، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۸)

چکیده

به منظور ارزیابی اثرات کاربرد بروماید آ-ام به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید، سیتوگیت و سولفات آمونیوم بر فلورسانس کلروفیل *a* تاج خروس ریشه قرمز، آزمایش گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۶، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، اجرا شد. علف‌کش بروماید آ-ام، ۱۶ ساعت پس از کاربرد، سبب افزایش ۸۴ درصدی فلورسانس حداقل (F_0)، ۸۹ درصدی هدرفت انرژی به صورت گرما (F_0/F_m) و ۵۹ درصدی میزان تجمع مراکز واکنش بسته شده ($\Delta V/\Delta t_0$) و کاهش ۴۰ درصدی فلورسانس حداکثر (F_m)، ۷۱ درصدی حداکثر کارایی فتوشیمیایی اولیه فتوسیستم II (F_v/F_m)، ۹۴ درصدی عملکرد کوانتومی انتقال الکترون القایی از Q_A- به پلاستوکوئینون (Φ_{E_0})، ۹۷ درصدی انرژی لازم برای بسته شدن مراکز واکنش (Sm) و ۸۹ درصدی فاصله زمانی بین فلورسانس حداقل و حداکثر (Tfm) شد. سالیسیلیک اسید به عنوان تنظیم کننده رشد گیاهی، اثر منفی بر کارایی بروماید آ-ام نداشت. ۶۴ ساعت بعد از کاربرد علف‌کش، سولفات آمونیوم و سیتوگیت با اثر سینرژیست روی بروماید آ-ام، به ترتیب باعث کاهش ۵۲ و ۴۵ درصدی F_m ، ۶۲ و ۳۷ درصدی F_v/F_m ، ۲۵ و ۱۱ درصدی F_v/F_0 و افزایش ۶ و ۳/۵ درصدی F_0/F_m ، ۷۲ و ۲۵ درصدی جریان جذب شده در هر مرکز واکنش (ABS/RC) و ۸۳ و ۳۰ درصدی هدرفت انرژی در هر مرکز واکنش در زمان شروع (DI₀/RC) شدند. نتایج نشان داد که ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a* می‌تواند، روشی سریع و غیرتخریبی برای بررسی پاسخ سیستم فتوسنتزی گیاه به کاربرد علف‌کش به تنهایی یا در ترکیب با مواد افزودنی باشد.

واژه‌های کلیدی: سالیسیلیک اسید، علف‌کش، فلورسانس کلروفیل *a*، مواد افزودنی

Chlorophyll *a* fluorescence of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) in response to mixture of Bromicide AM with Ammonium Sulphate, Cytogaite and Salicylic acid

Soheila Porheidar Ghafarbi^{1*}, Hamid Rahimian Mashhadi¹, Hasan Alizadeh¹, Siros Hassannejad²1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, 2. Department of Plant Eco-Physiology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
(Received: July 1, 2018- Accepted: April 28, 2019)

ABSTRACT

To evaluate the effects of bromicide AM (bromoxynil + MCPA) alone or mixed by salicylic acid, cytogait, and ammonium sulphate on chlorophyll *a* fluorescence (ChlF) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), a greenhouse experiment was conducted in randomized complete block design with three replications in Agricultural Faculty of University of Tabriz in 2017. Bromicide AM, 16 hours after application, increased minimum fluorescence (F_0) 84%, thermal dissipation quantum yield (F_0/F_m) 89% and the rate of accumulation of closed reaction centers ($\Delta V/\Delta t_0$) 59% and decreased maximum fluorescence (F_m) 40%, maximum quantum yield of photochemistry (F_v/F_m) 71%, electron transport yield (Φ_{E_0}) 94%, normalized area (Sm) 97% and time needed to reach F_m (Tfm) 89%. Salicylic acid as a growth regulator had not negative effect on the efficacy of bromicide AM. 64 hours after herbicide application, synergistic effect on bromicide AM ammonium sulphate and cytogait reduced 52% and 45% F_m , 62% and 37% F_v/F_m , 25% and 11% F_v/F_0 , and enhanced 6% and 3.5% F_0/F_m , 72% and 25% specific fluxes expressed per reaction centers (ABS/RC), 83% and 30% ratio – flux of dissipated energy per reaction center in $t = 0$, respectively. Results showed that assessment of chlorophyll *a* fluorescence is a rapid and non-destructive technique for detecting photosynthetic apparatus response of plant to applied herbicide alone and or mixing with adjuvants.

Keywords: Adjuvant, chlorophyll *a* fluorescence, herbicide, salicylic acid

* Corresponding author E-mail: porheidarghafar@ut.ac.ir

مقدمه

ستوکسیدیم (Jordan et al., 1989)، گلایفوسیت و دیکلورپروپ (Turner & Loader, 1984) را افزایش داد. سالیسیلیک اسید (SA) یا ارتو- هیدروکسی بنزوئیک اسید، یک ترکیب فنولیک ساده است و به عنوان یک مولکول سیگنال که قادر به القاء و تحریک سیستم دفاعی می‌باشد شناخته شده است (Raskin, 1992). در بررسی اثرات علف‌کش پاراکوات روی گیاهچه‌های جو، نتایج نشان داد که تیمار با SA، ۲۴ ساعت قبل از کاربرد علف‌کش پاراکوات، از اثرات مخرب آن روی کلروفیل، هدایت روزنه‌ای و میزان فتوسنتز در مقایسه با عدم کاربرد آن می‌کاهد (Ananieva et al., 2002). اسپری کردن محلول SA روی برگ‌های خیار و توتون می‌تواند آن‌ها را از تنش اکسیداتیو القاء شده توسط پاراکوات محافظت کند (Stroble & Kuc, 1995). نتایج بررسی اثرات علف-کش ایزوپروتون روی گندم نشان داد که اسپری SA با غلظت ۰/۵ میلی مولار روی برگ‌های گندم، تجمع ایزوپروتون را در گیاهچه‌های گندم کاهش داد (Lu et al., 2015).

بررسی فلورسانس کلروفیل *a*، یک روش ساده و مناسب برای مطالعه مکانسیم فتوسنتز و پارامتری برای پی‌بردن به تنش در گیاهان می‌باشد. انرژی نوری جذب شده به وسیله مولکول‌های کلروفیل *a* می‌تواند سه مسیر مختلف را طی کند. این سه مسیر، فتوسنتز، خروج انرژی اضافی به صورت گرما و یا به صورت فلورسانس است (Macedo et al., 2008). فلورسانس کلروفیل، گسیل مجدد انرژی نور جذب شده به وسیله مولکول‌های کلروفیل به صورت نور قرمز یا قرمز دور از فتوسیستم II می‌باشد (Kalaji & Guo, 2008). در صورت وقوع تنش محیطی به دلیل مسدود شدن مسیر انتقال الکترون، فتوسنتز متوقف یا کاهش می‌یابد و

علف‌های هرز، از عوامل مهم کاهش عملکرد هستند و در صورتی که با آن‌ها مبارزه نشود، بسته به نوع علف‌هرز، شدت تراکم و مدت رقابت می‌توانند خسارتی ۱۳ تا ۸۵ درصدی به محصول زراعی وارد سازند (Freitas et al., 2009). امروزه مهم‌ترین شیوه مدیریت این عوامل ناخواسته مبارزه شیمیایی می‌باشد. در دهه‌های اخیر، کنترل شیمیایی به دلیل سهولت و کارایی، روشی بسیار گسترده و رایج می‌باشد. به موادی که به مخزن سمپاشی اضافه می‌شوند تا خواص فیزیکی و شیمیایی محلول پاششی را افزایش دهند، مواد افزودنی^۱ (مانند سیتوگیت، سولفات آمونیوم، روغن‌های گیاهی و ...) گفته می‌شود. مویان‌ها (عوامل فعال سطحی)، گروهی از مواد افزودنی هستند که از طریق تغییر در ویژگی‌های کشش سطحی (کاهش کشش سطحی محلول پاشش)، باعث بهبود امولسیون شوندگی، پخش شدگی، پراکندگی و خیس خوردگی و افزایش پوشش و سطح جذب محلول پاشش می‌شوند (Young & Hart, 1998). بررسی‌ها نشان داده است که سیتوگیت، باعث افزایش کارایی مخلوط دو علف‌کش پیرامین و بتانال-آ-ام در کنترل علف‌های هرز پهن برگ مزارع چغندر قند (Ghanbari et al., 2006) و افزایش کارایی توفوردی و گلایفوسیت در کنترل پیچک (Faraji et al., 2006) شده است. در مقایسه کارایی مویان سیتوگیت با روغن‌های گیاهی، سیتوگیت به دلیل کاهش کشش سطحی و همچنین ضریب چربی دوستی / آب دوستی پایین توانسته است نسبت به برخی روغن‌های گیاهی، در کاهش زیست توده علف‌های هرز موفق‌تر باشد (Kargar et al., 2014). اضافه شدن سولفات آمونیوم به محلول پاششی، کارایی علف‌کش

^۱- Adjuvant

هدر رفت گرمایی و فلورسانس افزایش می‌یابد. بنابراین، برای ارزیابی چنین تغییرات سیستم فتوسنتزی گیاه، می‌توان از شاخص‌های متفاوتی همچون بررسی فلورسانس کلروفیل *a* استفاده نمود (Cobb & Read, 2010; Pandan et al., 2006).

هدف از این آزمایش، بررسی پاسخ‌های فلورسانس کلروفیل *a* در علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز پس از تیمار با علف‌کش بروماید آ-ام (بروموکسینیل-ام-سی‌پی) و تأثیر مواد افزودنی سیتوگیت، سولفات آمونیوم و سالیسیلیک اسید بر روند تغییرات فلورسانس کلروفیل *a* بود.

در (Martel & Qaderi, 2016; Young et al., 2003). در مرحله شش برگی، تیمارهای آزمایشی شامل ۱- بروموکسینیل + ام‌سی‌پی آ (pH=۷)، ۲- بروموکسینیل + ام‌سی‌پی آ + سالیسیلیک اسید (۱ میلی مولار) (pH=۵/۵)، ۳- بروموکسینیل + ام‌سی‌پی آ + سیتوگیت (۲ در هزار) (pH=۵)، ۴- بروموکسینیل + ام‌سی‌پی آ + سولفات آمونیوم (۲ درصد) (pH=۵/۵) و ۵- شاهد (عدم کاربرد علف‌کش) اعمال شدند. مقدار علف‌کش نسبت به سطح هر گلدان محاسبه شد و با میزان مناسبی آب (بر اساس ۳۰۰ تا ۴۰۰ لیتر در هکتار) مخلوط شد. سمپاشی در غروب و در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد، با یک سمپاش پشتی مجهز به نازل شره-ای و با فشار دو تا ۲/۵ بار انجام شد. ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت بعد از اعمال تیمارها، فلورسانس کلروفیل *a* با استفاده از دستگاه Handy-PEA (Hansatech, Kings Lynn, UK) ارزیابی شد. از هر گلدان، کاملترین برگ از بالا انتخاب شد و به مدت ۲۰ دقیقه در شرایط تاریکی قرار داده شد. سپس نوری با شدت ۳۰۰۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، توسط سه دیود تابنده نور با شدت بالا، به برگ‌ها تابیده شد و پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شدند (جدول ۱).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS و مقایسه میانگین با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار^۱، در سطح پنج درصد انجام گرفت. رسم نمودار با اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

فلورسانس حداقل (F_0) و فلورسانس حداکثر (F_m) کلروفیل *a*

در تیمار شاهد (عدم کاربرد علف‌کش)، با گذشت زمان، تغییری در فلورسانس حداقل (F_0) و فلورسانس حداکثر (F_m) مشاهده نشد در حالی‌که ۱۶ ساعت

برای ارزیابی فلورسانس کلروفیل *a* در علف‌هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز (یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز پهن برگ یکساله (Zand et al., 2010) در پاسخ بکاربرد علف‌کش بروماید آ-ام (بروموکسینیل + ام-سی‌پی آ) در دز توصیه شده (۱/۵ لیتر در هکتار) به تنهایی و در ترکیب با سالیسیلیک اسید، سیتوگیت و سولفات آمونیوم، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در بهار سال ۱۳۹۶ اجرا شد. بذرهاى تاج‌خروس از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز جمع‌آوری شدند و به مدت سه ماه در طول زمستان، در فضای آزاد قرار گرفتند تا خواب آن‌ها برطرف شود (Hudson & Carlson, 1998). بذرها در داخل گلدان‌های پر شده با پرلیت بافت ریز کشت شدند و از محلول غذایی هوگلند برای تغذیه گیاهان در طول مراحل آزمایش استفاده شد. شرایط رشدی، شامل ۱۴ ساعت روشنایی (با نور طبیعی) و ۱۰ ساعت تاریکی، با دمای روزانه ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دمای شبانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود. بعد از سبز شدن علف‌های هرز، سه بوته در هر گلدان نگهداری و بقیه حذف شدند

مواد و روش‌ها

۱ - Least Significant Difference (LSD)

پس از کاربرد علف‌کش بروماید آ-ام، بسته به نوع ماده افزودنی، به شدت باعث افزایش فلورسانس حدافل (F_0) و کاهش فلورسانس حداکثر (F_m) شد (شکل ۱).

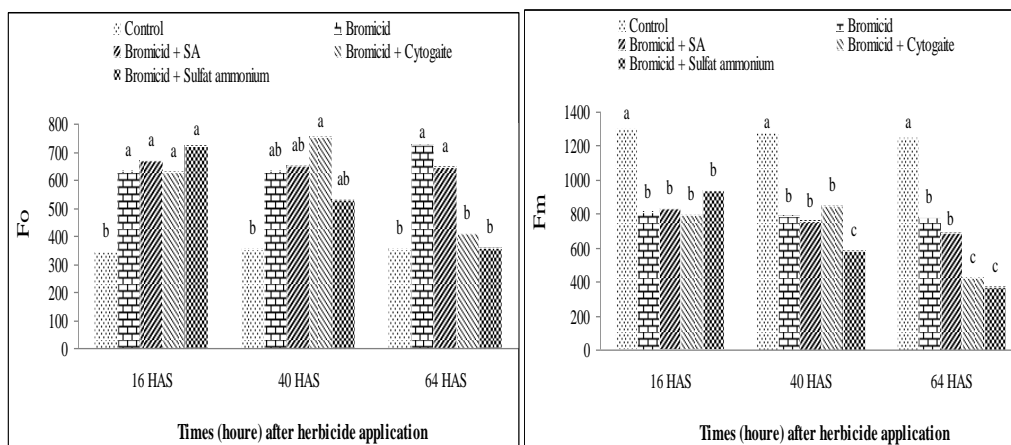
جدول ۱ - پارامترهای اندازه‌گیری و محاسبه شده فلورسانس کلروفیل a

Table 1. Measured and calculated chlorophyll fluorescence parameters

Fluorescence parameters	Description
F_0	Minimal fluorescence, when all PS II reaction centers are open (at $t = 0$)
F_m	Maximal fluorescence, when all PS II reaction centers are closed
F_v	Variable fluorescence
F_v/F_0	A value that is proportional to the activity of the water-splitting complex on the donor side of the PSII
Φ_{D0}	Thermal dissipation quantum yield
Φ_{P0}	Maximum primary yield of photochemistry of PSII
Φ_{E0}	Quantum yields of photoinduced electron transport in PSII reaction center from Q_A^- to plastoquinone
ABS/RC	Absorption flux (of antenna Chls) per reaction center
ET_0/RC	Electron transport flux (further than reduced Q_A) in active reaction center
DI_0/RC	Dissipated energy flux per reaction centers (at $t=0$)
Area	The area above the chlorophyll fluorescence curve between F_0 and F_m (reflecting the size of the plastoquinone pool)
S_m	Representing energy necessary for the closure of all reaction centers
$\Delta V/\Delta t_0$	The rate of accumulation of closed reaction centers
Tfm	Time needed to reach F_m

+ سالیسیلیک اسید همچنان ادامه داشت اما در تیمارهای بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم و بروماید آ-ام + سیتوگیت، کاهش چشمگیری داشت.

۱۶ ساعت پس از اعمال تیمار، بیشترین افزایش در فلورسانس حدافل (F_0) مربوط به تیمار بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم (۱۱۹ درصد در مقایسه با شاهد) بود. ۶۴ ساعت پس از کاربرد علف‌کش، این افزایش در تیمارهای بروماید آ-ام و بروماید آ-ام



شکل ۱- تأثیر تیمارهای علف‌کشی بر فلورسانس حدافل (F_0) و فلورسانس حداکثر (F_m) تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از تیمار. ستون‌ها با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی دار هستند (LSD = 5%)

Figure 1. Effect of herbicide treatments on minimum (F_0) and maximum Fluorescence (F_m) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16, 40 and 64 hours after treatment . Bars by different letters are significantly different ($P < 0.05$) according to the least significant difference (LSD) test.

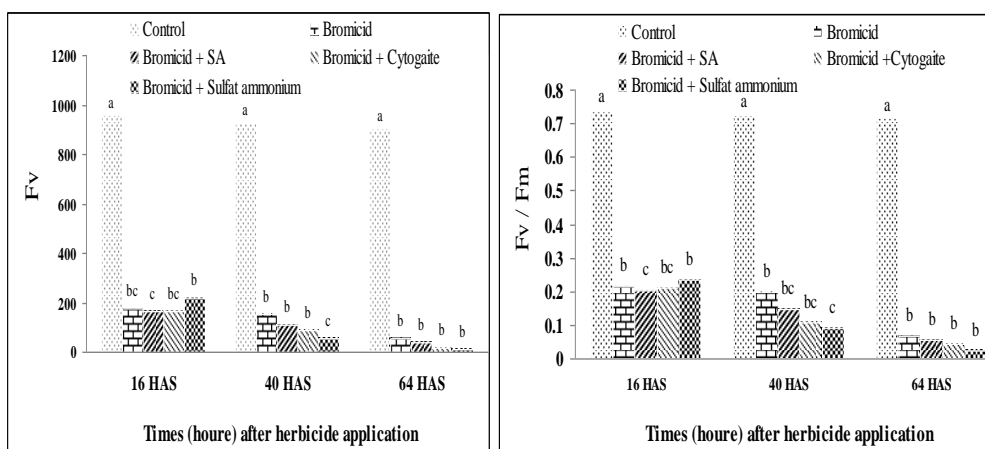
کاهش فعالیت فتوسیستم II کاهش می‌یابد (Mehta et

میزان فلورسانس حداکثر در شرایط تنش، به علت

فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm)

فلورسانس متغیر (Fv)، از تفاضل فلورسانس حداکثر و فلورسانس حداقل محاسبه می‌شود. بیشتر بودن فلورسانس متغیر، نشان دهنده عملکرد خوب مکانیسم فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش و کاهش سرعت واکنش‌های فتوشیمیایی است (Baker & Rosenqvist, 2004). با گذشت زمان، میزان Fv در تمام تیمارهای علف‌کشی بطور چشمگیری کاهش یافت. این کاهش در ۱۶ ساعت پس از اعمال تیمار، مربوط به تیمارهای بروماید آ-ام + سیتوگیت و بروماید آ-ام + سالیسیلیک اسید بود ولی ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از کاربرد علف‌کش، این کاهش در تیمار بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم از شدت بیشتری برخوردار بود (شکل ۲).

(al., 2010). میزان فلورسانس حداکثر (Fm) در تمامی تیمارهای علف‌کشی به شدت کاهش نشان داد و این کاهش در بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم، پس از ۶۴ ساعت از اعمال تیمار، در مقایسه با شاهد، تا ۷۲ درصد کاهش بیشتری برخوردار بود. در گیاهان تیمار شده با بروماید آ-ام + سالیسیلیک اسید در مقایسه با بروماید آ-ام به تنهایی، ۲۴ و ۴۰ ساعت پس از اعمال تیمار، F0 افزایش بیشتری نشان داد اما پس از ۶۴ ساعت، F0 و Fm در مقایسه با تیمار بروماید آ-ام، کاهش بیشتری داشت اما این تغییرات در مقایسه با دو تیمار بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم و بروماید آ-ام + سیتوگیت از شدت کمتری برخوردار بود. نتایج نشان داد که پس از گذشت ۶۴ ساعت، سالیسیلیک اسید در ترکیب با علف‌کش بروماید آ-ام، F0 و Fm را در مقایسه با بروماید آ-ام تنها، بیشتر تحت تأثیر قرار داد.



شکل ۲- تأثیر تیمارهای علف‌کشی بر فلورسانس متغیر (Fv) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus L.*)، ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از تیمار. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی دار هستند (LSD= 5%)

Figure 2. Effect of herbicide treatments on variable fluorescence (Fv) and maximum quantum yield of photochemistry (Fv/Fm) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus L.*), 16, 40 and 64 hours after treatment. Bars by different letters are significantly different (P < 0.05) according to the least significant difference (LSD) test.

را به راحتی می‌توان از مقادیر پائین Fv/Fm متوجه شد (Demmig & Björkman, 1987). برخی محققین، پارامتر حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم II (Fv/Fm) را گزینه‌ای بسیار مناسب برای ارزیابی

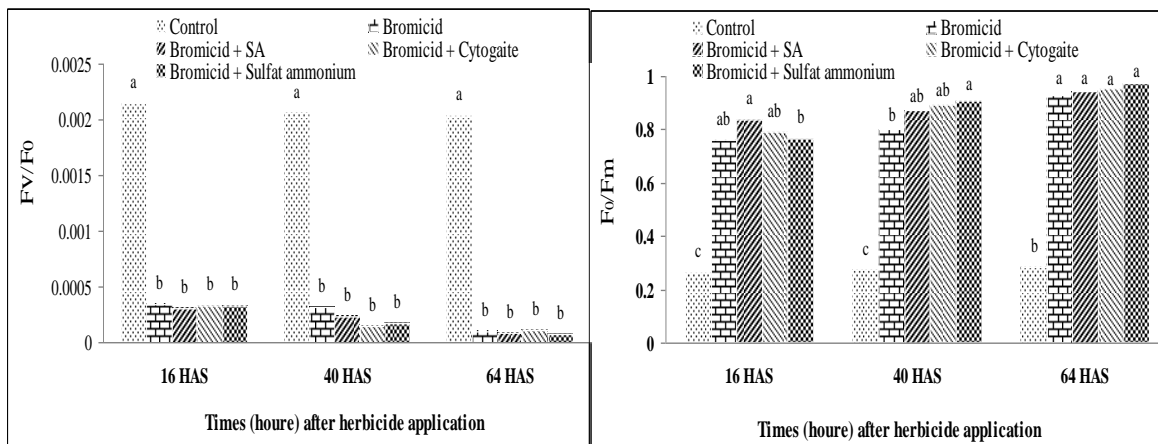
نسبت فلورسانس متغیر به فلورسانس حداکثر (Fv/Fm)، حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می‌دهد (Kocheva et al., 2004). بازدارندگی نوری

است که ترکیب CO₂ و هدایت روزنه‌ای در برگ‌های تنباکوی تیمار شده با SA در مقایسه با تیمار شده با آب کاهش داشت (Katalin et al., 2012).

تغییر در هدررفت گرمایی گیرنده‌های فتوسیستم II (F₀/F_m) و فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب به عنوان دهنده الکترون به فتوسیستم II (F_v/F₀)

همه تیمارهای علف‌کشی، هدررفت گرمایی (F₀/F_m) را در مقایسه با شاهد به شدت افزایش دادند (شکل ۳). ۱۶ ساعت پس از اعمال تیمارها، تیمار بروماید آ-ام + سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد، F₀/F_m را ۲۱۷ درصد افزایش داد که این میزان در میان سایر تیمارها، بیشترین بود ولی ۴۰ و ۶۴ ساعت بعد، بیشترین مقدار F₀/F_m برای تیمار بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم با ۲۲۹ و ۲۴۵ درصد افزایش در مقایسه با شاهد ثبت شد. فعالیت کمپلکس تجزیه کننده (F_v/F₀) آب نیز با کاربرد تیمارهای علف‌کشی در مقایسه با شاهد، با گذشت زمان به طور چشمگیری کاهش یافت و این کاهش با ترکیب علف‌کش با مواد افزودنی سیتوگیت و سولفات آمونیوم، افزایش نشان داد (شکل ۳).

اثرات علف‌کش، کمی بعد از سمپاشی گزارش نموده-اند (Hamami et al., 2014). کاهش حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم دو نتیجه خسارت به مراکز واکنشی فتوسیستم II است (Baker & Rosenqvist, 2004). حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II، تحت تأثیر کاربرد تیمارهای علف‌کشی و با گذشت زمان، به شدت کاهش یافت (شکل ۲). این کاهش، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از اعمال تیمار در بروماید آ-ام + سولفات آمونیوم، از شدت بیشتری (به ترتیب ۸۷ و ۹۵ درصد کاهش در مقایسه با شاهد) برخوردار بود. نتایج نشان داد که سالیسیلیک اسید در ترکیب با علف‌کش نتها نتوانست از اثرات سوء علف‌کش بروماید آ-ام بر فلورسانس متغیر (F_v) و حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II (F_v/F_m) بکاهد بلکه در ۱۶ ساعت پس از کاربرد، F_v و F_v/F_m را در مقایسه با سایر تیمارهای علف‌کشی به میزان بیشتری کاهش داد. کاهش F_v/F_m در گیاهان تیمار شده با سالیسیلیک اسید را می‌توان به تأثیری که سالیسیلیک اسید بر روی روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها) و کاهش انتقال الکترون دارد نسبت داد. بررسی‌ها نشان داده



شکل ۳- تأثیر تیمارهای علف‌کشی بر تغییر در پراکندگی گرما در گیرنده‌های فتوسیستم II (F₀/F_m) و فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب در فتوسیستم II (F_v/F₀) تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس تیمار. ستون-های با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی دار هستند (LSD= 5%)

Figure 3. Effect of herbicide treatments on efficiency of the water-splitting complex on PSII (F_v/F₀) and thermal quantum yield (F₀/F_m) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16, 40 and 64 hours after treatment. Bars surmounted by different letters are significantly different (P < 0.05) according to the least significant difference (LSD) test.

واکنش فتوسیستم II (ABS/RC)

جریان انرژی جذب شده توسط گیرنده‌های مراکز

بسته شده ($\Delta V/\Delta t_0$) و فاصله زمانی بین فلورسانس حداقل و حداکثر (T_{fim})، ۱۶ ساعت پس از کاربرد تیمارهای علف‌کشی

برومایسید آ-ام، باعث افت شدید انتقال الکترون از هر مرکز واکنش از طریق کوئینون A (Q_A) (ET₀/RC) و در نهایت، کاهش بازده کوانتومی انتقال الکترون از Q_A⁻ به پلاستوکوئینون (PQ) (φ_{E0}) شد. استفاده از مواد افزودنی نیز بر شدت این تغییر افزود (جدول ۲ و ۳). Area، حجم خزانه کینون‌های گیرنده الکترون (Q_B، Q_A) را نشان می‌دهد (Goncalves, et al., 2007) و وقتی انتقال الکترون از مرکز واکنش به استخر کوئینون بلوکه شود، این سطح به طور چشمگیر کاهش می‌یابد (Kalaji & Guo, 2008). ۱۶ ساعت پس از کاربرد تیمارهای علف‌کشی، Area در مقایسه با شاهد، کاهش یافت. Sm، سطح نرمال شده بالای منحنی است که نشان دهنده انرژی لازم برای بسته شدن تمام مراکز واکنش است و ۱۶ ساعت پس از کاربرد تیمارهای علف‌کشی، کاهش چشمگیری داشت زیرا با بلوکه شدن مسیر انتقال الکترون و عدم انتقال الکترون از Q_A احیاء شده به Q_B، این پارامتر به شدت کاهش یافت. با بلوکه شدن گیرنده‌های الکترون در زنجیره انتقال الکترون و عدم انتقال الکترون تهیج شده، میزان تجمع مراکز واکنش بسته شده (dVG/dt_0) افزایش و زمان لازم برای رسیدن از F₀ به F_m به شدت کاهش یافت. کاهش Area، Sm، φ_{E0} و ET₀/RC و افزایش $\Delta V/\Delta t_0$ در تیمار برومایسید آ-ام در ترکیب با سولفات آمونیوم چشمگیرتر بود که می‌تواند نشان دهنده تشدید تنش علف‌کشی در پی ترکیب علف‌کش با سولفات آمونیوم باشد.

با کاربرد علف‌کش و با گذشت زمان، جریان انرژی جذب شده توسط گیرنده‌های مراکز واکنش فتوسیستم II (ABS/RC) به شدت افزایش یافت. این افزایش نشان دهنده این است که رنگدانه‌های کلروفیل *a* در گیرنده نمی‌توانند انرژی خود را به مراکز واکنش (RC¹) انتقال دهند؛ در نتیجه فلورسانس گسیل می‌شود. این پدیده را می‌توان ناشی از کاهش φ_{P0} و افزایش DI₀/RC (هدررفت انرژی در هر مرکز واکنش PSII) دانست. ۶۴ ساعت پس از اعمال تیمار، بیشترین میزان ABS/RC برای تیمار برومایسید آ-ام + سولفات آمونیوم و برومایسید آ-ام + سیتوگیت و کمترین میزان آن برای برومایسید آ-ام + سالیسیلیک اسید در مقایسه با شاهد ثبت شد.

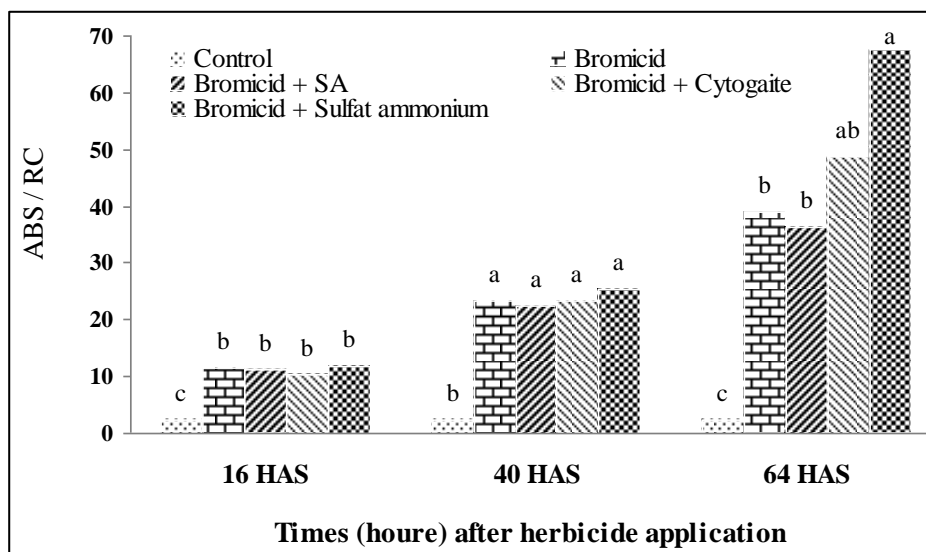
هدررفت انرژی در هر مرکز واکنش (DI₀/RC)

DI₀/RC بیانگر میزان هدر رفت کل انرژی تهیج شده در کلیه مراکز واکنش نسبت به مراکز واکنش فعال است. این هدر رفت انرژی می‌تواند به صورت گرما، فلورسانس و انتقال به سایر سیستم‌ها باشد (Strasser et al., 2004). مقادیر بالای DI₀/RC با بازدارندگی نوری^۲ در ارتباط است (Falqueto et al., 2010). هدررفت انرژی تلف شده در تمامی تیمارهای علف‌کشی در مقایسه با شاهد، با گذشت زمان به شدت افزایش یافت و این افزایش در اثر ترکیب علف‌کش برومایسید آ-ام با سولفات آمونیوم و سپس سیتوگیت بیشتر بود که می‌تواند نشان دهنده تشدید تنش در اثر ترکیب علف‌کش با این مواد افزودنی باشد.

جریان انتقال الکترون (به بعد از Q_A⁻) در هر مرکز واکنش (ET₀/RC)، عملکرد کوانتومی انتقال الکترون القائی از Q_A⁻ به پلاستوکوئینون (φ_{E0})، مساحت منحنی بین فلورسانس حداقل و حداکثر (Area)، سطح نرمال شده بالای منحنی (SM)، میزان تجمع مراکز واکنش

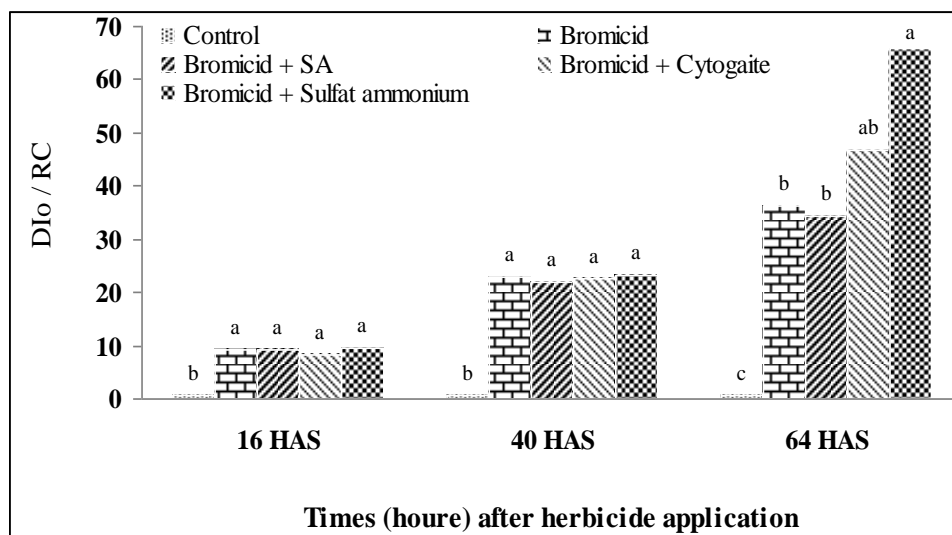
^۱ - Reaction center

^۲ - Photoinhibition



شکل ۴- تأثیر تیمارهای علف‌کشی بر جذب جریان (کلروفیل‌های گیرنده) در هر مرکز واکنش (ABS/RC) تاج خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از تیمار. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند (LSD=5%)

Figure 4. Effect of herbicide treatments on light absorption flux (for PSII antenna chlorophylls) per reaction center (ABS/RC) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16, 40 and 64 hours after treatment. Bars by different letters are significantly different ($P < 0.05$) according to the least significant difference (LSD) test.



شکل ۵- تأثیر تیمارهای مختلف علف‌کشی بر هدررفت انرژی در هر مرکز واکنش (DI_0/RC) تاج خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶، ۴۰ و ۶۴ ساعت پس از تیمار. ستون‌های با حروف متفاوت دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند (LSD=5%)

Figure 5. Effect of herbicide treatments on dissipation energy flux per PSII reaction center (DI_0/RC) of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16, 40 and 64 hours after treatment. Bars by different letters are significantly different ($P < 0.05$) according to the least significant difference (LSD) test.

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶ ساعت پس از کاربرد علف کش.

Table 2. Mean comparison for some chlorophyll *a* fluorescence parameters of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16 hours after treatment.

Treatment	chlorophyll <i>a</i> fluorescence parameters					
	Tfm	$\Delta V/\Delta t_0$	Sm	Area	ϕ_{E_0}	ET ₀ /RC
Control	300 ^a	1.376 ^d	22.18 ^a	21289 ^a	0.137 ^a	0.3084 ^a
Bromoxynil+MCPA	32.8 ^b	2.029 ^b	0.44 ^b	71.3 ^b	0.0078 ^b	0.079 ^b
(Bromoxynil+MCPA)+ Salicylic acid	38.5 ^b	1.681 ^c	0.627 ^b	82.5 ^b	0.0112 ^b	0.1297 ^b
(Bromoxynil+MCPA)+ Cytogaite	31.3 ^b	1.996 ^b	0.449 ^b	75 ^b	0.0075 ^b	0.0823 ^b
(Bromoxynil+MCPA)+ Sulfat ammonium	21 ^b	2.436 ^a	0.296 ^b	65 ^b	0.0042 ^b	0.0529 ^b

Tfm: فاصله زمانی بین فلورسانس حداقل و حداکثر؛ $\Delta V/\Delta t$: میزان تجمع مراکز واکنش بسته شده؛ SM: سطح نرمال شده بالای منحنی؛ Area: مساحت منحنی بین فلورسانس حداقل و حداکثر؛ ϕ_{E_0} : عملکرد کوانتومی انتقال الکترون القائی نوری از Q_A^- در هر مرکز واکنش فتوسیستم II به پلاستوکوئینون؛ ET₀/RC: جریان انتقال الکترون (به بعد از Q_A^-) در هر مرکز واکنش. میانگین‌ها در هر ستون، با حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (LSD=/ Δ).

Tfm: time needed to reach Fm; ($\Delta V/\Delta t_0$: rate of accumulation of closed reaction centers; Sm: normalized area; Area: area above the OJIP curve between F0 and Fm; ϕ_{E_0} : quantum yields of photoinduced electron transport in PSII reaction center from Q_A^- to plastoquinone; ET₀/RC; maximum electron transport flux (further than Q_A^-) per PSII reaction center. Means within each column followed by same letter are not significantly different (LSD= %5)

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* تاج خروس ریشه قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.)، ۱۶ ساعت پس از تیمار.

Table 3- Analyses of variance for some chlorophyll *a* fluorescence parameters of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.), 16 hours after treatment.

Source of Variation	Df	Tfm	$\Delta V/\Delta t_0$	Sm	Area	ϕ_{E_0}	ET ₀ /RC
Block	2	169.1 ^{ns}	0.021 ^{ns}	1.73 ^{ns}	3775090 ^{ns}	0.00022 ^{ns}	0.00007 ^{ns}
treatment	4	43563.3**	0.477**	279.1**	270371925**	0.01002**	0.045**
Error	8	85.7	0.023	2.1	3716866	0.00029	0.0027

Tfm: فاصله زمانی بین فلورسانس حداقل و حداکثر؛ $\Delta V/\Delta t$: میزان تجمع مراکز واکنش بسته شده؛ SM: سطح نرمال شده بالای منحنی؛ Area: مساحت منحنی بین فلورسانس حداقل و حداکثر؛ ϕ_{E_0} : عملکرد کوانتومی انتقال الکترون القائی نوری از Q_A^- در هر مرکز واکنش فتوسیستم II به پلاستوکوئینون؛ ET₀/RC: جریان انتقال الکترون (به بعد از Q_A^-) در هر مرکز واکنش. میانگین‌ها در هر ستون، با حداقل یک حرف مشترک اختلاف آماری معنی‌داری ندارند (LSD=/ Δ). *، ** و ns به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

Tfm: time needed to reach Fm; ($\Delta V/\Delta t_0$: rate of accumulation of closed reaction centers; Sm: normalized area; Area: area above the OJIP curve between F0 and Fm; ϕ_{E_0} : quantum yields of photoinduced electron transport in PSII reaction center from Q_A^- to plastoquinone; ET₀/RC; maximum electron transport flux (further than Q_A^-) per PSII reaction center. * Significant at $p < 0.05$, ** Significant at $p < 0.01$ and ns not Significant

جذب نور، واکنش‌های چرخه‌ی کالوین و ... بر سیستم فتوسنتزی در گیاه تأثیر گذارند. فتوستت و پارامترهای مربوط به فتوستت، شاخص‌های مناسبی برای بررسی صدمات ایجاد شده توسط علف‌کش‌ها می‌باشند (Dayan & Zaccaro, 2012). حتی اگر سیستم فتوسنتزی، محل عمل اصلی علف‌کش نباشند، این اثرات ممکن است بازخوردی از اثرات بازدارندگی علف‌کش باشند. از این رو، با بررسی تغییرات بوجود آمده در فلورسانس کلروفیل *a* می‌توان به مطالعه اثرات علف‌کش‌هایی با مکانیسم عمل

فلورسانس کلروفیل *a*، یک شاخص فیزیولوژیکی معتبر برای مشخص نمودن تغییرات القا شده در دستگاه فتوسنتزی است (Mehta et al., 2010) که بدون تخریب بافت گیاهی، عملیات ارزیابی آن در کمترین زمان صورت می‌گیرد. بررسی‌ها نشان داده است که فلورسانس کلروفیل *a* می‌تواند تحت تأثیر عوامل متعددی که مستقیماً در فتوستت درگیر نیستند تغییر یابد (Crudace, 2000). علف‌کش‌ها ممکن است به طور مستقیم و یا غیر مستقیم، از طریق تأثیر بر هدایت روزنه‌ای، رنگدانه‌های فتوسنتزی، فرایندهای

بزرگی از علف‌کش‌ها با خاصیت اسیدی، این امکان را می‌دهد تا به راحتی به غشای پلازما نفوذ کنند (Young *et al.*, 2003). سولفات آمونیوم، کنترل علف‌های هرز مختلف با علف‌کش‌های اسیدی ضعیف مانند گلایفوسینت (Maschhoff *et al.* 2000; Pline *et al.* 2000)، ستوکسیدیم (Smith & Vanden Born *et al.* 2000)، پیکلورام (Moxness & Lym., 1989)، ایمازاتاپیر (Gronwald *et al.*, 1993) و گلایفوسیت (Salisbury *et al.* 1991) را افزایش داد. در مقایسه کارایی مویان سیتوگیت با روغن‌های گیاهی، سیتوگیت به کمک کاهش کشش سطحی و همچنین ضریب چربی دوستی/آب دوستی پایین توانسته است نسبت به برخی روغن‌های گیاهی، در کاهش زیست توده علف‌های هرز موفق‌تر باشد (Kargar *et al.*, 2014). سیتوگیت باعث افزایش کارایی توفوردی و گلایفوسیت در کنترل پیچک (Faraji *et al.*, 2006) شده است. احتمالاً سولفات آمونیوم در ترکیب با علف‌کش، با افزایش جذب آن، بر ممانعت از انتقال الکترون بین کوئینون‌های اولیه و ثانویه (Q_B و Q_A) فتوسیستم II افزوده است. این بازدارندگی، در پی اتصال مولکول علف‌کش بروموکسینیل، یکی از دو جزء علف‌کشی برومایسید-آ-ام به Q_B و پذیرش الکترون‌ها از Q_A در کلروپلاست‌ها می‌باشد (Govindjee *et al.* 1997; Hess 2000; Ikeda *et al.* 2003).

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از ارزیابی پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* نشان داد که ترکیب سولفات آمونیوم و سیتوگیت با علف‌کش برومایسید-آ-ام، پارامترهای فلورسانس را در مقایسه با تیمار برومایسید-آ-ام بیشتر تغیر دادند. با وجود گزارشات فراوان در زمینه اثرات مثبت کاربرد بیرونی سالیسیلیک اسید در کاهش تنش-

متفاوت پرداخت (Barbagallo *et al.*, 2003). ایمازاماکس، علف‌کشی با مکانیسم بازدارندگی فعالیت استوهیدروکسی اسید سنتتاز (AHAS) است و سیستم فتوسنتزی، محل هدف اصلی این علف‌کش نمی‌باشد اما کاربرد آن در آفتابگردان، پارامترهای فلورسانس کلروفیل *a* را تحت تأثیر قرار داد (Balabanova *et al.*, 2016). بررسی‌ها نشان داده است که علف‌کش-های آسولام، بیفناکس، توفوردی، گلایفوست، دیکلوفوپ-متیل، ایمازاپیر، دایکامبا + توفوردی و ستوکسیدیم، با وجود اینکه تأثیر مستقیمی بر فتوسنتز ندارند ولی روی فلورسانس کلروفیل *a* اثرگذار هستند (Barbagallo *et al.*, 2003; Avarseji *et al.*, 2012; Hammami *et al.*, 2014). تغییر پارامترهای فلورسانس در گیاهچه‌های شاه‌گوش موشی^۱ تحت تأثیر علف‌کش آسولام، بیفنوکس، گلایفوسیت، یو ۴۶ دی، دیکلوفوپ متیل و ایمازاتاپیر گزارش شده است (Barbagallo *et al.*, 2003). در ارزیابی اثرات علف-کش ستوکسیدیم (بازدارنده ACCase) بر روی یولاف، کاهش نسبت Fv/Fm مشاهده شد (Hammami *et al.*, 2014). در این آزمایش مشاهده شد که کاربرد تیمارهای علف‌کش‌های برومایسید-آ-ام در مقایسه با شاهد باعث افزایش F₀، DI₀/RC، ΔV/Δt₀ و ABS/RC و کاهش شدید F_m، Fv/Fm و این تغییرات ۶۴ ساعت پس از کاربرد تیمارها در تیمار برومایسید-آ-ام + سولفات آمونیوم بیشتر بود. افزایش جذب علف‌کش‌ها به وسیله سولفات آمونیوم، با بهبود نفوذ علف‌کش از طریق غشای پلازما ارتباط دارد. افزایش نفوذ علف‌کش ممکن است نتیجه اثرات سولفات آمونیوم روی نفوذپذیری غشاء باشد (Poovaiah, & Leopold, 1974). اسیدی شدن محلول پاششی با افزودن سولفات آمونیوم، به بخش

^۱- *Arabidopsis thaliana*

متغیر (Fv)، حداکثر کارایی فتوشیمیایی اولیه فتوسیستم II (Fv/Fm) و فعالیت کمپلکس تجزیه کننده آب در فتوسیستم II (Fv/F₀) را بیشتر تحت تأثیر قرار داد. سالیسیلیک اسید در ترکیب با علف-کش، pH محلول پاشش را از هفت به ۵/۵ کاهش داد و این کاهش، احتمالاً میزان جذب علفکش را افزایش و تنش علفکشی را تشدید نموده است. براساس نتایج به دست آمده، فلورسانس کلروفیل *a*، روشی سریع برای مطالعه کارایی علفکشها به تنهایی و در ترکیب با مواد افزودنی است و مدت زمان لازم برای مطالعه پاسخ گیاه به علفکشها را کاهش می دهد.

های مختلف در گیاهان زراعی (Ananieva *et al.*, 2002; Stroble & Kuc, 1995; Lu *et al.*, 2015; Shakirova *et al.*, 2016; Deep, 2013) از طریق پاکسازی مستقیم رادیکالهای هیدروکسیل (Halliwell *et al.*, 1995)، تغییر سیستم آنتی اکسیدانی به عنوان یک مولکول سیگنال (Rao *et al.*, 1997)، القاء تجمع فنولها (Radwan, 2012) و... سالیسیلیک اسید در ترکیب با علفکش بروموکسینیل + ام سی پی آ نه تنها نتوانست از اثرات مخرب این علفکش روی پارامترهای مورد بررسی فلورسانس کلروفیل *a* در علفهرز تاج خروس بکاهد، بلکه در مقایسه با تیمار بروماید آ-ام، برخی پارامترهای فلورسانس مانند فلورسانس حداکثر (Fm)، فلورسانس

منابع:

- Ananieva, E.A., Alexieva, V.S. and Popova, L.P. 2002. Treatment with salicylic acid decreases the effects of paraquat on photosynthesis. *Plant Physiol.* 159: 685-693.
- Avarseji, Z., Rashedmohassel, M.H., Nezami, A., Abbaspoor, M. and Nassirimahallati, M. 2012. Dicamba + 2, 4-D affects the shape of the Kautsky curves in wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Plant Knowl.* 1: 41-45
- Barbagallo, R.P., Oxborough, K., Pallett, K.E. and Baker, N.R. 2003. Rapid, non-invasive screening for perturbations of metabolism and plant growth using chlorophyll fluorescence imaging. *Plant Physiol.* 132: 485-493.
- Baker, N.R. and Rosenqvist, E. 2004. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J. Exp. Bot.* 55: 1607-1621.
- Balabanova, D.A., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J. and Vassilev, A. 2014. Photosynthetic Performance of the imidazolinone resistant sunflower exposed to single and combined treatment by the herbicide imazamox and an amino acid extract. *Front. Plant Sci.* 7: 1-10.
- Crudace, A.J. 2000. The investigation of the in vivo behavior of a maize herbicide- Isoxaflutole. PhD thesis. University of Essex. Clochester, United Kingdom.
- Dayan, F.E. and Zaccaro, M.L.M. 2012. Chlorophyll fluorescence as a marker for herbicide mechanisms of action. *Pest. Biochem. Physiol.* 102:189-197.
- Deep, H.E. 2013. Salicylic acid and cytokinin protects maize plant against glyphosate action. *Egypt. J. Agron.* 35: 115-133.
- Demmig, B. and Björkman, O. 1987. Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photon yield of O₂ evolution in leaves of higher plants. *Planta Daninha.* 171: 171-184.
- Falqueto, A.R., Silva, F.S.P., Cassol, D., Magalhaes, J., Oliveira, A.C. and Bacarin, M.A. 2010. Chlorophyll fluorescence in rice: Probing of senescence driven changes of PSII activity on rice varieties differing in grain yield capacity. *Braz. J. Plant Physiol.* 22 (1): 35-41.
- Faraji, M.S., Beheshtian, M., Abbasi, R., Nosrati, I. and Alizadeh, H. 2006. Chemical control of field bindweed (*Convolvulus arvensis*) in fallow year; a study on reduced doses and adjuvants effects. Proceedings of the 1st Iranian Weed Science Congress. Tehran 25-26 January 2006. 421-417.
- Freitas, S.P., Moreira, J.G., Freitas, I.L.J., Freitas, J.S.P., Amaral, J.A.T., and Silva, V.Q.R. 2009. Fitotoxicidade de herbicidas a diferentes cultivares de milho-pipoca. *Planta Daninha.* 27: 1095-1103.
- Ghanbari, D., Hosseinpoor, M., Abdollahian, M. and Shimi, P. 2006. Investigation on mixture of herbicides and oil adjuvant for increased efficacy in sugar beet (*Beta vulgaris*). Proceedings of the 1st Iranian Weed Science Congress. Tehran 25-26 January 2006. 409-412.
- Goncalves, J.F.C., Santos, U.M., Nina, A. and Chevreuril, L.R. 2007. Energetic flux and performance

- index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayna) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedling grown under two irradiance environments. *Braz. J. Plant Physiol.* 19: 171-184.
- Govindjee, A, Xu, C., Schansker, G. and Rensen, J.V. 1997 Chloroacetates as inhibitors of Photosystem II: effects on electron acceptor side. *Photochem. Photobiol.* 37: 107-117.
- Gronwald, J.W., Jourdan, S.W.D., Wyse, L., Somers, D.A. and Magnusson, M.U. 1993. Effect of ammonium sulfate on absorption of imazethapyr by quackgrass (*Elytrigia repens*) and maize (*Zea mays*) cell suspension cultures. *Weed Sci.* 41: 325-334
- Hammami, H., Rashed Mohassel, M.H., Parsa, M., Bannayan-Aval, M. and Zand, E. 2014. Behavior of sethoxydim alone or in combination with turnip oils on chlorophyll fluorescence parameter. *Not. Sci. Biol.* 6(1): 112-118.
- Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J. and Auroma, O.I. 1995. The characterization of antioxidants. *Food chem. Toxicol.* 33: 601-617.
- Hess, F.D. 2000. Light-dependent herbicides: An overview. *Weed Sci.* 48: 160-170.
- Ikeda, Y., Shinpei, O., Kazuya, K., Akira, T., Hiroyuki, W., Hitoshi, K., Van-Rensen, J.J.S., Böger, P. and Wakabayashi, K. 2003. Binding site of novel 2-benzylamino-4-methyl-6-trifluoromethyl-1, 3, 5-triazine herbicides in the D1 protein of Photosystem II. *Photosynth. Res.* 77: 35-43.
- Jordan, D.L., York, A.C. and Corbin, F.T. 1989. Effect of ammonium sulfate and bentazon on sethoxydim absorption. *Weed Technol.* 3: 674-677.
- Hudson, S. and Carlson, M. 1998. Propagation of interior British Columbia native plants from seed, British Columbia Press. 37 p
- Kalaji, H.M. and Guo, P. 2008. Chlorophyll fluorescence: A useful tool in barley plant breeding programs. *Photochemistry Research Progress.* Chapter 12. Nova Science Publishers. 448-471.
- Kalaji, H.M., Oukarroumb, A., Alexandrov, V., Kouzmanova, M., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I.A., Cetner, M.D., Allakhverdiev, S.I. and Goltsev, S. 2014. Identification of nutrient deficiency in maize and tomato plants by in vivo chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant Physiol. Biochem.* 81: 16-25.
- Kargar, M., Rashed Mohassel, M.H., Nezami, A. and Izadi Darbandim, E. 2014. Optimizing the performance of clodinafop-propagil by Citogate surfactant and castor oil on control of little seed canary grass (*Phalaris minor* Retz). *J. Plant Protec.* 28: 2: 155-163.
- Katalin, J., Hideg, E., Szalai, G., Kovacs, L. and Janda, T. 2012. Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *Plant Physiol.* 169: 971-978
- Kocheva, K., Lambrev, P., Georgiev, G., Goltsev, V. and Karabaliev, M. 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry.* 63: 121-124.
- Lu, Ch.Y., Zhang, Sh. and Yang, H. 2015. Acceleration of the herbicide isoproturon degradation in wheat by glycosyl transferases and salicylic acid. *Hazard. Mater.* 283: 806-814.
- Macedo, R.S., Lombardi, A.T., Omachi, C.Y. and Rorig, L.R. 2008. Effects of the herbicide bentazon on growth and photosystem II maximum quantum yield of the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Toxicol. In Vitro.* 22: 716-722.
- Martel, A.B. and Qaderi, M.M. 2016. Does salicylic acid mitigate the adverse effects of temperature and Ultraviolet-B radiation on pea (*Pisum sativum*) plants? *Environ. Exp. Bot.* 122: 39-48.
- Maschhoff, J.R., Hart, S.E. and Baldwin, J.L. 2000. Effect of ammonium sulfate on efficacy, absorption and translocation of glufosinate. *Weed Sci.* 48: 2-6.
- Mehta, P., Jajoo, A., Mathur, S. and Bharti, S. 2010. Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. *Plant Physiol. Biochem.* 48: 16-20.
- Moxness, K.D. and Lym, R.G. 1989. Environment and spray additive effects on picloram absorption and translocation in leafy spurge (*Euphorbia esula*). *Weed Sci.* 37: 181-186.
- Pandan, D., Rao, D.N., Sharma, S.G., Strasser, R.J. and Sarkar, R.K. 2006. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: Probing of submergence driven changes of photosystem II by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transient. *Photosynthetica.* 44: 69-75.
- Pline, W.A., Wu, J. and Hatzios, K.K. 1999. Absorption, translocation and metabolism of glufosinate in five weed species as influenced by ammonium sulfate and pelargonic acid. *Weed Sci.* 47: 636-643.
- Poovaiah, B.W. and Leopold, A.C. 1974. Hormone-solute interactions in the lettuce hypocotyl hook. *Plant Physiol.* 54: 289-293.
- Radwan, D.E.M. and Soltan, D.M. 2012. The negative effects of clethodim in photosynthesis and gas-exchange status of maize plants are ameliorated by salicylic acid pretreatment. *Photosynthetica.* 50 (2): 171-179.
- Rao, M.V., Paliyath, G., Ormond, P., Murr, D.P. and Watkins, C.B. 1997. Influence of salicylic acid on

- H₂O₂ production, oxidative stress and H₂O₂-metabolizing enzymes. *Plant Physiol.* 115: 137–49.
- Raskin, I. 1992. Role of salicylic acid in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43: 439-463.
- Salisbury, C.D., Chandler, J.M. and Merkle, M.G. 1991. Ammonium sulfate enhancement of glyphosate and SC-0224 control of johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Technol.* 5: 18–21.
- Shakirova, F.M., Allagulova, Ch.R., Maslennikova, D.R., Klyuchnikova, E.O. and Avalbaev, A. M. 2016. Salicylic acid-induced protection against cadmium toxicity in wheat plants. *Environ. Exp. Bot.* 122: 19-28.
- Smith, A.M. and Vanden Born, W.H. 1992. Ammonium sulfate increases efficacy of sethoxydim through increased foliar absorption and translocation. *Weed Sci.* 40: 351–358.
- Strasser R.J., Tsimilli-Michael, M. and Srivastava, A. 2004. Analysis of the chlorophyll *a* fluorescence transient. In: Papageorgiou, Govindjee (eds) *Chlorophyll a fluorescence: A signature of photosynthesis, advances in photosynthesis and respiration*. Springer, Dordrecht, pp. 321–36.
- Strobel, N.E, and Kuc, A. 1995. Chemical and biological inducers of systemic acquired resistance to pathogens protect cucumber and tobacco from damage caused by paraquat and cupric chloride. *Phytopathology.* 85: 1306-1311.
- Turner, D.J., and Loader, M.P.L. 1984. Effect of ammonium sulphate and related salts on the phytotoxicity of dichlorprop and other herbicides used for broadleaf weed control in cereals. *Weed Res.* 24: 64-77.
- Young, B.G., Knepp, A.W., Wax, L.M and Hart, S.E. 2003. Glyphosate translocation in common lambsquarters (*Chenopodium album*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in response to ammonium sulfate. *Weed Sci.* 51: 151–156.
- Young, B.G. and Hart, S.E. 1998. Optimizing foliar activity of isoxaflutole on giant foxtail (*Setaria faberi*) with various adjuvants. *Weed Sci.* 46: 397-402.
- Zand, E., Baghestani, M.A., Nezamabadi, N. and Shimi, P. 2010. A guide for herbicide in Iran. Publishers Jahade Daneshgahi Mashhad. 176 pp. (In Persian).