

菌剂和辅料对核桃青皮堆肥进程及腐熟度的影响

赵啸林¹, 刘朝斌^{2*}, 耿增超¹, 丁 维¹, 吕银彦¹, 邢莉彬¹, 赵瑞瑞¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:以核桃青皮为主要原料进行好氧堆肥试验,通过添加玉米秸秆、牛粪等不同的辅料,并接种不同的菌剂,共设计 10 组处理,分析不同处理对温度、含水率、pH、EC 值、发芽指数、有机质、C/N、TN、TP 和 TK 等的影响,探究适宜堆肥的条件。结果表明,经过 48 d 的堆肥发酵后,添加菌剂的处理组高温阶段持续时间较长,pH 降至 8.5 以下,EC 值 <4.0 mS/cm,发芽指数超过 85%,已基本符合腐熟标准;此外,有机质的降解速率处理 AB1、A1、AB2 更高,分别为 23.84%、21.85%、21.48%,处理 AB1、AB2 的 T 值更小,C/N 的降幅最大,TN、TP、TK 的增幅也较大。通过隶属函数分析法对各处理进行综合评价,得出处理组 AB1 腐熟程度更高,即在核桃青皮中添加玉米秸秆和牛粪并且添加菌剂 1 后堆肥效率快,养分含量高,更适用于实际生产,实现核桃青皮的资源化利用。

关键词:核桃青皮;堆肥;腐熟度

中图分类号:S723.7

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)02-0153-07

Effects of Bacterial Agents and Excipients on Composting Process and Maturity of Walnut Green Peel

ZHAO Xiao-lin¹, LIU Chao-bin^{2*}, GENG Zeng-chao¹, DING Wei¹, LÜ Yin-yan¹, XING Li-bin¹, ZHAO Rui-rui¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Anaerobic composting experiment was carried out with walnut green peel as the main raw material. By adding different auxiliary materials such as corn stalk and cow dung, and inoculating different bacterial agents, a total of 10 groups of treatments were designed to analyze the effects of different treatments on temperature, moisture content, pH, EC, germination index, organic matter, C/N, total nitrogen, phosphorus, and potassium, etc., to explore suitable composting conditions. The results showed that after 48 days of compost fermentation, the high-temperature stage of the treatment group with the addition of inoculants lasted longer, the pH dropped below 8.5, the EC was less than 4.0 mS/cm, and the germination index exceeded 85%, which met the decomposing standard. In addition, the degradation rate of organic matter was higher in treatment AB1, A1, and AB2, which were 23.84%, 21.85%, and 21.48%, respectively. The T value of AB1 and AB2 was smaller, and the decrease in C/N was the largest. Potassium also increased significantly. The membership function analysis method was used to comprehensively evaluate each treatment, and it was concluded that the treatment group AB1 had a higher degree of composting, that is, adding corn stalk and cow dung to the walnut green husk and adding bacterial agent 1, the composting efficiency was fast, and the nutrient content was high, which was more suitable for practical applications, production, and realize the resource utilization of walnut green peel.

收稿日期:2022-03-02 修回日期:2022-03-29

基金项目:陕西省农业科技创新驱动项目(NYKJ-2021-YL(XN)022);陕西省科技重大专项(2020zdzx03-02-01)。

第一作者:赵啸林。研究方向:资源利用与植物保护。E-mail:1649806732@qq.com

* 通信作者:刘朝斌,博士,副教授。研究方向:核桃栽培育种。E-mail:liuchaobin@126.com

Key words: walnut green peel; composting; maturity

核桃(*Juglans regia* L.)为胡桃科胡桃属落叶乔木,是我国北方主要的经济林栽培树种之一。随着近年来人对其较高的营养物质的追求和保健意识的增强,我国核桃栽培面积和总产量在逐年增加,核桃产量居世界第一^[1]。截至2019年,我国核桃的栽培面积达807.63万hm²,总产量(干果)为468.92万t^[2]。核桃收获后,核桃青皮作为核桃外部一层厚厚的绿色果皮,占有核桃总质量的45%,是常见的农业废弃物之一。在核桃采收期,农户处理核桃青皮的方法同其他农业废弃物的处理方式相似,主要有2种:一是直接用火焚烧,这种方法效率比较低,且不能燃烧彻底,二次处理费时费力,且焚烧会产生大量烟气,污染环境,对生态环境造成严重破坏;二是随意堆放或就地掩埋,影响生态平衡^[3]。如何来消耗核桃青皮,已成为现阶段亟须解决的首要问题。

我国作为核桃生产的大国,将核桃青皮这种农业废弃物通过绿色、环保、经济的方式“变废为宝”迫在眉睫。对于核桃青皮有效成分的研究已经有了不少成果,主要集中在核桃青皮中含有的抑菌、杀虫、除草以及抗病毒等物质^[4-6],而有关核桃青皮整体处理的研究和技术仍较少,综合应用及农业资源开发前景相关的研究还有不足^[7]。如何有效地开发利用核桃青皮资源,成为解决广大农村资源问题、促进农村经济发展的重要环节。有效地将核桃生产过程中产生的核桃青皮进行加工利用,采用堆肥的方式制

备出有机肥,并通过施肥重新回归到农田系统中,实现核桃青皮的“变废为宝”。这种对于核桃青皮的无公害化处理,既能保障生产安全,又能防止产生再次污染,这对推进核桃产业链的现代化建设、提高农业废弃物资源化利用率都具有深远意义。

由于核桃青皮中含有酚类、黄酮类、香豆素、萜类、甾类和有机酸等多种次生代谢物质,对微生物的生长繁殖具有一定的抑制作用^[8-9],不利于堆肥过程中微生物的生长和堆肥腐熟,且经过堆肥处理后,这些物质对作物生长的影响也尚不明确。本研究选择以核桃青皮为主要原料,混合以不同的辅料并接种不同的菌剂,分别进行堆肥处理,对比理化性质及腐熟度,探究核桃青皮有机肥的性能,探索解决高效处理核桃青皮的新途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验在西北农林科技大学博览园停车场大棚内进行。试验所用的主要原材料是废弃的核桃青皮,来自陇县核桃试验示范基地;玉米秸秆购于附近农村;牛粪为成年奶牛混合粪便;菌剂由西北农林科技大学资环学院微生物实验室李晓明老师提供,菌剂1为以枯草芽孢杆菌为主的细菌复合体的液体菌剂,菌剂2为以枯草芽孢杆菌为主的细菌复合体的固体菌剂。各原料理化性质见表1。

表1 堆肥材料的理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of composting materials

原料	TC/(g·kg ⁻¹)	TN/(g·kg ⁻¹)	C/N	含水率(%)
核桃青皮	349.72±0.86	12.87±0.14	27.11±0.25	88.1±1.98
玉米秸秆	391.34±0.74	7.21±0.09	54.28±0.69	9.32±0.85
牛粪	324.65±0.82	17.98±0.21	18.06±0.22	12.51±1.06

1.2 试验设计

将核桃青皮挤压粉碎至2cm×2cm以下,并自然晾晒3d。之后在原料中添加按一定干重比分别玉米秸秆、牛粪等作为辅料,添加尿素调节初始C/N至约25:1;调节含水率至约65%。在堆肥底料中,将2种形态的菌剂分别按照1%(w/w)添加,其中,接种的菌剂1为以枯草芽孢杆菌为主的细菌复合体的液体菌剂,菌剂2为以枯草芽孢杆菌为主的细菌复合体的固体菌剂,按照固体菌剂:红糖:水=1:3:10的比例配制。

将底物充分混合好后装入底部铺有2cm厚秸秆打孔泡沫箱中,每箱装15kg,泡沫箱长×宽×高=0.60m×0.45m×0.50m。在箱子外部铺隔

热塑料膜,确保堆肥时的箱内温度。堆肥开始后,统一采用人工翻堆和定时补水,高温期每隔3d翻堆1次,降温后每隔6d翻堆1次,保证通气量和含水率。整个堆肥过程进行共48d。具体试验处理见表2。

1.3 采样与测定

1.3.1 样品采集与保存 堆肥过程中取样时间为第0、3、6、12、18、24、30、36、42、48天,采用先取样后翻堆的方式,采样位置为堆体的上、中、下部各5个点,每点采样约40g,混合均匀后采用四分法取样。将一部分新鲜样品用于发芽试验等生物学性质以及其他理化指标的分析,另一部分样品置于阴凉处风干,过1mm筛贮存备用。

1.3.2 测定方法 温度测定:堆肥过程中每日9:00

和 16:00 测量并记录堆体温度,分别测量堆体上中下部的温度并取平均;每日 9:00 和 16:00 测量室温,取平均值作为每日室温。

含水率测定:将新鲜样品置于铝盒中,在 105 ℃ 下烘干至恒重,之后计算得含水率。

表 2 核桃青皮堆肥试验设计

Table 2 The experimental design of walnut green peel composting

处理组	堆肥材料	配比	菌剂
CK	核桃青皮	1	/
A0	核桃青皮+玉米秸秆	5:1	/
A1	核桃青皮+玉米秸秆	5:1	菌剂 1
A2	核桃青皮+玉米秸秆	5:1	菌剂 2
B0	核桃青皮+牛粪	5:1	/
B1	核桃青皮+牛粪	5:1	菌剂 1
B2	核桃青皮+牛粪	5:1	菌剂 2
AB0	核桃青皮+玉米秸秆+牛粪	5:0.5:0.5	/
AB1	核桃青皮+玉米秸秆+牛粪	5:0.5:0.5	菌剂 1
AB2	核桃青皮+玉米秸秆+牛粪	5:0.5:0.5	菌剂 2

pH、EC 值测定:取新鲜样品 10.00 g,按照水样比($v:w$)=10:1 在 200 r/min 的转速下振荡 1 h,静置 30 min 后,分别用 pH 酸度计、电导率仪测定^[10]。

发芽指数测定:取新鲜样品 10.00 g,按照水样比($v:w$)=10:1 在 200 r/min 的转速下振荡 1 h,静置 30 min 后滤出上清液,在 9 cm 培养皿中放置 1 张滤纸,均匀放入 10 粒小白菜种子,之后加入 10 mL 滤液,在培养箱中 25 ℃ 避光培养 48 h。测量种子根长及发芽率,计算发芽指数。

有机质、TN、TP、TK 测定:有机质含量参照有机肥料行业标准,采用重铬酸钾容量法测定;将风干后的样品进行研磨,过 1 mm 筛,称取样品 0.1~0.2 g(精确至 0.000 1 g),加入硫酸和过氧化氢消煮后,定容至 100 mL 并过滤。TN 含量采用凯氏全自动定氮仪测定;TP 含量采用钒钼黄比色分光光度法测定;TK 含量用火焰光度法测定^[11]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2019、SPSS 20.0、OriginPro 2021b 对数据进行初步分析以及图表制作;采用模糊数学隶属函数法对各堆肥处理腐熟程度进行综合评价。

隶属函数的计算公式与指标和腐熟度的关系有关:

若呈正相关关系,则 $U_{ij} = (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$;

若呈负相关关系,则 $U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min})$ 。

式中: U_{ij} 为第 j 处理的第 i 个指标的隶属函数值, X_{ij} 为第 j 处理的第 i 个指标的实际测定值; $X_{i\min}$ 和 $X_{i\max}$ 分别代表所有处理中第 i 指标的最大值与最小值。之后计算所有指标的平均隶属函数值,数值越大证明综合评价越高。

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度的变化过程

试验结果如图 1 所示。在堆肥过程中,堆体温度呈现先上升后下降再趋于平稳的整体变化趋势,符合好氧堆肥的一般变化规律。除未添加辅料与菌剂的 CK 外,各处理均在前 2 d 的温度迅速上升至 45 ℃ 以上,进入堆肥高温阶段;而在添加菌剂的几组处理中,A1、A2、B1、AB1、AB2 均维持在高温阶段 10 d 以上,且最高温度 $A1 > A2 > AB1 > AB2 > B1 > B2$,其中,辅料中添加秸秆的处理组温度上升速度更快,处理组 A1 达到了最高温度 61.3 ℃,主要原因可能是辅料只添加秸秆的处理组 A1、A2,孔隙度较其他处理孔隙度较大,在同等初始 C/N 下,氧气含量更为充足,微生物活动最为活跃,发酵速率更快。

添加菌剂的几组处理 A1、A2、B1、B2、AB1、AB2 温度变化趋势基本一致,而使用菌剂 1 的处理 A1、B1、AB1 相较使用菌剂 2 的处理 A2、B2、AB2,高温阶段维持的温度更高。在第 14 天后,温度逐渐降至室温,并在第 23 天进入低温腐熟阶段,温度均控制在 15 ℃ 以上,保持微生物类群的活性,有利于有机肥的进一步腐熟^[12]。而未添加菌剂的几组处理 CK、A0、B0、AB0,降温阶段提前 3~4 d,高温阶段持续时间不足,未满足腐熟的要求。至堆肥结束,各组处理的最终温度无明显差异。综合得出,秸秆的添加有利于最高温度的提升,而添加菌剂能有效延长高温阶段的维持时间。

2.2 堆肥过程中含水率的变化

含水率主要影响堆肥过程中的微生物活性、氧气吸收速率、温度和孔隙率水平,是影响堆肥是否腐熟的重要指标^[13]。堆肥开始时,各处理的初始含水率均控制在 65%。在整个堆肥过程中,由于覆膜及适当的补水措施,含水率呈平稳下降趋势,这是由微生物活动产生热量导致水分蒸发所致。堆肥结束时,添加菌剂的处理组 A1、A2、B1、B2、AB1、AB2 含水率下降约 22%,未添加菌剂的处理组含水率 CK、A0、B0、AB0 下降约 35%。

此外,由表 3 可知,同种菌剂下的几组处理 A1、B1、AB1 无显著差异,A2、B2、AB2 无显著差异;未加菌剂的几组处理 CK、A0、B0、AB0 及不同菌剂之间均存在显著性差异,因此推断菌剂是否添加及添

加的种类对于最终含水率有着明显影响。

表 3 各处理含水率

Table 3 Moisture content of each treatment

处理组	最终含水率(%)
CK	28.61±0.12 (f)
A0	37.46±0.26 (c)
A1	43.65±0.51 (a)
A2	42.68±0.47 (b)
B0	31.29±0.46 (d)
B1	43.74±0.50 (a)
B2	42.56±0.39 (b)
AB0	30.16±0.10 (e)
AB1	43.73±0.28 (a)
AB2	42.36±0.42 (b)

2.3 堆肥过程中 pH 的变化过程

在堆肥过程中, pH 通过影响微生物的生长繁殖活动, 从而影响堆肥的效果。一般来说, 初始 pH 受到堆肥原料的影响有着较大的差异, 在 pH 5~12 都是能够进行堆肥发酵的。由图 2 可知, 本试验堆肥开始时, 各处理的 pH 均在 6.5~8.0, 之后各处理的变化趋势也基本相同, 都呈现出先上升后下降的趋势, 且终点 pH 均高于初始 pH^[14]。在堆肥开始后, pH 迅速上升, 这是由于堆肥初期微生物的活动旺盛, 由于有机酸及蛋白质等物质的分解释放, 在氨化作用下, pH 逐渐上升, 添加菌剂的处理组 A1、A2、B1、B2、AB1、AB2 均在第 12 天达到最大值, pH 分别为 9.58、9.56、9.77、9.66、9.71、9.65, 未添加菌剂的处理组 CK、A0、B0、AB0 最大值出现较晚, pH 分别为 10.08、9.96、9.88、9.86, 且均高于添加菌剂的处理组。

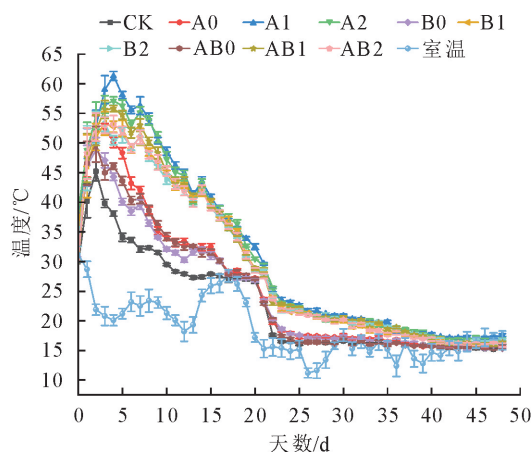


图 1 堆肥过程中各处理温度变化

Fig. 1 Temperature changes of each treatment during the composting process

随着温度与 pH 的变化, 微生物的生长繁殖活动逐渐减弱, 且在氧气较为充足的情况下, 产生的硝化作用也会释放, 之后堆体的 pH 开始降低^[15]。添加菌剂的处理组 A1、A2、B1、B2、AB1、AB2 在堆肥

过程中, pH 均呈碱性, 满足一般微生物的生长所需, 且均在堆肥结束时降至 8.5 以下, 符合农业行业标准《有机肥料》(NY525—2021)的要求 (pH 5.5~8.5); 相较之下, 未添加菌剂的处理组 CK、A0、B0、AB0 的 pH 下降速率较低, 堆肥结束时 pH 9.0 以上, 可能是由于处理组微生物含量较少, 且最大 pH 过高影响了堆肥的正常进行。而不同辅料之间的最终 pH 相差不大。总体而言, 添加菌剂增加了堆肥中微生物的数量, 对于堆肥过程在 pH 的变化有着较大的影响。

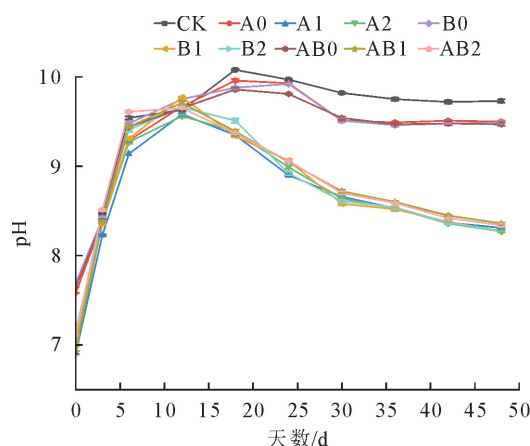


图 2 堆肥过程中各处理 pH 的变化

Fig. 2 Variation of pH of each treatment during composting

2.4 堆肥过程中 EC 值的变化过程

电导率 (EC) 能反映出堆肥浸提液中的可溶性盐含量。EC 值过高, 会对植物产生毒害作用, 因此 EC 值是反应堆肥是否腐熟的重要因素之一^[16]。

由图 3 可知, 在整个堆肥过程中, 未添加菌剂的处理组 CK、A0、B0、AB0 在前期出现先快速下降后的趋势, 这可能是由于前 6 d 温度的快速上升, 氨的快速挥发导致 EC 值下降, 而添加菌剂的处理组 A1、A2、B1、B2、AB1、AB2 的 EC 值在这段时间则微有上升, 且在第 6 天后, 所有的处理组呈现出先快速上升趋势, 推测是由于微生物活动旺盛, 在有机物的降解过程中释放的如磷酸盐、铵离子等矿物盐离子导致了 EC 值的上升。之后在低温腐熟阶段, 随着各种矿物盐离子逐步沉积, EC 值开始平稳下降。一般认为, 堆肥产物的 EC 值 < 4.0 mS/cm 时即在安全范围, 除处理组 B0 外均能满足这一标准, 而使用菌剂 1 的处理组 A2、B2、AB2 在整个堆肥期间 EC 值的最大值分别为 3.92、3.80、3.89 mS/cm, 均 < 4.0 mS/cm, 可见在使用菌剂 1 的处理在堆肥过程中可溶性盐的含量最低, 也更为安全^[17]。

2.5 堆肥过程中发芽指数的变化过程

发芽指数 (GI) 是一种生物学指标, 也是指示堆肥腐熟度最常用的指标之一^[18]。发芽指数能直观

地反映肥料是否具有植物毒性,结果也更加灵敏。当发芽指数 $>50\%$ 时,一般认为堆肥中有机物含量降低到植物可以承受的范围^[19],有机肥基本腐熟,而在实际实验中,如果发芽指数 $\geq 85\%$,则认为堆肥已经完全腐熟。

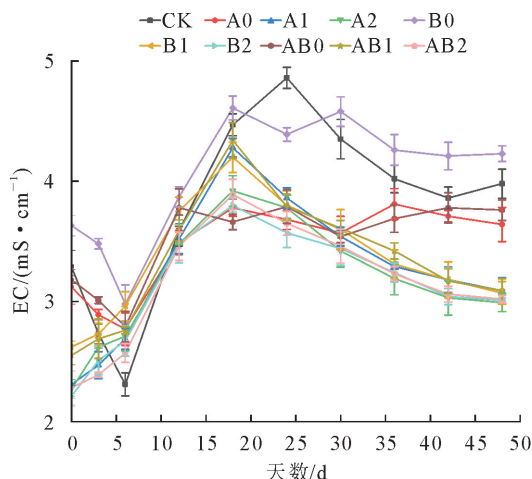


图3 堆肥过程中各处理 EC 值的变化

Fig. 3 Changes in EC values of each treatment during the composting process

由图4可知,在前6d,各处理的GI值均有所下降,推测是由于堆肥初期氨气的产生和低分子有机酸的存在,使得各处理的GI值较低;随着堆肥时间增加,微生物活性更加活跃,堆体中的植物毒性物质挥发与降解的速率也随之加快,此时,添加菌剂的处理组A1、A2、B1、B2、AB1、AB2的GI值迅速上升,并在第12天超过50%,在第12天后,GI值上升速度逐渐变缓,至堆肥结束时,最终的GI值分别为92.65%、90.31%、87.23%、91.56%、89.34%、87.97%,均已达到了完全腐熟的标准;而未添加菌剂的处理组CK、A0、B0、AB0并未出现快速上升的趋势,最终GI值回升到了45.83%、67.31%、64.02%、64.57%,除CK外也仅达到了基本腐熟的标准,而未添加辅料的CK未达到腐熟标准。因此,综上所述,菌剂的添加能有效缩短堆肥发酵的时间,辅料的添加对于核桃青皮有机肥的腐熟也有着非常重要的影响。

2.6 堆肥过程中有机质的变化过程

在堆肥过程中,微生物的生长繁殖活动离不开有机质,有机质为其提供生命所必需的能量与碳源。有机质的含量能通过堆肥过程有机物质的转化速率反应堆肥发酵的速度^[20]。

由图5可知,由于辅料和菌剂的添加各不相同,因此初始有机质有着一定的差异,均在59.57%~62.32%,且有机质含量 $A2 > A1 > AB1 > A0 > AB2 > AB0 > B1 > CK > B2 > B0$ 。随着堆肥开始,

各处理均呈现出下降的趋势,且在堆肥前期有机质的下降速率更快,与微生物的活性有关,前期微生物的生长繁殖活动更为活跃。堆肥结束时,各处理的有机质含量均在46.83%~56.97%,符合农业行业标准《有机肥料》(NY525-2021)的要求(有机质 $\geq 30\%$),其中,有机质的降解速率 $AB1 > A1 > AB2 > B1 > B2 > A2 > AB0 > A0 > B0 > CK$,分别为23.84%、21.85%、21.48%、20.90%、17.39%、16.77%、12.92%、11.55%、10.84%、5.51%,综合分析,添加菌剂能有效提高有机质的降解速率,且菌剂1的处理有机质降解速率优于添加菌剂2的处理;在菌剂相同的条件下,同时添加玉米秸秆和牛粪两种辅料的处理有机质的降幅更大,处理AB1腐熟更加充分。

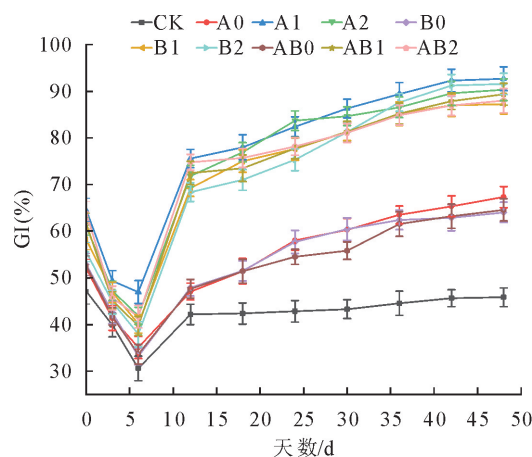


图4 堆肥过程中各处理 GI 值的变化

Fig. 4 Changes in GI values of each treatment during composting

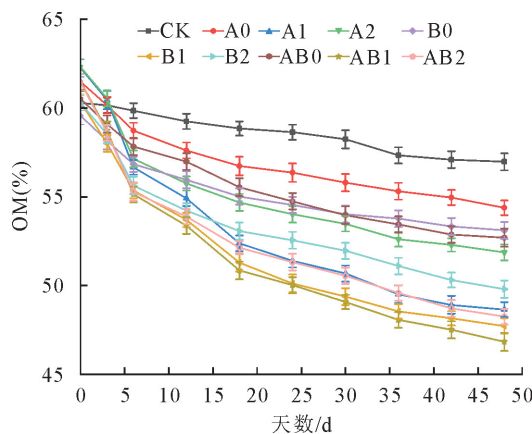


图5 堆肥过程中各处理有机质的变化

Fig. 5 Changes of organic matter in different treatments during composting

2.7 堆肥过程中 C/N 的变化过程

固相的C/N是最常用的堆肥腐熟度评价方法之一,采用 $T值 = (终点 C/N) / (初始 C/N)$ 来评估堆肥的腐熟度,一般认为 $T值 < 0.7$ 可以认为堆肥腐熟完全^[21]。

由图6可知,在堆肥开始前,通过添加尿素将初

始 C/N 控制在 25 : 1, 整个堆肥过程受微生物生长繁殖等影响, 呈现出在前 3 d 先略微上升, 后又逐渐下降的趋势, 推测是由于前 3 d 温度快速升高, N 以氨气的形式释放, 且高于有机质的分解矿化速率^[22]。至堆肥结束时, CK、A0、A1、A2、B0、B1、B2、AB0、AB1、AB2 的 T 值分别为 0.80、0.70、0.62、0.66、0.68、0.60、0.61、0.66、0.57、0.59, 除 CK 外, 其余处理组的 T 值均在 0.5~0.7, 其中同时添加玉米秸秆和牛粪两种辅料的处理 AB1、AB2 的 T 值更小, C/N 的降幅最大, 腐熟也更为完全。此外, 处理组 B1、AB1、AB2 的 C/N 分别为 14.91、14.30、14.71, 均 < 15。一般认为在 C/N < 15 时更适用于农业应用。综上所述, 在添加菌剂的同时添加玉米秸秆和牛粪 2 种辅料可以提升堆肥的质量, 使堆肥的产物更适宜于实际的农业生产活动。

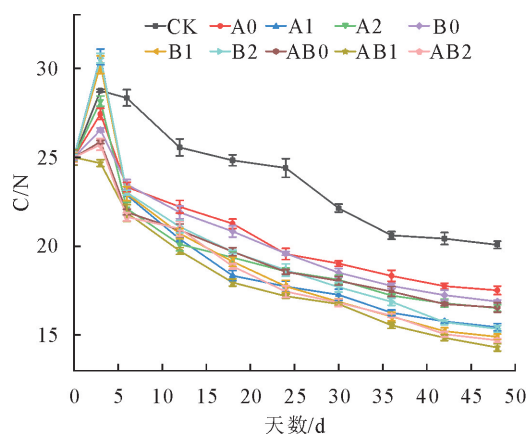


图 6 堆肥过程中各处理 C/N 的变化

Fig. 6 Changes of C/N in each treatment during composting

2.8 堆肥过程中 TN、TP、TK 养分含量的变化过程

N 素是衡量堆肥养分含量的重要指标, 其含量与堆肥的肥力有着正相关关系。堆肥过程中全氮的变化见图 7。在前 3 d, 各处理的总氮(TN)含量都有所下降, 可能是由于温度快速升高, 氨气大量释放造成的; 其中, 添加菌剂和牛粪的处理 B1、B2 下降的最为明显, 推测是因为添加牛粪的处理, 堆体的结构较差, 由于菌剂的添加, 微生物活动强烈, 产生局部厌氧环境, 在厌氧菌的作用下硝态氮还原成氮气, 造成了额外的氮素损失^[23]。之后各处理的 TN 含量开始逐渐上升, 推测一方面是因为“浓缩效应”, 即堆体的含水率、体积等的减小及有机质的逐步降解; 另一方面是由于硝化作用, N 素得到了进一步的固定。至堆肥结束时, 各处理的 TN 含量均有显著提升, TN 含量 AB2 > AB1 > B2 > B1 > AB0 > A1 > B0 > A2 > A0 > CK, AB1、AB2 2 组的 TN 含量要高于其他对照组, 分别为 18.99、19.03 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; TN 含量增幅较大的处理是 B2、AB2、AB1, 增长率为

34.52%、33.08%、33.45%。此外, 辅料只添加玉米秸秆的处理组的 TN 含量相对较低, 推测是由于孔隙度较大, N 素以气体的形式损失更为严重。因此推测辅料同时添加玉米秸秆和牛粪时堆体的结构更为合理, 更有利于微生物的硝化固氮。

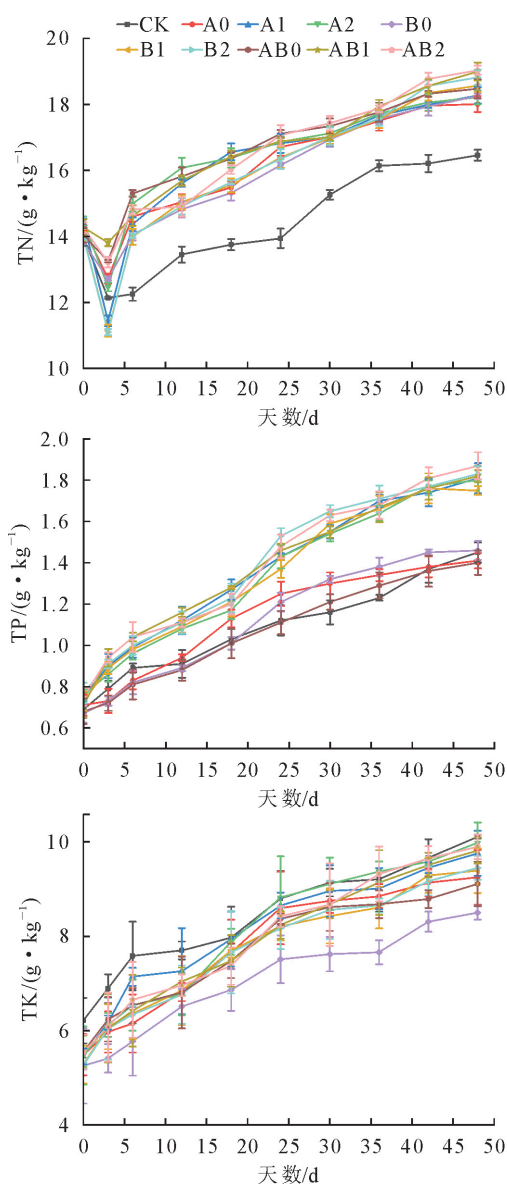


图 7 堆肥过程中各处理 TN、TP、TK 的变化

Fig. 7 Changes of total nitrogen, phosphorus, and potassium in each treatment during composting

由图 7 可知, 在堆肥过程中, P 与 K 是相对稳定的 2 种元素, 因此损失较少, 各处理的 P、K 含量的变化趋势基本相同, 都随着时间缓慢上升, 推测仍是由于有机质的降解以及堆体的体积、质量减小从而引起的浓缩, 使得 P、K 的相对含量上升^[24]。至堆肥结束时, TP 的含量由高到低分别为 AB2、B2、AB1、A1、A2、B1、B0、CK、A0、AB0, 而 AB1、AB2 2 组处理的 P 的增长率要明显高于其他组, 分别提升了 156.34%、149.33%; 而在结束时各处理 TK 的含量均在 8.5~10.1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 由大到小分别为 CK、A2、

AB2、AB1、A1、B2、B1、A0、AB0、B0,由于初始的 TK 含量差异较大,CK 的 TK 含量虽然最多,但增长率相对较少,仅为 62.80%,而除 CK、A0、B0、AB0 外,其余各处理 TK 含量的增长率均在 76.62%以上,处理组 A2 的增幅最大,达到了 82.45%。结果初步表明,在添加菌剂后,能有效促进 P、K 的分解,处理 AB1、AB2 的综合表现更为出色。

2.9 各堆肥处理腐熟程度的隶属函数分析

堆肥的腐熟度需要通过各种指标进行综合性评

价,因此采用隶属函数法,利用堆肥过程中的温度、含水率、pH、EC 值、发芽指数、有机质、TN、TP、TK、C/N 等重要指标,求出用平均隶属函数值,对各堆肥处理腐熟程度进行综合评价^[25]。由表 4 可知,处理 AB1 的均值最高,说明 AB1 的腐熟程度最高,此外,在辅料相同时,添加菌剂 1 的处理腐熟度要高于添加菌剂 2 的;而同时添加玉米秸秆和牛粪的处理比单一添加玉米秸秆或者牛粪的处理腐熟度更高。

表 4 各堆肥处理腐熟程度的隶属函数值

Table 4 Membership function values of composting degree of composting

处理组	温度	含水率(%)	pH	EC	GI	OM	TN	TP	TK	C/N	均值
CK	0.000	1.000	0.000	0.202	0.000	0.000	0.000	0.106	1.000	0.000	0.231
A0	0.460	0.415	0.158	0.476	0.459	0.255	0.603	0.021	0.466	0.444	0.376
A1	1.000	0.006	0.973	0.919	1.000	0.821	0.704	0.872	0.783	0.802	0.788
A2	0.739	0.070	1.000	1.000	0.950	0.503	0.681	0.851	0.919	0.616	0.733
B0	0.224	0.823	0.164	0.000	0.389	0.381	0.696	0.128	0.000	0.554	0.336
B1	0.503	0.000	1.000	0.935	0.884	0.912	0.821	0.745	0.553	0.896	0.725
B2	0.497	0.078	0.993	0.984	0.977	0.707	0.918	0.915	0.590	0.819	0.748
AB0	0.286	0.898	0.178	0.379	0.400	0.421	0.782	0.000	0.379	0.611	0.433
AB1	0.658	0.001	0.938	0.919	0.929	1.000	0.984	0.894	0.820	1.000	0.814
AB2	0.494	0.091	0.952	0.976	0.900	0.860	1.000	1.000	0.870	0.930	0.807

3 结论

通过对不同的核桃青皮的堆肥处理进行对比分析,在利用核桃青皮堆肥时,添加辅料能改善堆肥结构,特别是同时添加玉米秸秆和牛粪的处理组,有机质降解速率更快,总养分含量更高,腐熟更为充分。

只添加辅料的处理中很仍有很多指标未能达到腐熟的要求。而在添加辅料的同时使用菌剂,升温速度更快,高温阶段持续时间更长,含水率更低,pH、EC、发芽指数等更符合标准。因此,在核桃青皮堆肥的时添加辅料与菌剂能有效提高堆肥腐熟的效率,有利于核桃青皮这类废弃物的循环再利用。在各处理中,处理 AB1 综合评价更为优秀,腐熟更为完全,更适宜利用在实际生产中。

参考文献:

[1] 李忠新,杨莉玲,阿布力孜·巴斯提,等.中国核桃产业发展研究[J].中国农机化学报,2013(4):23-28.
LI Z X,YANG L L,BASITI A,et al. Research on the development of walnut industry in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2013(4):23-28. (in Chinese)

[2] 国家林业和草业局.中国林业统计年鉴(2019)[M].北京:中国林业出版社,2020:41-42.

[3] 汪筱琳,郭丹.我国农业废弃物资源化处理现状及问题分析[J].河北农机,2021(9):167-168.

[4] AL N S M E. Influence of environmental factors on antioxidant activity,phenol and flavonoids contents of walnut (*Juglans regia* L.) green husks [J]. Journal of Medicinal Plant Research,

2011,5(7):1128-1133.

[5] TABARAKI R, RASTGOO S. Comparison between conventional and ultrasound-assisted extractions of natural antioxidants from walnut green husk [J]. Korean Journal of Chemical Engineering,2014,31(4):676-683.

[6] THAKUR A. Juglone: a therapeutic phytochemical from *Juglans regia* L. [J]. Journal of Medicinal Plant Research,2011,5(22):5324-5330.

[7] 图尔贡江·伊力亚则,孙宇,倪慧,等.核桃青皮的研究进展[J].中国现代中药,2015,17(1):77-81.
TU ER GONG JIANG · Y,SUN Y,NI H,et al. Research progress of walnut green husk[J]. Modern Chinese Medicine, 2015,17(1):77-81. (in Chinese)

[8] 李文菁.核桃青皮提取物抑菌活性及抑菌机理研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021:18-52.

[9] 翟梅枝,问小强,刘枫,等.核桃属植物内生真菌的分离及其抑菌活性研究[J].西北林学院学报,2009,24(3):144-147.
ZHAI M Z,WEN X Q,LIU F,et al. Isolation of endophytic fungi from walnut and their antifungal activities[J]. Journal of Northwest Forestry University,2009,24(3):144-147. (in Chinese)

[10] YANG Y,LI N,SUN Q P,et al. Research on vegetable waste aeration oxygen-Supply compost and its ammonia volatilization [J]. Advanced Materials Research,2014,3248(955-959): 2845-2850.

[11] NY/T 525—2021,有机肥料[S].

[12] MACGREGOR S T, MILLER F C, PSARIANS K M, et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature[J]. Applied & Environmental Microbiology,1981,41(6):1321-1330.

- grazing methods on the composition and structure of plant functional groups in grassland community[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(1): 77-86.
- [25] 刘虎. 武威市古浪县退耕还林还草效益评价与补偿政策研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [26] 邓晨晖, 白红英, 高山, 等. 秦岭植被覆盖时空变化及其对气候变化与人类活动的双重响应[J]. 自然资源学报, 2018, 33(3): 425-438.
- DENG C H, BAI H Y, GAO S, *et al.* Spatial-temporal variation of the vegetation coverage in qinling mountains and its dual response to climate change and human activities[J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(3): 425-438. (in Chinese)
- [27] 孙泽兴, 李汶怡, 刘嘉敏, 等. 陕西省生态恢复综合效益评估[J]. 生态学报, 2022, 42(7): 2718-2729.
- SUN Z X, LI W Y, LIU J M, *et al.* Evaluation of comprehensive benefit for ecological restoration in Shaanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(7): 2718-2729. (in Chinese)
- [28] 薛亚永. 植被恢复对我国北方农牧交错带水分利用效率的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [29] 姜丽霞, 田赞, 刘新月, 等. 不同放牧方式对草地群落植物功能群组成和结构的影响[J]. 北京林业大学学报, 2022, 44(1): 77-86.
- JIANG L X, TIAN Y, LIU X Y, *et al.* Effects of different grazing methods on the composition and structure of plant functional groups in grassland community[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(1): 77-86. (in Chinese)
-
- (上接第 159 页)
- [13] 刘卫, 袁兴中, 欧阳建新, 等. 利用污泥熟肥作为高含水率污泥堆肥调理剂[J]. 环境工程学报, 2013, 7(6): 2349-2354.
- [14] 刘超, 王若斐, 操一凡, 等. 不同碳氮比下牛粪高温堆肥腐熟进程研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 662-668.
- LIU C, WANG R F, CAO Y F, *et al.* Fermentation process under high temperature composting of cow manure with different C/N values[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(3): 662-668. (in Chinese)
- [15] 周江明, 王利通, 徐庆华, 等. 适宜猪粪与菌渣配比提高堆肥效率[J]. 农业工程学报, 2015, 31(7): 201-207.
- ZHOU J M, WANG L T, XU Q H, *et al.* Optimum ratio of pig manure to edible fungi residue improving quality of organic fertilizer by composting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(7): 201-207. (in Chinese)
- [16] 陈云峰, 丁鲁平, 徐金刚, 等. 添加碳酸盐岩对好氧堆肥发酵过程、养分和腐熟度的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021, (4): 301-307.
- CHEN Y F, DING L P, XU J G, *et al.* Effects of carbonatite addition on aerobic composting process, nutrients and maturity[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021, (4): 301-307. (in Chinese)
- [17] 段曼莉, 鄢入洋, 周蓓蓓, 等. 去电子水对牛粪秸秆好氧堆肥进程及细菌群落的影响[J]. 环境科学学报, 2022, 42(2): 249-257.
- [18] 汤江武, 朱利中. 不同堆肥条件对种子发芽指数影响的研究[J]. 浙江农业科学, 2008(5): 583-586.
- [19] ZUCCONI F, FORTE M, MONACO A, *et al.* Biological evaluation of compost maturity[J]. Biocycle, 1982, 22(4): 27-29.
- [20] 顾文杰, 张发宝, 徐培智, 等. 复合微生物菌剂对市政污泥堆肥中有机物质的影响[J]. 广东农业科学, 2011, 38(12): 71-74.
- GU W J, ZHANG F B, XU P Z, *et al.* Effects of organic matters during composting of paper mill sludge[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2011, 38(12): 71-74. (in Chinese)
- [21] HUE N V, LIU J. Predicting compost stability[J]. Compost Science and Utilization, 1995, 3(2): 8-15.
- [22] GODWIN C M, WHITAKER E A, COTNER J B. Growth rate and resource imbalance interactively control biomass stoichiometry and elemental quotas of aquatic bacteria[J]. Ecology, 2017, 98(3): 820-829.
- [23] 李冰, 王昌全, 江连强, 等. 有机辅料对猪粪堆肥中氨气挥发的抑制效应及其影响因素分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 987-993.
- [24] 卢秉林, 王文丽, 李娟, 等. 添加小麦秸秆对猪粪高温堆肥腐熟进程的影响[J]. 环境工程学报, 2010, 4(4): 926-930.
- [25] 许桂芳, 张朝阳, 向佐湘. 利用隶属函数法对 4 种珍珠菜属植物的抗寒性综合评价[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(3): 24-26.
- XU G F, ZHANG Z Y, XIANG Z X. Comprehensive evaluation of cold resistance on four *Lysimachia* plants by subordinate function values analysis[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(3): 24-26. (in Chinese)