

三阶段温度控制堆肥接种法对有机氮变化规律的影响

席北斗¹, 赵越², 魏自民^{1,2*}, 李英军³, 何连生¹, 姜永海¹, 刘鸿亮¹

(1. 中国环境科学研究院城市环境系统工程研究室, 北京 100012; 2. 东北农业大学生命科学院, 哈尔滨 150030; 3. 北京农业职业学院北苑分院, 北京 100012)

摘要: 利用原生生活垃圾, 通过三阶段温度控制技术进行堆肥试验, 探讨在堆肥过程中有机态氮组分的动态变化规律. 结果表明, 全氮、酸水解有机态氮、氨基酸态氮均在堆肥的前期呈明显的下降趋势, 呈较好的相关性. 与 CK(对照组)处理相比, 在堆肥的后期, 三阶段温度控制堆肥酸水解有机态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮及酸解未知态氮含量呈不同程度的上升趋势, 增加幅度依次为: 10.67%、16.17%、7.17%、22.44%. 表明三阶段温度控制技术能减少堆肥中氮素的损失, 堆肥产品施入土壤后, 可提高土壤的供氮潜力.

关键词: 生活垃圾; 堆肥; 三阶段温度控制技术; 有机态氮组分

中图分类号: X705 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3301(2007)01-0220-05

Variations of Organic Nitrogen Forms During Composting Process Using Three Stages Controlled by Temperature

XI Bei-dou¹, ZHAO Yue², WEI Zi-min^{1,2}, LI Ying-jun³, HE Lian-sheng¹, JIANG Yong-hai¹, LIU Hong-liang¹

(1. Laboratory of Urban Environmental Systems Engineering, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China; 2. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Beiyuan College, Beijing Vocational Agriculture College, Beijing 100012, China)

Abstract: Compost is one of the disposal ways for the municipal solid wastes (MSW), and the content of nitrogen (N) effects compost quality. Dynamic changes of organic nitrogen were discussed during MSW composting with three stages controlled by temperature (TSCT) technology. At different compost phases, the samples were taken for the determination of the nitrogen forms, and the effect of TSCT technology on nitrogen forms was studied. During MSW composting, the acid hydrolysis N, total N and amino acid N are a significant correlation and all decreased at the initial stage of composting. While at final stage composting, the content of acid hydrolysis N, amino acid N, aminosugar N and unidentified N of TSCT treatment increase by 10.67%, 16.17%, 7.17%, 22.44% compared to CK. The results indicate the composting with TSCT technology would reduce the loss of N, improve the quality of MSW compost.

Key words: municipal solid waste(MSW); compost; three stages controlled by temperature; organic nitrogen forms

接种堆肥技术是利用微生物群落的多样性和微生物间的相互间协同作用, 生成复杂而稳定的生态系统, 可加速垃圾中有机物的分解, 促进堆肥材料的腐熟, 消灭某些病原体、虫卵和杂草种子, 并控制臭气的产生, 提高堆肥效率^[1,2]. 但由于堆肥原料复杂, 接种的微生物和大量的土生微生物之间存在竞争, 过高的土生微生物浓度直接影响接种微生物的生长繁殖并威胁其在堆料中的优势地位^[3,4], 因此, 降低土生微生物浓度, 有利于接种微生物的生长繁殖. 为提高接种堆肥效率采用最经济有效的办法降低土生微生物的竞争, 最大程度地发挥所接种微生物的作用, 席北斗等^[5]提出三阶段温度控制堆肥接种法, 即合理利用堆料开始时自身产热和少许外来热源, 产生高温, 降低土生微生物的浓度. 然后接种复合微生物菌剂, 使其充分发挥作用. 并通过三阶段控温技术对堆肥过程中堆料的理化性质、微生物特性进行了阐述, 但缺乏氮素组分变化的研究. 在堆肥过程中氮

素转化主要包括 2 方面: 氮素的固定与释放. 由于堆肥材料不同, 氮素的转化也会产生一定的差异^[4]. 堆肥过程中氮素损失是普遍存在的现象, 因此, 广大研究者在堆肥过程中采用物理、化学及生物方法控制氮素的矿化和挥发进行了广泛研究^[6,7]. 综合以往的报导, 堆肥过程中氮素转化规律的研究主要集中在全氮及水溶性氮组分及氨挥发方面^[8], 对于有机态氮组分的转化规律研究报导较少. 1965 年 Bremner^[9]完善和发展了酸水解理论, 将土壤有机态氮划分为氨态氮、氨基酸态氮、氨基糖态氮、酸解未知部分氮和非酸解态氮等组分. 氨基酸态氮、氨基糖态氮及酰胺态氮在土壤中通过矿化形成无机态氮, 在植物营

收稿日期: 2006-01-11; 修订日期: 2006-02-22

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2005CB724203); 哈尔滨学科后备带头人基金项目(2005AFXXJ043); 东北农业大学博士基金项目

作者简介: 席北斗(1969~), 男, 博士, 研究员, 主要研究方向为固体废物处理处置.

* 通讯联系人, E-mail: weizn691120@163.com

养上的具相当大的有效性. 由于堆肥最终要作为肥料施用, 其有机态氮的组成及含量是评价堆肥产品质量的关键因素之一. 基于此, 研究采用三阶段温度控制技术, 接种复合微生物菌剂, 系统地探讨城市生活垃圾堆肥过程有机态氮素形态的变化规律, 以期生活垃圾堆肥的过程控制、提高堆肥质量提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

菌种: 复合微生物菌剂(自制), 主要菌种包括纤维素分解菌、木质素分解菌、固氮菌等, 菌株含量: 10×10^8 CFU·mL⁻¹.

生活垃圾: 取自中国环境科学研究院家属区, 堆肥前将难降解物质塑料、纸张、金属、砖石等进行挑选, 主要元素含量: C 305.82 g/kg; N 14.60 g/kg; P₂O₅ 10.02 g/kg; 水分 53.56%.

1.2 堆肥装置

堆肥装置见图 1. 其中反应筒尺寸为: 高 400 mm, 直径 330 mm, 总容积 34 L, 出气管直径 6 mm. 配有渗滤液收集装置、供气及计量系统、温控系统、出口气体在线检测仪器.

1.3 试验方法

堆料中复合微生物菌剂接种量为 5 mL·kg⁻¹ (干重), 堆肥初期将含水率调节至 60%, 供氧量为 0.5 L·(min·kg)⁻¹. 堆料为 10 kg.

试验设 2 个处理, 普通接种法(CK)与三阶段温度控制接种法(TSCT).

普通接种法: 在堆肥初期就开始接种复合微生物菌剂.

三阶段温度控制堆肥法: 在堆肥初期利用堆肥自身产热, 然后通热空气使温度达到 70℃ 以上的高温维持 12 h, 利用高温降低土生微生物浓度, 杀灭病原微生物, 最后冷却到室温, 然后再接种复合微生物菌剂, 进行自然发酵.

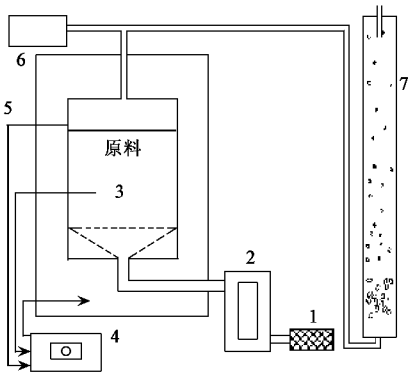
1.4 样品采集

分别在堆肥的 0、48、96、144、192、240、288 h 采用四分法采集样品, 样品总量为 500 g, 风干粉碎后, 过 1 mm 筛贮存备用.

1.5 测定项目与方法

全氮: 凯氏消煮-蒸馏法; 有机态氮水解液制备^[9]: 盐酸水解 12 h, 抽滤定容; 水解性全氮: 凯氏法; 氨态氮: 水解液加氧化镁蒸馏; 氨基糖态氮: 水解液加入磷酸盐-硼酸盐缓冲液(pH 11.2)蒸馏, 测得

氨态氮及氨基糖态氮, 扣除氨态氮即为氨基糖态氮; 氨基酸态氮: 水解液用氢氧化钠溶液(100℃ 水浴)处理, 消除氨态氮及碱性不稳定有机氮复合物, 在 pH2.5 下与茚三酮作用产生 NH₃, 然后再加磷酸盐-硼酸盐缓冲液一起蒸馏, 测定 NH₃ 量.



1. 气泵 2. 气体流量计 3. 反应堆 4. 温差控制装置
5. 恒温箱 6. 气体测定仪 7. 过滤装置

图 1 堆肥装置

Fig.1 Compost equipment

2 结果与讨论

2.1 全氮含量的变化

在堆肥过程中, 全氮含量总体呈明显的降低趋势(图 2). 在堆肥的 0~144 h, TSCT 处理全氮含量堆明显低于 CK 处理, 而在堆肥的 192~248 h 有一定程度的增加, 并且明显高于 CK. 与堆肥初期相比, CK、TSCT 处理全氮含量在堆肥结束下降幅度依次为 22.84%、15.78%. 堆肥中氮素的转化主要受微生物活动的影响, 由于堆肥过程中有机氮的矿化、持续的氮挥发以及硝态氮的可能反硝化作用, 通常堆肥结束后, 氮素有一定的损失. 试验研究表明, 从整个堆肥周期来看, 三阶段温度控制堆肥与普通接种堆肥处理相比, 可减少堆肥中氮素的损失. 这主要是由于

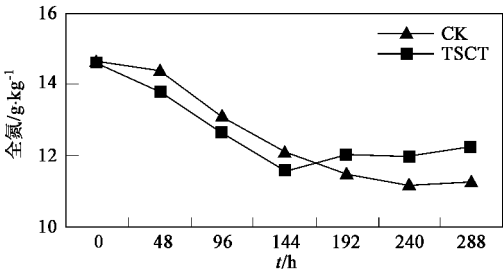


图 2 生活垃圾堆肥全氮含量变化

Fig.2 Changes of total N content during the MSW composting

三阶段堆肥控制技术可以提高微生物活性,微生物量氮及腐殖酸态氮增加引起.

2.2 酸水解性有机氮与酸不溶性氮含量的变化

研究表明,在生活垃圾堆肥周期内,酸水解性有机氮约占全氮 80% ~ 94%(图 3),并且与全氮具有显著的正相关(CK: $R^2 = 0.9573^*$; TSCT: $R^2 = 0.982^*$; * 为 5% 显著水平,下同),表明生活垃圾堆肥过程中氮素组分以有机氮为主,同时也说明堆肥

中氮素的损失主要来源于有机态氮的矿化.由图 4 可以看出,CK 处理在堆肥的 0 ~ 192 h,有机态氮含量明显降低,在 192 ~ 288 h 相对稳定;而 TSCT 处理有机态氮的快速降低出现在堆肥的 0 ~ 144 h,并且有机态降低的幅度明显大于 CK,但在 144 ~ 288 h 则呈明显的增加趋势.堆肥后 TSCT 处理有机态氮含量与 CK 比较增加了 10.67%,说明利用三阶段温度控制技术可促进堆肥后期有机态氮的形成.

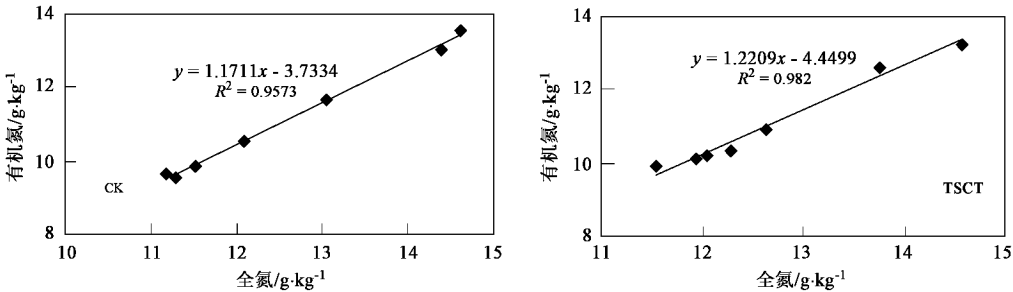


图 3 堆肥过程中有机态氮与全氮相关性
Fig.3 Relationship between organic N and total N during MSW composting

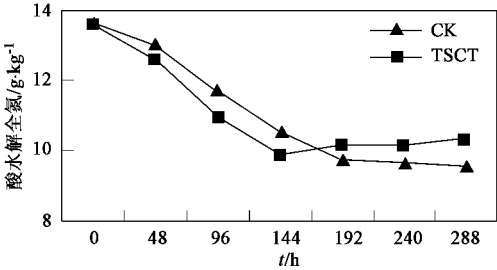


图 4 生活垃圾堆肥水解性氮含量变化

Fig.4 Changes of hydrolyze total N content during the MSW composting

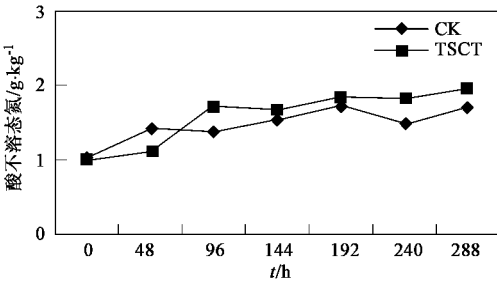


图 5 生活垃圾堆肥酸不溶性氮变化

Fig.5 Changes of acid insoluble N content during the MSW composting

堆肥过程中,酸不溶性氮呈缓慢上升的趋势,其中 TSCT 处理略高于 CK(图 5).与堆肥初期相比,CK、TSCT 处理分别增加 68.63%、96.00%.由于酸不溶性氮以腐殖酸态氮为主,酸不溶性氮的增加,是由于在堆肥过程中,随着有机物质的分解,腐殖酸逐渐形成,腐殖酸态氮增加的引起.堆肥过程中 TSCT 处理酸不溶性氮高于 CK,在某种程度上也表明三阶段温度控制有利于堆肥的腐殖化进程,即提高堆肥的腐熟度.

2.3 氨基酸态氮含量的变化

在生活垃圾堆肥过程中,氨基酸态氮占酸水解有机态氮比例约为 25% ~ 37%,并且氨基酸态氮与酸水解有机态氮具有较好的相关性(图 6),在堆肥过程中氨基酸态氮与酸水解有机态氮含量变化的相关系数分别为 CK, $R^2 = 0.8787^*$; TSCT, $R^2 =$

0.8740*.随着堆肥的进行,各处理氨基酸氮呈现先降低,而后增加的趋势(图 7).这是由于堆肥前期堆肥料中含有较多的蛋白质、氨基酸类等小分子的有机物,在微生物作用下快速分解,致使氨基酸态氮降低;而在堆肥的后期,随着堆料中微生物的大量死亡,微生物中氮发生矿化导致堆肥中氨基酸态氮含量有所增加.在堆肥的 0 ~ 96 h, TSCT 处理氨基酸态氮下降幅度明显高于 CK,而在堆肥的 144 ~ 288 h,氨基酸态氮又明显高于 CK.与 CK 处理相比,堆肥结束后,TSCT 处理氨基酸态氮增加了 16.17%.

2.4 氨态氮含量的变化

在堆肥过程中,氨态氮占酸水解有机态氮比例的平均值约为 10% ~ 27%.各处理氨态氮含量在堆肥周期内变化趋势基本一致,在堆肥升温与高温阶段,各处理氨态氮含量呈增加的趋势,并在第 144 h

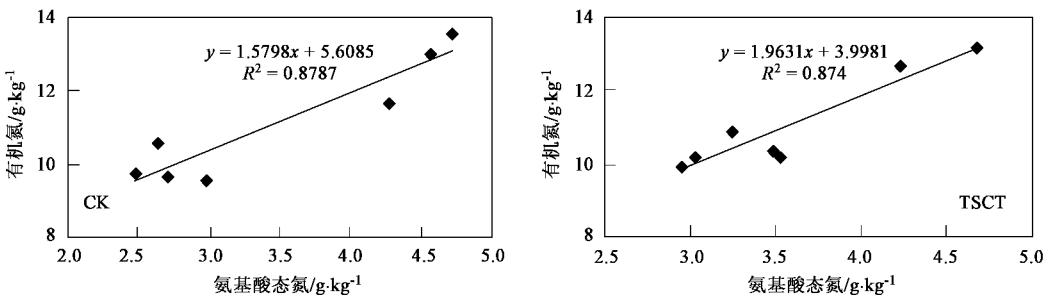


图 6 堆肥过程中氨基酸态氮与有机氮相关性

Fig.6 Relationship between amide acid-N and organic N during MSW composting

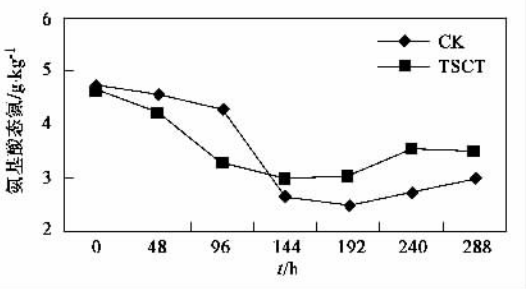


图 7 生活垃圾堆肥氨基酸态氮变化

Fig.7 Changes fo amide acid-N content during the MSW composting

达到最高值,而在堆肥的腐熟后期趋于稳定(图 8). 氨态氮可作为堆肥过程中氨挥发的主要来源之一,氨挥发主要发生在堆肥的前期,这与堆肥前期氨态氮变化一致.在堆肥周期内,统计分析表明, $t = 5.803$, $|t| > t_{0.01}(\text{双侧}) = 3.707$,处理间达极显著水平,说明三阶段温度控制有利于抑制堆肥中的氨挥发.

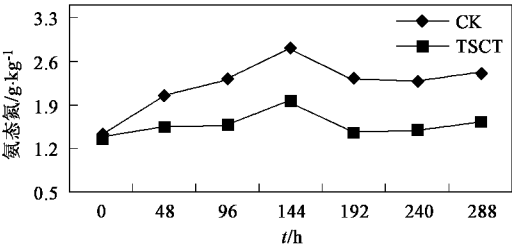


图 8 生活垃圾堆肥氨态氮变化

Fig.8 Changes of amide-N content during the MSW composting

2.5 氨基糖态氮含量的变化

在生活垃圾堆肥过程中,氨基糖态氮占酸水解有机态氮比例平均值约为 2.8% ~ 5%,通常情况下,大多数氨基糖态氮都是构成微生物体的重要成分,因此氨基糖态氮的变化应与微生物量的变化有密切的关系,实验也证明了这一点,由图 9 可以看

出,在堆肥的升温与高温阶段(0 ~ 144 h),随着堆肥进行,微生物量的逐渐增加,氨基糖态氮含量呈逐渐增加的趋势;在堆肥的降温阶段(144 ~ 288 h),随着微生物的逐渐死亡、分解,氨基糖态氮含量有明显的降低,并且 TSCT 处理氨基糖态明显高于 CK.堆肥结束后,与 CK 相比,氨基糖态氮增加 7.17% .

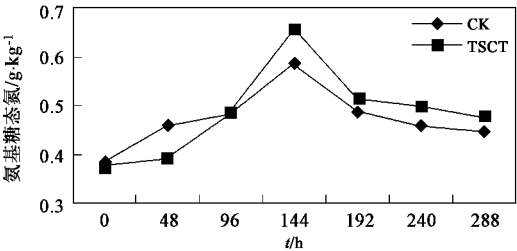


图 9 生活垃圾堆肥氨基糖态氮变化

Fig.9 Changes of aminosugar-N content during the MSW composting

2.6 未知态氮含量的变化

酸解未知氮部分的组成目前还不十分清楚,可能包括核酸及其衍生物、磷脂、维生素及其它衍生物.在堆肥过程中其平均值约为 40% ~ 50%,在有机氮组分中占有比例最大.由图 10 可以看出,酸水解未知态氮含量呈降低的趋势.在堆肥的各个时期,TSCT 处理酸水解未知态氮含量明显高于 CK.堆肥结束后,TSCT 处理酸水解未知态氮含量与 CK 相比增加了 22.44% .

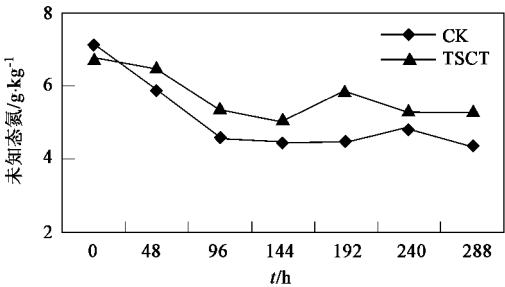


图 10 生活垃圾堆肥未知态氮变化

Fig.10 Changes of unidentified-N content during the MSW composting

3 讨论

堆肥的实质是有机物质在微生物作用进行分解,最后达到稳定的过程.堆肥过程中,堆料的组成及堆肥条件的控制对氮素的转化影响差异很大.本研究表明,生活垃圾中氮素以有机氮为主.因此,堆肥前期全氮含量的迅速降低与有机氮的矿化密切相关,同时也反应了堆肥中微生物的代谢强度.由于采用三分阶段温度控制堆肥,可较大幅度地提高接种微生物的活性^[5],微生物繁殖迅速,同时也加快有机物质的分解进程,造成堆肥前期氮素存在一定程度的损失;但随着堆肥后期可降解有机物质的迅速减少,无机态氮也可以通过微生物的生命活动合成其有机体的构成成分,本试验结果表明采用三阶段温度控制技术可促进堆肥后期有机态氮的累积.由于堆肥产品最终要作为肥料施用,其氮素的含量对堆肥的质量具有十分重要的作用.堆肥产品施入土壤后,其含有的有机态可作为土壤中氮素的储存库,而且将直接影响土壤的供氮能力.沈其荣等^[10]研究证实有机态氮各组分对矿化氮的贡献大小为:氨基酸态氮>酸解未知态氮>酸解性氮态氮>氨基糖态氮>非酸解性氮.本研究表明,堆肥结束后,与CK处理相比,三阶段温度控制堆肥有机态氮及其组分(氮态氮除外)均有不同程度的提高.生活垃圾堆肥中以酸解未知态氮、氨基酸态为主,并且三阶段温度控制技术堆肥产品中,酸水解未知氮、氨基酸态氮与CK相比分别增加了18.28%、16.17%.因此,采用三阶段温度控制技术生产出的堆肥产品,施入土壤后,可提高土壤的供氮潜力.

4 结论

(1)生活垃圾堆肥过程中,酸水解有机态氮与全

氮、氨基酸态氮存在显著的正相关.采用三阶段温度控制堆肥技术,可明显促进堆肥后期有机态氮的形成,减少氮素的损失.

(2)与CK处理相比,采用三阶段温度控制技术在堆肥后期可明显增加有机态组分中氨基酸态氮、氨基糖态氮、酸解未知态氮含量.

(3)研究表明,采用三阶段温度控制技术可明显改善堆肥中氮素的转化,提高堆肥质量.

参考文献:

- [1] 席北斗,刘鸿亮,孟伟,等.高效复合微生物菌群在垃圾堆肥中的应用[J].环境科学,2001,22(5):142~146.
- [2] Xi B D, Liu H L. Composting MSW and sewage sludge with effective complex microorganisms[J]. Journal of Environmental Sciences, 2002, 14(2): 264~268.
- [3] 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.
- [4] Hatakka A. Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role in lignin degradation[J]. FEMS Microbiol. Rev., 1994, 13: 125~135.
- [5] 席北斗,孟伟,刘鸿亮,等.三阶段控温堆肥过程中接种复合微生物菌群的变化规律研究[J].环境科学,2003,24(2):152~155.
- [6] 王卫平,朱凤香,钱红,等.接种发酵菌剂和添加不同调理剂对猪粪发酵堆肥氮素变化的影响[J].浙江农业学报,2005,17(5):276~279.
- [7] 杨国义,夏钟文,李芳柏.不同通风方式对猪粪高温堆肥氮素和碳素变化的影响[J].农业环境科学学报,2003,22(4):463~467.
- [8] 黄懿梅,曲东,李国学,等.两种外源微生物对鸡粪高温堆肥的影响[J].农业环境保护,2002,21(3):208~210.
- [9] Bremner J M. Organic forms of nitrogen [A]. In: Black C A (eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2[M]. Am. Soc. Agron., Madison: Wisconsin, 1965. 1238~1255.
- [10] 沈其荣,史瑞和.不同土壤有机氮的化学组分及其有效性的研究[J].土壤通报,1990,21(2):54~57.