

بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذرسياهدانه (*Nigella sativa* L.) در خاک آهکی: نقش مقدار فسفر بذر تحت تأثیر تغذیه بوته مادری

سید محمد سیدی*^۱، پرویز رضوانی مقدم^۲، محمد خواجه حسینی^۳ و حمید شاهنده^۴

۱، ۲، ۳، ۴ بترتیب دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و استاد گروه علوم خاک و گیاه دانشگاه تگزاس امریکا

چکیده

به منظور ارزیابی برخی جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاهدانه در واکنش به فراهمی فسفر در خاک آهکی، آزمایشی در سال ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. منابع اصلاح کننده خاک آهکی (شامل ورمی کمپوست (V) + باکتری تیوباسیلوس (T)، گوگرد (S) + T، V+S+T و شاهد) در کنار سطوح فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع فسفات دی آمونیوم) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به ترتیب عامل اول و دوم آزمایش در نظر گرفته شدند. جهت ارزیابی بنیه بذر در واکنش به تغذیه فسفر در بوته مادری از آزمون RE استفاده شد که طبق نتایج این آزمون، درصد جوانه‌زنی در روز چهارم به عنوان ارزیابی بنیه بذر سیاهدانه تعیین شد. نتایج نشان داد که کاربرد منابع اصلاح کننده خاک (V+T، S+T و V+S+T)، مقدار فسفر در پوسته، درصد فسفر پوسته به کل فسفر بذر و متوسط زمان جوانه‌زنی را به طور معنی‌دار کاهش داد. کاربرد V+S+T در مقایسه با شاهد منجر به کاهش مقدار فسفر در پوسته و متوسط زمان جوانه‌زنی به ترتیب تا ۱۸، ۱۰ درصد شد. از سویی دیگر، کاربرد تیمارهای ذکر شده منجر به افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه، بنیه بذر، مقدار فسفر در جنین و در بذر شد. بین وزن هزار دانه و غلظت فسفر در پوسته بذر نیز ارتباط منفی وجود داشت (** $R^2=0/66$). به نظر می‌رسد که در شرایط محدودیت فسفر خاک، گیاه مادری از طریق تخصیص بیشتر فسفر به پوسته، ترجیح می‌دهد به جای افزایش بنیه، بذرهایی با دوام بالاتر تولید کند.

کلمات کلیدی: آزمون RE، بنیه بذر، فسفر بذر، متوسط زمان جوانه‌زنی.

مقدمه

جنبه‌های فیزیولوژیکی بذر شناخته می‌شوند. به طور کلی رابطه مستقیمی بین جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده با بنیه بذر و در نتیجه سبز شدن در شرایط مزرعه وجود دارد (Bishnoi et al., 2007)؛ با این وجود، این رابطه همواره دارای همبستگی بالایی نمی‌باشد. شرایط تغذیه‌ای گیاه مادری و سرعت پیری یا اضمحلال بذر (که خود تحت تأثیر شرایط رشد گیاه

کیفیت بذر از مهم‌ترین عوامل در استقرار گیاه‌چه‌ها و در نتیجه عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد (Krueger et al., 2011; Sawan et al., 2013) که تحت تأثیر چهار عامل خلوص، سلامت، جوانه‌زنی و بنیه بذر قرار دارد (Koochehi and Khajeh-Hosseini, 2008). در بین عوامل ذکر شده، جوانه‌زنی و بنیه به عنوان

*نویسنده مسئول: سید محمد سیدی، آدرس: مشهد، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: se.seyyedi@stu-mail.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۲۵

تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳

همبستگی مثبت دارد. به عبارتی دیگر، از مهم‌ترین عوامل محیطی و تأثیرگذار بر مقدار فسفر بذر، فراهمی فسفر قابل جذب در خاک می‌باشد (Raboy, 2009).

سیاهدانه (*Nigella sativa* Linn.) گیاهی دارویی است که در مناطق نیمه خشک کشور کشت می‌شود (Ghamarnia et al., 2010). به دلیل آهکی بودن خاک در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور و در نتیجه حلالیت پایین فسفر خاک در این مناطق (Kariminia and Shabanpour, 2002; Doroudian et al., 2010) و نیز با توجه به تأثیر مستقیم فسفر بر مکانیسم رشد زایشی و عملکرد سیاهدانه (Mohamed et al., 2000; Tuncturket et al., 2011) برخی عوامل موثر در افزایش حلالیت و جذب فسفر در یک خاک آهکی مانند کاربرد گوگرد و اکسایش بیولوژیک آن (Kariminia and Shabanpour, 2002) در کنار مصرف منابع آلی مانند ورمی کمپوست (Mohammady-Aria et al., 2010) ممکن است بتواند در بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر سیاهدانه موثر باشد. در این ارتباط، رضوانی مقدم و سیدی (Rezvani Moghaddam and Seyyedi, 2014) به نقش معنی دار کاربرد کمپوست، ورمی کمپوست و گوگرد در افزایش درصد فسفر در بذرها سیاهدانه اشاره نمودند.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش عوامل موثر در افزایش فراهمی فسفر و تأثیر آن در بهبود جوانه زنی و بنیه بذرها حاصل از بومه مادری سیاهدانه در شرایط کشت در خاک آهکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزرعه تحقیقاتی

مادری است)، باعث تفاوت بین جوانه‌زنی و سبز شدن یک توده بذری شده و هر چه شرایط تغذیه‌ای گیاه مادری نامطلوب‌تر باشد، به دلیل تولید گیاهچه‌های ضعیف‌تر و غیر طبیعی، این تفاوت بیشتر می‌شود (Koochehi and Khajeh-Hosseini, 2008).

افزایش حلالیت فسفر در خاک و غلظت فسفر بذر، از مهم‌ترین عوامل در بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذر به شمار می‌روند (Modi, 2002; Sawan et al., 2011)؛ به طوری که کاهش میزان فسفر یا حلالیت پایین این عنصر در خاک می‌تواند بر شاخص‌های فیزیولوژیک بذرها تولیدی تأثیر منفی داشته باشد (Sawan et al., 2011). در این ارتباط، نقش ویژه این عنصر در بهبود جوانه زنی و بنیه بذر در گیاهانی مانند سویا (Bishnoi et al., 2007)، و لویا (Pacheco et al., 2012) به اثبات رسیده است. ساستری و همکاران (Sasthri et al., 2001) نیز افزایش معنی‌دار سرعت جوانه زنی، طول ریشه‌چه و نیز بنیه بذرها تولید شده توسط بوته‌های مادری در پنبه را در نتیجه کاربرد فسفر گزارش نمودند. طبق یافته‌های هردلیککواو همکاران (Hrdlickova et al., 2011) نیز کاهش جذب فسفر توسط گیاه ترشک (*Rumex obtusifolius*) می‌تواند علاوه بر تولید بذوری با غلظت پایین‌تر فسفر، منجر به کاهش قابلیت جوانه زنی این بذور شود. فسفر در بذرها گیاهان زراعی عمدتاً به شکل فیتات یا اسید فیتیک^۱ ذخیره می‌شود (Lickfett et al., 1999; Blair et al., 2009). محتوی اسید فیتیک در بذرها گیاهان زراعی تحت تأثیر ژنوتیپ و عوامل محیطی بوده و با مقدار فسفر قابل دسترس خاک

1. Phytate, the salt of phytic acid, myoinositol-hexakisphosphate (IP6)

در هکتار) همراه با باکتری تیوباسیلوس و نیز کود دی آمونیوم فسفات در یک مرحله پیش از کاشت استفاده شدند. به دلیل استفاده از کود دی آمونیوم فسفات، که در واقع کود فسفر توصیه شده در خاک‌های آهکی می‌باشد (Mazaheri and Majnoni Hoseini, 2007)، و در نتیجه متفاوت بودن نیتروژن اعمال شده به کرت‌ها، به تیمارهای سطح صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار، به ترتیب ۶۰، ۳۰ و صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع اوره اضافه شد تا به تمامی کرت‌ها نیتروژن مساوی داده شود. همچنین در دو مرحله ۴ تا ۶ برگگی و پیش از گل‌دهی، کود نیتروژن به صورت سرک (هر مرحله ۳۰ کیلوگرم در هکتار) به تمامی کرت‌ها اعمال گردید.

عملیات کاشت سیاهدانه (توده سمیرم اصفهان) در طرفین پشته‌های هر کرت در بیست و ششم اسفند ماه ۱۳۹۱ انجام گرفت. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سایر آبیاری‌ها به صورت هفته ای یک بار و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گرفت. در طول مراحل انجام این آزمایش نیز از هیچ گونه علف‌کش و یا آفت‌کش شیمیایی استفاده نگردید. از بذره‌ای تولید شده در این مرحله جهت اجرای آزمایش زیر استفاده شد:

با تولید بذر سیاهدانه در شرایط مزرعه‌ای و عدم وجود خواب در بذور، شاخص‌های فیزیولوژیکی بذر سیاهدانه در چهار تکرار ارزیابی گردید. در این مرحله شاخص‌هایی مانند درصد و متوسط زمان جوانه زنی، بنيه بذر، وزن هزار دانه، نسبت وزن پوسته به جنین و غلظت فسفر در هر سه اندام پوسته، جنین و بذر (توسط دستگاه Spectrophotometer, JENWAY

مدل ۴۵۱۰ تعیین شد. (Moraghan and Grafton, 2002).

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. با اجرای یک پیش آزمایش، اصلاح کننده‌های خاک آهکی (شامل ورمی کمپوست (V) + باکتری تیوباسیلوس^۱ (T)، گوگرد (S) + T، V+S+T و شاهد) و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع دی آمونیوم فسفات) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم آزمایش انتخاب شدند. باتوجه به کمبود فسفر در این خاک براساس نتایج آزمون خاک، مقادیر لازم فسفر تعیین و به عنوان سطوح تیمار فسفر، استفاده گردید. قابل ذکر است که حد بحرانی فسفر در خاک‌های آهکی ایران بر اساس گزارش موسسه تحقیقات خاک و آب بین ۱۲ تا ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است (Malakoti and Tehrani, 1999).

در اواخر اسفند ماه سال ۱۳۹۱، پس از آماده سازی زمین مورد نظر (جدول ۱)، کرت‌هایی با ابعاد ۳ × ۲ متر (۶ متر مربع) ایجاد شد. فاصله کرت‌ها و پشته‌ها از یکدیگر ۰/۵ و فاصله بلوک‌ها نیز از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد.

سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع دی آمونیوم فسفات) به گونه ای تعیین شد تا در دامنه حد پایین تر و بالاتر از نیاز سیاهدانه به فسفر باشد. از سویی دیگر، به دلیل پایین بودن کربن آلی و نیز pH بالای خاک محل مورد آزمایش، ورمی کمپوست به میزان ۰/۵ درصد وزن خاک (معادل ۱۰ تن ورمی کمپوست در هکتار) و کود گوگرد (به صورت گوگرد عنصری میکرونیزه) نیز به میزان یک درصد وزن خاک (۲۰ تن گوگرد

1. *Thiobacillus bacteria*

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Some chemical properties of field soil used in experiment

شاخص های خاک Soil properties	مقادیر Value	روش اندازه گیری Method of measure
کربن آلی (درصد) OC (%)	0.23	والکی و بلک Walkley and Black
pH	8.39	مک لین Mc Lean
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dSm ⁻¹)	0.75	مک لین Mc Lean
کربنات کلسیم (درصد) CaCO ₃ (%)	11.17	جکسون و باراک Jackson and Barak
فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Available P (mg kg ⁻¹)	10.59	اولسن Olsen

تجزیه آماری داده‌های آزمایش با نرم افزار SAS 9.1 و Mstat-C انجام شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

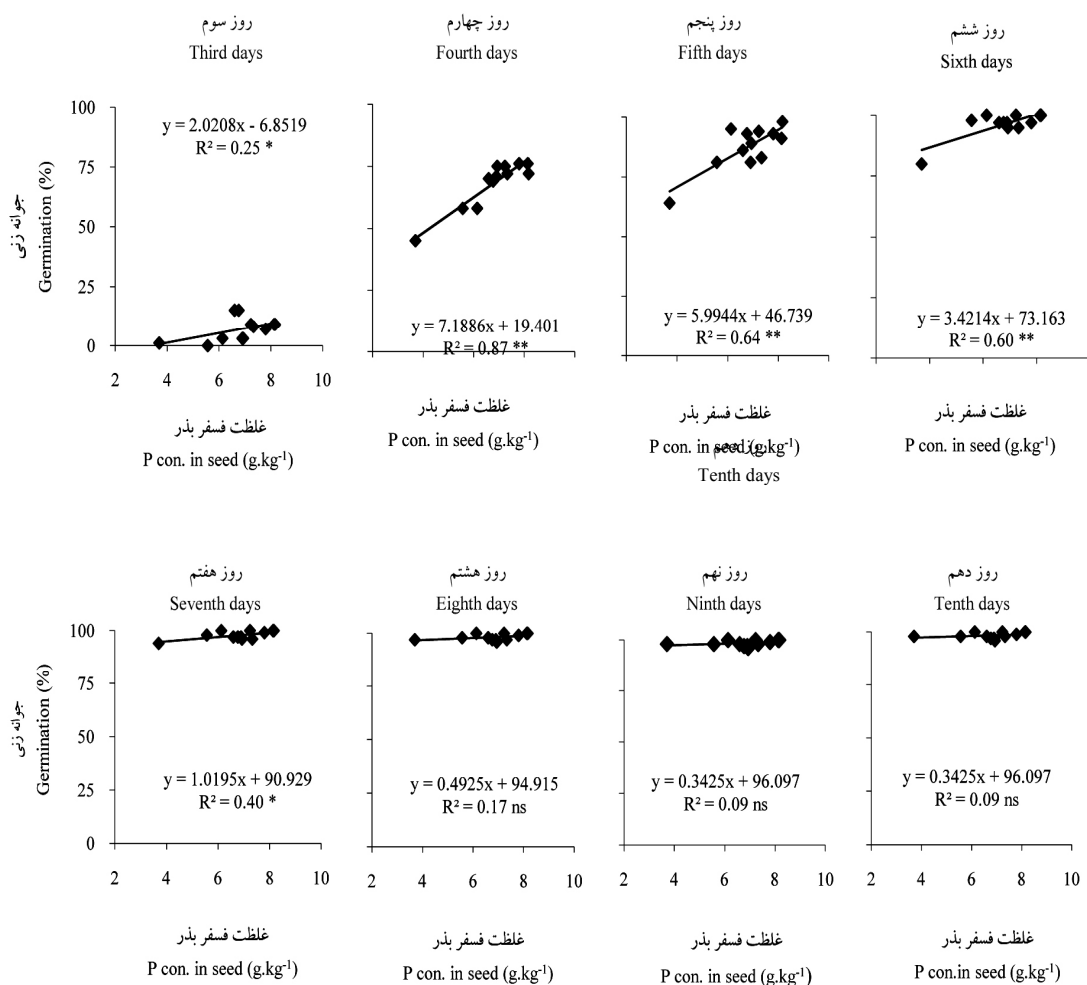
تعیین بنیه بذر بر اساس آزمون RE

جهت ارزیابی بنیه بذرهای تشکیل شده روی بوته مادری سیاهدانه تحت تأثیر فراهمی فسفر از آزمون RE استفاده شد (شکل ۱).

بر اساس نتایج این آزمون، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین غلظت یا مقدار فسفر بذر (بر حسب گرم بر کیلوگرم) با درصد جوانه‌زنی از روز سوم تا هفتم (از زمان کاشت) به دست آمد و پس از روز هفتم این ارتباط معنی‌دار نبود (شکل ۱). در بین روزهای سوم تا هفتم نیز بیشترین ارتباط بین درصد جوانه‌زنی با غلظت فسفر بذر در روز چهارم به دست آمد ($R^2=0.66^{**}$) که بر طبق آزمون RE، درصد جوانه‌زنی در روز چهارم به عنوان آزمون ارزیابی بنیه بذر سیاهدانه تعیین شد.

جهت جدا نمودن پوسته از جنین، بذرها به روش تجربی (جهت تعیین کوتاه‌ترین و در عین کارآمدترین زمان جهت حداکثر تفکیک اندام‌ها) به مدت یک ساعت در آب خیسانده شدند و پس از جدا شدن، به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار گرفتند. تعیین کوتاه‌ترین زمان به این علت بود که ممکن است با افزایش زمان خیساندن بذرها و در طی فرآیند جذب آب به درون اندام‌های بذر، فسفر از پوسته به جنین منتقل شود. همچنین جهت تعیین درصد جوانه‌زنی (ISTA, 2012) و متوسط زمان جوانه‌زنی (Khajeh-Hosseini *et al.*, 2009) بذره‌های حاصل از بوته‌های مادری به مدت ۱۴ روز و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در ژرمیناتور قرار گرفتند. بنیه بذرها نیز بر اساس آزمون RE^۱ (از روز سوم پس از شروع آزمون جوانه زنی تا زمان ثابت شدن تعداد بذره‌های جوانه زده یا روز دهم) تعیین شد (ISTA, 2012).

1. Radicle emergence test



شکل ۱- ارزیابی آزمون بنیه بذر (آزمون RE) سیاهدانه بر اساس غلظت فسفر بذر در بوته مادری

Fig. 4. Evaluation of seed vigor (RE test) of black seed affecting by seed P concentration in mother plant.

افزایش معنی دار وزن هزار دانه سیاهدانه داشتند (جدول ۲). همچنین هر سه منبع اصلاح کننده خاک (V+S+T و S+T, V+T) در مقایسه با شاهد منجر به افزایش معنی دار وزن هزار دانه سیاهدانه شدند (جدول ۲). در بین منابع کودی ذکر شده نیز کاربرد تلفیقی ورمی کمپوست همراه با اکسایش گوگرد (V+S+T) در مقایسه با شاهد نقش بیشتری در افزایش وزن هزار دانه سیاهدانه (تا ۱۴/۳ درصد) داشت (جدول ۲).

شاخص‌های مرتبط با کیفیت بذر

بر اساس نتایج جدول ۲، به جز درصد جوانه‌زنی، سایر شاخص‌های مرتبط با کیفیت بذر سیاهدانه تحت تأثیر اثر مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک قرار گرفت. همچنین اثرات متقابل مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر مقدار فسفر در جنین و در بذر، متوسط زمان جوانه‌زنی و بنیه بذر سیاهدانه معنی دار بود (جدول ۲).

بر اساس نتایج آزمایش، مقادیر کاربرد کود فسفر (سطوح ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) نقش موثری در

جدول ۲- اثرات مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر شاخص‌های مرتبط با کیفیت بذر سیاهدانه در آزمایش

Table 2- Effects of phosphorus rate and soil amendment sources on some seed quality characteristics of black seed in the experiment

مقدار فسفر در بذر (گرم بر کیلوگرم) P concentration in seed (g.kg ⁻¹)	مقدار فسفر در جنین (گرم بر کیلوگرم) P concentration in embryo (g.kg ⁻¹)	مقدار فسفر در پوسته (گرم بر کیلوگرم) P concentration in coat (g.kg ⁻¹)	درصد وزن جنین به کل بذر Percentage of embryo to seed	درصد وزن پوسته به کل بذر Percentage of coat to seed	نسبت وزن پوسته به جنین Coat / embryo ratio	وزن هزار دانه (گرم) 1000 seed weight (g)	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg.ha ⁻¹)
5.80	6.23	2.71	87.12	12.88	0.15	2.24	-	0
6.98	7.61	2.44	87.51	12.49	0.14	2.33	-	30
7.54	8.24	2.32	88.14	11.86	0.13	2.44	-	60
0.41	0.46	0.17	0.60	0.60	0.008	0.14		LSD = 0.05
5.39	5.80	2.72	86.15	13.85	0.16	2.17	C *	-
7.21	7.84	2.37	88.44	11.56	0.13	2.39	V+T	-
6.80	7.42	2.58	87.23	12.77	0.15	2.32	S+T	-
7.69	8.39	2.29	88.54	11.46	0.13	2.48	V+S+T	-
0.47	0.53	0.20	0.69	0.69	0.009	0.16	LSD = 0.05	-

جدول ۲- ادامه

Table 2- Continued

آزمون بنیه بذر (آزمون RE) (درصد) Radicle emergence (RE) test (%)	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (day)	جوانه‌زنی (درصد) Germination (%)	درصد فسفر جنین به کل بذر P percentage of embryo to seed	درصد فسفر پوسته به کل بذر P percentage of coat to seed	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg.ha ⁻¹)
60.50	4.50	98.25	93.19	6.81	-	0
70.00	4.32	98.50	95.46	4.54	-	30
73.75	4.32	98.50	96.29	3.71	-	60
4.94	0.08	1.93	0.50	0.50		LSD = 0.05
58.00	4.70	97.67	92.12	7.88	C *	-
73.67	4.25	99.00	96.18	3.82	V+T	-
68.33	4.37	98.00	95.09	4.91	S+T	-
72.33	4.21	99.00	96.53	3.47	V+S+T	-
5.70	0.09	2.23	0.57	0.57	LSD = 0.05	-

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست.

* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost

جدول ۳- اثرات متقابل مقدار فسفر و منابع اصلاح کننده خاک بر شاخص‌های مرتبط با کیفیت بذر سیاهدانه در آزمایش

Table 3- Interaction effects of phosphorus rate and soil amendment sources on some seed quality characteristics of black seed in the experiment

آزمون بنیه بذر (آزمون RE) (درصد) Radicle emergence (RE) test (%)	متوسط زمان جوانه‌زنی (روز) Mean germination time (day)	مقدار فسفر در بذر (گرم بر کیلوگرم) P concentration in seed (g.kg ⁻¹)	مقدار فسفر در جنین (گرم بر کیلوگرم) P concentration in embryo (g.kg ⁻¹)	درصد فسفر جنین به کل بذر P percentage of embryo to seed	درصد فسفر پوسته به کل بذر P percentage of coat to seed	منابع اصلاح کننده خاک Soil amendment sources	مقدار فسفر (کیلوگرم در هکتار) P rate (Kg.ha ⁻¹)
45.0	5.11	3.70	3.81	87.42	12.58	C *	0
70.0	4.27	6.60	7.14	95.58	4.43	V+T	
58.0	4.44	6.13	6.65	93.95	6.05	S+T	
69.0	4.17	6.77	7.34	95.80	4.20	V+S+T	30
58.0	4.58	5.57	6.06	93.62	6.39	C *	
75.0	4.22	7.23	7.87	96.09	3.91	V+T	
75.0	4.27	6.93	7.60	95.38	4.62	S+T	60
72.0	4.21	8.17	8.93	96.74	3.26	V+S+T	
71.0	4.40	6.90	7.54	95.33	4.67	C *	
76.0	4.24	7.80	8.53	96.87	3.14	V+T	60
72.0	4.40	7.33	8.00	95.94	4.07	S+T	
76.0	4.24	8.13	8.90	97.05	2.95	V+S+T	
11.41	0.19	0.94	1.06	0.99	0.99	LSD = 0.05	

* C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی کمپوست.

* C: control, S: Sulfur, T: *Thiobacillus* bacteria, V: Vermicompost

کاربرد منابع اصلاح کننده خاک (S+T, V+T) و (V+S+T)، مقدار فسفر در پوسته و نیز درصد فسفر پوسته به کل فسفر بذر به طور معنی‌دار کاهش و مقدار فسفر در جنین و در بذر سیاهدانه به طور معنی‌داری رو به افزایش گذاشت (جدول ۳). به عنوان مثال در تیمار V+S+T در مقایسه با شاهد، مقدار فسفر در پوسته تا ۱۲ درصد کاهش و مقدار فسفر در جنین تا ۱۵ درصد افزایش یافت (جدول ۴). همچنین در بین تیمارهای مورد مطالعه نیز بیش‌ترین مقدار فسفر در جنین و در بذر سیاهدانه در نتیجه کاربرد ۳۰ یا ۶۰ کیلوگرم مصرف فسفر همراه با کاربرد V+S+T به دست آمد (جدول ۴).

همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید فسفر آلی در بذور گیاهان زراعی عمدتاً به شکل اسید فیتیک ذخیره می‌شود (Lott *et al.*, 2000; Modi and Asanzi, 2008). فسفر از عناصر اصلی در ساختار غشاء و مولکول‌های آلی مانند فسفولیپیدها و ATP بوده و نقش ویژه‌ای در واکنش‌های انتقال انرژی سلولی و اکسیداسیون دارد (Schachtman *et al.*, 1998; White and Veneklaas, 2012). در طی مرحله جوانه‌زنی، فیتات توسط آنزیم فیتاز به فسفر معدنی هیدرولیز می‌شود (Hegeman *et al.*, 2001). از این رو مقدار فسفر در بذر از مهم‌ترین عوامل تأثیر گذار در تکمیل فرآیند جوانه‌زنی و متابولیسم گیاه‌چه‌های در حال رشد می‌باشد (Modi, 2002; White and Veneklaas, 2012). همچنین به طور کلی بین اندازه بذور (وزن هزار دانه) با غلظت فسفر در یک توده بذر (بر حسب میلی گرم بر گرم بذر) رابطه مستقیمی وجود دارد (Liao and Yan, 1999). از این رو، افزایش وزن هزار دانه و در نتیجه افزایش میزان فسفر در بذر می‌تواند منجر به تسریع رشد آغازین ریشه چه، دسترسی

اندازه بذر یا وزن هزار دانه از جمله عوامل موثر بر بنیه بذر می‌باشد که به طور مستقیم به میزان اندوخته غذایی بذر بستگی دارد؛ به عبارت دیگر بذره‌های ریزتر به دلیل اندوخته غذایی کمتر، برای سبز شدن و استقرار موفق معمولاً با مشکل بیشتری مواجه می‌شوند (Hojjat, 2011; Mandani *et al.*, 2012). از سویی، اکسایش بیولوژیکی گوگرد (Soaud *et al.*, 2011) و مصرف کودهای آلی مانند ورمی کمپوست (Mohammady Aria *et al.*, 2010) از راهکارهای موثر جهت افزایش حلالیت فسفر خاک و جذب آن توسط گیاه به ویژه در خاک آهکی به شمار می‌آیند. از این رو در شرایط محدودیت فسفر در خاک آهکی، افزایش فراهمی فسفر در طی دوره رشد گیاه می‌تواند نقش موثری در بهبود عملکرد و نیز کیفیت بذور تشکیل شده روی بوته مادری داشته باشد (Sawan *et al.*, 2011). در این ارتباط تونورک و همکاران (Tuncturket *et al.*, 2011) با اجرای آزمایش در خاک نسبتاً آهکی با میزان فسفر پایین، افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه سیاهدانه در نتیجه کاربرد ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار را در مقایسه با شاهد مشاهده کردند.

با وجود افزایش وزن هزار دانه در نتیجه فراهمی فسفر خاک در طی دوره تشکیل بذر، نسبت وزن پوسته به جنین سیاهدانه در نتیجه مصرف کود فسفر و نیز کاربرد منابع اصلاح کننده در خاک به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۳). علاوه بر این کاربرد تیمارهای ذکر شده به ترتیب منجر به کاهش معنی‌دار درصد وزن پوسته به بذر و نیز افزایش معنی‌دار درصد وزن جنین به بذر شد (جدول ۴). از سویی با افزایش فراهمی فسفر در نتیجه مصرف کود فسفات دی آمونیوم (در سطوح ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) و

سیاهدانه در جنین ذخیره می‌شود و فقط پنج درصد کل فسفر بذر در پوسته تجمع می‌یابد (جدول ۳) و نیز با توجه به کاهش معنی‌دار غلظت فسفر پوسته و نیز درصد فسفر پوسته به کل فسفر بذر در نتیجه افزایش فراهمی فسفر خاک (جدول ۳)، به نظر می‌رسد افزایش بیه بذر سیاهدانه اساساً تحت تأثیر تخصیص فسفر به جنین باشد. ارتباط مثبت و معنی‌دار بین وزن هزار دانه با غلظت فسفر در جنین و نیز غلظت فسفر در بذر و همچنین ارتباط منفی و معنی‌دار بین وزن هزار دانه با غلظت فسفر در پوسته (شکل ۲) ممکن است به عنوان توجیهی در این ارتباط شناخته شود.

سازگاری در گیاه به نوعی تغییر ساختمان یا متابولیسم در پاسخ به تغییر در محیط بوده که در طی فصل رشد ایجاد می‌شود و می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات تنش، مقاومت و بقای گیاه را در محیط تحت تنش افزایش دهد (Kafi and Mahdavi Damghani, 2007). با توجه به اینکه افزایش دوام بذر^۱، حفاظت از بذر در مقابل شرایط نامساعد محیطی و نیز تنظیم متابولیسم جوانه‌زنی و رشد گیاه چه‌ها از جمله نقش‌های پوسته بذر بوده (Mohamed-Yasseen *et al.*, 1994; Moise *et al.*, 2005) نقش ویژه فسفولیپیدها در پایداری و متابولیسم غشا (Koocheki and Sarmadnia, 1999)، افزایش معنی‌دار درصد پوسته به کل بذر و نیز افزایش درصد فسفر پوسته به کل فسفر بذر در شرایط آهکی بودن و محدودیت فسفر خاک (از ۲/۹۵ درصد در تیمار V+S+T همراه با مصرف ۶۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ۱۲/۵۸ درصد در تیمار شاهد) احتمالاً ممکن

زودتر به منابع محدود کننده رشد مانند آب و در نهایت استقرار زودتر گیاه چه‌ها در خاک شود (White and Veneklaas, 2012).

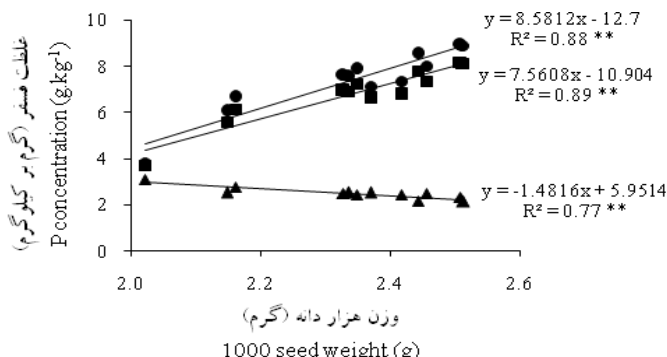
با وجود عدم تأثیر مقادیر کود فسفر و نیز منابع اصلاح کننده خاک بر درصد جوانه‌زنی، کاربرد تیمارهای ذکر شده نقش معنی‌داری در کاهش متوسط زمان جوانه زنی (MGT) و نیز افزایش معنی‌دار بیه بذر داشت (جدول ۳). به طوری که در بین تیمارهای مورد مطالعه، بیشترین MGT و نیز کمترین مقدار بیه بذر (به ترتیب معادل ۵/۱۱ روز و ۴۵ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد. در شرایط عدم کاربرد فسفر در خاک، کاربرد V+T و S+T در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش میزان بیه بذر به ترتیب تا ۵۵/۵۶ و ۲۸/۸۹ درصد گردید (جدول ۴).

در کنار شرایط حاکم بر محیط بستر رشد گیاه چه‌ها در خاک، جوانه‌زنی، بیه گیاه چه‌های در حال رشد و استقرار موفقیت آمیز گیاه چه‌ها اساساً وابسته به ذخایر غذایی بذر می‌باشد (White and Veneklaas, 2012; Peltonen-Sainio *et al.*, 2006). همان‌طور که ذکر گردید، با توجه به نقش ویژه فسفر در تأمین انرژی برای متابولیسم و رشد گیاه چه‌ها (Schachtman *et al.*, 1998)، افزایش بیه بذر سیاهدانه می‌تواند ناشی از افزایش حلالیت و فراهمی فسفر خاک در طی دوره رشد و تشکیل بذور روی بوته مادری سیاهدانه باشد که در نهایت منجر به افزایش هر چه بیشتر تخصیص فسفر به اندام زایشی سیاهدانه می‌شود.

به طور کلی جنین بذر شامل محور جنین، هیپوکوتیل (قسمتی از محور جنین در زیر برآمدگی لپه ای)، یک یا دو لپه در یک طرف و ریشه چه در طرف دیگر می‌باشد (Koocheki and Sarmadnia, 1999). از آن جایی که حدود ۹۵ درصد فسفر بذر

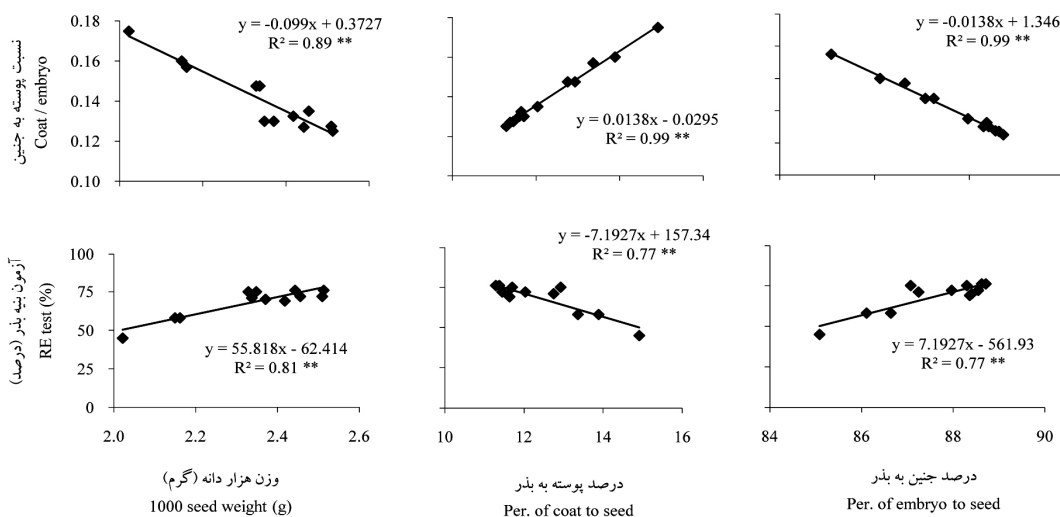
1- Seed longevity

است به عنوان یک مکانیسم سازگاری در بذر در پاسخ به شرایط کمبود فسفر در خاک تلقی شود تا در واقع بتواند به نوعی منجر به افزایش مقاومت گیاه شود.



شکل ۲- ارتباط وزن هزار دانه سیاهدانه با غلظت فسفر پوسته (مثلث)، غلظت فسفر جنین (دایره) و غلظت فسفر بذر (مربع)
 Fig. 2. Relationships between 1000 seed weight and P concentration in coat (triangle), embryo (circle) and seed (square)

طبق نتایج شکل ۳، با وجود ارتباط مثبت بین وزن هزار دانه و درصد وزن جنین از کل بذر با بنیه بذر سیاهدانه، افزایش درصد پوسته باز کل بذر منجر به کاهش معنی‌دار بنیه بذر گردید. همچنین بین وزن هزار دانه با نسبت پوسته به جنین ارتباط منفی و معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳- ارتباط بین برخی شاخص‌های مربوط به کیفیت بذر سیاهدانه در آزمایش
 Fig. 3. Relationships between seed quality characteristics of black seed in the experiment

and Soltani, 2010; Akram Ghaderi *et al.*, 2011) وجود آنکه مرحله جذب سریع در بذرهای مرده نیز اتفاق می‌افتد، اما این مرحله صرفاً یک پدیده فیزیکی نبوده بلکه تحت تأثیر ساختار شیمیایی بذر، پوسته و کیفیت بذر می‌باشند. در مرحله سوم به سبب طولیل

جوانه‌زنی دارای الگوی سه مرحله ای است که با جذب آب (مرحله جذب سریع) تحت تأثیر اختلاف پتانسیل آب بین بذر و محیط آبی آغاز می‌شود. همزمان با مرحله دو، جذب آب ثابت شده و بسیاری از فرآیندهای جوانه زنی اتفاق می‌افتد (Ghaderi-Far

می‌باشد. از سویی دیگر، در شرایط محدودیت خاک از نظر فسفر، افزایش سهم فسفر پوسته به کل فسفر بذر احتمالاً ممکن است به عنوان یک مکانیسم جبرانی جهت حفظ هر چه بیشتر دوام بذر سیاهدانه نسبت به شرایط نامساعد محیطی در نظر گرفته شود. به عبارتی دیگر در شرایط محدودیت فسفر خاک، گیاه مادری از طریق تخصیص بیشتر فسفر پوسته در بذر ترجیح می‌دهد به جای افزایش بنیه، بذرهایی با دوام بالاتر تولید کند. اما در شرایط فراهمی در خاک، افزایش سرعت جوانه زنی و بنیه بذر سیاهدانه ارتباط مستقیمی با تخصیص بیشتر فسفر به جنین بذر دارد. به بیان دیگر به نظر می‌رسد در شرایط تأمین فسفر کافی برای بوته مادری، افزایش بنیه بذور به جای افزایش دوام آن در اولویت می‌باشد. این امر می‌تواند در آینده مورد تحقیق و بررسی بیشتر قرار گیرد.

شدن و خروج ریشه چه، جذب آب مجدداً افزایش می‌یابد. در این مرحله نیز پوسته بذر از عوامل موثر بر جذب آب و طویل شدن ریشه چه می‌باشد (Ghadery-Far and Soltani, 2010; Akram Ghaderi *et al.*, 2011). از این رو، تأثیر منفی درصد پوسته بر بنیه بذر سیاهدانه احتمالاً ممکن است ناشی از افزایش سهم پوسته به بذر و نیز افزایش مقدار فسفر در پوسته باشد که باعث کاهش سرعت جذب آب می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

شرایط حاکم در طی دوره تشکیل و رشد بذر در روی بوته مادری می‌تواند بر کیفیت بذره‌های تشکیل شده تأثیر مستقیمی داشته باشد. در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک با محدودیت فسفر، اکسایش بیولوژیک گوگرد در کنار تأمین فسفر از مواد آلی از مهم‌ترین عوامل در بهبود جنبه‌های فیزیولوژیک بذره‌های تشکیل شده روی بوته مادری

References

منابع

- Akram Ghaderi, F., B. Kamkar and A. Soltani. 2011. Principles of seed science and technology. (Translated) (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 512 pp.
- 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.
- Blair, M. W., T. A. Sandoval, G. V. Caldas, S. E. Beebe and M. I. Pérez. 2009. Quantitative trait locus analysis of seed phosphorus and seed phytate content in a recombinant inbred line population of common bean. *Crop Sci.* 49:237–246.
- Doroudian, H. R., H. Besharati, A. R. Falah, H. Heidari Sharif Abad, F. Darvish and A. Alahverdi. 2010. The possible modification of absorbable phosphorus soluble in calcareous soils and its effects on yield production in corn. (In Persian, with English Abstract). *J. New Agric. Sci.* 18: 27-35.
- Ghadery-Far, F. and A. Soltani. 2010. Seed Testing and Control. (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 200 pp.
- 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* 4: 1612–1616.
- Hegeman, C. E., L. L., Good and E. A. Grabau. 2001. Expression of D-myo-Inositol-3-phosphate synthase in soybean. Implications for phytic acid biosynthesis. *Plant Physiol.* 125: 1941–1948.
- Hojjat, S. S. 2011. Effects of seed size on germination and seedling growth of some lentil genotypes (*Lens culinaris* Medic.). *Int. J. agric. Crop Sci.* 3: 1-5.
- 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. and Manage.* 11: 190–201.
- International Seed Testing Association. 2012. International Rules for Seed Testing. The International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Kafi, M. and A. Mahdavi Damghani. 2007. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. (Translated) (In Persian). Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran, 467 pp.

- Kariminia, A. and M. Shabanpour. 2002.** Evaluation of sulfur oxidation potential by heterotrophic microorganisms in different soils. (In Persian, with English Abstract). *Water Soil Sci.* 17: 68–80.
- 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 (*Zeamays* L.). *Seed Sci. Technol.* 37: 446-456.
- Koochehi A. and M. Khajeh-Hosseini. 2008.** Modern Agronomy. (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 200 pp.
- Koocheki, A. and G. Sarmadnia, 1999.** Physiology of Crop Plants. (Translated) (In Persian). Jahade-e-Daneshgahi Mashhad Press, Mashhad, Iran, 400 pp.
- Krueger, K., A. S. Goggi, A. P. Mallarino and R. E. Mullen. 2013.** Phosphorus and potassium fertilization effects on soybean seed quality and composition. *Crop Sci.* 53: 602–610.
- 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.
- Lickfett, T., B. Matthaus, L. Velasco and C. Mollers. 1999.** Seed yield, oil and phytate concentration in the seeds of two oilseed rape cultivars as affected by different phosphorus supply. *Eur. J. Agron.* 11: 293–299.
- Lott, J. N. A., I. Ockenden, V. Raboy and G. D. Batten. 2000.** Phytic acid and phosphorus in crop seeds and fruits: a global estimate. *Seed Sci. Res.* 10: 11-33.
- Malakoti, M. J., and Tehrani, M. M. 1999.** The role of micronutrients in enhancing performance and improving the quality of agricultural products, the impact of micro-macro.) (In Persian). Tarbiat Modarres University Press, Tehran, Iran, 328 pp.
- Mandani, F., S. Riahinia and M. Khajeh-Hosseini. 2012.** Effect of storage time and seed size on seed vigor and germination characteristics of different wheat varieties. (In Persian, with English Abstract). *Seed Sci. Technol.* 2:14-24.
- Mazaheri, D. and N. Majnon Hoseini, 2007.** Fundamental of Agronomy. (In Persian). Tehran University Press.
- Modi, A. T. 2002.** Wheat seed quality in response to molybdenum and phosphorus. *J. Plant Nutr.* 25: 2409–2419.
- Modi, A. T. and N. M. Asanzi. 2008.** Seed performance of maize in response to phosphorus application and growth temperature is related to phytate-phosphorus occurrence. *Crop Sci.* 48: 286-297.
- Mohamed, S. A., R. A. Medani and E. R. Khafaga. 2000.** Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cumin (*Nigellasativa* L.) plants. *Ann. Agric. Sci.* 3: 1323-1338.
- Mohamed-Yasseen, Y., S. A. Barringer, W. E. Splittstoesser and S. Costanza. 1994.** The role of seed coats in seed viability. *Bot. Rev.* 60: 426-439.
- 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.
- Moise, J. A., S. Han, L. Gudynaite-Savitch, D. A. Johnson and B. L. A. Miki. 2005.** Seed coats: structure, development, composition, and biotechnology. *In Vitro Cell. Dev. Biol.-Plant* 41: 620–644.
- Moraghan J. T. and K. Grafton. 2002.** Distribution of selected elements between the seed coat and embryo of two black bean cultivars. *J. Plant Nutr.* 25: 169-176.
- Pacheco, R. S., L. F. Brito, R. Straliootto, D. V. Pérez and A. P. Araújo. 2012.** Seeds enriched with phosphorus and molybdenum as a strategy for improving grain yield of common bean crop. *Field Crops Res.* 136: 97–106.
- Peltonen-Sainio, P., M. Kontturi, and J. Peltonen. 2006.** Phosphorus seed coating enhancement on early growth and yield components in oat. *Agron. J.* 98:206–211.
- Raboy, V. 2009.** Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. *Plant Sci.* 177: 281–296.
- Rezvani Moghaddam P. and S. M. Seyyedi. 2014.** The effects of organic and biological fertilizers on phosphorus and potassium uptake by black seed (*Nigellasativa* L.). (In Persian, with English Abstract). *J. Hortic. Sci.* 28: 43–53.
- 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.
- 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 (*Gossypiumbarbadense* L.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 57: 75–90.
- Schachtman, D. P., R. J. Reid and S. M. Ayling. 1998.** Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiol.* 116: 447–453.

- Soaud, A. A., F. H. Al Darwish, M. E. Saleh, K. A. El-Tarabily, M. Sofian-Azirun and M. M. Rahman. 2011.** Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccusversutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Aust. J. Crop Sci.* 5: 554–561.
- 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.
- White, P. J. and E. J. Veneklaas. 2012.** Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. *Plant Soil* 357: 1–8.