

种植花生、施用尿素对红壤酸化作用及有机物料的改良效果^①

练成燕^{1,2}, 王兴祥¹, 李奕林¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过连续 2 年盆栽试验, 比较研究了种植花生和施用尿素对红壤 pH 和交换性 Al 含量的影响, 以及施用几种有机物料(稻草、紫云英、猪粪)对土壤酸化的改良效果, 为花生种植地区合理施用有机物料缓解土壤酸化、提高产量提供参考依据。结果表明, 与同一季中相同施肥处理不种花生的土壤相比, 种植花生 1 季和 2 季后土壤 pH 分别降低了 0.06~0.28 和 0.08~0.27, 土壤交换性 Al 则分别增加了 7.69%~72.94% 和 8.49%~46.20%; 施用尿素增加了花生产量, 但同时也加剧了土壤酸化, 同一季中有机物料施用相同情况下, 与低尿素水平处理的土壤相比, 高尿素水平处理 1 季和 2 季后土壤 pH 分别下降了 0.02~0.10 和 0.01~0.16; 不同有机物料对土壤酸化的改良效果: 猪粪>稻草>紫云英, 且有机物料施用量越大, 土壤 pH 升幅越大, 土壤交换性 Al 含量则越低; 几种有机物料中, 猪粪处理显著增加了花生产量, 2 季中花生秸秆干重平均增加了 11.12%~59.28%, 花生籽粒干重平均增加了 12.42%~68.20%; 紫云英效果次之, 稻草增产效果不明显。

关键词: 红壤; 花生; 尿素; 有机物料; pH; 交换性铝

中图分类号: S153

长期以来, 土壤酸化一直是一个令人关注的问题。在我国酸性土壤广泛分布的南方地区, 土壤酸化是限制大多数作物生长的主要环境胁迫因子之一。土壤酸化加速了土壤中养分离子的淋失, 同时导致大量铝离子和重金属离子被释放出来, 使土壤遭受铝毒和重金属毒害, 影响作物生长^[1]。近年来由于人为活动的影响, 土壤的酸化进程大大加速^[2]。影响土壤酸化的人为因素主要有两方面, 一是由于大气环境污染导致的酸沉降的加剧, 使受酸沉降影响地区的土壤酸化速度加快^[3-4]; 另一个重要原因就是不当的农业措施, 如化学肥料的大量施用、豆科作物的种植以及通过作物的收获从土壤中移走碱性物质等^[5-6]。酸性土壤的改良研究已有较多报道^[2,7-8], 施用石灰是其中最有效的办法之一, 但实际农业生产中有机物料的施用是最常见且经济可行的措施^[9]。然而, 受有机物料种类、施用量、土壤类型及试验条件等因素的影响, 有机物料并不都能有效改良酸化土壤, 某些有机物料甚至会降低土壤 pH^[6,7,10]。花生是红壤地区最常见的豆科经济作物, 已有的研究表明土壤酸化会影响花生的生长^[11], 但有关花生种植对土壤加速酸化影响的系统研究却鲜有报道。本文通过盆栽试验, 研究了种植花生、施用尿素对红壤的酸化作用及有机物料的改良效果, 以期对红壤酸化的改良提供科学依据。

供试土壤为典型的第四纪红黏土发育的酸性红壤, 采集于中国科学院红壤生态实验站花生实验地。土壤 pH (H₂O) 为 4.82, 全 N 含量 0.60 g/kg, 有机质含量 10.11 g/kg, 交换性 Al 含量 2.46 cmol/kg, 交换性氢含量 0.28 cmol/kg, 有效 P(Olsen 法)含量 15.93 mg/kg, 速效 K 含量 195 mg/kg。实验选用了稻草、紫云英和猪粪 3 种常见的有机物料, 稻草和紫云英烘干、新鲜猪粪风干后粉碎备用(当地施肥习惯是施用新鲜紫云英与猪粪, 但为了控制盆栽施肥过程中含水量的统一, 根据当地施用水平通过水分的换算而确定烘干样品的施用量)。各有机物料的基本理化性质见表 1。

表 1 有机物料的基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of organic materials

物料种类	pH	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	C/N
稻草	8.41	432.4	10.89	39.7
紫云英	5.93	440.7	28.22	15.6
猪粪	8.08	368.4	24.36	15.1

注: pH 采用去离子水测定, 固液比 1:10^[12]。

1 材料与方法

1.1 供试材料

删除的内容: 681

带格式的:

删除的内容:

带格式的: 行距: 固定值 20 磅

带格式的: 行距: 单倍行距

带格式的: 行距: 固定值 15 磅

带格式的: 非上标/下标

带格式的: 非上标/下标

带格式的: 非上标/下标

带格式的: 非上标/下标

删除的内容:

带格式的: 非上标/下标

删除的内容:

带格式的: 非上标/下标

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目 (KSCX1-YW-09) 和国家科技支撑计划项目 (2006BAD05B09) 资助。

* 通讯作者: (xxwang@issas.ac.cn)

作者简介: 练成燕 (1984—), 女, 江苏江都人, 硕士研究生, 主要研究方向为红壤退化机制与生态恢复。E-mail: monica.lian@163.com

1.2 试验设计

盆栽试验分别于 2007 年 4—8 月与 2008 年 4—8 月, 连续 2 季在中国科学院红壤生态实验站温室内进行。盆栽花生每盆装风干土壤 7.5 kg, 播种花生 2 穴, 每穴 2 粒。试验处理设置如下: U、U+S、U+C、U+P (U: 尿素, S: 稻草, C: 紫云英, P: 猪粪, 具体用量见表 2), 其中有机物料处理各设 3 个施用量水平, 尿素处理设 2 个施用量水平, 所有处理均施用钙镁磷肥 2.5 g, 氯化钾 1.0 g, 每个处理 4 次重复; 各处理在种植花生的同时设置一个不种花生的对照。根据花生生长需要定期浇水, 2007 年 8 月上旬花生收获后, 将土壤完全混匀, 采土样备用; 2008 年 4 月将盆内土壤参照 2007 年施肥处理与肥料完全混匀后装盆种花生, 具体步骤相同。2 季所采土样风干后过筛测定土壤 pH 和交换性 Al。

表 2 盆栽试验各肥料施用量 (g/盆)

Table 2 Application rates of fertilizers in pot-experiment

肥料	用量 1	用量 2	用量 3
稻草	18.75	37.5	75
紫云英	18.75	37.5	75
猪粪	18.75	37.5	75
尿素	0.5	1.0	-

1.3 测定项目和分析方法

花生收获后, 将秸秆和荚果分开收集, 105℃ 杀

青 30 min, 65℃ 烘干至恒重, 之后测定各部分生物量。土壤 pH 采用电位法 (康仪 PHS-3C) 按水土比 2.5:1 测定^[13]; 土壤交换性 Al 含量采用 1 mol/L 氯化钾交换-中和滴定法测定^[13]。

1.4 数据处理

所有数据分析均采用 SPSS 13.0 和 Excel 软件, 不同处理间的差异显著性采用 Duncan 法检验。

2 结果与分析

2.1 种植花生、施用尿素对红壤加速酸化的影响

与试验原始土壤 (pH 4.82) 及施肥处理 1 季后的土壤相比, 施肥 2 季后的土壤 pH 略有升高 (表 3)。与第 1 季相比, 第 2 季相同处理下土壤酸化程度有不同程度的缓解, 其中种植花生处理的土壤 pH 平均比第 1 季升高了 0.25, 土壤交换性 Al 则降低了 5.0%; 不种植花生处理的土壤 pH 平均升高了 0.22, 土壤交换性 Al 则降低了 3.97%。这主要是由于土壤中连续施用了碱性的钙镁磷肥引起。为了排除钙镁磷肥等其他因素的影响, 正确认识种植花生、施用尿素对红壤加速酸化的影响, 本文通过对比研究同一季中相同施肥条件下种植花生与不种植花生处理的土壤酸化差别, 分析种植花生对土壤酸化变化的影响; 对比研究了同一季土壤 (包括种花生和不种花生), 低尿素水平和高尿素水平处理下土壤酸化差别, 分析尿素施用水平对土壤酸化变化影响。

表 3 不同处理土壤 pH 和交换性 Al 含量 (cmol/kg)

Table 3 Soil pH values and exchangeable Al contents under different treatments of pot-experiment

处理	1 季不种花生		1 季种花生		2 季不种花生		2 季种花生	
	pH	交换性 Al						
U1	4.90 ± 0.02	2.60 ± 0.01	4.70 ± 0.01	3.00 ± 0.01	5.02 ± 0.01	2.03 ± 0.03	4.91 ± 0.01	2.72 ± 0.04
U1+S1	4.91 ± 0.01	2.45 ± 0.03	4.71 ± 0.02	2.75 ± 0.01	5.09 ± 0.03	1.64 ± 0.09	4.96 ± 0.02	2.50 ± 0.09
U1+S2	4.91 ± 0.01	2.47 ± 0.06	4.68 ± 0.01	2.72 ± 0.06	5.16 ± 0.01	1.54 ± 0.10	5.05 ± 0.01	2.17 ± 0.10
U1+S3	4.92 ± 0.01	2.08 ± 0.05	4.68 ± 0.02	2.45 ± 0.05	5.26 ± 0.02	1.02 ± 0.03	5.03 ± 0.02	1.76 ± 0.09
U1+C1	4.90 ± 0.02	2.54 ± 0.05	4.72 ± 0.01	2.89 ± 0.05	5.02 ± 0.02	2.05 ± 0.04	4.93 ± 0.01	2.70 ± 0.04
U1+C2	4.91 ± 0.01	2.49 ± 0.04	4.71 ± 0.01	2.84 ± 0.04	5.03 ± 0.01	1.86 ± 0.02	4.90 ± 0.01	2.55 ± 0.03
U1+C3	4.89 ± 0.01	2.26 ± 0.07	4.68 ± 0.02	2.71 ± 0.11	5.03 ± 0.01	1.48 ± 0.01	4.86 ± 0.02	2.11 ± 0.01
U1+P1	4.96 ± 0.01	2.43 ± 0.03	4.71 ± 0.02	2.81 ± 0.03	5.15 ± 0.03	1.54 ± 0.06	4.91 ± 0.07	2.07 ± 0.06
U1+P2	4.97 ± 0.01	1.98 ± 0.07	4.73 ± 0.01	2.45 ± 0.07	5.22 ± 0.02	0.94 ± 0.04	5.00 ± 0.04	1.42 ± 0.05
U1+P3	4.96 ± 0.02	1.66 ± 0.05	4.85 ± 0.05	1.79 ± 0.05	5.41 ± 0.02	0.50 ± 0.07	5.40 ± 0.05	0.50 ± 0.07
U2	4.85 ± 0.01	2.57 ± 0.09	4.67 ± 0.01	3.45 ± 0.03	4.94 ± 0.01	2.23 ± 0.04	4.88 ± 0.01	2.94 ± 0.04
U2+S1	4.87 ± 0.01	2.53 ± 0.06	4.69 ± 0.02	3.32 ± 0.06	5.02 ± 0.03	1.96 ± 0.05	4.92 ± 0.01	2.52 ± 0.05
U2+S2	4.86 ± 0.01	2.49 ± 0.02	4.68 ± 0.01	3.04 ± 0.02	5.09 ± 0.01	1.75 ± 0.03	4.93 ± 0.02	2.45 ± 0.07
U2+S3	4.88 ± 0.02	2.25 ± 0.02	4.69 ± 0.02	3.00 ± 0.02	5.21 ± 0.02	1.17 ± 0.05	4.96 ± 0.02	1.71 ± 0.05
U2+C1	4.88 ± 0.01	2.47 ± 0.05	4.68 ± 0.02	3.46 ± 0.05	4.93 ± 0.01	2.24 ± 0.02	4.83 ± 0.02	2.75 ± 0.05
U2+C2	4.86 ± 0.02	2.42 ± 0.07	4.69 ± 0.02	3.10 ± 0.04	4.94 ± 0.02	2.25 ± 0.03	4.84 ± 0.02	2.68 ± 0.06

带格式的: 行距: 固定值 4 磅

删除的内容: 表 1 有机物料的基本理化性质

Table 1 Physico-chemical

带格式的: ... [1]

带格式的: 列数: 2

带格式的: ... [2]

带格式的: ... [3]

带格式的: ... [4]

带格式的: ... [5]

带格式的: ... [6]

带格式的: ... [7]

带格式的: ... [8]

带格式的: ... [9]

带格式的: ... [10]

带格式的: 字体: 宋体

带格式的: ... [11]

带格式的: ... [12]

带格式的: ... [13]

带格式的: ... [14]

带格式的: ... [15]

删除的内容: ... [16]

删除的内容: ... [17]

删除的内容: ... [18]

带格式表格

带格式的: ... [19]

带格式的: ... [20]

带格式的: ... [21]

带格式的: ... [22]

带格式的: ... [23]

带格式的: ... [24]

带格式的: ... [25]

带格式的: ... [26]

带格式的: ... [27]

带格式的: ... [28]

带格式的: ... [29]

带格式的: ... [30]

带格式的: ... [31]

带格式的: ... [32]

带格式的: ... [33]

带格式的: ... [34]

带格式的: ... [35]

U2+C3	4.84 ± 0.02	2.32 ± 0.06	4.67 ± 0.01	3.05 ± 0.06	4.97 ± 0.01	1.93 ± 0.05	4.80 ± 0.01	2.55 ± 0.05
U2+P1	4.87 ± 0.02	2.52 ± 0.08	4.72 ± 0.01	2.95 ± 0.06	5.03 ± 0.02	1.97 ± 0.04	4.88 ± 0.02	2.37 ± 0.07
U2+P2	4.94 ± 0.02	2.40 ± 0.01	4.76 ± 0.01	2.68 ± 0.02	5.19 ± 0.01	1.09 ± 0.06	4.99 ± 0.01	1.57 ± 0.06
U2+P3	4.93 ± 0.01	2.09 ± 0.03	4.81 ± 0.02	2.27 ± 0.03	5.42 ± 0.03	0.51 ± 0.03	5.26 ± 0.05	0.63 ± 0.03

种植花生影响土壤酸度变化。种植花生 1 季后，与相同处理下不种花生土壤相比，单施化学肥料处理中，低尿素（相当于 150 kg/hm² 尿素）与高尿素（相当于 300 kg/hm² 尿素）水平下土壤 pH 分别降低了 0.20 和 0.18，土壤交换性 Al 则分别升高了 15.4% 和 30.35%；化学肥料与有机物料配施处理中，土壤 pH 在低尿素与高尿素水平下分别降低了 0.11 ~ 0.25 和 0.10 ~ 0.20，土壤交换性 Al 则升高了 7.69% ~ 23.76% 和 8.49% ~ 34.10%。种植花生 2 季后，与相同处理下不种花生土壤相比，单施化学肥料处理中，低尿素与高尿素水平下种植花生土壤 pH 分别降低了 0.11 和 0.06，土壤交换性 Al 分别升高了 34.10% 和 32.14%；化学肥料与有机物料配施处理中，低尿素与高尿素水平下土壤 pH 降低了 0.02 ~ 0.30 和 0.06 ~ 0.31，土壤交换性 Al 含量分别升高了 25.33% ~ 72.94% 和 12.74% ~ 46.20%。

尿素施用水平对土壤酸度变化也有一定的影响。与低尿素水平相比，单施化学肥料处理 1 季后，高尿素水平处理下种花生与不种花生处理的土壤 pH 分别下降了 0.04 和 0.05；单施化学肥料处理 2 季后，高尿素水平下种花生与不种花生处理的土壤 pH 分别下降了 0.03 和 0.08。化学肥料与有机物料配施处理 1 季后，高尿素水平下种花生与不种花生处理的土壤 pH 分别降低了 0.02 ~ 0.07 和 0.02 ~ 0.10，土壤交换性 Al 增加了 5.01% ~ 26.37% 和 6.43% ~ 25.40%；化学肥料与有机物料配施处理 2 季后，高尿素水平下种花生与不种花生处理的土壤 pH 分别降低 0.01 ~ 0.14 和 0.03 ~ 0.16，土壤交换性 Al 则增加了 8.08% ~ 25.58% 和 9.68% ~ 30.38%。

2.2 有机物料对土壤酸度的改良及对作物的增产效果

2.2.1 土壤酸度

连续 2 年盆栽试验结果显示，与单施化肥相比，几种有机物料均不同程度改良了土壤酸度，其中改良效果的大小顺序为猪粪 > 稻草 > 紫云英（表 3）。

不种花生土壤中，施用有机物料 1 季后，与单施化肥处理的同期土壤相比，猪粪处理对土壤酸度的影响显著（ $p < 0.05$ ），其中低尿素与高尿素水平下土壤 pH 分别升高了 0.06 ~ 0.07 和 0.02 ~ 0.08，土壤交换性

Al 降低了 26.45% ~ 35.99% 和 2.01% ~ 18.77%；稻草和紫云英对土壤的改良效果并不显著（ $p > 0.05$ ）。施用有机物料 2 季后，低尿素和高尿素水平稻草处理使土壤 pH 分别升高了 0.07 ~ 0.24 和 0.09 ~ 0.27，土壤交换性 Al 则相应降低了 19.35% ~ 49.77% 和 11.76% ~ 47.48%；猪粪处理中土壤 pH 分别升高了 0.13 ~ 0.39 和 0.15 ~ 0.48，土壤交换性 Al 则降低了 23.96% ~ 75.12% 和 11.34% ~ 76.89%，紫云英改良效果依然不显著。

种植花生土壤中，施用有机物料 1 季后，与单施化肥的同期对照土壤相比，稻草和紫云英处理中土壤 pH 没有显著变化；猪粪处理在低尿素和高尿素水平下土壤 pH 分别升高了 0.02 ~ 0.14 和 0.03 ~ 0.14，土壤交换性 Al 则降低了 6.48% ~ 40.33% 和 14.43% ~ 34.29%；施用有机物料 2 季后，低尿素和高尿素水平下，稻草处理土壤 pH 分别升高了 0.05 ~ 0.14 和 0.04 ~ 0.08，土壤交换性 Al 则下降了 8.08% ~ 35.22% 和 14.23% ~ 41.89%，猪粪处理中土壤 pH 分别升高了 0.10 ~ 0.49 和 0.11 ~ 0.38，土壤交换性 Al 降低了 24.06% ~ 81.53% 和 19.40% ~ 78.54%。

2.2.2 花生产量

由表 4 可见，单施化学肥料处理中，尿素施用水平对花生产量有一定影响：与低尿素水平相比，高尿素水平下第 1 季花生荚果干重增加了 23.40%，秸秆干重则增加了 30.64%；第 2 季花生荚果和秸秆的增产效果均不显著。

第 1 季中，与单施化肥相比，猪粪处理显著增加了花生产量（ $p < 0.05$ ），低尿素与高尿素水平下花生秸秆干重分别增加了 29.55% ~ 69.07% 和 8.77% ~ 36.22%，花生荚果干重分别增加了 32.48% ~ 53.76% 和 12.68% ~ 21.72%；在低尿素水平下，紫云英的中高用量处理分别使花生荚果干重增加了 12.48% 和 15.27%（ $p < 0.05$ ）；稻草处理对花生的增产效果不显著（ $p > 0.05$ ）。

第 2 季中，低尿素与高尿素水平下施用猪粪，花生秸秆干重分别比单施化学肥料处理增加了 33.05% ~ 44.72% 和 42.35% ~ 59.26%，花生荚果干重分别增加了 35.21% ~ 47.83% 和 22.30% ~ 69.54%；施用紫云英处理中，花生荚果干重在低尿素和高尿素水平下，分别增加了 13.55% ~ 27.23% 和 14.05% ~ 33.08%，花生

- 带格式的：居中，行距：固定值 12 磅
- 带格式的：居中，行距：固定值 12 磅
- 带格式的：居中，行距：固定值 12 磅
- 带格式的：居中，行距：固定值 12 磅
- 带格式的：列数：2
- 删除的内容： .
- 带格式的：行距：固定值 2 磅
- 删除的内容： .
- 带格式的：行距：固定值 16 磅

- 带格式的：缩进：左侧：0 磅，悬挂缩进：5 字符，行距：固定值 16 磅
- 带格式的：行距：固定值 16 磅

秸秆干重在低尿素水平下增产不显著，而在高尿素水平则增加了 6.58% ~ 19.96%；稻草处理对花生的增产效果不显著。

花生是红壤地区大宗经济作物之一，盆栽试验观测结果表明种植花生会加速土壤酸化。这一方面是因为花生是豆科作物，在其生长过程中通过根瘤菌的固

3 讨论

表 4 不同施肥处理对花生荚果和秸秆（干重）的影响（g/盆）

Table 4 Effects of different treatments on dry-weights of pods and stalks of peanuts

处理	第 1 季荚果	第 1 季秸秆	第 2 季荚果	第 2 季秸秆
U1	31.79 ± 1.29	27.57 ± 1.61	22.66 ± 1.12	22.84 ± 0.89
U1+S1	30.72 ± 1.05	22.84 ± 2.41	23.86 ± 1.04	25.52 ± 1.44
U1+S2	30.19 ± 1.76	25.30 ± 1.41	22.99 ± 0.60	23.98 ± 0.75
U1+S3	30.92 ± 1.97	24.06 ± 1.64	21.87 ± 0.74	22.69 ± 1.37
U1+C1	29.61 ± 0.59	24.66 ± 1.11	25.75 ± 1.03	22.83 ± 1.38
U1+C2	35.76 ± 1.59	24.32 ± 1.99	27.81 ± 0.81	23.58 ± 0.79
U1+C3	36.65 ± 0.98	25.84 ± 0.41	28.85 ± 0.55	22.40 ± 1.35
U1+P1	42.12 ± 1.01	35.72 ± 0.85	30.66 ± 0.65	30.39 ± 0.95
U1+P2	47.29 ± 0.65	40.50 ± 2.37	32.54 ± 0.49	33.06 ± 0.39
U1+P3	48.88 ± 0.96	46.61 ± 1.40	33.52 ± 0.11	32.32 ± 0.32
U2	39.23 ± 0.57	36.02 ± 1.05	21.39 ± 0.98	22.88 ± 1.17
U2+S1	36.95 ± 1.70	33.97 ± 1.16	20.84 ± 0.71	24.14 ± 0.82
U2+S2	38.20 ± 1.47	31.84 ± 0.52	22.25 ± 0.63	24.53 ± 0.75
U2+S3	38.78 ± 1.08	30.84 ± 0.36	22.50 ± 1.04	24.82 ± 0.20
U2+C1	35.29 ± 0.44	30.99 ± 0.77	24.40 ± 1.53	25.76 ± 1.77
U2+C2	38.68 ± 2.68	34.39 ± 1.39	27.33 ± 1.62	24.39 ± 0.66
U2+C3	38.27 ± 1.42	33.01 ± 1.40	28.47 ± 1.07	27.45 ± 0.71
U2+P1	44.20 ± 2.21	39.18 ± 3.25	26.17 ± 1.60	32.58 ± 3.18
U2+P2	46.64 ± 2.12	46.18 ± 1.52	29.68 ± 1.39	31.00 ± 2.28
U2+P3	47.75 ± 2.02	49.07 ± 1.69	36.27 ± 0.75	36.44 ± 2.56

N 作用从土壤中吸收的阳离子量大于阴离子量，引起土壤中质子增加而加剧土壤酸化^[14]。此外，花生生长过程中从土壤吸收的大量碱性物质会随着作物的收获而被带出土壤，这也将加剧土壤酸化^[15]。施用有机物料种植花生处理中，与不种花生的同期土壤相比，第 2 季土壤 pH 的降幅要小于第 1 季土壤，这可能跟有机物料在红壤中的分解速率有关。根据李忠佩等^[16]研究，有机物料在红壤中第 2 年仍然保持较高的分解速率。

大量研究表明，N 肥施用量在一定范围内，可以通过增强花生植株光合效率和呼吸作用，促进植株的生长发育，增加籽粒产量，但当施肥量继续增加，增产效果便不显著^[19-20]。尿素是红壤地区最常用的 N 肥，本文结果显示，高水平尿素施用在一定程度上增加了花生产量，但尿素的大量施用对花生荚果的增产效果要低于花生秸秆。此外，由于花生根瘤菌能直接固定大气中的游离 N 供自身生长所需，对 N 肥的需求相对减少，大量施用尿素还会加速土壤酸化^[15-17]。本试验中

稻草处理在低尿素水平下，花生产量要低于单施化肥的处理，而高尿素水平下相同处理中花生的产量高于低尿素水平处理，这可能跟尿素与稻草的配施比例有关。当施用 C/N 比较高的物料如稻草时，需要合理配施化学 N 肥减少 N 的固定，这样既能降低单施化学肥料对土壤的致酸作用，又能增加花生产量。

对土壤施入含碱量高的外源性有机物料，则可能有效提高土壤 pH，降低土壤中交换性 Al 的含量。试验结果表明猪粪和稻草对种花生土壤的酸度改良效果较好，且物料施用量越大其改良效果越明显，这可能跟物料中含有较多的碱基离子有关。根据 Tang 和 Yu^[8]研究，有机物料中有机盐即碱基离子含量与土壤 pH 增幅呈显著相关性；而豆科材料紫云英由于其含 N 量较高，加入土壤前期有机 N 的降解铵化会使土壤 pH 上升，但随着硝化作用的增强，土壤 pH 会迅速下降^[18]，因此紫云英对土壤酸化的改良效果较差甚至可能加速旱地红壤酸化。

- 删除的内容:
- 带格式的: 页眉, 两端对齐
- 删除的内容:
- 删除的内容:
- 带格式的: 分散对齐, 行距: 固定值 16 磅
- 带格式的: 行距: 固定值 2 磅
- 删除的内容:
- 删除的内容:
- 带格式的: 字体: (中文) 宋体, (国际) 宋体
- 带格式的: 字体: (中文) 宋体
- 带格式的: 字体: (中文) 宋体, (国际) 宋体
- 带格式的: 字体: (中文) 宋体
- 带格式表格

带格式的: 段落间距段前: 0 磅

带格式的: 列数: 2

带格式的: 缩进: 首行缩进: 0 字符

删除的内容: 3 讨论

花生是红壤地区大宗经济作物之一，盆栽试验观测结果表明种植花生会加速土壤酸化。这一方面是因为花生是豆科作物，在其生长过程中通过根瘤菌的固 N 作用从土壤中吸收的阳离子量大于阴离子量，引起

酸性土壤中的酸害和铝毒是制约植物生长的主要因素, 本研究结果显示土壤中交换性 Al 含量与土壤 pH 呈极显著负相关 ($r=0.8665$)。添加 3 种有机物料后, 猪粪对土壤酸度的改良效果最好, 土壤中交换性 Al 含量也相应地最低, 对花生的增产效果也最好, 这跟猪粪中含有较多盐基成分和养分有关。紫云英处理对土壤酸度改良效果不显著, 但施用紫云英一定程度上可以增加花生产量。

综上所述, 实际生产中应该针对豆科作物的致酸机理, 结合有机物料本身特性, 合理配施化学肥料, 以达到缓解土壤酸化的作用, 促进作物增产的目的。关于有机物料对花生种植土壤酸化的改良作用, 还需要进一步长期田间试验研究。

4 结论

与相同施肥处理条件不种花生的同一季土壤相比, 盆栽条件下种植 1 季和 2 季花生后土壤 pH 分别平均降低了 0.20 和 0.16, 土壤交换性 Al 则平均降低了 17.69% 和 33.80%。施用尿素可以增加花生产量, 但在一定程度上也会加剧土壤酸化。施用有机物料对土壤酸化有一定的改良效果, 不同物料对土壤酸化的改良效果顺序为: 猪粪 > 稻草 > 紫云英, 且有机物料施用量越大, 土壤 pH 的升幅越大, 土壤交换性 Al 含量越低。几种有机物料对花生的产量影响为: 猪粪 > 紫云英 > 稻草。

参考文献:

- [1] 许中坚, 刘广深, 俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化. 地质地球化学, 2002, 30(2): 74-78
- [2] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(1): 23-28
- [3] Binkley D, Driscoll CT, Allen HL. Acidic deposition and forest soils. New York: Springer-verlag, 1989: 1-12, 65-85
- [4] Reuss JO, Johnson DW. Acid deposition and the acidification of soils and waters. New York: Springer-verlag, 1986: 1-15
- [5] Cregan PD, Scott BJ. Soil acidification-an agricultural and environmental problem // partley JE, Reboertsom S. Agriculture and the Environmental Imperative. Melbourne: CSIRO publishing, 1998: 75-77

- [6] 徐仁扣, Coventry DR. 某些农业措施对土壤酸化的影响. 农业环境保护, 2002, 21(5): 385-388
- [7] Pocknee S, Sumner ME. Cation and nitrogen contents organic matter determine its soil liming potential. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61: 86-92
- [8] Tang C, Yu Q. Chemical composition of legume residues and initial soil pH determine pH change of a soil after incorporation of the residues. Plant and Soil, 1999, 215: 29-38
- [9] Wong MTF, Gibbs P, Nortcliff S, Swift RS. Measurement of the acid neutralizing capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. The Journal of Agricultural Science, 2000, 134: 269-276
- [10] Yan F, Schubert S, Mengel K. Soil pH changes during legume growth and application of plant material. Biology and Fertility of Soils, 1996, 23: 236-242
- [11] 张萍华, 陈秉初, 方克鸣, 陈刚强, 孙永飞. 小京生花生不同发病地块的土壤理化性质比较. 浙江农业科学, 2005(4): 295-297
- [12] Currie WS, Aber JD, McDowell WH, Boone RD, Magill AH. Vertical transport of dissolved organic C and N under long-term N amendments in pine and hardwood forests. Biogeochemistry, 1996, 35: 471-505
- [13] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [14] 方日尧. 不同豆科牧草对低缓冲土壤的酸化能力. 北京农学院学报, 1999, 14(3): 1-5
- [15] 许中坚, 刘广深, 刘维屏. 人为因素诱导下的红壤酸化机制及其防治. 专业环境保护, 2002, 21(2): 175-178
- [16] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控. 北京: 科学出版社, 2002: 152-157
- [17] 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤养分退化研究(II). 土壤通报, 1995, 26(6): 241-243
- [18] Xu JM, Tang C, Chen ZL. The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH. Soil Biology & Biochemistry, 2006, 38: 709-719
- [19] 孙彦浩. 花生高产栽培. 北京: 金盾出版社, 1998: 5-6
- [20] 万书波. 中国花生栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 2003: 257-275

带格式的: 字体: 11 磅

带格式的: 行距: 固定值 15.5 磅

带格式的: 字体: 宋体

带格式的

删除的内容：
 带格式的：页眉，两端对齐
 删除的内容：
 删除的内容：：

带格式的：行距：固定值
 12 磅

Effects of Planting Peanut and Applying Urea and Organic Materials on Acidity of Red Soil

LIAN Cheng-yan^{1,2}, WANG Xing-xiang¹, LI Yi-lin¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

删除的内容: School
 删除的内容: the

Abstract: To better understand soil-accelerated acidification process and its amelioration countermeasures, the effects of planting peanut and applying urea and several kinds of organic materials (rice straw, Chinese milk vetch, pig manure) on soil acidity were studied by pot experiment between 2007 and 2008. The results indicated that, compared with the soil in the treatments without planting peanut, soil pH in the treatments with planting peanuts decreased by 0.06 - 0.28 one year later and by 0.08 - 0.27 two years later, meanwhile the contents of soil exchangeable Al increased by 7.69% - 72.94% and 8.49% - 46.20%, respectively. Applying urea increased the yield of peanuts but accelerated soil acidification process. Compared with the soil in the treatments with low rate of urea, soil pH decreased by 0.02 - 0.10 one year later and by 0.01 - 0.16 two years later after applying high rate of urea. Organic materials had various ameliorating effects on soil acidity, with the order of pig manure > rice straw > Chinese milk vetch. Soil pH increased but the content of soil exchangeable Al decreased with the applying rate. Among the organic materials, pig manure increased peanut pod yield significantly, and the dry weight of peanut stalk increased by 11.12% - 59.28%, and the dry weight of peanut pod increased by 12.42% - 68.20% in two years, compared with treatments only with chemical fertilizers. Chinese milk vetch also slightly increased peanut yield but rice straw had an insignificant effect on peanut yield.

删除的内容：

Key words: Red soil, Peanut, Urea, Organic material, pH, Exchangeable Al

删除的内容：

页 681: [1] 删除的内容 xuxiaoyu 2010-09-18 15:32:00

表 1 有机物料的基本理化性质
Table 1 Physico-chemical properties of organic materials

物料种类	pH	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	C/N
稻草	8.41	432.4	10.89	39.7
紫云英	5.93	440.7	28.22	15.6
猪粪	8.08	368.4	24.36	15.1

注: pH 采用去离子水测定, 固液比 1:10^[12]。

页 681: [2] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [3] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:39:00

行距: 固定值 15 磅

页 681: [4] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 15:40:00

行距: 固定值 12 磅

页 681: [5] 带格式的 xuxiaoyu 2010-09-18 16:22:00

居中, 行距: 固定值 13 磅

页 681: [6] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体		
页 681: [6] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体		
页 681: [6] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体, (国际) 宋体		
页 681: [6] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
字体: (默认) Times New Roman, (中文) 宋体		
页 681: [7] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 16:22:00
居中, 段落间距段后: 4 磅, 行距: 固定值 13 磅		
页 681: [8] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 13 磅		
页 681: [9] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 13 磅		
页 681: [10] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 13 磅		
页 681: [11] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 13 磅		
页 681: [12] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 13 磅		
页 681: [13] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:40:00
行距: 固定值 12 磅		
页 681: [14] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:39:00
行距: 固定值 15 磅		
页 681: [15] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 15:41:00
行距: 固定值 12 磅		
页 681: [16] 删除的内容	xuxiaoyu	2010-09-18 15:32:00

页 681: [17] 带格式的	xuxiaoyu	2010-09-18 16:25:00
段落间距段后: 6 磅, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [18] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [19] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [20] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [21] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [22] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [23] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [24] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [25] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [26] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [27] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [28] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [29] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
居中, 行距: 固定值 12 磅		
页 681: [30] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00

居中, 行距: 固定值 12 磅

页 681: [31] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
------------------	----------	---------------------

居中, 行距: 固定值 12 磅

页 681: [32] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
------------------	----------	---------------------

居中, 行距: 固定值 12 磅

页 681: [33] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
------------------	----------	---------------------

居中, 行距: 固定值 12 磅

页 681: [34] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
------------------	----------	---------------------

居中, 行距: 固定值 12 磅

页 681: [35] 带格式的	xuxiaoyu	2010-10-05 17:32:00
------------------	----------	---------------------

居中, 行距: 固定值 12 磅