نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۰، ص. ۳۳۷-۳۲۷

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.2, May-Jun 2011, p. 327-337

# تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و کودهای دامی در معدنی‌شدن نیتروژن و خصوصیات ریزوسفری گیاهان ذرت و آفتابگردان

میرحسن رسولی صدقیانی[1*] – ابراهیم سپهر[2]

تاریخ دریافت:۸۹/۴/۹
تاریخ پذیرش:۸۹/۱۰/۱۸

## چکیده

تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی در ریزوسفر بدنبال استفاده از کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب و کودهای دامی فرایندهای مهمی هستند که می‌توانند معدنی‌شدن و فراهمی نیتروژن و سایر عناصر غذایی گیاه را تحت تاثیر قرار دهند. به‌منظور بررسی نقش لجن فاضلاب و کودهای دامی در رشد، تأمین نیتروژن و خصوصیات ریزوسفر یک آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل با استفاده از پنج تیمار ضایعات آلی (لجن فاضلاب، کود مرغی، کود گاوی، کود گوسفندی و شاهد) در ریزوسفر و غیرریزوسفر گیاهان ذرت و آفتابگردان در سه تکرار انجام گردید. نتایج نشان داد که مقدار جذب عناصر N، P، K، Ca، Mg، Fe، Mn، Zn و Cu از تیمار لجن بطور معنی‌داری بالاتر از سایر کودهای مورد مطالعه بود. همچنین آفتابگردان درمقایسه با ذرت، مقادیر بیشتری N، P، K، Ca و Cu را جذب نمود، که می‌تواند بیانگر توانایی بالای آفتابگردان در جذب این عناصر از خاک باشد. بیشترین مقدار ازت معدنی شده در ریزوسفر و غیرریزوسفر بترتیب در تیمارهای کود مرغی (۲۱۴/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) و لجن فاضلاب (۲۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) حاصل شد. ازت معدنی شده به ویژه مقدار نیترات در ریزوسفر گیاه آفتابگردان بیشتر از ذرت بوده و این پدیده نشان دهنده بالاتر بودن فعّالیت میکروبی بویژه میکروارگانیسم‌های نیتریفیکاتور در ریزوسفر آفتابگردان و افزایش فرایند معدنی شدن و نیتریفیکاسیون بود. معدنی‌شدن خالص ($N_m$) در ریزوسفر بالاتر از غیرریزوسفر بود بطوری‌که جمعیت میکروبی در ریزوسفر ذرت و آفتابگردان به‌ترتیب ۳/۷ و ۲/۳ برابر نمونه‌های غیرریزوسفری بود. تیمارهایی که لجن فاضلاب دریافت کرده‌بودند در مقایسه با سایر کودهای آلی جمعیت میکروبی بالاتری را نشان دادند. در ریزوسفر در تیمارهای کودمرغی و لجن فاضلاب پدیده معدنی‌شدن خالص و در مورد کودهای گاوی و گوسفندی ایموبیلیزاسیون خالص ($N_i$) اتفاق افتاد. همچنین در غیرریزوسفر به استثنای لجن فاضلاب در بقیه کودهای دامی ایموبیلیزاسیون خالص ($N_i$) مشاهده گردید. بیشترین مقدار ازت معدنی‌شده کل در ریزوسفر (مجموع مقادیر نیتروژن معدنی شده موجود در خاک در پایان آزمایش و نیتروژن معدنی جذب شده توسط گیاه) بترتیب بصورت کود مرغی > لجن فاضلاب > کودگوسفندی ≤ کود گاوی بود.

**واژه های کلیدی:** لجن فاضلاب، کود گاوی، کود گوسفندی، کود مرغی، معدنی شدن ازت، ریزوسفر

## مقدمه

آگاهی از مقدار نیتروژن خاک و وضعیت معدنی شدن ازت از بقایا و منابع آلی مختلف یکی از شاخص‌های مهّم در حاصلخیزی خاک بوده و در کاهش خطرات آلودگی منابع آب و اتمسفر حائز اهمیت می باشد. نیتروژن به‌عنوان یک عنصر غذایی پرنیاز، از اجزای مهم اکثر کودهای آلی است. در این قبیل کودها بخش اصلی نیتروژن در ساختمان مولکولهای آلی قرار گرفته است (۱۸). تولید پسماندها، ضایعات و بقایای آلی در بخش های شهری، کشاورزی و صنعتی رو به افزایش بوده و بشر ناگزیر به بازیافت این ضایعات می باشد. بقایا و بازمانده‌های گیاهی، کودهای دامی، زباله‌های شهری قابل‌بازیافت، محصولات جنبی کارخانجات مواد غذایی و لجن فاضلاب از مهمترین ضایعات آلی هستند که در بخش‌های مختلف تولید می‌شوند. فرآوری و استفاده مجدد آنها در کشاورزی یکی از روشهای بازیافت این‌گونه مواد است. از این طریق علاوه بر دفع و جمع آوری آنها بخش اعظمی از نیازهای غذایی گیاهان تامین گردیده و خطر استفاده از کودهای شیمیایی نیز کاهش می‌یابد. کاربرد بقایای گیاهی و انواع کودهای دامی و یا زیر خاک کردن ضایعات آلی فرآوری‌شده از راهکارهای موثر برای بازیافت عناصر غذایی بوده و با این عمل خواص فیزیکی و

۱و۲- استادیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*- نویسنده مسئول: Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir)

بیولوژیکی خاکها بهبود می‌یابند. لجن فاضلاب نیز بعنوان نمونه‌ای از این ضایعات، غنی از مواد آلی و عناصر بویژه نیتروژن و فسفر بوده و بعنوان یک کود در حفظ مواد آلی و بهبود فعالیت بیولوژیکی خاکها استفاده می‌شود (۳۷). مطالعات نشان داده که حدود ۵۰ الی ۹۰ درصد ازت موجود در لجن فاضلاب، آلی بوده که می‌تواند با بهبود شرایط معدنی گردد. بنابراین برای پیش‌بینی فراهمی نیتروژن معدنی در طول فصل رشد، لازم است میزان معدنی شدن نیتروژن آلی در لجن و یا سایر بقایای آلی ارزیابی گردد. این ارزیابی‌ها منجر به استفاده موثر و اقتصادی از ضایعات آلی شده و از آبشویی نیترات به آبهای زیرزمینی و آلودگی محیط زیست جلوگیری بعمل می‌آید (۱۸).

بطور کلی در اکوسیستمهای مختلف سرعت معدنی‌شدن نیتروژن و مقدار ازت کل خاک بیانگر حاصلخیزی خاک است. در خاکها اکثر نیتروژن به‌شکل آلی و پایدار بوده و بواسطه فرایندهای معدنی شدن (آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون) به شکل‌های قابل جذب آمونیم و نیترات در می‌آید (۲۳). معدنی شدن نیتروژن آلی به بافت خاک، pH، دما و رطوبت خاک بستگی دارد (۱۸). مدیریت نیتروژن در خاک و تعادل و همزمانی بین نیاز نیتروژنی گیاه در مراحل مختلف رشد و فراهمی آن در خاک از اهمیت بالایی برخودار است. این همزمانی به فرایندهای میکروبی معدنی‌شدن نیتروژن در خاک بویژه در منطقه ریزوسفر بستگی دارد (۴۳). شدت انجام فرایندهای میکروبی در ریزوسفر بیشتر بوده و ممکن است این واکنش‌ها در ریزوسفر گیاهان مختلف متفاوت باشند. ترشحات ریشه‌ای بطور معنی‌داری بر فعالیت بیولوژیکی منطقه ریزوسفر موثر هستند (۷، ۲۲، ۲۴ و ۴۴). ریشه گیاهان بطور مداوم ترکیباتی مانند قندها، اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه و ویتامین‌ها را به ریزوسفر آزاد می‌نمایند. به‌همین دلیل خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر بسیار متفاوت با منطقه غیرریزوسفر است (۷، ۱۲ و ۳۸). ترشح کربن آلی توسط ریشه گیاهان (۱۷) و افزایش منابع آلی نظیر لجن و انواع کودهای دامی (۱۰ و ۲۰) باعث افزایش جمعیت و فعالیت میکروبها می‌گردد (۱۴).

خوشبختانه در سالهای اخیر مصرف کودهای آلی در باغها و مزارع کشاورزی افزایش یافته است. مزیت این کودها نسبت به بقایای گیاهی بواسطه بالابودن سرعت معدنی‌شدن نیتروژن آنها می‌باشد. با این‌حال اطلاعات کمتری از تاثیر آنها در مقدار تامین عناصر غذایی بویژه نیتروژن، فعالیت بیولوژیک خاک و سایر خصوصیات ریزوسفر موجود است. این تحقیق به منظور بررسی و مقایسه کاربرد کودهای گاوی، گوسفندی، مرغی و لجن فاضلاب در روند معدنی‌شدن نیتروژن و بررسی تغییرات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر دو گیاه ذرت و آفتابگردان انجام گردید.

## مواد و روش ها

این تحقیق در یک خاک آهکی از مزارع تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و در گلخانه تحقیقاتی علوم خاک دانشگاه ارومیه انجام شد. خاک مورد استفاده از منطقه نازلو برداشت و برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ آورده شده است. لجن فاضلاب و کودهای مرغی، گوسفندی و گاوی پس از خشک شدن، آسیاب شده و برخی خواص فیزیکی و شیمیایی آنها تعیین گردیدند (جدول ۲). بافت خاک با روش هیدرومتری، pH و EC با اندازه‌گیری در عصاره اشباع، نیتروژن کل با روش کجلدال، فسفر با روش اولسن (عصاره‌گیری با بیکربنات سدیم)، پتاسیم با روش فلیم فتومتری و عصاره گیری با استات آمونیم، آمونیم و نیترات با عصاره‌گیری کلرید پتاسیم و اندازه‌گیری با روش کجلدال، کربن آلی با روش اکسیداسیون (روش واکلی و بلک)، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون با اسید کلریدریک و عناصر Fe، Mn، Cu و Zn با عصاره گیری توسط DTPA و دستگاه جذب اتمی (Shimadzu AA-6300) انجام گردیدند (۳۷). لجن فاضلاب از واحد تصفیه فاضلاب شهری مراغه و کودهای مختلف دامی از بخش علوم دامی دانشکده کشاورزی ارومیه تهیه شدند. کودهای آلی در شکل کمپوست نشده به میزان ۲۰ گرم در کیلوگرم خاک (تقریبا معادل ۶۰ تن در هکتار) به خاک گلدانهای ۳ کیلوگرمی اضافه شدند. بذرهای ذرت (رقم Single Cross-704) و آفتابگردان (رقم Master) بترتیب با محلولهای هیپوکلریت سدیم ۵ درصد، اتانول ۹۶ درصد و آب مقطر ضدعفونی سطحی شده و سپس به تعداد ۱۰ بذر در گلدان کاشته‌شدند. پس از جوانه‌زنی و سبزشدن اولیه تعداد ۴ بوته یکنواخت در هر گلدان حفظ گردیدند. گلدان‌هایی با کشت گیاه در شرایط بدون افزودن مواد آلی بعنوان کنترل در نظر گرفته شدند. به‌منظور بررسی خصوصیات خاک منطقه غیرریزوسفر و اطمینان از عدم تاثیر فعالیت ریشه گیاه، در یکسری گلدانهای دیگر کودهای دامی و لجن در همان مقادیر افزوده شد اما گیاهی در آنها کشت نگردید و از آنها برای تهیه نمونه‌های غیرریزوسفری استفاده گردید. رطوبت تمام گلدانها با روش وزنی در محدوده ظرفیت مزرعه‌ای حفظ شد. آزمایش در قالب طرح فاکتوریل با پایه بلوکهای تصادفی در سه تکرار و به مدت ۹ هفته انجام گردید. در پایان دوره اندامهای هوایی و ریشه گیاهان تفکیک شده و پس از شستشو با آب مقطر و خشک‌شدن، توزین و آسیاب شدند. نمونه‌های خاک ریزوسفری از خاک منطقه اطراف ریشه گیاهان ذرت و آفتابگردان مطابق با روش شن و همکاران (۳۶) تهیه شد بدین‌ترتیب که گیاهان را در رطوبت ظرفیت زراعی خاک همراه با سیستم ریشه‌ای کامل از گلدان درآورده و روی کاغذهای بزرگ قرار داده و چندین بار به آرامی تکان داده و سپس خاکهای چسبیده به سطح ریشه‌ها به ویژه تارهای کشنده را بوسیله قلم‌مو (Paint brush) جمع‌آوری نموده و طبق تعریف تحت عنوان خاک ریزوسفری در نظر گرفته شدند (۶ و۳۶). نمونه غیرریزوسفری از خاک گلدانهای کشت‌نشده تهیه و به آزمایشگاه منتقل گردیدند (۴۰). از نمونه ریزوسفری دو زیرنمونه تهیه

شد که یکی از آنها به‌منظور ارزیابی جمعیت یا فعالیت بیولوژیکی، بلافاصله در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. بررسی جمعیت میکروبی با روش محتمل‌ترین عدد MPN ( Most Probable Number) انجام گردید. در زیرنمونه دوم خواص شیمیایی خاکها مانند pH، EC، نیتروژن نیتراتی ($N\text{-}NO_3^-$)، آمونیومی($N\text{-}NH_4^+$) و نیتروژن کل اندازه‌گیری گردیدند. برای تعیین شکل‌های معدنی نیتروژن و نیتروژن کل بترتیب از روشهای عصاره گیری با KCl دو مولار و روش کجلدال استفاده شد. کل نیتروژن معدنی‌شده ($TN_{min}$) از مجموع مقادیر آمونیم و نیترات موجود در خاک در پایان آزمایش و نیتروژن معدنی کل جذب‌شده توسط گیاه (از هر کیلوگرم خاک) محاسبه گردید. مقدار معدنی‌شدن خالص ($N_m$) با روش نت و همکاران (۲۵) و از روی اختلاف مجموع مقادیر نیتروژن معدنی جذب شده توسط گیاه و نیتروژن معدنی اولیه و نیتروژن معدنی‌شده در پایان آزمایش با استفاده از معادله زیر تعیین گردید.

$$N_m = [(N_{plant} + Nm_{end}) - Nm_{start}]$$

$N_{plant}$: مقادیر نیتروژن معدنی جذب شده توسط گیاه

$Nm_{end}$: مقدار نیتروژن معدنی خاک در پایان آزمایش

$Nm_{start}$: مقدار نیتروژن معدنی خاک در ابتدای آزمایش

مقادیر مثبت $N_m$ حاکی از وقوع معدنی‌شدن خالص نیتروژن و مقادیر منفی بیانگر ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن می‌باشند. شاخص‌های نیتروژن در نمونه‌های غیریزوسفری نیز تعیین شدند. همچنین مقادیر قابل جذب فسفر و پتاسیم و همچنین کلسیم و منیزیم محلول و قابل تبادل در تمام نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند (۳۷). مقدار عناصر غذایی N، P، K، Ca، Mg، Fe، Zn، Mn و Cu در اندامهای هوایی ذرت و آفتابگردان مطابق با روشهای استاندارد تعیین شدند (۱).

## نتایج و بحث

### خصوصیات خاک و کودهای آلی مورد مطالعه

نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک مورد استفاده معرف یکی از گروههای مهم از خاکهای منطقه نازلو بود که بطور گسترده‌ای زیر کشت غلات، یونجه و باغهای میوه قرار دارد. این خاک از نوع آهکی، غیرشور، با بافت لوم رسی سیلتی و طبقه‌بندی آن از نوع Typic Haploxerept بود (۳). با توجه به آهکی بودن منطقه، pH قلیایی و سنگین‌بودن بافت خاک سبب حفظ مقادیر نسبتاً بالای مواد آلی در خاک شده است (جدول ۱). مقدار آمونیم اولیه خاک (۸۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) بیشتر از نیترات (۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود. نتایج شمارش جمعیت میکروبی خاک با روش MPN نشان داد که جمعیت میکروبی $۱/۷۳ \times ۱۰^۷$ در هر گرم خاک بود و با توجه سطح نسبتا بالای کربن آلی آن مقدار این شاخص دور از انتظار نبود. مقدار فسفر و پتاسیم خاک به‌ترتیب ۱۶/۲ و ۲۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بودند.

نتایج حاصل از تجزیه لجن و کودهای دامی مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. بیشترین مقدار نیتروژن به لجن (۴/۲ درصد) و کمترین مقدار به کود گوسفندی (۲ درصد) اختصاص داشت. همچنین نسبت کربن به نیتروژن در لجن کمتر و در کودهای گوسفندی و گاوی بیشترین مقدار بود. بطورکلی کودهای دامی دارای EC بالاتری نسبت به لجن بودند و کود گوسفندی بیشترین EC را نسبت به کودهای آلی مورد مطالعه داشت، البته مقدار پتاسیم در کود گوسفندی معادل ۳/۰۷ درصد و بالا بود. کود مرغی نسبت به سایر کودها دارای pH اسیدی بود لیکن سایر ضایعات آلی دارای pH بازی بودند.

**جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش**

| شن | سیلت | رس | بافت | pH | EC | N | P | K | $NO_3^-$ | $NH_4^+$ | کربن آلی | CCE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | g kg$^{-1}$ | | خاک | | dS m$^{-1}$ | % | mg kg$^{-1}$ | | | | g kg$^{-1}$ | g kg$^{-1}$ |
| ۱۸۰ | ۵۲۰ | ۳۰۰ | SiCL | ۷/۵۷ | ۱/۲۷ | ۰/۱۱ | ۱۶/۲ | ۲۸۴ | ۷۰ | ۸۷/۵ | ۶/۷ | ۱۱۰ |

CCE: کربنات کلسیم معادل

SiCL: لوم رسی سیلتی

**جدول۲- برخی خصوصیات شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده**

| نوع کود آلی | pH | EC | N | P | K | OC | C:N | Fe | Mn | Cu | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | dS m$^{-1}$ | ٪ | | | | | mg kg$^{-1}$ | | | |
| لجن | ۷/۳۰ | ۶/۷ | ۴/۲ | ۱/۷۱ | ۰/۲۶ | ۵۸ | ۱۳/۸ | ۱۴۴۷ | ۲۰۷ | ۸۳ | ۵۵۹ |
| کود گوسفندی | ۷/۴۶ | ۲۹/۸ | ۲/۰ | ۰/۸۹ | ۳/۰۷ | ۵۲ | ۲۶ | ۹۴۹ | ۴۵ | ۱۱ | ۴۳ |
| کود گاوی | ۷/۷۳ | ۱۳/۶ | ۲/۴ | ۱/۰۲ | ۰/۸۱ | ۶۱ | ۲۵/۴ | ۱۶۱۱ | ۷۲ | ۴ | ۵۴ |
| کود مرغی | ۵/۱۴ | ۱۱/۸ | ۲/۹ | ۱/۳۹ | ۰/۷۷ | ۳۶ | ۱۲/۴ | ۹۵۵ | ۲۰۹ | ۳۶ | ۲۹۸ |

### شاخص‌های رشد و عناصر غذایی در گیاه

نتایج حاصل از اندازه‌گیری شاخصهای رشد گیاهان ذرت و آفتابگردان در تیمارهای مختلف نشان داد که وزن خشک اندامهای هوایی و ریشه ها، قطر ساقه و طول گیاه اختلاف آماری معنی داری را نشان دادند. بالاترین وزن اندامهای هوایی در تیمار لجن و بالاترین وزن ریشه‌ها در کود مرغی مشاهده گردید. قطر ساقه و ارتفاع گیاه در تیمار کود مرغی بیشترین مقدار بود. همچنین در بین عناصر غذایی، غلظت N، P، K، Fe، Zn و Cu در بافتهای گیاهی از نظر آماری در تیمارهای مختلف معنی دار گردید (داده‌ها آورده نشده‌اند).

اثر نوع کود بر جذب نیتروژن و سایر عناصر غذایی توسط گیاهان ذرت و آفتابگردان نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین دو گیاه و همچنین بین کودهای آلی مورد مقایسه از نظر مقدار جذب ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس مشاهده گردید. بطور کلی در مورد تمام عناصر غذایی، مقادیر جذب‌شده توسط آفتابگردان بطور معنی‌داری بالاتر از ذرت بود. اثر کاربرد کودهای آلی در افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه متفاوت بود و جذب عناصر ماکرو و میکرو از تیمار لجن بیشتر از سایر کودهای آلی بود، با توجه به جدول ۲ مقدار عناصر در لجن بیشتر بود و این ترکیب آلی توانسته مقادیر بالایی از عناصر غذایی را در اختیار گیاهان ذرت و آفتابگردان قرار دهد. تیمار مرغی در رتبه دوم از نظر افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه را نشان داد. در منابع مختلف نیز به اثر افزاینده لجن فاضلاب (۲۷) و کود مرغی (۲۰) بر جذب عناصر بویژه نیتروژن اشاره شده است. مقدار پتاسیم و مس در تیمار شاهد بسیار پایین تر از سایر تیمارهای کودی بود و کاربرد کودهای آلی سبب افزایش شدید جذب پتاسیم و مس توسط گیاه شدند. مقادیر پتاسیم (بویژه در کود گوسفندی) و مس (بویژه در لجن فاضلاب و کود مرغی) در کودهای آلی مورد استفاده بالاتر بوده و مقدار این عناصر را در بافتهای گیاهی افزایش داده‌است. تحقیقات انجام شده نشان داده که کاربرد کودهای دامی سبب افزایش پتاسیم (۳۴) و لجن فاضلاب و کود خوکی منجر به افزایش مس و روی گردیده‌است (۹ و ۲۸).

### خصوصیات خاک ریزوسفر وغیر ریزوسفر

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. مقدار pH در نمونه‌های ریزوسفر و غیرریزوسفر گیاهان آفتابگردان و ذرت اختلاف آماری معنی داری نشان نداد. اما EC در ریزوسفر دو گیاه و همچنین در مورد کودهای آلی مختلف اختلاف آماری معنی داری را نشان داد. تجزیه واریانس داده های تجزیه خاک در پایان آزمایش (جدول ۳) نشان داد اثر گیاه، نوع کود آلی به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۰/۱ درصد بر میزان نیترات خاک معنی دار بودند. اما این اثرات در مورد مقدار آمونیم خاک و اثرات متقابل گیاه و کودهای آلی معنی‌دار نگردید و تنها مقدار آمونیم خاک در نمونه‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری معنی‌دار گردید (جدول ۳).

در تحقیقی هانسن و همکاران (۱۶) اثر افزایش انواع کودهای آلی را بر فرایند معدنی شدن نیتروژن مطالعه نمودند و نشان دادند که افزودن کودهای آلی بر پتانسیل معدنی شدن نیتروژن بدین ترتیب بود: لجن فاضلاب> کودحیوانی>کمپوست>شاهد (۱۶). در این تحقیق اثر نوع گیاه بر مقدار کل ازت معدنی‌شده معنی دار نگردید، اما اثر ریزوسفر (اثر نمونه خاک) و کودهای آلی در معدنی‌شدن معنی‌دار بود (جدول ۳) و مقادیر بالاتری برای معدنی‌شدن در ریزوسفر نسبت به غیرریزوسفر حاصل شد (جداول ۴ و ۵).

**جدول ۳- تجزیه واریانس pH، EC، مقادیر ازت کل، ازت معدنی، نیترات و آمونیم خاک پس از پایان آزمایش**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | pH | EC | ازت کل | معدنی‌شدن کل | نیترات | آمونیم |
| گیاه | ۱ | ۰/۰۰۶$^{ns}$ | ۱/۲۷$^{*}$ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ | ۴۳۴/۷۰$^{ns}$ | ۶۶۶/۶۶۷$^{**}$ | ۲۴/۰۶۷$^{ns}$ |
| نمونه خاک | ۱ | ۰/۶۵۳$^{ns}$ | ۱۶/۲۱$^{***}$ | ۰/۰۰۴$^{ns}$ | ۲۴۲۰۴/۴$^{***}$ | ۳۳۱۳۵/۰$^{***}$ | ۶۹۶/۳۲۳$^{*}$ |
| کود آلی | ۴ | ۰/۲۳۳$^{*}$ | ۲/۳۵$^{***}$ | ۰/۰۰۹$^{*}$ | ۱۳۴۱۴/۰۵$^{***}$ | ۱۲۹۲۱/۲$^{***}$ | ۱/۸۶۷$^{ns}$ |
| گیاه × کودآلی | ۴ | ۰/۰۴۹$^{ns}$ | ۰/۱۹۶$^{ns}$ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ | ۱۴۸۳/۶۱$^{ns}$ | ۱۳۰۲/۴۳$^{ns}$ | ۱۷۵/۶۸۶$^{ns}$ |
| گیاه × خاک | ۱ | ۰/۰۰۶$^{ns}$ | ۱/۲۷۰$^{*}$ | ۰/۰۰۰$^{ns}$ | ۴۳۴/۷۰۴$^{ns}$ | ۶۶۶/۶۶۷$^{ns}$ | ۲۵/۳۵$^{ns}$ |
| کودآلی× خاک | ۴ | ۰/۲۸۱$^{***}$ | ۱/۳۱۳$^{**}$ | ۰/۰۱۳$^{**}$ | ۱۱۵۸۵/۶$^{***}$ | ۹۸۹۶/۶۸$^{***}$ | ۱۷۸/۳۴۸$^{ns}$ |
| گیاه×خاک×کود | ۴ | ۰/۰۴۹$^{ns}$ | ۰/۱۹۶$^{ns}$ | ۰/۰۰۳$^{ns}$ | ۱۴۸۳/۶۱$^{ns}$ | ۱۳۰۲/۴۳$^{ns}$ | ۸۸/۶۴۲$^{ns}$ |
| خطا | ۴۰ | ۰/۰۴۲ | ۰/۲۵۱ | ۰/۰۰۳ | ۱۲۴۴/۷۲۵ | ۱۰۱۰/۲۷۹ | ۷۷/۴۲۶ |
| ضریب تغییرات | – | ۲/۶۹ | ۲۴/۶۲ | ۳۲/۸۵ | ۳۲/۰۲ | ۴۹/۳۰ | ۲۳/۲۳ |

ns، **، و *** به ترتیب بیانگر غیرمعنی دار، معنی دار در سطح ۱٪ و معنی دار در سطح ۰/۱٪

بالابودن معدنی‌شدن نیتروژن در حضور ریشه‌ها در مقایسه با عدم حضور آنها توسط محققان زیادی گزارش شده‌است (۱۵، ۱۷، ۲۶ و ۲۹). در ریزوسفر مقدار ازت معدنی‌شده در تیمار کود مرغی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد و درصد بیشتری (۶۳/۷ درصد) از آن بصورت نیترات اندازه‌گیری گردید (جدول ۴) که می‌تواند نشان دهنده غالب بودن فرایند نیتریفیکاسیون در این نمونه‌ها باشد. کمترین مقدار نیتروژن معدنی در ریزوسفر از تیمار کود گاوی بدست آمد، بطوریکه حتی از نمونه خاک ریزوسفری بدون مواد آلی نیز کمتر بود (جدول ۴). در منطقه غیرریزوسفر تیمارهای لجن فاضلاب و کنترل (بدون کودآلی) بترتیب بالاترین (۲۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) و پایین‌ترین (۶۷/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقادیر نیتروژن معدنی را به خود اختصاص دادند. اثر کودهای آلی بر معدنی شدن نیتروژن تحت تاثیر نوع کود مصرفی است (۱۱). با توجه به بالابودن ازت کل در لجن، گزارش شده که معدنی شدن نیتروژن از لجن فاضلاب بیشتر از سایر کودها می باشد (۳۵). در این مطالعه بیشترین مقدار ازت معدنی‌شده کل در ریزوسفر (مجموع مقادیر نیتروژن معدنی شده موجود در خاک در پایان آزمایش و نیتروژن معدنی جذب شده توسط گیاه) بترتیب بصورت کود مرغی > لجن فاضلاب > کودگوسفندی ≤ کود گاوی بود. در تحقیقی توسط کوردویل و همکاران (۸) کود مرغی را موثرترین کود آلی تامین‌کننده نیتروژن برای گیاهان گندم و چاودار معرفی کرده و بیان نمودند که بخش فعال نیتروژن یا نسبت پتانسیل معدنی‌شدن به نیتروژن کل ($N_0/N_t$) در کود مرغی بسیار بالا می‌باشد. میزان ازت معدنی‌شده در گلدانهایی که لجن فاضلاب دریافت کرده‌بودند نیز بالاتر بود، بطوری‌که این شاخص بین تیمارهای لجن فاضلاب و کود مرغی معنی‌دار نگردید (جدول ۴). مقدار آمونیم بین تیمارها در هیچ‌کدام از نمونه‌های ریزوسفر و غیرریزوسفری تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جداول ۴ و ۵). با اینحال در ریزوسفر، مقدار نیترات در تیمار کود مرغی به‌مراتب بالاتر از سایر کودهای آلی بود. میزان جذب نیتروژن توسط گیاه از لجن و کود مرغی بیشتر از کودهای گاوی و گوسفندی بود و این افزایش با مقادیر بالای $N_m$ در نمونه‌های آنها همخوانی و مطابقت داشت (جدول ۴).

**جدول٤- مقایسه مقادیر نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه، شکلهای مختلف نیتروژن در خاک، نیتروژن کل معدنی شده و معدنی شدن یا ایموبیلیزاسیون خالص در ریزوسفر در پایان آزمایش***

| نوع کود آلی | $N_{plant}$ | $N\text{-}NH_4$ | $N\text{-}NO_3$ | Mineralized N | $TN_{min}$ | $N_m$ or $N_i$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | mg kg$^{-1}$ | | | |
| لجن | ۱۰۱/۱۶ | ۴۸/۴۲ | ۳۲/۰۸ | ۸۰/۵۰ | ۱۸۱/۶۶ | +۲۴/۱۶ |
| کود گوسفندی | ۵۲/۵۰ | ۴۹/۵۸ | ۳۲/۶۷ | ۸۲/۲۵ | ۱۳۴/۷۵ | −۲۲/۷۵ |
| کود گاوی | ۵۷/۵۰ | ۴۹/۰۰ | ۲۷/۴۲ | ۷۶/۴۲ | ۱۳۳/۹۲ | −۲۳/۵۸ |
| کود مرغی | ۸۳/۷۷ | ۴۷/۶۰ | ۸۳/۵۰ | ۱۳۱/۱۰ | ۲۱۴/۸۷ | +۵۷/۳۷ |
| کنترل (بدون کود آلی) | ۶۸/۳۳ | ۴۸/۴۷ | ۲۹/۷ | ۷۸/۱۷ | ۱۴۶/۵۰ | −۱۱ |
| $LSD_{0.05}$ | ۲۷/۱۴ | ns | ۳۷/۰۹ | ۴۱/۱۷ | ۴۷/۲۲ | ۱۸/۱۵ |

$N_{plant}$: مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه

$TN_{min}$: نیتروژن معدنی‌شده کل[مجموع نیتروژن معدنی جذب‌شده بوسیله گیاه در کیلوگرم خاک گلدان (ستون۱) و نیتروژن معدنی خاک در پایان آزمایش (ستون۴)]

$N_m/N_i$: خالص معدنی‌شدن و یا ایموبیلیزاسیون نیتروژن ضایعات آلی (اعداد مثبت و منفی بترتیب نشان دهنده معدنی‌شدن خالص و ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن می باشند).

*: داده‌های $N\text{-}NH_4$ و $N\text{-}NO_3$ نسبت به مقادیر اولیه آنها در خاک تصحیح گردیده‌اند.

**جدول۵- مقایسه مقادیر شکلهای مختلف نیتروژن معدنی، نیتروژن کل معدنی‌شده و معدنی‌شدن/ ایموبیلیزاسیون خالص در غیرریزوسفر در پایان آزمایش***

| نوع کود آلی | $N\text{-}NH_4$ | $N\text{-}NO_3$ | Mineralized N | $TN_{min}$ | $N_m$ or $N_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | | mg kg$^{-1}$ | | | |
| لجن | ۴۷/۸۰ | ۱۷۹/۷۰ | ۲۲۷/۵۰ | ۲۲۷/۵۰ | +۷۰ |
| کود گوسفندی | ۵۱/۳۰ | ۵۹/۵۰ | ۱۱۰/۸۰ | ۱۱۰/۸۰ | −۴۶/۳۰ |
| کود گاوی | ۴۳/۱۳ | ۶۴/۱۷ | ۱۰۷/۳۰ | ۱۰۷/۳۰ | −۵۰/۲۰ |
| کود مرغی | ۳۵/۲۰ | ۱۰۲/۷۰ | ۱۳۷/۹۰ | ۱۳۷/۹۰ | −۱۹/۶۰ |
| شاهد | ۳۳/۸۴ | ۳۳/۸۳ | ۶۷/۶۷ | ۶۷/۶۷ | −۸۹/۸۳ |
| $LSD_{0.05}$ | ns | ۳۷/۰۹ | ۴۱/۱۷ | ۴۷/۲۲ | ۱۸/۱۵ |

$TN_{min}$: نیتروژن معدنی‌شده کل [معادل نیتروژن معدنی خاک در پایان آزمایش (ستون۴)]

$N_m/N_i$: معدنی‌شدن خالص و یا ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن ضایعات آلی (اعداد مثبت و منفی بترتیب نشان دهنده معدنی‌شدن خالص و ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن می‌باشند).

*: داده‌های $N\text{-}NH_4$ و $N\text{-}NO_3$ نسبت به مقادیر اولیه آنها در خاک تصحیح گردیده‌اند.

مقایسه مقادیر معدنی‌شدن و یا ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن از منابع مختلف آلی در منطقه غیرریزوسفر به ترتیب لجن فاضلاب > کود مرغی > کود گوسفندی > کود گاوی بود (جدول ۵).

مقایسه معدنی‌شدن و یا ایموبیلیزاسیون خالص نیتروژن در کودهای آلی ($N_m$ یا $N_i$) نشان داد در ریزوسفر در مورد لجن فاضلاب و کود مرغی معدنی شدن خالص و در مورد کودهای گاوی و گوسفندی ایموبیلیزاسیون خالص (و یا تصعید گازی) نیتروژن اتفاق افتاد. با اینحال در نمونه‌های غیرریزوسفری تنها در تیمار لجن فاضلاب معدنی شدن خالص رخ داد و در مورد بقیه منابع آلی ایموبیلیزاسیون خالص مشاهده گردید. یعنی در غیرریزوسفر به استثنای لجن فاضلاب، در مورد تمام کودهای دامی مقادیر $N_m$ یا $N_i$ در مقایسه با ریزوسفر به اعداد پایین و منفی‌تری نزدیک گردید (جداول ۴ و ۵). شاخص $N_m$ در کودهای لجن فاضلاب و کود مرغی بالاتر بود که نشان می‌دهد بیشتر نیتروژن در این کودها بصورت قابل معدنی‌شدن بود. بعبارت دیگر این مسئله می‌تواند ناشی از بالابودن پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در لجن فاضلاب و کود مرغی باشد. بالابودن مقدار نیتروژن جذب شده توسط برگ تیمارهای مربوطه این نکته را تایید نمود. مطالعات نشان داده که معمولا در سال اول پس از افزایش کودهای مرغی، خوکی و گاوی بترتیب ۹۰، ۷۵ و ۳۰ درصد نیتروژن آلی آنها معدنی می‌گردد (۱۳). نتایج متناقضی درباره پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن از کودهای آلی ارائه شده است. مطالعات هرناندز و همکاران (۱۸) نشان داد پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در لجن فاضلاب بالا و بسته به بافت خاکها در محدوده ۱۳ تا ۴۱ درصد قرار داشت. از طرف دیگر گزارش شده در بین کودهای دامی و لجن فاضلاب پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در کود مرغی بیشتر می‌باشد و با توجه به پایین‌بودن نسبت کربن به نیتروژن در این ضایعات آلی، معدنی‌شدن نیتروژن بویژه در هفته اول افزودن آنها با سرعت بالایی انجام می‌گیرد (۱۰). با اینحال لطفی و همکاران (۴) نشان دادند پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در تیمارهایی که کود گاوی و لجن فاضلاب دریافت کرده بودند، تفاوت معنی‌داری نداشتند. در تحقیق حاضر در مورد کودهای گاوی و گوسفندی ایموبیلیزاسیون نیتروژن ممکن است با نسبت کربن به نیتروژن آنها ارتباط داشته باشد، چه این نسبت در کودهای گاوی و گوسفندی نسبتا بالا و به ترتیب ۲۵/۴ و ۲۶ و بالاتر از مقادیر مربوط به لجن و کود مرغی بود (جدول ۲). نسبت کربن به نیتروژن، نوع ضایعات آلی و مقدار ترکیبات آلی از مهمترین عوامل موثر در دینامیک نیتروژن خاک هستند (۲ و ۵). از طرف دیگر تمام کودهای آلی مورد استفاده در این تحقیق کمپوست‌نشده و بصورت خام بودند و منفی‌بودن شاخص $N_m/N_i$ در مورد برخی از آنها بویژه کودهای گاوی و گوسفندی با نسبت کربن به نیتروژن بالا دور از انتظار نبود.

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد مقدار نیتروژن آمونیمی در ریزوسفر بالاتر از خاک غیرریزوسفر بود، از کل نیتروژن معدنی موجود در نمونه غیرریزوسفری ۳۲ درصد بصورت آمونیم و ۶۸ درصد به‌شکل نیترات بود. پدیده نیتریفیکاسیون با حضور نیتروژن آمونیمی تحریک می‌گردد (۳۱) و بنابراین در غیر ریزوسفر نیتریفیکاسیون غالب بوده‌است (جدول ۶). در حالی که در ریزوسفر بدلیل جذب ریشه‌ای مقدار کل نیتروژن معدنی کمتر بود، مقدار نیتروژن آمونیمی کمی بالاتر از نیتروژن نیتراتی بود. این مسئله می‌تواند بواسطه پخشیدگی نیترات به سمت توده خاک جذب بالای نیترات توسط ریشه گیاه و یا ایموبیلیزاسیون آن باشد. بعبارت دیگر در مقایسه با آمونیم، غلظت نیترات در ریزوسفر و غیر ریزوسفر تغییرات وسیعی را نشان داد (جدول ۶). با این‌حال مقدار نیتروژن کل اختلاف آماری معنی‌داری را نشان نداد و روند مشابهی را نشان داد. مقدار پتاسیم در ریزوسفر از نظر آماری بالاتر از غیرریزوسفر بود. بالابودن پتاسیم در ریزوسفر در مقایسه با غیرریزوسفر توسط چن و همکاران (۶) و تورپالت و همکاران (۴۰) نیز گزارش شده است. pH در ریزوسفر بطور معنی‌داری بالاتر از غیر ریزوسفر بود، اگرچه تغییر pH در محدوده ۰/۲۱ واحد قرار داشت. بسیاری از واکنش‌های شیمیایی در خاک رخ می‌دهند که اسیدیته ریزوسفر را تعدیل می‌نمایند. از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر این شرایط عبارتند از؛ ۱) تولید دی‌اکسید کربن در تنفس؛ ۲) ترشح اسیدهای آلی؛ ۳) تولید انواع اسیدها توسط میکروبها بدنبال تغذیه از کربن آزاد شده از ریشه؛ ۴) جذب یونها؛ ۵) رقم گیاه (۴۰).

**جدول ٦- مقادیر شاخص‌های شیمیایی و بیولوژیک در نمونه‌های ریزوسفر و غیرریزوسفری در پایان آزمایش**

| نمونه خاک | EC (dS m$^{-1}$) | pH | P (mg kg$^{-1}$) | N (%) | N-NO$_3$ (mg kg$^{-1}$) | N-NH$_4$ (mg kg$^{-1}$) | N$_{min}$ (mg kg$^{-1}$) | K (mg kg$^{-1}$) | MPN (×10$^6$ gr$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ریزوسفر | ۱/۵۱ | ۷/۷۶ | ۳۵/۵۲ | ۰/۱۶ | ۴۰/۹۷ | ۴۹/۱۲ | ۹۰/۰۸ | ۷۲۶ | ۲/۹۳ |
| غیرریزوسفر | ۲/۵۵ | ۷/۵۵ | ۶۰/۶۸ | ۰/۱۵ | ۸۷/۹۷ | ۴۲/۲۹ | ۱۳۰/۲۵ | ۶۲۸ | ۰/۹۷ |
| $LSD_{0.05}$ | ۰/۲۶ | ۰/۱۱ | ۱۱/۵۶ | ۰/۰۳ | ۱۶/۵۸ | ۵/۵۴ | ۱۸/۴۱ | ۴۹ | ۰/۱۹ |

$N_{min}$: نیتروژن معدنی خاک در پایان آزمایش

MPN: محتمل‌ترین عدد، معرف جمعیت میکروبی در گرم خاک

داده‌های N-NH$_4$ و N-NO$_3$ نسبت به مقادیر اولیه آنها در خاک تصحیح گردیده‌اند.

مکانیسم اصلی مسئول تغییرات pH در ریزوسفر، آزادسازی خالص $H^+$، $HCO_3^-$ یا $OH^-$ در پاسخ به عدم تعادل جذب کاتیون- آنیون از ریشه‌ها می‌باشد. بعنوان مثال در خاکهایی که نیترات بعنوان منبع اولیه نیتروژن باشد، تعداد آنیونهای جذب‌شده توسط گیاه بیشتر از کاتیونها خواهد بود و ریشه گیاه مجبور است برای حفظ تعادل الکتریکی $HCO_3^-$ یا $OH^-$ به ریزوسفر آزاد نماید (۳۲). در تحقیقی تورپالت و همکاران (۳۹) در بررسی تغییرات ریزوسفر و غیرریزوسفر نشان دادند که pH ریزوسفر بالاتر از غیرریزوسفر بود و بیان نمودند تولید $H^+$ یا $OH^-$ در ریزوسفر می‌تواند به تغییر و تبدیل شکلهای نیتروژن بستگی داشته‌باشد. در تحقیق حاضر تغییرات pH ریزوسفر و غیرریزوسفر را می‌توان به عدم تعادل جذب کاتیون- آنیون نسبت داد. در ریزوسفر بدلیل جذب بالای نیترات توسط ریشه‌ها، $HCO_3^-$ یا $OH^-$ بیشتری به ریزوسفر آزاد شده و pH آن منطقه را افزایش داده است. از طرف دیگر در غیرزیروسفر غلظت آمونیم نیز پایین بود که نشانگر بالابودن سرعت نیتریفیکاسیون بوده و سبب کاهش pH گردیده‌است (جدول ۶). از طرف دیگر در منطقه غیرریزوسفر (بدون حضور گیاه) مطابق داده‌های جدول ۵، در تمام تیمارها مقدار نیترات بیشتر از آمونیم بود. با این‌حال در ریزوسفر تقریباً وضعیت عکس مشاهده گردید و در این منطقه مقدار آمونیم بیشتر از نیترات بود (جداول ۴ و ۶). بنابراین ممکن است پایین بودن نیترات در ریزوسفر بدنبال جذب بالا توسط ریشه‌ها منجر به آزادسازی مقادیر بیشتری $OH^-$ یا $HCO_3$ گردیده و pH آنجا را نسبت به غیرریزوسفر افزایش داده است.

مقدار EC در ریزوسفر آفتابگردان بیشتر از ریزوسفر ذرت بود که می تواند بیانگر حضور بالای یونهای غذایی در محلول خاک آن منطقه باشد. بیشترین EC (۲/۸۰ $dS\ m^{-1}$) مربوط به تیمار کود گوسفندی بود. البته این نتیجه دور از انتظار هم نبود زیرا مقدار EC در عصاره اشباع کود گوسفندی بالاتر از بقیه کودها بود. مقدار EC در تیمار شاهد کمتر از بقیه بود، البته در ریزوسفر افزودن لجن و کود گاوی سبب افزایش معنی دار EC نسبت به شاهد نگردید. با اینحال در غیرریزوسفر بین تیمارهای کودی و شاهد اختلاف معنی‌داری در EC مشاهده نگردید.

جمعیت میکروبی در محدوده ریزوسفر هر دو گیاه ذرت و آفتابگردان بالاتر از منطقه غیرریزوسفر بود (جدول ۷). ترشحات ریشه‌ای ازجمله اسیدهای آلی و آمینه در ریزوسفر بعنوان منابع سهل‌الوصول کربن و انرژی برای میکروبها بوده و سبب افزایش فعالیت و جمعیت میکروبی نسبت به مناطق دورتر از ریشه می‌گردد. تحریک جمعیت میکروارگانیسم‌ها در نزدیکی ریشه‌ها توسط محققان زیادی گزارش شده است (۲۱،۱۹، ۳۳ و ۴۱) جمعیت میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر ذرت بالاتر از ریزوسفر آفتابگردان بود. متوسط وزن خشک ریشه‌ها در ذرت (۴/۳۱ گرم در گلدان) بیش از سه برابر وزن ریشه‌ها در آفتابگردان (۱/۲۸ گرم در گلدان) بود و بنظر می‌رسد ترشحات ریشه‌ای ذرت بالاتر از آفتابگردان بوده که رشد و تکثیر فزاینده میکروارگانیسم‌ها را سبب گردیده‌است. فعالیت بالای میکروبها و ریشه گیاه در ریزوسفر می‌توانند خصوصیات شیمیایی آن منطقه را تغییر دهند. هدایت الکتریکی در خاک غیرریزوسفری نسبت به ریزوسفر بالاتر بود. بدلیل حضور ریشه‌ها و جذب بیشتر یونها، شوری در ریزوسفر به مقدار قابل توجهی کاهش یافت. این شاخص در ریزوسفر آفتابگردان بالاتر از ریزوسفر ذرت بود (جدول ۷). غلظت برخی عناصر غذایی در ریزوسفر و غیرریزوسفر تغییرات وسیعی را نشان داد. غلظت فسفر در ریزوسفر کمتر از غیرریزوسفر بود.

**جدول۷- مقادیر شاخص‌های شیمیایی و میکروبی در خاک‌های ریزوسفری و غیر ریزوسفری تیمارهای لجن و کودهای دامی مختلف**

| | ریزوسفر | | | | | غیر ریزوسفر | | | | | $Lsd_{0.05}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | لجن | گوسفند | گاو | مرغ | کنترل | لجن | گوسفند | گاو | مرغ | شاهد | |
| EC ($dS\ m^{-1}$) | ۰/۷۹ | ۲/۴۱ | ۱/۶۹ | ۱/۹۴ | ۰/۷۳ | ۲/۶۰ | ۲/۸۰ | ۲/۱۷ | ۲/۸۰ | ۲/۴۰ | ۰/۵۸ |
| pH | ۷/۸۳ | ۷/۶۶ | ۷/۸۰ | ۷/۷۳ | ۷/۶۷ | ۷/۶۳ | ۷/۸۶ | ۷/۷۳ | ۷/۳۳ | ۷/۱۸ | ۰/۲۴ |
| P ($mg\ kg^{-1}$) | ۲۲/۹ | ۲۴/۷ | ۲۸/۱ | ۴۱/۶ | ۶۰/۲ | ۴۷/۲ | ۶۱/۲ | ۷۱ | ۸۳/۱ | ۴۰/۷ | ۲۵/۸ |
| N (%) | ۰/۱۴ | ۰/۱۸ | ۰/۲۵ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | ۰/۱۷ | ۰/۱۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | ۰/۰۶ |
| $N\text{-}NO_3$ ($mg\ kg^{-1}$) | ۳۲/۱ | ۳۲/۶ | ۲۷/۴ | ۸۳ | ۲۹/۲ | ۱۷۹/۷ | ۵۹/۵ | ۶۴/۲ | ۱۰۲/۷ | ۳۳/۸ | ۳۷/۱ |
| $N\text{-}NH_4$ ($mg\ kg^{-1}$) | ۴۸/۴۲ | ۴۹/۶ | ۴۹ | ۵۰ | ۴۹ | ۴۷/۸ | ۵۲/۳ | ۴۳/۱ | ۳۵/۲ | ۳۳/۹ | ۱۵/۳ |
| $N_{min}$ ($mg\ kg^{-1}$) | ۸۰/۵ | ۸۲/۲ | ۷۶/۴ | ۱۳۳ | ۷۸/۲ | ۲۲۷/۵ | ۱۱۰/۸ | ۱۰۷/۳ | ۱۳۷/۹ | ۶۷/۷ | ۴۱/۲ |
| Ca (%) | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۱۳ | ۰/۱۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۹ | ۰/۰۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۴ |
| K ($mg\ kg^{-1}$) | ۴۲۳ | ۱۲۰۸ | ۵۹۹ | ۴۹۷ | ۴۱۵ | ۵۰۴ | ۱۴۳۳ | ۷۳۲ | ۸۴۷ | ۱۱۶ | ۱۰۹ |
| MPN ($\times 10^6\ gr^{-1}$) | ۱۰/۱۳ | ۱/۴ | ۱/۳ | ۱/۶ | ۰/۵۹ | ۱/۱ | ۱/۲ | ۱/۰ | ۱/۴ | ۰/۱۵ | ۰/۴۴ |

$N_{min}$: نیتروژن معدنی خاک در پایان آزمایش

MPN: محتمل‌ترین عدد، معرف جمعیت میکروبی در گرم خاک

مقادیر $N\text{-}NH_4$ و $N\text{-}NO_3$ نسبت به مقادیر اولیه آنها در خاک تصحیح گردیده‌اند.

در بین کودهای آلی بالاترین غلظت فسفر در ریزوسفر (۴۱/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) و غیرریزوسفر (۸۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) از تیمارهای کود مرغی حاصل شد. کود گوسفندی سبب افزایش چشمگیر مقدار پتاسیم در هر دو نمونه گردید. این کود بواسطه داشتن پتاسیم بالا (۳/۰۷ درصد) غلظت پتاسیم را در نمونه‌های ریزوسفر و غیرریزوسفر بترتیب تا ۱۲۰۸ و ۱۴۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد. جمعیت میکروبی در ریزوسفر و غیر ریزوسفر تمام گلدانهایی که کود آلی دریافت کرده بودند بیشتر از شرایط بدون کود آلی بود. تعداد میکروارگانیسم‌ها در ریزوسفر گیاهانی که لجن فاضلاب ($۱۰/۱۳\times۱۰^{۶}$ در گرم خاک) و کود مرغی ($۱/۶\times۱۰^{۶}$ در گرم خاک) دریافت کرده‌بودند بیشتر از بقیه تیمارها بود. در غیرریزوسفر فعالیت میکروبی پایین‌تر بود، لیکن تیمار کود مرغی ($۱/۴\times۱۰^{۶}$ در گرم خاک) جمعیت بالایی را به‌خود اختصاص داد (جدول ۷). پارهام و همکاران (۳۰) با کاربرد کود دامی نشان دادند که در خاکهای تیمارشده علاوه بر فعالیت میکروبها، جمعیت آنها نیز نسبت به شرایط کنترل افزایش می یابد.

## نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده افزودن کودهای آلی خصوصیات شیمیایی و بیولوژیکی ریزوسفر بطور چشمگیری تغییر داده و این کودها بویژه کود مرغی و لجن فاضلاب علاوه بر افزایش عملکرد ماده خشک گیاه ذرت و آفتابگردان با بهبود فعالیت میکروبی در ریزوسفر، سبب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می گردد. بطور کلی معدنی‌شدن نیتروژن در ریزوسفر بیشتر از غیرریزوسفر بود که نشان می دهد جمعیت و فعالیت میکروبی در این منطقه بالاتر بوده است. با توجه به مطالعات بیشتر در مورد پتانسیل معدنی شدن ازت آلی از منابع مختلف کودهای آلی و همچنین ارزیابی سرعت معدنی شدن ازت می‌توان نیاز غذایی گیاهان را بویژه ازت مورد نیاز آنها را بدون خطرات زیست محیطی تامین نمود. به‌هر حال تکمیل اطلاعات مربوط به مقادیر پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در کودهای دامی و لجن و بررسی سنتیک معدنی شدن نیتروژن جهت تعیین زمان مناسب و مقادیر اصولی و صحیح مصرف آنها پیشنهاد می‌گردد.

## منابع


۱- امامی ع. ۱۳۷۵. روش‌های تجزیه گیاه (جلد اول). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۹۸۲. ۱۲۸صفحه.

۲- شیخ‌حسینی ا. و نوربخش ف. ۱۳۸۶. تاثیر نوع خاک و بقایای گیاهی بر شدت معدنی‌شدن خالص نیتروژن. پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، ۱۳۳- ۱۲۸.

۳- رضاپور س. ۱۳۸۸. مطالعه تاثیر اقلیم بر تشکیل و تکامل خاک و کانی‌شناسی رسی در استان آذربایجان‌غربی. رساله دکتری تخصصی، گروه خاکشناسی، دانشگاه تبریز، ۱۹۰صفحه.

۴- لطفی ی.، نوربخش ف. و افیونی م. ۱۳۸۶. پتانسیل معدنی‌شدن نیتروژن در یک خاک آهکی تیمارشده با دو نوع کود آلی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲، ۳۷۷-۳۶۷.

5- Bustamante M.A., Perez-Murcia M.D., Paredes C., Moral R., Perez-Espinosa A., and Moreno-Caselles J. 2007. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. Bioresource Technology 98: 3269–3277.

6- Chen Y.M., Wang M.K., Zhuang S.Y., and Chiang P.N. 2006. Chemical and physical properties of rhizosphere and bulk soils of three tea plants cultivated in Ultisols. Geoderma 136: 378–387.

7- Chen C.C., Wang M.K., Chiu C.Y., Huang P.M., and King H.B. 2001. Determination of low molecular weight dicarboxylic acids and organic functional groups in rhizosphere and bulk soils of Tsuga and Yushania in a temperate rain forest. Plant Soil, 231: 37–44.

8- Cordovil C.M., Cabral F., and Coutinho J. 2007. Potential mineralization of nitrogen from wastes to ryegrass and wheat crops. Bioreesource Technology. 98: 3265- 3268.

9- Diacono M., and Montemurro F. 2009. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. Agron. Sustain. Dev. DOI: 10.1051/agro/2009040.

10- Dick R.P., and Christ R.A. 1995. Effects of long-term waste management and nitrogen fertilisation on availability and profile distribution of nitrogen. Soil Sci. 159: 402–408.

11- Eneji A.E., Honna T., Yamamoto S., Saito T., and Masuda T. 2002. Nitrogen transformation in four

Japanese soils following manure+urea amendment. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 53-66.
12- Fox T.R., and Comerford N.B. 1990. Low molecular weight organic acids in selected forest soils of Southeastern U.S.A. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1763–1767.
13- Gordillo R.M., and Cabrera M.L. 1997. Waste management. Mineralizable nitrogen in broiler litter: I. Effect of selected litter chemical characteristics. J. Environ. Qual., 26: 1627-1679.
14- Hadas A., Kautsky L., Mustafa G., and Kara E.E. 2004. Rates of decomposition of plant residues and vailable nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. Soil Biol. Biochem. 36, 255–266.
15- Haider K., Heinemeyer O., and Mosier A.R. 1989. Effects of growing plants on humus and plant residue decomposition in soil: Uptake of decomposition products by plants. Sci. Total Environ. 81/82: 661–670.
16- Hassen A.N., Jedidi N., Cherif M., Hiri M.A., Boudabous A., and Cleemput O.V. 1998. Mineralization of nitrogen in clayey loamy soil amended with organic wastes enriched with Zn, Cu and Cd. Bioresource Technol. 64: 39-45.
17- Herman D.J., Johnson K.K., Jaeger C.H., Schwartz E., and Firestone M.K. 2006. Root Influence on Nitrogen Mineralization and Nitrification in *Avena barbata* Rhizosphere Soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:1504–1511.
18- Hernandez T., Moral R., Espinosa A.P., Caselles, J.M., Murcia M.D., and Garcia C. 2002. Nitrogen mineralization potential in calcareous soils amended with sewage sludge. Bioreesource Technology. 83: 213-219.
19- Jones D.L., Hodge A., and Kuzyakov Y. 2004. Plant and mycorrhizal regulationof rhizodeposition. New Phytologist (2004) 163: 459–480.
20- Kara E.E., Uygur V., and Erel A. 2006. The effects of composted poultry wastes on nitrogen mineralization and biological activity in a silt loam soil. J. Appl. Sci. 6: 2476-2480.
21- Landi L., Valori F., Ascher J., Renella G., Falchini L., and Nannipieri P. 2006. Root exudate effects on the bacterial communities, CO2 evolution,nitrogen transformations and ATP content of rhizosphere and bulk soils. Soil Biology & Biochemistry 38: 509–516.
22- Lynch J.M., and Whipps J.M. 1990. Substrate flow in the rhizosphere. Plant and Soil 129, 1–10.
23- Mattos Y., Alua A.K., Paramasivam S., and Graetz D.A. 2003. Nitrogen volatilization and mineralization in a sandy Entisol of Florida. Soil Sci. Plant Anal. 34: 1803-1824.
24- McLaughlin M.J., Smolders E., and Merckx R. 1998. Soil–root interface: Physicochemical processes. In Soil Chemistry and Ecosystem Health, Special Publication no 52. pp. 233-277. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.
25- Nett L., Averesch S., Ruppel S., Rühlmann J., Feller C., George E., and Fink M. 2010. Does long-term farmyard manure fertilization affect short-term nitrogen mineralization from farmyard manure? Biol Fertil Soils 46:159–167.
26- Norton J.M., and Firestone M.K. 1996. N dynamics in the rhizosphere of Pinus Ponderosa seedlings. Soil Biol. Biochem. 28:351–362.
27- Nyamangara J., and Mzezewa J. 1999. The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment, 73: 199–204.
28- Nyamangara J., and Mzezewa J. 1996. Maize growth and nutrient uptake in a Zimbabwean ed clay soil amended with anaerobically digested sewage sludge. J. Appl. Sci. South Africa. 2: 83-89.
29- Pare T., Dinel H., and Schnitzer M. 2000. Carbon and nitrogen mineralization in soil amended with non-tabletized and tabletized poultry manure. Canadian Journal of Soil Science 80: 271-282.
30- Parham J.A., Deng S.P., Da H.N., Sun H.Y., Raun W.R. 2003. Long-term cattle manure application in soil. II. Effect on soil microbial populations and community structure. Biol Fertil Soils. 38:209–215.
31- Recous S., Aita C., and Mary B. 1999. In situ changes in gross N transformations in bare soil after addition of straw. Soil Biology & Biochemistry 31, 119–133.
32- Riley D., and Barber S.A. 1971. Effect of ammonium and nitrate fertilization on phosphorus uptake as related to root-induced pH changes at the root–soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33, 905–908.
33- Ryan P.R., Delhaize E., and Jones D.L. 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52: 527–560.
34- Safer A.A., Bizk S.A., and Kl-Sebaay A.S. 1992. Effect of Organic Manures on Plant Growth and NPK Uptake by Wheat and Maize Plants. Egypt. J. Soil Sci. 32: 249-263.

35- Serna M.D., and Pomares F. 1993. Evaluation of nitrogen availability in a soil treated with organic amendments. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 24: 1833-1844.
36- Shen J., Rengel Z., Tang C., and Zhang F. 2003. Role of phosphorus nutrition in development of cluster roots and release of carboxylate in soil grown *Lupinus albus*. Plan and Soil, 248: 199-206.
37- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., and Sumner M.E. 1996. Methods of soil analysis Part 3- Chemical methods. Soil Science Society of America Book Ser. 5, Madison, Wisconsin, USA. 1390 p.
38- Szmigielska A.M, Van Rees K.C.J., Cieslinski G., and Huang P.M. 1996. Low molecular weight dicarboxylic acids in rhizosphere soil of durum wheat. J. Agric. Food Chem. 44, 1036–1040.
39- Tarrason D., Ojeda G., Ortiz O., and Alcaniz J.M. 2008. Differences on nitrogen availability in a soil amended with fresh, composted and thermally-dried sewage sludge. Bioresource Technology 99: 252–259.
40- Turpault M.P., Gobran G.R., and Bonnaud P. 2007. Temporal variations of rhizosphere and bulk soil chemistry in a Douglas fir stand. Geoderma 137: 490–496.
41- Von Wiren N., Romheld V., Shioiri T., and Marschner H. 1995. Competetion between microorganisms and roots of barley and sorghum for iron accumulated in the root apoplasm. New Phytologist 130: 511-521.
42- Whipps J.M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. J. Exp. Bot. 52: 487-511.
43- Zingore S., Mafongoya P. Nyamugafata P., and Giller K.E. 2003. Nitrogen mineralization and maize yields following application of tree prunings to a sandy soil in Zimbabwe. Agroforestry Systems, 57: 199–211.
44- Zoysa A.K.N., Loganathan P., and Hedley M.J. 1999 Phosphorus utilisation efficiency and depletion of phosphate fractions in the rhizosphere of three tea (*Camellia sinensis* L.) clones. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 53, 189–201.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.2, May-Jun 2011, p. 327-337

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۰، ص. ۳۳۷-۳۲۷

# The Effect of Sewage Sludge and Manures Application on Nitrogen Mineralization and Rhizosphere Characteristics in Corn and Sunflower Plants

**M.H. Rasouli Sadaghiani[1*]- E. Sepehr[2]**
Received:30-6-2010
Accepted:8-1-2011

## Abstract

Biological and chemical changes in rhizosphere following organic residues as well as manures application are important processes which influence nitrogen mineralization and nutrients bioavailibity in soils. This study was done to evaluation of organic residues effect on growth, nitrogen supply and rhizosphere characteristics of corn and sunflower plants in greenhouse experiment using sewage sludge (SS), poultry (Pl), cattle (Ct) and sheep (Sh) manures. The results showed plants acquired significantly more N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn and Cu in SS treatment than other manures. Sunflower in comparison with corn plants showed higher N, P, K, Ca and Cu uptake, which can be attributed to its higher nutrient-uptake efficiency. The highest mineralized nitrogen in rhizosphere and non-rhizosphere soil were achieved in Pl (214.8 mg $kg^{-1}$) and SS (227.5 mg $kg^{-1}$), respectively. Mineralized N in particular nitrate was observed at high concentration in rhizosphere compared to non-rhizosphere soil, which indicate higher microbial activity including nitrificators and high mineralization processes in sunflower rhizosphere. Net nitrogen mineralization ($N_m$) in rhizosphere was higher than that in non-rhizosphere which the microbial population in corn and sunflower rhizosphere were 3.7 and 2.3 times higher than non-rhizosphere soil, respectively . Treatments applied with SS showed the highest microbial activity compared to other organic residues. At rhizosphere, net nitrogen mineralization was occurred in Pl and SS treatments whereas Ct and Sh applied soil showed nitrogen net immobilization. Except for SS, all applied residues showed net immobilization in non-rhizosphere soil. The highest total mineralized N (mineralized N exist in soil and absorbed N by plants) were as fallows in treatments: Pl> SS> Sh> Ct.

**Keywords**: Sewage sludge, Manures, Nitrogen mineralization, Rhizosphere

1,2- Assistant Professors, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University
(*-Corresponding Author Email: m.rsadaghiani@urmia.ac.ir)