وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی :

تغذیهٔ درختان با معرفی روش تزریق کود مایع در خاک

اورنگ تاکی و محسن حیدری سلطان‌آبادی

AERI

سال انتشار: ۱۴۰۱

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:
تغذیهٔ درختان با معرفی روش تزریق کود مایع در خاک

تهیه و تدوین:
اورنگ تاکی و محسن حیدری سلطان‌آبادی

اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

سال انتشار:
۱۴۰۱

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: تغذیه درختان با معرفی روش تزریق کود مایع در خاک
نگارندگان: اورنگ تاکی و محسن حیدری سلطان‌آبادی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۱

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٣١٢٦ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

مخاطبان نشریه:

کارشناسان و مروجان مسئول پهنه‌های تولیدی، باغداران

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- روش تزریق محلول غذایی در خاک
- تجهیزات لازم برای تزریق محلول در خاک
- دستورالعمل اجرایی برای عملیات تزریق محلول

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

موارد کاربرد روش تزریق کود در خاک ۳

ساختمان دستگاه‌های تزریق در خاک..... ٤

فرآیند تزریق محلول یا هوا در خاک ۸

الگوی پخش محلول تزریق شده در زیر خاک ۹

دستورالعمل اجرایی تزریق محلول ۱۲

نتیجه‌گیری ۱٦

منابع..... ۱٦

مقدمه

یکی از ساده‌ترین و معمول‌ترین روش‌های کوددهی درختان بزرگ، پخش کودهای گرانوله در سطح خاک است. در این روش، کود در آب آبیاری یا باران به صورت محلول درمی‌آید و همراه با آب به منطقهٔ توسعهٔ ریشه می‌رسد. برای جلوگیری از حرکت افقی محلول کود بر اثر رواناب‌ها و خارج شدن آن از دسترس درخت، برگردان خاک در بعضی موارد توصیه می‌شود که این عمل نیاز به هزینه و وقت نسبتاً زیادی دارد. تصعید بعضی از کودها مانند انواع کودهای نیتروژنی در مراحل اولیه و همین‌طور حرکت بسیار آهسته یا بی‌تحرک بودن برخی دیگر مانندکودهای فسفره، از اشکالات این روش سنتی به حساب می‌آید. روش دیگر برای تغذیهٔ درختان با کودهای گرانوله، قرار دادن آنها در سوراخ‌هایی[1] است که به عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر به فاصلهٔ ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر از یکدیگر حفر می‌شود. این روش نیز تضمین‌کننده یکنواختی توزیع کود در همهٔ پروفیل خاک نخواهد بود مخصوصاً در لایه‌های سطحی خاک که حجم زیادی از ریشه‌ها در آن قرار می‌گیرد، پراکنش توزیع کود کمتر است. در عین حال تمرکز کود در سوراخ‌ها نیز ممکن است به ریشه‌های اطراف آنها آسیب برساند. از دیگر، روش‌های معمول کوددهی درختان، استفاده از محلول‌های کودی به صورت پاشش روی برگ‌ها یا تزریق محلول در خاک است. محلول‌پاشی معمولاً برای برطرف کردن کمبود فصلی عناصر میکرو مانند آهن، بور و منگنز استفاده می‌شود و اثرگذاری سریع اما موقتی دارد.

در میان روش‌های مختلف تغذیهٔ درختان، تزریق محلول‌های کودی در اطراف تنهٔ درخت در مناطق شهری و عرصه‌های فضای سبز از دیرباز مورد توجه بوده است. از دلایل استفاده از این روش، تردد زیاد مردم پس از آبیاری‌های سطحی

[1] Drill holes

مکرر و نیز فقدان فضای کافی برای حرکت ادوات مورد نیاز برای زیر رو کردن و افزایش مواد آلی به خاک است که باعث می‌شود تا خاک اطراف درختان به شدت فشرده و نفوذپذیری آب و هوا به آن دشوار شود (دی و باسوک، ۱۹۹۴).

در این راستا، دستگاه‌هایی از نیمهٔ اول سدهٔ گذشته در دنیا ساخته شده‌اند که با توجه به موارد مختلف استفاده از آنها، قابلیت تزریق هوا، کودهای گازی، محلول‌های شیمیایی، ژل‌های سوپر جاذب و حتی گرانول‌ها و پودرهای حاوی مواد مغذی را داراست. روی این دستگاه‌ها، افزون بر نازل تزریق مواد در خاک، به تناسب هر مورد، ملحقات مختلفی تعبیه شده است. این ماشین‌ها با نام‌های تجاری مختلف مانند تراونت[1]، ترالیفت[2] و گروگان[3] وارد بازارهای جهان شده‌اند و برخی از محققان نیز در اجرای عملیاتی مشخص آنها را ارزیابی کرده‌اند (هاسچر و ولز، ۲۰۰۷).

تزریق کود مایع به داخل خاک، نسبت به روش برگ‌پاشی، اگرچه به وقت و هزینه بیشتری نیاز دارد اما اثربخشی مصرف کودها را بهبود می‌بخشد. برای مثال، ثمر (۱۳۹۴) در تحقیقی در منطقهٔ شهریار، سولفات آهن را به همراه مادهٔ آلی و اسید سولفوریک در منطقه فعالیت ریشه تزریق و اثر آن را در رفع زردی برگ‌ها نسبت به افزودن کلات آهن به همراه آب آبیاری ماندگارتر گزارش کرد. از آنجا که یکی از ویژگی‌های ترکیبات معدنی آهن‌دار، بی‌تحرک‌بودن آنها در ستون خاک است، افزودن محلول این مواد در سطح خاک، منجر به انتقال آن همراه با آب نافذ نمی‌شود و بدین لحاظ اثر قراردادن محلول در عمق فعالیت ریشه نتایج ماندگارتری را به همراه داشته است.

[1] Terrevent
[2] Terralift
[3] Grow-gun

کودهـای محلـول در آب معمـولاً بـه ازای واحـد عنصـر کـودی گرانتـر از کودهـای گرانولـه هسـتند و کـودهی نیـز سـخت‌تر از روش پخـش سـطحی اسـت. در عـوض می‌توان کود را مستقیماً از طریق لوله یـا نـازلی کـه تـا عمـق مـورد نظـر در خـاک فـرو مـی‌رود، در محـل مـورد نیـاز ریشـه قـرار داد. در ایـن نوشـتار بـه مـوارد کـاربرد روش تزریق کودهای محلول و سازوکار لازم برای اجرای این روش پرداخته شده است.

موارد کاربرد روش تزریق کود در خاک

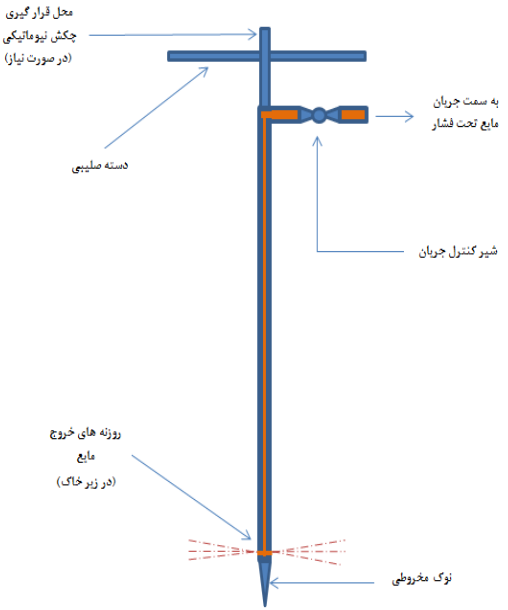
روش تزریـق محلـول در خـاک، نسـبت بـه روش‌هـای پخـش سـطحی و کودآبیـاری، مسـتلزم صـرف وقـت و انـرژی زیـادی اسـت، از ایـن‌رو کـاربرد آن در شرایطی است کـه روش‌هـای دیگـر امکـان پـذیر نیسـت یـا اثـر بخشـی آنهـا محـدود است. در اینجا به برخی از این محدودیت‌ها اشاره می‌شود.

- در شـرایطی کـه حرکـت عناصـر در خـاک سـخت اسـت، می‌تـوان عناصـر را بـه روش تزریـق، در عمـق توسـعه ریشـه‌های افشـان قـرار داد. ایـن شـرایط زمـانی اسـت کـه تثبیـت شـیمیایی کودهـایی ماننـد فسـفر در سـطوح بـالایی خـاک، از حرکـت آن بـه عمق خـاک جلـوگیری می‌کنـد. عـواملی ماننـد pH خـاک، بافـت خـاک، نبـودن تعـادل بـین عناصـر خـاک و نبـودن مـواد آلـی نقـش مهمـی در حرکـت عناصـر و جـذب آنهـا توسط گیاه دارند.
- در مواردی کـه چالـه‌کنی در اطـراف درخـت بـه دلیـل وجـود تجهیـزات آبیـاری، حجـم انبوه ریشه‌ها، وجـود لایـهٔ مـالچ در اطـراف درخـت امکـان نـدارد یـا حرکـت ماشـین در نزدیکی درخت، مقدور نیست.
- در مواردی کـه مقـدار کـود اختصـاص داده شـده بـه هـر درخـت انـدک اسـت و توزیـع یکنواخـت آن بـا روش‌هـای سـطحی امکـان پـذیر نیسـت یـا کـود بایـد در عمقـی مشخص قرار گیرد.

- در شرایطی که پاشش محلول به اندام هوایی درخت باعث کاهش جمعیت جانوران و حشرات مفید شود.

ساختمان دستگاه‌های تزریق در خاک

ساختمان دستگاه‌های تزریق کود، شباهت زیادی به دستگاه‌های سمپاش دارد. این دستگاه‌ها از یک مخزن کود، صافی، پمپ، شیرهای فشارشکن و کنترل جریان تشکیل شده است. با این سامانه، مایع تحت فشار با یک نازل به عمق‌های مناسب خاک فرستاده می‌شود (شکل ۱). نازل از یک لولهٔ ضخیم (قطر داخلی ۷ تا ۱۰ میلی‌متر و قطر خارجی ۱۶ تا ۲۰ میلی‌متر) تشکیل شده است. یک قطعه مخروطی نوک تیز به انتهای آن متصل است تا به فرو بردن آن در خاک کمک کند. در بالای قطعهٔ مخروطی و در انتهای لولهٔ نازل روزنه‌هایی به صورت جانبی (عمود بر محور لوله) تعبیه شده است که مایع تحت فشار از آنها خارج می‌شود (شکل ۱). تعداد این روزنه‌ها بین دو تا شش و به صورت متقارن در اطراف لوله تعبیه شده است. در سمت دیگر نازل، یک دستهٔ صلیبی قرار دارد که اپراتور برای فرو بردن، بالا کشیدن و جابه‌جایی نازل از آن استفاده می‌کند. نازل این دستگاه تا عمق مورد نظر در خاک فرو برده می‌شود و با باز کردن شیر کنترل جریان، مایع به داخل خاک تزریق می‌شود. برای فرو بردن میلهٔ نازل در خاک می‌توان با اضافه کردن یک رکاب روی لولهٔ نازل (شکل ۲) از نیروی پا کمک گرفت. همچنین در خاک‌های با بافت سنگین، می‌توان از چکش دستی یا بادی استفاده کرد که به انتهای نازل ضربه می‌زند. در شکل ۳ یک نمونه واقعی از نازل مجهز به دو ورودی جداگانه برای هوا و محلول و همچنین چکش بادی سوار بر نازل نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختمان و اجزای نازل تزریق محلول در خاک

شکل ۲-استفاده از نیروی پا برای فروکردن نازل در خاک

شکل ۳- نازل تزریق و چکش بادی سوار بر آن که تا عمق ٤٠ سانتی‌متری در خاک فرو رفته است
(شیلنگ‌های قرمز و سیاه به ترتیب به سامانه‌های تحت فشار مایع و هوا متصل‌اند، چکش بادی نیروی خود را توسط شیلنگ آبی رنگ از سامانهٔ هوای فشرده می‌گیرد)

برخی از دستگاه‌های تزریق به سامانه تامین هوای فشرده نیز مجهز هستند. از هوای فشرده برای تزریق هوا در لایه‌های زیرین خاک به منظور هوادهی یا شکستن لایه‌های فشرده و نیز به عنوان نیروی کمکی برای تحت فشار قرار دادن و انتقال مواد انحلال‌ناپذیر مانند پودرها، گرانول‌ها و ژل‌ها و تزریق آنها در خاک استفاده می‌شود. کاربرد دیگر هوای فشرده برای به حرکت درآوردن چکش بادی است که در برخی موارد برای کوبیدن نازل تزریق ضرورت می‌یابد.

سامانهٔ هوای فشرده از یک کمپرسور هوا، یک یا چند مخزن فشار قوی، سوپاپ‌های آزاد کنندهٔ فشار و شیر قطع و وصل جریان تشکیل شده است. هوای

فشرده توسط کمپرسور به داخل مخازن هوا فرستاده و ذخیره می‌شود و در زمان نیاز می‌تواند برای تزریق در خاک (از طریق نازل) یا برای کوبیدن نازل (از طریق چکش) استفاده شود. در شکل ۴ طرحوارهٔ دستگاه تزریق مجهز به سامانهٔ تزریق محلول و هوای فشرده نشان داده شده است.

الف

ب

شکل ٤- نمونه‌ای از دستگاه تزریق پشت تراکتوری مجهز به سامانه‌های تزریق محلول و هوا

الف- مخـازن و موتـور محـرک، ب- کمپرسـور هـوا و منضـمات تنظـیم فشار

فرآیند تزریق محلول یا هوا در خاک

برای تزریق در خاک، نازل تـا عمـق مطلـوب بـه داخـل خـاک فـرو مـی‌رود و شـیر محلول برای چنـد ثانیـه بـاز می‌شـود. در ایـن حالـت در صـورت مرطـوب بـودن خـاک، با توجه به پر بودن خلل و فرج خـاک بـا آب، فشـار اعمـال شـده از طـرف مـایع باعـث بالا رانـدن لایـه خـاک بـالای محـل تزریـق می‌شـود و مـایع در زیـر لایـهٔ بـالا آمـده حرکت می‌کند. در حالت خشک بـودن مقاومـت زیـاد خـاک، اجـازه بـالا آمـدن خـاک را نمی‌دهـد و از طـرف دیگـر وجـود ترک‌هـای انقباضـی در خـاک خشـک راهـی بـرای حرکت مایع از محل تزریق به سطح خـاک فـراهم می‌کنـد. بـه ایـن دلیـل مـایع تزریـق شـده بـه جـای حرکـت در زیـر خـاک بـه سـطح خـاک حرکـت می‌کنـد. بنـابراین، مطلوب‌ترین میـزان رطوبـت خـاک بـرای تزریـق زمـانی اسـت کـه خـاک سـطحی بـه پای اپراتور نچسبد و لایـهٔ زیـرین (بـالای نقطـهٔ تزریـق) رطوبـت کـافی بـرای مسـدود کردن منافذ خـاک و حفـظ پیوسـتگی خـاک را داشـته باشـد. در حالـت مرطـوب بـودن، فروکردن نازل با اسـتفاده از اعمـال نیـروی وزن کـاربر روی دسـته یـا اعمـال فشـار پـا امکان‌پذیر است و نیـازی بـه تجهیـزات اضـافی بـرای کوبیـدن نـازل در خـاک نخواهـد بود ولـی در بعضـی ماشـین‌ها از یـک چکـش بـادی کـه روی نـازل قـرار گرفتـه اسـت برای کوبیدن نازل در زمین‌های سخت کمک می‌گیرند.

در هنگام تزریق هوا نیز رفتار خـاک مشـابه اسـت بـا هنگـام تزریـق مـایع، بـا ایـن تفاوت که تزریق هوا با فشـار زیـاد در زیـر خـاک مرطـوب باعـث بـالا آمـدن ناگهـانی لایـه‌ای از خـاک می‌شـود. دلیـل ایـن کـار آن اسـت کـه بـا بـاز شـدن مسـیر هـوای فشرده، حجم زیـادی از هـوا در زمـانی کوتـاه وارد خـاک می‌شـود و شـکاف‌هایی ایجـاد می‌کنـد کـه بـر اسـاس نتـایج تحقیقـات بـه صـورت محـدب از عمـق تـا سـطح خـاک

ادامه دارند (اسمیلی، ۲۰۰۱). این امر به مقاومت خاک و میزان فشار اعمال شده از طرف هوای تزریق شده نیز بستگی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد برای بالا راندن لایه‌ای از خاک به عمق ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر، فشار هوای تزریق شده باید ۱۵ تا ۱۶ بار[1] (۲۱۷ تا ۲۳۰ پوند بر اینچ مربع[2]) باشد. مشاهدات مزرعه‌ای در این عملیات در ایران نشان داده است که برای مثال در خاک رسی مرطوب، پس از فرو بردن نازل تا عمق ۵۰ سانتی‌متر، با باز شدن مسیر و تزریق هوای فشرده لایه‌ای از خاک به سمت بالا حرکت می‌کند که ارتفاع بالا آمدگی آن تا حدود ۷۰ میلی‌متر در مرکز تزریق است و با دور شدن از مرکز، این بالا آمدگی به تدریج کاهش می‌یابد (تاکی، ۱۳۹۸). با قطع فشار هوا، خاک به حالت قبلی باز می‌گردد و هیچ اثری از بالا آمدگی باقی نخواهد ماند. در حالت خشک، با تزریق هوای فشرده هیچ نوع بالاآمدگی در خاک مشاهده نمی‌شود.

الگوی پخش محلول تزریق شده در زیر خاک

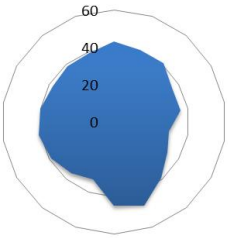
الگوی پخش محلول در زیر خاک بسته به بافت و رطوبت خاک، ساختمان خاک، غلظت و گرانروی محلول، سرعت و فشار تزریق و عمق نقطهٔ تزریق متفاوت است. در یک خاک مشخص، با ثابت در نظر گرفتن خصوصیات محلول و شرایط تزریق، برای دستیابی به بیشترین میزان پخشیدگی افقی مایع در زیر خاک، باید تزریق در خاک خیس صورت گیرد تا خلل و فرج آن با آب بسته باشد و فشار اعمال شده از طرف محلول بتواند لایه‌ای از خاک را بلند کند و مایع در زیر این لایه به حرکت درآید. در بررسی‌هایی در خاک رسی سیلتی مشخص شد که سطح پخشیدگی محلول در خاک خیس به حدود نیم متر مربع می‌رسد که

1 Bar
2 psi

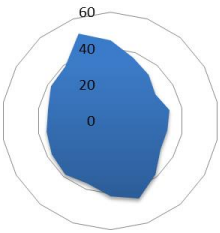
هفت برابر سطح پخشیدگی در خاک خشک است. در این آزمایش ۳ لیتر محلول رنگی با فشار ۲۰ بار در عمق ۵۰ سانتی‌متر، تزریق شده بود (تاکی، ۱۳۹۸).

با توجه به اینکه در بعضی دستگاه‌های تزریق امکان تزریق هوای فشرده در خاک وجود دارد، برخی بر این باورند که تزریق هوای فشرده در خاک قبل از تزریق محلول، به پخش بهتر و یکنواخت تر محلول در زیر خاک کمک می کند و از این رو امری ضروری است. در این حالت، کاربر پس از فروبردن نازل در خاک شیر هوا را برای زمان مشخصی باز می‌کند تا خاک به سمت بالا حرکت کند. پس از آن، شیر هوا را می‌بندد و بدون تغییر در محل نازل شیر مایع را برای زمان مشخصی باز می‌کند. با این حال، مشاهدات مزرعه‌ای در مقایسهٔ الگوی پخش مایع در عمق ۵۰ سانتی‌متری با تزریق هوا و بدون تزریق هوا نشان می‌دهد که تزریق هوا تاثیری قابل توجهی بر پخش مایع در زیر خاک ندارد. در شکل ۵، نمونه‌ای از سطح پخشیدگی مایع در یک خاک رسی در عمق ۵۰ سانتی‌متری پس از تزریق هوا و بدون تزریق هوا و در حالت مرطوب و خشک نشان داده شده است (تاکی، ۱۳۹۸).

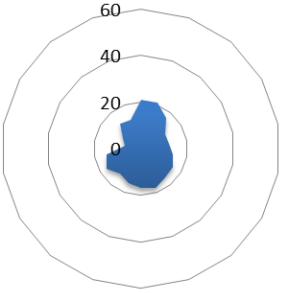
تزریق هوا به خاک در بعضی موارد با هدف از بین بردن لایهٔ فشردهٔ خاک در اطراف درختان و هوادهی ناحیهٔ اطراف ریشه است. تحقیقات روی تاثیر عملیات هوادهی بر نفوذپذیری خاک و میزان رشد و عملکرد درختان در دههٔ ۷۰ و ۸۰ میلادی در کشورهای دیگر نشان‌دهندهٔ بی اثر بودن یا موقتی بودن تأثیر این عملیات است (پیشاپ و گریم، ۱۹۷۸؛ فیت و همکاران، ۲۰۱۱؛ رولف، ۱۹۹۴).



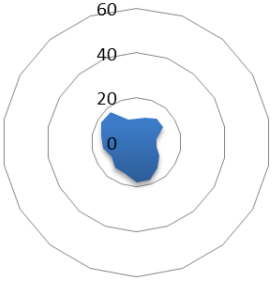
الف- خاک مرطوب بعد از تزریق هوا



ب- خاک مرطوب بدون تزریق هوا



ج- خاک خشک بعد از تزریق هوا



د- خاک خشک بدون تزریق هوا

شکل ۵- الگوی پخشیدگی افقی مایع در زیر خاک در خاک خشک و مرطوب در دو حالت بدون تزریق هوا و پس از تزریق هوا

از آنجا که در جریان بالا آمدن خاک در محل صفحات شکست، موقعیت خاک‌دانه‌ها خاک تغییر نمی‌کند، پس از قطع جریان هوا، قطعات جدا شده دقیقاً روی هم قرار می‌گیرند و بدین ترتیب جوش‌خوردن مجدد به یکدیگر باعث بی اثر شدن این عملیات می‌شود. با توجه به این‌که فشرده کردن هوا نیاز به صرف وقت و انرژی زیادی دارد و هوادهی نیز پر هزینه است، این روش به عنوان

روشی موفق برای رفع فشردگی خاک یا ایجاد شکست در خاک قبل از تزریق محلول توصیه نمی‌شود.

دستورالعمل اجرایی تزریق محلول

برای تغذیهٔ درختان به روش تزریق محلول دانستن سه مطلب مهم ضرورت دارد:

۱- مقدار کود مورد نیاز برای هر درخت

۲- مکان مناسب تزریق در اطراف درخت و تعداد نقاط تزریق

۳- میزان تزریق محلول در هر نقطه

برای مشخص شدن مقدار کود مورد نیاز برای هر درخت، قدم اول مراجعه به توصیه‌های محققان خاک‌شناسی و مروجان متخصص در این زمینه در منطقه است که با در نظر گرفتن نوع خاک، اقلیم منطقه، نوع و سن درخت، زمان کوددهی و ... ارائه می‌شود. در صورتی که اطلاعات مورد نیاز در دسترس نباشد، مراجعه به دستورالعمل تولید کننده نیز در بسیاری از موارد راهگشا خواهد بود.

موثرترین منطقه برای جذب کود، نیمهٔ بیرونی سایه‌انداز درخت است که در این محل بیشترین حجم ریشه‌های مویین قرار دارد. بنابراین، برای تعیین الگوی مکانی نقاط تزریق، محدودهٔ محیط سایه‌انداز یا آب چکان درخت مشخص و از روی این محیط شعاع‌هایی به تنهٔ درخت متصل می‌شود. ناحیهٔ بین محیط سایه‌انداز و خطی که از میانهٔ شعاع‌ها عبور می‌کند به عنوان ناحیهٔ تزریق برای هر درخت در نظر گرفته می‌شود (شکل ۶).

میزان تزریق محلول در هر نقطه معمولاً بین۲ تا ۴ لیتر انتخاب می‌شود. این مقدار ممکن است در شرایط مختلف خاک از نظر بافت، ساختمان و رطوبت متفاوت باشد. بهترین روش برای تعیین حداکثر مقدار تزریق در خاکی مشخص و

با شرایط رطوبتی یکنواخت، اندازه گیری زمان آغاز تزریق تا لحظهٔ فوران مایع از کنار نازل است. معمولاً در یک خاک مشخص چندین بار این زمان اندازه‌گیری می‌شود و میانگین آنها به‌دست می‌آید. بهتر است برای جلوگیری از هدررفت محلول کودی، زمان تزریق در هر نقطه ۷۵ درصد زمان میانگین فوران در نظر گرفته شود. برای مثال، اندازه‌گیری‌ها در خاک رسی نشان داده است که تزریق ۳ لیتر محلول در عمق ۵۰ سانتی‌متری منجر به پخش افقی محلول در مساحتی معادل ۰/۴۵ متر مربع می‌شود (تقریباً معادل دایره‌ای به قطر ۷۵ سانتی‌متر). اما با تزریق ۴ لیتر، فوران محلول از کنار نازل مشاهده شده است (تاکی، ۱۳۹۸).

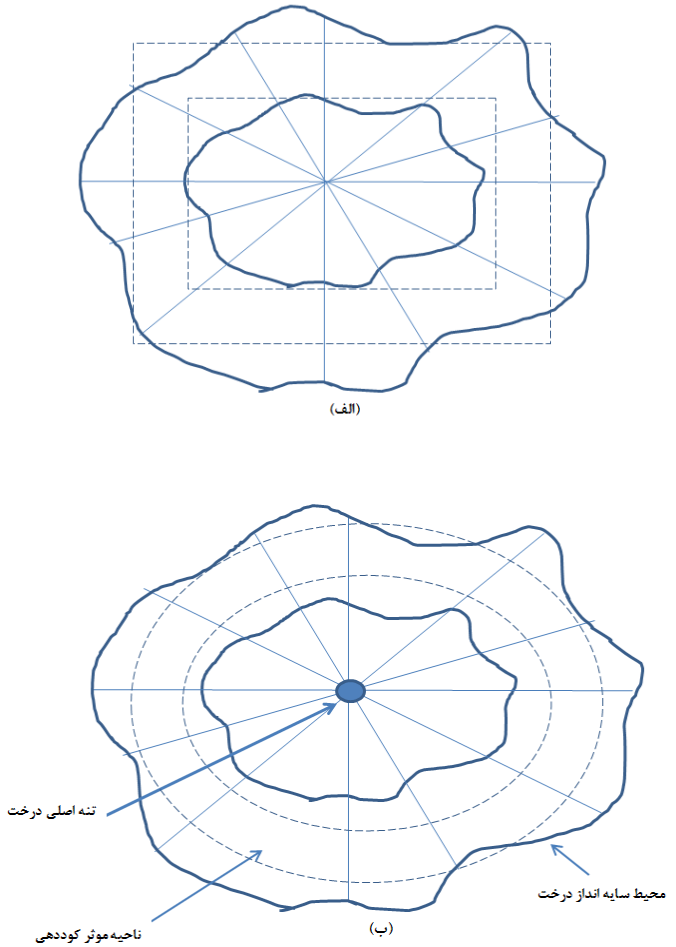
در مرحلهٔ بعد، مقدار خروجی محلول مایع از نازل در واحد زمان اندازه گیری می‌شود (کالیبراسیون زمان– مقدار محلول). به این منظور، سر نازل در ظرفی مدرج قرار می‌گیرد و زمان لازم برای خروج مقداری مشخص از مایع اندازه‌گیری می‌شود. با دانستن زمان لازم برای هر تزریق (۷۵ درصد فوران) و مقدار خروجی محلول در واحد زمان، مقدار محلول تزریق شده در هر نقطه محاسبه می شود (برای مثال، ۳ لیتر).

باید در نظر داشت که هر چه تعداد نقاط تزریق بیشتر باشد، یکنواختی توزیع بهتر خواهد بود (فاصله‌های نزدیک‌تر از یک متر ممکن است به همپوشانی و غلظت بالای کود در نقاطی از زمین بینجامد). اما با توجه به وقت و هزینهٔ زیادی که این عملیات در بر دارد، باید موثرترین و عملی‌ترین تعداد تزریق انتخاب شود. تعداد نقاط تزریق برای درختان مثمر، بسته به مساحت سایه انداز، معمولاً بین ۲ تا ۸ نقطه در نظر گرفته می‌شود (مثلاً ۴ نقطه). برای درختان با سایه انداز بزرگ،

تعداد نقاط تزریق می‌تواند به میزان لازم افزایش یابد. در این صورت می‌توان مکان نقاط تزریق را با یک الگوی مستطیلی (شکل ۶ الف) یا بیضی (شکل ۶ ب) در اطراف درخت تعیین کرد.

با مشخص شدن تعداد نقاط تزریق و مقدار محلول تزریق شده در هر نقطه، مقدار آب مورد نیاز برای هر درخت تعیین می شود (مثلا: ۴ نقطه ×۳ لیتر = ۱۲ لیتر برای هر درخت). بنابراین کود توصیه شده برای هر درخت (مایع یا پودر) در این میزان آب حل خواهد شد و به این ترتیب نسبت اختلاط کود با آب به‌دست می آید.

برای تزریق محلول، نازل باید تا عمق مطلوب به داخل خاک فرو برده شود. این کار می‌تواند با فشار دست یا پا (در صورت نصب رکاب) یا با چکش بادی صورت گیرد. با رسیدن نازل به عمق مطلوب، شیر جریان به مدت لازم برای مقدار محلول مورد نظر باز خواهد ماند. در این مرحله باید توجه داشت که فشار سیستم در زمان کالیبراسیون و زمان تزریق در خاک یکسان باشد تا تغییری در مقدار خروجی محلول ایجاد نشود. فشار مورد نیاز برای تزریق تا عمق ۵۰ سانتی‌متری خاک بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ پوند بر اینچ مربع معادل ۱۰ تا ۱۴ بار است.



شکل ٦- ناحیهٔ موثر کودهی (بین خطوط پیوسته) و مکان هندسی نقاط تزریق با الگوی الف: مستطیلی و ب: بیضی

نتیجه‌گیری

تزریق محلول‌های کودی در خاک، به‌خصوص در باغ‌ها، می‌تواند با هدف اثربخشی بهتر و سریعتر تغذیهٔ گیاه با عناصر کودی، جایگزین روش پخش گرانول شود. محلول‌های کودی را می‌توان با اعمال تغییراتی روی سم‌پاش‌های مرسوم باغی تزریق کرد. برای این کار لازم است نازل مخصوص تزریق در خاک جایگزین سرلانس سمپاش شود و فشار پمپ سمپاش در زمان تزریق در محدودهٔ ۱۰-۱۴ بار تنظیم گردد (معمولاً فشار سیستم برای سمپاشی هم در همین دامنه تنظیم شده است). در این حالت، با انتخاب صحیح تعداد نقاط تزریق، فاصلهٔ آنها، مقدار محلول در هر تزریق (که بر حسب زمان باز بودن شیر تعیین می‌گردد) و رطوبت مناسب خاک می‌توان کود را به صورت یکنواخت و با بهره‌وری بیشتر نسبت به سایر روش‌های دیگر به خاک اضافه کرد.

منابع

تاکی، ا.، ۱۳۹۸. بررسی الگوی پخش مایع در تزریق محلول‌های کودی در زیر خاک و تاثیر عملیات هوادهی بر آن. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره گزارش ۵۶۷۲۷، ۲۴ صفحه.

ثمر، م. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر تزریق سولفات آهن در خاک بر رفع زردبرگی آهکی درختان هلو در منطقه شهریار. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات خاک و آب. شماره گزارش ۴۶۲۹۱، ۹۱ صفحه.

Bishop, J. C. and Grimes, D.W. 1978. Precision tillage effects on potato root and tuber production. American Potato Journal, 55: 65-71.

Day, S. D., and Bassuk, N. L. 1994. A review of the effects of soil compaction and amelioration treatments on landscape trees. Journal of Arboriculture 20: 9–17.

Fite, K., Smiley, E. T., McIntyre, J. and Wells, C. E. 2011. Evaluation of a soil decompaction and amendment process for urban trees. Arboriculture & Urban Forestry, 37(6): 293–300.

Hascher, W. and Wells, C. E. 2007. Effects of soil decompaction and amendment on root growth and architecture in red maple (Acer rubrum). Arboriculture & Urban Forestry, 33(6): 428–432.

Rolf, K. 1994. *Soil compaction and loosening effects on soil physics and tree growth*. In G.W. Watson and D. Neely (Eds.). The Landscape below ground. International Society of Arboriculture, Savoy, IL.

Smiley, E. T. 2001. Terravent™: Soil Fracture Patterns and Impact on Bulk Density. Journal of Arboriculture, 27(6):326-330.