

花生—南酸枣间作系统氮素利用研究*

王兴祥 张桃林 何园球 张 斌 王明珠

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘 要 在低丘红壤花生—南酸枣间作系统中利用¹⁵N 同位素示踪方法研究结果表明, 5 龄和 9 龄南酸枣分别竞争利用了施用于花生的氮肥的 9.66% 和 30.15%。与单作花生系统相比, 5 龄和 9 龄南酸枣间作系统中花生对表施氮肥的利用率分别下降 37.8% 和 59.1%。间作 5 龄南酸枣对模拟淋溶至亚表层土壤氮素的利用率非常低下, 与花生单作相比, 5 龄南酸枣间作系统表施氮素土壤残留没有显著差异, 其安全网作用不明显。随着树龄增加, 南酸枣根系充当安全网作用的潜力被证实。9 龄南酸枣对模拟淋溶至 35 cm 和 55 cm 深度土壤氮素的利用率分别为 33.79% 和 14.74%, 与花生单作相比, 其表施氮素在 0~60 cm 土层残留降低 24.1%。

关键词 红壤, 农林间作, 氮素利用

中图分类号 S158

低丘红壤氮素的供给能力十分低下, 往往是限制作物产量的关键因子之一^[1]。而且, 氮肥施入土壤以后大部分在 20 d 以内都转化为 NO₃-N, 这将加剧氮素的淋失^[2]。间作树木进入农田被认为是防治热带土壤养分亏缺的重要措施^[3]。间作树木由于根系较深, 可能在农作物根层以下形成安全网^[4], 减少养分淋失。这种深根树种的安全网作用假设, 已在部分树种中得到了证实^[5]。但树木也会与农作物竞争表层土壤养分, 导致农作物减产。近年来, 国内已提出农林间作作为防治红壤退化、提高系统生产力的重要对策^[6,7], 然而农林间作系统中养分协同/竞争利用缺乏深入研究。本文以前人推荐的花生—南酸枣间作系统^[8]为例, 探讨不同树龄南酸枣—花生间作系统对氮肥利用率的影响, 以及南酸枣对氮素利用的竞争作用, 为优化和调控农林间作模式提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点概况

试验布置于中国科学院红壤生态实验站水土保持试验区。该站位于东经 116°55', 北纬 28°13', 属江西省余江县范围。地质地形为第四纪红土低丘, 海拔高程在 35~60 m 之间, 起伏缓和, 相对高差 15~20 m, 坡度不大, 多在 3%~7%; 原始植被已被破坏, 丘陵坡地上以稀疏马尾松幼树和禾本科草类为主。气候温热多雨, 但降雨季节分布不均, 4~6 月份降雨量几乎占全年的 50% 以上; 干湿季节变化明显; 试验土壤为湿润富铁土^[9]。

1.2 试验设计

试验设花生单作、5 龄南酸枣单作、9 龄南酸枣单作、5 龄南酸枣—花生间作和 9 龄南酸枣—花生间作共 5 个处理, 3 次重复, 等高种植(表 1)。

试验小区建立前, 土地利用方式为稀疏马尾松荒地。5 龄和 9 龄南酸枣于 1999 年 3 月移栽进入试验区, 并开始有关试验和监测工作。在南酸枣移栽前, 每兜施用钙镁磷肥 0.5 kg、石灰 0.5 kg; 移栽以后, 南酸枣单作处理不再施肥, 间作南酸枣种植带 1.4 m 范围内也不再施肥。开垦种植花生初期, 施用石灰 1 500 kg hm⁻², 以后不再施用石灰。花生单作区域施用尿素 N 172.5 kg hm⁻²、钙镁磷肥 P₂O₅ 99.0 kg hm⁻² 和氯化钾 K₂O 135.0 kg hm⁻²; 农林间作处理花生单位面积施肥量与单作花生相同。2000 年 4 月开始¹⁵N

* 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-407)、国家重点基础研究发展规划项目 (G1999011801) 和 IAEA 合作项目部分成果

收稿日期: 2001-09-09; 收到修改稿日期: 2002-05-08

微区试验。首先,截断南酸枣可能相互干扰的根系,将农用塑料埋藏在南酸枣中间 0~70 cm 土层。然后,在 T1、T4 和 T5 小区中布置¹⁵N 微区(图 1),3 次重复。

表 1 复合农林田间小区试验设计

Table 1 Experimental design

代码 Code	处理 Treatment	田间描述 Field description
T1	花生	40 行花生,每行 36 穴,每穴播种 2 株,行距 50 cm,株距 50 cm
T2	5 龄南酸枣	3 行南酸枣,每行 3 株,行距 6 m,株距 2 m,上下坡边预留 1 m
T3	9 龄南酸枣	3 行南酸枣,每行 3 株,行距 6 m,株距 2 m,上下坡边预留 1 m
T4	5 龄南酸枣间作花生	3 行南酸枣,距离其 70 cm 外按常规播种花生,上下坡边缘播种 2 行花生
T5	9 龄南酸枣间作花生	3 行南酸枣,距离其 70 cm 外按常规播种花生,上下坡边缘播种 2 行花生

1.2.1 表层氮素利用¹⁵N 微区试验 用 0.5 m 宽、0.5 m 长、0.2 m 高的铁框构建试验微区。铁框布置在距离测试南酸枣两侧 70 cm 处,埋入土壤 10 cm,露出地面 10 cm 以防止氮素流失。每个铁框内种植 3 穴花生(每穴 2 株),施肥管理措施与小区内一致,氮肥为 21.50% 丰度的(NH₄)₂SO₄。

1.2.2 亚表层氮素利用¹⁵N 微区试验 预先在微区的每个测试南酸枣两侧分别埋入要求深度的 3 根直径 2 cm 的 PVC 管,用泥浆固定确保 PVC 管与周边土壤紧密相连,3 根 PVC 管之间距离为 15 cm。相当于表层土壤施氮量 50% 的 KNO₃(丰度 20.38%)及少量磷肥被均匀注入到 35 cm 和 55 cm 深度土壤,模拟淋溶进入该层次土壤的氮素。施肥以后 PVC 管用橡皮塞塞紧。每个 0.5 × 0.5 m² 微区内播种 3 穴花生(每穴 2 株)。

1.3 样品采集与分析

花生成熟期,微区内花生分花生荚和秸秆(含根)被收获。洗净、烘干后测定产量,并取样分析。

南酸枣的树叶、枝条被采样。在 5 龄南酸枣间作系统和 9 龄南酸枣间作系统,分别选择一株南酸枣作为代表,进行砍伐,采集根系、主干、枝条、叶片样品,以测定其干物质量、氮素含量及¹⁵N 丰度。

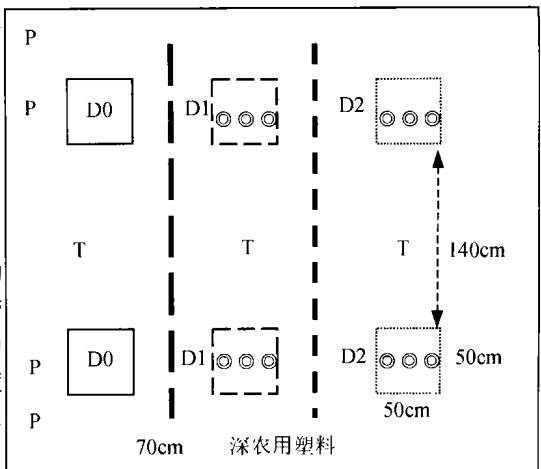
在表层氮素利用¹⁵N 微区,0~20 cm 土壤被取出、称重。完全混合后,一份土壤样品被用以测定土壤水分含量,一份被用以测定土壤氮素。20~40 cm 和 40~60 cm 土壤分别用土钻采集,每个微区用土钻采集 5 点混合。其土壤重量根据体积及容重计算获取。

所有样品在 70 °C 烘 24 h 后,磨碎过 60 目筛,在 FAO/IAEA 农业与生物技术实验室利用同位素元素质谱进行全氮及¹⁵N 分析^[10]。

利用平均木法测定南酸枣生物量^[11]。

1.4 计算与统计

由于南酸枣对土壤养分吸收的空间变异,位于测试南酸枣两侧的¹⁵N 微区作为南酸枣一个可能的氮源进行处理。



□ 表示微区范围

◎ 表示深层施肥用 PVC 管

P 和 T 分别表示花生和南酸枣 D0、D1 和 D2

分别表示施肥深度为 10cm、35cm 和 55cm

图 1 ¹⁵N 微区示意图Fig. 1 ¹⁵N microplots location in plots

肥料氮在土壤中的残留(%) = 土壤¹⁵N 原子百分超 × 土壤总氮量 / 肥料¹⁵N 原子百分超 × 施用量 × 100
 植物(花生或南酸枣)来源于肥料氮的比例(%) = 植物体¹⁵N 原子百分超 / 肥料¹⁵N 原子百分超 × 100
 部分没有采集树根、树干样品的南酸枣氮素含量及来源于肥料氮比例根据代表性南酸枣植株中根、茎、枝条、叶片氮素含量及其来源于肥料氮比例进行计算。

氮肥利用率(%) = (植物体干物质质量 × 氮素含量 × 植物体来源于氮肥的比例 / 100) / 氮肥施用量 × 100
 利用 SPSS8.0 软件进行统计分析,各处理间数据多重比较按 LSD 0.05 水平进行,5 龄和 9 龄南酸枣两组数据间采用 F 检验($p < 0.05$)进行。

2 结果分析

2.1 花生和南酸枣对表施氮素的利用率

在花生单作与农林间作系统中花生对表施氮肥的利用率有显著差别(表 2)。花生对表施氮肥的利用率,以花生单作系统中最高(24.26%),在 9 龄南酸枣间作系统中最低(9.93%)。与花生单作系统相比,5 龄南酸枣和 9 龄南酸枣间作系统中的花生对表施氮肥的利用率分别降低 37.8% 和 59.1%。

表 2 花生、南酸枣对表施氮肥的利用率^①

Table 2 ¹⁵N recovery by peanut and *Choerospondias axillaris* from topsoil

处理 Treatment	花生 Peanut	南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	花生+ 南酸枣 Peanut and <i>Choerospondias axillaris</i>
T1	24.26 ± 1.33 a		24.26 ± 1.33 a
T4	15.09 ± 3.18 b	9.96 ± 1.40 a	25.05 ± 0.57 a
T5	9.93 ± 0.81 c	30.15 ± 6.74 b	40.80 ± 4.87 b

1) 表中数据为均值 ± 标准误,数据后字母相同表示 LSD(或 F 检验) $p < 0.05$ 差异不显著。以下表格均相同

在农林间作系统中南酸枣与花生之间存在着明显的氮素竞争作用。5 龄和 9 龄南酸枣分别竞争利用了施用于毗邻花生区 9.66% 和 30.15% 的氮肥。9 龄南酸枣对施用于花生的氮肥的利用率甚至高于花生本身。

就整个植物系统(南酸枣+花生)而言,9 龄南酸枣间作系统对表施氮肥的利用率比单作花生系统提高 65.2%,但在 5 龄南酸枣间作系统与花生单作系统之间没有显著差异。

2.2 花生和南酸枣对模拟淋溶至亚表层土壤氮素的利用率

在花生单作系统与农林间作系统中,花生对模拟淋溶至 35 cm 和 55 cm 土壤深度氮素的利用率也存在显著差异(表 3)。

表 3 花生、南酸枣对模拟淋溶至 35 cm 和 55 cm 土壤深度氮素的利用率

Table 3 ¹⁵N recovery by peanut and *Choerospondias axillaris* from 35 cm and 55 cm soil layer

土层 Soil depth (cm)	处理 Treatment	花生 Peanut	南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	花生+ 南酸枣 Peanut and <i>Choerospondias axillaris</i>
35	T1	8.10 ± 0.84 a		8.10 ± 0.84 a
	T4	4.52 ± 0.11 b	2.29 ± 0.47 a	6.81 ± 0.38 a
	T5	0.79 ± 0.08 c	33.79 ± 6.74 b	34.58 ± 6.67 b
55	T1	0.74 ± 0.09 a		0.74 ± 0.09 a
	T4	0.72 ± 0.08 a	0.87 ± 0.22 a	1.59 ± 0.16 b
	T5	0.50 ± 0.05 a	14.74 ± 2.95 b	15.24 ± 1.61 c

单作花生对模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率最高(8.10%),9 龄南酸枣间作系统中花生对模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率最低(0.79%)。与花生单作相比,5 龄南酸枣和 9 龄南酸枣间

作系统中的花生对模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率分别降低 44.2% 和 90.3%。5 龄南酸枣对于模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率仅为 2.29%, 而 9 龄南酸枣对模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率高达 33.79%。

花生对于模拟淋溶至 55 cm 土壤深度氮素的利用率 < 1.0%, 而且在单作与间作系统中没有显著差异。5 龄南酸枣对于模拟淋溶至 55 cm 土壤深度氮素的利用率 < 1%, 而 9 龄南酸枣仍然有 14.74% 的利用率。

2.3 肥料氮在土壤中的残留

($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ 表施 120 d 后, 花生单作系统和农林间作系统 0~60 cm 土壤的氮素残留呈现明显差异(表 4)。单作花生土壤氮素残留最高(67.21%); 5 龄南酸枣间作系统的土壤氮素残留(65.98%) 略低于单作花生, 但两者之间没有显著差异; 9 龄南酸枣—花生间作系统中土壤氮素残留最低(50.98%), 与花生单作系统相比, 其 0~60 cm 土层残留降低 24.1%, 40~60 cm 土层氮素残留降低了 53.2%。

表 4 表层施入硫酸铵 120 d 后土壤氮素残留(%)

Table 4 ^{15}N residual in the soils (120 days after ammonium sulphate applied at 10 cm depth in the soil)

处理 Treatments	土层 Soil depth (cm)			
	0~20	20~40	40~60	0~60
T1	8.85 ± 0.68 a	19.42 ± 2.40 a	38.90 ± 4.64 a	67.21 ± 5.96 a
T4	9.82 ± 0.84 a	22.09 ± 5.57 a	34.07 ± 1.07 a	65.98 ± 5.33 a
T5	9.82 ± 0.08 a	22.92 ± 2.04 a	18.22 ± 1.00 b	50.98 ± 0.96 b

3 讨论

多数试验表明, 豆科树种与间作农作物之间氮素竞争作用较弱, 甚至根本不存在氮肥竞争, 可能是豆科作物能够通过自身的生物固氮满足其氮素需求^[5,12,13]。本试验中南酸枣对表层土壤氮素的竞争主要归因于其可利用氮源的限制。南酸枣是一种非固氮速生树种, 在贫瘠红壤, 且本身没有施肥的情况下, 可利用的氮源非常有限。同时, 花生区的耕作、施肥促进了南酸枣根系在土壤表层的扩展, 加剧了养分竞争。

不同树龄南酸枣对表施氮肥的利用率和减少氮素淋失潜力的差异, 主要与南酸枣根系分布有关。据南酸枣根系初步分析结果^[1]显示: 5 龄南酸枣和 9 龄南酸枣在表层分布均超过 1.2m 半径范围, ^{15}N 微区在南酸枣根系分布范围内, 但 5 龄南酸枣根系在表层分布的绝对数量显著低于 9 龄南酸枣。因此, 5 龄南酸枣对表施氮素的利用率低于 9 龄南酸枣。虽然 5 龄南酸枣主根已进入 80 cm 以下土层, 但根系的 80% 分布在 40 cm 以上, 而且主要集中于表层, 15% 分布在 40~60 cm 土层, 60 cm 以下土层分布不到 5%; 9 龄南酸枣主根已进入 100 cm 以下土层, 但根系的 66.7% 分布在 60 cm 以上, 30% 分布在 60~80 cm 土层, 80 cm 以下土层分布不到 3.3%。因此, 5 龄南酸枣对模拟淋溶至 35 cm 土壤深度氮素的利用率仅为 2.29%; 而 9 龄南酸枣对模拟淋溶至 55 cm 土壤深度氮素的利用率仍然高达 14.74%。

因此, 在贫瘠红壤中农林间作可优先选择固氮树种, 通过对间作树木直接施肥, 或控制树木根系在表层土壤的分布, 促进其向深层次发展, 减少其与间作农作物的养分竞争, 而发挥其深层根系的安全网作用, 减少养分淋失。

当然, 试验通过移栽建立不同树龄南酸枣—花生间作系统, 可能与南酸枣实际生长状况有所差异, 但它至少反应了南酸枣不同生长阶段对氮素利用的差异。同时, 农林间作引起光能分布、水分状况等变化也会影响养分利用。因此, 农林间作系统养分利用的进一步研究, 必须结合光能、水分变化等因素分析, 并加强对南酸枣根系生长特性及其控制研究, 以减少养分竞争, 发挥其根系安全网作用。

参考文献

1. Cai G X, Peng G H, Wu Y W *et al.* Fate of urea nitrogen applied to rape grown on a red soil and efficiency of Urea in raising rape of yield. *Pedosphere*, 1995, 5(2): 107~ 114
2. 鲁如坤, 时正元, 赖庆旺. 红壤养分退化研究 II. 尿素和碳铵在红壤中的转化. *土壤通报*, 1995, 26(6): 241~ 243
3. Sanchez P A. Science in agroforestry. *Agrofor. Syst.*, 1995, 30: 5~ 55
4. Van Noordwijk M, Lawson G, Soumare A, *et al.* Root distribution of trees and crops: competition and/ or complementarity. In: Ong C K, Huxley P. eds. *Tree-crop Interactions*. Oxon, UK: CAB International, 1996. 319~ 364
5. Rowe E C, Hairiah K, Giller K E, *et al.* Testing the safety-net role of hedgerow tree roots by ^{15}N placement at different soil depths. *Agroforestry System*, 1999, 43: 81~ 93
6. 张桃林. 大力开拓复合农林业在红壤生态系统中的应用. *当代复合农林业*, 1993, 1(1): 13~ 21
7. 王明珠, 茅昂江. 复合农林业在低丘红壤区的应用. 见: 中国科学院红壤生态实验站编. *红壤生态系统研究(第 5 集)*. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 229~ 231
8. 刘建业, 秦泰毓, 裘敏和, 等. 低丘红壤林间作生态系统的生物量和生产力研究. 见: 中国科学院红壤生态实验站编. *红壤生态系统研究(第 3 集)*. 北京: 中国农业科技出版社, 1995. 138~ 143
9. 中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组. *中国土壤系统分类(修订方案)*. 北京: 中国农业科技出版社, 1995
10. Preston T, Owens N J P. Interfacing an automatic elemental analyzer with an isotope ratio mass spectrometer: The potential for fully automated total nitrogen and nitrogen-15 analysis. *The Analyst*, 1983, 108: 971~ 977
11. 冯宗炜, 王效科, 吴刚. *中国森林生态系统的生物量和生产力*. 北京: 科学出版社, 1999. 13~ 14
12. Akinnifesi F K, Kang B T, Sangina N, *et al.* Nitrogen use efficiency and N competition between *leucaena* hedgerows and maize in an alley cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 1997, 47: 71~ 80
13. Lehmann J, Weigl D, Doppelmann K, *et al.* Nutrient cycling in an agroforestry system with runoff irrigation in Northern Kenya. *Agroforestry System*, 1999, 43: 49~ 70

N RECOVERY IN *CHOEROSPONDIAS AXILLARIS* AND PEANUT(*ARACHIS HYPOGAEA*) ALLEY CROPPING SYSTEMS ON UDIC FERROSOL IN SUBTROPICAL CHINA

Wang Xing-xiang Zhang Tao-lin He Yuan-qiu Zhang Bin Wang Ming-zhu
(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Summary

^{15}N -labelled fertilizer was used to study on N competition between tree and peanuts, and to test the potential of tree roots acting as safety-net on *Choerospondias axillaris* cropped with peanut (*Arachis hypogaea*) in subtropical China. Five-year-old and nine-year-old *Choerospondias axillaris* recovered 9.66% and 30.15% of the N applied at topsoil of peanut area, respectively. Compared with sole peanut system, N recovery by peanut was decreased by 37.8% in 5-year-old and 59.1% in 9-year-old *Choerospondias axillaris* alley cropping system, respectively. The role of 5-year-old *Choerospondias axillaris* acting as a safety-net was not obvious, since it recovered little N from subsoil and did not decrease N residual in the soils. With increasing tree age, 9-year-old *Choerospondias axillaris* showed its potential to act as a safety-net, since it recovered 33.79% N from 35cm soil layer and 14.74% N from 55 cm soil layer, respectively, and N residual in 0~ 60 cm soil layer was decreased by 24.1%, compared with that in sole peanut system.

Key words Udic Ferrosol, Alley cropping, N recovery