



## 有机肥与耕地土壤质量\*

文 / 董元华

中国科学院南京土壤研究所 南京 210008

**【摘要】** 有机肥的合理施用可以提高土壤肥力质量和农产品品质、增加土壤生物多样性。但有机肥中含有重金属、抗生素、激素与内分泌干扰物、病原生物、抗性菌等污染物及抗性基因的扩散,有机肥农用可能会对土壤环境质量、健康质量及食品安全造成威胁。此外,有机肥同化肥一样,不合理施用也会造成土壤次生盐渍化、土壤N、P积累与淋失、增加温室气体排放等。文章综述了有机肥对土壤肥力质量、环境质量和健康质量的影响,并对今后的研究趋势进行了展望。

**【关键词】** 有机肥,土壤质量,可持续利用

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2015.Z1.013

有机肥俗称农家肥,是指含有有机物质,既能提供农作物多种无机养分和有机养分,又能培肥改良土壤的一类肥料,其中大部分为农家就地取材,自行积造的。有机肥料来源广泛,种类繁多,主要包括人畜粪尿、禽粪、堆肥、沤肥、厩肥、饼肥、草木灰、草炭、秸秆、绿肥、河塘泥和土杂肥等<sup>[1]</sup>。

目前,世界上有机肥积造与利用最早的历史遗迹可以追溯到6 000年前的苏美尔文明<sup>[2]</sup>。我国早在秦汉之前,也有用有机肥养地的实践,历代有关农书详细记述了有机肥的种类、作用、积造与施用方法。到了清代,

我国有机肥有10大类100多种<sup>[3]</sup>。1990年农业部开展全国有机肥料调查研究,分为10大类433个品种<sup>[4]</sup>。我国自古代直至20世纪70年代,农业生产上所用的肥料主要靠有机肥料,基本保持了水稻和小麦单位面积产量的稳定,并有缓慢的增加。20世纪中期,因为化肥的推广应用,有机肥的地位日益下降。我国1949年有机肥施用占肥料施用总量的比例为99.9%,1957年为91.0%,1965年为80.7%,1975年为66.4%,1980年降为47.1%,1985年为43.7%,1990年为36.7%,2000年为31.4%<sup>[1]</sup>,2003年为25%<sup>[5]</sup>。由于化肥的大量使用,农业生产发生了巨大的变化,在带来巨大经济效益和满足人口急剧增长需求的同时,其负面影响也日臻

\* 基金项目:农业科研杰出人才及创新团队(2012)

修改稿收到日期:2015年5月29日



中国科学院

显露,如土壤地力下降、环境质量恶化、食品质量安全事故时有发生等。因此,人们对有机肥又逐渐重视起来。

但是有机肥的不合理使用也会在土壤质量、环境质量以及食品安全方面造成负面影响,如不引起足够重视,其副作用甚至超过化肥。土壤质量是指土壤维持作物生产能力、保持环境质量及促进动植物健康的能力。因此,有机肥的使用将从正反两个方面强烈影响土壤质量。在现代农业生产中,有机肥料的施用不仅直接关系到土壤质量、农作物的产量和品质、水体和大气环境质量,而且它还是种植业与养殖业之间的重要纽带,对促进农田生态系统和生物圈中的物质循环与能量转化也有重要作用。有机肥种类繁多,性质各异,为了充分发挥有机肥的正向作用而尽量减少其负面影响,我们必须对各种有机肥的特性、在土壤中的转化过程及其对土壤、环境质量和农作物的影响有较清晰的了解,从而制订科学的施用规范。

## 1 有机肥对土壤肥力质量的影响

### 1.1 提高土壤肥力

2 000 多年来,有机肥对维护地力起了巨大作用。20 世纪初,美国中西部农田土壤发生明显退化,为寻找对策,1909 年美国著名土壤学家 King 对中国、朝鲜、日本的农业进行了考察,并于 1911 年出版了《四千年的农民:中国、朝鲜和日本的恒久农业》一书,总结了有机肥(包括绿肥)在维持土壤质量和农田生产力方面的重要作用<sup>[6]</sup>。

世界上最早开展有机肥科学实验研究的是英国人鲁茨(John Bennet Lawes)。早在 1837 年他便采用盆栽试验研究了有机肥对土壤和作物产量的影响,随后又开展了田间试验的探索。其研究结果直接催生了他 1842 年利用骨粉和硫酸生产磷肥,并与吉尔贝特(Joseph Henry Gilbert)一起于 1843 年建立了著名的英国洛桑试验站(Rothamsted Experimental Station)。该站迄今已 170 多年,长期定位研究有机肥与化肥连续施用对土壤和作物产量的影响。1852 年开始的 Hoosfield 长期定

位试验结果表明,连续每年施用 35 t/hm<sup>2</sup> 的厩肥,土壤氮含量增加 1 倍以上<sup>[7]</sup>。大量长期实验结果表明,有机肥施用可增加土壤有机质,进而显著增加土壤的矿化氮,作物产量增加明显<sup>[8,9]</sup>。但很多长期试验结果也表明,有机肥和化肥对作物均有极好的增产效果和持续的增产作用,二者间产量无显著差异,而化肥和厩肥配合无论是近期或者长期都可取得较高的产量和经济效益<sup>[9,10]</sup>。

我国科学家对各种有机肥料及肥效开展了大量研究。早在 20 世纪 30—40 年代,陈尚谨等人便和华北开展了有机肥的调查与试验;陈恩凤、彭家元等在四川开展了有机肥施肥技术研究;黄瑞采、裴保义等用复因子设计,对人粪尿、堆肥和绿肥进行了长达 9 年的稻田施肥试验。20 世纪 50 年代以来,我国有关单位与科学家对各种有机肥在不同土壤与作物上开展了大量研究,尤其是 80 年代建立了全国性的肥料长期定位试验网,包括中科院的 CERN、中国农科院的全国肥料试验网等。如中国农科院土壤肥料所从 1980 年开始,在全国 135 个定位试验点上进行了 5 年以上的有机肥肥效试验研究,结果表明,有机肥增产效果有逐年增加的趋势,且有明显的残效<sup>[4]</sup>。我国 100 多个 5 年以上的定位试验研究表明,施用有机肥与不施有机肥比较,平均增产率为 12.8%<sup>[11]</sup>。

国内外大量研究结果表明,合理施用有机肥料不仅可以增加土壤有机碳含量,改善土壤物理结构,增加土壤 CEC、保水能力、渗透性,提高土壤 N、P、K、Ca、Mg、S 及其他微量元素含量,促进土壤微生物活动,改善土壤微生物群落结构,提高土壤肥力,改善农产品品质<sup>[2,9,12-14]</sup>。有机肥和无机肥料配合施用效果更佳,还可以提高化学肥料的利用率<sup>[4,15-17]</sup>。吨粮田能够连续 17 年(1974—1990 年)维持养分平衡,其关键在于有机肥和化肥配合施用,并在化肥中再进行 N、P、K 适当配比。1985—1990 年,经粮、油、果、菜、烟、茶等 20 多种作物 30 多项有关品质指标的分析研究表明,有机肥与化肥养分平衡配合施用均不同程度提高了所

有供试作物的产品品质<sup>[11]</sup>。

### 1.2 抑制作物病害

有机肥施用可抑制作物病害<sup>[4,18-20]</sup>。20世纪70年代,国外便开始研究有机肥与植物病害的关系<sup>[21-24]</sup>,随后开发出各种抑制土传病害的生物有机肥<sup>[2,25,26]</sup>。从20世纪90年代开始,我国一些科研单位和企业相继研制和生产一类被统称为“生物有机肥”的产品并投放市场<sup>[27]</sup>。2008年全国共有商品有机肥企业3 021家,其中生物有机肥企业270家,占总数的8.94%,生物有机肥产量345万吨,占生物有机肥企业生产能力的83.6%<sup>[28]</sup>。具有抗病特性的生物有机肥的作用机理可能包括物理、化学、生物的作用。一方面有机肥可改善土壤物理结构,并平衡提供作物所需养分以及一些生物活性物质,植物生长健壮而抗病能力增强,同时有机肥含有拮抗菌或促生菌,改变根际微生物区系,进而抑制病原菌的爆发。因有机肥、土壤、病害类型复杂多变,迄今生物有机肥的作用机理尚未完全清楚,其在生产中的应用效果也不稳定,难以有效地、定向地施用生物有机肥而达到预期的防病效果<sup>[29]</sup>。

### 1.3 引起土壤质量退化

传统的观念认为有机肥对土壤质量均是正向作用,有机肥可减缓土壤板结、阻止土壤次生盐渍化,但有机肥的不合理施用也会造成土壤质量退化。《陈旉农书·粪田之宜篇》第一次记载了我国古代农民“用粪犹用药”的施肥理念,提出有机肥须合理施用。规模化养殖场的畜禽粪,尤其是鸡粪含有较高的盐分和Na<sup>+</sup>离子<sup>[30-32]</sup>,如果过量施用,则会有土壤次生盐渍化的风险,使土壤板结<sup>[33-36]</sup>。根据Moral等人的研究结果<sup>[37]</sup>,当畜禽粪施用量达到7—10 t/(hm<sup>2</sup>a),农田土壤的Na<sup>+</sup>和Cl<sup>-</sup>负荷可达415 kg/hm<sup>2</sup>,可致西班牙东南部半干旱地区土壤产生显著的次生盐

渍化风险。王辉等人的研究表明<sup>[36]</sup>,在目前的有机肥施用状况下,畜禽粪便农用对露天土壤没有显著的土壤次生盐渍化风险,而对于温室大棚土壤而言,在高施肥量下次生盐渍化风险较大,可严重影响农作物的生长。而目前蔬菜等经济作物上有机肥施用量普遍较高,例如山东寿光等地大棚蔬菜地土壤有机肥年施用量最高达240 t/hm<sup>2</sup>鲜粪<sup>[38]</sup>,有机肥带来的土壤次生盐渍化风险不容忽视。

## 2 有机肥对土壤环境和健康质量的影响

自20世纪90年代以来,因系列环境问题的日益凸显,国内外研究的关注点逐渐转移到大量施用有机肥对温室气体排放的影响,有机肥中氮、磷在土壤中的积累、迁移、淋溶风险及其对水体富营养化的贡献,有机肥中重金属、抗生素、动物激素及环境激素、病原生物、抗性菌及抗性基因等对土壤、水体、农产品质量和人体健康的影响<sup>[4]</sup>。现在的有机肥已与传统意义的有机肥在组成上有着巨大差别,规模化养殖场畜禽粪中P、K、Cu、Zn、As等元素和抗生素残留量明显高于农户家庭小规模养殖的畜禽粪<sup>[39]</sup>,同90年代相比,规模化养殖畜禽粪中不仅N、P含量显著提高,有害重金属含量也大幅度增加<sup>[40-42]</sup>,因此,有机肥进入农田对土壤环境质量和健康质量会产生显著影响,其农用的环境与健康风险不容忽视。

### 2.1 重金属

20世纪90年代后期,人们开始关注畜禽粪中有害重金属的问题。粪肥中常含大量的Cu、Zn、Cd、Pb、Cr、As<sup>[14,40,43]</sup>,畜禽粪农用是土壤与环境中重金属的重要来源之一。作者于2002年对江苏省规模化畜禽养殖场畜禽粪中重金属开展了调查,结果与国外类似,Cu、Zn是主要污染物,与饲料中的重金属含量分布有较强的相关性<sup>[44]</sup>,随后针



中国科学院

对不同区域和尺度的调查研究工作相继展开<sup>[30,31,40-54]</sup>,对我国规模化养殖畜禽粪的重金属污染状况有了初步的认识。有研究表明,英格兰与威尔士地区农业土壤中 Zn、Cu 的主要来源之一是畜禽粪农用,约占到农业土壤 Zn、Cu 总输入量的 37%—40%、8%—17%<sup>[55]</sup>。估计中国畜禽粪便农用输入农田土壤的 Cu、Cd、Zn 分别占到总输入量的 69%、55%和 51%<sup>[56]</sup>。

因此,畜禽粪的大量长期施用,会造成土壤重金属的积累,进而威胁农产品的质量安全<sup>[57-60]</sup>。长期施用猪粪明显地增加了糙米中镉含量,并超过国家卫生标准<sup>[61]</sup>。

## 2.2 抗生素与激素

1999—2000 年美国地质勘探局(USGS)在全美 39 个州 139 条河流中进行的调查结果显示,水环境中广泛存在药品和个人护理用品污染物(PPCPs)。48%的样品中检出抗生素,在检出的 95 种有机化合物中包含了 22 种抗生素,其中大部分为兽用或人兽共用抗生素,如大环内酯类、四环素类及磺胺类抗生素等<sup>[62]</sup>。自此,抗生素在环境中的残留及其化学行为日益引起重视<sup>[63-68]</sup>。目前,世界上大约 50%的抗生素应用于养殖业,而 40%—90%的药物又通过粪便排泄出来<sup>[14]</sup>。因不同畜禽种类、不同地区的管理水平差异,畜禽粪便样品中可检测到的抗生素残留浓度变化范围较大<sup>[69]</sup>。国内有关研究单位也对畜禽粪中的抗生素残留进行了初步调查<sup>[30,40,70-73]</sup>,表明部分畜禽粪样品中抗生素残留,尤其是四环素类抗生素很可能对生态环境中的微生物群落造成一定影响。

研究表明,某些抗生素可在施用粪肥的土壤中长期滞留,并对某些作物生长造成影响<sup>[14,65,69,74]</sup>。张慧敏等人<sup>[75]</sup>对浙北地区畜禽粪便和农田土壤中四环素类抗生素残留测定表明,施用畜禽粪肥农田表层土壤土霉素、四环素和金霉素的平均含量分别为未施畜禽粪肥农田的 38 倍、13 倍和 12 倍。粪肥中的抗生素进入土壤,对抗性菌的发展可能有一定的影响。

除抗生素外,畜禽粪中还含有相当数量的天然动物雌激素,包括 17 $\alpha$ -雌二醇、17 $\beta$ -雌二醇、雌激素酮、雌激素三醇、雌马酚及其代谢中间体。这些物质在粪便堆放过程中不易降解,可随粪肥农用进入农田与水体<sup>[14,76]</sup>。此外,粪肥中还含有一些被称为环境激素(内分泌干扰物质)的持久性有机污染物,如有机氯农药、多环芳烃等<sup>[77,78]</sup>,对土壤和水体环境也可能带来一些环境风险。

## 2.3 病原生物

全世界约有 250 多种人畜共患疾病,我国有 120 多种。畜禽粪便中的病原生物主要包括细菌、病毒、原生动物和蠕虫等<sup>[14,40]</sup>。通过粪便可传染人的病原微生物超过 150 种,主要为大肠杆菌、沙门氏菌等肠道细菌及一些病毒等。当畜禽粪便未经处理或无害化不完全,其所含的病原微生物在土壤中积累可能对水环境、人类健康甚至生命造成威胁<sup>[79-81]</sup>。这些病原体可在土壤中生存较长时间,其中,沙门氏菌被认为在土壤中的存留时间较长,报道的最长达 300 天以上<sup>[82]</sup>。蛔虫卵在土壤适宜条件下可存活 1 年,在 40—60 cm 土壤深处的虫卵可存活 2 年或更长的时间。病原体在土壤中的生存时间长短,与土壤及环境因子如土壤质地、pH 值、盐度、有机质、氧化还原电位、耕作方式、温湿度、光照、紫外线强度及土著微生物等有关<sup>[83,84]</sup>。病原生物随粪肥进入土壤后,还可以进一步侵入植物体内,污染作物可食部分,威胁食品安全。如大肠杆菌 O<sub>157</sub>: H<sub>7</sub> 可以经灌溉水或土壤进入植物体内<sup>[85-87]</sup>。

## 2.4 抗性菌及抗性基因

随着抗生素的广泛使用,抗生素的耐药问题渐渐暴露出来,2010 年在英国和印度发现超级细菌 NDM-1,使细菌耐药性问题再次成为全球关注的热点。由于抗生素在养殖业中广泛和不规范使用,畜禽粪中抗生素抗性细菌、抗性基因已经成为令人关注的新兴污染物<sup>[88-91]</sup>。

大量研究结果表明,沙门氏菌属的多重耐药率已从 20 世纪 90 年代的 20%—30%增加到了 21



世纪初的70%,随着时间的推移,其耐药率仍将大幅上升,耐药谱也将不断增宽<sup>[92]</sup>。潘志明等人<sup>[93]</sup>对1962—1998年间分离保存的325株鸡白痢沙门氏菌进行的研究结果表明,随着时间的推移,菌株对16种抗生素的耐药性呈现不同程度的上升趋势,菌株多重耐药性的上升趋势更加显著,60年代菌株几乎没有多重耐药性,70年代四耐、五耐菌株居多,80年代则五耐、六耐、七耐菌株占绝大多数,90年代七耐以上菌株的比率接近90%。朱力军<sup>[94]</sup>对50株动物源性大肠杆菌的测定结果也表明,菌株对15种供试抗生素的耐药性随着时间的推移呈现不同程度的上升趋势,20世纪50年代的大肠杆菌分离株对15种抗生素均敏感,60年代的分离株对链霉素、四环素产生抗药,70年代的分离株对氨苄西林、氯霉素、磺胺甲基异唑、四环素、链霉素、甲氧苄胺嘧啶6种抗生素产生耐药,80—90年代的分离株对阿莫西林/奥格门丁、庆大霉素、卡那霉素、萘啶酸、头孢噻吩、氨苄西林、氯霉素、磺胺甲基异唑、四环素、链霉素、甲氧苄胺嘧啶11种抗生素产生抗药。Yang等人<sup>[95]</sup>研究了89株猪源大肠杆菌对19种抗生素的抗药性,结果八耐菌株为100%,十一耐菌株占到86%,还有2%的菌株对所有19种供试抗生素完全耐药。朱小玲等人<sup>[96]</sup>研究了来自医院和不同养殖场的712株大肠杆菌分离株对15种抗生素的敏感性。结果表明,肉鸡场和医院大肠杆菌平均抗药性频率较高,分别达到81.27%和59.59%,多数表现为对12、13种抗生素的抗性,个别菌株对15种抗生素均表现为抗性;猪场次之,平均抗药性频率为52.71%,对5到14种抗生素均有抗性,比较集中在9—10抗;奶牛场最低,平均抗药性频率为18.72%,大部分菌株集中在1抗和2抗。此外,动物的抗药性程度和抗药谱与饲

养员的相关性显著,表明抗药性菌株可以通过环境和食物链在不同宿主之间传播。

Sengelov等人<sup>[97]</sup>测定了从施加猪粪的农田土壤中分离的细菌对四环素、大环内脂类和链霉素的抗性,结果发现土壤细菌的四环素抗性水平可以在短期内因猪粪的施用而上升,而且可以随着猪粪施用量的增加而增加。

Schimitt等人<sup>[98]</sup>的研究表明,猪粪对土壤中四环素及磺胺类抗性基因的多样性具有明显影响,施肥后土壤中抗性基因数量明显增加,且一些抗性基因是原来土壤所没有的,而是猪粪中特有的,证明这部分抗性基因是由于施用猪粪而带入的。养猪场周边土壤的分析结果显示,抗性基因*tet(W)*、*tet(T)*、*tet(M)*、*tet(O)*为猪场土壤中的优势抗性基因,其中*tet(W)*的含量高达 $2.16 \times 10^8$ 拷贝/g(干土),比含量最低的*tet(B/P)*高出约两个数量级<sup>[99]</sup>。朱永官等人<sup>[100]</sup>研究表明,施用粪肥的土壤中有63种抗性基因,丰度显著高于没有施用粪肥的土壤;同时,抗性基因的丰度与环境中抗生素和砷、铜等重金属浓度显著正相关,表明砷、铜等重金属和抗生素的复合污染可以增加环境中抗性基因的丰度。Ji等人<sup>[101]</sup>也得到了类似的结论。这些抗性基因在土壤中可发生基因水平扩散,从而将抗性基因从游离DNA分子转移到完整的细菌体内,使该细菌获得抗性<sup>[102,103]</sup>。Nielsen等人<sup>[104,105]</sup>研究表明,土壤养分不仅可增强细菌的基因转移能力,还能诱导细菌的转化能力,因此农田环境可能更有利于细菌耐药性的扩散。

## 2.5 土壤N、P积累与淋失

英国洛桑试验站长期定位试验的监测结果表明,有机肥的施用会导致土壤中硝态N的积累,增加向水体淋失的风险<sup>[106]</sup>。随后,大量的研究表明,过量有机肥的施用会

直接导致 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{P}$ 在土壤中的积累,并且随着施肥年限的增加而积累加剧,增加向水体的淋失<sup>[107-109]</sup>。庄远红等人<sup>[110]</sup>研究表明,增施有机肥提高了淋洗液DOP占DTP的比例,促进土壤 $\text{P}$ 的淋失,TP、DTP、DOP的累积淋失量随着有机肥的用量比例升高而增大,当超过一定值后会导致农田磷的环境风险。

## 2.6 土壤温室气体排放

有机肥强烈影响农田土壤的碳氮转化。由于有机肥、土壤的类型不同,性质各异,而有机肥的施用方式、施用量也不相同,加之研究的环境条件不一样,有机肥施用对土壤温室气体排放的影响研究结果差异较大<sup>[111]</sup>。近年来大量的研究表明,施用有机肥料,尤其是未经腐熟的有机肥料如作物秸秆、新鲜绿肥、未经腐熟的厩肥,可强烈促进农田 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 等温室气体的排放。长期施用厩肥的土壤也可能是 $\text{N}_2\text{O}$ 的重要排放源,充足的碳源与 $\text{NO}_3^-$ 同时并存,将大大促进土壤中的反硝化过程。Speir等人<sup>[112]</sup>研究报道有机碳加入土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 生成量增加的可能原因是提高了反硝化速率。一些研究结果表明有机肥施用增加了土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放<sup>[113-115]</sup>,而有些研究结果显示,与施用尿素相比有机肥施用可减少土壤 $\text{N}_2\text{O}$ 排放<sup>[116-118]</sup>。邹建文等人<sup>[119]</sup>研究表明, $\text{N}_2\text{O}$ 排放与施用的有机肥 $\text{C/N}$ 比有显著相关性。陈苇等人<sup>[120]</sup>研究表明,猪粪和沼气渣的施用分别提高稻田 $\text{CH}_4$ 排放量22.14%和4.40%。双季稻田猪粪替代部分化学氮肥较全部施用化学氮肥增加了双季稻田 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 排放<sup>[121]</sup>。有机肥种类和数量的不同影响了其施用后的 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的平均通量,施用有机肥增加了土壤 $\text{CO}_2$ 的排放<sup>[122]</sup>。与单施化肥比较,有机肥单施,以及有机肥与化肥配施,可增加土壤 $\text{CO}_2$ 和 $\text{CH}_4$ 的排放,但化肥配施秸秆与化肥配施猪粪下稻田生态系统 $\text{CH}_4$ 和 $\text{CO}_2$ 的排放没有显著差异<sup>[123]</sup>。

## 3 展望与建议

有机肥的合理施用将改善土壤质量,培育地力,增加作物产量,并改善农产品品质。农业部已

提出化肥、农药零增长的战略目标,而要满足我国人口高峰对食物的需求,不断增加作物单产是不二的选择,因此,有机肥的作用将日益突出。一些发达国家有机肥氮与化肥氮的施用比例维持在1:1左右,在保育地力的同时,使得作物生产能力稳步提升。在新形势下,我国有机肥的需求将迅速增大,有机肥的施用也将步入新的高潮。但现在的有机肥含有重金属、抗生素、激素、病原菌、抗性菌等污染物,其农用的环境风险需要高度重视。分析国内外的研究热点,今后有机肥的研究重点将集中在基础研究、无害化技术与安全施用等方面。

### 3.1 基础研究

虽然有机肥对土壤质量的正向、负向作用方面已进行了大量研究,但相比于化肥,有机肥方面的基础研究尚嫌薄弱。

(1) 尽快组织新一轮全国性的有机肥资源普查,并建立质量监测网。上一次全国性调查是20世纪90年代初,20多年来,有机肥的资源状况及组分发生了巨大的变化,应调查分析各类有机肥的资源量,重点分析各类有机肥的物质组分变化,尤其是各种污染物的含量状况,为有机肥的资源化利用提供家底数据。在此基础上,建立全国性主要有机肥质量监测网。

(2) 开展有机肥肥效及环境效应长期定位联网研究。目前,中科院、中国农科院系统已建立长期定位试验网,针对我国主要类型土壤与作物,进行了包括有机肥在内的不同施肥处理的长期定位试验研究。在此基础上,应补充设计新的试验方案,进一步开展针对区域性主要有机肥对土壤质量影响的长期定位试验,不仅研究有机肥肥效,而且要研究主要污染物在土壤中的长期积累效应及对环境质量、农产品质量安全的影响。

(3) 开展有机肥主要物质在土壤中的转化过程及生态环境效应研究。除有机肥中 $\text{C}$ 、 $\text{N}$ 的土壤转化过程与环境效应外,要重点研究有机肥对土壤生态系统中土壤生物、食物网的影响及其提高



化肥利用率的机理,研究有机肥施用下土壤中抗性菌及抗性基因的分布与扩散规律,研究复合污染下有机肥特征污染物(抗生素、激素、重金属、病原生物)的环境行为与归趋。

### 3.2 无害化及安全施用技术

目前,有机肥的盲目施用,不仅可造成土壤质量退化,而且对水体环境、农产品质量安全产生威胁。因此,应进一步加强有机肥无害化与安全施用规范方面的研究。

(1)加强有机肥无害化技术研究。现在的有机肥含有数量众多的有毒有害物质,而目前的有机肥农家积造、商品有机肥的工厂化生产工艺仍然处于相对简单、落后水平,均难以实现完全的无害化,即使商品有机肥,仍可能含有一定量的病原生物、重金属、抗生素、抗性菌等污染物,其长期或过量施入将带来一定的环境风险。应针对不同的有机肥及其污染物特性,研究相应的有毒有害物质消减技术。

(2)加强有机肥标准化质量管理体系研究。目前我国有机肥仅有农业部的部颁质量标准,且全国仅单级标准。由于商品有机肥原料的来源广泛,所含养分和其他物质(如污染物质)千差万别,因此,通过堆肥而生产的有机肥质量差异甚大,难以像化肥那样有相对稳定的物质组成。这给商品有机肥的生产和使用以及市场的健康发展带来诸多不便,尤其是随着现代社会管理标准化趋势的发展,其矛盾更加突出。欧美等发达国家均建立了不同类别及用途有机肥的质量标准。如欧盟将商品有机肥分为2级。在有机肥分级质量标准体系的基础上,欧美国家还制订了成套的生产、包装、质量认证、标识等管理体系和质量控制体系。因此,进一步加强我国有机肥标准化质量管理体系研究迫在眉睫。

(3)加强有机肥安全施用技术研究。一些发达国家针对不同的土壤、不同的作物、不同的生态控制区,研究制订了相应的有机肥施用技术规范,如有机肥的施用量、施用时期、施用方式等,确保有机肥的安全施用。而我国有机肥的施用多凭经验,盲目施用比较普遍。应进一步系统开展不同有机肥在不同土壤、不同作物上的安全施用研究,尽快形成有关的技术规范,指导农民的合理用肥。

#### 参考文献

- 1 张世贤. 我国有机肥料资源、利用、问题和对策. 磷肥与复肥, 2001, 16(1): 8-11.
- 2 Diaz L F, De Bertoldi M, Bidlingmaier W, et al. Compost Science and Technology. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- 3 刘更另. 中国有机肥料. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- 4 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- 5 黄鸿翔, 李书田, 李向林, 等. 我国有机肥的现状与发展前景分析. 土壤肥料, 2006, (1): 3-8.
- 6 程序. 中国农业与可持续发展. 北京: 科学出版社, 2007.
- 7 Jenkinson D S, Johnston A E. Soil organic matter in the Hoosfield continuous barley experiment. Rothamsted Expt. Stn. Ann. Rep. For 1976, part II. 1977, 87-101.
- 8 Glendinning M J, Powlson D S. The effect of long continued application of inorganic nitrogen fertilizer on soil organic nitrogen-A review. In: Soil management: Experimental basis for sustainability and environmental quality. Advances in Soil Science, ed by R Lal and B A Stewart, 1995, 385-436.
- 9 Edmeades D C. The long-term effects of manures and fertilizers on soil productivity and quality: a review. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66: 165-180.
- 10 张莎娜, 谭长银, 王大娟, 等. 农业生态系统长期试验在农业和环境研究中的作用. 湖南师范大学自然科学学报, 2013, 36(6): 72-78.
- 11 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望. 土壤学报, 1996, 33

- (4): 414-422.
- 12 Haynes R J, Naidu R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 51: 123-137.
- 13 Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 2010, 30: 401-422.
- 14 Goss M J, Tubeileh A, Goorahoo D. A review of the use of organic amendments and the risk to human health. *Advances in Agronomy*, 2013, 120: 275-379.
- 15 唐继伟, 林治安, 许建新, 等. 有机肥与无机肥在提高土壤肥力中的作用. *中国土壤与肥料*, 2006, 3: 44-47.
- 16 孟琳, 张小莉, 蒋小芳, 等. 有机肥料氮替代部分化肥氮对稻谷产量的影响及替代率. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 532-542.
- 17 Wu W, Ma B. Integrated nutrient management (INM) for sustaining crop productivity and reducing environmental impact: A review. *Science of the Total Environment*, 2015, 512-513: 415-427.
- 18 唐龙翔, 李文庆. 有机肥对植物土传病害控制的研究. *北方园艺*, 2009, 7: 132-136.
- 19 何凯, 石纹豪, 李振轮. 生物有机肥防治植物土传病害研究进展. *河南农业科学*, 2014, 43(6): 1-5.
- 20 Mehta CM, Uma Palni, Franke-Whittle I H, et al. Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Management*, 2014, 34: 607-622.
- 21 Malek R B and Cartner J B. Hardwood bark as a soil amendment for suppression of plant parasitic nematodes in container grown plants. *Hort. Sci.*, 1975, 10: 33-35.
- 22 Hoitink H A J, van Doren D M, Schmitthenner A F. Suppression of phytophthora cinnamomi in a composted hardwood bark mix. *Phytopathology*, 1977, 67: 561-565.
- 23 Hoitink H A J, Fahy P C. Basis for the control of soilborne plant pathogens with composts. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 1986, 24: 93-114.
- 24 Bonilla N, Gutiérrez-Barranquero J A, Antonio de Vicente, et al. Review: Enhancing Soil Quality and Plant Health Through Suppressive Organic Amendments. *Diversity*, 2012, 4: 475-491.
- 25 Mokhtar M M, El-Mougy N S. Bio-compost Application for Controlling Soil-borne Plant Pathogens—A Review. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2014, 4(1): 61-68.
- 26 丁文娟, 曹群, 赵兰凤, 等. 生物有机肥施用期对香蕉枯萎病及土壤微生物的影响. *农业环境科学学报*, 2014, 33(8): 1575-1582.
- 27 沈德龙, 曹凤明, 李力. 我国生物有机肥的发展现状及展望. *中国土壤与肥料*, 2007, 6: 1-5.
- 28 杨帆, 李荣, 崔勇, 等. 我国有机肥料资源利用现状与发展建议. *中国土壤与肥料*, 2010, (4): 77-82.
- 29 许华升, 丁小玲, 李吕木. 具有抗病作用的生物有机肥及其研究进展. *家畜生态学报*, 2013, 34(11): 78-80.
- 30 张树清, 张夫道, 刘秀梅, 等. 规模化养殖畜禽粪主要有害成分测定分析研究. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 822-829.
- 31 姚丽贤, 李国良, 党志. 集约化养殖畜禽粪中主要化学物质调查. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1989-1992.
- 32 王辉, 董元华, 张绪美, 等. 江苏省集约化养殖畜禽粪便盐含量及分布特征分析. *农业工程学报*, 2007, 23(11): 229-233.
- 33 Hao X Y, Chang C. Does long-term heavy cattle manure application increase salinity of a clay loam soil in semi-arid southern Alberta? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2003, 94(1): 89-103.
- 34 宿庆瑞, 李卫孝, 迟凤琴. 有机肥对土壤盐分及水稻产量的影响. *中国农学通报*, 2006, 22(4): 299-301.
- 35 Yao L X, Li G L, Tu S H, et al. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Science of the Total Environment*, 2007, 383: 106-114.
- 36 王辉, 董元华, 张绪美, 等. 集约化养殖畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的影响评估. *环境科学*, 2008, 29(1): 183-188.
- 37 Moral R, Perez-Murcia M D, Perez-Espinosa A, et al. Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, 2008, 28: 367-71.
- 38 秦巧燕, 贾陈忠, 曲东, 等. 我国设施农业发展现状及施肥特点. *湖北农学院学报*, 2002, 22(4): 373-376.
- 39 单英杰, 章明奎. 不同来源畜禽粪的养分和污染物组成. *中国生态农业学报*, 2012, 20(1): 80-86.
- 40 董元华, 林先贵, 王辉. 中国畜禽养殖业产生的环境问题与对策. 北京: 科学出版社, 2015.



- 41 Wang H, Dong Y, Wang H. Hazardous metals in animal manure and their changes from 1990 to 2010 in China. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 2014, 96(9): 1346-1355.
- 42 Wang H, Dong Y, Yang Y, et al. Changes in heavy metal contents in animal feeds and manures in an intensive animal production region of China. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25(12): 2435-2442.
- 43 Nicholson F A, Chambers B J, William J R, et al. Heavy metal contents of livestock feeds and Animal manures in England and Wales. *Bioresource Technology*, 1999, 70(1): 23-31.
- 44 Cang L, Wang Y J, Zhou D M, et al. Study of heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu province. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3): 371-374.
- 45 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 等. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 392-397.
- 46 任顺荣, 邵玉翠, 王正祥. 利用畜禽废弃物生产的商品有机肥料重金属含量分析. *农业环境科学学报*, 2005, 24(增刊): 216-218.
- 47 周焱, 陆若辉, 董越勇, 等. 浙江省复混肥料、有机-无机复混肥料和有机肥料品质的研究. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(1): 148-154.
- 48 梁金凤, 齐庆振, 贾小红, 等. 京郊有机肥料的质量状况分析. *中国土壤与肥料*, 2009, 6: 79-83.
- 49 朱建华, 杨晓磊, 严瑾, 等. 上海商品有机肥料中重金属含量及影响因素研究. *上海农业学报*, 2010, 26(4): 13-116.
- 50 彭来真, 刘琳琳, 张寿强, 等. 福建省规模化养殖场畜禽粪便中的重金属含量. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2010, 39(5): 523-527.
- 51 刘昱东. 辽宁省有机肥中重金属含量调查分析及科学施用有机肥的建议. *农业科技与装备*, 2012, 1: 10-13.
- 52 程旭艳, 王定美, 乔玉辉, 等. 中国商品有机肥料重金属分析. *环境污染与防治*, 2012, 34(2): 72-76.
- 53 王飞, 赵立欣, 沈玉君, 等. 华北地区畜禽粪便有机肥中重金属含量及溯源分析. *农业工程学报*, 2013, 29(19): 202-208.
- 54 钟杭, 娄烽. 浙江省商品有机肥重金属含量调查与分析. *浙江农业学报*, 2013, 25(5): 1092-1095.
- 55 Nicholson FA, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to Agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment*, 2003, 311(1-3): 205-219.
- 56 Luo L, Ma Y B, Zhang S Z, et al. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, 2009, (8): 2524-2530.
- 57 刘赫, 李双异, 汪景宽. 长期施用有机肥对棕壤中主要重金属积累的影响. *生态环境学报*, 2009, 18(6): 177-2182.
- 58 鲁洪娟, 孔文杰, 张晓玲, 等. 有机无机肥配施对稻-油系统中重金属污染风险和产品质量的影响. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2009, 35(1): 111-118.
- 59 王美, 李书田. 肥料重金属含量状况及施肥对土壤和作物重金属富集的影响. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(2): 466-480.
- 60 Chaney R L. Food safety issues for mineral and organic fertilizers. *Adv. Agron.*, 2012, 117: 51-116.
- 61 李本银, 黄绍敏, 张玉亭, 等. 长期施用有机肥对土壤和糙米铜、锌、铁、锰和镉积累的影响. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(1): 129-135.
- 62 Kolpin W D, Furlong T E, Meyer T M, et al. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in U.S. streams, 1999-2000: a national reconnaissance. *Environ Sci Technol*, 2002, 36(6): 1202-1211.
- 63 Jjemba, P K. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 93: 267-278.
- 64 Boxall A B A, Fogg L A, Blackwell P, et al. Veterinary medicines in the environment. *Rev Environ Contam Toxicol*, 2004, 180: 1-91.

- 65 Kümmerer K. Pharmaceuticals in the environment: sources, fate, effects and risk. Third edition, Springer, 2009.
- 66 Prosser R S, Sibley P K. Review: Human health risk assessment of pharmaceuticals and personal care products in plant tissue due to biosolids and manure amendments, and wastewater irrigation. *Environment International*, 2015, 75: 223-233.
- 67 Kumar K, Gupta S C, Baidoo S K, et al. Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure. *J Environ Qual*, 2005, 34: 2082-2085.
- 68 李洁,刘善江. 抗生素在有机肥料-土壤-农作物系统中的转化及影响的研究进展. *上海农业学报*, 2013, 29(4): 128-131.
- 69 Kumar K, Gupta S C, Chander Y, et al. Antibiotic use in agriculture and its impact on the terrestrial environment. *Adv Agron*, 2005, 87: 1-54.
- 70 陈昇,董元华,王辉. 江苏省畜禽粪便中磺胺类药物残留特征. *农业环境科学学报*, 2008, 27(1): 385-389.
- 71 刘新程,董元华,王辉,等. 江苏省集约化养殖畜禽排泄物中四环素类抗生素残留调查. *农业环境科学学报*, 2008, 27(3): 1177-1182.
- 72 Hu X G, Luo Y, Zhou Q X, et al. Determination of thirteen antibiotics residues in manure by solid phase extraction and high performance liquid chromatography. *Chin J Anal Chem*, 2008, 36(9): 1162-1166.
- 73 Zhao L, Dong Y H, Wang H. Residues of veterinary antibiotics in manures from feedlot livestock in eight provinces of China. *Science of the Total Environment*, 2010, 408: 1069-1075.
- 74 Hamscher G, Sczesny S, Höper H, et al. Determination of persistent tetracycline residues in soil fertilized with liquid manure by high-performance liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Anal Chem*, 2002, 74(7): 1509-1518.
- 75 张慧敏,章明奎,顾国平. 浙北地区畜禽粪便和田间土壤中四环素类抗生素残留. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(3): 69-73.
- 76 Hanselman T, Graetz D, Wilkie A. Manure-Borne Estrogens as Potential Environmental Contaminants: A Review. *Environ Sci. & Tech*. 2003, 37(24): 5471-5478.
- 77 曹卫东,王旭,刘传平,等. 当前部分有机肥料中的持久性有机污染物问题. *土壤肥料*, 2006, 2: 8-11.
- 78 Zhao L, Dong Y H, Wang H. Residues of organochlorine pesticides and polycyclic aromatic hydrocarbons in farm-raised livestock feeds and manures in Jiangsu, China. *Science of the Total Environment*, 2013, 450-451: 348-355.
- 79 Unca A, Goss M J. Review: Transport of bacteria from manure and protection of water resources. *Applied Soil Ecology*, 2004, 25: 1-18.
- 80 Brochiera V, Gourlanda P, Kallassyb M, et al. Occurrence of pathogens in soils and plants in a long-term field study regularly amended with different composts and manure. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 160: 91-98.
- 81 Ding X, Liang C, Zhang B, et al. Higher rates of manure application lead to greater accumulation of both fungal and bacterial residues in macroaggregates of a clay soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, 84: 137-146.
- 82 Holley R A, Katia M A, Kimberly H, et al. Salmonella survival in manure-treated soils during simulated seasonal temperature exposure. *J. Environ. Qual.*, 2006, 35: 1170-1180.
- 83 Jiang X P, Morgan J, Doyle M P. Fate of *Escherichia coli* O<sub>157</sub>:H<sub>7</sub> in manure amended soil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2002, 68(5): 2605-2609.
- 84 Francis J L, Yanke L J, Miller J J, et al. Fate of coliform bacteria in composted beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.*, 2003, 32: 1508-1515.
- 85 Solomon E B, Yaron S, Matthews K R. Transmission of *Escherichia coli* O<sub>157</sub>:H<sub>7</sub> from contaminated manure and irrigation water to lettuce plant tissue and its subsequent internalization. *Appl Environ Microbiol*. 2002, 68(1): 397-400.
- 86 Johannessen G S, Bengtsson G B, Heier B T, et al. Potential Uptake of *Escherichia coli* O157:H7 from Organic Manure into Crisphead Lettuce. *Appl. Environ. Microbiol.*, 2005, 71(5): 2221-2225.
- 87 Franz E, Visser A A, Van Diepeningen A D, et al. Quantification of contamination of lettuce by GFP-expressing *Escherichia coli* O<sub>157</sub>:H<sub>7</sub> and *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. *Food Microbiol*. 2007, 24: 106-112.



- 88 Rysz M, Alvarez P J J. Amplification and attenuation of tetracycline resistance in soil bacteria: aquifer column experiments. *Water Research*, 2004, 38(17): 3705-3712.
- 89 Pruden A, Pei R, Storteboom H, et al. Antibiotic resistance genes as emerging contaminants: studies in northern Colorado. *Environ Sci Technol*, 2006, 40(23): 7445-7450.
- 90 Martínez J L. Antibiotics and antibiotic resistance genes in natural environments. *Science*, 2008, 321(18): 365-367.
- 91 汪勇, 林先贵, 王一明, 等. 长期施用粪肥对农田土壤中细菌四环素抗性水平的影响. *安徽农业科学*, 2008, 36(14): 5944-5945, 5947.
- 92 Su L H, Chiu C H, Chu C, et al. Antimicrobial Resistance in Nontyphoid Salmonella Serotypes: A Global Challenge. *Clin Infect Dis*. 2004, 39(4): 546-551.
- 93 潘志明, 焦新安, 刘学贤, 等. 鸡白痢沙门氏菌耐药性的变化趋势. *中国预防兽医学报*, 1999, 21(4): 305-307.
- 94 朱力军. 动物性大肠杆菌耐药性变化趋势. *中国兽医杂志*, 2001, 35(2): 16-18.
- 95 Yang H, Chen S, White D G, et al. Characterization of multiple-antimicrobial-resistant *Escherichia coli* isolates from diseased chickens and swine in China. *J. Clin Microbiol*, 2004, 42(8): 3483-3489.
- 96 朱小玲, 齐静, 白华, 等. 山东省动物源大肠杆菌多重耐药性及其遗传稳定性研究. *中国卫生检验杂志*, 2009, 19(7): 1473-1476.
- 97 Sengeløv G, Agersø Y, Halling-Sørensen B, et al. Bacterial antibiotic resistance levels in Danish farmland as a result of treatment with pig manure slurry. *Environment International*, 2003, 28: 587-595.
- 98 Schmitt H, Stoob K, Hamscher G, et al. Tetracyclines and tetracycline resistance in agricultural soils: Microcosm and field studies. *Microbial Ecology*, 2006, 51: 267-276.
- 99 吴楠, 乔敏, 朱永官. 猪场土壤中5种四环素抗性基因的检测和定量. *生态毒理学报*, 2009, 4(5): 705-710.
- 100 Zhu Y G, Johnson T A, Su J Q, et al. Diverse and abundant antibiotic resistance genes in Chinese swine farms. *PNAS*, 2013, 110(9): 3435-3440.
- 101 Ji X, Shen Q H, Liu F, et al. Antibiotic resistance gene abundances associated with antibiotics and heavy metals in animal manures and agricultural soils adjacent to feedlots in Shanghai, China. *Journal of Hazardous Materials*, 2012, 235: 178-185.
- 102 Agerso Y, Sandvang D. Class 1 integrons and tetracycline resistance genes in *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, and *Pseudomonas* spp. isolated from pigsties and manured soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(12): 7941-7947.
- 103 徐冰洁, 罗义, 周启星, 等. 抗生素抗性基因在环境中的来源、传播扩散及生态风险. *环境化学*, 2010, 29(2): 169-178.
- 104 Nielsen K M, Weereh M D, Berg T N, et al. Natural transformation and availability of transforming DNA to *Acinetobacter calcoaceticus* in soil microcosms. *Appl Environ Microbiol*, 1997, 63: 1945-1952.
- 105 Nielsen K M, Bones A M, Elsas J D. Induced natural transformation of *Acinetobacter calcoaceticus* in soil microcosms. *Appl Environ Microbiol*, 1997, 63: 3972-3977.
- 106 Powlson, D S, Poulton P R, Addiscott T M, et al. Leaching of nitrate from soils receiving organic or inorganic fertilizers continuously for 135 years. In Hansen J A and Henriksen K (eds.), *Nitrogen in Organic Wastes Applied to Soils*, London: Academic Press, 1989: 334-345.
- 107 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积的影响. *土壤与环境*, 2000, 9(3): 197-200.
- 108 刘勤, 张斌, 谢育平, 等. 施用鸡粪稻田土壤氮磷养分淋洗特征研究. *中国生态农业学报*, 2008, 16(1): 1-5.
- 109 张凤华, 廖文华, 刘建玲. 连续过量施磷和有机肥的产量效应及环境风险评价. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6): 1280-1287.
- 110 庄远红, 吴一群, 李延, 等. 有机无机磷肥配施对蔬菜地土壤磷素淋失的影响. *土壤*, 2007, 39(6): 905-909.
- 111 Webb J, Brian P, Bittman S, et al. The impacts of

- manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response—A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2010, 137: 39-46.
- 112 Speir T W, Kettles H A, More R D. Aerobic emissions of  $N_2O$  and  $N_2$  from soil cores: factors influencing production from  $^{15}N_2$  labeled  $NO_3^-$  and  $NH_4^+$ . *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27: 1299-13061.
- 113 Paul J W, Beauchamp E G. Effect of carbon constituents in manure on denitrification in soil. *Canadian Journal of Soil Science*, 1989, 69: 49-61.
- 114 Velthof G L, Kuikman P J, Oenema O. Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 37: 221-230.
- 115 Kamewada K. Vertical distribution of denitrification activity in an Andisol upland field and its relationship with dissolved organic carbon: effect of long-term organic matter application. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2007, 53: 401-412.
- 116 Antonio V, Skibab U, Lourdes Q, et al. Nitrogen oxides emission from soils bearing a potato crop as influenced by fertilization with treated pig slurries and composts. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 2782-2793.
- 117 Meijide A, Di'ez J A, Sa'nchez M L, et al. Nitrogen oxide emissions from an irrigated maize crop amended with treated pig slurries and composts in a Mediterranean climate. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2007, 121: 383-394.
- 118 Sanchez M L, Vallejo A D J, Skiba U M. The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emissions from two contrasting agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 142-151.
- 119 邹建文, 黄耀, 宗良纲, 等. 不同种类有机肥施用对稻田  $CH_4$  和  $N_2O$  排放的综合影响. *环境科学*, 2003, 24: 7-12.
- 120 陈苇, 卢婉芳, 段彬伍, 等. 猪粪与沼气渣对双季稻田甲烷排放的影响. *生态学报*, 2001, 21(2): 265-270.
- 121 王聪, 沈健林, 郑亮, 等. 猪粪化肥配施对双季稻田  $CH_4$  和  $N_2O$  排放及其全球增温潜力的影响. *环境科学*, 2014, 35(8): 3120-3127.
- 122 董玉红, 欧阳竹. 有机肥对农田土壤二氧化碳和甲烷通量的影响. *应用生态学*, 2005, 16(7): 1303-1307.
- 123 刘晓雨, 李志鹏, 潘根兴, 等. 长期不同施肥下太湖地区稻田净温室效应和温室气体排放强度的变化. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1783-1790.

## Effect of Organic Fertilizer on Soil Quality: A Review

Dong Yuanhua

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** The Effect of organic fertilizer on soil has been one of the important research topics in sustainable utilization of soil. Proper application of manure can improve soil fertility and the quality of agro-products, as well as enhance the biodiversity of the soil ecosystem. However, due to the contaminants such as heavy metals, antibiotics, estrogens, pathogens, antibiotic resistance bacterial and resistance genes contained in organic fertilizer, it can potentially threaten the soil quality, food safety, and health quality. Moreover, similar to chemical fertilizer, improper application of organic fertilizer can result in the risk of secondary soil salinization, leaching of nitrogen and phosphorus, and emission of green-house gases. This paper reviews the effect of organic fertilizer on soil fertility, soil environment and health quality. It also provides an outlook for future research.

**Keywords** organic fertilizer, soil quality, sustainable management

**董元华** 中科院南京土壤所研究员, 中科院泰州应用技术研发及产业化中心主任, 中国土壤学会生态专业委员会主任、江苏省生态学会副理事长、江苏省土壤学会副理事长。主要从事土壤生态、污染

生态方面的研究工作,共发表有关论文190余篇,获国家发明专利授权40项。E-mail:  
yhdong@issas.ac.cn

**Dong Yuanhua**, Professor of soil ecology in Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. Dr. Dong also serves as the Director of the Taizhou Center for Technology Industrialization, Chinese Academy of Sciences; Chairman of the Soil Ecology Committee, Soil Science Society of China; vice president of the Ecological Society of Jiangsu; and vice president of the Soil Society of Jiangsu. His main areas of study include soil ecology and pollution ecology. He has published over 190 papers in the above mentioned research areas and has 40 invention patent authorization. published 190 papers and obtained 40 invention patents. E-mail: yhdong@issas.ac.cn



中国科学院