

# 施用热带豆科绿肥对砖红壤 pH 值的动态影响及其机制研究<sup>①</sup>

李艳<sup>1,2</sup>, 刘国道<sup>2</sup>, 张如莲<sup>2</sup>, 郇恒福<sup>2\*</sup>, 高玲<sup>2</sup>

(1 海南大学农学院, 海南儋州 571737; 2 农业部热带作物种质资源利用重点开放实验室,

中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南儋州 571737)

**摘要:** 利用尼龙网袋法分析了假木豆、尖叶木兰、铺地木兰、圆叶绒毛山蚂蝗、马占相思、圆叶舞草、合萌和密子豆 8 种热带绿肥施入砖红壤后, 土壤 pH 值的动态变化及 pH 值变化的作用机理。结果表明: 施用不同种类的豆科绿肥均能有效提高土壤的 pH 值, 灰碱含量高的绿肥植物增加 pH 值效果更好,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的变化与土壤 pH 值的变化趋势一致。

**关键词:** 绿肥; 砖红壤; 土壤 pH 动态变化; 作用机理

**中图分类号:** S154

酸性土壤包括红壤、砖红壤、黄壤、赤红壤和灰化土等, 据统计, 全世界大约有 40%~50% 的潜在可耕地属于酸性土壤<sup>[1-2]</sup>。我国的酸性土壤主要分布在热带和亚热带地区, 包括红壤、砖红壤和黄壤等主要类型。砖红壤主要分布于海南以及广东的雷州半岛, 目前海南岛大约 63.85% 的土壤为砖红壤<sup>[3]</sup>。酸性条件有利于某些特殊作物如茶树等的生长, 但对大多数作物的生长发育不利, 会造成作物减产、品质下降, 极端情况下, 会使作物不能正常生长发育。

一般施用改良剂如石灰或者有机肥等对酸性土壤有较好的改良效果。近年来的研究表明施用有机物料可增加土壤 pH 值<sup>[1-4]</sup>, 然而, 目前的研究大多针对施用有机物后作物生长的某一特定时期土壤 pH 值的变化, 而且不同的研究所得的结果不一致。有研究认为使用有机物能够有效增加 pH 值, 但也有相反效果报道<sup>[5-10]</sup>。造成这种差异的原因除了与所使用有机物的数量有关外, 还与有机物的种类以及观测土壤 pH 的时期有关<sup>[11]</sup>。因此, 本研究通过尼龙袋法研究了施用不同绿肥后土壤 pH 值的动态变化, 并对绿肥改变土壤 pH 值的作用机理进行探讨, 以阐明施用热带绿肥对土壤 pH 值的影响, 为酸性土壤的改良提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地自然概况

试验地设在中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所试验基地, 地处热带北缘, 19°30'N, 109°30'E, 海拔 149 m, 属热带季风气候类型, 夏秋季节高温多雨, 冬春季节低温干旱, 干湿季节分明。年均气温 23.7℃, 绝对高温 39.4℃, 极端高温 40.0℃, 绝对低温 6.2℃, 极端低温 1.8℃, 年均降水 1994.8 mm, 年日照 1996.2 h。试验地土壤为砖红壤, pH 4.59, 有机质 15.3 g/kg, 全氮 0.69 g/kg, 碱解氮 54.74 mg/kg, 有效磷 14.55 mg/kg, 速效钾 46.80 mg/kg, 交换性酸 1.14 mg/kg, 交换性铝 0.89 mg/kg,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  30.81 mg/kg,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  5.65 mg/kg。

### 1.2 试验设计

取试验地表土 (0~15 cm), 经风干后过 2 mm 筛, 备用; 各绿肥植物于野外采集后用百分之一天平现场称重, 记录鲜重和物候期, 装于细网状样品袋中, 置于通风处, 将所采集的绿肥鲜样以 105℃ 杀青 30 min 后置于 75℃ 烘干, 粉碎过 1 mm 筛, 装瓶备用。

本试验采用文启孝等<sup>[12]</sup>的尼龙套袋方法进行, 试验以不施绿肥作为对照, 施用假木豆 (处理 1)、尖叶木兰 (处理 2)、铺地木兰 (处理 3)、圆叶绒毛山蚂蝗 (处理 4)、马占相思 (处理 5)、圆叶舞草 (处理 6)、合萌 (处理 7)、密子豆 (处理 8) 分别作为 8 种处理, 不同种类植物的采样地点及物候期详见表 1。将风干土与烘干有机物料以 25:1 充分混合后装入尼龙网袋, 每处理设置 18 个重复, 于 2007 年 7 月 9 日将尼龙网

<sup>①</sup>基金项目: 国家自然科学基金项目 (40961016)、海南省自然科学基金项目 (410200)、现代农业产业技术体系建设专项基金项目以及公益性行业 (农业) 科研专项 (200903026-1) 资助。

\* 通讯作者 (hengfu.huan@163.com)

作者简介: 李艳 (1985—) 女, 海南万宁人, 硕士研究生, 主要从事绿肥资源的利用与土壤改良方面的研究。E-mail: liyan\_lk@126.com

表 1 8 种供试植物材料  
Table 1 Eight kinds of green manures

植物	拉丁名	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	采样地点经纬度
假木豆	<i>Dendrolobium triangulare</i>	1.74	1.44	9.04	23°49.855'N, 106°59.376'E
尖叶木兰	<i>Indigofera zollingeriana</i>	4.67	3.39	11.06	24°10.150'N, 111°41.955'E
铺地木兰	<i>Indigofera amblyantha Craib</i>	2.24	2.07	18.87	24°10.150'N, 111°41.955'E
圆叶绒毛山蚂蝗	<i>Desmodium gangeticum</i>	2.38	1.4	14.56	19°08.905'N, 108°50.896'E
马占相思	<i>Acacia mangium</i>	1.21	2.27	23.82	18°27.266'N, 109°18.008'E
圆叶舞草	<i>Codariocalyx gyroides</i>	2.85	2.46	14.64	19°30'N, 109°30'E
合萌	<i>Aeschynomene indica</i>	2.13	1.47	13.65	18°39.680'N, 109°41.344'E
密子豆	<i>Vicia cracca</i>	1.43	0.60	11.97	19°30'N, 109°30'E

袋埋入表土层深约 15 cm 处, 随机分布, 分别在埋田后的第 1、2、4、6、8 和 12 个月时取样, 每次取 3 袋用于观测相关项目的动态变化。所用尼龙网袋为市售的孔径为 0.115 mm 的纯尼龙网布制成, 规格为 10 cm × 13.5 cm, 该规格的尼龙网袋既能透水透气, 又可阻止作物根系侵入袋内, 使研究结果免受干扰, 试验地不进行水肥管理, 不种植任何作物, 定期除草。

### 1.3 样品分析与测定

植物样品采用  $H_2SO_4-H_2O_2$  消煮后, 浸提液中全氮用靛酚蓝比色法测定, 全磷采用钼锑抗比色法测定, 全钾采用火焰光度法测定; 各成分含量(质量分数)均以烘干样的重量(质量)为基数。土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量-外加加热法测定<sup>[13]</sup>; 土壤 pH 采用 1:2.5 土水比, 酸度计测定<sup>[14]</sup>, 灰碱测定采用 Jarvis 和 Robson<sup>[15]</sup>的方法测定, 将植物样于 70°C 烘箱中烘干, 过 0.5 mm 筛, 取 2.0 g 于坩埚(坩埚于 500°C 马弗炉中烘 4 h)中, 置于高温电炉上烘烤至无烟, 然后移入马弗炉中烘 60 min, 取出置于干燥器中冷却 30 min 后

于分析天平上称重, 记下灰分与坩埚总重, 取 0.05 g 于 25 ml 烧杯中, 用 1 mol/L HCl 溶解后于 80°C 水浴锅中水浴 30 min (此过程中为防止盐酸挥发, 用保鲜膜盖住), 冷却后以甲基红做指示剂用 0.25 mol/L NaOH 反滴定。土壤  $NO_3^-$ -N 和  $NH_4^+$ -N 用 2 mol/L KCl 溶液浸提, 取其上清液用全自动流动分析仪进行分析。

### 1.4 数据统计与分析

用 MS-Excel 进行数据的计算和处理, 用 SAS 8.2 统计软件中的方差分析程序对处理后的数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施用不同绿肥后土壤 pH 的动态变化

图 1 的结果表明, 虽然施用不同绿肥对土壤 pH 的影响均不同, 但变化规律基本一致: 施用植物材料均可增加土壤的 pH, 特别是在施用绿肥后的前两个月内, 土壤 pH 大幅增加, 第一个月增加幅度为 17.2%~43.5%, 第二个月增加的幅度为 6.4%~22.5%, 而后土

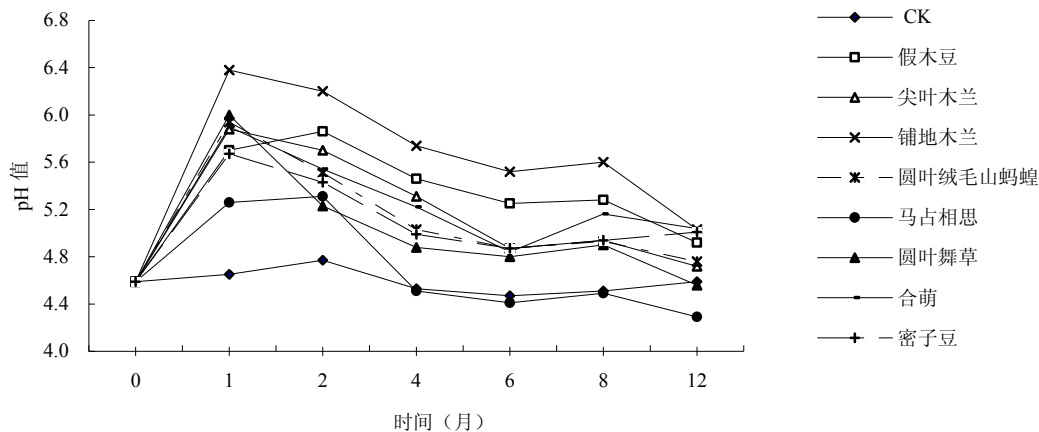


图 1 施用绿肥后土壤 pH 的动态变化

Fig. 1 Dynamics changes of pH after green manure application

壤 pH 值逐渐下降, 6 个月后, 土壤 pH 值基本保持平稳, 除了马占相思外, 施用其他绿肥 1 年后土壤 pH 均高于对照。在供试的 8 种绿肥中, 铺地木兰增加土壤 pH 的效果最好, 在 6 个时期内, 土壤 pH 分别比对照增加 43.5%、22.5%、19.1%、18.4%、13.7%、8.9%; 马占相思的改良效果最差, 仅在前两个月分别比对照增加 17.2% 和 6.4%, 而在接下来的 4 个时期, 土壤 pH 分别比对照降低了 0.9%、13.0%、5.6% 和 6.8%。对于对照, 由于所用土样采自表层, 含有一定量的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ , 埋田过程中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的硝化反应导致 pH 有所降低, 这也是目

前公认的  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  肥过量施用加速土壤酸化的原因<sup>[16]</sup>。

## 2.2 绿肥灰碱含量及其与土壤 pH 值的相关性

### 2.2.1 绿肥的灰碱含量

8 种豆科绿肥中, 尖叶木兰、铺地木兰、假木豆的灰碱含量较高, 而马占相思的灰碱含量最低 (表 2)。

### 2.2.2 绿肥的灰碱含量与土壤 pH 的相关性

表 3 的结果表明, 除了第一个月与最后一个月时的土壤 pH 外, 其他 4 个时期的土壤 pH 均与绿肥的灰碱含量之间显著正相关, 并且与第四个月时的灰碱含量相关关系最显著。

表 2 各绿肥的灰碱含量 (cmol/kg)

Table 2 Ash alkalinity contents of green manures

假木豆	尖叶木兰	铺地木兰	圆叶绒毛山蚂蝗	马占相思	圆叶舞草	合萌	密子豆
128.14	142.68	129.99	81.69	54.16	95.47	94.42	76.54

表 3 灰碱含量 (cmol/kg) 与施用绿肥不同时间时土壤 pH 的相关性

Table 3 Correlation between ash alkalinity content and soil pH value at different time of green manure application

项目	灰碱含量 (cmol/kg)	施用绿肥不同时间 (月) 时的土壤 pH					
		1	2	4	6	8	12
灰碱含量 (cmol/kg)	1						
施用绿肥	1	0.608	1				
不同时间	2	0.801*	0.683	1			
(月) 时的	4	0.859**	0.744*	0.974**	1		
土壤 pH	6	0.729*	0.751*	0.942**	0.939**	1	
	8	0.750*	0.726*	0.804*	0.905**	0.864**	1
	12	0.374	0.740*	0.454	0.590	0.634	0.814*

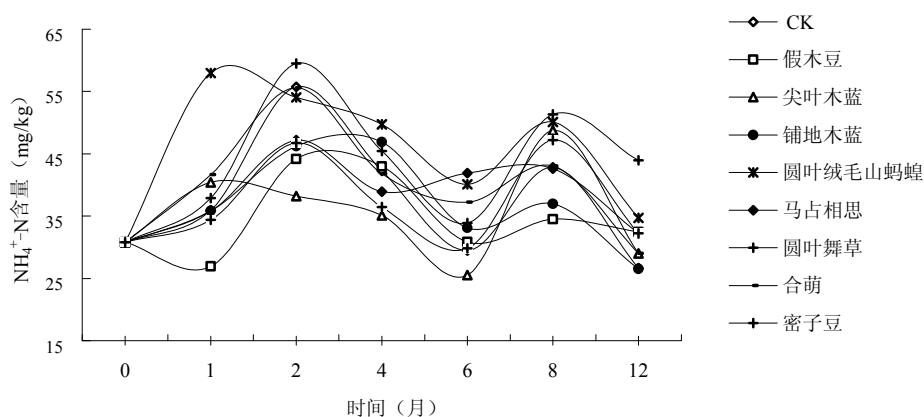
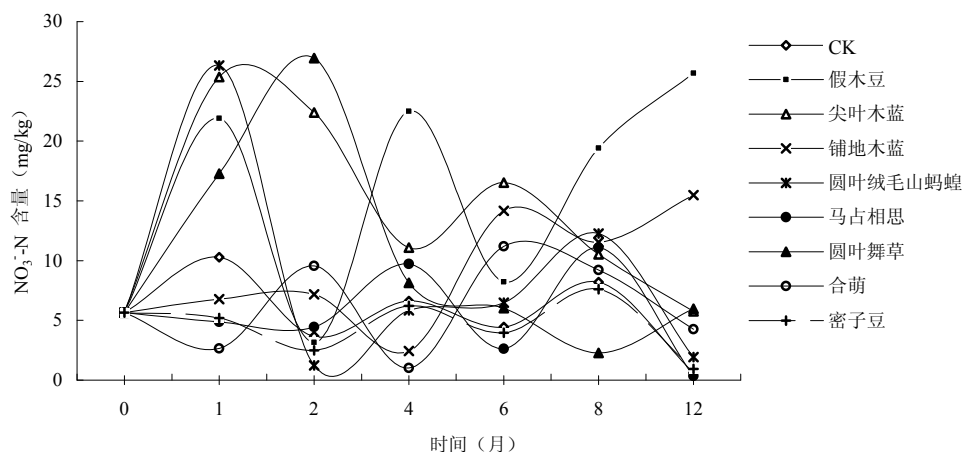
注: \* 表示相关性达到  $P < 0.05$  显著水平; \*\* 表示相关性达到  $P < 0.01$  显著水平,  $n = 3$ 。

## 2.3 施用豆科绿肥后铵态氮和硝态氮的变化

土壤与植物物料混合埋田过程中  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  和  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的变化趋势如图 2 和图 3 所示。从图 2 可以看出, 施用绿肥后,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量也随时间的变化而变化, 在绿肥施用后的 1~2 个月  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量增加, 然后开始缓慢下降, 6 个月后又开始上升, 8 个月时迎来第二个高峰值, 最后又开始下降。8 种绿肥中, 仅圆叶绒毛山蚂蝗在施用绿肥后的一个月时显著高于对照 ( $p < 0.05$ ), 在其他时间里, 各绿肥  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量均与对照无显著差异。7 种绿肥在各个时间里其  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  含量变化跨度较大, 最低的是铺地木蓝, 只有  $0.34 \text{ mg/kg}$ , 而最高的是圆叶舞草, 达到  $26.95 \text{ mg/kg}$ , 变化规律不明显。

## 3 讨论

灰碱含量与土壤 pH 值的相关性表明, 植物体内灰碱含量的高低是影响土壤 pH 的重要因素之一, 这与许多学者认为植物材料中的灰碱导致了土壤 pH 的上升<sup>[17-18]</sup>、估测植物材料提高土壤 pH 的最好指标是这些灰碱的含量, 两者相关性极高<sup>[19-20]</sup>的结果一致。灰碱实际上是植物体内的有机盐, Pocknee 和 Sumner<sup>[17]</sup>的研究结果显示, 有机钙盐与石灰的效果与机理是一样的, 葡萄糖酸钙 (Calcium gluconate) 与乙酸钠 (Calcium oxalate) 分解后转化为碳酸钙, 无论是这些有机盐, 还是碳酸钙, 当它们以等摩尔钙量施入土壤时, 其对土壤 pH 的影响完全一致, 有机钾盐与有机镁盐的转化, 也可以产生同样的效果。事实上,

图 2 施用绿肥后土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的动态变化Fig. 2 Dynamics changes of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  after green manure application图 3 施用绿肥后土壤  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的动态变化Fig. 3 Dynamics changes of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  after green manure application

有机盐通常都是弱酸盐，水解后会产生碱性反应。这是绿肥与土壤混合后土壤 pH 很快升高的主要原因。灰碱含量与施用绿肥后的第 2、4、6、8 个月时各土壤 pH 显著相关，并且以第 4 个月最显著，与 1、12 个月不相关的原因可能是：前 4 个月时，不论哪种作物在施用土壤后都已经基本分解而完毕，它们对于土壤酸度的影响在这个时期内最大，而在前一个月，由于作物的不同，分解的速率不尽一致，导致了它们对土壤酸度的影响并不完全取决于植物本身的灰碱含量；4 个月以后，由于绿肥在土壤中的残留量已经很少，它们对于土壤酸度的影响力降低，该时期内土壤酸度的变化受其他因素如温度、降雨等因素的影响逐渐增强，特别是一年后，绿肥对土壤酸度的影响已经很低，绿肥灰碱含量的高低已经不能有效反映在土壤酸度的变化上，此时，土壤的酸度变化更多是由于其他因素

引起，所以该时期的 pH 值与灰碱含量不相关。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  在埋田前期其含量快速增加，这是因为土壤的有机 N 发生了矿化作用形成  $\text{NH}_4^+$ ，这一过程消耗了质子，导致土壤中的 pH 上升，因此有机 N 矿化消耗质子也是实验前期土壤 pH 升高的原因之一（图 1）。随着埋田时间的增加，pH 值逐渐下降，说明土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在培养过程中发生了硝化反应，即  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  在土壤硝化细菌作用下氧化为  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。由于 1 mol  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  氧化释放 2 mol 质子，因此，这一过程导致土壤 pH 降低（图 1）。半年后  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  含量又开始增加，这可能是由于反硝化过程发生作用所导致。从图 2 可以看出，8 个处理土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  随埋田时间增加而增加，约在 1~2 月时达到最大。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的这一变化趋势与毛佳等<sup>[21]</sup>观测到的结果相似。图 3 中 8 种处理  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的变化趋势无规律可循，并且其含量远远低于

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  的含量, 这与毛佳等<sup>[21]</sup>采用室内培养实验获得的结果不同, 主要原因是  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  随降雨淋失。本文采用埋田的开放培养方式, 当  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  转化为  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  后, 由于土壤表面带净负电荷, 对阴离子产生静电排斥作用, 导致  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  比  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  更容易发生淋溶损失, 特别在降雨量较高时。

#### 4 结论

(1) 除马占相思外, 7 种豆科绿肥均对砖红壤 pH 值有较好的增加效果。施用绿肥后两个月内, 土壤 pH 值上升幅度最大, 2 个月 after 有所降低, 在随后的 6 个月基本保持稳定, 施用 1 年后, 绿肥对土壤 pH 仍有一定的提高效果。

(2) 不同的绿肥灰碱含量各异, 绿肥灰碱含量与土壤 pH 呈正相关, 说明灰碱含量是影响绿肥改良土壤酸度效果的重要因素。

(3)  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  的变化趋势与土壤 pH 值的变化趋势一致, 说明有机 N 矿化对提高土壤 pH 也有贡献。

#### 参考文献:

- [1] Liu JX, Peng SJ, Benjamin FV, Xu ZH, Zhang DQ, Zhou GY. *Erigeron annuus* (L.) Pers, as a green manure for ameliorating soil exposed to acid rain in southern China. *Soil Sediment*, 2008, 8(6): 452-460
- [2] Hunter DJ, Yapa LGG, Hue NV, Eaqub M. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid Oxisol in western Samoa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1995, 26(3/4): 375-388
- [3] 郇恒福, 刘国道, Berthelsane S, Webb M, 李运祥. 施用不同土壤改良剂对砖红壤酸度的影响. *热带作物学报*, 2009, 30(8): 1099-1104
- [4] 王宁, 李九玉, 徐仁扣. 三种植物物料对两种茶园土壤酸度的改良效果. *土壤*, 2009, 41(5): 764-771
- [5] Hoyt PB, Turner RC. Effects of organic materials added to very acid soils on pH, aluminium, exchangeable  $\text{NH}_4$  and crop yields. *Soil Science*, 1975, 119: 227-237
- [6] Hue NV. Correcting soil acidity of a highly weathered Ultisol with chicken manure and sewage sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1992, 23: 241-264
- [7] Noble AD, Zenneck I, Randall PJ. Leaf litter ash alkalinity and neutralisation of soil acidity. *Plant and Soil*, 1996, 179: 293-302
- [8] Asghar M, Kanehiro Y. Effects of sugarcane trash and pineapple residue on soil pH, redox potential, extractable Al, Fe and Mn. *Tropical Agriculture*, 1980, 57: 245-258
- [9] Iyamuremye F, Dick RP, Baham J. Organic amendments and phosphorus dynamics: Phosphorus chemistry and sorption. *Soil Science*, 1996, 161: 426-435
- [10] Wong MTF, Gibbs P, Nortcliff S, Swift RS. Measurement of the acid neutralising capacity of agroforestry tree prunings added to tropical soils. *The Journal of Agricultural Science*, 2000, 134(3): 269-276
- [11] Haynes RJ, Mokolobate MS. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: A critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2001, 59: 47-63
- [12] 文启孝编著. 土壤有机质研究法. 北京: 农业出版社, 1984
- [13] 南京农业大学主编. 土壤农化分析. 南京: 南京大学出版社, 1981
- [14] 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
- [15] Jarvis SC, Robson AD. The effects of nitrogen nutrition of plants on the development of acidity in western Australian soils. II Effects of differences in cation/anion balance between plant species grown under non-leaching conditions. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1983, 34: 355-365
- [16] 程燕, 周军英, 单正军. 国内外农药生态风险评估研究综述. *农村生态环境*, 2005, 21(3): 62-66
- [17] Pocknee S, Sumner ME. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming Potential. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 86-92
- [18] 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
- [19] Tang C, Yu Q. Impact of chemical composition of legume residues and initial soil pH on pH change of a soil after residue incorporation. *Plant Soil*, 1999, 215: 29-38
- [20] Xu JM, Tang C, Chen ZL. Chemical composition controls residue decomposition in soils differing in initial pH. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38: 544-552
- [21] 毛佳, 徐仁扣, 黎星辉. 氮形态转化对豆科植物物料改良茶园土壤酸度的影响. *生态与农村环境学报*, 2009, 25(4): 42-45, 99

## Dynamic Effect on Latosol pH Value After Leguminous Green Manure Application and Relevant Mechanism

LI Yan<sup>1,2</sup>, LIU Guo-dao<sup>2</sup>, ZHANG Ru-lian<sup>2</sup>, HUAN Heng-fu<sup>2</sup>, GAO Ling<sup>2</sup>

(1 College of Agronomy, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China; 2 Key Laboratory of Tropical Crops Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture, Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou, Hainan 571737, China)

**Abstract:** The nylon bag method was used to study the dynamic effects of the eight tropical leguminous green manure applications on the pH value of latosol. The results showed that pH increased after green manure application and the best effect of decreasing soil acidity all appeared in the initial two months after the application of green manures. The higher ash alkalinity content, the better to decrease the soil acidity,  $\text{NH}_4^+$ -N content and soil pH changed in the similar tendency.

**Key words:** Green manures, Latosol, Soil pH value, Relevant mechanism