

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2012.00019

有机肥对土壤地力和作物产量的影响及应用示例

甄 珍¹, 博文静¹, 吴光磊², 罗小川³, 郑延海¹

- (1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;
2. 山东农业大学作物生物学国家重点试验室, 山东泰安 271018;
3. 河南安阳贞德生态农场, 河南安阳 455000)

摘 要:施用有机肥可以有效改良土壤结构, 提高土壤有机质含量, 促进农作物增产, 是发展可持续生态农业的必由之路。在综合介绍中国有机肥料的应用现状、有机肥对土壤地力及其作物产量的影响的基础上, 以河南贞德生态农场的农田生态系统为例, 通过估算农业生态系统中的氮素平衡指标, 着重探讨农田土壤的最佳有机肥施用量。结果发现, 为保持农田生态系统的氮素平衡, 最少施用的有机肥量为 25.5 t/hm²。本研究为科学施用有机肥、节约生产成本、提高作物产量、发展可持续生态农业提供理论依据和技术支持。

关键词: 有机肥; 土壤地力; 作物产量; 施肥量

中图分类号: S181

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2012)01-0019-07

引言

随着农业科技化水平的提高, 现代农业过分依赖化肥、农药、除草剂、杀虫剂、农膜等化石型生产资料^{[1]94}的问题日益明显。化肥在农业生产中的大量使用, 虽然提高了农产品的产量, 但也带来一系列问题, 诸如: 养分资源浪费、生产成本上升、产出/投入比低、农产品品质下降、土壤板结、水源污染等^[2-3], 这已引起世界各国的普遍关注。上述问题都是由于土壤长期缺乏有机质和化肥过量使用造成的, 而解决这些问题最根本的办法是增施有机肥, 以减少化肥的使用量。有机肥是指利用动植物残体、排泄物及生物废料等, 通过堆制腐熟技术消除其中的有害物质(病原菌、病虫卵害、杂草种子等)后, 形成的一种自然肥料。有机肥富含植物生长所需的各种元素及

有机养分, 可满足作物不同生长时期的养分需要, 而且, 有机肥富含有机质, 可以改良土壤各种理化性质。另一方面, 有机肥分解产生的 CO₂ 可作为作物光合作用的原料, 提高作物产量^{[4]46}。

有机肥料与化学肥料一样, 在农业生产中也存在计量施用的问题。施用量过少, 无法满足作物生长必需的养分需要; 施用量过多, 不仅造成资源浪费, 还易造成土壤氮素过剩, 从而影响作物生长^[5-7]。因此, 农业生产中有机肥的施用量应根据土壤中各种养分及有机质的消耗情况合理确定, 做到合理施肥。据此, 本文在综合介绍中国有机肥料的应用现状、有机肥对土壤地力及其作物产量的影响的基础上, 以河南贞德生态农场的农田生态系统为例, 通过估算农业生态系统中的氮素平衡指标, 着重探讨农田土壤的最佳有机肥

收稿日期: 2012-01-10; 修回日期: 2012-02-01

基金项目: 山东省人民政府泰山学者专项经费资助(00523952)

作者简介: 甄珍(1983-), 女, 博士研究生, 主要从事农业生态学研究。E-mail: zhenzhen@ibcas.ac.cn

博文静(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事农业生态学研究。

吴光磊(1984-), 男, 博士研究生, 主要从事作物生理生态研究。

施用量, 为科学施用有机肥、节约生产成本、提高作物产量、发展可持续生态农业提供理论依据和技术支持。

1 中国有机肥料的应用现状

中国是农业大国, 70 %以上的人口从事农业, 拥有 120 km² 耕地, 但中低产田较多, 占耕地面积的 70 %以上^{[1]94}。这些土地原有肥力较差, 加之过度使用, 降低了土地的生产力, 导致作物生长发育不良, 作物品质下降。近 30 年来, 为了提高土地肥力, 中国化肥施用量以平均每年 1.57 Mt 的速度递增, 到 2007 年已达到 51.078 Mt^{[8]453} (见图 1)。大量使用农药化肥不仅加剧了农业面源污染, 造成次生盐碱化、土壤酸化等污染问题^[9], 还致使病虫害产生强烈的抗性, 害虫天敌锐减, 生态循环遭到破坏^{[1]94}。因施用化肥产生的 NH₃、NO_x、N₂O 气体还会加快温室效应和臭氧层破坏等系列环境问题的恶化^[10]。这些都与土壤有机质降低和有机肥料使用量减少有直接关系。据统计, 中国平均每公顷土地的化肥施用量高达 434.3 kg, 是化肥使用上限的 1.93 倍, 但利用率仅为 40 %; 农药平均施用量是每公顷 13.4 kg, 其中高毒农药占 70 %, 有 60 %~70 %的农药残留在土壤中^{[1]94}。

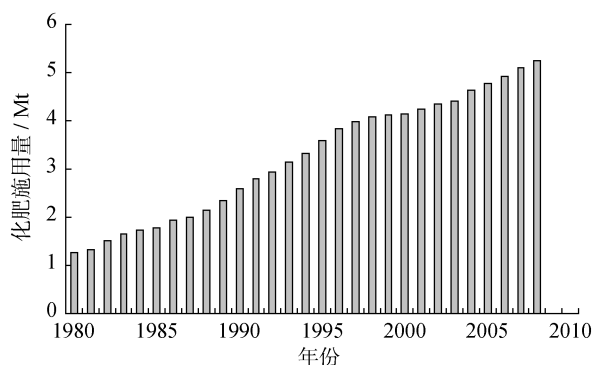


图 1 1980—2010 年中国化肥施用量

数据来源: 文献[8]453。

为了克服大量施用化肥带来的负面效应, 农业科技工作者再次把目光转向有机肥的施用。目前中国国内研究最多、应用较广泛且最具前景的

方法是利用禽畜粪便或作物秸秆为原材料, 采用好氧生物堆肥法进行堆肥^[11-12]。腐熟的堆肥比起新鲜的粪肥更有优势, 如堆肥发酵过程产生的热量可杀死新鲜粪肥中的杂草种子; 堆肥后粪肥体积减小, 从而减小占地面积; 堆肥还可以使粪肥中的氮转变成更加稳定的有机氮, 降低了氮素的损失率^[13]。据金继运估算, 每年来自中国农业的有机物质为 4 000 Mt, 如禽畜粪尿、作物秸秆、绿肥类等, 可提供氮、磷、钾等养分 53.16 Mt, 其中秸秆占 12.2 %, 可提供养分 13.357 Mt, 禽畜粪尿占 78.7 %, 可提供养分 34.632 Mt^[14]。沼气沼渣也是良好的有机肥, 发展沼气肥也是一种利用禽畜粪尿和作物秸秆等生物废弃物的好方法。但大多数经济发达地区的禽畜养殖模式已转向规模化、工厂化饲养, 导致大部分农户家庭缺少禽畜粪尿资源, 沼气产出率低。其次, 将沼渣沼液施于农田需要较高的劳动力和运输工具, 因此沼气肥只在中国有养殖禽畜及劳动力丰富的中西部地区得到较好的发展。

农田有机肥施用目前还存在产品质量参差不齐、应用效果不够稳定、管理不规范、产品标准有待强化等问题。中国目前禽畜饲料添加剂质量标准松散、管理不善, 很多地区的饲料添加剂中含有重金属元素, 造成禽畜粪便重金属污染。刘荣乐等人 2005 年对全国 14 个省有机肥的抽样测定结果表明, 污泥、猪粪、鸡粪、堆肥和厩肥受污染程度最重^[15]。今后中国有机肥的发展应以作物秸秆和禽畜粪尿资源为主, 在保证有机肥质量的基础上, 提高有机肥的产量, 制定规范的登记证管理制度和产品标准评价体系, 运用政策和科学力量, 让有机肥料在推动农业可持续发展和增强中国农产品市场竞争力中发挥应有的作用。

2 有机肥对土壤地力的影响

有机肥成本低, 制作工艺简单^[16], 可以有效改良土壤结构, 提高土壤的有机质, 促进农作物

增产, 增强微生物群落的多样性^[17-18], 被认为是增加作物产量和保证土壤质量的主要物质保证^{[19-21][22]136}。

2.1 对土壤质量改善的作用

土壤有机质是土壤养分的重要来源, 是决定土壤质量的基本指标, 也是土壤肥力和土地生产力的重要指标^{[22]132[23-26]}。有机质可促进土壤良好团粒的形成, 既可培肥地力, 又可改善土壤的透气性、透水性、蓄水性及耕性^{[27]125}。多数研究表明, 长时间添加有机肥将显著提升土壤有机质含量^[28]。每公顷增施 10 t 有机肥, 土壤有机质年均增加 0.009 7%, 而增施化肥的情况下有机质含量年均下降 0.003 %^[29]。有机肥对改善土壤理化性状和生物学特性方面也有积极作用, 有机肥施入土壤后, 其中的腐殖质可促进土壤团聚体的形成, 提高土壤的孔隙度, 从而有效改善土壤的水、肥、气、热状况, 使土壤变得疏松肥沃, 有利于耕作及作物根系的生长发育。有机肥中的腐殖质分解后, 可通过酸基解离和胺基质子化提高土壤的酸碱缓冲性^[30-32]。有机肥中的腐殖酸是一种活性物质, 能够促进种子发芽和根系生长。盐碱地上施用有机肥, 还具有改良土壤的作用, 可减轻盐碱对作物的危害。

2.2 对土壤微生物的作用

土壤微生物种群数量和酶活性是评估土壤质量的重要生物学指标, 对土壤养分循环具有重要的作用。有机肥腐解后, 可为土壤微生物的生命活动提供能量和养料, 利于微生物繁殖与活性提高。微生物又通过其活动加速有机质的分解, 丰富土壤中的养分, 促进作物的生长发育。我们在山东省弘毅生态农场的前期研究结果表明, 土壤中添加牛粪堆肥可以促进微生物繁殖, 增加微生物的种类, 增强微生物群落的多样性, 且其增强作用随有机肥施用比例的增加而增加。这可能是因为经过动物消化产生的有机肥中产生了丰富的

微生物源, 而且其中含有丰富的有机碳, 提高了土壤碳氮比, 使得土质疏松, 利于好氧菌的生存。贺纪正等人的研究表明, 长期施厩肥能显著提高土壤微生物数量、土壤酶活性和土壤真菌的数量^{[33]316}。厩肥能明显提高土壤脲酶活性, 而秸秆还田处理对脲酶活性无显著影响, 土壤脲酶活性与土壤微生物数量成正相关^{[33]318[34]406}。有机肥还能为土壤微生物提供能量, 每公顷施用含 20 % 干物质质量的绿肥 22.5 t, 可向土壤输入能量 7.98~9.98 MJ, 相当于 3 000~3 750 kg 的无烟煤^{[27]125} 具有的能量。微生物活性增强, 加速有机质的分解, 为作物的生长发育提供充足的有效养分。

3 有机肥对作物产量的影响

有机肥施入土壤中, 其中的全氮含量不会立即被作物完全吸收, 而是在微生物的分解作用下呈抛物线趋势缓慢释放, 转化成有利于作物吸收的有效氮^{[35]413}。土壤中施加有机肥可以明显提高土壤肥力, 促进作物生长, 提高作物产量^[36]。有机肥营养全面, 肥效长, 但有机肥对作物产量及稳定性的影响可能需要较长的时期才能反映出来。

3.1 有机肥对小麦产量的影响

根据孙宁科等人连续 27 年对河西绿洲区灌漠土壤中有有机肥 (农家肥) 和化肥长期配施对作物产量影响的定位试验研究, 结果表明: 有机肥与化肥长期配施增加了小麦的产量及产量的稳定性, 以有机肥与 NP 或 NPK 肥配施效果为最佳。原因在于长期配施有机肥和化肥增加了 N、P、K 的养分投入量、养分携出量和盈余量, 养分携出量决定于产量, 且 N 和 K 养分携出量远大于 P^{[4]43-44}。崔喜安等人对暗棕土壤施加有机肥测定其对小麦产量的影响, 结果表明: 有机肥与化肥配合施用比单施的效果明显, 以有机肥+高量化肥区产量最高, 小麦产量高达 2770.3 kg/hm²^[37]。M. Diacono 等人在小麦有机堆肥和化肥配施试验中得出: 有

机堆肥和化肥配施时的作物产量比单施化肥氮时增加 8%, 而且能保持产量的稳定性^{[35]414}。H. Cherif 等人的研究表明: 与不施加任何肥料相比, 单施有机肥时的小麦籽粒产量平均增长了 246%, 5 年内平均每公顷施加高达 80 t 的有机堆肥或者混合矿物肥料的情况下, 每公顷产量可达到 60.2 t 和 61.9 t^[38]。

3.2 有机肥对玉米产量的影响

韩晓增等人通过对东北 15 亩黑土农田分别施加有机肥(腐熟的猪粪)、化肥(NPK)化肥加低量有机肥(10 000 kg/hm²)、化肥加高量有机肥(20 000 kg/hm²)、无肥 5 个处理研究有机肥对玉米产量的影响, 经过 6 年的长期定位试验, 结果表明: 在施肥的第 1 年、第 3 年和第 5 年, 施用化肥加高量有机肥处理的玉米产量最高, 且各处理均增加了玉米的年际间产量, 而单施化肥和单施有机肥的处理玉米产量差异不显著, 即完全单施有机肥后的玉米产量也不会低于完全单施化肥后的玉米产量。其原因在于有机肥料效长, 能够持续为玉米提供养分^[39]。这个结果与孙宁科等人的研究结果相似^{[4]43}。根据山东农业大学的试验结果, 在土壤有机质含量提高到 5% 的情况下, 即使减少一般的化肥用量, 玉米产量也高于常规施用化肥条件下的产量^{[40]24}。M. Y. Habteselassie 等发现一次性施入高含量的有机肥可对作物产量的提高产生持续效应, 由于堆肥持续的矿化作用可以不断地提供玉米所需要的氮素, 在之后的几年内, 土壤中的有效无机氮增加, 使玉米产量提高, 玉米植株中的含氮量也显著增加^{[41]1328}。T. Kaur 等人的研究表明: 在玉米—小麦轮作的种植模式下, 每公顷 10 t 的厩肥和 NPK 配施 34 年, 玉米籽粒的产量一直是最高的^{[42]66}。

4 农田最佳有机肥施用量计算——以河南贞德生态农场为例

农田土壤的氮素含量直接影响着作物的产量

及品质, 是农田地力评价的重要指标之一。农田土壤保持氮素平衡才能保证作物叶绿素、蛋白质及酯类的合成, 并使光合产物及时被利用, 以免堆积过多而抑制光合的顺利进行^{[43]770}。在农业生产中, 由于人为施用养分与农田损失养分不协调, 造成农田氮素比例失调; 又因为肥料结构不合理, 导致氮素养分利用率降低, 加速了农田生态系统氮素的失衡。农田生态系统中氮素循环包括大气干湿沉降氮输入、有机与无机氮肥输入、生物固氮, 并通过氮素渗透、氨挥发、作物籽粒收获等途径输出^{[43]767}。根据物质守恒定律, 分析农田生态系统的氮素收支情况, 可以了解氮素的盈余状况, 为指导农业生产提供依据; 计算在保证农作物所需养分的前提下能够代替化肥施加的有机肥的最佳用量, 对抑制土壤退化, 保障农业可持续发展具有重要科学意义和实践价值。

贞德生态农场坐落于河南省安阳市汤阴县, 占地 200 hm², 土地肥沃, 自然资源丰富, 远离工矿企业和污染源; 该区气候温和, 四季分明, 日照充足, 年平均气温 12.7~13.7℃, 全年降雨量为 620 mm, 全年无霜期 210 d 以上, 平均气压 1 001.5 mPa, 为典型的暖温带半湿润大陆性季风气候。此农场采用每年冬小麦—夏玉米轮作耕种模式, 不施化肥, 不打农药, 作物秸秆大部分沤制沼气(1 000 m³ 的沼气池), 沼液沼渣还田, 人工除草管理, 作物产量 1 000 kg/a。本研究通过计算该农田生态系统的氮素收支情况来了解其若保持氮素平衡需要施加有机肥的用量。

4.1 农田生态系统氮素输入项

氮素输入项, 除施加有机肥项, 还包括大气干湿沉降、沼液沼渣还田、农田杂草还田。

该农场每年的氮素输入量中, 大气干湿沉降的氮量约为 3 320±800 kg; 1 000 m³ 沼渣还田的氮量约为 4 600±1 400 kg, 沼液还田的氮量约为 280 kg; 杂草还田的氮量约为 510 kg^{[44]1608[45]551[46]44[47]45-46}。

除有机肥外, 该农田生态系统每年的氮素输

入总量为：

干沉降的氮量 + 湿沉降的氮量 + 沼渣还田的氮量 + 沼液还田的氮量 + 杂草还田的氮量 ≈8 710 kg (1)

4.2 农田生态系统氮素输出项

氮素输出项，包括作物携出（籽粒和秸秆）氮的损失，其中氮的损失包括反硝化（N₂O、NO_x、N₂）和 NO₃-N 淋失。

该农场每年的氮素输出量中，小麦玉米籽粒带走的氮量约为 71 050 kg，小麦玉米秸秆带走的氮量约为 25 500 kg，反硝化损失的氮量约为 3 200 kg，NO₃-N 淋失的氮量（施加有机肥）约为 17 024 kg^{[48]165[49]1250[50-51][52]79[53]26}。

该农田生态系统每年的氮素输出总量为：
NO₃-N 淋失氮量+反硝化损失的氮量+小麦玉

米籽粒带走的氮量+小麦玉米秸秆带走的氮量 ≈116 774 kg (2)

4.3 农田生态系统氮素收支计算

由公式(1)、(2)可知，该农场每年所需的最低有机肥添加量为：

每年的氮素输出总量-每年的氮素输入总量 ≈108 064 kg (3)

按照有机肥（纯牛粪堆肥）含氮量为 2.1 % 计算，该农场每年所需要施加有机肥的最佳用量为：

108 064 kg ÷ 2.1 % ≈5 100 t
即为了保持农田生态系统的氮素平衡，此农场每年需要施加有机肥 5 100 t，即 25.5 t/hm²。这个用量既可以提高农田中无机氮的利用率，减少氮素的损失，又可以减轻因过量施用化肥导致的氮素盈余及农田污染的问题（见表 1）。

表 1 河南贞德生态农场(200 hm²)的氮素平衡及其参考依据

方式	项目	每年每公顷氮素输入 (输出) 项的含氮量/%	每年每公顷氮素输入 (输出) 量/(kg·hm ⁻²)	每年 200 hm ² 农田氮素输入/ 输出总量/(kg·200 hm ⁻²)	数据来源
氮素输入	有机肥	2.10	—	108 064	文献[46]44
	干沉降	—	1.35±0.15	270±30	文献[44]1608
	湿沉降	—	15.25±3.85	3 050±770	文献[44]1608
	沼渣还田	1.15±0.35	—	4 600±1400	文献[47]46
	沼液还田	0.07	—	280	文献[47]45
	杂草还田	—	2.55	510	文献[45]551
	小麦、玉米籽粒	小麦：3.07±1.49 玉米：2.00±1.20	—	1 050	文献[49]1250
氮素输出	小麦、玉米秸秆	小麦：0.70 玉米：1.00	—	17 024	文献[48]165
	反硝化损失	—	16	3 200	文献[52]79
	NO ₃ -N 淋失	—	42.46	17 024	文献[53]26

注：小麦和玉米的籽粒及秸秆的总含氮量是按照产量 1 000 kg/a 计算。

5 展望

随着社会的发展和科技的进步，人们对有机肥的认识不断深化。中国农村有大量的农业废弃物资源可供用于有机肥开发，完全有条件大量提高有机肥的施用比例，实现农业的可持续发展。秸秆还田既解决了有机肥的来源问题，也因减少

焚烧而保护了农村的生态环境^{[40]24[41]1328[42]60}。畜禽粪尿肥对缓解土壤磷钾肥不足也有重要意义^{[34]408}。为此，在中国可用耕地与淡水资源日趋减少的背景下，应加快有机肥的发展，改良土壤，提高肥料利用率和节本、增产、增收的效果，共创一条可持续发展的生态循环型有机农业之路。

参考文献

- [1] 蒋高明. 发展生态循环农业, 培育土壤碳库[J]. 绿叶, 2009, 12.
- [2] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 施肥对半干旱地区小麦产量、 NO_3^- 、N 积累和水分平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 754-760.
- [3] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 施用磷肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 397-403.
- [4] 孙宁科, 索东让. 有机肥与化肥长期配施对作物产量和灌漠土养分库的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4).
- [5] 张福锁, 巨晓棠. 对我国持续农业发展中氮肥管理与环境问题的几点认识[J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 41-55.
- [6] 朱兆良. 农田生态系统中化肥氮的去向和氮素管理[C]. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 213-249.
- [7] 娄庭, 龙怀玉, 杨丽娟, 等. 在过量施氮农田中减氮和有机无机配施对土壤质量及作物产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (2): 11-15.
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴2008[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
- [9] 章家恩, 骆世明. 现阶段中国农业可持续发展面临的实践和理论问题探讨[J]. 生态学杂志, 2005, 11: 1366.
- [10] 赖力, 黄希金. 中国化肥施用的环境成本估算[J]. 土壤学报, 2009, (1): 63-69.
- [11] 单德臣, 单德鑫, 许景钢, 等. 牛粪好氧生物处理条件分析[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38 (4): 554-558.
- [12] 单德鑫, 李淑芹, 许景钢. 牛粪生物堆肥有机酸变化及对腐熟度的影响. 环境科学与技术, 2007, 30(1): 29-31.
- [13] Moral R, Paredes C, Bustamante M A, et al. Utilisation of manure composts by high-value crops: Safety and environmental challenges[J]. Bioresource Technol, 2009, 100: 5454-5460.
- [14] 金继运. 我国肥料资源利用中存在的问题及对策建议[J]. 中国农技推广, 2005, (11): 4-6.
- [15] 刘荣乐, 李树田, 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[J]. 农业环境科学学报, 2005, 4(2): 392-397.
- [16] Fagnano M, Adamo P, Zampella M. Environmental and agronomic impact of fertilization with composted organic fraction from municipal solid waste: A case study in the region of Naples, Italy[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2011, 141: 100-107.
- [17] 郭胜利, 周印东, 张文菊, 等. 长期施用化肥对粮食生产和土壤质量性状的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 16-22.
- [18] 迟继胜, 李杰, 黄丽芬, 等. 长期定位施肥对作物产量及土壤理化性质的影响[J]. 辽宁农业科学, 2006, 2(2): 20-23.
- [19] 彭琳, 彭祥林, 余存祖. 黄土区有机肥与化肥配施效果[J]. 土壤肥料, 1983(5): 14-15.
- [20] 张夫道, 姚源喜. 有机肥与氮肥配合施用对小麦和玉米产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 1984(3): 11-15.
- [21] 索东让. 河西走廊有机肥增产效应研究[J]. 土壤通报, 2002(5): 396-398.
- [22] 沈善敏. 国外长期肥料试验[J]. 土壤通报, 1984(3).
- [23] Lal R. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands[J]. Land Degrad, 2006, 17: 197-209.
- [24] Komatsuzaki M, Ohta H. Soil management practices for sustainable agro-ecosystems, Sustain[J]. Science. 2007, 2: 103-120.
- [25] Ismail I, Blevins R L, Frye W W. Long-term no-tillage effects on soil properties and continuous corn yields[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 193-198.
- [26] Johnson J M F, Reicosky D C, Allmaras R R, et al. Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA[J]. Soil Till. Res., 2005, 83: 73-94.
- [27] 丁思年. 有机肥对土壤的改良作用及其发展前景. 现代农业科技[J]. 现代农业科技, 2007, 10.
- [28] Bossuyt H, Six J, Hendrix P F. Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66: 1965-1973.
- [29] 马宏斌, 郭瑞萍. 有机肥对旱地苜蓿生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 2(8): 335-337.
- [30] Lal R, Steward B A. Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environment Quality[M]. Boca Raton: CRC-Press, 1995: 1-9.
- [31] Singh G, Jalota S K, Singh Y. Manuring and residue management effects on physical properties of a soil under the rice: wheat system in Punjab, India[J]. Soil Tillage Res., 2007, 94: 229-238.
- [32] Manna M C, Swamp A, wanjari R H, et al. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields[J]. Soil Tillage Res., 2007, 94: 397-409.
- [33] 郑勇, 高勇生, 张丽梅, 等. 长期施肥对旱地红壤微生物和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2).
- [34] Sun R L, Zhao B Q, Zhu L S, et al. Effects of long-term fertilization on soil enzyme activities and its role in adjusting controlling soil fertility[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2003, 9(4).
- [35] Diacono M, Montemurro F. Long-term effects of organic amendments on soil fertility, Agron[J]. Sustain, 2010, 30.
- [36] 樊军, 郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验

- 研究土壤酶活性与土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(2): 147.
- [37] 崔喜安, 仇建飞, 窦森. 长期定位施肥对暗棕壤肥力和作物产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(5): 545–550.
- [38] Cherif H, Ayari F, Ouzari H, et al. Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate[J]. *Eur. J. Soil Biol.*, 2009: 1–8.
- [39] 韩晓增, 王凤仙, 王凤菊, 等. 长期施用有机肥对黑土肥力及作物产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(1): 69.
- [40] 蒋高明. 生态循环型农业破解粮食危机[J]. 发明与创新(综合科技), 2009, (4).
- [41] Habteselassie M Y, Miller B E, Thacker S G, et al. Soil nitrogen and nutrient dynamics after repeated application of treated dairy-waste[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2006, 70.
- [42] Kaur T, Brar B S, Dhillon N S. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize–wheat cropping system[J]. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 2008, 81.
- [43] 丁洪, 张玉树, 郑祥洲, 等. 除草剂对土壤氮素循环的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 767–772.
- [44] 逯超普, 颜晓元. 基于氮排放数据的中国大陆大气氮素湿沉降量估算[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(8).
- [45] 侯红乾, 李世清, 李生秀. 不同施氮条件下麦田杂草氮素吸收的研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3).
- [46] 张翔, 皇甫湘荣, 范艺宽, 等. 河南烟区土壤有机质和氮的含量及施肥技术[J]. 土壤肥料, 2004, 2.
- [47] 张昌爱, 王艳芹, 袁长波, 等. 不同原料沼气池沼渣沼液中养分含量的差异分析[J]. 现代农业科学, 2009, 1(1).
- [48] 赵鹏, 陈埠, 马新明, 等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3).
- [49] 马国胜, 薛吉全, 路海东, 等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6).
- [50] 江永红, 宇振荣, 马永良. 秸秆还田对农田生态系统及作物生长的影响[J]. 土壤通报, 2001, 32(5): 209–213.
- [51] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, et al. Rice yield and nitrogen efficiency under alternative straw management practices [J]. *Agron J.*, 2000, 92: 1096–1103.
- [52] 刘红梅, 赵建宁, 王志勇, 等. 供氮水平和有机无机配施对夏玉米氮利用效率的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12).
- [53] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1).

Important Effect of the Organic Fertilizer on Soil Fertility and Yield of Crop : a Case Study in Zhende Organic Farm, Henan, China

Zhen zhen¹, Bo Wenjing¹, Wu Guanglei², Luo Xiaochuan³, Zheng Yanhai¹

(1. Laboratory of Vegetation and Environment Changes, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

2. State Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China;

3. The Henan Zhende Organic Farm, Anyang 455000, Henan, China)

Abstract: Using organic fertilizer can effectively improve soil structure ,enhance soil organic matter content, and increase the yield of crop, which is the only way for the development of sustainable eco- agriculture. Our study mainly introduces the China's application of organic fertilizer, its important effect on soil fertility and the yield of the crops. An organic farm in Henan was chosen as research object. Calculation of the nitrogen input and output in this agro-ecosystem was done under the routine managements, and the best fertilizing scheme was investigated. The results showed that the least input of the organic fertilizer was 25.5t/hm, which could maintain nitrogen balance of this agro-ecosystem. It is of significance to use organic fertilizer scientifically, reduce production costs, increase crop yields, and develop the sustainable ecological agriculture.

Key words: organic fertilizer; soil fertility; yield of crop; fertilization