

DOI: 10.11766/trxb201211280491

磷石膏专用复混肥缓解红壤花生连作障碍效果*

吴洪生^{1†} 杨筱楠¹ 周晓冬¹ 孙波² 秦江涛²
刘晓利² 满军³ 吴红兵³ 陈小青¹

(1 南京信息工程大学农业资源与环境系, 南京 210044)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

(3 中国石油化工集团南京化学工业有限公司磷肥厂, 南京 210048)

摘要 红壤长期连作花生导致严重连作障碍, 影响花生生产。本试验研究了磷化工废弃物磷石膏在缓解花生连作障碍上的效果, 将磷石膏与化学氮肥、化学磷肥、化学钾肥按不同比例制成磷石膏专用复混肥, 在中国科学院鹰潭农业生态实验站花生连作田块进行试验, 研究该专用复混肥对红壤养分、花生生理性状及产量的影响。结果表明, 施用磷石膏专用复混肥较使用常规复合肥增产 3.5% ~ 45.1%, 土壤中的全氮、速效氮和速效钾含量升高, 植株全氮、全磷、全钾含量均有提高, 施用磷石膏专用复混肥可以有效缓解红壤地区花生连作障碍。

关键词 红壤; 磷石膏; 花生; 连作障碍

中图分类号 S156.4 **文献标识码** A

我国红壤地区总面积达 218 万 km², 红壤耕地面积约占全国耕地总面积的 28%^[1]。红壤是通过脱硅富铝与生物富集共同作用, 形成酸性、盐基高度不饱和的铁铝土, 通常肥力较低, 种植作物很难高产稳产^[2-3]。但花生在红壤旱地适应性强, 可在红壤旱地大面积种植^[4]。由于种植花生的效益高, 农民为追求经济效益而长期连作, 最多已连作了 10 ~ 20 年^[5]。实验证明花生长期连作, 会导致抗病虫能力下降、土壤中养分缺失、微生物群落失衡、土壤酶活性降低和根系分泌物毒害花生植物^[6-7]。

磷石膏是湿法生产磷酸时排放的固体废弃物。其主要成分是硫酸钙 (CaSO₄ · 2H₂O), 约占 75%, P₂O₅ 约占 1.5%, 还有一定的 Fe³⁺、Al³⁺、Mg²⁺ 等重金属离子和未分解的磷矿粉等^[8]。磷石膏中含有 S、Ca、Mg、K、Mn、Si 等多种植物生长所必需的营养元素, 这些元素能促进作物生长, 促进叶绿素和豆科作物根瘤的形成, 增加植物对 N、P、Si 的吸收, 是植物酶的活化剂, 能改善作物品质, 提高作物抗旱和抗病能力^[9]。磷石膏主要用于改良碱性土壤,

也可用作酸性心土层的改良剂^[10]。施用磷石膏后能使植物茎叶中 Ca、S 的含量升高, Mg 的含量降低, 更有利于根系生长, 且土壤中的 Ca、S、P 含量增加, 能提高交换性盐基总量^[11]。施用磷石膏还有利于提高土壤盐基饱和度, 改善土壤的物理性状, 使容重下降, 总孔隙度和非毛管孔隙度增加, 团聚体的破坏率降低, 土壤的通透性和结构性增强^[12]。

因此, 本研究采用化工废渣磷石膏与化学氮磷钾肥不同比例混合, 制成含磷石膏复混肥, 研究其对红壤花生连作障碍的缓解作用。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验田块位于中国科学院鹰潭农业生态实验站, 地处江西省鹰潭市余江县刘家站三分场, 属亚热带地区, 气候温热多雨。年平均温度 17.6℃, 积温为 5 528℃, 无霜期为 262 d, 年降水量 1 795 mm, 年蒸发量 1 318 mm。该地区降水季节分布不均匀,

* 国家科技项目支撑计划(2009BAD6B003-3)、江苏省六大人才高峰资助计划(2009241)资助

† 通讯作者

作者简介: 吴洪生(1964—), 男, 江苏泰州人, 博士, 副研究员, 主要从事农业资源与环境、固体废弃物资源化利用、生物环境互作、农田温室气体微生物生态学机理及防控、生物肥料生物农药的研究工作。E-mail: wuhsluck@163.com, 电话: 025-58699873

收稿日期: 2012-11-28; 收到修改稿日期: 2013-04-25

雨季(3—6月)约占全年降水量的50%,干湿季节变化比较明显,表现为季节性干旱。

1.2 试验设计

供试田块土壤连作花生5年以上,土壤基础理化性质为:pH4.0,全氮 0.2 g kg^{-1} ,全磷 0.3 g kg^{-1} ,全钾 11.5 g kg^{-1} ,碱解氮 12.6 mg kg^{-1} ,速效磷 1.1 mg kg^{-1} ,速效钾 70.2 mg kg^{-1} 。供试花生品种为赣花4号。供试肥料为30%复混肥(5-10-15)、生石灰、磷石膏复混肥。试验所用磷石膏复混肥采用磷酸氢二铵、尿素、硫酸钾与磷石膏按不同比例混配制成。磷石膏由中国石油化工集团南京化学工业有限公司磷肥厂提供,主要理化指标为:pH2.15,CaO 296.8 g kg^{-1} , SO_3 415.9 g kg^{-1} , SiO_2 60.6 g kg^{-1} , P_2O_5 28.5 g kg^{-1} 。试验小区面积为 20 m^2 ,每个小区平均280穴,每穴播种花生仁2粒,2010年4月5日播种,2010年8月15日收获。试验共设14个处理(表1),每个处理重复3次,随机排列。所有肥料于播种前一次性施入土壤;7月初花生初花期,所有小区追施尿素 75 kg hm^{-2} 。在成熟期采集植株样品,分析测定植株相关生物量及生理生化指标。

表1 试验处理
Table 1 Experimental treatment

序号 Number	代号 Code	处理 Treatment	施肥量 Fertilizer application rate (kg hm^{-2})
1	CK1-no	不施肥为对照	0.0
2	CK2	当地习惯用的30%复混肥	600.0
3	CK3-15	生石灰	225.0
4	CK3-30	生石灰	450.0
5	CK3-45	生石灰	675.0
6	P1:1-20	复合肥与磷石膏比例1:1	300.0
7	P1:1-40	复合肥与磷石膏比例1:1	600.0
8	P1:1-80	复合肥与磷石膏比例1:1	1200.0
9	P1:0.5-20	复合肥与磷石膏比例1:0.5	300.0
10	P1:0.5-40	复合肥与磷石膏比例1:0.5	600.0
11	P1:0.5-80	复合肥与磷石膏比例1:0.5	1200.0
12	P1:0.25-20	复合肥与磷石膏比例1:0.25	300.0
13	P1:0.25-40	复合肥与磷石膏比例1:0.25	600.0
14	P1:0.25-80	复合肥与磷石膏比例1:0.25	1200.0

1.3 样品分析

土壤全氮采用半微量凯氏法(KDY-9810凯氏

定氮仪)测定,碱解氮采取碱解扩散法测定,速效磷采用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 浸提—钼锑抗比色法(756MC型号的分光光度计)测定,pH采用电位法(PHS-3C的pH计)测定,速效钾采用乙酸铵提取—火焰光度法(6400A型号的火焰光度计)测定。植株全氮采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮—半微量凯氏定氮法(KDY-9810凯氏定氮仪)测定,植株全磷采用钼锑抗分光光度法(756MC型号的分光光度计)测定,植株全钾采用火焰光度法(6400A型号的火焰光度计)测定。分析方法参见文献[13]。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2003软件和SPSS17.0对实验数据进行处理,图表中的数据为3次重复的平均值 \pm 标准差(SD),采用单因素方差分析进行显著分析($p < 0.05$),采用最小显著差异法(LSD)进行处理间的多重比较。

2 结果与讨论

2.1 不同肥料处理对小区产量的影响

如图1所示,施用含磷石膏专用复混肥与不施肥处理1相比,增产花生9.4%~54.1%,较使用常规复合肥处理2增产3.5%~45.1%,较单施石灰处理增产20.1%~24.2%。方差分析结果表明,施用磷石膏专用复混肥和纯石灰与不施肥及施用传统复合肥相比差异显著($F = 9.28, n = 3, p < 0.05$),1:1磷石膏专用复混肥的磷石膏含量最多,施用该配比磷石膏复混肥的处理花生产量均高于除处理13以外的磷石膏复混肥处理。施用磷石膏专用复混肥能提高花生产量,并随着复合肥施用量增加而增加,但施用量过高,产量会降低,产量最高的是处理13。试验表明施用钙肥能有效提高花生产量^[14],而磷石膏中含有大量的 CaSO_4 ,这可能是施用磷石膏复混肥提高花生产量的一个重要原因。

施用磷石膏复混肥对花生百粒重均有所提高。其中施用磷石膏复混肥处理8较不施肥处理1和施用传统化肥处理2均有显著提高,百粒重分别增加17.3%和13.5%。随着磷石膏专用复混肥和纯石灰施用量的增加百粒重也随之增加。

从图中可以看出,施用石灰对植物株高的影响并不显著,说明钙并不能促进花生株高的生长,虽然石灰能改良红壤,中和土壤酸性,但是并不能直接促进植物生长。施用配比为1:0.25和1:0.5的磷石膏专用复混肥均能促进株高生长,其中效果最

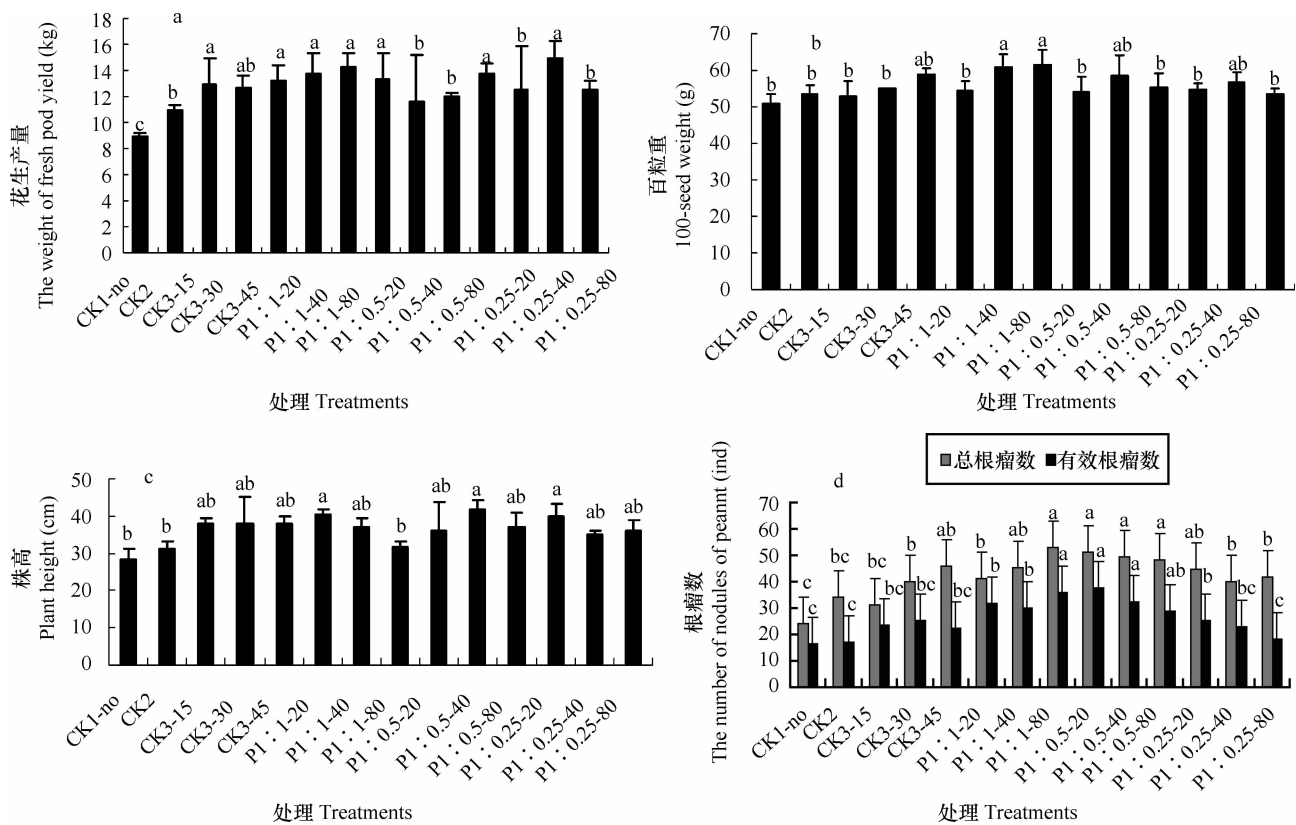


图1 不同处理对小区花生产量(a)、百粒重(b)、株高(c)、结瘤数(d)的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the weight of fresh pod yield (a), 100-seed weight (b), plant height (c) and the number of nodules (d) of peanut

好的处理 10 株高达到 41.9 cm,与施用传统化肥处理 2 相比增长 10%,这说明磷石膏施入土壤后对植物生长的促进作用要优于石灰,这是因为磷石膏中除了含有大量的可利用钙以外,还含有其他大量的植物生长发育所需的养分元素速效磷、钾、镁、硫、锰、铁等。

花生单株总根瘤数与有效根瘤数随着不同处理根瘤数变化趋势相同,但是施用配比 > 1:0.25 的磷石膏复混肥的花生总根瘤及有效根瘤明显高于其他施肥处理,并且随着磷石膏比例增大,总根瘤数和有效根瘤数呈增加趋势。方差分析结果表明,处理 8 和处理 9 的单株花生总结瘤数和有效结瘤数最大。与不施肥处理 1 相比,单株总结瘤数和有效结瘤数分别提高了 56% ~ 58% 和 40% ~ 42%。施用配比 1:1 磷石膏专用复混肥的总根瘤数和有效根瘤数显著大于其他各个施肥处理,而同种肥料不同施用量间的差异并不十分显著;但随着磷石膏专用复混肥施用量增大,总体上呈增加趋势。根瘤是花生固氮的场所,植株的固氮能力与总结瘤数和有效结瘤数有着密切的联系^[15]。

长期连作会导致根瘤数量减少^[16]。本试验结果说明,施用磷石膏可以改善生长在连作障碍红壤上的花生结瘤状况,这是因为磷石膏中含有一定量的可溶性磷和钼元素,而花生是一种能够在根部与根瘤菌共生结瘤的豆科植物,在花生生长过程中上部叶片经过光合作用合成的有机化合物沿韧皮部向下输送到花生根部和根瘤内,供根瘤内的根瘤菌利用,同时根瘤菌能够固定空气中的无机氮素分子,并在根部合成铵态氮,同时通过花生木质部导管向上输送,供花生生长和合成蛋白质需要,因此施用含磷石膏的专用复混肥能够促进花生生长和结瘤,并进而提高花生产量。

2.2 不同肥料处理对连作障碍花生土壤养分影响

施用磷石膏复混肥处理后,土壤全氮含量较不施肥处理 1 与传统施肥处理 2 均有明显提高。施用生石灰,全氮含量提高并不显著。其中施用磷石膏复混肥处理 10 的土壤全氮含量最高,较不施肥处理 1 高 78.5%,较施用传统复合肥处理 2 高 48.1%;这是因为磷石膏专用复混肥促进了花生和根瘤菌的生长,使得根瘤菌合成更多的铵态氮,并随花生的

根系分泌物进入试验小区土壤中,从而导致小区土壤全氮量增加。

施用磷石膏专用复混肥与不施肥处理相比土壤碱解氮含量提高 6.7% ~ 60.1%,与施用传统复合肥处理 2 相比,土壤碱解氮含量最多提高 48.1%。施用配比 1:0.5 的磷石膏专用复混肥处理土壤碱解氮含量最高,其次为配比 1:0.25 和 1:1。土壤碱解氮是植物吸收氮素的主要来源,其含量高低表征土壤的直接供氮能力^[17]。因此,使用磷石膏专用复混肥可提高土壤供氮能力,这对植株的生长发育显然是有益的,这也是由于磷石膏专用复混肥中含有的速效磷等多种养分元素促进花生和根瘤菌的生长,导致根瘤菌合成更多的铵态氮,其中一部分随花生根系分泌物进入土壤中造成的。

红壤成土过程特殊,强烈的淋溶作用会导致土壤养分流失,尤其是土壤磷含量较低^[18]。施用不同的肥料与不施肥相比,未从根本上改变土壤速效磷的含量。这可能与红壤本身的性质有关,肥料中的磷酸盐很可能被其中的铁铝氧化物所吸附。磷在植物大量营养元素中占有重要地位,然而与其他大量营养元素相比,红壤磷的含量相对较低^[19]。长期不施用磷肥会导致土壤全磷和有效磷含量下降,而

长期施用磷肥能够显著提高土壤全磷及有效磷含量^[20]。在施肥的处理中土壤养分含量大部分上升,不过施用不同处理的肥料并未从根本上改变土壤缺磷的状态。这是由于磷石膏中有效磷含量很低,大约在 1% 左右。

花生连作导致红壤养分发生非均衡性变化,施用硅、钙肥可以提高土壤速效钾含量^[21]。施用磷石膏专用复混肥对土壤速效钾含量增加效果明显,可能是由于磷石膏含有丰富的硅、钙元素,促进钾的吸收。专用复混肥处理 12 较传统复合肥处理 2 土壤速效钾含量提高 39.8%,说明施用配比 1:0.25 磷石膏专用肥显著增加了土壤中速效钾的含量。

花生连作红壤的 pH 很低,盐基离子流失严重,导致其普遍缺钙^[22]。研究表明,氮肥尤其是尿素的持续施用可使红壤 pH 下降,在红壤中施用含钙的多功能复合肥,有利于提高红壤旱地 pH,其效果较单纯施用氮磷钾化肥好^[23]。由表 2 看出,施用生石灰对酸性土壤 pH 提高最大,较传统施复合肥处理提高 23%。施用磷石膏复混肥对连作红壤 pH 也有提高,但由于磷石膏本身显酸性,施用磷石膏复混肥处理和传统施肥处理差异不显著。

表 2 不同处理土壤养分的差异

Table 2 Differences of soil nutrient among different treatments (mean \pm SD, $n = 3$)

处理 Treatment	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-hydrolyzable N (mg kg ⁻¹)	速效磷 Available P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	pH
CK1-no	0.4 \pm 0.1c	27.8 \pm 0.4e	2.4 \pm 0.1e	98.1 \pm 20.5d	4.6 \pm 0.1c
CK2	0.8 \pm 0.7bc	30.1 \pm 0.3bc	4.5 \pm 1.4ac	123.4 \pm 16.9bc	5.1 \pm 0.6b
CK3-15	0.7 \pm 0.3bc	29.8 \pm 4.5bc	3.2 \pm 1.1bc	144.7 \pm 28.8b	6.2 \pm 0.5a
CK3-30	1.0 \pm 0.7ab	31.0 \pm 0.8bc	4.4 \pm 0.5ac	134.7 \pm 15.2bc	6.3 \pm 0.4a
CK3-45	1.2 \pm 0.9a	28.5 \pm 3.8cd	3.4 \pm 0.6bc	102.6 \pm 31.9cd	6.3 \pm 0.1a
PI: 1-20	1.1 \pm 0.8ab	29.6 \pm 1.7bc	4.7 \pm 1.2ac	126.7 \pm 11.5bc	5.1 \pm 0.5b
PI: 1-40	1.3 \pm 0.4a	30.9 \pm 1.7bc	5.1 \pm 1.2ab	144.7 \pm 46.2b	5.2 \pm 0.2b
PI: 1-80	1.3 \pm 0.4a	32.7 \pm 2.1bd	4.1 \pm 2.0ac	133.3 \pm 32.7bc	5.1 \pm 0.2b
PI: 0.5-20	1.2 \pm 0.4a	33.6 \pm 0.7b	3.5 \pm 0.4bc	133.9 \pm 53.1bc	5.2 \pm 0.6b
PI: 0.5-40	1.3 \pm 0.7a	44.6 \pm 6.0a	3.5 \pm 0.6bc	137.2 \pm 16.7bc	5.1 \pm 0.3b
PI: 0.5-80	1.2 \pm 0.4a	31.2 \pm 2.3bc	4.3 \pm 1.6ac	152.2 \pm 29.9ab	5.3 \pm 0.6b
PI: 0.25-20	1.0 \pm 0.5ab	32.1 \pm 2.6bc	3.7 \pm 0.7bc	129.2 \pm 78.3bc	5.2 \pm 0.7b
PI: 0.25-40	1.1 \pm 0.7ab	31.7 \pm 3.6bc	3.6 \pm 0.1bc	172.1 \pm 78.4a	5.1 \pm 0.2b
PI: 0.25-80	1.0 \pm 0.3ab	31.0 \pm 2.1bc	5.1 \pm 1.4ab	144.4 \pm 37.9b	5.2 \pm 0.4b

2.3 不同肥料处理对连作障碍花生植株全 N、P、K 影响

作物的代谢受到土壤中营养元素比例失调的干扰,会导致植株养分含量失真,尤其是酸性红壤中植物^[24-25],因此植株养分含量的变化,要结合土壤状况以及植物生长状况共同分析。从表 3 可知,随着施用磷石膏专用复混肥明显提高植株全氮含量,较不施肥及施用传统复合肥处理提高了 30.1%~84.9%,磷石膏施用量加大促进了植株全氮含量增加,这是因为磷石膏中含有一定量的速效磷、钙、镁、硫、钾等养分元素,促进花生和根瘤菌的生长,尤其是根瘤菌的生长,从而提高花生根瘤菌的固氮活性,从空气中固定更多的氮素供花生利用。

表 3 不同处理植株养分的差异

Table 3 Differences of plant nutrients in peanut plants after different treatments (mean \pm SD, $n=3$)

处理 Treatment	全氮 Total N (mg kg ⁻¹)	全磷 Total P (mg kg ⁻¹)	全钾 Total K (mg kg ⁻¹)
CK1-no	21.3 \pm 0.2c	3.5 \pm 0.1c	10.5 \pm 0.1c
CK2	31.8 \pm 0.4b	4.3 \pm 0.1b	12.4 \pm 0.3bc
CK3-15	31.3 \pm 0.6b	4.5 \pm 0.1b	12.4 \pm 0.9bc
CK3-30	34.7 \pm 0.2ab	4.9 \pm 0.1a	14.3 \pm 0.2b
CK3-45	34.2 \pm 0.1ab	3.5 \pm 0.2c	14.5 \pm 0.4b
P1:1-20	35.7 \pm 0.3a	4.6 \pm 0.1ab	12.9 \pm 0.4b
P1:1-40	31.3 \pm 0.3b	5.0 \pm 0.1a	18.2 \pm 0.2b
P1:1-80	32.3 \pm 0.2b	5.0 \pm 0.9a	21.0 \pm 0.2a
P1:0.5-20	29.3 \pm 0.7bc	3.6 \pm 0.4c	19.5 \pm 0.8ab
P1:0.5-40	37.7 \pm 0.7a	4.1 \pm 0.7bc	18.8 \pm 0.9b
P1:0.5-80	39.4 \pm 0.5a	3.6 \pm 0.3c	18.1 \pm 0.2a
P1:0.25-20	31.0 \pm 0.3b	4.1 \pm 0.4bc	17.1 \pm 0.1b
P1:0.25-40	32.9 \pm 0.8b	4.3 \pm 0.1b	18.6 \pm 0.4b
P1:0.25-80	31.8 \pm 0.1b	4.5 \pm 0.7ab	11.4 \pm 0.4c

花生全磷含量随着磷石膏施用量增加而提高,并与土壤中速效磷含量呈正相关性。方差分析结果表明,施用磷石膏专用复混肥对植株全磷的影响与施用传统复合肥相比并不显著,由于磷在土壤中移动性小,又易被土壤固定,至植物生长中后期能被植物吸收利用的有效磷较少。

磷能促进钾的吸收,而钾素对植物增产作用明显^[26]。植株全钾含量随磷石膏施用量增加而提高,这是因为磷石膏中含有一定量的钾,能直接被花生植株吸收利用;说明施用磷石膏能有效提高花生植

株全钾含量,其中施用磷石膏专用复混肥处理 8 最为显著,较不施肥处理提高了 2 倍。与施用传统复合肥处理相比提高了 69.3%。其中施用不同比例产生的影响 1:0.5 > 1:0.25 > 1:1。

3 结论

红壤地区花生连作障碍严重,本研究采取施用磷石膏专用复混肥能够增加连作花生红壤速效氮和速效钾,提高花生植株中全氮和全钾的含量,进而促进了单株花生结瘤数和有效根瘤数,促进花生生长,提高花生产量。

致谢 感谢本校本科生 2006 级张伟、路平,2007 级闫霜、刘晓雪、孔祥云、王增辉,2009 级曹正达、吕瑞等同学参与了本研究过程中的部分试验。

参考文献

- [1] 赵其国,谢为民. 江西红壤. 南昌:江西科学技术出版社,1988:112—124. Zhao Q G, Xie W M. Jiangxi red soil (In Chinese). Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1988:112—124
- [2] 叶厚专,范业成. 磷石膏改良红壤的效应. 植物营养与肥料学报,1996,2(2):181—185. Ye H Z, Fan Y C. Effect of phosphogypsum in improving red soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1996, 2(2):181—185
- [3] 刘毅,伍先明,方先兰,等. 江西花生低产原因分析及高产栽培技术对策. 江西农业学报,2009,21(8):38—39,43. Liu Y, Wu X M, Fang X L, et al. The cause analysis of low-yield peanuts and techniques countermeasures of high-yield cultivation in Jiangxi (In Chinese). Acta Agriculturae Jiangxi, 2009, 21(8):38—39,43
- [4] 万书波,王才斌,卢俊玲,等. 连作花生的生育特性研究. 山东农业科学,2007(2):32—36. Wan S B, Wang C B, Lu J L, et al. Study on the growth and development characters of continuous-cropping peanut (In Chinese). Shandong Agricultural Sciences, 2007(2):32—36
- [5] 何园球,吴大付,李成亮,等. 红壤旱地不同种植方式物质循环与调控. 应用生态学报,2004,15(9):1547—1551. He Y Q, Wu D F, Li C L, et al. Nutrient and water cycling in red soils with different planting system and their management (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9):1547—1551
- [6] 徐瑞富,王小龙. 花生连作田土壤微生物群落动态与土壤养分关系研究. 花生学报,2003,32(3):19—24. Xu R F, Wang X L. Relation of microbial population dynamics and nutrient in soil of continuous cropping with peanut (In Chinese). Journal of Peanut Science, 2003, 32(3):19—24
- [7] 王明珠,陈学南. 低丘红壤区花生持续高产的障碍及对策.

- 花生学报, 2005, 34(2): 17—22. Wang M Z, Chen X N. Obstacle and countermeasure of sustainable high yield for peanut in low-hilly red soil region (In Chinese). *Journal of Peanut Science*, 2005, 34(2): 17—22
- [8] Huang S, Peng X X, Huang Q R, et al. Soil aggregation and organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a red soil of subtropical China. *Geoderma*, 2010, 154(3): 364—369
- [9] Eduardo F C, Itacir C F, Gabriel B, et al. Lime and gypsum application on the wheat crop. *Scientia Agricola*, 2002, 59(2): 357—364
- [10] 刘美昌, 郑亚萍, 王才斌, 等. 连作对花生生育的影响及其缓解措施研究. *中国农学通报*, 2006, 22(9): 144—148. Liu M C, Zheng Y P, Wang C B, et al. Effect of continuous cropping on peanut growth and development and studies on its relief method (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(9): 144—148
- [11] Xu J M, Tang C, Chen Z L. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38: 709—719
- [12] 吴正锋, 成波, 王才斌, 等. 连作对花生幼苗生理特性及荚果产量的影响. *花生学报*, 2006, 35(1): 29—33. Wu Z F, Cheng B, Wang C B, et al. Effect of continuous cropping on peanut seedling physiological characteristics and pod yield (In Chinese). *Journal of Peanut Science*, 2006, 35(1): 29—33
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1981: 258—277. Bao S D. *Soil and agricultural chemistry analysis* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1981: 258—277
- [14] 宗海英, 王凯荣, 谢小立. 长期施肥对红壤性水稻土有机氮组分的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(8): 1721—1726. Zong H Y, Wang K R, Xie X L. Effects of long-term fertilization on soil organic nitrogen components in paddy soil derived from red earth (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(8): 1721—1726
- [15] 李成亮, 孔宏敏, 何园球. 施肥结构对旱地红壤有机质和物理性质的影响. *水土保持学报*, 2004, 18(6): 116—119. Li C L, Kong H M, He Y Q. Effect of fertilization structures on soil organic matter and physical properties of upland field in red soil area (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2004, 18(6): 116—119
- [16] Inal A, Gunes A, Zhang F, et al. Peanut-maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2007, 43(4): 232—240
- [17] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 等. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展. *中国油料作物学报*, 2008, 30(3): 384—387. Zheng Y P, Wang C B, Huang S Z, et al. Research on relieving peanut continuous cropping stress (In Chinese). *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2008, 30(3): 384—387
- [18] Dai C C, Xie H, Wang X X, et al. Intercropping peanut with traditional Chinese medicinal plants improves soil microcosm environment and peanut production in subtropical China. *African Journal of Biotechnology*, 2009, 8(16): 3739—3746
- [19] 陈先茂, 彭春瑞, 关贤交, 等. 红壤旱地不同轮作模式的效益及其对土壤质量的影响. *江西农业学报*, 2009, 21(6): 75—77, 80. Chen X M, Peng C R, Guan X J, et al. Benefit of different crop rotation modes and their effects on quality of red-yellow dry soil (In Chinese). *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2009, 21(6): 75—77, 80
- [20] 王艳玲, 何园球, 李成亮, 等. 长期施肥对红壤磷素持续供应能力的影响. *土壤学报*, 2010, 47(3): 503—507. Wang Y L, He Y Q, Li C L, et al. Effects of long-term fertilization on sustained P supply capacity of red soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47(3): 503—507
- [21] 王小兵, 骆永明, 李振高, 等. 长期定位施肥对红壤地区连作花生生物学性状和土传病害发生率的影响. *土壤学报*, 2011, 48(4): 725—730. Wang X B, Luo Y M, Li Z G, et al. Effects of long-term stationary fertilization experiment on incidence of soil-borne diseases and biological characteristics of peanut in continuous monocropping system in red soil area (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(4): 725—730
- [22] 孔祥丽, 任新明. 花生连作障碍的产生机理及防控措施研究. *湖北农业科学*, 2011, 50(10): 1951—1953. Kong X L, Ren X M. The mechanism and controlling measures of peanut continuous cropping obstacles (In Chinese). *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(10): 1951—1953
- [23] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展. *土壤*, 2010, 42(4): 505—512. Wang X X, Zhang T L, Dai C C. Advance in mechanism and countermeasures of peanut succession monocropping obstacles (In Chinese). *Soils*, 2010, 42(4): 505—512
- [24] 李成亮, 何园球, 王艳玲, 等. 氮磷钾肥对红壤区水稻增产效应的影响. *中国水稻科学*, 2007, 21(2): 179—184. Li C L, He Y Q, Wang Y L, et al. Effect of N, P and K fertilizer application on rice grain yield in red paddy soil (In Chinese). *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(2): 179—184
- [25] 姜灿烂, 何园球, 李辉信, 等. 长期施用无机肥对红壤旱地养分和结构及花生产量的影响. *土壤学报*, 2009, 46(6): 1102—1109. Jiang C L, He Y Q, Li H X, et al. Effect of long-term inorganic fertilization on soil nutrient and structure and peanut yield in upland red soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(6): 1102—1109
- [26] 吴洪生, 陈小青, 周晓冬, 等. 磷石膏改良剂对江苏如东滨海盐土理化性状及小麦生长的影响. *土壤学报*, 2012, 49(6): 1262—1266. Wu H S, Chen X Q, Zhou X D, et al. Effects of soil amendment Phosphogypsum on physical and chemical properties of and wheat growth in coastal saline soil in Rudong, Jiangsu (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(6): 1262—1266

EFFECTS OF PHOSPHOGYPSUM-CONTAINING MIXED FERTILIZER ON PEANUT GROWTH AND RESTORATION OF SOIL FERTILITY OF CONTINUOUS MONOCROPPING IN RED SOIL

Wu Hongsheng^{1†} Yang Xiaonan¹ Zhou Xiaodong¹ Sun Bo² Qin Jiangtao²

Liu Xiaoli² Man Jun³ Wu Hongbing³ Chen Xiaoqing¹

(1 College of Agricultural Resources and Environment, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

(2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

(3 Nanjing Chemical Industries Co. Ltd Attached Phosphate Factory, Sinopec Group, Nanjing 210048, China)

Abstract Peanut production has been severely repressed by sick soil resulting from long-term monoculture of peanut in red field in Jiangxi Province, China. Phosphorus chemical waste solid, phosphogypsum, was investigated to alleviate the sick soil due to continuous monocropping of peanut in red soil. Mixture of phosphogypsum with chemical nitrogen, phosphate and potassium fertilizer in a different ratio were applied to peanut plots in Yingtan Experimental Station of Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences to assess their effect on nutrients of red soil and peanut yield and physiological and biochemical properties. The results showed that peanut yield in treatment of phosphogypsum-containing mixed fertilizer was increased by 3.5% ~ 45.1% compared to conventional fertilizer treatments. The soil total nitrogen, available nitrogen and potassium was increased, while plant total N, P, K were raised compared with control. This indicated man-made phosphogypsum-containing mixed fertilizer would effectively relieve sick soil in red soil in the region of continuous monocropping of peanuts.

Key words Red soil; Phosphogypsum; Peanut; Continuous mono-cropping

(责任编辑:陈德明)