

有机无机复混肥对冬小麦产量及其水分利用效率的影响^{*}

谷 洁¹, 高 华¹, 李鸣雷¹, 秦清军¹, 程 达²

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2 咸阳市秦都区农技中心, 陕西 咸阳 712000)

[摘 要] 对农业废弃物采用生物发酵腐解, 进行无害化、矿化和腐殖化处理, 经干燥后添加一定比例的化肥以调节养分, 加入成粒剂制成颗粒状有机无机复混肥。对获得的有机无机复混肥进行冬小麦田间试验, 结果表明, 有机无机复混肥可以促进冬小麦分蘖, 改善冬小麦产量结构, 提高冬小麦产量 756.0~901.5 kg/hm²; 还可降低冬小麦耗水系数, 提高冬小麦水分利用效率 1.311~1.675 kg/(mm·hm²)。

[关键词] 有机无机复混肥; 冬小麦; 产量构成; 水分利用效率

[中图分类号] S143.6; S512.1+10.62

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)02-0065-04

随着农业的不断发展, 农业废弃物不断增加。目前, 我国每年产生农作物秸秆 6 亿 t, 畜禽粪便 27 亿 t, 这些农业废弃物的氮、磷、钾含量约达 6 700 万 t^[1], 且其中含有大量的有机质和作物生长所需的其他中微量元素。在我国耕地土壤养分及有机质含量普遍偏低的情况下, 这些农业废弃物无疑是一种宝贵的肥料资源。

含水量高、散发恶臭、含有致病生物是制约畜禽粪便直接利用的主要问题, 而农作物秸秆直接利用的制约因素是体积庞大和运输成本高。使农业废弃物无害化、减容化、增效化, 以最大程度满足环境的可接受性及经济上的可行性, 是肥料资源化利用的发展方向。目前, 微生物发酵腐解技术是农业废弃物无害化处理和肥料资源化利用的主要手段, 通过高温有氧发酵可以降低废弃物中的 C/N 比, 促进有机质的矿化和腐殖质化, 同时高温(50~70℃)可以杀

灭农业废弃物中的病原生物^[2~4]。向腐解产物中加入化肥, 可提高其养分含量, 使获得的有机无机复混肥具有有机肥的长效性、缓效性和化肥的速效性。目前, 对有机无机复混肥肥效的研究大多集中在蔬菜作物上, 主要研究有机无机复混肥对蔬菜的 Vc 含量、硝酸盐含量和蔬菜产量影响^[5~8], 而对粮食作物研究的较少, 特别是有机无机复混肥对旱地作物水分利用的影响研究鲜见报道。为了研究利用发酵后鸡粪、猪粪制作的有机无机复混肥的使用效果, 2000-10~2002-06 在旱地冬小麦上进行了田间试验, 现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试农业废弃物的种类及其养分含量

本试验所用农业废弃物为鸡粪、猪粪、玉米秸秆, 其养分含量见表 1。

表 1 农业废弃物的养分含量(烘干样)

Table 1 The analysis results of nutrients of agricultural waste(dried sample)

种类 Kind of agricultural waste	有机碳/ (g·kg ⁻¹) Organic C	粗有机物/ (g·kg ⁻¹) Coarse organic matter	全氮/ (g·kg ⁻¹) Total nitrogen	C/N	全磷/ (g·kg ⁻¹) Total P ₂ O ₅	全钾/ (g·kg ⁻¹) Total K ₂ O
鸡粪 Faeces of chicken	311.6	496.1	21.7	14.36	21.2	19.2
猪粪 Faeces of pig	426.9	651.3	20.1	21.24	20.5	13.0
玉米秸秆 Straw of maize	467.3	881.0	8.7	53.71	3.5	14.2

1.2 有机无机复混肥制作方法和工艺

鸡粪和猪粪的 C/N 较低, 玉米秸秆的 C/N 较

高(表 1), 通过加入玉米秸秆调节鸡粪、猪粪的 C/N 在最适腐解范围, 即 30~35。进一步调节水

* [收稿日期] 2003-09-22

[基金项目] 陕西省农业科技攻关项目(2001K01-G15-02, 2002K04-G11); 科技部农业科技成果转化资金项目(02EFN21601195)

[作者简介] 谷 洁(1963-), 男, 陕西周至人, 副研究员, 在读博士, 主要从事植物营养与农业废弃物肥料化资源利用研究。

分至 55%~65%, 混合均匀, 接种筛选获得的含有细菌、放线菌、真菌等的腐解菌剂发酵, 高温(55~65)持续 48 h, 以杀灭病原生物。腐解过程持续 7~10 d, 腐解完后干燥(60~70), 过筛(筛径 3 mm), 然后加入化肥和造粒剂, 圆盘造粒, 再干燥(60~70), 过筛(筛径 5 mm), 最后检验。

1.3 田间试验

试验在陕西咸阳市秦都区马泉乡进行, 试验点 0~20 cm 土层土壤有机质含量 0.93~1.08 g/kg, 全氮 0.86~0.94 g/kg, 碱解氮 41.5~47.2 mg/kg, 速效磷 22.1~26.5 mg/kg, 速效钾 126.6~137.1 mg/kg。

1.4 试验处理

田间试验处理为: 处理 1 施用有机(鸡粪)无机复混肥(有机质, N, P_2O_5 , K_2O 分别为 181, 123, 75, 56 g/kg); 处理 2 施用有机(猪粪)无机复混肥(有机质, N, P_2O_5 , K_2O 分别为 194, 116, 69, 61 g/kg); 处理 3 施用无机复混肥(N, P_2O_5 , K_2O 均为 150 g/kg); 处理 4 为对照, 不施肥。施肥量以当地化肥习惯施肥量(N 135 kg/hm²)折算, 有机无机复混肥以养分 N 含量折算。肥料于播种前均匀施入小区, 用铁铤翻入耕层。供试小麦品种为陕 229, 播量 90 kg/hm², 小区面积 30 m², 重复 4 次, 随机排列。试验地为旱地, 冬小麦生长期不灌水。

1.5 测定项目与方法

土壤含水量用土钻取土, 烘箱 105 烘干 24 h, 测定深度 200 cm。降水量以安装的雨量筒观测。农业废弃物及有机无机复混肥的有机碳用重铬酸钾容

量法测定; 粗有机物用干烧法测定; 全氮用硫酸过氧化氢消煮, 消煮液碱化蒸馏法测定; 全磷用钒钼黄比色法测定; 全钾用火焰光度计法测定。土壤有机质采用 $K_2Cr_2O_4$ 容量法测定; 全氮用开氏法测定; 碱解氮用碱解扩散法测定; 速效磷用 Olsen 法测定; 速效钾用火焰光度计法测定。

1.6 作物水分利用效率的计算

根据澳大利亚学者 Philip J R 提出的 SPAC 理论^[9,10], 结合试验地地势平坦的自然条件, 可视地表径流量为零; 地下水埋深 4 m 以下, 可视地下水补给量为零; 不灌溉, 可视灌水为零; 降水入渗深度不超过 200 cm, 可视深层渗漏为零。在上述条件下, 作物耗水量按下式计算:

$$ET\alpha = P - \Delta W \quad (1)$$

式中, $ET\alpha$ 为作物生育期耗水量(mm), 包括地表蒸发量和植株蒸腾量; P 为作物生育期降水量(mm); ΔW 为土壤含水量变化值, 即作物收获时土壤含水量与播种时土壤含水量之差(mm)。

作物的水分利用效率(指作物单位耗水量产出的籽粒产量)按下式计算:

$$WUE = Y/ET\alpha \quad (2)$$

式中, WUE 为水分利用效率(kg/(mm·hm²)), Y 为产量(kg/hm²); $ET\alpha$ 为作物生育期耗水量(mm)。

作物的耗水系数是指作物在单位面积上生产单位籽粒产量所需的耗水量。

2 结果与讨论

2.1 有机无机复混肥对冬小麦分蘖的影响

表 2 有机无机复混肥对冬小麦分蘖数量及有效分蘖的影响

Table 2 Effect of organic-inorganic fertilizers on the quantity and the effectiveness of winter wheat tiller

年份 Year	处理 Treatment	冬前 Before winter		拔节期 Elongation stage		开花期成穗 Ear tiller in flower stage
		I 级分蘖 Grade-1 tiller	II 级分蘖 Grade-2 tiller	I 级分蘖 Grade-1 tiller	II 级分蘖 Grade-2 tiller	
2001	1	5.9	3.8	6.6	4.6	3.1
	2	5.6	3.6	6.5	4.3	3.0
	3	4.7	3.4	5.3	4.4	2.8
	4	3.9	2.8	4.0	2.9	2.2
2002	1	5.6	3.9	6.1	4.1	2.9
	2	5.5	3.6	5.8	4.2	2.7
	3	4.6	3.3	5.2	4.0	2.6
	4	3.4	2.9	3.6	2.5	2.1

从 2001~2002 年的重复试验结果(表 2)可以看出, 施用有机无机复混肥可以提高冬小麦分蘖。处理 1 与处理 3 相比, 冬前 I 级分蘖增加 1.0~1.2 个/株, II 级分蘖增加 0.3~0.4 个/株; 拔节期 I 级分蘖增加 0.9~1.3 个/株, II 级分蘖增加 0.1~0.2 个/株。处理 1 比处理 4 冬前 I 级分蘖增加 2.0~2.2 个/株, II 级分蘖增加 1.0 个/株; 拔节期

I 级分蘖增加 2.5~2.6 个/株, II 级分蘖增加 1.6~1.7 个/株。处理 2 比处理 3 冬前 I 级分蘖增加 0.9 个/株, II 级分蘖增加 0.2~0.3 个/株; 拔节期 I 级分蘖增加 0.6~1.2 个/株, II 级分蘖增加不明显。处理 2 比处理 4 冬前 I 级分蘖增加 1.7~2.1 个/株, II 级分蘖增加 0.7~0.8 个/株; 拔节期 I 级分蘖增加 2.2~2.5 个/株, II 级分蘖增加 1.4~1.7

个/株。有机无机复混肥还能提高开花期成穗蘖数量,与施化肥相比,成穗蘖增加 0.3 个/株,比对照不施肥成穗蘖增加 0.8~0.9 个/株。有机无机复混肥促进分蘖的机理是因为有机物质提高了土壤营养元素的生物有效性,促进了养分转化,增加了根系活力^[11]。

2.2 有机无机复混肥对冬小麦产量结构及产量的影响

施用有机无机复混肥后,冬小麦生育期群体结构发生了明显变化,具体结果见表 3。由表 3 知,施用鸡粪制作的有机无机复混肥与施用猪粪制作的有机无机复混肥对产量构成因子(成穗数、穗粒数、千粒重)及产量影响差异不显著,但与施用化肥相比差

异显著,与对照不施肥相比差异极显著。从 2001~2002 年的结果来看,施用鸡粪制作的有机无机复混肥比施用化肥的小麦产量提高 204.0~283.5 kg/hm²,比对照不施肥产量提高 808.5~901.5 kg/hm²。施用猪粪制作的有机无机复混肥比施用化肥的小麦产量提高 151.5~171.0 kg/hm²,比对照不施肥产量提高 756.0~789.0 kg/hm²。总的来看,施用有机无机复混肥可以改善冬小麦产量结构,提高冬小麦产量。有机无机复混肥能增强土壤酶活性,进而促进土壤中有机养分的转化,有利于作物吸收和利用土壤养分,从而促进作物生长^[6]。

2.3 施用有机无机复混肥对冬小麦水分利用效率的影响

表 3 有机无机复混肥对冬小麦产量构成及产量的影响

Table 3 Effect of organic-inorganic fertilizers on the composition of yield and seed yield of winter wheat					
年份 Years	处理 Treatment	成穗数/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$) Number of ear	穗粒数 Grains per ear	千粒重/g Weight per 1 000 grains	籽粒产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Yield of seed
2001	1	478.5 aA	31.1 aA	39.6 aA	5724.0 aA
	2	468.0 aA	31.3 aA	39.1 aA	5611.5 aA
	3	457.5 abA	30.9 aA	38.8 aA	5440.5 abA
	4	433.5 cB	29.8 bB	37.9 bB	4822.5 cC
2002	1	477.0 aA	31.6 aA	38.5 aA	5448.0 aA
	2	469.5 aA	31.0 aA	37.7 aA	5395.5 aA
	3	457.5 abA	29.6 aA	36.9 aA	5244.0 abA
	4	440.0 cB	28.8 bB	35.3 bB	4639.5 cC

注: 数字后不同的小写字母表示 LSD 检验在 0.05 水平上的差异显著,大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。
Note: Small letters following numbers show significantly different at 0.05 level (LSD). Capital letters following numbers show significantly different at 0.01 level

表 4 有机无机复混肥对冬小麦生育期耗水量、耗水系数、水分利用效率的影响

Table 4 Effect of organic-inorganic fertilizer on water consumption amount, water consumption coefficient and water use efficiency during growth period of winter wheat								
年份 Years	处理 Treatment	生育期降水量/mm Precipitation during growth period	土壤含水量 变化值/mm Variation of soil moisture	作物耗水量/mm Consumption water	籽粒产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Yield	耗水系数 Water consumption coefficient	水分利用效率 Water use efficiency	
							利用效率/ ($\text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$) Efficiency	增幅/% Increase
2001	1	281.6	-179.3	460.9	5724.0	53.7	12.419	15.4
	2	281.6	-183.2	464.8	5611.5	55.2	12.073	12.2
	3	281.6	-196.7	478.3	5440.5	58.6	11.375	5.7
	4	281.6	-166.5	448.1	4822.5	61.9	10.762	-
2002	1	257.3	-192.5	449.8	5448.0	55.0	12.112	13.8
	2	257.3	-184.6	441.9	5395.5	54.6	12.210	14.7
	3	257.3	-202.0	459.3	5244.0	58.6	11.417	7.2
	4	257.3	-178.5	435.8	4639.5	62.6	10.646	-

从表 4 可以看出,在 2001~2002 年的重复试验中,2001 年冬小麦整个生育期的大气降水量大于 2002 年,冬小麦的耗水量和籽粒产量也高于 2002 年,说明大气降水量是影响冬小麦耗水量和产量的一个重要因子。这是因为作物从土壤中摄取养分无论是通过接触、质流还是扩散,都是以介质水为先决

条件的,养分移动的速率和距离受土壤水分状况的影响,作物吸收养分的速度和强度还取决于土壤水分状况,及其随之决定的养分空间有效性和动力学有效性^[9,10]。从表 4 还可以看出,冬小麦施入有机(鸡粪)无机肥与有机(猪粪)复混肥在耗水系数以及水分利用率方面差异不明显,但二者与施入化肥相

比,耗水系数分别降低 3.6~4.9 和 3.4~4.0,水分利用效率分别提高 0.695~1.044 kg/(mm·hm²) 和 0.698~0.793 kg/(mm·hm²)。冬小麦施用两种有机无机复混肥与对照相比,二者的耗水系数分别下降 7.6~8.2 和 6.7~8.0,水分利用效率分别提高 1.466~1.657 kg/(mm·hm²) 和 1.311~1.564 kg/(mm·hm²)。施入有机无机复混肥可提高冬小麦水分利用效率的原因是,有机质能够改善土壤理化性状,使土壤蓄水、保水、供水能力提高,从而减少土壤水分蒸发,增加作物蒸腾。而且,有机质中的大分子物质的吸附作用可以减少养分淋失,提高供肥能力,及时满足作物生长需要^[12]。

3 小 结

(1) 有机无机复混肥可以促进冬小麦分蘖,增加冬小麦成穗数,改善冬小麦产量结构,并提高冬小麦产量,增产幅度 17.4%~18.7%。

(2) 有机无机复混肥可以降低冬小麦耗水系数,使冬小麦水分利用效率提高 13.8%~15.4%,这对干旱少雨的旱地是非常重要的,因此在旱地宜提倡施用有机无机复混肥,以提高旱地水资源的利用效率。

(3) 利用鸡粪制作的有机无机复混肥与利用猪粪制作的有机无机复混肥对冬小麦的分蘖、穗数、穗粒数、千粒重及产量影响差异不显著。

[参考文献]

- [1] 李国学. 有机固体废物堆肥与利用研究进展[A]. 土壤与植物营养研究新动态(第 3 卷)[C]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 319-349.
- [2] Savage J, Chase T J, Masnillan J D. Population changes in enteric bacteria and other microorganisms during aerobic thermophilic windrow composting[J]. Appl Microbiol, 1991, 26: 969-974.
- [3] Elhaggar S M, Hamoda M F, Elbieh M A. Mobile composting unit for organic waste suitable for severe hot weather[J]. Environment and Pollution, 1996, 62: 322-327.
- [4] Tom L R. Municipal solid waste composting: physical processing[J]. Biomass and Bio-energy, 1992, 34: 163-180.
- [5] 张 辉, 李维炯, 倪永珍, 等. 生物有机无机复混肥效应的初步研究[J]. 农业环境保护, 2002, 21(4): 352-356.
- [6] 李春九, 马国瑞, 石伟勇, 等. 新型有机无机复混肥对土壤及蔬菜产量品质的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(4): 392-396.
- [7] 李国学, 孙 英, 丁雪梅, 等. 不同堆肥及其制成低浓度复混肥的环境和蔬菜效应的研究[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 200-203.
- [8] 郑宏清, 张毓敏. 上海汇仁高效有机肥对若干蔬菜的应用效果[J]. 上海农业学报, 2001, 17(3): 65-68.
- [9] 徐祝岭, 于德校, 王砚田. 半干旱偏旱区农田土壤水分状况的主要影响因素分析[J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(4): 19-25.
- [10] 陶毓汾, 王立祥, 韩仁峰, 等. 中国北方旱农地区水分生产潜力及发展[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 62-157.
- [11] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 32-46.
- [12] 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997: 272-276, 369-372.

Effect of organic-inorganic fertilizers on the yield and water use efficiency of winter wheat

GU Jie¹, GAO Hua¹, LIM ing-lei¹, QIN Qing-jun¹, CHENG Kui²

(1 College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Agricultural Sci-Tech Center, Qindou, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

Abstract: After the agricultural waste being decomposed by microorganism, it was harmless to environment. Then dried it and added certain chemistry fertilizers to adjust the nutrients, put in some granule-making agent, and made it into the granule of organic-inorganic fertilizer. The field experiments of applying it to winter wheat were carried out. The results showed that the organic-inorganic fertilizer could improve the tiller and the yield's composition of winter wheat, and increase the yield of winter wheat to 7560~9015 kg/hm². It also could decrease the water consumption coefficient of winter wheat, and raise the water use efficiency of winter wheat to 1.311~1.657 kg/(mm·hm²).

Key words: organic-inorganic fertilizer; winter wheat; composition of yield; water use efficiency