

بررسی نقش افزایش حلالیت فسفر بر کیفیت بذرهاى تولیدی

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)سید محمد سیدی^{۱*}، محمد خواجه حسینی^۱، پرویز رضوانی مقدم^۱ و حمید شاهنده^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸)

چکیده

به منظور بررسی نقش تغذیه فسفر گیاه مادری بر کیفیت بذرهاى تولیدی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در خاک آهکی، سه آزمایش در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا گردید. آزمایش‌های اول و دوم به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۲۱ تیمار طراحی شد. هفت تیمار شاهد، ورمی کمپوست، گوگرد، ورمی کمپوست+ گوگرد، ورمی کمپوست+ باکتری تیوباسیلوس، گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس و ورمی کمپوست+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع دی فسفات آمونیوم) به ترتیب عامل اول و دوم بودند. آزمایش اول شامل یک دوره ۶۳ روزه به منظور اعمال اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد بود و در پایان این دوره، کشت بذرهاى سیاهدانه انجام گرفت. پس از تعیین درصد سبز شدن در آزمایش دوم، آزمایش سوم اجرا شد. در آزمایش سوم، اعمال پرایمینگ (آب مقطر، محلول ۵۰۰ میلی‌مولار فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم و عدم پرایمینگ) در تیمارهای با درصد سبز شدن کمتر از ۶۰٪، همراه با تیمار شاهد (تیماری که در آزمایش دوم از بیشترین درصد سبز شدن برخوردار بود) به عنوان تیمارهای آزمایش در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج آزمایش‌های اول و دوم، کاربرد ورمی کمپوست+ باکتری تیوباسیلوس و نیز ورمی کمپوست+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس اثر معنی‌داری در بهبود وزن دانه در بوته و شاخص‌های کیفی بذر مانند درصد سبز شدن و بنیه بذر داشتند. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه با مقدار فسفر قابل جذب در خاک و فسفر بوته مادری مشاهده شد. در آزمایش سوم نیز تیمار پرایمینگ با محلول ۵۰۰ میلی‌مولار فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار درصد و کاهش متوسط زمان سبز شدن بذرها شد.

واژه‌های کلیدی: پرایمینگ عناصر غذایی، بنیه بذر، آزمون RE، متوسط زمان سبز شدن

مقدمه

استفاده زیادی می‌شود (۱۲ و ۲۹). همچنین، گزارش‌های متعددی در ارتباط با خاصیت قوی آنتی‌اکسیدانی (۱۶)، ضد التهابی، ضد درد و ضد تب سیاهدانه (۱۰) ارائه شده است. فسفر بعد از نیتروژن مهم‌ترین عنصر در تغذیه گیاهی بوده و برخلاف نیتروژن که در رشد رویشی گیاه مهم است، در رشد زایشی و تشکیل گل، میوه و بذر مهم‌تر و مؤثرتر می‌باشد

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) متعلق به خانواده آلانه (Ranunculaceae) گیاهی یک‌ساله و علفی بوده که در مناطق خشک و نیمه خشک ایران رشد می‌کند (۱۳ و ۱۷). از بذرهاى این گیاه دارویی در طب سنتی و علوم داروشناسی در درمان بیماری‌هایی مانند برونشیت، سردرد، روماتیسم و آنفولانزا

۱. دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه علوم خاک و گیاه، دانشگاه تگزاس، آمریکا

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: se.seyyedi@stu-mail.um.ac.ir

(۷ و ۳۷). شرایط تغذیه‌ای گیاه مادری از نظر بهبود جذب عناصر غذایی مانند فسفر، از عوامل مؤثر بر عملکرد و شاخص‌های کیفی بذرهای گیاهان زراعی، مانند سرعت پیری و بنیه، بوده که می‌تواند رشد گیاهچه‌های حاصل را به طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد (۲، ۲۵ و ۳۲). محدودیت تغذیه‌ای گیاه مادری می‌تواند باعث تفاوت بین جوانه‌زنی و سبز شدن یک توده بذری شده و هر چه شرایط تغذیه‌ای گیاه مادری نامطلوب‌تر باشد، به دلیل تولید گیاهچه‌های ضعیف و غیر طبیعی، این تفاوت بیشتر می‌شود (۵). در این راستا، ساستری و همکاران (۳۱) ضمن بهبود عملکرد دانه پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، افزایش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و نیز بنیه بذرهای تولید شده توسط بوته‌های مادری را تحت تأثیر کاربرد اصولی فسفات آمونیوم مشاهده کردند.

یکی از مؤثرترین عوامل در حلالیت، فراهمی و میزان جذب فسفر توسط گیاهان زراعی، اسیدیته خاک است (۴)، به طوری که در خاک‌های آهکی، فسفر محلول در خاک ممکن است تحت واکنش با ترکیبات کربناتی به شکل غیر قابل جذب تبدیل شود (۲۳ و ۳۵). از این رو، کاهش قابلیت جذب این عنصر در خاک‌های آهکی مناطق نیمه خشک می‌تواند بر شاخص‌های کیفی و فیزیولوژیک بذرهای تولیدی تأثیر منفی داشته باشد. با در نظر گرفتن نقش ویژه فسفر در مکانیسم رشد زایشی سیاهدانه (۱۵، ۲۶ و ۳۶)، به نظر می‌رسد مجموعه عوامل مؤثر بر افزایش حلالیت و جذب فسفر در یک خاک آهکی مانند اکسیداسیون گوگرد و ایجاد شرایط اسیدی در خاک (۴، ۱۸ و ۳۰) و نیز فراهمی نسبی عناصر غذایی از منابع کودهای آلی (۱) بتواند در بهبود رشد و نیز شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه مؤثر باشد.

در شرایط رشد گیاه مادری با محدودیت نسبی فسفر، بنیه بذر تولیدی را می‌توان به کمک انواع روش‌های پرایمینگ بذر (*Seed priming*) بهبود بخشید، به طوری که با اعمال این تیمارها می‌توان باعث افزایش سرعت، یکنواختی جوانه‌زنی و

رشد گیاهچه‌ها و همچنین بهبود توانایی در جذب عناصر غذایی از خاک شد (۳ و ۳۳). پرایمینگ عناصر غذایی (*Nutrient priming*) از جمله این روش‌ها بوده که در آن بذرهای تولیدی در محلول‌های دارای عنصری قرار می‌گیرند که کمبود آن عنصر در زمان رشد گیاه مادری وجود داشته است (۹ و ۲۸). در این ارتباط، ایجوری و همکاران (۹) مشاهده کردند که در شرایط رشد گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) در خاک آهکی دچار کمبود فسفر و روی، پرایمینگ تغذیه‌ای با محلول دارای فسفر، نقش مؤثری در افزایش معنی‌دار غلظت فسفر، درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های حاصل داشت.

این آزمایش با هدف بررسی نقش تغذیه فسفر گیاه مادری بر کیفیت بذرهای تولیدی سیاهدانه در خاک آهکی انجام شد. بررسی نقش پرایمینگ بذر بر شاخص‌های کیفی بذرهای تولید شده سیاهدانه در شرایط ذکر شده نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در سه سری آزمایش جداگانه اجرا شد.

آزمایش اول

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد (دمای شب و روز به ترتیب ۲۵ و ۱۷ درجه سلسیوس) با سه تکرار اجرا گردید. هفت تیمار شاهد، ورمی‌کمپوست، گوگرد، ورمی‌کمپوست+ گوگرد، ورمی‌کمپوست+ باکتری تیوباسیلوس، گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس و ورمی‌کمپوست+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۱۰۵ و ۲۱۰ میلی‌گرم دی‌فسفات آمونیوم در هر گلدان با خاکی به وزن ۱/۴ کیلوگرم معادل صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار) به ترتیب عامل اول و دوم آزمایش بودند. آزمایش اول شامل یک دوره ۶۳ روزه به منظور اعمال اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد بود و در پایان این دوره، کشت بذرهای سیاهدانه انجام گرفت.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی کمپوست مورد استفاده در آزمایش

| نمونه | رس (%) | سیلت (%) | شن (%) | pH | کربنات کلسیم (%) | هدایت الکتریکی (mmhos/cm) | فسفر کل (%) | فسفر قابل جذب (mg/kg) |
|-------------|--------|----------|--------|------|------------------|---------------------------|-------------|-----------------------|
| خاک | ۴۸/۴۶ | ۳۱/۹۵ | ۱۹/۵۹ | ۸/۳۹ | ۱۱/۱۷ | ۰/۷۵ | ۰/۰۵۶ | ۱۰/۵۹ |
| ورمی کمپوست | - | - | - | ۸/۲۴ | - | ۸/۱۵ | ۱/۱۳ | ۱۳۸/۱۳ |

جدول ۲. برخی خصوصیات بذر سیاهدانه مورد استفاده در آزمایش

| محل تولید | سال تولید | وزن هزار دانه (گرم) | جوانه‌زنی (%) | متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) | گیاهچه‌های نرمال (%) |
|-------------|-----------|---------------------|---------------|----------------------------|----------------------|
| توده اصفهان | ۱۳۹۱ | ۲/۵۹ | ۹۸ | ۴/۸۵ | ۸۳ |

طول دوره رشد، آبیاری گلدان‌ها مشابه مرحله پیش از کاشت، انجام شد. همچنین، پیش از گل دهی، کود نیتروژن به صورت سرک به گلدان‌ها اسپری شد.

همزمان با مرحله رسیدگی سیاهدانه در دوم خرداد ماه ۱۳۹۲، وزن هزار دانه، وزن دانه در اندام هوایی بوته، غلظت فسفر در اندام هوایی بوته و مقدار فسفر در اندام هوایی بوته تعیین شد. غلظت فسفر به روش هضم خشک و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد (۶). مقدار فسفر در اندام هوایی نیز از رابطه وزن خشک اندام هوایی در غلظت فسفر اندام هوایی به دست آمد (۶ و ۲۴).

آزمایش دوم

با تولید بذر سیاهدانه در آزمایش اول و مشاهده عدم خواب این بذرها، شاخص‌های فیزیولوژیک کیفیت بذر سیاهدانه به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی و با چهار تکرار ارزیابی گردید. جهت تعیین درصد جوانه‌زنی (۲۰)، متوسط زمان جوانه‌زنی (۲۲) و درصد گیاهچه‌های نرمال، بذرهای حاصل از بوته‌های مادری به مدت ۱۴ روز و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس ژرمیناتور قرار گرفتند. بنیه بذرهای سیاهدانه نیز بر اساس آزمون RE (Radicle Emergence) اندازه‌گیری شد (۲۱).

به منظور تعیین درصد و متوسط زمان سبز شدن (۱۴ و ۲۲)، در یک دوره ۲۱ روزه، بذرهای حاصل در گلدان‌های مورد

در تیمارهای مورد نظر، ورمی کمپوست به میزان ۵/۰ درصد وزن خاک (۷ گرم ورمی کمپوست در هر گلدان، یعنی معادل ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار) اعمال شد. گوگرد عنصری میکرونیزه به میزان ۱٪ وزن خاک (۲۰ تن گوگرد در هکتار و مساوی با ۱۴ گرم گوگرد در هر گلدان) استفاده شد. به دلیل استفاده از دی‌فسفات آمونیوم به عنوان منبع فسفر و در نتیجه متفاوت بودن میزان نیتروژن اضافه شده به گلدان‌ها، به تیمارهای سطح صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، به ترتیب ۹۲، ۴۶ و صفر میلی‌گرم کود اوره اعمال گردید تا به تمامی گلدان‌ها نیتروژن مساوی داده شده باشد. با در نظر گرفتن جنبه‌های کاربردی از نظر تأثیر جامعه میکروارگانیسم‌های طبیعی خاک بر واکنش اکسیداسیون گوگرد، از استریل کردن خاک مورد مطالعه جهت از بین بردن این میکروارگانیسم‌ها خودداری شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ورمی کمپوست مورد استفاده در این آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

آبیاری گلدان‌ها در طول دوره اکسایش خاک (یک دوره ۶۳ روزه پس از اعمال تیمارها) بر اساس روش وزنی و با آب مقطر هر چهار روز یک‌بار انجام شد. با گذشت ۶۳ روز از شروع دوره، بذرهای سیاهدانه (با مشخصات ذکر شده در جدول ۲) در چهارم اسفندماه ۱۳۹۱ در گلدان‌های مورد مطالعه کشت شدند.

تعداد نهایی بوته‌ها در گلدان‌ها چهار عدد تعیین شد. در

تجزیه آماری داده‌های هر سه آزمایش با نرم‌افزارهای SAS 9.1 و Mstat-C و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵٪ مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

آزمایش‌های اول و دوم

مقایسه شاخص‌های فیزیولوژیک کیفیت بذرهای سیاهدانه تحت تأثیر اثرهای متقابل مقدار فسفر و منابع تأمین کننده فسفر در جدول ۳ آورده شده است. نتایج آزمایش در سطح صفر کیلوگرم کاربرد فسفر حاکی از تأثیر معنی‌دار کاربرد گوگرد به تنهایی و یا همراه با باکتری تیوباسیلوس در افزایش وزن هزار دانه و نیز وزن دانه در بوته سیاهدانه در مقایسه با تیمار شاهد بود. با این وجود، کاربرد تیمارهای دارای ورمی کمپوست در مقایسه با گوگرد به تنهایی و یا همراه با باکتری تیوباسیلوس نقش بیشتری در افزایش معنی‌دار شاخص‌های ذکر شده داشته است.

بیشترین تأثیر در افزایش وزن هزار دانه و وزن دانه در بوته، با مصرف یا عدم مصرف فسفر، در نتیجه کاربرد ورمی کمپوست (به عنوان منبع آلی فسفر) همراه با گوگرد و یا گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس مشاهده شد (جدول ۳). یادگاری و برزگر (۸) نیز افزایش دو برابری وزن خشک در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را تحت تأثیر کاربرد کود آلی+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس مشاهده کردند.

مشابه وزن دانه در بوته، در شرایط عدم مصرف کود فسفر، کاربرد گوگرد به تنهایی و یا همراه با باکتری تیوباسیلوس نقش معنی‌داری در افزایش غلظت فسفر در بوته (گرم در کیلوگرم) و مقدار فسفر در بوته مادری سیاهدانه (میلی گرم) در مقایسه با تیمار شاهد داشت، به طوری که در نتیجه کاربرد گوگرد و نیز گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس، مقدار فسفر در بوته مادری سیاهدانه (به ترتیب ۸۷٪ و ۱/۰۱ میلی گرم) در مقایسه با شاهد (۵۱٪ میلی گرم) تا حدود دو برابر افزایش یافت (جدول ۳).

نظر و در شرایط کنترل شده گلخانه کشت شدند. بر خلاف آزمایش اول، خاک گلدان‌ها در این آزمایش و آزمایش سوم، حاکی با بافت و ماده آلی مناسب بود تا تفاوت بین تیمارها از نظر شاخص‌های مورد بررسی تنها ناشی از شرایط تغذیه‌ای در طول دوره رشد گیاه مادری باشد (۳۲). متوسط زمان جوانه‌زنی و متوسط زمان سبز شدن از معادلات ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند:

$$MGT = \sum n.T / \sum n \quad [1]$$

که n تعداد بذرهای جدید جوانه‌زده در روز T ، T تعداد روزها از آغاز جوانه‌زنی و MGT متوسط زمان جوانه‌زنی است. معیار جوانه‌زنی بر حسب اندازه دو میلی متری ریشه‌چه می‌باشد.

$$MET = \sum n.T / \sum n \quad [2]$$

که n تعداد گیاهچه سبز شده، T تعداد روز تا سبز شدن و MET متوسط زمان سبز شدن است. معیار سبز شدن بر حسب مشاهده اولین اندام‌های سبز گیاهچه در سطح خاک می‌باشد.

آزمایش سوم

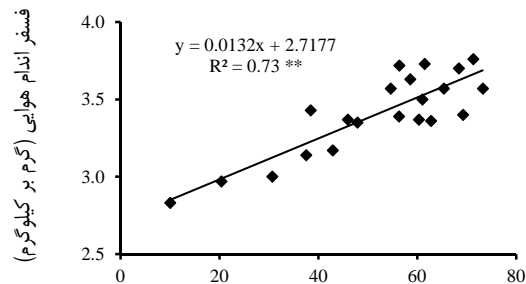
با تعیین درصد سبز شدن در آزمایش دوم، پرایمینگ بذر روی تیمارهای با درصد سبز شدن کمتر از ۶۰٪ صورت گرفت. اعمال پرایمینگ (آب مقطر، محلول ۵۰۰ میلی مولار فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم (KH_2PO_4) معادل ۶/۸ درصد فسفر و عدم پرایمینگ) روی تیمارهای با درصد سبز شدن کمتر از ۶۰٪، همراه با تیمار شاهد (تیماری که در نتیجه اجرای آزمایش دوم از بیشترین درصد سبز شدن برخوردار بود) به عنوان تیمارهای این آزمایش در نظر گرفته شدند. جهت مقایسه تیمارهای ذکر شده از طرح کامل تصادفی با چهار تکرار استفاده شد.

جهت اعمال پرایمینگ، بذرها به ترتیب ۴۸ و ۱۲ ساعت در آب مقطر و محلول ۵۰۰ میلی مولار فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم قرار گرفتند (۹). پس از اعمال پرایمینگ عناصر غذایی، بذرها کاملاً با آب مقطر شسته شده و سپس به منظور رسیدن به رطوبت اولیه در محیط آزمایشگاه خشک شدند (۳۴). سایر شرایط کاشت بذرها در گلخانه، تعیین درصد و متوسط سبز شدن در این مطالعه مشابه آزمون دوم بود.

متوسط زمان جوانه‌زنى و نیز افزایش ۳۳ درصدی گیاهچه‌هاى نرمال در آزمایشگاه شد. همچنین، کاهش معنی‌دار متوسط زمان جوانه‌زنى (تا ۲۸٪)، افزایش بنیه بذر (تا دو برابر) و درصد گیاهچه‌هاى نرمال در آزمایشگاه (تا ۴۶٪) در نتیجه اعمال تیمارهاى دارای ورمی کمپوست، به ویژه ورمی کمپوست همراه گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس به دست آمد (جدول ۳). مشابه شاخص بنیه بذر، اعمال تیمارهاى ذکر شده در افزایش میزان فسفر خاک منجر به افزایش معنی‌دار درصد سبز شدن و کاهش متوسط زمان سبز شدن بذرهاى سیاهدانه حاصل از بوته مادری شد (جدول ۳). همچنین، با توجه به اهمیت فسفر در کیفیت بذرهاى تولیدی (۳۷)، تأثیر معنی‌دار تیمارهاى دارای گوگرد و باکتری تیوباسیلوس، به ویژه همراه با ورمی کمپوست، بر بنیه بذر، می‌تواند توجهی در ارتباط با نقش مؤثر کاربرد تیمارهاى ذکر شده بر حلالیت و جذب فسفر و در نتیجه افزایش معنی‌دار درصد سبز شدن و کاهش معنی‌دار متوسط زمان سبز شدن باشد (جدول ۳). از این رو، در خاک‌هاى آهکی با درصد زیاد کربنات کلسیم (جدول ۱)، اکسیداسیون گوگرد در کنار مصرف ورمی کمپوست می‌تواند به عنوان یکی از راه‌کارهاى مؤثر جهت افزایش میزان حلالیت فسفر و در نتیجه بهبود عملکرد کیفی بذرهاى سیاهدانه در نظر گرفته شود.

بر اساس نتایج آزمایش، همبستگی معنی‌دارى ($P < 0.01$) بین مقدار فسفر قابل جذب خاک با مقدار فسفر در بوته مادری سیاهدانه به دست آمد (شکل ۱).

رابطه بین مقدار فسفر بوته (گرم بر کیلوگرم) با شاخص‌هاى مورد مطالعه بذر سیاهدانه در شکل‌هاى ۲ و ۳ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۲، با وجود عدم تأثیر مقدار فسفر قابل جذب بر درصد جوانه‌زنى نهایی، همبستگی مثبت و معنی‌دارى بین فسفر قابل جذب در گیاه مادری با درصد جوانه‌زنى از روز چهارم تا روز نهم (از زمان کاشت) مشاهده شد. در بین روزهاى آزمایش نیز بیشترین همبستگی ($R^2 = 0.66$) بین درصد جوانه‌زنى با مقدار فسفر اندام هوایی (گرم بر کیلوگرم) در روز پنجم به دست آمد (شکل ۲). از این رو، بر اساس



فسفر قابل جذب خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)

شکل ۱. رابطه بین میزان فسفر قابل جذب خاک در زمان کاشت (پایان دوره اکسایش) با غلظت فسفر در اندام هوایی سیاهدانه (**): معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪)

همچنین، در هر سه سطح کاربرد فسفر، بیشترین افزایش در غلظت و مقدار فسفر بوته مادری سیاهدانه در تیمارهاى ورمی کمپوست+ گوگرد و نیز ورمی کمپوست+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس به دست آمد (جدول ۳). برتری تیمارهاى ذکر شده می‌تواند ناشی از اثرهاى مفید کاربرد ورمی کمپوست در خاک‌هاى آهکی به دلیل فراهمی متعادل عناصر غذایی مانند فسفر (۱) و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کنار نقش مؤثر اکسیداسیون گوگرد در افزایش حلالیت فسفر باشد (۴ و ۲۷). همچنین، نقش کود ورمی کمپوست به عنوان منبع انرژی برای فعالیت بیشتر باکتری‌هاى اکسیدکننده گوگرد و تولید اسیدهاى آلی مانند اسید سیتریک و اسید اگزالیک ناشی از فرایند تجزیه این کود آلی نیز می‌تواند مورد توجه باشد (۶).

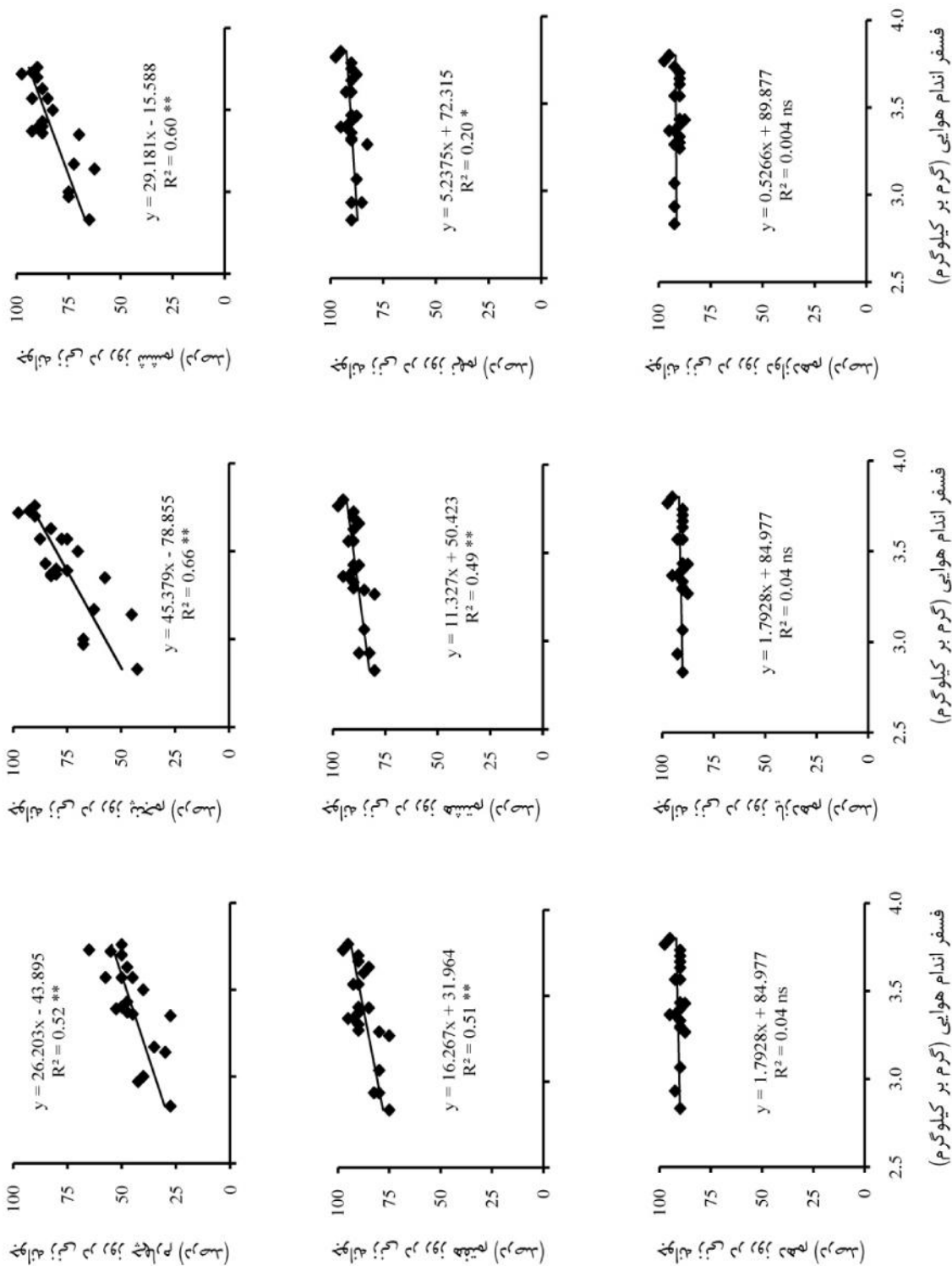
بر اساس مطالعه شاخص‌هاى کیفی بذر سیاهدانه، نتایج آزمایش حاکی از عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهاى مورد مطالعه بر درصد جوانه‌زنى نهایی بذرهاى حاصل از بوته‌هاى مادری سیاهدانه بود (جدول ۳). از نظر شاخص بنیه بذر، با وجود عدم تأثیر کاربرد گوگرد در سطح صفر کیلوگرم کاربرد فسفر، تأثیر معنی‌دارى در افزایش بنیه بذرهاى سیاهدانه در نتیجه کاربرد گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس در مقایسه با تیمار شاهد (تا ۴۷ درصد) مشاهده شد (جدول ۳).

علاوه بر این، در هر سه سطح کاربرد کود فسفر، گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس به طور معنی‌دارى تا ۱۶٪ منجر به کاهش

جدول ۳. مقایسه میانگین شاخص‌های کیفیت بذر سیاهدانه تحت تأثیر اثرهای متقابل مقدار فسفر و منابع کودی

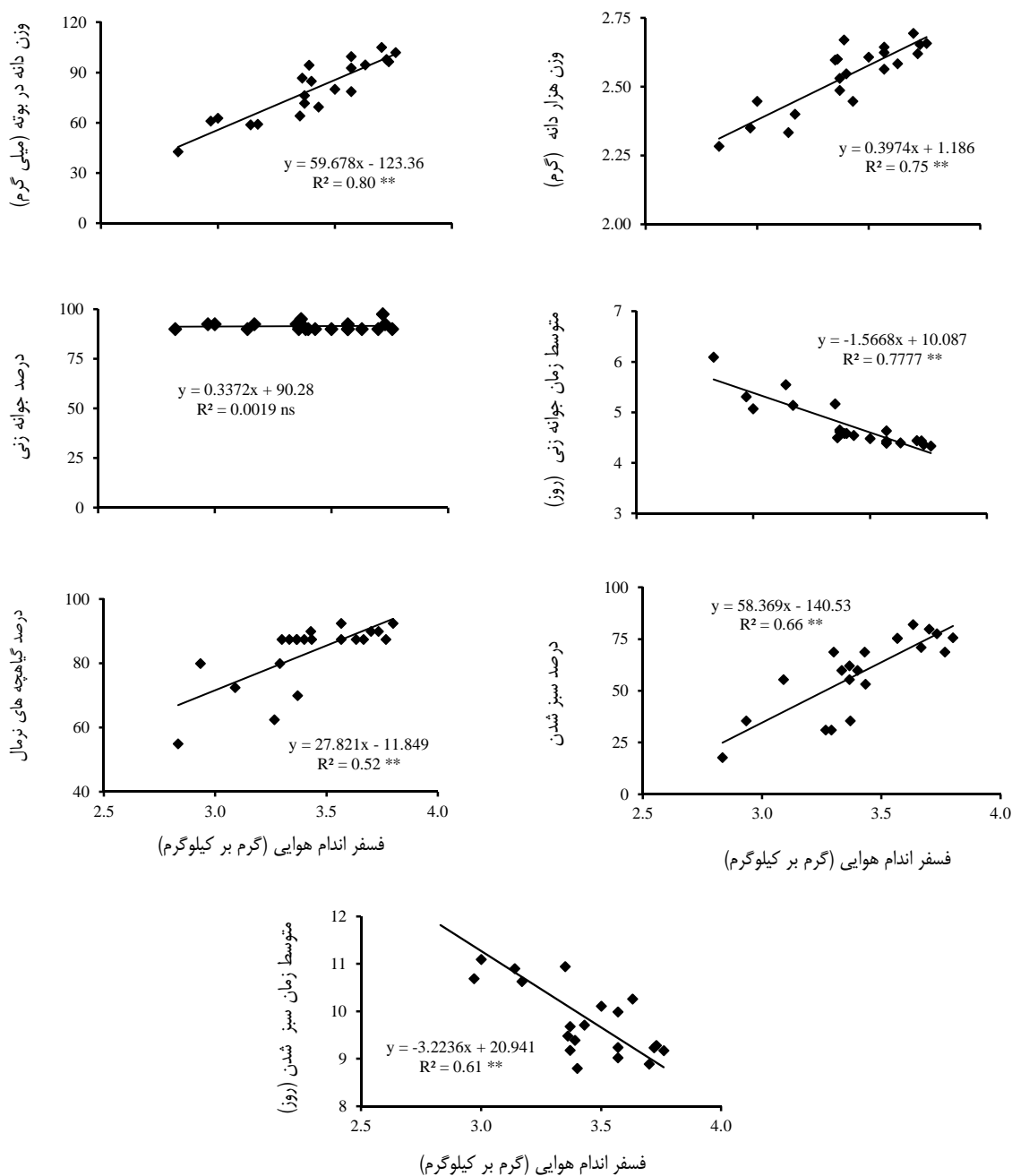
| آزمایش دوم (گلخانه) | | آزمایش اول (گلخانه) | | آزمایش دوم (آزمایشگاه) | | آزمایش اول (آزمایشگاه) | | مقدار فسفر | | مقدار فسفر | | مقدار فسفر | | مقدار فسفر | | مقدار فسفر | | مقدار فسفر | |
|---------------------|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------|-------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| متوسط | سبزی شدن (درصد) | زمان سبزی شدن (روز) | بیشه بذر (آزمون RE) | متوسط | زمان | گیاهچه‌های نرمال (درصد) | جوانه‌زنی (درصد) | مقدار فسفر (بسته مادری (میلی گرم)) | غلظت فسفر در بوته مادری (گرم) | مقدار فسفر (بسته مادری (میلی گرم)) | غلظت فسفر در بوته مادری (گرم) | وزن هزار دانه (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) | وزن هزار دانه در بوته مادری (میلی گرم) |
| ۱۳/۵۰a | ۱۷/۷۸i | ۶/۱۰a | ۴۲/۵۰j | ۵۵/۰۰f | ۹۰/۰۰a | ۰/۵۱j | ۲/۸۲i | ۲/۸۲i | ۲/۸۲i | ۴۲/۶۲i | ۲/۸۲i | ۲/۲۸n | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i | ۴۲/۶۲i |
| ۱۰/۸۲b | ۳۵/۵۲h | ۵/۱۷c | ۵۷/۵۰hi | ۷۰/۰۰de | ۹۲/۵۰a | ۱/۱۴fg | ۳/۳۵f | ۳/۳۵f | ۳/۳۵f | ۶۲/۰۷j | ۳/۳۵f | ۲/۶۰efg | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j | ۶۲/۰۷j |
| ۱۰/۹۰bc | ۳۱/۱۱h | ۵/۵۵b | ۴۵/۰۰ij | ۶۲/۵۰ef | ۹۰/۰۰a | ۰/۸۷hi | ۳/۱۲g | ۳/۱۲g | ۳/۱۲g | ۵۸/۲۴k | ۳/۱۲g | ۲/۳۳m | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k | ۵۸/۲۴k |
| ۹/۹۹def | ۷۱/۱۱cd | ۷/۵۰۰d-g | ۷۵/۰۰d-g | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۵۵de | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۷۸/۶۰g | ۳/۵۷cd | ۲/۵۶ghi | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g | ۷۸/۶۰g |
| ۶/۹۶def | ۶۸/۸۹d | ۲/۴۸de | ۷۰/۰۰e-h | ۹۰/۰۰a | ۹۲/۵۰a | ۱/۵۶cd | ۳/۵۰de | ۳/۵۰de | ۳/۵۰de | ۷۹/۹۶g | ۳/۵۰de | ۲/۶۱d-g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g | ۷۹/۹۶g |
| ۱۰/۶۳bcd | ۳۱/۱۱h | ۵/۱۷c | ۶۲/۵۰gh | ۸۰/۰۰bc | ۹۲/۵۰a | ۱/۰۱gh | ۳/۱۷g | ۳/۱۷g | ۳/۱۷g | ۵۹/۲۰k | ۳/۱۷g | ۲/۴۰l | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k | ۵۹/۲۰k |
| ۱۰/۲۶cde | ۸۲/۲۲a | ۸۲/۵۰b-e | ۸۲/۵۰b-e | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۸۸b | ۳/۶۳bc | ۳/۶۳bc | ۳/۶۳bc | ۹۲/۶۵de | ۳/۶۳bc | ۲/۵۸fgh | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de |
| ۱۰/۶۹bc | ۳۵/۵۲h | ۵/۳۱bc | ۶۷/۵۰fgh | ۸۰/۰۰bc | ۹۲/۵۰a | ۰/۸۲i | ۲/۹۷h | ۲/۹۷h | ۲/۹۷h | ۶۱/۰۹jk | ۲/۹۷h | ۲/۲۵m | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk | ۶۱/۰۹jk |
| ۹/۴۸f-i | ۶۰/۰۰ef | ۲/۵۰de | ۸۲/۵۰b-e | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۳۸e | ۳/۳۶f | ۳/۳۶f | ۳/۳۶f | ۸۶/۶۷f | ۳/۳۶f | ۲/۶۰efg | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f | ۸۶/۶۷f |
| ۹/۷۶efg | ۵۲/۳۳g | ۲/۵۵de | ۸۵/۰۰a-d | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۱۵fg | ۳/۴۳ef | ۳/۴۳ef | ۳/۴۳ef | ۶۹/۳۳i | ۳/۴۳ef | ۲/۴۵k | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i | ۶۹/۳۳i |
| ۹/۲۳g-j | ۶۸/۸۹a | ۴/۴۴de | ۹۷/۵۰a | ۸۷/۵۰ab | ۹۷/۵۰a | ۱/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۹۷/۱۱bcd | ۳/۸۲ab | ۲/۶۲c-f | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd | ۹۷/۱۱bcd |
| ۹/۰۲hij | ۷۵/۵۶bc | ۲/۶۴d | ۷۷/۵۰c-f | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۱۱ab | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۹۹/۶۰bc | ۳/۵۷cd | ۲/۶۲b-e | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc | ۹۹/۶۰bc |
| ۹/۶۸e-h | ۶۲/۲۲e | ۴/۶۶d | ۸۲/۵۰b-e | ۸۷/۵۰ab | ۹۵/۰۰a | ۱/۲۵i | ۳/۳۷f | ۳/۳۷f | ۳/۳۷f | ۷۱/۶۸hi | ۳/۳۷f | ۲/۵۲ij | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi | ۷۱/۶۸hi |
| ۸/۸۹ij | ۸۰/۰۰ab | ۴/۴۴de | ۹۰/۰۰abc | ۹۰/۰۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۹۳a | ۳/۷۰ab | ۳/۷۰ab | ۳/۷۰ab | ۱۰۵/۰۴a | ۳/۷۰ab | ۲/۶۹a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a | ۱۰۵/۰۴a |
| ۱۱/۰۹b | ۵۵/۵۶fg | ۵/۰۷c | ۶۷/۵۰fgh | ۷۲/۵۰cd | ۹۲/۵۰a | ۰/۸۹i | ۲/۰۰h | ۲/۰۰h | ۲/۰۰h | ۶۲/۷۹jk | ۲/۰۰h | ۲/۴۵k | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk | ۶۲/۷۹jk |
| ۹/۳۹f-j | ۶۸/۸۹d | ۴/۵۹de | ۷۵/۰۰d-g | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۶۴bc | ۳/۳۹f | ۳/۳۹f | ۳/۳۹f | ۹۲/۳۶de | ۳/۳۹f | ۲/۶۷ab | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de | ۹۲/۳۶de |
| ۹/۱۸g-j | ۵۵/۵۶fg | ۴/۶۲de | ۸۰/۰۰b-f | ۸۷/۵۰ab | ۹۲/۵۰a | ۱/۲۲f | ۳/۳۷f | ۳/۳۷f | ۳/۳۷f | ۷۶/۲۶gh | ۳/۳۷f | ۲/۴۹jk | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh | ۷۶/۲۶gh |
| ۹/۲۸g-j | ۷۵/۵۶bc | ۴/۳۶de | ۹۲/۵۰ab | ۹۲/۵۰a | ۹۲/۵۰a | ۱/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۳/۸۲ab | ۹۶/۳۹cde | ۳/۸۲ab | ۲/۶۵a-d | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde | ۹۶/۳۹cde |
| ۹/۲۳g-j | ۷۵/۵۶bc | ۴/۴۳de | ۸۷/۵۰a-d | ۹۲/۵۰a | ۹۲/۵۰a | ۱/۵۵d | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۳/۵۷cd | ۹۲/۶۵de | ۳/۵۷cd | ۲/۶۲c-f | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de | ۹۲/۶۵de |
| ۸/۸۰j | ۶۰/۰۰ef | ۴/۵۹de | ۸۰/۰۰b-f | ۸۷/۵۰ab | ۹۰/۰۰a | ۱/۴۷de | ۳/۴۰ef | ۳/۴۰ef | ۳/۴۰ef | ۸۴/۸۹f | ۳/۴۰ef | ۲/۵۵hi | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f | ۸۴/۸۹f |
| ۹/۱۷g-j | ۷۷/۸۸bc | ۴/۳۳e | ۹۰/۰۰abc | ۹۰/۰۰a | ۹۰/۰۰a | ۱/۸۹ab | ۳/۷۶a | ۳/۷۶a | ۳/۷۶a | ۱۰۱/۵۵ab | ۳/۷۶a | ۲/۶۶abc | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab | ۱۰۱/۵۵ab |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.



شکل ۲. ارزیابی آزمون بینه بذر (آزمون RE) تحت تأثیر غلظت فسفر در اندام هوایی بومه مادری سیاهدانه

(^{**}، ^{*} و ^{ns} به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم تفاوت معنی دار)



شکل ۳. ارتباط بین غلظت فسفر در اندام هوایی بوته مادری با شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه (** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و عدم تفاوت معنی دار)

آزمون RE، درصد جوانه‌زنی در روز پنجم به عنوان آزمون ارزیابی بینه بذر سیاهدانه در نظر گرفته شد. بر اساس شکل ۴، همبستگی معنی‌دار بین شاخص بینه بذر (درصد جوانه‌زنی در روز پنجم) باشد. طبق نتایج به دست آمده، بجز درصد جوانه‌زنی، سایر

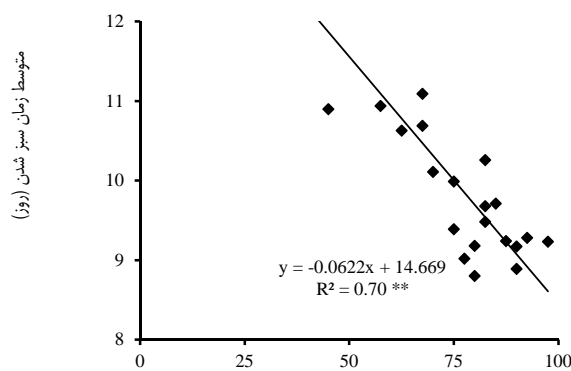
متوسط زمان سبز شدن سیاهدانه ($R^2=0/70$) نیز می‌تواند نشان دهنده اهمیت ارزیابی بینه بذر سیاهدانه بر مبنای آزمون RE (درصد جوانه‌زنی در روز پنجم) باشد. با وزن هزار دانه ($R^2=0/54$)، درصد سبز شدن ($R^2=0/70$) و

شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه همبستگی معنی‌داری با مقدار فسفر در اندام هوایی بوته مادری سیاهدانه داشتند (شکل ۴). به طور کلی، با توجه به نقش مؤثر میزان فسفر بذر در تسریع رشد آغازین ریشه و دسترسی زودتر به منابع، بهبود رشد و استقرار گیاهچه‌ها و در نهایت افزایش عملکرد گیاه زراعی (۳۷) و نیز رابطه مستقیم بین اندازه و وزن بذر با میزان فسفر در بذر (۲۴)، همبستگی مثبت وزن دانه در بوته و وزن هزار دانه سیاهدانه با غلظت فسفر در اندام هوایی بوته مادری سیاهدانه (شکل ۴)، می‌تواند از دلایل بهبود شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه مانند درصد سبز شدن و بنیه بذر تحت تأثیر افزایش میزان فسفر قابل جذب در خاک و گیاه مادری باشد. از این رو، افزایش حلالیت و قابلیت جذب فسفر در خاک‌های آهکی می‌تواند به عنوان یک عامل بسیار مؤثر در بهبود عملکرد و نیز شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه در نظر گرفته شود.

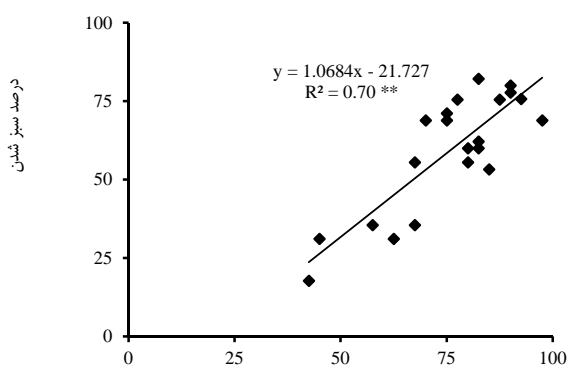
در این ارتباط، تونکتورک و همکاران (۳۶) اظهار داشتند که در خاک‌های قلیایی با میزان فسفر قابل جذب بسیار کم، افزایش جذب فسفر در نتیجه کاربرد کود سوپر فسفات تریپل می‌تواند با افزایش معنی‌دار تعداد و نیز وزن دانه در بوته، منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در سیاهدانه شود. هردلیکوا و همکاران (۱۹) اظهار داشتند که کاهش فراهمی و جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر، در گیاه ترشک (*Rumex obtusifolius ssp.*) می‌تواند علاوه بر تولید بذرهایی با غلظت کم فسفر، منجر به کاهش قابلیت جوانه‌زنی این بذرها شود. بیشنوی و همکاران (۱۱) اظهار داشتند که با افزایش کاربرد سطوح فسفر، ضمن بهبود عملکرد دانه، درصد جوانه‌زنی استاندارد و بنیه بذر سویا (*Glycine max L.*) به طور معنی‌داری افزایش یافت.

آزمایش سوم

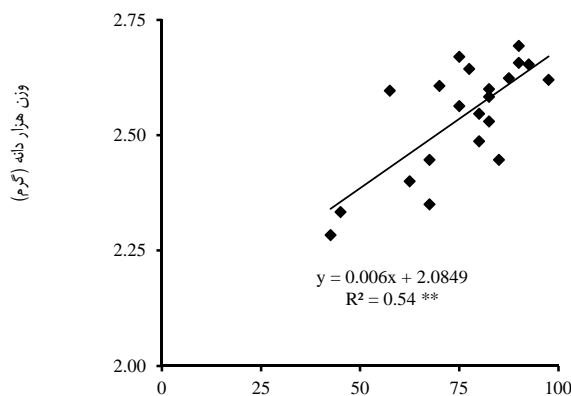
کاربرد غلظت زیاد فسفر در تیمار پرایمینگ (محللول ۵۰۰ میلی‌مولار فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم) به دلیل کم بودن غلظت و مقدار فسفر در اندام هوایی بوته مادری سیاهدانه در آزمایش



درصد جوانه زنی در روز پنجم



درصد جوانه زنی در روز پنجم



درصد جوانه زنی در روز پنجم

شکل ۴. ارتباط بین شاخص ارزیابی بنیه بذر سیاهدانه بر مبنای آزمون RE (درصد جوانه‌زنی در روز پنجم) با وزن هزار دانه، درصد سبز شدن و متوسط زمان سبز شدن (معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪)

جدول ۴. مقایسه میانگین درصد و متوسط زمان سبز شدن بذر سیاهدانه تحت تأثیر تیمارهای مورد مطالعه

| تیمار | پرایمینگ | سبز شدن (درصد) | متوسط زمان سبز شدن (روز) |
|--|------------------------------|----------------|--------------------------|
| | عدم پرایمینگ | ۱۷/۷۸l | ۱۳/۵۰a |
| شاهد | پرایمینگ با آب مقطر | ۲۰/۰۰l | ۱۳/۵۶a |
| | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۴۲/۲۲i | ۱۲/۶۰b |
| ورمی کمپوست | عدم پرایمینگ | ۳۵/۵۶jk | ۱۰/۹۴cd |
| | پرایمینگ با آب مقطر | ۳۳/۳۳jk | ۱۰/۸۴cd |
| گوگرد | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۴۸/۸۹h | ۱۰/۸۱cd |
| | عدم پرایمینگ | ۳۱/۱۱k | ۱۰/۸۲cd |
| گوگرد + باکتری تیوباسیلوس | پرایمینگ با آب مقطر | ۳۵/۵۶jk | ۱۰/۵۷cde |
| | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۵۱/۱۱gh | ۹/۷۱e-h |
| ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار | عدم پرایمینگ | ۳۱/۱۱k | ۱۰/۵۵c-f |
| | پرایمینگ با آب مقطر | ۳۳/۳۳jk | ۱۰/۶۰cde |
| ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + گوگرد | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۶۲/۲۲de | ۱۰/۴۳c-g |
| | عدم پرایمینگ | ۳۵/۵۶jk | ۱۰/۶۹cde |
| ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار | پرایمینگ با آب مقطر | ۳۷/۷۸ij | ۱۰/۲۹d-g |
| | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۵۵/۵۶fg | ۱۰/۲۹ d-g |
| ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + گوگرد | عدم پرایمینگ | ۵۳/۳۳fgh | ۹/۷۱ghi |
| | پرایمینگ با آب مقطر | ۵۵/۵۶fg | ۹/۹۶e-h |
| ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + گوگرد | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۶۴/۴۵cd | ۹/۴۹hij |
| | عدم پرایمینگ | ۵۵/۵۶fg | ۱۱/۰۹c |
| ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + ورمی کمپوست + باکتری تیوباسیلوس | پرایمینگ با آب مقطر | ۵۵/۵۶fg | ۱۱/۰۴cd |
| | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۶۸/۸۹bc | ۹/۷۸f-i |
| ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + ورمی کمپوست | عدم پرایمینگ | ۵۵/۵۶fg | ۹/۱۸ij |
| | پرایمینگ با آب مقطر | ۵۷/۷۸ef | ۹/۴۲hij |
| ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار + ورمی کمپوست + باکتری تیوباسیلوس | پرایمینگ با محلول KH_2PO_4 | ۷۱/۱۱b | ۹/۰۵ij |
| | عدم پرایمینگ | ۸۰/۰۰a | ۸/۸۹j |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۵٪، دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند.

گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس (تیمارهایی که در آزمایش دوم دارای بیشترین درصد سبز شدن بودند) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. از این‌رو، عدم پرایمینگ در تیمار ۳۰ کیلوگرم فسفر در هکتار+ ورمی کمپوست+ گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس به عنوان تیمار شاهد در آزمایش سوم انتخاب شد.

دوم صورت گرفت. تأثیر سطوح پرایمینگ بر درصد و متوسط زمان سبز شدن تیمارهای انتخاب شده از آزمایش دوم (تیمارهایی که در آزمایش دوم دارای درصد سبز شدن کمتر از ۶۰٪ بودند) در جدول ۴ آورده شده است. از نظر درصد سبز شدن نیز بین سه سطح کاربرد فسفر در تیمار ورمی کمپوست+ ورمی کمپوست+ باکتری تیوباسیلوس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

(جدول ۴). به دلیل همبستگی معنی‌دار و زیاد درصد و متوسط زمان سبز شدن با بنیه بذر در آزمایش دوم (شکل ۲)، می‌توان اظهار داشت که در شرایط رشد بوت‌های مادری سیاهدانه از نظر محدودیت فسفر، فراهمی و افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک، به مراتب نقش مؤثرتری در بهبود شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه در مقایسه با پرایمینگ بذر با محلول فسفر دارد.

نتیجه‌گیری

شرایط حاکم در طول دوره تشکیل بذرهای گیاه مادری می‌تواند با تأثیر بر میزان ذخیره عناصر غذایی، در بهبود شاخص‌های کیفی این بذرها و در نتیجه استقرار گیاهچه‌ها در فصل بعدی نقش مؤثری داشته باشد. بر اساس نتایج این آزمایش، در خاک‌های آهکی با میزان زیاد کربنات کلسیم، فراهمی فسفر تحت تأثیر اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد، به‌ویژه همراه با کاربرد ورمی کمپوست، می‌تواند ضمن افزایش وزن دانه، در بهبود شاخص‌های کیفی بذر سیاهدانه مورد توجه باشد. از این رو، می‌توان اظهار داشت که کیفیت بذرهای تولیدی سیاهدانه بتواند به عنوان یک شاخص از وضعیت تغذیه‌ای گیاه مادری در نظر گرفته شود. همچنین، با توجه به همبستگی قابل توجه وزن هزار دانه، درصد و متوسط زمان سبز شدن با درصد جوانه‌زنی در روز پنجم، بر مبنای آزمون RE می‌توان درصد جوانه‌زنی در روز پنجم را به عنوان معیاری جهت ارزیابی بنیه بذرهای سیاهدانه در نظر گرفت.

بر اساس نتایج حاصل، با وجود عدم تأثیر پرایمینگ با آب مقطر در بهبود معنی‌دار درصد و متوسط زمان سبز شدن بذرهای سیاهدانه، نتایج حاکی از نقش مؤثر کاربرد پرایمینگ فسفر در افزایش درصد سبز شدن در تمامی تیمارهای مورد مطالعه بود (جدول ۴). به عنوان مثال، در تیمار صفر کیلوگرم فسفر (شاهد)، پرایمینگ با فسفر در مقایسه با عدم پرایمینگ منجر به افزایش درصد سبز شدن از ۱۷/۸ به ۴۲/۲ درصد شد. همچنین، در تیمارهای شاهد و گوگرد در سطح صفر کیلوگرم فسفر و نیز در تیمار ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار+ شاهد، پرایمینگ فسفر نقش معنی‌داری در کاهش متوسط زمان سبز شدن بذرهای سیاهدانه داشت (جدول ۴). در این ارتباط، ایجوری و همکاران (۹) گزارش کردند که در شرایط رشد گیاه جو (*H. vulgare L.*) در خاک آهکی با کمبود فسفر، پرایمینگ با محلول فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار غلظت فسفر، درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های حاصل شد. عبدالرحمانی و همکاران (۳) نیز نشان دادند که در شرایط کشت دیم، تیمار پرایمینگ بذر با محلول‌های فسفر، منجر به افزایش سرعت سبز شدن گیاهچه‌ها و در نهایت عملکرد جو (*H. vulgare L. cv. Abidar*) در کشت پائیزه شد.

به طور کلی، با وجود تأثیر مؤثر پرایمینگ فسفر در تمامی تیمارها در مقایسه با عدم پرایمینگ بر درصد سبز شدن (افزایش ۱۰ درصدی)، نتایج نشان داد که عدم پرایمینگ در تیمار ورمی کمپوست+ گوگرد+ تیوباسیلوس (تیماری که در آزمایش دوم دارای بیشترین درصد سبز شدن بود) به طور معنی‌دار از بیشترین درصد سبز شدن (۸۰٪) برخوردار بود.

منابع مورد استفاده

۱. حلاج نیا، ا. غ. ح. حق نیا، ا. فتوت و ر. خراسانی. ۱۳۸۵. تأثیر ماده آلی بر فراهمی فسفر در خاک‌های آهکی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰: ۱۲۱-۱۳۳.
۲. سلطانی، ا. ب. کامکار، س. گالشی و ف. اکرم قادری. ۱۳۸۷. اثر فرسودگی بذر بر تخلیه ذخایر بذر و رشد هتروتروفیک گیاهچه گندم. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵: ۵۲-۵۷.
۳. عبدالرحمانی، ب. ک. قاسمی گلعدانی، م. ولی زاده، و. فیضی اصل و ع. توکلی. ۱۳۸۸. اثر پرایمینگ بذر بر قدرت رویش و عملکرد دانه جو رقم آبی در شرایط دیم. مجله علوم زراعی ایران ۱۱: ۳۳۷-۳۵۲.
۴. فروغی فر، ح. و م. ا. پور کاسمانی. ۱۳۸۱. علوم و مدیریت خاک (جلد اول) (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. کوچکی ع. و م. خواجه حسینی. ۱۳۸۷. زراعت نوین. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۶. محمدی آریا، م.، ا. لکزیان، غ. ح. حق نیا، ح. بشارتی و ا. فتوت. ۱۳۸۹. تأثیر *Aspergillus* و *Thiobacillus* بر فراهمی فسفر از خاک فسفات غنی شده با گوگرد و ورمی‌کمپوست. آب و خاک ۲۴: ۱-۹.
۷. مظاهری، د. و ن. مجنون حسینی. ۱۳۸۵. مبانی زراعت عمومی. انتشارات دانشگاه تهران.
۸. یادگاری، م. و ر. برزگر. ۱۳۸۹. تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس بر قابلیت جذب عناصر غذایی، رشد رویشی و تولید اسانس در بادرنبویه (*Melissa officinalis* L.) داروهای گیاهی ۱: ۳۵-۴۰.
9. Ajouri A., H. Asgedom and M. Becker. 2004. Seed priming enhances germination and seedling growth of barley under conditions of P and Zn deficiency. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 167: 630-636.
10. Al-Ghamdi, M.S. 2001. The anti-inflammatory, analgesic and antipyretic activity of *Nigella sativa*. *J. Ethnopharmacol.* 76: 45-48.
11. Bishnoi, U.R., G. Kaur and M.H. Khan. 2007. Calcium, phosphorus, and harvest stages effects soybean seed production and quality. *J. Plant Nutr.* 30: 2119-2127.
12. Burits, M. and F. Bucar. 2000. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Res.* 14: 323-328.
13. D'Antuono, L.F., A. Moretti and A.F.S. Lovato. 2002. Seed yield, yield components, oil content and essential oil content and composition of *Nigella sativa* L. and *Nigella damascena* L. *Ind. Crop. Prod.* 15: 59-69.
14. Demir, I., S. Ermis, K. Mavi and S. Matthews. 2008. Mean germination time of pepper seed lots (*Capsicum annuum* L.) predicts size and uniformity of seedlings in germination tests and transplant modules. *Seed Sci. Technol.* 36: 21-30.
15. El-Deen, E. and T. Ahmed. 1997. Influence of plant distance and some phosphorus fertilization sources on black cummin (*Nigella sativa* L.) plants. *Assiut J. Agric. Sci.* 28: 39-56.
16. Erkan, N., G. Ayranci and E. Ayranci. 2008. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. *Food Chem.* 110: 76-82.
17. Ghamarnia, H., H. Khosravy and S. Sepehri. 2010. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi arid region in the West of Iran. *J. Med. Plants Res.* 4: 1612-1616.
18. Heydarnezhad, F., P. Shahinrokhsar, H. Shokri Vahed and H. Besharati. 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 4: 735-739.
19. Hrdlickova, J., M. Hejzman, V. Kristalova and V. Pavlu. 2011. Production, size, and germination of broad-leaved dock seeds collected from mother plants grown under different nitrogen, phosphorus, and potassium supplies. *Weed Biol. Manage.* 11: 190-201.
20. ISTA (2005). 2005. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
21. ISTA (2012). 2012. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
22. Khajeh-Hosseini, M., A. Lomholt and S. Matthews. 2009. Mean germination time in the laboratory estimates the relative vigour and field performance of commercial seed lots of maize (*Zea mays* L.). *Seed Sci. Technol.* 37: 446-456.
23. Korkmaz, K., H. Ibrikci, E. Karnez, G. Buyuk, J. Ryan, A.C. Ulger and H. Oguz. 2009. Phosphorus use efficiency of wheat genotypes grown in calcareous soils. *J. Plant Nutr.* 32: 2094-2106.
24. Liao, H. and X. Yan. 1999. Seed size is closely related to phosphorus use efficiency and photosynthetic phosphorus use efficiency in common bean. *J. Plant Nutr.* 22: 877-888.
25. Modi, A.T. 2002. Wheat seed quality in response to molybdenum and phosphorus. *J. Plant Nutr.* 25: 2409-2419.
26. Mohamed, S.A., R.A. Medani and E. R. Khafaga. 2000. Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cummin (*Nigella sativa* L.) plants. *Ann. Agric. Sci.* 3: 1323-1338.
27. Mohammady Aria, M., A. Lakzian, G.H. Haghnia, A.R. Berenji, H. Besharati and A. Fotovat. 2010. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresour. Technol.* 101: 551-554.
28. Mudaris, M.A. and S.C. Jutzi. 1999. The influence of fertilizer-based seed priming treatments on emergence and seedling growth of Sorghum bicolor and Pennisetum glaucum in pot trials under greenhouse conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 182: 135-142.
29. Randhawa, M.A. and M.S. Al-Ghamdi. 2002. A review of the pharmaco-therapeutic effects of *Nigella sativa*. *Pak. J. Med. Res.* 41: 77-83.
30. Salimpour, S., K. Khavazi, H. Nadian, H. Besharati and M. Miransari. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Aust. J. Crop Sci.* 4: 330-334.

31. Sasthri, G., C.P. Thiagarajan, P. Srimathi, K. Malarkodi and E.P. Venkatasalam. 2001. Foliar application of nutrient on the seed yield and quality characters of non-aged and aged seeds of cotton cv. MCU5. Madras Agric. J. 87: 202-206.
32. Sawan, Z.M., A.H. Fahmy and S.E. Yousef. 2011. Effect of potassium, zinc and phosphorus on seed yield, seed viability and seedling vigor of cotton (*Gossypium barbadense* L.). Arch. Agron. Soil Sci. 57: 75-90.
33. Shah, A.R., N. Ara and G. Shafi. 2011. Seed priming with phosphorus increased germination and yield of okra. Afric. J. Agric. Res. 6: 3859-3876.
34. Shah, H., T. Jalwat, M. Arif and G. Miraj. 2012. Seed priming improves early seedling growth and nutrient uptake in mungbean. J. Plant Nutr. 35: 805-816.
35. Shenoy, V.V. and G.M. Kalagudi. 2005. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. Biotechnol. Adv. 23: 501-513.
36. Tuncturk, M., R. Tuncturk and B. Yildirim. 2011. The effects of varying phosphorus doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Adv. Environ. Biol. 5: 371-374.
37. White, P.J. and E.J. Veneklaas. 2012. Nature and nurture: The importance of seed phosphorus content. Plant Soil 357: 1-8.