

DOI: 10.11766/trxb201601180637

湘南红壤丘陵区幼龄果园豆科牧草培肥效果研究*

董春华^{1, 2, 3} 曾希柏^{4†} 文石林³ 罗尊长¹ 苏以荣²

(1 湖南省农业科学院土壤肥料研究所, 长沙 410125)

(2 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

(3 中国农业科学院红壤实验站, 湖南衡阳 421000)

(4 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境重点开放实验室, 北京 100081)

摘要 在幼龄桔园套种了白三叶 (*Trifolium repens*)、圆叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia*)、羽叶决明 (*Chamaecradta nictitans*)、决明 86134 (*Chamaecrista rotundifolia* CPI 86134)、大翼豆 (*Macroptilium lathyroides*) 和罗顿豆 (*Lotononis bainesii*) 6 个豆科牧草品种, 研究了牧草种植后土壤理化特征的变化, 为果园选择适宜的套种牧草种类和处理方式。结果表明, 与开展不同耕作处理前的基础样相比, 牧草在刈割、保留和翻压处理下土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量总体得到提升, 翻压处理升幅最大, 土壤速效钾和 pH 总体呈下降趋势, 翻压处理降幅最小; 羽叶决明翻压处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量的升幅最大, 土壤速效钾含量降幅最小, 其次是圆叶决明翻压处理, 羽叶决明翻压处理下土壤 pH 降幅最小。与裸地处理相比, 牧草处理提高了桔子产量和单果重, 增加了桔树树高、冠径及春秋梢的个数和长度, 其中, 羽叶决明翻压处理的均最高, 其次是圆叶决明翻压处理。羽叶决明翻压处理的牧草生物量最大, 归还到土壤中的氮磷也最多, 其土壤微生物生物量碳氮和脲酶活性也显著高于其他处理。羽叶决明翻压是一种较好的幼龄果园培肥模式, 但在栽培过程中需补充磷肥和钾肥, 同时, 有必要增施石灰等碱性物质, 以防治种植豆科牧草培肥时土壤 pH 下降。

关键词 湘南红壤丘陵区; 幼龄果园; 豆科牧草; 土壤化学特性

中图分类号 S142+.1 **文献标识码** A

红壤占湘南地区土地总面积的 43%, 红壤区水果种植中, 以柑桔作为重点, 开发面积达 1 776 hm², 占开发的果树面积的 58.1%^[1]。湘南红壤地区桔园的立地条件大都是山地, 土壤贫瘠, 水土流失现象普遍, 保肥保水性能差, 据测定, 有机质含量在 0.85 g kg⁻¹ 左右, 有效磷低且缺氮少钾, 酸化严重, 一些经济价值不高的灌木和较难根除的杂草丛生^[2], 这些严重制约着该地区的果业生产。湘南红壤丘陵地处亚热带季风性气候区, 春夏光照、降

水充足, 温度适宜, 这种生态条件虽然有利于水果生产, 但同样有利于好气微生物对土壤有机质的降解 (转化为 CO₂ 而溢出土壤), 暖冬逐现, 也有利于微生物对土壤有机质的降解活动, 加剧了土壤贫瘠, 因此, 需及时向土壤补充有机物 (肥), 但随着农村体制改革, 牲畜的饲养逐渐由家庭转变为专业大户或企业, 可用于果园的农家肥严重不足, 远远不能满足需求, 同时还存在价格、质量等问题^[3]。豆科牧草的根系有根瘤菌, 能够进行生物

* 国家科技支撑计划课题 (2012BAD05B06, 2012BAD14B02-4, 2015BAD23B03) Supported by the National Key Technology R&D Program of China (Nos. 2012BAD05B06, 2012BAD14B02-4, 2015BAD23B03)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zengxibai@caas.cn

作者简介: 董春华 (1976—), 男, 汉, 湖南祁阳人, 博士, 在站博士后, 研究方向为植物营养与生态。E-mail: deh1001@126.com

收稿日期: 2016-01-18; 收到修改稿日期: 2016-03-13; 优先数字出版日期 (www.cnki.net): 2016-04-12

固氮, 牧草植株粗蛋白和粗纤维含量较高, 如果在果园种植豆科牧草, 这样既可以畜牧, 又可以培肥土壤^[4-5]。有研究表明^[6-9], 果园套种牧草保护了水土资源, 改善了生态环境, 增强了对自然灾害的抵抗力, 产生了较显著的经济效益、生态效益和社会效益。翁伯琦等^[10]针对红壤山地果园开发中存在生态退化, 经济效益低等现状, 提出了以套种优质牧草为纽带的生态果园开发模式, 这一模式不仅可以有效防止水土流失, 培肥地力和提高果树产量与品质, 同时以牧草为纽带发展牧业、渔业、食用菌业和气能源业, 提高综合利用效率, 促使丘陵山地农业综合开发的经济、社会、生态效益得以优化发挥。陈学森等^[11]也在这方面做了较深入的研究和探讨。曾日秋等^[12]研究表明, 幼龄果园套种豆科牧草, 可有效地减少地表径流, 控制园地水土流失, 同时大大地改善园地微生态环境, 促进土壤有益微生物活动, 提高土壤有机质和全氮及碱解氮含量, 提升土壤微生物生物量和土壤酶活性, 其中以种植圆叶决明为首选。刘韬^[13]研究了果园套种圆叶决明对红壤生态和果树生长的影响, 结果表明, 与清耕区相比, 植草区有效磷、速效钾分别增加了 293% 和 213%, 细菌和固氮菌量分别提高了 64 倍、57 倍, 减少了径流次数和总量, 防止了水土流失, 产量和单果重分别增加了 6.9% 和 1.8%, 果品可溶性固形物和蔗糖含量分别提高了 13.3% 和 11.5%, 总酸降低了 8.4%。董素钦^[14]研究表明, 果园套种豆科牧草不仅能改善果园生态环境, 还能有效地提高果园土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的含量, 从而改良土壤性状, 提高土壤肥力, 与对照相比, 经过 3 年种植后, 种植牧草处理土壤有机质含量平均提高了 55.56%。众多研究均显示了果园套种豆科牧草一定程度上能培肥土壤, 但牧草种植后的处理方式对土壤培肥的影响报道较少。为此, 本研究在前人^[15-17]研究的基础上, 选出了以白三叶 (*Trifolium repens* L.)、圆叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia*)、羽叶决明 (*Chamaecradta nictitans*)、决明 86134 (*Chamaecrista rotundifolia* CPI 86134)、大翼豆 (*Macroptilium lathyroides*) 和罗顿豆 (*Lotononis bainesii*) 6 个豆科牧草品种为研究对象, 将其套种于幼龄桔园, 并将种植后的牧草分别进行刈割、保留、翻压处理, 以研究不同耕作处理下土壤肥力变化和土壤微生物生物量碳氮及土壤脲酶活性的变

化, 以期为果园选择适宜的牧草种类及牧草的合理管理方式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试豆科牧草为白三叶、圆叶决明、羽叶决明、决明 86134、大翼豆和罗顿豆等 6 个品种, 其中, 罗顿豆和白三叶为多年生, 其他皆为一年生, 圆叶决明、羽叶决明和决明 86134 易留种, 白三叶和罗顿豆不易留种, 常采用无性生殖进行繁殖 (移栽)。供试肥料为氮肥 (尿素, N%=46%)、磷肥 (过磷酸钙, P₂O₅%=12%)、钾肥 (氯化钾, 加拿大产, K₂O%=60%), 供试土壤为第四纪红壤母质发育而来的幼龄果园土。

1.2 试验设计

试验共设 7 个耕作处理: ①裸地 (CK, 除草, 不施肥); ②移栽白三叶; ③播种圆叶决明; ④播种羽叶决明; ⑤播种决明 86134; ⑥播种大翼豆; ⑦移栽罗顿豆。圆叶决明、羽叶决明、决明 86134、大翼豆的播种量分别为 15 kg hm⁻², 白三叶和罗顿豆的移栽量相当于 10 kg hm⁻² 播种量, 施肥量为纯 N 30 kg hm⁻², P₂O₅ 75 kg hm⁻², K₂O₅ kg hm⁻², 在移栽和播种前只施肥一次, 其他时间不再施肥。各处理的面积为 5 m (宽) × 9 m (长) = 45 m², 设 3 次重复, 随机区组排列, 其中种植圆叶决明、羽叶决明、决明 86134、大翼豆、罗顿豆的处理分为三个裂区, 大裂区 (1/2 面积, 22.5 m²) 为翻压处理, 另两个小裂区 (1/4 面积, 11.25 m²) 分别为保留 (自然状态) 处理和刈割 (地上部带走) 处理, 2010 年开始种植牧草, 翻压和刈割时间相同, 为每年的 12 月 20 日左右, 罗顿豆的刈割时间在每年的 6 月 20 日左右, 白三叶只作保留处理。桔树施肥和灌溉情况一致, 采取相同的日常管理措施, 去除杂草和其他植物。

1.3 样品采集与分析

从 2010 年开始, 每年的 12 月 20 日左右对各处理进行土样采集, 室内风干后, 磨碎过筛, 检测土壤样品中有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量及 pH。有机质采用重铬酸钾容量法测定, 全氮采用半微量凯氏法测定, 碱解氮采用扩散法测定, 有效磷采用 Olsen 法测定, pH 采用水土比为 2.5 : 1 进行测定, 速效钾采用 1 mol L⁻¹ NH₄OAc 浸

提—火焰光度法测定^[18]。

土壤微生物生物量碳氮和脲酶活性采用鲜土进行测定，取样时间为2014年，同时采集测定土壤理化性质的土样。土壤微生物生物量碳（SMBC）采用熏蒸提取—容量分析法测定，微生物生物量氮（SMBN）采用熏蒸提取—全氮测定法测定^[19]。脲酶活性采用比色法测定^[19]。

1.4 数据处理

数据处理、分析及作图采用Excel 2007。

2 结 果

2.1 不同耕作处理下土壤基本性质变化

2.1.1 pH 图1中的图1a、图1b、图1c、图1d、图1e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理

下土壤pH随年份的变化。从图1a~图1e可知，牧草种植后各处理的土壤pH总体呈下降趋势，且各处理的土壤pH在2012年最低（圆叶决明除外），罗顿豆种植后土壤pH降幅顺序为保留处理>刈割处理>翻压处理，其他牧草种植后土壤pH降幅顺序为刈割处理>保留处理>翻压处理。图1f表明在以裸地为对照时圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134翻压和白三叶保留处理下土壤pH变化。由图1f可知，羽叶决明翻压处理下土壤pH降幅最小，其次依次是白三叶保留、大翼豆翻压、决明86134翻压、圆叶决明翻压和罗顿豆翻压处理；与开展不同耕作处理前的基础样相比较，2014年羽叶决明、白三叶、大翼豆、决明86134、圆叶决明、罗顿豆的土壤pH分别降低了0.11、0.12、0.12、0.13、0.13、0.15，裸地处理的土壤pH降低了0.09。

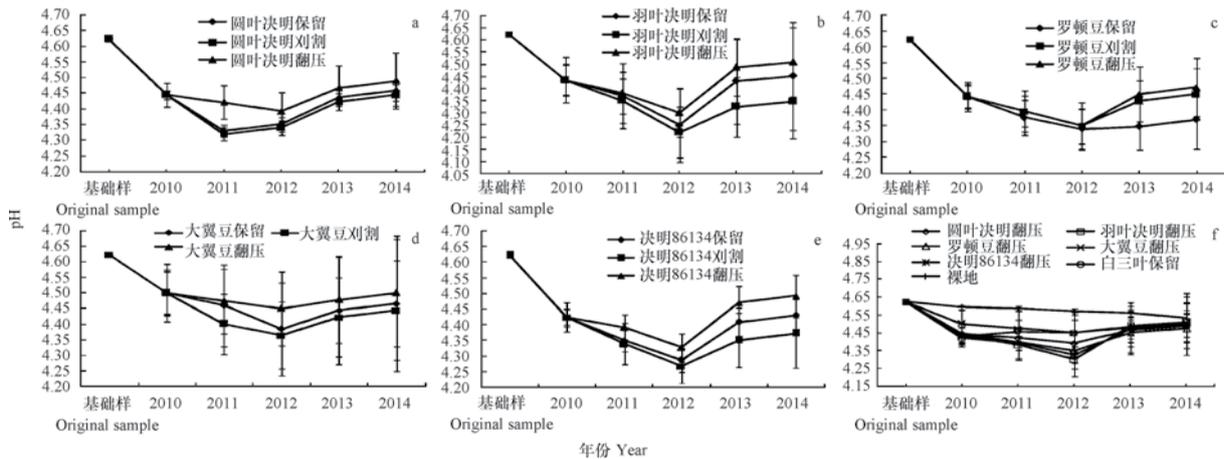


图1 不同耕作处理下土壤pH变化

Fig. 1 Soil pH relative to treatment

2.1.2 有机质 图2a、图2b、图2c、图2d、图2e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理下土壤有机质含量随时间的变化。从图2a~图2e可知，牧草种植后各处理的土壤有机质含量呈总体上升趋势（罗顿豆刈割除外），2010年前后各处理的土壤有机质含量均存在下降趋势，每种牧草种植后土壤有机质含量升幅顺序均为翻压处理>保留处理>刈割处理。图2中的图2f表明，在以裸地为对照时圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134翻压处理和白三叶保留处理下土壤有机质含量随时间的变化。由图可知，羽叶决明翻压处理的

土壤有机质含量升幅最大，其次依次为圆叶决明翻压、大翼豆翻压、决明86134翻压、白三叶保留和罗顿豆翻压处理；图2f表明与开展不同耕作处理前所有小区土样（基础样）有机质含量相比，2014年羽叶决明、圆叶决明、大翼豆、决明86134、白三叶、罗顿豆的土壤有机质含量升幅分别为34.0%、19.6%、19.0%、14.4%、8.3%、3.2%，裸地处理的土壤有机质含量呈下降趋势，降幅为-0.4%。

2.1.3 全氮 图3中的图3a、图3b、图3c、图3d、图3e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理下土壤全氮含量随年份的变化。从图3a~图

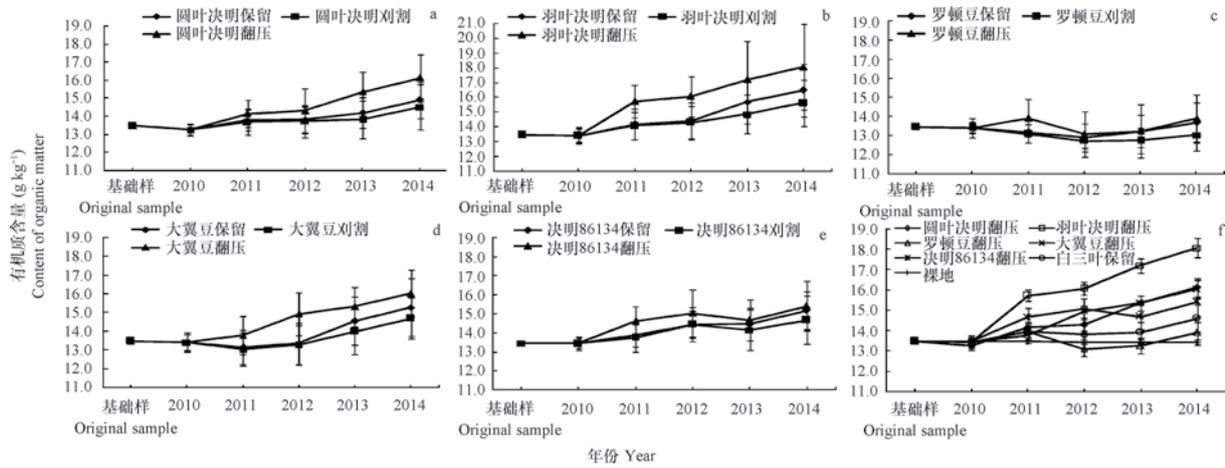


图2 不同耕作处理下土壤有机质含量

Fig. 2 Soil organic matter content relative to treatment

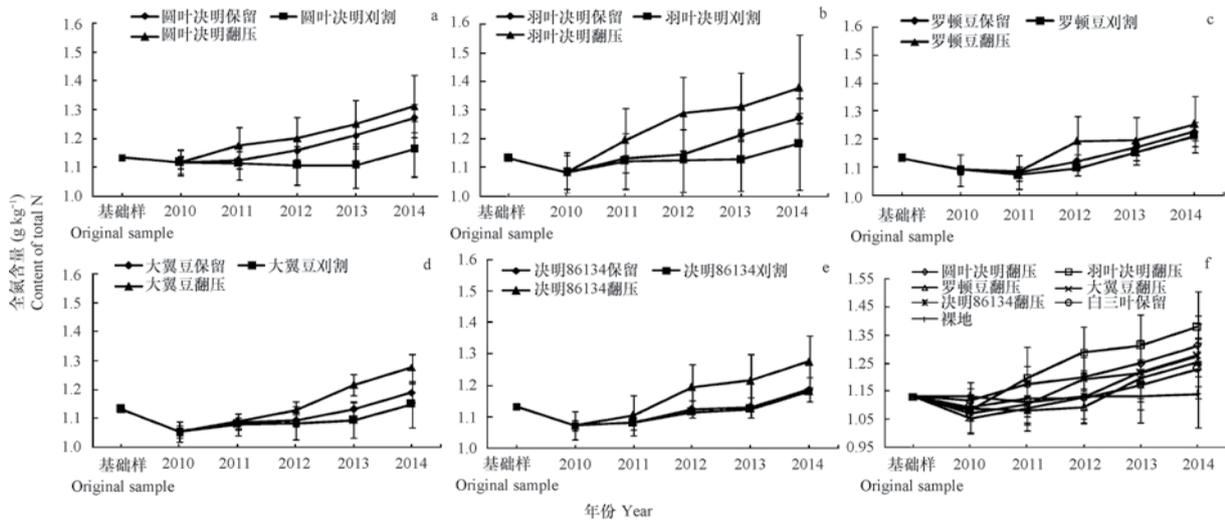


图3 不同耕作处理下土壤全氮含量

Fig. 3 Soil total nitrogen content relative to treatment

3e可知, 牧草种植后各处理的土壤全氮含量总体呈上升趋势, 2010年前后各处理的土壤全氮含量呈下降趋势, 每种牧草种植后土壤全氮含量升幅顺序均为翻压处理 > 保留处理 > 刈割处理。图3f表明在以裸地为对照时圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134翻压处理和白三叶保留处理下土壤全氮含量变化。由图3f可知, 羽叶决明翻压处理下土壤全氮含量升幅最大, 其次依次为圆叶决明翻压、大翼豆翻压、决明86134翻压、罗顿豆翻压和白三叶保留处理; 与种植牧草前的基础样相比较, 2014年羽叶决明、圆叶决明、大翼豆、决明86134、罗顿豆、白三叶的土壤全氮含量升幅分别为21.7%、15.8%、12.9%、12.7%、10.8%、

8.7%, 裸地处理的土壤全氮含量基本不变。

2.2 土壤速效养分变化

2.2.1 碱解氮

图4中的图4a、图4b、图4c、图4d、图4e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理下土壤碱解氮含量随年份的变化。从图4a~图4e可知, 牧草种植后各处理的土壤碱解氮含量总体呈上升趋势, 2010—2012年各处理的土壤碱解氮含量均低于基础样碱解氮含量, 每种牧草种植后土壤碱解氮含量升幅顺序均为翻压处理 > 保留处理 > 刈割处理。图4f表明在以裸地为对照时圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134翻压处理和白三叶保留处理下土壤碱解氮含量变化。由图

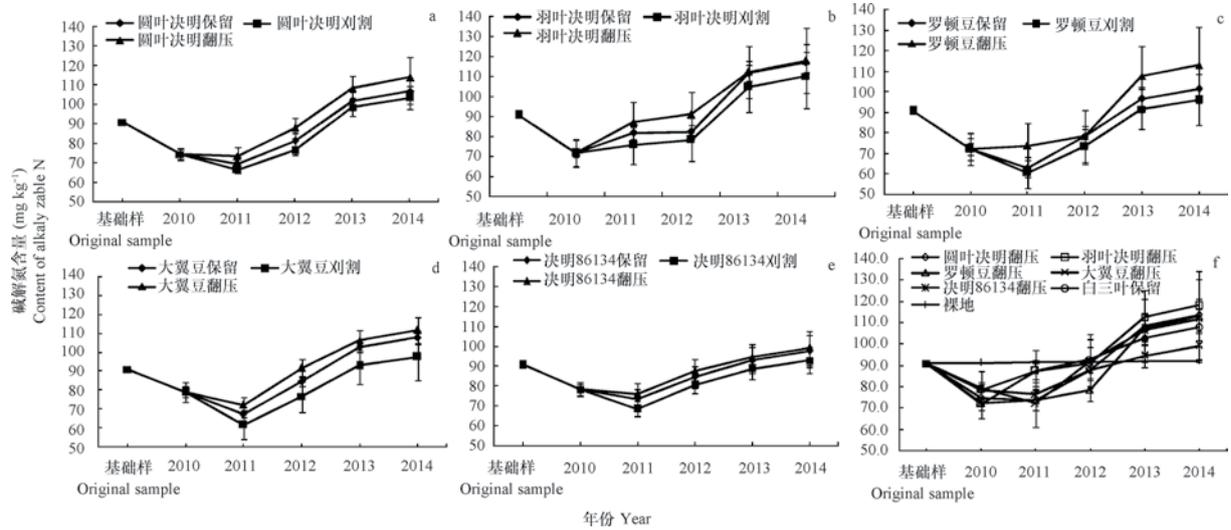


图4 不同耕作处理下土壤碱解氮含量

Fig. 4 Soil alkalyzable nitrogen content relative to treatment

4f可知，羽叶决明翻压处理下土壤碱解氮含量升幅最大，其次依次是圆叶决明翻压、罗顿豆翻压、大翼豆翻压、白三叶保留和决明86134翻压处理；与开展不同耕作处理前的基础样相比，2014年羽叶决明、圆叶决明、罗顿豆、大翼豆、白三叶、决明86134的土壤碱解氮含量升幅分别为29.9%、25.1%、24.4%、22.9%、18.5%、9.1%，裸地处理的土壤碱解氮含量略有升高，升幅为1.2%。

2.2.2 有效磷 图5中的图5a、图5b、图5c、图5d、图5e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理下土壤有效磷含量随年份的变化。从图5a~图5e可知，牧草种植后各处理的土壤有效磷含量总体

呈上升趋势，2011年前后普遍呈下降趋势，羽叶决明、圆叶决明、大翼豆种植后土壤有效磷含量升幅顺序均为翻压处理 > 保留处理 > 刈割处理，罗顿豆和决明86134种植后土壤有效磷含量升幅顺序均为保留处理 > 刈割处理 > 翻压处理。图5表明在以裸地为对照时圆叶决明、羽叶决明、大翼豆翻压处理和决明86134、白三叶、罗顿豆保留处理下土壤有效磷含量变化。由图5f可知，羽叶决明翻压处理下土壤有效磷含量升幅最大，其次依次是圆叶决明翻压、决明86134保留、白三叶保留、罗顿豆保留、大翼豆翻压处理；与开展不同耕作处理前的基础样相比较，2014年羽叶决明、圆叶决明、决明86134、白三叶、罗顿豆、大翼豆的土壤有效磷

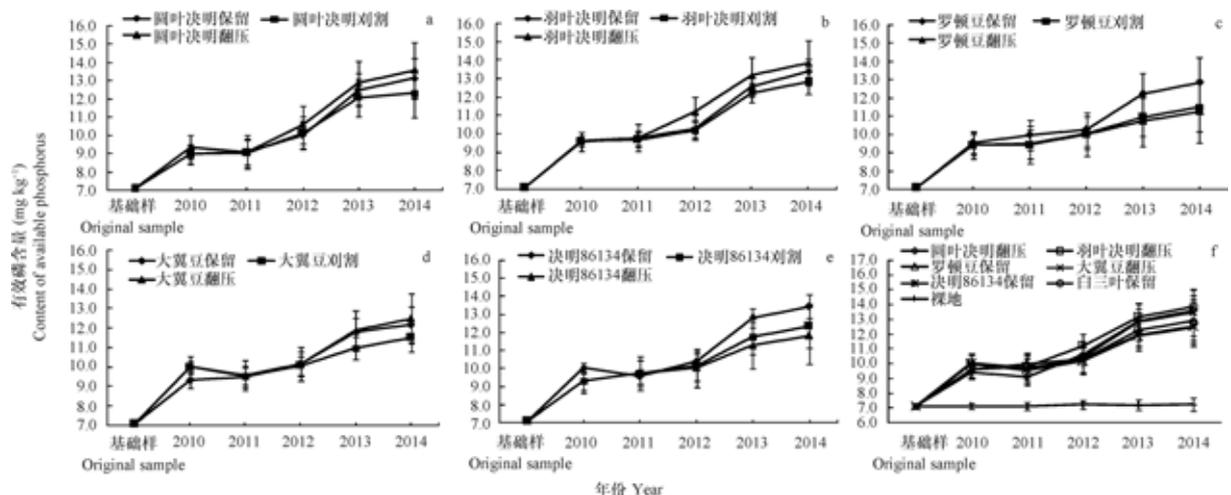


图5 不同耕作处理下土壤有效磷含量

Fig. 5 Soil available phosphorus content relative to treatment

含量升幅分别为95.1%、91.8%、89.8%、81.5%、81.7%、76.2%，裸地处理的土壤有效磷含量略有升高，升幅为1.7%。

2.2.3 速效钾 图6中的图6a、6b、6c、6d、6e分别表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理下土壤速效钾含量随年份的变化。从图6a~图6e可知，牧草种植后各处理的土壤速效钾含量总体呈下降趋势，且各处理的土壤速效钾含量在2012年最低，每种牧草种植后土壤速效钾含量降幅顺序均为刈割处理>保留处理>翻压处理。图6f表明以裸地为

对照的圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134翻压和白三叶保留处理下土壤速效钾含量变化。由图可知，羽叶决明翻压处理下土壤速效钾含量降幅最小，其次依次是圆叶决明翻压、罗顿豆翻压、决明86134翻压、大翼豆翻压和白三叶保留处理；与开展不同耕作处理前的基础样相比较，2014年羽叶决明、圆叶决明、罗顿豆、决明86134、大翼豆、白三叶的土壤速效钾含量降幅分别为37.5%、45.5%、46.9%、48.6%、49.1%、50.8%，裸地处理的土壤速效钾含量略有升高，升幅为0.8%。

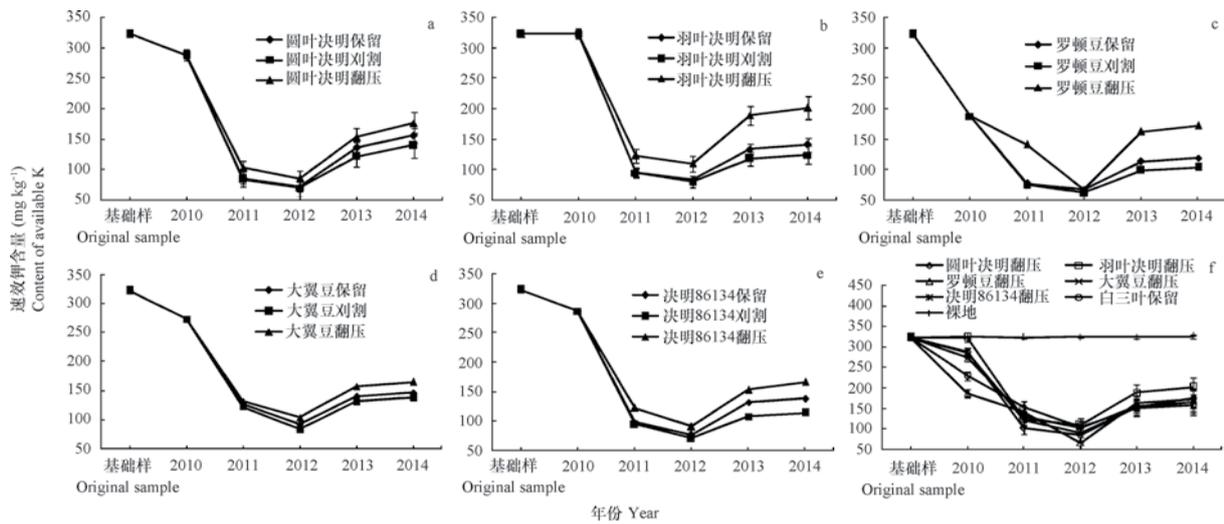


图6 不同耕作处理下土壤速效钾含量

Fig. 6 Soil readily available potassium content relative to treatment

2.3 土壤微生物生物量碳氮及脲酶活性

牧草种植5年后土壤微生物生物量碳氮含量及土壤脲酶活性发生了明显的改变(表1)。种植牧草处理的土壤微生物生物量碳氮含量和土壤脲酶活性显著高于裸地，羽叶决明翻压处理显著高于其他牧草种植处理。牧草处理中，羽叶决明翻压处理下脲酶活性分别高出圆叶决明翻压、罗顿豆翻压、大翼豆翻压、决明86134翻压和白三叶保留处理的10.0%、53.7%、13.5%、22.6%和53.7%，微生物生物量碳含量分别高出13.3%、38.0%、17.9%、29.8%和32.4%，微生物生物量氮含量分别高出4.6%、72.0%、4.4%、23.8%和39.5%。

2.4 土壤微生物生物量碳氮及尿酶活性与土壤理化性质的相关关系

土壤微生物生物量碳氮和脲酶活性与土壤理化

性质密切相关(表2)。表2表明，土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮和脲酶活性三者之间呈极显著正相关，土壤微生物生物量碳、微生物生物量氮和脲酶活性与土壤有机碳和全氮呈极显著正相关，与碱解氮呈显著正相关，与土壤pH和速效钾呈负相关。

土壤微生物生物量和酶活性与土壤理化性质密切相关。酸性红壤中，微生物特性因子受红壤pH影响较大，即使在肥力一致的红壤中，如果土壤pH不同，也可能得到差异较大的土壤理化性质与微生物特性相关性结论。酸性红壤通过一些措施改良后，pH升高，一般有利于土壤微生物活性增加。同时，在红壤中采取不同的培肥措施，即使pH一致，也可能得到相异相关性结论。因此，关于红壤区土壤微生物与土壤理化性质相关性的探

表1 不同耕作处理下土壤微生物生物量碳氮含量及脲酶活性

Table 1 Changes in SMBC content, SMBN content, and urease activity relative to treatment in 2014

处理 Treatment	微生物生物量碳 SMBC (mg g ⁻¹)	微生物生物量氮 SMBN (mg g ⁻¹)	脲酶 Urease (NH ₃ -N, mg g ⁻¹ h ⁻¹)
裸地 ^①	0.080 0 ± 0.016 7d	0.023 9 ± 0.004 8d	0.003 1 ± 0.000 3d
圆叶决明翻压 ^②	0.172 8 ± 0.021 6b	0.050 8 ± 0.003 0b	0.007 7 ± 0.000 7b
羽叶决明翻压 ^③	0.195 7 ± 0.026 1a	0.053 1 ± 0.003 2a	0.008 4 ± 0.001 1a
罗顿豆翻压 ^④	0.141 8 ± 0.026 5c	0.030 9 ± 0.001 2c	0.005 5 ± 0.000 5c
大翼豆翻压 ^⑤	0.166 0 ± 0.020 9bc	0.050 9 ± 0.002 1b	0.007 4 ± 0.000 9b
决明86134翻压 ^⑥	0.150 8 ± 0.026 4bc	0.042 9 ± 0.001 5bc	0.006 9 ± 0.000 6bc
白三叶保留 ^⑦	0.147 8 ± 0.025 2c	0.038 1 ± 0.003 2c	0.005 5 ± 0.000 9c

注：同一列不同小写字母表示差异显著 Different lowercase letters within the same column mean significant difference (Duncan's multiple range test, at 5% level) ①Bare land, ②Ploughing back *Chamaecrista rotundifolia*, ③Ploughing back *Chamaecrista nictitans*, ④Ploughing back *Lotononis bainesii*, ⑤Ploughing back *Macroptilium lathyroides*, ⑥Ploughing back *Chamaecrista rotundifolia* CPI 86134, ⑦Retain *Trifolium repens*

表2 土壤微生物生物量碳氮及尿酶活性与土壤理化性质的相关性

Table 2 Correlations coefficients of SMBC content, SMBN content and urease activity with soil physiochemical properties

	有机质 SOM	全氮 TN	碱解氮 AN	有效磷 AP	速效钾 AK	pH	微生物生物量碳 SMBC	微生物生物量氮 SMBN	脲酶 Urease
微生物生物量碳 ^①	0.885**	0.967**	0.864*	0.907**	-0.740	-0.437	1.000		
微生物生物量氮 ^②	0.924**	0.880**	0.786*	0.744	-0.594	-0.210	0.919**	1.000	
脲酶 ^③	0.916**	0.960**	0.762*	0.853*	-0.678	-0.398	0.970**	0.965**	1.000

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ ①SMBC, ②SMBN, ③Urease

讨，应该要在特定条件下进行。

2.5 不同耕作处理对桔树生长和产量的影响

表3表示豆科牧草圆叶决明、羽叶决明、罗顿豆、大翼豆、决明86134在保留、刈割、翻压处理及白三叶保留处理对桔树生长和产量的影响，表中的数据为2013—2014两年平均值。由表3可知，种植牧草处理的桔子产量、单果重、树高、冠径及春秋梢的个数和长度均高于裸地处理；牧草处理中，羽叶决明翻压处理的桔子产量、单果重、树高、冠径及春秋梢的个数和长度均是最高，其次是圆叶决明翻压。牧草处理的桔子产量较裸地处理的平均高出51.9%，单果重平均高出23.5%，单果重提高的百分率小于增产率，可见间作桔园不但果大，而且果多，同时，牧草处理的桔园的果皮较薄，外观品质明显较不间作桔园的柑桔好。羽叶决明翻压处理的桔子产量较其他牧草处理的平均高出31.5%，单个产量平均高出7.6%。不同耕作处理下桔子的糖度等养分含量有待于进一步研究。

3 讨论

牧草种植要有所选择^[20]，果园种植豆科牧草能明显提高土壤中碱解氮和有机质的含量，增强土壤酸度，因此需要及时施用石灰等碱性物质进行改良，同时，有效磷和速效钾含量下降，需补充磷肥和钾肥^[21]。本研究重在探索牧草种植后，通过对牧草进行刈割、自然保留和翻压处理，以探求不同耕作处理方式下土壤养分变化，其实质上是对土壤养分的带走和归还，通过豆科牧草的固氮，以提高土壤氮素含量，通过全部归还（翻压）、逐步归还（保留）和部分归还（刈割后根部）后豆科牧草残体的腐解，以提高土壤有机质含量，加速土壤矿化和养分释放。

本研究表明，种植豆科牧草后，牧草在刈割、保留和翻压处理下土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量总体呈上升趋势，土壤速效钾和pH总体呈下降趋势，这与曾丹娟等^[21]的研究基本一致。

表3 牧草间作对桔树生长和产量的影响

Table 3 Effects of interplantation of forage legumes on growth and yield of young citrus trees

处理 Treatment	桔子 产量 Orange yield (kg 株 ⁻¹)	单果重 Single fruit weight (g)	树高 Tree height (cm)	冠径 Canopy diameter (cm)	春梢个 数Spring branches amount (个)	春梢长 度Spring branches length (cm)	秋梢个数 Autumn branches amount (cm)	秋梢长度 Autumn branches length (cm)
裸地 ^①	3.5	109.6	131.9	60.8	20.2	2.3	22.0	11.6
圆叶决明翻压 ^②	6.4	142.5	152.3	72.5	30.9	4.2	30.4	18.9
羽叶决明翻压 ^③	6.8	145.3	155.5	75.1	32.0	4.5	31.5	18.7
罗顿豆翻压 ^④	4.5	129.3	138.8	67.8	25.3	2.9	23.4	14.3
大翼豆翻压 ^⑤	5.2	132.7	147.2	70.3	26.0	3.4	27.0	16.2
决明86134翻压 ^⑥	4.6	133.5	146.1	68.4	22.9	3.8	26.1	16.0
白三叶保留 ^⑦	4.5	128.9	142.6	65.2	24.6	3.2	23.5	15.4

①Bare land, ②Ploughing back *Chamaecrista rotundifolia*, ③Ploughing back *Chamaecrista nictitans*, ④Ploughing back *Lotononis bainesii*, ⑤Ploughing back *Macroptilium lathyroides*, ⑥Ploughing back *Chamaecrista rotundifolia* CPI 86134, ⑦Retain *Trifolium repens*

上述不同耕作处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾含量和土壤pH在2010—2014年间均存在一个先降后升的过程，这可能与种植牧草之前和2010年12月对所有处理的土壤进行了全面翻耕有关，因为与免耕相比较，翻耕能加快土壤呼吸速率，更快消耗土壤有机质。同时，翻耕也更容易致使水土流失，降低土壤肥力，增强土壤酸性^[22]。研究发现，牧草种植后土壤有机质、全氮、碱解氮含量及羽叶决明、圆叶决明、大翼豆种植后土壤有效磷含量升幅顺序表现为翻压处理>保留处理>刈割处理，因为刈割能带走更多养分，其次是保留和翻压处理，这与水土流失对土壤养分的效果一致，因此土壤速效钾含量和土壤pH降幅顺序也大致表现为刈割处理>保留处理>翻压处理；罗顿豆和决明86134种植后土壤有效磷含量升幅顺序为保留处理>刈割处理>翻压处理，是因为罗顿豆和决明86134在贫瘠干旱的红壤生长不好，生物量较少，更多的养分有效磷随刈割带走及通过翻压而被流失，这与刘俏^[23]的研究基本一致。

李发林等^[24]对果园草被残体进行了分解试验，结果表明，百喜草、圆叶决明、日本草草被残体半腐解时间为5个月，而宽叶雀稗为6个月；4种草被残体年释放量为残体氮素贮量的90.86%、67.76%、88.45%、88.33%，折合果园氮素年释放81.16、119.02、219.68、58.71 kg hm⁻²；4种草

被残体磷素年释放量分别为残体贮量的84.46%、80.32%、90.90%、87.22%，折合磷素年释放量为167.69、534.96、604.49、343.22 kg hm⁻²。本研究中的牧草植株翻压实质上就是一种腐解试验。羽叶决明翻压处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量的升幅最大，土壤速效钾含量降幅最小，其次是圆叶决明翻压处理，羽叶决明翻压处理下土壤pH降幅最小。因为羽叶决明的生物量和植株全氮含量较高会增加土壤微生物数量^[25]，加速土壤矿化及有机物料分解，从而快速提升土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量，本研究中翻压处理的土壤有速钾含量有所降低，除了部分流失之外，更多的是在植株中，还未腐解归还到土壤中，土壤有机质的提高会增加土壤酸的缓冲容量，从而减缓土壤pH快速降低。这与曾日秋等^[12]研究结果基本一致。

本试验中所选改良贫瘠红壤的六种豆科牧草中，2014年翻压的生物量羽叶决明最多，其次是圆叶决明，两者翻压量显著高于其他品种，其中，羽叶决明翻压量高出圆叶决明、罗顿豆、大翼豆和决明86134翻压量的比率分别为12.0%、105.8%、80.5%和47.4%；在2014年对所翻压牧草的氮磷含量进行检测发现，全氮含量依次为罗顿豆(20.63 g kg⁻¹)>决明86134(20.15 g kg⁻¹)>圆叶决明(19.58 g kg⁻¹)>羽叶决明(18.64 g kg⁻¹)>大

翼豆 (17.82 g kg⁻¹), 全磷含量依次为决明86134 (1.78 g kg⁻¹) > 罗顿豆 (1.61 g kg⁻¹) > 圆叶决明 (1.57 g kg⁻¹) > 羽叶决明 (1.51 g kg⁻¹) > 大翼豆 (1.56 g kg⁻¹)。但由于羽叶决明和圆叶决明两者归还的生物量比较大, 归还到土壤中的氮磷总量也比较多, 因此两者对土壤培肥的效果也应大于其他品种牧草, 尤以羽叶决明翻压的培肥效果最佳, 这与图1f~图5f的结果一致, 同时, 不同耕作处理下土壤肥力变化与表1中相应桔树产量和生长等指标的促进效果基本一致。表2表明了肥力较高处理的微生物生物量碳氮与土壤脲酶活性高于低肥力土壤, 尤其是羽叶决明翻压处理的显著高于其他翻压处理, 这与图1f的结果基本一致, 也与寇建村等^[26]的研究结果一致, 同时, 这也表明土壤微生物生物量碳氮和脲酶活性与土壤理化性质紧密相关, 这与表3的结果一致。尽管种植豆科牧草能提高红壤土壤肥力, 但也增强了土壤酸性, 因此, 在酸性红壤上种植豆科牧草进行培肥, 有必要增施石灰等碱性物质, 以防治土壤pH下降。

4 结 论

本研究中幼龄桔园种植的几种豆科牧草在刈割、保留和翻压处理下土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量总体呈上升趋势, 且升幅大致为翻压处理 > 保留处理 > 刈割处理, 土壤速效钾和pH总体呈下降趋势, 降幅大致为刈割处理 > 保留处理 > 翻压处理; 羽叶决明翻压处理的土壤有机质、全氮、碱解氮、有效磷含量的升幅最大, 土壤速效钾含量降幅最小, 其次是圆叶决明翻压处理, 羽叶决明翻压处理下土壤pH降幅最小; 牧草栽培过程中需补充钾肥和磷肥; 羽叶决明最能适应在干旱贫瘠的红壤中生长及培肥, 其次是圆叶决明。羽叶决明翻压处理的牧草生物量最大, 归还到土壤里中磷钾也较多, 也最能提高桔子产量和单果重, 并促进果树横纵向生长和春秋梢的个数增多及长度增长, 其土壤微生物生物量碳氮和脲酶活性也显著高于其他处理。酸性红壤区种植豆科牧草进行培肥, 有必要增施石灰等碱性物质, 以防治土壤pH下降。

参 考 文 献

[1] 谢峥嵘. 湘南红壤山地桔园生态一体系建设初探——以衡南县高山王小流域为例. 湖南农业科学, 2006

(4): 91—93

- Xie Z R. Initially research of citrus orchard ecological system construction in hilly red soil areas of southern Hunan—Example for Gaoshanwang small watershed of Hengnan County (In Chinese). *Hunan Agricultural Sciences*, 2006 (4): 91—93
- [2] 王明珠, 尹润龄. 红壤丘陵区生态农业模式研究. 生态学报, 1999, 19 (3): 335—341
Wang M Z, Yin R L. Study on ecological agriculture patterns in hilly red soil region (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19 (3): 335—341
- [3] 陈学森, 徐明举. 果园地如何越种越肥. 山东科技报, 2012-11-09 (2)
Chen X S, Xu M J. How to make an orchard more fertile (In Chinese). *Shandong Science and Technology News*, 2012-11-09 (2)
- [4] Jeyabal A, Kuppaswamy G. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice-legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Agronomy*, 2001, 15 (3): 153—170
- [5] Kerr R B, Snapp S, Shumba L, et al. Participatory research on legume diversification with Malawian small holder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture*, 2007, 43 (4): 437—453
- [6] 彭玲, 文昭, 安欣, 等. 果园生草对¹⁵N利用及土壤累积的影响. 土壤学报, 2015, 52 (4): 950—956
Peng L, Wen Z, An X, et al. Effects of interplanting grass on utilization loss and accumulation of ¹⁵N in apple orchard (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2015, 52 (4): 950—956
- [7] 翁伯琦, 罗涛, 应朝阳, 等. 福建红壤区适生牧草种质筛选及其套种于山地果园的生态效应. 热带作物学报, 2004, 25 (2): 95—101
Weng B Q, Luo T, Ying Z Y, et al. Screening of pasture for the red soil regions in Fujian and effect of pasture intercropping in mountainous orchards (In Chinese). *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2004, 25 (2): 95—101
- [8] 易显凤, 赖志强, 蔡小艳, 等. 果园套种豆科牧草试验研究. 草业科学, 2010, 27 (8): 161—165
Yi X F, Lai Z Q, Cai X Y, et al. Study on intercropping leguminous forages in orchard (In Chinese). *Pratacultural Science*, 2010, 27 (8): 161—165
- [9] 谷艳蓉, 张海伶, 胡艳红. 果园自然生草覆盖对土壤理化性状及大桃产量和品质的影响. 草业科学, 2009, 26 (12): 103—107
Gu Y R, Zhang H L, Hu Y H. Effect of natural grasses

- cover on soil properties and yield and quality of peach (In Chinese). *Pratacultural Science*, 2009, 26 (12): 103—107
- [10] 翁伯琦, 应朝阳, 黄毅斌, 等. 闽北山区红壤丘陵开发地生态恢复与综合利用模式构建及其应用研究. *水土保持学报*, 2006, 20 (1): 147—150
Weng B Q, Ying Z Y, Huang Y B, et al. Study on construction and application of comprehensive utilization mode and ecological rehabilitation of empoldered red soil mountains in northern Fujian (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20 (1): 147—150
- [11] 陈学森, 苏桂林, 姜远茂, 等. 可持续发展果园的经营与管理——再谈果园生草培肥地力及其配套技术. *落叶果树*, 2013, 45 (1): 1—3
Chen X S, Su G L, Jiang Y M, et al. Management and administration of the sustainable development orchard—Talk about grass fertilizer soil fertility of orchard and its matching techniques again (In Chinese). *Deciduous Fruit Tree*, 2013, 45 (1): 1—3
- [12] 曾日秋, 黄毅斌, 洪建基, 等. 枇杷园套种豆科牧草的生态效应. *福建农业学报*, 2010, 25 (4): 517—519
Zeng R Q, Huang Y B, Hong J J, et al. Ecological effects of inter-plantation of leguminous grass in Loquat orchard (In Chinese). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 25 (4): 517—519
- [13] 刘韬. 山区果园套种圆叶决明对红壤生态环境及果树生长的影响. *中国农学通报*, 2007, 23 (7): 322—327
Liu T. The effect of the chamaecrista rotundifolia on the growth of the fruit trees and ecology of the red soil region in mountainous orchards (In Chinese). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23 (7): 322—327
- [14] 董素钦. 果园套种牧草对生态环境、培肥地力的影响. *现代农业科技*, 2006 (12): 11—12
Dong S Q. The effect of inter-plantation of leguminous grass in orchard on the ecological environment and fertility conditions (In Chinese). *Modern Agricultural Science and Technology*, 2006 (12): 11—12
- [15] 黄毅斌, 应朝阳, 郑仲登, 等. 红壤丘陵区生态果园建设的模式、技术与效应. *福建农业学报*, 2000, 15 (增刊): 182—184
Huang Y B, Ying Z Y, Zheng Z D, et al. The model, technology and benefits of building ecological orchard in hilly red soil region (In Chinese). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2000, 15 (Suppl): 182—184
- [16] 黄毅斌, 应朝阳, 郑仲登, 等. 生态牧草筛选及其在生态果园应用的研究. *中国生态农业学报*, 2001, 9 (3): 48—51
Huang Y B, Ying Z Y, Zheng Z D, et al. Studies on the ecological forages and its utilization in ecological orchard (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9 (3): 48—51
- [17] Adjei-Nsiah S, Kuyper T W, Leeuwis C, et al. Evaluating sustainable and profitable cropping sequences with cassava and four legume crops: Effects on soil fertility and maize yields in the forest/savannah transitional agro-ecological zone of Ghana. *Field Crops Research*, 2007, 103 (2): 87—97
- [18] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
Lu R K. *Analytical methods for soil and agro-chemistry* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [19] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 等. *土壤微生物生物量测定方法及其应用*. 北京: 气象出版社, 2006: 54—88
Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, et al. The determination method of soil microbial biomass and its application (In Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2006: 54—88
- [20] 张建全, 张吉宇, 王彦荣, 等. 黄土高原4种豆科牧草生产性能及根系发育特征. *草地学报*, 2013, 21 (5): 965—970
Zhang J Q, Zhang J Y, Wang Y R, et al. Productive performance and development characteristics of root systems of 4 forage legume species in Loess Plateau, China (In Chinese). *Acta Agraria Sinica*, 2013, 21 (5): 965—970
- [21] 曾丹娟, 黄玉清, 莫凌, 等. 果园套种牧草地上生物量的动态变化及其对土壤肥力的影响. *草业科学*, 2011, 28 (12): 2170—2174
Zeng D J, Huang Y Q, Mo L, et al. Above ground biomass of intercropping forages in orchard and its effect on soil fertility (In Chinese). *Pratacultural Science*, 2011, 28 (12): 2170—2174
- [22] 禄兴丽, 廖允成. 不同耕作措施对旱作夏玉米田土壤呼吸及根呼吸的影响. *环境科学*, 2015, 36 (6): 2266—2273
Lu X L, Liao Y C. Effects of tillage on soil respiration and root respiration under rain-fed summer corn field (In Chinese). *Environmental Science*, 2015, 36 (6): 2266—2273
- [23] 刘俏. *红壤丘陵区经济林坡地侵蚀产沙与养分流失特征研究*. 杭州: 浙江大学, 2014
Liu Q. *Soil erosion and nutrient loss characteristics of economic forest slope land in red soil hilly region* (In Chinese). Hangzhou: Zhejiang University, 2014
- [24] 李发林, 黄炎和, 林晓兰, 等. 生草果园草被残体氮磷分解规律研究. *福建农业学报*, 2012, 27 (8):

895—900

Li F L, Huang Y H, Lin X L, et al. Nitrogen and phosphorus decomposition of debris from orchard grass (In Chinese). *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 27 (8): 895—900

- [25] 王俊宏. 氮素对羽叶决明单宁含量的影响及DFR基因的克隆. 福州: 福建农林大学, 2010
Wang J H. Effects of nitrogen level on tannins in *Chamaecrasta nictitans* and cloning of DFR gene (In

Chinese). Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010

- [26] 寇建村, 杨文权, 韩明玉, 等. 行间种植豆科牧草对苹果园土壤微生物区系及土壤酶活性的影响. *草地学报*, 2013, 21 (4): 676—682
Kou J C, Yang W Q, Han M Y, et al. Effects of interplanted legumes in apple orchard on soil microbial population and enzyme activities (In Chinese). *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21 (4): 676—682

Soil Building Effect of Planting Forage Legumes in Young Orchard in Hilly Red Soil Regions, South Hunan, China

DONG Chunhua^{1, 2, 3} ZENG Xibai^{4†} WEN Shilin³ LUO Zunchang¹ SU Yirong²

(1 Soil and Fertilizer Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China)

(2 Institute of Subtropical Ecological Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

(3 Red Soil Experiment Station of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hengyang, Hunan 421000, China)

(4 Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Agro-Environment, Ministry of Agriculture of China, Beijing 100081, China)

Abstract 【Objective】 The objective of this study is to obtain fertilizing effects of interplanting forage legumes and corresponding handling modes, which would be lay a basis for fertilizing measures of young orchard in hilly red soil region of south Hunan, China. 【Method】 In order to explore effects of interplanting forage legumes and corresponding handling modes on soil fertility in young citrus orchards, a field experiment was carried out interplanting six species of forage legumes, including *Trifolium repens*, *Chamaecrasta nictitans*, *Chamaecrista rotundifolia*, *Chamaecrista rotundifolia* CPI 86134, *Macroptilium lathyroides*, and *Lotononis bainesii* were, separately and designed to have the crops, harvested, laid over or plowed down, in a young citrus plantation in a hilly red soil region of South Hunan. Soil physicochemical properties of all the plots were measured after the experiment for analysis of the effects. 【Result】 Compared with CK (no crop interplanted), all the plots, on the whole, increased in contents of organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, and available phosphorus, and the increasing effects were the highest in the plots with the crops plowed down or incorporated, but decreased in content of readily available potassium and pH, and the decreasing trends were the lowest in the plots with the crops plowed down. Among all the plots, the plot with *Chamaecrasta nictitans* plowed down raised the contents of organic matter, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, and available phosphorus contents the highest in margin and lowered the content of readily available potassium the least, and the plot with *Chamaecrista rotundifolia* incorporated came the next in the effects. Besides, the plot with *Chamaecrasta nictitans* incorporated lowered soil pH the least. Compared with CK, all the plots increased fruit yield, single fruit weight, and tree height, canopy diameter, and number and length of spring/autumn branches of the orange trees. The effect of the plot with *Chamaecrasta nictitans* incorporated was the most significant and the plot with *Chamaecrista rotundifolia* incorporated came the next. Besides, the plot with *Chamaecrasta nictitans* incorporated was the highest in biomass of the forage legume yielded, and in amount of nitrogen and phosphorus returned into the soil, and in soil microbial biomass carbon, soil microbial

biomass nitrogen, and urease activity, too. 【Conclusion】 Therefore, it can be concluded that the practice of interplanting *Chamaecrabortianitans* and then incorporating the crop is the most suitable soil building mode for young citrus orchards, but it needs supplementation of some potassium and phosphorus fertilizers. Besides, it is also necessary to apply some alkaline material, like lime, to offset the effect of interplanting forage legumes lowering soil pH.

Key words Hilly red soil region in South Hunan; Young orchard; Forage Legume; Soil chemical properties

(责任编辑: 檀满枝)