



Original Article

Evaluation of Maize (*Zea mays* L.) and Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) Tolerance to Tank Mixture of Foramsulfuron+ Iodosulfuron with Biostimulants and Potassium Chloride

Saba Hajheidari¹, Ali Mokhtassi-Bidgoli², Saeed Reza Yaghoobi^{3*}

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: s.hajheidari@modares.ac.ir
2. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. Email: mokhtassi@modares.ac.ir
3. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Technical and Vocational University, Tehran, Iran. Email: sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

Article Info

Received:

April 03, 2024

Accepted:

May 28, 2024

First published online:

June 21, 2024

Corresponding Author:

Saeed Reza Yaghoobi

Email:

sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

Key words: Efficacy, fertilizer, herbicide, IWM, weed.

Abstract

In order to evaluate maize and redroot pigweed tolerance to foramsulfuron + iodosulfuron mixed with biostimulants and potassium chloride, a greenhouse experiment was conducted in the Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, in a completely randomized design as a factorial arrangement with three replications. The first factor included 0, 46.5, 93, 139.5, and 186 g a.i. ha⁻¹ foramsulfuron + iodosulfuron. The second factor included mixing the herbicide with amino acid fertilizer (1 and 3 mL L⁻¹), seaweed extract (4 and 12 mL L⁻¹), potassium chloride (2 and 6 mg L⁻¹), potassium chloride (2 mg L⁻¹) plus amino acid (1 mL L⁻¹), and no fertilizer as control. Increasing the herbicide dose caused a decrease in leaf area, dry weight, and other traits of maize. Mixing the herbicide with biostimulants or potassium chloride improved the growth of maize, especially at the recommended dose, but it did not affect the herbicide efficacy on redroot pigweed control. The mixing of biostimulants and potassium chloride with herbicide was more effective in improving maize growth than herbicide application alone. According to the results, the tank mixing of potassium chloride (2 mg L⁻¹) plus amino acid (1 mL L⁻¹) and the recommended dose of foramsulfuron + iodosulfuron (46.5 g a.i. ha⁻¹) was effective in redroot pigweed control and maize growth improvement compared to herbicide-only application. Our findings demonstrate that biostimulants can enhance maize tolerance to herbicide without detracting from the herbicide's efficacy in controlling redroot pigweed, highlighting a promising strategy for integrated weed management in sustainable agriculture.

Cite this article: Hajheidari, S. Mokhtassi-Bidgoli, A. and Yaghoobi, S.R. (2024). Evaluation of maize (*Zea mays* L.) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) tolerance to tank mixture of foramsulfuron+ iodosulfuron with biostimulants and potassium chloride. Iran. J. of Weed Sci. 20(1): 19-37. DOI: 10.22034/ijws.2025.368524.1483.



مقاله پژوهشی

ارزیابی تحمل ذرت (*Zea mays* L.) و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) به فورام‌سولفورون + یدوسولفورون در اختلاط با محرک‌های رشد گیاهی و پتاسیم کلراید

صبا حاج‌حیدری^۱، علی مختصی بیدگلی^۲، سعیدرضا یعقوبی^{۳*}

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: s.hajheidari@modares.ac.ir

۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: mokhtassi@modares.ac.ir

۳- گروه مهندسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران. رایانامه: sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

چکیده

به‌منظور ارزیابی تحمل ذرت و تاج‌خروس ریشه‌قرمز به فورام‌سولفورون + یدوسولفورون در اختلاط با محرک‌های رشد و پتاسیم کلراید، آزمایشی گلخانه‌ای در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار در سال ۱۳۹۸ انجام شد. فاکتور اول شامل مقادیر مختلف فورام‌سولفورون + یدوسولفورون صفر، ۴۶/۵، ۹۳، ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار بود. فاکتور دوم شامل منابع محرک‌های رشد کودهای (اسیدآمینه یک و سه میلی‌لیتر در لیتر)، عصاره جلبک دریایی (چهار و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر)، کلرید پتاسیم (دو و شش گرم در لیتر)، کلرید پتاسیم دو گرم به‌علاوه اسیدآمینه یک میلی‌لیتر در لیتر و شاهد بدون مصرف کود بود. افزایش مقدار مصرف علف‌کش باعث کاهش سطح برگ، زیست‌توده و سایر صفات ذرت شد. اختلاط علف‌کش با محرک‌های رشد گیاهی و کلرید پتاسیم باعث بهبود رشد ذرت در دُز توصیه‌شده شد ولی تأثیری بر کارایی علف‌کش بر کنترل تاج‌خروس نداشت. کاربرد هم‌زمان محرک‌های رشد گیاهی و کلرید پتاسیم در اختلاط با علف‌کش، کارایی بیشتری در بهبود رشد ذرت نسبت به عدم کاربرد کود داشت. طبق نتایج تحقیق اختلاط ترکیب اسیدآمینه یک گرم در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر با دُز توصیه‌شده علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار علاوه بر کنترل علف هرز تاج‌خروس ریشه‌قرمز باعث بهبود رشد و نمو ذرت نسبت به کاربرد علف‌کش به‌تنهایی گردید. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد محرک‌های زیستی می‌توانند تحمل ذرت را نسبت به علف‌کش افزایش دهند، بدون اینکه از کارایی علف‌کش در کنترل تاج‌خروس ریشه‌قرمز کاسته شود و استراتژی مؤثری را برای مدیریت یکپارچه علف‌های هرز در کشاورزی پایدار ارائه نماید.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۳/۰۸

تاریخ انتشار برخط:

۱۴۰۳/۰۴/۰۱

نویسنده مسئول:

سعیدرضا یعقوبی

ایمیل:

sr-yaghoobi@tvu.ac.ir

واژه‌های کلیدی: علف‌کش،

علف هرز، کارایی، کود، مدیریت

تلفیقی علف‌های هرز.

استناد: حاج‌حیدری، ص. مختصی بیدگلی، ع. و یعقوبی، س.ر. (۱۴۰۳). ارزیابی تحمل ذرت (*Zea mays* L.) و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) به فورام‌سولفورون + یدوسولفورون در اختلاط با محرک‌های رشد گیاهی و پتاسیم کلراید. دانش علف‌های هرز ایران، ۲۰(۱): ۳۷-۱۹. Doi: 10.22034/ijws.2025.368524.1483

مقدمه

علف‌های هرز یکی از مشکلات عمده در تولید گیاهان زراعی بوده و کاربرد علف‌کش‌های انتخابی در دهه‌های اخیر روشی مؤثر برای کنترل علف‌های هرز در محصولات زراعی بوده است. بسیاری از کشاورزان به دلیل کاهش هزینه‌های سم‌پاشی، جلوگیری از فشرده شدن خاک، کاهش آسیب به محصول و به دست آوردن حداکثر عملکرد، ترجیح می‌دهند کود و علف‌کش را در مخزن مخلوط کنند (Mesarovic et al., 2019). در برخی موارد نیز اختلاط علف‌کش و کود در مخزن با هدف افزایش کارایی علف‌کش (Pearson et al., 2008; Devkota & Johnson, 2019)، بهبود کیفیت آب سم‌پاشی (Zollinger et al., 2016)، جلوگیری از آسیب علف‌کش به گیاه زراعی (Hooker et al., 2018) و تغذیه گیاه (Nelson et al., 2012) انجام شده است. از سوی دیگر ترکیب کودها با علف‌کش‌های انتخابی از هزینه‌های کاربرد هر کدام از آنها را به تنهایی خواهد کاست (Nelson et al., 2012). کودهای محرک رشد زیستی (Biostimulants) دسته‌ای از کودهای با منشأ طبیعی هستند که برای بهبود رشد و نمو محصول به کار می‌روند و گیاه را از تنش‌های زیستی و غیر زیستی محافظت می‌کنند تا حداکثر کیفیت و کمیت عملکرد را به دست آورند (Drobek et al., 2019; Bulgari et al., 2019).

عصاره جلبک دریایی به دلیل وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی مانند سیتوکینین، اکسین، جیبرلین و بتائین، عناصر غذایی و اجزای

طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها به طور گسترده به عنوان کودهای محرک رشد زیستی استفاده می‌شود (Begum et al., 2018). نتایج تحقیقی نشان داد کاربرد عصاره جلبک دریایی در گیاه فلفل (*Capsium annum* L.) باعث افزایش سطح برگ، زیست توده، غلظت کلروفیل و عملکرد آن شد. گزارش‌های مشابهی در مورد افزایش عملکرد گیاهان زراعی مانند ذرت (*Zea mays* L.) (Basavaraja et al., 2018)، کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) (Manea & Ulameer Abbas, 2018)، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) (Yao et al., 2020)، برنج (*Oryza sativa* L.) (Layek et al., 2018) و بسیاری دیگر از گیاهان زراعی ارائه شده است.

کودهای اسید آمینه (Amino acid fertilizers) (Radkowski, 2018) و پروتئین‌های هیدرولیز شده (Protein hydrolysates) (Xu & Mou, 2017) دسته دیگری از محرک‌های رشد گیاهی می‌باشند که از هیدرولیز شیمیایی و یا آنزیمی بقایای گیاهی و جانوری به دست می‌آیند (Aamlid et al., 2017; NaNa et al., 2018).

نتایج یک تحقیق نشان داد با مصرف سه لیتر کود اسید آمینه در هکتار، عملکرد دانه تیموتی (*Phleum pratense* L., cv. Owacja)، ۱۱ درصد نسبت به کرت شاهد افزایش یافت (Radkowski, 2018).

تاکنون تحقیقاتی در مورد اختلاط کودهای محرک رشد زیستی با برخی علف‌کش‌های انتخابی

پتاسیم یک ماده غذایی ضروری است که بر رشد و متابولیسم گیاه تأثیر می‌گذارد و نیز نقش دفاعی در برابر تعدادی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارد (Srinivasarao & Kundu, 2017; Wang et al., 2013). اختلاط کودهای معدنی با علف‌کش می‌تواند راهبردی برای کنترل مؤثر علف‌های هرز و دستیابی به عملکرد بالا با حداقل هزینه باشد (Lawrence et al., 2020). در پژوهشی اختلاط سولفات پتاسیم با گلایفوزیت در مقایسه با تیوسولفات پتاسیم و سولفات دی‌آمونیم، باعث ایجاد کنترل مناسبی در علف‌های هرز در سویای مقاوم به گلایفوزیت شد (Nelson et al., 2012). تنش‌های حاصل از کاربرد علف‌کش‌های انتخابی بر گیاه زراعی یکی از مسائل کمتر مورد توجه قرار گرفته در مدیریت علف‌های هرز می‌باشد و تحقیقات معدودی برای کاهش این تنش بر عملکرد گیاه زراعی صورت گرفته است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کارایی اختلاط عصاره جلبک دریایی، کود اسیدآمین و کلرید پتاسیم با علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون + ایزوکسادیفن-اتیل بر کنترل مؤثر تاج‌خروس و کاهش آسیب علف‌کش در ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

بذر ذرت (*Zea mays* L., Var. NS 640) از مؤسسه تحقیقات نهال و بذر، کرج، استان البرز تهیه شد. بذور تاج‌خروس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) از مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس طی تابستان سال ۱۳۹۶ جمع‌آوری و در شرایط

گیاهان زراعی مانند کلزا (*Brassica napus* L.) (Neshev et al., 2021)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Matysiak et al., 2018)، ذرت (*Zea mays* L.) (Panfili et al., 2019)، سویا (*Glycine max* L.) (Soltani et al., 2016)، و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Soltani et al., 2015a) باهدف کنترل مؤثر علف‌های هرز، برداشت حداکثر محصول و جلوگیری از صدمه علف‌کش به گیاه زراعی انجام شده است. در تحقیقی کاربرد محرک رشد زیستی به‌واسطه تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، تحمل ذرت را به متولاکلر (Metolachlor) افزایش داد (Panfili et al., 2019). در مقابل نتایج برخی تحقیقات نشان داد اختلاط کود محرک رشد زیستی تأثیری در کارایی کلریمورون (Chlorimuron)، ایمازتاپیر (Imazethapyr)، فومزافن (Fomesafen) و کوئزالوفوپ (Quizalofop) در کنترل علف‌های هرز و عملکرد سویا (Soltani et al., 2016) و گلایفوزیت + تیرامزون + آترازین (Glyphosate + Topramezone + Atrazine) در عملکرد ذرت (Soltani et al., 2015a) ایجاد نکرد. بااین‌حال، در پژوهشی دیگر هرچند افزودن محرک‌های رشد زیستی به ام‌سی‌پ‌آ + دایکامبا (MCPA + Dicamba)، دایکامبا + تریاسولفورون (Dicamba + Triasulfuron) و فلوراسولام + توفوردی (Florasulam + 2,4-D) تأثیری بر کارایی علف‌کش نداشت؛ اما عملکرد دانه گندم و محتوای گلوتن را افزایش داد (Matysiak et al., 2018).

هخت آلمان (HECHT 4166, Germany) با فشار سه بار انجام شد که قبل از اعمال تیمارها، سم پاش دارای نازل تی جت برای حجم آب مصرفی سم پاشی ۳۰۰ لیتر در هکتار کالیبره شد.

تأثیر گذاری علف کش بر اساس ارزیابی چشمی به روش استاندارد شورای تحقیقات علف هرز اروپا (European Weed Research Council, EWRC) یک هفته پس از سمپاشی انجام شد؛ بدین صورت که میزان خسارت وارده به بوته های ذرت و تاج خروس در هر یک از واحدهای آزمایشی، به صورت مشاهده عینی بررسی و با استفاده از جدول ۱ میزان خسارت به گیاهان به واسطه اعمال تیمار، به صورت درصدی برآورد و یادداشت گردید (Dear et al., 2003).

هفت روز پس از اعمال تیمار، نمونه های برگ از ذرت برداشت شده و کلروفیل کل و کارتنوئید اندازه گیری شد (Hiscox & Israelstam, 1979). همچنین سه بوته ذرت از هر گلدان کف بر و سطح برگ توسط سطح برگ سنج مدل دلتا- تی (DELTA-T DEVICES, UK) اندازه گیری شد. بوته های ذرت برداشت شده به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد خشک و سپس توزین شدند. برای اندازه گیری حجم ریشه ذرت، نمونه های ریشه شسته و سپس در یک استوانه مدرج پنج لیتری غوطه ور شدند. قبل و بعد از فروبردن ریشه ها در استوانه مدرج، حجم آب موجود ثبت و تغییر حجم آب به عنوان حجم ریشه در نظر گرفته شد (Pang et al., 2011).

خشک در دمای پنج درجه سانتی گراد نگهداری شد. آزمایش گلخانه ای در سال ۱۳۹۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران (۳۵ درجه ۴۴ شمالی، ۵۱ درجه ۱۰ شرقی و ۱۲۶۵ متر ارتفاع از سطح دریا) انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول شامل کاربرد فورام- سولفورون + یدوسولفورون + ایزوکسادیفن- اتیل (ایمن کننده) (Foramsulfuron+ Iodosulfuron+ isoxadifen-ethyl (Maister 3.1% OD, Bayer Crop Science) در مقادیر صفر، ۴۶/۵، ۹۳، ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم در هکتار و فاکتور دوم شامل کاربرد منابع کود اسید آمینه (Amino plus, Sigmaplex Co., Canada) در غلظت های یک و سه میلی لیتر در لیتر، کود عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum* extract, Stimplex, Ilex EnviroSciences Co., Canada) در غلظت های چهار و ۱۲ میلی لیتر در لیتر، کلرید پتاسیم در غلظت های دو و شش گرم در لیتر، کلرید پتاسیم دو گرم به علاوه اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر و شاهد (بدون مصرف کود) بود.

بذر تاج خروس و ذرت در گلدان های پلاستیکی مجزا به قطر ۲۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر که حاوی ۵۰ درصد خاک رسی، ۳۰ درصد ماسه و ۲۰ درصد کمپوست بودند کاشته شدند.

ذرت و تاج خروس در مرحله سه برگی به ترتیب به پنج و ۱۰ بوته در هر گلدان تنک شدند. سم پاشی تیمارهای علف کش و کود در مرحله چهار برگی ذرت و تاج خروس با سم پاش پستی ۱۶ لیتری مدل

جدول ۱- مقیاس ارزیابی خسارت علف‌کش به علف‌های هرز بر اساس روش شورای تحقیقات علف‌های هرز اروپا (Dear et al., 2003).

Table 1. European Weed Research Council (EWRC) rating scale used to score the level of herbicide efficacy (Dear et al., 2003).

EWRC Score	Crop tolerance	Efficacy	Weed control (%)
1	No effect	Complete kill	100
2	Very slight effects; some stunting and yellowing just visible	Excellent	98- 99.9
3	Slight effects; stunting and yellowing; effects reversible	Very good	95- 97.9
4	Substantial chlorosis and or stunting; most effects probably reversible	Good-acceptable	90- 94.9
5	Strong chlorosis/stunting; thinning of stand	Moderate but not generally acceptable	82- 89.9
6	Increasing severity of damage	Fair	70- 81.9
7	Increasing severity of damage	Poor	55- 69.9
8	Increasing severity of damage	Very poor	30- 54.9
9	Total loss of plants and yield	None	0- 29.9

مقداری از علف‌کش که سبب کاهش ۵۰ درصد زیست‌توده گیاه می‌شود، هستند. برای محاسبه ED10 و ED90 به ترتیب روابط ۲ و ۳ به جای ED50 در معادله فوق قرار گرفت. برای ترسیم نمودارها نیز از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

$$\exp(\ln(ED10) - \frac{1}{b} \ln(\frac{1}{9})) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\exp(\ln(ED10) - \frac{1}{b} \ln(9)) \quad \text{رابطه ۳}$$

نتایج و بحث

نتایج نشان داد برهمکنش دُز مصرف علف‌کش فورام‌سولفورون+یدوسولفورون در اختلاط با مقادیر مختلف عصاره جلبک دریایی، اسیدآمین و کلرید پتاسیم تأثیر معنی‌داری بر سطح برگ، حجم ریشه، کلروفیل کل و کارتنوئید در سطح یک درصد ($p < 0.01$) و زیست‌توده کل در سطح پنج درصد ($p < 0.05$) داشت (جدول ۲).

پس از تجزیه واریانس، در صورت معنی‌دار شدن اثرات متقابل، بر پایه روش برش‌دهی فیزیکی و با استفاده از روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) صورت گرفت. همچنین برای محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مختلف از رویه CORR استفاده شد. تجزیه رگرسیون داده‌ها پس از برآزش معادله چهار پارامتری لوگ لجستیک (رابطه ۱) به زیست‌توده خشک گیاهان ذرت و تاج‌خروس (Y) در مقابل دُز علف‌کش (X) با استفاده از رویه NLIN نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) انجام و مقدار علف‌کش لازم ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد کاهش زیست‌توده گیاهان به صورت شاخص‌های ED10 و ED50، ED90 محاسبه و در تحلیل نتایج تحقیق به کار گرفته شد.

$$Y = a + \frac{(c-a)}{(1 + \exp(b(\ln(x) - \ln(ED50))))} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این معادله c: حد بالای منحنی، a: حد پایین منحنی، b: شیب منحنی در نقطه ED50، ED50:

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر اختلاط فورام سولفورون + یدوسولفورون با محرک های رشد زیستی و پتاسیم کلراید بر ذرت.

Table 2. Variance analysis (mean square) of foramsulfuron+ iodosulfuron tank mixing with biostimulant and KCl on maize.

Source of variation	df	Leaf area	Root volume	Biomass	Total chlorophyll	Carotenoids
Herbicide dose	4	20150**	0.8**	347724**	28.81**	0.48**
Additive	7	659**	0.61**	13368**	17.89**	0.33**
Herbicide dose× additive	28	166**	0.24**	3292*	3.92**	0.07**
Error	80	68.76	0.06	2051	0.48	0.009
CV (%)	-	20	37	25	16	17

** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد، ns غیر معنی دار در سطح پنج درصد.

* and ** significant at 5% and 1% probability level, respectively, ns non-significant.

سطح برگ ذرت

نتایج نشان داد مقدار سطح برگ در هر بوته ذرت در شاهد بدون علف کش و محرک رشد زیستی، ۶۴/۶ سانتی متر مربع به دست آمد. با کاربرد محرک های رشد زیستی و کلرید پتاسیم افزایش معنی داری در سطح برگ بجز در کود اسید آمینه سه میلی لیتر در لیتر مشاهده شد (جدول ۳). کاربرد علف کش فورام سولفورون + یدوسولفورون در دُز ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار باعث کاهش سطح برگ ذرت به میزان ۴۷/۷ سانتی متر مربع شد. سطح برگ ذرت در اختلاط فورام سولفورون + یدوسولفورون در دُز ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار با کلرید پتاسیم شش و ۱۲ گرم در لیتر و اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر و کود اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر، به ترتیب ۶۲/۶، ۷۴/۳، ۶۵/۴ و ۶۲/۲ سانتی متر مربع به دست آمد که افزایش معنی داری نسبت به شاهد (فورام سولفورون + یدوسولفورون در دُز ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار) ۴۷/۷ سانتی متر مربع داشت. افزایش مقدار

مصرف فورام سولفورون + یدوسولفورون به ۱۳۹/۵ گرم در هکتار بدون مواد افزودنی باعث کاهش سطح برگ به ۸/۲۵ سانتی متر مربع شد. از بین ترکیبات کودی اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر و تیمار کود اسید آمینه سه میلی لیتر در لیتر از نظر آماری بیشترین سطح برگ ذرت را (به ترتیب ۴۳/۳ و ۳۰/۵ سانتی متر مربع) ایجاد کردند (جدول ۳). با افزایش مقدار مصرف علف کش به ۱۸۶ گرم در هکتار نیز تیمار اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر در مقدار ۱۵/۲ سانتی متر مربع از نظر آماری بیشترین مقدار نسبت به بقیه تیمارها بود (جدول ۳). هر چند علف کش فورام سولفورون + یدوسولفورون برای ذرت انتخابی می باشد؛ ولی تحقیق حاضر نشان داد کاربرد علف کش باعث کاهش سطح برگ ذرت شد، ولی اختلاط کودهای محرک رشد و کلرید پتاسیم باعث جبران این صدمه شد.

جدول ۳- تأثیر برهمکنش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون و محرک‌های رشد زیستی و کلرید پتاسیم بر سطح برگ، حجم ریشه، کل زیست‌توده، کل کلروفیل و کارتنوئید ذرت. عصاره جلبک دریایی چهار میلی‌لیتر در لیتر (SWE4)، عصاره جلبک دریایی ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر (SWE12)، کود اسیدآمین به یک میلی‌لیتر در لیتر (AAF1)، کود اسیدآمین سه میلی‌لیتر در لیتر (AAF3)، کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر (KCl2)، کلرید پتاسیم شش گرم در لیتر (KCl6)، کود اسیدآمین یک میلی‌لیتر در لیتر (AAF1+KCl2). ستون‌های دارای حروف مشابه اختلاف معنی‌داری ندارند.

Table 3. Interaction of foramsulfuron + iodosulfuron and biostimulants and potassium chloride on leaf area, root volume, total biomass, total chlorophyll, and carotenoid of maize. Seaweed extract 4 mL L⁻¹ (SWE4), seaweed extract 12 mL L⁻¹ (SWE12), amino acid fertilizer 1 mL L⁻¹ (AAF1), amino acid fertilizer 3 mL L⁻¹ (AAF3), potassium chloride 2 g L⁻¹ (KCl2), potassium chloride 6 g L⁻¹ (KCl6), and amino acid fertilizer 1 mL L⁻¹ plus potassium chloride 2 g L⁻¹ (AAF1+KCl2). Columns with similar letters do not differ significantly.

Treatments	Leaf area (cm ² plant ⁻¹)	Root volume (cm ³ plant ⁻¹)	Total biomass (g plant ⁻¹)	Total chlorophyll (mg g ⁻¹ leaf fresh weight)	Carotenoid (mg g ⁻¹ leaf fresh weight)
Control (without herbicide)					
SWE12	88.3a	577.7a	389.7abc	4.6ab	0.628a
SWE4	76.08ab	444.4bc	398.5a	4.4b	0.711a
AAF1	90.3a	166.6e	326.9abc	5.3ab	0.738a
AAF1+KCl2	88.3a	258.3cde	315.7abc	5.9a	0.735a
AAF3	67.9b	327.7bcd	287.4bc	5.1ab	0.63a
KCl2	88.3a	333.3bc	392.1ab	5ab	0.725a
KCl6	75ab	175.9de	319.5abc	4.9ab	0.664a
Control	64.6b	194.4cde	281.5c	4.5b	0.648a
Foramsulfuron + Iodosulfuron (46.5 g a.i. ha⁻¹)					
SWE12	48.1dc	562.9a	244.3bc	5.2a	0.71abc
SWE4	52bcd	113.5b	256.9bc	5.2a	0.625bc
AAF1	65.4ab	148.1b	307.5ab	3.6b	0.573c
AAF1+KCl2	62.2abcd	200b	263.3bc	5.4a	0.734abc
AAF3	50cd	107.4b	220c	4.7ab	0.621bc
KCl2	74.3a	111.1b	362.7a	5.4a	0.805a
KCl6	62.6abc	211.1b	261.5bc	5.5a	0.752ab
Control	47.7d	192.5b	212.9c	5.1a	0.706abc
Foramsulfuron + Iodosulfuron (93 g a.i. ha⁻¹)					
SWE12	37.3bc	106.2c	158.9abc	3.6d	0.533b
SWE4	33.6bc	311.1a	128.6bc	3.4d	0.491b
AAF1	35.2bc	92.5c	144.5bc	3.1d	0.465b
AAF1+KCl2	45ab	222.2ab	173.7ab	6.3a	0.773a
AAF3	46.8ab	97.2c	174.5ab	3.8cd	0.514b
KCl2	55.6a	80.6c	247.9a	4.7bc	0.699a
KCl6	42.3ab	137bc	169.9ab	5.7ab	0.842a
Control	23.6c	139.3bc	80.2c	5.8a	0.794a
Foramsulfuron + Iodosulfuron (139.5 g a.i. ha⁻¹)					
SWE12	17bcd	305.5a	79.4b	3.5b	0.503c
SWE4	15.3cd	222.2ab	76.5bc	0	0e
AAF1	25.6bc	98.1b	119ab	3.9b	0.558bc
AAF1+KCl2	43.3a	188.8ab	154.8a	4.1b	0.574bc
AAF3	30.5ab	105.5b	129ab	1.7c	0.317d
KCl2	15.7cd	222.2ab	111.1ab	6.2a	0.723ab
KCl6	15.6cd	200ab	102.2ab	5.5a	0.742ab
Control	8.25d	157.4ab	23.8c	5.6a	0.86a
Foramsulfuron + Iodosulfuron (186 g a.i. ha⁻¹)					
SWE12	4.8b	211.1bc	38.3cd	0d	0e
SWE4	5.1b	348.1a	42.9bcd	0d	0e
SWE4	3.9b	211.1bc	59.1abc	1.6c	0.225d
AAF1	15.2a	311.1ab	66.7a	3.6b	0.682ab
AAF1+KCl2	3.8b	200bc	35.6cde	0.8cd	0.12ab
AAF3	4b	203.7bc	33.3de	3.7b	0.573bc
KCl2	13a	277.7ab	65.9ab	6a	0.738a
KCl6	3.3b	133.3c	12.9e	3.4b	0.5c
Control	37.3bc	577.7a	389.7abc	4.6ab	0.628a

The means are presented with their corresponding standard errors. Different letters within each column and for each herbicide concentration denote significant differences at $p \leq 0.05$ based on the LSD test.

حجم ریشه ذرت

در شرایط بدون کاربرد علف کش کاربرد محرک های رشد زیستی شامل اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی و همچنین کلرید پتاسیم تأثیر معنی داری در حجم ریشه در بوته ذرت داشته (جدول ۳) و بجز تیمارهای کود اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر و عصاره جلبک دریایی چهار میلی لیتر در لیتر، در سایر تیمارها باعث افزایش حجم ریشه شد (جدول ۳). در شاهد بدون کود و علف کش حجم ریشه ذرت ۱۹۴/۴ سانتی متر مکعب به دست آمد. بیشترین حجم ریشه مربوط به کاربرد عصاره جلبک دریایی ۱۲ میلی لیتر در لیتر به میزان ۵۷۷ سانتی متر مکعب به دست آمد. با کاربرد کلرید پتاسیم شش و ۱۲ گرم در لیتر افزایش معنی داری در حجم ریشه به ترتیب ۴۴۴ و ۳۳۳ سانتی متر مکعب به دست آمد (جدول ۳). با کاربرد علف کش فورام-سولفورون + یدوسولفورون با مقدار توصیه شده ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، هیچ کدام از اختلاط های کودی بجز عصاره جلبک دریایی ۱۲ میلی لیتر در لیتر تأثیری بر حجم ریشه نداشت. اختلاط علف کش با عصاره جلبک دریایی ۱۲ میلی لیتر در لیتر باعث افزایش حجم ریشه به ۵۶۲ سانتی متر مکعب شد. با افزایش مقدار مصرف علف کش به بیش از دُز توصیه شده، اختلاف بین تیمارهای کودی مشخص تر شد. در تیمار کاربرد ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار بدون اختلاط با کود، حجم ریشه ذرت ۱۳۳ سانتی متر مکعب به دست آمد که افزودن ترکیبات کودی کلرید پتاسیم شش گرم در لیتر، عصاره جلبک دریایی چهار میلی لیتر در لیتر و کلرید پتاسیم

دو گرم در لیتر به علاوه کود اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر بیشترین مقادیر حجم ریشه را در اختلاط با ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار فورام سولفورون + یدوسولفورون به ترتیب ۲۷۷، ۳۴۸ و ۳۱۱ سانتی متر مکعب ایجاد نمود (جدول ۳).

زیست توده کل ذرت

مقدار زیست توده کل ذرت در شاهد بدون علف کش و کود به میزان ۲۸۱ گرم در بوته به دست آمد که با کاربرد ترکیبات کودی افزایش معنی داری یافت. کاربرد عصاره جلبک دریایی چهار و ۱۲ میلی لیتر در لیتر و کلرید پتاسیم ۱۲ گرم در لیتر به ترتیب ۳۹۸، ۳۸۹ و ۳۹۲ گرم در بوته به دست آمد. در اختلاط با علف کش فورام سولفورون + یدوسولفورون ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار، اختلاط کود کلرید پتاسیم ۱۲ گرم در هکتار و کود اسید آمینه یک گرم در هکتار زیست توده کل ذرت را به ترتیب ۳۶۲ و ۳۰۷ گرم در بوته در قیاس با شاهد بدون کود ۲۱۳ گرم در بوته به دست آمد (جدول ۳). هر چند افزایش مقدار مصرف علف کش به ۹۳ و ۱۳۹/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار باعث کاهش زیست توده کل ذرت در مقادیر به ترتیب ۸۰/۱ و ۲۳/۸ گرم در بوته شد؛ ولی در اختلاط با ترکیبات کلرید پتاسیم شش و ۱۲ گرم در لیتر و کود اسید آمینه سه میلی لیتر در لیتر و کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر به علاوه کود اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر مقدار زیست توده کل ذرت به بیش از دو برابر تیمار شاهد بدون کود در مقادیر ۹۳ و ۱۳۹/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار افزایش پیدا کرد (جدول ۳). با

افزایش مقدار مصرف علف‌کش به ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار هر چند زیست‌توده کل ذرت به‌شدت کاهش یافت، ولی در اختلاط با کودها، مقدار کل زیست‌توده افزایش معنی‌داری یافت.

کلروفیل کل

مقدار کلروفیل کل ذرت در شرایط بدون علف‌کش با کاربرد ترکیبات کودی بجز عصاره جلبک دریایی، افزایش معنی‌داری به میزان چهار میلی‌لیتر در لیتر داشت. با کاربرد فورام‌سولفورون+ یدوسولفورون در مقدار توصیه‌شده ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار در اختلاط با کودها نه تنها افزایش معنی‌داری در کلروفیل کل ذرت ایجاد نشد؛ حتی در کود اسیدآمینیک و سه میلی‌لیتر در لیتر مقدار کلروفیل کل ذرت از شاهد بدون کود هم کمتر بود (به‌ترتیب ۳/۶۶ و ۴/۷ گرم در گرم ماده تازه برگ) (جدول ۳). در مقادیر بالاتر از مقدار توصیه‌شده علف‌کش ۹۳ گرم ماده مؤثره در هکتار، اختلاط عصاره جلبک دریایی چهار و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر و کود اسیدآمینیک و سه میلی‌لیتر در لیتر باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل کل ذرت شد؛ ولی کاربرد کلرید پتاسیم شش و ۱۲ گرم در لیتر و کلرید پتاسیم یک گرم در لیتر به‌علاوه اسیدآمینیک یک میلی‌لیتر در لیتر باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل به‌ترتیب به میزان ۵/۷، ۴/۷ و ۶/۳ گرم در گرم برگ تازه شد (جدول ۳). با اختلاط کودهای عصاره جلبک دریایی چهار و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر با فورام-سولفورون+ یدوسولفورون در مقادیر مصرف ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار، مقدار کلروفیل کل به صفر رسید. با توجه به نتایج، هر چند کاربرد ترکیبات کودی در شرایط بدون علف‌کش باعث

افزایش جزئی در دُز کلروفیل شد، ولی اختلاط کودهای حاوی اسیدآمینیک با فورام‌سولفورون+ یدوسولفورون باعث کاهش کلروفیل مقطعی شد که می‌تواند نشان‌دهنده ایجاد سمیت مقطعی در کلروفیل ذرت باشد.

کارتنویید

کاربرد کودهای مختلف تغییر معنی‌داری در مقدار کارتنویید در برگ ذرت در شاهد بدون علف‌کش ایجاد نکرد. کاربرد مقدار توصیه‌شده فورام-سولفورون+ یدوسولفورون ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار در اختلاط با کود اسیدآمینیک و سه میلی‌لیتر در لیتر و عصاره جلبک دریایی چهار میلی‌لیتر در لیتر کاهش معنی‌داری نسبت به سایر تیمارها نشان داد. افزایش مقدار مصرف علف‌کش به ۹۳ گرم ماده مؤثره در هکتار در اختلاط با کود اسیدآمینیک و سه میلی‌لیتر در لیتر و عصاره جلبک دریایی چهار و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر کاهش معنی‌داری در کارتنویید برگ ذرت به‌ترتیب در مقادیر ۰/۴۶، ۰/۵۱، ۰/۴۹ و ۰/۵۳ گرم در گرم وزن تر برگ ذرت ایجاد کرد و سایر تیمارهای کودی با شاهد کاربرد ۹۳ گرم ماده مؤثره در هکتار علف‌کش بدون اختلاط کود تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). در مقادیر بالاتر، کاربرد علف‌کش شامل کاربرد ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار، در اختلاط با عصاره جلبک دریایی چهار و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر مقدار کارتنویید برگ عملاً به صفر رسید، ولی کلرید پتاسیم در مقادیر شش و ۱۲ گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در همین مقادیر علف‌کش نداشت (جدول ۳).

درصد مرگ و میر ذرت و تاج خروس ریشه قرمز

در تیمار شاهد بدون کاربرد ترکیبات کودی، مقدار ED90 برای ذرت در کاربرد فورام سولفورون + یدوسولفورون ۵۴/۲ گرم ماده مؤثره در هکتار به دست آمد (جدول ۴)؛ در صورتی که مقدار ED90 برای تاج خروس ریشه قرمز ۱۸/۶ گرم ماده مؤثره در هکتار بود. با اختلاط فورام سولفورون + یدوسولفورون و کود اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر

به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر، مقدار ED90 برای ذرت به ۱۰۲/۳ گرم ماده مؤثره در هکتار رسید (جدول ۵)؛ در صورتی که میزان ED90 برای تاج خروس ریشه قرمز ۱۸/۶ گرم ماده مؤثره در هکتار به دست آمد (جدول ۵). مقدار ED50 علف کش در تیمار شاهد بدون اختلاط کود در ذرت ۳۵ (جدول ۴) و تاج خروس ریشه قرمز ۱۳/۹۵ گرم ماده مؤثره در هکتار (جدول ۵) بود.

جدول ۴- پارامترهای برآورد شده توسط مدل لوگ-لوژیستیک چهار پارامتره برای میزان مرگ و میر بوته های ذرت تحت تأثیر اختلاط فورام سولفورون + یدوسولفورون و محرک های رشد زیستی و کلرید پتاسیم.

Table 4. Parameters estimated by a four-parameter log-logistic model for maize mortality rate under the influence of foramsulfuron + idosulfuron tank mixed with biostimulants and potassium chloride.

Growth enhancer	Model Coefficients (Criterion Error)						Model accuracy parameters	
	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₁₀	c	b	a	RMSE	R ²
	g a.i. ha ⁻¹				%			
SWE12	92.7 (-2.17)	64.5 (-1.55)	44.6 (-0.93)	100	-6	0	6.34	0.92
SWE4	78.7 (-2.17)	54.5 (-1.55)	37.5 (-0.93)	100	-6	0	8.84	0.94
AAF1	81.8 (-3.72)	57 (-2.48)	39.4 (-1.86)	100	-6	0	13.9	0.86
AAF1+KCL2	102.3 (-2.17)	71 (-1.55)	49 (-0.93)	100	-6	0	4.62	0.91
AAF3	79.6 (-4.34)	55.2 (-2.79)	38.1 (-2.17)	100	-6	0	16.42	0.84
KCl2	79.6 (-4.34)	55.2 (-3.1)	38.1 (-2.17)	100	-6	0	16.75	0.84
KCl6	97.9 (-4.34)	67.9 (-1.55)	47.1 (-1.24)	100	-6	0	5.96	0.90
Control	54.2 (-2.48)	35 (-0.62)	22.3 (-0.93)	100	-4.99	0	4.92	0.99

a, b, c, ED₁₀, ED₅₀, ED₉₀, respectively, represent the lower limit, slope, upper limit, and the effective doses for controlling 10%, 50%, and 90% of maize.

۷۱ گرم ماده مؤثره در هکتار به دست آمد. همچنین مقدار ED50 در ذرت در اختلاط علف کش با کلرید پتاسیم شش گرم در لیتر به مقدار ۶۷/۹ گرم ماده مؤثره در هکتار به دست آمد (جدول ۴). در

اختلاط ترکیبات کودی باعث افزایش بیش از دوبرابری مقدار ED50 ذرت شد؛ ولی در تاج خروس تغییری ایجاد نشد. بیشترین مقدار ED50 در ذرت مربوط به اختلاط اسید آمینه یک میلی لیتر در لیتر به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر به مقدار

میزان ۴۹ گرم ماده مؤثره در هکتار که بیشترین مقدار بین تمامی تیمارها بود رسید (جدول ۴). مقدار ED10 در اختلاط علف‌کش با کودها و در تیمار شاهد بدون کود به مقدار ۴/۶۵ گرم ماده مؤثره در هکتار به‌دست آمد که در تمامی تیمارها یکسان بود (جدول ۵).

مقابل با اختلاط تمامی ترکیبات کودی با فورام- سولفورون + یدوسولفورون مقدار ED50 در تاج‌خروس ریشه‌قرمز ۱۳/۹۵ گرم ماده مؤثره در هکتار به‌دست آمد که بین اختلاط تمامی ترکیبات کودی یکسان بود (جدول ۵). مقدار ED10 در ذرت نیز در اختلاط اسیدآمینه یک میلی‌لیتر در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر با علف‌کش به

جدول ۵- پارامترهای برآوردشده توسط مدل لوگ-لوژیستیک چهار پارامتره برای میزان مرگ و میر بوته‌های تاج‌خروس ریشه‌قرمز تحت تأثیر برهمکنش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون و محرک‌های رشد زیستی و کلرید پتاسیم.

Table 5. Parameters estimated by a four-parameter log-logistic model for redroot pigweed mortality rate under the influence of foramsulfuron + idosulfuron tank mixed g with biostimulants and potassium chloride.

Growth enhancer	Model Coefficients (Criterion Error)						Model accuracy parameters	
	ED ₉₀	ED ₅₀	ED ₁₀	c	b	a	RMSE	R ²
	g a.i. ha ⁻¹				%			
SWE12	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
SWE4	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
AAF1	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
AAF1+KCL2	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
AAF3	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
KCL2	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
KCL6	18.6	13.95	4.65	100	-6	0.00005	0.033	1
Control	18.6	13.95	4.65	100	-4.99	0.00005	0.033	1

a, b, c, ED₁₀, ED₅₀, ED₉₀, respectively, represent the lower limit, slope, upper limit, and the effective doses for controlling 10%, 50%, and 90% of maize.

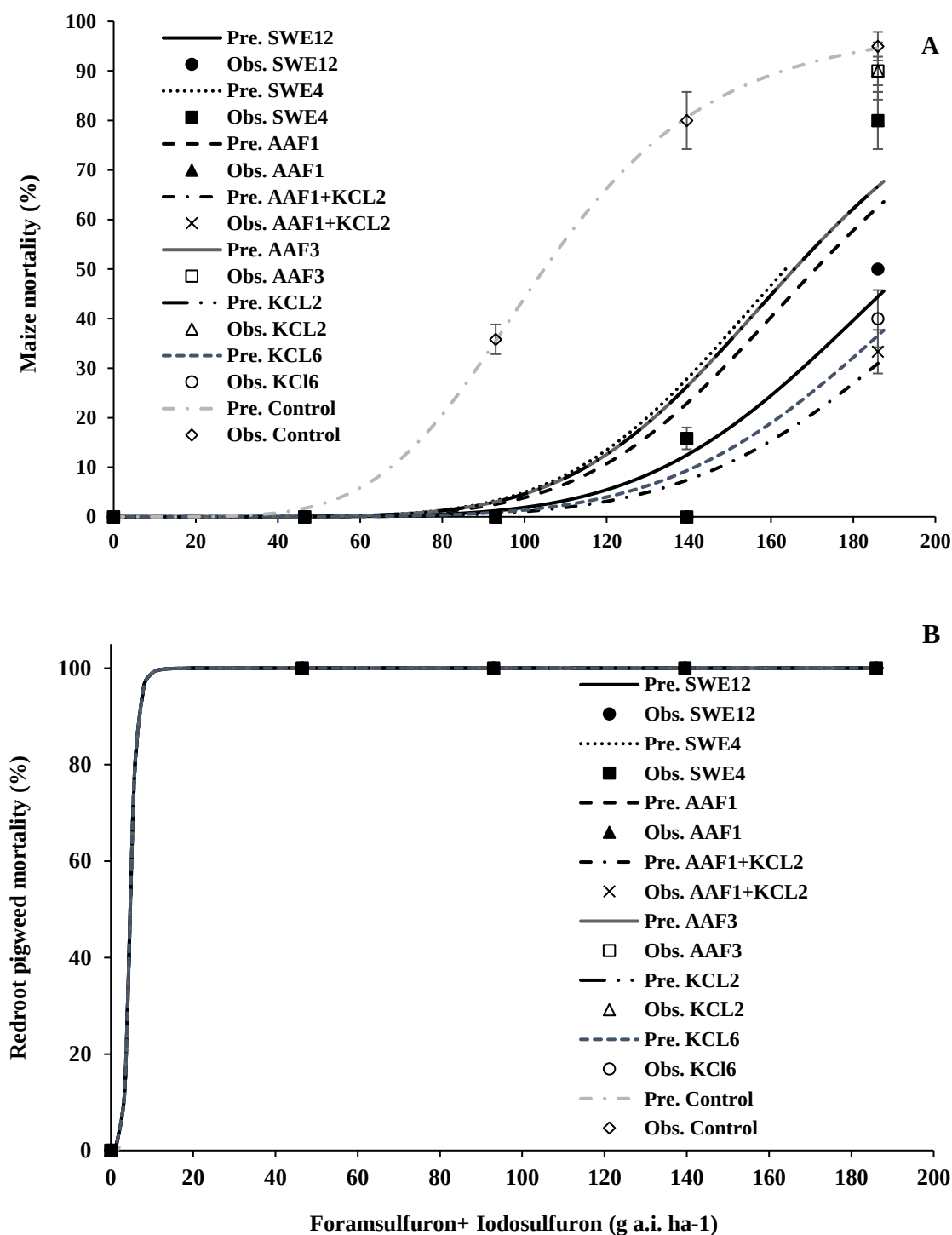
گرم در لیتر و عصاره جلبک دریایی چهار میلی‌لیتر در لیتر با فورام‌سولفورون + یدوسولفورون میزان تحمل بوته‌های ذرت را به علف‌کش فورام-سولفورون + یدوسولفورون افزایش داد؛ به‌طوری‌که در مقدار حدود ۱۶۶ گرم ماده مؤثره فورام-سولفورون + یدوسولفورون در هکتار نیمی از بوته‌های ذرت از بین رفتند. کاربرد کود اسیدآمینه یک میلی‌لیتر در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر کارایی بالاتری نسبت به سایر تیمارهای اختلاط کودی در افزایش تحمل بوته‌های ذرت به علف‌کش را داشت (شکل ۱A). هر چند اختلاط کود با علف‌کش در ذرت باعث کاهش تأثیر منفی

در شرایط بدون کاربرد کود با افزایش مقادیر کاربرد علف‌کش فورام‌سولفورون + یدوسولفورون درصد مرگ و میر ذرت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در مقدار ۱۰۴ گرم ماده مؤثره فورام‌سولفورون + یدوسولفورون در هکتار تقریباً نیمی از بوته‌های ذرت از بین رفتند، اما با کاربرد مواد محرک و کودهای کاربردی، مقدار مرگ و میر به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱A). طبق برآورد مدل در صورتی که در مقدار پنج گرم ماده مؤثره فورام‌سولفورون + یدوسولفورون در هکتار بیش از نیمی از بوته‌های تاج‌خروس ریشه‌قرمز از بین رفتند (شکل ۱B). اختلاط کلرید پتاسیم دو و شش

علف کش بر ذرت شد؛ ولی تأثیری بر میزان تأثیر فورام سولفورون + یدوسولفورون بر تاج خروس ریشه قرمز نداشت (شکل ۱B).

چندین دهه از کاربرد علف کش های انتخابی برای کنترل علف های هرز در مزارع می گذرد. هرچند علف کش های انتخابی در کنترل علف های هرز بسیار کارآمد هستند؛ ولی به واسطه تولید گونه فعال اکسیژن (Reactive Oxygen Species) باعث ایجاد سمیت در گیاهان زراعی نیز می شوند و باعث کاهش شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع بوته و تغییر در متابولیسم گیاه می شوند (Cobb & Reade, 2010). از طرفی دیگر، با افزایش دُز مصرف علف کش، شدت تنش نیز بیشتر می شود. نتایج پژوهشی نشان داد افزایش دُز علف کش های سولفنترازون (Sulfentrazone) در دُزهای صفر، ۰/۳، ۰/۶ و ۱/۲ کیلوگرم در هکتار و فومسافن (Fomesafen) در دُزهای صفر، ۰/۱۲۵، ۰/۲۵ و ۰/۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش تولید گونه فعال اکسیژن و ایجاد تنش در گیاه تربچه خوراکی شد (Alves et al., 2018). مشابه این نتایج در تحقیقات روی سایر گیاهان زراعی نیز به دست آمده است (Radchenko et al., 2021) در پژوهش حاضر افزایش مقدار مصرف علف کش فورام-سولفورون + یدوسولفورون باعث کاهش در برخی صفات مورد بررسی ذرت شد. مقدار سطح برگ

ذرت در شاهد بدون علف کش و کود، ۶۴/۶ سانتی متر مربع به دست آمد. با کاربرد علف کش در مقدار توصیه شده ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار بدون کاربرد کود، سطح برگ ۴۷/۷ سانتی متر مربع به دست آمد که با افزایش مقدار علف کش به ۹۳، ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار سطح برگ ذرت به ترتیب ۲۳/۶، ۸/۲۵ و ۳/۳ سانتی متر مربع به دست آمد (جدول ۳)؛ همچنین میزان زیست توده بوته های ذرت به واسطه افزایش مقدار مصرف علف کش به ترتیب ۲۱۲، ۸۰، ۲۳/۸ و ۱۲/۹ گرم در بوته به دست آمد (در مقایسه با شاهد بدون علف کش ۲۸۱ گرم) (جدول ۳). با کاربرد مقادیر ذکر شده علف کش، حجم رشته ذرت به ترتیب ۱۹۲، ۱۳۹، ۱۵۷ و ۱۳۳ سانتی متر مکعب به دست آمد که در ۱۹۴ سانتی متر مکعب در شاهد بدون علف کش کاهش معنی داری نشان داد. مقدار کلروفیل کل نیز در شاهد بدون علف کش و کود از ۴/۵ گرم در گرم وزن تازه برگ به ۵/۱، ۵/۸، ۵/۵ و ۳/۴ گرم در گرم وزن تازه برگ در مقادیر مذکور علف کش رسید. نتایج مشابه در یک پژوهش نشان داد علف کش انتخابی اگزادپازون به واسطه ایجاد تنش اکسیداسیون باعث ایجاد سمیت گیاهی، کاهش ارتفاع و تنش در گیاه زراعی برنج و تخریب رنگ دانه های فتوسنتزی شد (Langaro et al., 2017).



شکل ۱- تأثیر برهمکنش فورامسولفورون + یدوسولفورون و محرک‌های رشد زیستی و کلرید پتاسیم بر میزان مرگ و میر بوته‌های ذرت (A) و تاج‌خروس ریشه‌قرمز (B). عصاره جلبک دریایی چهار میلی‌لیتر در لیتر (SWE4)، عصاره جلبک دریایی ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر (SWE12)، کود اسید آمینه یک میلی‌لیتر در لیتر (AAF1)، کود اسید آمینه سه میلی‌لیتر در لیتر (AAF3)، کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر (KCL2)، کلرید پتاسیم شش گرم در لیتر (KCL6)، کود اسید آمینه یک میلی‌لیتر در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر (AAF1+KCL2).

Figure 1. Interaction effect of foramsulfuron + iodosulfuron and biostimulants and potassium chloride on maize (A) and redroot pigweed (B) mortality. Seaweed extract 4 ml L⁻¹ (SWE4), Seaweed extract 12 ml L⁻¹ (SWE12), Amino acid fertilizer 1 ml L⁻¹ (AAF1), Amino acid fertilizer 3 ml L⁻¹ (AAF3), Potassium chloride 2 g L⁻¹ (KCL2), Potassium chloride 6 g L⁻¹ (KCL6), and Amino acid fertilizer 1 ml L⁻¹ plus Potassium chloride 2 g L⁻¹ (AAF1+KCL2). Observed (Obs.) and predicted (Pre.). Similar letters indicate no significant difference at the 5% probability level. Bars indicate the standard error.

کودهای محرک رشد زیستی گروهی از کودها با منشأ طبیعی هستند که به واسطه دارا بودن مولکول‌هایی مانند اسیدهای آمینه، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، پلی‌ساکاریدها، ویتامین‌ها و بسیاری دیگر از ماکرومولکول‌های زیستی باعث بهبود رشد و نمو گیاه زراعی و افزایش عملکرد آنها می‌شوند. نتایج تحقیقات نشان‌دهنده تأثیر مثبت کاربرد محرک‌های زیستی بر رشد و عملکرد ذرت (Basavaraja et al., 2018)، کلم بروکلی (Manea & Ulameer Abbas, 2018)، گوجه‌فرنگی (Yao et al., 2020) و برنج (Layek et al., 2018) بوده است. در تحقیق حاضر نیز کاربرد محرک‌های زیستی باعث بهبود رشد ذرت و تاج خروس شد. یافته‌ها نشان داد زیست‌توده، سطح برگ و کلروفیل کل ذرت به واسطه کاربرد کودها در شرایط بدون کاربرد علف‌کش، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد بدون کود و علف‌کش نشان داد (جدول ۳)، ولی حجم ریشه فقط با کاربرد عصاره جلبک دریایی شش و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر نسبت به شاهد عدم کاربرد کود (۱۹۴ سانتی‌متر مکعب) افزایش معنی‌داری در مقادیر به ترتیب ۴۴۴ و ۵۷۸ سانتی‌متر مکعب نشان داد که بیش از دو برابر شاهد بود (جدول ۳). کاربرد کود محرک‌های زیستی تغییر معنی‌داری در غلظت کارتنوئید ایجاد نکرد (جدول ۳)؛ هر چند کاربرد کودها باعث افزایش معنی‌داری در غلظت کلروفیل کل شد ولی این افزایش در تیمار کود اسید آمینه یک میلی‌لیتر در لیتر به علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر، در مقدار ۵/۹ گرم در گرم وزن تازه برگ ذرت نسبت به شاهد

بدون مصرف کود، ۴/۵ گرم در گرم وزن تازه برگ ذرت به دست آمد (جدول ۳).

کاربرد دیگر محرک‌های رشد زیستی موجب کاهش یا برطرف نمودن تأثیر منفی تنش‌های زیستی و غیر زیستی بر رشد و نمو گیاهان زراعی به واسطه تقویت سیستم‌های دفاعی، بهبود جذب مواد مغذی، تعدیل متابولیسم و افزایش رشد ریشه می‌شود (Bulgari et al., 2019; Drobek et al., 2019). به طوری که به واسطه انجام اختلاط محرک‌های رشد زیستی با علف‌کش‌های انتخابی، از شدت تنش‌های حاصل از این علف‌کش‌ها بر گیاهان زراعی کاسته شده است (Matysiak et al., 2018; Soltani et al., 2015a; Neshev et al., 2021).

در تحقیق حاضر اختلاط محرک‌های زیستی و کلرید پتاسیم با فورام سولفورون + یدوسولفورون باعث کاهش تنش کاربرد علف‌کش بر ذرت شد. هر چند با افزایش دُز فورام سولفورون + یدوسولفورون تنش افزایش یافت؛ ولی اختلاط محرک‌های زیستی شامل عصاره جلبک دریایی یا کود اسید آمینه و حتی کلرید پتاسیم از شدت صدمه به بوته‌های ذرت کاست. از بین محرک‌های رشد زیستی، اختلاط کود اسید آمینه با علف‌کش کارایی بالاتری نسبت به عصاره جلبک دریایی در کاهش تنش در بوته‌های ذرت نشان داد و اضافه نمودن کلرید پتاسیم به این اختلاط باعث کاهش چشمگیر تنش علف‌کش در بوته‌های ذرت شد. در مورد زیست‌توده ذرت، اختلاط کلرید پتاسیم ۱۲ گرم در لیتر و همچنین اسید آمینه یک میلی‌لیتر در لیتر با مقدار توصیه شده علف‌کش باعث افزایش معنی‌دار

زیست‌توده ذرت در مقادیر به‌ترتیب ۳۶۲ و ۳۰۷ گرم در بوته نسبت به شاهد بدون کود ۲۱۳ گرم در بوته شد (جدول ۳). هر چند حجم ریشه ذرت با کاربرد علف‌کش ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار تغییر معنی‌داری نداشت؛ ولی اختلاط عصاره جلبک دریایی افزایش معنی‌داری در حجم ریشه ذرت (۵۶۳ سانتی‌متر مکعب) نسبت به شاهد کاربرد علف‌کش ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار بدون کود (۱۰۹/۵ سانتی‌متر مکعب) ایجاد کرد (جدول ۳). اختلاط کود اسیدآمین به یک و سه میلی‌لیتر در لیتر با فورام-سولفورون و یدوسولفورون ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل کل ذرت نسبت به شاهد علف‌کش بدون کود در دُز مذکور شد (جدول ۳). مؤثرترین ترکیبات کودی در کاهش مرگ و میر بوته‌های ذرت، کودهای کلرید پتاسیم شش گرم در لیتر، اسیدآمین سه میلی‌لیتر در لیتر و اسیدآمین یک میلی‌لیتر در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر بودند که کارایی بالاتری نسبت به سایر تیمارهای اختلاط کودی در افزایش تحمل بوته‌های ذرت به علف‌کش را داشت (شکل ۱A).

این روند در مقادیر ۹۳ و ۱۳۹/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار علف‌کش فورام-سولفورون + یدوسولفورون در سطح برگ و زیست‌توده ذرت نیز مشهود بود، ولی با افزایش مقدار مصرف علف‌کش به ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار حتی اختلاط ترکیبات کودی نیز نتوانست تأثیر چندانی در کاهش صدمه علف‌کش به گیاه زراعی داشته باشد. اختلاط با کود در برخی موارد باعث صدمه بیشتر به ذرت شد، به‌طوری‌که با اختلاط عصاره جلبک دریایی شش و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر و اسیدآمین یک و سه

میلی‌لیتر در لیتر با فورام-سولفورون + یدوسولفورون در مقادیر ۱۳۹/۵ و ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار، غلظت کلروفیل کل و کارتنوئید ذرت به‌شدت کاهش یافت و حتی در اختلاط عصاره جلبک دریایی شش و ۱۲ میلی‌لیتر در لیتر با ۱۸۶ گرم ماده مؤثره در هکتار به صفر رسید (جدول ۳). طبق نتایج پژوهش حاضر اختلاط ترکیب اسیدآمین یک گرم در لیتر به‌علاوه کلرید پتاسیم دو گرم در لیتر با دُز توصیه‌شده علف‌کش فورام-سولفورون + یدوسولفورون ۴۶/۵ گرم ماده مؤثره در هکتار باعث جلوگیری از ایجاد تنش در ذرت شد.

نتایج یک پژوهش نشان داد اختلاط کود محرک رشد زیستی با استفاده از گلایفوسیت پس از سبز شدن سویای مقاوم به گلایفوسیت باعث کاهش آسیب برگ و جلوگیری از کاهش عملکرد شد (Constantin et al., 2016). در پژوهشی افزودن محرک‌های زیستی به علف‌کش باعث افزایش محتوای گلوتن در دانه‌های گندم زمستانه شد (Matysiak et al., 2018). در مقابل، برخی از مطالعات نشان داد که اختلاط کودهای محرک رشد زیستی با علف‌کش‌ها تأثیری بر تحمل گیاه به علف‌کش‌های انتخابی و آسیب در برخی محصولات مانند سویا (Soltani et al., 2016) نداشت. همچنین، افزودن محرک‌های زیستی به بروموکسینیل + ام‌سی‌پ‌آ (Bromoxynil + MCPA) تأثیر معنی‌داری بر آسیب محصول و عملکرد جو دوسر یا گندم زمستانه نداشت (Soltani et al., 2015a) یا در آزمایشی مشابه بر لوبیا سفید اثر مختصری مشاهده شد (Soltani et al., 2015b). در مجموع،

اختلاط محرک‌های رشد به بیش از ۱۰۰ گرم ماده مؤثره در هکتار افزایش یافت (شکل ۱A)؛ در صورتی که طبق برآورد مدل دُز مناسب برای از بین بردن ۱۰۰ درصد بوته‌های تاج خروس، کمتر از ۱۵ گرم ماده مؤثره در هکتار به دست آمد (شکل ۱B). نکته مهم‌تر این بود که کاربرد هیچ کدام از محرک‌های رشد زیستی مورد استفاده در اختلاط با علف کش، تغییری در درصد مرگ و میر تاج خروس ریشه قرمز ایجاد نکرد (شکل ۱B). با توجه به نتایج این تحقیق هر چند اختلاط محرک‌های رشد زیستی و فورام سولفورون + یدوسولفورون باعث جلوگیری از ایجاد تنش در ذرت شد، ولی باعث کاهش کارایی فورام سولفورون + یدوسولفورون در کنترل تاج خروس در هیچ کدام از دزهای علف کش نشد.

علف کش‌های انتخابی به واسطه ایجاد تنش اکسیداسیون باعث مسمومیت گیاه و افت عملکرد آن می‌گردد (Langaro et al., 2017)؛ ولی اختلاط محرک‌های رشد زیستی به واسطه تقویت فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند آسکوربات-پراکسیداز (Ascorbate peroxidase)، گایاکول-پراکسیداز (Guaiacol peroxidase) و کاتالاز (Catalase)، باعث افزایش تحمل گیاه زراعی به آنها می‌شوند (Panfili et al., 2019).

نتیجه‌گیری نهایی

با توجه به نتایج برآورد مدل در تحقیق حاضر با در نظرگیری میزان مرگ و میر بوته‌های ذرت کمتر از پنج درصد، دُز فورام سولفورون + یدوسولفورون، ۶۰ گرم ماده مؤثره در هکتار محاسبه شد که با

منابع

- Aamlid, T.S. Kvalbein, A. and Pettersen, T. 2017. Evaluation of an amino acid-based fertilizer for grow in creeping bentgrass putting greens. Crop Sci. 57: 357-360.
- Alves, C. Costa, E. Sofiatti, J.R. and Forte, C.T. 2018. Effect of herbicides in the oxidative stress in crop winter species. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 90: 1533-1542.
- Basavaraja, P.K. Yogendra, N.D. Zodape, S.T. Prakash, R. and Ghosh. A. 2018. Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize. J. Plant Nutr. 41: 1851-1861.
- Begum, M. Bordoloi, B.C. Singha, D.D. and Ojha, N.J. 2018. Role of seaweed extract on growth, yield and quality of some agricultural crops: A review. Agric. Rev. 39: 321-326.
- Bulgari, R. Franzoni, G. and Ferrante, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. Agron. 9: 306.
- Cobb, A.H. and Reade, P.H.R. 2010. Herbicides and Plant Physiology, 2nd ed.; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 286p.
- Constantin, J. Silvério de Oliveira, Jr.R. Antonio Gheno, E. Fernando Biffe, D. Braga Pereira Braz, G. Weber, F. and Kagueyama Takano, H. 2016. Prevention of yield losses caused by glyphosate in soybeans with biostimulant. Afr. J. Agric. Res. 11: 1601-1607.

- Dear, B.S. Sandral, G.A. Spencer, D. Khan, M.R.I. and Higgins, T.J.V. 2003. The tolerance of three transgenic subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) lines with the *bxn* gene to herbicides containing bromoxynil. *Aust. J. Agric. Res.* 54: 203-210.
- Devkota, P. and Johnson, W.G. 2019. Influence of carrier water pH, foliar fertilizer, and ammonium sulfate on 2,4-D and 2,4-D plus glyphosate efficacy. *Weed Technol.* 33: 562-568.
- Drobek, M. Frac, M. and Cybulska, J. 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress- A review. *Agron.* 9: 335.
- Hiscox, J.D. and Israelstam, G.F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57: 1332-1334.
- Hooker, D.C. Soltani, N. and Sikkema, P.H. 2018. Response of winter wheat to herbicide plus fungicide plus ammonium thiosulphate tank-mixes. *Can. J. Plant Sci.* 98: 1357-1364.
- Langaro, A.C. Agostinetto, D. Ruchel, Q. Rodrigues Garcia, J. and Perboni, L.T. 2017. Oxidative stress caused by the use of preemergent herbicides in rice crop. *Rev. Sci. Agron.* 48: 358-364.
- Lawrence, B.H. Hydrick, H.T. Bond, J.A. Golden, B.R. Allen, T.W. and Sanders, T. 2020. Weed control and soybean (*Glycine max* (L.) Merr) response to mixtures of a blended foliar fertilizer and postemergence herbicides. *Agron.* 10: 1719.
- Layek, J. Das, A. Idupuganti, R.G. Sarkar, D. Ghosh, A. *et al.* 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *J. Appl. Phycol.* 30: 547-558.
- Manea, I.A. and Abed Ulameer Abbas, K. 2018. Influence of seaweed extract, organic and inorganic fertilizer on growth and yield broccoli. *Int. J. Veg. Sci.* 24: 550-556.
- Matysiak, K. Mziniak, W. Kaczmarek, S. and Kierzek, R. 2018. Herbicides with natural and synthetic biostimulants in spring wheat. *Cienc. Rural, Santa Maria.* 48: 1-10.
- Mesarovic, J. Srdic, J. Mladenovic-Drinic, S. Dragicevic, V. Simic, M. Brankov, M. and Milojkovic-Opsenica, D. 2019. Evaluation of the nutritional profile of sweet maize after herbicide and foliar fertilizer application. *J. Cereal Sci.* 87: 132-137.
- NaNa, L. ZongZhuan, S. DongSheng, W. Honglun, Li. Chao, X. Rong, Li. and QiRong, S. 2018. Effects of amino acid organic fertilizer on cucumber yield and soil biological characters. *J. Nanjing Agric. Univ.* 41: 456-464.
- Nelson, K.A. Motavalli, P.P. Stevens, W.E. Kendig, J.A. Dunn, D. and Nathan, M. 2012. Foliar potassium fertilizer additives affect soybean response and weed control with glyphosate. *Int. J. Agron.* 2012: 1-10.
- Neshev, N. Balabanova, D. Yanev, M. Mitkov, A. Tonev, T. and Vasilev, A. 2021. Study on biostimulant application at oilseed rape damaged by simulated herbicide drift. *Bulg. J. Agric. Sci.* 27: 155-160.
- Panfili, I. Luce Bartucca, M. Marrollo, G. Povero, G. and Del Buono, D. 2019. Application of a plant biostimulant to improve maize (*Zea mays*) tolerance to metolachlor. *J. Agric. Food Chem.* 67: 12164-12171.
- Pang, W. Crow, W.T. Luc, J.E. McSorley, R. Giblin-Davis, R.M. Kenworthy, K.E. and Kruse, J.K. 2011. Comparison of water displacement and WinRHIZO software for plant root parameter assessment. *Plant Dis.* 95: 1308-1310.
- Pearson, B.A. Scott, R.C. and Carey, V.F. 2008. Urea ammonium nitrate effects on bispyribac and penoxsulam efficacy. *Weed Technol.* 22: 597-601.
- Radchenko, M. Ponomareva, I. Pozynych, I. and Morderer, Y. 2021. Stress and use of herbicides in field crops. *Agric. Sci. Pract.* 8: 50-70.
- Radkowski, A. 2018. Influence of foliar fertilization with amino acid preparations on morphological traits and seed yield of timothy. *Plant Soil Environ.* 64: 209-213.

- Soltani, N. Shropshire, C. and Sikkema, P.H. 2015a. Effect of biostimulants added to postemergence herbicides in corn, oats and winter wheat. *Agric. Sci.* 6: 527-534.
- Soltani, N. Shropshire, C. and Sikkema, P.H. 2015b. Responses of dry beans to biostimulants added to postemergence herbicides. *Agric. Sci.* 6: 1023-1032.
- Soltani, N. Shropshire, C. and Sikkema, P.H. 2016. Evaluation of biostimulants added to post emergence herbicides in soybean. *Am. J. Plant Sci.* 7: 1729-1740.
- Srinivasarao, C. and Kundu, S. 2017. Potassium management for mitigation of biotic and abiotic stresses in plants under changing climates. *Indian J. Fert.* 13: 46-55.
- Wang, M. Zheng, Q. Shen, Q. and Guo, S. 2013. The critical role of potassium in plant stress response. *Int. J. Mol. Sci.* 14: 7370-7390.
- Xu, C. and Mou, B. 2017. Drench application of fish-derived protein hydrolysates affect lettuce growth, chlorophyll content, and gas exchange. *Hort. Technol.* 27: 539-543.
- Yao, Y. Wang, X. Chen, B. Zhang, N. and Ma, J. 2020. Seaweed extract improved yields, leaf photosynthesis, ripening time, and net returns of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). *ACS Omega.* 5: 4242-4249.
- Zollinger, R.K. Howatt, K. Bernards, M.L. and Young, B.G. 2016. Ammonium sulfate and dipotassium phosphate as water conditioning adjuvants, in *Pesticide Formulation and Delivery Systems: 35th Volume, Pesticide Formulations, Adjuvants, and Spray Characterization in 2014*, ed. G. Goss (West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016), 42-51.