

秸秆灰配施生物菌肥对小麦产量及养分吸收与分配的影响

朱小梅, 刘冲, 邢锦城, 丁海荣, 赵宝泉, 刘兴华, 王茂文, 洪立洲

(江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏盐城 224002)

摘要:以单施氮磷肥为对照,研究了盆栽条件下秸秆灰全部或部分代替化学钾肥及与生物菌肥配施对小麦产量及养分吸收与分配的影响。结果表明,施用化学钾肥与秸秆灰处理均显著提高了盆栽小麦的籽粒产量,其中以全量秸秆灰配施生物菌肥(A_1M)与半量秸秆灰配施生物菌肥(K_2A_2M)处理增产效果尤为显著,与对照(CK_1)相比,增幅分别为66.2%和70.9%; A_1M 处理对提高小麦籽粒中氮、磷、钾含量与氮、磷、钾素积累量效果显著,而 K_2A_2M 处理对提高根须中的氮、磷含量与积累量有明显作用;除 CK_1 外,氮、磷、钾素的养分利用效率分别以全量秸秆灰(A_1)、化学钾肥(K_1)和半量秸秆灰配施生物菌肥(K_2A_2M)处理最高,养分收获指数均以 A_1M 处理最大。

关键词: 秸秆灰; 生物菌肥; 小麦; 产量; 养分吸收与分配

中图分类号: S147.2; S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2013)增刊-0337-05

Effects of Combined Application of Straw Ash and Bacterial Manure on Nutrient Absorption and Distribution as well as Yield of Wheat

ZHU Xiao-mei, LIU Chong, XING Jing-cheng, DING Hai-rong, ZHAO Bao-quan,
LIU Xing-hua, WANG Mao-wen, HONG Li-zhou

(Institute of Agriculture Sciences in the Coastal Area Jiangsu, Yancheng 224002, China)

Abstract: Taking the single application of nitrogen and phosphate as control, pot experiment was conducted in order to investigate the effects of straw ash instead or partly instead of potassium carbonate and combined application with bacterial manure on nutrient absorption and distribution as well as yield on wheat. The results showed that the yield of grain all increased significantly by the application of potassium carbonate or straw ash. Compared to control 1, the optimal yield was observed under the treatment A_1M and K_2A_2M , with the increment by 66.2% and 70.9%. The highest content and accumulation of nitrogen, phosphorous and potassium in grain were obtained under the treatment A_1M , while the highest content and accumulation of nitrogen, phosphorous and potassium in other part of wheat were obtained under treatment K_2A_2M . With the exception of control 1, the highest nutrient use efficiency of nitrogen, phosphorous and potassium were observed under the treatment A_1 , K_1 and K_2A_2M respectively, while the maximum nutrient harvest index were all obtained under the treatment A_1M .

Key words: Straw ash; Bacterial manure; Wheat; Yield; Nutrient absorption and distribution

秸秆发电技术是近年来刚刚兴起的一项生物质能发电产业,它不仅能够解决我国长期存在的能源危机问题,而且可减少秸秆燃烧等对环境的污染^[1-2]。秸秆发电燃烧后会产生15%左右的灰分,这些秸秆灰理化性状与草木灰相近,含有大量的速效钾,且绝大部分以易被作物吸收利用的碳酸钾的

形态存在,同时还含有不易被作物吸收利用的磷钙镁铁等植物必需营养元素,是一种优良的农用肥源^[3-4]。目前,农业生产中普遍存在着钾肥施用不合理、肥料利用率低等问题。如何在作物高产优质的基础上进行钾肥的优化管理、提高肥料利用率,并保护生态环境,是当前亟待解决的问题^[5-7]。因此,

收稿日期: 2013-09-27

基金项目: 江苏省科技支撑计划项目(BE2011362); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(12)1005-04); 盐城市农业科技发展计划项目(YK2010); 江苏沿海地区农科所基金课题项目(YHS201004)

作者简介: 朱小梅(1982-)女,江苏盐城人,助理研究员,硕士,主要从事植物营养与盐土改良利用方面的研究。

通讯作者: 洪立洲(1968-)男,江苏盐城人,研究员,硕士,主要从事土壤肥料与农业工程研究。

研究了秸秆灰及秸秆灰配施生物菌肥替代或部分替代化学钾肥对小麦产量及氮磷钾养分吸收与分配的影响,以期对秸秆灰在生物肥料制备及农业生产上的进一步利用提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试土壤为轻质沙壤, pH 值 7.82, 有机质 0.73%, 有效氮 48.7 mg/kg, 有效磷 24.1 mg/kg, 有效钾 115.0 mg/kg。供试小麦品种为扬麦 13。供试肥料为尿素(N, 46%)、磷酸一铵(N, 10%; P₂O₅, 40%)、碳酸钾(K₂O, 56.5%)、电厂秸秆灰(P₂O₅, 0.34%; K₂O, 2.75%)和生物菌肥(解磷、解钾细菌)。

菌)。

1.2 试验方法

试验在江苏沿海地区农业科学研究所试验站温室大棚内进行。采用塑料盆钵(19.5 cm × 20.5 cm), 每盆装入过 3 mm 筛的风干土 6.0 kg。共设 7 个处理(表 1), 每个处理 4 次重复, 随机排列, 处理 2~5 与处理 1 施入的 K₂O 的量相等, CK₁ 为单施氮磷肥处理, CK₂ 为无肥处理。磷肥、钾肥、秸秆灰和生物菌肥全部作基肥一次施入, 尿素 40% 作基肥, 追肥按 30%:30% 的比例分别在分蘖期和拔节孕穗期施入。2011 年 11 月 16 日播种, 每盆定苗 10 株, 2012 年 5 月 20 日收获计产, 分别测定成熟期小麦植株各部位的氮磷钾养分含量。

表 1 试验方案和施肥量

Tab.1 Scheme of experiment and fertilization rate

mg/kg

编号 Code	处理 Treatment	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	秸秆灰 Straw ash	生物菌剂 Bacterial manure
1	K ₁	150	60	90	—	—
2	A ₁	150	60	—	3 300	—
3	A ₁ M	150	60	—	3 300	400
4	K ₂ A ₂	150	60	45	1 650	—
5	K ₂ A ₂ M	150	60	45	1 650	400
6	CK ₁	150	60	—	—	—
7	CK ₂	—	—	—	—	—

1.3 测定项目和方法

土壤基本性状用常规方法测定。植株样品烘干粉碎后, 用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 半微量凯氏定氮法测定样品全氮含量, 钒钼黄比色法测定磷素含量(以 P₂O₅% 计), 原子吸收分光光度法测定钾素含量(以 K₂O% 计)^[8-9]。产量构成因素等数据采用新复极差法(SSR 检验法)进行统计分析。

氮(磷、钾)素养分利用效率 = 籽粒产量/植株氮(磷、钾)素积累量

氮(磷、钾)素收获指数 = 籽粒氮(磷、钾)素积累量/植株氮(磷、钾)素积累量

2 结果与分析

2.1 秸秆灰配施生物菌肥对小麦产量及产量构成因素的影响

表 2 中, 与 CK₁ 相比, 施用化学钾肥与秸秆灰处理均显著提高了盆栽小麦的籽粒产量, 其中以 A₁M 与 K₂A₂M 处理增产效果尤为显著, 这表明生物菌肥可促进土壤与秸秆灰中部分难溶性养分的分解释放, 平衡作物营养, 从而提高小麦产量。A₁M 处理显著提高了小麦千粒质量和穗粒数, 与 CK₁ 相比, 分

别增加 14.5% 和 35.8%。K₂A₂ 与 K₂A₂M 处理对提高小麦穗数效果显著, 这可能与化学钾肥的施用可促进小麦生长前期植株的分蘖, 而单施秸秆灰和秸秆灰配施生物菌肥可促进生长后期营养器官贮存的光合产物向生殖器官的再分配, 从而提高小麦穗粒数与千粒质量有关^[10-11]。

2.2 秸秆灰配施生物菌肥对小麦养分吸收与分配的影响

2.2.1 秸秆灰配施生物菌肥对小麦氮素养分吸收与分配的影响 表 3 中, 与 CK₁ 相比, 施用钾肥处理明显促进了小麦籽粒对氮素的吸收, 其中以 A₁M 处理效果最显著, 籽粒氮含量比对照增加 6.55%。植株各部位氮含量总体以籽粒 > 颖壳 + 穗轴 > 茎叶 > 根须, K₁、K₂A₂ 与 K₂A₂M 处理颖壳 + 穗轴与茎叶中的氮含量明显高于 A₁ 与 A₁M 处理。从籽粒中氮素积累量来看, A₁ 与 A₁M 处理又分别高于 K₂A₂ 与 K₂A₂M 处理, 且各处理间差异显著。这表明, 与不施钾肥处理相比, 无论是施用化学钾肥或秸秆灰均有利于籽粒中氮含量的增加和积累, 但相比较化学钾肥而言, 秸秆灰的施用更利于含氮化合物向籽粒的运转与分配。

表 2 秸秆灰配施生物菌肥对小麦产量及产量构成因素的影响

Tab.2 Effects of straw ash and bacterial manure application on yield and its components of wheat

处理 Treatment	籽粒产量/(g/盆) Grain yield	千粒质量/g 1000-grain weight	穗粒数/(粒/穗) Grains per spike	穗数/(穗/盆) Spike number
K ₁	30.4ab	37.5ab	32.0ab	25.3ab
A ₁	30.7ab	39.9a	31.8ab	24.2bc
A ₁ M	34.2a	41.0a	34.5a	24.2bc
K ₂ A ₂	29.3b	38.1ab	29.1bc	26.4ab
K ₂ A ₂ M	35.2a	39.6a	33.0ab	26.9a
CK ₁	20.6c	35.8bc	25.4cd	22.7c
CK ₂	14.0d	32.5c	23.4d	18.4d

注：同一列数据后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。表 3~6 同。
Note: Pifferent alphabet follow the date indicate significant ($P < 0.05$). The same as Tab.3-6.

表 3 秸秆灰配施生物菌肥对小麦不同器官氮含量的影响

Tab.3 Effects of straw ash and bacterial manure application on nitrogen content in different wheat organs

处理 Treatment	氮含量/% Nitrogen content				氮积累量/(mg/株) Accumulative nitrogen amount			
	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root
K ₁	2.36ab	0.63ab	0.65a	0.50ab	28.3bc	1.70bc	6.79a	1.80c
A ₁	2.37ab	0.57b	0.51bc	0.53a	30.1b	1.57c	5.38d	1.91bc
A ₁ M	2.44a	0.59ab	0.56abc	0.57a	34.6a	1.69bc	6.17b	2.15a
K ₂ A ₂	2.35ab	0.65ab	0.59ab	0.52ab	26.0c	1.72b	5.98c	1.88bc
K ₂ A ₂ M	2.38ab	0.70a	0.62ab	0.54a	31.2b	1.96a	6.70a	2.00b
CK ₁	2.29b	0.55b	0.44cd	0.42bc	20.8d	1.41d	4.27e	1.44d
CK ₂	2.14c	0.44c	0.37d	0.36c	16.3e	1.10e	3.35f	1.23e

2.2.2 秸秆灰配施生物菌肥对小麦磷素养分吸收与分配的影响 表 4 中,与 CK₁相比,A₁与 A₁M 处理显著提高了小麦籽粒与颖壳 + 穗轴中的磷含量,K₂A₂与 K₂A₂M 处理显著提高茎叶与根须中的磷含量。植株各部位磷含量以籽粒 > 颖壳 + 穗轴 > 茎叶 > 根须,磷积累量以籽粒 > 茎叶 > 颖壳 + 穗轴 > 根须。总体来看,小麦籽粒与颖壳 + 穗轴中磷积累量分别

以 A₁M 与 A₁ 处理最高,而茎叶与根须中则分别以 K₂A₂M 与 K₂A₂ 处理较高。这可能是因为土壤微生物及生物菌肥的协同作用下,全量秸秆灰中难溶性磷被分解释放出来的比例高于施用一半秸秆灰的处理,且在后期供钾充足的情况下向植株生殖器官转运的比例增加的缘故^[10-11]。

表 4 秸秆灰配施生物菌肥对小麦不同器官磷含量的影响

Tab.4 Effects of straw ash and bacterial manure application on phosphorous content in different wheat organs

处理 Treatment	磷含量/% phosphorous content				磷积累量/(mg/株) Accumulative phosphorous amount			
	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root
K ₁	0.524c	0.363b	0.273cd	0.235b	6.29d	0.98a	2.87c	0.81b
A ₁	0.633a	0.417a	0.274bc	0.230b	8.03b	1.14a	3.00abc	0.81b
A ₁ M	0.642a	0.345c	0.285ab	0.214bc	9.11a	0.98a	3.20ab	0.82b
K ₂ A ₂	0.606b	0.246f	0.292a	0.268a	6.72c	0.65b	2.98bc	0.99a
K ₂ A ₂ M	0.615b	0.255f	0.281ab	0.262a	8.05b	0.72b	3.22a	0.98a
CK ₁	0.371e	0.291e	0.264d	0.206cd	3.38f	0.75b	2.59d	0.72bc
CK ₂	0.497d	0.308d	0.243e	0.187d	3.78e	0.78b	2.31e	0.68c

2.2.3 秸秆灰配施生物菌肥对小麦钾素养分吸收与分配的影响 表 5 中,小麦成熟期植株各部位钾

含量与积累量均以茎叶中最高。与 CK₁相比,施用钾肥处理使小麦籽粒中的钾含量提高 10.0%~

52.2% ,其中以 A_1M 处理效果最为显著。小麦籽粒与茎叶中钾积累量也都以 A_1M 处理最高,颖壳 + 穗壳与根须中则以分别以 A_1 与 K_1 处理最高。可见,

单一秸秆灰的施用更有利于钾素向地上部营养器官及生殖器官的转运。

表 5 秸秆灰配施生物菌肥对小麦不同器官钾含量的影响

Tab.5 Effects of straw ash and bacterial manure application on potassium content in different wheat organs

处理 Treatment	钾含量/% Potassium content				钾积累量/(mg/株) Accumulative potassium amount			
	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root	籽粒 Grain	颖壳 + 穗轴 Glume and spike axis	茎叶 Stem and leaf	根须 Root
K_1	0.471bc	2.11c	4.26b	2.86a	5.65c	5.67c	44.3b	10.2a
A_1	0.458cd	2.53a	4.21b	2.36c	5.81c	6.92a	44.6b	8.58c
A_1M	0.621a	2.31b	4.45a	2.11e	8.82a	6.57b	49.0a	7.91d
K_2A_2	0.449d	1.80f	3.61d	2.37c	4.98d	4.72e	36.5d	8.66c
K_2A_2M	0.483b	1.98e	3.62d	2.63b	6.33b	5.57c	39.1d	9.74b
CK_1	0.408e	2.05d	4.03c	2.17d	3.72e	5.27d	39.4d	7.52e
CK_2	0.405e	1.06g	2.03e	1.01f	3.08f	2.67f	18.4e	3.44f

2.2.4 秸秆灰配施生物菌肥对氮磷钾养分利用效率与收获指数的影响 由表 6 可见,植株氮素、磷素、钾素养分积累量均以 A_1M 处理显著高于其他处理。氮素的养分利用效率与收获指数以 A_1 与 A_1M 处理高于 K_2A_2 、 K_2A_2M 与 K_1 处理;除对照外,磷素

的养分利用效率与收获指数分别以 K_1 和 A_1M 处理最高。 K_2A_2 与 K_2A_2M 处理明显提高了钾素的养分利用效率,分别比 CK_1 增加了 16.5 和 21.2 个百分点,而施用钾肥处理的收获指数比对照增加 1.94 ~ 5.56 个百分点。

表 6 秸秆灰配施生物菌肥对氮、磷、钾养分利用效率与收获指数的影响

Tab.6 Effects of straw ash and bacterial manure application on nutrient use efficiency and harvest index

处理 Treatment	植株养分积累量/(mg/盆) Accumulative nutrient amount			养分利用效率/(mg/mg) Nutrient use efficiency			养分收获指数/% Nutrient harvest index		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
K_1	38.6c	11.0c	65.9b	31.1	11.0	46.1	73.3	57.5	8.58
A_1	38.9c	13.0b	65.9b	32.6	9.80	46.6	77.2	61.8	8.82
A_1M	44.6a	14.1a	72.3a	31.8	10.1	47.5	77.6	64.6	12.2
K_2A_2	35.6d	11.3c	54.8d	31.2	9.80	53.4	73.1	59.3	9.09
K_2A_2M	41.9b	13.0b	60.7c	31.3	10.1	58.1	74.6	62.1	10.4
CK_1	27.9e	7.40d	55.9d	32.6	12.2	36.9	74.5	45.4	6.64
CK_2	21.9f	7.50d	27.6e	34.6	10.1	50.6	74.1	50.1	11.1

3 结论与讨论

钾是作物生长必需的营养元素,对作物的生长发育、产量和品质形成都具有非常重要的影响。王前进等^[12-13]对秸秆灰替代或部分替代钾肥在烟草、水稻、碱蓬等作物上的研究表明,施用秸秆发电和气化残余物部分替代钾肥可增加作物幼苗或收获物生物量,增强其光合速率与根系活力,提高作物品质,降低生产成本,培肥地力^[12-13]。但也有研究表明,秸秆灰基质中残余可溶性盐分水平高于 1.76 ms/cm 时,对番茄、辣椒、黄瓜等基质幼苗的生长影响较大^[14]。

前人在不同钾肥品种、用量及施肥时期等对小麦产量、品质和养分吸收利用方面的研究较多,但对

秸秆灰在小麦上的施用研究很少^[5-6]。本试验中,小麦籽粒产量以秸秆灰部分替代钾肥即 K_2A_2M 处理最高,这与前人在水稻、烟草等作物上的研究结论相一致^[12-13,15]。而小麦籽粒中的氮、磷、钾含量与积累量及养分收获指数总体均以秸秆灰全部替代钾肥即 A_1M 处理最高,这是否与生物菌肥的施用密切相关还有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 5(18): 87-91.
- [2] 孙云娟,蒋剑春,赵淑衡,等. 秸秆灰利用的研究进展[J]. 生物质化学工程, 2011, 45(6): 35-42.
- [3] 朱红,常志州,黄红英,等. 高温焚烧对秸秆灰渣磷、钾养分变化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007,

- 13(6): 1197–1201.
- [4] 刘鸣达, 肖质净, 王厚鑫, 等. 高温焚烧对秸秆灰渣养分含量的影响[J]. 可再生能源 2009 27(3): 46–52.
- [5] 王桂良, 黄玉芳, 叶优良. 不同钾肥品种和用量对小麦产量品质和养分吸收利用的影响[J]. 干旱地区农业研究 2009 27(5): 35–40.
- [6] 于振文, 梁晓芳, 李延奇, 等. 施钾量和施钾时期对小麦氮素和钾素吸收利用的影响[J]. 应用生态学报, 2007 18(1): 69–74.
- [7] 谢建昌, 周健民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤, 1999 31(5): 244–254.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [9] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 23–24.
- [10] 江丽华, 刘兆辉, 张文君, 等. 化学肥料-有机物-微生物肥料菌剂相互作用的研究[J]. 山东农业大学学报 2004 35(1): 55–58.
- [11] 陈 谦, 张新雄, 赵 海, 等. 生物有机肥中几种功能微生物的研究及应用概况[J]. 应用与环境生物学报 2010 16(2): 294–300.
- [12] 王前进, 李辉信, 李克才, 等. 秸秆发电和气化残余物作为肥料在水稻生产上的应用研究[J]. 土壤通报, 2013 44(1): 155–160.
- [13] 王前进, 焦加国, 李依婷, 等. 秸秆气化残余物在烟草漂浮育苗系统中的应用研究[J]. 中国烟草学报, 2009 15(6): 44–48.
- [14] 朱小梅, 洪立洲, 刘兴华, 等. 秸秆灰、生物菌肥与化肥配施对土壤养分和设施碱蓬产量及品质的影响[J]. 水土保持学报 2012 26(6): 102–105.
- [15] 邵文奇, 钟 评, 纪 力, 等. 草木灰中残余可溶盐分对蔬菜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学 2011 39(3): 193–194.