

堆肥调理剂研究进展

张军^{1, 2}, 雷梅¹, 高定^{1*}, 郑国砥¹, 陈同斌¹, 岳波^{1, 2}, 刘斌^{1, 2}, 杜伟¹

1. 中国科学院地理科学与资源研究所环境修复中心, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要: 调理剂是堆肥过程中的重要辅料。通过添加调理剂, 可以改善堆肥物料的理化条件, 达到好氧微生物对生长环境的要求。文章综述了堆肥调理剂的分类, 讨论了它在堆肥工程中的作用, 并对研究方向进行了探讨。大量研究表明, 调理剂在堆肥过程中起到调节物料 $w(C)/w(N)$ 比、含水率、堆体自由空域、减少堆体臭气、改善堆肥养分和调控重金属等作用。目前, 调理剂的研究重点在于其在堆肥过程的作用, 而对复合型调理剂的开发、调理剂的作用机理及其在工程中的应用等问题关注较少。

关键词: 堆肥; 调理剂; $w(C)/w(N)$ 比; 含水率; 自由空域

中图分类号: X705

文献标识码: A

文章编号: 1672-2175 (2007) 01-0239-09

有机废弃物包括城市生活垃圾、污水污泥、畜禽粪便、造纸污泥和园林废弃物等, 其每年的产生量很大^[1-2]。如果不能有效进行处理, 会严重影响生态环境甚至危害人体健康^[2-3]。

堆肥是处理有机废弃物的有效手段^[4-5]。好氧堆肥利用好氧菌进行高温发酵, 使有机废弃物分解, 具有处理时间短、无害化比较彻底等特点^[6]。在高温好氧堆肥工艺中, 堆料通常不能满足堆肥过程所需的理化条件, 需要进行预处理, 使其能满足好氧微生物生长的要求^[7]。在预处理过程中, 需要向物料中加入的辅料, 包括膨胀剂、调节剂等调理剂^[8-9]。调理剂是快速堆肥中必不可少的添加剂, 它可以起到调节物料 $w(C)/w(N)$ 比^[10]、含水率^[11]、自由空域^[12]、堆肥养分^[13-14]等作用, 保证堆肥的快速高效进行。

1 调理剂的种类

根据调理剂的作用不同, 可将其分为调节剂、膨胀剂和重金属钝化剂^[8-9]。本文从调理剂是否参与发酵过程的角度, 将调理剂分为活性调理剂和惰性调理剂。活性调理剂指的是本身含有易降解有机物, 在堆肥过程中参与有机质降解过程的调理剂; 惰性调理剂与之相对, 在堆肥过程中不被微生物降解, 起到调节堆体的物理结构和改善堆肥品质的作用。

1.1 活性调理剂

常用的活性调理剂包括稻草、秸秆、树叶、木片、锯末和回流堆肥等, 主要成分为有机物, 能够在堆肥过程中被微生物分解。其主要作用是对物料的化学成分进行调节, 调整物料的 $w(C)/w(N)$ 比, 同

时起到调节物料物理结构的作用。

用于堆肥的污泥、畜禽粪便和厨余垃圾等物料通常 $w(C)/w(N)$ 比偏低, 含水率较高, 而稻草、秸秆、树叶、木片和锯末等具有较高的 $w(C)/w(N)$ 比和较低的含水率, 可以作为调理剂对物料成分进行调节(见表1)。

除了调节 $w(C)/w(N)$ 比和含水率外, 还有一些有机调理剂物理结构蓬松, 有较好的孔隙率, 可以用于改善堆体的物理结构, 比如木片、秸秆、树叶等。McCartney^[15]比较木片和树叶与污泥混合的堆肥后发现, 木片比树叶有更好的抗压实性能, 在同样的压力条件下, 木片能产生的自由空域更大。但是, 活性调理剂降解后, 会形成碎片, 给后续操作如筛分等带来一定的难度。

2.2 惰性调理剂

在文献中报道的惰性调理剂有碎轮胎^[26]、粉煤灰^[27-29]、斜发沸石^[30-32]、铝土矿渣^[33-34]、合成调理剂(塑料)^[35-36]和CTB调理剂^[37-39]等。目前关于惰性调理剂的研究不多, 主要集中在改善堆肥产品品质和钝化重金属上, 也有少量调理剂如CTB调理剂、碎轮胎等用于调整物料的自由空域和含水率(见表2)。

高定等^[37-41]研究的CTB调理剂属于无机调理剂, 有较高的强度, 其饱和吸水率为65.7%, 与城市污泥混合后吸水平衡时间为8 h。与传统的活性调理剂相比, 具有吸水能力强、成本低廉、易于筛分和重复利用率高等特点。碎轮胎能够对堆体起到支撑作用, 避免物料的压实作用, 增大堆体的孔隙率^[26]。粉煤灰能够增加堆肥产品的养分, 同时还能起到钝

基金项目: 国家高技术的发展计划项目(2006AA06Z384); 北京市自然科学基金重点项目(8051003)

作者简介: 张 军(1983-), 主要从事废弃物堆肥技术研究。

*通讯作者: 高定, E-mail: gaod@igsnrr.ac.cn

收稿日期: 2007-01-10

表1 常见堆肥物料与调理剂w(C)/w(N)比和含水率
Table 1 w(C)/w(N) ratio and moisture content of common materials and amendments in composting

物料	w(C)/w(N)比	含水率/%	规模、堆肥时间	参考文献
城市污泥	7.1~7.3	76.2~79.0		Iranzo, 2004 ^[16]
	4.7	85		Laos, 2002 ^[17]
猪粪	11.3	68.3	8 m ³ 静态垛, 63 d	Huang, 2004 ^[18]
	7~15			许民, 2004 ^[9]
	16.34	66.1±0.6	4.8 m ³ , 28 d+28 d	Zhu, 2006 ^[19]
	19.8~22.2	67.3~70.2		中国有机肥料养分志, 1999 ^[20]
牛粪	8~26			许民, 2004 ^[9]
	22.2~24.1	74.0~76.0		中国有机肥料养分志, 1999 ^[20]
鸡粪	9.4	15.9	6 m ³ 发酵仓, 10月	Suzuki, 2004 ^[21]
	5~10			许民, 2004 ^[9]
	13.1~15.0	49.9~54.7		中国有机肥料养分志, 1999 ^[20]
干马粪	25	9.7	250 L反应器, 7 d	席北斗, 2003 ^[22]
厨余垃圾	15	65~80	实验室规模, 4 d	Chang, 2006 ^[23]
	13	72.2	125 L反应器, 590 d	Eklind, 2000a ^[24]
	20~25			许民, 2004 ^[9]
鱼类废弃物	6.86	68	156 m ³ , 18 d	Liao, 1997 ^[25]
	3.64	80		Laos, 2002 ^[17]
木质类				
锯末	664	8.12		Huang, 2004 ^[18]
锯末	120	10	250 L反应器, 8 d	席北斗, 2003 ^[22]
锯末	500	30		Laos, 2002 ^[17]
木屑	63.5	37.2		Suzuki, 2004 ^[21]
木屑	200~1 700			许民, 2004 ^[9]
木屑	500	10		Laos, 2002 ^[17]
冷杉木片	87.0	24		Liao, 1997 ^[25]
桤木片	80.7	28		Liao, 1997 ^[25]
树皮	100~350			许民, 2004 ^[9]
硬木片	638	5.4		Eklind, 2000a ^[24]
软木片	736	6.5		Eklind, 2000a ^[24]
树叶	32	8.3		Eklind, 2000a ^[24]
农业废弃物				
稻草、麦秆、稻壳、	70~100			许民, 2004 ^[9]
秸秆	30.0~58.4	11.0~12.0		Iranzo, 2004 ^[16]
秸秆	60~70	9~11		Chang, 2006 ^[23]
秸秆	48~76.6			中国有机肥料养分志, 1999 ^[20]
秸秆	92	4.4		Eklind, 2000a ^[24]
玉米芯	110.84	17.6±0.1		Zhu, 2006 ^[19]
杂草	12~19			许民, 2004 ^[9]
废纸	438	4.2		Eklind, 2000a ^[24]
泥炭	30.5	19		Liao, 1997 ^[25]
	52	5.9		Eklind, 2000a ^[24]

化重金属的作用^[27-29]。天然沸石和铝土矿渣的作用在于通过吸附和络合作用,降低重金属的可交换态和碳酸盐态,钝化重金属^[30-32]。Das 等^[36]研究的合成调理剂(塑料)具有轻质、多孔的特点。相比传统的调理剂木片,在用量较少的情况下也能得到高品质的堆肥,而且回收利用率高达98.9%±0.7%。但是,惰性调理剂普遍的缺点是不能调节物料的w(C)/w(N)比,以达到微生物生长所需的营养条件。

3 调理剂在堆肥过程中的作用

根据调理剂在堆肥中作用不同,选用的调理剂也不尽相同。常用的调理剂有木屑、稻壳、秸秆、锯末、废纸和回流堆肥等^[24,42-43],也有文献报道采用碎轮胎、粉煤灰、沸石和CTB调理剂等作为堆肥调理剂^[26,28,37]。调理剂的主要作用包括调节物料的w(C)/w(N)比、含水率、自由空域、增加堆肥产品的养分、去除堆肥过程中的臭味和钝化重金属等。

表2 惰性调理剂的作用
Table 2 Functions of inert amendments

种类	主要作用	处理对象	堆肥时间	堆体规模	参考文献
CTB调理剂	吸水能力强，价格便宜，易于筛分	城市污泥	14 d	1.76 m ³	高定, 2002 ^[37]
	吸水能力强，提供堆体结构	猪粪	11 d	4.05 m ³	郑玉琪, 2004 ^[40]
	吸水能力强，提供堆体结构	城市污泥 + 猪粪	14 d~20 d	1.8~2.7 m ³	郑玉琪, 2006 ^[41]
碎轮胎	增加孔隙率、改善堆体结构	城市污泥		5.8 m ³	Higgins, 1986 ^[26]
粉煤灰	增加堆肥产品的营养	牛粪	42 d+21 d	中试规模	Beaver, 1995 ^[27]
	>10%抑制微生物活动	城市污泥	90 d		Wong, 1995 ^[28]
	钝化重金属	城市污泥	100 d	实验室规模	Wong, 1997 ^[29]
	钝化重金属	消化污泥	15 d+120 d	10 L反应器	Zorpas, 2000 ^[31]
	保氮，减少NH ₃ 挥发	鸡粪	40 d	90 L反应器	黄懿梅, 2003 ^[32]
铝土	调节水分，减少NH ₃ 挥发	城市污泥	50 d	30 L反应器	Qiao, 1997a ^[33]
矿渣	钝化重金属	城市污泥	50 d	30 L反应器	Qiao, 1997b ^[34]
合成调理剂(塑料)	减少压降，增强堆体通风性能	食品废弃物			McGuckin, 1999 ^[35]
	通气性良好，回收率高，用量少	食品废弃物	70 d	25.9 m ³	Das, 2003 ^[36]

3.1 调节w(C)/w(N)比

w(C)/w(N)比是指堆肥物料中碳含量和氮含量的比值。堆肥过程中，微生物生长需要消耗碳源，同时还需要氮源合成新的有机物，因此需要合适的w(C)/w(N)比。Haug^[7]指出堆肥理想的初始w(C)/w(N)比为30；Ekinci^[44]在初始物料w(C)/w(N)比为15~49的堆肥试验中发现，w(C)/w(N)比的最佳范围为30~38，在这个范围内，有机物降解速率最快。也有研究者认为，最佳初始w(C)/w(N)比为25~35^[10]。超过上限值，氮含量不足，有机物生长过程会发生“氮饥饿”，微生物不能正常地快速繁殖；低于下限值，合成有机物的碳源不足，造成过量的氮不能用于细胞合成，最后转变成NH₃挥发，引起氮素的损失和臭气问题^[45-46]。

活性污泥和畜禽粪便等物料的w(C)/w(N)比通常偏低，需要加入调理剂调节物料的w(C)/w(N)比。Huang^[18]在猪粪堆肥中添加锯末，将其w(C)/w(N)比从初始的11.3分别调节到15和30。研究结果表明，w(C)/w(N)比为30的堆体在49 d后达到腐熟，而w(C)/w(N)比为15的堆体63 d后仍没有达到腐熟。Iranzo^[16]在研究中发现，单独用城市污泥进行堆肥，由于其w(C)/w(N)比只有7.1~7.3，导致微生物活性不够；加入稻壳调节w(C)/w(N)比为17~24后，微生物活动旺盛，氧气消耗速率最大。Ekland等^[24]分别添加秸秆、树叶、硬木片、软木片、纸屑和泥炭，与有机生活垃圾混合堆肥。他发现，加入调理剂后，物料的w(C)/w(N)从13调节至22~34，有机质降解速率常数从0.025/d提高到0.039/d~0.126/d。

3.2 调节物料的水分

水分是堆肥控制工艺中的重要参数^[47-48]，堆肥物料的含水率直接关系到堆肥过程能否顺利进行。水分通过三个方面影响堆肥过程：微生物活动、水

的势能和O₂的扩散^[49]。堆肥是利用微生物降解有机质的过程，微生物的活动包括从胞外摄取溶解性有机质和氧气，在胞内分解合成有机质，而这些过程都必须以液相水为介质^[47,50]。因此，在堆肥过程中，水分充足是微生物活动旺盛的基本条件。一方面，含水率越高，有机质的溶解和扩散越快，越有利于微生物生长^[51]。但是，由于氧气在水中的扩散系数远小于在空气中的扩散系数，含水率过高，会造成堆体中O₂难以扩散到物料的内部，使微生物处于缺氧或厌氧环境，从而产生厌氧发酵^[52]。另外，水的比热容很大，如果含水率过高，液相水大量吸热也会导致堆体不能正常、快速地升温。因此，堆体在整个堆肥过程中需要保持一定范围的含水率。罗维和陈同斌总结前人的大量资料后指出，堆肥最佳初始含水率范围为50%~60%^[47]。

城市污泥、造纸污泥和畜禽粪便含水率很高，可达到70%~80%(见表1)，必须加入低含水率的调理剂，使堆料含水率降到合适的范围。这些调理剂包括褐煤、木屑、稻壳、麦秆、稻秆、锯末和回流堆肥等低含水率的物质^[53-56]。李承强等^[54]将木片、麦壳、玉米芯和回流堆肥加入污泥中，调节物料含水率至54.1%~76.1%，使堆肥过程顺利进行。Miguel等^[53]以锯末为调理剂对人粪渣进行堆肥试验发现，对于Biotoilet系统，混合物料的含水率被调节至65%时，有机物降解速率最大。Georgacakis^[56]通过研究发现褐煤具有较强的吸水能力，与猪粪1:1(V/V)混合条件下，混合物料含水率可调整到55%~65%(表3)。高定等^[37]开发的CTB调理剂，也具有较强的吸水率，对初始含水率为80%的城市污泥，最大可使其失水18%；当调理剂的比例为40%~60%时，可以使城市污泥顺利完成堆肥。

表3 加入调理剂后堆肥物料的含水率
Table 3 Moisture contents of materials mixed with amendments

堆肥物料	调理剂	混合比例(调理剂 堆肥物料)	调整后的含水率/%	参考文献
人粪渣	锯末	5 1(m/m)	60	Miguel, 2005 ^[53]
污泥	麦壳、回流堆肥	1 1 1(V/V)	54.1	李承强, 2001 ^[54]
	木片	2 1(V/V)	68.7	李承强, 2001 ^[54]
	稻壳	1 1(V/V)	73.1	李承强, 2001 ^[54]
	玉米芯	1 1.5(V/V)	76.1	李承强, 2001 ^[54]
	CTB调理剂	1 1 1.5(V/V)	60	罗维, 2004 ^[55]
城市污泥、猪粪	泥炭	1 1(V/V)	55-65	Georgacakis, 1996 ^[56]

3.3 调节堆体的自由空域

在堆肥工程中,自由空域(FAS)是指堆体中空气的体积与堆体总体积之比。FAS过低, O₂总量不足, 阻碍了氧气的存储和传输过程, 造成缺氧, 导致好氧微生物活性减弱, 引起堆体的厌氧发酵^[57]。同时, FAS过低还会降低堆体的通气性, 增加气体通过堆体的压降, 造成能耗的增加^[35]。Huang^[7]在总结大量文献地基础上, 认为堆肥合适的FAS值约为30%。Schulze^[58]也认为, 要使堆肥成功的物料FAS的最小值为30%。他在厨余垃圾和污泥堆肥试验中, 分别采用干化污泥、回流堆肥、废纸和蛭石为调理剂, 将堆料的FAS调节至35%~40%堆肥试验获得成功。

影响FAS的因素包括: 堆体的含水率、物料的机械强度、堆体的湿容重和高度。物料含水率高, 会增大堆体的湿容重, 堆体的压实作用就越明显^[59], 孔隙率和FAS就越小。而且, 含水率的增大减少了空气体积, 也会减少堆体的FAS^[60], 含水率高的物料, 如污泥和畜禽粪便等的FAS很低。通过添加蓬松或吸水性强的调理剂, 可以有效地增大物料的FAS^[22,61-62]。席北斗等^[22]分别以干马粪、锯末、树叶和秸秆为调理剂进行厨余垃圾高温好氧堆肥的研究表明, 干马粪和锯末能够同时增大堆体的FAS和有效吸收物料中的水分, 比树叶和秸秆更有利于实现厨余垃圾的高效快速堆肥。Higgins等人^[26]在对城市污泥堆肥试验中, 加入碎橡胶轮胎调节物料的FAS, 粒径大小分别为1.27~2.54 cm、2.54~5.08 cm、大于5.08 cm, 混合比例分别为1 1、2 1、3

1(破碎轮胎:城市污泥, V/V)。其研究结果表明, 当碎轮胎颗粒大小为1.27~2.54 cm, 与污泥混合比例为2 1时效果最好。Kulcu等^[61]使用松果调节山羊粪便和麦秆混合堆肥的FAS, 分别将堆体的FAS控制在22.6%、26.7%、32.8%和39.7%。他们发现, 与其它堆体相比, FAS为32.8%的堆体降解有机质的速率最大, 因此松果能够有效地调节堆体的FAS。Albuquerque^[62]以葡萄秆和橄榄树叶为调理剂进行橄榄油工业污泥的堆肥试验, 其结果表明, 两种调理剂均能够有效改善堆体结构, 增加堆体的FAS, 其中葡萄秆的效果更明显。

3.4 调理剂与堆体的臭气

堆肥过程中, 由于堆体中存在局部厌氧环境或者有机物分解形成中间产物, 有时会产生一些挥发性的臭气^[63-66]。这些气体组成包括硫化物、氨气、胺化物、萜类物质和芳香族化合物等^[67-68]。臭气的散发不仅对环境造成二次污染, 而且影响工人的作业和周围居民的正常生活, 如果不能对其进行很好地控制和管理, 则会阻碍堆肥厂的正常运行和堆肥技术的推广。

加入调理剂, 可以有效地减少臭味的产生和散发(表4)。调理剂可以通过调节物料的w(C)/w(N)比、水分和自由空域来改善堆体物料的理化性质, 减少厌氧环境, 使高温好氧堆肥腐熟地更充分^[63,69]。一些调理剂如草木灰等, 还可以通过调节堆体pH值来减少中间产物如H₂S等的产生^[71]。另外, 有的调理剂如泥炭和CTB调理剂等具有良好的吸附性能, 可

表4 采用不同调理剂对堆肥过程中臭气的控制效果
Table 4 Effects of different amendments on the emissions odors during composting

堆肥物料	调理剂	控制策略	控制效果	堆肥规模	参考文献
新鲜鸡粪	燕麦秆	加入调理剂, 减少NH ₃ 挥发	氮损失从占总氮的44%降到9%	500 mL干燥器	Kirchmann, 1989 ^[69]
干鸡粪	泥炭和沸石	加入调理剂, 吸附NH ₃	泥炭减少NH ₃ 损失24%, 沸石减少NH ₃ 损失1.5%	500 mL干燥器	Witter, 1989 ^[70]
厨余垃圾	泥炭+木屑、草木灰	加入调理剂(草木灰), 有效减少H ₂ S的释放	加入草木灰的质量分数依次为0、10%、20%; H ₂ S体积分数依次为1.5~2.5、0~1、0~1 mL/L	10 m ³ 旋转鼓反应器	Koivula, 2004 ^[71]
草修剪物	木屑、树叶	加入调理剂, 适当的翻堆频率	木屑比树叶更降低臭气	142 m ³ , 静态垛式	Stuart, 2002 ^[63]

以吸附臭气，减少其挥发量^[70]。Koivula等^[71]在研究厨余垃圾、泥炭和木片混合堆肥过程中，发现加入草木灰后，提高了堆体的O₂浓度和pH值，因而有效地减少臭气的释放，尤其是H₂S的挥发。Witter等^[70]研究泥炭、沸石和玄武岩等材料的等温吸附曲线结果表明，泥炭和沸石对NH₃有良好的吸附性能，而玄武岩对NH₃的吸附能力较差。在猪粪堆肥试验中加入泥炭后，由于泥炭的吸附作用，堆肥过程中的NH₃挥发量明显减少。Georgacakis^[56]进行猪粪和泥炭的混合堆肥的试验结果也表明泥炭具有良好的吸附臭气的能力。Kirchmann等^[69]在研究新鲜猪粪堆肥过程中，发现加入燕麦秆能够有效降低NH₃的挥发，但所需的用量较大。

3.5 调理剂与堆肥的养分损失

堆肥产品最终处置方式一般是农用^[72]。因此，堆肥过程中的养分损失是一个值得关注的问题，养分损失的途径主要有N的挥发和渗滤液流失^[13-14,73]。堆肥过程中主要的养分损失是N素，而N素主要是以NH₃的形式挥发损失^[14]。影响氮素损失的因素主要有：物料的pH值、w(C)/w(N)、通风和是否添加覆盖层等^[74-75]。添加合适的调理剂，调节物料的w(C)/w(N)比，可以有效减少氮素的产生，另外，调理剂本身对NH₃也具有一定的吸附作用。

黄懿梅等^[32]分别以锯末、草炭、沸石和过磷酸钙为调理剂进行鸡粪堆肥试验的结果表明，四种调理剂都可以减少堆肥前期的氮素损失（表5），保氮的效果依次为：泥炭和过磷酸钙混合物>泥炭>过磷酸钙>沸石。Mahimairaja^[30]等分别利用木屑、废纸、麦秆、泥炭、沸石、土壤与畜禽粪便混合堆肥，发现麦秆、泥炭和沸石能有效降低NH₃的损失，分别减少33.5%、25.8%和60%。Nakasaki等^[76]在可降解塑料与城市污泥混合堆肥试验中发现，塑料降解产生的酸性中间产物，形成H⁺，导致pH值降低，从

而减少NH₃的挥发，起到保氮的作用。Barrington等^[78]报道了松木屑及其与大豆混合物、干草及其与尿素混合物、小麦秆和燕麦秆等六种调理剂在猪粪堆肥过程中对N素损失的影响，发现与其它调理剂组合相比，燕麦秆的保氮效果最好。

除了减少氮素损失外，调理剂的加入还能影响其它的养分。Beaver^[27]在添加粉煤灰进行厨余垃圾堆肥试验中发现，粉煤灰能增加堆肥产品的养分如Ca、S、B、Mo和Se等。Vuorinen^[79]通过研究麦秸和泥炭与猪粪和牛粪混合物的堆肥，其结果表明，调理剂的种类对有机磷矿化过程影响很明显。

3.6 调节重金属活性

用于堆肥的有机废弃物如猪粪和污泥等常常含有一定量浓度的重金属，对环境造成潜在的污染风险^[80]。重金属对环境的影响与其总量及化学形态密切相关^[81]。有机物料经过堆肥处理后，重金属的化学形态会发生变化^[82]。

添加调理剂如沸石、石灰、铝土矿渣等，可以降低堆肥中重金属的有效态。Zheng和Gao等^[83-85]通过污泥与CTB调理剂混合堆肥实验发现，经过堆肥处理，Pb、Cr、Cu、Ni和Cd等重金属由有效性较高的形态向有效性较低的形态转化，从而钝化重金属。Wong等^[29]人指出，粉煤灰与城市污泥混合物经过100 d堆肥后，重金属的有效性降低。Zorpas等^[31]以天然沸石作调理剂进行脱水消化污泥堆肥的试验结果表明，随着沸石比例的增加，腐熟后堆体中的重金属含量逐渐下降；进行形态分析发现，被沸石吸附的重金属以可交换态和碳酸盐态为主。Wong等^[86]通过石灰、锯末和污泥的混合堆肥试验证明，石灰能够有效降低重金属Fe、Mn、Ni、Pb和Zn的有效形态。Guerra-Rodriguez等^[87]使用农业废弃物作为调理剂与猪粪进行混合堆肥试验，发现腐熟后堆肥的重金属含量下降。

表5 采用不同调理剂对堆肥过程养分损失的控制

Table 5 Effects of different amendments on nutrients losses during the composting process

堆肥物料	调理剂	控制策略	控制效果	参考文献
城市污泥	锯末、可生物降解塑料	加入调理剂，降解产生H ⁺ ，调节pH值，吸附NH ₃	减少NH ₃ 挥发损失	Nakasaki, 2000 ^[76]
城市有机固体废弃物(混合物)	锯木屑、硫酸氢钾、硫酸氢钾+锯木屑	加入调理剂，吸附NH ₃	总氮损失从38%下降到13%~21%	胡天觉, 2005 ^[77]
畜禽粪便	木屑、废纸、麦秆、泥炭、沸石、土壤	添加调理剂，改善堆体理化性质	减少NH ₃ 损失：麦秆，33.5%，泥炭，25.8%，沸石，60%	Mahimairaja, 1994 ^[30]
猪粪	松木屑及其与大豆混合物、干草及其与尿素的混合物、小麦秆、燕麦秆	添加调理剂，调节 w(C)/w(N)比	氮损失依次为 68.6%、53.6%、57.6%、41.9%、57.4%、38.5%	Barrington, 2002 ^[78]
鸡粪	锯末、草炭、沸石、过磷酸钙	加入调理剂，调节pH值、营养平衡、吸附NH ₃	总氮损失从 38.5% 下降到 1.0%~5.8%	黄懿梅, 2003 ^[32]
厨余垃圾	粉煤灰	添加调理剂使堆肥产品的养分含量提高	Ca、S、B、Mo和Se等元素的含量提高	Beaver, 1995 ^[27]

4 调理剂研究的展望

在高温好氧堆肥中选择适宜的调理剂可以起到调节物料的 $w(C)/w(N)$ 比、含水率和通气性等作用,增加堆体的FAS、堆肥产品的养分,起到去除臭味和钝化重金属等效果,是堆肥过程中的重要辅料。但是,传统的调理剂多属于有机调理剂(或者活性调理剂),其主要目的在于调节堆肥物料 $w(C)/w(N)$ 比,在改善堆体结构方面的作用不明显。而且,调理剂自身被降解,形成碎片,给堆肥的后续处理带来一定的难度。惰性调理剂的优点在于可以明显改善堆体结构,自身不被降解,回收重复利用率高,但是缺点是不能调节物料的 $w(C)/w(N)$ 比。因此,开发既能调节堆肥物料化学性质,又能有效改善堆体结构的复合型调理剂是今后调理剂研究的方向。但是,到目前为止,尽管针对堆肥物料的研究工作已开展很多,但针对调理剂的专门研究报道并不多,关于调理剂在堆肥过程中的作用机理及最佳用量等关键问题还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李宇庆, 陈玲, 赵建夫, 等. 城市污水厂污泥快速高效堆肥技术研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 380-383.
LI Yuqing, CHEN Ling, ZHAO Jianfu, et al. Rapid and high-efficiency composting of sewage sludge [J]. Journal of Agro-Environmental Science, 2005, 24(2): 380-383.
- [2] 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究, 2006, 25(2): 311-319.
GAO Ding, CHEN Tongbin, LIU Bin, et al. Releases of pollutants from poultry manure in China and recommended strategies for the pollution prevention [J]. Geographical Research, 2006, 25(2): 311-319.
- [3] 申容燕, 骆永明, 滕应, 等. 城市污泥的污染现状及其土地利用评价[J]. 土壤, 2006, 38(5): 517-524.
SHEN Rongyan, LUO Yongming, TENG Ying, et al. The advances in municipal sewage sludge and assessment for its land application [J]. Soil, 2006, 38(5): 517-524.
- [4] WEI Y S, FAN Y B, WANG M J, et al. Composting and compost application in China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2000, 30: 277-300.
- [5] NEKLYUDOV A D, FEDOTOV G N, IVANKIN A N. Aerobic processing of organic waste into composts [J]. Applied Biochemistry and Microbiology, 2006, 42(4): 341-353.
- [6] 李艳霞, 王敏健, 王菊思, 等. 固体废弃物的堆肥化处理技术[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 4(1): 39-45.
LI Yanxia, WANG Mingjian, WANG Jusi, et al. The technology of municipal sewage sludge composting [J]. Technology and Equipment for Environmental Pollution Control, 2004, 4(1): 39-45.
- [7] HAUG R T. The Practical handbook of compost engineering [J]. Lewis Publishers. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, 1993.
- [8] 李国学, 李玉春, 李彦富. 固体废物堆肥化及堆肥添加剂研究进展[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 252-256.
LI Guoxue, LI Yuchun, LI Yanfu. Advance on composting of solid waste and utilization of additives [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2003, 22(2): 252-256.
- [9] 许民, 杨建国, 李宇庆, 等. 污泥堆肥影响因素及辅料的探讨[J]. 环境保护科学, 2004, 30(125): 37-40.
XU Min, YANG Jianguo, LI Yuqing, et al. Discussion on influencing factors for composting of sewage sludge and utilization of assistant materials [J]. Environmental Protection Science, 2004, 30(125): 37-40.
- [10] 李国学, 张福锁. 固体废物堆肥化与有机复混肥生产[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 28-30.
LI Guoxue, ZHANG Fusuo. Solid Waste Composting and Production of Fertilizer [M]. Chinese Chemical Industry Press, Beijing, P R China, pp: 28-30.
- [11] MASON I G, MOLLAH M S, ZHONG M F, et al. Composting high moisture content bovine manure using passive aeration [J]. Compost Science & Utilization, 2004, 12(3): 249-267.
- [12] EFTODA G, MCCARTNEY D. Determining the critical bulking agent requirement for municipal biosolids composting [J]. Compost Science & Utilization, 2004, 12(3): 208-218.
- [13] 周少奇, 李端. 污泥堆肥过程中氮素损失机理及保氮技术[J]. 土壤, 2003, 35(6): 481-484.
ZHOU Shaoqi, LI Duan. Mechanism of nitrogen loss and technique for nitrogen conservation in composting of sludge [J]. Soil, 2003, 35(6): 481-484.
- [14] 杨延梅, 刘鸿亮, 杨志峰, 等. 控制堆肥过程中氮素损失的途径和方法综述[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2005, 41(2): 213-216.
YANG Yanmei, LIU Hongliang, YANG Zhifeng, et al. Methods and techniques in the control of nitrogen loss during the composting: A review [J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2005, 41(2): 213-216.
- [15] MCCARTNEY D, EFTODA G. Choosing bulking agents for windrow composting [J]. BioCycle, 2002, 43(1): 47.
- [16] IRANZO M, CANIZARES J V, ROCA-PEREZ L, et al. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain) [J]. Bioresource Technology, 2004, 95(1): 107-112.
- [17] LAOS F, MAZZARINO M J, WALTER I, et al. Composting of fish offal and biosolids in northwestern Patagonia [J]. Bioresource Technology, 2002, 81(3): 179-186.
- [18] HUANG G F, WONG J W C, WU Q T, et al. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust t[J]. Waste Management, 2004, 24(8): 805-813.
- [19] ZHU N W. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system [J]. Bioresource Technology, 2006, 97(15): 1870-1875.
- [20] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
Center for Agro-technology Extension and Service of China. Manual of Nutrient in Organic Fertilizers in China[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999.
- [21] SUZUKI T, IKUMI Y, OKAMOTO S-T, et al. Aerobic composting of chips from clear-cut trees with various co-materials [J]. Bioresource Technology, 2004, 95(2): 121-128.
- [22] 席北斗, 刘鸿亮, 孟伟, 等. 厨余垃圾堆肥蓬松剂技术研究[J]. 安全与环境学报, 2003, 3(3): 41-45.

- XI Beidou, LIU Hongliang, MENG Wei, et al. An improvement to domestic waste composting by adding different bulking agents [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2003, 3(3): 41-45.
- [23] CHANG J I, TSAI J J, WU K H. Thermophilic composting of food waste [J]. *Bioresource Technology*, 2006, 97(1): 116-122.
- [24] EKLIND Y, KIRCHMANN H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 74(2): 115-124.
- [25] LIAO P H, JONES L, LAU A K, et al. Composting of fish wastes in a full-scale invessel system [J]. *Bioresource Technology*, 1997, 59(2-3): 163-168.
- [26] HIGGINS A, SUHR J, RAHMAN M, et al. Shredded rubber tires as a bulking agent in sewage sludge composting [J]. *Waste Management & Research*, 1986, 4(4): 367-386.
- [27] BEAVER T. Adding coal ash to the composting mix [J]. *BioCycle*, 1995, 36(3): 88-89.
- [28] WONG J W C, LI S W Y, WONG M H. Coal fly ash as a composting material for sewage sludge : effects on microbial activities [J]. *Environmental technology*, 1995, 16(6): 527-537.
- [29] WONG J W C, FANG M, LI G X, et al. Feasibility of using coal ash residues as co-composting materials for sewage sludge [J]. *Environmental technology*, 1997, 18(5): 563-568.
- [30] MAHIMAIRAJA S, BOLAN N S, HEDLEY M J, et al. Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment [J]. *Bioresource Technology*, 1994, 47(3): 265-273.
- [31] ZORPAS A A, CONSTANTINIDES T, VLYSSIDES A G, et al. Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 72(2): 113-119.
- [32] 黄懿梅, 曲东, 李国学. 调理剂在锯末堆肥中的保氮效果[J]. *环境科学*, 2003, 24(2): 156-160.
HUANG Yimei, QU Dong, LI Guoxue. Effect of adding amendments on preserving nitrogen during chicken manure and saw composting [J]. *Environmental Science*, 2003, 24(2): 156-160.
- [33] QIAO L, HO G. The effects of clay amendment and composting on metal speciation in digested sludge[J]. *Water Research*, 1997, 31(5): 951-964.
- [34] QIAO L, HO G. The effects of clay amendment on composting of digested sludge [J]. *Water Research*, 1997, 31(5): 1056-1064.
- [35] MCGUCKIN R L, EITEMAN M A, DAS K. Pressure drop through raw food waste compost containing synthetic bulking agents [J]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, 72(4): 375-384.
- [36] DAS K C, TOLLNER E W, EITEMAN M A. Comparison of synthetic and natural bulking agents in food waste composting [J]. *Compost Science & Utilization*, 2003, 11(1): 27.
- [37] 高定, 黄启飞, 陈同斌. 新型堆肥调理剂的吸水特性及应用[J]. *环境工程*, 2002, 20(3): 48-50.
GAO Ding, HUANG Qifei, CHEN Tongbin. Water absorbability and application of a new type compost amendment [J]. *Environmental Engineering*, 2002, 22(3): 48-50.
- [38] 陈同斌, 黄启飞, 高定, 等. 城市污泥堆肥温度动态变化过程及层次效应[J]. *生态学报*, 2002, 22(5): 736-741.
CHEN Tongbin, HUANG Qifei, GAO Ding, et al. Temperature dynamic during the sewage sludge composting process [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 736-741.
- [39] 陈同斌, 郑玉琪, 高定, 等. 猪粪好氧堆制不同阶段氧气含量变化特征[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(11): 2179-2183.
CHEN Tongbin, ZHENG Yuqi, GAO Ding, et al. Variation of oxygen concentration during aerobic composting of pig manure[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11): 2179-2183.
- [40] 郑玉琪, 陈同斌, 高定, 等. 静态垛好氧堆肥堆体中氧气浓度和好氧速率的垂直分布特征[J]. *环境科学*, 2004, 25(2): 134-139.
ZHENG Yuqi, CHEN Tongbin, GAO Ding, et al. Characteristics of vertical distribution of oxygen concentration and consumption rate in aerobic static composting [J]. *Environmental Science*, 2004, 25(2): 134-139.
- [41] 郑玉琪, 陈同斌, 高定, 等. 城市污泥添加猪粪的功效研究[J]. *中国给水排水*, 2006, 22(9): 105-108.
ZHENG Yuqi, CHEN Tongbin, GAO Ding, et al. Influence of adding pig manure on urban sludge composting [J]. *China Water & Wastewater*, 2006, 22(9): 105-108.
- [42] 魏源送, 李承强, 樊耀波, 等. 采用不同调理剂的污泥堆肥稳定度研究[J]. *中国给水排水*, 2002, 18(2): 5-9.
WEI Yuansong, LI Chengqiang, FAN Yaobo, et al. Study on stability of sludge composting by using various kinds of conditioner[J]. *China Water & Wastewater*, 2002, 18(2): 5-9.
- [43] MOHEE R, MUDHOO A. Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix[J]. *Powder Technology*, 2005, 155(1): 92-99.
- [44] EKINCI K, KEENER H M, ELWELL D L. Composting short paper fiber with broiler litter and additives II: Evaluation and optimization of decomposition rate versus mixing ratio[J]. *Compost Science & Utilization*, 2002, 10(1): 16.
- [45] 李艳霞, 王敏健, 王菊思, 等. 城市固体废弃物堆肥化处理的影响因素[J]. *土壤与环境*, 1999, 8(1): 61-65.
LI Yanxia, WANG Minjian, WANG Jusi, et al. The affecting parameters of the municipal solid wastes composting [J]. *Soil and Environmental Sciences*, 1999, 8(1): 61-65.
- [46] 黄国锋, 吴启堂, 黄焕忠. 有机固体废弃物好氧高温堆肥化处理技术[J]. *中国生态农业学报*, 2003, 11(1): 159-161.
HUANG Guofeng, WU Qitang, HUANG Huanzhong. Aerobic and thermophilic composting technology of solid waste [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(1): 159-161.
- [47] 罗维, 陈同斌. 湿度对堆肥理化性质的影响[J]. *生态学报*, 2004, 24(11): 2656-2663.
LUO Wei, CHEN Tongbin. Effects of moisture content of compost on its physical and chemical properties [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2656-2663.
- [48] Design Manual Number 44: Composting of municipal wastewater sludges[S]. WWBLDM44. US EPA 625/4-85-014., 1985.
- [49] RICHARD T L, HAMELERS H V M, VEEKEN A, et al. Moisture relationships in composting processes[J]. *Compost Science & Utilization*, 2002, 10(4): 286.
- [50] RYNK R. Monitoring moisture in composting systems [J]. *Biocycle*, 2000, 41(10): 53-57.
- [51] HAMODA F M, QDAIS H A A, NEWHAM J. Evaluation of municipal solid waste composting kinetics [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 1998, 23: 209-233.
- [52] MILLER F C. Matric water potential as an ecological determinant in compost, a substrate dense systems [J]. *Microbial Ecology*, 1989, 18: 59-71.

- [53] MIGUEL ANGEL LOPEZ Z, NAOYUKI F. Effect of moisture content on the composting process in a biotoilet system [J]. *Compost Science & Utilization*, 2005, 13(3): 208.
- [54] 李承强, 魏源送, 樊耀波, 等. 不同填充料污泥好氧堆肥的性质变化及腐熟度[J]. *环境科学*, 2001, 22(3): 60-65.
LI Chengqiang, WEI Yuansong, FAN Yaobo, et al. The character changes and maturity of sewage sludge aerobic co-composting with various bulking agents [J]. *Environmental Science*, 2001, 22(3): 60-65.
- [55] 罗维, 陈同斌, 高定, 等. 城市污泥与猪粪混合堆肥过程中湿度空间变异[J]. *环境科学学报*, 2004, 24(1): 126-133.
LUO Wei, CHEN Tongbin, GAO Ding, et al. Variations of moisture content during co-composting of biosolid and pig manure [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(1): 126-133.
- [56] GEORGACAKIS D, TSAVDARIS A, BAKOULI J, et al. Composting solid swine manure and lignite mixtures with selected plant residues[J]. *Bioresource Technology*, 1996, 56(2-3): 195-200.
- [57] NAKASAKI K, NAKANO Y, AKIYAMA T, et al. Oxygen diffusion and microbial activity in the composting of dehydrated sewage sludge cakes [J]. *Journal of Fermentation Technology*, 1987, 65(1): 43-48.
- [58] SCHLUZE K L. Continuous thermophilic composting [J]. *Applied Environmental Microbiology*, 1962, 10(2): 108-122.
- [59] DAS K, KEENER H M. Moisture on compaction and permeability in composts [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1997, 123(3): 275-281.
- [60] OPPENHEIMER J R, MARTIN A G, WALKER L P. Measurement of air-filled porosity in unsaturated organic matrices using a pycnometer [J]. *Bioresource Technology*, 1997, 59: 241-247.
- [61] KULCU R, YALDIZ O. Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent [J]. *Bioresource Technology*. In Press, Corrected Proof.
- [62] ALBURQUERQUE J A, GONZALVEZ J, GARCIA D, et al. Effects of bulking agent on the composting of "alperujo", the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction [J]. *Process Biochemistry*, 2006, 41(1): 127-132.
- [63] STUART C B, FREDERICK C M Jr. Controlling odors during grass composting [J]. *BioCycle*, 2002, 43(9): 42.
- [64] FUKUMOTO Y, OSADA T, HANAJIMA D, et al. Patterns and quantities of NH_3 , N_2O and CH_4 emissions during swine manure composting without forced aeration--effect of compost pile scale [J]. *Bioresource Technology*, 2003, 89(2): 109-114.
- [65] PAUL R, MARK G, PAUL S. Measurement of biosolids compost odor emissions from a windrow, static pile, and biofilter [J]. *Water Environment Research*, 2004, 76(4): 310.
- [66] HONG J H, PARK K J. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting [J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(6): 741-745.
- [67] WILLIAMS T O. Odors and VOC emissions control methods [J]. *BioCycle*, 1995, 36(5): 49.
- [68] KOMILIS D P, HAM R K, PARK J K. Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid wastes [J]. *Water Research*, 2004, 38(7): 1707-1714.
- [69] KIRCHMANN H, WITTER E. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition [J]. *Plant and Soil*, 1989, 115(1): 35-41.
- [70] WITTER E, KIRCHMANN H. Peat, zeolite and basalt as adsorbents of ammonia nitrogen during manure decomposition [J]. *Plant and Soil*, 1989, 115(1): 43-52.
- [71] KOIVULA N, RAIKKONEN T, URPILAINEN S, et al. Ash in composting of source-separated catering waste [J]. *Bioresource Technology*, 2004, 93(3): 291-299.
- [72] TERMORSHUIZEN A J, MOOLENAAR S W, VEEKEN A H M, et al. The value of compost [J]. *Environmental Science & Bio/Technology*, 2004, 3: 343-347.
- [73] 贺琪, 李国学, 张亚宁, 等. 高温堆肥过程中的氮素损失及其变化规律[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(1): 169-173.
HE Qi, LI Guoxue, ZHANG Yaning, et al. N loss and its characteristics during high temperature composting [J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2005, 24(1): 169-173.
- [74] JEONG Y K, KIM J S. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes [J]. *Bioresource Technology*, 2001, 79(2): 129-133.
- [75] RAVIV M, SHLOMIT M, ARKADY K, et al. Conserving nitrogen during composting [J]. *BioCycle*, 2002, 43(9): 48.
- [76] NAKASAKI K, OHTAKI A H. Biodegradable plastic reduces ammonia emission during composting [J]. *Polymer Degradation and Stability*, 2000, 70(2): 185-188.
- [77] 胡天觉, 曾光明, 黄国和, 等. 好氧堆肥中不同吸附剂对氨吸附效果及堆肥性质的影响[J]. *环境科学*, 2005, 26(1): 190-195.
HU Tianjue, ZENG Guangming, HUANG Guohe, et al. Influence of different sorbents on adsorption effect of ammonia and compost property in aerobic composting [J]. *Environmental Science*, 2005, 26(1): 190-195.
- [78] BARRINGTON S, CHOINIERE D, TRIGUI M, et al. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses [J]. *Bioresource Technology*, 2002, 83(3): 189-194.
- [79] VUORINEN A H. Effect of the bulking agent on acid and alkaline phosphomonoesterase and β -glucosidase activities during manure composting [J]. *Bioresource Technology*, 2000, 75(2): 133-138.
- [80] NICHOLSON F A, CHAMBERS B J, WILLIAMS J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and animal manures in England and Wales [J]. *Bioresource Technology*, 1999, 70(1): 23-31.
- [81] TESSIER A, CAMPBELL P G C, BISSON M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals [J]. *Analytical Chemistry*, 1979, 51(7): 844-851.
- [82] 郑国砥, 陈同斌, 高定, 等. 好氧高温堆肥处理对猪粪中重金属形态的影响[J]. *中国环境科学*, 2005, 25(1): 6-9.
ZHENG Guodi, CHEN Tongbin, GAO Ding, et al. Influence of high temperature aerobic composting treatment on the form of heavy metals in pig manure [J]. *China Environmental Science*, 2005, 25(1): 6-9.
- [83] ZHENG G D, GAO D, CHEN T B, et al. Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting [J]. *Journal of Hazardous Materials*. In Press, Corrected Proof.
- [84] GAO D, ZHENG G D, CHEN T B, et al. Changes of Cu, Zn, and Cd speciation in sewage sludge during composting [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(6): 957-961.
- [85] ZHENG G D, CHEN T B, GAO D, et al. Dynamic of lead speciation in sewage sludge composting[J]. *Water Science and Technology*, 2004, 50(9): 75-82.

- [86] WONG J W C, SELVAM A. Speciation of heavy metals during co-composting of sewage sludge with lime[J]. Chemosphere, 2006, 63(6): 980-986. Evaluation of heavy metal contents in co-composts of poultry manure with barley wastes or chestnut burr/leaf litter [J]. Chemosphere, 2006, 65(10): 1801-1805.
- [87] GUERRA-RODRIGUEZ E, ALONSO J, MELGAR M J, et al.

Application of amendments in composting: A review

ZHANG Jun^{1,2}, LEI Mei¹, CHEN Tongbin¹, ZHENG Guodi¹, GAO Ding¹, YUE Bo^{1,2}, LIU Bin^{1,2}, DU Wei¹

1. Center for Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Amendments are important assistant materials in the composting process. In order to complete the composting process efficiently, the materials for composting should meet some physical and chemical characteristics such as $w(C)/w(N)$ ratio (carbon nitrogen ratio), moisture content, free air space, etc., under which conditions aerobic microorganisms can thrive. According to amendments' chemical property, they can be divided into two types: active amendments which can be biodegradable in the composting and inert amendments which can not be. Active amendments mainly improve the chemical characteristic of the materials, while inert amendments mainly improve the physical structure of the composting matrix and the quality of the compost product. This paper reviews the function of many amendments in literatures, which includes six aspects: adjusting the $w(C)/w(N)$ ratio of the materials, regulating moisture content, modulating the free air space, reducing the odors in the process, improving the nutrient quality of the product and decreasing the effectiveness of heavy metals. In recent literatures, researchers focus on whether the composting can be completed successfully after adding amendments. However, there are some other aspects about amendment should be pay more attention, such as: the development of compound amendments, the mechanism in which amendments affect the composting process, the application of amendments in composting engineering.

Key words: composting; amendment; $w(C)/w(N)$ ratio; moisture content, free air space