

鸡粪与不同秸秆高温堆肥中氮素的变化特征^{*}

黄懿梅¹, 安韶山², 白红英¹, 赵永军¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 以鸡粪与小麦秸秆和玉米秸秆为堆肥原料, 在自制的强制通风静态垛堆肥反应器中进行堆肥试验, 研究堆肥制作过程中各种氮素形态的变化及迁移特征。结果显示, 堆制中堆温变化分为高温期、降温期、稳定期3个阶段; 含水量的减少量较低; 两处理铵态氮含量在高温期增加, 在降温期降低, 整个堆制期间分别减少了69.9%和57.0%; 硝态氮含量在高温期分别降低了0.236和0.254 g/kg, 降温期和稳定期增加, 堆制结束时较初始分别增加了1.52和3.04倍; 有机氮在高温期和降温期增加, 在降温后期和稳定期降低, 堆制期间分别减少了1.4%和20.7%; 堆制结束时总氮分别减少了7.7%和22.2%, 渗沥液中硝态氮和有机氮的浓度较高。堆制期间有机碳分别降解了37.9%和37.3%; pH值在高温期分别达9.16和9.37, 堆制结束时分别为8.05和8.27。综合分析表明, 氮素的损失主要是降温期氮的挥发和稳定期硝态氮与水溶性有机氮的淋失。

[关键词] 鸡粪; 小麦秸秆; 玉米秸秆; 高温堆肥; 氮素损失

[中图分类号] S141.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)11-0053-06

随着畜禽养殖规模化和农业生产的发展, 我国畜禽粪便和农作物秸秆的年产生量分别约为17.3和5亿t^[1,2], 其累积和污染问题日趋严重。因此, 科学合理的利用畜禽粪便和农作物秸秆已经成为畜牧业和农业持续发展所面临的重要问题之一。实践证明, 高温堆肥化处理是使农业固体废物无害化和资源化利用的一个较好途径。通过堆制可杀灭废物中的病菌和草种, 减小堆存的体积和重量, 有利于贮存和施用。不仅可解决规模化养殖厂和燃烧秸秆产生的环境污染问题, 而且对发展有机肥、保持和提高土壤肥力、促进农业可持续发展具有重要意义。堆肥化过程中氮素形态的变化及其含量直接关系到堆肥产品的农业利用价值^[3]。研究表明^[3~5], 堆肥制作中氨态氮的挥发和硝态氮的反硝化造成的气态氮素损失达43%~70%, 加上硝态氮的淋失, 氮素损失甚至

高达77%^[6]。堆肥的pH、温度、供氧水平、调理剂的吸附性能以及微生物种类等, 都会影响堆肥过程中氮素的转化和迁移^[3~6]。含氮气体的挥发不仅造成大气污染, 还损失了大量的氮素营养, 降低了堆肥质量。因此, 本试验利用自制的强制通风静态垛高温堆肥设备, 研究了鸡粪和小麦秸秆、玉米秸秆堆肥化过程中的氮素形态变化及迁移特征, 为减少鸡粪秸秆堆肥制作过程中的氮素损失, 提高成品堆肥的养分含量, 控制堆肥化过程中的大气污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 堆制材料

堆制材料主要有鸡粪、小麦秸秆和玉米秸秆, 其主要性状见表1。

表1 堆制材料的基本性质

Table 1 Properties of raw materials used in composting

堆制材料 Raw materials	有机碳/(g·kg ⁻¹) Organic carbon	凯氏氮/(g·kg ⁻¹) Kjeldahl nitrogen	pH	含水量/(g·kg ⁻¹) Moisture content
鸡粪(CM) Chicken manure	420.6	31.0	8.20	682.1
小麦秸秆(W.S) Wheat straw	680.2	7.5	-	50.0
玉米秸秆(CS) Corn straw	708.5	11.5	-	50.0

1.2 堆肥装置

堆肥装置(图1)为强制通风静态垛堆肥反应

器。由桶体、筛板、通风装置等组成。器壁上分上、中、下3个采样孔, 并可测量堆肥温度, 上部有出气管及

^{*} [收稿日期] 2003-12-25

[基金项目] 国家“十五”重大科技攻关项目(2001BA606A-04); 西北农林科技大学青年教师专项基金

[作者简介] 黄懿梅(1971-), 女, 四川大竹人, 讲师, 在职博士, 主要从事农业环境保护研究。

吸收气体的筛板装置。反应器为密闭容器, 体积约为 60 L。

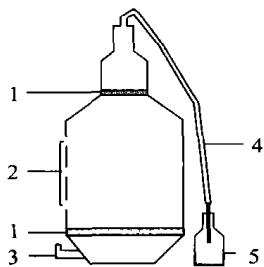


图 1 强制通风静态垛堆肥反应器示意图

1 筛板; 2 采样、测温孔; 3 通风装置; 4 出气管; 5 集气瓶

Fig 1 Diagram of aerated static pile for composting

1 Fine mesh screen; 2 The hole for sampling and temperature measurement; 3 A ir-blower; 4 Exhaust pipe; 5 A ssim ilating flask

1.3 堆肥试验方案

试验设 2 个处理, 物料配比见表 2。03-30~ 05-

20, 共堆制 50 d。堆制期间控制通气量为 60 mL/(L·min)。每天上午 9:00 和下午 15:00 分别在上、中、下 3 个采样孔用电阻温度计测量堆肥温度, 取平均温度作为当天的堆肥温度, 同时测定当天气温。各处理根据堆肥温度变化分别于堆后的 0, 5, 10, 15, 25, 50 d 采样, 采样量每次约 1 kg。堆制结束时取渗沥液进行分析。

1.4 测定项目

鲜样测定含水率(105℃烘干法), 并制备浸提液: 称取鲜样 10 000 g, 与蒸馏水以体积比 1:5 混合, 振荡 30 min 后过滤, 滤液用于测定 pH 值(pH 计测定)、铵态氮(靛酚蓝比色法)、硝态氮(紫外分光光度法)。鲜样风干后, 粉碎过 1mm 筛, 用于测定全氮(H₂SO₄-H₂O₂ 消解, 靛酚蓝比色法)、全碳(K₂Cr₂O₇ 外加热法)^[7]。渗沥液测定铵态氮、硝态氮和凯氏氮。

表 2 堆肥试验方案

Table 2 The design of the composting experiment

处理编号 Treatment	物料组合 Raw material organization	物料配比(鲜样重) Raw weight ratio	C/N
CM + W S	鸡粪+ 小麦秸秆 Chicken manure+ wheat straw	2:64:1	20
CM + CS	鸡粪+ 玉米秸秆 Chicken manure+ corn straw	2:26:1	20

2 结果与分析

2.1 堆肥过程中温度和含水量的变化

堆肥温度的变化反映了堆体内微生物活性的变化, 堆体温度升高是微生物代谢产热累积的结果, 反过来又决定了微生物的代谢活性^[8]。堆肥初期, 堆层基本呈中温, 嗜温性微生物(最适宜生长温度为30~40℃)利用堆肥中可溶性有机物旺盛繁殖, 使堆体温度不断上升。当堆肥温度升高到 45℃以上, 即进入高温阶段, 嗜热性微生物逐渐代替了嗜温性微生物的活动, 堆肥中残留的和新形成的可溶性有机物继续分解转化, 复杂的有机化合物也开始被强烈分解^[9]。嗜热菌活动的最适宜温度是 45~65℃^[9], 其中 55~60℃微生物的生物量和种类最丰富, 降解速率最大^[8,10]。根据堆肥温度, 堆肥化进程可划分为升温期、高温期、降温期和稳定期 4 个时期^[10]。

由图 2 可以看出, 堆制过程的升温阶段很短, 主要经历了高温期、降温期和稳定期 3 个阶段。CM + CS 处理堆制后 1 d 温度便上升到 50℃以上, 第 4

天达最高温 62.4℃, 高温期持续到第 10 天, 降温期时间为 15 d, 25 d 时温度降至 30℃以下, 进入稳定期。CM + W S 处理堆制后 2 d 温度升至 47.9℃, 进入高温期, 第 6 天达最高温 62℃, 高温期持续至第 15 天, 降温期时间为 10 d, 第 25 天降至 30℃以下, 进入稳定期。由此可以看出, CM + CS 处理升温快, 降温也快; CM + W S 处理升温较慢, 但高温期持续时间较长, 这可能与不同秸秆中碳源的结构形式不同有关。两处理的堆温都在 50℃以上持续 5~10 d, 符合粪便无害化标准^[11]。

从图 3 可以看出, CM + CS 处理的含水量在高温期表现为增加, 高温期后降低, 且在降温期减少较多, 堆制结束时, 减少至 565 g/kg。CM + W S 处理则在 0~5 d 含水量增加, 以后一直减少, 且在高温和降温阶段减少较多, 在稳定期变化不大, 但含水量总体较 CM + CS 处理高, 堆制结束时, 仍高达 620 g/kg。两处理的差别可能与不同秸秆的吸水性和结构有关。

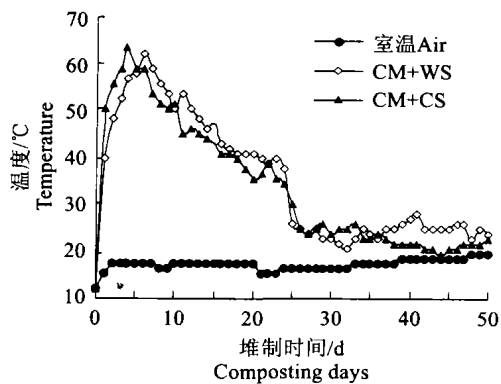


图 2 堆肥过程中堆温和气温的变化
Fig. 2 Changes in air and pile temperature during the composting process

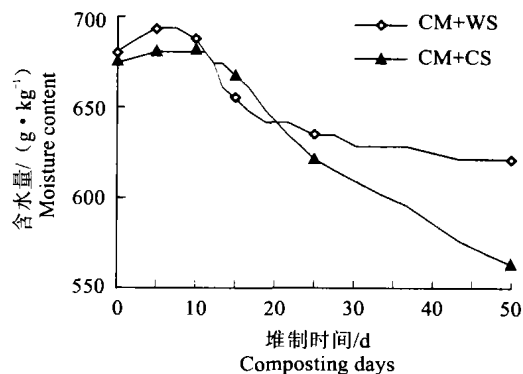


图 3 堆肥过程中含水量的变化
Fig. 3 Changes of moisture content of piles during the composting process

2 2 堆肥过程中各种氮形态的变化

堆肥中氮的各种形态包括总氮(TN)(凯氏氮加上硝态氮)、有机氮(Org-N)(凯氏氮减去铵态氮)、铵态氮(NH₄-N)、硝态氮(NO₃-N)。堆肥过程中,随

着微生物对有机物的降解,堆肥中可能发生有机氮的矿化、氨气的挥发、硝化及反硝化作用,这些过程都可能导致氮素损失。鸡粪与两种秸秆堆肥试验中物料氮素各种形态的变化见表 3。

表 3 堆肥制作中各种氮素形态的变化

Table 3 Changes in the content of different nitrogen of compost during the composting process g/kg								
堆制时间/d Composting days	NH ₄ -N		NO ₃ -N		Org-N		TN	
	CM + W S	CM + CS	CM + W S	CM + CS	CM + W S	CM + CS	CM + W S	CM + CS
0	3 16	3 37	0 325	0 254	23 02	23 76	26 51	27 38
5	5 24	5 90	0 242	0 189	22 30	23 37	27 78	28 46
10	5 53	7 34	0 195	0	28 30	27 63	34 02	34 97
15	7 29	4 46	0 089	0 149	26 41	28 09	33 79	32 70
25	1 39	1 66	0 480	0 608	29 03	25 42	30 90	27 69
50	0 95	1 45	0 820	1 025	22 69	18 83	24 46	21 31

从表 3 可以看出,两处理堆肥中铵态氮和总氮含量在高温期均表现为增加,处理 CM + W S(在 0~ 15 d)铵态氮增加了 4 13 g/kg,总氮增加了 7 28 g/kg;处理 CM + CS(在 0~ 10 d)铵态氮增加了 3 97 g/kg,总氮增加了 5 17 g/kg。且高温期后二者都开始下降,铵态氮在降温期降幅最大,处理 CM + W S 在 10 d 内减少了 5 9 g/kg,处理 CM + CS 在 15 d 内减少了 5 68 g/kg,25 d 以后基本趋于稳定;而总氮在降温期和稳定期都减少较多,处理 CM + W S 在降温期减少了 2 89 g/kg,在稳定期减少了 5 44 g/kg,氮素的损失主要在稳定期;处理 CM + CS 在降温期减少了 7 28 g/kg,在稳定期减少了 6 38 g/kg,氮素的损失主要在降温期和稳定期。且两处理铵态氮和总氮在堆制中总体都有所减少,堆制结束时,两处理铵态氮分别减少了 69 9%和 57 0%;总氮分别减少了 7 7%和 22 2%。硝态氮的总体变化趋势为高温期下降,高温期后升高。这与硝化细菌

的作用机理相符,堆制前期,由于堆体温度升高,硝化细菌的活性相对受到抑制而使硝态氮含量下降,堆制后期,温度较低,硝化作用加强,堆料中的硝态氮含量逐渐增加。两处理相比,CM + CS 堆肥中,硝态氮含量在高温期降低了 0 254 g/kg,在高温期后增加 1 025 g/kg,堆制结束时较初始增加 0 771 g/kg,增加了 3 04 倍;而 CM + W S 堆肥中,硝态氮含量在高温期降低了 0 236 g/kg,在高温期后增加 0 731 g/kg,堆制结束时较初始增加 0 495 g/kg,增加了 1 52 倍。有机氮在堆制过程中表现为升温时略有下降,高温期和降温期增加,稳定期减少。整个堆制期间,总体呈现出减少趋势,处理 CM + W S 减少 0 33 g/kg,减少了 1 4%;处理 CM + CS 减少 4 93 g/kg,减少了 20 7%。

2 3 相关性质变化及氮素损失分析

堆肥化中,与铵态氮变化紧密相关的是堆肥 pH 值的变化。由图 4 可以看出,堆肥高温期,两处理的

pH 值都呈增加趋势,降温期后开始下降,降温期的降幅最大,稳定期降幅不大。其中,处理 CM + CS 在高温期 pH 值增加了 2.03,最高达 9.37,而在降温期降低了 1.16;处理 CM + WS 在高温期 pH 值增加了 1.69,最高达 9.16,在降温期降低了 0.93。堆制结束时,两处理 pH 值分别为 8.27 和 8.05,呈微碱

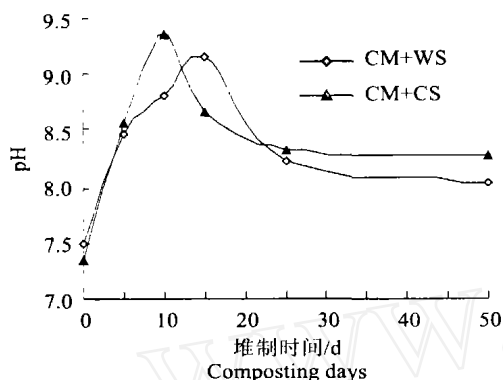


图 1 堆制过程中 pH 值的变化
Fig. 4 pH changes of piles during the composting process

另外,微生物降解有机物需要消耗大量能源,有机碳的变化可间接反映有机物的降解速率,从而间接影响氮素的变化。由图 5 可以看出,有机碳含量在堆肥过程中一直在减小,但降解速率随堆制阶段而变化:处理 CM + CS 在前 10 d 呈直线下降,即高温期减少了 30.5%,15~25 d 的降温期减少了 12.2%,25 d 后基本稳定,且略有升高,整个堆制期间,有机碳含量减少 206.1 g/kg,减少了 37.3%;处理 CM + WS 的快速降解阶段集中在 5~10 d 和 15~25 d,分别减少了 11.6%和 17.0%,整个堆制期间,有机碳含量减少 201.1 g/kg,减少了 37.9%。可见,CM + CS 处理的有机碳在高温期降解很快,物质总量减少较快,所以总氮在高温期由于浓缩效应表现为升高,而有机碳的分解率在降温期有所下降,再加上氮素损失,所以在降温期总氮表现为下降。处理 CM + WS 的有机碳在降温阶段分解速率也较高,所以总氮在降温期的损失量较小。

由于堆制期间含水量较高,在反应器的筛板下产生了渗沥液,堆制结束时,渗沥液中的氮素含量见表 4。由表 4 可以看出,堆制过程中硝态氮和水溶性有机氮的淋失较多,且处理 CM + WS 淋失量较大,这与其含水量较高有关。结合前面氮素变化可以看出,堆肥制作中,高温期后硝态氮和有机氮的淋失也是氮素损失的一个原因。这与花卉废物和牛粪联合堆肥中的氮迁移不同^[12]。

性。结合铵态氮和总氮变化可以看出,CM + CS 处理中氮素损失可能是高温期产生大量铵态氮,在降温期未被微生物充分利用而挥发损失,因为在 pH 值较高情况下,铵态氮大幅度下降,而有机氮和硝态氮增加较少。

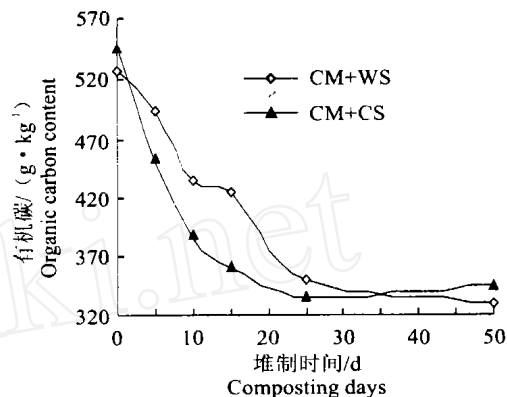


图 5 堆制过程中有机碳的变化
Fig. 5 Organic carbon changes of piles during the composting

表 4 堆制结束时渗沥液中各种氮素的质量浓度

Table 4 The concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ and Organic nitrogen in the percolation

处理 Treatment	solution of the compost		有机氮 Organic nitrogen
	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	
CM + WS	0.181	2.104	14.773
CM + CS	0.169	2.015	13.581

从以上分析可以看出,鸡粪秸秆堆肥过程中氮素损失主要表现在高温期后的降温期,这是因为高温期分解产生大量的铵态氮不能及时转化为有机氮或不能及时为微生物利用。因此,要控制堆肥过程中氮素的损失,一方面要控制高温期的最高温,在高温期加入能够吸附利用铵态氮的物质或微生物;另一方面,应在高温期后立即引入可促进难分解有机碳分解的微生物或其他物质,使堆肥系统的碳、氮平衡,从而能够转化利用高温期产生的大量铵态氮。另外,要控制堆肥的含水量,在堆制后期,应避免硝态氮的淋失。在本研究中,鸡粪玉米秸秆堆肥中的氮素损失较鸡粪小麦秸秆堆肥中多,其主要原因是前者升温较快,最高温较高,在高温期堆肥中的铵态氮增加较多,而有机碳分解速率在高温期后下降较多,另外在堆制后期,其硝态氮的形成也较多。

3 结 论

(1) 堆肥制作中, 堆温变化明显呈现出高温期、降温期和稳定期 3 个阶段。玉米秸秆中易分解物质较多, 与鸡粪堆制时升温快, 但高温期短; 小麦秸秆与鸡粪堆制, 升温稍慢, 但高温期较长。两处理的堆肥温度都在 50℃ 以上持续了 5~10 d, 达到了堆肥无害化的要求。堆肥制作中, 含水量的减少量较低, 堆制结束时, 堆肥含水量仍保持在 565 g/kg 以上。

(2) 鸡粪小麦秸秆和鸡粪玉米秸秆堆肥处理中, 铵态氮含量在高温期分别增加了 4.13 和 3.97 g/kg, 在降温期分别降低了 5.9 和 5.68 g/kg, 整个堆制期间分别减少了 69.9% 和 57.0%; 硝态氮含量在高温期分别降低了 0.236 和 0.254 g/kg, 降温期

和稳定期增加, 堆制结束时较初始分别增加了 1.52 和 3.04 倍; 有机氮在高温期和降温期增加, 而在降温后期和稳定期降低, 堆制期间分别减少了 1.4% 和 20.7%; 堆制结束时总氮分别减少了 7.7% 和 22.2%, 且氮素的损失主要是降温期氮的挥发和稳定期硝态氮与水溶性有机氮的淋失。渗沥液中硝态氮和有机氮的浓度也较高。

(3) 堆肥制作中, pH 值在高温期升高, 在降温期和稳定期下降, 与铵态氮的变化趋势一致。鸡粪小麦秸秆和鸡粪玉米秸秆堆肥, 在高温期, pH 值最高分别达 9.16 和 9.37, 堆制结束时分别为 8.05 和 8.27。有机碳的降解量在高温期较高, 其次是降温期, 稳定期较低, 两处理在堆制期间分别降解了 37.9% 和 37.3%。

[参考文献]

- [1] 李庆康, 吴雷, 刘海琴, 等. 我国集约化畜禽养殖场粪便处理利用现状及展望[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 251-254
- [2] 吴坤, 张世敏, 朱显峰. 木质素生物降解研究进展[J]. 河南农业大学学报, 2000, 34(4): 349-354
- [3] Tiquia SM, Tan NFY. Fate of nitrogen during composting of chicken litter[J]. Environmental Pollution, 2000, 110: 535-541
- [4] Eklin Y, Kirchmann H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments II: nitrogen turnover and losses[J]. Bioresource Technology, 2000, 74: 125-133
- [5] Sánchez-Monedero M A, Roig A, Paredes C, et al. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures[J]. Bioresource Technology, 2001, 78: 301-308
- [6] Martins O, Dewes T. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes[J]. Bioresource Technology, 1992, 42: 103-111
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [8] MacGregor ST, Miller FC, Psarianos KM, et al. Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1981, 41(6): 1321-1330
- [9] 陈世和, 张所明. 城市垃圾堆肥原理与工艺[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1990: 8, 20
- [10] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥的生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 123, 137
- [11] GB7959-87, 粪便无害化卫生标准[S]
- [12] 张相锋, 王洪涛, 周辉宇, 等. 花卉废物和牛粪联合堆肥中的氮迁移[J]. 环境科学, 2003, 24(3): 126-131

Study on the nitrogen changes during the composting of chicken manure and different straws under higher temperature

HUANG Yi-mei¹, AN Shao-shan², BAI Hong-yang¹, ZHAO Yong-jun¹

(1 College of Resources and Environment, North East & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource,

North East & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In the aerated static pile automatic compost device, experiments were carried out to investigate the nitrogen changing characteristics of chicken manure added with wheat straw (CM + WS) and chicken manure added with corn straw (CM + CS) respectively during the 50 d composting. The results indicated that there were three temperature stages during the composting process. During the high tempera-

ture stage (0- 10 d and 0- 15 d), the content of ammonium-N increased, but in temperature decreasing stage, the content of ammonium-N decreased very quickly. The contents of ammonium-N was reduced 69.9% and 57.0% respectively in the treatment CM + WS and CM + CS after the composting process. And the content of nitrite-N increased 152% and 304%, the organic nitrogen decreased 1.4% and 20.7%, the total nitrogen reduced 7.7% and 22.2% respectively. The loss way is ammonium-N volatilization in the temperature decreasing stage and the nitrite in company with water soluble organic nitrogen leach in the temperature decreasing and then became stable stages. The organic carbon decomposed quickly in the high temperature stage and stable after 25 days. The content of the organic carbon decreased 37.9% and 37.3% in the treatment CM + WS and CM + CS respectively during the composting time. pH was 9.16 and 9.37 respectively in the high temperature, and decreased to 8.05 and 8.27 in the end of composting respectively. The concentrations of $\text{NO}_3\text{-N}$ and Organic nitrogen in the percolation solution of the compost were higher.

Key words: chicken manure; wheat straw; corn straw; composting under higher temperature; nitrogen loss

(上接第 52 页)

Research on optimal mixing proportion of wheat field herbicides isoproturon and prometryne and methsulfuron-methy

QIN Hu-qiang, SHI Bao-jun

(College of Plant Protection, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In this research, applying the herbicide mixing-synergy determination method, the control effect and the optimum mixing proportion of several herbicide mixtures which were made by mixing two or three of Prometryne and Methsulfuron-methy and Isoproturon according to different proportions, have been tested on *Veronica didyma* Tenore or *Phleum paniculatum* in wheat field. The results showed: when Prometryne and Methsulfuron-methy were mixed, it had synergy, the synergy coefficient was respectively 1.39 and 1.14, the optimum mixing proportion was 1:4. When the isoproturon and the mixtures (75:1) of prometryne and Methsulfuron-methy were mixed as $< 4:5$, it had synergy or addition, the synergy coefficient was $1-1.18 \geq 1$, the optimum mixing proportion was 85:75:1. The recommend effective-dosages of two mixed herbicides during wheat field weeds 2-3 leaves period was respectively 402-548 and 549-622 g/hm², the average weight control effect was respectively 83.1%-92.5% and 84.5%-91.6%, the medicine cost was respectively 16.8-23.4 and 35.6-40.2 yuan/hm². In addition, two mixed medicines were provided safe to wheat and following stubble crops.

Key words: herbicide; isoproturon; prometryne; methsulfuron-methy; mixing; optimum proportion