Vol 27, No. 1, Spring 2025

University of Tehran Press

Journal of Crops Improvement

Online ISSN: 2345-6957

Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

Preparation of Slow-Release Urea Fertilizers via Coating by Natural and Synthetic Waxes

Mahyar Ramezani Tazehabad[1] | Elaheh Motamedi[2]✉

1. Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: ramezaniimahyar@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Nanotechnology, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: e.motamedi@abrii.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 5 November 2023
Received in revised form
10 December 2023
Accepted 30 November 2024
Published online 5 March 2025

Keywords:
Biocompatible
Carnauba wax
Dip-coating
Nitrogen fertilizer
Polyethylene wax

ABSTRACT

Objective: Urea is one of the most widely used fertilizers in agricultural practices; however, its high solubility in water leads to rapid leaching from the soil before plants can effectively absorb it. This issue results in significant fertilizer losses, increased agricultural costs, and various environmental concerns. A promising approach to address this challenge is the application of organic materials to coat urea granules, thereby slowing their dissolution rate in water. In this study, to mitigate fertilizer loss and enhance efficiency, carnauba wax (CW) was selected due to its biocompatibility and abundance. Additionally, urea granules were coated separately with CW combined with paraffin wax and stearic acid, polyethylene wax, and paraffin wax to evaluate the effectiveness of these materials in reducing urea dissolution.

Method: The method of dip-coating was employed as the primary technique for applying the coating onto the urea granules. To assess the release of urea over time, a specific quantity of the coated urea granules was carefully placed into 10 ml of distilled water, and the solution was monitored by collecting samples at predetermined time intervals. The concentration of urea released into the water at each interval was quantitatively determined using a UV-VIS spectrophotometer. Additionally, the diameters of the various coatings formed on the urea granules were examined and recorded on the seventh day of the experiment using a stereo microscope equipped with 40X magnification for precise measurements.

Results: The release of urea was monitored over a 41-day period, and the results revealed significant differences in the release rates based on the coating material used. Urea granules coated with carnauba wax exhibited the slowest release rate, with only 71.5% of the urea released by the end of the 41-day observation period. In contrast, granules coated with a mixture of carnauba wax and paraffin wax released their entire urea content into the water within just 7 days. Among the coatings tested, carnauba wax demonstrated the highest efficiency with a coating diameter of 0.504 mm, which also represented the smallest thickness compared to the other coating formulations.

Conclusions: The study results revealed that carnauba wax serves as an efficient coating material for urea granules, significantly prolonging their release time. This wax offers numerous benefits due to its natural origin, biocompatibility, biodegradability, and non-toxic properties. Its application enhances sustainability while ensuring safety, making it a highly suitable choice for controlled-release purposes in agricultural or similar settings. These findings highlight its potential to revolutionize fertilizer usage, reducing environmental impact and improving cost efficiency.

Cite this article: Ramezani Tazehabad, M., & Motamedi, E. (2025). Preparation of Slow-Release Urea Fertilizers via Coating by Natural and Synthetic Waxes. *Journal of Crops Improvement*, 27 (1), 57-67.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863

انتشارات دانشگاه تهران

به زراعی کشاورزی
Homepage: https://jci.ut.ac.ir/

شاپا الکترونیکی: ۶۹۵۷-۲۳۴۵

تهیه کودهای آهسته–رهش اوره با استفاده از پوشش‌دهی توسط واکس‌های گیاهی و سنتزی

مهیار رمضانی تازه‌آباد[۱] | الهه معتمدی[۲]✉

۱. بخش نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: ramezaniimahyar@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، بخش نانوتکنولوژی، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: e.motamedi@abrii.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۲/۱۵

کلیدواژه‌ها:
زیست سازگار
کود نیتروژن
لایه نشانی غوطه‌وری
موم کارنوبا
واکس پلی‌اتیلن

چکیده

هدف: اوره یکی از پرمصرف‌ترین کودهای شیمیایی مورداستفاده در کشاورزی می‌باشد، اما حلالیت بالای آن درآب سبب رهایش سریع و شست‌وشوی کود به خارج از خاک و عدم دسترسی به گیاه می‌شود. این مشکل باعث هدررفت کود، افزایش هزینه‌ها و آلودگی زیست‌محیطی می‌شود. یکی از مهم‌ترین روش‌ها جهت رفع مشکل هدررفت کود اوره استفاده از مواد آلی جهت پوشش‌دهی آن به‌منظور کاهش حلالیت اوره در آب است. در این مطالعه، به‌منظور کاهش هدررفت کود، از واکس کارنوبا (به‌علت سازگاری با محیط زیست و در دسترس‌بودن) و ترکیب آن با واکس پارفین و استئاریک‌اسید، واکس پلی‌اتیلن و پارافین واکس به‌صورت مجزا برای پوشش‌دهی گرانول‌های اوره استفاده شد.

روش پژوهش: برای پوشش‌دهی، از روش غوطه‌وری استفاده شد. هم‌چنین برای اندازه‌گیری میزان رهایش اوره، مقدار مشخصی از کود پوشش‌دار شده در ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرارگرفته و طی بازه‌های زمانی مختلف از آب نمونه‌گیری و مقدار اوره آزادشده با دستگاه UV-VIS اندازه‌گیری شد. ضخامت لایه‌های پوششی توسط استریو میکروسکوپ در روز هفتم با بزرگنمایی ۴۰X ثبت شد.

یافته‌ها: مدت زمان رهایش در طول دوره ۴۱ روز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که گرانول پوشش‌دهی‌شده با کارنوبا واکس دارای بالاترین کارایی بودند و در دوره زمانی ۴۱ روزه ۷۱/۵ درصد اوره آزاد شد درحالی‌که اوره پوشش‌دهی‌شده با کارنوبا واکس و پارافین واکس پس از ۷ روز به‌صورت کامل در آب رها شد. کارنوبا واکس با قطر ۰/۵۰۴ میلی‌متر کم‌ترین قطر را نسبت به سایر پوشش‌ها داشت و با این حال کارایی بالاتری از خود نشان داد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کارنوبا واکس به‌عنوان ماده مورداستفاده برای پوشش‌دهی گرانول اوره اثربخش بوده و زمان رهایش را به شکل قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. علاوه بر این کارنوبا واکس به‌علت غیرسمی‌بودن و بی‌خطربودن به‌عنوان پوشش برای تهیه کودهای آهسته–رهش اوره پیشنهاد می‌شود.

استناد: رمضانی تازه‌آباد، مهیار و معتمدی، الهه (۱۴۰۴). تهیه کودهای آهسته–رهش اوره با استفاده از پوشش‌دهی توسط واکس‌های گیاهی و سنتزی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۷ (۱)، ۵۷-۶۷. DOI: https://doi.org/10.22059/jci.2024.367630.2863

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

۱. مقدمه

اوره یکی از پر مصرف‌ترین کودهای نیتروژن در کشاورزی محسوب می‌شود که دارای بالاترین درصد نیتروژن بین کودهای ازت می‌باشد؛ بنابر آمار سازمان خواروبار جهانی، در سال ۲۰۲۰ مصرف جهانی اوره به حجم تقریباً ۱۱۳ میلیون‌تن رسید که رشد قابل‌توجهی در دهه اخیر را ثبت کرده است (فائو[1]، ۲۰۲۲). با این‌حال، عواملی همچون رواناب و شست‌وشو که ناشی از حلالیت بالای اوره می‌باشد و هم‌چنین تبخیر آمونیاک[2] باعث کاهش بهره‌وری این کود و خارج‌شدن نیتروژن از دسترس گیاه می‌شود (جیا[3] و همکاران، ۲۰۲۱). براساس پژوهش‌های انجام‌شده حدوداً ۴۰ الی ۷۰ درصد اوره از دسترس گیاه خارج شده و هدر می‌رود (اقبالی[4] و همکاران، ۲۰۲۱). این عوامل هم‌چنین سبب افزایش تعداد دفعات کوددهی توسط کشاورزان می‌شود که علاوه بر هزینه‌بربودن باعث ایجاد پیامدهای زیست‌محیطی مانند افزایش زیست‌توده فیتوپلانکتون‌ها و آلودگی منابع آبی می‌شود (گلیبرت[5] و همکاران، ۲۰۰۶) . علاوه بر این نیتروژن با تجمع بیش از اندازه مانع از رشد گیاه و با ورود به هوا و آب باعث بروز بیماری‌های تنفسی، قلبی و هم‌چنین سرطان می‌شود و یا آن‌ها را تشدید می‌کند (تاونسند[6] و همکاران، ۲۰۰۳) . جهت رفع این مشکل در سال‌های اخیر پژوهش‌گران، پژوهش‌های گسترده‌ای به‌منظور تهیه فرمولاسیون‌های جدید اوره انجام داده‌اند. این فرمولاسیون‌ها شامل استفاده از هیدروژل کود آهسته–رهش (SRFH)[7] (که ترکیبی از یک هیدروژل سوپر جاذب (SAH)[8] و یک کود می‌باشد) (رملی[9]، ۲۰۱۹)، سنتز کریستال‌های یونی اوره (هانر[10] و همکاران، ۲۰۱۸)، استفاده از کودهای زیستی[11] (سینگ[12] و همکاران، ۲۰۱۹)، نانوکودها (سلیمی و همکاران، ۱۴۰۰) و استفاده از پوشش خارجی[13] با مواد آلی نامحلول در آب به‌روش غوطه‌وری[14] می‌باشند. روش استفاده از پوشش‌های خارجی نامحلول، که روش مورداستفاده در این مطالعه می‌باشد، باعث عدم تماس مستقیم کود با آب شده و اوره به‌صورت آهسته در آب رهایش پیدا می‌کند (حنفی[15] و همکاران، ۲۰۰۰). کود آهسته–رهش (SRF)[16] پوشش‌دهی‌شده می‌تواند به شکل قابل‌ملاحظه‌ای مدت زمان رهایش را بالا ببرد و باعث آزادشدن کنترل‌شده ماده مغذی شود و در نهایت اثرات نامطلوب ذکرشده را کاهش دهد (ترنکل[17]، ۲۰۱۰).

ترکیبات واکسی به‌عنوان ماده پوشش‌دهنده اوره علاوه بر افزایش مدت زمان رهایش نسبت به پوشش معدنی مانند گوگرد، از مقاومت بالاتری برخوردارند (ابراهیم[18] و همکاران، ۲۰۱۴). واکس‌ها جزو دسته مواد آلی آبگریز هستند که در بسیاری از محصولات به‌منظور حفاظت و افزایش ماندگاری استفاده می‌شوند. واکس‌ها به‌طور کلی به دو دسته واکس‌های طبیعی و واکس‌های سنتزی طبقه‌بندی می‌شوند. واکس‌های سنتزی توسط صنایع شیمیایی تولیدشده و در تهیه آن‌ها از

1. FAO (Food and Agriculture Organization)
2. Ammonia volatilization
3. Jia
4. Eghbali
5. Glibert
6. Townsend
7. Slow-release fertilizer hydrogel
8. Super absorbent hydrogel
9. Ramli
10. Honer
11. Bio-fertilizer
12. Singh
13. External Coating
14. dip-coating
15. Hanafi
16. Slow-release fertilizer
17. Trenkel
18. Ibrahim

مشتقات نفتی استفاده می‌شود. به همین علت معمولاً قابلیت بازیابی ندارند و سازگار با محیط زیست نیستند و بنابراین بعد از استفاده به‌صورت پایدار در محیط زیست باقی می‌مانند. هم‌چنین مواد شیمیایی مورداستفاده در تولید واکس‌های سنتزی برای سلامتی انسان مضر هستند. واکس‌های آمید اسید چرب[۱]، واکس پلی‌اولفین[۲] و واکس‌های فیشر–تروپش[۳] از مهم‌ترین واکس‌های سنتزی هستند (الشریف[4] و همکاران، ۲۰۲۲) . برخلاف واکس‌های سنتزی، واکس‌های طبیعی ترکیباتی هستند که از منابع گیاهی (کارنوبا واکس)، حیوانی (موم زنبور عسل)[۵] و یا معدنی (مونتان واکس)[۶] استخراج می‌شوند و به همین دلیل سازگار با محیط زیست هستند و در طبیعت به خوبی تجزیه می‌شوند (تینتو[۷] و همکاران، ۲۰۱۷). از مهم‌ترین واکس‌های گیاهی مورداستفاده در دنیا می‌توان به کارنوبا واکس (CW)، موم زنبور عسل و کاندلیلا واکس[۸] اشاره کرد.

واکس کارنوبا یک موم طبیعی است که از برگ نخل برزیلی[۹] گرفته می‌شود و به‌طورعمده از استرهای آلیفاتیک و دی‌استرهای اسیدسینامیک تشکیل شده است (فریتاس[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۹). به‌علت کاربردهای گسترده واکس کارنوبا (به‌عنوان پوشش محصولات کشاورزی) و دسترس‌بودن آن به‌تازگی موردتوجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (ناظوری و همکاران، ۱۴۰۰).

۲. پیشینه پژوهش

در سال ۲۰۱۴ طبق پژوهشی از چهار ماده شامل Gypsem، Cement، Sulfur و Zeolite به‌عنوان ترکیباتی برای پوشش‌دهی اوره استفاده کردند که البته ماده اصلی تشکیل‌دهنده ترکیب gypsem بود. نتایج نشان داد که فرمولاسیونی با نسبت ۱:۱ از Gypsem و Sulfur بیش‌ترین کارایی و کم‌ترین انحلال اوره را داشت (ابراهیم۱۱ و همکاران، ۲۰۱۴). جیروتو[۱۲] و همکاران (۲۰۱۹) از کامپوزیت‌های اوره ملامین و نشاسته به‌عنوان پوشش برای اوره استفاده کردند که در نتیجه پس از گذشت پنج روز ۳۵ درصد اوره در آب آزاد شد. تیان[۱۳] و همکاران (۲۰۱۹) از ترکیب پلی‌اورتان پایه زیستی، رزین اپوکسی و پلی‌اولفین واکس برای پوشش‌دهی گرانول‌های اوره استفاده کردند. نتایج نشان داد که پلی‌اولفین واکس باعث کاهش حلالیت اوره می‌شود. هم‌چنین دابی[۱۴] و میلاپال[۱۵] (۲۰۱۹) از زئولیت به‌عنوان پوشش برای گرانول‌های اوره استفاده کردند و این مطالعه نشان داد، اوره پوشش داده‌شده با زئولیت با استفاده از پلیمر اکریلیک از نظر ساختاری پایدارتر بود و آزادسازی اوره را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. پژوهش‌های سلیمی و همکاران (۱۴۰۱ الف) نشان داد که استفاده از پلیمر مبتنی بر نشاسته به‌عنوان یک منبع برای پوشش‌دهی کود اوره، میزان رهاسازی اوره را در مقایسه با کود اوره معمولی به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد.

1. Fatty Acid Amide Waxes
2. Polyolefin Waxes
3. Fischer-Tropsch Waxes
4. El-Sherif
5. Beeswax
6. Montan wax
7. Tinto
8. Candelilla Wax
9. Copernicia prunifera
10. de Freitas
11. Ibrahim
12. Giroto
13. Tian
14. Dubey
15. Mailapalli

گوگرد به‌عنوان پوشش‌دهنده در کودهای شیمیایی و در مقیاس تجاری استفاده می‌شود. ژارل[1] و بوئرسما[2] (۱۹۸۰) رهایش اوره با پوشش گوگردی را اندازه‌گیری کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که پس از ۱۴ روز اوره به‌صورت کامل در آب آزاد شد. مشکل اساسی پوشش گوگردی شکنندگی آن است. بیگ[3] و همکارانش (۲۰۲۰) از پلی‌وینیل الکل، گچ پاریس و گوگرد برای پوشش‌دهی گرانول‌های اوره و به‌عنوان عامل اتصال‌دهنده از ملاس و پارافین واکس استفاده کردند و زمان رهایش اوره را افزایش دادند. در مطالعه‌ای دیگر، ژانگ[4] و همکاران (۲۰۲۰) با نشاسته اصلاح‌شده توسط فسفات و اوره به‌عنوان پوشش برای رهایش آهسته استفاده کردند و حدوداً ۸۰ درصد اوره (در آب بعد از ۲۰ ساعت و در خاک بعد از ۳۰ روز) آزاد شد.

به‌تازگی در پوشش‌دهی کودها به واکس‌های گیاهی توجه بسیاری شده و از این میان واکس کارنوبا در چند مطالعه مورداستفاده قرار گرفته است. برای مثال، جی[5] و همکاران (۲۰۲۲) توسط پلی‌اکریلات و CW گرانول‌های اوره را پوشش‌دهی کردند که با بهینه‌سازی مقدار پوشش دو لایه پلی‌آکریلات و CW، مدت زمان رهایش به‌طور مؤثری افزایش یافت. نتو[6] و همکارانش (۲۰۲۳) توسط CW و بنتونیت گرانول‌های اوره را پوشش‌دهی کردند. دلیل استفاده از بنتونیت و CW زیست تخریب‌پذیری و غیرسمی‌بودن آن‌ها بود. سپس در طی یک دوره زمانی ۳۰ روزه مقدار رهایش اوره را موردارزیابی قرار دادند. در پژوهش حاضر، از CW و ترکیب آن با پارافین واکس (CW+PW) و استئاریک‌اسید (CW+S.A)، پلی‌اتیلن واکس (PEW) و پارافین واکس (PW) جهت پوشش‌دهی گرانول‌های اوره استفاده شد. نتایج نشان داد که گرانول‌های اوره پوشش‌دهی‌شده با کارنوبا واکس دارای بالاترین کارایی و طولانی‌ترین زمان رهایش بودند و در یک دوره زمانی ۴۱ روزه ۷۱/۵ درصد اوره از آن‌ها در آب آزاد شد. هم‌چنین نسبت به مطالعات پیشین، در این پژوهش از کارنوبا واکس به‌صورت پوشش تک‌لایه استفاده شد. با توجه به تک‌لایه‌بودن پوشش، مدت زمان رهایش نسبت به پوشش دولایه کارنوبا واکس و پلی‌آکریلات بهبود یافت (جی و همکاران، ۲۰۲۲). علاوه بر این، اندازه‌گیری ضخامت لایه پوششی واکس‌های مورداستفاده در پوشش‌دهی اوره برای اولین بار در این مطالعه انجام شده است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳. ۱. مواد مورداستفاده

در این پژوهش از گرانول‌های اوره مرک به‌عنوان ماده پایه استفاده شد. مواد مورداستفاده برای پوشش‌دهی از کارنوبا واکس[7]، پارافین واکس[8] و استئاریک‌اسید[9] خریداری‌شده از شرکت پاسارگاد نوین و پلی‌اتیلن واکس[10] خریداری‌شده از شرکت پترو طلوع جم واقع در تهران استفاده شد.

مواد مورداستفاده در انالیز اوره شامل اتانول ۹۸ درصد و پارا–دی متیل آمینوبنزآلدهید (گرید Analytical) از شرکت سیگما و هیدروکلریک‌اسید غلیظ (۳۶ درصد وزنی/وزنی) از شرکت دکتر مجللی خریداری شدند.

1. Jarrell
2. Boersma
3. Beig
4. Zhang
5. Ge
6. Neto
7. CW
8. PW
9. S.A
10. PEW

۳. ۲. دستگاه مورداستفاده

دستگاه طیف‌سنجی مرئی–فرابنفش (UV-Vis)، (Perkin Elmer ساخت آمریکا مدل lamda 35) و استریومیکروسکوپ (Nikon ساخت ژاپن مدل smz-1500) استفاده شد.

۳. ۳. پوشش‌دهی اوره

گرانول‌های اوره با واکس‌های استفاده‌شده در این مطالعه توسط روش لایه نشانی غوطه‌وری پوشش‌دهی شدند (نتو[1] و همکاران، ۲۰۲۳) که برای پوشش‌دهی با واکس کارنوبا یک گرم CW در یک بشر کوچک توسط هیتر در دمای ۸۴ درجه سانتی‌گراد ذوب شد و سپس گرانول اوره توسط مایع ویسکوز پوشش‌دهی شد.

برای پوشش‌دهی با فرمولاسیون دوم ۵۰۰ میلی‌گرم CW و ۵۰۰ میلی‌گرم SA در بشر کوچک با هم مخلوط شدند و روی هیتر در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد ذوب شدند، سپس توسط مایع ویسکوز به‌دست‌آمده روی سطح گرانول‌ها به‌طور کامل از مایع پوشش داده شدند.

فرمولاسیون سوم شامل ۵۰۰ میلی‌گرم CW و ۵۰۰ میلی‌گرم PW بود که در بشر کوچک مخلوط شدند و روی هیتر با دمای ۸۵ درجه ذوب شدند، با مایع ویسکوز به‌دست‌آمده روی سطح گرانول‌های اوره پوشش‌دهی شدند.

برای پوشش‌دهی با پلی‌اتیلن واکس یک گرم PEW در بشر کوچک روی هیتر در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد ذوب شد سپس به‌کمک آن سطح گرانول‌های اوره پوشش‌دهی شدند.

در آخر برای پوشش‌دهی با پارافین واکس ۱ گرم PW در بشر کوچک روی هیتر استیرر با دمای ۵۰ درجه ذوب شد و سپس گرانول‌های اوره توسط آن پوشش‌دهی شدند.

۳. ۴. تست رهایش

پس از پوشش‌دهی گرانول‌های اوره، به‌ازای هرروز و هر فرمولاسیون ۵۰ سی‌سی آب مقطر و وزن برابر و مشخصی از گرانول‌های اوره (۰/۰۵گرم) پوشش‌دهی‌شده در فالکون درب بسته قرار داده شد. وزن گرانول‌ها بعد از پوشش‌دهی به ۰/۱ گرم رسید. فالکون‌های حاوی گرانول پوشش‌دهی‌شده و آب مقطر به شیکر انکوباتور با دور اهسته و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انتقال داده شدند و در روزهای یک، سه، هفت، ۱۰، ۱۷، ۲۴، ۳۰، ۳۸ و ۴۱ مقدار رهایش اوره در آب توسط معرف Ehrlich اندازه‌گیری شد (وات[2] و کریسپ[3]، ۱۹۵۴).

۳. ۵. اندازه‌گیری اوره با استفاده از دستگاه UV-VIS

۳. ۵. ۱. ساخت معرف

برای ساخت معرف ۲ گرم پارا–دی متیل آمینوبنزآلدهید در ۱۰۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۸ درصد حل شد و سپس ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید غلیظ به آن اضافه شد (وات و کریسپ[4]، ۱۹۵۴).

1. Neto
2. Watt
3. Chrisp

۳. ۶. ۲. افزودن معرف و روش اندازه‌گیری

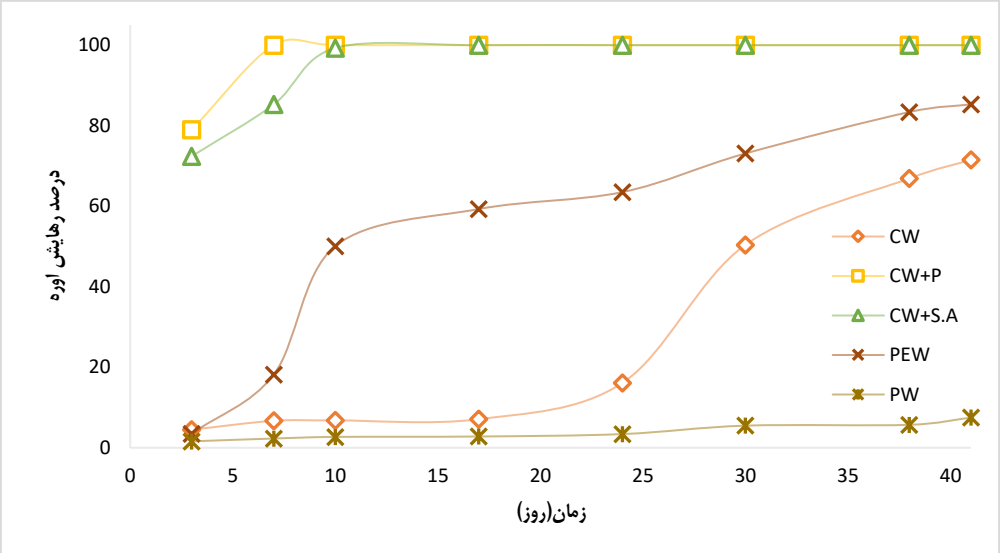
برای اندازه‌گیری هریک از نمونه‌های شاهد، استاندارد و نمونه ۵ میلی‌لیتر داخل بالن ژوژه ریخته شد و ۱۰ میلی‌لیتر از معرف به هرکدام از آن‌ها اضافه شد و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد سپس جذب نمونه‌ها در ۴۲۰ نانومتر با دستگاه UV-VIS اندازه‌گیری شد (وات و کریسپ، ۱۹۵۴).

۳. ۷. اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌ها با استریو میکروسکوپ

برش عرضی گرانول‌های اوره در روز هفتم با استفاده از استریومیکروسکوپ و بزرگنمایی ۴۰X ثبت شد و سپس قطر پوشش‌های مختلف اندازه‌گیری شدند.

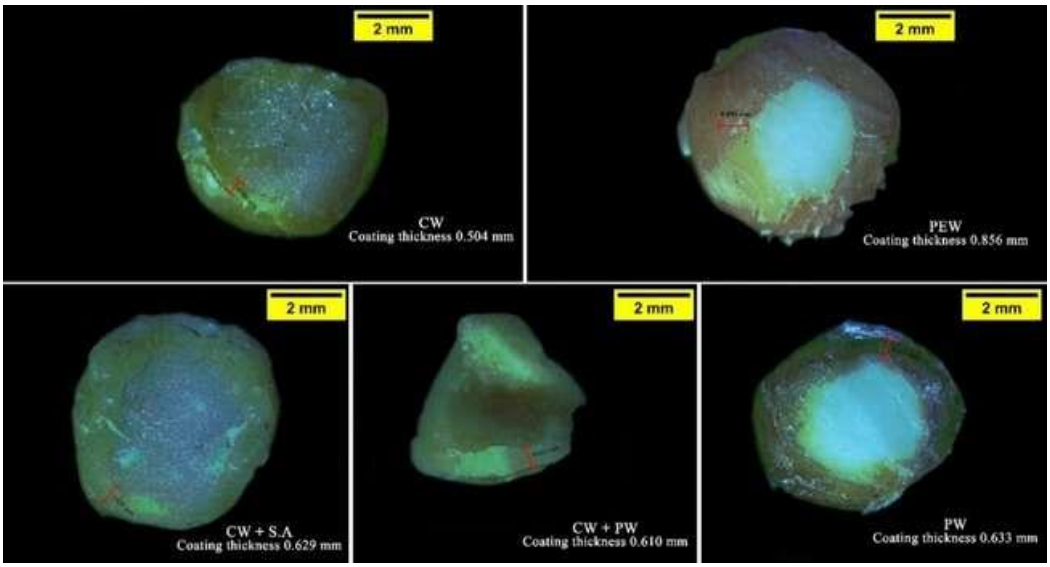
۴. یافته‌های پژوهش

میزان رهایش اوره در آب در روزهای مختلف در شکل (۱) قابل مشاهده است. تست رهایش پس از گذشت سه روز نشان داد که در فرمولاسیون CW+PW اوره با رهایش ۷۹ درصدی بیش‌ترین رهایش را نسبت به سایر پوشش‌ها داشت و در روز هفت به اوج خود رسید و به‌صورت کامل در آب آزاد شد. فرمولاسیون CW+S.A تقریباً مشابه فرمولاسیون CW+PW بود و پس از ۱۰ روز اوره به‌صورت کامل در آب آزاد شد. این فرمولاسیون‌ها برای اولین‌بار در این مطالعه مورداستفاده قرار گرفتند. همان‌طورکه شکل (۱) نشان می‌دهد اوره پوشش‌دهی‌شده توسط PW تا روز ۴۱ به مقدار ناچیزی در آب آزاد شد، به‌طوری‌که این مقادیر کم نمی‌تواند نیتروژن موردنیاز گیاه را فراهم کند.PEW به‌عنوان واکس سنتزی مورداستفاده برای پوشش‌دهی اوره عملکرد مناسبی داشت و پس از ۴۱ روز ۸۵/۳ درصد از اوره در آب رها شد. اوره پوشش‌دهی‌شده توسط CW پس از گذشت ۴۱ روز ۷۱/۵ درصد در آب آزاد شد و شکل منحنی رهایش سیگموئیدی اوره را از این پوشش واکسی تأیید می‌کند، و با توجه به گیاهی‌بودن واکس و سازگاری با محیط زیست پتانسیل بالاتری برای استفاده به‌عنوان پوشش نسبت به PEW که واکس سنتزی است را دارد.



شکل ۱. نمودار رهایش اوره از فرمولاسیون‌های مختلف آهسته-رهش سنتزشده در آب (پوشش کود کارنوبا واکس (CW) و ترکیب آن با پارافین واکس (CW+PW) و استئاریک اسید (CW+S.A)، پلی‌اتیلن واکس (PEW) و پارافین واکس (PW).

تصاویر استریومیکروسکوپ از برش عرضی مربوط به پوشش‌دهی‌های مختلف گرانول اوره در شکل (۲) نشان داده شده است. اندازه‌گیری ضخامت پوشش‌های مورداستفاده اولین‌بار در این مطالعه انجام شده است. CW با قطر ۰/۵۰۴ میلی‌متر کم‌ترین قطر را نسبت به سایر پوشش‌ها داشت و با این‌حال کارایی بالایی از خود نشان داد و پس از گذشت ۴۱ روز ۷۱/۵ درصد از اوره پوشش‌دهی‌شده در آب آزاد شد. پوشش PEW با قطر ۰/۸۵۶ میلی‌متر بیش‌ترین قطر را نسبت به سایر پوشش‌ها داشت. اوره پوشش‌داده‌شده توسط CW+PW طبق شکل (۱) در روز هفتم به‌طور کامل در آب رها شد. شکل (۲) نیز رهایش کامل اوره پوشش‌داده‌شده توسط CW+PW را تأیید می‌کند.



شکل ۲. تصاویر استریو میکروسکوپ پوشش‌های مختلف شامل کارنوبا واکس (CW) و ترکیب آن با پارافین واکس (CW+PW) و استئاریک‌اسید (CW+S.A)، پلی‌اتیلن واکس (PEW) و پارافین واکس (PW).

۵. بحث

در این مطالعه از روش غوطه‌وری برای پوشش‌دهی اوره با استفاده از واکس‌ها استفاده شد. واکس‌های گیاهی غیرسمی بوده و سازگار با محیط زیست هستند و به همین علت به‌تازگی موردتوجه پژوهش‌گران قرار گرفته‌اند. استفاده از CW به‌عنوان یک واکس گیاهی برای پوشش‌دهی اوره به‌تازگی در مقالات مورد بحث و بررسی قرار گرفته است (نتو[1] و همکاران، ۲۰۲۳؛ جی[2] و همکاران، ۲۰۲۲؛ ایناسیو[3] و همکاران، ۲۰۲۲). هم‌چنین، CW به‌صورت تک‌لایه حول گرانول‌های اوره پوشش‌دهی‌شده است، بعد از ۴۱ روز تست رهاسازی اوره در آب مقطر، نتایج نشان داد که این پوشش به‌طور مؤثری موجب کندشدن رهایش اوره در آب می‌شود (۷۱ درصد رهایش پس از ۴۱ روز).

فرمولاسیون استفاده‌شده به‌دلیل یکنواختی در ضخامت پوشش، ایجاد یک پوشش قوی، پایدار و یکپارچه بر روی گرانول موردنظر نقش تعیین کننده در میزان رهاسازی دارد. فرمولاسیون های CW+PW و CW+SA به‌دلیل عدم یکنواختی در پوشش‌دهی، نمی‌توانند در برابر فشار هیدروستاتیکی به‌مدت طولانی مقاومت کنند و رهاسازی کامل اوره در مدت زمان کوتاهی انجام می‌شود (سلیمی و همکاران، ۱۴۰۱ ب). کارایی پایین‌تر پوشش‌های حاصل از اختلاط دو واکس

1. Neto
2. Ge
3. Inácio

ممکن است به‌دلیل اختلاف در نقطه ذوب این ترکیبات باشد. ازآنجاکه برای انجام پوشش‌دهی، دمای ۸۵ درجه (نقطه ذوب واکس کارنوبا) انتخاب شده است، اما پس از پوشش‌دهی و طی فرایند سرد شدن پوشش حول گرانول اوره، واکس‌های پارافین و استئاریک‌اسید به‌دلیل نقطه ذوب پایین‌تر سریع‌تر از واکس کارنوبا به حالت جامد در آمده‌اند که موجب غیرهمگن‌بودن پوشش سطحی حول کود اوره شده و احتمالاً موجب رهایش سریع‌تر کود می‌شود. PEW به‌عنوان پوشش‌دهنده، رهایش اوره را تا حد زیادی کاهش داد، اما مشکل اساسی PEW زیست‌تخریب‌پذیرنبودن آن نسبت به CW که یک واکس گیاهی زیست تخریب‌پذیر است، می‌باشد.

دوارته نتو و همکارانش (۲۰۲۳) اظهار داشتند که پوشش CW به‌همراه بنتونیت توانست رهایش اوره را تا ۳۰ روز به تعویق بیاندازد. جی و همکارانش (۲۰۲۲) با استفاده از پلی‌آکریلات (به‌عنوان لایه اول) و CW (به‌عنوان لایه دوم) گرانول-های اوره را پوشش‌دهی کردند و مدت زمان رهایش اوره را تا ۷۰ روز افزایش دادند. برتری این مطالعه نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در این زمینه استفاده از CW به‌عنوان ماده غیرسمی و استفاده از پوشش تک‌لایه با عملکرد مناسب می‌باشد.

با وجود استفاده از پوشش تک‌لایه در این مطالعه، اوره آهسته-رهش بوده و مدت زمان رهایش ۴۱ روز طول کشید. از طرفی هنوز مقداری اوره آزادسازی‌نشده وجود داشت. درحالی‌که در مطالعه جی و همکاران (۲۰۲۲) از پوشش دو لایه استفاده شد که با وجود افزایش زمان رهایش، افزایش هزینه پوشش‌دهی ممکن است مقرون‌به‌صرفه نبوده و مانع از تولید این کودها در مقیاس بالا شود. هم‌چنین افزایش زمان رهایش تا ۷۰ روز ممکن است برای بسیاری از گیاهان برای جذب نیتروژن مناسب نباشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که CW به‌عنوان ماده مورداستفاده برای پوشش‌دهی گرانول اوره اثربخش بوده و زمان رهایش را به شکل قابل‌ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. مزیت استفاده از این واکس سازگاری کامل با طبیعت، زیست‌تخریب‌پذیری و بی‌خطر بودن آن است. استفاده از CW به‌صورت تک‌لایه و بدون نیاز به افزودنی از مزایای دیگر این پوشش است. این مزایا سبب می‌شود CW پتانسیل بالایی برای استفاده به‌عنوان پوشش در کودهای با حلالیت بالا داشته باشد. بررسی و اندازه‌گیری قطر پوشش نشان داد که با توجه به قطر کم پوشش کارنوبا مقدار واکس موردنیاز جهت پوشش‌دهی گرانول اوره بسیار کم است. هم‌چنین تصاویر استریو میکروسکوپ نشان دادند که CW به‌صورت یکنواخت روی سطح گرانول‌های اوره توزیع شده است.

۷. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط توسط نویسندگان وجود ندارد.

۸. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های کارشناسان آزمایشگاه بخش نانو، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی استان البرز خانم پروین هادیان و معصومه نوروزی، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۹. منابع

سلیمی، مهری؛ معتمدی، الهه؛ متشرع‌زاده، بابک؛ داودی، داریوش؛ علیخانی، حسینعلی و میر سیدحسینی، حسین (۱۴۰۰). تولید کود

اوره کندرها با استفاده از پوشش نانوکامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته و بررسی اثرات آن بر رشد گیاه گوجه‌فرنگی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۲(۲)، ۳۰۱-۳۱۲.

سلیمی، مهری؛ معتمدی، الهه؛ متشرع زاده، بابک؛ علیخانی، حسینعلی و میر سید حسینی، حسین (۱۴۰۱). تولید کود اوره آهسته‌رهش به سه روش پوشش‌دهی با روتاری درام، سنتز هیدروژل همزمان و دو مرحله‌ای و بررسی عملکرد آن‌ها در کشت گلخانه‌ای گوجه‌فرنگی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۸)، ۱۷۱۵-۱۷۲۶.

سلیمی، مهری؛ معتمدی، الهه و متشرع‌زاده، بابک (۱۴۰۱). استفاده از لاتکس نانوکامپوزیت پلیمری بر پایه نشاسته برای پوشش‌دهی کودهای شیمیایی و بررسی اثر عوامل مختلف در کنترل رهاسازی عناصرغذایی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۱۲)، ۲۹۰۵-۲۹۱۹.

ناظوری، فاطمه؛ میردهقان، سید حسین و رفیعی، آرزو (۱۴۰۰). تأثیر واکس کارنوبا بر کیفیت حسی و تغذیه‌ای میوه انار رقم ملس ساوه طی نگهداری در انبار سرد. *تولیدات گیاهی*، ۴۴(۱)، ۵۱-۶۴.

References

Beig, B., Niazi, M. B. K., Jahan, Z., Pervaiz, E., Abbas Shah, G., Ul Haq, M., Zafar, M. I., & Zia, M. (2020). Slow-release urea prills developed using organic and inorganic blends in fluidized bed coater and their effect on spinach productivity. *Sustainability*, *12*(15), 5944.

de Freitas, C. A. S., de Sousa, P. H. M., Soares, D. J., da Silva, J. Y. G., Benjamin, S. R., & Guedes, M. I. F. (2019). Carnauba wax uses in food–A review. *Food Chemistry*, *291*, 38-48.

Dubey, A., & Mailapalli, D. R. (2019). Zeolite coated urea fertilizer using different binders: Fabrication, material properties and nitrogen release studies. *Environmental Technology & Innovation*, *16*, 100452.

Eghbali Babadi, F., Yunus, R., Masoudi Soltani, S., & Shotipruk, A. (2021). Release mechanisms and kinetic models of gypsum–sulfur–zeolite-coated urea sealed with microcrystalline wax for regulated dissolution. *ACS Omega*, *6*(17), 11144-11154.

El-Sherif, D. M., Eloffy, M. G., Elmesery, A., Abouzid, M., Gad, M., El-Seedi, H. R., Brinkmann, M., Wang, K., & Al Naggar, Y. (2022). Environmental risk, toxicity, and biodegradation of polyethylene: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, *29*(54), 81166-81182.

FAO. (2022). World Food and Agriculture–Statistical Yearbook 2022. Rome.

Ge, C., Xu, X., Ma, F., Zhou, J., & Du, C. (2022). Biomimetic Modification of Water-Borne Polymer Coating with Carnauba Wax for Controlled Release of Urea. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(13), 7422.

Giroto, A. S., Guimaraes, G. G., Colnago, L. A., Klamczynski, A., Glenn, G., & Ribeiro, C. (2019). Controlled release of nitrogen using urea-melamine-starch composites. *Journal of Cleaner P roduction*, *217*, 448-455.

Glibert, P. M., Harrison, J., Heil, C., & Seitzinger, S. (2006). Escalating worldwide use of urea–a global change contributing to coastal eutrophication. *Biogeochemistry*, *77*, 441-463.

Hanafi, M., Eltaib, S., & Ahmad, M. (2000). Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertiliser. *European Polymer Journal*, *36*(10), 2081-2088.

Honer, K., Pico, C., & Baltrusaitis, J. (2018). Reactive mechanosynthesis of urea ionic cocrystal fertilizer materials from abundant low solubility magnesium-and calcium-containing minerals. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *6*(4), 4680-4687.

Ibrahim, K. R. M., Babadi, F. E., & Yunus, R. (2014). Comparative performance of different urea coating materials for slow release. *Particuology*, *17*, 165-172.

Inácio, A. G., Ítavo, C. C. B. F., Dias, A. M., dos Santos Difante, G., de Queiroz, J. F., de Oliveira, L. C. S., Dos Santos, G. T., & Ítavo, L. C. V. (2022). A new feed additive composed of urea and soluble carbohydrate coated with wax for controlled release in ruminal fluid. *Scientific Reports*, *12*(1), 4487.

Jarrell, W., & Boersma, L. (1980). Release of urea by granules of sulfur-coated urea. *Soil Science Society of America Journal*, *44*(2), 418-422.

Jia, Y., Hu, Z., Ba, Y., & Qi, W. (2021). Application of biochar-coated urea controlled loss of fertilizer nitrogen and increased nitrogen use efficiency. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *8*, 1-11.

Trenkel, M. E. (2010). Slow- and Controlled-release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing

Nutrient Use Efficiency in Agriculture. *IFA, International Fertilizer Industry Association.* (6th ed.) Paris: France.

Nazoori, F., Mirdehghan, S. H., & Rafie, A. (2021). Effect of Carnuba Wax on Sensory and Nutritional Quality of Pomegranate. *Plant Productions*, *44*(1), 51-64. (In Persian).

Neto, J. F. D., Fernandes, J. V., Rodrigues, A. M., Menezes, R. R., & Neves, G. d. A. (2023). New urea controlled-release fertilizers based on bentonite and carnauba wax. *Sustainability*, *15*(7), 6002.

Ramli, R. A. (2019). Slow release fertilizer hydrogels: a review. *Polymer Chemistry*, *10*(45), 6073-6090.

Salimi, M., Motamedi, E., & Motesharezadeh, B. (2023). The use of starch-based polymer nanocomposite latex for coating chemical fertilizers and investigating various factors releasing nutrients. *Iranian Journal of Soil and Water Research 53*(12), 2919-2905. (In Persian).

Salimi, M., Motamedi, E., Motesharezadeh, B., Alikhani, H. A., & Mir Seyed Hosseini, H. (2022). Production of Slow Release Urea Fertilizer by Three Methods of Rotary Drum Coating, Insitu and Two-Stage Hydrogel Synthesis and Evaluation Their Performance in Tomato Greenhouse Cultivation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(8), 1715-1726. (In Persian).

Salimi, M., Motamedi, E., Motesharezadeh, B., Davoodi, D., Alikhani, H. A., & Mir Seyed Hosseini, H. (2021). Synthesis of Slow-release Urea Fertilizer Using Starch-based Polymer Nanocomposite Coating and Investigation of Its Effect on Tomato Growth. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(2), 301-312. (In Persian).

Singh, J. S., Kumar, A., & Singh, M. (2019). Cyanobacteria: a sustainable and commercial bio-resource in production of bio-fertilizer and bio-fuel from waste waters. *Environmental and Sustainability Indicators*, *3*, 100008.

Tian, H., Liu, Z., Zhang, M., Guo, Y., Zheng, L., & Li, Y. C. (2019). Biobased polyurethane, epoxy resin, and polyolefin wax composite coating for controlled-release fertilizer. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *11*(5), 5380-5392.

Tinto, W., Elufioye, T., & Roach, J. (2017). Waxes. In *Pharmacognosy* (pp. 443-455). Elsevier.

Townsend, A. R., Howarth, R. W., Bazzaz, F. A., Booth, M. S., Cleveland, C. C., Collinge, S. K., Dobson, A. P., Epstein, P. R., Holland, E. A., & Keeney, D. R. (2003). Human health effects of a changing global nitrogen cycle. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *1*(5), 240-246.

Watt, G. W., & Chrisp, J. D. (1954). Spectrophotometric method for determination of urea. *Analytical Chemistry*, *26*(3), 452-453.

Zhang, W., Mu, Z., Dong, G., Wei, L., Bai, L., Fu, M., Zhao, X., Han, S., & Wang, S. (2020). Esterification modified starch by phosphates and urea via alcohol solvothermal route for its potential utilization for urea slow-releasing. *International Journal of Biological Macromolecules*, *163*, 2448-2456.