

不等量翻压紫云英处理下黄泥田土壤磷组分的变化

刘彩玲¹, 王 瑞², 李 昱¹, 王利民¹, 何春梅^{1*}

(1. 福建省农业科学院土壤肥料研究所, 福建 福州 350013;

2. 湖北省当阳市农业局, 湖北 当阳 444100)

摘 要: 黄泥田是我国南方主要的中低产水稻土类型之一, 采用定位试验的方法, 研究了单施化肥 (NPK)、化肥 + 紫云英 (12 000、24 000、36 000、48 000 kg · hm⁻²) 5 个处理下土壤磷组分的变化。结果表明, 与单施化肥相比, 紫云英翻压与化肥配施的土壤有效磷增幅达 10.23% ~ 22.69%, 全磷含量增加 3.09% ~ 13.31%, 以化肥配施 24 000 kg · hm⁻² 紫云英 (NPK+MV2) 增幅最为明显; 其中, 有机磷占总磷含量的 36.52% ~ 43.14%, 无机磷占 56.86% ~ 63.48%; 无机磷组分主要以 Fe-P 和 O-P 为主, 不等量紫云英翻压与化肥配施土壤无机磷组分含量与 NPK 相比都有所增加, 当翻压量小于 NPK+MV2 处理时, 增加幅度均表现为显著水平, 大于 NPK+MV2 处理时, 则差异不显著; 紫云英翻压与化肥配施处理水稻产量较 NPK 增产达 12.51% ~ 23.01%, 以 NPK+MV2 处理增产最为明显, 增产 1 345.7 kg · hm⁻²。表明在黄泥田中紫云英翻压配施化肥比单施化肥能提高土壤磷组分及其含量, 水稻产量与土壤磷含量密切相关, 以翻压紫云英 24 000 kg · hm⁻² 与化肥配施为较适宜的施肥模式。

关键词: 黄泥田; 紫云英; 化肥; 磷含量; 磷组分

黄泥田是一种典型渗育型水稻土, 广泛分布于南方省份, 福建黄泥田面积占全省水田的 40%^[1]。黄泥田多数呈现为酸性至弱碱性, 不利于土壤中养分元素的保存, 特别是易造成有效磷的流失。磷是主要营养元素, 参与作物生长过程中多种化合物组分的合成, 包括能量转化、养分的运输等过程, 对提高作物抗逆性和适应能力同样具有重要的作用^[2]。传统耕作施肥方式很大程度上会降低磷的利用率, 试验发现其当季利用率一般只有 10% ~ 25%, 剩余的 75% ~ 90% 则被土壤固定, 不能被作物利用。黄泥田独特的理化性质使得土壤中磷素很容易被铁、铝固定, 更不易被作物所吸收利用^[3-5]。豆科作物的根系分泌物能够提高土壤磷素有效性, 促进植物活化吸收难溶性磷酸盐的能力^[6]。紫云英属于越年生的豆科绿肥, 多在秋季套播于晚稻田中, 作为基肥, 是中国稻田最主要的绿肥作物。兰忠明等^[7]研究表明紫云英根系可分泌大量的有机酸, 这些酸

有利于可溶性磷的溶解活化, 提高土壤磷的有效性。此外, 研究还发现施用有机肥不仅可增加土壤总磷库、有机磷库和无机磷库, 而且影响着土壤无机和有机形态磷的组成和分布^[8-12]。为此, 本文基于 3 年定位肥料试验, 探讨翻压紫云英绿肥对土壤磷库及其形态影响, 以期深入认识黄泥田土壤的磷库演变与紫云英绿肥的关系, 为紫云英合理翻压量提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验设在福建省农业科学院研究野外观测站红壤肥力与生态环境福州试验站长期定位试验田, 位于闽侯县白沙镇溪头村, 始于 2013 年。成土母质为低丘红壤坡积物, 土壤类型为黄泥田。土壤基础理化性质: pH 值 4.88, 有机质 21.3 g · kg⁻¹, 碱解氮 (N) 134.1 mg · kg⁻¹, 有效磷 (P) 24.9 mg · kg⁻¹, 速效钾 (K) 45.2 mg · kg⁻¹。紫云英品种为“闽紫 7 号”, 其鲜草干物质的养分含量为全氮 (N) 2.62%, 全磷 (P) 0.31%, 全钾 (K) 3.69%, 有机质 59.50%。水稻试验品种为“宜香优 2292”。

1.2 试验设计

在施用等化肥条件下, 根据绿肥紫云英不同翻压量设计 5 个处理, 即: ①不翻压紫云英, 100%

收稿日期: 2019-02-12; 收稿日期: 2019-03-29

基金项目: 福建省农业科学院青年人才创新基金 (YC2018-4); 福建省农业科学院对外合作项目 (DEC201821215); 福建省农业科学院生态农业创新团队 (STIT2017-1-9)。

作者简介: 刘彩玲, (1991-), 女, 福建惠安人, 研究实习员, 硕士, 主要从事水田绿肥研究。E-mail: 553036876@qq.com。

通讯作者: 何春梅, E-mail: fzhem@aliyun.com。

化肥 (NPK); ②翻压紫云英 $12\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 100% 化肥 (NPK+MV1); ③翻压紫云英 $24\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 100% 化肥 (NPK+MV2); ④翻压紫云英 $36\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 100% 化肥 (NPK+MV3); ⑤翻压紫云英 $48\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ + 100% 化肥 (NPK+MV4)。每处理 3 次重复, 随机区组排列, 每小区面积 $3\text{ m} \times 6\text{ m} = 18\text{ m}^2$ 。各小区除紫云英翻压量不一致外, 其他农业措施一致。化肥每公顷施氮 (N) 120 kg, N:P₂O₅:K₂O=1:0.4:0.7, 氮肥用尿素, 磷肥用过磷酸钙, 钾肥用氯化钾。基肥施 60%, 分蘖肥施 25%, 穗肥施 15%。

1.3 土壤样品采集与处理方法

于 2016 年 10 月, 在水稻收割后按 S 形多点分别采集 0 ~ 20 cm 土壤混合样。在自然条件下风干后按测定项目要求研磨过筛, 分别测定土壤各磷素形态含量。

1.4 测定方法

土壤无机磷的分组采用顾益初等^[13]的土壤有机磷分组方法, 全磷用碱熔-钼锑抗比色法, 有效

磷用 Olsen 法测定^[14], 全磷与无机磷差值即为有机磷。

1.5 数据处理

利用 Excel 2003 与 Origin 8 软件进行数据处理, 利用 SPSS 21.0 中的 one-way ANOVA 进行单因素方差检验。

2 结果与分析

2.1 不同紫云英翻压量对土壤有效磷、全磷含量的影响

土壤有效磷是土壤供磷能力的指标, 有效磷含量越高, 供磷能力就越强。由图 1 可知, 不同紫云英翻压量与化肥配施土壤有效磷含量较单施化肥处理均有较明显的积累, 翻压紫云英与化肥配施处理间有效磷含量大小顺序为 NPK+MV2>NPK+MV3>NPK+MV1>NPK+MV4, 较 NPK 处理增幅分别达 22.69%、15.53%、12.82% 和 10.23%。其中 NPK+MV1、NPK+MV2、NPK+MV3 处理均表现为显著差异。

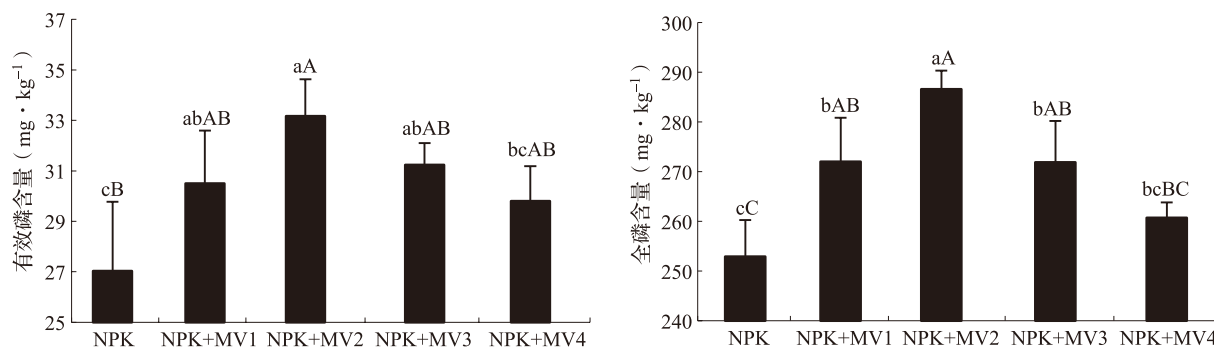


图 1 紫云英翻压对土壤有效磷、全磷含量的影响

注: 不同大小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平, 下同。

土壤全磷则是土壤磷素总体水平的体现, 能反映土壤磷库大小和潜在的供磷能力。从图 1 中可以看出, 土壤全磷变化与有效磷整体变化趋势相似。翻压紫云英与化肥配施处理土壤全磷含量分别为 272.02、286.56、271.86、260.71 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 与 NPK 处理相比增幅分别为 7.56%、13.31%、7.50%、3.09%, 其中 NPK+MV1、NPK+MV2、NPK+MV3 处理均达到极显著水平。

此外, 从图中还发现紫云英翻压量少于 NPK+MV2 处理, 土壤有效磷和全磷含量呈增长趋势, 并且在 NPK+MV2 增长幅度最大; 翻压量超过 NPK+MV2 处理后, 随着紫云英翻压量的增多, 有效磷和

全磷含量呈现递减趋势。由此可见, 在黄泥田中, 翻压紫云英与化肥配施能够提高黄泥田土壤磷库, 并且紫云英较适宜的翻压量为 $24\,000\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.2 不同紫云英翻压量对土壤无机磷组分含量的影响

土壤无机磷是植物所需磷的主要来源^[15]。表 1 结果表明, 在黄泥田中翻压紫云英与化肥配施可以有效提高黄泥田中无机磷的含量, 与 NPK 处理相比, 土壤中的无机磷总量 NPK+MV1 处理增长了 $26.38\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、NPK+MV2 处理增长了 $30.51\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、NPK+MV3 处理增长了 $8.29\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、NPK+MV4 处理增长了 $6.19\text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 以 NPK+

表 1 不等量翻压紫云英处理下土壤无机磷组分含量的变化

处理	Al-P (mg · kg ⁻¹)	Al-P/TIP (%)	Fe-P (mg · kg ⁻¹)	Fe-P/TIP (%)	O-P (mg · kg ⁻¹)	O-P/TIP (%)	Ca-P (mg · kg ⁻¹)	Ca-P/TIP (%)	TIP (mg · kg ⁻¹)
NPK	5.22cB	3.57	87.08cC	59.52	46.80bB	31.99	7.20cB	4.92	146.30cA
NPK+MV1	8.97aA	5.19	94.95bB	54.98	60.44aA	35.00	8.33abAB	4.82	172.68abA
NPK+MV2	7.94abAB	4.49	103.41aA	58.49	56.78aA	32.11	8.68aA	4.91	176.81aA
NPK+MV3	6.01bcAB	3.89	94.73bB	61.28	46.03bB	29.78	7.82bcAB	5.06	154.59bcA
NPK+MV4	6.62abcAB	4.34	90.78bcBC	59.53	47.69bB	31.27	7.41cB	4.86	152.49 bcA

注: TIP—无机磷总量。下同。不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。下同。

MV2 处理增长幅度最大,增加了 20.85%。此外,黄泥田土壤中无机磷含量最高的是 Fe-P,占无机磷总量的 54.98% ~ 61.28%;其次是 O-P,为 29.78% ~ 35.00%;Al-P 和 Ca-P 含量占无机磷总量相似。翻压量小于 NPK+MV2 处理时,无机磷组分含量均显著增加;翻压量大于 NPK+MV2 处理,土壤中无机磷的组分含量呈现下降的趋势,与 NPK 处理相比又略有提高,但差异不显著。综上所述,黄泥田中土壤无机磷组分主要以 Fe-P 和 O-P 为主;翻压紫云英与化肥结合能够提高土壤中无机磷含量。以 24 000 kg · hm⁻² 翻压量为较适宜翻压量。

2.3 不同紫云英翻压量对土壤无机磷、有机磷含量的影响

从表 2 中可知,不同紫云英翻压量处理土壤中的总磷含量为 252.90 ~ 286.56 mg · kg⁻¹,有机磷占总磷含量的 36.52% ~ 43.14%,无机磷占 56.86% ~ 63.48%。这表明了本试验中,黄泥田土壤磷素以无机磷为主。此外,紫云英翻压量少于 NPK+MV2 处理,土壤有机磷含量占全磷较少,无机磷较多;翻压量大于 NPK+MV2 处理,则为土壤无机磷含量所占比例较小,有机磷较多。这说明在土壤磷素组成中,土壤无机磷和有机磷之间处于一个动态平衡的过程,存在相互影响和制约的关系。

表 2 不等量翻压紫云英处理下土壤有机磷、无机磷以及总磷含量的变化

处理	TOP		TIP		TP
	含量 (mg · kg ⁻¹)	百分比 (%)	含量 (mg · kg ⁻¹)	百分比 (%)	含量 (mg · kg ⁻¹)
NPK	106.60	42.15	146.30	57.85	252.90
NPK+MV1	99.34	36.52	172.68	63.48	272.02
NPK+MV2	109.75	38.30	176.81	61.70	286.56
NPK+MV3	117.27	43.14	154.59	56.86	271.86
NPK+MV4	108.22	41.51	152.49	58.49	260.71

注: TOP—有机磷总量, TP—全磷。

2.4 不同紫云英翻压量对单季水稻产量的影响

土壤有效磷较容易被植物吸收利用,与作物生长关系极为密切。将土壤有效磷与单季稻产量拟合发现(图 2),单季稻产量与有效磷呈显著线性相关,说明在南方黄泥田上,随着土壤有效磷水平的提高,水稻产量可呈增加趋势。

从表 3 可以看出,翻压紫云英与化肥配施均能提高单季稻产量,以 NPK+MV2 处理水稻产量最高,NPK+MV3 处理次之,NPK+MV4 处理第 3,NPK+MV1 处理第 4,较 NPK 分别增产 1 345.7、882.6、793.1 和 731.3 kg · hm⁻²,增产率分别为

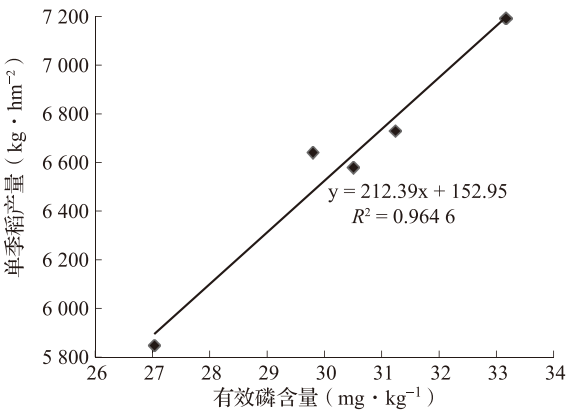


图 2 土壤有效磷含量与作物产量的相关性

表3 不等量翻压紫云英处理下水稻产量的变化

处理	单季稻产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	增产率 (%)
NPK	5 847.7 $\pm$ 605.7b	—
NPK+MV1	6 579.0 $\pm$ 405.9ab	12.51
NPK+MV2	7 193.4 $\pm$ 634.8a	23.01
NPK+MV3	6 730.3 $\pm$ 590.4ab	15.09
NPK+MV4	6 640.8 $\pm$ 343.1ab	13.56

23.01%、15.09%、13.56% 和 12.51%。NPK+MV2 处理水稻产量增幅最大, 差异显著。这些结果说明, 在黄泥田中, 翻压紫云英与化肥配施模式可以提高单季稻产量, 并且在此模式施肥条件下, 紫云英较宜翻压量为 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

3 结论与讨论

翻压紫云英与化肥配施, 土壤有效磷和全磷含量都有显著的增加, 并且两者的积累趋势相一致, 其中土壤有效磷含量增长了 10.23% ~ 22.69%, 土壤全磷含量增长了 3.09% ~ 13.31%。翻压量为 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 土壤有效磷和全磷含量比单施化肥处理差异均为极显著, 这与曾希柏^[16]、史吉平等^[17]、赵少华等^[18]的试验结果相似, 即化肥与有机肥配施影响土壤磷库的积累, 是培肥土壤的有效措施。当紫云英翻压量少于 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 土壤中磷总量显著提高, 主要原因可能是: 第一, 紫云英根部具有聚磷能力, 作为绿肥还田, 再经过腐解、积累, 增加了磷素的投入量, 土壤磷总量提高^[19]。第二, 紫云英根系分泌的磷酸酶, 能够促进土壤潜在磷的生物转化。通过提高土壤中磷的解吸速率的方式, 从而减少了土壤对磷的吸附固定^[20]。翻压量大于 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 随着紫云英翻压量的增多, 土壤磷含量呈现下降趋势。经研究发现, 翻压紫云英对土壤有效磷的影响时效较短, 一般在翻压后 20 d 内, 此后由于土壤胶体对有效磷具有调节作用, 使土壤速效磷含量保持在相对稳定的区域内。此外, 若翻压量过多, 有机酸只在植株体间迅速增加, 与土壤真正接触的并不多, 对难溶性磷活化的可能性降低^[21]。本研究结果表明, 黄泥田土壤磷含量并不是随着紫云英翻压量增多呈增长趋势, 翻压紫云英 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与化肥配施是较适宜的施肥模式。

本研究结果表明, 在南方黄泥田土壤中的磷素以无机磷为主, 根据紫云英翻压量的不同, 无

机磷与有机磷占总磷比例不相同。土壤有机磷占全磷比率的变化范围为 36.52% ~ 43.14%, 无机磷为 56.86% ~ 63.48%, 两者比率的变化不大, 这说明在土壤磷素组成中, 土壤无机磷和有机磷之间存在着动态平衡, 共同影响着土壤磷库。关于长期施肥对土壤有机磷和无机磷占全磷百分比的影响的报道并不一致, 林诚等^[22]研究发现在黄泥田中长期施肥无机磷相对量表现为下降, 有机磷比重则表现为提高。可能是由于施肥方式、施肥量及肥料的种类等多种因素影响了二者所占的比例。此外, 紫云英翻压后, 在厌氧条件下, 通过微生物的分解作用, 有机磷转化成无机磷^[23]。因此, 土壤磷素组分中各形态磷之间互相迁移转化, 并保持动态平衡。

就黄泥田中无机磷各形态来看, Fe-P 含量最高, 占无机磷总量的 54.98% ~ 61.28%; 其次 O-P 为 29.78% ~ 35%。可见, 在黄泥田中无机磷组分以 Fe-P、O-P 为主, 这与林诚等^[22]研究结果一致。大多数研究认为 Ca-P、Al-P、Fe-P 是植物能利用的磷素形态, O-P 属于闭蓄态磷, 是无效磷。在本次研究中发现 O-P 所占比例较高, 戚瑞生等^[24]、韩晓日等^[25]、卜玉山等^[26]研究发现 O-P 形态磷素与有效磷含量表现为显著正相关, 说明这些形态的磷对有效磷的贡献可能是间接的, 是通过影响其他形态的磷来影响有效磷的。

从本试验结果可知, 在黄泥田中进行有机无机配施后能获得比单施化肥的水稻产量高, 以化肥配施翻压 $24\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 紫云英, 水稻增产效果最明显, 增产 $1\ 345.7\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产率达 23.01%。分析其主要原因: 第一, 紫云英压青还田配施化肥既满足了水稻对速效养分的吸收利用, 又利用了紫云英缓慢释放养分的特点, 持续不断地提供水稻生长所需养分, 有利于水稻的营养生长和生殖生长, 达到提高水稻产量的效果^[27-28]。第二, 水稻吸收的磷主要来自于 Fe-P、Al-P^[29], 综上所述可知, 不同紫云英翻压量与化肥配施土壤中 Fe-P 含量与单施化肥相比, 差异达到了显著水平, 这可能是水稻增产的原因之一。此外, 并不是紫云英翻压量越多, 水稻产量就越高。所以研究连续施肥下以及施用有机肥对土壤磷素水平及形态分布的影响, 确定合理的施肥方案, 因地制宜, 对维持和提高土壤的供磷能力, 提高作物产量具有重要意义。

参考文献:

- [1] 李兆芬. 黄泥田土、肥力初探 [J]. 贵州农业科学, 1994, (5): 34, 37.
- [2] 郑春荣, 陈怀满, 周东美, 等. 土壤中积累态磷的化学耗竭 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (5): 559-563.
- [3] 曾希柏, 李菊梅, 徐明岗, 等. 红壤旱地的肥力现状及施肥和利用方式的影响 [J]. 土壤通报, 2006, 37 (3): 434-443.
- [4] 刘建玲, 张福锁, 杨奋翮. 北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6 (2): 179-186.
- [5] Guo S L, Dang T H, Hao M D. Phosphorus changes and sorption characteristics in a calcareous soil under long-term fertilization [J]. Pedosphere, 2008, 18 (2): 248-256.
- [6] 梁玉英, 黄益宗, 孟凡乔, 等. 有机酸对菜地土壤磷素活化的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25 (5): 1171-1177.
- [7] 兰忠明, 林新坚, 张伟光, 等. 缺磷对紫云英根系分泌物产生及难溶性磷活化的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (8): 1521-1531.
- [8] Yang C M, Yang L Z, Lee J H. Organic phosphorus fractions in organically amended paddy soils in continuously and intermittently flooded conditions [J]. Journal of Environment Quality, 2006, 35 (4): 1142-1150.
- [9] 王伯仁, 李东初, 黄晶. 红壤长期肥料定位试验中土壤磷素肥力的演变 [J]. 水土保持学报, 2008, 22 (5): 96-101.
- [10] 黄绍敏, 宝德俊, 皇甫湘荣, 等. 长期施肥对潮土土壤磷素利用与积累的影响 [J]. 中国农业科学, 2006, 39 (1): 102-108.
- [11] 周宝库, 张喜林. 长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11 (2): 143-147.
- [12] 谢林花, 吕家珑, 张一平, 等. 长期施肥对石灰性土壤磷素肥力的影响. II 无机磷和有机磷 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (5): 790-794.
- [13] 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分级的测定方法 [J]. 土壤, 1990, 22 (2): 101-102.
- [14] 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.
- [15] 沈善敏. 中国土壤肥力 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [16] 曾希柏. 有机-无机肥配比对稻田土壤肥力的影响研究 [J]. 西南农业大学学报, 1996, 18 (3): 262-267.
- [17] 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期定位施肥对土壤腐殖质含量的影响 [J]. 土壤肥料, 2002, (1): 15-19.
- [18] 赵少华, 宇万太, 张璐, 等. 东北黑土有机磷矿化过程的研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (10): 1858-1861.
- [19] 向万胜, 黄敏, 李学恒. 土壤磷素的化学组分及其植物有效性 [M]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10 (6): 663-670.
- [20] 林多胡, 顾荣申. 中国紫云英 [M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2000.
- [21] 王建红, 曹凯, 张贤. 紫云英腐解对土壤速效养分动态变化和单季稻产量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2013, 25 (3): 587-592.
- [22] 林诚, 王飞, 何春梅, 等. 长期不同施肥对南方黄泥田磷库及其形态的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 541-549.
- [23] Miller W T, Boland G S, Rowe G T, et al. Sediment oxygen consumption and benthic nutrients fluxes on the Louisiana continental shelf: A methodological comparison [J]. Estuaries, 1994, 17 (4): 809-815.
- [24] 戚瑞生, 党廷辉, 杨绍琼, 等. 长期轮作与施肥对农田土壤磷素形态和吸持特性的影响 [J]. 水土保持学报, 2012, 49 (6): 1137-1146.
- [25] 韩晓日, 马玲玲, 王晔青, 等. 长期定位施肥对棕壤无机磷形态及剖面分布的影响 [J]. 土壤学报, 2007, 21 (4): 51-55.
- [26] 卜玉山, 梁美英, 张广峰, 等. 不同石灰性土壤磷素形态及其有效性差异 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 2011, 31 (3): 193-199.
- [27] 黄功标. 紫云英连续3年压青还田对福建稻区土壤肥力及水稻产量的影响 [J]. 福建农业学报, 2013, 28 (8): 796-801.
- [28] 吕玉虎, 郭晓彦, 李本根, 等. 翻压不同量紫云英配施化肥对土壤肥力和水稻产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (5): 94-98.
- [29] Magid J. Vegetation effects on phosphorous fractions inset-aside soils [J]. Plant and Soil, 1993, 149: 111-119.

Changes in soil phosphorus contents induced by milk vetch green manure

LIU Cai-ling¹, WANG Rui², LI Yu¹, WANG Li-min¹, HE Chun-mei^{1*} (1. Institute of Soil and Fertilizer, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou Fujian 350013; 2. Dangyang Bureau of Agriculture, Hubei Province, Dangyang Hubei 444100)

Abstract: Yellow-clayed paddy field is one of the soil types with medium or low crop yields. The changes in soil contents of phosphorus composition was studied by site-specific experiment, five treatments were set up: chemical fertilizer (NPK), chemical fertilizer plus four application rates of *Astragalussinicus* L. (12 000, 24 000, 36 000, 48 000 kg · hm⁻²). The results showed that the contents of available phosphorous (AP) and total phosphorous (TP) increased in fertilization plus *Astragalussinicus* L. treatment. Compared with NPK, the contents of AP and TP increased by 10.23% ~ 22.69% and 3.09% ~ 13.31% respectively, the highest growth rate was found in the treatment of chemical fertilizer plus 24 000 kg · hm⁻²

[下转第70页]