

施用钢渣对红壤旱地土壤理化性质和大豆产量的影响

吴建富^{1,2}, 杨小华³, 高绘文^{1,2}, 范呈根^{1,2}

(1.江西农业大学国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 2.江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西 南昌 330045; 3.江西省进贤县温圳镇农技站, 江西 进贤 331721)

摘要: 2015—2017年, 通过田间定位试验, 在等量氮、磷、钾施用水平下, 研究不同用量(0、900、1 200、1 500 kg/hm²)钢渣对大豆产量及其构成, 土壤的容重、总孔隙度、pH、CEC、碱解氮、有效磷、速效钾、有效硅和重金属含量的影响。结果表明: 与常规施肥相比, 增施钢渣有利于提高大豆产量, 3年产量平均增长7.89%, 且钢渣用量1 200 kg/hm²的处理的增产效果最好; 显著提高红壤旱地土壤总孔隙度、pH、CEC和碱解氮、有效磷、速效钾、有效硅含量。土壤和大豆籽粒中重金属Hg、Pb、Cr、Cd、As含量均未超出土壤环境质量标准(GB 15618—1995)和国家食品卫生标准(GB 2762—2012)。

关键词: 大豆; 钢渣; 红壤旱地; 产量; 土壤理化性质; 重金属

中图分类号: S565.106; S155.2⁺5 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2018)06-0625-04

Effects of steel slag application on soil physical-chemical properties and yield of soybean in red soil upland

WU Jianfu^{1,2}, YANG Xiaohua³, GAO Huiwen^{1,2}, FAN Chenggen^{1,2}

(1.College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 2.Ecology Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resource and Ecology in Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 3.Agro-technical Station of Wenzhen Township Government in Jinxian, Jinxian Jiangxi 331721, China)

Abstract: In 2015–2017, with an aim to understand effects of steel slag application to field on soybean yield and soil properties, we used four groups steel slag, 0(CK), 900, 1 200, 1 500 kg/hm², to fields, which were applied the same amount of nitrogen, phosphorus and potassium. The measured indexes included soybean yield and its components, soil bulk density, total porosity, pH, CEC and the contents of alkali-hydrolysis nitrogen, available phosphorus, available potassium, available silicon and heavy metals in the red soil upland. The results showed that application of steel slag was in favor of soybean yield, with increment by 7.89% at average and the treatment of 1 200 kg/hm² steel slag obtaining the highest yield. Meanwhile, soil total porosity, pH, CEC, and the contents of alkali-hydrolysis nitrogen, available phosphorus, available potassium and available silicon in upland red soil were significantly increased. The contents of heavy metals Hg, Pb, Cr, Cd and As in soil and soybean were still in the range of the soil environmental quality standards (GB 15618–1995) and national food hygiene standards (GB 2762–2012).

Keywords: soybean; steel slag; red soil upland; yield; soil physical-chemical properties; heavy metals

据中国钢铁工业协会统计, 2017年中国粗钢产量为7 182.68万t。钢渣是炼钢时产生的一种工业废渣, 其数量一般为粗钢产量的12%~20%^[1-2]。钢渣中因含有多种重金属, 在国内资源化利用率仅为

30%左右, 远低于发达国家^[3], 大部分作为废弃物堆存, 造成极大的资源浪费和严重的环境污染。为此, 钢渣资源化利用备受社会各界关注, 政府一直在极力提倡钢渣资源化利用。钢渣含有硅、磷、铁、钙、

镁等多种对农作物生长有益的营养元素,这为在农业生产上的利用提供了条件。20 世纪 50 年代,日本将钢渣作为硅肥使用^[4];德国将钢渣作为磷肥用于农业生产^[5]。20 世纪 80 年代后,中国开始将钢渣应用于水稻^[6-7]、玉米^[8-9]、大豆^[10]等农作物生产,作为土壤改良剂等^[11],取得了一定的成果。研究^[1,6-11]表明,适量施用钢渣能改善土壤理化性质,提高土壤保肥供肥能力,增加农作物产量,修复重金属污染的土壤及抑制农作物对重金属的吸收。已有的报道大多以盆栽试验为主,且研究时间较短,对开展钢渣定位试验研究较少^[12]。鉴于此,于 2015—2017 年,笔者以第四纪红色黏土发育而成的红壤旱地为研究对象,采用大田定位试验,研究不同用量钢渣对大豆产量、土壤理化性质及红壤和大豆籽粒中重金属含量的影响,旨在为南方红壤旱地钢渣资源合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试大豆品种为赣豆 5 号。供试钢渣粒径小于 2 mm, pH 为 11.8, 主要含 Ca(33%)、Fe(13%)、Mg(5.0%)、Al(2.0%)、Mn(2.0%)、Ti(1.0%)、V(0.4%)、Sr(0.3%)、Cr(0.2%)、有效磷(P_2O_5 3.44%)、有效硅(SiO_2 16.7%)、有效钾(K_2O 1.14%)、Hg(0.03 mg/kg)、Cd(0.12 mg/kg)、Pb(43.4 mg/kg)、As(18.1 mg/kg), 由江西省新余市中冶环保资源开发有限公司提供。供试肥料为湖北金正大肥业有限公司生产的 48% 大豆专用复合肥料(N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 18%、15%、15%), 肥料中重金属 Pb、Cr、Cd、Hg、As 均未检出。供试土壤为第四纪红色黏土发育而成的红壤旱地, 历年种植油菜和大豆。试验前土壤有机质和全氮含量分别为 12.23、0.62 g/kg, 碱解氮、有效磷、速效钾含量分别为 81.23、13.67、5.69 mg/kg, 重金属铅、铬、镉、汞、砷含量分别为 14.92、18.74、0.17、0.056、9.21 mg/kg, pH 为 5.12。

1.2 试验设计

田间定位试验于 2015—2017 年在江西省进贤县架桥乡进行。设 4 个处理:F, 常规施肥(对照); G_1F , 钢渣 900 kg/hm²+常规施肥; G_2F , 钢渣 1 200 kg/hm²+常规施肥; G_3F , 钢渣 1 500 kg/hm²+常规施肥。小区面积 30 m²。重复 3 次。随机区组排列, 小区周围设保护行。每年 6 月 10—13 日采用人工

开沟点播, 每穴 1 粒种子, 每公顷 12.0 万粒。钢渣于每年播种前 7 d 结合翻耕整地时一次性施用。各处理均施专用复合肥料 600 kg/hm², 肥料于播种时一次性作基肥施入沟内。其他管理均按常规高产栽培要求进行。

1.3 测定指标与方法

大豆收获前 1 d, 各小区定点连续取样 30 株进行考种; 各小区收割 20 m² 大豆, 脱粒后晒干、称重、测产。2017 年大豆收获前, 采用环刀法^[13]测定耕作层 0~20 cm 土壤容重, 计算土壤总孔隙度; 大豆收获后, 各小区按“S”形线路采取耕作层 0~20 cm 土壤样品, 用常规分析法^[14]测定土壤有效养分、CEC 和 pH; 土壤、大豆中重金属(Hg、Cd、Pb、As、Cr)含量由江西省农业科学院绿色食品检测中心测定。

1.4 数据处理

运用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 进行试验数据处理和统计分析; 利用 Duncan 新复极差法(LSR)进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施用钢渣对大豆产量及经济性状的影响

3 年定位试验结果(表 1)表明, 在等量氮、磷、钾养分施水平下, 随着钢渣用量的增加, 大豆产量均呈先增后减的趋势, G_2F 的产量均显著高于其他处理。2015 年, G_1F 、 G_3F 和 F 之间的差异无统计学意义; 2016 年, G_1F 与 G_3F 间的差异无统计学意义, 却显著高于 F, 而 G_3F 和 F 间的差异无统计学意义; 2017 年, G_1F 显著高于 G_3F 和 F, G_3F 和 F 间的差异无统计学意义。 G_2F 的 3 年大豆平均产量显著高于其他处理, 提高了 7.38%~14.91%; G_1F 显著高于 G_3F 和 F, 分别提高了 5.17%和 7.02%; G_3F 和 F 的差异无统计学意义。可见, 在相同施肥水平下, 适量增施钢渣有利于提高大豆产量。

表1 不同用量钢渣处理的大豆产量

Table 1 The yearly yield of soybean after different treatments of steel slag

处理	产量/(t·hm ⁻²)			
	2015 年	2016 年	2017 年	平均值
F	2.29b	2.25c	2.31c	2.28c
G_1F	2.40b	2.42b	2.51b	2.44b
G_2F	2.59a	2.62a	2.64a	2.62a
G_3F	2.36b	2.34bc	2.28c	2.32c

同列不同字母示处理间差异达 5% 显著水平。

由表 2 可知,不同年份处理间,单株荚数和单株粒数的变化趋势一致,随着钢渣用量的增加,均呈先增后减的趋势。G₂F 的单株荚数和粒数均显著高于其他处理,分别提高了 5.44% ~ 10.42% 和 2.76% ~

8.13%, G₁F 的单株荚数和粒数显著高于 F 和 G₃F,而 F 和 G₃F 间的差异无统计学意义。各处理间大豆百粒质量的差异无统计学意义,表明增施钢渣对产量的影响主要是通过影响单株荚数和粒数来实现的。

表2 不同用量钢渣处理的大豆经济性状

Table 2 The yearly yield components of soybean after different treatments of steel slag												
处理	单株荚数				单株粒数				百粒质量/g			
	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	2015 年	2016 年	2017 年	平均值
F	45.8c	45.9c	45.1c	45.6c	84.8c	82.8c	83.2c	83.6c	24.9	25.2	25.2	25.1
G ₁ F	47.8b	46.9b	47.2b	47.3b	85.6b	86.9b	86.2b	86.2b	25.3	26.1	25.2	25.5
G ₂ F	50.4a	49.5a	49.8a	49.9a	90.4a	89.3a	88.6a	89.4a	25.6	25.8	25.6	25.7
G ₃ F	46.6c	45.8c	46.1c	46.2c	83.6c	84.9c	84.1c	84.2c	25.6	24.9	25.4	25.3

同列不同字母示处理间差异达 5%显著水平。

2.2 施用钢渣对红壤旱地土壤理化性质的影响

3 年定位试验土壤测定结果(表 3)表明,不同处理对土壤容重、总孔隙度和 pH 的影响存在差异。在等量氮、磷、钾养分供应水平下,随着钢渣用量的增加,土壤容重呈下降的趋势,G₃F 的土壤容重显著低于其他处理,下降了 7.63% ~ 13.49%; G₁F 与 G₂F、F 间的差异均无统计学意义,而 G₂F 与 F 间的差异有统计学意义。施用钢渣处理的土壤总孔隙度均显著高于对照 F 的,提高了 3.23% ~ 10.71%; G₃F 与 G₂F 间的差异无统计学意义,显著高于 G₁F; G₁F 和 G₂F 间的差异无统计学意义。土壤的 pH 值随钢渣用量增加呈升高的趋势,施用钢渣处理均显著高于对照 F,提高了 2.13% ~ 7.95%; G₃F 显著高

于 G₁F、G₂F; G₁F、G₂F 间的差异无统计学意义。说明施用钢渣有利于酸性红壤旱地土壤物理性质的改善。

由表 3 可知,随着钢渣施用量的增加,红壤旱地土壤有效养分含量和 CEC 均呈增加的趋势,且施用钢渣处理均显著高于对照,碱解氮增幅为 6.24% ~ 10.63%,有效磷增幅为 15.09% ~ 24.38%,速效钾增幅为 5.95% ~ 12.64%,有效硅增幅为 10.95% ~ 24.67%,CEC 增幅为 21.55% ~ 48.37%。说明增施钢渣有利于提高红壤旱地土壤有效养分含量和土壤的保肥供肥能力。其原因可能与钢渣中含有一定的硅、钙、镁、钾等矿质养分有关。

表3 不同用量钢渣处理的红壤旱地土壤的理化性质

Table 3 The physical-chemical properties of red soil after different treatments of steel slag								
处理	容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	pH 值	碱解氮含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹)	有效硅含量/ (mg·kg ⁻¹)	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)
F	1.26a	52.38c	5.16c	81.56c	13.78c	87.61c	24.12d	8.91c
G ₁ F	1.21ab	54.07b	5.27b	86.65b	15.86b	92.82b	26.76c	10.83b
G ₂ F	1.18b	55.54ab	5.34b	88.91ab	16.35ab	96.63a	28.57b	12.46ab
G ₃ F	1.09c	57.99a	5.57a	90.23a	17.14a	98.68a	30.07a	13.22a

同列不同字母示处理间差异达 5%显著水平。

2.3 施用钢渣对红壤和大豆籽粒中重金属含量的影响

3 年试验后的土壤和大豆籽粒中重金属含量测定结果(表 4)表明,与对照处理相比,施用钢渣显著提高了土壤 Pb、Cr 含量,Hg 含量也逐渐增加,这与钢渣输入有关,而 Cd、As 含量则显著下降,究其原因可能与大豆吸收带走有关。各处理土壤重金

属含量均未超出土壤污染的评价标准,符合土壤环境质量标准(GB 15618—1995)。随着钢渣用量的增加,施用钢渣处理间大豆籽粒中 Cr 含量的差异无统计学意义,却均显著高于对照;处理间 As 含量的差异无统计学意义;Pb 含量随钢渣用量增加而增加,G₃F 与 G₂F 间的差异无统计学意义,却均显著高于 G₁F、F,而 G₁F 和 F 间的差异无统计学意义;Cd 含量 G₃F 显著高于其他处理,这可能与施用钢

渣增加了土壤 pH(表 3), 导致土壤中镉活性提高有关; Hg 含量均未检出。各处理大豆籽粒中重金属 Hg、Cd、Pb、As 和 Cr 含量虽有一定的差异, 但均

未超标, 符合国家食品卫生标准(GB 2762—2012)。说明连续 3 年施用钢渣不会导致红壤旱地土壤和大豆籽粒出现重金属污染。

表4 不同用量钢渣处理的土壤和大豆的重金属含量

Table 4 The heavy metals contents of soil and soybean after different treatments of steel slag										
处理	土壤重金属含量					大豆重金属含量				
	Hg	Cd	Pb	As	Cr	Hg	Cd	Pb	As	Cr
F	0.057b	0.165a	14.9c	9.21a	18.7d	—	0.054b	0.040b	0.009a	0.46b
G ₁ F	0.061b	0.144b	16.2b	8.66b	21.7c	—	0.054b	0.042b	0.009a	0.98a
G ₂ F	0.074a	0.124c	18.2a	7.42c	26.8b	—	0.052b	0.048a	0.011a	0.97a
G ₃ F	0.081a	0.119c	19.7a	7.08d	32.4a	—	0.065a	0.052a	0.012a	0.98a

同列不同字母示处理间差异达 5%显著水平。

3 结论与讨论

本研究 3 年田间定位试验表明, 在等量氮、磷、钾养分供应水平下, 增施钢渣能够提高红壤旱地大豆单株荚数和粒数, 产量平均增加 7.89%, 以施用钢渣 1 200 kg/hm² 时产量最高。施用 900~1 200 kg/hm² 的钢渣能降低红壤旱地土壤容重, 显著提高耕作层土壤总孔隙度、pH、CEC 和碱解氮、有效磷、速效钾、有效硅含量。究其原因, 一方面钢渣为碱性物质, 施入土壤后中和了土壤中的 H⁺, 引起土壤 pH 变化, 改善了土壤环境; 另一方面钢渣中含有一定量的钙、硅、镁、磷等矿质养分, 施用后补充了土壤中的营养元素, 促进了土壤养分平衡供应, 从而促进农作物正常生长发育, 达到提高其产量的目的。

有研究^[12]表明, 施用钢渣的水稻土中的重金属 Hg、Cd、Cr 含量均呈增加的趋势, Pb、As、Mn 呈下降的趋势, 但对稻米中重金属 Hg、Cd、Pb、As、Cr 的含量影响较小, 与对照相比, 差异无统计学意义。还有研究^[8]表明, 与对照相比, 施用钢渣能明显提高石灰性褐土表层土壤 Cr、Ni 含量, 而土壤有效态 Cr、Ni 含量变化不大, 玉米中 Zn、Ni 含量均高于对照, 但均未超过国家农产品评价标准。本研究结果表明, 施用钢渣显著提高了土壤 Pb 和 Cr 含量, 而 Cd、As 含量则显著下降, 其增减程度与钢渣用量有关, 这与已有的研究结果存在差异, 可能与研究的对象(土壤、作物)、钢渣用量、施用年限和施肥结构等有关。长期施用是否会引起土壤和农产品重金属污染还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 邓腾灏博, 谷海红, 仇荣亮. 钢渣施用对多金属复合污染土壤的改良效果及水稻吸收重金属的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(3): 455-460.
- [2] 舒型武. 钢渣特性及其综合利用技术[J]. 有色冶金设计与研究, 2007, 28(5): 31-34.
- [3] 贾要强, 孙志敏, 王星磊, 等. 钢渣资源化利用现状分析[J]. 河北企业, 2017(5): 61-62.
- [4] 刘鸣达, 张玉龙. 水稻土硅素肥力的研究现状与展望[J]. 土壤通报, 2001, 32(4): 187-192.
- [5] 任奇, 王颖杰, 李双林. 钢渣处理与综合利用技术[J]. 钢铁研究, 2012, 40(1): 54-57.
- [6] 李军, 张玉龙, 刘鸣达, 等. 钢渣对辽宁省水稻的增产作用[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(1): 45-48.
- [7] 刘鸣达, 张玉龙, 李军, 等. 施用钢渣对水稻土硅素肥力的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(3): 220-223.
- [8] 滑小赞, 程滨, 赵瑞芬, 等. 农田施用钢渣对玉米生产的影响[J]. 山西农业科学, 2015, 43(1): 43-46.
- [9] 张中星, 程滨, 李荣田. 钢渣肥对玉米增产效果的研究[J]. 土壤通报, 1997, 28(2): 82-84.
- [10] 减惠林. 钢渣在我国南方土壤施用效果的初步研究[J]. 土壤, 1987, 19(6): 299-303.
- [11] CHEN H M, ZHENG C R, TU C, et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals[J]. Chemosphere, 2000, 41(1/2): 229-234.
- [12] 范呈根, 胡丹丹, 吴建富, 等. 施用钢渣粉对水稻生长与产量及重金属含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(2): 125-128.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

责任编辑: 邹慧玲

英文编辑: 柳 正