doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19163

氮肥管理对 ^{15}N 标记水稻秸秆氮吸收利用的影响

焦峰¹, 吕淑敏¹, 李响¹, 唐雷¹, 王秋菊^{2*}, 刘峰²

(1. 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江 大庆 163319;

2. 黑龙江省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要: 利用 ^{15}N 同位素示踪技术, 通过盆栽模拟试验揭示氮肥管理方式对水稻秸秆氮吸收利用的影响, 设置基肥氮素在插秧前施入和基肥氮素与秸秆同时施入 (调节 C/N) 两个处理, 试验结果表明, 秸秆中的氮素可以作为下茬作物生长的有效氮源; 基肥氮素与秸秆同时施入 (调节 C/N) 处理秸秆氮的利用率显著高于基肥氮素在插秧前施入, 水稻从 ^{15}N 秸秆标记物中摄取氮的比例 (Nd_s) 明显低于土壤肥料中氮 (Nd_{s+P}); 水稻地上植株对秸秆氮的综合利用率为 6.51% ~ 7.99%, 其中, 茎叶秸秆氮利用率为 1.40% ~ 1.75%, 穗利用率为 5.11% ~ 5.25%。在秸秆还田的条件下, 基肥氮素与秸秆同时施入, 可以显著提高水稻对秸秆氮素的吸收能力。

关键词: ^{15}N ; 秸秆氮; 水稻; 秸秆氮利用率

作物秸秆含有丰富的碳、氮、磷、钾及中量元素, 长期秸秆还田可以改善土壤的物理^[1]、化学和生物学性质^[2-3], 对增加土壤有机碳含量及培肥土壤有重要作用^[4-5], 因此, 秸秆还田已成为农业可持续发展的重要措施之一。据 2017 年研究统计结果, 随着种植业结构的调整及规模化发展, 全国作物秸秆理论资源量达到 10.4 亿 t, 可收集资源量超过 9.0 亿 t, 且以水稻、小麦、玉米等为主, 占总量的 79.19%, 其中, 肥料化利用量占已利用量的比例为 53.93%^[5]。秸秆还田是将作物秸秆肥料化利用最简单、有效的途径^[6]。如何对还田秸秆养分进行有效的管理, 充分发挥作物秸秆归还元素的增产潜力, 最大限度的减少秸秆养分利用的损失和环境的污染、提高利用效率是我国农业可持续发展所面临的重要问题。

土壤氮素有效性对作物产量的形成有直接影响, 明确秸秆还田对土壤氮素有效性的影响, 对秸秆还田技术的推广和秸秆资源的高效利用均有重要意义^[5]。尽管有关作物对秸秆氮素的利用, 秸秆氮素在土壤中的转化、去向及分配, 减少氮素污染已有相关报道^[7-11], 但大多都采用差减法及田间表

观指标的试验分析, 而运用 ^{15}N 同位素示踪技术标记秸秆并定量研究水稻植株对秸秆中氮素利用率尚缺乏报道, 因而以往的研究很难准确合理调控秸秆氮肥的有效利用。本研究在前人研究的基础上, 利用同位素示踪技术培育 ^{15}N 标记秸秆并模拟还田利用, 通过盆栽试验, 研究秸秆氮在水稻植株成熟期的积累、分配及利用, 挖掘秸秆氮肥的利用潜力, 定量化研究水稻对秸秆中氮素的吸收利用情况, 明确水稻对秸秆氮素的吸收利用特性, 为进一步揭示秸秆氮素的增效作用及相关研究提供基础资料, 并为作物秸秆的高效合理利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 水稻秸秆氮的标记

采用沙培试验, 预先用去离子水对盆栽用沙多次淋洗, 以去除微量氮素, 浇灌配制的营养液, 培育 ^{15}N 标记水稻植株。营养液参考 Hoagland's 全营养液配方, 将其中氮素用 ^{15}N 同位素替代, ^{15}N 同位素丰度 10.25%, 由上海化工研究院生产。水稻 ^{15}N 秸秆培育过程采用室外盆栽方式, 设置机动遮雨棚, 当降雨时进行遮雨, 插秧水稻品种为龙粳 31, 生长期与大田水稻栽培同步。当水稻植株成熟脱水后, 取植株地上部于 60℃ 下烘干至恒重后, 剪切为 10 cm 左右密封备用, 同时检测植株 N^{15} 丰度。

1.2 盆栽试验设计

盆栽试验于黑龙江省农垦建三江管局前进农场进行, 位于黑龙江省东部水稻主产区。供试土

收稿日期: 2019-04-13; 录用日期: 2019-05-14

基金项目: 国家科技支撑计划子课题 (2015BAD23B05-07); 国家重点研发计划子课题 (2016YFD0300902-05)。

作者简介: 焦峰 (1980-), 男, 黑龙江兰西人, 副教授, 博士, 主要从事土壤和作物营养生理研究。E-mail: jiaofeng1980@163.com。

通讯作者: 王秋菊, E-mail: bqjwang@163.com。

壤为潜育白浆土, 试验前表层 0 ~ 20 cm 土壤常规性状的测定结果为: 有机质 $33.96 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $215.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $50.73 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $193.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 值 6.25、CEC $22.62 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。盆栽塑料桶高 30 cm, 桶上缘直径为 40 cm, 从田间取 0 ~ 20 cm 耕层土壤过 2 mm 标准孔径筛后装盆, 每盆装入折风干土重 10 kg 的鲜土。盆栽试验于前一年 10 月进行土壤前期准备, 插秧前注水并维持土壤表面水层 3 ~ 5 cm, 根据不同处理施入基肥后, 每桶土壤分别搅匀沉降 24 h 备用。试验各处理均每千克风干土壤固定施入 N150 mg, 且施入 N 素按照 40% 做基肥、30% 做蘖肥、30% 做穗肥, 比例为 4:3:3; 全部处理每千克土壤施入 P_2O_5 (过磷酸钙, 17%) 120 mg、 K_2O (硫酸钾, 50%) 75 mg, 磷肥做基肥一次施入, 钾肥 60% 做基肥施入、40% 做穗肥施入。水稻生长于 5 ~ 10 月室外露天进行, 降雨时利用机动遮雨棚遮雨。

盆栽试验共设以下 2 个处理:

T1: 施入 ^{15}N 标记秸秆, 基肥氮素在插秧前施入;

T2: 施入 ^{15}N 标记秸秆, 基肥氮素与秸秆同时施入 (碳施入同时施用氮肥, 以调节 C/N)。

盆栽试验的前一年 10 月, 将各处理土壤装盆, 同时将 ^{15}N 标记秸秆定量埋入盆内 0 ~ 20 cm 土层, 放置于室外越冬。秸秆施入量为 $900 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 并按照水稻插秧 $28 \text{ 穴} \cdot \text{m}^{-2}$ 对应单穴施入量进行折算, 每盆施入烘干秸秆 96.38 g。T1 处理的水稻盆栽在施入 ^{15}N 标记秸秆后当年不施肥; T2 处理在秸秆施入的同时, 根据试验设计的基肥用量施入氮肥。

供试水稻品种为龙粳 31, 各处理 5 月 15 日插秧, 每盆插秧 3 穴, 每穴 5 株, 每处理 5 盆, 共计 10 盆; 另外设置正常栽培的水稻盆栽 30 盆, 作为保护盆置于处理盆栽周围。其他田间管理按照水稻生产标准技术措施统一执行。

1.3 主要调查项目及指标

于水稻成熟期取有代表性的水稻植株 3 穴, 按照茎叶和穗两部分进行分离, 所有植株样品均用清水和去离子水多次清洗, 于 105°C 杀青 30 min 后, 75°C 烘干至恒重并称量, 粉碎过 1 mm 筛保存备用。

采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-K}_2\text{SO}_4\text{-CuSO}_4$ 密闭消煮, 用 KjelFlex K360 定氮仪测定。同位素 ^{15}N 丰度值的测定采用 Integra CN 专用同位素质谱仪。

盆栽 ^{15}N 同位素示踪试验相关计算方法为:

植株从标记秸秆中摄取 N 的百分比: $\text{Ndf}_s = \text{植株 N 原子百分超} / \text{标记秸秆 N 原子百分超} \times 100\%$;

植株从土壤和肥料中摄取 N 的百分比: $\text{Ndf}_{s+f} = 1 - \text{Ndf}_s$;

植株中来自标记秸秆的 N 量: $\text{Np}_s = \text{植株 N 积累量} \times \text{Ndf}_s$;

植株中来自土壤和肥料的 N 量: $\text{Np}_{s+f} = \text{植株 N 积累量} - \text{Np}_s$;

^{15}N 标记水稻秸秆氮素的利用率 = 作物吸收 ^{15}N 标记秸秆中氮量 / ^{15}N 标记秸秆总氮量 $\times 100\%$ 。

1.3 数据统计分析

所有数据均由 Excel 2016 进行处理, 采用 SAS 9.2 进行方差齐性检验和 t 检验。

2 结果与分析

2.1 水稻植株干物质及氮素的积累

由表 1 显示, 水稻茎叶器官和穗部干物质积累量大致相同, 全氮含量和氮素积累量表现为: 穗 > 茎叶。不同处理水稻植株茎叶和穗干物质积累量均无显著差异 ($t_s=0.34$), 但水稻茎叶全氮含量和氮素积累量均表现为 T2 处理显著高于 T1 处理趋势 ($t_s=3.00, 3.36$), 分别增加 4.42% 和 4.68%。从水稻植株穗部来看, T2 处理全氮含量比 T1 处理高出 11.55%, 达到显著水平 ($t_s=4.53$); 氮素积累量也表现出 T2 处理显著高于 T1 处理 ($t_s=4.74$), 高出 $0.041 \text{ g} \cdot \text{穴}^{-1}$, 达到 15.76%。可以看出, 与秸

表 1 各处理水稻植株的干重及氮素的积累量

处理	茎叶			穗		
	干重 ($\text{g} \cdot \text{穴}^{-1}$)	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	氮累积 ($\text{g} \cdot \text{穴}^{-1}$)	干重 ($\text{g} \cdot \text{穴}^{-1}$)	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	氮累积 ($\text{g} \cdot \text{穴}^{-1}$)
T1	25.647 ± 0.238	6.950 ± 0.115	0.178 ± 0.002	25.103 ± 0.171	10.475 ± 0.195	0.263 ± 0.004
T2	25.708 ± 0.092	7.257 ± 0.088	0.187 ± 0.003	26.039 ± 0.434	11.686 ± 0.324	0.304 ± 0.012
P 值	$P>0.05$	$P<0.05$	$P<0.05$	$P>0.05$	$P<0.05$	$P<0.05$

秆还田时不施入氮肥处理相比, 秸秆还田同时施入氮肥(调节 C/N)对水稻植株各器官干重无显著影响, 但对植株全氮含量和氮素的累积有显著促进作用。

2.2 水稻植株从标记秸秆中摄取氮 (Ndf_s) 和土壤肥料中摄取氮 (Ndf_{s+F}) 的百分比

Ndf_s 和 Ndf_{s+F} 反映了在一定施肥的条件下, 水稻吸收的总氮中分别来自标记物摄取的氮和非标记物(土壤肥料)摄取的氮的相对比例^[12-13]。不同处理水稻植株各部位 Ndf_s 和 Ndf_{s+F} 的百分比见表 2。从表 2 可以看出, T2 处理水稻从标记还田秸秆中吸收的氮素吸收占总氮的比例茎叶为 4.196%,

穗为 9.195%, 地上植株为 7.293%, 均显著高于 T1 处理 ($t_s=5.77, 5.17, 5.54$), 分别增加 18.89%、5.62% 和 10.27%; 而不同处理水稻植株茎叶、穗部和地上植株吸收土壤和肥料中的氮百分比 (Ndf_{s+F}) 均为 T2 处理 < T1 处理, 分别降低 0.69%、0.54% 和 0.73%。水稻植株不同器官的 Ndf_s 表现为穗部较高, 而水稻植株茎部从标记物中摄取的氮均较低; 水稻植株各器官及地上植株 Ndf_{s+F} 均显著高于 Ndf_s , 水稻植株中累积的氮素 90% 以上均来自于土壤和肥料。可见, 水稻植株吸收的氮主要来自于土壤和肥料, 说明土壤和肥料中的氮是水稻植株氮素积累的主要氮源。

表 2 水稻植株的 Ndf_s 和 Ndf_{s+F} (%)

处理	茎叶		穗		地上植株	
	Ndf_s	Ndf_{s+F}	Ndf_s	Ndf_{s+F}	Ndf_s	Ndf_{s+F}
T1	3.530 ± 0.046	96.470 ± 0.046	8.706 ± 0.095	91.294 ± 0.095	6.614 ± 0.036	93.386 ± 0.036
T2	4.196 ± 0.157	95.804 ± 0.157	9.195 ± 0.095	90.085 ± 0.095	7.293 ± 0.170	92.707 ± 0.170
P 值	$P<0.05$	—	$P<0.05$	—	$P<0.05$	—

2.3 水稻植株不同来源氮素的积累量

各处理水稻植株不同来源氮素的积累量见表 3。从水稻氮素积累器官和部位来看, 水稻穗中积累的不同来源的氮素均高于茎叶。从不同来源来看, 水稻茎叶来自还田秸秆的氮素累积 T2 处理显著高于 T1 处理 ($t_s=8.869$), 高出 24.38%, 而来自土壤和肥料中氮的累积量处理间无差异。水稻穗累积秸秆氮 T2 处理极显著高于 T1 处理 ($t_s=5.44$), 达到 27.994 mg · 穴⁻¹, 同时来自土壤和肥料的氮的

累积处理间有显著差异, 表现为 T2 处理 > T1 处理。地上植株累积不同来源氮素也表现为和穗相同的特点, 其中来自秸秆中的氮素 T2 处理极显著高于 T1 处理 ($t_s=6.23$)。水稻各器官及部位中从土壤和肥料中累积的氮素均高于秸秆氮, 进一步表明土壤和肥料中的氮是水稻植株最主要氮素来源, 并且秸秆与氮素一起施入(调节 C/N)可以显著增加氮素的积累量。

表 3 不同来源氮素的积累量 (mg · 穴⁻¹)

处理	茎叶		穗		地上植株	
	秸秆氮	土壤和肥料氮	秸秆氮	土壤和肥料氮	秸秆氮	土壤和肥料氮
T1	6.292 ± 0.163	171.938 ± 2.146	22.886 ± 0.099	240.036 ± 3.857	29.178 ± 0.095	411.974 ± 2.645
T2	7.826 ± 0.182	178.754 ± 2.825	27.994 ± 1.324	276.351 ± 10.398	35.820 ± 1.505	455.105 ± 7.724
P 值	$P<0.05$	$P>0.05$	$P<0.01$	$P<0.05$	$P<0.01$	$P<0.05$

2.4 水稻对施入秸秆中氮素的利用率

表 4 显示, 水稻植株各部位秸秆氮素的利用率表现为 T2 处理均高于 T1 处理, 茎叶、穗和地上植株总体对施入秸秆的氮素利用率分别增加 24.38%、22.32% 和 22.77%, 均达到极显著水平 ($t_s=8.87, 5.44, 6.23$), 说明秸秆还田后及时调节 C/N 对水

稻增加秸秆中氮素的吸收有利。与穗和地上植株相比, 成熟期水稻茎叶部位秸秆氮素的利用率较低。总的来看, 各处理水稻地上植株对秸秆氮素的利用率不超过 10%, 可见, 在秸秆还田后的第一个生长季节, 绝大部分秸秆中的氮素不能被水稻吸收利用。

表4 水稻对施入秸秆氮素的利用率 (%)

处理	茎叶	穗	地上植株
T1	1.404 ± 0.036	5.108 ± 0.022	6.512 ± 0.021
T2	1.747 ± 0.041	6.248 ± 0.296	7.994 ± 0.336
P 值	P<0.01	P<0.01	P<0.01

3 讨论

3.1 基肥氮素施用时期对水稻生长及秸秆氮吸收的影响

氮素的积累是植株产量形成的关键, 水稻植株不同器官都有各自相应的功能, 干物质及氮素的积累会发生不同的变化, 从而间接影响作物的生长。本研究认为, 尽管秸秆还田后调节基肥氮素的施用时期, 对水稻干物质积累无影响, 但对植株氮素的含量及各器官中的积累量产生了显著的影响。水稻植株茎叶和穗部均在基肥氮素和秸秆同时施入, 调节 C/N 时水稻植株氮素积累量显著提高, 可能与基肥氮素与秸秆同时施入及时调节 C/N 能减少微生物与水稻争氮, 改善了水稻苗期土壤氮素的供应状况, 从而影响作物的生长有关。梁斌等^[14]在氮肥与秸秆配施盆栽试验中的秸秆氮替代 50% 化肥氮处理也证明了这点。另一个可能的原因是北方寒地稻田秸秆还田到微生物分解秸秆活动停止的环境条件 (气温 ≤ 15℃) 出现, 一般会有 20 d 左右的时间, 这为还田水稻秸秆提供了一个短暂和宝贵的分解期, 而此时氮素的施入, 调节了土壤的 C/N, 促进了土壤微生物的活动及秸秆的分解, 为越冬后秸秆的腐解创造了良好的条件, 从而增加了水稻对秸秆中氮素的吸收利用, 从本研究中秸秆还田同时施入基肥氮素的处理对秸秆中氮素的利用达到 7.994%, 极显著高于秸秆还田处理这一结果可以得到证明。因此, 单从水稻氮素积累量的角度考虑, 在水稻的实际生产中, 可以将基肥氮素和秸秆氮同时施入, 以调节 C/N, 作为水稻秸秆还田后合理的氮肥施用方式。

3.2 土壤和肥料中的氮仍是水稻植株的主要氮源

本研究结果显示, 水稻地上植株从 ¹⁵N 标记秸秆物中摄取 N 平均为 7.253%, 其中茎叶摄取氮平均为 1.575%, 穗摄取氮平均为 5.678%, 不考虑大气沉降等其他作物生长微量氮源, 超过 90% 水稻吸收的氮素来自于土壤和肥料, 这一结果与其他作物上的研究结论基本相似。丁文成等^[15]的研究指出, ¹⁵N 标记玉米秸秆对当季冬小麦吸收氮的贡献平均为 6.20% ~ 14.25%; 黄婷苗等^[16]的田间试验结果也指出, 土壤氮对小麦当季氮吸收的贡献最

大, 肥料氮次之, 秸秆氮的贡献最小, 同时小麦吸收的土壤、肥料和秸秆氮素主要分配在小麦籽粒中, 而这一结论与本文在水稻上的研究结论相一致。综合分析可以看出, 作物秸秆还田后, 秸秆中的氮素可以作为下茬作物生长的有效氮源, 而在水稻上的研究结果表明, 土壤和肥料中的氮仍然是水稻的主要氮源, 这似乎暗示着: 在水稻生长过程中, 应注意土壤培肥和氮肥的合理应用, 为水稻植株提供良好的氮营养环境。但是包括本文在内的以往的研究结果只揭示了当季的秸秆氮的利用效率, 就水稻而言, 全量秸秆还田每公顷可以施入土壤 70 kg 左右的氮素 (本数据根据当前大田生产情况大致估算), 而还田秸秆的腐解和养分释放又是一个漫长而复杂的过程, 研究显示北方半干旱地区水稻秸秆当季腐解率为 44.3%^[17], 因此, 有关隔茬作物对秸秆氮的吸收尚需进一步的研究。

4 结论

盆栽试验 ¹⁵N 同位素示踪研究表明, 基肥氮素与秸秆同时施入 (调节 C/N) 处理秸秆氮的利用率显著高于基肥氮素在插秧前施入, 水稻植株的氮含量和氮素积累量也增加; 水稻穗部对秸秆氮利用率高于茎叶部; 水稻地上植株对秸秆氮的综合利用率为 6.51% ~ 7.99%, 其中, 茎叶秸秆氮利用率为 1.40% ~ 1.75%, 穗利用率为 5.11% ~ 5.25%。

参考文献:

- [1] 王秋菊, 常本超, 张劲松, 等. 长期秸秆还田对白浆土物理性质及水稻产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (14): 2748-2757.
- [2] 黄欣欣, 廖文华, 刘建玲, 等. 河北省典型土壤磷库状况及对长期施磷和秸秆还田的响应 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (6): 30-36.
- [3] Gu Y F, Zang T, Che H, et al. Influence of returning corn straw to soil on soil nematode communities in winter wheat [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35 (2): 52-56.
- [4] Nayak A K, Gangwar B, Shukla A K, et al. Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India [J]. Field Crops Research, 2012, 127: 129-139.
- [5] 石祖梁, 贾涛, 王亚静, 等. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算 [J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38 (9): 32-37.
- [6] 杨丽, 刘文, 兰韬, 等. 我国秸秆还田技术与标准的现状研究 [J]. 中国农业信息, 2017, (21): 12-17.

- [7] 袁媛媛, 邬刚, 胡润, 等. 稻油轮作下秸秆还田配施化肥对作物产量及肥料利用率的影响 [J]. 生态学杂志, 2018, 37 (12): 3597-3604.
- [8] 谢志煌, 李彦生, 于镇华, 等. 秸秆还田与作物氮素利用关系研究 [J]. 土壤与作物, 2016, 5 (4): 261-268.
- [9] 张刚, 王德建, 俞元春, 等. 秸秆全量还田与氮肥用量对水稻产量、氮肥利用率及氮素损失的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (4): 877-885.
- [10] 王婉秋, 李仕培, 李辉, 等. 川东北麦秆还田对水稻氮素吸收转运的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (3): 10-14.
- [11] 陈浩, 张秀英, 吴玉红, 等. 秸秆还田与氮肥管理对稻田杂草群落和水稻产量的影响 [J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35 (6): 500-507.
- [12] 温贤芳, 姚允寅. 同位素示踪技术农业应用研究进展 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1991.
- [13] 谢学民, 王寿祥, 张勤争, 等. 核技术农学应用 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [14] 梁斌, 赵伟, 杨学云, 等. 氮肥及其与秸秆配施在不同肥力土壤的固持及供应 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (9): 1750-1757.
- [15] 丁文成, 李书田, 黄绍敏, 等. 氮肥管理和秸秆腐熟剂对¹⁵N标记玉米秸秆氮有效性及去向的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (14): 2725-2736.
- [16] 黄婷苗, 郑险峰, 王朝辉. 还田玉米秸秆氮释放对关中黄土供氧和冬小麦氮吸收的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (14): 2785-2795.
- [17] 谭可菲, 王麒, 刘传增, 等. 黑龙江西部地区水稻秸秆腐解特征研究 [J]. 中国稻米, 2018, 24 (4): 96-98.

Effects of nitrogen fertilizer management on nitrogen uptake and utilization of ¹⁵N labeled rice straw

JIAO Feng¹, LÜ Shu-min¹, LI Xiang¹, TANG Lei, WANG Qiu-ju^{2*}, LIU Feng² (1. Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing Heilongjiang 163319; 2. Institute of Soil Fertilizer and Environment Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin Heilongjiang 150086)

Abstract: Using ¹⁵N isotope tracer technique, the effects of nitrogen fertilizer management on nitrogen uptake and utilization of rice straw were revealed through pot simulation experiments. Two treatments were set up in the experiment: the application of base nitrogen fertilizer before transplanting (T1) and the application of base nitrogen fertilizer and straw at the same time with adjusting C/N ratio (T2). The results of pot experiment showed that nitrogen use efficiency of T2 treatment was significantly higher than that of T1 treatment. Nitrogen uptake by rice from ¹⁵N straw (Ndf_s) was significantly lower than that in soil and fertilizer (Ndf_{s+ff}). The comprehensive utilization rate of straw nitrogen for rice aboveground plants was 6.51% ~ 7.99%, of which the utilization rate of straw nitrogen for stems and leaves was 1.40% ~ 1.75%, and the utilization rate for panicles was 5.11% ~ 5.25%. Under the condition of straw returning to the field, the nitrogen absorption capacity of rice to straw could be significantly improved by applying base fertilizer and straw simultaneously.

Key words: ¹⁵N; straw nitrogen; rice; straw nitrogen utilization

[上接第 122 页]

notably negative relations with the soil pH and available boron content, and had obviously positive correlation with soil alkali-hydrolyzed nitrogen content and extremely significant positive correlation with soil organic matter content, while had no significant correlations with other soil nutrients. The selected optimum regression equation of pH (x_1), organic matter (x_2), exchangeable magnesium (x_7) and available boron (x_{13}) for core browning incidence (y) of young fruit reached a very significant level. The effects of soil pH, exchangeable magnesium and available boron on the core browning incidence of young fruits were mainly determined by their direct effects, while the effect of organic matter on the incidence of core browning was determined by its direct effects and indirect effects through pH. The strong acidity or alkalinity of soil pH and the abundance and deficiency of some soil mineral nutrients led to the imbalance of contents of mineral nutrient elements in young fruits which caused the core browning. It is suggested that to control the disease by improving the soil and spraying the boron fertilizer on the leaf surface.

Key words: mango; core browning of young fruits; soil pH; soil nutrient; analysis