

Investigating the Role of Periphyton in Nitrification in Paddy Fields

Hamid Reza Zare Guildehi, Hossein Ali Alikhani*, Hassan Etesami, Mohaddeseh Shirinzadeh, Zahra Karami and Mehran Gholami¹

(Received: November 23-2024 ; Revised: January 14-2025 ; Accepted: March 8-2025)

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding author Email: halikhan@ut.ac.ir

Abstract

Soil and water pollution and waste of resources have occurred due to the excessive use of nitrogen fertilizers in paddy fields. Considering that the biofilm of periphyton formed in paddy fields is mainly responsible for the exchange of nutrients, the present research was designed to investigate the effect of periphyton in the nitrification process in paddy fields and performed with 12 treatments. The treatments included powerful and weak nitrifiers isolated from periphyton, periphyton, periphyton enriched with nitrifiers, and their combination with a dicyandiamide chemical inhibitor. The research was carried out in a rice greenhouse cultivation for 30 days. The results showed that the simultaneous application of periphyton enriched with low-power nitrifier and dicyandiamide can increase the amount of total soil nitrogen, soil phosphorus, soil ammonium, total plant nitrogen, plant phosphorus, plant potassium, shoot length, and dry weight of rice plants. While this treatment reduced the conversion of ammonium to nitrate and subsequently reduced the potential of nitrate formation in the soil, with the increase of ammonium accumulation, it increased the utilization of rice plants. Periphyton can be considered a source for the isolation of nitrifiers. Also, the use of periphyton in paddy fields as a biological and healthy solution to inhibit the nitrification process in front of the use of inhibiting chemicals is placed in the path of future research.

Keywords: Ammonium, Rice, Dicyandiamide, Nitrifier

How to cite this article: Zare Guildehi, H., Alikhani, H., Etesami, H., Shirinzadeh, M., Karami, Z. and Gholami, M. 2025. Investigating the Role of Periphyton in Nitrification in Paddy Fields. *J. Water and Soil Sci.* 29(1):1-10. DOI: [10.47176/jwss.29.1.6052](https://doi.org/10.47176/jwss.29.1.6052)

Copyright © 2025 Zare Guildehi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

مطالعه اثرات بیوفیلیم پریفایتون بر فرایند نیتریفیکاسیون در اراضی شالیزاری

حمیدرضا زارع گیلدهی، حسینعلی علیخانی*^{ID}، حسن اعتصامی، محدثه شیرینزاده،

زهرا کرمی و مهران غلامی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۹/۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۸)

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: halikhan@ut.ac.ir

چکیده

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی نیتروژنی در شالیزارها موجب آلودگی خاک، آب و هدررفت منابع شده است. با توجه به اینکه بیوفیلیم پریفایتون تشکیل‌شده در اراضی شالیزاری مسئول اصلی تبادلات عناصر غذایی است، پژوهشی با هدف بررسی اثر پریفایتون در فرایند نیترات‌سازی در شالیزارها طراحی و با ۱۲ تیمار اجرا شد. تیمارها شامل پریفایتون، نیتریفیکاتورهای پرتوان و کم‌توان جداشده از پریفایتون و پریفایتون غنی‌شده با نیتریفیکاتورها و ترکیب آن‌ها با بازدارنده شیمیایی دی‌سیان‌دی‌آمید بودند. پژوهش به صورت کشت گلخانه‌ای برنج در مدت ۳۰ روز انجام پذیرفت. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان پریفایتون غنی‌شده با نیتریفیکاتور کم‌توان و دی‌سیان‌دی‌آمید می‌تواند موجب افزایش میزان نیتروژن کل، فسفر و آمونیوم در خاک و نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، طول اندام هوایی و وزن خشک در گیاه برنج شود. همچنین این تیمار موجب کاهش تبدیل آمونیوم به نیترات و متعاقب آن کاهش پتانسیل نیترات‌سازی در خاک شد و با افزایش تجمع آمونیوم باعث افزایش بهره‌برداری گیاه برنج از آن شد. پریفایتون می‌تواند به عنوان یک مخزن جدید برای جداسازی انواع میکروارگانیسم‌ها در نظر گرفته شود و همچنین استفاده از آن در شالیزارها به عنوان یک راه‌حلی زیستی نوین و سالم برای کنترل فرایند نیترات‌سازی به همراه کاربرد کمتر مواد شیمیایی بازدارنده در مسیر پژوهش‌های آینده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آمونیوم، برنج، دی‌سیان‌دی‌آمید، نیتریفیکاتور

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

افزایش جمعیت و در نتیجه آن افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی به ویژه برنج و عدم امکان توسعه سطوح زیر کشت این محصول، موجب می شود سالانه مقادیر وسیعی از کودهای شیمیایی از جمله کودهای نیتروژنی برای کشت برنج در شالیزارها به منظور افزایش عملکرد به کار برده شود (۶، ۱۱ و ۲۵). این امر اغلب منجر به بروز مشکلاتی مانند آلودگی آب های سطحی و زیر سطحی و متعاقب آن باعث رهاسازی مواد شیمیایی و عناصر سنگین در اکوسیستم های آبی و همچنین کاهش کیفیت خاک، آسیب به ریشه و محصول گیاه برنج می شوند (۷).

حضور بیوفیلم پریفایتون (Periphytic Biofilm) در شالیزارها از طریق اثرگذاری بر تثبیت زیستی نیتروژن، تصعید آمونیاک، نترات سازی و نترات زدایی بر چرخه نیتروژن تأثیرگذار است (۱۴ و ۲۵). فرایند نترات سازی در شرایطی ممکن است توسط ترکیبات مصنوعی یا طبیعی مانند نیتراپیرین و دی سیان دی آمید (DCD) مهار شود. DCD با جلوگیری از اکسیداسیون آمونیوم به نیتريت در حفظ نیتروژن خاک به شکل آمونیوم و در نتیجه کاهش آبشویی نترات خاک و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژنی توسط گیاهان مؤثر است (۱۸ و ۲۸). از طرفی، کاربرد مقادیر زیاد DCD تصعید آمونیاک از سطح شالیزار را بیشتر می کند. برهم کنش بین DCD و پریفایتون در شالیزار و اثرهای آن بر چرخه نیتروژن کاملاً مشخص نیست (۲۹). با توجه به مطالعات اندک انجام شده در زمینه اثرهای پریفایتون بر نترات سازی و چرخه نیتروژن، انجام مطالعه روی نیتریفیکاتورهای موجود در این بیوفیلم ضروری بوده و تأثیر آن بر اراضی شالیزاری و تولید مقرون به صرفه محصول برنج انکارناپذیر است. با فرض اینکه بیوفیلم پریفایتون با داشتن انواع نیتریفیکاتورهای پرتوان و کم توان بر بخش نترات سازی چرخه نیتروژن در خاک های شالیزاری اثرگذاری دارد، اهداف اصلی این پژوهش بررسی نقش بیوفیلم پریفایتون در فرایند نترات سازی در شالیزارها و امکان سنجی غنی کردن بیوفیلم پریفایتون با نیتریفیکاتورهای منتخب و کنترل زیستی فرایند نترات سازی با این روش برای اولین بار بود.

مواد و روش ها

نمونه برداری از پریفایتون در بهار سال ۱۴۰۲ از شالیزارهای واقع در روستای گیلده با طول و عرض جغرافیایی 37°08'16.1"N 49°28'36.2"E توسط ابزار استریل انجام و نمونه ها تحت دمای ۴ درجه سانتی گراد به آزمایشگاه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک دانشگاه تهران منتقل شد.

پژوهش انجام شده در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار آزمایشی و در سه تکرار طراحی و اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد (Blank)، باکتری نیتریفیکاتور با بیشترین توان (PNF)، باکتری نیتریفیکاتور با کمترین توان (WNF)، پریفایتون (P)، پریفایتون به همراه باکتری نیتریفیکاتور با بیشترین توان (P+PNF)، پریفایتون به همراه باکتری نیتریفیکاتور با کمترین توان (P+WNF)، بازدارنده دی سیان دی آمید (DCD)، باکتری نیتریفیکاتور با بیشترین توان به همراه بازدارنده دی سیان دی آمید (PNF+DCD)، باکتری نیتریفیکاتور با کمترین توان به همراه بازدارنده دی سیان دی آمید (WNF+DCD)، پریفایتون به همراه بازدارنده دی سیان دی آمید (P+DCD)، پریفایتون به همراه باکتری نیتریفیکاتور با بیشترین توان به همراه بازدارنده دی سیان دی آمید (P+PNF+DCD) و پریفایتون به همراه باکتری نیتریفیکاتور با کمترین توان به همراه بازدارنده دی سیان دی آمید (P+WNF+DCD) بودند.

جداسازی و بررسی توان باکتری های اکسیدکننده آمونیوم (AOB) و نیتريت (NOB)

به دلیل دومارحله ای بودن واکنش نترات سازی، از محیط کشت Medium for Ammonia Oxidizers برای جداسازی اکسیدکنندگان آمونیوم و از محیط کشت Medium for Nitrite Oxidizers برای اکسیدکنندگان نیتريت از بیوفیلم پریفایتون استفاده شد (۱۹). به منظور غنی سازی، جدایه های AOB و NOB از محیط کشت جامد به مایع تلقیح شدند و نمونه ها به مدت ۷ الی ۱۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد انکوباسیون شدند. سپس هر نمونه ۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ سانتریفیوژ شد. در مرحله بعدی

نتایج و بحث

بافت خاک مورد استفاده در این پژوهش رسی سیلتی، هدایت الکتریکی ۰/۱۴ دسی‌زیمنس بر متر و pH ۶/۷۵ ارزیابی شد. همچنین مقدار ماده آلی ۲/۰۷ درصد اندازه‌گیری شد. مقادیر نیتروژن کل ۰/۲۱ درصد، نترات ۴/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آمونیوم ۷۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و فسفر ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند.

مقایسه بررسی توان باکتری‌های اکسیدکننده آمونیوم (AOB) و نیتريت (NOB)

مقدار نیتريت تولیدشده (شکل ۱، الف) در شرایط درون‌شیشه‌ای ارزیابی شد. جدایه شماره ۱ بیشترین مقدار تولید نیتريت و جدایه شماره ۱۱ کمترین میزان تولید نیتريت را در سطح آماری ۵ درصد به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از ارزیابی مقدار نیتريت مصرف‌شده در محیط کشت (شکل ۱، ب) نشان داد که جدایه شماره ۵ بیشترین میزان مصرف نیتريت و جدایه شماره ۱۸ کمترین میزان مصرف نیتريت را در سطح آماری ۵ درصد ثبت کردند. این چهار جدایه انتخاب و در آزمون گلخانه‌ای استفاده شدند.

بررسی روند تغییرات در خاک

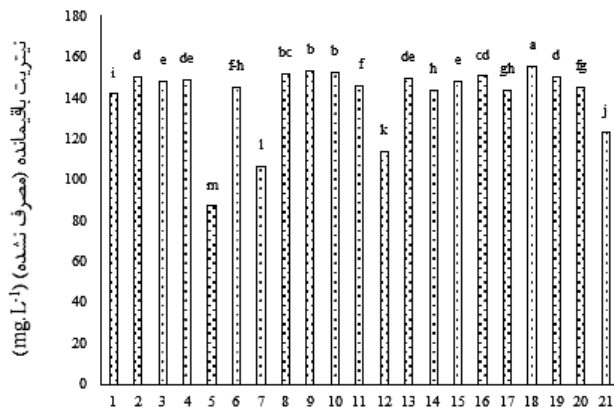
pH و EC خاک

پس از پایان دوره رشد، مقدار pH خاک در بیشتر تیمارها افزایش یافت (شکل ۲، الف). استفاده از دی‌سیان‌دی‌آمید به‌عنوان بازدارنده فرایند نترات‌سازی موجب افزایش pH خاک می‌شود (۹ و ۲۹). همچنین مقدار هدایت الکتریکی خاک در تیمارهای حاوی دی‌سیان‌دی‌آمید افزایش قابل‌توجهی در سطح معنی‌داری ۵ درصد داشتند (شکل ۲، ب). در پژوهشی میزان هدایت الکتریکی خاک طی دوره انکوباسیون ۴۰ روزه با افزودن دی‌سیان‌دی‌آمید به خاک در ابتدا افزایش و در پایان دوره انکوباسیون کاهش پیدا کرد. مصرف دی‌سیان‌دی‌آمید در درازمدت تأثیر نامطلوبی روی هدایت الکتریکی خاک نخواهد گذاشت (۹).

۱۰ میلی‌لیتر از مایع روئین درون لوله آزمایش انتقال داده شد و ۰/۴ میلی‌لیتر معرف رنگی اضافه شد. درنهایت نیتريت تولیدشده توسط باکتری‌های AOB و نیتريت مصرف‌شده توسط باکتری‌های NOB به روش رنگ‌سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۴۳ نانومتر اندازه‌گیری شد (۳). استانداردهای مد نظر، توسط نیتريت سدیم (NaNO_2) ساخته شدند.

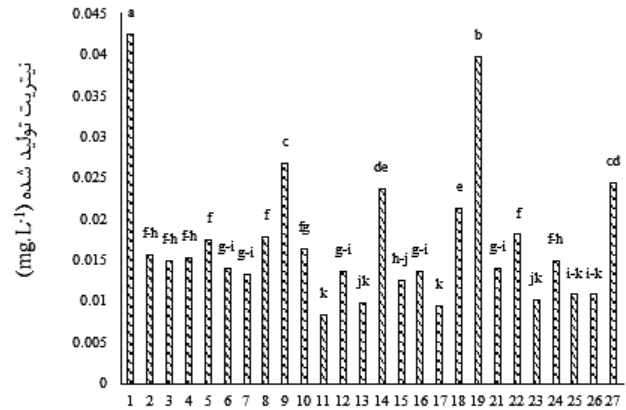
کشت گلخانه‌ای گیاه برنج

گلدان‌هایی با قطر ۱۵ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر با ۲/۵ کیلوگرم از خاک شالیزاری محل نمونه‌برداری اولیه پر شدند و به مدت ۲۰ روز در شرایط غرقاب به‌منظور شل‌مال کردن قرار گرفتند. در فرایند نمونه‌گیری خاک شالیزار به‌منظور کاهش تلفات خاک، به توصیه‌های پژوهشگران در این زمینه عمل شد (۱۰). پس از آزمون خاک، میزان کمبود نیتروژن، فسفر و پتاسیم مطابق با نشریه توصیه کودی مؤسسه تحقیقات برنج گیلان تأمین شد. پیش از کاشت بذور برنج، ماده دی‌سیان‌دی‌آمید به مقدار ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک، در آب مقطر حل و به تیمارهای مد نظر افزوده شد. سپس، بذورهای برنج رقم هاشمی ضدعفونی و به تعداد ۲۰ عدد در هر گلدان کشت شدند. بلافاصله از سوسپانسیون پریفایتون طبیعی و پریفایتون غنی‌شده با باکتری‌ها به مقدار ۵۰ میلی‌لیتر به تیمارهای مربوطه افزوده شد. گلدان‌ها تحت شرایط دما، نور و رطوبت مناسب به مدت ۳۰ روز نگهداری شدند. پس از پایان دوره، پارامترهای pH ، هدایت الکتریکی، نیتروژن کل، آمونیوم، نترات، فسفر قابل‌جذب، پتاسیم قابل‌جذب و پتانسیل نترات‌سازی در خاک و پارامترهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، ارتفاع و وزن خشک در گیاهچه‌های برنج مطابق با روش‌های شرح‌داده‌شده در کتاب جونز انجام گرفتند (۱۲). پتانسیل نترات‌سازی (Nitrification Potential) خاک توسط روش مهار کلرات انجام شد (۲۳). تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد و نمودارها توسط نرم‌افزار اکسل رسم شدند.



کد باکتری‌های اکسیدکننده نیتريت (NOB)

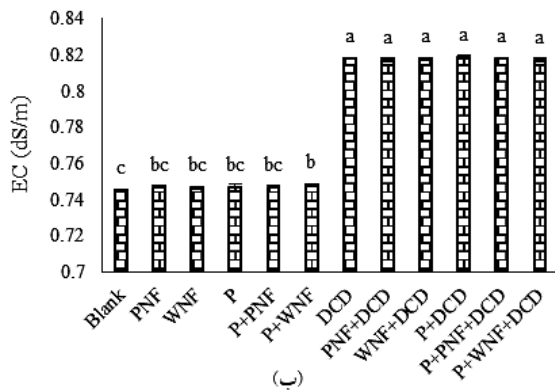
(ب)



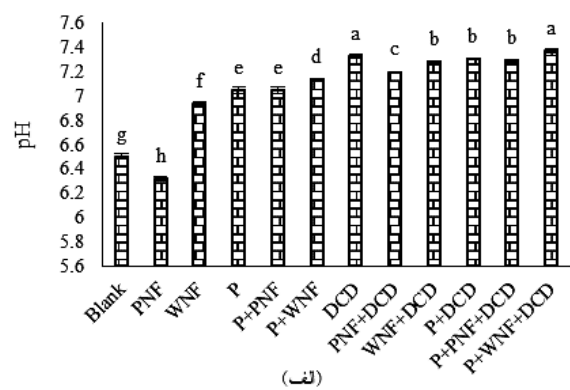
کد باکتری‌های اکسیدکننده آمونیوم (AOB)

(الف)

شکل ۱. مقایسه میانگین باکتری‌های اکسیدکننده آمونیوم (الف) و اکسیدکننده نیتريت (ب)



(ب)

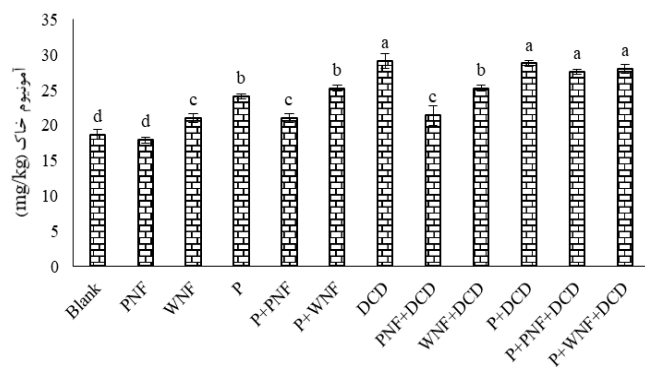


(الف)

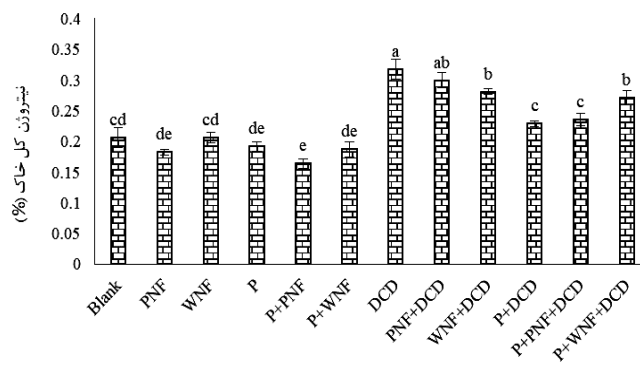
شکل ۲. تأثیر تیمارهای مختلف روی pH خاک (الف) و EC خاک (ب) پس از ۳۰ روز

تجزیه پریفایتون این عنصر در خاک و آب آزاد شده که این فرایند موجب شده تا پریفایتون مانند یک کود کندرها و مخزن موقت نیتروژن در نظر گرفته شود (۱۳ و ۱۶). مقدار آمونیوم خاک بعد از دوره رشد در بیشتر تیمارها افزایش یافت (شکل ۳-ب). استفاده از دی‌سیان‌دی‌آمید باعث افزایش میزان آمونیوم در آب سطحی، خاک و بیوفیلیم پریفایتون می‌شود (۲۹). برخلاف آمونیوم، مقدار نیترات خاک بعد از پایان دوره رشد در بیشتر تیمارها کاهش پیدا کرد (شکل ۳-ج). تیمار DCD موجب بیشترین کاهش در مقدار نیترات خاک به میزان ۲۵/۵۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. اثبات شده است که کاربرد دی‌سیان‌دی‌آمید، موجب کاهش نیترات در آب، خاک و

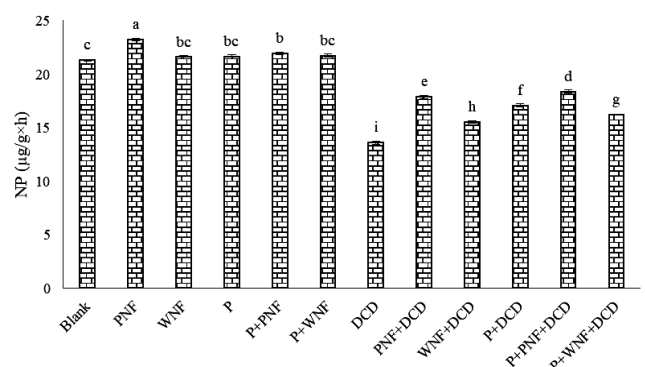
نیتروژن کل (N_T)، آمونیوم (NH_4^+)، نیترات (NO_3^-)، فسفر (P)، پتاسیم (K) و پتانسیل نیترات‌سازی خاک (NP) پس از پایان دوره کشت در گلخانه، نیتروژن کل خاک در بیشتر تیمارهای دارای دی‌سیان‌دی‌آمید افزایش یافت (شکل ۳-الف). به‌طور کلی دی‌سیان‌دی‌آمید با مهار فرایند نیترات‌سازی اجازه اکسیداسیون میکروبی آمونیوم به نیترات را نمی‌دهد؛ بنابراین این ماده موجب افزایش میزان آمونیوم و متعاقب آن میزان نیتروژن کل خاک می‌شود. جذب عنصر نیتروژن (فرایند آلی شدن) به‌وسیله بیوفیلیم پریفایتون در شالیزارها، ۳۰ تا ۵۰ درصد نیتروژن معدنی را در آب و خاک کاهش می‌دهد. نیتروژن جذب‌شده توسط بیوفیلیم پریفایتون در زیست‌توده ذخیره شده و با گذشت زمان و



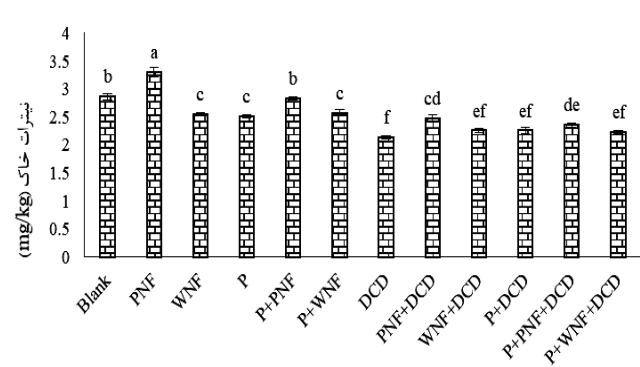
(ب)



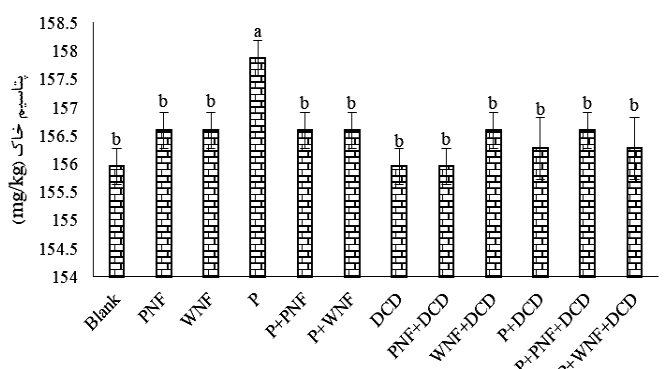
(الف)



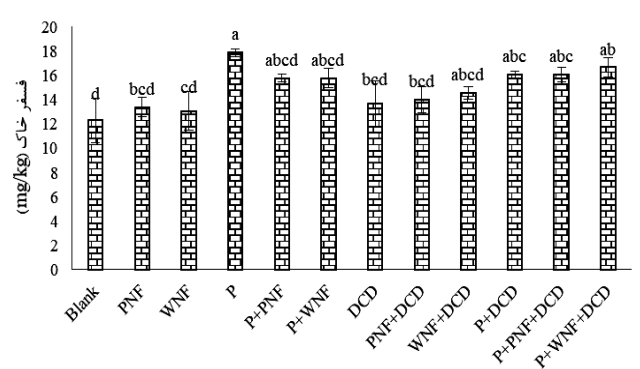
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۳. نمودار تأثیر تیمارهای مختلف روی درصد (الف) نیتروژن، (ب) آمونیوم، (ج) نترات، (د) پتانسیل نترات سازی، (ه) فسفر و (و) پتاسیم قابل جذب خاک پس از ۳۰ روز

بنابراین، استفاده از آن در مزرعه به عنوان یک روش اصلی در کنترل آلودگی غیرنقطه ای ناشی از کود نیتروژن در تولیدات کشاورزی در نظر گرفته می شود و بازیابی کود نیتروژنی را افزایش می دهد (۱۷). در تأیید این ادعا، پتانسیل نترات سازی (NP) در تیمارهایی که حاوی دی سیان دی آمید بودند، کاهش قابل توجهی یافت (شکل ۳-د). پژوهشگران

بیوفیلم پریفایتون می شود. از طرفی این ماده باعث فراهمی بیشتر آمونیوم برای گیاه می شود و از تجمع و آبشویی نترات جلوگیری می کند (۲۱ و ۲۹). پژوهشگران بیان کردند که بازدارنده های نترات سازی از جمله دی سیان دی آمید فرایند نترات سازی را کند کرده و در نهایت موجبات تجمع نیتروژن به شکل آمونیومی برای مصرف گیاه را فراهم می کنند (۲۱)؛

گزارش کردند که استفاده از دی‌سیان‌دی‌آمید باعث کاهش پتانسیل نیترات‌سازی در خاک و بیوفیلیم پریفایتون می‌شود و فرایند تبدیل آمونیوم به نیترات را طولانی‌تر می‌کند (۹ و ۲۹). با توجه به نمودار، تیمارهای حاوی باکتری نیتریفیکاتور با توان زیاد (PNF و P+PNF) به دلیل ماهیت سرعت‌بخشی بر میزان نیترات‌سازی خاک، موجب افزایش تبدیل آمونیوم به نیترات و در نهایت افزایش در مقدار پارامتر پتانسیل نیترات‌سازی شدند.

مقدار فسفر قابل جذب خاک بعد از دوره رشد در تیمارهای P+DCD، P+PNF+DCD و P+WNF+DCD افزایش معنی‌داری در سطح ۵ درصد نسبت به تیمار شاهد از خود نشان دادند (شکل ۳-ه). باکتری‌ها و قارچ‌های موجود در بیوفیلیم پریفایتون با تولید اسیدهای آلی، توانایی بسیار زیادی در انحلال اشکال نامحلول فسفر را دارند (۴). مقدار پتاسیم قابل جذب خاک نیز بعد از دوره رشد ۳۰ روزه تنها در تیمار P افزایش یافت (شکل ۳-و). بیوفیلیم پریفایتون با دارا بودن طیف وسیعی از انواع میکروارگانیسم‌های بهبوددهنده رشد گیاه، حاصلخیزی خاک و رشد پایدار گیاه را تضمین می‌کند. پژوهش‌های قبلی حضور باکتری‌ها و قارچ‌های آزادکننده پتاسیم از منابع نامحلول این عنصر را تأیید کرده‌اند؛ به‌طوری که مقدار پتاسیم آزادشده از منبع کانی مسکوویت در محیط کشت الکساندروف توسط پریفایتون، قابل توجه گزارش شده است (۲).

بررسی روند تغییرات در گیاهچه برنج

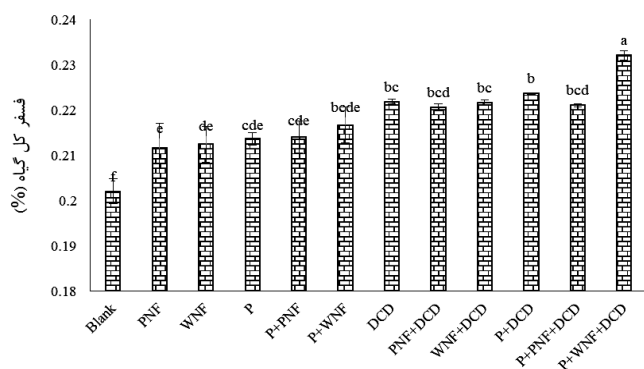
نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه

مقدار نیتروژن کل گیاه بعد از پایان دوره رشد در بیشتر تیمارها افزایش یافت (شکل ۴-الف). گزارش شده است که کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی از جمله دی‌سیان‌دی‌آمید باعث افزایش میزان نیتروژن در برگ می‌شود (۲۱). بازدارنده‌های نیترات‌سازی باعث جذب بهتر نیتروژن توسط گیاه می‌شوند؛ زیرا در حضور این بازدارنده‌ها سیستم ریشه‌ای توسعه پراکنده‌تری دارد و زمانی که دی‌سیان‌دی‌آمید استفاده شود، جذب نیتروژن به شکل آمونیومی توسط گیاه برنج بیشتر

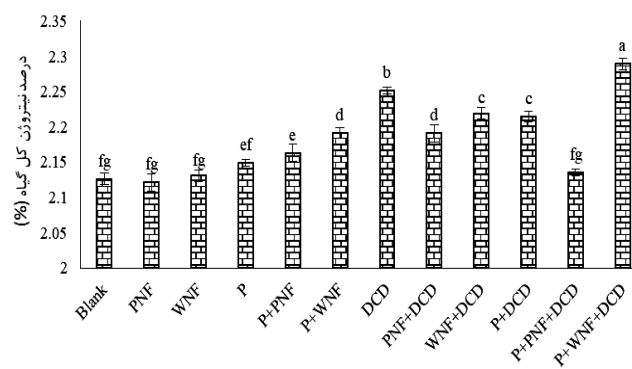
انجام شده و از طرف دیگر تلفات نیترات از طریق آبشویی کمتر است (۱۵). گیاهچه برنج هرچه میزان نیتروژن آمونیومی بیشتری در اختیارش قرار گیرد، محتوای نیتروژنی آن بیشتر خواهد شد؛ زیرا گیاه برنج شکل آمونیومی نیتروژن را به شکل نیتراتی آن ترجیح می‌دهد (۸ و ۲۴). پریفایتون در تنظیم چرخه نیتروژن بسیار مؤثر است؛ زیرا با خشتی کردن تلفات نیتروژن و بهبود در تولید برنج می‌تواند با جذب نیتروژن اضافی به‌عنوان یک مخزن و با آزادسازی مجدد نیتروژن برای استفاده مجدد گیاه از آن، به کندی عمل کند. مقدار فسفر کل گیاهچه برنج بعد از دوره رشد در همه تیمارها افزایش یافت (شکل ۴-ب). گزارش شده است که پریفایتون با افزایش جذب و نگهداری فسفر مصرفی در اراضی کشت برنج، شاخص‌های رشدی مانند بیومس، طول گیاه و جذب فسفر توسط گیاه برنج را افزایش می‌دهد (۴). تیمارهای حاوی دی‌سیان‌دی‌آمید، پریفایتون و باکتری نیتریفیکاتور کم‌توان به‌دلیل فراهم کردن آمونیوم موجبات اثرهای هم‌افزایی بین نیتروژن و فسفر را برای جذب توسط ریشه برنج فراهم کرده و از این طریق باعث افزایش مقدار جذب فسفر در تیمارهای که آمونیوم بیشتری در اختیار داشته بودند، شده است. برهمکنش بین نیتروژن و فسفر در برنج مثبت بوده و با کاربرد همزمان نیتروژن و فسفر در کشت برنج، عملکرد، غلظت و جذب فسفر و نیتروژن در دانه افزایش می‌یابد (۲۶). مقدار پتاسیم کل گیاهچه برنج بعد از اتمام دوره در همه تیمارها به جز تیمار PNF افزایش یافت (شکل ۴-ج). بیوفیلیم پریفایتون شامل اجتماعی از باکتری‌ها از قبیل آزادکنندگان عنصر پتاسیم است که روی نقل و انتقال پتاسیم در اراضی غرقاب تأثیر داشته و موجب بهبود رشد گیاه برنج خواهد شد. باکتری‌های آزادکننده پتاسیم توانایی انحلال پتاسیم و افزایش آن را در خاک داشته که در نهایت گیاه می‌تواند از آن برای تغذیه خود استفاده کند (۲).

ارتفاع و وزن خشک گیاهچه برنج

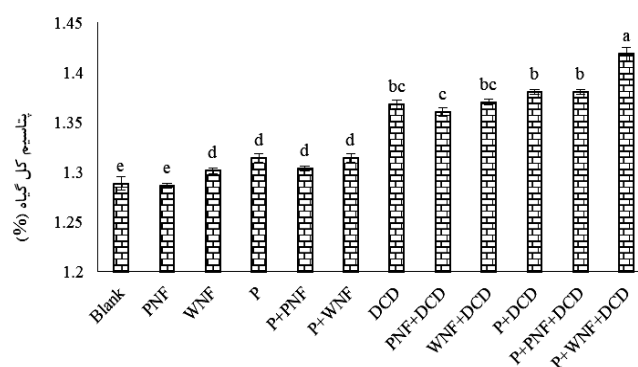
ارتفاع و وزن خشک گیاهچه برنج بعد از دوره رشد در همه تیمارها افزایش یافت (شکل ۵). تیمار P+WNF+DCD موجب



(ب)

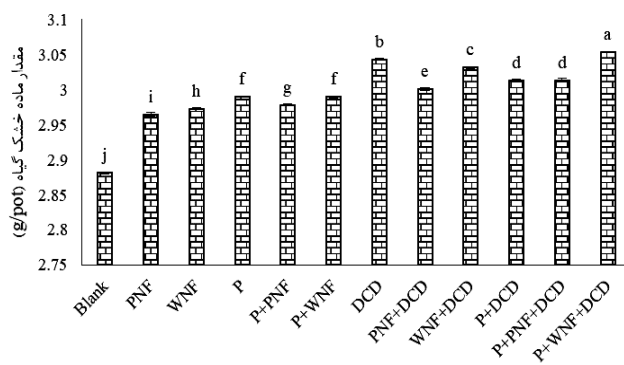


(الف)

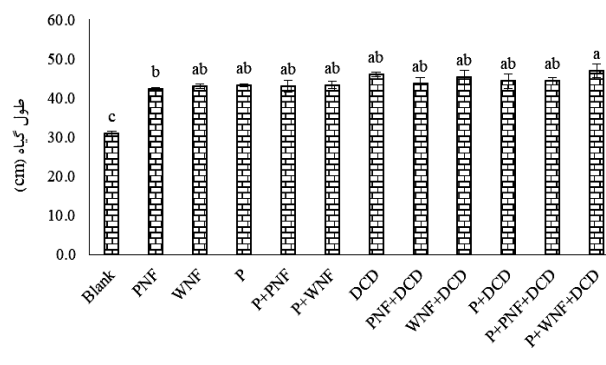


(ج)

شکل ۴. نمودار تأثیر تیمارهای مختلف روی درصد (الف) نیتروژن، (ب) فسفر و (ج) پتاسیم پس از ۳۰ روز



(ب)



(الف)

شکل ۵. نمودار اثر تیمارهای مختلف بر (الف) میزان ارتفاع و (ب) وزن خشک گیاهچه برنج بعد از ۳۰ روز

زمانی که به روش تقسیط استفاده شود، بسیار مؤثر واقع خواهد شد (۲۰). استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌سازی موجب افزایش رشد گیاه می‌شود؛ زیرا جذب آمونیوم توسط گیاه سریع‌تر و با مصرف انرژی کمتری صورت می‌پذیرد. این موضوع باعث

بیشترین افزایش در طول گیاهچه به میزان ۵۱/۶۱ درصد و بیشترین مقدار وزن خشک به میزان ۴۵/۱۹ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. دی‌سیان‌دی‌آمید برای جلوگیری از تلفات نیتروژن و افزایش عملکرد و شاخص‌های رشد برنج به‌ویژه

می شود گیاه تا ۱۷ درصد کربوهیدرات را در خود ذخیره کرده و میزان ماده خشک در گیاه نیز افزایش یابد؛ بنابراین، اگر گیاه بخشی از نیتروژن را به شکل آمونیوم توسط ریشه جذب کند، شاخص های رشد و عملکرد محصول زیاد خواهد شد (۵). دی سیانیدی آمید اکسایش میکروبی آمونیوم به نیتريت (NO_2^-) را کند کرده و موجب تثبیت آمونیوم در خاک و افزایش وزن خشک، ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد برگ و وزن تازه گیاه می شوند می شوند (۲۲، ۲۷ و ۱). پریفایتون به صورت یک ماتریکس پیچیده شامل انواع اتوتروف و هتروتروف از جمله انواع مختلف جلبک، باکتری، قارچ، پروتوزوئ، و متازوا است که به عنوان فاز سوم بین آب و خاک در شالیزارها، نقش مهمی در فرایندهای تغییر، تبدیل و بازچرخش عناصر غذایی از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم دارد و برآیند عملکرد این بیوسیستم به نفع گیاه برنج و اکوسیستم تالابی خواهد بود.

نتیجه گیری کلی

با جداسازی نیتریفیکاتورهای پرتوان و کم توان از بیوفیلیم پریفایتون و غنی سازی پریفایتون اولیه با آن ها ثابت شد که می توان پریفایتون را همانند ریزوسفر به عنوان یک مخزن جدید میکروارگانیسمی و نوعی از کود زیستی نوین در نظر گرفت که پتانسیل زیادی در تغذیه گیاه و کنترل فرایندهای مختلف مرتبط با خاک و آب در شالیزارها دارد. در این پژوهش پریفایتون با

ممانعت از تلفات نیتروژن و همچنین فراهمی آمونیوم و نگهداشت آن، به رشد و توسعه گیاه برنج یاری رساند. از طرفی کاربرد بازدارنده های شیمیایی مرتبط با نترات سازی در شالیزارها در مقادیر زیاد می تواند نتایج مخربی بر سلامت آب و خاک و همچنین انسان از طریق وارد شدن به چرخه غذایی داشته باشد؛ بنابراین یافتن راه حل هایی را که دوسنادر محیط زیست باشند، برای این نواحی ضروری می کند. با توجه به نتایج مثبت کاربرد بیوفیلیم پریفایتون در رشد و توسعه گیاه برنج، توصیه می شود در کشت گیاه برنج در اراضی شمال کشور، تدابیری اتخاذ شود تا این بیوفیلیم در زمان کشت توسط کشاورزان از اراضی پاک سازی نشود؛ زیرا این بیوفیلیم علاوه بر نتایج مفیدی که در این پژوهش آورده شده، موجب ممانعت از رشد علف های هرز در شالیزار نیز می شود که جمع این موارد موجب کاهش نهایی در مصرف کود نیتروژنی و علف کش ها و در نهایت تولید محصولی سالم خواهد شد.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی مرکز مطالعات و همکاری های علمی بین المللی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری انجام شده است. همچنین بدینوسیله از جناب آقای مهندس حسن شیرین زاده به خاطر همکاری در پیشبرد اهداف این پژوهش قدردانی می شود.

References

1. Alderfasi, A. A., A. M. Aljuaid, A. E. Moftah and M. M. Selim. 2015. Role of nitrification inhibitor combined with different nitrogen sources in decreasing injurious components in spinach. *Advances in Plants and Agriculture Research* 2(6): 72.
2. Alikhani, H. A., S. Emami and H. Etesami. 2021. Periphyton and Its Key Role in Paddy Fields and Environmental Health. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 52 (2): 451-467.
3. Baird, R., E. Rice and A. Eaton. 2017. Standard methods for the examination of water and wastewaters. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, America.
4. Beheshti, M., H. A. Alikhani, A. A. Pourbabaei, H. Etesami, H. Asadi Rahmani and M. Noroozi. 2022. Investigating the role of periphyton types in the release and uptake of insoluble phosphorus in an in vitro experiment. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 53(6): 1387-1402.
5. Britto, D. T. and H. J. Kronzucker. 2002. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology* 159(6): 567-584.
6. Chauhan, B. S., K. Jabran and G. Mahajan (Eds.). 2017. Rice production worldwide. Springer International Publishing, Switzerland.

منابع مورد استفاده

7. Cho, M., T. Jang, J. R. Jang and C. G. Yoon. 2016. Development of agricultural non-point source pollution reduction measures in Korea. *Irrigation and Drainage* 65: 94-101.
8. Duan, Y. H., Y. L. Zhang, L. T. Ye, X. R. Fan, G. H. Xu and Q. R. Shen. 2007. Responses of rice cultivars with different nitrogen use efficiency to partial nitrate nutrition. *Annals of Botany* 99(6): 1153-1160.
9. Elrys, A. S., S. Raza, A. S. Elnahal, M. Na, M. Ahmed, J. Zhou and Z. Chen. 2020. Do soil property variations affect dicyandiamide efficiency in inhibiting nitrification and minimizing carbon dioxide emissions?. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 202: 110875.
10. Gholami, M., Z. Sharifi, Z. Karami, S. Haghighi, S. F. Minouei, D. A. Zema and M. E. Lucas-Borja. 2020. The potential impacts of soil sampling on erosion. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17: 4909-4916.
11. Jing, Q., B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, H. Van Keulen and W. Cao. 2007. Exploring options to combine high yields with high nitrogen use efficiencies in irrigated rice in China. *European Journal of Agronomy* 26(2): 166-177.
12. Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press, Boca Raton.
13. Liu, J., Y. Wu, C. Wu, K. Muylaert, W. Vyverman, H. Q. Yu, ... and B. Rittmann. 2017. Advanced nutrient removal from surface water by a consortium of attached microalgae and bacteria: a review. *Bioresource Technology* 241: 1127-1137.
14. Lu, H., J. Liu, P. G. Kerr, H. Shao and Y. Wu. 2017. The effect of periphyton on seed germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa*) in paddy area. *Science of the Total Environment* 578: 74-80.
15. Martínez-Alcántara, B., A. Quiñones, C. Polo, E. Primo-Millo and F. Legaz. 2013. Use of nitrification inhibitor DMPP to improve nitrogen uptake efficiency in citrus trees. *Journal of Agricultural Science* (2): 1-18.
16. Nakanishi, K., K. I. Takakura, R. Kanai, K. Tawa, D. Murakami and H. Sawada. 2014. Impacts of environmental factors in rice paddy fields on abundance of the mud snail (*Cipangopaludina chinensis laeta*). *Journal of Molluscan Studies* 80(4): 460-463.
17. Ning, J., L. Cui, S. Ai, R. Wang, J. Yao, M. Li, ... and S. Wang. 2015. Effects of two nitrification inhibitors on transformations of nitrogen in soil. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 31(4): 144-151.
18. Raza, S., X. Li, N. Miao, M. Ahmed, Z. Liu and J. Zhou. 2019. Dicyandiamide increased ammonia volatilisation and decreased carbon dioxide emission from calcareous soil during wheat–maize rotation on the Loess Plateau. *Soil Research* 57(7): 767-778.
19. Ronald, M. 2004. Handbook of microbiological media (Vol. 1). CRC press, Boca Raton.
20. Russo, S. 1996. Rice yield as affected by the split method of N application and nitrification inhibitor DCD. *Cahiers Options Mediterranennes* 15: 43-53.
21. Sangsefidi, S., A. Lakzian, A. Astarai, M. Banayan Aval and M. Mazhari. 2020. Effects of Artificial and Natural Nitrification Inhibitors on Plant Growth Characteristics and Nitrate Uptake by Lettuce. *Journal of Water and Soil* 34(2): 423-437.
22. Thiem, T. T. and Y. Akira. 2018. Effects of nitrogen forms on root system development, physiological traits, and dry matter production of rice. Agricultural University Press, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi.
23. Wang, J., L. Zhang, Q. Lu, W. Raza, Q. Huang and Q. Shen. 2014. Ammonia oxidizer abundance in paddy soil profile with different fertilizer regimes. *Applied Soil Ecology* 84: 38-44.
24. Wang, M. Y., M. Y. Siddiqi, T. J. Ruth and A. D. Glass. 1993. Ammonium uptake by rice roots (I. Fluxes and subcellular distribution of $^{13}\text{NH}_4^+$). *Plant Physiology* 103(4): 1249-1258.
25. Wu, Y., J. Liu, H. Lu, C. Wu and P. Kerr. 2016. Periphyton: an important regulator in optimizing soil phosphorus bioavailability in paddy fields. *Environmental Science and Pollution Research* 23(21): 21377-21384.
26. Yazdani Motlaq, N., A. Reyhanitabar and N. Najafi. 2013. Interactive Effect of Nitrogen and Phosphorus on Rice Fe, Zn, and Mn Uptake under Continuous submergence and intermittent saturation. *Journal of Soil Research* 27(4): 441-461.
27. Yu, C., G. Wang, H. Zhang, H. Chen and Q. Ma. 2022. Biochar and Nitrification Inhibitor (Dicyandiamide) Combination Had a Double-Win Effect on Saline-Alkali Soil Improvement and Soybean Production in the Yellow River Delta, China. *Agronomy* 12(12): 3154.
28. Zacherl, B. and A. Amberger. 1984. Hemmung der Ammoniumoxidation durch *Nitrosomonas europaea* mit verschiedenen Nitrifikationshemmstoffen. *VDLUFA-Schriftenreihe* 11: 55-63.
29. Zhao, Y., H. Liu, R. Wang and C. Wu. 2020. Interactions between dicyandiamide and periphytic biofilms in paddy soils and subsequent effects on nitrogen cycling. *Science of the Total Environment* 718: 137417.