基于微生物发酵的废弃菜叶无害化处理及腐熟安全性评价

李瑞琴[1,2,3]，徐 瑞[1,2,3]，于安芬[1,2,3]，白 滨[1,2,3]，丁文姣[1,2,3]

(1. 甘肃省农业科学院 农业质量标准与检测技术研究所，甘肃 兰州 730070；2. 甘肃省农业科学院畜草与绿色农业研究所，甘肃 兰州 730070；3. 农业部农产品质量安全风险评估实验室(兰州)，甘肃 兰州 730070)

摘 要：[目的] 探讨添加微生物菌剂的废弃菜叶无害化处理及腐熟安全性，解决发酵过程中污染环境、提高发酵堆体孔隙度、通气量、温度上升慢等问题。[方法] 以废弃菜叶为原料，以玉米秸秆、牛粪等为辅料，采用调控发酵原料的碳氮比、微生物菌剂种类、发酵堆体的水分及温度等方法。[结果] 优化了废弃菜叶微生物发酵原料的最佳配比：废弃菜叶、玉米秸秆、牛粪、发酵菌剂的重量比 100∶4∶2∶0.25；建立了一套废弃菜叶微生物发酵腐熟度指标评价体系，即发酵堆体温度≥50 ℃，持续 3～5 d，pH 值小于等于 8.0，电导率小于等于 2.0 mS/cm，E_4/E_6 比小于等于 2.5，C/N 比小于 20，发芽指数 GI 大于 80；发酵产物的全氮、有机质、碱解氮、速效钾等养分及安全限量指标均符合行业标准。[结论] 废弃菜叶微生物发酵终产物的 pH 值、电导率、E_4/E_6 值、C/N 值、GI 等理化指标和生物指标均符合腐熟度指标，并达到蔬菜栽培基质的肥力及安全限量指标要求。

关键词：废弃菜叶；微生物发酵；原料配比；发酵条件调控；腐熟度评价指标

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2019)03-0163-07 **中图分类号**：Q938.1+1

文献参数：李瑞琴，徐瑞，于安芬，等. 基于微生物发酵的废弃菜叶无害化处理及腐熟安全性评价[J]. 水土保持通报，2019，39(3)：163-169. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.03.027；Li Ruiqin，Xu Rui，Yu Anfen，et al. Harmless treatment and composting safety evaluation of discarded cabbage based on microbial fermentation[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(3)：163-169.

Harmless Treatment and Composting Safety Evaluation of Discarded Cabbage Based on Microbial Fermentation

Li Ruiqin[1,2,3], Xu Rui[1,2,3], Yu Anfen[1,2,3], Bai Bin[1,2,3], Ding Wenjiao[1,2,3]

〔1. *Agricultural Quality Standards and Testing Technology Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 2. *Animal Husbandy, Pasture and Green Agricultural Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*; 3. *Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products(Lanzhou), Ministry of Agriculture, Lanzhou, Gansu* 730070, *China*〕

Abstract: [Objective] This study aims at discussing the harmlessness treatment and maturity safety of waste vegetable leaves with microbial agent, in order to solve the problems of environmental pollution during fermentation, and improve the porosity, ventilation and temperature of fermentation reactor. [Methods] Waste vegetable leaves were used as raw materials, corn straw and cow dung were used as auxiliary materials, and methods such as adjusting the carbon-nitrogen ratio of fermentation raw materials, types of microbial inoculum, moisture and temperature of fermentation stack were adopted. [Results] The optimal ratio of microbial fermentation raw materials for waste vegetable leaves was optimized, and the weight ratio of waste vegetable leaves, corn stalks, cow dung and fermenting agent was 100∶4∶2∶0.25. A set of evaluation

收稿日期：2018-05-24 **修回日期**：2018-11-12

资助项目：国家农产品质量安全风险评估项目“特色农产品百合质量安全风险评估”(GJFP2018-2019)；甘肃省科技重大专项(1102NKDJ031)；财政部国家社会公益项目绿色农业科学研究示范项目(2007-04)。

第一作者：李瑞琴(1969—)，女(汉族)，甘肃省庆阳市人，博士，副研究员，主要从事农业废弃资源综合利用、农业环境及农产品质量安全研究。E-mail：liruiqin_524@163.com。

通讯作者：于安芬(1965—)，女(汉族)，甘肃省静宁县人，本科，研究员，主要从事农产品质量安全风险评估工作。E-mail：gsyuanfen@126.com。

system for microbial fermentation maturity index of waste vegetable leaves was established. The temperature of the fermentation reactor was≥50 ℃, lasts for 3～5 days, pH value was ≤ 8.0, conductivity was ≥ 2.0 mS/cm, E_4/E_6 ratio was ≤2.5, C/N ratio was < 20, and germination index GI was >80. The nutrients and safety limit indexes of total nitrogen, organic matter, alkali nitrogen and available potassium of the fermentation products were in line with industry standards. [Conclusion] The pH value, electrical conductivity, E_4/E_6, C/N, GI and other physicochemical and biological indicators of the product of microbial fermentation in the waste cabbage leaves all meet the requirements of the fertility and safety limits of vegetable cultivation matrix.

Keywords: waste leaves; microbial fermentation; ratio of raw materials; regulation of fermentation conditions; maturity evaluation index.

据联合国粮食及农业组织统计数据(FAOSTAT),中国 2016 年蔬菜产量达到 5.43×10^8 t,占世界总产量的 50.52%。由于蔬菜易损耗且易腐烂,在蔬菜收获、贮藏、加工和运输过程中易损耗成为废弃物,蔬菜废弃物产生量占蔬菜质量的 30%以上。这些废弃菜叶腐烂后,约 70%的成分会产生大量的渗滤液,成为污水污染水源,散发的臭气不仅污染大气,更影响人们的生活质量。同时,蔬菜废弃物含有丰富的有机质和 N,P,K 等多种营养元素,经过无害化处理和资源化开发利用,可变废为宝,有利于保持环境[1-3]。中国近几年针对蔬菜废弃物资源化利用的研究,主要集中在肥料化利用、饲料化利用、能源化利用、栽培基质再利用等方面[4-9]。席旭东等[10]以蔬菜废弃物为原料,对蔬菜废弃物不同的厌氧好氧、地上地下等堆肥方法进行研究,结果表明地上好氧处理的微生物腐解能力最强,操作简单,是处理蔬菜废弃物的最佳堆制方法[11]。但是,在生产实际中,废弃菜叶由于含水量高,单一的蔬菜废弃物在好氧发酵时,容易产生大量污水,污染环境并造成堆体塌陷、物料粘连,容易形成厌氧状态。因此,本研究拟在室内外预试验的基础上,在废弃菜叶发酵原料中添加了具膨松性的富含有机质的农作物秸秆、牛粪、蛭石等辅料,用来调节发酵堆体的含水量、孔隙度和碳氮比(C/N)等,研究确定发酵原料配方、比例及发酵堆体的建立方式,建立废弃菜叶发酵腐熟度指标体系,以期解决废弃菜叶发酵过程中因为产生的污水过多,影响发酵堆体孔隙度、通气量、温度上升慢等难题,对于缩短废弃菜叶发酵周期、减少污染、促进废弃菜叶资源化利用具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

(1) 发酵原料:白菜废菜叶,玉米秸秆,牛粪,白菜废菜叶来源于兰州市榆中县蔬菜种植基地,玉米秸秆和牛粪由甘肃省农业科学院榆中园艺场提供。

(2) 添加菌剂:EM 菌剂(郑州百益宝生物技术有限公司)。

1.2 试验设计

于 2013 年 8 月 9 日,在甘肃省农业科学院林果花卉研究所的温室前空地,自然露天环境进行发酵试验。试验共设 3 个处理,每个处理 3 个重复(见表 1)。

表 1 试验处理设计

处理	发酵物料成分及配比
CK	蔬菜废弃物
T_1	蔬菜废弃物∶玉米秸秆∶牛粪=100∶4∶2
T_2	蔬菜废弃物∶玉米秸秆∶牛粪∶发酵菌剂=100∶4∶2∶0.25

1.3 发 酵

1.3.1 发酵原料配比 以发酵混合原料的 C/N 作为配比的条件,本试验所选的发酵原料的含水率和碳氮比见表 2,发酵混合原料的初始 C/N 大于等于 30。

表 2 发酵原料含水率及碳氮比

发酵原料	含水率/%	C/N
发酵混合料	60～70	30
白 菜	93.0	10
玉米秸秆	25.0	40
牛 粪	60.5	10

1.3.2 发酵原料处理 发酵原料堆制前,先将废弃菜叶凉晒至含水率为 60%左右,作物秸秆和牛粪的含水率为 15%～20%。

1.3.3 发酵菌剂配制 将废弃菜叶鲜重 0.25%的 EM 微生物发酵菌剂,按菌剂使用说明加水稀释,将稀释菌液与适量蛭石混匀,以紧握后不滴水为宜。

1.3.4 发酵菌剂配比 废弃菜叶鲜重与干玉米秸秆的比例为 100∶4,与干牛粪的比例为 100∶2。

1.3.5 发酵原料堆制方式 采用圆锥体或长方体的堆制方式,圆锥体的直径为 3 m,高 1.5 m;长方体的宽为 2 m,高 1.5 m,堆体之间间隔 2 m。在堆体底部铺有搭成“井”字型的整段玉米秸秆,在堆体四周挖宽 20 cm,深 30 cm 前高后低的引流沟,以利于排水和通气。每个堆体先堆放厚约 15～20 cm 的废弃菜叶,再盖 3～5 cm 的干细土,共堆 5 层。

1.3.6　发酵过程管理

(1) 温度控制。堆制过程中每天定时测温。测量点包括堆体的前、中、后各段及堆体上、中、下各层的多个点位。堆制开始后 48～72 h 内温度应快速平稳上升至 50～65 ℃,并在 55 ℃以上持续时间超过 5～7 d。堆体的理想温度控制在 50～60 ℃之间,严禁超过 70 ℃。

(2) 翻堆增温。为加快发酵速度,在第一个高温期结束时,即第 7 d 对每个堆体进行翻堆,以增大堆体内氧气含量。翻堆时加入废弃菜叶鲜重 0.5%的尿素和 1.5%的过磷酸钙。翻堆一定要"匀",做到上翻下、里翻外、前翻后,以降低病菌及虫口密度。

1.4　测定项目与方法

1.4.1　物理指标观测

(1) 物理性状观察。采样时观察发酵物料的颜色、萎蔫缩水状况、菌丝分布、是否有臭味等。每 2 d 和翻堆日测定堆体高度和体积。

(2) 温度测定。分别于建堆后的每天 9∶00,15∶00,18∶00 选取堆体的上、中、下 3 个点进行测定,取 3 点的平均值为每个时段的温度值,并将 3 个时段的平均值作为当天的堆体温度。持续测量直至发酵结束。

(3) 含水率测定。采用常压直接烘干法测定发酵物料的含水率,即将样品在 105 ℃下烘干 24 h,至恒重,测定失去的水分。

1.4.2　化学指标测定

(1) 有机质含量测定。采用灼烧法测定发酵物料的有机质含量,即使用马弗炉在 550 ℃下灼烧 10 h,计算烧失量。有机碳含量为有机质含量除以系数1.724。

(2) pH 值、电导率、E_{465}/E_{665} 测定。采用浸提液法,将样品与蒸馏水以 1∶10 固液比混合,常温于 160 rpm 振荡 1 h,过滤,分别用 pH 计、电导率仪和紫外分光光度计直接测定 pH 值、电导率和 E_{465}/E_{665} (E_4/E_6)。

(3) 发酵产物养分测定。测定终产物的全 N、速效 P、速效 K。全 N 采用凯式定氮法;速效 P 采用 $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法;速效 K 采用火焰光度计法。

(4) 发酵产物重金属。重金属 Pb,Cr,Cd 含量测定:采用国标 NY/T 1978-2010 方法测定。

1.4.3　生物指标测定　种子发芽指数(GI)测定:取 15 g 最终堆肥产物的鲜样加入 150 ml 蒸馏水,充分振荡,室温下浸提 24 h,过滤。吸取 5 ml 滤液,加入铺有滤纸的 9 cm 培养皿内。每个培养皿点播 50 粒饱满的胡萝卜种子,放置于 25 ℃培养箱中培养,第 6 d测种子发芽率和根长,从而计算发芽指数(GI)。每个处理重复 2 次,对照为蒸馏水。

$$GI=\frac{\text{堆肥浸提液的种子发芽率}\times\text{种子根长}}{\text{蒸馏水的种子发芽率}\times\text{种子根长}}\times 100\%$$

据文献资料,当 GI 达到 80%以上时,堆肥产品完全腐熟,对作物没有毒性。

2　结果与分析

2.1　发酵堆体物理性状

2.1.1　感官指标特征描述　第 1 个高温期结束时(第 7 d),CK 处理中墨绿色结块较多,有少量完整菜叶,湿度大,有少量潮湿虫,无菌丝,臭味较浓;T_1 处理堆体的底层有少量墨绿色结块,疏松度好,物料中的秸秆表面有菌丝,无特殊气味;T_2 处理堆体中有零星墨绿色结块,物料中的秸秆上有白色菌丝,无特殊气味。可见 3 个堆体经过第 1 高温期,均已部分腐熟,但仍有未发酵部分(墨绿色结块),但 CK 堆体湿度较大,有潮湿虫生产。

翻堆后,3 个处理均达到了第 2 个高温期,在此高温期结束(第 13 d),3 个处理均未有特殊气味。CK 处理中有零星墨绿色小结块,有潮湿虫,其余物料为褐色,无菌丝;T_1 处理堆体中无墨绿色结块,可见少量仍成形的秸秆,物料成褐色;T_2 处理堆体中物料成褐色,没有墨绿色结块,部分秸秆仍成形。经过翻堆后,增大了堆体中氧气含量,使得堆体中的残余部分得以充分发酵。

堆肥腐熟后(第 30 d),CK 处理中为深褐色,有潮湿虫;T_1 处理堆体中物料呈深褐色,秸秆呈细丝状,无虫;T_2 处理堆体中物料呈深褐色,无成形的秸秆,多为丝状,无虫。

从发酵物料的感官形态特征可以看出,到第 30 d,T_2 处理发酵物料已达到感官腐熟指标。说明在废弃菜叶发酵原料中添加微生物菌剂和调节发酵原料的 C/N,疏松度等方法可以增加堆体中的氧气含量,提高微生物活性,促进有机质分解。

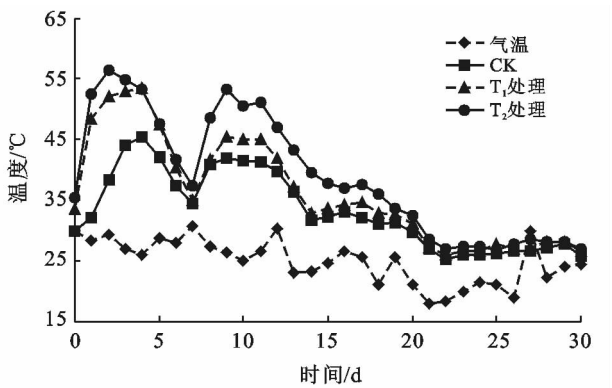
2.1.2　发酵堆体温度　试验期间,3 个处理均在前 7 d为第一次高温期,翻堆后 8～13 d 为第二个高温期,温度低于第一个高温期温度值,14～21 d 为温度下降稳定期,22～30 d 温度保持稳定。

试验期间,T_2 处理温度高于其他 2 个处理,其在第 2 d 已达 52.5 ℃,第 3 d 到达最高温 56.5 ℃,50 ℃以上高温持续 4 d,随后下降至 41.7 ℃;翻堆后,第 8 d温度迅速上升至 48.6 ℃,第 9 d 温度上升至 53.3 ℃,50 ℃以上持续 3 d 后下降 45 ℃左右,随后下降至

35 ℃左右并持续 7 d,第 21 d 温度下降至 28 ℃波动直至堆肥结束。

CK,T_1 处理于 T_2 处理的温度变化情况相似,但高温期温度均低于 T_2 处理,第一个高温期 CK,T_1 处理最高温分别为 45.5 ℃,53.5 ℃,其中 CK 处理仅持续 2 d。第二个高温期 CK,T_1 处理最高温分别为 41.5 ℃、45.5 ℃,持续天数与 T_2 处理相同。

从发酵原料堆体温度变化趋势可以看出(图 1),T_2 处理高于 50 ℃的发酵天数共有 7 d,T_1 处理高于 50 ℃的发酵天数共有 4 d,CK 的温度在 41.5～45.5 ℃,持续天数仅有 5 d。由此可见,T_2 处理,即加入微生物菌剂的发酵原料堆体温度达到文献所述的腐熟指标 50 ℃所持续的天数最长,说明添加微生物菌剂和调节发酵原料的 C/N,疏松度等方法可以提高发酵温度,缩短发酵周期。



注:CK,T_1,T_2 为不同处理方式,详见表 1。下同。

图 1 废弃菜叶发酵堆体温度及环境温度变化趋势

2.1.3 发酵堆体体积 如图 2 所示,试验期间,T_1,T_2 两个处理体积变化相似。3 个处理堆体在第 1 个高温期,堆体塌陷,体积迅速缩小,较最初堆积体积减少了 20.6%～27.4%,翻堆使得各堆体中物料间的空隙度增大,从而体积增大,但均低于初始堆体体积,说明第 1 个高温期,部分物料被降解。

翻堆后,迎来各堆体的第 2 个高温期,T_1,T_2 堆体在高温期结束时体积较翻堆后(7 d)分别减小了 10.2%和 13.0%,降温稳定期内 2 个处理堆体体积变化缓慢,而至低温期(20 d)体积均变化迅速,较 16 d体积减少了 22.1%和 20.9%,随后体积保持稳定。第 2 高温期间 CK 堆体体积变化缓慢,直至降温稳定期(18 d),体积变化迅速,较翻堆后(7 d)体积减少了 25.4%,此后直至堆肥结束,体积基本保持不变。

由发酵堆体体积变化可以看出(图 2),截止发酵终至期,T_1,T_2 处理的堆体分别比初始堆体体积减小了 65.7%和 63.0%,而 CK 堆体体积仅减小了 43.2%,说明废弃菜叶发酵原料中添加微生物菌剂和调节 C/N,疏松度等方法可以提高发酵原料的降解速度。

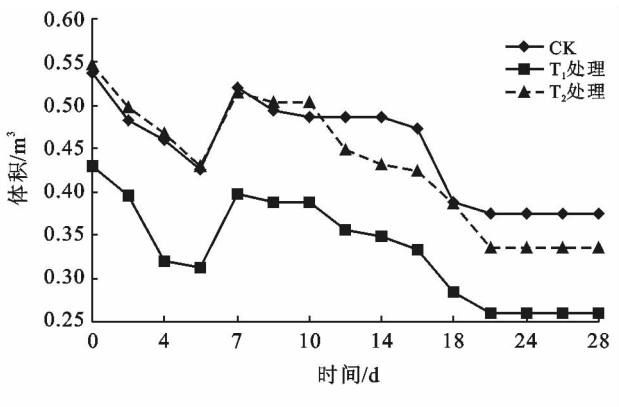


图 2 废弃菜叶发酵堆体体积变化趋势

2.1.4 含水率变化 如图 3 所示,白菜叶经过晾晒,减少一部分水分,与堆体其他物料混合后,处理 CK,T_1,T_2 处理堆体的含水率为分别为 57.4%,56.5%,53.3%,在发酵期间,堆体物料含水率逐渐下降,直至发酵结束,3 个处理的含水率分别为 37.0%,31.3%,36.8%,较初始物料下降了 35.6%,44.5%,31.1%。说明发酵原料中添加填充物等方法可以有效降低发酵原料的水分含量。

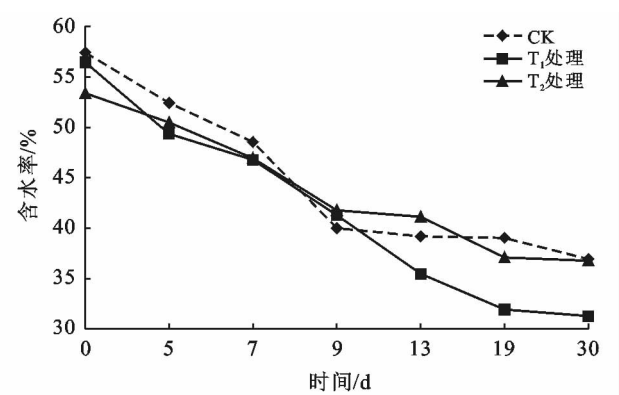


图 3 废弃菜叶发酵堆体含水率变化趋势

2.2 发酵物料化学指标

2.2.1 pH 值 在堆肥发酵过程中,3 个处理的 pH 值均出现先升高后下降的趋势(图 4),其中处理 CK 在试验过程中,pH 值均最高,其次是 T_2 处理,T_1 处理最低。处理 CK,T_2,T_1 的堆肥产物的 pH 值为变化过程中最低,分别为 8.35,7.70,7.90。

截止发酵终至期,3 个处理的 pH 值均小于 8.0,为微生物较适宜的弱碱性环境。说明废弃菜叶发酵

原料中添加微生物菌剂和调节 C/N,疏松度等方法可以降低发酵产品的 pH 值。

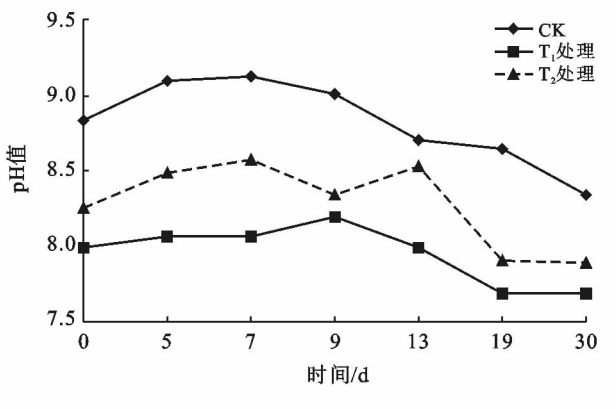


图 4　废弃菜叶发酵堆体 pH 值变化趋势

2.2.2　电导率　在试验过程中,处理 CK,T_1,T_2 的发酵产物的电导率均呈缓慢增长的趋势(图 5),可能是发酵物料水分下降、盐分聚集的缘故,但均远低于 2.0 mS/cm,在农作物耐盐范围之内,因此不会对作物产生盐害作用。添加微生物菌剂和填充物的处理发酵终产物的电导率高于对照,可能是由于添加的配料使其可溶性盐成分增大,但是截止发酵终至期,3 个处理的电导率均小于 2.0 ms/cm,在文献所记载的 2.0 mS/cm 范围内(图 5)。

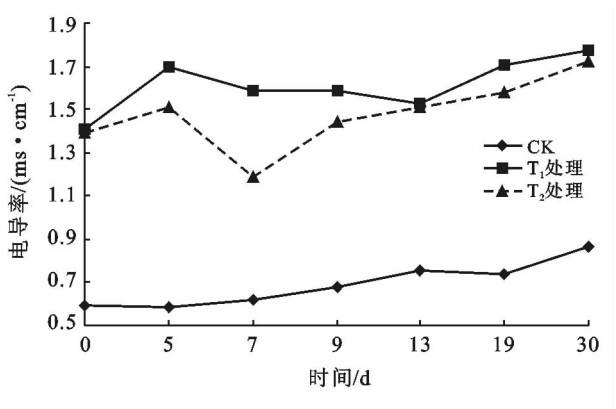


图 5　废弃菜叶发酵堆体电导率变化趋势

2.2.3　E_4/E_6 比　如图 6 所示,处理 CK,T_1,T_2 在建堆当天的 E_4/E_6 较其他采样日均为最高,分别为 4.49,5.85,6.24,在第一个高温期后,3 个处理的 E_4/E_6 值迅速下降至 2.36,2.32,2.73,直至发酵结束,E_4/E_6 变化保持平稳波动,发酵最终产物的 E_4/E_6 分别为 2.26,2.38,2.35。E_4/E_6 比值与腐殖酸分子量有关,而与腐殖酸分子大小或分子的缩和度大小有直接关系。在堆肥发酵过程中,3 个处理堆体中的腐殖酸由大分子变化为小分子,最后趋于稳定。这种 E_4/E_6 由大到小的变化趋势及最终稳定在小于 2.5 的范围内是符合堆肥腐熟指标的。

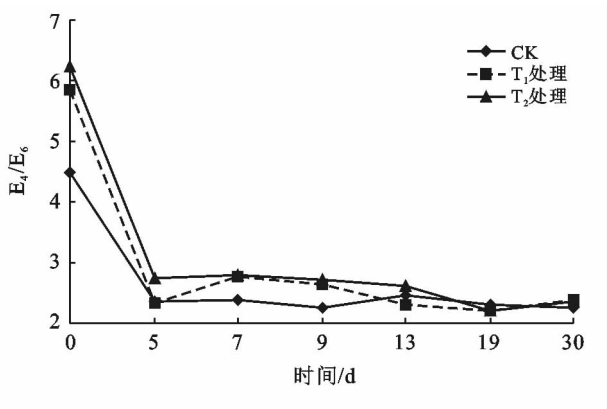


图 6　废弃菜叶发酵堆体 E_4/E_6 变化趋势

2.2.4　有机质含量　如图 7 所示,处理 CK,T_1,T_2 在建堆当天的有机质含量较其他采样日均为最高,分别为15.05%,25.83%,29.38%,在第一个高温期后,3 个处理的有机质含量迅速下降至 9.67%,11.05%,12.14%,直至堆肥结束,3 个处理有机质含量未发生大幅度变化,但都出现先下降后增长的趋势,在变化过程中,3 个处理有机质含量的最低值分别发生于第 19 d,第 19 d 和第 9 d,分别为 5.7%,8.23% 和 9.40%。3 个处理堆肥发酵最终产物的有机质含量分别为 6.6%,12.90%和 11.32%。

因为发酵原料的碳源是供微生物利用的能源,而添加了微生物菌剂的 T_2 有机质变化在发酵的第 9 d 就趋于稳定了,而其他 2 个处理的有机质还处于下降过程中。

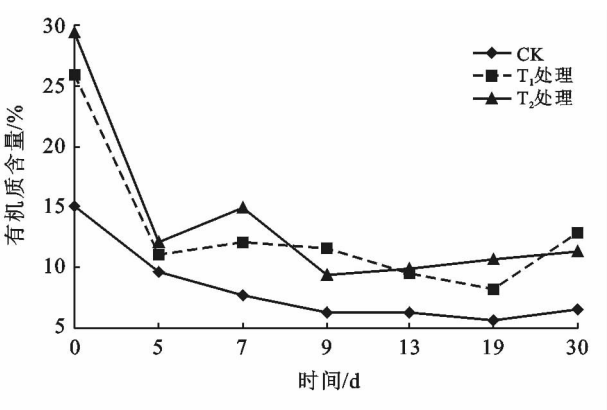


图 7　废弃菜叶发酵堆体有机质含量变化趋势

2.2.5　全 N 含量　如图 8 所示,3 个处理堆体在经过第一个高温期后,其中的全 N 含量下降迅速,翻堆后有所上升,随后在进入第二个高温期后,又出现下降趋势,随后含量变化平稳。处理 CK 的发酵终产物

中的全 N 含量是变化过程中的最低值，为 2.24 g/kg，而处理 T_1 和 T_2 的发酵终产物中全 N 含量较上一次采样(19 d)升高，分别为 3.65 g/kg 和 3.75 g/kg。3 个处理在堆肥进程中，处理 T_2 堆体中全 N 含量均高于处理 T_1 和 CK，其中处理 CK 为最低值。

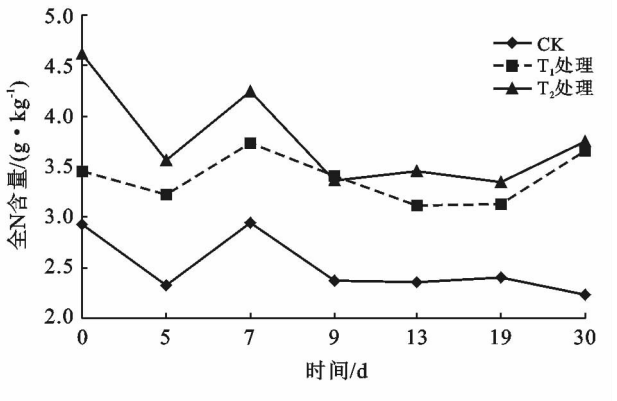


图 8 废弃菜叶发酵堆体全氮含量变化趋势

氮是微生物的营养物质，添加了微生物菌剂的处理 T_2 全氮变化幅度较大的这种变化趋势说明在发酵过程中，处理 T_2 堆体中的微生物活动更频繁、更活跃。

2.2.6 *碳氮比* 3 个处理发酵终产物的 C/N 比分别为 10.65，13.49，12.30，均小于文献记载的堆肥腐熟度指标中 C/N 比小于 20 的规定。从 C/N 比可以断定发酵原料已达到腐熟标准。

2.2.7 *养分含量* 3 个处理发酵终产物的养分含量见表 3。3 个处理中，全氮、有机质、碱解氮、速效钾均符合行业标准《蔬菜栽培基质》(NY/T2118-2018)。

2.3 发酵物料生物指标

3 个处理发酵终产物的发芽指数(GI)分别为 81.2%，94.1%，95.2%，均大于文献记载的堆肥腐熟度发芽指数(GI)指标中大于 80 的规定。从发芽指数(GI)可以断定发酵原料已达到腐熟标准。

表 3 发酵物料的基本理化性质和养分

处理	全 N/%	有机质/%	碱解氮/(mg·kg⁻¹)	速效磷/(mg·kg⁻¹)	速效钾/(mg·kg⁻¹)	pH 值	全盐量/%
CK	0.22	41.1	348.00	132.72	2930	8.04	0.17
T_1	0.37	75.7	390.00	175.02	4760	8.06	0.18
T_2	0.38	82.9	377.00	143.77	4250	8.12	0.19

2.4 发酵终产物安全性评价

经过 30 d 的堆肥处理，3 个处理堆体中的 Pb，Cr，Cd 这 3 种重金属元素，均低于所参照行业标准 NY884-2012 中对生物有机肥中重金属含量的标准(见表 4)。

表 4 发酵终产物重金属 Pb，Cr，Cd 含量

处理	重金属/(mg·kg⁻¹)		
	Pb	Cr	Cd
CK	16.59	71.25	0.20
T_1	18.11	83.44	0.30
T_2	16.81	82.84	0.32
标准限量指标	≤50	≤150	≤3

3 讨论与结论

(1) 发酵原料的最佳配比。废弃菜叶、玉米秸秆、牛粪、发酵菌剂的重量比为 100∶4∶2∶0.25。其中废弃菜叶为鲜重，在发酵前废弃菜叶需凉晒至含水量为 60%左右，玉米秸秆、牛粪为干重，含水量为 20%左右，发酵菌剂为 EM 微生物发酵菌剂，加水稀释 70～90 倍，将稀释菌液与适量蛭石混匀，以紧握后不滴水为宜。李剑等[12]研究了蔬菜废弃物、稻草与猪牛粪在厌氧堆肥中的不同配比，在堆肥开始前接种了微生物发酵剂，认为利用蔬菜废弃物进行堆肥时，最佳的原料配比是蔬菜废弃物∶秸秆∶猪粪的配比在 10∶40∶50～20∶30∶50 之间，该研究的配比是以秸秆利用为主。

(2) 通过发酵原料的碳氮比、微生物菌剂的筛选、发酵堆体的水分及温度等条件的调控，促进废弃菜叶发酵进程，缩短发酵周期。从参试的 3 种菌剂中筛选出适合废弃菜叶及添加物料发酵的 EM 菌剂；调制发酵混合原料的碳氮比为 30；采取圆锥体的堆制方式，以及在堆体底部铺有搭成“井”字型的整段玉米秸秆、挖引流沟等方法，调控发酵堆体在发酵过程中的通气和排水；通过每天定时测温、翻堆增温的方法，及时调控发酵堆体的温度，保证足够的通气量。李鸣雷等[14]、殷培杰等[15]研究认为添加微生物菌剂可以促进废弃菜叶的发酵进程，刘芳等[16]、张相锋[17]等研究认为发酵原料的含水率、堆体的建立方式和管理等都与发酵堆体的温度、发酵进程密切相关，若发酵原料碳氮比、水分含量或者通气量等的变化，都将引起堆体温度的波动，从而影响发酵周期。

(3) 在废弃菜叶发酵试验过程中，通过对发酵堆体温度、pH 值、电导率、E_4/E_6 比以及终产物的 C/N

比和种子发芽指数 GI 等指标的测定和分析,建立了一套适用于废弃菜叶微生物发酵的腐熟度指标评价体系。即发酵堆体温度大于等于 50 ℃持续 3～5 d,pH 值小于等于 8.0,电导率小于等于 2.0 mS/cm,E_4/E_6 小于等于 2.5,C/N 小于 20,种子发芽指数 GI 大于 80。张相锋等[17],孟国欣等[18]选取表观指数、堆肥高温期(≥55 ℃)持续时间、pH 值、碳氮降解率、种子发芽指数等 5 项评价指标作为污泥处理处置和污泥堆肥腐熟度的评价指标,黄国锋等[19]、李艳霞等[20]对有机固体废弃物的发酵腐熟度指标进行了评价和研究。

(4) 试验得到的废弃菜叶微生物发酵终产物的养分及安全指标均符合蔬菜栽培基质的肥力及安全限量指标要求。

[参 考 文 献]

[1] 魏程程,王英琪,杨宏志.尾菜厌氧消化处理研究进展[J].农产品加工,2018(19):71-74.

[2] 戴洪伟,解耀钦.玉米秸秆和莲花菜尾菜酵母菌发酵试验[J].甘肃畜牧兽医,2015,45(3):31-33.

[3] 李衍素,于贤昌.我国蔬菜绿色发展“4H”理念[J].中国蔬菜,2018(6):5-8.

[4] 常瑞雪.蔬菜废弃物超高温堆肥工艺构建及其过程中的氮素损失研究[D].北京:中国农业大学,2017.

[5] 徐路魏,王旭东.生物质炭对蔬菜废弃物堆肥化过程氮素转化的影响[J].农业环境科学学报,2016,35(6):1160-1166.

[6] 戚如鑫,魏涛,王梦芝,等.尾菜饲料化利用技术及其在畜禽养殖生产中的应用[J].动物营养学报,2018,30(4):1297-1302.

[7] 杨富民,张克平,杨敏.3 种尾菜饲料化利用技术研究[J].中国生态农业学报,2014,22(4):491-495.

[8] 宋亚楠,宋梓梅,裴梦富,等.蔬菜类废弃物甲烷发酵的产气潜能及过程特征[J].环境工程学报,2018(2):645-653.

[9] 李瑞琴,于安芬,白滨,等.蔬菜废弃物栽培基质对番茄生长发育和营养品质的影响[J].水土保持通报,2016,36(2):110-114.

[10] 席旭东,晋小军,张俊科.蔬菜废弃物快速堆肥方法研究[J].中国土壤与肥料,2010(3):62-66.

[11] 王辉,晋小军,赵洁,等.蔬菜废弃物不同堆制方法对微生物数量的影响[J].中国土壤与肥料,2012(4):84-86.

[12] 李剑,李玉奇,王涛,等.蔬菜废弃物、稻草与猪牛粪不同配比厌氧堆肥研究[J].上海交通大学学报:农业科学版,2011,29(1):54-57.

[13] 焦秀梅,刘月敏,马华继.温度对蔬菜废弃物厌氧发酵的影响[J].农业环境与发展,2013(3):82-85.

[14] 李鸣雷,商鸿生,谷洁,等.促进农业废弃物腐解的复合微生物菌剂的筛选[J].西北农业学报,2005,14(2):101-104.

[15] 殷培杰,孙军德,石星群,等.微生物菌剂在鸡粪有机肥料堆制发酵中的应用[J].微生物学杂志,2004,24(6):43-46.

[16] 刘芳,邱凌,李自林,等.蔬菜废弃物厌氧发酵产气特性研究[J].西北农业学报,2013,22(10):162-170.

[17] 张相锋,王洪涛,聂永丰,等.高水分蔬菜废物和花卉、鸡舍废物联合堆肥的中试研究[J].环境科学,2003,24(2):147-151.

[18] 孟国欣,查同刚,巩潇,等.污泥添加园林废弃物堆肥过程参数变化及腐熟度综合评价[J].生态环境学报,2018,27(8):1538-1546.

[19] 黄国锋,钟流举,张振钿,等.有机固体废弃物堆肥的物质变化及腐熟度评价[J].应用生态学报,2003,14(5):813-818.

[20] 李艳霞,王敏健,王菊思.有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标[J].环境科学,1999,20(2):98-100.