



张媛, 章家恩, 向慧敏, 等. 赤红壤坡地幼龄果园间作对土壤氮组分的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(5): 43-49.

赤红壤坡地幼龄果园间作对土壤氮组分的影响

张媛^{1,2}, 章家恩^{1,2}, 向慧敏^{1,2}, 巩雅莉², 罗颢^{1,2}, 李登峰^{1,2}

(1 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 2 农业部华南热带农业环境重点实验室/广东省现代生态农业与循环农业工程技术研究中心/广东省高等学校农业生态与农村环境重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】探讨赤红壤坡地幼龄果园不同间作模式对土壤氮组分的影响, 筛选出提高果园土壤氮素有效性的优化间作模式。【方法】通过 2 季(2015 年秋季和 2016 年春季)野外定位试验, 以龙眼 *Dimocarpus longan* (DI) 单作为对照(CK), 研究幼龄龙眼园 3 种间作模式[龙眼/花生 *Arachis hypogaea* (DI/Ah)、龙眼/柱花草 *Stylosanthes guianensis* (DI/Sg) 和龙眼/黑麦草 *Lolium perenne* (DI/Lp)]对土壤全氮(TN)、碱解氮(AN)、硝态氮(NO_3^- -N)、溶解性有机氮(DON)和微生物生物量氮(MBN)等氮组分含量的影响。【结果】2 季花生成熟期, 间作处理土壤 MBN 含量显著高于 CK, DI/Ah 和 DI/Sg 处理土壤 TN 含量显著高于 CK; 2 季花生花针期, DI/Ah 处理土壤 DON 和 AN 含量均显著高于 CK; 2016 年春季花生花针期, DI/Ah 和 DI/Sg 处理土壤 NO_3^- -N 含量分别比 CK 显著提高了 64.4% 和 34.2%。土壤 TN、DON、 NO_3^- -N 含量与植株 C 含量、C/N 呈显著负相关关系, 与植株 N 含量呈显著正相关关系。【结论】幼龄果园间作花生和柱花草可以显著提高土壤各氮组分含量, 间作花生的效果更佳。

关键词: 赤红壤; 幼龄果园; 间作; 氮组分
中图分类号: S604.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2017)05-0043-07

Effects of intercropping on nitrogen component in latosolic red soil of slope land in young orchard

ZHANG Yuan^{1,2}, ZHANG Jiaen^{1,2}, XIANG Huimin^{1,2}, GONG Yali², LUO Hao^{1,2}, LI Dengfeng^{1,2}

(1 College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 Key Laboratory of Agro-environment in the Tropics, Ministry of Agriculture/Guangdong Engineering Research Center for Modern Eco-agriculture and Circular Agriculture/Key Laboratory of Agro-ecology and Rural Environment of Guangzhou Regular Higher Education Institutions, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To explore the effects of different intercropping patterns on nitrogen components of latosolic red soil of slope land in young orchard, and identify an optimal intercropping pattern that could improve soil nitrogen availability in orchard. 【Method】A field experiment was carried out in *Dimocarpus longan* (DI) orchard for two seasons (in autumn of 2015 and spring of 2016) to investigate the effects of four planting patterns [DI monoculture (CK), DI intercropping with *Arachis hypogaea* (DI/Ah), DI intercropping with *Stylosanthes guianensis* (DI/Sg) and DI intercropping with *Lolium perenne* (DI/Lp)] on the contents of soil total nitrogen (TN), available nitrogen (AN), NO_3^- -N, dissolved organic nitrogen (DON) and microbial biomass nitrogen (MBN). 【Result】Soil TN contents of DI/Ah and DI/Sg treatments and soil MBN contents of intercropping treatments were significantly higher than that of CK at the maturing stage of *A. hypogaea* in two seasons. At the pegging stage of *A. hypogaea* in two seasons, soil DON and AN

收稿日期: 2016-12-25 优先出版时间: 2017-07-14
优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170714.0856.016.html>
作者简介: 张媛(1990—), 女, 硕士研究生, E-mail: 1605483842@qq.com; 通信作者: 章家恩(1968—), 男, 教授, 博士, E-mail: jeanzh@scau.edu.cn
基金项目: 广东省科技计划项目(2015B090903077, 2016A020210094); 广州市科技计划项目(201604020062); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目(2016LM1100)

contents of D1/Ah treatment were significantly higher than that of CK. NO₃⁻-N contents of D1/Ah and D1/Sg treatments were significantly higher than that of CK, and enhanced by 64.4% and 34.2% respectively at the pegging stage of *A. hypogaea* in 2016. Soil TN, DON and NO₃⁻-N contents had a significantly positive correlation with plant nitrogen content, but were negatively correlated with the carbon content and carbon/nitrogen ratio of plant.

【Conclusion】D1/Ah and D1/Sg treatments could significantly improve soil nitrogen component contents, and D1/Ah treatment was better.

Key words: latosolic red soil; young orchard; intercropping; nitrogen component

华南地区属亚热带季风气候, 高温多雨, 山地丘陵比例高, 赤红壤分布广泛。新开垦的果园普遍存在土壤肥力低下、水土流失严重和偏酸等问题^[1]。传统果园清耕模式地表裸露较多, 水土流失严重, 果园地力退化, 病虫、杂草危害多, 农药使用量大^[2], 这不仅对生态环境造成危害, 也严重制约了果园的可持续发展。果园间作是针对传统果园土壤潜在负面危害采取的重要管理措施, 20 世纪 70 年代已成为生态果园建设的主流模式^[3]。间作能有效改善果园生态环境^[4], 提高土壤有机质、氮、磷、钾含量和阳离子交换量^[5-6], 显著降低土壤容重, 增加土壤孔隙度^[7], 增强土壤微生物及酶活性^[8-9]。氮素作为果树生长发育必须的大量元素之一^[10], 在果树的生长及果实产量和品质提高等方面起着重要作用^[11]。施用氮肥可以获得明显的增产效果, 但氮肥在土壤中被植物吸收利用率低于 50%^[12]。研究表明, 间作模式可以增加土壤氮素水平, 提高氮素的有效利用率^[13], 从而减轻氮素流失对环境污染的负荷。本研究选取华南地区典型的具有固氮能力的经济作物花生 *Arachis hypogaea*、非固氮能力的禾本科牧草黑麦草 *Lolium perenne* 和优良牧草柱花草 *Stylosanthes guianensis* 为研究对象, 将这 3 种作物间作在华南幼龄龙眼 *Dimocarpus longan* 园中, 探索幼龄果园间作豆科作物(花生、柱花草)和非豆科作物(黑麦草)对土壤氮素不同组分的影响, 为果园土壤氮的有效管理及果园土壤质量的提高提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2015 年 8 月—2016 年 7 月在华南农业大学增城教学科研基地的幼龄龙眼园(龙眼树于 2013 年种植)进行, E113°38', N23°14', 海拔 30 m, 属亚热带季风气候, 年平均气温 21.7 °C, 高温月为 7—8 月, 低温月为 1—2 月(11 月下旬至翌年 2 月中旬出现霜冻)。全年 10 °C 以上的积温 7 000.0~

7 910.9 °C, 年平均降水量为 1 967.8 mm, 集中在 5—7 月, 11 月到翌年 3 月为旱季, 年平均太阳辐射值为 4 482.3 MJ·m⁻², 年平均日照时数为 1 707.2 h。

试验地土壤类型为花岗岩风化物发育而成的赤红壤, 耕层土壤 0~10 cm, pH 5.51, 有机质和全氮分别为 18.21 和 1.29 g·kg⁻¹, 碱解氮、有效磷和速效钾分别为 75.57、18.32 和 25.22 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计, 共设 4 个处理: 龙眼园清耕(CK)、龙眼园间作花生(D1/Ah)、龙眼园间作柱花草(D1/Sg)和龙眼园间作黑麦草(D1/Lp), 每个处理重复 3 次, 对照区定期将地上杂草清除并返还到土壤中。各小区面积均为 9 m×16 m, 每小区 6 棵龙眼树, 龙眼树株行距 5 m×6 m。花生株(穴)行距 20 cm×25 cm, 每穴 2 粒。柱花草和黑麦草均采用拌土条播, 其中柱花草播种行距 50 cm, 黑麦草播种行距 25 cm。播种前全园施用挪威复合肥[m(N): m(P₂O₅): m(K₂O)=15: 15: 15] 600 kg·hm⁻² (基肥一次性施入), 整个生育期间不再追肥。花生收获后, 将花生、柱花草和黑麦草秸秆全部切断归还于原来的小区。

1.3 采样方法

在花生苗期、花针期、成熟期采用 S 型五点混合取样法, 分别取各小区 0~10 cm 土层的土壤, 带回实验室 4 °C 保存。样品处理时, 剔除活体根系、石块等杂物, 将土壤样品分成 2 等份: 一份过 2 mm 筛后置于 4 °C 冰箱恒温保存, 进行土壤微生物生物量氮、铵态氮、硝态氮、溶解性有机氮等含量的测定; 一份自然风干, 通过 1 mm 筛后在常温下保存, 供土壤有机质、碱解氮、全氮含量的测定。花生成熟期分别在各间作小区内随机取 3 个 1 m×1 m 样方的间作作物地上部分茎和叶, 带回室内放入鼓风干燥箱, 105 °C 杀青 30 min 后, 85 °C 烘干至恒质量, 称其质量, 粉碎后用于测定间作作物植株的碳、氮含量(注: 2016 年黑麦草是在 5 月底取样, 因为花生成熟期时, 黑麦草已枯死)。

1.4 测定方法

土壤容重采用环刀法测定; 土壤有机质和植株碳含量均采用重铬酸钾容量法测定; 土壤全氮和植株氮含量均采用凯氏定氮法测定; 土壤碱解氮采用碱解扩散法测定; 土壤 NO₃⁻-N 采用还原蒸馏法测定^[14]。土壤微生物生物量氮(MBN)采用氯仿熏蒸-提取法测定^[15]; 土壤溶解性有机氮(DON)用 0.5 mol·L⁻¹K₂SO₄ 溶液浸提新鲜土壤[m(土):m(液)=1:5], 然后用 SKALAR 流动分析仪(SAN++, 荷兰)进行测定^[16]。

1.5 统计方法

所有数据经 Excel 软件处理后, 用 SPSS 21.0 软件进行统计分析, 采用 Origin 8.1 作图。处理间差异采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan's 法检验。用 Pearson 法(若数据符合正态分

布)或 Spearman 法(若数据不符合正态分布)分析植株碳、氮含量、碳氮比、生物量与土壤 N 组分含量的相关关系, 显著性水平均设为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 幼龄果园间作对土壤容重和有机质含量的影响

2015 年秋季, 在花生 3 个生长时期, 4 个处理土壤容重表现为: CK>DI/Lp>DI/Sg>DI/Ah, 其中 DI/Sg 和 DI/Ah 土壤容重均显著低于对应时期的 CK($P<0.05$)(表 1)。2016 年春季花生苗期和花针期, 与 CK 相比, DI/Sg 和 DI/Ah 处理均显著降低了土壤容重; 成熟期, 仅 DI/Ah 土壤容重显著低于 CK($P<0.05$)。说明果园间作花生和柱花草降低了土壤容重, 提高了土壤的通气性。

表 1 幼龄果园间作不同作物处理下土壤容重和有机质含量¹⁾

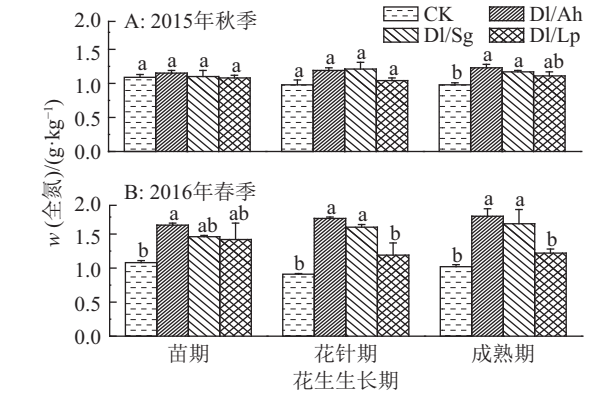
年份 花生生长期		容重/(g·cm ⁻³)				w(有机质)/(g·kg ⁻¹)			
		CK	DI/Ah	DI/Sg	DI/Lp	CK	DI/Ah	DI/Sg	DI/Lp
2015	苗期	1.53±0.09a	1.25±0.06b	1.26±0.05b	1.41±0.05ab	19.80±1.05a	21.04±1.79a	21.85±1.74a	20.52±0.01a
	花针期	1.61±0.09a	1.35±0.03b	1.43±0.01ab	1.56±0.06a	18.21±0.11c	23.58±0.78a	21.26±1.47ab	20.54±0.41bc
	成熟期	1.45±0.07a	1.23±0.06b	1.26±0.01b	1.36±0.02ab	17.98±0.18b	20.89±1.57ab	21.27±0.81a	18.88±0.51ab
2016	苗期	1.54±0.01a	1.30±0.04b	1.31±0.09b	1.51±0.08ab	19.96±0.42a	21.66±1.38a	22.69±0.93a	20.31±0.70a
	花针期	1.78±0.05a	1.50±0.10b	1.56±0.03b	1.63±0.05ab	20.27±0.63b	22.70±0.29a	22.87±0.35a	20.19±0.26b
	成熟期	1.63±0.06ab	1.45±0.04c	1.49±0.02bc	1.66±0.07a	18.21±0.11b	24.08±1.50a	24.82±0.93a	19.04±0.34b

1)相同指标同行数据后凡是有有一个相同小写字母者, 表示不同处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

2 季花生花针期和 2016 年春季花生成熟期, DI/Ah 和 DI/Sg 处理土壤有机质含量均显著高于对应时期的 CK($P<0.05$)(表 1)。2015 年秋季花生成熟期, DI/Sg 处理土壤有机质含量比 CK 显著提高 18.3%($P<0.05$)。说明果园间作花生和柱花草能明显提高土壤有机质含量。

2.2 幼龄果园间作对土壤全氮及氮组分含量的影响

2.2.1 全氮(TN) 由图 1 可以看出, 2015 年秋季花生成熟期, DI/Ah 和 DI/Sg 处理土壤 TN 含量分别比 CK 显著提高 25.5% 和 19.4%($P<0.05$)。2016 年春季在花生 3 个生长时期, 4 个处理土壤 TN 含量均表现为: DI/Ah>DI/Sg>DI/Lp>CK, 且在花生花针期和成熟期, DI/Ah 和 DI/Sg 土壤 TN 含量均显著高于对应时期的 CK 和 DI/Lp($P<0.05$); 花针期, DI/Ah 和 DI/Sg 土壤 TN 含量分别比 CK 显著提高 90.1% 和 75.8%($P<0.05$); 成熟期, DI/Ah 和 DI/Sg 土壤 TN 含量分别比 CK 显著提高 72.6% 和 61.8%

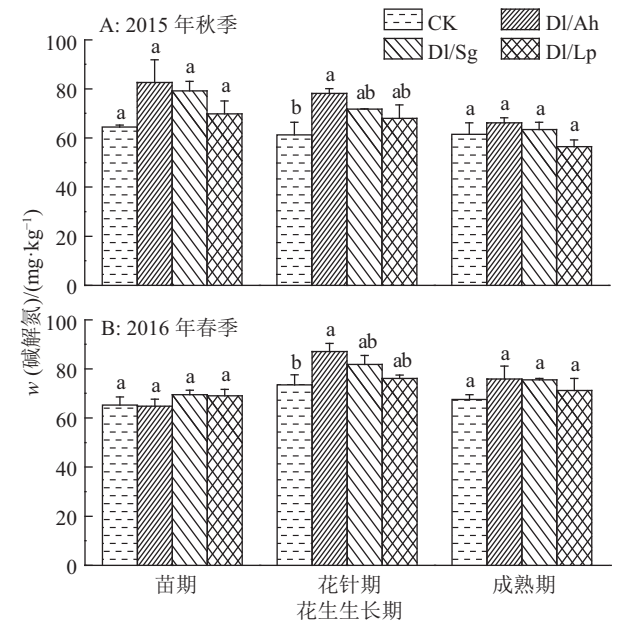


各图中相同生长期不同柱子上凡是有有一个相同小写字母者, 表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

图 1 幼龄果园间作不同作物处理下土壤全氮含量
Fig. 1 The content of total nitrogen in different intercropping soil in young orchard

($P<0.05$)。说明幼龄果园间作花生和柱花草有助于提高土壤全氮含量, 间作花生对土壤全氮含量的提升幅度较大, 但间作黑麦草对土壤全氮含量提高效果不明显。

2.2.2 碱解氮(AN) 由图 2 可以看出,2015 年秋季和 2016 年春季,除花生苗期外,4 个处理土壤 AN 含量均表现为:DI/Ah>DI/Sg>DI/Lp>CK。两季花生花针期,DI/Ah 处理土壤 AN 含量分别比对应时期的 CK 显著提高 27.5% 和 18.4%($P<0.05$)。

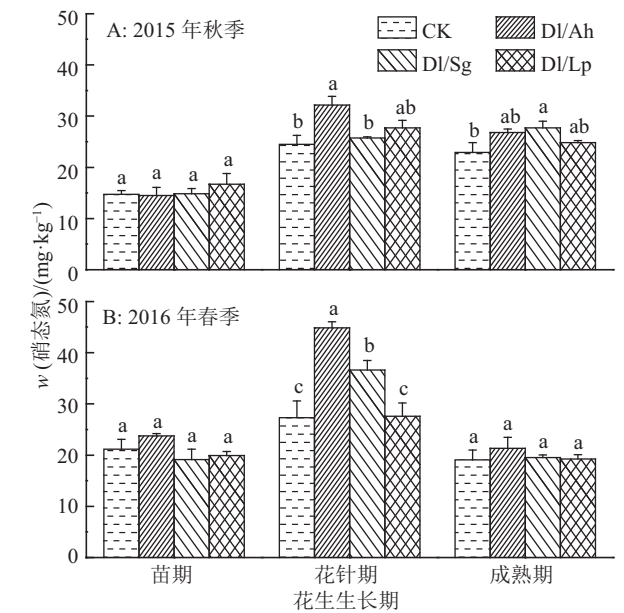


各图中相同生长期不同柱子上凡是有一个相同小写字母者,表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

图 2 幼龄果园间作不同作物处理下土壤碱解氮含量
Fig. 2 The content of available nitrogen in different intercropping soil in young orchard

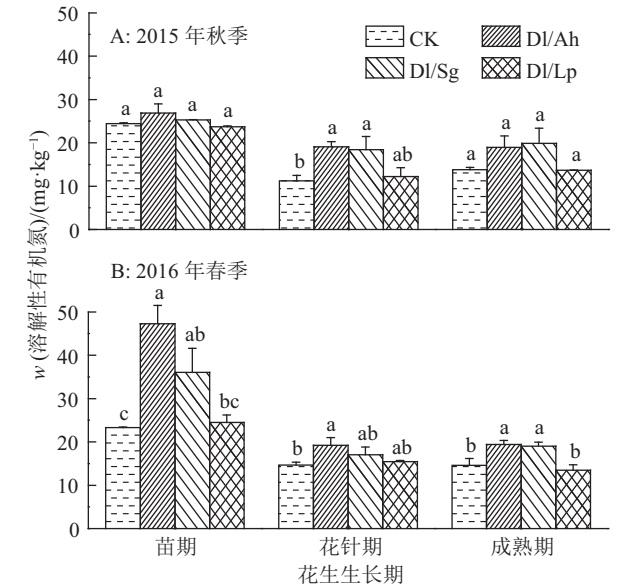
2.2.3 硝态氮(NO_3^- -N) 由图 3 可知,在 2015 年秋季花生花针期,DI/Ah 处理土壤 NO_3^- -N 含量显著高于其他 3 个处理($P<0.05$),DI/Ah 比 CK 显著提高 31.2%,但 DI/Sg 和 DI/Lp 处理土壤 NO_3^- -N 含量与 CK 差异不明显($P>0.05$);2015 年秋季成熟期,DI/Sg 处理土壤 NO_3^- -N 含量比 CK 显著提高了 17.4% ($P<0.05$)。2016 年春季花针期,DI/Ah 和 DI/Sg 处理土壤 NO_3^- -N 含量分别比 CK 显著提高 64.4% 和 34.2%($P<0.05$),但 DI/Lp 与 CK 差异不显著($P>0.05$)。说明果园间作花生和柱花草可显著提高土壤硝态氮含量,且间作花生对土壤硝态氮的改善效果较好。

2.2.4 溶解性有机氮(DON) 由图 4 可以看出,2015 年秋季花生花针期,DI/Ah 和 DI/Sg 土壤 DON 含量分别比 CK 显著提高 69.9% 和 64.5% ($P<0.05$),但 DI/Ah 与 DI/Sg 处理无显著性差异($P>0.05$)。2016 年春季花生苗期和成熟期,与 CK 相比,DI/Ah 和 DI/Sg 均显著提高了土壤 DON 含量,且 DI/Ah 土壤 DON 含量(47.28、19.39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)高于 DI/Sg(36.03、19.04 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$);而



各图中相同生长期不同柱子上凡是有一个相同小写字母者,表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

图 3 幼龄果园间作不同作物处理下土壤硝态氮(NO_3^- -N) 含量
Fig. 3 The content of NO_3^- -N in different intercropping soil in young orchard

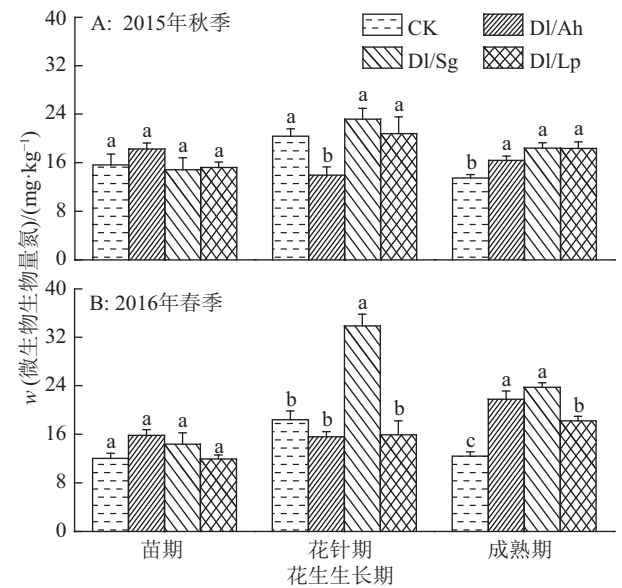


各图中相同生长期不同柱子上凡是有一个相同小写字母者,表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

图 4 幼龄果园间作不同作物处理下土壤溶解性有机氮(DON)含量
Fig. 4 The content of dissolved organic nitrogen in different intercropping soil in young orchard

DI/Lp 土壤 DON 含量与 CK 差异不显著($P>0.05$)。说明果园间作花生和柱花草均能显著提高土壤溶解性有机氮含量,且间作花生对土壤 DON 提高幅度较大。

2.2.5 微生物生物量氮(MBN) 由图 5 可以看出,
<http://xuebao.scau.edu.cn>



各图中相同生长期不同柱子上凡是有有一个相同小写字母者, 表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

图 5 幼龄果园间作不同作物处理下土壤微生物生物量氮 (MBN)含量

Fig. 5 The content of microbial biomass nitrogen in different intercropping soil in young orchard

2015 年秋季花生成熟期, DI/Sg、DI/Ah 和 DI/Lp 土壤 MBN 含量均显著高于 CK($P<0.05$), 分别比 CK 高 21.5%、36.6% 和 36.1%。花针期, DI/Ah 土壤 MBN 含量显著低于其他 3 个处理($P<0.05$), 这可能是由于花生在此时期由营养生长向生殖生长转

化, 需要吸收大量的养分。2016 年春季花生成熟期, 各间作处理土壤 MBN 含量均显著高于 CK($P<0.05$), 依次为: DI/Sg>DI/Ah>DI/Lp>CK, 且 DI/Sg、DI/Ah 土壤 MBN 含量显著高于 DI/Lp 处理($P<0.05$)。可见, 果园间作花生、柱花草和黑麦草均能在不同程度上增加土壤 MBN 含量, 间作柱花草对土壤 MBN 含量提升效果最好, 其次是花生。

2.3 幼龄果园间作作物生物量和植株碳、氮含量的变化

2 季花生成熟期, 柱花草的生物量均显著高于对应时期的黑麦草和花生($P<0.05$)(表 2); 2016 年春季, 黑麦草的生物量显著高于花生($P<0.05$), 但 2015 年秋季二者差异不显著($P>0.05$)。花生和柱花草植株 N 含量均显著高于对应时期的黑麦草($P<0.05$), 3 种作物植株 C 含量差异不显著($P>0.05$)。3 种作物的植株 C/N 差异显著($P<0.05$), 2 季均依次黑麦草>柱花草>花生。

2.4 间作作物植株碳、氮含量以及生物量与土壤 N 组分含量的相关关系

土壤全氮(TN)、溶解性有机氮(DON)和 NO_3^- -N 含量均与植株 C 含量和植株 C/N 呈显著($P<0.05$)或极显著负相关($P<0.01$), 与植株 N 含量呈显著($P<0.05$)或极显著正相关($P<0.01$)(表 3)。说明间作作物的植株 C、N 含量以及 C/N 对土壤的 TN、DON、 NO_3^- -N 含量有显著影响。

表 2 幼龄果园不同间作作物的植株生物量以及碳、氮含量¹⁾

Tab. 2 The above ground biomass, carbon and nitrogen contents of different intercropping plants in young orchard					
年份	间作作物	生物量/(t·hm ⁻²)	w(C)/%	w(N)/%	C/N
2015	花生	5.26±0.68b	42.48±0.31a	4.42±0.03a	9.61±0.18c
	柱花草	14.45±1.66a	42.80±0.09a	3.39±0.12b	12.67±0.85b
	黑麦草	3.31±0.53b	42.99±0.89a	2.28±0.14c	18.99±1.63a
2016	花生	4.03±0.41c	41.50±0.84a	4.11±0.22a	10.13±0.71c
	柱花草	24.35±3.42a	41.23±0.49a	3.25±0.07b	12.71±0.38b
	黑麦草	11.44±0.21b	42.65±0.82a	2.22±0.07c	19.27±0.63a

1) 取样时间为花生成熟期; 相同年份、同列数据后具有一个相同小写字母者, 表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)。

表 3 不同间作作物植株 C、N 含量、生物量与土壤 N 组分含量的相关系数¹⁾

Tab. 3 Correlation coefficients between the contents of nitrogen component in soil and the biomass, carbon and nitrogen contents of different intercropping plants

指标	土壤 N 组分 ¹⁾				
	TN	AN	MBN	DON	NO_3^- -N
植株 C 含量	-0.867**	-0.533	-0.133	-0.700*	-0.750*
植株 N 含量	0.892**	0.296	0.312	0.839**	0.716*
植株 C/N	-0.853**	-0.317	0.154	-0.746*	-0.691*
植株生物量	-0.333	-0.300	0.383	-0.117	0.100

1) TN: 全氮, AN: 碱解氮, MBN: 微生物生物量氮, DON: 溶解性有机氮; *和**分别表示 0.05 和 0.01 水平显著相关。

3 讨论和结论

3.1 幼龄果园间作对土壤全氮和氮组分含量的影响

氮是植物生长发育所需的大量营养元素之一，对作物生长和高产起着重要的作用^[17]。本研究结果表明，幼龄果园间作花生和柱花草能明显提高土壤全氮和碱解氮含量，且间作花生对土壤全氮和碱解氮的提升效果最明显。这与章家恩等^[1]研究结果一致，幼龄果园间作豆科牧草能更好地促进土壤氮的固定，而间作非豆科作物(黑麦草)对土壤全氮和碱解氮没有显著影响。

土壤硝态氮是土壤中一个重要的有效氮组分，其含量占无机态氮总量的 91%，可被植物直接吸收利用，对作物生长起着重要作用^[18]。土壤中硝态氮极易溶于水，可以随水流失，也可以在反硝化细菌的作用下形成 N₂ 或 N₂O 释放到大气中^[19]，导致土壤中的硝态氮含量下降。邹亚丽等^[20]的研究表明，幼龄桃园间作三叶草土壤硝态氮含量比对照显著提高 127.5%。本研究结果表明果园间作花生和柱花草明显提高了土壤硝态氮含量，但间作黑麦草并没有明显改变硝态氮含量，导致这一结果的可能原因：1)花生和柱花草通过固氮作用增加了土壤中的硝态氮含量^[21]；2)黑麦草氮素吸收量与土壤硝态氮含量呈显著正相关关系^[22]，说明黑麦草生长过程中以硝态氮为主要氮源，从而导致间作黑麦草处理土壤中的硝态氮含量较低。间作花生对土壤硝态氮的改善效果较好是因为花生的生物量低于柱花草，使其从土壤中吸收的硝态氮量也相对较少。

土壤中溶解性有机氮(DON)主要来源于新近凋落物和土壤腐殖质，其中新鲜凋落物对 DON 有显著影响^[23]。Casals 等^[24]观察到松林土壤沥出液中绝大部分 DON 都来自于新近的凋落物层。本研究发现，幼龄龙眼园间作豆科作物明显提高了土壤 DON 含量，而间作禾本科作物黑麦草的效果不显著。这是因为：1)花生和柱花草都属豆科植物，具有固氮作用，同时花生的分泌物能增加土壤微生物群落物种的丰富度和均匀度^[25]，促进微生物活动与生长，为土壤 DON 的生成提供更多的物质基础；2)柱花草的生物量大于黑麦草的生物量，生物量及凋落物的增加，促进了土壤 DON 含量的提高。

土壤微生物生物量氮(MBN)作为土壤有机质中最活跃的一部分，是土壤养分转化过程中一个重要的源和库，在调节土壤养分保持与供应方面具有不可忽视的作用^[26]。有研究表明，在贫瘠土壤种植植

物后，土壤 MBN 含量显著提高^[27]。Peacock 等^[28]认为有机质输入量越大，土壤 MBN 含量越高。本研究中幼龄果园间作 3 种作物后显著提高了土壤 MBN 含量。3 个间作处理中间作柱花草的土壤 MBN 含量最高，这是由于柱花草生物量大，凋落物和残茬数量大，为土壤微生物提供更多的有机质。

3.2 间作作物植株养分含量、生物量与土壤 N 组分含量的相关关系

本研究结果表明，土壤全氮(TN)、溶解性有机氮(DON)、硝态氮(NO₃⁻-N)含量均与间作作物植株 C 含量、植株 C/N 呈显著或极显著负相关关系，而与植株 N 含量呈显著或极显著正相关关系。说明在幼龄果园间作植株 N 含量高而 C/N 小的作物(花生、柱花草)有利于土壤 TN、DON 和 NO₃⁻-N 含量的提高。这是因为植物残体的分解过程受到植物本身总氮量、木质素含量以及 C/N 大小的控制^[29-30]，总氮量越高、C/N 比越低的植物其分解速率越快^[31]。

3.3 结论

幼龄龙眼园间作花生和柱花草对提高土壤全氮(TN)、碱解氮(AN)、硝态氮(NO₃⁻-N)、溶解性有机氮(DON)和微生物生物量氮(MBN)的效果优于间作禾本科作物黑麦草，其中间作花生对提高土壤 TN、DON 和 NO₃⁻-N 含量的效果最好，间作柱花草后土 MBN 含量增加幅度最大。土壤 TN、DON 和 NO₃⁻-N 含量与间作作物植株 C 含量、C/N 呈显著负相关关系，与植株 N 含量呈显著正相关关系。表明幼龄果园间作花生和柱花草可明显提高土壤全氮和氮组分含量，这 2 种间作模式是幼龄果园增加土壤氮素水平、增加果园地表覆盖面积和减少水土流失的重要生态农业种植模式，其中幼龄果园间作花生模式的效果更佳。

参考文献：

[1] 章家恩, 段舜山, 骆世明, 等. 赤红壤坡地果园间种不同牧草的适应性及其持续利用研究[J]. 中国草地学报, 2001, 23(2): 42-45.

[2] 叶延琼, 章家恩, 赵本良, 等. 广东果园生物多样性利用与生态农业模式概述[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 26-31.

[3] 张玉萍, 牛自勉. 我国果树业的发展历程回顾与展望[J]. 中国农学通报, 2001, 17(3): 101-103.

[4] 董素钦. 果园套种牧草对生态环境、培肥地力的影响[J]. 现代农业科技, 2006(12): 11-12.

[5] 陈学森, 张瑞洁, 王艳廷, 等. 苹果园种植长柔毛野豌豆结合自然生草对土壤综合肥力的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(12): 2325-2334.

[6] SHUI J G, WANG Q Z, LIAO G Q, et al. Ecological and economic benefits of vegetation management

measures in citrus orchards on red soils[J]. *Pedosphere*, 2008, 18(2): 214-221.

[7] 屠娟丽, 费伟英, 张彩平. 生草栽培对桃园土壤结构特征及酶活性的影响[J]. *中国南方果树*, 2016, 45(2): 134-137.

[8] 张桂玲. 秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *植物生态学报*, 2011, 35(12): 1236-1244.

[9] 何莉莉, 杨慧敏, 钟哲科, 等. 生草栽培对桃园土壤养分特性及细菌群落的影响[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(19): 179-183.

[10] APEL K, HIRT H. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction[J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2004, 55(1): 373-399.

[11] WARNER J, ZHANG T Q, HAO X. Effects of nitrogen fertilization on fruit yield and quality of processing tomatoes[J]. *Can J Plant Sci*, 2004, 84(3): 865-871.

[12] 葛顺峰, 姜远茂, 魏绍冲, 等. 不同供氮水平下幼龄苹果园氮素去向初探[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(4): 949-955.

[13] 王晓维, 杨文亨, 缪建群, 等. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(18): 5275-5282.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[15] 吴金水. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 气象出版社, 2006.

[16] JONES D L, WILLETT V B. Experimental evaluation of methods to quantify dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic carbon (DOC) in soil[J]. *Soil Biol Biochem*, 2006, 38(5): 991-999.

[17] 王华, 牛德奎, 胡冬南, 等. 不同肥料对油茶林土壤氮素含量、微生物群落及其功能的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(6): 1468-1476.

[18] 苗艳芳, 李生秀, 扶艳艳, 等. 旱地土壤铵态氮和硝态氮累积特征及其与小麦产量的关系[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(4): 1013-1021.

[19] 贾月慧, 王天涛, 杜睿. 3 种林地土壤碳和氮含量的变化[J]. *北京农学院学报*, 2005, 20(3): 63-66.

[20] 邹亚丽, 呼丽萍, 施海燕. 果草系统土壤理化特征[J]. *草业科学*, 2013, 30(4): 541-545.

[21] 陈文新, 陈文峰. 发挥生物固氮作用减少化学氮肥用量[J]. *中国农业科技导报*, 2004, 6(6): 3-6.

[22] 朱洪霞, 董燕, 王正银. 缓释复合肥料对土壤和黑麦草氮素营养的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 929-933.

[23] DALVA M, MOORE T R. Sources and sinks of dissolved organic carbon in a forested swamp catchment [J]. *Biogeochemistry*, 1991, 15(1): 1-19.

[24] CASALS P, ROMANYA J, CORTINA J, et al. Nitrogen supply rate in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of contrasting slope aspect[J]. *Plant Soil*, 1995, 168(1): 67-73.

[25] 黄玉茜, 韩晓日, 杨劲峰, 等. 花生根系分泌物对土壤微生物学特性及群落功能多样性的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46(1): 48-54.

[26] YAO H Y, HE Z L, HUANG C Y. Microbial biomass in red soils and its significance in plant availability of nitrogen[J]. *JZUSA*, 2002, 3(2): 228-231.

[27] 王春阳, 周建斌, 夏志敏, 等. 黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(8): 2139-2147.

[28] PEACOCK A D, MULLEN M D, RINGELBERG D B, et al. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications[J]. *Soil Biol Biochem*, 2001, 33(7/8): 1011-1019.

[29] RAIESI F. Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2006, 112(1): 13-20.

[30] 黄耀, 沈雨, 周密, 等. 木质素和氮含量对植物残体分解的影响[J]. *植物生态学报*, 2003, 27(2): 183-188.

[31] 张薇, 王子芳, 王辉, 等. 土壤水分和植物残体对紫色水稻土有机碳矿化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1013-1019.

【责任编辑 周志红】