

تأثیر غنی‌سازی کمپوست کاه گندم با اوره و/استریتوما یسس بر فاکتورهای فیزیکوشیمیایی کمپوست

الهام صادقی^۱، رضا قربانی نصرآبادی^{۲*}، سید علیرضا موحدی نائینی^۳، مجتبی بارانی^۴، مصطفی خوشحال سرمست^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶)

چکیده

افزودن نیتروژن، اندازه ذرات و تیمار میکروبی از عوامل مهم در تولید کمپوست رسیده می‌باشند. لذا هدف از این پژوهش، بررسی برخی پارامترهای فیزیکی، شیمیایی و محتوای عناصر غذایی در کمپوست کاه گندم غنی شده با اوره و/استریتوما یسس بود. آزمایش انکوباسیون در قالب طرح کامل تصادفی بر مبنای زمان به منظور بررسی اثر غنی‌سازی کمپوست با/استریتوما یسس و اوره بر فراهمی عناصر کم مصرف، pH، EC، C/N، شاخص هموسی شدن کمپوست (نسبت E4/E6)، دما، تغییرات رطوبت و وزن خاکستر با سه تیمار شامل: اندازه بقایای گندم (R0 > 1)، R1 (2-1) و R2 (4-2 سانتی‌متر)، سه سطح استریتوما یسس (S0 (0)، S1 (5/0) و S2 (5 درصد)) و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (5/8) و U2 (1/16 گرم بر کیلوگرم)) در سه تکرار طراحی و اجرا گردید. پارامترها در زمان‌های مختلف طی ۹۰ روز انکوباسیون اندازه‌گیری شدند. افزایش سریع دما در تیمار کمپوست غنی شده با اوره و/استریتوما یسس در بازه زمانی کوتاه‌تری نسبت به تیمار شاهد رخ داد. مقدار pH در تمامی تیمارها در طی ۲۰ روز اول انکوباسیون روندی کاهشی داشته و سپس افزایش یافت. شاخص هموسی شدن نیز در کمپوست-های تیمار شده و شاهد پس از ۹۰ روز انکوباسیون کاهش یافت. نسبت C:N در اثر فرآیند کمپوست شده به طور چشمگیری کاهش یافت. به طور کلی، غنی‌سازی کمپوست با اوره یا/استریتوما یسس منجر به افزایش محتوای عناصر غذایی شد. هر چند که مقادیر عناصر غذایی در کمپوست تیمار شده با/استریتوما یسس و اوره بیشتر از سایر تیمارها بود. نتایج ما نشان داد که کاربرد توأم جدایه/استریتوما یسس و اوره پتانسیل استفاده در فرآیند کمپوست و در نتیجه بهبود ویژگی‌های خاک را بهتر از کمپوست تیمار نشده، دارد. هر چند که برای اثبات این پتانسیل، استفاده از این تیمار در فرآیند کمپوست کردن در مقیاس بزرگ ضروری است.

واژه‌های کلیدی: استریتوما یسس، اوره، کمپوست، E4/E6، C/N

صادقی ا.، قربانی نصرآبادی ر.، موحدی نائینی س.ع.ر.، مجتبی بارانی، خوشحال سرمست م. ۱۴۰۲. تأثیر غنی‌سازی کمپوست کاه گندم با اوره و/استریتوما یسس بر فاکتورهای فیزیکوشیمیایی کمپوست. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۳. صفحه: ۲۹-۴۶.

- ۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران (مکاتبه کننده)
- ۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران
- ۵- دانشیار گروه علوم باغبانی، تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

* پست الکترونیک: rgnaser@yahoo.com

مقدمه

محصولات با ارزش مانند مواد هیومیک تبدیل می‌کند (Hui *et al.*, 2021). کارایی تولید آنزیم در حین کمپوست‌سازی برای تجزیه بسیار مهم است (Wu *et al.*, 2022). سه آنزیم بتاگلوکوزیداز، اندوگلوکاناز و آگزوگلوکاناز در فرایند کمپوست‌سازی به طور هم‌افزایی برای شکستن پیوندهای گلوکوزیدی از سلولز به گلوکز عمل می‌کنند (Zhou *et al.*, 2021; Sarsaiya *et al.*, 2019). تلقیح *استریتومایسس* به کمپوست می‌تواند از طریق آنزیم‌های تجزیه‌کننده به طور قابل توجهی تخریب بخش‌های لیگنوسولز را در زمان تهیه کمپوست افزایش داده و روند رطوبت‌رسانی را ارتقا بخشیده (Wei *et al.*, 2015; Jurado *et al.*, 2019) و در طول مراحل مختلف کمپوست تأثیر متفاوتی بر کیفیت محصول ایجاد نماید (Zhao *et al.*, 2016; 2017). کاربرد تلفیقی تلقیح *استریتومایسس* و افزودن اوره به عنوان منبع نیتروژن برای تنظیم فعالیت آنزیمی و بهبود تجزیه لیگنوسولز توسط ریزجانداران به طور همزمان برای تهیه کمپوست از انواع مختلف بقایای گیاهی پیشنهاد شده است (Wei *et al.*, 2019). وی و همکاران (Wei *et al.*, 2019) نشان دادند که تلقیح *استریتومایسس*‌ها نه تنها ساختار جامعه باکتریایی را تغییر داده بلکه تجزیه لیگنوسولزها (سلولز، همی سلولز و لیگنین) را تسریع کرده و فعالیت آنزیم‌های زیلاناز، منگنز پراکسیداز، لیگنین پراکسیداز و لاکاز را هنگام کمپوست‌سازی به ویژه از کاه گندم و برنج افزایش داده است (Wei *et al.*, 2019). کودهای شیمیایی در خاک‌های فقیر از مواد مغذی برای حصول عملکرد بالای محصولات مورد نیاز هستند (Majidi & Tabiehzad, 2017) اما استفاده بیش از حد از این کودها به تنهایی، علاوه بر کاهش مواد آلی خاک، اثر نامطلوبی بر محیط زیست، کیفیت مواد غذایی، سلامت انسان و حیوانات می‌گذارد (Li *et al.*, 2022). با افزایش قیمت کود و ذخایر محدود منابع، اصلاح‌گرهای آلی مانند کمپوست و کود دامی به عنوان منبع مواد مغذی و مواد آلی به عنوان یک جایگزین اقتصادی و سازگار با محیط زیست در نظر گرفته می‌شود (Qing *et al.*, 2022; Shi *et al.*, 2022). در مقایسه با بقایای گیاهی و کود دامی، کمپوست مواد مغذی را به آرامی در اختیار گیاه قرار می‌دهد. بنابراین، گیاهان ممکن است قادر به دسترسی به مقدار مورد نیاز عناصر غذایی نباشند. از این رو، ترکیب کاربرد کود آلی (مانند

کمپوست درون محفظه‌ای که در آن فرایند درون یک مخزن انجام می‌شود امکان تنظیم بهینه شرایط کمپوست (دما، اکسیژن، رطوبت، مواد مغذی، نسبت اختلاط و pH) را می‌دهد و از برتری‌های این روش، زمان واکنش کوتاهتر، هزینه کم‌تر، امکان جابه‌جایی و کاربرد در محل است (Koolivand *et al.*, 2013). کمپوست‌سازی از متداول‌ترین فرایندهای زیستی می‌باشد. پارامترهای مهم و تأثیرگذار بر فعالیت میکروبی مانند دما، رطوبت، نسبت C/N، pH و اکسیژن، شرایط لازم برای تولید کمپوست با کیفیت می‌باشد (Grigatti *et al.*, 2011). کمپوست حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف است (Agegnehu *et al.*, 2014). یکی از راه‌های افزایش مقدار مواد آلی خاک استفاده از کمپوست، به ویژه کمپوست‌های رسیده است. زیرا کربن پایدار در کمپوست‌های بالغ بیش‌تر از کمپوست‌های تازه می‌باشد (Luo *et al.*, 2022). کمپوست یک کود آلی است که محتوای مواد مغذی و خواص شیمیایی آن، به مواد اولیه آلی استفاده شده و شرایط فرآوری کمپوست بستگی دارد (Luo *et al.*, 2022). با مخلوط مناسبی از مواد آلی اولیه و شرایط مناسب می‌توان کمپوستی غنی از مواد مغذی تولید کرد که بتواند جایگزین مناسبی برای کودهای معدنی در کشاورزی باشد (Luo *et al.*, 2022). خواص فیزیکی (ظرفیت نگهداری آب، تخلخل، هدایت حرارتی، نفوذپذیری هوا) (Huet *et al.*, 2012)، اندازه ذرات بقایا (Reyes-torres *et al.*, 2018)، تنظیم نسبت C:N (Zhang *et al.*, 2016) و افزودن تیمار میکروبی (Mikiashvili *et al.*, 2005) شرایطی مناسب برای تولید کمپوست با کیفیت را فراهم می‌کند. تیمار میکروبی به طور گسترده در فرایند کمپوست استفاده می‌شود (Feng *et al.*, 2021; Sankaran *et al.*, 2020). در تهیه کمپوست باکتری‌هایی که در محدوده‌ی دمایی ۷۵-۴۵ درجه سلسیوس فعالیت دارند، غالب هستند (Partanen *et al.*, 2010). *استریتومایسس*‌ها می‌توانند در محیطی با دمای بالا با ترکیبات مختلف و جامعه میکروبی متفاوت، در فرایند کمپوست نقش داشته باشند (Zhao *et al.*, 2016; Wei *et al.*, 2019). تلقیح *استریتومایسس* تجزیه سلولز در زمان کمپوست‌سازی را افزایش می‌دهد (Zhao *et al.*, 2017). کمپوست یک فرآیند تجزیه زیستی و تبدیل است که زیست توده لیگنوسولزی را به

آنزیم‌های فسفاتاز و فیتاز (Ghorbani Nasrabadi *et al.*, 2013) می‌باشد، به مقدار صفر، ۰/۵ و ۵ درصد (حجمی/وزنی) به کاه گندم آسیاب شده (جدا شده در اندازه‌های >۱، ۱-۲ و ۲-۴ سانتی‌متر به وسیله الک) انجام شد. بقایای گیاهی به محفظه‌ها (پلاستیک‌هایی با تهویه و سایز (ارتفاع ۶۰ و عرض ۵۰ سانتی‌متری) مناسب) منتقل شدند. محفظه‌ها دارای زهکش مناسب و منافذ لازم جهت هوادهی بودند. آبیاری (آب‌پاشی توده) و هوادهی (به صورت دستی زیر و رو کردن برای اطمینان از هوادهی مناسب سیستم) بسترها در کل دوره (۹۰ روز) تقریباً هفته‌ای سه بار صورت گرفت. واحدهای آزمایشی با تجزیه و تحلیل تغییرات دما، pH، EC، وزن خشک، وزن خاکستر، نسبت C/N و نسبت E4/E6 (شاخص میزان هوموسی شدن کمپوست)، مورد بررسی قرار گرفتند. اندازه‌گیری دما در عمق ۲۰ سانتی‌متری کمپوست با استفاده از دماسنج شیشه‌ای انجام شد. برای اندازه‌گیری pH و EC هر ده روز یک بار سوسپانسیون (۱:۱۰) وزن به حجم کمپوست به آب مقطر) تهیه و بعد از نیم ساعت شیکر کردن توسط دستگاه pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین نسبت کربن به نیتروژن ابتدا مقدار کربن از روش والکلی بلاک و برای اندازه‌گیری نیتروژن از روش فورتنی و همکاران (Fourti *et al.*, 2008) استفاده شد. سنجش عناصر آهن، منگنز، مس و روی با استفاده از دستگاه جذب اتمی در طول موج ۲۴۸/۳، ۲۸۹/۵، ۲۱۳/۹ و ۳۲۴/۷ نانومتر صورت گرفت. نتایج کلی به دست آمده از آزمایشات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی کاه گندم مورد استفاده در این پژوهش در جدول شماره ۱ آمده است.

نسبت E4/E6

نسبت E4/E6 نشان دهنده‌ی وزن مولکولی و درجه تراکم ساختار کربنی ترکیبات آروماتیک است (Campitelli *et al.*, 2006). برای اندازه‌گیری نسبت E4/E6، یک گرم از مواد کمپوست خشک شده (آون یا هواخشک) با ۵۰ میلی لیتر 0.5 NaOH مولار ترکیب و ۲۴ ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. سپس به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفیوژ (۴۵۰۰ دور در دقیقه) شد. میزان جذب مایع رویی در هر دو طول موج ۴۷۲ (E4) و ۶۶۴ (E6) خوانده شد (Filcheva *et al.*, 2018).

کمپوست) با استفاده از کود معدنی یک استراتژی خوب برای افزایش بهره‌وری محصول است (Li *et al.*, 2022). این امر باعث کاهش هزینه کود معدنی و بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود. کمپوست از راه ویژگی‌های غیرزیستی (مواد آلی، مواد مغذی) و زیستی (ریزجانداران) می‌تواند بر خصوصیات خاک تأثیر گذاشته ولی میزان اثربخشی آن به ویژگی‌های کمپوست مانند رسیدگی آن بستگی دارد (Luo *et al.*, 2022). هی و همکاران (He *et al.*, 2022) پیشنهاد کردند که تلقیح بیولوژیکی می‌تواند کارایی کمپوست را افزایش دهد و کیفیت کمپوست را با تغییر مسیرهای تجزیه زیستی و بیوسنتز سایر متابولیت‌های ثانویه بهبود بخشد، بنابراین هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات پارامترهای مختلف شامل وزن خشک، وزن خاکستر، دما، رطوبت، pH، EC، نسبت C/N، نسبت E4/E6 و عناصر کم مصرف در فرایند تولید کمپوست از کاه گندم با استفاده از جدایه/استریتومایسس و کود اوره بود. در این تحقیق فرض می‌گردد که (۱) اندازه ذرات ریزتر موثر بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی است و (۲) غنی کردن کمپوست با اوره و استریتومایسس افزایش درجه رسیدگی کمپوست را به همراه دارد.

مواد و روش‌ها

تهیه کمپوست: آزمایش تولید کمپوست در آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. آزمایش انکوباسیون در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. این طرح شامل سه فاکتور اندازه بقایای گندم (R0 (>۱)، R1 (۱-۲) و R2 (۲-۴ سانتی‌متر))، سه سطح استریتومایسس (S0 (۰)، S1 (۰/۵) و S2 (۵ درصد)) و سه سطح اوره (U0 (۰)، U1 (۸/۰۵) و U2 (۱۶/۱ گرم بر کیلوگرم)) بود. وزن هر نمونه ۲/۵ کیلوگرم با سه تکرار بود. خصوصیات شیمیایی بقایای گیاهی در جدول ۱ نشان داده شده است. ابتدا اوره در سطح صفر، ۸/۰۵ و ۱۶/۱ گرم بر کیلوگرم کاه گندم برای تصحیح نسبت کربن به نیتروژن، به کاه گندم افزوده شد. سپس مایه‌زنی استریتومایسس (*Streptomyces chartreusis*) با شماره دسترسی (KJ152149) (با جمعیت 10^7 cfu/ml)، جداسازی شده در پژوهش‌های قبلی (Ghorbani *et al.*, 2013) که دارای توانمندی ترشح

جدول ۱- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی کاه گندم مورد مطالعه

Table 1- Some physico-chemical properties of the studied compost.

Parameter	Unite	Value
pH	-	7.7
EC	dS m ⁻¹	1.3
Moisture	%	18.2
Dry matter	%	81.8
Cu	mg kg ⁻¹ DM	6.5
Zn	mg kg ⁻¹ DM	20
Mn	mg kg ⁻¹ DM	35
Fe	mg kg ⁻¹ DM	208
N	%	0.71
C	%	46.9
C/N	-	66.1
E4/E6	-	12.8

گرفت. مقادیر میانگین با کمترین اختلاف معنی دار با آزمون فیشر (LSD) $\alpha=0.05$ جدا شدند.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل زمان، اوره، استرپتومایسس و اندازه بقایای گیاهی بر pH، EC و دمای کمپوست معنی دار بود (جدول ۲).

تجزیه و تحلیل آماری و داده ها

قبل از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA)، نرمال بودن و همگنی واریانس داده های خاک به ترتیب با استفاده از آزمون آندرسون دارلینگ و آزمون لون بررسی شدند. داده ها به صورت یک آزمایش فاکتوریل با سه عامل مایه-زنی با استرپتومایسس، اوره و بقایای گندم، با استفاده از نرم افزار آماری SPSS 17 مورد تجزیه و تحلیل قرار

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعها) اثرهای اندازه بقایای گندم، اوره و استرپتومایسس و برهم کنش بین آنها (بین

گروهی)، اثر زمان و برهم کنش زمان (درون گروهی) بر دما، pH، EC

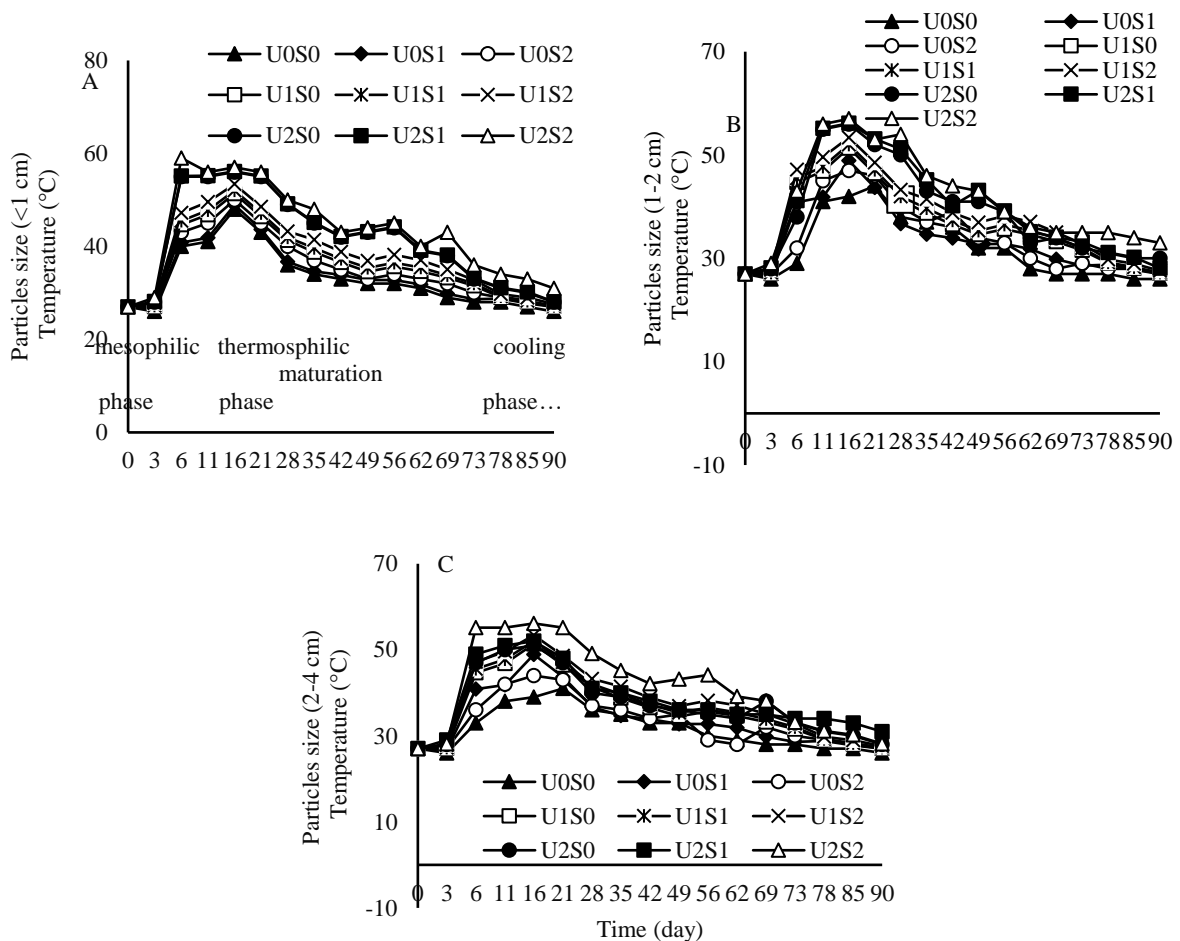
Table 2. ANOVA results (mean square values) for the main effects of plant residue, urea and *Streptomyces*; and their interactions with time (T) for temperature, pH, EC.

Sources of variations	df	Temperature	pH	EC
Between-Subjects Effects				
Residue (R)	2	603***	0.218***	878079***
Urea (U)	2	13.9***	0.442***	3307237***
<i>Streptomyces</i> (S)	2	92.7***	0.337***	1163619***
R×U	4	0.51***	0.339***	89251***
R×S	4	1.27***	0.08**	1649645***
U×S	4	0.045 ^{ns}	0.015 ^{ns}	485246***
R×U×S	8	0.63***	0.131***	88419***
Error خطا	27	0.049	0.014	0.282
(/.)C.V.		0.52	1.43	0.03
Within-Subjects Effects				
Time (T)	8	54434***	12.05***	1795168***
T×R	16	29.2***	0.137***	77371***
T×U	16	1.03***	0.064***	20557***
T×S	16	5.19***	0.042***	4345***
T×R×U	32	1.49***	0.088***	6141***
T×R×S	32	4.42***	0.043***	18974***
T×U×S	32	1.60***	0.024***	12028***
T×R×U×S	64	1.85***	0.030***	4707***
Error (Time)	216	0.051	0.012	0.143
(/.) C.V.		0.54	1.33	0.04

***، **، * به ترتیب به مفهوم معنی دار در سطح احتمال ۱، ۰/۱ درصد می باشد. C.V. ضریب تغییرات، df درجه آزادی
 ، * significant at 1, 0.1%, respectively. C.V.: coefficient of variation, df: degree of freedom

افزایش یابد (Wei *et al.*, 2019). طی ده روز اول، دمای کمپوست در تیمارهای مختلف افزایش سریعی را نشان داد و حداقل تا ۴۰ درجه سلسیوس رسید (شکل ۱). این دوره نشان دهنده فاز مزوفیل بود که با تجزیه آسان مواد آلی توسط ریزجانداران مزوفیل مشخص می‌شود (Zhang *et al.*, 2014). هنگامی که دما از ۴۰ درجه سلسیوس فراتر رفت، ریزجانداران مزوفیل با میکروبه‌های گرما دوست جایگزین می‌شوند (Wei *et al.*, 2019). پس از این مدت، دما به بالای ۴۵ درجه سلسیوس که مربوط به فاز ترموفیلیک است (Ezugworie *et al.*, 2021)، افزایش یافت و تقریباً به مدت ۷-۱۵ روز در ۴۷-۵۷ درجه سلسیوس برای از بین بردن عوامل بیماری‌زا (Onwosi *et al.*, 2017) باقی ماند (شکل ۱). این افزایش دما به دلیل فعالیت شدید میکروبی بود (Zhang *et al.*, 2016). دمای بالا در مرحله گرمادوست (شکل ۱)، تجزیه پروتئین‌ها، چربی‌ها و کربوهیدرات‌های پیچیده مانند سلولز و همی سلولز، مولکول‌های ساختاری اصلی گیاهان را تسریع می‌کند (Zhao *et al.*, 2016). با کاهش مواد غذایی موجود برای موجودات گرما دوست، سرعت رشد آن‌ها کاهش می‌یابد و دما شروع به کاهش می‌کند. علاوه بر این، مخلوط کردن، مواد تشکیل دهنده کمپوست را سست نموده و باعث افزایش نفوذ اکسیژن مورد نیاز ریزجانداران هوازی می‌شود (Abid *et al.*, 2020). پس از اتمام مرحله ترموفیل، دمای کمپوست کاهش می‌یابد و با چرخاندن یا اختلاط، دیگر دما تغییر نمی‌کند (شکل ۱). این گزارش با نتایج عابد و همکاران (Abid *et al.*, 2020) همخوانی دارد.

در این پژوهش، درجه حرارت توده آماده شده برای کمپوست در روز اول ۲۶ درجه بود. دما در روز ششم تا بیست و یکم (در تیمارهای مختلف ۳۹-۵۷ درجه) افزایش چشمگیر داشت. بیشترین دما در کمپوست تیمار شده با اوره و استریتومایسس (۵۷-۵۱ درجه سلسیوس) و در کمپوست تیمار نشده (۴۸ درجه سلسیوس) رسیدند. پس از هوادهی مکرر درجه حرارت در نمونه‌های مختلف به حد مطلوب رسید و به مرور زمان دمای کمپوست کاهش پیدا کرد و در روز آخر انکوباسیون (۹۰ روز) دمای کمپوست غنی شده با اوره و استریتومایسس ۳۰-۳۳ و دمای کمپوست غنی نشده ۲۷-۲۸ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۱). این یافته با نتایج دیگر محققان همخوانی داشت (Abid *et al.*, 2020; Calabi-Floody *et al.*, 2019; Tchegueni *et al.*, 2013). افزایش کم‌تر دمای تیمارهای بدون اوره در مرحله ترموفیلیک به احتمال زیاد به دلیل C:N بالای بقایای گندم بود (Calabi-Floody *et al.*, 2019). نسبت C/N بهینه مواد خام مورد استفاده برای کمپوست، ۲۵:۱ و ۳۰:۱ است، اگرچه ۲۰:۱ و ۴۰:۱ نیز قابل قبول است؛ اما محدودیت در رشد میکروبی در C/N ۴۰:۱ وجود دارد و در نتیجه دوره کمپوست افزایش می‌یابد (Shuokr *et al.*, 2018). دما با سرعت بیشتری در اندازه‌های ریزتر افزایش یافت (شکل ۱ الف و ب) که می‌تواند به دلیل در دسترس بودن زیادتر مواد غذایی و فعالیت بیشتر ریزجانداران بوده باشد (Reyes-torres *et al.*, 2018). میکروبه‌ها به سرعت ترکیبات محلول و به آسانی قابل تجزیه را تجزیه نموده و گرمای تولید شده توسط آن‌ها باعث می‌شود دمای کمپوست به سرعت



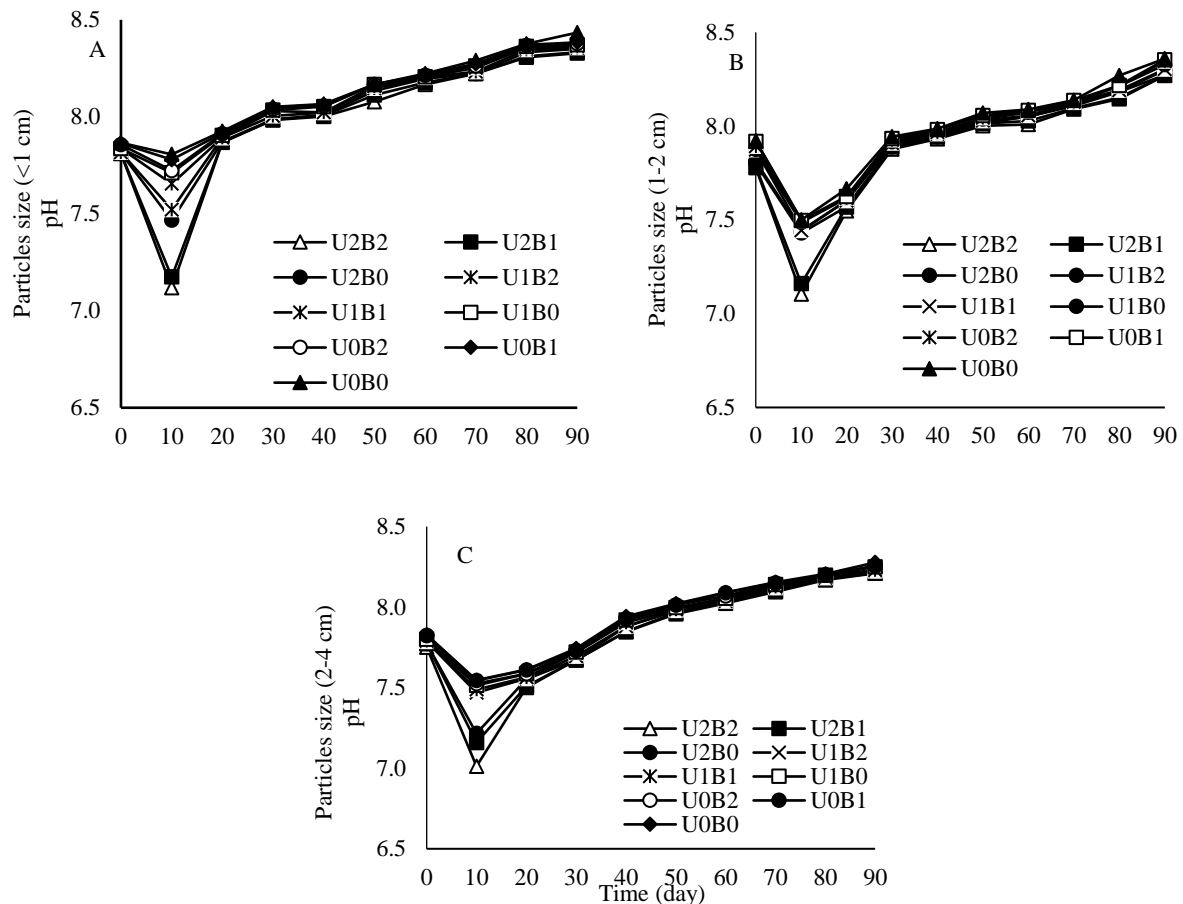
شکل ۱- تغییرات دما طی تهیه کمپوست کاه گندم تیمار شده با اوره و استرپتومایسس (n=3). اندازه بقایای گندم ((A > 1), (B 1-2) و (C 2-4 سانتی متر))، سه سطح استرپتومایسس (S0 (0)، S1 (0.5) و S2 (5 درصد)) و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (8.05) و U2 (16.1 g kg⁻¹)).

Figure 1. Temperature changes during composting of wheat straw with urea and *Streptomyces* (n = 3). wheat residue size (A (<1), B (1-2) and C (2-4 cm)), (2) three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg⁻¹)).

قارچ‌ها تجمع نمایند. مقدار pH از روز بیستم به بعد افزایش ۱/۰۵ تا ۰/۱۹ (واحد) معنی‌داری (P<0.05) داشت (شکل ۲). معمولاً اسیدهای آلی با افزایش زمان کمپوست شدن بیش‌تر تجزیه می‌شوند و pH افزایش می‌یابد (Liu *et al.*, 2011). به طور کلی، کاهش مقادیر pH در مراحل اولیه کمپوست عمدتاً مربوط به اسیدهای لاکتیک و استیک تولید شده به دلیل تخریب ترکیبات حساس (به عنوان مثال، همی سلولز) است (Hultman *et al.*, 2010). در حالی که افزایش pH در طول کمپوست را می‌توان به تولید NH₃ نسبت داد (Haddadin *et al.*, 2009). کمپوست آماده به طور کلی دارای pH بین ۷/۹ تا ۸/۲ است که با نتایج دیگر محققان همخوانی دارد (ملکوتیان و همکاران، ۲۰۱۴؛ Abid *et al.*, 2020؛ Calabi-Floody *et al.*, 2019).

pH و EC

نتایج مقایسه میانگین بین همه تیمارها نشان داد که با افزایش زمان تا ۲۰ روز، میزان pH در همه تیمارها کاهش یافت. کمپوست تیمار شده با استرپتومایسس و اوره میزان pH را ۰/۱۹ تا ۰/۱۹ واحد نسبت به تیمار شاهد (کمپوست غنی نشده) کاهش داد اما در بسیاری از تیمارها معنی‌دار نبود (شکل ۲). کاهش pH می‌تواند ناشی از افزایش باکتری‌ها و ترشح اسیدهای آلی و در نهایت کاهش pH باشد (Pramanik *et al.*, 2007). افزایش فعالیت ریزجانداران منجر به تولید بیش‌تر CO₂ و در نهایت کاهش pH می‌شود. در طول دوره کمپوست شدن، pH به طور کلی در محدوده ۷/۱ تا ۸/۳ متغیر بود (شکل ۲). در مراحل اولیه کمپوست، اسیدهای آلی ممکن است به عنوان محصول جانبی هضم مواد آلی توسط باکتری‌ها و



شکل ۲- تغییرات pH طی تهیه کمپوست کاه گندم تیمار شده با اوره و *استریتومایسیس* ($n=3$). اندازه بقایای گندم ((A > 1)، (B 1-2) و (C 2-4 سانتی متر))، سه سطح *استریتومایسیس* (S0 (0)، S1 (0.5) و S2 (5 درصد)) و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (8.05) و U2 (16.1 g kg^{-1})).¹ (۱۶/۱)

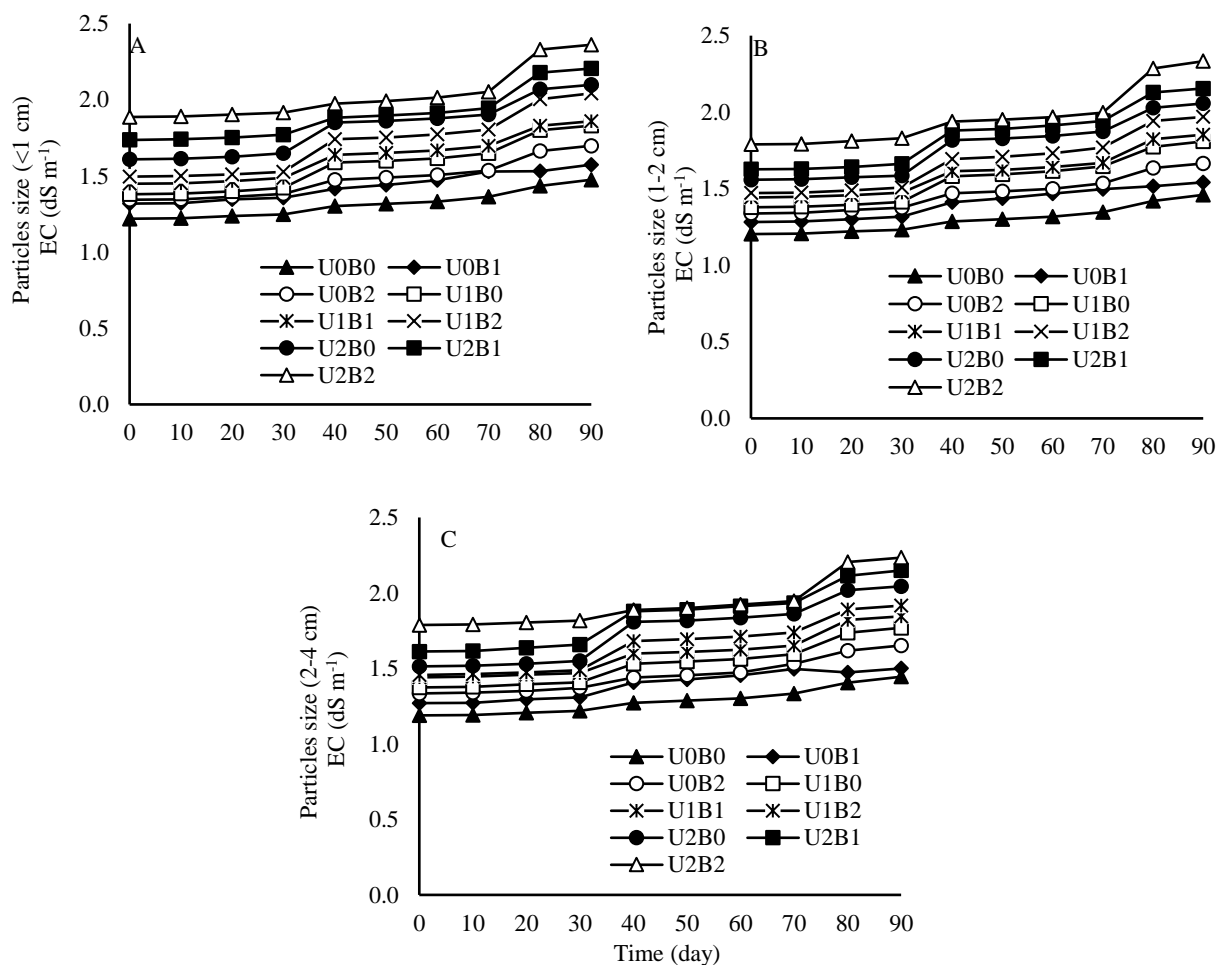
Figure 2. Changes in pH during composting of wheat straw with urea and *Streptomyces* ($n = 3$). wheat residue size (A (<1), B (1-2) and C (2-4 cm)), (2) three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg^{-1}))

غلظت یون‌های محلول ناشی از معدنی شدن مواد آلی است (Oyewusi *et al.*, 2021 & Alavi *et al.*, 2017). بنابراین، مقادیر بالای EC احتمالاً به دلیل وجود یون‌هایی مانند Na^+ ، Cl^- ، CO_3^{2-} و SO_4^{2-} است که معمولاً منجر به افزایش EC در مواد کمپوست شده می‌گردند (Gondek *et al.*, 2020).

رطوبت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل زمان، اوره، *استریتومایسیس* و اندازه بقایای گیاهی بر رطوبت، C/N و E4/E6 کمپوست معنی‌دار بود (جدول ۳).

طبق نتایج در هر سه تیمار (اوره، *استریتومایسیس* و اندازه ذرات) مقدار EC به طور معنی‌داری ($P < 0.001$) روند افزایشی داشت. اوره، *استریتومایسیس* و ترکیب اوره و *استریتومایسیس* به ترتیب باعث افزایش ۰/۲، ۰/۲-۰/۸ و ۰/۱ و ۰/۲-۰/۷ واحد (برحسب دسی‌زیمنس بر متر) EC طی سه ماه انکوباسیون شد (شکل ۳) که با نتایج (Oyewusi *et al.*, 2021) همخوانی دارد. این تغییرات در اندازه‌های مختلف کمپوست ناچیز بود. بیشترین (۹/۴-۱/۲) و کمترین (۱/۱-۲/۵) مقدار EC طی ۹۰ روز به ترتیب مربوط به کمپوست غنی شده با اوره و *استریتومایسیس* (R1S2U2) و شاهد (R0S0U0) بود (شکل ۳). افزایش EC در طول زمان به دلیل افزایش



شکل ۳- تغییرات EC طی تهیه کمپوست کاه گندم تیمار شده با اوره و *استرپتومایسس* ($n=3$). اندازه بقایای گندم (A) (>1)، (B) (1-2) و (C) (2-4 سانتی‌متر))، سه سطح *استرپتومایسس* (S0 (0)، S1 (0.5) و S2 (5 درصد))، و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (8.05) و U2 (16.1 g kg⁻¹)).¹ (16/1)

Figure 3. Changes in EC during composting of wheat straw with urea and *Streptomyces* ($n = 3$). wheat residue size (A (<1), B (1-2) and C (2-4 cm)), (2) three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg⁻¹))

درصد منجر به تجزیه آهسته، تولید بو در پاکت‌های بی‌هوایی و شستشوی مواد مغذی می‌شود. پس از هوادهی مقدار رطوبت کاهش یافت و در روز دهم در تیمارهای مختلف به ۴۲-۴۶ درصد رسید و در روز آخر نمونه‌برداری ۲۸-۲۱ درصد بود (شکل ۴A). دیگر محققان نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (Reyes-Abid *et al.*, 2020؛ Zhang *et al.*, 2017؛ torres *et al.*, 2018). در پایان انکوباسیون کم‌ترین (۲۱ درصد) و بیش‌ترین (۲۸ درصد) مقدار رطوبت به ترتیب مربوط به کمپوست تیمار شده با اوره و *استرپتومایسس* و کمپوست تیمار نشده بود (شکل ۴A). همچنین با کاهش مقدار رطوبت وزن خاکستر کمپوست افزایش یافت (شکل ۴B).

مقدار رطوبت یک پارامتر کلیدی و موثر در فرآیند کمپوست است (Shen *et al.*, 2015) که پایداری کمپوست را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Gurusamy *et al.*, 2021). رطوبت در ابتدای فرآیند در توده کمپوست ۵۳ درصد وزنی برای کمپوست‌سازی بهینه در نظر گرفته شد زیرا آب کافی برای حفظ رشد میکروبی فراهم می‌کند اما نه آنقدر که جریان هوا مسدود شود. تجزیه توسط ریزجانداران با بیش‌ترین سرعت در لایه‌های نازک آب اطراف ذرات کمپوست اتفاق می‌افتد. وقتی شرایط خشک‌تر از ۳۵ تا ۴۰ درصد می‌شود، فعالیت باکتری‌ها مهار می‌شود، زیرا این لایه‌ها شروع به خشک شدن می‌کنند. از طرف دیگر، سطوح رطوبت بالای ۶۵

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربع‌ها) اثرهای اندازه بقایای گندم، اوره و استرپتومایسس و برهم‌کنش بین آن‌ها (بین گروهی)، اثر زمان و برهم‌کنش زمان (درون گروهی) بر رطوبت، C/N، E4/E6

Table 3. ANOVA results (mean square values) for the main effects of plant residue, urea and *Streptomyces*; and their interactions with time (T) for Moisture, C/N, E4/E6.

Sources of variations	df	Moisture	C/N	E4/E6
Between-Subjects Effects				
Residue (R)	2	2648***	1723***	2642***
Urea (U)	2	51.21*	9601***	859***
<i>Streptomyces</i> (S)	2	288***	328***	1837***
R×U	4	45.0*	697***	830***
R×S	4	53.6*	52.9***	1709***
U×S	4	43.6*	163***	694***
R×U×S	8	47.2*	65.0***	687***
Error	27	4.63	1.25	0.025
(/.)C.V.		3.15	3.38	1.43
Within-Subjects Effects				
Time (T)	8	13930***	11154***	1200***
T×R	16	234***	9.99***	557***
T×U	16	4.81***	493***	392***
T×S	16	20.7***	23.8***	579***
T×R×U	32	1.35***	80.5***	388***
T×R×S	32	6.52***	15.6***	554***
T×U×S	32	1.55***	24.9***	404***
T×R×U×S	64	1.28***	12.1***	407***
Error (Time)	216	4.61	0.839	0.06
(/.)C.V.		3.14	2.77	2.22

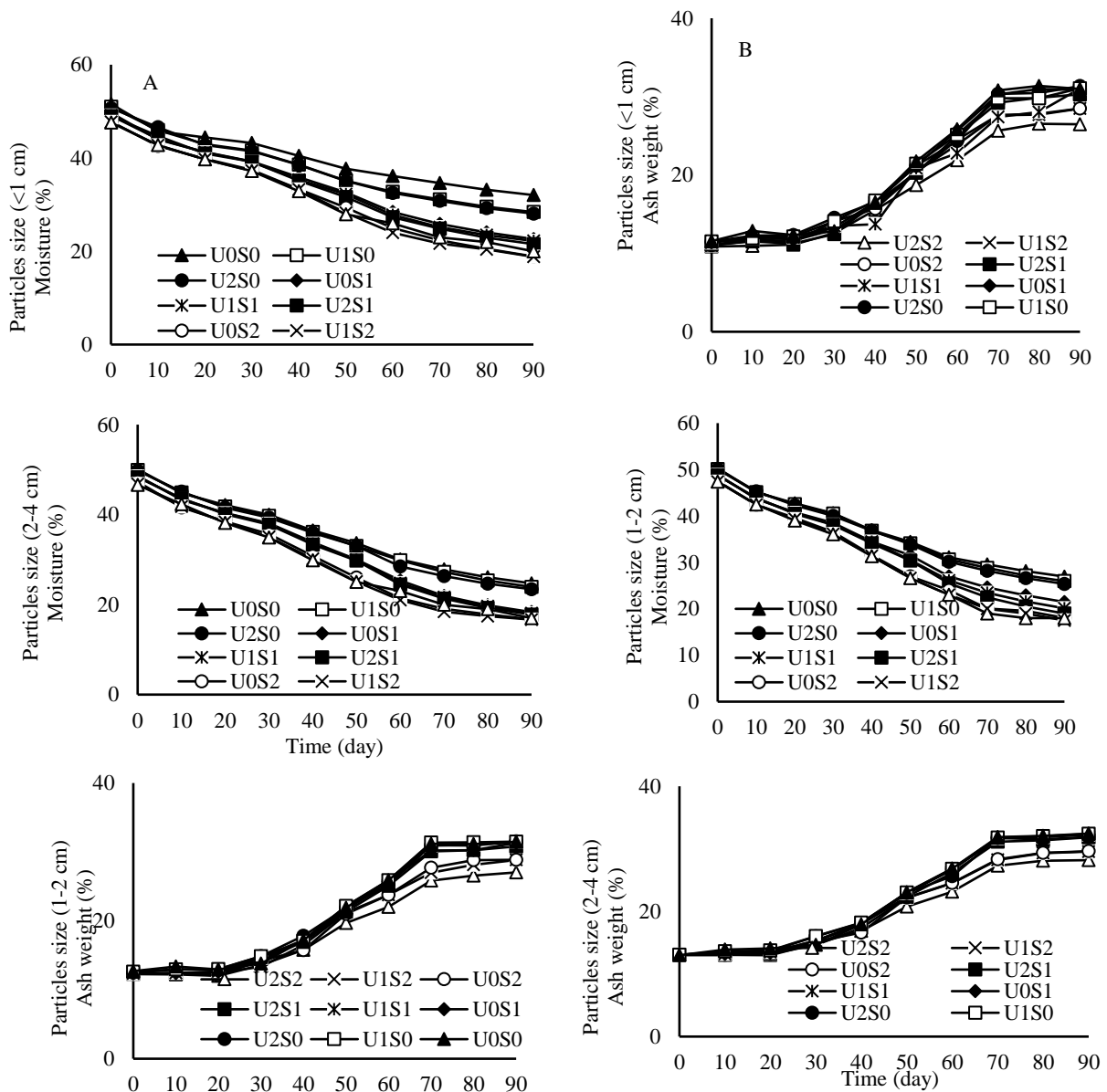
***، ** به ترتیب به مفهوم معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱، ۰/۱ درصد می‌باشد. C.V. ضریب تغییرات، df درجه آزادی
 ، * significant at 1, 0.1%, respectively. C.V.: coefficient of variation, df: degree of freedom

تعدیل نسبت C/N، باعث تسریع فرآیند اعمال شده بر باقیمانده‌های لیگنوسولوزی می‌شود (Calabi-Floody *et al.*, 2019؛ Zhang *et al.*, 2016). نسبت‌های پایین‌تر C/N در برخی تیمارها برای اندازه ذرات کوچک مشاهده شد (شکل ۵A)، زیرا کاهش اندازه ذرات مواد کمپوست شده باعث افزایش سرعت تجزیه شده است (Silva *et al.*, 2012). در اواخر نمونه‌برداری رنگ توده به سمت قهوه‌ای تا قهوه‌ای بسیار تیره تغییر یافت همچنین بوی نامطبوع توده کمپوست قابل احساس نبود. در همین مرحله، با نمونه‌برداری از توده‌های کمپوست مشخص شد که تیمار کمپوست به همراه استرپتومایسس‌ها و اوره باعث تغییر رنگ بیش‌تر توده و کاهش بیش‌تر نسبت کربن به نیتروژن کمپوست شد (شکل ۵). کمپوست تیمار شده با اوره و استرپتومایسس کاهش معنی‌دار (۳۹ تا ۵۵ درصد) C/N را نسبت به تیمار شاهد (کمپوست غنی نشده) به همراه داشت (شکل ۵).

طی سه ماه انکوباسیون کمپوست تیمار شده با اوره و استرپتومایسس کم‌ترین مقدار وزن خاکستر را داشت که احتمالاً به دلیل تجزیه بیش‌تر بقایای گندم توسط این باکتری بود (Mikiashvili *et al.*, 2005) (شکل ۴B). طبق نتایج ونگ و همکاران (Wang *et al.*, 2015) درصد خاکستر در کمپوست در ابتدای آزمایش ۲۶/۲ و بعد از یک دوره ۶۰ روزه به دلیل تجزیه جامدات فرار به ۴۹ درصد افزایش یافت.

نسبت کربن به نیتروژن

نسبت کربن به نیتروژن در روز صفر نمونه‌برداری ۶۷ به ۱ بود که بر اثر فعالیت‌های عوامل زیستی در کمپوست و زیر و رو کردن توده جهت هوادهی، در روز آخر در کمپوست تیمار شده با اوره و استرپتومایسس به ۱۹ به ۱ و در کمپوست تیمار نشده به ۳۳ به ۱ رسید (شکل ۵A). این مساله نشان می‌دهد که فرآیند کمپوست شدن، منجر به تثبیت مواد کمپوست شده می‌شود (Senesi, & Plaza, 2007). افزودن اوره در فرآیند کمپوست‌سازی به منظور

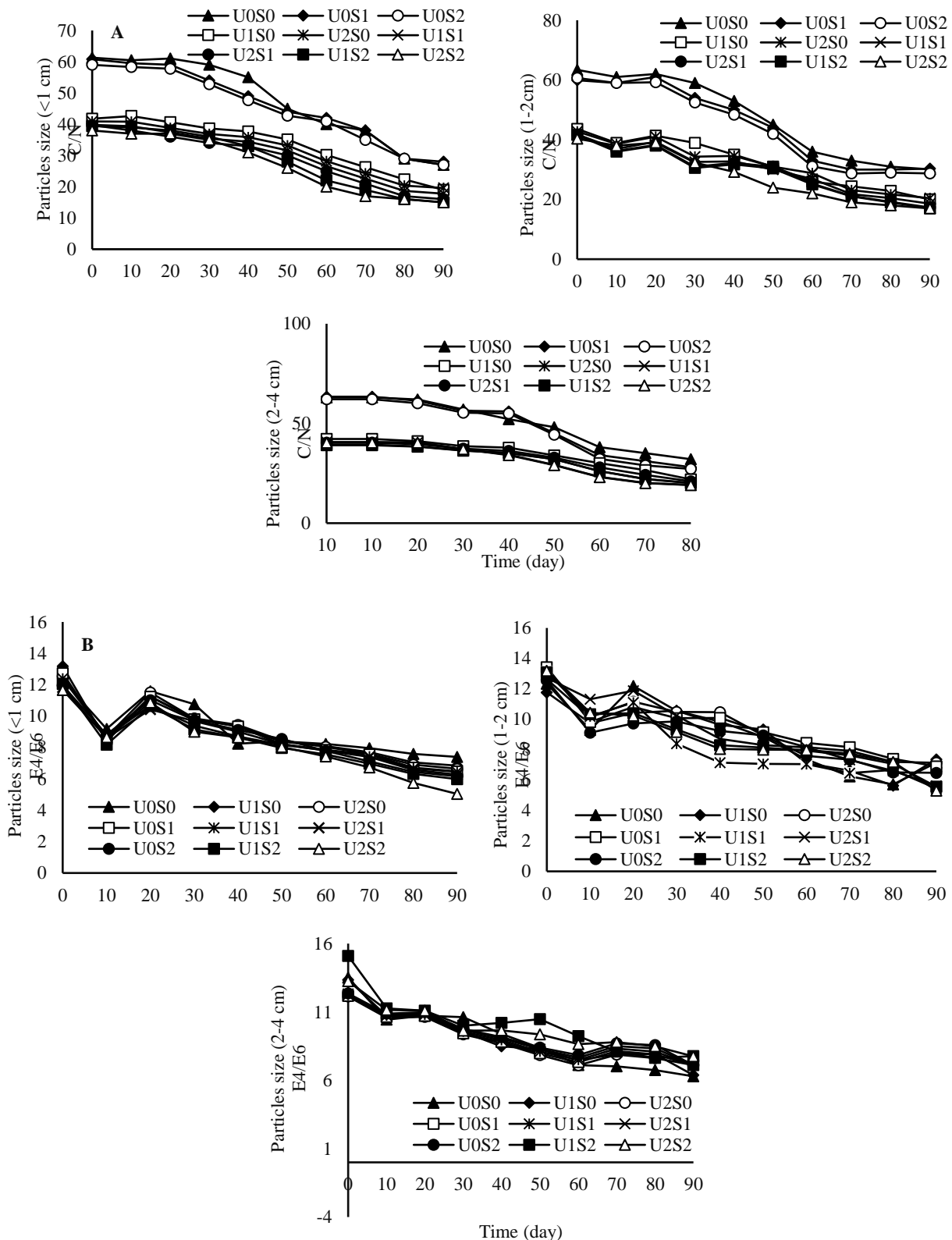


شکل ۴- روند تغییرات رطوبت (A) و وزن خاکستر (B) طی تهیه کمپوست کاه گندم با اوره و *استرپتومایسس* ($n=3$). اندازه بقایای گندم (A) (>1)، (B) ($1-2$) و ($2-4$ سانتی‌متر)، سه سطح *استرپتومایسس* (S0 (0)، S1 (0.5) و S2 (5 درصد)) و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (8.05) و U2 (16.1 $g\ kg^{-1}$)).

Figure 4. Changes in moisture (A) and ash weight (B) during composting of wheat straw with urea and *Streptomyces* ($n = 3$). wheat residue size (A (<1), B (1-2) and C (2-4 cm)), three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 $g\ kg^{-1}$)).

طول کمپوست کردن برای همه تیمارها داشت. نسبت C/N معیاری برای ارزیابی رسیدگی کمپوست است و زمانی که این نسبت به ۲۵-۳۰ برسد (Zhu, 2007) کمپوست دارای کیفیت مطلوبی از لحاظ درجه رسیدگی خواهد بود (Wong et al., 2017)، در این پژوهش نیز نسبت C/N کمپوست‌های نهایی در برخی تیمارها کم‌تر از ۳۰ بود (شکل ۵A).

تیمار U2S2 باعث کاهش بیشتر (۵ تا ۱۶ درصد) مقدار C/N نسبت به تیمار U1S1 شد (شکل ۵A). اثرات ریزجانداران بر فرآیند کمپوست‌سازی به ترکیب جامعه میکروبی و همچنین ظرفیت عملکردی آن بستگی دارد (Xu et al., 2022). برخی مطالعات تأثیر چشمگیر جامعه میکروبی را بر فرآیند کمپوست‌سازی نشان دادند (Liu et al., 2020; Xie et al., 2021). طبق نتایج وی و همکاران (Wei et al., 2019) نسبت C/N یک روند کاهشی در



شکل ۵- روند تغییرات نسبت C/N (A) و نسبت E4/E6 (B) طی تهیه کمپوست کاه گندم با اوره و استرپتومایسس (n=3). اندازه بقایای گندم (1>)، (2-1) و (2-2) سانتی متر)، سه سطح استرپتومایسس (S0 (0)، S1 (0.5) و S2 (5 درصد)) و سه سطح اوره (U0 (0)، U1 (16.1) و U2 (8.05) g kg⁻¹).

Figure 5. Changes in C/N (A) and E4/E6 (B) during composting of wheat straw with urea and *Streptomyces* (n = 3). [wheat](#) residue size (A (<1), B (1-2) and C (2-4 cm)), (2) three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg⁻¹)).

نسبت E4/E6

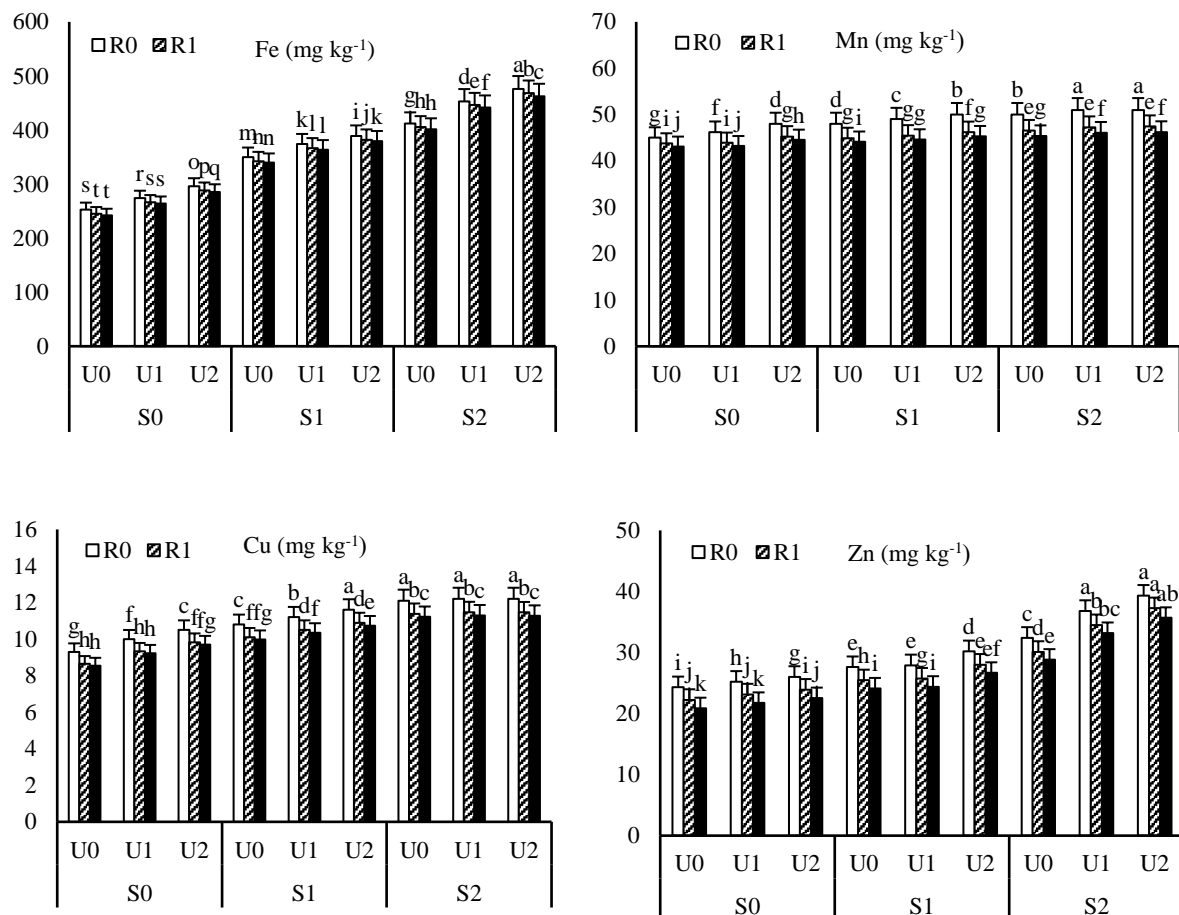
نسبت جذب‌ها در ۴۷۲ و ۶۶۴ نانومتر (نسبت E4/E6) شاخصی برای تعیین میزان هوموسی شدن بالقوه ماده آلی است (فیلچوا و همکاران، ۲۰۱۸). نسبت E4/E6 کمپوست در شکل ۵B نشان داده شده است. مقادیر بالاتر نسبت E4/E6 در ابتدای آزمایش ممکن است نشان‌دهنده وجود گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (گروه‌های هیدروکسیل، کربونیل، کربوکسیل و استر) باشد (Melo *et al.*, 2015). همچنین نسبت E4/E6 تراکم ترکیبات آلیفاتیک به آروماتیک را بیان می‌کند (Campitelli *et al.*, 2006). با کاهش این نسبت تراکم ترکیبات آروماتیک بیش‌تر از آلیفاتیک می‌شود، و به متوسط وزن مولکولی و شاخص هوموسی شدن، افزوده می‌شود (Stevenson, 1994). ملاک کیفیت و پایداری منابع مختلف مواد هومیکی، مقدار اسید هومیک می‌باشد. افزایش مقدار اسید هومیک در یک منبع نشانه پایداری و کیفیت بالاتر این منبع می‌باشد (Stevenson, 1994). نسبت E4/E6 کمپوست تیمار شده و تیمار نشده در این آزمایش طی ۹۰ روز انکوباسیون کاهش (۳۶ تا ۵۹ درصد) یافت (شکل ۵B) که با نتایج کالابی فلودی و همکاران (Calabi *et al.*, 2019) (Floody *et al.*, 2019) مطابقت دارد. اندازه ذرات ریزتر باعث کاهش بیشتر نسبت E4/E6 شد (شکل ۵B). کاهش نسبت E4/E6 در کمپوست غنی شده با اوره و استرپتومایسس بیشتر از کمپوست ساده بود (شکل ۵B). چگونگی و همکاران (Tcheguani *et al.*, 2013) نیز کاهش ۳۲ درصدی نسبت E4/E6 را نشان دادند و بیان کردند که کاهش نسبت نشان دهنده افزایش اندازه مولکولی اسیدهای هیومیک در حین کمپوست‌سازی و در نتیجه پایداری کمپوست است (Tcheguani *et al.*, 2013). کاهش این نسبت شاخصی برای بیان افزایش پایداری مواد آلی به شمار می‌رود. هرچه این نسبت کم‌تر باشد، کمپوست رسیده است، ذرات هوموس (نه ذرات آلی) بزرگ‌تر و پیچیده هستند. استراتژی‌های کمپوست‌سازی مشترک با عوامل بیولوژیکی (قارچ‌ها و باکتری‌ها) برای بهبود کیفیت محصول کمپوست ایجاد شده است. در این زمینه، نشان داده شد که تلقیح با قارچ (*Trichoderma harzianum* و *Phanerochaete chrysosporium*) با تغییر

پارامترهای فیزیکوشیمیایی آن، خصوصیات مواد لیگنوسلولزی را بهبود بخشید (Haddadin *et al.*, 2009).

اندازه‌گیری عناصر کم مصرف (Zn, Cu, Mn, Fe)

در این آزمایش اثر استرپتومایسس، اوره و اندازه بقایای گیاهی و برهم‌کنش دوگانه استرپتومایسس × اوره، استرپتومایسس × اندازه بقایای گیاهی و اوره × اندازه بقایای گیاهی و همچنین برهم‌کنش سه گانه استرپتومایسس × اوره × اندازه بقایای گیاهی بر مقادیر آهن، منگنز، مس و روی معنی‌دار ($P < 0.001$) بود (نتایج گزارش نشده است).

کمپوست تیمار شده با اوره منجر به افزایش ۳۸، ۴، ۱۱ و ۸ درصدی آهن، منگنز، مس و روی نسبت به تیمار شاهد (کمپوست تیمار نشده) گردید (شکل ۶). کمپوست تیمار شده با استرپتومایسس به ترتیب باعث افزایش ۶۳، ۹، ۱۱ و ۲۵ درصدی عناصر آهن، منگنز، مس و روی شد (شکل ۶). همچنین کمپوست تیمار شده با اوره و استرپتومایسس، افزایش بیش‌تر (۸۸، ۱۱، ۳۳ و ۶۲ درصدی آهن، منگنز، مس و روی) این عناصر را نسبت به تیمار شاهد (کمپوست تیمار نشده) به همراه داشت (شکل ۶). این یافته‌ها با نتایج دیگر محققان نیز همخوانی داشت (Omidi *et al.*, 2020 & Reisi *et al.*, 2015). رئیسی و همکاران (Reisi *et al.*, 2015) نشان دادند که کمپوست به دلیل فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی سبب افزایش رشد گیاه گردیده است. در این آزمایش بیش‌ترین مقدار عناصر اندازه‌گیری شده مربوط به کمپوست تیمار شده با اوره و استرپتومایسس (ROS2U2) بود (شکل ۷). کمپوست تیمار شده با ریزجانداران مفید، حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد مغذی پرمصرف و ریز مغذی است که ممکن است به تغذیه گیاه کمک کند (Andrade *et al.*, 2021). همچنین بیلا و همکاران (Billah *et al.*, 2020) بیان داشتند که کمپوست غنی شده با کود شیمیایی و سودوموناس افزایش خواص شیمیایی (عناصر غذایی)، خواص بیوشیمیایی (فعالیت آلکالین فسفاتاز) و خواص بیولوژیکی خاک (کربن و فسفر زیست‌توده میکروبی) را به همراه دارد و جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی گران قیمت است (Billah *et al.*, 2020).



شکل ۶- اثر اوره، استریتومایسس و اندازه ذرات گندم بر مقادیر آهن، منگنز، مس و روی در تیمارهای کمپوست پس از ۹۰ روز انکوباسیون (n=3). اندازه بقایای گندم (R0 (>۱)، R1 (۱-۲) و R2 (۲-۴ سانتی‌متر))، سه سطح استریتومایسس (S0 (۰)، S1 (۰/۵) و S2 (۵ درصد)) و سه سطح اوره (U0 (۰)، U1 (۸/۰۵) و U2 (۱۶/۱ g kg⁻¹)). حروف مشابه، نشان دهنده نبود اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند. خطای معیار به صورت خطوط عمودی نشان داده شده است.

Figure 6. The effect of urea, Streptomyces and wheat residue size on Fe, Mn, Cu and Zn in compost treatments after 90 days of incubation (n = 3). wheat residue size (R0 (<1), R1 (1-2) and R2 (2-4 cm)), (2) three levels of Streptomyces inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)) and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg⁻¹)). Similar letters indicate no significant differences among treatments at 5% level according to the LSD test. The vertical lines shown as standard error.

از سوی دیگر، اندازه ذرات در افزایش عناصر بسیار موثر بود. بیش‌ترین مقدار عناصر در کمپوست با اندازه کم‌تر از ۱ سانتی‌متر مشاهده شد (شکل ۷). تبدیل مواد آلی به کمپوست، فرآیندی است که عمدتاً توسط فعالیت میکروبی انجام می‌شود. لذا دسترسی بیش‌تر سوپسترا که تابعی از اندازه ذرات است، عاملی موثر بر میزان تجزیه آن و در نتیجه آزادسازی عناصر در کمپوست خواهد بود (Reyes-torres et al., Leonard, 2003 & Agnew, 2018). همچنین کالابی فلودی و همکاران (Calabi-

Floody et al., 2019) بیان داشتند که اندازه ذرات بیش‌ترین تأثیر را بر فرآیند کمپوست شدن داشت.

نتیجه‌گیری کلی

مطالعه حاضر نشان داد که پارامترهای اندازه‌گیری شده طی دوره آزمایش تغییرات نسبتاً مناسب داشته است. نتایج مقایسه بین تیمارهای مختلف نشان داد، اوره و استریتومایسس شرایط بهتر و مناسب‌تری برای ساخت کمپوست رسیده را فراهم می‌کنند و تغییر این شرایط در مقادیر بالاتر اوره (۱۶/۱ گرم بر کیلوگرم) و

کیفیت محصول ایجاد کرد. همچنین اندازه ذرات در تولید کمپوست رسیده بسیار موثر بود. در این آزمایش ذرات با اندازه کوچکتر از ۱ سانتی‌متر با جذب بیش‌تر رطوبت و افزایش بیش‌تر فعالیت میکروبی دارای دمای بالاتری بود. با توجه به خصوصیات مطلوب‌تر کمپوست تیمار شده، جهت اثبات کارایی بهتر آن در مقایسه با کمپوست تیمار نشده، انجام آزمایش‌های گلدانی و مزرعه‌ای و ارزیابی تأثیر آن بر خصوصیات خاک و رشد گیاه ضروری است.

استرپتومایسیس (۵ درصد) نسبت به مقادیر پایین‌تر بیشتر بود. کمپوست تیمار شده در مقایسه با کمپوست تیمار نشده دارای دما و عناصر غذایی بیش‌تر، نسبت کربن به نیتروژن، درصد خاکستر، E4/E6 و pH پایین‌تر بود. طبق نتایج تیمار R0U2S2 از طریق افزایش ریزجانداران و تهیه عناصر غذایی به طور قابل توجهی در تخریب و تبدیل ساختار بقایای گندم برای ساخت کمپوست رسیده در طول مراحل مختلف کمپوست‌سازی تأثیر بیشتری بر

Reference

- Abid W., Mahmoud I., Masmoudi S., Triki M., Mounier S., and Ammar E. 2020. Physico-chemical and spectroscopic quality assessment of compost from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) waste valorization. *Journal of Environmental Management*, 264: 110492. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110492.
- Agegehu G., vanBeek C., and Bird M. 2014. Influence of integrated soil fertility management in wheat and tef productivity and soil chemical properties in the highland tropical environment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2014: 14.
- Agnew J.M., and Leonard J.J. 2003. The physical properties of compost. *Compost Science and Utilization*, 11: 238-264. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702132>.
- Alavi N., Daneshpajou M., Shirmardi M., Goudarzi G., Neisi A., and Babaei A.A. 2017. Investigating the efficiency of co-composting and vermicomposting of vinasse with the mixture of cow manure wastes, bagasse, and natural zeolite. *Waste Management*, 69: 117-126. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.039>
- Andrade F., Fernandes F., Junior A., Rondina A., Hungria M., and Nogueira M. 2021. Enrichment of organic compost with beneficial microorganisms and yield performance of corn and wheat. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25: 332-339.
- Billah M., Khan M., Bano A., Nisa S., Hussain A., Dawar K., Munir A., and Khan N., 2020. Rock Phosphate-Enriched Compost in Combination with Rhizobacteria; A Cost-Effective Source for Better Soil Health and Wheat (*Triticum aestivum*) Productivity. *Agronomy*, 10: 1390. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10091390>
- Calabi-Floody M., Medina J., Suazo J., Ordiqueo M., Aponte H., Luz Mora M., and Rumpel C. 2019. Optimization of wheat straw co-composting for carrier material development. *Waste Management*, 98: 37-49. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.041>.
- Cesaro A., Belgiorno V., and Guid M. 2015. Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resour. Resources, Conservation and Recycling*, 94:72-79.
- Ezugworie F.N., Igbokwe V.C., and Onwosi C.O. 2021. Proliferation of antibiotic-resistant microorganisms and associated genes during composting: An overview of the potential impacts on public health, management and future. *Science of The Total Environment*, 784: 147191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147191>
- Feng J., Wang B., Zhang D., Chu S., Zhi Y., Hayat K., Wang J., Chen X., Hui N., and Zhou P. 2021. *Streptomyces griseorubens* JSD-1 promotes rice straw composting efficiency in industrial-scale fermenter: evaluation of change in physicochemical properties and microbial community. *Bioresource Technology*, 321: 124465. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124465>
- Filcheva E., Hristova M., Nikolova P., Popova T., Chakalov K., and Savov V., 2018. Quantitative and qualitative characterisation of humic products with spectral parameters. *Journal of Soils and Sediments*, 18: 2863-2867. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2021-4>.
- Fourti O., Jedidi N., and Hassen A. 2008. Behaviour of Main Microbiological Parameters and of Enteric Microorganisms During the Composting of Municipal Solid Wastes and Sewage Sludge in A Semi- Industrial Composting Plant. *American Journal of Environmental Sciences*, 4: 103-10. <https://doi.org/10.3844/ajessp.2008.103.110>

- Ghorbani-Nasrabadi R., Greiner R., Alikhani H., Hamed J., and Yakhchali B. 2013. Distribution of actinomycetes in different soil ecosystems and effect of media composition on extracellular phosphatase activity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13: 223-236. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000020>
- Gondek M., Weindorf D.C., Thiel C., and Kleinheinz G. 2020. Soluble salts in compost and their effects on soil and plants: a review. *Compost Science and Utilization*, 28: 59-75. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2020.1772906>
- Grigatti M., Cavani L., and Ciavatta C. 2011. The evaluation of stability during the composting of different starting materials: Comparison of chemical and biological parameters. *Chemosphere*, 83:41-8. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.01.010>
- Gurusamy N., Puffer N., Jongh C., Gil C., and Aspray T. 2021. Effect of initial moisture content and sample storage duration on compost stability using the ORG0020 dynamic respiration test. *Waste Management*, 125: 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.048>
- Haddadin M.S.Y., Haddadin J., Arabiyat O.I., and Hattar B. 2009. Biological conversion of olive pomace into compost by using *Trichoderma harzianum* and *Phanerochaete chrysosporium*. *Bioresource Technology*, 100: 4773-4782. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.047>
- He J., Zhu N., Xu Y., Wang L., Zheng J., and Li X. 2022. The microbial mechanisms of enhanced humification by inoculation with *Phanerochaete chrysosporium* and *Trichoderma longibrachiatum* during biogas residues composting. *Bioresource Technology*, 351: 126973. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126973>
- Huet J., Druilhe C., Tremier A., Benoist J.C., and Debenest G. 2012. The impact of compaction, moisture content, particle size and type of bulking agent on initial physical properties of sludge-bulking agent mixtures before composting. *Bioresource Technology*, 114: 428-436. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.031>
- Hui M., Tan L., Letchumanan L., He Y., Fang C., Chan K., and Lee, L. 2021. The Extremophilic Actinobacteria: From Microbes to Medicine. *Antibiotics*, 10 (6): 682. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10060682>
- Hultman J., Vasara T., Partanen P., Kurola J., Kontro M.H., Paulin L., Auvinen P., and Romantschuk M. 2010. Determination of fungal succession during municipal solid waste composting using a cloning-based analysis. *Journal of Applied Microbiology*, 108: 472-487. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04439.x>
- Jurado M., Suarez-Estrella F., Lopez M.J., Vargas-Garcia M.C., Lopez-Gonzalez J.A., and Moreno J. 2015. Enhanced turnover of organic matter fractions by microbial stimulation during lignocellulosic waste composting. *Bioresource Technology*, 186:15-24. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.059>
- Koolivand A., Nadaffi K., Nabizadeh R., Nasser S., Jonidi Jafari A., Yunesian M., and Yaghmaeian K. 2013. Degradation of petroleum hydrocarbons from bottom sludge of crude oil storage tanks using in-vessel composting followed by oxidation with hydrogen peroxide and Fenton. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15: 321-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s10163-013-0121-1>
- Li X., Li B., Chen L., Liang J., Huang R., Tang X., Zhang X., and Wang C. 2022. Partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer over seven years increases yields and restores soil bacterial community diversity in wheat-rice rotation. *European Journal of Agronomy*, 133: 126445. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126445>
- Liu D., Zhang R., Wu H., Xu D., Tang Z., Yu G., Xu Z., and Shen Q. 2011. Changes in biochemical and microbiological parameters during the period of rapid composting of dairy manure with rice chaff. *Bioresource Technology*, 19: 9040-9049. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.052>
- Liu H.J., Huang Y., Duan W.D., Qiao C.C., Shen Q.R., and Li, R. 2020. Microbial community composition turnover and function in the mesophilic phase predetermine chicken manure composting efficiency. *Bioresource Technology*, 313: 123658. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123658>
- Luo Y., Pieter H., Veelen J., Chen S., Sechi V., Heijne A., Veeken A., Buisman C., and Bezemer T. 2022. Effects of sterilization and maturity of compost on soil bacterial and fungal communities and wheat growth. *Geoderma*, 409: 115598. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115598>
- Majidi A., Tabiehzad H. 2017. Effect of Different Sources and Amounts of Nitrogen on Root Yield and Some Qualitative Characteristics of Sugar Bee. *Applied Soil Research*, 6(3): 118-129. (In Persian)

- Malakootian M., Mobini M., and Nekoonam G.A. 2014. Evaluation of the Compost Produced from Mixed Sludge of Municipal Wastewater Treatment Plant and Pistachio Hull Waste. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 24: 172-183 (Translated in Persian).
- Melo B.A., Lopes Motta F., and Santana M.H.A. 2015. Humic Acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Materials Science and Engineering C*, 62: 967-974. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>
- Mikiashvili N., Elisashvili V., Wasser S., and Nevo E. 2005. Carbon and nitrogen sources influence the ligninolytic enzyme activity of *Trametes versicolor*. *Biotechnology Letters*, 27: 955-959. <https://doi.org/10.1007/s10529-005-7662-x>
- Omidi J., Hatamzadeh A., and Mahboub Khomami A. 2020. Use of Peanut Shell Compost in Growth Media and Its Effect on the Physical and Chemical Properties of Soil. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 2: 292-308. <https://dx.doi.org/10.22092/ijsr.2020.122640>
- Onwosi C.O., Igboke V.C., Odimba J.N., Eke I.E., Nwankwoala M.O., Iroh I.N., and Ezeogu L.I. 2017. Composting technology in waste stabilization: on the methods, challenges and future prospects. *Journal of Environmental Management*, 190: 140-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.051>.
- Oyewusi T., Osunbitan J., Ogunwande G., and Omotosho O. 2021. Investigation into physico-chemical properties of compost extract as affected by processing parameters. *Environmental Challenges*, 5: 100370. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100370>
- Partanen P., Hultman J., Paulin L., Auvinen P., and Romantschuk M. 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting process. *BMC Microbiology*, 10(1): 94. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2180-10-94>
- Pramanik P., Ghosh G., Ghosal P., and Banik P. 2007. Changes in Organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology*, 98: 13. 2485-2494. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.017>
- Qing L., Qigen D., Jian H., Hongjun W., and Jingdu C. 2022. Profiles of tetracycline resistance genes in paddy soils with three different organic fertilizer applications. *Environmental Pollution*, 119368. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119368>
- Reisi Z., Tadayyon M.R., and Fallah S. 2015. Effects of Chemical and Organic Fertilizers on Some of Growth and Quality Indices of Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.). *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*, 40:16-28. (Translated in Persian)
- Reyes-torres M., Oviedo-ocana E.R., Dominguez I., Komilis D., and Sanchez A., 2018. A systematic review on the composting of green waste: feedstock quality and optimization strategies A systematic review on the composting of green waste: feedstock quality and optimization strategies. *Waste Management*, 77: 486-499. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.037>.
- Sankaran R., Cruz R., Pakalapati H., Show P., Ling T., Chen W., and Tao Y. 2020. Recent advances in the pretreatment of microalgal and lignocellulosic biomass: a comprehensive review. *Bioresource Technology*, 298: 122476. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122476>
- Sarsaiya S., Jain A., Awasthi S., Duan Y., Awasthi M., and Shi J. 2019. Microbial dynamics for lignocellulosic waste bioconversion and its importance with modern circular economy, challenges and future perspectives. *Bioresource Technology*, 291:121905. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121905>
- Senesi N., and Plaza C. 2007. Role of humification processes in recycling organic wastes of various nature and sources as organic amendments. *Clean*, 35 (1): 26-41. <https://doi.org/10.1002/clen.200600018>.
- Shen D.S., Yang Y.Q., Huang H.L., Hu L.F., and Long Y.Y. 2015. Water state changes during the composting of kitchen waste. *Waste Management*, 38: 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.011>
- Shi Y., Liu X., Zhang Q., and Li Y. 2022. Contrasting effects of biochar- and organic fertilizer-amendment on community compositions of nitrifiers and denitrifiers in a wheat-maize rotation system. *Applied Soil Ecology*, 171: 104320. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104320>
- Shuokr Q.A., Imad A.O., and Jwan S.M., 2018. Design and study for composting process site. *International Journal of Science and Engineering Invention*, 7 (9): 9-18.

- Silva G.G.D., Couturier M., Berrin J.G., Buleon A., and Rouau X., 2012. Effects of grinding processes on enzymatic degradation of wheat straw. *Bioresource Technology*, 103 (1): 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.073>.
- Stevenson F.J. 1994. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. Wiley, New York.
- Tcheguani S., Koriko M., Koledzi E., Bodjona M., Kili K., Tchabedji G., Baba G., and Hafidi M. 2013. Physicochemical characterization of organic matter during co-composting of shea-nut cake with goat manure. *African Journal of Biotechnology*, 12: 3466-3471. DOI: 10.5897/AJB12.2192.
- Wang K., He C., You S., Liu W., Wang W., Zhang R., Qi H., and Ren N. 2015. Transformation of organic matters in animal wastes during composting. *Journal of Hazardous Materials*, 300:745-53. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.016>
- Wei Y., Wu D., Wei D., Zhao Y., Wu J., Xie X., Zhang R., and Wei Z. 2019. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. *Bioresource Technology*, 271: 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.081>
- Wong J.W.C., Wang X., and Selvam A. 2017. Improving compost quality by controlling nitrogen loss during composting. In: Wong, J.W.C., Tyagi, R.D., Pandey, A. (Eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*, Elsevier, pp: 59-82.
- Wu D., Wei Z., AhmedMohamed T., Zheng G., Qu F., Wang F., Zhao Y., and So C. 2022. Lignocellulose biomass bioconversion during composting: Mechanism of action of lignocellulase, pretreatment methods and future perspectives. *Chemosphere*, 286: 131635. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131635>.
- Xie G.X., Kong X.L., Kang J.L., Su N., Luo G.W., and Fei J.C. 2021. Community-level dormancy potential regulates bacterial beta-diversity succession during the co-composting of manure and crop residues. *Science of the Total Environment*, 772: 145506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145506>
- Xu Y., Gao Y., Tan L., Wang Q., Li Q., Wei X., Liu F., Li Y., and Zheng X. 2022. Exploration of bacterial communities in products after composting rural wastes with different components: Core microbiome and potential pathogenicity. *Environmental Technology and Innovation*, 25: 102222. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102222>
- Zhang L., and Sun X. 2017. Addition of fish pond sediment and rock phosphate enhances the composting of green waste. *Bioresource Technology*, 233: 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.02.073>
- Zhang L., Jia Y., Zhang X., Feng X., Wu J., Wang L., and Chen G. 2016. Wheat straw: an inefficient substrate for rapid natural lignocellulosic composting. *Bioresource Technology*, 209: 402-406. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.004>.
- Zhang L., Sun X.Y., Tian Y., and Gong X.Q. 2013. Effects of brown sugar and calcium superphosphate on the secondary fermentation of green waste. *Bioresource Technology*, 131: 68-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.059>
- Zhang X., Zhong Y., Yang S., Zhang W., Xu M., Ma A., Zhuang G., Chen G., and Liu W. 2014. Diversity and dynamics of the microbial community on decomposing wheat straw during mushroom compost production. *Bioresource Technology*, 170: 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.07.093>.
- Zhao Y., Lu Q., Wei Y., Cui H., Zhang X., Wang X., Shan S., and Wei Z. 2016. Effect of actinobacteria agent inoculation methods on cellulose degradation during composting based on redundancy analysis. *Bioresource Technology*, 219: 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.117>
- Zhao Y., Zhao Y., Zhang Z., Wei Y., Wang H., Lu Q., Li Y., and Wei Z. 2017. Effect of thermo-tolerant actinomycetes inoculation on cellulose degradation and the formation of humic substances during composting. *Waste Management*, 68: 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.022>
- Zhou Z., Ju X., Chen J., Wang R., Zhong Y., and Li L. 2021. Charge-oriented strategies of tunable substrate affinity based on cellulase and biomass for improving in situ saccharification: a review. *Bioresource Technology*, 319:124159. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124159>
- Zhu N. 2007. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*, 98:9-13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.12.003>

Effect of Compost Enrichment with Urea and *Streptomyces* on Physicochemical Factors of Compost

Elham Sadeghi¹, Reza Ghorbani Nasrabadi^{2*}, Seyed Alireza Movahedi Naini³, Mojtaba Barani Motlagh⁴, Mostafa Khoshhal Sarmast⁵

(Received: June, 2022

Accepted: November, 2022)

Abstract

Nitrogen addition, particle size, and microbial treatment are important factors in mature compost production. Therefore, this study aimed to investigate some physical and chemical parameters and nutrient content in wheat straw compost enriched with urea and *Streptomyces*. The incubation experiment was performed in a time-based, completely randomized design. To evaluate the effect of compost enrichment with *Streptomyces* and urea on available micronutrient elements, humification index of compost (E4/E6 ratio), pH, EC, C/N, temperature, Changes in moisture, and ash weight the following treatments (1) wheat residue size at three levels (R0 (<1), R1 (1-2) and R2 (2-4 cm)), (2) three levels of *Streptomyces* inoculation (S0 (0), S1 (0.5) and S2 (5%)), and (3) three levels of urea (U0 (0), U1 (8.05) and U2 (16.1 g kg⁻¹)) with three replications were applied. The parameters were measured at different times during 90 days of incubation. A rapid increase in temperature in enriched compost with urea and *Streptomyces* treatment occurred in a shorter time than the control treatment. The pH value in all treatments decreased during the first 20 days of incubation and then increased. The C: N ratio significantly decreased due to the composting process. The humification index also reduced in the treated and control composts after 90 days of incubation. In general, the enrichment of compost with urea or *Streptomyces* showed increased nutrient values. However, the compost treated with *Streptomyces* and urea exhibited the highest values of nutrients compared to others. Our results showed that co-application of our isolate and urea can be used in composting process and improve soil properties better than non-treated compost. However, large-scale composting to prove the potentiality of the treatment in enhancement of compost quality is necessary.

Keywords: Compost, C/N, E4/E6, *Streptomyces*, Urea

Elham Sadeghi E., Ghorbani Nasrabadi R., Movahedi Naini S.A.R, Barani Motlagh M., Khoshhal Sarmast M. 2023. Effect of compost enrichment with urea and *Streptomyces* on Physicochemical factors of compost. *Applied soil research*. 11(3):29-46.

1 Ph.D. Student, Department of Soil Science Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2 Assistant Professor, Department of Soil Science Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

3 Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

4 Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

5 Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

* Corresponding Author Email: rgnasr@yahoo.com