

文章编号: 1673-9868(2008)05-0116-06

不同轮作方式下高原山地红壤肥力变化特征^①

官会林¹, 段庆钟², 沈有信³

1 云南师范大学 能源与环境科学学院, 昆明 650092; 2 云南省土壤肥料工作站, 昆明 650034;
3 中国科学院 西双版纳热带植物园, 昆明 650223

摘要: 不同轮作方式对土壤肥力具有重大影响. 以未开垦利用的荒草地(A)为对照, 研究不同轮作方式对高原山地红壤肥力的影响. 结果表明: 长期实行玉米与冬季绿肥轮作(E)对改善土壤物理性能、提高土壤有机质含量和养分, 优于单季玉米种植后冬闲地(B)、玉米与冬季小麦轮作地(C)及玉米与冬季绿肥套种(D). E地与A, B, C, D地比较: 在0~20 cm土层内, 土壤有机质含量分别提高24.92, 29.22, 32.37, 6.09 g/kg; 碱解N含量分别提高54.32, 64.81, 73.71, 11.14 mg/kg; 速效P含量分别提高6.06, 5.81, 7.43, 1.12 mg/kg; 速效K含量分别提高53.53, 66.69, 84.11, 12.48 mg/kg. 因此, 科学利用冬季绿肥轮作, 是高原山地红壤改良培肥、抑制土壤肥力退化进程的|项有效措施.

关键词: 轮作方式; 山地红壤; 肥力特征

中图分类号: S344 1; S155 2⁺ 5 文献标识码: A

高原山地红壤主要分布于云南境内的丘陵山区和半山区地区, 红壤系列土壤占全省总土地面积的70%, 是云南省主要的土地资源^[1]. 长期以来山地红壤有机质含量低、养分贫瘠、保水肥性能差等障碍因素影响, 严重制约着山区旱作农业的发展. 针对山地红壤理化性能及改良培肥方面的研究, 国外报道甚少, 国内较多地研究报道了我国东南丘陵红壤区的土地利用方式、耕作方式、土壤侵蚀及退化机制与特征等方面的研究成果^[2-5]. 而针对高原山地红壤区不同作物轮作方式下的土壤养分变化特征及改良培肥方面的研究尚十分少见. 由于高原气候及成土母质影响的差异, 高原山地红壤的土壤性能特征与我国东南丘陵区红壤有一定差异^[1], 因此土壤管理及利用方式也各有所异.

不同作物类型及种植制度下, 红壤旱地的肥力亦呈现出不同的变化趋势^[6-8]. 合理的土地利用可以改善土壤结构, 增强土壤对外界环境变化的抵抗力^[9], 不合理的土地利用会导致土壤质量下降^[10], 增强土壤侵蚀^[11]. 因此, 本文根据作者多年试验研究和调查, 选择10年以上的4种耕作利用方式, 研究分析了土壤理化性能的变化特征, 为合理利用土地、改良培肥山地红壤、建立科学的轮作制, 提供科学依据及指导作用.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区选择在云南省石林彝族自治县的路美邑乡(103°11'~103°30'E, 24°40'~24°55'N), 区域海

① 收稿日期: 2007-04-20
基金项目: 农业部平衡施肥项目及云南省耕地生产力调查项目资助(2004-2005).
作者简介: 官会林(1964), 男, 云南昆明人, 副教授, 主要从事土壤与农业生态方面的研究.
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

拔 1 800~ 1 850 m, 年均温 15. 9 ℃, 年降雨量在 800~ 850 mm 之间, 历年平均日照时数为 2 318 h, 无霜期 254 d. 雨量集中于夏季 6~ 8 月, 冬春季节干旱少雨, 冬春降雨量仅占全年降水量的 12%~ 20%. 地形为低丘岗地, 土壤为第四纪红粘土发育的红壤, 耕地土壤干旱、贫瘠、侵蚀等障碍因素突出, 旱地作物以玉米和小麦轮作为主, 部分农户具有旱地种植杂豆及冬绿肥作饲料的习惯. 玉米产量多在 8 000~ 9 000 kg/hm², 小麦及杂豆类产量 3 000~ 4 000 kg/hm². 施肥结构也较单一, 旱地粮作施用尿素或碳铵 220 kg/hm² 左右, 普钙 300 kg/hm² 左右, 有机肥投入不足 4 500 kg/hm², 钾肥几乎不用.

1.2 供试土壤

以杂草荒地(A)为对照, 本试验选择了在该区域广泛分布的 4 种利用方式, 并且土地耕垦年限均在 10 a 以上. 即: 单季玉米种植后冬闲地(B), 玉米与冬季小麦轮作地(C), 玉米与冬季绿肥套作地(D), 玉米与冬季绿肥轮作地(E), 绿肥品种均为紫云英(*Astragalus sinicus*), 每年玉米及小麦秸秆收获后均移出耕地, 农户主要用于厩肥和饲料, 冬季绿肥收割后作青贮饲料备用, 也未还田利用.

土壤样品采集于 2005 年 4 月 25 日至 4 月 30 日, 冬小麦及冬绿肥收割后土地翻耕前采集. 每种耕作利用方式选择 5 个取样区, 每个取样区按蛇形法多点分层采集表层(0~ 20 cm)和亚表层(20~ 40 cm)土壤综合分析样品, 风干后磨细以备分析测试.

1.3 测定项目及分析方法

土壤的全氮、磷、钾及速效氮、磷、钾、腐殖质总量用常规方法测定^[12], 土壤有机质用重铬酸钾法, 胡敏酸(HA)和富里酸(FA)总量用焦磷酸钠与氢氧化钠混合液提取、重铬酸钾容量法测定, pH 用酸度计测定, 土壤颗粒组成用比重计速测法测定, > 1 mm 风干团聚体用干筛法测定.

2 结果与分析

2.1 不同轮作方式对土壤物理结构的影响

土壤团聚体组成是土壤结构的一个重要方面, 它可以使土壤的松散性和分散性能得到改善, 同时也可以提高土壤的总孔隙度和大孔隙量. 耕垦利用的山地红壤, 表土层和亚表层> 1 mm 团聚体含量均低于未开垦利用的 A 地(表 1), 说明山地红壤耕垦利用后, 易造成土壤粒级的破坏, 并且水稳性大团聚体组成与砂粘比成正相关($y = 0.067x - 0.012$, $r = 0.9246^{**}$, $n = 10$), 与粘粒含量成负相关($y = -0.156x + 43.634$, $r = 0.7921^{*}$, $n = 10$). 比较发现: 耕地不同利用方式的土壤颗粒破坏程度不同, 玉米与冬季绿肥轮作的 E 地, 在 1~ 0.05 mm 和 0.05~ 0.02 mm 的微团粒含量均高于 B, C, D 地(表 2), 或许是由于豆科绿肥大量的须根系盘绕及对土壤具有固定作用, 对雨水直接冲撞也具有良好的缓冲性能, 减少水土流失的破坏性, 另一方面豆科绿肥大量的枯枝落叶增加了土壤有机质和腐殖质含量(表 3), 改善土壤粘化性能, 以往的研究结果也表明了有机质能促进土壤水稳性团聚体的形成与恢复, 并与有机质含量呈正相关^[6, 13]. 而以玉米和冬季小麦轮作的 C 地, 对土壤颗粒结构的破坏程度最大, 细粉粒和粘粒(< 0.002 mm)部分含量最高, 砂粘比值最低, 质地粘化更为严重(图 1). 所以不同轮作方式影响着土壤物理肥力的变化与退化程度.

表 1 耕地不同利用方式下土壤团聚体含量 / (g · kg⁻¹)

利用方式		A	B	C	D	E
样本数(n)		5	15	15	10	10
团聚体含量	0~ 20 cm	148.12	56.18	33.10	80.06	88.12
	> 1 mm	116.07	39.21	24.16	46.10	69.13

表 2 耕地不同利用方式下土壤粒级组成及含量 /(g·kg⁻¹)

利用方式	样本	土层 /cm	砂粒 1~ 0.05 /mm	粗粉粒 0.05 ~ 0.02/mm	细粉粒 0.02~ 0.002/mm	粘粒< 0.002 /mm	砂粘比
A	5	0~ 20	249.01	257.12	110.10	236.01	1.06
		20~ 40	178.00	244.03	185.04	272.01	0.65
B	15	0~ 20	126.10	216.21	242.20	361.13	0.35
		20~ 40	119.03	184.04	271.01	387.02	0.31
C	15	0~ 20	55.14	145.05	338.02	436.15	0.13
		20~ 40	56.03	117.11	392.09	412.03	0.14
D	10	0~ 20	141.11	287.01	215.04	276.10	0.51
		20~ 40	125.02	272.10	228.06	330.01	0.38
E	10	0~ 20	151.03	315.13	182.10	264.02	0.57
		20~ 40	143.14	308.10	179.12	299.15	0.48

2.2 不同轮作方式对土壤化学肥力的影响

2.2.1 土壤有机质与 pH 值

无论是表层和亚表层土壤，D 和 E 地的有机质含量、腐殖质总量、胡敏酸(HA)量，均高于 A 地；而 B、C 地则低于 A 地(表 3)。玉米与豆科绿肥轮套作的 E、D 地，或许是豆科绿肥枯枝落叶及残根的有机物归还量高，促进了土壤有机质的积累，而 C、B 地则相反。在高原旱地红壤中胡敏酸(HA)和富里酸(FA)

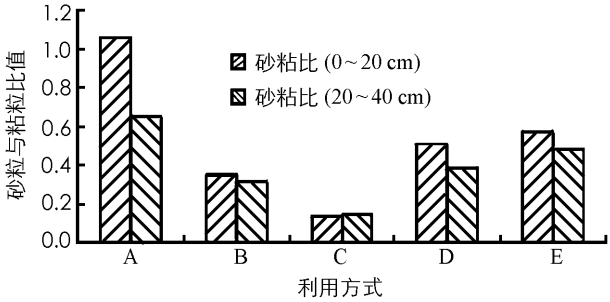


图 1 耕地利用方式土壤砂粒与粘粒比值变化特征

的含量及比值，往往可以反映土壤肥力的质的特征，HA/FA 比值大小与土壤肥力高低成正比^[1]。无论耕垦利用与否，土壤有机质与 HA、HA/FA 比值之间呈显著相关性($r=0.9619^{**}$ ， $r=0.9643^{**}$ ， $n=10$)，而与 FA 间相关性不显著，表土层 HA 含量高于亚表层。玉米与绿肥轮套作的 D、E 地，无论是表层和亚表层土壤，其 HA/FA 比值大于 A 地，而 B 地表层和 C 地的表层及亚表层 HA/FA 比值均小于 A 地(图 2)。因此，玉米与冬季绿肥轮套作的 E、D 地，有利于促进耕地土壤有机肥力的提高，而 B、C 地利用方式则加速了耕作土壤有机肥力的退化进程。

表 3 耕地不同利用方式下山地红壤的 pH、有机质和腐殖质组成

利用方式	样本	土层 /cm	pH	有机质 /(g·kg ⁻¹)	腐殖总碳 /(g·kg ⁻¹)	胡敏酸 HA /(g·kg ⁻¹)	富里酸 FA /(g·kg ⁻¹)	HA/FA
A	5	0~ 20	5.7	13.60	5.30	2.10	3.20	0.66
		20~ 40	5.6	8.43	3.01	1.01	2.01	0.50
B	15	0~ 20	7.2	9.30	3.60	1.20	2.40	0.50
		20~ 40	6.9	6.91	2.30	0.82	1.50	0.53
C	15	0~ 20	7.5	6.15	2.80	0.71	2.10	0.33
		20~ 40	6.8	3.52	1.61	0.20	1.40	0.14
D	10	0~ 20	6.5	32.43	6.20	3.40	2.80	1.21
		20~ 40	6.3	21.70	4.50	2.10	2.40	0.88
E	10	0~ 20	6.6	38.52	6.30	3.90	2.40	1.63
		20~ 40	6.4	26.01	5.71	2.90	2.80	1.04

计数单位, 在 0~20 cm 耕层内以 C 地 pH 值最高为 7.5, 分别比 B, D, E 地提高 0.3, 1.0, 0.9 个计数单位, 并且 C 地表层出现灰白色的盐分富集层, 表现出一定程度的复盐基化; 而玉米与绿肥轮套作的 E, D 地, 表层和亚表层土壤 pH 值稳定于 6.3~6.6 个计数单位. 土壤含盐量增加, 首先抑制土壤微生物活性, 从而使氮的氨化和硝化作用受抑制, 可阻碍植物对氮的吸收, 降低植物体内氨基酸和蛋白质的合成, 使植物生长受到抑制^[14]. 土壤 pH 值主要受利用方式的影响^[15], C 地或许是频繁耕种导致土壤物理结构严重破坏, 再经雨水的淋溶冲刷过程, 腐殖质层变薄, 有机质含量减少, 导致阳离子交换量减少, 使胶体上吸附的 H^+ 及 Al^{3+} 离子能对 OH^- 离子(碱性物质)起缓冲作用减弱^[16], 导致土壤 pH 值上升. 但是, 玉米与豆科绿肥轮套作的 E, D 地, 由于有机质的富集作用, 促进土壤胶体对 H^+ , Al^{3+} 离子的吸附性, 从而增强了土壤对 OH^- (碱性物质)的缓冲性能.

2.2.2 土壤全氮与碱解氮

玉米与冬季绿肥轮作或套作的 E, D 地, 无论是表层和亚表层土壤, 全 N 与碱解 N 含量均高于杂草荒地 A, 也高于单季玉米种植冬闲地 B 和玉米与冬季小麦轮作地 C, 并且表层含量高于亚表层(表 4); 而 B, C 地则相反, 无论是表层和亚表层土壤, 全 N 与碱解 N 含量均低于灌木杂草荒地 A. 说明 E 地和 D 地有机凋落物归还量高, 增加了土壤有机 N 源, 加之紫云英自身具有固氮功能, 因而土壤中氮素营养较其它系统高. 玉米与冬季小麦轮作的 C 地, 虽然提高了土地利用复种指数, 但山地红壤区多属缓坡丘陵地, 频繁耕作造成水土流失严重、土层浅薄、土壤养分亏缺等障碍因素, 加速了山地红壤氮素的退化进程.

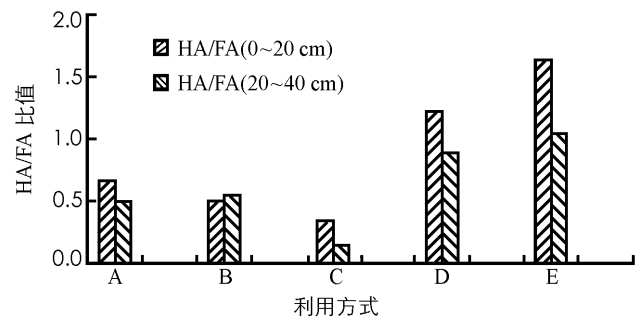


图 2 耕地利用方式 HA/FA 值变化特征

2.2.3 土壤全磷与速效磷

云南高原山地红壤对磷的吸附量相当高, 是造成山地红壤有效磷含量低的根本因素, 根据云南红壤磷的形态分析^[1]: 红壤中无机磷通常占全磷的 3/4, 甚至 80% 以上; 在无机磷中, 能为作物吸收的 $Al-P$ 和 $Ca-P$ 所占的比例却很少, 中、低肥力仅占 5.4%~13.3%, 难被作物吸收的 $Fe-P$ 和包裹磷占 86.7%~94.6%, 可见, 红壤对磷具有较强的固定作用.

开垦利用的 4 种耕地利用方式, 无论是表层和亚表层土壤, 全磷含量均高于杂草荒地 A, 但变化差异不大(表 4), 表土层、亚表层全磷变化量在 1.52~1.81, 1.51~1.75 g/kg 之间, 而速效磷含量在不同耕作系统中的变异相对较大, 表土层和亚表层变化量在 3.78~9.84, 1.93~8.41 mg/kg 之间, B 地表层略高于 A 地 0.25 mg/kg, 亚表层含量略低于 A 地 0.18 mg/kg, C 地无论是表层和亚表层含量均低于 A 地(表 3). 通过比较发现: 玉米与绿肥轮套作的 E, D 地, 全磷含量略低于 B, C 地, 但速效磷含量高于 A, B, C 地, 说明玉米与豆科绿肥轮套作, 可降低红壤对磷的吸附量, 提高土壤中磷的有效性, 或许是豆科绿肥大量的枯枝落叶及残根富集, 提高了土壤有机质和腐殖酸含量, 进而提高了土壤的交换性能.

2.2.4 土壤全钾与速效钾

耕地不同利用方式下, 无论是表层和亚表层土壤, 土壤全钾含量均低于杂草荒地 A, 与全磷含量相反. 表土层和亚表层全钾含量变化分别在 6.36~7.94 和 6.65~7.46 g/kg 之间(表 4), 根据南方东部丘陵区红壤肥力状况评价标准^[17], 属于严重缺钾. 所以, 高原山地红壤应重视钾肥的施用; 玉米与绿肥轮套作的 E, D 地, 无论是表层和亚表层土壤, 速效钾含量均高于 A 地, 也高于 B, C 地. 比较 4 种利用方式, 在 0~20 cm 土层内, E 地比 A, B, C, D 地速效钾含量分别提高 53.53, 66.69, 84.11, 12.48 mg/kg, 说明玉米与绿肥轮作对土壤钾素养分的积累也具有促进作用.

表 4 耕地不同利用方式下山地红壤的 NPK 养分含量

利用方式	样本	土层	全 N	全 P ₂ O ₅	全 K ₂ O	碱解 N	速效 P	速效 K
		/cm	/(g·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)	/(g·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)	/(mg·kg ⁻¹)
A	5	0~ 20	1. 27	1. 52	9. 61	86. 54	3. 78	89. 21
		20~ 40	0. 83	1. 51	8. 43	75. 26	3. 25	74. 63
B	15	0~ 20	0. 96	1. 76	6. 92	76. 05	4. 03	76. 05
		20~ 40	0. 81	1. 72	6. 70	65. 03	3. 07	62. 02
C	15	0~ 20	0. 93	1. 81	6. 36	67. 15	2. 41	58. 63
		20~ 40	0. 68	1. 75	6. 65	52. 43	1. 93	45. 26
D	10	0~ 20	1. 61	1. 68	7. 94	129. 72	8. 72	130. 26
		20~ 40	1. 32	1. 72	7. 15	118. 21	5. 32	124. 8
E	10	0~ 20	1. 86	1. 65	7. 53	140. 86	9. 84	142. 74
		20~ 40	1. 53	1. 66	7. 46	106. 54	8. 41	139. 21

3 结论与讨论

1) 高原山地红壤的土壤性能特征有别于我国东南丘陵旱地红壤区. 从 5 种利用方式(含 A) 看出: 在 0~ 20 cm 土层内, 土壤全磷、全钾、速效磷及速效钾含量平均值分别为 1. 68, 7. 67, 5. 76, 99. 38 mg/kg, 而我国东南丘陵区红壤全磷、全钾、速效磷及速效钾含量平均值分别为 0. 56, 20. 10, 5. 00, 102. 7 mg/kg ($n=493$)^[17]. 因此, 高原山地红壤全磷含量虽高, 但速效磷含量较低, 并且全钾及速效钾含量也普遍低于东南丘陵红壤区, 或许是高原气候及成土母质影响的差异.

2) 荒地 A 开垦为旱地利用后, 耕地土壤物理性能均有不同程度退化, 但玉米与冬绿肥轮套作的 E, D 地, 土壤物理性能优于玉米与冬季小麦轮作的 C 地和单季玉米种植的 B 地, 并且 E, D 地对提高土壤有机质含量、培肥地力, 特别是对降低红壤对磷的吸附量、提高土壤有效磷含量等, 具有良好的促进作用; 而 B, C 地则相反, 以 C 地退化更为严重. 耕地不同利用方式对土壤肥力退化抑制的影响效果为: E> D> B> C. 因此, 高原山地红壤肥力恢复过程中, 除施肥外, 发展旱地冬季绿肥轮套种植, 也是旱地红壤磷素恢复及改良培肥的有效方法和途径, 有别于东南丘陵旱地红壤磷素恢复主要来源于施肥的方法和途径^[18].

参考文献:

[1] 王文富. 云南土壤 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996: 101-240.

[2] 赵其国, 徐梦洁, 吴志东. 东南红壤丘陵地区农业可持续发展研究 [J]. 土壤学报, 2000, 37(4): 433-442.

[3] 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 III [J]. 土壤, 2001(5): 227-231.

[4] 赵庚星, 李秀娟. 耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 55-58.

[5] 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): 434-437.

[6] 官会林, 刘士清, 张无敌. 紫云英轮作与退化山地红壤肥力恢复研究 [J]. 农业现代化研究, 2007, 28(4): 494-496.

[7] 孙波, 王兴祥, 张桃林. 丘陵红壤耕作利用过程中土壤肥力的演变和预测 [J]. 土壤学报, 2002, 39(6): 836-843.

[8] 叶方, 黄国勤. 红壤旱地几种耕作制度的土壤培肥效应 [J]. 江西农业大学学报, 2000, 22(4): 503-508.

[9] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响 [J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241-246.

[10] Lal R, Mokma D, Lowery B. Relation Between Soil Quality and Erosion. In Rattan Lal(ed), Soil Quality and Soil Erosion [J]. Washington D. C: CRC press, 1999, 237-258.

[11] Warkentin B P. The Changing Concept of Soil Quality [J]. Soil Water Cons, 1995, 50: 226-228.

[12] 农业部全国土壤肥料总站. 土壤分析技术规范 [M]. 北京: 农业出版社, 1993.

- [13] 袁 菊, 刘元生. 贵州喀斯特生态脆弱区土壤质量退化分析 [J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(3): 230-233.
- [14] 熊汉琴, 王朝辉, 宰松海. 保护地土壤质量障碍因素研究 [J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 136-139.
- [15] 章明奎, 徐建民. 利用方式和土壤类型对土壤肥力质量指标的影响 [J]. 浙江大学学报, 2002, 28(3): 277-282.
- [16] 朱祖祥. 土壤学 [M]. 北京: 农业出版社, 1983: 35-50.
- [17] 张桃林, 鲁如坤, 季国亮. 中国红壤退化机制与防治 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 16-18.
- [18] 章明奎, 徐建民. 亚热带低丘区退化红壤肥力质量恢复性能的研究 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 67-71.

Effects of Different Rotation Systems on Variation in Soil Fertility in Upland Red Soil of Yunnan Plateau

GUAN Huiling¹, DUAN Qingzhong², SHEN Youxin³

1. College of Energy and Environment Sciences, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan 650092, China;

2. Yunnan Provincial Soil and Fertilization Work Station, Kunming Yunnan 650034, China;

3. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming Yunnan 650223, China

Abstract: Different rotation systems have significant effect on soil fertility. In a study reported in this paper, no-cultivation meadow (A) was used as control sample to study the effect of rotation systems on soil fertility of upland red soil in Yunnan plateau. The results showed that the maize-winter green manure system (E) was better in improvement of soil physical properties, organic matter and chemical fertility than the maize-winter fallow system (B), maize-winter wheat rotation system (C) and intercropping maize with winter green manure (D). Compared with systems A, B, C and D, organic matter, available N, available phosphorus and available potassium in system E increased by 24.92 g/kg, 29.22 g/kg, 32.37 g/kg and 6.09 g/kg; 54.32 mg/kg, 64.81 mg/kg, 73.71 mg/kg and 11.14 mg/kg; 6.06 mg/kg, 5.81 mg/kg, 7.43 mg/kg and 1.12 mg/kg; and 53.53 mg/kg, 66.69 mg/kg, 84.11 mg/kg and 12.48 mg/kg, respectively, in the 0~20 cm soil layer. It is, therefore, concluded that scientific usage of green manure in the rotation system is an effective measure to improve the fertility of upland red soil in plateau regions.

Key words: rotation system; upland red soil; fertility characteristic

责任编辑 陈绍兰