

# 有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护\*

杨兴明<sup>1</sup> 徐阳春<sup>1</sup> 黄启为<sup>1</sup> 徐茂<sup>2</sup> 梁永红<sup>2</sup>  
胡江<sup>1</sup> 冉炜<sup>1</sup> 沈其荣<sup>1</sup>

(1南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏省固体有机废弃物资源化

高技术研究重点实验室, 南京 210095)

(2江苏省农林厅土肥站, 南京 210036)

**摘要** 随着我国农业和农村经济的快速发展, 传统意义上的有机肥已经变成了固体有机废弃物而随地弃置, 不仅浪费了大量的养分资源, 更污染了我国的生态环境。本文总结了近年来我国有机(类)肥料研究与开发的主要进展, 着重介绍有机(类)肥料产品的最新而成熟的生产技术以及施用技术, 不仅为开展有机(类)肥料研究提供一些方向和思路, 也为我国有机(类)肥料产业发展提供技术支撑, 为发展我国可持续农业提供有效途径。

**关键词** 有机(类)肥料; 技术; 农业可持续发展

**中图分类号** S1431.6 S1441.2 **文献标识码** A

目前我国一方面化肥涨价十分严重, 一方面化肥过量施用现象较难遏制, 还有一方面就是有机肥养分资源没有利用而污染环境, 这使我们必须正视肥料资源的合理开发与利用这个国家重大问题。发展有机(类)肥料产业一是为作物优质高产和改善与提高土壤肥力提供新肥料产品, 减少或部分替代化学肥料, 二是充分利用我国大量的有机养分资源, 从而有效消纳固体有机废弃物, 是兼顾农业生产和环境保护双重目的的有效途径。有机(类)肥料是指含有机成分的一类肥料, 主要包括商品有机肥、有机无机复混肥、微生物有机肥、堆肥生防剂等肥料产品。商品有机肥指的是固体有机废弃物经过微生物高温发酵后的堆肥, 其标准养分含量大于 4%, 有机质大于 30%, 水分小于 20%, 不需造粒。有机无机复混肥指的是腐熟的有机堆肥与无机化肥混合而成的肥料产品, 其标准有二种: 养分含量大于 20%, 有机质大于 15%, 水分小于 10%; 养分含量大于 15%, 有机质大于 20%, 水分小于 10%; 有机无机复混肥均需造粒。微生物有机肥指的是必须有一种明确功能的微生物与腐熟有机堆肥再进行二次固体发酵而成的肥料产品, 其标准为功能微生物含量大于  $10^8$  g<sup>-1</sup> 肥料, 有机质大于 30%, 水

分小于 30%, 不需造粒。堆肥生防剂指的是用不同液体提取剂提取腐熟有机堆肥而成的一类液体肥料或营养剂, 这类肥料的标准按叶面肥标准进行。

## 1 施用商品有机肥是提高土壤肥力的主要途径之一

土壤是农业生产的主要自然资源, 以土壤为中心由土壤与其环境条件组成的土壤生态系统的好坏决定了农业的可持续发展<sup>[1]</sup>, 而后者又决定了一个国家或民族的可持续发展。一个国家或地区的经济发展能力和状况与该国家或地区的土壤有机质含量成极显著相关(沈其荣, 未发表资料), 经济发达的国家土壤有机质含量均在 21% 以上, 发展中国家的土壤有机质在 1% ~ 2%, 经济不发达国家的土壤有机质含量大多在 1% 以下。我国东部地区的土壤有机质含量在 11% 以上, 而西部土壤的有机质均在 11% 以下, 传统上讲的“鱼米之乡”主要归功于该地区的土壤比较肥。除了不正常的经济爆发之外, 大多情况下, 一个国家和地区要富就得先富土壤(提高有机质含量), 而施用有机肥料是提

\* 科技部 973 项目 (2007CB109304) 和科技部支撑项目 (2006BAD10B09) 资助

- 通讯作者, E-mail: shenqirong@njau.edu.cn

作者简介: 杨兴明 (1966~), 男, 主要从事堆肥和资源微生物研究

收稿日期: 2008-05-16 收到修改稿日期: 2008-05-28

高土壤有机质的主要途径。但是,目前的农民已不再喜欢施用我国传统意义上的有机肥,这些有机肥已经成了固体有机废弃物。我国每年产生的固体有机废弃物养分资源为 6 000 万 t 左右<sup>[2]</sup>,其中农田利用的不足 20%,若将这些有机养分资源充分利用,不仅可以大大减少我国化肥养分的投入,更可以显著提高我国土壤有机质含量和改善土壤生物活性。表 1 表明长期施用有机肥对土壤肥力的影

响<sup>[3]</sup>。目前我国一方面需要大量的有机肥料投入来提高土壤肥力和增加作物产量,而另一方面,我国大量的固体有机废弃物没有充分利用而污染环境。纵观我国有机肥的研究,在学术研究方面已经相当深入,但在商品有机肥料产品研制和产业发展方面远没有跟上我国目前改革开放后的现代高效农业的生产需求。

表 1 长期施用有机肥对土壤肥力的影响<sup>[3]</sup>

Table 1 Effect of long-term application of organic manure on soil fertility

处理 Treatment	0~5 cm			5~10 cm			10~20 cm		
	有机碳 TOC (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Avail N (mg kg <sup>-1</sup> )	有机碳 TOC (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Avail N (mg kg <sup>-1</sup> )	有机碳 TOC (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 TN (g kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Avail N (mg kg <sup>-1</sup> )
试验开始前 Before experiment	24.5	1.41	116	19.6	1.32	111	15.4	1.14	92.4
对照 CK	20.1 b	1.31 b	109 c	18.3 b	1.27 b	106 b	14.1 b	1.08 a	91.6 a
化肥 Chemical fertilizer	21.8 b	1.51 b	123 b	19.9 b	1.43 a	119 b	16.4 ab	1.17 a	99.9 a
化肥+秸秆 Chemical fertilizer+ Straw	26.7 a	1.72 a	155 a	25.1 a	1.54 a	131 a	17.9 a	1.21 a	100 a
化肥+猪粪 Chemical fertilizer+ Pig manure	28.2 a	1.80 a	154 a	26.5 a	1.62 a	141 a	18.9 a	1.11 a	102 a

## 2 有机无机复混肥应该成为中国 21 世纪肥料发展的主导产品和主导肥料产业

自从 1840 年德国李比希大学化学家李比希提出植物的矿质营养学说后,160 多年来化肥工业的蓬勃发展使农作物产量大幅度提高,也使得地球上如此多的人口能够过上丰衣足食的日子。综观

我国近 50 年来的肥料投入(见图 1),可以相对划成几个阶段,20 世纪 70 年代初以前以传统的有机肥为主,70~80 年代传统的有机与化肥并重,80 年代以后传统的有机肥投入急剧下降,化肥急剧上升,到了 20 世纪末和 21 世纪初,我国传统的有机肥养分的投入只占总养分投入的 10% 左右,我国目前年消耗化肥为 5 000 万 t 左右,成为世界化肥消费的第一大国<sup>[4,5]</sup>,我国的农业已完全依附于化肥的投入。

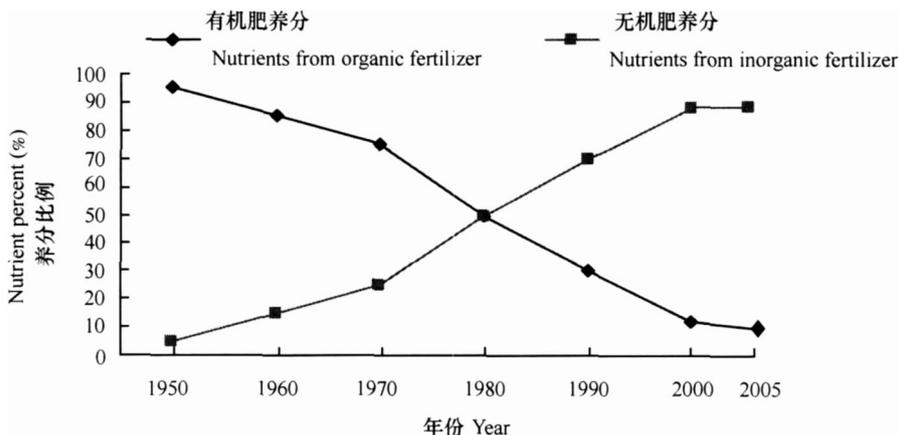


图 1 中国有机肥养分与无机肥养分占总养分比例变化

Fig 1 Variation of the ratio of nutrients from organic and inorganic fertilizers in China

在我国的化肥投入中,一个最严重的问题就是氮磷钾(NPK)养分不平衡,植物生长所需NPK的比例一般为1B015B018~1,而我国NPK养分投入的比例虽然逐年改善,但到2005年也还只是1B0133B0121<sup>[6]</sup>,远没有达到植物所需的最佳比例,这是限制作物遗传产量潜力实现的重要因子;养分的不平衡供应和过量化学氮肥的施用造成了化学氮肥利用率低(30%左右)、损失严重而污染环境;更有甚者,由于施用过多的化学氮肥使作物生长过旺、郁蔽、肉质化,从而使作物易受病虫害侵袭,增加农药的施用频率和施用量<sup>[7]</sup>。

中国面临的重大肥料问题是如何克服化学氮肥过量施用和施肥不平衡的问题。单一施用化肥(土壤肥力退化、肥料损失严重而污染环境、导致大量使用农药)和单一施用有机肥(当季产量较施用化肥处理的明显减产)都不是解决我国农业生产和生态环境保护的有效办法与途径,今后我国的肥料发展方向,绝对不应该是无机(复合)肥一统天下,而应该是有机无机复合肥与无机复合肥齐驱并驾,只有这样才能使当季作物产量不减、农产品品质提高、生态环境得到保护。

据研究每生产1t尿素要消耗煤炭1555kg煤,消耗电1033kWh,消耗天然气为1000m<sup>3</sup>左右,据统计2004年我国因化肥利用率低下所导致的煤、天然气、重油和电的浪费量分别占全国总产量的141%、131%、0196%和0172%<sup>[8]</sup>。过去的20年间,中国的单质化肥和无机复合肥已经发展到了顶峰阶段,中国占了世界耕地的7%,却消耗了世界化肥总量的30%左右<sup>[2]</sup>,中国已经成为世界上最大的无机(复合)肥生产大国和消费大国,但中国的有机无机复混肥产业还处于发展的早期阶段,政府相关部门应该立项组织攻关,从而使我国有机无机复合肥迅速得到发展。因此,发展有机无机复混肥,尽可能多用有机肥养分资源和尽可能少用无机肥养分资源是21世纪中国乃至世界肥料发展的方向。

### 3 发展微生物有机肥是确保发展高效农业的关键途径之一

微生物有机肥指的是一类包含特定功能的微生物菌种、并且生产工艺上有一个二次固体发酵阶段的特殊有机肥料,它克服了传统概念上

的生物肥料的缺点(菌种含量高但有机物很少,仅作为一种接种剂),这些肥料应用于农业生产中,不仅能获得特定的肥料效应,而且通过足量的有机物质给功能微生物提供足够的能源物质,使这些功能微生物在土壤中易于定植和繁殖,充分发挥其促进作物对营养元素的吸收、刺激植物生长、拮抗某些土传病原微生物等作用<sup>[9,10]</sup>。

#### 3.1.1 拮抗土传病害微生物有机肥料

我国改革开放30年,农业生产的最大变化在于作物结构的调整,2006年我国的瓜果、蔬菜、烟草和棉花等经济作物的种植面积已接近3175亿亩次<sup>[11]</sup>,这些经济作物的连作障碍是全球集约化农业生产的瓶颈问题。研究表明,作物发生连作障碍的关键因素是由于连作作物分泌的特定物质导致土壤微生物区系失衡和对植物的毒害作用<sup>[12~17]</sup>,连作障碍土壤中有益细菌优势群落严重降低,而引起连作土传病害的病原真菌群落明显增加<sup>[9]</sup>。因此,需要大量拮抗病原微生物的功能菌有机肥料问世,以解决我国集约化作物生产的瓶颈问题。施用这类微生物有机肥料后不仅有显著的肥效作用,而且能显著抑制土传病害发生<sup>[9,10]</sup>。

#### 3.1.2 促生微生物有机肥料

有些微生物在其自身的生命活动中会产生大量的生命刺激物质(如细胞分裂素、细胞生长素、赤霉素等),从而大大促进植物根系的生长和根系的活力。最典型的的就是那些耐低温(或嗜低温)微生物,它们能在较低的温度下(15℃以下)保持很旺盛的活力,而在这种温度下植物根系生长缓慢。将这些微生物与堆肥制成的微生物有机肥料施入土壤后增产作用非常显著,随着我国反季节作物生产的势头越来越猛,这类微生物有机肥料的市场需求也将越来越大。

#### 3.1.3 磷细菌微生物有机肥料

在我国肥料投入政策为“减氮、活磷、补钾”的前提下,发展磷细菌微生物有机肥料是我国最经济、最有效的提供植物磷素营养的途径之一<sup>[18]</sup>。农民每季作物都需要施用化学磷肥,但当季作物对当季施入的化学磷肥的利用率一般都在15%左右,大约有89%的当季磷肥残留在土壤中,且被转化成作物无效态的多钙磷(石灰性土壤)和铁磷、铝磷(酸性土壤),而下季作物又很难利用这些残留磷,这使得我国每年要消耗大量的高品位磷矿资源来生产化学磷肥,造成我

国磷矿资源的快速和极度消耗。因此,筛选一类能分解土壤中无机态的无效态磷的细菌,并将这类细菌制成微生物有机肥料这是我国微生物有机肥料发展的重要组成部分。

## 4 发展有机(类)肥料的关键技术

### 4.1.1 固体有机废弃物快速堆肥技术

我国每年产生的固体有机废弃物数量之大已很难估计,利用这些固体有机废弃物的最有效和最经济的途径就是直接或是做成堆肥后施用于土壤,或是再加工成其他附加值更高的肥料产品,因此,快速堆肥技术是固体有机废弃物资源化利用的关键,而堆肥起爆剂的应用和高效率的

翻抛(供氧)设备是堆肥中最关键的两个技术。

快速堆肥的第一个要求就是堆温必须在堆肥开始的 2~3 d内达到高温(65e 以上),由于所有有机堆肥原料中能分解纤维素、木质素等物质的微生物在堆肥起始阶段含量较低,因此,必须给堆肥接种中温和高温菌(一种堆肥专用起爆剂),图 2表明,添加堆肥起爆剂(1%~2%)堆肥温度迅速上升,48 h就达到 71e,而不添加堆肥起爆剂处理,堆肥温度上升缓慢,到了堆肥 9 d 温度才达到 66e。而且添加起爆剂处理的堆肥温度到了堆肥 14~15 d后不再升至 55e 以上,说明此时该堆肥已趋于腐熟,而不加起爆剂的堆肥到了 15 d温度还未开始下降,表现出显著的滞后现象。

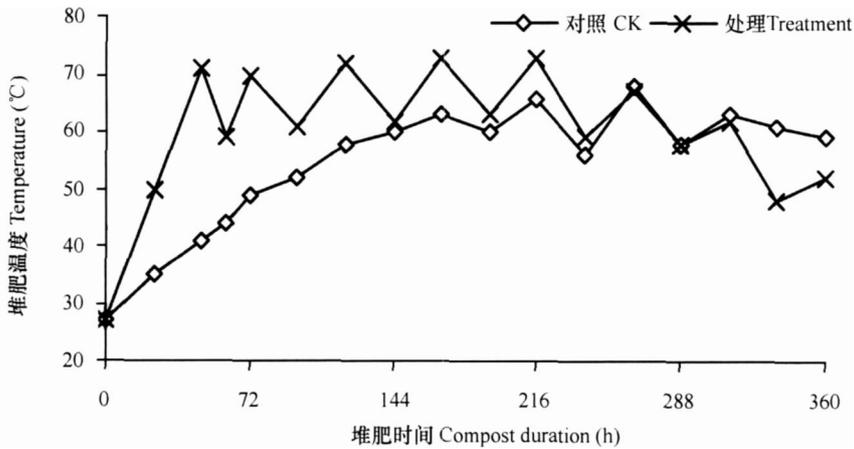


图 2 添加起爆剂对堆肥温度变化的影响(沈其荣,未发表资料)

Figure 2 Effect of inoculation with microbial booster on temperature in composting (unpublished data from Qirong Shen)

对照:不添加起爆剂,处理:添加起爆剂。两个处理均采用一样的翻抛次数和方式

CK Without microbial booster Treatment With microbial booster Both CK and treatment had same turning model during composting

快速堆肥的第二个要求就是当堆肥温度达到 70e 以上并维持 1~2 d后,必须马上进行翻抛,其目的一是要给堆肥进行供氧,让其继续维持高温腐解阶段,二是要充分混匀堆肥材料,使整堆原料都经过高温阶段。从图 3可看出不断给堆肥进行翻抛,堆肥温度会交替下降和上升,但堆温始终维持在 60~73e 之间,从而使堆肥能在 15 d内达到完全腐熟。而不翻抛处理的堆肥温度除了一开始也能上升至 71e 后,温度就不断下降,至堆肥第 5天就降至 51e,以后再也没有

超过 50e,很显然这些堆肥没有腐熟。

国内就堆肥翻抛设备的研究与开发比较落后,致使有机肥企业没有经济高效的翻抛设备,这是限制我国有机肥产业发展的技术工艺瓶颈之一。我们通过前几年农业部 948 项目的支持,引进和研发了堆肥标准化工艺及其配套设备,其中条垛无槽式堆肥及其翻抛设备是核心,经江苏几家有机肥企业采用后,显著提高堆肥效率,而且固定资产投资是国外设备的 1/5~1/4,较过去国内堆肥固定资产的投入也少 1/2左右。

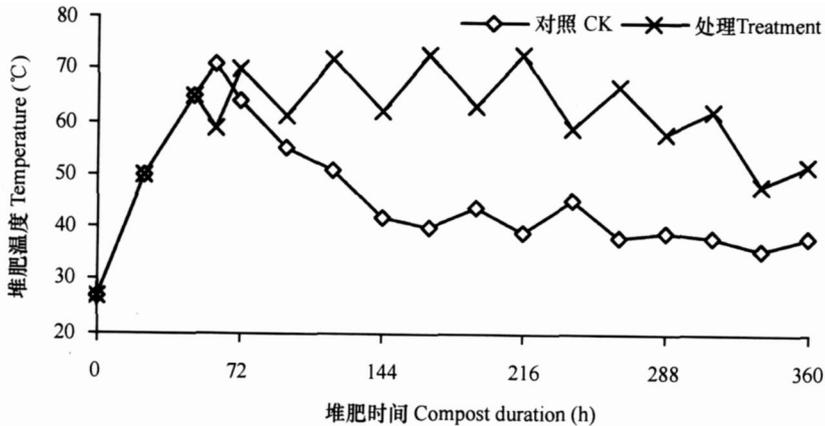


图3 翻抛对堆肥温度变化的影响(沈其荣,未发表资料)

Fig 3 Effect of turning on temperature in composting (unpublished data from Qirong Shen)

对照:不翻抛;处理:翻抛。对照和翻抛处理均添加2%的起爆剂 CK: No turning Treatment  
Turning Both CK and treatment were inoculated with the same microbial booster

#### 41.2 微生物有机肥料研制及其施用技术

要获得微生物有机肥料产品,一是要分离、筛选各种特定功能的微生物菌株,然后研究这些功能菌液体发酵的条件与参数,再进行工厂化发酵生产;二是筛选适合于功能菌生长的固体有机载体,寻找最佳碳源和氮源,我们的研究表明,用畜禽粪便(90%以干物计)和作物秸秆(10%以干物计)制成的堆肥,再配以一定比例的农用固体氨基酸(20%~30%)为比较理想的有机载体,进行二次固体发酵的时间为5d左右,发酵过程也要进行及时翻抛,以免堆温超过40e(通常情况下,微生物生长繁殖的最适温度为35e左右),二次固体发酵结束时,功能菌含量应达到 $10^8 \text{ g}^{-1}$ 。

由于真正的微生物有机肥价格较高,大田普施成本较高,而大多数需要施用微生物有机肥的作物,都用营养钵育苗,因此,可采取营养钵育苗施用微生物有机肥的方法,来克服大田普施成本较高的问题。我们的研究表明,在营养钵育苗中施用2%的拮抗枯(黄)萎病的微生物有机肥,就能较好地防治大田枯(黄)萎病的发生,生物防治率达到60%以上。进一步的研究结果表明,营养钵育苗的土壤中拮抗枯(黄)萎病的功能微生物数量达到了 $10^5 \sim 10^7 \text{ g}^{-1}$ 土以上,移栽后这些拮抗功能菌随着作物根系向外生长而始终聚集和繁殖在新生根系表面和附近,筑成了有益

微生物的/微生物墙0,能较好地抵御大田土壤中土传枯(黄)萎病原真菌的侵袭。上述研究结果表明,根际施肥技术最适合于微生物有机肥料,培育有益微生物(如拮抗微生物、解磷微生物、低温促生微生物等),使之能够抢先占据根际土壤和根表生态位,这是植物营养、微生物以及土壤生态等学科交叉研究的兴奋点,也是解决经济作物集约化生产中重建土壤微生物区系的突破口。

#### 41.3 有机无机复混肥技术与施用

我们的研究结果<sup>[19]</sup>表明有机无机复合肥中有机肥氮和无机肥氮的比例在10~20B90~80时作物产量始终为最高,较单施化肥产量一般高出915%~3012%(图4),在总氮用量减少30~60  $\text{kg hm}^{-2}$ 的情况下,施用有机无机复合肥料水稻还能获得高于化肥处理最高产量时的稻谷产量。不仅如此,罗佳等<sup>[20]</sup>和孟琳等<sup>[21]</sup>研究表明有机无机配合施用能够显著提高氮的当季利用率(表2,表3)。不同堆肥原料有机无机复混肥处理均不同程度地提高了作物氮效率,但不同堆肥原料有机无机复混肥提高作物氮效率的能力不同(表2)。就有机无机复混肥的施用量而言,一般情况下每公顷基施750~900 kg(养分20%、有机质15%)或每公顷基施1200~1500 kg(养分15%、有机质20%)再配合追施150 kg纯氮,就能获得比较理想的产量和品质。

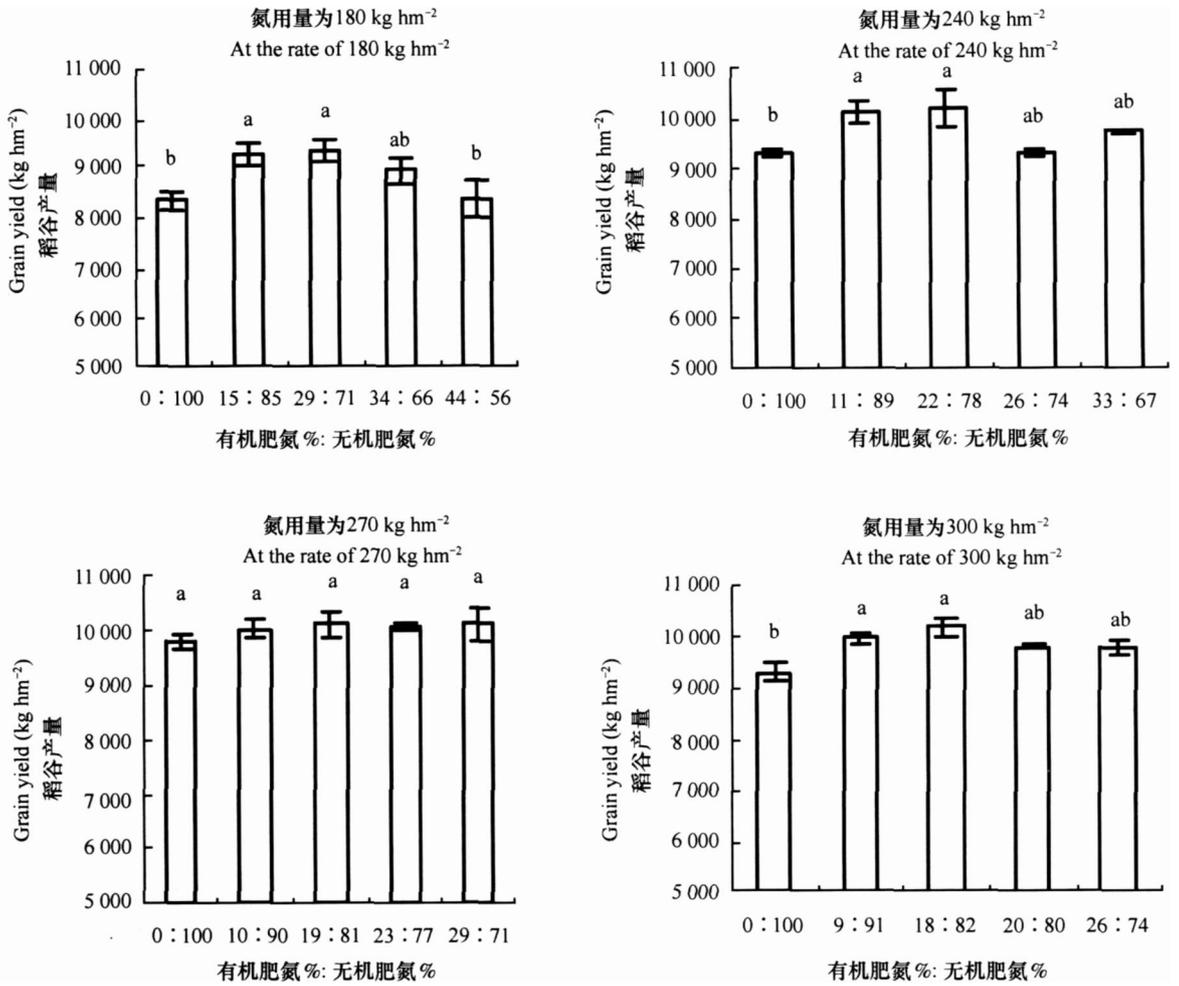


图 4 不同氮用量下有机氮与无机氮不同比例对水稻(4007)稻谷产量的影响(abc表示邓肯检验 5%显著水平)

Fig 4 Effects of ratio of organic N: mineral N on rice grain yields under different rates of N fertilizers

(The abc means a significant difference at p < 0.05 by Duncan test)

表 2 不同堆肥原料制成的有机无机复混肥对油菜氮效率的影响

Table 2 Effect of different organic-inorganic fertilizers applied on nitrogen use efficiency by rapeseed plants

处理 Treatment	氮肥利用效率 NUE(%)	氮肥农学利用效率 ANUE(kg kg <sup>-1</sup> )	氮肥生理利用效率 PNUE(kg kg <sup>-1</sup> )	氮肥偏生产力 PFp(kg kg <sup>-1</sup> )
化肥 Chemical fertilizer	251.3c	41.0c	161.3b	221.3c
猪粪 Pig manure	401.4ab	91.9a	241.6a	281.2a
中药渣 Wastes from Chinese medicine production	341.5b	61.8b	191.9b	251.1b
鸡粪 Chicken manure	451.7a	111.4a	251.0a	291.7a

试验处理: 化肥 - 总养分 2.5% (10-7-8); 猪粪堆肥有机无机复混肥 - 简称猪粪; 中药渣堆肥有机无机复混肥 - 简称中药渣; 鸡粪堆肥有机无机复混肥 - 简称鸡粪; 各有机无机复合肥总养分为 20% (12-4-4), 有机质 (OM) 含量 15% Treatment Chemical fertilizer Total nutrient content of 2.5% (10-7-8); Pig manure compost mixed with chemical fertilizer (Pig manure in brief); Compost of wastes from Chinese medicine production mixed with chemical fertilizer (Chinese medicinal herb residue in brief); Chicken manure compost mixed with chemical fertilizer (Chicken manure in brief); The nutrient contents and organic matter contents in the compost-chemical fertilizer mixtures were 20% (12-4-4) and 15%, respectively

表3 不同处理对水稻氮肥利用效率的影响

Table 3 Effects of fertilization treatment on nitrogen use efficiency by rice plants

处理 Treatment	氮肥回收 效率 NRE (%)	氮肥农学 利用效率	氮肥生理 利用效率	氮肥偏 生产力
		ANUE (kg kg <sup>-1</sup> )	PNUE (kg kg <sup>-1</sup> )	PFP (kg kg <sup>-1</sup> )
化肥 Chemical fertilizer	27.6b	61.4b	231.4a	2219b
1 500 kg hm <sup>-2</sup> 猪粪堆肥 + 化肥	38.6a	91.5a	251.2 a	2610a
1 500 kg hm <sup>-2</sup> pig manure compost+ chemical fertiliz ers				
3 000 kg hm <sup>-2</sup> 猪粪堆肥 + 化肥	35.8a	71.1ab	201.4a	2316ab
3 000 kg hm <sup>-2</sup> pig manure compost+ chemical fertiliz ers				
4 500 kg hm <sup>-2</sup> 猪粪堆肥 + 化肥	36.7a	71.2ab	181.1a	2315ab
4 500 kg hm <sup>-2</sup> pig manure compost+ chemical fertiliz ers				
6 000 kg hm <sup>-2</sup> 猪粪堆肥 + 化肥	35.3a	81.1ab	221.8a	2410ab
6 000 kg hm <sup>-2</sup> pig manure compost+ chemical fertiliz ers				

## 5 有机(类)肥料研究发展方向

由于我国社会经济的发展,传统的农家肥已不可能作为主要肥料类型施入土壤,因此,今后在有机肥料研究方面也应该针对有机(类)商品肥的快速发展而展开,主要应该集中在如下几个方面:

1)不同来源的固体有机废弃物快速堆肥过程中微生物演替规律和有机物质变化研究。主要研究接种快腐菌(堆肥起爆剂)后堆肥中微生物演替规律与堆肥温度和堆肥有机物质变化的关系,为建立标准化堆肥工艺提供理论依据。

2)开展不同堆肥翻抛机械的翻抛频率与堆肥供氧量、粉碎度等关系,提出产业化快速堆肥的工艺技术以及配套设备。

3)筛选不同功能微生物菌种(堆肥发酵微生物、拮抗土传病害微生物、高效分泌蛋白酶微生物、低温

促生微生物、解磷微生物等),研究这些微生物的生理、生态特征,为液体高密度发酵生产和微生物有机肥二次固体发酵生产提供参数。研究这些功能菌的分子特征,为转基因微生物提供种质或基因材料。

4)利用上述不同堆肥和不同功能微生物菌种,设计和研制不同功能的微生物有机肥料产品,研究二次固体发酵过程中功能微生物的数量和活性变化特征,制定微生物有机肥产品的行业或国家标准。

5)利用不同原料的堆肥,设计和研制适合于不同作物和土壤的有机无机复合肥、堆肥生防剂等产品,研究大规模生产这些产品的技术和工艺及其相应参数。

6)研究不同有机(类)肥料产品在土壤-作物系统中的行为特征,包括研究功能微生物在作物根系和根表的行为,拮抗菌对土传病原菌的拮抗机制,促生菌对植物根系生长的刺激机制,解磷菌对土壤无效态磷向有效态磷转化的作用特征等;研究有机无机复混肥改良土壤、增加产量的作用机制;研究堆肥生防剂在不同作物上的生防效果与作用机制。

## 参考文献

- [1] 赵其国.土壤圈物质循环研究与土壤学的发展.土壤,1991,23(1):1~3. Zhao Q G. Material recycling in pedosphere and development trend of soil science( In Chinese). Soils 1991, 23(1): 1~3
- [2] 张福锁,等著.协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用,北京:中国农业大学出版社,2008. Zhang F S et al eds Research and Application of Integrated Nutrient Resources Management Technology that Harmonizes for High Yield Crop and Environment Protection( In Chinese). Beijing China Agricultural University Press 2008
- [3] Xu Y C, Chen W, Shen Q R. Soil organic carbon and nitrogen pools impacted by long-term tillage and fertilization practices. Communications in Soil Sciences and Plant Analysis 2007, 38(3/4): 347~357
- [4] 张福锁,崔振岭,王激清,等.中国土壤和植物养分管理现状与改进管理.植物学通报,2007,24(6):687~694. Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q et al Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies( In Chinese). Chinese Bulletin of Botany 2007, 24(6): 687~694
- [5] 张四代,王激清,张卫峰,等.我国东北地区化肥消费与生产现状、问题及其调控策略.磷肥与复肥,2007,22(5):74~78. Zhang S D, Wang J Q, Zhang W F, et al The status and problems of fertilizer consumption & production and the strategy for management in northeast China( In Chinese). Phosphate & Compound Fertilizer 2007, 22(5): 74~78
- [6] 中华人民共和国统计局编.中国统计年鉴-2006.北京:中国统计出版社,2006. National Bureau of Statistics of China ed. China Statistical Year Book 2006( In Chinese). Beijing China Statistics Press 2006
- [7] 马文奇,张福锁.食物链养分管理)))中国可持续发展面临的挑战.科技导报,2008,26(1):68~73. Ma W Q, Zhang F S

- Nutrient management in human food chain A challenge for sustainable development of China (In Chinese). *Science & Technology Review*, 2008, 26(1): 68~73
- [ 8 ] 中华人民共和国统计局编. 中国统计年鉴 - 2005 北京: 中国统计出版社, 2005. National Bureau of Statistics of China China Statistical Year Book 2005( In Chinese). Beijing China Statistics Press 2005
- [ 9 ] Zhang S S, Raza W, Yang X M, et al Control of fusarium wilt disease of cucumber plants with the application of a bioorganic fertilizer *Biol Fert Soil* 2008 on line DOI 10.1007/s00374-008-0296-0
- [ 10 ] Wu H S, Yang X M, Fan J Q, et al Suppression of fusarium wilt of watermelon by a bioorganic fertilizer *BioControl* on line 2008 DOI 10.1007/s10526-008-9168-7
- [ 11 ] 中华人民共和国统计局编. 中国统计年鉴 - 2007 北京: 中国统计出版社, 2007. National Bureau of Statistics of China ed. China Statistical Year Book 2007( In Chinese). Beijing China Statistics Press 2007
- [ 12 ] Wu H S, Yang X M, Zhu Y Y, et al Nitrogen metabolism disorder in watermelon leaves caused by fusaric acid *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2007, 71: 69~77
- [ 13 ] Wu H S, Raza W, Liu D Y, et al Allelopathic impact of artificially applied coumarin on *Fusarium oxysporum f. sp. niveum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2008 on line DOI 10.1007/s11274-007-9602-5
- [ 14 ] Wu H S, Raza W, Fan J Q, et al Cinnamic acid inhibits growth but stimulates production of pathogenesis factors by in vitro cultures of *Fusarium oxysporum f. sp. niveum*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, on line DOI 10.1021/jd0726482
- [ 15 ] Wu H S, Liu D Y, Ling N, et al Allelopathic role of artificially applied vanillic acid on in vitro *Fusarium oxysporum f. sp. niveum*. *Allelopathy J*, 2008 22(1): 111~122
- [ 16 ] Wu H S, BaW, Liu D Y, et al Effect of fusaric acid on biomass and photosynthesis of watermelon seedlings leaves *Caryologia* 2008, 61(2) (in press)
- [ 17 ] Wu H S, Yin X M, Zhu Y Y, et al Effect of fungal fusaric acid phytoxin on root cell membrane potential and leaf defense-related antioxidant enzymes and pathogenesis-related proteins in watermelon seedlings *Plant Soil* 2008 on line DOI 10.1007/s11104-008-9627-z
- [ 18 ] 朱培森, 杨兴明, 徐阳春, 等. 高效解磷细菌的筛选及其对玉米苗期生长的促进作用, *应用生态学报*, 2007, 18(1): 107~112. Zhu P M, Yang X M, Xu Y C, et al High effective phosphate-solubilizing bacteria Their isolation and promoting effect on corn seedling growth (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology* 2007, 18(1): 107~112
- [ 19 ] 孟琳, 张小莉, 蒋小芳, 等. 有机氮替代部分无机氮对水稻产量的影响及替代率研究. *植物营养与肥料学报* (已接收). Meng L, Zhang X L, Jiang X F, et al Effect of partial mineral nitrogen substitution by organic nitrogen on the yields of rice grains and their proper substitution rates (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (accepted)
- [ 20 ] 罗佳, 蒋小芳, 孟琳, 等. 不同堆肥原料的有机无机复混肥对油菜生长及土壤供氮特性的影响. *土壤学报* (已接收). Luo J, Jiang X F, Meng L, et al Effect of different organic-mineral mixed fertilizers applied on growth of oilseed rape and soil nitrogen supply (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica* (accepted)
- [ 21 ] 孟琳, 王强, 黄启为, 等. 猪粪堆肥与化肥配施对水稻产量和氮效率的影响. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(1): 68~71. Meng L, Wang Q, Huang Q W, et al Effects of combined application of pig manure compost and inorganic fertilizers on yield of rice grains and nitrogen use efficiency (In Chinese). *Journal of Ecology and Rural Environment* 2008 24(1): 68~71

## ORGANIC-LIKE FERTILIZERS AND ITS RELATION TO SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF AGRICULTURE AND PROTECTION OF ECO-ENVIRONMENT

Yang Xingning<sup>1</sup> Xu Yangchun<sup>1</sup> Huang Qiwei<sup>1</sup> Xu Ma<sup>2</sup> Liang Yonghong<sup>2</sup>  
Hu Jiang<sup>1</sup> Ran Wei<sup>1</sup> Shen Qirong<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences Nanjing Agricultural University and Jiangsu Key Laboratory for Solid Organic Waste Utilization, Nanjing 210095 China)

(2 Department of Soil and Fertilizer Bureau of Agriculture and Forestry, Jiangsu Province, Nanjing 210036, China)

**Abstract** With rapid development of the agriculture and the rural economy in China, organic manure in the traditional sense has become solid organic wastes that are disposed everywhere, which leads to waste of large volumes of nutrient resources and severe pollution of the environment as well. A review is presented of the recent advancement in the research and development of organic-like fertilizers with emphasis on introduction of the latest mature production technology and the technology for application of organic-like fertilizers. The paper not only puts forth some subjects and some clues for research on development of organic-like fertilizers but also provides technical support for development of organic-like fertilizer industry and an effective approach to sustainable development of the agriculture in China.

**Key words** Organic-like fertilizers, Technology, Sustainable development of agriculture