

有机固体废弃物堆肥的腐熟度参数及指标*

李艳霞 王敏健 王菊思

(中国科学院生态环境研究中心国家重点环境水化学实验室, 北京 100085)

摘要 腐熟度参数及其指标是评价堆肥过程及堆肥产品质量的重要尺度. 本文综述了关于腐熟度的表观分析法、化学分析法、波谱分析法及植物生长分析法等 4 类评价方法和各种腐熟度参数及指标.

关键词 腐熟度, 参数, 指标, 堆肥化, 有机固体废弃物.

The Maturity Indexes and Standards of Organic Solid Waste Composting*

Yanxia Li Minjian Wang Jusi Wang

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, SKLEAC, Beijing 100085)

Abstract The evaluation of the maturity of solid waste composting is important for both composting and compost. The maturity evaluation methods (apparent analysis, chemical evaluation, spectroscopy evaluation, plant growth bioassay), indexes and standards are reviewed in this paper.

Keywords maturity, indexes, standards, composting, organic solid waste

堆肥化 (composting) 是较为普遍采用的有机固体废弃物处理方法之一, 堆肥的腐熟程度影响堆肥产品的使用. 所有未经处理的有机废物、未腐熟的堆肥都会提高土壤中微生物的活性, 在一段时间内造成潜在的氧缺乏和间接毒性, 亦会产生臭味^[1]. 堆肥的腐熟度是堆肥厂的设计、运行及堆肥过程控制的重要依据^[2], 关系到堆肥厂的建造成本及运行效率.

关于腐熟度的参数及指标研究, 已有大量工作报告, 提出了一些评价方法. 本文将其划分为表观分析法、化学分析法、波谱分析法和植物生长分析法等 4 大类.

1 表观分析法

将堆肥的某些表观特征归纳为腐熟度标准为^[3, 4]: 堆肥后期温度自然降低; 不再吸引蚊蝇; 不会有令人讨厌的臭味; 由于真菌的生长堆肥出现白色或灰白色; 堆肥产品呈现疏松的团粒结构. 但这些表观指标只是经验的定性总结, 难以进行定量分析.

2 化学分析法

通过分析堆肥产品的某些化学指标来判断堆肥的

腐熟度.

(1) 挥发性固体 (有机质或全碳) 含量 堆肥过程是利用微生物分解和转化原料中的不稳定有机质. 挥发性固体代表着堆肥中可被微生物利用的总能量, 影响着堆肥过程的温度变化. 在适宜的条件下, 当挥发性固体含量高时 (堆肥初期), 微生物有大量可以利用的能源, 使堆体温度上升, 随挥发性固体含量的减少, 堆体温度降低. 美国科罗拉多州健康标准局要求, 挥发性固体经堆腐后必须降解 38% 以上, 产品中挥发性固体含量应低于 65%^[5]. 但是, 不同原料的挥发性固体含量及性质显著不同 (见表 1). 使得这一参数及指标的使用难以具有普遍意义.

(2) 生化需氧量 (BOD_5) BOD_5 亦反映了堆肥过程中可被微生物利用的有机物量, 随堆腐过程的进行, BOD_5 不断降低. 有试验证明^[7], 当物料中 BOD_5 少于 50—55g/kg 固体时, 堆体温度达不到 60℃. 在最初的堆肥高温期, BOD_5 降低很快. 用机械化设备生产的堆

* 国家重点科技攻关项目 (The National Key Science and Technology Project): 96-909-01-05

李艳霞: 女, 28 岁, 博士生

收稿日期: 1998-06-08

肥产品,其BOD₅一般为20—40g/kg。但是,原料成分对于BOD₅的影响很大。有些固体废弃物原始BOD₅值就较低,使得这一参数与上述挥发性固体相类似,对于

不同原料的指标无法统一;且测定BOD₅的方法复杂而费时,不能及时反馈检测结果,影响对实际操作过程的控制。

表1 污泥中有机质的含量^[6]/ %

采样点	北京高碑店	广州大坦沙	太原北郊	太原古郊	美国
有机质	35.7	31.7	40.31	9.20	46.5—63.8

(3) pH 值 许多研究者提出,pH 值可以作为评价堆肥腐熟程度的一个指标^[8]。堆肥原料或发酵初期,pH 值为弱酸到中性,一般为6.5—7.5。腐熟的堆肥一般呈弱碱性,pH 值在8—9左右。但是 pH 值亦受堆肥原料和条件的影响^[9],只能作为堆肥腐熟的一个必要条件,而不是充分条件^[4]。

(4) 易降解有机质 在堆肥过程中,最易降解的有机质可能被微生物用作能源而最终消失,所以一些研究者认为它们是最有用的参数^[10]。

淀粉和可溶性糖:污泥中可含有3类碳水化合物,即:糖、淀粉和纤维素^[4]。在堆肥过程中,糖首先消失,接着是淀粉,最后才是纤维素。淀粉和可溶性糖是堆肥原料中典型的易降解有机质,易被微生物利用^[4]。Poincelot^[11]的试验显示,垃圾的糖和淀粉含量分别为5%及2%—8%,经过5—7周的堆腐可完全降解。陈世和^[12]的垃圾堆肥试验中,堆腐进行至第10天时,淀粉含量从最初的2.7%降低到0.06%,到第12天,淀粉基本消失。试验者认为,完全腐熟的、稳定的堆肥产品,以检不出淀粉为基本条件,但是检不出淀粉并不一定表示堆肥已经腐熟。

腐解时放出二氧化碳的有机质:在有氧堆肥初期,所有原料都会以二氧化碳(CO₂)形式释放出部分有机质,可降解有机质越多,释放CO₂越多。随堆腐过程的进行,可降解并放出CO₂的有机质量会减少。当它达到一定的值或者消失时,可以认为堆肥已达腐熟。Garcia 等^[10]认为,堆肥的每100g 有机质中,能降解放出CO₂的有机质少于500mg 时,该堆肥便达腐熟。但是此参数的测定周期较长,需要38天。因此其实际应用价值受到限制。

(5) 堆肥过程中特殊物质的出现及消失 堆肥初期铵态氮(NH₄-N)含量较高,Riffaldi 等^[13]提出NH₄-N 的减少及消失和NO₃-N 的增加可以作为腐熟度的参数。在他们的试验中,堆肥过程结束时,NH₄-N 仅为原始物料中原含量的15%左右,NO₃-N 却增加了2倍。但是这2个参数受堆肥条件及原料的显著影响^[14],当原料的碳/氮(C/N)高、堆体温度高且通气条件差时,

会造成大量的氮(N)以NH₄-N 的形式损失,使这2个参数的使用受到限制。

(6) 腐殖质物质的变化 一些研究者认为,在堆肥过程中,原料中的有机质经微生物的作用,在降解的同时还进行着腐殖化过程^[15,16]。腐殖质物质(总腐殖酸碳,C_{HS};胡敏酸碳,C_{HA};富里酸碳,C_{FA};胡敏素碳,C_{NFA})参数相继被提出。Inbar^[15]报道,在牛粪(Separated Cattle Manure,SCM)的堆腐过程中,其C_{HS}/有机质的含量从377g/kg 提高到710g/kg。但Chefetz^[16]等使用市政固体废物(Municipal Solid Waste,MSW)进行堆肥,在堆腐期C_{HS}没有变化,而C_{HA}和C_{FA}却各有增减。这个结论与Das^[17]及Jimenez 等^[18]的结果一致,说明原材料对堆肥过程中的腐殖化反应影响很大,对不同的原料和堆肥技术很难给出统一的定量关系。

(7) C_s/N_s(固相中全碳与全氮之比) 因为微生物体的C/N 在16左右,在堆肥过程中,多余的炭素将转变成CO₂。因此,一些研究者认为,腐熟的堆肥理论上讲应趋向于微生物菌体的C/N,即16左右^[19,20]。有研究提出,堆体中的C_s/N_s从最初的30:1降低到15—20:1时,可以认为已经腐熟^[20]。但对一些原料(例如污泥)来讲,其本身的C_s/N_s便不足15:1^[21]。所以,C_s/N_s为16左右难以作为广义的指标参数使用。而且,在不同的堆肥条件下,堆料中氮素含量的变化不尽相同。从表2也可以看出,大部分堆肥产品的C_s/N_s并不在15—20:1的范围内。

(8) C_{O(w)}/N_{O(w)}(水溶态有机碳与水溶态有机氮之比) 有研究提出^[21,22],堆肥过程是微生物对原料中水溶态有机质进行矿化的过程。通过检测堆肥浸提液中水溶态成分的变化,可以判断堆肥的腐熟程度。Hirai 等人分析了12种原料的堆肥产品发现,不论原料如何,完全腐熟的堆肥C_{O(w)}/N_{O(w)}几乎都在5—6左右,见表2。但是,当堆肥原料含有污泥时,原料的C_{O(w)}/N_{O(w)}很低,只有5.56—7.19,这时C_{O(w)}/N_{O(w)}不能作为腐熟度的指标。另外,从表2可看出,树叶和污泥的原始C_{O(w)}/N_{O(w)}分别为2.95和5.56,经过堆腐过程后,其值反而上升,这说明,堆肥过程并不只是微生物

对水溶态的有机质进行矿化,原存在于固相中的 C 和 N 也参与了反应,体系中水溶相与固相之间存在着一定的转化关系.所以,对这一指标的应用还需进一步研究.

表 2 不同类型原料堆肥前后的 C/N^[21]

样品	原料		堆肥	产品
	C _{O(w)} /N _{O(w)}	C _s /N _s	C _{O(w)} /N _{O(w)}	C _s /N _s
污泥	5.56	8.74	6.01	11.2
污泥+ 锯末	7.19	21.5	4.34	17.9
污泥+ 稻壳	6.05	14.9	5.50	14.2
庭院废弃物+ 木屑	29.5	21.6	6.36	16.7
庭院废弃物	13.9	16.0	5.72	15.8
生活垃圾	26.2	20.7	6.85	14.9
牛粪	12.0	22.0	5.16	11.3
牛粪+ 猪粪+ 稻草			6.15	12.7
鸡粪	8.64	5.26	5.68	8.2
木屑+ 牛粪	(26.5) ¹⁾	(101.7) ¹⁾	6.30	29.0
树叶	2.95	33.4	5.00	12.1

1) 测定值不包括牛粪

(9) 腐殖化参数 (HI, HR, C_{HS}/C₀, C_{FA}/C₀) Rorletto 等^[23]研究了 5 类木质-纤维素物质(农肥、污泥、酒厂废渣等)的堆肥过程及堆肥产品,提出当有关腐殖化参数的最小值 HI(腐殖化指数 HI= C_{HA}/C_{FA}= 1.00, C_{HS}/C₀(胡敏酸碳与总有机碳之比 C_{HA}/C₀)= 7.00, C_{FA}/C₀(总腐殖酸碳与总有机碳之比 C_{HS}/C₀= 3.50, 腐殖质含量大于 3.00% 时,可以认为堆肥已经腐熟.但是他指出,这些指标只是适用于评价木质-纤维素类堆肥. Jimenez 等^[24]研究垃圾堆肥及污泥与垃圾堆肥时提出,当 HI 和 CEC/C₀(阳离子代换量与总有机碳之比)均高于 1.9 时,可以认为堆肥已经腐熟.而 Chefetz^[16]研究 MSW 堆肥发现:MSW 原料的 HR 值为 0.42,经过 30 天堆腐后,达到 1.18,在第 132 天达到 1.35; HI 通过 30 天的堆腐从 0.91 快速提高到 2,最后升高到 3.他们认为,这些参数的上升趋势显示,通过堆肥化, C_{HA} 变为腐殖质的主要部分, C_{HA} 的升高代表了堆肥的腐殖化及腐熟程度.当 HI 达到 3, HR 达到 1.35 时, MSW 堆肥已腐熟. Saviozzi 等^[25]试验得出结论:应用各种腐殖化参数有可能评价有机废物堆肥的稳定性;在所有参数中, HI 看起来是最可行的;应多进行一些同类废物不同条件下的堆肥实验,以确定更合适的腐熟度评价参数. de Bertoldi 等人^[26]却认为,有机物质的腐殖化参数并不是好的堆肥腐熟度指标,有时候,它在堆肥过程中变化并不大,当新的腐殖质形成时,已有的腐殖质可能会发生矿化.

(10) CEC/C₀(阳离子代换量与总有机碳之比) 有些人认为^[18, 20, 27], CEC/C₀ 代表堆肥的腐殖化程度.

Garcia^[20] 等对 4 类原料进行堆肥(污泥、垃圾、泥炭、葡萄皮及各种组合),经过 210 天堆腐后, CEC/C₀ 值均从 1.19—2.46 升到 3.5—4 之间.用垃圾及垃圾和污泥的混合物堆肥,经过 165 天后, CEC/C₀ 分别由原来的 0.82 和 1.04 增至 2.46 和 2.48,且与 HI 和 C_{O(w)}/N_{O(w)} 存在着高度的相关性.所以研究者认为, CEC/C₀ 可以用作其试验材料的腐熟度指标,但是它也显著受堆肥原料及堆肥过程的影响.关于 CEC/C₀ 的指标值,几个研究者都以他们的堆腐期限值为 CEC/C₀ 的指标值,但是对照 Jimenez 和 Garcia 的研究结果, 2.46—2.48 与 3.5—4 相差较大,说明原料和堆肥条件对 CEC/C₀ 有很大影响,要确立统一的范围是较为困难的.

(11) DH(腐殖化程度) DH 作为腐殖化程度的一个指标在研究中相继被提出使用^[28—31]:

$$DH\% = [(C_{HA} + FA) / C_{O(w)}] \times 100$$

(1)

从(1)式来看, DH 可以表达堆腐过程中腐殖酸的变化,并通过计算腐殖酸占水溶态有机碳的比例来判断堆肥的腐熟程度. Ciavatta 等^[32]采用静态垛强制通风方式对 MSW 进行了堆肥实验.试验分别于夏季和冬季进行,所得结果见表 3.从表 3 看出,在不同季节, DH 的变化显示了相反的趋势. Ciavatta 认为,夏季样品初始的 DH 值高,可能是由于开始时的假腐殖质物质加大了 C_{HA+FA} 的测定值,另一个造成冬夏 DH 值差别的可能原因是堆肥湿度的影响.冬季的堆肥含水量在大约一周内稳定降低到大致 50%,而在夏季,含水量迅速降低,一周后大约只有 30%.在有机质的降解过程中,需保持适当的湿度水平,才能保持堆体内微生物的活性.从 Ciavatta 的结果可以看出, DH 值受含水量等堆肥条件和原料的影响较大,这对 DH 指标的确定和应用造成很大的局限.

表 3 堆腐过程中总有机碳(C₀)、水溶态有机碳(C_{O(w)})、腐殖酸(C_{HA+FA})和 DH 的变化(干重)^{[32]/%}

	堆腐时间	C ₀	C _{O(w)}	C _{HA+FA}	DH
冬季	0	25.0	10.5	4.5	43.0
	7	24.9	12.2	6.3	51.1
	14	23.8	11.6	6.4	55.7
	23	22.0	9.5	5.5	57.8
	55	17.0	7.0	4.2	59.5
夏季	0	29.5	13.9	8.2	59.1
	7	28.6	13.2	7.4	55.6
	14	25.9	10.3	5.7	55.3
	21	24.5	10.6	6.2	57.9
	55	21.3	9.1	5.2	57.6

(12) BI Morel 等^[33]把 BI 作为生物可降解指标

提出,以评价堆肥的腐熟度,回归出方程式(2):

$$BI= 3.166+ 0.039C_{\text{O}}+ 0.832 C_{\text{S}}- 0.011d \tag{2}$$

C_S: 在热水中可溶性碳水化合物的含量.

C_O: 总有机碳

根据其实验结果,腐熟堆肥的BI值必须小于2.4, BI值高于2.7一定为未腐熟的堆肥. Garcia等^[10]对污泥、市政垃圾、葡萄皮及泥炭进行堆肥研究,实验进行了210d. 结果表明, BI值在2.9—3.7之间时,堆肥正处于腐熟过程中; BI值等于或低于2时,可以认为堆肥已经腐熟. 这2项研究的结果比较接近. 但是,该指标体系仅考虑了堆腐时间和原料性质,未考虑堆腐条件,如通气量、温度的高低及持续时间等. 按照该指标,对于任何一种特定的堆肥原料来讲,不论在任何堆腐条件下,只要达到一定的时间,堆肥就可以腐熟,这显然不符合堆肥过程的实际情况. 对于可控条件下的机械化、半机械化堆肥系统,这一指标的不适用性更加明显.

3 波谱分析法

为了从物质结构的角度认识堆肥过程和腐熟度问题,研究者们还采用了波谱分析法. 迄今为止,较多使用的是¹³C-核磁共振法(Solid state, Cross-polarization magic angle spinning ¹³C-nuclear magnetic resonance CPMAS ¹³C-NMR)^[34—37]和红外光谱法(Infrared Spectroscopy, IR)^[2,15]. 红外光谱法可以辨别化合物的特征官能团. 核磁共振法可提供有机分子骨架的信息,能更敏感地反映碳核所处化学环境的细微差别,为测定复杂有机物提供帮助. 有了碳谱的化学位移及其它必要的分析数据,其基本上可以确定有机物的结构. 二者配合使用能够研究:堆肥过程中可降解成分的降解速率;病原菌在堆肥产品中再生长的可能性;植物病虫害的生物控制;植物的生长响应^[35].

Inbar等对牛粪(SCM)堆肥样本进行了CPMAS¹³C-NMR分析^[2,15],把得到的谱图分为9个官能团组,分别积分,得出了含碳官能团组的分布:0—50×10⁻⁶为甲基和亚甲基组,50×10⁻⁶—60×10⁻⁶为甲氧基组,60×10⁻⁶—70×10⁻⁶为C—OH组,70×10⁻⁶—98×10⁻⁶为C—O和C—N组,98×10⁻⁶—112×10⁻⁶为异头碳,112×10⁻⁶—145×10⁻⁶为芳香族碳,145×10⁻⁶—163×10⁻⁶为苯酚碳,163×10⁻⁶—190×10⁻⁶为羧基、酯类和酰胺类组,190×10⁻⁶—215×10⁻⁶为羰基组. 堆肥样品中含有脂肪类碳65%—78%(0—112×10⁻⁶). 50×10⁻⁶—112×10⁻⁶区域主要代表大部分糖类. 通过计算,多糖降低了33%,与用酸解法^[38]测定的结果一致.

Inbar认为,CPMAS¹³C-NMR法准确描述SCM堆肥过程中可降解物质的变化.

Chefetz等人^[16]采用红外光谱法和核磁共振谱法研究了MSW堆肥过程中有机质的变化.

(1)将¹³C-NMR谱图分为5组:0—50×10⁻⁶为链烷烃碳;50×10⁻⁶—112×10⁻⁶为C—O和C—N结合成的糖、醇、酯及胺各类;112×10⁻⁶—163×10⁻⁶为脂肪类和苯酚类碳;163×10⁻⁶—190×10⁻⁶代表羧基、酯和酰胺类碳;190×10⁻⁶—215×10⁻⁶代表羰基碳. 有机物降解引起的谱图变化主要为:30×10⁻⁶峰减小;在腐熟堆肥中55×10⁻⁶处出现肩峰;芳香族区谱峰增大(130×10⁻⁶和150×10⁻⁶). 含碳官能团的相对变化为:脂肪族类碳(0—112×10⁻⁶)减少14.4%;多糖类碳(50×10⁻⁶—112×10⁻⁶)减少17.0%;烷基类碳(0—50×10⁻⁶)减少11.0%,芳香族组分(包括芳香碳和苯酚碳)提高54%;羧基碳只增加9.5%;羰基碳提高73.3%.

(2)MSW堆肥过程中得到的红外光谱图的波数范围从4000到400cm⁻¹. 腐熟堆肥与原料相比较:1650cm⁻¹峰降低;1738cm⁻¹峰降低并转变为小肩峰(CO₂H峰);脂肪区(2930cm⁻¹和2850cm⁻¹峰)显著降低;芳香族区(1650cm⁻¹峰)增加. Chefetz等计算了谱峰密度比值,发现1650/2930(芳香碳/脂肪碳)从0.88提高到1.10;1650/2850(芳香族碳/脂肪族碳)从0.79提高到1.54;1650/1050(芳香族/多糖)从2.39提高到2.80;1650/1560(芳香碳/酰胺)从0.94提高到1.52. 这些变化反映了腐熟堆肥中多糖、脂肪族和酰胺等成分的减少及芳香结构成分的增加. 红外光谱法与核磁共振法对堆肥中有机成分的转化提供了有利的证据,红外光谱测定支持了核磁共振法的测定结果.

但是,分析Inbar和Chefetz的报告,也可看出其结果间的差别,SCM堆肥中多糖降低33%,而MSW堆肥中多糖降低了17.0%. 说明不同原料在不同条件下堆肥,其有机成分的转化情况并不一致. 至于用波谱法确定堆肥腐熟度,还有待进一步研究.

4 植物生长分析法(Plant growth bioassay)

一般认为,堆肥的腐熟水平,应当意味着其使用时的正效应,可由植物生长的生物量表示. 植物在未腐熟的堆肥中生长受到抑制,在腐熟的堆肥中生长得到促进^[16,39,40],据此形成了生物分析法. 例如,用水堇种子发芽率、水堇苗的生长、太阳花及黑麦草生长过程中的物理及生物学参数去评价堆肥的腐熟度. 但是, Iannotti^[41]通过实验发现,用堆腐5个月之久的堆肥浸提液,稀释10倍后,水堇种子的发芽率也只有60%,而未稀

释的堆肥浸提液对水堇种子的发芽抑制更严重。一些报道揭示,影响发芽的物理毒性物质,随堆腐已被破坏^[42, 43];其它影响植物生长的限制因素如异株克生毒素,在堆肥过程中也会被破坏^[44]。因此,对于堆腐 5 个月的堆肥来讲,腐熟度低可能不是限制水堇发芽率的主要原因,由于发芽而产生的有机酸及 N 的缺乏(在所有未腐熟的堆肥中)和盐分含量(在所有堆肥中)是影响水堇发芽的主要因素^[43, 44]。正如 Chen^[37] 所指出,堆肥稳定性本身不一定预示植物生长的可能性。因此,植物生长评价只能做为堆肥腐熟度评价的一个辅助性指示,而不能作为唯一的指标。

总的来讲,由于对堆肥过程中有机物质的转化及其机制的认识有限,一些人试图通过研究某些参数来寻求有机质在堆肥过程中的内在变化规律。研究者们普遍认为,仅用某个单一参数很难确定堆肥的化学及生物学的稳定性,需要由几个参数共同来确定。从已有的文献看,所用的研究方法越来越先进复杂(如采用精密而昂贵的设备进行波谱学研究),有些研究已经把腐熟度指标的确立引入一个相当深入的理论领域。

参 考 文 献

- Zucconi F, de Bertoldi M. Compost specification for the production and compost from municipal solid waste. In: de Bertoldi M, Ferranti M P et al. (eds.). Compost: Production, Quality and Use. London: Elsevier Applied Science, 1987, 30—50.
- Inbar Y, Chen Y, Hadar Y and Hitink H A J. New approaches to compost maturity. BioCycle, 1990, December: 64—69
- Haug R T. Compost Engineering: Principles and Practice. Michigan: Ann Arbor Science, 1980
- 李国建, 钱新东. 堆肥腐熟度指标的探讨. 城市环境与城市生态, 1990, 3(2): 27—30
- William H S, Margolis Z P and Janonis B A. High altitude sludge composting. BioCycle, 1992, August: 68—71
- Wang M J. Land application of sewage sludge in China. Sci. Total Environ., 1996, 197: 149—161
- Ishii H, K Tanaka, M Aoki, T Murakami and M Yamada. Sewage sludge composting process by static pile method. Wat. Sci. Tech., 1991, 23: 1979—1989
- USEPA. Compost of municipal wastewater sludges. Center for Env. Research Information Office of Research and Development: EPA 625/4—85/014, 1985
- Nakasaka K, H Yaguchi, Y Sasaki and H Kubota. Effects of pH control on composting of garbage. Waste Management & Research, 1993, 11: 117—125
- Garcia C, H F Costa and M Ayuso. Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. Commun. Soil. Sci. Plant Anal., 1992, 23(13—14): 1501—1512
- Poincelot R P. A scientific examination of the principles and practice of composting. Compost Science, 1974, 15(2): 24—31
- 陈世和, 谌建宇. 城市生活垃圾堆肥动态工艺(DANO)的研究. 上海环境科学, 1992, 11(5): 13—15
- Riffaldi R, R P Levi-Minzi and M de Bertoldi. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. Waste Management & Research, 1986, 4: 87—96.
- Smith W H, I P Margolis and B A Janonis. High altitude sludge composting. BioCycle, 1992, August: 68—77
- Inbar Y, Y Chen and Y Hadar. Solid state carbon-13 nuclear magnetic resource infrared spectroscopy of composted organic matter. Soil Sci. Am. J., 1989, 53: 1695—1701
- Chefetz B, P G Hatcher, Y Hadar and Y Chen. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste. J Environ. Qual., 1996, 25: 776—785
- Das A. City garbage compost as a source of humus. Bio. Wastes, 1988, 26: 65—69
- Jimenez E I and V P Garcia. Determination of maturity indices for city refuse composts. Agric. Ecosyst. Environ., 1992, 38: 331—343
- 本多淳裕. 用水と水. 1997, 19(10): 11—28
- Garcia C, T Hernandez F Costa and J A Pascual. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes, Germination experiments. J. Sci. Food Agric., 1992, 59: 313—319
- Hirai M F, V Chanyasak and H Kubota. A standard measurement for compost maturity. BioCycle, 1983, November/December: 54—56
- Chanyasak V, A Katayama et al. Effects of compost maturity on growth komatsuna (*Brassica rapa*, Var. *Perivida*) in Neubauer's pot: II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org-C/org-N ratio of water extracts. Soil Sci. Plant Nutr., 1983, 29: 251—259
- Roletto E, R Barberis et al. Chemical parameters for evaluating compost maturity. BioCycle, 1985, 26(2): 46—47
- Jiménez E I and V P Garcia. Composting of domestic refuse and sewage sludge: II. Evaluation of carbon and some "humification" indexes. Resources, Conservation and Recycling, 1992, 6: 243—257
- Saviozzi A, R Levi-Minzi and R Riffaldi. Maturity evaluation of organic waste. BioCycle, 1988, March: 54—56
- de Bertoldi M, G Vallini and A Pera. The biology of composting: a review. Waste Management & Research, 1983, 1: 157—176
- Roig A, A Lax et al. Cation-exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. Soil Sci., 1988, 146: 311—316
- Nobili D M and F Petrussi. Humification index (HI) as evaluation of the stabilization degree during composting. Journal of Fermentation Technology. 1988, 66: 577—582
- Ciavatta C, V Antisari and P Sequi. Evaluation of chromium release during the decomposition of leather meal fer-

tilizers applied to the soil. Fertilizer Research, 1989, **19**: 7 – 11

30 Nobili D M, Ciavatta C and P Sequi. Evaluation of organic matter stabilization during composting by means of humification parameters and electrofocusing. In: Proceedings of the International Symposium of Cmpost: Production and Use. Italy: San Michele all'Adige, 1989, 328– 342

31 Ciavatta C, M Govi, V L Antisari et al. Characterization of humified compounds by extraction and fractionaltion on solid polyvinylpyrrolidone Journal of Chromatography, 1990, **509**: 141– 146

32 Ciavatta C, M Govi. Changes in Organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. Bioresource Technology, 1993, **43**: 141– 145

33 Morel J, F Jacquin et al. Contribution a la determination de test de la maturite des composts urbains. 1979, 75– 124

34 Piotrowski E G, K M Valetine et al. Soild-state, C-13, cross-polarization, “magic-angle” spinning, NMR spectroscopy studies of sewage sludge. Soil Sci. , 1984, **137**: 194– 203

35 Gerasimawicz W V and D M Byler. Carbon-13 CPMAS NMR and FTIR spectroscopic studies of humic acids. Soil Sci. , 1985, **139**: 270– 278

36 Preston C M, J A Ripmeester et al. Application of solution and solid-state multinuclear NMR to a peat-based composting system for fish and crab scrap. Can. J. Spectroscopy, 1986, **31**: 63– 69

37 Chen Y and Y Inbar. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. In: H A J Hoitink and H M Keener(eds.). Science and Engineering of Compost-ing: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Worthington, OH: Renaissance Publ. , 1993, 551– 600

38 Inbar Y, Y Chen and Y Hadar. Characterization of humic substances formed udring the composting of organic matter. Soil & Sci. Soc. Am. J. , 1990, **54**: 316– 1324

39 Hoitink H A J and G A Kuter. Effects of compost in growth on soilborne pathogens. In: Y Chen and Y Avnim-elech(eds.). The Role of Organic Matter in Modern Agriculture. the Netherlands: Martinus Nijhoff Publ. , 1986, 289– 306

40 Inbar Y, Y Chen and H A J Hoitink. Properties for establishing standards for utilization of composts in container media. In: H A J Hoitink and M. Keener(eds.). Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects. Worthington, OH: Renaissance Publ. , 1993, 668– 695

41 Iannotti D A, M E Grebus et al. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. J. Environ. Qual. , 1994, **23**: 1177– 1183

42 DeVeschauwer D, O Verdonck and P Van Assche. Phytotoxicity of refuse compost. BioCycle, 1981, **22**: 44– 46

43 Garcia C, T Hernandez and F Costa. Agronomic value of urban waste and the growth of rygrass(*Lolium perenne* L.) in a Calciorthid soil amended with this waste. J. Sci. Food Agric. , 1991, **56**: 457– 467

44 Solbraa K, M D Sant et al. Composting soft and hard wood bards. BioCycle, 1983, **24**(4): 44– 48, 59

中国噪声与振动控制技术现状简介

噪声与振动控制技术根据其声源及振动源的情况分为无源噪声与振动控制技术和有源噪声与控制技术。无源噪声与振动控制技术,包括吸声、隔声、消声、隔振和阻尼减振,也称为常规控制技术或传统的控制技术。无源控制技术日趋成熟,是目前对噪声和振动源进行控制的最主要的也是最有效的手段。消声器采用动力设计,结构简化,消声效果提高,低频吸声、隔声、消声等难题有所突破;新型建材、化工材料应用于噪声控制工程,阻尼减振技术的民用化、无纤维吸声材料、洁净噪声材料已在应用。无源控制技术我国与发达国家相比,在原理方面来讲没有什么差距,某些控制技术,例如微穿孔板吸声技术,我国已处于国际领先地位,隔振技术中的挠性接管技术性能、吸声隔声机理、结构、材料均达到国际水平,只在制造工程即在无源控

制技术的工艺制造方面差距较大,CAD 在无源控制方面的应用、普及、深入研究差距也很大。

有源噪声与振动控制技术(ANVC)在本世纪 30 年代就有人提出,但发展缓慢。直到 70 年代,由于计算机和信号处理技术的发展,有源控制才得到了迅速发展。进入 80 年代,对有源控制的原理和方法有了更深入的研究,特别是与之配套的高恒定功率扬声器、次级声源、换能器以及相关信号处理装置有了很大发展,有源控制技术进入了实用阶段。我国对有源控制技术的研究始于 70 年代末,目前有 10 多个科研单位和大专院校在从事这方面的研究,取得了一定成果,但与发达国家相比、无论是研究成果,还是实际应用,差距还很大。

北京市环境保护科学研究院宋秀杰供稿