

文章编号: 1674-7054(2022)01-0042-06



不同时期施入的氮肥在橡胶园土壤中的迁移分布

王文斌^{1,2}, 张永发^{1,2}, 王大鹏^{1,2}, 罗雪华^{1,2},
吴小平^{1,2}, 薛欣欣^{1,2}, 赵春梅^{1,2}, 茶正早^{1,2}

(1. 农业农村部 橡胶树生物学与遗传资源利用重点实验室/中国热带农业科学院 土壤肥料研究中心, 海口 571101; 2. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海口 571101)

摘要: 为了研究不同时期施入的氮肥在橡胶园土壤中的迁移分布规律和淋溶损失情况, 采用施入¹⁵N 标记氮肥的方法进行田间试验, 分析了不同层次土壤中的全氮量、碱解氮含量和肥料氮素残留。结果表明: 早、中期施入的氮肥淋溶作用较强, 达到 100 cm 土层以下, 后期施入的氮肥在土壤浅层的积累作用明显, 在 60 cm 土层以下的淋溶较少。说明不同时期施入的氮肥在橡胶园土壤中的淋溶迁移特点明显, 在生产中可以结合缓控释化肥施用以及调控不同时期施肥比例等措施合理避免肥料氮肥的损失。

关键词: 橡胶园; 土壤; 氮肥; 迁移分布

中图分类号: S 147.23; S 794.1 **文献标志码:** A

引用格式: 王文斌, 张永发, 王大鹏, 等. 不同时期施入的氮肥在橡胶园土壤中的迁移分布 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(1): 42-47. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.01.007

热带地区水热资源丰富, 作物的生产潜力巨大, 但随着高产的获得, 作物对土壤的养分消耗也相当大。通过平衡施肥等技术措施补充养分是保证作物生产力及防止土壤肥力下降的必要措施^[1]。橡胶林是热带及其边缘地区重要的人工林, 在其长期种植过程中, 需要进行土壤养分尤其是氮素养分的补偿, 以防止地力的下降^[2]。合理的氮肥管理是橡胶树的正常生长和产胶的关键措施^[3-6]。氮肥施入土壤后, 或被作物吸收, 或残留在土壤中, 或通过不同途径而损失 (如氮素的氨挥发、硝化反硝化作用损失及淋洗径流损失)^[7]。施入橡胶园土壤中的氮肥经过转化在被吸收利用的同时, 容易通过硝化反硝化途径淋溶损失^[8-10], 也可通过径流损失移出胶园土壤^[11-12]。另一方面, 由于所施入的氮肥在短期内并不能完全移出土壤-作物体系, 残留的肥料氮素则可以对土壤消耗氮形成有效的补充^[13]。热带季节雨林与橡胶人工林的土壤氮素形态均有着季节性的变化^[14], 土壤铵态氮、硝

态氮的含量及氮素矿化速率的季节性差异明显, 土壤温度和湿度的季节变化是氮矿化速率季节性变化的重要原因^[15], 这些季节性的变化特点对橡胶园土壤氮素淋溶有着实质性的影响。同时, 由于季节性的降水分配不同, 土壤水分含量因雨季和旱季而有剧烈变化^[16], 也就导致了土壤养分和物质运移的季节性变化。另外, 树木的根系生长的季节性变化, 使其对不同时期施入的氮素养分的吸收利用能力不同^[17], 橡胶树的根系生长与干湿季节变化一致^[18], 其活力及对养分的吸收利用也会有着季节性的变化特点。当前, 在海南橡胶生产过程中多采用分期施肥的方式施入化学肥料, 由于不同时期施入的肥料氮素受到土壤条件和橡胶树根系吸收利用的影响不同, 其在土壤中的迁移分布规律是否存在差异有待探索。本研究通过施用¹⁵N 标记氮肥, 研究不同时期施用氮肥在橡胶园土壤中的迁移分布规律, 掌握其淋溶损失情况, 旨在为橡胶园氮素养分管理提供依据。

收稿日期: 2022-01-02 修回日期: 2022-01-15

基金项目: 农业部橡胶树生物学与遗传资源利用重点实验室开放课题(KLOF1002); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-33-ZP2)

第一作者: 王文斌(1974-), 男, 博士, 研究员. 研究方向: 土壤养分与植物营养调控. E-mail: mywwb@163.com

1 材料与amp;方法

1.1 试验地概况 试验布置于海南省儋州市中国热带农业科学院试验场五队橡胶研究所土壤肥料试验基地(位于东经 109°28'54.39", 北纬 19°29'13.54"), 属于热带季风气候区域。年平均气温为 23.8 ℃, 1~2 月气温最低, 平均气温 18 ℃, 6~7 月平均气温 27.7 ℃, 是气温最高的月份。每年划分为明显的雨季和旱季 2 个季节, 雨季分布在 4~11 月, 12 月至翌年的 3 月为旱季, 年平均降水量为 1 650 mm。

1.2 供试材料 供试土壤为花岗片麻岩发育的砖红壤。土壤的理化性状为:pH 4.92, 有机质含量 12.2 g·kg⁻¹, 全 N 含量 0.6 g·kg⁻¹, 全 P(P₂O₅) 含量 1.1 g·kg⁻¹, 全 K(K₂O) 含量 2.9 g·kg⁻¹, 碱解氮 72.38 mg·kg⁻¹, 速效磷含量 4.87 mg·kg⁻¹, 速效钾含量 82.70 mg·kg⁻¹, 交换性 Ca 0.18 cmol·kg⁻¹, 交换性 Mg 0.04 cmol·kg⁻¹。

供试橡胶树品系为‘热研 7-33-97’, 1997 年定植, 2003 年开割, 试验之前进行常规割胶, 割制为 s/2·d/3。选择生长相对一致、排胶正常的橡胶树作为研究对象。根据试验设计共选择 12 株橡胶树进行试验, 分为 3 组, 每组 4 株, 作为重复, 随机排列, 进行不同时期施肥试验。

1.3 试验设计 按照试验区域开割橡胶树常用施肥标准进行施肥方案设置。当地橡胶树施肥多采用 N-P₂O₅-K₂O 为 14-9-7 的复混肥, 每株橡胶树年施用量为 2 kg。分 3 次施肥, 第一次在 3~4 月, 第二次在 6~7 月, 第三次在 9~10 月, 每次施肥量分别为全年的 50%、30% 及 20%。本研究采用单质肥料, 按橡胶专用复混肥中的比例进行配比, 其中氮肥为尿素(含 N 量 46.3%), 磷肥为普通过磷酸钙(有效 P₂O₅ 含量为 16%), 钾肥为氯化钾(K₂O 含量为 60%), 每株橡胶树年肥料用量为 600 g 尿素, 纯 N 量为 277.8 g, 1 125 g 普通过磷酸钙, 233.3 g 氯化钾。为准确研究肥料氮素在橡胶树生长和产胶中的分布规律, 采用¹⁵N 标记尿素进行试验。¹⁵N 标记尿素购自上海化工研究院,¹⁵N 丰度为 3.614%。

为比较不同时期施肥后肥料氮素在土壤中的迁移分布规律, 共设置 3 个施肥处理, 所有处理的化肥用量一致。处理 1(T1)在第一次施肥时施用

¹⁵N 标记氮肥, 第二次施肥时施用普通氮肥, 在 8 月底进行土壤样品采集分析; 处理 2(T2)在第一次和第三次施肥时施用普通氮肥, 第二次施肥时施用¹⁵N 标记氮肥, 在第二年 1 月进行土壤样品采集分析; 处理 3(T3)在第一次和第二次施肥时施用普通氮肥, 第三次施肥时施用¹⁵N 标记氮肥, 在第二年 1 月进行土壤样品采集分析。施肥时间及¹⁵N 标记尿素施用情况见表 1。在分析肥料氮素在土壤中的迁移分布规律的同时, 另行分析了其在树体中的分布规律, 对橡胶树进行了整株砍伐采样分析, 土壤采样在树体采样之后进行, 根据树体采样的时间确定。

表 1 氮肥施用时间及比例

施肥时间(氮肥用量)	T1	T2	T3
4月20日(50%)	¹⁵ N氮肥	普通氮肥	普通氮肥
7月8日(30%)	普通氮肥	¹⁵ N氮肥	普通氮肥
10月11日(20%)	—	普通氮肥	¹⁵ N氮肥

于 2010 年第一次施肥前在所选定的橡胶树周围开挖 3 m×7 m 的隔离沟, 深度为 1.5 m, 埋设油毡, 以隔离根系, 防止施肥后的相互影响。施肥方式为穴施, 在橡胶树行间离树干 1.5 m 的位置进行施肥, 挖 40 cm 长, 20 cm 宽, 及 20 cm 深的施肥穴, 将肥料均匀混合, 撒施在施肥穴底部, 然后回填覆土。为避免不同时期施用氮肥的叠加效应, 施用标记氮肥与普通氮肥位置不相重叠, 即选择与普通氮肥施用位置不同的区域进行标记氮肥的施用, 以单独分析每次施肥后肥料氮素在土壤中的迁移分布规律。

1.4 样品采集及分析 对橡胶树进行整株采伐后采集土壤, 分 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5 个层次进行采样, 采集施肥穴位置相对应的不同层次土壤样品。土壤采集后, 自然风干, 称重, 然后采用四分法取 1 kg 土壤, 磨细过 0.15 mm 筛, 备用。

样品处理好以后, 土壤称样量约为 30 mg, 精确到 0.001 mg, 用百万分之一天平称样, 天平型号为 MX5(瑞士 METTLER TOLEDO), 样品用锡纸杯包裹后, 挤压紧实, 待测。采用元素分析仪-稳定性同位素质谱联用仪测定植株样品中¹⁵N 丰度及全氮含量, 其中, 元素分析仪型号为 Thermo Flash

EA1112, 稳定性同位素质谱仪型号为 GV IsoPrime JB312。土壤碱解氮的测定参照鲁如坤主编土壤农业化学分析方法进行^[19]

土壤中来自于肥料氮素的比例用 Ndff 表示,

$$\text{Ndff} = \frac{\text{样品中的}^{15}\text{N丰度} - ^{15}\text{N自然丰度}}{\text{肥料中的}^{15}\text{N} - ^{15}\text{N自然丰度}} \times 100\%。$$

土壤中的肥料氮素残留量=土壤质量×土壤全氮含量(%)×Ndff(%)。

1.5 数据统计与分析 采用 Excel 2007 软件进行数据处理和作图, SAS 9.0 统计软件进行 ANOVA 分析, 并用 Duncan 检验法进行多重比较, 字母法进行标记。

2 结果与分析

2.1 不同时期施肥后土壤中全氮和碱解氮的含量 土壤全氮反应了土壤的氮素整体含量水平, 碱解氮反应了其可被植物吸收利用的氮素的水平。从表 1 可知, 第一次施肥和第二次施肥的土壤全氮在各个层次分布差异没有达到显著水平, 虽然在施肥层以下略有升高, 但差异未达到显著水平。第一次施肥即 T1 在施肥层以下的 20~40、40~60 及 60~80 cm 土层均有所升高, 分别为 1.12、1.12 和 0.78 g·kg⁻¹, 略高于最上层及 80~100 cm 土层。T2 处理以 40~60 cm 土层最高, 为 0.75 g·kg⁻¹, 但与其他土层差异不显著。第三次施

肥即 T3 处理则达到了显著水平, 以最靠近施肥层的 20~40 cm 土层最高, 为 1.52 g·kg⁻¹, 说明在第三次施肥后, 20~40 cm 土层全氮发生了积累。

不同土层碱解氮的含量差异则比较明显, 说明不同时期施肥对土壤的速效氮的影响比较大。第一次施肥和第二次施肥不同土层土壤中的碱解氮含量, 都是第三层即 40~60 cm 土层的含量最高, 分别为 51.68 和 29.60 mg·kg⁻¹, 在施肥层以下的几个土层的碱解氮含量均有所提高, 但差异不大(表 2)。施用氮肥提高了施肥层以下土层中的碱解氮的含量, 而第一层几乎没有受到施肥的影响。第三次施肥后只有 20~40 cm 土层的碱解氮显著升高, 其含量为 41.69 mg·kg⁻¹, 高于其他土层。

2.2 不同时期施肥后土壤中¹⁵N 丰度、Ndff 及肥料残留量 不同土层土壤中¹⁵N 丰度与土壤碱解氮含量的分布趋势相同, 更为直接地说明了施肥对不同层次土壤速效氮的影响。其中, 第一次施肥和第二次施肥后 40~60 cm 土层的¹⁵N 丰度最高, 分别为 2.058 0% 和 1.538 3%, 而第三次所施肥料氮素在 20~40 cm 土层的积累程度较大, ¹⁵N 丰度为 1.929 9%(图 1)。

Ndff 表示了土壤中来自于肥料的氮素占其全氮的比例, 这一数据表明所有土层都有来自于肥料的氮素, 但第一次施肥和第二次施肥对 40~60 cm 土层的影响最大, 如图 1 所示, 其全氮中来

表 2 施肥穴不同层次土壤中全氮含量

g·kg⁻¹

土层深度/cm	T1	T2	T3
0~20	0.71±0.004a	0.71±0.015a	1.13±0.002b
20~40	1.12±0.073a	0.73±0.006a	1.52±0.005a
40~60	1.12±0.034a	0.75±0.007a	1.09±0.011b
60~80	0.78±0.008a	0.72±0.010a	0.77±0.005c
80~100	0.64±0.009a	0.65±0.011a	0.61±0.014d

注: 表中小写字母表示不同土层在 0.05 水平上的差异性, 下同。

表 3 施肥穴不同层次土壤中碱解氮含量

mg·kg⁻¹

土层深度/cm	T1	T2	T3
0~20	0.71±0.004a	0.71±0.015a	1.13±0.002b
20~40	1.12±0.073a	0.73±0.006a	1.52±0.005a
40~60	1.12±0.034a	0.75±0.007a	1.09±0.011b
60~80	0.78±0.008a	0.72±0.010a	0.77±0.005c
80~100	0.64±0.009a	0.65±0.011a	0.61±0.014d

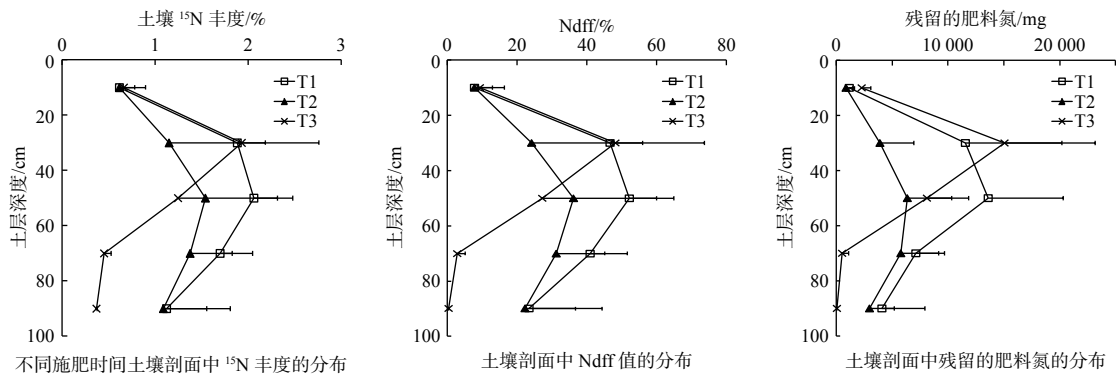


图 1 施肥穴位置土壤剖面中的 ^{15}N 丰度、Ndff及肥料残留量

自于肥料氮素的比例即 Ndff 分别达到了 52.127 4% 和 36.138 7%; 对 0~20 cm 土层的影响最小, Ndff 分别为 7.705 4% 和 7.812 3%。第三次施用的肥料氮素对 20~40 cm 土层的影响最大, 其全氮中来自于肥料的氮素比例为 48.185 9%; 对最下一层土壤即 80~100 cm 土层的影响最小, 其 Ndff 仅为 0.283 4%, 几乎没有影响。

不同土层残留的肥料氮量与 ^{15}N 丰度和 Ndff 的变化趋势相似。对第一次和第二次施肥来说, 在 40~60 cm 土层中的残留最多, 分别为 13 633.81 及 63 41.33 mg N; 在 20~40 cm 土层的残留略小于 40~60 cm 土层, 说明肥料氮素主要发生向下的淋洗。对于第二次施肥来说, 其淋洗比较充分, 肥料氮素在施肥层以下分布较多。第一次施肥不同层次土壤中, 肥料氮素除淋洗到 40~60 cm 土层外, 在 20~40 cm 土层的残留也比较多, 残留量为 11 571.23 mg N, 仅次于 40~60 cm 土层。而对第三次施肥来说, 直接靠近施肥位置的 20~40 cm 土层中的残留最多, 其次是 40~60 cm 土层, 分别为 5 095.28 及 3 761.84 mg N(图 1)。

3 讨论

3.1 土壤剖面中的全氮和碱解氮含量 研究区域内密集降雨阶段在 4~8 月, 土壤含水量较高, 消退期为 9~11 月, 之后土壤含水量缓慢下降^[16], 这也就容易造成相应时期施入的氮肥向下的淋溶程度不同。从不同层次土壤中的全氮含量来看, 施肥增加了施肥位置以下土层中的全氮含量, 对第一次和第二次施肥来说, 由于向下的淋洗充分, 各土层之间的差异没有达到显著水平, 反过来说, 即土壤中的全氮分布相对均匀, 没有发生明显的积

累。而第三次施肥在靠近施肥位置的土层, 全氮含量明显高于其他土层, 其原因可能与第三次施肥后降雨减少, 淋洗作用减弱有关, 另外, 从第三次施肥后到采取土样之间的间隔时间也短, 接近 2.5 个月, 而第一次施肥到采集土样为 4 个多月, 第二次施肥到采样为 6.5 个月, 随着时间的延长, 肥料氮素在土壤中的向下的淋洗作用也就加强。同时橡胶树根系生长活动的变化, 应该也是对土壤中肥料氮素吸收利用程度不同的原因所在。橡胶树的季相特征可分为恢复生长期(3~4 月), 旺盛生长期(5~10 月)和生长减缓期(11~12 月)^[18], 橡胶树根系活动在这些时期表现出不同的活跃程度, 在一定程度上也就形成了对肥料氮素的吸收利用差异。土壤水分的运移应该是肥料氮素迁移分布差异的主要因素, 有待进一步研究证实。

不同土层中的碱解氮含量受施肥的影响比较大, 几次施肥都增加了施肥位置以下土层中的碱解氮含量, 其中第一次和第二次施肥后, 下层土壤中的碱解氮含量均高于第一层土壤中的碱解氮的含量。而第三次施肥后仅有 20~40 cm 土层、40~60 cm 土层的碱解氮的含量高于 0~20 cm 土层, 再次说明第三次施肥后土壤向下的淋洗作用较弱。

3.2 土壤剖面中的肥料氮素残留 从土壤的 ^{15}N 丰度和 Ndff 的变化及肥料氮素残留量来看, 第一次施肥和第二次施肥土壤氮素向下的淋洗超过了 100 cm, 肥料氮素主要发生了淋洗作用, 向上的迁移不多。而第三次施肥, 肥料氮素向下淋洗只到 60~80 cm 土层, 之后几乎没有分布。肥料氮素在土壤中的迁移规律与其转化特点有关, 罗雪华等^[8]的研究发现, 尿素施入胶园土壤一定时间后,

主要以硝态氮的形式存在,容易发生向下的淋洗。华元刚等^[9]的研究表明,硝态氮在 105 d 后可运移到 200 cm 深处。在本研究中,第一次和第二次施肥后肥料氮素的淋洗均超过了 105 d, 所以其淋洗作用较强,超过了 100 cm 的深度。本研究中,不同时期施肥后氮素淋溶特点不同,应该与其施入后的形态转化特点有关,需要深入研究。

本研究结果表明,施肥增加了下层土壤中的全氮含量,第一次和第二次即早、中期施肥由于肥料氮素的淋洗比较充分,各土层之间没有显著差异;第三次即后期施肥则由于淋洗不充分,使 20 ~ 40 cm 土层中的全氮含量有所增加。不同层次土壤中的碱解氮的含量受施肥的影响比较大,几次施肥都增加了施肥位置以下土层中的碱解氮含量,其中早期和中期施肥土壤的碱解氮含量都是第三层(40 ~ 60 cm 土层)中的含量最高,后期施肥的碱解氮与全氮的分布规律一致,20 ~ 40 cm 土层中的含量最高。早期和中期施肥的¹⁵N 丰度、Ndff、肥料残留量都是 40 ~ 60 cm 土层最高,在 80 ~ 100 cm 土层也有分布,说明向下的淋洗作用较强。而后期施肥在 60 cm 以下的淋洗量很少。不同时期施用氮肥在橡胶园土壤中的淋溶迁移特点明显,在生产中可以结合缓控释化肥施用以及调控不同时期施肥比例等措施合理避免肥料氮肥的损失。

参考文献:

- [1] COOKE G W. Nutrient balances and the need for potassium in humid tropical regions[C]//International Potash Institute. Nutrient balance and the need for potassium: Proceedings of the 13th IPI-Congress. Worblaufen-Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1986: 17 - 35.
- [2] 何向东, 吴小平. 海南垦区胶园肥力演变探研[J]. *热带农业科学*, 2002(1): 16 - 22.
- [3] DISSANAYAKE D, MITHRASENA U. Influence of fertilizers on growth and mineral composition of *Hevea* seedlings grown in the field nursery [J]. *Journal of the Rubber Research Institute of Sri Lanka*, 1986(65) : 32 - 46.
- [4] 陈艳彬, 张永发, 王文斌, 等. 橡胶树叶片氮素营养特性及其对施氮量的响应[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(5): 831 - 838.
- [5] 王文斌, 郭海超, 罗雪华, 等. 早期施用氮肥在乙烯利刺激割胶胶乳中的动态分布研究[J]. *热带作物学报*, 2015, 36(6): 1013 - 1018.
- [6] 张永发, 吴小平, 王文斌, 等. 不同氮水平下橡胶树氮素贮藏及翌年分配利用特性[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(12): 2313 - 2320.
- [7] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 1 - 6.
- [8] 罗雪华, 吴小平, 王文斌. 砖红壤区橡胶林地土壤硝化作用研究初报[J]. *土壤通报*, 2006(5): 928 - 931.
- [9] 华元刚, 闫良, 茶正早, 等. 砂页岩发育的砖红壤上氮和钾素垂直运移特征初步研究[J]. *热带作物学报*, 2012, 33(5): 804 - 810.
- [10] 许祥富, 林钊沐, 林清火, 等. 施氮量对橡胶园土壤铵态氮和硝态氮垂直分布的影响[J]. *热带农业科学*, 2009, 29(5): 6 - 11.
- [11] CHA Z, LIN Z, LUO W, et al. Sustainable land management practices for rubber plantations in mountainous area of Hainan [J]. *Pedosphere*, 2005, 15(3): 404 - 408.
- [12] GEORGE S, JOHN J, JOSEPH P, et al. Impact of conservation pits on growth and yield of mature rubber [J]. *Journal of Rubber Research*, 2007, 10(1): 44 - 53.
- [13] 巨晓棠. 氮肥有效率的观念及意义——兼论对传统氮肥利用率的误解[J]. *土壤学报*, 2014, 51(5): 921 - 933.
- [14] 张敏, 邹晓明. 热带季节雨林与人工橡胶林土壤碳氮比较[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1013 - 1019.
- [15] 孟盈, 薛敬意, 沙丽清, 等. 西双版纳不同热带森林下土壤铵态氮和硝态氮动态研究[J]. *植物生态学报*, 2001(1): 99 - 104.
- [16] 耿思文, 吴志祥, 杨川. 海南儋州橡胶林土壤水分变化及其对气象因子的响应特征[J]. *热带农业科学*, 2019, 39(11): 11 - 18.
- [17] AMPONSAH I G, LIEFFERS V J, COMEAU P G, et al. Nitrogen-15 uptake by *Pinus contorta* seedlings in relation to phenological stage and season [J]. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2004, 19: 329 - 338.
- [18] 周文君, 沙丽清, 沈守良, 等. 西双版纳橡胶林土壤呼吸季节变化及其影响因子[J]. *山地学报*, 2008(3): 317 - 325.
- [19] 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: 150 - 152.

Migration and distribution characteristics of nitrogen fertilizer applied at different stages in rubber plantation

WANG Wenbin^{1,2}, ZHANG Yongfa^{1,2}, WANG Dapeng^{1,2}, LUO Xuehua^{1,2},
WU Xiaoping^{1,2}, XUE Xinxin^{1,2}, ZHAO Chunmei^{1,2}, CHA Zhengzao^{1,2}

(1. Key Laboratory of Biology and Genetic Resources of Rubber Tree, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China / Soil and Fertilizer Research Center, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China)

Abstract: A field experiment was carried out, in which ¹⁵N labeled nitrogen fertilizer was used to study the migration and distribution characteristics of nitrogen fertilizer applied at different stages in rubber plantation. The contents of total N, alkali-hydrolyzable N and residual fertilizer N in soil layers were determined after fertilizer application. The results showed that the leaching effects of nitrogen fertilizer applied in the early and middle stages were strong, which could move to 100cm underground. Significant accumulation of nitrogen fertilizer in the shallow layer was observed after the application at later stage, which didn't move below 60cm layer. The results indicated that the migration and distribution of nitrogen fertilizer applied at different stages are obviously different. Therefore, the practices such as slow and controlled release fertilizer application and adjusting of fertilizer ratio at different stages should be taken into consideration in nitrogen nutrient management in rubber plantation.

Keywords: rubber plantation; soil; nitrogen fertilizer; migration and distribution

(责任编辑: 吴志祥 责任编辑: 潘学峰)