

不同灌溉条件下稻草还田对土壤供氮特征及水稻产量的影响*

彭英湘^{1,2} 王凯荣^{3**} 彭娜¹ 谢小立¹ 余冬立^{1,2} 刘迎新^{1,2}

(1.中国科学院亚热带农业生态研究所 长沙 410125; 2.中国科学院研究生院 北京 100049;
3.青岛农业大学农业生态与环境健康研究所 青岛 266109)

摘要 通过 2 年裂区试验,研究了不同灌溉方式和施肥条件下稻草还田对土壤供 N 特征及产量的影响。结果表明:上年晚稻草还田提高了翌年早稻期间土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度;配施 N 肥后新鲜早稻草还田也增加了晚稻期间土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度,但不施 N 肥淹水灌溉下稻草还田土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度低于移走稻草的处理,间歇灌溉下稻草还田处理土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度仍高于移走稻草的处理。稻草还田能增加水稻产量,早稻增产幅度为 6.85%,晚稻为 8.17%;施用 N 肥后稻草增产效应显著高于不施 N 肥处理,分别增产 9.18%和 5.83%。稻草还田主要通过影响有效穗数来影响产量,但水稻生长季节、灌溉模式和施肥条件对稻草还田的增产效应存在交互作用,早稻以连续淹水灌溉条件下稻草还田的增产效果最大,而晚稻则以间歇灌溉条件下的效果最佳。

关键词 稻草还田 灌溉方式 N 肥 铵态氮 水稻产量 早稻 晚稻

Effects of incorporating rice straw into the soil on soil nitrogen supply and rice yield under different irrigation systems .

PENG Ying-Xiang^{1,2}, WANG Kai-Rong³, PENG Na¹, XIE Xiao-Li¹, SHE Dong-Li^{1,2}, LIU Ying-Xin^{1,2} (1. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; 2. The Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Institute of Agriculture Ecological and Environmental Health, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China), *CJEA*, 2007, 15(5): 30~33

Abstract A 2-year field experiment was conducted to study the effects of rice straw incorporation into the soil on soil N supply and grain yield of rice under different irrigation systems. Results show that in early rice, late rice straw incorporation in last year increases soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ irrespective of whichever irrigation system or nitrogen fertilization is adopted. In late rice, straw incorporation of the early rice adds $\text{NH}_4^+\text{-N}$ to the soil only with N supply. However, with straw incorporation and N omission, soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ decreases under continuous flooding and increases under intermittent irrigation. Straw incorporation increases grain yield by 6.85% in early rice, 8.17% in later rice, 9.18% with N supply and 5.83% with N omission. The development of greater number of panicles is the main reason for rice grain yield increase under straw incorporation. With straw incorporation, grain yield is highest under continuous flooding for early rice, while it is highest under intermittent irrigation for late rice.

Key words Straw incorporation, Irrigation system, N fertilizer, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, Rice grain yield, Early rice, Late rice

(Received Jan. 28, 2006; revised April 26, 2006)

农作物秸秆含有丰富的养分元素,是重要的有机肥源。秸秆还田具有改善土壤理化性状、提高土壤肥力的作用^[1~4]。研究表明,旱作环境下秸秆的分解速度直接关系到秸秆还田的效果^[5],而土壤水分状况又是影响秸秆分解的重要因素之一^[6,7],本试验定位研究了稻田环境下不同水分灌溉模式对稻草直接还田效应的影响。

1 试验材料与方法

田间试验在中国科学院桃源农业生态站试验场(111°33'E, 28°55'N)进行。供试土壤为第四纪红色黏土发育的水稻土,土壤有机质含量 32.1g/kg,全 N 1.9g/kg,碱解氮 138.3mg/kg, Olsen-P 17.7mg/kg,速效钾 77.6mg/kg, pH 5.35。试验自 2004 年早稻开始至 2005 年晚稻结束。裂区设计,共设 4 个主处理和 2 个

* 中国科学院知识创新工程(KZCX3-SW-441)、CERN 野外台站研究基金和 IRRI/BMZ/GTZ 联合资助项目

** 通讯作者

收稿日期:2006-01-28 改回日期:2006-04-26

裂区处理,3次重复。主处理包括淹水灌溉(CF),即水稻移栽后田面持续保持2~5cm水层至成熟期排水;间歇灌溉(II),即在营养生长期实行间歇灌溉,两次灌溉之间保持田面落干1~2d,分蘖高峰期晒田至田面出现小裂隙、水稻白根外露时恢复间歇灌溉,成熟期排水落干;淹水灌溉+稻草还田(CFS),水分管理同CF处理,鲜草还田,其中早稻草施用量为3500kg/hm²(折干物重,下同),晚稻草为4000kg/hm²,稻草还田前切碎至6~8cm长,早稻草当即翻压入泥,晚稻草施于田面,次年4月春耕时再翻压入泥;间歇灌溉+稻草还田(IIS),水分管理同II处理,稻草施用量和施用方法同CFS处理。裂区处理包括NPK配施(简称“施N”),其中早稻施纯N 108kg/hm²、P 20kg/hm²、K 55kg/hm²,晚稻施纯N 132kg/hm²、K 65kg/hm²;无N处理(简称“不施N”),不施N肥,P和K施用量同施N处理。N肥分次施用,其中早稻基肥(移栽前施)和分蘖肥(移栽15d后施)各施1/2,晚稻基肥(移栽前):分蘖肥(移栽后15~20d):穗肥(孕穗前期)=5:4:1,P、K肥作基肥一次性施用。主区面积为8m×5m,每主区一分为二组成两个裂区,裂区面积为4m×5m。裂区之间用5mm厚硬塑板隔开,硬塑板埋深20cm。早稻品种为“湘早籼32号”,密度14cm×20cm,每蔸基本苗5~7株;晚稻为“籼优46”,密度17cm×23cm,每蔸2~3株。

分别于2005年春耕淹水前(4月22日)、早稻分蘖期(5月12日)、早稻成熟期(7月3日)、晚稻分蘖期(7月29日)和晚稻成熟期(10月7日)采集各小区0~20cm表层土壤,新鲜土壤用2mol/LKCl提取,滤液用FIAstar 5000流动注射仪测定NH₄⁺-N浓度。用烘干法测定土壤含水量,折算出干土的NH₄⁺-N浓度。分别于早稻分蘖期(5月12日)、孕穗期(6月7日)、抽穗期(6月17日)、成熟期(7月3日)和晚稻分蘖期(7月29日)、孕穗期(8月21日)、抽穗期(9月8日)和成熟期(10月7日)采集水稻植株样本,每小区取5蔸,在80℃条件下烘干至恒重,采用H₂SO₄-H₂O₂消煮、FIAstar 5000流动注射仪法测定植株N含量,并计算出水稻N吸收量。在水稻分蘖期、孕穗期、抽穗期和成熟期采样测定植株地上部分生物量,成熟期按小区收割,测定稻谷产量。采用Excel 2000和SAS 9.0进行数据处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理土壤NH₄⁺-N浓度的变化

土壤NH₄⁺-N浓度,无论是早稻还是晚稻,各处理均表现为分蘖期高、成熟期低的规律,这是淹水后土壤N矿化、施肥和水稻吸收N过程综合影响的结果(图1)。春耕前(4月22日)施用稻草的各

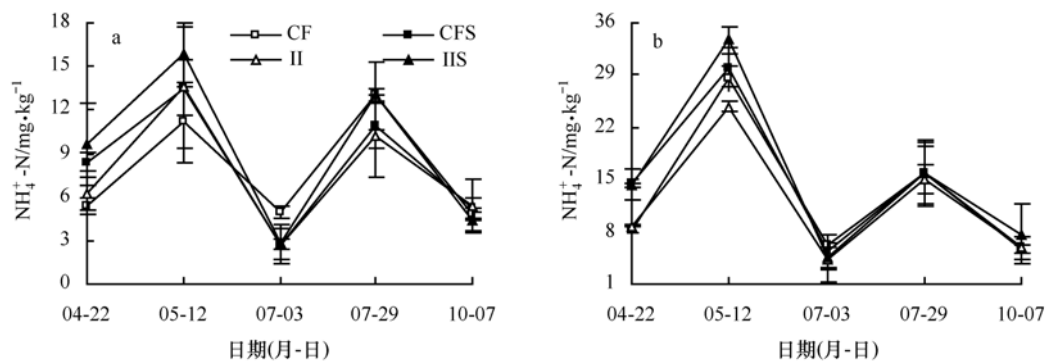


图1 不施N(a)与施N(b)处理土壤NH₄⁺-N动态变化(2005)

Fig. 1 Soil NH₄⁺-N in no N application treatment(a) and N application treatment(b) in 2005

处理土壤NH₄⁺-N浓度显著高于不施稻草的处理($P < 0.05$)。不施N情况下两种灌溉方式处理早稻分蘖期土壤NH₄⁺-N浓度稻草还田比移走稻草处理高,说明上年晚稻草还田具有增加翌年早稻期间土壤NH₄⁺-N浓度的效应。而晚稻期间的表现则略有不同:连续淹水灌溉条件下稻草还田处理水稻分蘖期土壤NH₄⁺-N浓度反而略低于对应不施草处理,间歇灌溉条件下稻草还田处理土壤NH₄⁺-N浓度则仍高于不施稻草的处理。施N后早稻和晚稻稻草还田土壤NH₄⁺-N浓度均比移走稻草处理高。

2.2 不同处理水稻植株吸N量的变化

由表1可知,稻草还田能促进水稻吸收N,其中晚稻抽穗期间灌下及成熟期淹灌下施草与不施草处理茎叶中N累积量差异达到显著水平。稻草还田提高了土壤NH₄⁺-N浓度,使植株N素累积量增加,土壤NH₄⁺-N(分蘖期)与植株吸N总量(成熟期茎叶N+谷粒N)之间存在显著正相关性(早稻 $r = 0.907$,晚稻 $r = 0.515$, $P < 0.05$)。灌溉模式对水稻吸收N的影响不显著。

表 1 不同处理及水稻生育期植株地上部 N 累积吸收量(2005)*

Tab.1 Rice shoot N uptake under different growing periods and different treatments in 2005

| 处理 | Treatment | 地上部 N 吸收量/kg·hm ⁻² Shoot N uptake | | | | | | | |
|-----|-----------|--|---------|---------|----------|--------------|---------|---------|----------|
| | | 早稻 Early rice | | | | 晚稻 Late rice | | | |
| | | 分蘖期 | 孕穗期 | 抽穗期 | 成熟期 | 分蘖期 | 孕穗期 | 抽穗期 | 成熟期 |
| | | Tillering | Booting | Heading | Maturing | Tillering | Booting | Heading | Maturing |
| CF | 施 N | 12.8 a | 61.0 a | 96.7 a | 68.4 a | 61.0 a | 122.0 a | 101.2 b | 122.2 b |
| | 不施 N | 7.4 b | 21.4 b | 37.6 b | 31.6 b | 26.0 c | 48.4 b | 51.5 c | 64.9 c |
| II | 施 N | 12.8 a | 54.1 a | 82.5 a | 62.4 a | 47.3 b | 130.0 a | 108.8 b | 121.1 b |
| | 不施 N | 9.3 b | 25.4 b | 49.2 b | 37.2 b | 27.4 c | 54.1 b | 51.6 c | 63.3 c |
| CFS | 施 N | 10.7 a | 63.6 a | 103.9 a | 68.4 a | 51.6 b | 134.2 a | 114.7 b | 136.1 a |
| | 不施 N | 6.6 b | 23.9 b | 41.4 b | 34.5 b | 29.6 c | 55.4 b | 57.1 c | 74.9 c |
| IIS | 施 N | 12.3 a | 61.3 a | 85.0 a | 68.6 a | 44.9 b | 134.9 a | 137.4 a | 129.8 ab |
| | 不施 N | 7.4 b | 25.0 b | 47.9 b | 36.5 b | 28.0 c | 53.7 b | 58.0 c | 69.0 c |

* 表中同列数字后不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.3 不同处理水稻生物量与稻谷产量的变化

由表 2 可知, 稻草还田整体上促进了水稻中后期生物量的积累, 其中晚稻抽穗期施 N 处理差异达显著水平 ($P < 0.05$)。土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (分蘖期) 与生物量 (抽穗期) 呈极显著正相关 (早稻 $r = 0.777$, 晚稻 $r = 0.597$, $P < 0.01$)。早稻期间灌溉模式对稻草还田效应无显著影响。晚稻中后期间歇灌溉配施 N 肥条件下稻草还田对水稻生物量增加的效应显著高于连续淹水灌溉环境。

表 2 不同处理及生育期水稻地上部生物量(2005)

Tab.2 Rice shoot biomass under different treatments and growing periods in 2005

| 处理 | Treatment | 地上部生物量/kg·hm ⁻² Shoot biomass | | | | | | | |
|-----|-----------|--|---------|---------|----------|--------------|---------|---------|----------|
| | | 早稻 Early rice | | | | 晚稻 Late rice | | | |
| | | 分蘖期 | 孕穗期 | 抽穗期 | 成熟期 | 分蘖期 | 孕穗期 | 抽穗期 | 成熟期 |
| | | Tillering | Booting | Heading | Maturing | Tillering | Booting | Heading | Maturing |
| CF | 施 N | 484 a | 3475 a | 7155 a | 3944 a | 2553 a | 5717 a | 6620 c | 4295 b |
| | 不施 N | 391 b | 1905 b | 3739 b | 1958 b | 1724 c | 4076 b | 5739 d | 3285 c |
| II | 施 N | 523 a | 3351 a | 6790 a | 3746 a | 2065 b | 6259 a | 7480 b | 4767 b |
| | 不施 N | 476 a | 2267 b | 4753 b | 2568 b | 1714 c | 4197 b | 6927bc | 3165 c |
| CFS | 施 N | 429 a | 3492 a | 7691 a | 3938 a | 2120 b | 6428 a | 7684 b | 5684 a |
| | 不施 N | 338 b | 2331 b | 4291 b | 2238 b | 1675 c | 4656 b | 6385 c | 3835 c |
| IIS | 施 N | 484 a | 3681 a | 6748 a | 3726 a | 2087 b | 6610 a | 9417 a | 5196 ab |
| | 不施 N | 367 b | 2431 b | 4818 b | 2411 b | 1641 c | 4475 b | 6510 c | 4005 c |

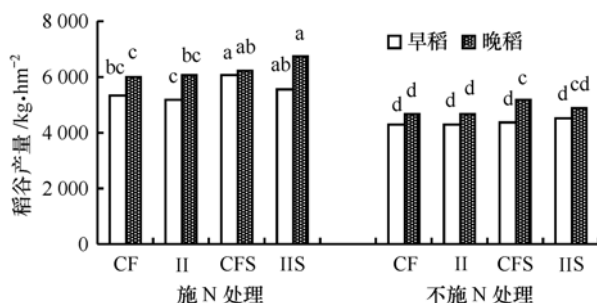


图 2 不同处理的稻谷产量(2004年~2005年)

Fig.2 Grain yield of rice under different treatments in 2004~2005

由图 2 可知, 稻草还田能增加水稻产量, 配合施 N 处理产量的增加达显著水平。早稻稻草还田处理比不施稻草处理平均增产 346kg/hm², 增幅达 6.85%; 晚稻稻草还田处理比不施稻草处理平均增产 436kg/hm², 增幅达 8.17%。施 N 处理稻草还田增加的产量显著高于不施 N 处理稻草还田增加的产量, 分别为 516kg/hm² 和 266 kg/hm², 增幅分别为 9.18% 和 5.83%。

两种灌溉模式对水稻产量的影响不显著, 灌溉模式对稻草还田产量效应的影响则因早晚稻季节和施肥模式的不同而异。施草配合施 N, 早稻淹灌下增产 12.87%, 间灌下增产 7.87%, 淹灌大于间灌; 晚稻则为淹灌下增产 4.84%, 间灌下增产 11.14%, 间灌大于淹灌。早稻 CFS 处理在配施 N 肥时的增产率比不施 N 处理高 11.63%, 而晚稻则比不施 N 低 6.16%。早稻在施 N 基础上 CFS 处理产量显著高于 IIS 处理, 前者为 6058kg/hm², 比后者高 492kg/hm²; 晚稻则相反, IIS 处理产量显著高于 CFS 处理, 前者为 6746kg/hm², 比后者高 492kg/hm²。在无 N 情况下, 两种灌溉模式对稻草还田的产量差异不显著 (图 2)。

从产量构成因素分析,稻草还田主要通过影响有效穗数来影响产量,不管早稻还是晚稻,施 N 肥基础上稻草还田处理单位面积有效穗数均比移走稻草处理高。水分灌溉模式对单位面积有效穗数的影响因季节差别而异。早稻 CFS 处理单位面积有效穗数高于相应间歇灌溉处理,晚稻则相反。单位面积有效穗数与产量之间存在极显著正相关性,早稻相关系数为 0.744 ($P < 0.01$),晚稻为 0.862 ($P < 0.01$)。

3 讨 论

稻草还田后其本身释放的 N 素较少,水稻吸收 N 增加的主要原因可能是稻草还田能引起土壤 N 矿化的正激发效应^[8],增加土壤的供 N 能力^[9]。晚稻期间不施 N 肥情况下,不同灌溉方式处理土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度有所不同。连续淹水灌溉条件下稻草还田处理水稻分蘖期土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度低于对应不施草处理,可能与连续灌溉条件下水稻(晚稻)吸收 N 的速度较快,且与新翻压稻草分解过程的微生物固氮作用相互重叠有关。而间歇灌溉条件下水稻吸 N 量相对较小,且稻田厌气微生物固 N 量降低^[10],由稻草矿化的 N 以 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 形式在土壤中保存较多,可能是间歇灌溉下稻草还田土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度较移走稻草处理高的原因之一^[12]。无论早稻还是晚稻,施 N 后稻草还田土壤 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度均比移走稻草处理高,可能与稻草对来自化肥的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 源的固持有关^[11]。

稻草还田提高了土壤的供 N 能力,促进了水稻吸收 N,有利于水稻中后期生物量的积累,为水稻增产奠定了基础。不同灌溉模式对稻草还田产量效应的影响因早晚稻季节和施肥条件的不同而异。稻草还田后配合施 N,早稻淹水灌溉下的增产幅度高于间歇灌溉下的增产幅度,晚稻则相反,说明生长季节、灌溉模式和施肥条件对稻草还田的增产效应存在交互作用。但对不同灌溉模式下早晚稻增产差异显著的机理及其长期效应还有待于进一步深入研究。

参 考 文 献

- 1 劳秀荣,孙伟红,王 真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响. 土壤学报, 2003, 40(4): 618~623
- 2 王凯荣,刘 鑫,周卫军,等. 稻田系统养分循环利用对土壤肥力和可持续生产力的影响. 农业环境科学学报, 2004, 23(6): 1041~1045
- 3 王玄德,石孝均,宋光煜. 长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 302~307
- 4 邵月红,潘剑君,孙 波. 长期施用有机肥对瘠薄红壤有效碳库及碳库管理指数的影响. 土壤通报, 2005, 36(2): 177~180
- 5 朱瑞祥,薛少平,张秀琴,等. 机械化玉米秸秆还田对土壤水肥状况的动态研究. 农业工程学报, 2001, 17(4): 39~42
- 6 左玉萍,贾志宽. 土壤含水量对秸秆分解的影响及动态变化. 西北农林科技大学学报, 2004, 32(5): 61~63
- 7 江长胜,杨剑虹,谢德体,等. 有机物料在紫色母岩风化碎屑中的腐解及调控. 西南农业大学学报, 2001, 23(5): 463~467
- 8 李贵桐,赵紫娟,黄元仿,等. 秸秆还田对土壤氮素转化的影响. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 162~167
- 9 周卫军,王凯荣,刘 鑫. 有机物循环对红壤稻田土壤 N 矿化的影响. 生态学杂志, 2004, 23(1): 39~43
- 10 李世清,任书杰,李生秀. 土壤微生物体氮的季节性变化及其与土壤水分和温度的关系. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 18~23
- 11 王 岩,张 莹,沈其荣,等. 施用有机、无机肥后土壤微生物量、固定态铵的变化及其有效性研究. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(4): 307~314
- 12 Witt C., Cassman K.G., Ottow J.C.G., et al. Soil microbial biomass and nitrogen supply in an irrigated lowland rice soil as affected by crop rotation and residue management. Biol. Fertil. Soils, 1998, 28(1): 71~80