



تأثیر سیستم‌های مختلف آبیاری در حرکت جانبی کود اوره نشان‌دار در کرتچه ایزوتوپی گیاهان کاهو و چغندر قند

*میراحمد موسوی شلمانی^۱، علی خراسانی^۲، نجات پیرولی بیرانوند^۱،

اعظم برزویی^۳، ابراهیم مقیسه^۳ و علی شیرزادی گلزار^۴

^۱مربی گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، آکارسناس گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای،

سازمان انرژی اتمی ایران، ^۲استادیار گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران،

^۳نکسین گروه پژوهشی کشاورزی هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۵/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر روش‌های کاربری کود و آب در حرکت جانبی کود نیتروژنی و نقش آن در تعیین ابعاد دقیق کرتچه ایزوتوپی در گیاه غده‌ای چغندر قند و گیاه سبزینه‌ای کاهو، آزمایش مزرعه‌ای در طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (مزرعه زعفرانیه کرج) در کرت‌های به ابعاد ۱۴۴ مترمربع در قالب طرح بلوک کامل تصادفی (RCB) به صورت کرت خرد شده و در ۳ تکرار اجرا گردید. سیستم‌های مختلف آبیاری شامل سیستم کود آبیاری قطره‌ای، کود آبیاری بارانی و سیستم فارو به عنوان فاکتور اصلی و مناطق نمونه‌برداری شامل ایزوتوپی مرکزی، گارد و غیرایزوتوپی (فاکتور فرعی) بودند. نمونه‌های گیاهی از مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی برداشت شده و نسبت ایزوتوپی $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ در اندام هوایی توسط دستگاه اسپکترومتر گسیلی $\text{NOI}7$ اندازه‌گیری گردید. نتایج بیانگر این مطلب می‌باشد که در گیاه کاهو، مناطق مرکزی کرتچه ایزوتوپی و گارد اول در یک گروه آماری قرار گرفته و به طور میانگین ۴۸ درصد از نیاز کودی، از منبع نشان‌دار تامین گردیده است. در خصوص گیاه چغندر قند مناطق مرکزی کرتچه ایزوتوپی، گارد و غیرایزوتوپی در ۳ گروه متفاوت آماری قرار گرفته و روند کاهش جذب به ترتیب برابر با ۳۱ درصد و ۸۲ درصد ملاحظه گردیده است. بنابراین در طراحی کرتچه‌های ایزوتوپی اولاً توصیه بر این است تا همه امور مرتبط با افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی با رویکرد کاهش اتلاف نیتروژن و به دنبال آن کاهش درصد غنی‌سازی کود نشان‌دار

*مسئول مکاتبه: mi_mo823@stu-mail.um.ac.ir

مورد لزوم مدنظر قرار گیرند. همچنین بین گیاهان مورد مطالعه و گیاهان غیرایزوتوپی حتماً باید یک ردیف گیاه گارد به صورت حایل قرار گیرد. به این ترتیب با در نظر گرفتن همه شرایط، می توان سطح کرتچه ایزوتوپی را در سیستم های قطره ای و بارانی تا حد ۰/۵۶ مترمربع در گیاه کاهو و ۱/۱۲ مترمربع در گیاه چغندر قند کاهش داد. تحت این شرایط کارایی ردیابی ایزوتوپی در حد کرتچه های حایل دار پلاستیکی افزایش خواهد یافت. خاطر نشان می گردد در نمونه برداری از کرتچه ایزوتوپی در سیستم آبیاری فارو، نمونه برداری از مرکز کرتچه ایزوتوپی همواره دقیق ترین پاسخ را به همراه نخواهد داشت. بنابراین به دلیل حرکت کود نشان دار در مسیر جریان آب، توصیه بر این است تا نمونه برداری اندکی متمایل به جلو (در امتداد جریان آب) صورت گیرد. در این صورت نقطه مورد مطالعه بیشترین جذب را در خصوص ^{15}N و کمترین تداخل را با ^{14}N خواهد داشت.

واژه های کلیدی: چغندر قند، کاهو، کرتچه ایزوتوپی، سیستم آبیاری، نیتروژن-۱۵

مقدمه

عنصر نیتروژن یکی از عناصر بسیار متحرک در خاک به شمار می رود. به دلیل تحرک این عنصر و پس از قرار دادن کودهای نیتروژنی در خاک، نیتروژن از سه طریق آب شویی، نترات زدایی و تصاعد گاز آمونیاک اتلاف می گردد. در این راستا انجام عملیات کشاورزی باعث ایجاد تغییرات کوتاه مدت در تحرک عناصر غذایی گردیده و ممکن است به طور بالقوه منجر به افزایش اتلاف نیتروژن از طریق فرآیند نترات زدایی و آب شویی نترات گردد (کالدرون و همکاران، ۲۰۰۱). استورم و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از فناوری نیتروژن نشان دار گزارش نمودند که به رغم ۲۳ درصد افزایش محصول کلم سفید، به دست آمده از توزیع سنتی کود نیتروژنی به خاک، بیشترین میزان اتلاف محصول نیز در چنین حالتی رخ داده است. اگرچه پوشش دار کردن منابع کودی، برنامه ریزی بهینه جدول های آبیاری، استفاده از گیاهان پوششی، کاربرد کودهای نیتروژنی بر اساس آزمون خاک و تقسیط کودی می تواند تا حدودی از اتلاف منابع کودی جلوگیری کند اما کاربرد این گونه استراتژی های مدیریتی، بستگی به شرایط خاص محیطی و ویژگی های اقتصادی زارعین خواهد داشت (لی و همکاران، ۲۰۱۱؛ گابریل و کوئه مادا، ۲۰۱۱؛ ذوپانک و همکاران، ۲۰۱۱؛ دلگادو و همکاران، ۲۰۰۱). برای ردیابی نیتروژن در خاک، از دو فناوری نیتروژن-۱۵ و Br^- استفاده می گردد. نتایج پژوهش های مختلف نشان داده است که در آزمون Br^- ، عمق جابه جایی نیتروژن-۱۵ بیش تر از حد معمول برآورد می گردد (۰/۲۳ متر در

آزمون نیتروژن-۱۵ و $1/13$ متر در آزمون Br^-). این امر به واسطه نداشتن برآورد جذب گیاه و غیرمتحرک شدن نیتروژن در سطح خاک، طبق روش Br^- می باشد (آتمن و پاپ، ۲۰۰۰).

در طرح های مطالعاتی ردیابی نیتروژن، به طور عموم کرتچه کوچک ایزوتوپی^۱ در داخل کرت مزرعه ای^۲ (با مساحت ۱۰-۱۲ مترمربع) ایجاد می گردد و در آن کود ایزوتوپی نیتروژن-۱۵ توزیع می شود (IAEA، ۱۹۹۰). اصول روش به این ترتیب است که گیاهان کاشته شده در قطعه ایزوتوپی نباید هیچ گونه نیتروژن-۱۴ را از خارج از منطقه نشان دار جذب نمایند، که با توجه به گسترش سیستم ریشه ای گیاهان، این امر تقریباً غیرممکن خواهد بود. برای جلوگیری از تداخل نیتروژن-۱۴ و نیتروژن-۱۵ و حصول به نتایج معتبر آماری، دو روش پیشنهاد گردیده است. در روش اول یک حایل (از جنس پلاستیک و یا فلز) مابین گیاهان ایزوتوپی و غیرایزوتوپی، در داخل خاک قرار داده می شود تا توسعه سیستم ریشه ای در آن منطقه محدود گردد (کارتر و همکاران، ۱۹۶۷). محدودیت توسعه سیستم ریشه ای گیاه، به هم خوردن ترتیب کرتچه ایزوتوپی، جنبش غیرطبیعی آب خاک از طریق زه کشی و محدودیت عملیات کاشت و شخم طبیعی از محدودیت های این روش به شمار می روند. بافولگ و همکاران (۱۹۹۷) کرتچه های ایزوتوپی باز و حایل دار را مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گیری نمودند که کرتچه ایزوتوپی حایل دار پلاستیکی، با مساحت $0/75$ مترمربع، بهترین وانمودسازی را در سیستم غرقابی فراهم می آورد. استفاده از کرتچه های ایزوتوپی باز، به همراه گیاهان گارد ایزوتوپی، روش دیگری است که پاسخ قابل قبول، برای جلوگیری از تراوش جانبی کود ارایه نموده است (هایوک و همکاران، ۱۹۹۴). در این روش تمامی کرتچه ایزوتوپی توسط نیتروژن-۱۵ نشان دار می گردد و در موقع برداشت محصول، فقط گیاهان موجود در ناحیه میانی کرتچه ایزوتوپی مورد تجزیه قرار می گیرند (IAEA، ۲۰۰۱). به گفته دیگر، حاشیه ها باقی گذاشته می شوند و در نهایت محصول براساس ناحیه برداشت شده محاسبه می گردد. گیاهان باقی مانده در منطقه حاشیه، نقش گیاهان گارد را ایفا می کنند. در حقیقت گیاه گارد، گیاهی در محدوده کرتچه ایزوتوپی است که در حد واسط منطقه نشان دار و غیرنشان دار قرار می گیرد (اما در نمونه برداری در نظر گرفته نمی شود). نقش آن صرفاً کاهش میزان انتقال ^{14}N به داخل کرتچه ایزوتوپی و به دنبال آن کاهش تراوش جانبی ^{15}N به خارج از منطقه ایزوتوپی (به حداقل میزان ممکن) خواهد بود.

پژوهش های متعدد بر روی سیستم های کاشت ردیفی، نشان داده که کرتچه ایزوتوپی با مساحت 2×2 متر (با ۴ ردیف گیاه) برای انجام ردیابی ایزوتوپی مناسب خواهد بود (اولسون، ۱۹۸۰؛ استامپ و

1- Isotopic Subplot

2- Mainplot

همکاران، ۱۹۸۹). در این روش توصیه گردیده تا نمونه برداری از ۲ ردیف میانی صورت گیرد. به این ترتیب قرارگذاری ۰/۵ متر حاشیه، منطقی ترین نتیجه را در مطالعات جذب و بازیافت کود حاصل خواهد نمود. در این راستا فولیت و همکاران (۱۹۹۱) کمترین سطح کرتچه ایزوتوپی را برای گندم زمستانه ۱/۵×۱/۵ متر تعیین نمودند و خاطر نشان کردند که برداشت نمونه از فاصله ۰/۴۶ متر از حاشیه کرتچه ایزوتوپی، هیچ گونه تأثیری در غلظت نیتروژن-۱۵ نخواهد گذارد. مک گی و همکاران (۱۹۹۵) در سیستم آبیاری قطره‌ای دهن شده، کرتچه ایزوتوپی با ابعاد ۱/۰۲×۲ متر با دو ردیف از گیاه کاهو را پیشنهاد نمودند. حاشیه امن در این روش ۰/۲۵ متر عنوان گردیده است. سیلورتوس و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از سولفات آمونیوم نشان‌دار شده با نیتروژن-۱۵ (۵ اتم درصد)، ابعاد کرتچه ایزوتوپی را در سیستم آبیاری فارو و در گیاه پنبه مورد بررسی قرار دادند. براساس پژوهش‌های نام‌بردگان، کرتچه ایزوتوپی با ابعاد ۱×۴ متر (۴ خط کاشت به فاصله‌ها و طول ۱/۰۲ و ۱ متر) برای بررسی جذب و بازیافت کود نشان‌دار مناسب خواهد بود. به این ترتیب نمونه گیاهی باید از ناحیه‌ای به مساحت ۱ مترمربع و در وسط کرتچه ایزوتوپی جمع‌آوری شوند.

همان طوری که ملاحظه می‌گردد تعیین تعداد ردیف گیاهان گارد یکی از موارد اختلاف نظر محققان علوم تغذیه گیاه بوده است. به نظر می‌رسد که نوع گیاه، توزیع سیستم ریشه‌ای و نحوه مدیریت آبیاری و کوددهی از نقش تعیین‌کننده در تشخیص تعداد ردیف گیاهان گارد برخوردار می‌باشند. در خصوص استفاده از سیستم‌های مختلف آبیاری، مسأله تا حدودی پیچیده‌تر می‌گردد. در سیستم کود آبیاری قطره‌ای، حجم محدود آب و کود، به‌طور دایم (یا به دفعات مکرر) در نقاط مشخصی از خاک مزرعه اعمال می‌گردد و در کاشت متراکم و با تداخل دوائر آبیاری (در روی سطح زمین)، امکان نقل و انتقال هرچه بیش‌تر نیتروژن ممکن خواهد بود. از سوی دیگر در سیستم کود آبیاری بارانی و در شرایط نبود باد، ناحیه تقریباً یکنواخت رطوبتی برای حرکت عمودی و جانبی کود نیتروژنی فراهم می‌آید. در سیستم فارو نیز به‌واسطه جریان آب آبیاری، سهم عمده‌ای از عناصر کودی از این طریق از محدوده موردنظر خارج می‌گردد. به این سبب تعیین ابعاد قطعات ایزوتوپی، براساس قواعد عمومی از پیش تعیین شده مشکل می‌باشد و بر حسب نوع سیستم آبیاری، شرایط محیطی و نوع محصول، متغیر خواهد بود. افزایش اندازه کرت ایزوتوپی نیز باعث کاهش خطای آزمایشی می‌گردد، اما از سوی دیگر افزایش هزینه کود نشان‌دار را به دنبال خواهد داشت. بر طبق توصیه‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، کرتچه ایزوتوپی با مساحت بین ۳-۱ مترمربع (مشمول بر ۳۰ گیاه ایزوتوپی) برای ردیابی ایزوتوپی

کافی خواهد بود. این تعداد در خصوص گیاهانی مانند گندم، جو، یونجه و یا هر گونه گیاه علفی (و یا مرتعی) مناسب می‌باشد. در خصوص گیاهان بزرگ‌تر مانند ذرت و یا درختان باید از تعداد گیاهان کاسته شود، که این امر احتمالاً منجر به افزایش خطای آزمایشی خواهد گردید. به هر حال تعیین دقیق ابعاد کرتچه ایزوتوپی بر حسب تجارب آزمون‌گر، متغیر در نظر گرفته شده است (آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، ۱۹۹۰؛ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، ۲۰۰۱). در این بررسی سعی بر این است تا با استفاده از الگوی جذب نیتروژن نشان‌دار از مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی، حرکت جانبی کود اوره نشان‌دار در سیستم‌های مختلف آبیاری در خصوص گیاه غده‌ای چغندر قند و گیاه برگی کاهو مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی (مزرعه زعفرانیه کرج) در کرت‌های به ابعاد ۱۴۴ مترمربع بر روی گیاهان کاهو و چغندر قند اجراء گردید. پاره‌ای از خصوصیات خاک مزرعه در جدول ۱ ارایه گردیده است.

جدول ۱- خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه (قبل از آزمایش).

عمق خاک (سانتی‌متر)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر (قابل استفاده) (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (قابل استفاده) (پی‌پی‌ام)	آهک (درصد)	کربن آلی (درصد)	pH	EC	SP	بافت
									خاک
۰-۳۰	۰/۰۹	۹/۰	۲۰۰	۱۷/۳	۰/۹۴	۸/۲	۰/۸	۴۶	لوم رسی
۳۰-۶۰	۰/۰۶	۶/۸	۱۶۰	۱۸/۰	۰/۵۷	۸/۲	۱/۱	۴۷	لوم رسی
۶۰-۹۰	۰/۰۳	۶/۲	۱۸۰	۱۸/۰	۰/۲۵	۸/۲	۱/۲	۴۷	لوم رسی

آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی (RCB) به صورت کرت خرد شده و در ۳ تکرار اجرا گردید. سیستم‌های مختلف آبیاری شامل سیستم کود آبیاری قطره‌ای (T_۱)، کود آبیاری بارانی (T_۲) و سیستم فارو (T_۳) به عنوان فاکتور اصلی و مناطق نمونه‌برداری، شامل ایزوتوپی مرکزی، گارد و غیرایزوتوپی (فاکتور فرعی) بودند. در خصوص گیاه کاهو، بذرها در سال ۱۳۸۴ در فاصله زمانی ۲۹ مرداد تا ۱ شهریور کاشت شدند. در رابطه با چغندر قند بذرها در سال ۱۳۸۵ در نیمه دوم فروردین‌ماه در

کیسه‌های نایلونی کاشت شدند و نشاءها در اوایل خرداد به زمین منتقل گردیدند. تعیین سطح کودی در همه تیمارها براساس موجودی عناصر غذایی (بالا تر از نرخ حاشیه‌ای^۱)، سطح خیس شده خاک و کارایی مصرف کودهای سه‌گانه تحت هر سیستم، طبق مقادیر ذکر شده در جدول ۲ صورت پذیرفت.

جدول ۲- سطوح کودی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در تیمارهای مختلف.

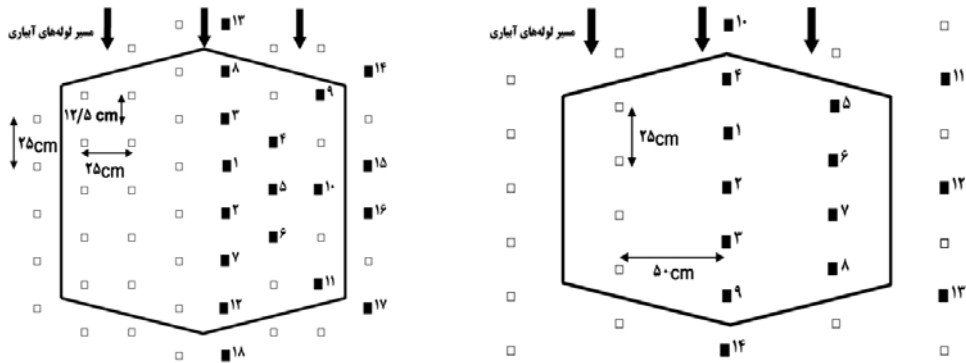
تیمار	نوع گیاه	کیلوگرم عنصر در هکتار								
		Fe	Zn	Mo	B	Mn	Cu	K	P	N
T _۱	کاهو	۳	۵	۰/۵	۲	۲۰	۵	۱۳۰	۴۷	۱۴۳
	چغندر قند	-	۷	-	۷	۷	-	۱۲۸	۵۵	۱۲۱
T _۲	کاهو	۳	۵	۰/۵	۲	۲۰	۵	۱۴۰	۷۰	۱۷۷
	چغندر قند	-	۷	-	۷	۷	-	۱۴۵	۸۲/۵	۱۴۸
T _۳	کاهو	۳	۵	۰/۵	۲	۲۰	۵	۱۵۰	۹۳	۲۱۰
	چغندر قند	-	۷	-	۷	۷	-	۱۶۱	۱۱۰	۱۹۳

در تیمار کود آبیاری قطره‌ای از لوله‌های پلی اتیلن ۱۶ میلی‌متر و قطره چکان‌های با آب‌دهی ۴ لیتر در ساعت استفاده گردید. در رابطه با کاشت گیاهان و برای ایجاد بیش‌ترین تراکم در واحد سطح، از الگوی مثلثی استفاده شد و به‌ازای هر ۵ خط آبیاری، یک خط حذف گردید و به‌صورت جاده در نظر گرفته شد. برای تغذیه گیاهان، همه عناصر مورد نیاز از طریق یک پمپ کود آبیاری بزرگ در ۱۰ قسط تزیادی^۲ و به فاصله ۳ روز در خصوص گیاه کاهو و در ۱۱ قسط نزولی^۳ و به فاصله ۷ روز در خصوص گیاه چغندر قند داخل سیستم تزریق گردید. به این ترتیب تمامی مواد شیمیایی (مانند کود، قارچ‌کش، عناصر میکرو و...) از طریق سیستم تزریق خودکار (جداگانه)، در کرتچه ایزوتوپی توزیع گردیدند. در سال ۱۳۸۴ اوره نشان‌دار (اضافه ^{۱۵}N درصد $\delta = 1/189 \text{ at}$) و در سال ۱۳۸۵ اوره نشان‌دار

1- Marginal Value

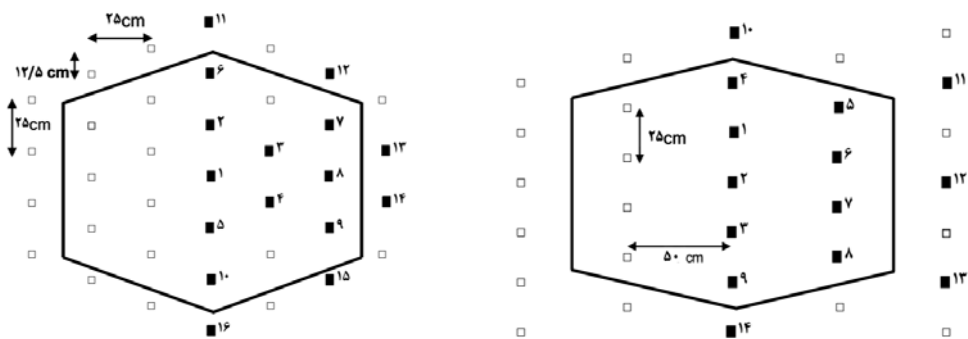
۲- در سه دوره اول هر بار به‌میزان ۱۶ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار، در ۳ دوره دوم هر بار به‌میزان ۱۷/۵ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار و در ۴ دوره نهایی نیز هر بار به‌میزان ۱۹/۱ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار مورد استفاده قرار گرفت.
 ۳- در سه دوره اول، نیمی از سطح کودی (هر بار به‌میزان ۲۰ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار) استفاده شد. در ۳ دوره دوم یک‌چهارم کود (هر بار به‌میزان ۱۰ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار) و در ۵ دوره نهایی نیز از یک‌چهارم کود (هر بار به‌میزان ۶ کیلوگرم‌نیوتن بر هکتار) مورد استفاده قرار گرفت.

(اضافه ^{15}N درصد $\hat{a}=2/0.44$) از طریق پمپ کوچک کود آبیاری به ترتیب برای تزریق عناصر کودی در گیاهان کاهو و چغندر قند مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱).



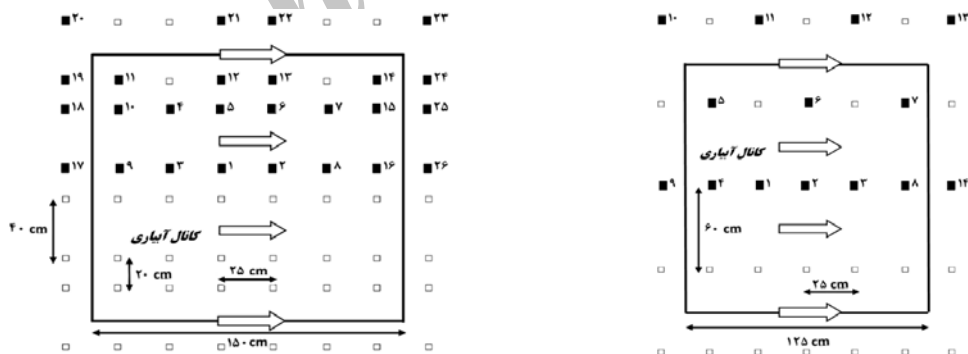
شکل ۱- الگوی کرتچه ایزوتوپی و مناطق نمونه برداری گیاهان در تیمار کود آبیاری قطره‌ای (سمت راست چغندر قند: ۱-۳ ایزوتوپی مرکزی، ۴-۹ گارد اول، ۱۰-۱۴ غیر ایزوتوپی، سمت چپ کاهو: ۱ و ۲ ایزوتوپی مرکزی، ۳-۷ گارد اول، ۸-۱۲ گارد دوم، ۱۳-۱۸ غیر ایزوتوپی)، □: منطقه حضور گیاه، ■: گیاهان مورد آزمون نسبت ایزوتوپی.

در سیستم کود آبیاری بارانی از آب پاش ژاله (دبی 0.74 مترمکعب در ساعت، شعاع پاشش $11/5$ متر، فشار $2/5$ بار و آب دهی 1920 لیتر در ساعت) بر روی لوله‌های فرعی آلومینیومی ثابت استفاده شد. الگوی کاشت در خصوص گیاه کاهو به صورت ردیفی با فاصله‌های خطوط و گیاه 0.25 متر و در رابطه با گیاه چغندر قند فاصله‌های خطوط و گیاه به ترتیب 0.5 و 0.25 متر در نظر گرفته شد و به ازای هر 8 خط کاشت، 2 خط برای جاده حذف گردید. در خصوص گیاه کاهو عناصر کودی از طریق مه‌پاشی و در 8 قسط تزییدی و به فاصله 3 روز در میان اعمال گردید. در رابطه با گیاه چغندر قند، عناصر کودی از طریق مه‌پاشی و در 11 قسط نزولی و به فاصله 7 روز در میان بر روی گیاهان پاشیده شد. در هنگام کودپاشی، قطعات ایزوتوپی توسط شبکه شش ضلعی پلاستیکی پوشانده گردید و به دنبال آن، اوره نشان‌دار با معادل‌سازی توسط 3 عدد مه‌پاش بر روی گیاهان پاشیده می‌شد (شکل ۲).



شکل ۲- الگوی کرتچه ایزوتوپی و مناطق نمونه برداری گیاهان در تیمار کود آبیاری بارانی (سمت راست چغندر قند: ۱-۳ ایزوتوپی مرکزی، ۴-۹ گارد اول، ۱۰-۱۶ غیر ایزوتوپی، سمت چپ کاهو: ۱ ایزوتوپی مرکزی، ۲-۵ گارد اول، ۶-۱۰ گارد دوم، ۱۱-۱۶ غیر ایزوتوپی)، □: منطقه حضور گیاه، ■: گیاهان مورد آزمون نسبت ایزوتوپی.

در تیمار فارو، هر کرت شامل ۲۰ پشته با فاصله ۶۰ سانتی متر بود که در خصوص گیاه کاهو در دو طرف پشته و در رابطه با گیاه چغندر قند در وسط پشته کاشته شده بودند. همه عناصر کودی (به استثناء نیتروژن) از طریق پمپ کود آبیاری به کانال اصلی آبیاری وارد می گردید. در رابطه با عنصر نیتروژن، کود مورد نظر به صورت محلول در ۳ قسط و به صورت دستی به ردیف های کاشت اضافه گردید. برای انجام کوددهی ایزوتوپی، قطعه ای در وسط کرت انتخاب شده و به کرتچه ایزوتوپی اختصاص داده شده بود (شکل ۳).



شکل ۳- الگوی کرتچه ایزوتوپی و مناطق نمونه برداری گیاهان در تیمار فارو (سمت راست چغندر قند: ۱-۳ ایزوتوپی مرکزی، ۴-۸ گارد اول، ۹-۱۶ غیر ایزوتوپی، سمت چپ کاهو: ۱-۲ ایزوتوپی مرکزی، ۳-۸ گارد اول، ۹-۱۶ گارد دوم، ۱۷-۲۶ غیر ایزوتوپی)، □: منطقه حضور گیاه، ■: گیاهان مورد آزمون نسبت ایزوتوپی.

برنامه‌ریزی آبیاری همه تیمارها، براساس میزان تبخیر از طشتک تبخیر کلاس (E-Pan) A، ضرایب K_c ، K_p و میزان بارندگی مؤثر در منطقه صورت گرفت. میزان آب کاربردی برای تمامی تیمارها با استفاده از کتور حجمی اندازه‌گیری گردید. برای کنترل رطوبت خاک در ناحیه ریشه گیاه و اصلاح زمان‌بندی آبیاری از روش نوترون‌تری استفاده شد. به این منظور برای تمام تیمارها در ۲ تکرار لوله‌های آلومینیومی تا عمق ۱ متری خاک نصب گردید. شمارش‌های نوترونی هفته‌ای ۲ بار (قبل و بعد از آبیاری) در عمق‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ سانتی‌متری خاک انجام شد. قبل از شروع اندازه‌گیری‌ها، کالیبراسیون دستگاه نوترون‌تر (به‌عنوان تابعی از رطوبت حجمی خاک) در مزرعه صورت گرفت. پس از برداشت محصول، نمونه‌های گیاهی به اندام‌های هوایی و ریشه تفکیک شده و نمونه‌گیری فرعی ایزوتوپی بر روی اندام هوایی صورت پذیرفت. درصد نیتروژن کل به روش کج‌لدال تعیین شد و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، نسبت ایزوتوپی $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ توسط دستگاه امیشن اسپکترومتر NO17 تعیین گردید.

نتایج

در جدول ۳ میانگین درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار^۱ از مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی تحت سیستم‌های کود آبیاری قطره‌ای، کود آبیاری بارانی و فارو در اندام هوایی گیاهان کاهو و چغندر قند مورد مقایسه قرار گرفته است. پایین بودن داده‌های Ndff درصد چغندر قند نسبت به گیاه کاهو بیانگر این مطلب می‌باشد که مقادیر معتناهی از کود نشان‌دار در اندام ذخیره‌ای گیاه و در غده آن تجمع گردیده است. بنابراین به‌دلیل نداشتن تشابه رقمی، از مقایسه آماری ستون‌ها اجتناب گردیده است.

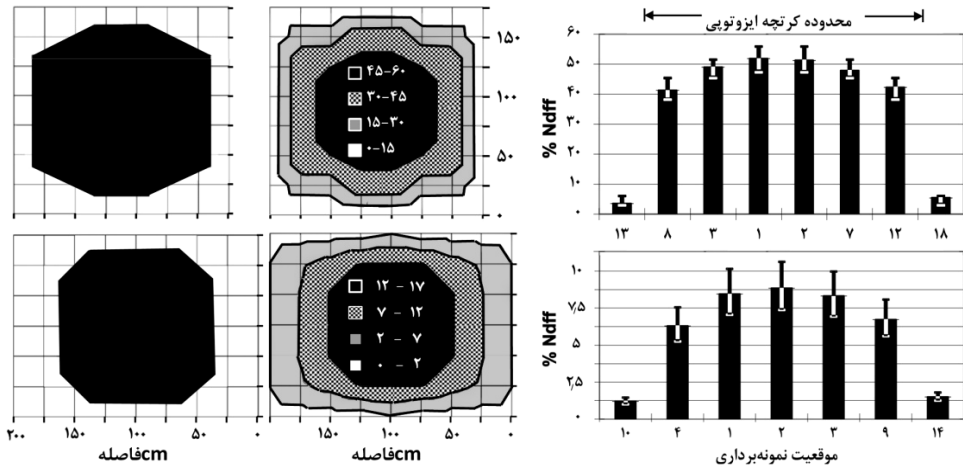
جدول ۳- میانگین درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود از نقاط مختلف کرتچه ایزوتوپی و سیستم‌های مختلف آبیاری.

سیستم آبیاری	نوع گیاه	ایزوتوپی مرکزی	گارد اول	گارد دوم	غیرایزوتوپی
کود آبیاری قطره‌ای	کاهو	$51/61 \pm 4/31^A$	$48/48 \pm 3/11^A$	$41/80 \pm 3/61^B$	$4/51 \pm 1/56^C$
	چغندر قند	$9/00 \pm 0/73^A$	$5/72 \pm 0/15^B$	-	$2/15 \pm 0/06^C$
کود آبیاری بارانی	کاهو	$48/46 \pm 2/07^A$	$48/60 \pm 1/37^A$	$37/25 \pm 2/87^B$	$7/85 \pm 1/69^C$
	چغندر قند	$14/24 \pm 0/65^A$	$10/89 \pm 0/33^B$	-	$2/72 \pm 0/08^C$
فارو	کاهو	$44/37 \pm 2/73^A$	$44/32 \pm 5/35^A$	$37/60 \pm 4/22^B$	$5/58 \pm 0/44^C$
	چغندر قند	$24/85 \pm 0/86^A$	$16/71 \pm 0/77^A$	-	$1/19 \pm 0/18^B$

حروف مشابه در هر سطر نشانگر نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد (از طریق آزمون دانکن) است.

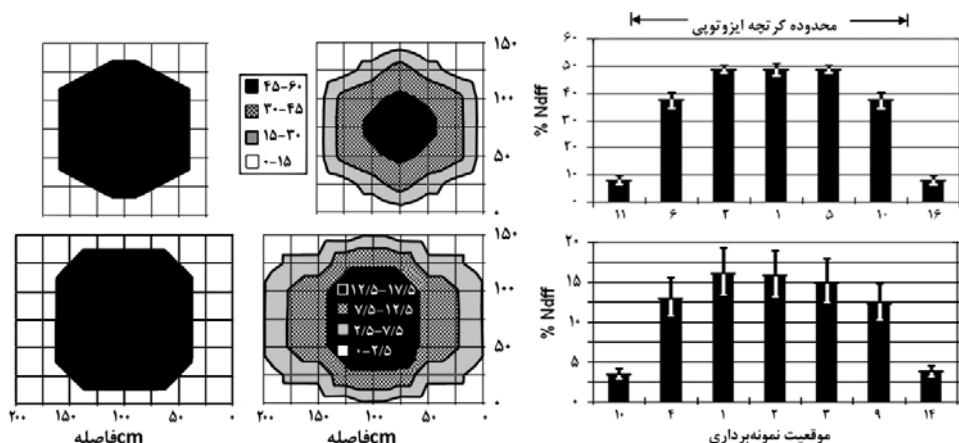
^۱ $100 \times (\text{اتم درصد اضافه نیتروژن } 15 \text{ در کود نشان‌دار} / \text{اتم درصد اضافه نیتروژن } 15 \text{ در گیاه}) = \text{Ndff درصد}$

همان طوری که ملاحظه می‌گردد، سطوح نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار (Ndff) درصد)، در مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی متفاوت بوده و با افزایش فاصله از گیاه مرکزی، از میزان آن کاسته می‌شود. به‌عنوان مثال در منطقه مرکزی کرتچه ایزوتوپی در تیمار کود آبیاری قطره‌ای، از هر ۱۰۰ اتم نیتروژن که به اندام هوایی گیاه کاهو وارد گردیده، ۵۱/۶ اتم از منبع کود تأمین گردیده است. با افزایش فاصله و در نتیجه تداخل نیتروژن-۱۴ از منطقه غیرایزوتوپی به کرتچه ایزوتوپی، رقیق‌سازی ایزوتوپی رخ داده و در نتیجه مقادیر درصد نیتروژن جذب شده از کود نشان‌دار در گاردهای اول، دوم و منطقه غیرایزوتوپی به ترتیب ۴۸/۵، ۴۱/۸ و ۴/۵ درصد ملاحظه گردیده است. در مقایسه جنبش جانبی کود نشان‌دار در کرتچه ایزوتوپی گیاهان کاهو و چغندر قند به نظر می‌رسد به‌واسطه توزیع گسترده غده‌های، درصد قابل ملاحظه‌ای از کود نشان‌دار در اندام‌های زیرزمینی گیاه تجمع یافته است. یافته‌های ایزوتوپی نشان داد که درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار در اندام‌های غده، طوقه، دم‌برگ و برگ گیاه چغندر قند به ترتیب ۲۰/۶، ۱۹/۶، ۱۶/۶ و ۱۵/۵ درصد بوده است. همچنین به‌نظر می‌رسد به‌دلیل ایجاد شرایط ویژه در خاک، مقدار زیادی از کود نشان‌دار به‌صورت عمودی از منطقه ایزوتوپی خارج شده و به این ترتیب باعث آلودگی لایه‌های زیرین خاک گردیده است. بنابراین با توجه به معنی‌دار بودن تفاوت داده‌های ایزوتوپی در گیاهان ایزوتوپی مرکزی و گارد توصیه می‌گردد که برای نمونه‌برداری‌های وابسته به ردیابی نیتروژن (در سطح کرتچه فرعی) نمونه‌برداری از اندام هوایی گیاه چغندر قند واقع در مرکز آن صورت گیرد (شکل ۴- پایین). اما در رابطه با گیاه کاهو، در صورت استفاده از سیستم کود آبیاری قطره‌ای، کم‌ترین تداخل ایزوتوپی در تیمار کود آبیاری قطره‌ای، در منطقه ایزوتوپی اصلی (۴ گیاه مرکزی) و اولین سری گیاه گارد در مجاورت با گیاهان ایزوتوپی اصلی رخ داده است. بنابراین در صورت لزوم ایجاد کرتچه ایزوتوپی، می‌توان از این مناطق نمونه‌برداری نمود (شکل ۴- بالا). از دیگر نکات مهم می‌توان به تفاوت درصد نیتروژن جذب شده از کود نشان‌دار در اندام‌های مختلف گیاه اشاره نمود. به‌طور مثال میانگین اشتقاق نیتروژن کود، در اندام‌های هوایی گیاه کاهو ۴/۵ درصد بیش‌تر از ریشه بوده است (اندام هوایی ۳۷/۱ درصد و ریشه ۳۲/۶ درصد). بنابراین برای انجام این‌گونه آزمایش‌ها توصیه می‌گردد تا از اندام هوایی برای مطالعه استفاده شود.



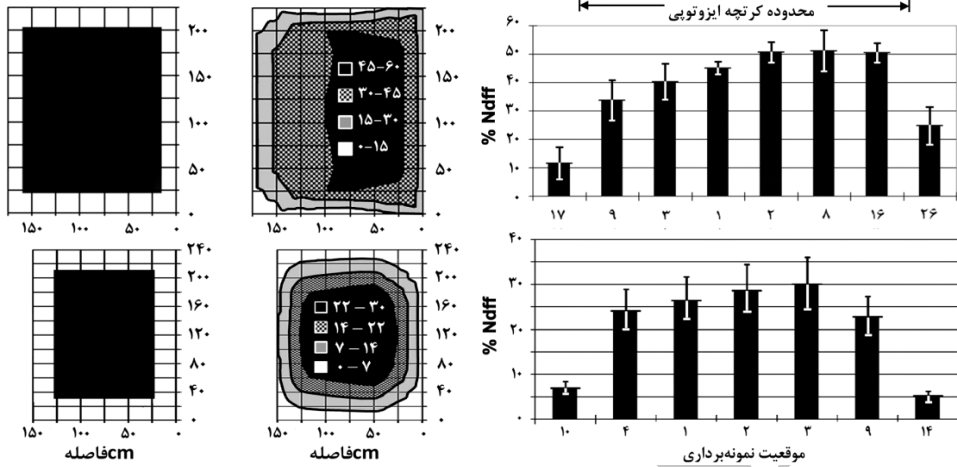
شکل ۴- توزیع ^{15}N در سطح کرتچه ایزوتوپی در سیستم کود آبیاری قطره‌ای (بالا کاهو و پایین چغندر قند): محدوده کرتچه ایزوتوپی (مشخص شده به رنگ سیاه) در شروع آزمایش (چپ)، درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار (Ndff درصد) در مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی پس از اتمام آزمایش (وسط)، جنبش یک‌بعدی نیتروژن-۱۵ در محدوده کرتچه ایزوتوپی بر اساس نقاط ویژه نمونه‌برداری (راست).

در سیستم کود آبیاری بارانی به‌طور میانگین از هر ۱۰۰ اتم نیتروژن که به اندام هوایی گیاه کاهو (گیاهان ایزوتوپی مرکزی و گارد اول) وارد گردیده، ۴۸/۵ اتم از منبع کود تأمین گردیده است. با افزایش فاصله و در نتیجه تداخل ^{14}N از منطقه غیرایزوتوپی به کرتچه ایزوتوپی، رقیق‌سازی ایزوتوپی رخ داده و در نتیجه مقادیر درصد نیتروژن جذب شده از کود نشان‌دار در گارد دوم و منطقه غیرایزوتوپی به ترتیب ۳۷/۲ و ۷/۸ درصد ملاحظه گردیده است. در خصوص جنبش جانبی کود نشان‌دار در کرتچه ایزوتوپی گیاهان کاهو و چغندر قند به‌نظر می‌رسد الگوی تراوش کود نشان‌دار همانند سیستم کود آبیاری قطره‌ای بوده و مقادیر قابل‌توجهی از کود به خارج از منطقه ایزوتوپی نفوذ نموده باشد. نکته قابل‌توجه در این راستا کوچک‌تر شدن منطقه نمونه‌برداری در سیستم کود آبیاری بارانی می‌باشد. بنابراین برای نمونه‌برداری‌های وابسته به ردیابی نیتروژن باید دقت کافی برای انتخاب منطقه نمونه‌برداری انجام داد (شکل ۵). در خصوص گیاه کاهو و در صورت پاشش منابع کودی بر روی گیاهان کم‌ترین تداخل ایزوتوپی در منطقه ایزوتوپی اصلی (گیاه منفرد مرکزی) و اولین سری گیاه گارد در مجاورت با گیاهان ایزوتوپی اصلی رخ داده، بنابراین نمونه‌برداری از این مناطق با کم‌ترین میزان تداخل ^{15}N و ^{14}N همراه خواهد بود.



شکل ۵- توزیع ^{15}N در سطح کرتچه ایزوتوپی در سیستم کود آبیاری بارانی (بالا کاهو و پایین چغندرقلند): محدوده کرتچه ایزوتوپی (مشخص شده به رنگ سیاه) در شروع آزمایش (چپ)، درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار (% Ndff) در مناطق مختلف کرتچه ایزوتوپی پس از اتمام آزمایش (وسط)، جنبش یک‌بعدی نیتروژن-۱۵ در محدوده کرتچه ایزوتوپی بر اساس نقاط ویژه نمونه‌برداری (راست).

تراوش جانبی کودهای نیتروژنی تحت سیستم‌های سنتی مدیریت منابع کودی، تا حدودی با روش‌های کود آبیاری متفاوت خواهد بود. در سیستم آبیاری فارو، به واسطه کاربرد حجم انبوه آب آبیاری و پتانسیل تراوش عمقی آب، حجم عمده‌ای از کودهای نیتروژنی در خاک جابه‌جا و آب‌شویی می‌شوند. در گیاه کاهو نیز مقادیر درصد نیتروژن جذب شده از کود نشان‌دار در گیاهان مرکزی و گارد اول در یک گروه قرار گرفته که این امر بیانگر نبود انتقال گسترده نیتروژن از طریق کانال‌های آبیاری مجاور می‌باشد. در مقایسه جنبش جانبی کود نشان‌دار در کرتچه ایزوتوپی گیاهان کاهو و چغندرقلند به نظر می‌رسد به دلیل حضور سیستم غده‌ای فعال و توانمند چغندرقلند در جذب و ابقای نیتروژن، الگوی انتقال خطی نیتروژن در امتداد مسیر کانال‌های آبیاری فارو تعدیل گردیده و به این سبب الگوی توزیع نیتروژن تشابه بیشتری با سیستم کود آبیاری قطره‌ای و بارانی داشته است (شکل ۶).



شکل ۶- توزیع ^{15}N در سطح کرتچه ایزوتوبی در سیستم فارو (بالا کاهو و پایین چغندر قند): محدوده کرتچه ایزوتوبی (مشخص شده به رنگ سیاه) در شروع آزمایش (چپ)، درصد نیتروژن جذب شده از منبع کود نشان‌دار (Ndff درصد) در مناطق مختلف کرتچه ایزوتوبی پس از اتمام آزمایش (وسط)، جنبش یک‌بعدی نیتروژن-۱۵ در محدوده کرتچه ایزوتوبی بر اساس نقاط ویژه نمونه‌برداری (راست).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به هزینه زیاد تولید کودهای نشان‌دار، کاهش سطح کرتچه ایزوتوبی (به‌نحوی که بالاترین همبستگی با میزان جنبش افقی و عمودی نیتروژن نیتراتی و آمونیومی برقرار گردد) در اولویت طراحی قرار خواهد گرفت. به این ترتیب به‌دلیل تحرک بسیار زیاد کودهای نیتروژنی، همه سیستم‌های مدیریتی با رویکرد کاهش اتلاف نیتروژن می‌توانند باعث افزایش کارایی جذب آن و به‌دنبال آن کاهش درصد غنی‌سازی کود نشان‌دار مورد لزوم در آزمایش و در نهایت کاهش هزینه ردیابی ایزوتوبی گردند. مین‌دانگ و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که اعمال شرایط خشکی و رطوبت متناوب (در شالیزارهای برنج) سبب افزایش ۶ برابر چرخه نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی در این اراضی می‌گردد. بدیهی است که نتیجه نهایی این‌گونه فرایندها، اتلاف منابع کودی و افزایش میزان غنی‌سازی مورد لزوم در فرایند ردیابی نیتروژن خواهد بود. بنابراین توصیه می‌شود تا همه امور مرتبط با افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژنی (مانند کاهش جابه‌جایی توده‌ای نیتروژن از طریق رواناب سطحی و تراوش عمقی، تصاعد گاز آمونیاک، نیتريت‌سازی، نیترات‌زدایی و...) مورد توجه و تا حد امکان به سطح کمینه کاهش داده شوند.

نکته مهم دیگر در طراحی کرتچه‌های ایزوتوپی، لزوم حضور یک ردیف گیاه گارد در اطراف گیاه مرکزی می‌باشد. به این ترتیب با در نظر گرفتن همه شرایط، می‌توان سطح کرتچه ایزوتوپی را در سیستم‌های قطره‌ای و بارانی تا حد $0/56$ مترمربع در گیاه کاهو و $1/12$ مترمربع در گیاه چغندر قند کاهش داد. تحت این شرایط کارایی ریایی ایزوتوپی در حد کرتچه‌های حایل‌دار پلاستیکی افزایش خواهد یافت (بافوگل و همکاران، ۱۹۹۷). یافته بالا در مقایسه با سطح کرتچه ایزوتوپی ارایه شده در سیستم آبیاری قطره‌ای دفن شده (مک‌گی و همکاران، ۱۹۹۵) به میزان یک چهارم کوچک‌تر بوده که این امر هزینه اجرای طرح ردیابی ایزوتوپی را به مقدار قابل توجه کاهش می‌دهد. به این ترتیب با کنترل شرایط اتلاف نیتروژن می‌توان سطح کرتچه ایزوتوپی را از مقادیر ارایه شده توسط اولسون و همکاران (۴ مترمربع)، فولیت و همکاران (۲/۲۵ مترمربع) و سیلورتوس و همکاران (۴ مترمربع) کوچک‌تر در نظر گرفت. خاطرنشان می‌گردد در نمونه‌برداری از کرتچه ایزوتوپی در سیستم آبیاری فارو، نمونه‌برداری از مرکز کرتچه ایزوتوپی همواره دقیق‌ترین پاسخ را به همراه نخواهد داشت. بنابراین به دلیل حرکت کود نشان‌دار در مسیر جریان آب، توصیه بر این است تا نمونه‌برداری اندکی متمایل به جلو (در امتداد جریان آب) صورت گیرد. در این صورت نقطه مورد مطالعه بیش‌ترین جذب را در خصوص ^{15}N و کم‌ترین تداخل را با ^{14}N خواهد داشت.

منابع

1. Attman, M.J., and Pope, N.V. 2000. Nitrogen fertilizer movement in the soil as influenced by nitrogen rate and timing in irrigated wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 1883-1892.
2. Bufogle, A., Bollich, P.K., Kover, J.L., Lindau, C.W., and Macchiavelli, R.E. 1997. Microplot size and retainer effects on rice growth and nitrogen-IS accumulation. *Agron. J.* 89: 567-571.
3. Calderon, F.J., Jackson, L.E., Scow, K.M., and Rolston, D.E. 2001. Short-term dynamics of nitrogen, microbial activity, and phospholipids fatty acids after tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 118-126.
4. Carter, J.N., Bennett, O.L., and Pearson, R.W. 1967. Recovery of fertilizer nitrogen under field conditions using nitrogen-15. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 50-56.
5. Delgado, J.A., Riggenbach, R.R., Sparks, R.T., Dillon, M.A., Kawanabe, L.M. and Ristau, R.J. 2001. Evaluation of nitrate-Nitrogen transport in a potato-barley rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 878-883.

6. Follett, R.F., Porter, L.K., and Halvorson, A.D. 1991. Border effects on nitrogen-15 fertilized winter wheat microplots grown in the Great Plains. *Agron. J.* 83: 608-612.
7. Gabriel, J.L., and Quemada, M. 2011. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertilizer fate, *Europ. J. Agron.* 34: 3. 133-143.
8. Hauck, R.D., Meisinger, J.J., and Mulvaney, R.L. 1994. Practical considerations in the use of nitrogen tracers in agricultural and environmental research, P 907-950. In: R.W. Weaver (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties.* SSSA Book Series No. 5. SSSA, Madison, WI.
9. International Atomic Energy Agency. 1990. Use of nuclear techniques in studies of soil-plant relationships, training course series, 2: 35-40.
10. International Atomic Energy Agency. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition, *Training Course Series*, 14: 129-134.
11. Li, G., Zhao, L., Zhang, S., Hosen, Y., and Yagi, K. 2011. Recovery and Leaching of 15N-Labeled Coated Urea in a Lysimeter System in the North China Plain, *Pedosphere*, 21: 6. 763-772.
12. McGee, E.A., Thompson, T.L., and Mc Creary, T.W. 1995. An apparatus for application of nitrogen-15 fertilizers through buried drip tubing. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59: 1495-1498.
13. Minh Dong, N., Brandt, K.K., Sorensen, J., Hung, N.N., Hach, C.V., Tan, P.S., and Dalsgaard, T. 2012. Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam, *Soil Biol. and Biochem. J.* 47: 166-174.
14. Olson, R.V. 1980. Plot size requirements for measuring residual fertilizer nitrogen and nitrogen uptake by com. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 428-429.
15. Silvertooth, J.C., Navarro, J.C., Norton, E.R., and Sanchez, C.A. 2001. Evaluation of a nitrogen-15 microplot design in furrow irrigated cotton. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 247-250.
16. Stumpe, J.M., Vlek, P.L.G., Mughogho, S.K., and Ganry, F. 1989. Microplot size requirements for measuring balances of fertilizer nitrogen-15 applied to maize. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 797-800.
17. Sturm, M., Kacjan-Marsic, N., Zupanc, V., Bracic-Zeleznik, B., Lojen, S., and Pintar, M. 2010. Effect of different fertilisation and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertilizer use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.), *Sci. Hort. J.* 125: 2. 103-109.
18. Zupanc, V., Sturm, M., Lojen, S., Marsic-Kacjan, N., Adu-Gyamfi, J., Bracic-Zeleznik, B., Urbanc, J., and Pintar, M. 2011. Nitrate leaching under vegetable field above a shallow aquifer in Slovenia, *Agric. Ecosyst. Environ.* 144: 1. 167-174.



Effect of different irrigation systems on lateral movement of labeled urea fertilizer in nitrogen-15 microplot under lettuce and sugar beet cultivation

***M.A. Mousavi Shalmani¹, A. Khorasani², N. Piervali Bieranvand¹,
A. Borzuee³, E. Moghiseh³ and A. Shirzadi Golzar⁴**

¹Instructor, Dept. of Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran,

²Expert, Dept. of Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran,

³Assistant Prof., Dept. of Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran,

⁴Technician, Dept. of Nuclear Agriculture, Atomic Energy Organization of Iran

Received: 11/16/2011; Accepted: 08/13/2012

Abstract

In order to evaluate the influence of different irrigation systems on lateral movement of urea fertilizer and its effect on nitrogen-15 microplot design, an experiment was carried out during 2005-2006 in a randomized complete block (RCB) design (split plot) on lettuce and sugar beet with three treatments and replications. The plot area was 144 m² and in the middle of each plot, an area about 1 to 3 m² was selected as an isotopic subplot. The treatments were different irrigation systems (main factor) consisted of trickle fertigation (T₁), sprinkler fertigation (T₂), and furrow irrigation (T₃) and different plant sampling areas (sub factor) consist of central part, first and second guard and non isotopic area. The crops were harvested in different parts of microplots and ¹⁵N/¹⁴N isotopic ratio was determined by the means of emission spectrometer NOI7. The results showed that, in lettuce culture, central parts of isotopic subplots and first guards were in the same statistical groups and 48% of fertilizers were supplied with the labeled materials. For sugar beet cultivation, central parts of isotopic subplots, first guards and non isotopic parts were situated in three different statistical groups and decreasing slope of nutrient absorption were 31% and 82% respectively. Therefore, for suitable design of isotopic subplots, increasing fertilizer use efficiency is quite necessary and by means of this methodology, low enriched fertilizers can be applied through the field experiment. It is also important to leave one row of plants (as guard) between isotopic and non isotopic rows to prevent lateral movement of nitrogen fertilizer. In this condition, area of isotopic subplots can be shrunked up to 0.56 m² (in lettuce) and 1.12 m² (in sugar beet). Under this condition, the efficiency of system can be increased up to the level of plastic barrier isotopic subplots. On the other hands, in furrow treatment, by presence of active rooting system (in accordance with absorption of nitrogen), liner movement of nitrogen were adjusted (along with irrigation channel), and this is the main reasons for similarity of system with drip and sprinkler fertigation methods. In the furrow irrigation system, movements of nitrogen-15 were more complicated. Therefore, the best place of sampling is 25 cm ahead of irrigation water pathway.

Keywords: Irrigation system, Isotopic microplot, Lettuce, Nitrogen-15, Sugar beet

* Corresponding Authors; Email: mi_mo823@stu-mail.um.ac.ir