نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1167-1149

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1149-1167

ارزیابی تأثیر ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروژنه بر عملکرد سرشاخه‌گل‌دار، میزان اسانس و جذب عناصرمعدنی (N, P, K) در گیاه دارویی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.)

محمد رضا حاج سید هادی[1*] و محمد تقی درزی[1]

حاج سید هادی، م.ر.، و درزی، م.ت. 1396. ارزیابی تأثیر ورمی‌کمپوست و کود زیستی‌نیتروژنه بر عملکرد سرشاخه‌گل‌دار، میزان اسانس و جذب عناصرمعدنی (N, P, K) در گیاه دارویی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، 9(4): 1167- 1149.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر عملکرد و برخی ویژگی‌های کیفی مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.)، آزمایشی در اراضی تحقیقاتی کشاورزی شرکت ران واقع در فیروزکوه و در سال 1394 به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور شامل کود زیستی نیتروژنه در سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذر با نیتروکسین و تلقیح بذر با سوپرنیتروپلاس) و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (0، 5، 10 و 15 تن در هکتار) و در سه تکرار انجام شد. صفات مورد بررسی شامل وزن تر و خشک بوته، عملکرد سرشاخه گل‌دار، درصد اسانس و درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام‌های هوایی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر وزن تر و خشک بوته و درصد اسانس با مصرف 10 تن ورمی‌کمپوست حاصل شد و بیشترین عملکرد سرشاخه گل‌دار، درصد نیتروژن و فسفر در اندام‌های هوایی با کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. تلقیح بذر با کود زیستی سوپرنیتروپلاس باعث بیشترین مقادیر در صفات اندازه‌گیری شده در مرزه تابستانه شد. بیشترین درصد نیتروژن تجمع یافته در اندام‌های هوایی نتیجه مصرف نیتروکسین بود. نتایج اثرات متقابل تیمارها نیز نشان داد که بیشترین مقدار پتاسیم در اندام‌های هوایی از کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست همراه با سوپرنیتروپلاس حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: سوپرنیتروپلاس، سیستم تولید پایدار، ماده خشک، ماده مؤثره، نیتروکسین

مقدمه

مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی علفی و یک-ساله از خانواده نعناعیان[2] می‌باشد (Mumivand et al., 2013). برگ‌ها و سرشاخه گل‌دار مرزه تابستانه با اثرات شناخته شده ضدنفخ، ضد دل‌درد، ضدتشنج، ضدانگل، مقوی‌معده، محرک و خلط‌آور مورد استفاده قرار می‌گیرد (Leake et al., 2003). به‌طورکلی قسمت‌های هوایی گیاه مرزه که معمولاً در زمان گل‌دهی چیده می‌شود، دارای اثرهای درمانی مختلفی می‌باشد (Alizadeh Sahzabi et al., 2007) که به‌واسطه همین موضوع، مصرف آن در صنایع داروسازی و غذایی اهمیت فراوانی یافته است.

کاربرد صحیح عناصر غذایی در تولید گیاهان دارویی علاوه بر افزایش عملکرد، در کمیت و کیفیت ماده مؤثره آن‌ها نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. نیتروژن یکی از عناصر غذایی مهم در رشد مرزه می‌باشد (Makkizadeh Tafti et al., 2012; Zare et al., 2013) که علاوه بر تأثیر بر ویژگی‌های رشدی، بر عملکرد پیکره رویشی و سرشاخه گل‌دار آن نیز مؤثر می‌باشد (Alizadeh Sahzabi et al., 2007). البته با وجود اهمیت نیتروژن در تولید محصولات‌زراعی و دارویی، بکارگیری این عنصر غذایی از منابع شیمیایی باعث مشکلات زیست محیطی و آلودگی اکوسیستم جهانی شده‌است (Haj Seyed Hadi et al., 2011). یکی از راهکارهای رفع این مشکل، اعمال روش‌های مبتنی بر اصول‌کشاورزی اکولوژیک در بوم نظام‌های‌زراعی می‌باشد و در این بین، کاربرد کودهای‌زیستی، از جمله راهبردهای تغذیه گیاه برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار است (Kapoor et al., 2004).

1- دانشیار، گروه زراعت، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن
(*- نویسنده مسئول: Email: hhadi@riau.ac.ir)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.54711
2- Lamiaceae

کاربرد کودهای‌زیستی در یک نظام‌کشاورزی‌پایدار، موجب بهبود کمیت و کیفیت ماده مؤثره در گیاهان‌دارویی می‌گردد (Ratti et al., 2001; Sharma, 2002; Kapoor et al., 2004; Darzi et al., 2012). یکی از کودهای زیستی مهم در کشاورزی‌پایدار، ورمی‌کمپوست می‌باشد. کاربرد ورمی‌کمپوست علاوه بر کمک به افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک، در جهت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و با تولید هورمون‌های گیاهی سبب بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Arancon et al., 2004).

در تحقیقی که به منظور بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر گیاه بادرشبی (*Dracocephalum moldavica* L.) انجام گرفت، مشاهده شد که ورمی‌کمپوست به‌طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) باعث افزایش ویژگی‌های‌رشدی گیاه شد (Mafakheri et al., 2012). در بررسی تأثیر نهاده‌های زیستی و آلی بر کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی انیسون (*Pimpinella anisum* L.) نیز گزارش‌گردید که افزایش سطوح ورمی‌کمپوست سبب بهبود درصد اسانس، میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه شد (Khalesro et al., 2012).

گزارشاتی از تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر درصد فسفر دانه بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) (Mohanty et al., 2006) و عملکرد بیولوژیک گیاه دارویی مرزه تابستانه (Rezvani Moghaddam et al., 2013) ارائه شده است. همچنین نتایج مشابهی از تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) (Kumari, 2014)، گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Godara et al., 2014)، بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) (Ansarifar et al., 2012) و زیره سیاه (*Carum carvi* L.) (Acimovic et al., 2015) نیز وجود دارد.

باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از قبیل *آزوسپیریلیوم* (*Azospirilum*) و *ازتوباکتر* (*Azotobacter*) نه تنها باعث تثبیت نیتروژن می‌شوند، بلکه قادر به تولید فیتوهورمون‌ها بوده و سبب تحریک رشد گیاه و جذب مواد غذایی و فتوسنتز می‌شوند (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007). از فواید این باکتری‌ها می‌توان به تولید هورمون‌های محرک رشد گیاه نظیر اکسین و جیبرلین (Bashan & Holguin, 1997)، سیتوکنین (Cacciari et al., 1989)، ترشح موادبیولوژیکی فعال مانند ویتامین‌های B، اسیدپنتوتنیک و بیوتین (Kader et al., 2002)، توسعه سیستم ریشه‌ای، بهبود جذب آب و عناصر غذایی و تثبیت‌زیستی نیتروژن (Ishizuka, 1992) اشاره کرد.

گزارش شده است که استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis* L.)، باعث افزایش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه شد (Vande Broek, 1999). اثر مثبت و مفید کودهای زیستی (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) ارائه شده است (Ordookhani et al., 2011).

در بررسی تأثیر کودهای شیمیایی (اوره)، ورمی‌کمپوست و زیستی (نیتروکسین) بر عملکرد کمی و کیفی کنجد (*Sesamum indicum* L.) مشاهده شد که با افزایش ورمی‌کمپوست و تلقیح کودزیستی نیتروکسین، تعداد کپسول در بوته کنجد افزایش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین تعداد کپسول در بوته مربوط به کاربرد 10 تن در هکتار ورمی‌کمپوست به‌همراه تلقیح با کودزیستی نیتروکسین بوده و کمترین تعداد کپسول در تیمار عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و عدم تلقیح حاصل شده است (Sajadi Nik et al., 2011).

در مطالعه اثر کودهای زیستی بر رشد، عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) مشاهده شد کاربرد کودهای زیستی منجر به افزایش ارتفاع، قطر بوته، وزن تر و خشک بوته و عملکرد اسانس نسبت به شاهد شد و در این بین، سوپرنیتروپلاس بیشترین تأثیر را در افزایش صفات مورد مطالعه نشان داد (Koocheki et al., 2008).

در مطالعه رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2014) مدیریت‌های مختلف کودی بر روی مرزه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که کودهای زیستی تأثیر مثبت و معنی‌داری ($p\leq0/05$) بر ویژگی‌های رشدی مرزه داشت. در بین تیمارهای مختلف مورد استفاده، بیشترین تأثیر را کاربرد تلفیقی نیتروکسین و باکتری‌های حل‌کننده فسفات داشتند.

درخصوص تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر درصد عناصر معدنی در گیاهان مطالعات مختلفی انجام شده است. تلقیح گیاه زیتون تلخ (*Azadirachat indica* L.) با *ازتوباکتر*[1] و *آزوسپیریلوم*[2] باعث افزایش زیست‌توده و جذب نیتروژن و فسفر در

1- *Azotobacter chroococcum*
2- *Azospirillum brasiliense*

گیاه شد (Sumana & Bagyaraj, 2002). در چای ترش (*hibiscus sabdariffa* L.) نیز مشاهده شد که اضافه کردن کود زیستی به 100 درصد میزان توصیه شده کود شیمیایی به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان نیتروژن برگ را نسبت به شاهد افزایش داده است (Abo-Baker & Gehan, 2011). همچنین در گیاه کلوسیا (*Celosia argentea* L.) مشاهده شد که تلقیح با *آزوسپیریلیوم*، غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و گل‌آذین گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Rawia et al., 2006).

نتایج سایر تحقیقات انجام‌شده بر روی پاسخ گیاهان‌دارویی به باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن شامل *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* نشان‌دهنده افزایش ویژگی‌های رشدی و عملکرد کمی و کیفی در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) (Abdou et al., 2004; Mahfouz & Sharaf Edin, Azzaz et al., 2009)، زوفا (Koocheki et al., 2008)، زیره (Saeid Nejad & Rezvani Moghadam, 2011) و شوید (Darzi et al., 2012) می‌باشند.

با توجه به موارد ذکر شده، هدف از انجام این پژوهش، مطالعه تأثیر ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن بر عملکرد سرشاخه گل‌دار، میزان اسانس و درصد عناصر معدنی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) مرزه تابستانه در منطقه فیروزکوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی شرکت کشاورزی و دامپروری ران وابسته به بنیاد مستضعفان واقع در 10 کیلومتری شهرستان فیروزکوه با طول‌جغرافیایی 52 درجه و 44 دقیقه شرقی و عرض‌جغرافیایی 35 درجه و 45 دقیقه شمالی و ارتفاع 1930 متر از سطح دریا و در سال 1394 اجرا شد. میانگین دمای سالیانه هشت درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالیانه 296 میلی‌متر است (Tehran Meteorological Organization. 2014). قبل از اعمال تیمارها و کاشت، از نقاط مختلف خاک مزرعه در عمق 30-0 سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت و بعد از مخلوط‌کردن نمونه‌ها، یک نمونه ترکیبی جهت تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاکشناسی خاک آزمون پیشاهنگ واقع در شهر ورامین منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در جدول 1 ارائه شده است. نتایج آزمون خاک نشان‌داد که بافت خاک محل آزمایش سیلتی لومی بوده و از نظر نیتروژن و فسفر ضعیف است که این موضوع کاربرد نیتروکسین، سوپرنیتروپلاس و ورمی‌کمپوست را توجیه نمود. همچنین یک نمونه از ورمی‌کمپوست مورد استفاده در این تحقیق نیز به آزمایشگاه انتقال یافت که وضعیت شیمیایی آن در جدول 2 قابل مشاهده است. در این تحقیق به جز تیمارهای‌آزمایشی، از هیچ‌گونه عنصر غذایی دیگری استفاده نشد.

جدول 1- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of experimental soil

بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر (میلی گرم بر کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	درصد مواد خنثی شونده C.C.E (%)	درصد اشباع S.P (%)
سیلتی لوم Silty Loam	8.02	1.13	304	8.8	0.07	1.50	0.87	33	42

جدول 2- مشخصات فیزیکی و شیمیایی ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of vermicompost used in the experiment

نسبت کربن به نیتروژن (درصد) C/N (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC ($dS.m^{-1}$)	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P ($mg.kg^{-1}$)
13.6	6.8	3.31	70.9	3	2.5	2.95

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور شامل کود زیستی نیتروژنه در سه سطح (عدم تلقیح، تلقیح بذر با نیتروکسین و تلقیح بذر با سوپرنیتروپلاس) و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (0، 5، 10 و 15 تن در هکتار) با سه تکرار انجام شد.

برای اجرای این آزمایش، ابعاد کرت‌های آزمایشی 3×2/5 متر، فاصله بین تکرارها دو متر و فاصله بین کرت‌ها از یکدیگر یک متر، در نظر گرفته شدند. هر کرت دارای سه پشته با فاصله 75 سانتی‌متر بود که به‌صورت دو ردیفه کشت انجام شده بود. بنابراین در هر کرت شش خط کاشت با فاصله ردیف 37/5 سانتی متر ایجادشد.

بذر مرزه تابستانه از واحد تحقیقات گیاهان دارویی و محصولات فرعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان تهیه شد. پس از شخم و دیسک و ایجاد شیارهای کشت به کمک فاروئر، نسبت به اعمال تیمارها اقدام شد. ورمی‌کمپوست بر اساس نقشه طرح در کرت‌های مربوطه قرار گرفت و بر روی شیارهای ایجاد شده بر روی پشته‌ها ریخته شد و تا عمق پنج سانتی‌متری خاک روی پشته ها به‌خوبی مخلوط شد (Rezvani Moghaddam et al., 2013). سپس با مساعدشدن شرایط اقلیمی در 25 اردیبهشت ماه کشت انجام شد. قبل از کاشت، بذرها بر اساس نقشه طرح با محلول‌های نیتروکسین یا سوپر نیتروپلاس به مدت 10 دقیقه در محل سایه تلقیح شدند و پس از قرار گرفتن به مدت 30 دقیقه در محل سایه به‌منظور کاهش رطوبت، نسبت به کاشت آن‌ها اقدام شد. نیتروکسین و سوپر نیتروپلاس به مقدار دو لیتر در هکتار مصرف شد (Gholami Sharafkhane et al., 2015; Koocheki et al., 2008). نیتروکسین حاوی باکتری‌های ازتوباکتر و ازوسپیریلوم است که در هر گرم آن 10^7 عدد باکتری زنده و فعال وجود دارد. سوپر نیتروپلاس نیز حاوی باکتری های *Azospirillum* spp.، *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus subtilis* است. غلظت باکتری‌های گروه تثبیت‌کننده ازت و محرک رشد در کودزیستی سوپرنیتروپلاس 10^8 در هر گرم یا میلی‌لیتر و 10^8 اسپور و سلول زنده *B.subtilis* می‌باشد (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015). در تیمار عدم تلقیح نیز بذرها مستقیماً در خاک کشت شدند. بذرها در عمق 0/5 تا یک سانتی‌متری خاک قرار گرفتند (Rezvani Moghaddam et al., 2014) و به‌منظور اطمینان از وجود بوته کافی در مزرعه، کاشت با تراکم بیشتر انجام گرفت و در مرحله چهار تا پنج برگی نسبت به تنک آن‌ها اقدام شد تا فاصله 10 × 37/5 سانتی‌متر (تراکم 27 بوته در مترمربع) حاصل گردد (Hasanzadeh Aval et al., 2012). اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت انجام گرفت و به منظور سبز شدن سریع و یکنواخت بوته‌ها، دومین آبیاری سه روز بعد انجام شد. پس از آن با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، آبیاری هر پنج تا هفت روز یک-بار تکرار گردید. در طول دوره رشد، کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی بود. لازم به ذکر است که از هیچ نوع کودشیمیایی در این آزمایش استفاده نشد.

در هر کرت آزمایشی دو ردیف کناری و همچنین نیم‌متر از دو سر هر کرت به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. صفات مورد بررسی در این آزمایش شامل وزن تر و خشک بوته، عملکرد سرشاخه گلدار (سایه خشک)، درصد اسانس، درصد عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اندام‌های هوایی بودند.

در زمان پنجاه درصد گلدهی بوته‌ها، برداشت انجام شد (Makkizadeh Tafti et al., 2012). به‌منظور اندازه گیری وزن تر بوته‌ها، میانگین 10 بوته مورد استفاده قرار گرفتند و به کمک ترازوی دیجیتال توزین شدند. سپس به‌منظور تعیین وزن خشک بوته‌ها، اندام‌ها به‌مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از آن وزن خشک نمونه‌ها به‌دست آمد (Hasanzadeh Aval et al., 2012). به‌منظور تعیین اسانس نیم مترمربع از سرشاخه‌های گل‌دار، از هر کرت برداشت گردیده و در محل سایه و در دمای اتاق معمولی (25 درجه سانتی‌گراد) خشک شدند (Ebadi et al., 2011). از نمونه‌های خشک شده در سایه، به‌منظور استخراج اسانس استفاده شد. پس از آسیاب‌کردن نمونه‌های گیاهی، عمل اسانس‌گیری با دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با بخارآب (Faraji Mehmani et al., 2015) در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام شد. به منظور استخراج اسانس 50 گرم از برگ و سرشاخه‌گل‌دار بخوبی خرد و در دیگ کلونجر به مدت 3 ساعت حرارت داده شدند. روغن اسانس بدست آمده توسط سولفات سدیم خشک و سپس توزین شد (Hadian et al., 2015).

به‌منظور تعیین غلظت عناصر معدنی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در اندام‌های هوایی مرزه، نمونه‌های خشک شده در آون (70درجه سانتی‌گراد به مدت 48 ساعت) به‌وسیله آسیاب برقی پودر شده و به

روش هضم توسط اسید سولفوریک، اسیدسالیسیلیک و آب اکسیژنه، عصاره آن‌ها تهیه شد و برای تهیه کلیه عناصر از این عصاره استفاده شد. میزان درصد نیتروژن با استفاده از روش تیتراسیون بعد از تقطیر و به کمک دستگاه کجلدال، مقدار فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی و به کمک دستگاه اسپکتروفتومتر و میزان پتاسیم با استفاده از روش نشر شعله ای و به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر اندازه‌گیری شدند (Emami, 1996).

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از برنامه SAS 9.1 استفاده شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمالیته به‌منظور اطمینان از نرمال بودن داده‌های آزمایش انجام شد. برای مقایسات میانگین تیمارها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن‌تر بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر وزن‌تر بوته مرزه داشته‌اند (جدول 3). کمترین وزن‌تر بوته (24/43 گرم در بوته) مربوط به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین وزن‌تر بوته (41/10 گرم در بوته) در تیمار کاربرد 10 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) هرچند که بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر وزن تر بوته مشاهده نشد.

افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش دسترسی به عناصر معدنی و در نهایت بهبود رشد و عملکرد را نیز فراهم می‌آورد (Anwar et al., 2005).

در بررسی تأثیر کاربرد کودهای‌زیستی بر برخی فاکتورهای فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی و مقدار اسانس گیاه دارویی بادرشبی مشاهده شد که ورمی‌کمپوست از طریق قدرت زیاد جذب آب و تدارک مطلوب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف بر فاکتورهای فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی بادرشبی از جمله میزان فتوسنتز، وزن تر و وزن‌خشک پیکر رویشی تأثیر مثبت گذاشته و موجب بهبود عملکرد اسانس شد (Mafakheri et al., 2012). همچنین در بررسی اثر فسفر، ورمی‌کمپوست و زئولیت طبیعی بر خصوصیات کمی و کیفی گل‌آهار (*Zinnia elegans* L.) گزارش شد که ورمی‌کمپوست بر بیشتر خواص رویشی مانند وزن‌تر کل گیاه، وزن‌خشک گل، وزن‌خشک برگ، وزن‌خشک ریشه و فتوسنتز گل‌آهار اثر مثبت داشت (Amjazi & Hamidpour, 2012).

بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت معنی‌داری از نظر وزن‌تر بوته مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (40/21 گرم در بوته) با مصرف سوپرنیتروپلاس و کمترین وزن‌تر بوته (22/91 گرم در بوته) نیز در تیمار عدم تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

اثر مثبت و مفید کودهای‌زیستی (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) بر عملکرد پیکره رویشی گیاه ریحان نیز گزارش شده‌است (Ordookhani et al.,2011). نتایج مشابهی از کاربرد کودهای‌زیستی *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلیوم* و *باسیلیوس* در افزایش رشد رویشی، افزایش وزن‌تر و وزن‌خشک گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) وجود دارد (Mahfouz & Sharaf- Eldin, 2007). در بررسی کاربرد *ازتوباکتر* در گیاه دارویی رزماری (*Rosemarinus officinalis* L.)، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در بوته، وزن تر و خشک گیاه و درصد اسانس در مقایسه با شاهد افزایش قابل‌توجهی یافت (Kartikeyan et al., 2008). سایر تحقیقات نیز به تأثیر مثبت نیتروکسین و باکتری *ازتوباکتر* بر روی رازیانه اشاره کرده‌اند (Tehlan et al., 2004; Azzaz et al., 2009).

وزن‌خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر وزن خشک بوته مرزه داشته‌اند (جدول 3). کمترین وزن‌خشک بوته (7/47 گرم در بوته) مربوط به تیمار عدم‌مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین وزن‌خشک بوته (12/93 گرم در بوته) در تیمار کاربرد 10 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) هرچند که بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر وزن خشک‌بوته مشاهده نشد.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی‌های رشدی مرزه تابستانه تحت تأثیر ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروژنه

Table 3- Analysis of variance (mean square) of measured traits of savory affected by vermicompost and nitrogen bioferilizer

منابع تغییر S.O.V	درجه‌آزادی df	وزن‌تر بوته Plant fresh weight	وزن‌خشک بوته Plant dry weight	عملکرد سرشاخه‌گلدار Flowering shoot yield	اسانس Essential oil	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K
تکرار Replication	2	41.541636 ^{ns}	0.0340778 ^{ns}	74450.767 ^{ns}	0.3192 **	0.2411 **	0.0337 **	0.0156 ^{ns}
ورمی کمپوست Vermicompost (V)	3	735.003662 **	63.5014222 **	1132784.125 **	0.2073 **	0.3779 **	0.0155 **	0.0529 **
کود زیستی نیتروژنه Nitrogen biofertilizer (N)	2	525.500886**	7.7291028 **	1516966.866 **	2.5928 **	1.3029 **	0.0356 **	0.3137 **
ورمی کمپوست×کود زیستی نیتروژنه V × N	6	26.550568 ^{ns}	6.6711028 ^{ns}	65680.397 ^{ns}	0.0124 ^{ns}	0.0092 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0170 **
خطا Error	22	17.283418	4.7360657	60817.605	0.0510	0.0122	0.0011	0.0027
ضریب تغییرات (٪) CV (%)	-	11.37	18.99	11.92	12.73	5.60	7.53	4.18

ns، * و **: به‌ترتیب نمایانگر غیر معنی‌دار بودن و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گیاه دارویی مرزه تابستانه تحت تأثیر ورمی‌کمپوست

Table 4- Mean comparison of measured traits in summer savory affected by vermicompost

تیمار (تن در هکتار) Treatment ($t.ha^{-1}$)	وزن‌تر (گرم در بوته) Fresh weight ($g.p^{-1}$)	وزن‌خشک (گرم در بوته) Dry weight ($g.p^{-1}$)	عملکرد سرشاخه‌گلدار (کیلوگرم در هکتار) Flowering shoot yield ($kg.ha^{-1}$)	اسانس (٪) Essential oil (%)	نیتروژن (٪) N (%)	فسفر (٪) P (%)	پتاسیم (٪) K (%)
0	23.43 c*	7.47 c	1450.25 c	1.51 b	1.75 b	0.40 b	1.09 c
5	36.98 b	10.61 b	2029.31 b	1.65 b	1.84 b	0.43 b	1.22 b
10	44.03 a	12.93 a	2059.37 b	2.01 a	2.09 a	0.49 a	1.29 a
15	41.10 ab	12.80 a	2237.82 a	1.95 a	2.21 a	0.52 a	1.32 a

*برای هر گروه تیماری در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p \leq ۰/۰۵$).

*In each column, means which followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

جدول ٥- مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در گیاه دارویی مرزه تابستانه تحت تأثیر کود زیستی نیتروژنه

Table 4- Mean comparison of measured traits in summer savory affected by nitrogen biofertilizer

تیمار Treatment	وزن‌تر (گرم در بوته) Fresh weight ($g.p^{-1}$)	وزن‌خشک (گرم در بوته) dry weight ($g.p^{-1}$)	عملکرد سرشاخه‌گلدار (کیلوگرم در هکتار) Flowering shoot yield ($kg.ha^{-1}$)	اسانس (٪) Essential oil (%)	نیتروژن (٪) N (%)	فسفر (٪) P (%)	پتاسیم (٪) K (%)
شاهد Control	22.91 b*	7.19 b	1160.36 b	1.43 b	1.59 b	0.38 b	1.05 b
نیتروکسین Nitroxine	39.43 a	13.16 a	2240.90 a	2.02 a	2.23 a	0.47 a	1.31 a
سوپرنیتروپلاس Supernitroplus	40.21 a	14.42 a	2406.21 a	2.05 a	2.17 a	0.49 a	1.34 a

*برای هر گروه تیماری در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p \leq ۰/۰۵$).

* In each column, means which followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

بهبود ساختمان خاک و رشد بهتر ریشه‌ها و افزایش جمعیت میکروبی خاک در افزایش فراهمی عناصرغذایی و جذب آن توسط گیاه مؤثر است (Andre et al., 2003) که این موضوع در افزایش وزن‌تر و خشک بوته بسیار مهم است. نتایج سایر تحقیقات انجام شده نیز با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. برای مثال، در آزمایشی (Darzi et al., 2013) بر روی گیاه انیسون مشاهده شد که بیشترین وزن‌خشک این گیاه از مصرف 10 تن ورمی‌کمپوست حاصل می‌شود. همچنین نتایج یک پژوهش گلخانه‌ای (Sainz et al., 1998) بر روی گیاهان شبدر قرمز (*Trifolium pretense* L.) و خیار نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش قابل ملاحظه وزن خشک بوته وعملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد شد.

در مطالعه‌ای دیگر که روی گیاه مرزه صورت پذیرفت، مشخص شد که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود عملکرد بیولوژیک شد (Rezvani Moghaddam et al., 2014).

همچنین بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت‌معنی‌داری از نظر وزن‌خشک بوته مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (14/42 گرم در بوته) با مصرف سوپرنیتروپلاس و کمترین وزن‌خشک بوته (7/19 گرم در بوته) نیز در تیمار عدم تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

نتایج مطالعات حاکی از آن است که استفاده از کودهای‌زیستی حاوی باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* در گیاه مریم‌گلی، باعث افزایش عملکرد خشک اندام‌های هوایی می‌شود (Vande Broek, 1999). در تحقیق دیگری روی گیاه علف لیمو (*Cymbopogon martinii* var. motia) اعلام شد که کاربرد چندین سوش از باکتری‌های حل‌کننده فسفات، عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با شاهد افزایش داد (Ratti et al., 2001). همچنین تلقیح بذر سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) با کودهای‌زیستی *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلیوم* و مایکوریزا باعث افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک شد (Khorramdel et al., 2008).

عملکرد سرشاخه‌گل‌دار (سایه خشک)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتریهای تثبیت کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر وزن‌خشک سرشاخه‌گل‌دار مرزه داشته اند (جدول 3). کمترین وزن‌خشک سرشاخه‌گل‌دار (1450/25 کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین عملکرد وزن‌خشک سرشاخه‌گل‌دار (2237/82 کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) ولی بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

در بررسی اثر کودهای‌زیستی و آلی بر برخی صفات گیاه دارویی مرزه مشاهده شد که فرآیند رشد گیاه به میزان زیادی وابسته به محتوای رطوبتی گیاه است. لذا به نظر می‌رسد احتمالاً ورمی‌کمپوست با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت موجود در خاک باعث ایجاد شرایط مناسب‌تر برای رشد مرزه و افزایش عملکرد بیولوژیک شده است (Rezvani Moghadam et al., 2013). علاوه‌براین، ظرفیت تبادل بالای کربن و موادهیومیک (Albaenell et al., 1998)، وجود هورمون‌های رشد در ورمی‌کمپوست (Candellas et al., 2002) و افزایش جمعیت میکروبی خاک نیز به‌طور غیرمستقیم در بهبود رشد مؤثر می‌باشند (Arancon et al., 2005) .

در مطالعه‌ای دیگر بر روی مرزه تابستانه اعلام شد ورمی‌کمپوست تأثیر مثبت و معنی‌داری بر درصد سرشاخه‌گل‌دار در بوته مرزه داشته است (Rezvani Moghaddam et al., 2014). نتایج سایر تحقیقات انجام شده بر روی مرزه نیز به تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر وزن اندام‌های هوایی و سرشاخه گلدار اشاره کرده‌اند (Naiji & Soori, 2015; Hossaini et al., 2015).

همچنین بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (2406/21 کیلوگرم در هکتار) با مصرف سوپرنیتروپلاس و کمترین وزن خشک سرشاخه گل‌دار (1160/36 کیلوگرم در هکتار) نیز در تیمار عدم تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

وجود باکتری‌های حل کننده فسفات و همچنین *آزوسپیریلیوم* در سوپرنیتروپلاس در افزایش عملکرد سرشاخه‌گل‌دار تأثیر معنی‌داری داشته است. *آزوسپیریلیوم* علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن، با تولید مواد محرک رشد، سبب بهبود رشد ریشه و متعاقب آن افزایش سرعت جذب آب و عناصر غذایی شده و از این طریق در افزایش عملکرد تأثیر گذار می‌باشد (Tilak et al., 2005).

نتایج یک تحقیق انجام شده بر روی مرزه گویای آن است که باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* می‌توانند در افزایش عملکرد سرشاخه‌گل‌دار مؤثر باشند. آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که تلفیق

50 درصد کودهای شیمیایی همراه با کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن باعث تولید بیشترین عملکرد سرشاخه گل‌دار در مرزه شد (Makkizadeh Tafti et al., 2012).

در مطالعه‌ای دیگر تأثیر مدیریت‌های مختلف کودی بر مرزه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد که کودهای‌زیستی نیتروکسین و بیوفسفر تأثیر مثبتی بر عملکرد سرشاخه گل‌دار مرزه داشته‌اند (Gholami Sharafkhane et al., 2015). همچنین، نتایج تحقیق انجام شده نیز به تأثیر مثبت کاربرد همزمان باکتری‌های *ازتوباکتر*، *آزوسپیریلیوم* و *پسودوموناس* در افزایش معنی‌دار عملکرد سرشاخه‌گل‌دار در مرزه تابستانه اشاره کرده‌اند (Faraji Mehmani et al., 2015).

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتریهای تثبیت‌کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq 0/01$) بر درصد اسانس مرزه داشته‌اند (جدول 3). کمترین درصد اسانس (1/51 درصد) مربوط به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین درصد اسانس (2/01 درصد) در تیمار کاربرد 10 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) هرچند که بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر درصد اسانس مشاهده نشد.

اثر هم‌افزایی و بهبود دهنده در کاربرد ورمی‌کمپوست بر روی میزان اسانس در مرزه به چشم می‌خورد. به‌نظر می‌رسد که حضور ورمی‌کمپوست، می‌تواند سبب بهبود فعالیت باکتری‌ها و میکروارگانیسم‌ها شود و شرایط لازم برای فراهمی عناصرغذایی را ایجاد نماید و متعاقب آن دسترسی گیاه به نیتروژن و فسفر را افزایش دهد و از آن‌جا که نیتروژن و فسفر در تشکیل اسانس مؤثرند، بنابراین ورمی‌کمپوست می‌تواند در افزایش میزان اسانس مؤثر باشد (Ghazi Manas et al., 2013). در همین رابطه نتایج پژوهشی که با استفاده از مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست بر روی گیاه دارویی ریحان صورت گرفت نشان داد که مصرف پنج تن ورمی‌کمپوست همراه با کود شیمیایی (NPK به میزان 50، 25 و 25 کیلوگرم در هکتار) برتری محسوسی از نظر میزان اسانس نسبت به کنترل داشت. آن‌ها اظهار داشتند که افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش داده است بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش دسترسی به عناصر معدنی و در نهایت بهبود میزان اسانس را نیز فراهم آورد (Anwar et al., 2005). نتایج تحقیقات انجام شده بر روی رازیانه (Darzi et al., 2008) و بابونه (Salehi et al., 2011) با تحقیق حاضر هماهنگی دارد. نتایج مشابهی از تأثیر ورمی‌کمپوست بر روی درصد اسانس مرزه سهندی (*Satureja sahendica* Bornm.) (Hossaini et al., 2015) و مرزه تابستانه (Gholami Sharafkhane et al., 2015) نیز ارائه شده است.

همچنین بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت معنی‌داری از نظر درصد اسانس مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (2/05 درصد) با مصرف سوپرنیتروپلاس و کمترین درصد اسانس (1/43 درصد) نیز در تیمار عدم تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

به‌طور کلی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بیش از یک نقش دارند. این باکتری‌ها با کمک به جذب عناصر غذایی، به افزایش رشد گیاه و در نهایت افزایش کمیت و کیفیت گیاهان کمک می‌کنند (Wu et al., 2005). پژوهشگران دیگری نیز در مورد تأثیر کود زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* بر گیاه دارویی رازیانه و سیاهدانه به نتایج مشابهی دست یافته اند (Badran & Safwat, 2004; Abdou et al., 2004; Mahfouz & Sharaf- Eldin, 2007).

گزارشی نیز حاکی از اثر مثبت کودزیستی *ازتوباکتر* در افزایش میزان اسانس در گیاه رزماری ارائه شده است (Leithy et al., 2006). آن‌ها اعلام نمودند که کاربرد کود زیستی نیتروژنه در گیاه سبب بهبود وضعیت نیتروژن آن می شود و از آن‌جایی که عنصر نیتروژن در تشکیل اسانس نقش دارد، لذا میزان اسانس نیز افزایش می‌یابد. در آزمایشی امکان استفاده از کودزیستی به جای کودشیمیایی در گیاه رازیانه بررسی و مشخص شد که میزان اسانس گیاه رازیانه در تیمارهای کودزیستی افزایش یافت (Azzaz et al., 2009). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که استفاده از باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در گیاه دارویی مرزنجوش (*Majorana hortensis* L.) سبب افزایش درصد اسانس می‌گردد (Gharib et al., 2008).

تحقیقات دیگری نیز به به تأثیر مثبت و معنی‌دار باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات بر درصد اسانس مرزه تابستانه اشاره کرده‌اند (Gholami Sharafkhane et al., 2015; Rezvani Moghaddam et al., 2013 & 2014).

درصد نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر درصد نیتروژن اندام‌های‌هوایی مرزه داشته‌اند (جدول 3). کمترین درصد نیتروژن (1/75 درصد) مربوط به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین درصد نیتروژن (2/21 درصد) در تیمار کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) هرچند که بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر درصد نیتروژن مشاهده نشد.

بهبود ساختمان خاک و رشد بهتر ریشه‌ها نیز در جذب عناصر غذایی و افزایش رشد گیاهان در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست مؤثر می‌باشند (Andre et al., 2003). در تحقیقی در شرایط گلخانه‌ای و روی گیاه جعفری فرانسوی (*Tagetes patula* L.) مشاهده گردید که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن برگ در مقایسه با شاهد شد (Atiyeh et al., 2002). در تحقیقی دیگر مقادیر مختلف ورمی‌کمپوست و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر روی رازیانه مورد بررسی قرار گرفتند. آن‌ها مقادیر 0، 5 و 10 تن ورمی‌کمپوست را مطالعه و اظهار داشتند که بیشترین درصد نیتروژن با مصرف 10 تن ورمی‌کمپوست حاصل شد (Darzi et al., 2009).

سایر تحقیقات اشاره کرده‌اند که به‌دلیل آزادسازی تدریجی عناصر غذایی از ورمی‌کمپوست، میزان جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن توسط گیاه افزایش می‌یابد (Eskandari & Astaraei, 2007). در همین زمینه محققان اعلام داشتند که به‌علت ویژگی‌های خاص ورمی‌کمپوست از جمله وجود محرک‌های رشد در آن، ورمی‌کمپوست قادر به افزایش جذب غلظت نیتروژن در گیاه گوجه فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) نسبت به کمپوست بوده و عملکرد بالاتری را تولیدکرده است (Alikhani & Mohamadi, 2008). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر مدیریت‌های مختلف کودآلی و زیستی بر روی گیاه دارویی مرزه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ورمی‌کمپوست و بیوفسفات تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام‌های هوایی مرزه داشت (Naiji & Soori, 2015). افزایش غلظت فسفر و پتاسیم احتمالاً به سبب بهبود فعالیت بیولوژیکی خاک و آزادسازی عناصر موجود در خاک می‌باشد که این موضوع در تحقیق انجام شده بر روی گیاه بادرشبی نیز گزارش شده است که ورمی‌کمپوست در بهبود جذب عناصری نظیر نیتروژن، آهن و منگنز نقش مثبتی دارد (Mafakheri et al., 2012).

نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت معنی‌داری از نظر درصد نیتروژن مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (2/23 درصد) با مصرف نیتروکسین و کمترین درصد نیتروژن (1/59 درصد) نیز در تیمار عدم‌تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

با توجه به وجود باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در تیمارهای نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس، این کودهای‌زیستی توانستند در افزایش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی مرزه مؤثر واقع گردند. در برخی مطالعات انجام شده نیز نتایج مشابهی ارائه شده است. در مطالعه‌ای بر روی گیاه دارویی مرزه مشاهده شد که با افزایش سطح نیتروژن میزان نیتروژن برگ به‌صورت خطی افزایش یافت و رابطه‌ای مستقیم بین نیتروژن مصرفی و میزان نیتروژن برگ و اندام‌های هوایی در مطالعات آن‌ها مشاهده شد (Mumivand et al., 2013). نتایج یک آزمایش گلخانه‌ای نشان داد که مصرف کود نیتروژن تأثیر مثبتی بر تجمع نیتروژن در برگ مرزه داشت (Dzida & Jarosz, 2006).

تحقیقات انجام شده بر روی جو (*Hordeum vulgare* L.) (Hasanabadi et al., 2012)، گندم (*Triticul aestivum* L.) (Mohtadi et al., 2015)، لوبیا قرمز (*Phaseolus coccineus* L.) (Ansari et al., 2015) و گشنیز (Jahanshahi et al., 2013) نیز به تأثیر مثبت باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر محتوای نیتروژن دانه و اندام‌هوایی گیاه اشاره کرده اند.

درصد فسفر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر درصد فسفر اندام‌های هوایی مرزه داشته‌اند (جدول 3). کمترین درصد فسفر (0/40 درصد) مربوط به تیمار عدم‌مصرف ورمی‌کمپوست و بیشترین درصد فسفر (0/52 درصد) در تیمار کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار به‌دست آمد (جدول 4) هرچند که بین مصرف 10 و 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر درصد فسفر مشاهده نشد.

نتایج تحقیقات مختلف گویای آن است که با کاربرد ورمی‌کمپوست فراهمی عناصر غذایی در منطقه ریزوسفر ریشه بیشتر شده و در نتیجه، جذب عناصر غذایی توسط ریشه و به دنبال آن

افزایش رشد گیاه حاصل می‌گردد (Eskandari & Astaraei, 2007). همچنین افزودن ورمی‌کمپوست با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات کاهش pH خاک و افزایش دسترسی به عناصر معدنی و در نهایت بهبود رشد و عملکرد را نیز فراهم می‌آورد (Anwar et al., 2005). در گیاه خربزه درختی (*Carica papaya* L.) مصرف ورمی‌کمپوست سبب بهبود قابل ملاحظه غلظت فسفر گیاه در مقایسه با شاهد شد (Shivaputra et al., 2004). در مطالعه‌ای دیگر مشاهده شد که کاربرد کودآلی کمپوست تأثیر معنی‌داری بر غلظت عناصر معدنی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در گیاه دارویی همیشه بهار دارد (Eslami Khalili et al., 2014).

نتایج مشابهی از تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست در افزایش درصد فسفر در گیاهان رازیانه (Darzi et al., 2009)، فلفل دلمه ای (*Capsicum annum* L.) (Dehdashtizadeh et al., 2010)، گندم (Ahmadpoor Sefidkoohi et al., 2012)، گوجه فرنگی (Zaller, 2007)، بادام زمینی (Mohanty et al., 2006) و شبدر قرمز (Sainz et al., 1998) وجود دارد.

همچنین بین کاربرد نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت معنی‌داری از نظر درصد فسفر مشاهده نشد، ولی بیشترین مقدار این صفت (0/49 درصد) با مصرف سوپرنیتروپلاس و کمترین درصد فسفر (0/38 درصد) نیز در تیمار عدم‌تلقیح بذر حاصل شد (جدول 5).

آزوسپیریلیوم و *ازتوباکتر*، علاوه بر قابلیت تثبیت نیتروژن، با تولید مواد محرک رشد، سبب بهبود رشد ریشه و متعاقب آن افزایش سرعت جذب عناصر غذایی شده (Tilak et al., 2005) و از این طریق در تجمع عناصر معدنی در گیاه مؤثر واقع می‌گردند.

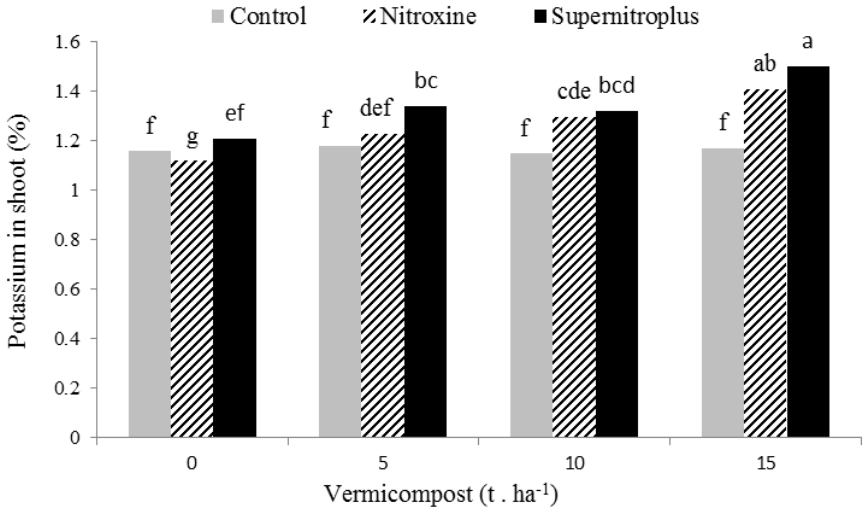
در گیاه بادرشبی تأثیر مثبت کود بیوفسفات (حاوی *Pseudomonas striata*) را به بهبود جذب فسفر در این گیاه نسبت داده‌اند (Mafakheri et al., 2012). در تحقیقی روی درخت انار (*Punia granatum* L.) مشاهده شد که تلقیح این گیاه با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن (*ازتوباکتر*) میزان جذب عناصر غذایی پر مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش داده است (Aseri et al., 2008). همچنین در مطالعه انجام شده بر روی تمشک (*Rubus occidentalis* L.) اعلام شد که کاربرد باکتری *باسیلوس* به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر در گیاه را افزایش داد (Orhan et al., 2006). در مطالعه حاضر تیمار سوپرنیتروپلاس که از وجود باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و همچنین حل‌کننده فسفات بهره می‌برد، دارای تأثیر بیشتری در مقایسه با نیتروکسین بوده است و همان‌طور که مشاهده شد بیشترین غلظت فسفر اندام هوایی مرزه در اثر مصرف این تیمار حاصل شد که این موضوع در تطابق با نتایج سایر تحقیقات انجام شده می‌باشد.

درصد پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ورمی‌کمپوست و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و همچنین اثرات متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری ($p\leq0/01$) بر درصد پتاسیم اندام‌های هوایی مرزه داشته‌اند (جدول 3). مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارها نشان داد که کمترین درصد پتاسیم (1/12 درصد) مربوط به تیمار عدم‌مصرف ورمی‌کمپوست و کاربرد نیتروکسین و بیشترین درصد پتاسیم (1/50 درصد) در تیمار کاربرد 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار همراه با مصرف سوپرنیتروپلاس به‌دست آمد (شکل 1).

افزایش فعالیت‌های میکروبی، وجود تنظیم کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر غذایی نظیر پتاسیم در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست، به عنوان دلایل عمده افزایش غلظت پتاسیم در گوجه فرنگی در مقایسه با تیمار شاهد بیان شده است (Zaller et al., 2007). در تحقیقی مشاهده شد که فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم توسط گندم در تیمارهای ورمی‌کمپوست و کمپوست در مقایسه با شاهد بیشتر بود (Chaoui et al., 2003). در سایر مطالعات انجام شده نیز به تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر درصد پتاسیم در آفتابگردان (*Helianthus annus* L.) (Heyderianpour et al., 2014)، اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) (Sheikhi & Ronaghi, 2013) و بابونه (Salehi et al., 2011) اشاره شده است.

آزوسپیریلیوم و *ازتوباکتر* با توسعه سیستم ریشه‌ای و بهبود جذب آب و عناصر غذایی در تجمع این عناصر در اندام‌های هوایی و دانه گیاهان مؤثر واقع می‌گردند (Ishizuka, 1992). همچنین باکتری‌های حل‌کننده فسفات نیز از طریق تعدیل pH خاک در افزایش جذب عناصر غذایی مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و برخی عناصر کم مصرف تأثیرگذار می‌باشند (Sharma, 2002).



شکل 1- اثر متقابل ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروژنه بر درصد پتاسیم اندام‌هوایی مرزه تابستانه

Fig. 1- Interaction between vermicompost and nitrogen biofertilizer on K content in the shoot of summer savory

در مطالعه‌ای تأثیر تلفیقی کودهای شیمیایی و کودهای‌زیستی (از جمله نیتروکسین وسوپرنیتروپلاس) بر جذب عناصر معدنی اصلی در گیاه چای ترش مورد بررسی قرار گرفت که نتایج گویای آن است که کودهای‌زیستی مصرفی، تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کاسبرگ‌های این گیاه داشتند (Mohammadpour Vashvaei et al., 2015).

همچنین گزارش شده است که کاربرد باکتری *پسودوموناس استریاتا*[1] باعث افزایش معنی‌دار میزان پتاسیم در گیاه رازیانه می‌شود (Darzi et al., 2009). احتمالاً این کود از طریق تأثیرات افزایشی و تقویت‌کننده در رشد و نمو ریشه، موجب افزایش جذب عناصر معدنی نظیر پتاسیم و بهبود غلظت آن در دانه رازیانه شده است. با توجه به وجود باکتری‌های *Azospirillum lipoferum*، *Pseudomonas fluorescens* و *Bacillus subtilis* در سوپرنیتروپلاس، افزایش درصد پتاسیم در تحقیق حاضر در اثر کاربرد این تیمار قابل توجیه می‌باشد.

در سایر گیاهان زراعی نیز نتایج مشابهی در خصوص تأثیر باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن بر درصد پتاسیم گندم (Khan & Zaidi, 2007)، ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.) (Amirabadi et al., 2012) و واریته‌های مختلف توت (*Morus alba* L.) (Reddy et al., 2003) ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

کاربرد ورمی‌کمپوست و کود زیستی نیتروژنه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر عملکرد سرشاخه‌گل‌دار، درصد اسانس و میزان عناصر معدنی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) موجود در اندام‌های هوایی مرزه تابستانه داشت. بیشترین مقادیر وزن‌تر و خشک گیاه و درصد اسانس با مصرف 10 تن ورمی‌کمپوست و سایر صفات با بکارگیری 15 تن ورمی‌کمپوست در هکتار حاصل شدند. در بین سطوح مختلف کودزیستی، مصرف سوپرنیتروپلاس تأثیر بیشتری بر روی صفات مورد مطالعه داشت، هرچند که بین مصرف نیتروکسین و سوپرنیتروپلاس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مورد صفت درصد نیتروژن اندام‌های هوایی، تیمار نیتروکسین برتر از سوپرنیتروپلاس بود. بر اساس نتایج آزمایش مصرف 15 تن ورمی‌کمپوست همراه با سوپرنیتروپلاس باعث بیشترین درصد پتاسیم اندام هوایی مرزه تابستانه شد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی "مطالعه جنبه‌های کمی و

1- *Pseudomonas striata*

کیفی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در یک سیستم تولید پایدار" مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن می‌باشد.

بدی‌نوسیله از زحمات معاونت محترم پژوهش و فناوری این واحد به‌واسطه تأمین اعتبار لازم برای اجرای طرح تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Abdou, M.A.H., El Sayed, A.A., Badran, F.S., and El Deen, R.M.S. 2004. Effect of planting density and chemical and biofertilization on vegetative growth, yield and chemical composition of fennel (*Foeniculum vulgare* Miller): I - Effect of planting density and some chemical (Nofatrein) and biochemical (Biogen) fertilizers. Annals of Agricultural Science 42(4): 1907-1922.

Abo-Baker, A.A., and Gehan, G. M. 2011. Effect of bio-and chemical fertilizers on growth, sepals yield and chemical composition of *Hibiscus sabdariffa* at new reclaimed soil of south valley area. Asian Journal of Crop Science 3: 16-25.

Acimovic, M.G., Dolijanović, K.Z., Oljača, S.I., Kovačević, D.D., and Oljačam, M.V. 2015. Effect of organic and mineral fertilizers on essential oil content in caraway, anise and coriander fruits. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 14(1): 95-103.

Ahmadpoor Sefidkoohi, A., Ghajar Sepanlou, M., and Bahmanyar, M.A. 2012. The effects of long -term application of organic and inorganic fertilizer on amount of nitrogen, phosphor and potassium and growth characteristics of wheat. Journal of Sustainable Agricultural and Production Science 22(4): 71-86. (In Persian with English Summary)

Albaenell, E., Plaixats, J., and Cabrero, T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. Biology and Fertility of Soils 6: 266-269.

Alikhani, H.A., and Mohamadi, L. 2008. Comparison between physic-chemical characteristics of vermicompost and cold compost and their effects on growth indices in tomato. Iranian Journal of Agricultural Science 39(1): 201-207. (In Persian)

Alizadeh Sahzabi, A., Sharifi Ashorabadi, E., Shiranirad, A.H., Bigdeli, M., and Abaszadeh, B. 2007. The effects of different methods and levels of using nitrogen on some quality and quantity characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 23(3): 417-431. (In Persian with English Summary)

Amirabadi, M., Seifi, M., Rejali, F., and Ardakani, M.R. 2012. Study the concentration of macro elements in corn (*Zea mays* L.) affected by Mycorhyza and Azotobacter chroococcum inoculation and various amounts of nitrogen. Journal of Agroeciology 4(1): 33-40. (In Persian)

Amjazi, H., and Hamidpour, M. 2012. Effects of phosphorus, vermicompost and natural zeolite on quantitative and qualitative characteristics of *Zinnia elegans*. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 3(10): 79-86. (In Persian)

Andre, S., Neyra, M., and Duponnois, R. 2003. Arbuscular mycorrhizal sysmbiosis changes the colonization pattern of Acacia tortilis spp. Raddiana rhizosphere by two stains of rhizobia. Microbial Ecology 45: 137-144.

Ansari, S., Sarikhani, M.R., and Najafi, N. 2015. Inoculation effect of common biofertilizers on growth and uptake of some elements by bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in presence of soil indigenous microflora. Journal of Sustainable Agricultural and Production Science 25(1): 85-98. (In Persian with English Summary)

Ansarifar, M., Noormohamadi, G., Haj Seyed Hadi, M.R., and Riazi, G., 2012. Effect of organic nutrients on flower yield and oil content of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Medicinal Plants and By-products 2: 177-181.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Alpesh, K., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(13-14): 1737-1746.

Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D. 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93: 145-153 .

Arancon, N., Edwards, C.A., Bierman, P., Metzger, J.D., and Lucht, C. 2005. Effects of verrnicornposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. Peclobiologia 49(4): 297-306.

Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A., and Metzger, J.D. 2002. The influence of earthwormprocessed pig manure on the growth and productivity of marigolds. Bioresource Technology 81: 103-108.

Azzaz, N.N., Hassan, E., and Hamad, E.H. 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and bio- fertilizer instead of mineral fertilizer. Australian Journal of Basic and Appllied Sciences 3(2): 579-587.

Badran, F.S., and Safwat, M.S. 2004. Response of fennel plants to organic manure and bio-fertilizers in replacement of chemical fertilization. Egyptian Journal of Agricultural Research 82(2): 247-256.

Bashan, Y., and Holguin, G. 1997. Azospirillum-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). Canadian Journal of Microbiology 43: 103-121.

Cacciari, I., Lippi, D., Pietrosanti, T., and Pietrosanti, W. 1989. Phytohormone-like substances produced by single and mixed diazotrophic cultures of *Azospirillum* and *Arthrobacter*. Plant and Soil 115: 11-153.

Candellas, L.P., Olivares, F.L., Okorokova, A.L., and Facanha, A.R. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H-ATPase activity in maize roots. Plant Physiology 130: 1951-1957.

Chaoui, H.I., Zibilske, L.M., and Ohno, T. 2003. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. Soil Biology and Biochemistry 35: 295-302.

Darzi, M.T., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Rejali, F. 2008. Effects of vermicompost and biophosphate fertilizer on quantity and quality of essential oil of fennel. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 4(24): 396-413. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F. 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 25(1): 1-19. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Haj seyed Hadi, M.R., and Rejali, F., 2012. Effects of the application or vermicomposting and nitrogen fixing bacteria on quantity and quality of the essential oil in dill. Journal of Medicinal Plants Research 6(21): 3793-3799.

Darzi, M.T., Hadj Seyed Hadi, M.R., and Rejali, F. 2013. Effects of vermicompost and phosphatic biofertilizer application on quantity and quality of essential oil in anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(3): 584-594. (In Persian with English Summary)

Dehdashtizadeh, B., Arouee, H., Azizi, M., and Davarinejad, G.H. 2010. Influence of different levels of vermicompost and phosphorus element on growing and absorbing of NPK in pepper transplant. In The 5th Congress on New Ideas in Agriculture, Khurasgan, Isfahan, Iran, 16-17 February 2010. (In Persian with English Summary)

Dzida, K., and Jarosz, Z. 2006. Influence of nitrogen-potassium fertilization on the yield and on the nutrients content in *Satureja hortensis* L. Acta Agrophysica 7: 879-884.

Ebadi, M.D., Rahmati, M., Azizi, M., and Hassanzadeh Khayyat, M. 2011. Effects of different drying methods (natural method, oven and microwave) on drying time, essential oil content and composition of savory (*Satureja hortensis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26(4): 477-489. (In Persian with English Summary)

Emami, A. 1996. Methods of Plant Analysis (Vol. I). Publication No. 982, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization, Ministry of Agriculture, Tehran, Iran. (In Persian)

Eskandari, M., and Astaraei, A.R., 2007. Effects of various organic matters on growth characteristics and biomass production and seed yield of chickpea. Iranian Journal of Field Crops Research 5(1): 19-27. (In Persian)

Eslami Khalili, F., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., and Taghavi Ghsemkheili, F. 2014. Effect of organic and chemical fertilizer on soil properties and nutrient concentration in pot marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(3): 476-485. (In Persian with English Summary)

Fallahi, G., Koocheki, A.R., and Rezvani Moghaddam, P. 2009. Effects of organic fertilizers on quantitative indices, essential oil and chamazulene content in chamomile. Water, Soil and Plant in Agriculture 8: 157-168. (In Persian)

Faraji Mehmani, A., Esmaeeilpour, B., Sefidkon, F., Abaszadeh, B., Khavazi, K., and Ghanbari, A.R. 2015. Effects of biofertilizers inoculation on growth characteristics and yield of savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 6(4): 870-879. (In Persian)

Gharib, F.A., Moussa, L.A., and Massoud, O.N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of Sweet Marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture and Biology 10(4): 381-387.

Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M.R., and Darzi, M.T. 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yeild of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal

and Aromatic Plants 29(2): 269-280. (In Persian with English Summary)

Gholami Sharafkhane, A., Jahan, M., Banayan Aval, M., Koocheki, A., and Rezvani Moghaddam, P. 2015. Effects of organic and chemical fertilizers on some agroecological characteristics, yield and essential oil of savoy (*Satureja hortensis* L.) in Mashad condition. Journal of Agroecology 7(2): 179-189. (In Persian)

Godara, A.S., Gupta, U.S., Lal, G., and Singh, R. 2014. Influence of organic and inorganic source of fertilizers on growth, yield and economics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). International Journal of Seed Spices 4(2): 77-80.

Hadian, J., Asgari Lajayer, H., Motesharezadeh, B., and Ghorbanpour, M. 2015. Evaluation of essential oils content and yield of *Satureja hortensis* in response to different copper and zinc treatments. Iranian Journal of Plant Biology 7(24): 53-66. (In Persian with English Summary)

Haj Seyed Hadi, M.R., Darzi, M.T., Ghandehari, Z., and Riazi, G. 2011. Effects of vermicompost and amino acids on the flower yield and essential oil production from *Matricaria chamomile* L. Journal of Medicinal Plants Research 5(23): 5611-5617.

Hasanabadi, T., Ardakani, M.R., Rejali, F., and Paknejad, F. 2012. Effect of nitrogen fixation and solubilizing phosphate inoculation on yield and nitrogen uptake indices of barley (*Hordeum vulgare* L.) under different levels of nitrogen. Journal of Agronomy and Plant Breeding 8(3): 161-174. (In Persian)

Hasanzadeh Aval, T., Koocheki, A., Khozaei, H.R., and Nassiri Mahallati, M. 2012. Effects of density on physiological indices of summer savoy (*Satureja hortensis* L.) and Iranian clover in mixed cropping. Iranian Journal of Field Crop Research 10(1): 75-83. (In Persian)

Heyderianpour, M.B., Sameni, A.M., Sheikhi, J., Karimian, N., and Zarei, M. 2014. Effect of vermicompost and nitrogen on growth, concentration, and uptake of nutrients in sunflower. Journal of Water and Soil Science 18(67): 217-227. (In Persian)

Hossaini, S.M., Aghaalikhani, M., Sefidkon, F., and Ghalavand, A. 2015. Vegetative and essential oil yields of *savory* (*Satureja sahendica* Bornm.) affected by vermicompost and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexux* L.) competition. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(2): 342-356. (In Persian with English Summary)

Ishizuka, J., 1992. Trends in biological nitrogen fixation research and application. Plant and Soil 11:197-209.

Jahanshahi, S., Zadehbagheri, M., and Aboutalebi, A. 2012. Effect of vermicompost, azotobacter and barvar II on some quantitative and qualitative traits of coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant. Journal of Crop Production Research 4(4): 391-401. (In Persian with English Summary)

Kader, M.A., Mian, M.H., and Hoque, M.S. 2002. Effects of azotobacter inoculant on the yield nitrogen uptake by wheat. Journal of Biological Science 2(4): 250-261.

Kapoor, R., Giri, B., and Mukerji, K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare Mill* on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Kartikeyan, B.C., Abdul Jaleel, G.M., Lakshmanan, A., and Deiveekasundaram, M. 2008. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. Colloids and Surfaces B: Bionterfaces 62: 143-145.

Khalesro, S., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Ashgharzadeh, A. 2012. The effect of biological and organic inputs on quantity and quality of essential oil and some elements content of anise (*Pimpinella anisum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 551-560. (In Persian with English Summary)

Khan, M.S., and Zaidi, A. 2007. Synergistic effects of the inoculation with plant growth promoting rhizobacteria and an Arbuscular mycorrhizal fungus on the performance of wheat. Agricalture and Forestry 31(6): 355-362.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R. 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Field Crop Research 6(2): 285-293. (In Persian)

Koocheki, A., Tabrizi, L., and Ghorbani, R. 2008. Evaluation of biofertilizers effects on growth characteristics, yield and qualitative characteristics of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crop Research 6: 127-137. (In Persian)

Kumari, A. 2014. Effect of vermicompost and FYM on pharmacological activities of *Cannabis sativa*. International Journal of Agriculture Innovations and Research 3(2): 422-428.

Leake, G., Gaspar, F., and Santos, R. 2003. The effect of water on the solubility of essential oils in dense CO_2. Journal of Essential oil Research 15(3): 172-177.

Leithy, S., El-Meseiry, T.A., Abdallah, E.F. 2006. Effect of biofertilizer, cell stabilizer and irrigation regime on rosemary herbage oil yield and quality. Journal of Applied Sciences Research 2(10): 773-779.

Mafakheri, S., Omidbaigi, R., Sefidkon, F., and Rejali, F. 2012. Effect of vermicompost, biophosphate and azotobacter on quantity and quality of essential oil of *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(4): 596-605. (In Persian with English Summary)

Mahfouz, S.A., and Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). International Agrophysics 21(4): 361-366.

Makkizadeh Tafti, M., Chaichi, M., Nasrollahzadeh, S., and Khavazi, K. 2012. Effect of different types of nitrogen fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of *Satureja hortensis* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28(2): 330-341. (In Persian with English Summary)

Mohammadpour Vashvaei, M., Ghanbari, A., and Fakheri, B.A. 2015. Effect of combined feeding system on N, P and K concentration, biochemical characteristics and calyxes yield of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Iranian Journal of Filed Crop Science 46(3): 518-497. (In Persian)

Mohanty, S.S., Patil, C.P., Swamy, G.S.K., and Patil, P.B. 2006. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and vermicompost on drought tolerance in papaya. Mycorrhiza News 16(3): 12-13.

Mohtadi, M., Mirhadi, M.J., Chraty, A., and Bahadori, M. 2015. Evaluation of the effects of bio fertilizers containing non symbiotic nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria on quantitative and qualitative traits of wheat. Iranian Journal of Field Crop Research 13(4): 700-714.

Mumivand, H., Nooshkam, A., Moseni, A., and Babalar, M. 2013. Influence of nitrogen and calcium carbonate application rates on nitrate accumulation and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Electronic Journal of Crop Production 6(2): 109-124. (In Persian with English Summary)

Naiji, M., and Soori, M.K. 2015. Evaluation of growth and yield of savory (*Satureja hortensis*) under organic and biological fertilizers toward organic production. Journal of the Plant Production 38(3): 93-103. (In Persian)

Ordookhani, K., Sharafzadeh, S.H., and Zare, M. 2011. Influence of PGPR on growth, essential oil and nutrients uptake of Sweet basil. Advanced in Environmental Biology 5(4): 672–677.

Orhan, E., Esitken, A., Ercisli, S., Turan, M., and Sahin, F. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contentsin organically growing raspberry. Scientia Horticulturae 111: 38-43.

Ratti, N., Kumar, S., Verma, H.N., and Gautam, S.P. 2001. Improvement in bioavailability of tricalcium phosphate to *Cymbopogon martinii* var. *motia* by *rhizobacteria*, AMF and *Azospirillum* inoculation. Microbiological Research 156: 145-149.

Rawia, A., Eid, S., Abo-sedera, A., and Attia, M. 2006. Influence of nitrogen fixing bacteria incorporation with organic and/or inorganic nitrogen fertilizers on growth, flower yield and chemical composition of *Celosia argentea*. World Journal of Agricultural Sciences 2: 450-458.

Reddy, P.S., Rao, T.V.S.S., Venkataramana, P., and Suryanarayana, N. 2003. Response of mulberry varieties to vesicular arbusclar mycorrhizal and *Azotobacter* biofertilizers inoculation. Indian Journal of Plant Physiology 8(2): 171–174.

Rezvani Moghadam, P., Amin Ghafoori, A., Bakhshaei, S., and Jafari, L. 2013. Study the effects of biological and organic fertilizers on quantitative traits and essential oil of savoy (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(2): 105-112. (In Persian)

Rezvani Moghadam, P., Bakhshaei, S., Amin Ghafoori, A., and Jafari, L. 2014. Study the effects of fertilizers management on production of savoy (*Satureja hortensis* L.) in Mashad condition. Iranian Journal of Field Crop Research 12(1): 27-33. (In Persian)

Saeid Nejad, A.H., and Rezvani Moghaddam, P. 2011. Evaluation of compost, vermicompost and cattle manure application on yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Horticultural Science 24(2): 142-148. (In Persian)

Sainz, M.J., Taboada-Castro, M.T., and Vilarino, A. 1998. Growth, mineral nutrition and mycorrhizal colonization of red clover and cucumber plants grown in a soil amended with composted urban wastes. Plant and Soil 205: 85-92.

Sajadi Nik, R., Yadavi, A., Balouchi, H.R., and Farajee, H. 2011. Effect of chemical (urea), organic (vermicompost) and biological (nitroxin) fertilizers on quantity and quality yield of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 21(2): 87-101. (In Persian with English Summary)

Salehi, A., Ghalavand, A., Sefidkon, F., and Asgharzade, A. 2011. The effect of zeolite, PGPR and vermicompost application on N, P, K concentration, essential oil content and yield in organic cultivation of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(2): 188-201. (In Persian with English

Summary)

Sharma, A.K. 2002. Biofertilizers for Sustainable Agriculture. Agrobios, India, 407 p

Sheikhi, J., and Ronaghi, A. 2013. Effect of salinity and vermicompost application on nutrients concentration and yield of spinach cv. Virofly in a calcareous soil. Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 4(13): 81-93. (In Persian)

Shivaputra, S.S., Patil, C.P., Swarny, G.S.K., and Patil, P.B. 2004. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhiza fungi and vermicompost on drought tolerance in papaya. Mycorrhizal News 16(3): 12-13.

Sumana, D.A., and Bagyaraj, D.J. 2002. Interaction between VAM fungus and nitrogen fixing bacteria and their influence on growth and nutrition of neem (*Azadirachta indica* and *A. Juss*). Indian Journal of Microbiology 42(4): 295–298.

Tehlan, S.K., Thakral, K.K., and Nandal, J.K. 2004. Effect of *Azotobacter* on plant growth and seed yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Haryana Journal of Horticultural Science 33(3/4): 287-288.

Tilak, K.V.B.R., Ranganayaki, N., Pal, K.K., Saxena, A.K., Shekhar Nautiyal, C., Mittal, S., Tripathi, A.K., and Johri, B.N. 2005. Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. Current Science 89: 136-150.

Vande Broek, A. 1999. Auxins upregulate expression of the indole -3- pyruvate de- carboxylase gene in *Azospirillum brasilense*. Journal of Bacteriology 181: 1338-1342.

Wu, S. C., Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H. 2005. Effect of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth; a greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166.

Zaller, J.G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Scientica Horticultural 112: 191-199.

Zare, S., Sirousmehr, A., Ghanbari, A., and Tabatabaei, J. 2013. Essential oil change and some quantitative characteristics of savoy (*Satureja Hortensis* L.) under various amounts of nitrogen and compost. Iranian Journal of Field Crop Research 11(1): 191-199. (In Persian)

Journal of Agroecology
Vol. 9, No. 4, Winter 2018, p. 1149-1167

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 9، شماره 4، زمستان 1396، ص. 1167-1149

Evaluation of Vermicompost and Nitrogen Biofertilizer Effects on Flowering Shoot Yield, Essential Oil and Mineral Uptake (N, P and K) in Summer Savory (*Satureja hortensis* L.)

M.R. Haj Seyed Hadi[1*] and M.T. Darzi[1]

Haj Seyed Hadi, M.R., and Darzi, M.T. 2017. Evaluation of vermicompost and nitrogen biofertilizer effects on flowering shoot yield, essential oil and mineral uptake (N, P and K) in summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 9(4):

Introduction

Summer Savory (*Satureia hortensis* L.) is the representative plants of Lamiaceae family, which has high significant nutritional and taste values. Its pharmacopoeial raw material is herb (*Satureiae herba*), which contains many different biologically active compounds beside essential oil and minerals like calcium, potassium, magnesium, iron, and zinc. Sustainable agricultural systems has became an important issue throughout the world. It is obvious that intensive cultivation has led to a rapid decline in organic matter and nutrient levels as well as affecting the physical soil properties. The biofertilizers practice (such as vermicompost and biological nitrogen fixing bacteria) has been recognized for a long time as an effective means of improving the structure and fertility of the soil, increasing the microbial diversity, activity and population, improving the water storage capacity of soils and crop yield.

Materials and Methods

This investigation was conducted at agricultural research fields of RAN Company at Firouzkuh, Iran during 2015. Factorial experiment based on randomized complete blocks design with two factors and three replications were chosen as an experimental design. The factors were biological nitrogen fertilizer at three levels of Control, Nitroxine and Supernitroplus, and vermicompost at four levels 0, 5, 10 and 15 $t.ha^{-1}$. Measured traits consisted of fresh and dry plant weight, flowering shoot yield, essential oil content, nitrogen, phosphorus and potassium percentage in aboveground shoots. All data were subjected to statistical analysis (one-way ANOVA) using SAS software. Duncan's multiple range test (DMRT) at 5% probability level were performed to calculate means of comparison. Data were transformed when necessary before analysis to satisfy the assumptions of normality.

Results and Discussion

Results showed that the highest fresh and dry plant weight (41.10 and 12.93$g.plant^{-1}$, respectively) and essential oil content (2.01%) were obtained by using 10 ton per hectare of vermicompost. Applying 15 ton per hectare of vermicompost caused maximum flowering shoot yield (2237.82$kg.ha^{-1}$), nitrogen (2.21%) and phosphorus (0.52%) content in the aboveground shoot. Mean comparison indicated that seed inoculation with Supernitroplus had significant effects on all measured traits except for nitrogen content in aboveground shoot. The maximum fresh and dry plant weight (40.21 and 14.42$g.plant^{-1}$), flowering shoot yield (2406.21$kg.ha^{-1}$), essential oil (2.05%), phosphorus (0.49%) and potassium (1.34%) were obtained by applying Supernitroplus. The maximum nitrogen content (2.23%) was obtained by using Nitroxine. Results of interaction effects showed that using supernitroplus and 15 ton per hectare of vermicompost caused maximum potassium content (1.50%) in Savory shoots.

Several types of studies have shown a beneficial effect on crop plants by inoculation of seeds with *Azospirillum and Azotobacter* strains. Inoculation of plants with *Azospirillum and Azotobacter* can results in significant changes in various plant growth parameters. Positive effects of inoculation have been demonstrated on including increase in root length and nutrition (NO_3^- , NH_4^+, $P0_4^{2-}$, K^+, Rb^+ and Fe^{++}) uptake. Nitrogen and phosphorus are the two major plant nutrients and combined inoculation of nitrogen fixers and PSM may benefit the plants better than either group of organisms alone. Interaction studies have been done both *in vitro* and *in*

1- Associate Professor, Department of Agronomy, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran.
(*- Corresponding author Email: hhadi@riau.ac.ir)
DOI:10.22067/JAG.V9I4.54711

vivo. Nitrogen fixers and PSM when inoculated together colonized the rhizosphere and enhanced the growth of crops by providing it with nitrogen and phosphate, respectively. Vermicompost contains most of the plant nutrients such as nitrate, phosphates, exchangeable calcium and soluble potassium, and microelements which result in improved plant growth and development and is responsible for increased qualitative and quantitative yield of many crops.

Conclusion

The results of current experiment showed that vermicompost and nitrogen fixing bacteria have stimulatory effects on the yield, essential oil and mineral elements (N, P and K) uptake by summer Savory and have thus considerable potential for providing nutritional elements in Savory production, especially for the sustainable production systems.

Keywords: Biofertilizer, Nitroxine, Summer Savory, Supernitroplus