نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۳۷-۴۲۳

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 423-437

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر بازدارنده‌های مصنوعی و طبیعی نیترات‌زایی بر خصوصیات رشدی و جذب نیترات در کاهو

سارا سنگ سفیدی[۱]- امیر لکزیان[۲*]- علیرضا آستارایی[۳]- محمد بنایان اول[۴]- محبوبه مظهری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸

چکیده

بازدارنده‌های نیترات‌زایی ترکیباتی هستند که اکسایش زیستی آمونیوم به نیتریت را به تأخیر می‌اندازند و بدین ترتیب تجمع نیترات در خاک را کاهش می‌دهند. این پژوهش به منظور بررسی تاثیر بازدارنده‌های نیترات‌زایی، ۳ و ۴-دی متیل پیرازول فسفات (DMPP)، دی‌سیان‌دی‌آمید (DCD) و پودر درمنه (ART)، در حضور منابع مختلف نیتروژن، بر تغییرات نیتروژن معدنی خاک، میزان نیتروژن گیاه، تجمع نیترات در برگ گیاه و برخی از خصوصیات رشدی کاهو، در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که بازدارنده‌های نیترات‌زایی در حضور منابع مختلف کود نیتروژن موجب کاهش غلظت نیتروژن نیتراتی و افزایش نیتروژن آمونیومی خاک شدند. همچنین غلظت نیتروژن در گیاه در حضور بازدارنده‌های نیترات‌زایی افزایش یافت. کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی موجب کاهش غلظت نیترات در برگ گیاه شد. همین‌طور استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر خصوصیات رشدی گیاه نیز تاثیر گذاشتند. به طور کلی بهترین کارکرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی در حضور منبع کود اوره مشاهده شد و بازدارنده نیترات‌زایی ART دارای بیشترین تاثیر و پس از آن بازدارنده‌های DMPP و DCD دارای بهترین کارکرد بودند.

واژه‌های کلیدی: اوره، بازدارنده‌های نیترات زایی، کاهو، کود گاوی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

رشد و توسعه گیاهان نیازمند عرضه مطلوب نیتروژن است. مصرف خیلی کم نیتروژن به طور مستقیم عملکرد محصول را کاهش می‌دهد، در حالی‌که استفاده بیش از حد نیتروژن باعث ایجاد اثرات نامطلوب در گیاهان می‌شود و این مسئله به طور مداوم در تولید محصول متمرکز می‌شود (۲۶). ورودی‌های بیش از حد نیتروژن معمولا منجر به تلفات نیتروژن به شکل آبشویی نیترات و انتشار N_2O می‌شوند که به‌طور عمده به عنوان تهدیدی برای کیفیت محیط‌زیست مطرح می‌باشند (۶). در نتیجه در ارتباط با مصرف کودهای آلی و معدنی، مدیریت صحیح و کنترل علمی و عملی باید صورت پذیرد تا بدین وسیله از افزایش غیر مجاز غلظت این یون‌ها در خاک جلوگیری شود. بدین منظور استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌زایی به منظور کاهش آبشویی نیترات توصیه می‌شود.

بازدارنده‌های نیترات‌زایی اکسیداسیون زیستی تبدیل آمونیوم به نیتریت را بدون تاثیر بر اکسیداسیون نیتریت به نیترات در خاک به تاخیر می‌اندازند (۲۲). این جلوگیری به وسیله دخالت در سوخت و ساز باکتری‌های موثر در نیتریت‌زایی انجام می‌شود (۵۱). از بازدارنده‌های نیترات‌زایی می‌توان به دی‌سیاندی‌آمید (DCD) اشاره کرد. این ترکیب با تاثیر بر باکتری‌های خاک از فرآیند نیترات‌زایی جلوگیری می‌کند. گزارش شده است که کاربرد DCD به همراه کود اوره و گاردن گلور[۶] (GG) در خاک حاوی کاهو، میزان تلفات نیتروژن را کاهش داده است (۶). اما تحت شرایط آب و هوایی متفاوت کاربرد DCD ممکن است باعث ایجاد سمیت در گیاه و بروز خسارات قابل توجهی شود (۴۱).

۳ و ۴ دی‌متیل‌پیرازول فسفات (DMPP) نیز یکی از بازدارنده‌های نیترات‌زایی است که نسبت به دیگر بازدارنده‌های نیترات‌زایی در خاک در مقادیر خیلی کم از کارایی خوبی برخوردار

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، استاد و دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسول (Email:alakzian@yahoo.com)
۴- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۵- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/jsw.v34i2.82678

6- Garden Galore

است، به طوری‌که برخی از دانشمندان بیان می‌کنند که میزان مصرف DMPP نسبت به DCD، ده برابر کمتر و کارایی آن در کاهش تلفات نیتروژن به شکل آبشویی و تبخیر گازهای گلخانه‌ای بیشتر می‌باشد (۱). یکی از مزایای DMPP حساس نبودن به آبشویی می‌باشد (۵۷). از طرفی مدت زمان تاثیر آن نسبت به سایر بازدارنده‌های نیترات‌زایی از جمله DCD متفاوت بوده به طوری‌که نسبت زیاد آمونیوم به نیترات در خاک، بعد از کاربرد DMPP برای صد روز و برای DCD فقط بعد از ۴۰ روز باقی می‌ماند (۱۲).

نکته قابل تامل در مورد کاربرد اکثر بازدارنده‌های مصنوعی نیترات‌زایی هزینه زیاد، قابلیت دسترسی کم و تاثیرات نامطلوب بر ریزجانداران خاک می‌باشد، از این‌رو استفاده آن‌ها در سطح وسیع با محدودیت روبه رو می‌باشد. از طرفی خاصیت به تاخیر انداختن نیترات‌زایی، در بعضی گیاهان مثل براچیاریا هومیدیکولا[1]، درمنه و نعناع (عصاره نعناع) نیز مشاهده شده است (۵۲).

به طور کلی از آنجایی که چرخه نیتروژن در خاک تأثیر مهمی بر رشد و عملکرد گیاهان دارد، بنابراین سعی شده است که طی مطالعه‌ای تاثیر بازدارنده‌های طبیعی و مصنوعی نیترات‌زایی، به همراه منابع آلی و معدنی کود نیتروژن بر تغییرات نیتروژن خاک و میزان جذب نیترات توسط گیاه کاهو، بررسی شود. از طرفی مقدار نیترات یکی از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت سبزیجات می‌باشد، تجمع نیترات بیشتر در آوندها، دم برگ‌ها و برگ‌ها صورت می‌گیرد، که می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر سلامت انسان داشته باشد (۱۹). از آنجا که در آخرین بررسی مصرف مواد غذایی، کاهو بیشترین میزان سرانه مصرف را در گروه سبزیجات برگی داشت، میزان نیترات این سبزی در حضور و عدم حضور بازدارنده های نیترات‌زایی پس از افزودن اوره و کود گاوی و ورمی‌کمپوست مطالعه شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر دو نوع بازدارنده طبیعی و مصنوعی نیترات‌زایی شامل ۳ و ۴ دی‌متیل‌پیرازول‌فسفات (DMPP[2])، دی‌سیان‌دی‌آمید (DCD[3]) و پودر درمنه (ART[4]) در حضور منابع کود نیتروژن اوره (U[5]) و کودگاوی (CM[6]) و ورمی‌کمپوست (VC[7]) آزمایشی در قالب طرح پایه کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار سطح بازدارنده نیترات‌زایی (بدون بازدارنده، DMPP ، DCD و پودر درمنه) و منابع مختلف نیتروژن (U، CM و VC) بودند. خاک مورد مطالعه از عمق ۳۰-۰ سانتی متری یک خاک کشاورزی، از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد جمع‌آوری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه طبق روش‌های مرسوم آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی و pH به ترتیب در عصاره و گل اشباع با ستفاده از دستگاه‌های هدایت‌سنج الکتریکی (JENWAY 4310) و pHمتر (METROHM 632)، کربن آلی به روش هضم تر (۵۳)، نیتروژن به روش کجلدال (۹)، فسفر قابل‌دسترس خاک به روش اولسن (۳۳)، پتاسیم قابل‌دسترس به روش استات آمونیوم (۱۰)، رطوبت ظرفیت زراعی به روش وزنی اندازه‌گیری و در جداول (۳-۱) گزارش شدند. همچنین، بافت خاک لوم‌رسی بود.

به منظور یکسان‌سازی غلظت نیتروژن در همه تیمارهای کودی، کود گاوی و ورمی‌کمپوست در آزمایشگاه تجزیه و درصد نیتروژن آن‌ها (کود گاوی ۱/۳۸ درصد و ورمی‌کمپوست ۱/۸۸ درصد) محاسبه شد. درصد نیتروژن اوره نیز از قبل مشخص شده بود. با توجه به نتایج تجزیه خاک میزان مصرف ۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره توصیه شد. با توجه به آگاه بودن نسبت به این مسئله که کود اوره حاوی ۴۶٪ نیتروژن است و با در دست داشتن مقادیر نیتروژن کود گاوی و ورمی‌کمپوست، با انجام تناسب ساده، میزان مصرف ۱۵ و ۱۱ تن بر هکتار به ترتیب برای کود گاوی و ورمی‌کمپوست توصیه شد. سپس نمونه خاک مورد مطالعه هواخشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس منابع کود نیتروژن شامل کود اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست و بازدارنده‌های نیترات‌زایی شامل DMPP (۱/۵ کیلوگرم در هکتار)، DCD (۱۵ کیلوگرم در هکتار) و پودر درمنه (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به آن اضافه و به‌طور یکنواخت با خاک مخلوط شد و مقدار ۴ کیلوگرم خاک به هر گلدان منتقل گردید. پس از اعمال تیمارهای آزمایش، ۲ نشا کاهو (که به مدت ۳ هفته در سینی نشا حاوی بستر کوکوپیت و پرلیت رشد داده شده بودند) در مرحله ۲ تا ۴ برگی در هر گلدان کاشته شدند. سپس گلدان ها در ۷۰٪ ظرفیت زراعی با آب مقطر آبیاری شدند.

سه هفته پس از کاشت برداشت اول به منظور اندازه‌گیری غلظت نیترات در برگ کاهو صورت گرفت. نیترات در گیاه با روش دی‌آزو و دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (امامی، ۱۳۷۵). قبل از برداشت دوم کلروفیل (با استفاده از دستگاه اسپد (SPAD Minolta 502) اندازه‌گیری شد. سپس برداشت دوم ۵ هفته پس از کاشت صورت گرفت.

1- *Brachiaria homidicola*
2- 3,4 dimethyl pyrazol phosphate
3- Dicyandiamide
4- Artemisia
5- Urea
6- Cow Manure
7- Vermicompost

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی خاک

Table 1- Some soil chemical properties

پارامتر Parameter	واحد اندازه‌گیری Unit of measurement	مقدار Content	پارامتر Parameter	واحد اندازه‌گیری Unit of measurement	مقدار Content
pH	–	7.93	فسفر قابل‌دسترس (Available phosphorus)	$mg\ kg^{-1}$	25.49
EC	$dS\ m^{-1}$	2.27	پتاسیم قابل‌دسترس (Available potassium)	$mg\ kg^{-1}$	465.3
کربن آلی (Organic carbon)	٪	0.78	نیتروژن (Nitrogen)	$mg\ kg^{-1}$	1057

بعد از برداشت مجددا غلظت نیترات برگ، سطح برگ (توسط دستگاه سطح برگ‌سنج مدلDELTA-T)، وزن خشک برگ و ریشه، همچنین غلظت نیتروژن گیاه (پیچ و همکاران، ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند. همچنین از خاک هر گلدان نمونه‌برداری شد و پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری نیترات و آمونیوم خاک با روش کنی و نلسون (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شدند.

نتایج حاصل از داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری JMP 11 تجزیه و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی و در سطح احتمال یک درصد مقایسه گردیدند. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای آزمایش بر نیترات گیاه

اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت نیترات گیاه

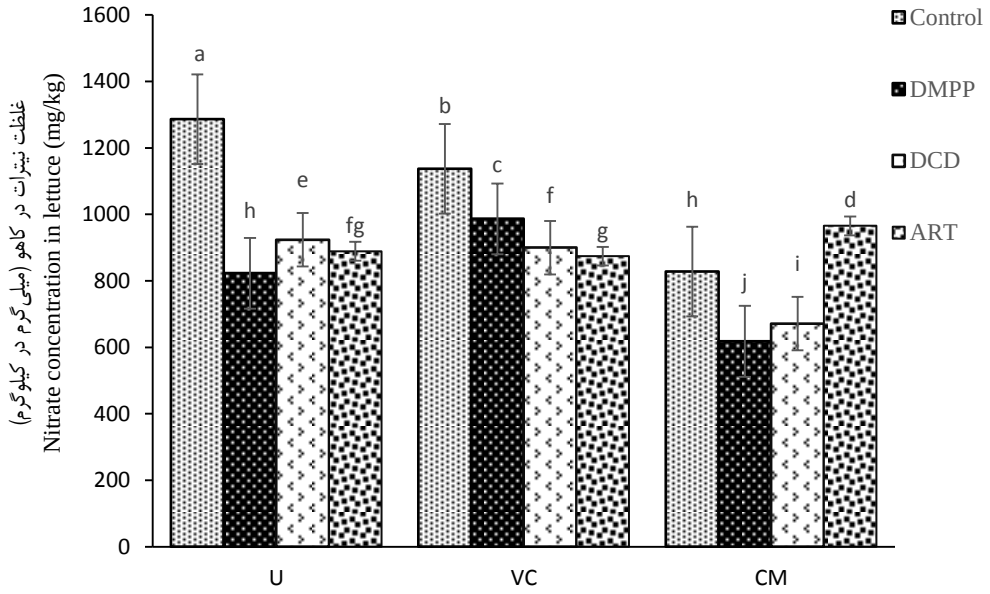
نتایج آزمایش نشان می دهد که در هر دو برداشت کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP، DCD و ART، بر روی کاهش غلظت نیترات گیاه در حضور هر سه منبع کودی تأثیر گذاشته و باعث شدند غلظت نیترات گیاه نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌دار (۰/۰۱ >p) داشته باشد. بیشترین و کمترین غلظت نیترات گیاه در برداشت اول به ترتیب در تیمارهای اوره بدون بازدارنده و CM + DMPP، به ترتیب با غلظت‌های ۱۲۸۶/۱ و ۶۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۱). بیشترین و کمترین غلظت نیترات کاهو در برداشت دوم به ترتیب در تیمارهای اوره بدون بازدارنده و اوره + درمنه به ترتیب با غلظت‌های ۱۳۱۹/۹ و ۳۲۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۲). کاهش غلظت نیترات در برگ کاهو در اثر استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌زایی موید بازدارندگی فعالیت باکتری‌های نیترات‌زا و ممانعت از تبدیل آمونیوم به نیترات به واسطه افزایش بازدارنده‌های نیترات‌زایی است. همچنین از علل کاهش غلظت نیترات گیاه در اثر کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی می‌توان اشاره کرد به این موضوع که افزودن بازدارنده‌های نیترات‌زایی به کودهای نیتروژنی علاوه بر کاهش تلفات نیتروژن توسط آبشویی، منجر به جذب آمونیوم توسط محصول می‌شود که این امر باعث کاهش محتوای نیترات و رنگ سبز تیره در برگ‌ها می‌شود، که توسط برخی محققین گزارش شده است (۵۷).

یکی از علل دیگر کاهش غلظت نیترات در گیاه در آزمایش حاضر این است که آمونیوم در محلول خاک می‌تواند جذب خالص نیترات را در گونه‌های گیاهی متعدد، محدود کند. در این راستا نیز نتایج مشابه توسط محققین گزارش شده است (۱۶).

همچنین برخی از پژوهشگران تاثیر منابع آلی نیتروژن و بازدارنده‌های طبیعی نیترات‌زایی را بر شستشو و سمیت تجمع نیترات بررسی کرده و به این نتیجه دست یافتند که افزودن پودر برگ آزادیراکتا ایندیکا به اوره، کمپوست و کود مرغ و افزودن پودر برگ لانتا کامرا به کود اوره موجب کاهش تجمع نیترات در گیاه گردید (۴۶).

همچنین نتایج آزمایش نشان می‌دهد در هر دو برداشت، مقدار نیترات در حضور منابع آلی کود نیتروژن کمتر از منبع معدنی کود نیتروژن است (شکل‌های ۱ و ۲).

یکی از علل تجمع کمتر نیترات در حضور منبع کود آلی را می‌توان در آزاد شدن مداوم نیتروژن از این کود توضیح داد که می‌تواند منجر به آزادسازی نیتروژن به شکل آمونیوم شود، که احتمالا باعث کاهش تجمع نیترات می‌شود. این نتایج با یافته های برخی محققین در مورد گیاه جیوز مالو (۲)، کاهو (۳۷) و در مورد اسفناج (۱۳) به دست آورده بودند مطابقت داشت، آن‌ها دریافتند که تیمارهای کود شیمیایی دارای نیترات بیشتری نسبت به تیمارهای کود آلی هستند. علت دیگر کمتر بودن نیترات در منابع آلی نیتروژن نسبت به کود اوره این است که معدنی شدن این مواد به آرامی صورت می‌گیرد و در نتیجه نیتروژن قابل‌دسترس کمتر در اختیار گیاهان قرار گرفته و از این‌رو تجمع نیترات در گیاهان کمتر می‌باشد (۴۶).

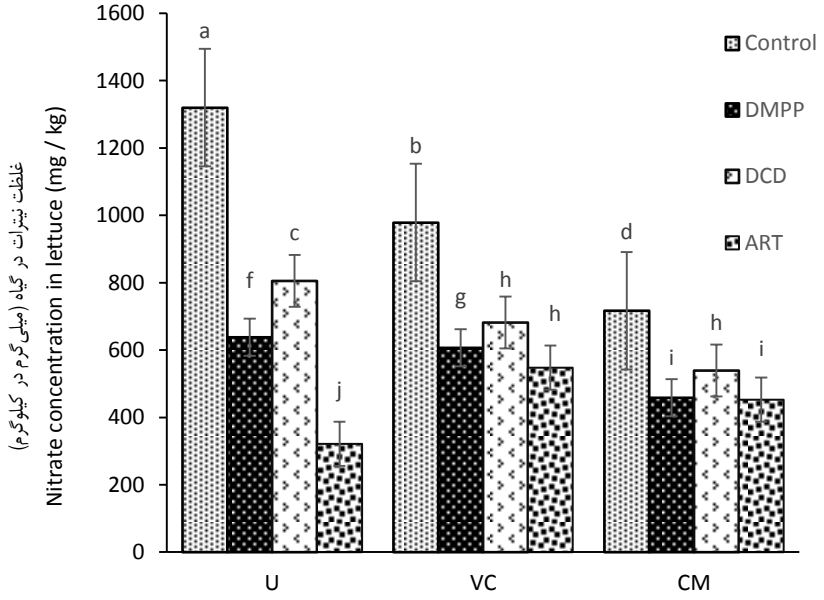


شکل ۱- برهمکنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر غلظت نیترات کاهو در برداشت اول

Figure 1- Interaction of fertilizer sources and nitrification inhibitors on concentration of lettuce nitrate in first harvest

U:اوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure



شکل ۲- برهمکنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر غلظت نیترات کاهو در برداشت دوم

Figure 2- Interaction of fertilizer sources and nitrification inhibitors on concentration of lettuce nitrate in second harvest

Uاوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure

مقایسه کارایی بازدارنده‌های نیترات‌زایی در حضور منابع کود نیتروژن در کاهش غلظت نیترات گیاه

در مورد بهترین کارکرد بازدارنده های نیترات زایی نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در برداشت اول کاربرد بازدارنده‌ی نیترات‌زایی DMPP بر غلظت نیترات کاهو باعث کاهش ۳۶، ۱۸/۹۸ و ۱۳/۲۲ درصدی نیترات گیاه در حضور اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست نسبت به تیمارهای شاهد آن‌ها شد (شکل ۱). در این راستا بازدارنده

DCD باعث کاهش ۲۸/۱۸، ۲۵/۳۹ و ۲۰/۸۶ درصدی غلظت نیترات گیاه به ترتیب در حضور اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست نسبت به تیمارهای شاهد آن ها شدند (شکل ۱). بازدارنده نیترات زایی ART باعث کاهش ۳۰ و ۲۵ درصدی غلظت نیترات گیاه به ترتیب در حضور منابع کود نیتروژنی اوره و ورمی کمپوست نسبت به تیمارهای شاهد آن‌ها شدند (شکل ۱).

در برداشت دوم کاربرد بازدارنده‌ی نیترات‌زایی DMPP در حضور منابع کود اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به ترتیب موجب کاهش ۵۱/۶۷، ۳۲/۲۳ و ۳۸/۶ درصدی غلظت نیترات نسبت به تیمارهای شاهد آن‌ها شدند (شکل ۲). همچنین استفاده از بازدارنده‌ی نیترات‌زایی DCD غلظت نیترات در گیاه را در حضور اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به ترتیب ۳۹، ۲۴/۷۱ و ۳۰/۹۷ درصد نسبت به تیمارهای شاهد آن ها کاهش داد (شکل۲). در این راستا افزودن بازدارنده ART به منابع کود اوره، کود گاوی و ورمی‌کمپوست به ترتیب موجب کاهش ۷۵/۶۳، ۳۶/۸ و ۴۴/۵۳ درصدی غلظت نیترات کاهو نسبت به تیمارهای شاهد آن‌ها شدند (شکل ۲).

این نتایج حاکی از این است که به طور کلی بهترین عملکرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی استفاده شده در کاهش غلظت نیترات گیاه در آزمایش حاضر در حضور منبع معدنی نیتروژن بهتر از منابع آلی آن است. یکی از علل این امر می‌تواند این باشد که مواد آلی (تازه) به عنوان منبع انرژی برای تحریک فعالیت میکروبی عمل می‌کنند که منجر به تخریب بازدارنده‌ها می‌شوند (۴۹). یکی دیگر از علل این امر جذب بازدارنده های نیترات‌زایی توسط مواد آلی می‌باشد که فعالیت زیستی آن ها را کاهش می‌دهد. اگر مقدار ماده آلی خاک بالا باشد، دی‌سیان‌دی‌آمید سریع‌تر تجزیه می‌شود (۵).

تأثیر زمان بر کارکرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی

در مورد تاثیر زمان بر کارکرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی در کاهش غلظت نیترات گیاه همان‌طور که نتایج شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد تاثیر بازدارنده‌های نیترات‌زایی در کاهش غلظت نیترات گیاه با گذشت زمان افزایش یافته است. بیشترین افزایش ابتدا در بازدارنده ART و سپس در DMPP و در آخر در بازدارنده DCD مشاهده شد. به طور کلی بازدارنده‌های نیترات‌زایی از نظر حلالیت در آب با یکدیگر متفاوت هستند که این به نوبه خود بر تحرک، مدت زمان ماندگاری و اثربخشی آن‌ها تأثیر می‌گذارد (۴۷).

سرعت تحرک بازدارنده‌های ایده‌آل باید مشابه سرعت تحرک آمونیوم در خاک باشد (۴۷). سرعت تحرک DCD چند برابر آمونیوم در خاک است بنابراین اثربخشی آن تا حدی محدود می‌شود (۳۶). با این‌حال تحرک نسبی DMPP تا حدی مشابه آمونیوم در خاک است (۳۶).

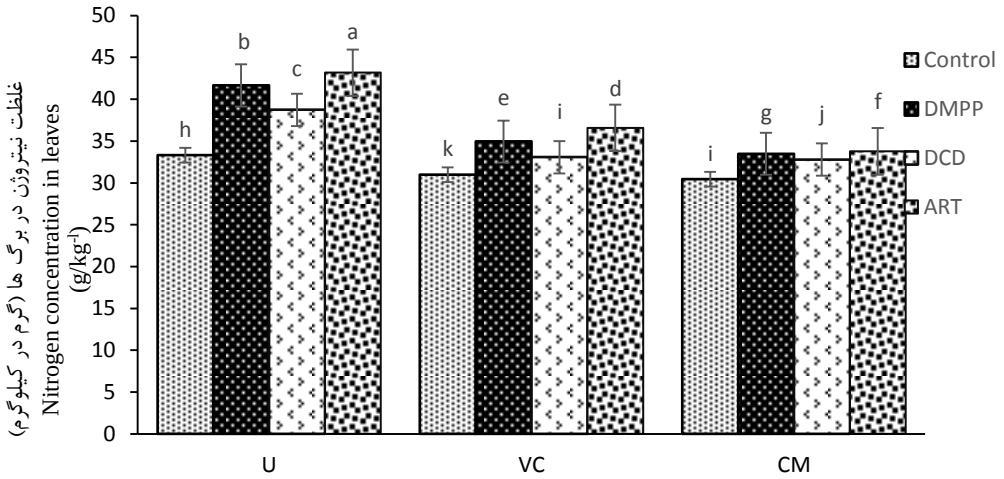
از طرفی بازدارنده‌های آلی به شدت توسط مواد آلی جذب می‌شوند که این موضوع باعث کاهش تحرک و افزایش پایداری آن‌ها در خاک می‌شود (۲۱). در راستای مقایسه اثربخشی دو بازدارنده DMPP و DCD نیز برخی محققین اثر دو بازدارنده نیترات‌زایی (DCD و DMPP) بر عملکرد سالانه شبدر بررسی کرده و به این نتیجه دست یافتند که هر دو بازدارنده باعث تاخیر در تشکیل نیترات در خاک شدند؛ با این‌حال، DMPP نیتروژن معدنی خاک را عمدتا در فرم آمونیوم، برای حدود ۱۰۰ روز نگه می‌دارد، این در حالی بود که اثر DCD تنها در خلال ۴۰ روز اول پس از کاشت مشاهده شد (۱۲). همچنین گزارش شده که تاثیر بازدارنده DMPP در کاهش غلظت نیترات در سبزیجات با گذشت زمان افزایش می‌یابد (۵۵). پس می‌توان نتیجه گرفت نوع بازدارنده نیترات‌زایی و نوع کود بر فرآیند نیترات‌زایی موثر است.

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت نیتروژن کل در برگ کاهو

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کاربرد هر سه بازدارنده موجب افزایش غلظت نیتروژن کل برگ در حضور هر سه منبع کودی شدند. بیشترین غلظت نیتروژن کل برگ در تیمار U+ART با مقدار ۴۳/۱ گرم بر کیلوگرم و کمترین مقدار آن در تیمار کود گاوی بدون بازدارنده نیترات‌زایی با مقدار ۳۰/۴ گرم بر کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۳).

غلظت نیتروژن کل برگ در تیمار اوره بدون بازدارنده نیترات‌زایی ۳۳/۳ گرم بر کیلوگرم بود که با کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP، DCD و ART این مقدار به ترتیب به ۴۱/۶، ۳۸/۷ و ۴۳/۱ گرم بر کیلوگرم افزایش یافت (شکل ۳).

غلظت نیتروژن کل برگ در تیمار ورمی‌کمپوست بدون بازدارنده نیترات‌زایی ۳۰/۹ گرم بر کیلوگرم بود که پس از کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP، DCD و ART این مقدار به ترتیب به ۳۴/۹، ۳۳، ۳۶/۵ گرم بر کیلوگرم افزایش یافت (شکل ۳). همچنین غلظت نیتروژن کل برگ در تیمار کود گاوی بدون بازدارنده نیترات‌زایی ۳۰/۴ گرم در کیلوگرم بود که با کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP، DCD و ART این مقدار به ترتیب به ۳۳/۴، ۳۲/۷ و ۳۳/۷ گرم در کیلوگرم افزایش یافت. (شکل ۳). به طور کلی بهترین تأثیر بازدارنده‌های نیترات‌زایی در افزایش غلظت نیتروژن کل برگ ابتدا در حضور منبع کود اوره و پس از آن در حضور ورمی‌کمپوست و در آخر در حضور کود گاوی مشاهده شد.



شکل ۳- برهمکنش منابع کود نیتروژن و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر غلظت نیتروژن کاهو

Figure 3- Interaction of nitrogen fertilizer and nitrification inhibitors on lettuce nitrogen concentration

Uاوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure

از جمله دلایل جذب بهتر نیتروژن در حضور بازدارنده‌های نیترات‌زایی می‌توان اشاره کرد به توسعه پراکنده‌تر سیستم ریشه‌ای در حضور بازدارنده‌های نیترات‌زایی، جذب نیتروژن به شکل آمونیوم ،زمانی که بازدارنده‌های نیترات‌زایی عرضه می‌شوند، بیشتر از نیترات است و کاهش تلفات نیتروژن به شکل آبشویی اشاره کرد (۳۰).

همچنین از جمله دلایل دیگر که منجر به افزایش جذب نیتروژن در گیاه در اثر کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی می‌شود، می‌توان به جذب تدریجی آمونیوم در مقایسه با نیترات (۱۱)، افزایش نگه‌داشت آمونیوم در خاک‌های تیمار شده با بازدارنده‌های نیترات‌زایی (۴۴) و اثر هم‌افزایی (سینرژیسم) بین آمونیوم و نیترات (۳۱) و افزایش سرعت جذب نیتروژن (۱۴) اشاره کرد.

در راستای نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر، برخی محققین اثر بازدارنده‌های نیترات زایی (DCD و DMPP) بر جذب نیتروژن را مورد بررسی قرار داده و مشاهده کردند محتوای بیشتر نیتروژن معدنی خاک در تیمارهای حاوی DMPP و DCD برای رشد و جذب N محصولات مفید بود و جذب نیتروژن توسط گیاه افزایش یافت (۲۸). تاثیر دو بازدارنده نیترات‌زایی DCD و DMPP بر جذب نیتروژن توسط شبدر بررسی و گزارش شده که هر دو بازدارنده نیترات‌زایی موجب افزایش جذب نیتروژن شدند اما تاثیر DMPP در افزایش جذب نیتروژن بیشتر از DCD بوده است (۱۲).

همچنین کایران و پاترا (۲۰۰۲b) به منظور بررسی عملکرد نسبی روغن‌های نعناع و درمنه و روغن دی‌منتول (DMO) به عنوان بازدارنده‌های طبیعی نیترات‌زایی در تنظیم نیتروژن معدنی خاک و عملکرد و تجمع نیتروژن در نعناع ژاپنی آزمایش مزرعه‌ای دو ساله‌ای توسط محققین انجام و مشاهده شد که مواد پوشش‌دهنده مقدار نیتروژن گیاه را در هر دو نرخ کاربرد نیتروژن نسبت به اوره بدون پوشش افزایش دادند (۲۳).

همچنین از علل دیگر افزایش غلظت نیتروژن در برگ‌ها می‌تواند تغییر در نسبت نیتروژن آمونیومی به نیتراتی خاک، در اثر کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی، باشد که در ادامه در این مورد بحث خواهد شد.

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت نیتروژن نیتراتی و آمونیومی در خاک بعد از برداشت کاهو

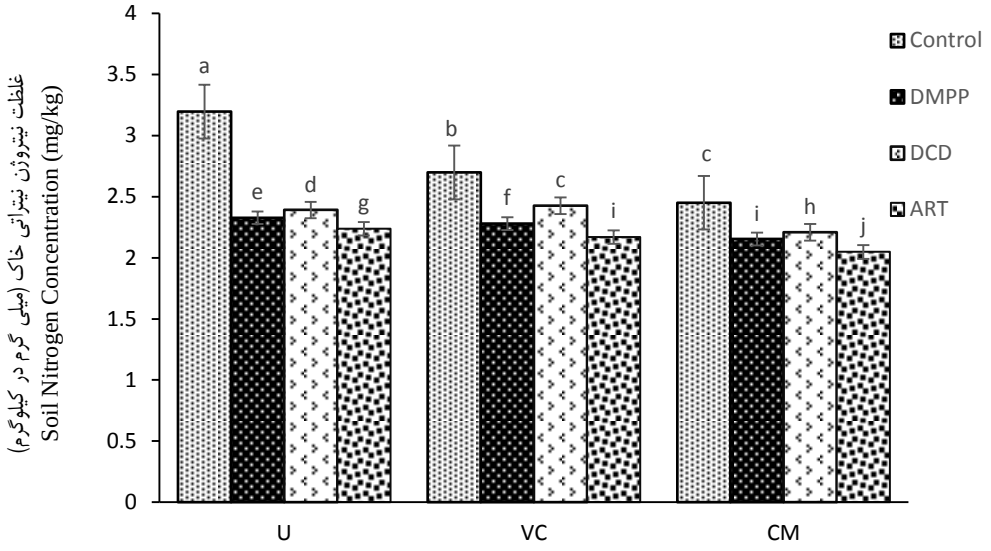
با توجه به تجزیه واریانس مجموع مربعات نیتروژن نیتراتی و آمونیومی در خاک بعد از برداشت کاهو تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی روند تغییرات نیتروژن نیتراتی و آمونیومی در تیمارهای آزمایش تقریبا معکوس بود. که این نتایج قابل انتظار است. یکی از اهداف اصلی کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی در خاک‌ها نیز ایجاد همین تغییرات است که نیتروژن آمونیومی برای گیاهان قابل دسترس گردد و آبشویی نیترات کاهش یابد.

نتایج آزمایش نشان می‌دهد که غلظت نیترات و آمونیوم در تیمار کود اوره بیشتر از دو منبع کودی دیگر است (شکل‌های ۴ و ۵). یکی از علل این امر می‌تواند معدنی شدن سریع آن باشد.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر روی هر سه منبع نیتروژن تأثیر گذاشته و با توقف فعالیت باکتری‌های نیتروزموناس تبدیل آمونیوم به نیترات و متعاقبا غلظت نیترات در خاک را به طور معنی‌داری ($p<0.01$) کاهش داده‌اند. بیشترین و کمترین نیتروژن نیتراتی به ترتیب در تیمارهای U بدون بازدارنده نیترات‌زایی با مقدار ۳/۱۹ و CM+ART با مقدار ۲ میلی‌گرم بر

کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۴). همچنین کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی موجب شدند که آمونیوم در خاک برای مدت بیشتر دوام داشته باشد. بیشترین و کمترین نیتروژن آمونیومی به ترتیب در تیمارهای U+ART با مقدار ۱/۵۲ و VC بدون بازدارنده نیترات‌زایی با مقدار ۰/۹۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (شکل ۵).

به طور کلی نتایج این بخش از آزمایش نشان می‌دهد هنگامی‌که کودها با بازدارنده‌های نیترات‌زایی تیمار شده بودند سرعت فرآیند نیترات‌زایی کاهش یافته و نیتروژن نیتراتی خاک به آرامی در دسترس قرار می‌گیرد و نیتروژن بیشتر به فرم نیتروژن آمونیومی در دسترس گیاه است. در این راستا گزارش شده است که کاربرد DMPP به طور معنی‌داری باعث افزایش نیتروژن آمونیومی و کاهش نیتروژن نیتراتی خاک می‌شود (۵۶).

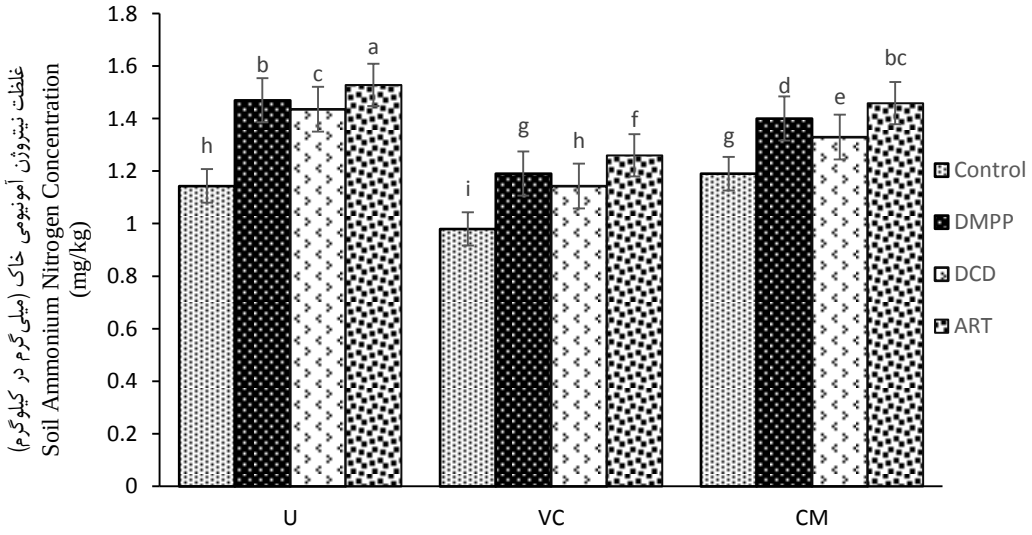


شکل ٤- برهم‌کنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر غلظت نیتروژن نیتراتی خاک

Figure 4- The interaction of fertilizer and nitrification inhibitors on nitrate nitrogen in soil

U :اوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure



شکل ٥- برهم‌کنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر غلظت نیتروژن آمونیومی خاک

Figure 5- Interaction of fertilizer and nitrification inhibitors on soil ammonium nitrogen concentration

U :اوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure

همچنین چند تن از محققین اثر بازدارنده‌های نیترات‌زایی DCD و ۴،۲،۱ تریازول را بر روی اشکال نیتروژن موجود در خاک زیر کاشت ذرت بررسی و دریافتند که استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌زایی باعث کاهش ۷-۳۲ درصدی نیتروژن نیتراتی و افزایش محتوای نیتروژن آمونیومی خاک به میزان ۱۰تا ۵۹ درصد شدند (۳۵). در این رابطه گزارش شده است که این کاهش سرعت فرآیند نیترات‌زایی در اثر کاربرد DCD مربوط به مهار بخشی از فعالیت باکتری‌های شوره‌ساز توسط این بازدارنده نیترات‌زایی است (۴۵).

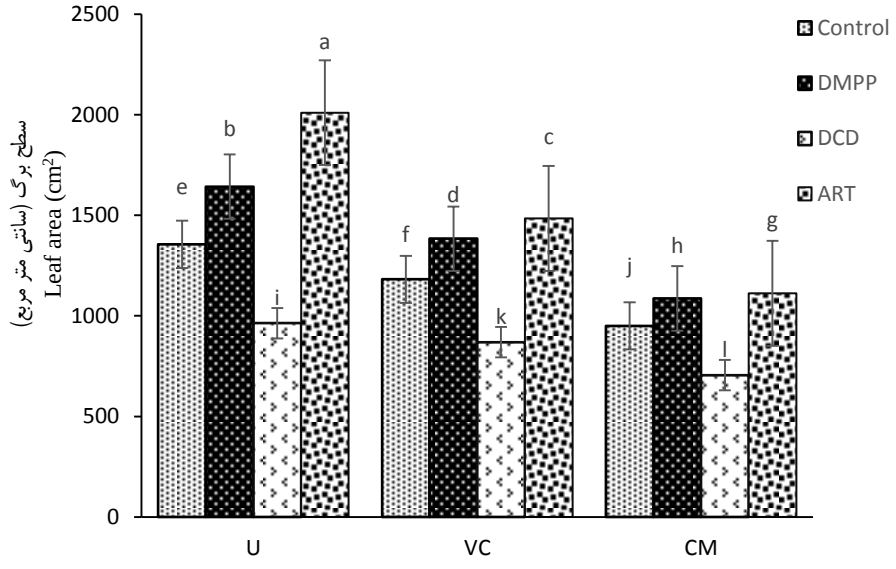
همچنین مواد گیاهی دارویی و معطر به عنوان بازدارنده‌های نیترات‌زایی برای افزایش عملکرد و جذب نیتروژن در نعناع ژاپنی توسط محققین بررسی و گزارش شد که مواد پوشش‌دهنده طبیعی به طور قابل‌توجهی عملکرد و اسانس را در کود نیتروژن در مقایسه با اوره به تنهایی افزایش دادند و همانند DCD در بازدارندگی تشکیل نیترات در خاک موثر بودند. این محققین همچنین اظهار داشتند که درمنه شامل آرتمیسینین و نعناع شامل ترکیبات فنولی و کاروون که دارای خواص ضد میکروبی‌ست، می‌باشند که ممکن است در مهار فعالیت شوره‌سازها موثر باشند (۲۴).

تأثیر تیمارهای آزمایشی بر مقدار سطح برگ گیاه

سطح برگ یک متغیر کلیدی برای مطالعات فیزیولوژیکی شامل رشد گیاه، جذب نور، کارایی فتوسنتزی، تبخیر و تعرق و همچنین پاسخ گیاه به کودها و آبیاری است (۸). بنابراین سطح برگ به شدت رشد و تولید را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در محصولات برگی مثل چای، تنباکو و سبزی های برگی، که برگ مهم‌ترین فرآورده اقتصادی است، سطح برگ یک شاخص مستقیم و خوب از عملکرد محصول است (۳۸).

نتایج برهم‌کنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی نشان داد که کاربرد هر دو بازدارنده DMPP و ART موجب افزایش معنی‌دار ($p < ۰/۰۱$) سطح برگ و کاربرد DCD موجب کاهش آن شد. بیشترین سطح برگ در تیمار U+ ART با مقدار ۲۰۱۰/۴ سانتی‌متر مربع و کمترین مقدار آن در تیمار CM+DCD با مقدار ۷۰۴/۹ سانتی‌متر مربع مشاهده شد (شکل ۶).

در تیمار کود اوره بدون بازدارنده نیترات‌زایی (شاهد) سطح برگ ۱۳۵۶/۱ سانتی‌متر مربع بود که با کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و ART این مقدار به ترتیب به ۱۶۴۲/۷ و ۲۰۱۰/۴ سانتی-متر مربع افزایش و با کاربرد بازدارنده نیترات‌زایی DCD به ۹۶۳/۳ سانتی‌متر مربع کاهش یافت. همچنین سطح برگ در تیمار ورمی‌کمپوست بدون بازدارنده نیترات‌زایی (شاهد) ۱۱۸۱/۶ سانتی‌متر مربع بود که این مقدار با کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و ART به ترتیب به ۱۳۸۳/۷ و ۱۴۸۴/۷ سانتی‌متر مربع افزایش و با کاربرد بازدارنده نیترات‌زایی DCD به ۸۶۹/۱ سانتی‌متر مربع کاهش یافت.



شکل ٦- اثر متقابل منابع کود نیتروژن و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر سطح برگ گیاه

Figure 6- Interaction of nitrogen fertilizer sources and nitrification inhibitors on leaf area

U :اوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure

سطح برگ در تیمار کود گاوی بدون بازدارنده نیترات‌زایی (شاهد) ۹۵۰/۵ سانتی‌متر مربع و در حضور بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP، DCD و ART در این تیمار کودی به ترتیب ۱۰۸۷/۰۴، ۷۰۴/۹ و ۱۱۱۲/۳ سانتی‌متر مربع بود.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که کاربرد بازدارنده‌های DMPP و ART موجب افزایش سطح برگ در حضور منابع مختلف کود نیتروژن شدند. یکی از علل این امر این است که اساسا نیتروژن به توسط گیاهان به دو فرم نیترات و آمونیوم جذب می‌شود. گیاهان نیترات را بر خلاف شیب غلظت جذب کرده و بنابراین جذب نیترات محتاج انرژی است و بایستی جذب فعال صورت گیرد (۴۲). آمونیوم فرم احیا شده نیتروژن است که جذب آن غیر فعال بوده و نیاز به انرژی ندارد (۴۸). از طرفی مصرف انرژی در آسیمیلاسیون آمونیوم در مقایسه با نیترات کمتر است. بنابراین همانطور که محققین گزارش کردند جذب و ساخت یون‌های آمونیوم در مقایسه با نیترات، به دلیل مصرف انرژی کمتر توسط گیاه، سریع‌تر است. این ذخیره انرژی، که تا ۱۷٪ کل ذخایر کربوهیدرات گیاه گزارش شده، منجر به افزایش میزان ماده خشک تولیدی و به دنبال آن عملکرد برای گیاهانی می‌شود که بخشی از نیتروژن مصرفی آن‌ها به شکل آمونیوم بوده است. بنابراین اگر بخشی از نیتروژن گیاه به فرم آمونیوم به سطح ریشه عرضه شود، عملکرد محصول و سطح برگ افزایش می‌یابد (۷).

از طرفی بازدارنده‌های نیترات‌زایی می‌توانند اکسایش میکروبی NH_4^+ به NO_2^- را به تاخیر بیندازند و بنابراین می‌توانند NH_4^+ را تثبیت کنند و میزان اکسیداسیون NO_2^- تا NO_3^- و NO_3^- در خاک را کاهش دهند (۵۷). همچنین گزارش شده است که در اثر کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و DCD فرم اولیه نیتروژن معدنی خاک (نیترات) به آمونیوم تغییر که برای رشد و جذب نیتروژن توسط محصولات مفید است (۲۸).

از طرفی عنوان شده است که با بالا رفتن مصرف کود نیتروژن میزان کلروفیل افزایش و فتوسنتز بهبود می‌یابد (۵۰). این امر منجر به افزایش تقسیم سلولی و اندازه سلول‌ها می‌شود و در نهایت شاخص سطح برگ نیز بیشتر می‌شود.

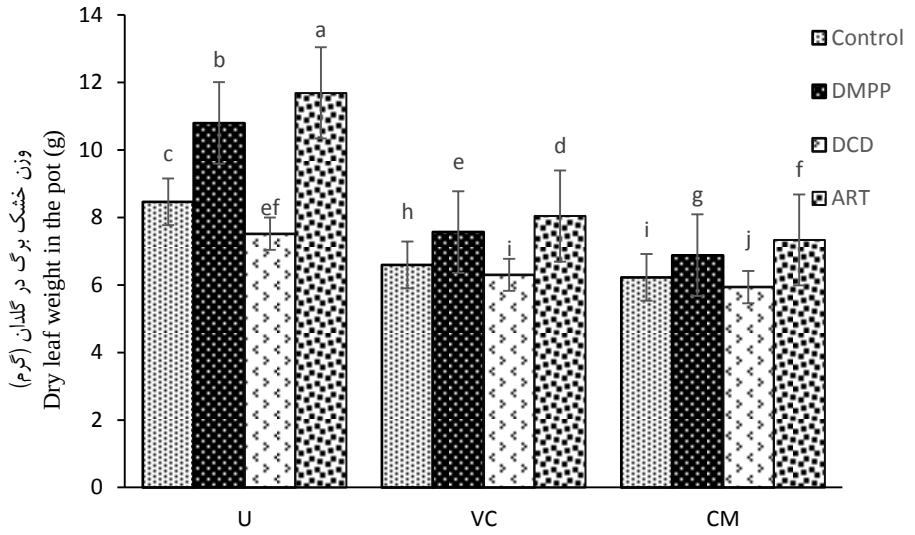
همسو با نتایج مشاهده شده در آزمایش حاضر برخی از محققین تأثیر کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر افزایش سطح برگ را نیز مشاهده کردند (۳۹ و ۴۰). همین‌طور گزارش شده است که کاربرد بازدارنده نیترات‌زایی نیتراپیرین منجر به افزایش در ارتفاع گیاه، تعداد برگ، سطح برگ، وزن تازه، وزن خشک و مقدار آب، به دلیل محیط تغذیه مطلوب و جذب بیشتر می‌شوند (۳). همچنین نتایج مشابهی توسط محققین نیز ثبت شده است (۳۲ و ۴۳).

از طرفی نتایج آزمایش کاهش سطح برگ در تیمارهای دریافت‌کننده DCD را نشان داد. این کاهش سطح برگ به علت سوختگی حاشیه برگ‌ها (که در اوخر دوره رشد گیاه مشاهده شد) بود. علت این امر ممکن است به اثر سمیت DCD برگردد. نشانه‌های ناگهانی که اغلب در گیاهان به علت اثر سمیت کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی مختلف مشاهده شده عبارتند از توقف رشد و به دنبال آن کاهش عملکرد ماده خشک، تغییر شکل مورفولوژی ریشه و ساقه همراه با علائم خاص برای سیستم‌های برداشت تحت شرایط مختلف، پیچ‌خوردگی برگ مربوط به کلروز برگ، سوختن برگ در نتیجه نکروز برگ، پیچش ساقه همراه با سیستم ریشه‌ای محدود و غیره است (۱۸). در این راستا برخی از گزارش‌ها حاکی از آن است که برخی از بازدارنده‌های نیترات‌زایی از جمله DCD، ممکن است اثرات سمی بر برخی از گیاهان داشته باشد (۴۱). همچنین گزارش شده است که DCD باعث ایجاد نکروز در شبدر سفید می‌شود (۲۹).

تأثیر منابع نیتروژن و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر وزن خشک برگ

در مورد برهم‌کنش منابع کودی و بازدارنده‌های نیترات‌زایی نتایج آزمایش نشان داد که بازدارنده‌های DMPP و ART باعث افزایش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد آن‌ها در حضور هر سه منبع کودی شدند و استفاده از بازدارنده DCD وزن خشک برگ را نسبت به تیمار شاهد کاهش داد و بیشترین و کمترین وزن خشک برگ به ترتیب در تیمارهای U+ ART و CM+DCD مشاهده شد (شکل ۷).

همان‌طور که نتایج نشان داد وزن خشک برگ در تیمار اوره بدون بازدارنده نیترات‌زایی ۸/۴۵ گرم بود که کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و ART موجب افزایش این مقدار به ۱۰/۷۹ و ۱۱/۶۸ گرم به ترتیب در تیمارهای DMPP و ART شدند. اما با کاربرد بازدارنده DCD وزن خشک برگ به ۷/۵۱ گرم کاهش یافت. وزن خشک برگ در تیمار ورمی‌کمپوست (بدون بازدارنده نیترات‌زایی) ۶/۵۹ گرم بود که بعد از کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و ART وزن خشک برگ به ۷/۵۶ و ۸/۰۴ گرم نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت، اما DCD تأثیر منفی بر وزن خشک برگ داشت و موجب کاهش چهار درصدی آن نسبت به تیمار شاهد شد. وزن خشک برگ در تیمار کود گاوی (بدون بازدارنده نیترات‌زایی) ۶/۲۲ گرم بود که کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی DMPP و ART وزن خشک برگ را به ترتیب به ۶/۸۸ و ۷/۹۹ گرم نسبت به تیمار شاهد افزایش دادند. افزایش وزن خشک برگ در اثر کاربرد DMPP و ART به این علت است که این دو بازدارنده موجب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شده بودند. DCD نیز باعث کاهش وزن خشک برگ نسبت به تیمار شاهد گردید. کاهش وزن خشک در اثر کابرد DCD به علت ظهور علائم سمیت در اثر کاربرد این بازدارنده نیترات‌زایی که در ادامه در این مورد بیشتر توضیح داده خواهد شد.



شکل ۷- برهم‌کنش منابع کود نیتروژن و بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر وزن خشک برگ در گلدان

Figure 7- Interaction of nitrogen fertilizer sources and nitrification inhibitors on leaf dry weight in pot

U :اوره، VC: ورمی‌کمپوست، CM: کود گاوی

U: Urea, VC: Vermicompost, CM: Cow Manure

توضیح احتمالی برای بازده بالاتر محصولات از کودهای حاوی بازدارنده‌ها کاهش تلفات ناشی از آبشویی و تبخیر، تغذیه گیاه از آمونیوم و همچنین بهبود تامین نیتروژن می‌باشد. هنگامی‌که گیاهان با بازدارنده‌های نیترات‌زایی تیمار می‌شوند نیتروژن آمونیومی به میزان بیشتر و برای یک دوره طولانی‌تر زمانی به محصول می‌رسد و در نتیجه مقدار قابل‌توجهی از نیتروژن آمونیومی به جای نیتروژن نیتراتی توسط گیاهان جذب می‌شود (۳۶). مزایایی برای تمایل به تغذیه آمونیوم برشمرده شده است از جمله: گیاهان ممکن است انرژی کمتری را برای جذب آمونیوم نسبت به نیترات، به خصوص در نرخ بالا عرضه آمونیوم، صرف کنند، آمونیوم می‌تواند به‌طور مستقیم برای سوخت و ساز پروتئین‌ها استفاده شود. همچنین آمونیوم تأثیر مثبتی بر سنتز پلی‌آمینها، سیتوکینین‌ها و جیبرلین‌ها دارد که پلی‌آمین‌ها به عنوان پیام ثانویه برای القاء گل عمل می‌کنند. پنجه‌زایی و رشد پنجه در غلات و تعداد بیشتر میوه در محصولات که در اثر تغذیه آمونیوم که منجر به افزایش متابولیسم سیتوکینین می‌شود، دیده شده است (۳۶). آن‌ها همچنین بیان کردند زمانی‌که ذرت و گندم با آمونیوم به جای نیترات تغذیه شده بودند مقدار سیتوکینین در این دو گیاه بالاتر بود. علاوه بر این غلظت بیشتر جیبرلین در شیره آوند چوبی در گیاهانی که با آمونیوم و یا آمونیوم/نیترات به جای نیترات به تنهایی رشد کرده بودند نیز مشاهده شد (۴). مقادیر بیشتر این دو فیتوهورمون که مانع از پیری و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود می تواند علت این‌که چرا گیاهانی که با DMPP بارور می شوند، دارای ظاهر بهتر (رنگ سبز تیره) نسبت به گیاهانی که بدون DMPP رشد می‌کنند هستند، را توضیح دهد (۳۶). علاوه بر این، تغذیه از آمونیوم ناشی از کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی ممکن است pH خاک را در ریزوسفر کاهش دهد که این pH پایین باید در دسترس بودن سایر عناصر غذایی، به خصوص عناصر کم‌مصرف را برای جذب گیاه بهبود بخشد (۳۶). همچنین گزارش شده که تغذیه با آمونیوم در دسترس بودن بعضی از عناصر غذایی، به خصوص آهن را کمی بهبود می‌بخشد (۳۰). اگرچه در تحقیق حاضر آهن اندازه‌گیری نشده بود، اما می‌تواند به رشد و توسعه محصولات کمک کند.

DMPP نه تنها عملکرد محصول را در جو، ذرت و گندم افزایش می‌دهد (۲۷ و ۳۶) بلکه در هویج و کاهو میزان تولید محصول در تیمارهای DMPP به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای بدون DMPP بود.

در راستای مقایسه اثربخشی DMPP و DCD بر عملکرد، برخی محققین در آزمایشات خود به این نتیجه دست یافتند که DMPP، در مقادیر بسیار کوچک‌تر، دارای اثر مهاری قوی‌تری نسبت به DCD است و اثرات آن بر کارایی کود نیتروژن و افزایش عملکرد حاصل از آن ملموس‌تر از DCD است (۱۵). در عین حالی‌که اثرات DCD و DMPP بر عملکرد محصول ممکن است مشابه است لیکن مقدار مربوطه از ماده فعال مورد نیاز در هر هکتار برای ممانعت کارآمد نیترات‌زایی به طور قابل‌توجهی متفاوت است. ظاهرا میزان مصرف تقریبی DCD تقریبا ۱۶ برابر بیشتر از DMPP در واحد نیتروژن است (۳۶). این به وضوح نشان‌دهنده کارایی بالاتر DMPP به عنوان بازدارنده نیترات‌زایی در مقایسه با DCD است (۵۷).

در راستای افزایش عملکرد در تیمارهای دریافت‌کننده بازدارنده طبیعی نیترات‌زایی برخی از محققین نعناع و درمنه (را به عنوان بازدارنده طبیعی نیترات‌زایی) و DCD را به همراه کود اوره به کار برده و مشاهده کردند که این مواد پوشش‌دهنده طبیعی به طور قابل‌توجهی عملکرد و اسانس را در مقایسه با اوره به تنهایی افزایش دادند و همانند DCD در بازدارندگی تشکیل نیترات در خاک اثرگذار بودند و در مقایسه با اوره بدون پوشش، عملکرد گیاهان ۶- ۸۱٪ افزایش یافت. ایشان همچنین بیان کردند که درمنه آرتمیسینین و نعناع ترکیبات فنولی و کاروون که دارای خواص ضد میکروبی‌اند، که ممکن است در مهار فعالیت شوره‌سازها مؤثر باشند (۲۵).

همچنین نتایج آزمایش حاضر نشان می‌دهد که کاربرد DCD موجب سمیت در گیاهان و کاهش عملکرد شده است. در همین راستا اثرات سمی بازدارنده‌های نیترات‌زایی DCD و DMPP توسط برخی از محققین بر روی شبدر مورد ارزیابی قرار گرفت، آنها به این نتیجه دست یافتند که DCD، باعث تولید اثرات سمی و کاهش عملکرد در شبدر شد. همچنین آنها عنوان کردند که عدم تعادل عناصر غذایی، که منجر به فرایند پیری می‌شود، به صورت کلروز و نکروز در مرز برگ‌ها مشاهده می‌شود (۲۹). همچنین عوارض سمیت در کاهو با اعمال DCD نیز توسط برخی دیگر از پژوهشگران نیز گزارش شده است (۵۷).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در پژوهش حاضر استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌زایی موجب کاهش غلظت نیترات در برگ کاهو و افزایش غلظت نیتروژن برگ شدند. همچنین غلظت نیترات و آمونیوم در خاک پس از برداشت کاهو، با کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی مذکور به ترتیب کاهش و افزایش یافت. کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌زایی بر خصوصیات رشدی گیاه نیز تاثیر داشتند و کاربرد دو بازدارنده DMPP و ART موجب افزایش سطح برگ و وزن خشک گیاه و کاربرد بازدارنده DCD، به علت بروز علائم سمیت، موجب کاهش این دو پارامتر شد. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که به طور کلی بازدارنده طبیعی نیترات‌زایی ART نسبت به دو بازدارنده شیمیایی نیترات‌زایی دیگر کارکرد بهتری داشت، و بین دو بازدارنده شیمیایی نیترات‌زایی DMPP نسبت به DCD اثر بهتری بر پارامترهای مورد آزمایش داشت. در آخر نتایج آزمایش نشان داد که استفاده از بازدارنده نیترات‌زایی DCD موجب ایجاد اثرات سمی و به دنبال آن ایجاد ظاهر نامطلوب در گیاهان می‌شود، که این موضوع موجب کاهش بازار پسندی محصول می‌شود.

منابع

1- Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G., and Vallejo A. 2014. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. Agriculture, Ecosystems & Environment 189: 136-144.

2- Ahmed A.A., Abdel-Baky M.M.H., and Abdel-Aal F.S. 2004. The productivity of jew's mallow plant as influenced by different NK fertilization. Mansoura University Journal of Agricultural Sciences (Egypt).

3- Alderfasi A.A., Aljuaid A.M., Moftah A.E., and Selim M.M. 2015. IRole of Nitrification Inhibitor Combined with Different Nitrogen Sources in Decreasing Injurious Components in Spinach. Advance Plants Agriculture Research 2(6): 10-15.

4- Ali I.E.A., Kafkafi U., Yamaguchi I., Sugimoto Y., and Inanaga S. 1998. Response of oilseed rape plant to low root temperature and nitrate: ammonium ratios. Journal of Plant Nutrition 21(7): 1463-1481.

5- Amberger A., and Vilsmeier K. 1979. Dicyandiamidabbau in Quarzsand und Böden. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 142(6): 778-785.

6- Asing J., Saggar S., Singh J., and Bolan N.S. 2008. Assessment of nitrogen losses from urea and an organic manure with and without nitrification inhibitor, dicyandiamide, applied to lettuce under glasshouse conditions. Soil Research 46(7): 535-541.

7- Beritto D.T., and Kronzucker H.J. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants. Journal Plant Physiology 159: 567-584.

8- Blanco F.F., and Folegatti M.V. 2005. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Scientia Agricola 62(4): 305-309.

9- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1982. Nitrogen – total. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties 2(1): 595-624.

10- Chapman H.D. 1965. Total exchangeable bases. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.

11- Crawford D.M., and Chalk P.M. 1993. Sources of N uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) and N transformation in soil treated with a nitrification inhibitor (nitrapyrin). Plant and Soil 149: 59-72.

12- Fangueiro D., Fernandes A., Coutinho J., Moreira N., and Trindade H. 2009. Influence of two nitrification inhibitors

(DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 3387-3398.
13- Gent M.P.N. 2002. Growth and composition of salad greens as affected by organic compared to nitrate fertilizer and by environment in high tunnels. Journal of plant Nutrition 25(5): 981-998.
14-Guillaumes E., and Villar J.M. 2004. Effects of DMPP on growth and chemical composition of ryegrass (*Lolium perenne* L.) raised on calcareous soil. Spanish Journal of Agricultural Research 2: 588-596.
15-Hähndel R., and Zerulla W. 1999, August. Effects of ammonium-stabilized N-fertilizers on yield and quality of vegetables. In International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilisation of Field Grown Vegetable Crops 563: 81-86.
16-Haynes R.J. 1986. Uptake and assimilation of mineral nitrogen by plants. Mineral nitrogen in the plant-soil system, 303-378 pp.
17-Imami A. 1996. Explanation of plant decomposition methods, Vol. 1, Technical journal No. 982, Tehran University of Tehran. 110 p. (In Persian)
18-Islam N. 1991. A comparative study of the role of nitrification inhibitors in soil with special attention to their potentials and limitations.
19-Kaffashani A., Riahi M., Entezari M., Hassanzadeh A., Mohabat L., And Torabi A.H. 2013. Comparison of Nitrate content in irrigated vegetables with Zayandeh Rood water and well water. Health Research Journal 9(2): 201-196 (In Persian with English abstract)
20- Keeney D.R.A., and Nelson D. 1982. Nitrogen –inorganic forms. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil an 2), 643- 698pp.
21-Keeney D.R. 1986. Inhibition of nitrification in soils.
22- Kiani Sh. 2010. Use of nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency, improve the quality of agricultural products and preserve the environment. First congress on fertilizer challenges in Iran. University of Shahr Kord. (In Persian)
23- Kiran U., and Patra D.D. 2002. Influence of natural essential oils and synthetic nitrification inhibitors on crop yield and nitrogen use efficiency in mint (*Mentha arvensis* L.)-mustard (*Brassica juncea* L.) cropping sequence. Journal of the Indian Society of Soil Science 50(1): 64-69.
24- Kiran U., and Patra D. 2003a. Medicinal and aromatic plant materials as nitrification inhibitors for augmenting yield and nitrogen uptake of Japanese mint (*Mentha arvensis* L. Var. Piperascens). Bioresource Technology 86: 267-276.
25- Kiran U., and Patra D.D. 2003b. Influence of natural essential oils and their by-products as nitrification retarders in regulating nitrogen utilization for Japanese mint in sandy loam soils of subtropical central India. Agriculture, Ecosystems & Environment 94(2): 237-245.
26- Leghari S.J., Wahocho N.A., Laghari G.M., HafeezLaghari A., MustafaBhabhan G., HussainTalpur K., Bhutto T.A., Wahocho S.A., and Lashari A.A. 2016. Role of nitrogen for plant growth and development: a review. Advances in Environmental Biology 10(9): 209-219.
27- Linzmeier W., Schmidhalter U., and Gutser R. 2001. Effect of DMPP on nitrification and N losses (nitrate, NH_3, N_2O) from fertilizer nitrogen in comparison to DCD. In VDLUFA-Institution Series Congress (52): 485-488.
28- Liu C., Wang K., and Zheng X. 2013. Effects of nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on nitrous oxide emission, crop yield and nitrogen uptake in a wheat-maize cropping system. Biogeosciences 10(4): p.2427.
29- Macadam X.M.B., del Prado A., Merino P., Estavillo J.M., Pinto M., and González-Murua C. 2003. Dicyandiamide and 3, 4-dimethyl pyrazole phosphate decrease N_2O emissions from grassland but dicyandiamide produces deleterious effects in clover. Journal of Plant Physiology 160(12): 1517-1523.
30- Martínez-Alcántara B., Quiñones A., Polo C., Primo-Millo E., and Legaz F. 2013. Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen uptake efficiency in citrus trees. Journal of Agricultural Science 5(2): 10-16.
31- Mengel K., and Kirkby E.A. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5th Kluwer Academic of mixed agricultural landuse. Enviromental Pollution 115: 191-204
32- Murugan R.A., Chitraputhirapillai S.W., von Fragstein N.P., and Nanjappan K. 2011. Effects of combined application of biofertilisers with neem cake on soil fertility, grain yield and protein content of black gram (Vigna mungo (L.) Hepper). World Journal of Agricultural Sciences 7(5): 583-590.
33- Olsen S.R., Cola C.V., Watanabe F.S., and Dean C.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S Departmene of Agriculture, Cirular, 939pp.
34- Page A.L., Miller R.H., and Keeny D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties: American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI.
35- Panakova Z., Slamka P., and Lozek O. 2016. Effect of nitrification inhibitors on the content of available nitrogen forms in the soil under maize (*Zea mays* L.) growing. Journal of Central European Agriculture 17(4): 1013-1032.

36- Pasda G., Hähndel R., and Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils 34(2): 85-97.
37- Premuzic Z., Garate A., and Bonilla I. 2000. Production of lettuce under different fertilisation treatments, yield and quality. In Workshop Towards and Ecologically Sound Fertilisation in Field Vegetable Production. 65-72pp.
38- Raper C.D., Smith W.T., and York E.K. 1974. Geometry of tobacco leaves: effect on estimation of leaf area. Tobacco international.
39- Randall G.W., Vetsch J.A., and Huffman J.R. 2003. Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by time of nitrogen application and nitrapyrin. Agronomy Journal 95(5): 1213-1219.
40- Randall G.W., and Vetsch J.A. 2005. Corn production on a subsurface-drained mollisol as affected by fall versus spring application of nitrogen and nitrapyrin. Agronomy Journal 97(2): 472-478.
41- Reeves D.W., and Touchton J.T. 1986. Relative phytotoxicity of dicyandiamide and availability of its nitrogen to cotton, corn, and grain sorghum. Soil Science Society of America Journal 50: 1353-1357.
42- Shariati M., And Madadkar Haghjo M. . Plant physiology: absorption and transfer of material through the membrane. Isfahan University Press. 65 p. (In Persian)
43- Sarkar A., Sarkar S., and Zaman A. 2011. Growth and yield of potato as influenced by combination of organic manures and inorganic fertilizers. Potato Journal 38(1): 25-36.
44- Serna M.D., Banuls J., Quinones A., Primo-Millo E., and Legaz F. 2000. Evaluation of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in a Citrus-cultivated soil. Biology and Fertility of Soils 32(1): 41-46.
45- Shamsuzzaman S.M., Hanafi M.M.H., Samsuri A.W., Halimi S.M., Begum M., and Maisarah J.N. 2016. Impact of nitrification inhibitor with organic manure and urea on nitrogen dynamics and N_2O emission in acid sulphate soil. Bragantia 75(1):108-117.
46- Sivasakthy K., and Gnanavelrajah N. 2012. Organic Nitrogen Sources and Nitrification Inhibitors on Leaching and Phyto-Accumulation of Nitrate and Yield of Amaranthus polygamous. World Journal of Agricultural Sciences 8(2): 208-211.
47- Subbarao G.V., Ito O., Sahrawat K.L., Berry W.L., Nakahara K., Ishikawa T., Watanabe T., Suenaga K., Rondon M., and Rao I.M. 2006. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems—challenges and opportunities. Critical Reviews in Plant Sciences 25(4): 303-335.
48- Taiz L., and Zeiger E. 1991. Plant Physiology The Benjamin. Cummings Redwood City, 565pp.
49- Tate K.R. 1985. Soil phosphorus. In Soil organic matter and biological activity (pp. 329-377). Springer Netherlands.
50- Tilak K.V.B.R., Singh C.S., Roy N.K., and Subba Rao N.S. 1992. Azospirillum brasilense and Azotobacter chrococcum inoculum effect on maize and sorghum. Soil Biology and Biochemistry, 14, pp.417-418.Thind, H., O. Choudhary, R. Guota, and M. Vashista. 2013.
51- Trenkel M.E. 1997a. Improving fertilizer use efficiency controlled realease and stabilized fertilizers in agriculture. Paris International Fertilizer Industry Association.
52- Upadhyay R.K., Tewari S.K., and Patra D.D. 2011. Natural nitrification inhibitors for higher nitrogen use efficiency, crop yield, and for curtailing global warming. Journal of Tropical Agriculture 49: 19-24.
53- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
54- Weiske A., Benckiser G., Herbert T., and Ottow J. 2001. Influence of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) in comparison to dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, carbon dioxide fluxes and methane oxidation during 3 years of repeated application in field experiments. Biology and Fertility of Soils 34(2): 109-117.
55- Xu C., and Zhang F.S. 2005. Role of nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate) in NO_3^--N accumulation in greengrocery (*Brassica campestris* L. Ssp. Chinensis) and vegetable soil. Journal of Environmental Sciences 17(1): 81-83.
56- Xu L., Chen H., Xu J., Yang J., Li X., Liu M., Jiao J., Hu F., and Li H. 2014. Nitrogen transformation and plant growth in response to different urea-application methods and the addition of DMPP. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 177(2): 271-277.
57- Zerulla W., Barth T., Dressel J., Erhardt K., von Locquenghien K.H., Pasda G., Rädle M., and Wissemeier A. 2001. 3, 4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP)–a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biology and Fertility of Soils 34(2):79-84.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 2, May-June 2020, p. 423-437

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۹، ص. ۴۳۷-۴۲۳

Effects of Artificial and Natural Nitrification Inhibitors on Plant Growth Characteristics and Nitrate Uptake by Lettuce

S. Sangsefidi[1]– A. Lakzian[2*]- A. Astaraei[3]- M. Banayan Aval[4]- M. Mazhari[5]

Received: 02-09-2019
Accepted: 17-02-2020

Introduction: Nitrification inhibitors are compounds that slow biological oxidation of ammonium to nitrite by reducing the activity of *Nitrosomonas* bacteria, without affecting the subsequent oxidation of nitrite to nitrate, either by inhibiting or interfering with the metabolism of nitrifying bacteria. The first step of nitrification is inhibited (i.e., the activity of Nitrosomonas bacteria) by the nitrification inhibitors, while the second step for oxidation of nitrite (NO_2^-) to nitrate (NO_3^-) is normally not influenced. In recent years, numerous compounds have been identified and used as nitrification inhibitors, particularly in agricultural soils. They are chemical compounds that slow the *nitrification* of ammonia, ammonium-containing, or urea-containing fertilizers, which are applied to soil as fertilizers, such as thiourea, carbon Sulfide, thioethers, ethylene, 3-amino-1,2,4-triazole, dicyandiamide (DCD), 2-amino-4-chloro-6-methyl pyrimidine, ammonium thiosulphate and 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP). These inhibitors reduce the losses of nitrogen in soil. Some nitrification inhibitors are very effective in the efficiency of the nitrogen fertilizers. Recently, a lot of attention has been paid to nitrification inhibitors from an environmental point of view. Some nitrification inhibitors are very expensive and not economically suitable for land application. Nonetheless, many farmers and researchers apply these compounds for many purposes in some specific places. On the other hand, there are many inexpensive natural nitrification inhibitors such as Artemisia powder, Karanj (*Pongamia glabra*), neem (*Azadrachta indica*) and tea (*Camellia sinensis*) waste which can compete with the artificial nitrification inhibitors such as 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), dicyandiamide (DCD) which are very common nitrification inhibitors. Applying 1.5 kg ha^{-1} of DMPP is sufficient to achieve optimal nitrification inhibition. 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) can significantly shrink nitrate (NO_3) leaching. 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) may also decrease N_2O emission and the use of DMPP-containing fertilizers can improve yield. The aim of this study was to compare the effect of 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), Dicyandiamide (DCD) and powder Artemisia (ART) at the presence of Urea, cow manure and Vermicompost.

Material and Methods: Effects of three nitrification inhibitors, (3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP), Dicyandiamide (DCD) and powder Artemisia (ART)) at the presence of three nitrogen sources (Urea, cow manure and Vermicompost) were investigated in a calcareous soil under lettuce cultivation in a greenhouse condition. The changes in the soil mineral nitrogen (nitrate and ammonium), plant nitrogen, nitrate accumulation in leaves and some of growth characteristics such as lettuce chlorophyll content, leaf area index, leaf dry weight and root dry weight were determined. The experiment was carried out in a completely randomized factorial design with three replications. Soil ammonium and nitrate concentration were measured during the experiment. The growth characteristics of lettuce were also measured at the end of experiment. Nitrogen and nitrate contents were also determined in lettuce leaves.

Results and Discussion: The results of the experiment showed that soil nitrate decreased at the presence of three nitrification inhibitors but the soil nitrogen ammonium increased significantly. Application of nitrification inhibitors also reduced the concentration of nitrate in the lettuce leaves during two harvesting times. Moreover, the nitrogen concentration in the plant increased at the presence of nitrification inhibitors. The application of nitrification inhibitors influenced the plant growth characteristics and changed the lettuce growth characteristics. Chlorophyll content increased significantly in lettuce leaves. Leaf area index, leaf and root dry weight of lettuce increased notably when 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) and powder Artemisia (ART) nitrification

1, 2 and 3- M.Sc.Graduated in Soil Science, Professor and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: alakzian@yahoo.com)
4- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
5- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Karaj, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i2.82678

inhibitors were applied to the soil samples. These growth characteristics, however, reduced significantly when dicyandiamide nitrification inhibitors was applied to the soil samples. In addition, the symptoms of toxicity were observed in lettuce plant when dicyandiamide nitrification inhibitors were applied to the soil samples. In general, the highest efficiency of nitrification inhibitors was recorded at the presence of urea fertilizer source and the greatest efficiency was observed initially for powder Artemisia (ART) and then for 3, 4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) and dicyandiamide, respectively, when urea fertilizer was applied to the soil samples. There was a positive correlation between soil nitrogen content and plant nitrate in the first and second harvest. The correlation between soil ammonium and plant nitrate (in the first and second harvest) and soil nitrate was negative.

Keywords: Nitrification inhibitors, Lettuce, Urea, Cow manure, Vermicompost