

有机肥与化肥的生产能耗、投入成本和环境效益比较分析 ——以污泥堆肥生产有机肥为例

刘洪涛^{1,2}, 陈同斌^{1*}, 郑国砥¹, 高定¹, 雷梅¹

1. 中国科学院地理科学与资源研究所环境修复中心, 北京 100101; 2. 北京中科博联环境工程有限公司, 北京 100080

摘要: 针对目前国内肥料生产和施用现状, 分别从能耗、成本和污染物排放等三个方面对有机肥和化肥进行比较分析。化肥生产呈现高能耗和高污染排放, 而有机肥则表现为低能耗、无污染的特点, 同时还可消纳废弃物, 减轻污染负荷。从投入成本上分析, 化肥相对于有机肥具有一定优势, 其单位面积和折纯养分投入分别是有机肥的 53% 和 26%。有机肥相对于化肥, 其污染物排放负荷很低。从节能减排和降低投入的角度, 提出支持基于废弃物资源化的有机肥产业化发展。

关键词: 成本; 化肥; 能耗; 污泥; 有机肥

中图分类号: X196

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-1000-04

利用有机废弃物生产有机肥是一条充分利用废弃物养分和价值的资源化途径, 并在一定程度上减轻了因废弃物弃置排放造成的环境污染压力, 在当今全社会重视和倡导节能减排的大环境下, 充分利用有机废弃物发展有机肥体现了未来肥料行业的必然趋势。但国内肥料行业的现状是化肥生产与消费规模较大, 有机肥产业发展缓慢, 与化肥相比仍处在边缘位置。

这种局面的出现除了与国情和肥料行业现状有关之外, 与目前国内有机肥规模化效益较低和运施不便等因素也有一定关系。首先, 有机肥生产企业产值和利润均低于化肥。化肥生产企业作为当地的利税大户, 在地方政府更受到重视, 因此在政策配套上获得支持力度更大, 如电价优惠、增值税优惠和运输优惠。同时, 我国农业施肥结构以化肥为主, 也直接限制了有机肥产业的快速发展。据 2007 年的最新统计数据表明, 目前国内从事化肥(包括氮肥、磷肥、钾肥和复合肥)生产的企业累计 1900 家, 而同期运行的有机肥企业只有 180 家; 化肥当年的销售收入额达到 3 600 亿元^[1], 而有机肥只有 60 亿元左右^[2]。目前业内已逐步认识到化肥与有机肥合理配施, 才能达到培肥地力, 保持土地产出和养分需求的平衡与持续发展。但现实肥料生产情况是, 有机肥生产企业技术不够完善和规范, 低水平生产企业比重较大, 导致绝大部分有机肥生产企业规模偏小、产能严重偏低, 缺少规模效益而难以盈利, 因此现阶段有机肥行业水平与农业可持续发展要求相去甚远。

化肥与有机肥在能耗、投入和环境方面的效应比较报道较少, 这也是造成目前缺乏对化肥与有机

肥全面而客观认识的原因所在, 本研究以污泥堆肥制有机肥和尿素生产为模式案例, 对化肥与有机肥的综合效应进行全面比较分析, 以期深入了解化肥与有机肥的能耗、成本与环境效应的真实差异提供参考依据。

1 化肥与有机肥的化石能源消耗比较

化肥产业是典型的高耗能产业, 特别是氮肥, 其所需的原料和燃料均严重依赖包括煤、天然气和石油在内的各种化石能源。以氮肥主要品种——尿素为例, 其能源组成的 60% 来源于煤炭, 25% 来源于天然气, 其余 15% 来源于重油^[3]。每吨煤基尿素的耗煤系数为 1.55 t, 耗电系数达到 1 030 kW·h; 气基尿素吨消耗天然气达到 1 000 m³, 耗电系数比煤基略低, 但也达到 900 kW·h; 而油基尿素吨消耗重油约为 0.8 t, 耗电系数为 600 kW·h。从单位质量(g)折纯养分所消耗的化石能源来看(表 2), 每克化肥养分所消耗的煤为 3.44 g, 天然气 2 220 cm³, 油 1.78 g, 电 0.001 8 kW·h。从以上数据不难看出, 生产化肥所需化石能源投入和能耗系数均较高。

相比较而言, 有机肥生产的原料主要来自于城市污泥等生物质类型废弃物, 不存在大量化石原料投入问题, 而生产过程消耗的油、电能耗很低, 如采用自动控制好氧发酵堆肥技术, 利用城市污泥等废弃物生产有机肥涉及的作业机械只有混料机、匀翻机和风机等设备。如表 1 所示, 生产每吨有机肥消耗的柴油仅为 2.5 L、耗电 155 kW·h, 与化肥相比, 其油和电的能耗只为单位化肥能耗的 3% 和 18%。但从折纯养分消耗系数分析(表 2), 有机肥在油电消耗上甚至略高于化肥, 这主要是有机肥养分含量较低所致, 而化肥尽管能耗系数较高, 但其养

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B01); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2008AA062402)

作者简介: 刘洪涛(1978 年生), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事废弃物资源化技术产业政策研究。E-mail: liuht@igsnnr.ac.cn

*通信联系人: E-mail: chentb@igsnnr.ac.cn

收稿日期: 2010-03-30

表 1 化肥与有机肥能耗系数比较
(以生产尿素和污泥堆肥为例)

Table 1 Comparison of energy coefficients of chemical fertilizer and organic fertilizer production

指标	煤炭/t	天然气/m ³	油/t	电/(kW·h)
化肥(吨·消耗系数)	1.55	1 000	0.8	843
有机肥(吨·消耗系数)	—	—	0.001 8	155

表 2 化肥与有机肥折纯无机养分能耗系数比较
(以生产尿素和污泥堆肥为例)

Table 2 Comparison of energy coefficients of chemical fertilizer and organic fertilizer in pure nutrient form

指标	煤炭/g	天然气/cm ³	油/t	电/(kW·h)
化肥(克纯养分)	3.44	2 220	1.78	0.001 8
有机肥(克纯养分)	—	—	3.6	0.031

*化肥平均无机养分含量以 45%为计算标准, 有机肥平均无机养分以 5%为计算标准。

分含量也相对较高, 因此单位养分的能耗系数与有机肥相差不大。从节能降耗的层面上来看, 有机肥体现出的能耗优势远高于化肥, 这不仅与生产化肥所需的动力和燃料较高有关, 更重要的是化石产品同时还是化肥产品的重要原料, 而有机肥原料主要来源于有机废弃物, 属于可再生能源范畴, 有别于不可再生的化石能源。除此之外, 目前我国化肥利用率较低也是一个突出问题, 每年损失化肥所消耗的煤、天然气、重油和电分别占全国总量的 14%、13%、1%和 0.8%^[4]。在我国目前肥料产业结构背景下, 提高有机肥的市场占有率 20%, 则可相应降低能耗约 1 500 万 t 煤(或 800 万 t 重油)和 800 万 t 磷矿石, 节省电能 50 亿 kW·h, 这对于我国的能源战略意义重大。

2 化肥与有机肥的经济成本投入比较

目前, 我国农业生产上肥料施用仍以化肥为主, 在有些地区甚至只施用化肥。这种施肥结构的形成有经济成本方面的因素起作用, 也有其客观性原因。一般而言, 常见作物的化肥(以尿素为例)平均施用量在 4.5 t·hm⁻² 左右, 其养分足以达到作物生长需要, 以此计算化肥购置成本一般在 4 800~6 000 元·hm⁻²。反观有机肥, 尽管其有机养分丰富, 但由于折纯养分较化肥要低很多, 因此施用量一般要在 22.5 t·hm⁻², 虽然肥料投入成本仅略高于化肥, 但将其运至田间并施用, 无形中又增加了运输成本和人力成本(如表 3 所示)。以每公顷施用 22.5 t 有机肥为例, 需 15 个车次将肥料运至田间, 其费用在 1 500 元, 再完成田间施用, 还需要 30 个人次的日工作量, 因此又增加了成本 1 200 元(以 40 元·人⁻¹·天⁻¹计), 额外支出费用达 2 700 元, 尽管其费用并不是很高, 但有机肥养分丰富的优势不足以抵消额外增加的投入。从折纯养分的投入成本来看(表 4), 有机

表 3 单位面积化肥与有机肥投入成本比较

Table 3 Comparison of input costs of chemical fertilizer and organic fertilizer in unit area

指标	购置成本/元	运输成本/元	施用成本/元	合计/元
化肥	5 400	—	—	5 400
有机肥	9 000	1 500	1 200	11 700

*化肥价格按 1200 元·t⁻¹ 计算, 有机肥价格按 400 元·t⁻¹ 计算。

表 4 单位面积化肥与有机肥折纯养分投入成本比较

Table 4 Comparison of input costs of chemical fertilizer and organic fertilizer in pure nutrient form in unit area

指标	购置成本/元	运输成本/元	施用成本/元	合计/元
化肥(克纯养分)	0.04	—	—	0.04
有机肥(克纯养分)	0.12	0.02	0.017	0.157

*化肥价格按 1200 元·t⁻¹ 计算, 有机肥价格按 400 元·t⁻¹ 计算。

肥的单位面积有效养分投入成本高出化肥近 4 倍。因此, 如何降低有机肥投入成本, 同时又保持养分优势是未来商品化有机肥产业的发展方向。利用污泥好氧发酵产生腐熟堆肥, 并生产有机—无机复合肥, 既缩减了肥料体积, 减轻了运输施用的人工负担, 又兼顾了缓释和速效特点。

目前, 我国化肥投入成本占农业生产总成本的 25%以上, 但国外发达国家仅为 10%左右, 造成化肥投入成本较高的重要原因为化肥利用率过低(20%~30%)。在能源价格持续高涨的背景下, 化肥利用率低间接导致肥料投入量增加, 因此而产生的追加成本也成为突出问题。以尿素为例, 如将其利用率由目前的 30%提高至 50%, 则可减少肥料购置成本 2 400 元·hm⁻², 投入相应降低 45%。通过以上成本计算分析, 有机肥的投入成本无论是在单位面积或折纯养分上均高于化肥, 这与其养分含量较低有很大关系, 但不可忽视的是有机肥丰富的有机养分, 对作物后期品质提升是化肥不可比拟的^[5-7], 因此将收获物产出因素加以考虑, 有机肥在投入产出上仍保有一定优势。

3 化肥与有机肥生产的环境效应比较

在环境效应方面, 化肥与有机肥表现截然不同, 化肥是当前国家重点关注的减排行业, 而有机肥则主要利用对环境造成污染隐患的有机废弃物, 如畜禽粪便、城市污泥等, 不仅不会造成环境污染, 同时还可降低对水体、土壤的污染负荷。

目前化肥产业主要排放污染物为二氧化硫(SO₂)、氨氮和 COD 等。以高硫煤为燃料的排放烟气中的 SO₂ 是大气主要污染源, 二氧化碳(CO₂)的过量排放加剧了温室效应, 也是今后着重减排的目标污染物, 而氨氮和 COD 则是化肥工业废水的主要污染指标, 据估算(表 5)我国 2007 年全国化肥行业排放的 SO₂ 达到 82.5 万 t, CO₂ 达到 180 万 t, 氨氮和 COD 分别为 14 和 32 万 t^[8]。近年来化肥行业响

表5 化肥与有机肥主要污染物年排放总量估测

Table 5 Estimated annual emissions of major pollutants by chemical fertilizer and organic fertilizer production 万 t

指标	二氧化硫	二氧化碳	氨氮	COD
化肥	82.5	180	14	32
有机肥	—	—	0.8	—

应国家号召,在节能减排方面做了大量卓有成效的工作,如氮肥行业的污水零排放工程等,但由于其对原料消耗的客观事实,其排放情况复杂,因此化肥行业对环境的污染潜在负荷压力仍然很大,特别是易造成酸雨的 SO_2 ,其减排任务依然艰巨。由于近期优质资源价格上涨,供应紧张,不得不转向更多地采用煤炭、低品位磷矿等劣质原料,这也在一定程度上增加了节能减排的难度。天然气是生产化肥的理想原料,以天然气为原料生产合成氨,几乎无废水和废渣排放。世界上除我国以外,几乎都采用天然气生产合成氨。我国以天然气为原料的合成氨比例几十年来长期在 20% 左右徘徊,而以煤为原料的合成氨比例则由 80 年代初的 65% 提高到目前的 75%,这不可避免地带来“三废”排放量的增加。

规范的工业化污泥堆肥制有机肥生产过程几乎不产生“三废”排放。仅有的可能污染源在于污泥发酵过程产生的臭气(主要为氨气和含硫气体),只要控制得当,如采用生物除臭等控制措施,完全可避免对大气环境产生负面影响。以 2007 年为例,假设提高有机肥市场占有率 1 倍,则可有效替代化肥 11% 的年产量,由此可间接减少 SO_2 排放 9.08 万 t、 CO_2 排放 19.8 万 t、氨氮排放 1.55 万 t、COD 排放 3.53 万 t,因此采用有机肥部分替代化肥的路线,环保意义非常显著。从折纯养分排放系数来看(如表 6 所示),在氨氮指标上,有机肥高于化肥,这与有机肥的养分含量较低有直接关系。不仅如此,以污泥堆肥生产有机肥本身就是消纳环境污染物的过程,因此可起到污染源控制“双重”效应。针对产生量巨大和来源广阔的城市污泥和畜禽粪便等有机废弃物,采用好氧生物发酵技术对其进行堆肥处理,生产优质专用有机肥是目前普遍认可的废弃物无害化和资源化处置途径。有机肥生产基本上是一个“变废为肥”的过程,从减少污染物排放的角度而言,有机

表6 化肥与有机肥折纯无机养分污染物年排放系数估测

Table 6 Estimated annual emissions of major pollutants by chemical fertilizer and organic fertilizer in pure nutrient g

指标	二氧化硫	二氧化碳	氨氮	COD
化肥	0.037	0.082	0.006	0.015
有机肥	—	—	0.114	—

*2007 年国内化肥总产量以 4 880 万 t 计,商品化有机肥以 140 万 t 计,化肥平均养分含量以 45% 计,有机肥平均养分以 5% 计

肥产业应更多地受到政策鼓励和支持。

4 结语

通过从能耗、成本和环境效应等几个重要因素的全面比较分析,不难看出目前在肥料生产和应用结构占主导地位的化肥是高能耗、高污染负荷的产品体现形式,而通过污泥堆肥制作有机肥则表现出低能耗、无污染的特征。长期施用化肥会导致土壤板结和肥力退化等问题^[9],而有机肥可明显改善土壤理化性质,增加有机养分。但在肥料实际投入成本上,相对于有机肥,化肥在购置、运输和人力投入等环节均具有一定优势,这在一定程度上得益于国家为保护农业生产积极性而采取的化肥限价政策,同时更为主要的是堆肥有机肥因养分含量低,施用量过大造成的额外成本投入较多。自 2008 年 6 月起,财政部、国家税务总局下发文件对生产和销售有机肥产品实行免征增值税的优惠政策,这在一定程度上对污泥堆肥制有机肥的整体投入成本会有所降低,但具体效果尚有待进一步观察,但已说明国家充分意识到对有机肥产业的扶持和保护。

有机肥在节能减排上体现出较强的环境效应优势。目前较为突出的问题是,一方面土壤缺乏有机质,养分失衡,地力下降明显;而另一方面,大量有机废弃物未得以充分资源化利用,其环境污染隐患问题日益突出。如何将两个问题有效结合并加以合理解决,有机肥产业化发展是关键。再进一步深究其原因,有机肥产业未得到重视的根源在于目前国内有机肥产业的脆弱性,工程化程度不高,规模化效益较低,导致有机肥生产企业竞争力不强。因此,当前有机肥产业急需国家予以更多的政策支持、补贴优惠和重点扶持。另外一方面,与国内目前的肥料施用习惯有关,目前应着力提高化肥利用率,减少能耗和资源浪费,提高主管部门对此问题的重视程度,加大宣传力度,针对为追求高产出,过量施肥的现象,从施肥观上进行扭转。从可持续发展角度来看,应改变以化肥为主的生产与施肥模式,提倡增加施用有机肥和与化肥配合施用,减轻因化肥生产造成的污染物排放,加快污泥堆肥制有机肥相关产品的升级,从融资渠道、运行管理等方面给予政策优惠,增强生产企业的盈利能力,是基于污泥堆肥制有机肥产业保持持续发展的关键所在。

参考文献:

- [1] 中国农业生产资料集团公司. 2008 年第一期短期融资券募集说明书. 2008: 26.
China Agricultural Means of Production Corporation. In 2008 the first phase of the short-term financing bill prospectus. 2008: 26.
- [2] 中国化肥资讯网. 化肥产能统计数据. <http://www.npk.cc/gjtj/listy.php>, 2008.

- China Fertilizer Information Website. Statistical data on fertilizer production capacity. <http://www.npk.cc/gtj/listy.php>, 2008.
- [3] 李志坚. 实施节能减排促进化肥行业结构调整[J]. 中国石油和化工经济分析, 2007, 19: 26-30.
- LI Zhijian. Energy-saving and emission reduction accelerate chemical fertilizer industry structural adjustment[J]. Economic Analysis of China Petroleum and Chemical Industry, 2007, 19: 26-30.
- [4] 冯莽. 我国化肥生产能耗及消费现状分析. <http://www.ampcn.com/news/detail/9249.asp>, 2005.
- FENG Mang. Analysis of fertilizer production and energy consumption in China. <http://www.ampcn.com/news/detail/9249.asp>, 2005.
- [5] 徐明岗, 李冬初, 李菊梅, 等. 化肥有机肥配施对水稻养分吸收和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(10): 3133-3139.
- XU Minggang, LI Dongchu, LI Jumei, et al. Effects of organic manure application combined with chemical fertilizers on nutrients absorption and yield of rice in Hunan of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3133-3139.
- [6] 唐莉娜, 陈顺辉. 不同种类有机肥和与化肥配施对烤烟生长和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 258-262.
- TANG Lina, CHEN Shunhui. Effects of application of different types of organic fertilizer combined with chemical fertilizer on the growth and quality of the flue-cured tobacco leaves[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 258-262.
- [7] 秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 有机无机肥料对蔬菜产量和硝酸盐累积的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2005, 11(5): 670-674.
- QIN Yusheng, TU Shihua, FENG Wenqiang, et al. Effect of organic and inorganic fertilizers on yield and nitrate accumulation of vegetables[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(5): 670-674.
- [8] 薛城. 面对节能减排化肥制造业深陷环保“酷暑”[J]. 中华合作时报, 2007: 2180.
- XUE Cheng. The face of energy-saving emission reduction fertilizer manufacturing deep green "summer"[J]. China Cooperation Times, 2007: 2180.
- [9] 肖军, 秦志伟, 赵景波. 农田土壤化肥污染及对策[J]. 环境保护科学, 2005, 31(131): 32-34.
- XIAO Jun, QIN Zhiwei, ZHAO Jingbo. Status and Countermeasures of farmland soil polluted by chemical fertilizer[J]. Environmental Protection Science, 2005, 31(131): 32-34.

Comparative analysis of organic and chemical fertilizer production energy consumption, input cost and environmental benefit: Sewage sludge composting as example

LIU Hongtao^{1,2}, CHEN Tongbin^{1*}, ZHENG Guodi¹, GAO Ding¹, LEI Mei¹

1. Center for Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101 China;

2. Beijing Green Tech Environmental Engineering Company, Beijing 100080 China

Abstract: Energy consumption, input cost and pollutant emissions of organic and chemical fertilizers were comparatively analyzed. Chemical fertilizer is reflected as high energy consumption and high pollution emissions, while organic fertilizer is manifested as low energy consumption, pollution-free characteristics, meanwhile also reduce pollution loads. From view of input cost, chemical fertilizer's per unit area and the folding of pure organic fertilizer nutrient inputs are 53% and 26% of organic fertilizer. Compared with chemical fertilizer, pollutants emission load of organic fertilizer is lower. Because of energy-saving emission reduction and cost reduction, organic fertilizer industry based on waste reclamation should be supported.

Key words: cost; chemical fertilizer; energy consumption; sewage sludge; organic fertilizer