

油菜秸秆还田条件下氮肥运筹对水稻产量和土壤可利用氮的影响

翟思龙¹, 张云虹¹, 张永吉¹, 辛海滨², 马长青³, 张 瑛^{1*}, 张永泰¹

(1. 江苏里下河地区农业科学研究所, 江苏 扬州 225007; 2. 江都区农业技术综合服务中心, 江苏 扬州 225200; 3. 高邮市农业技术综合服务中心, 江苏 扬州 211400)

摘要: 研究油菜秸秆全量还田条件下不同氮肥运筹对水稻土壤可利用氮含量和产量的影响, 为油菜秸秆全量还田条件下水稻氮肥运筹提供理论依据。以缘两优 968 为试验材料, 于 2022 年在江苏省扬州市开展试验, 试验设置油菜秸秆全量还田不施肥 (SN0), 油菜秸秆全量还田配施氮肥 (SN1, 基肥:分蘖肥:穗肥 =2.2:2.2:5.6), 油菜秸秆全量还田配施氮肥 (SN2, 基肥:分蘖肥:穗肥 =2.5:2.5:5), 油菜秸秆全量还田配施氮肥 (SN3, 基肥:分蘖肥:穗肥 =3:3:4), 油菜秸秆全量还田配施氮肥 (SN4, 基肥:分蘖肥:穗肥 =3.5:3.5:3)。于苗期、抽穗期和成熟期分别测定土壤铵态氮、硝态氮、可溶性总氮、脲酶、植株氮素含量和产量等性状。结果表明, 与 SN0 相比, SN1、SN2、SN3、SN4 处理水稻产量分别增加 15.73%、43.78%、68.05%、43.78%。在苗期油菜秸秆全量还田条件下, 基肥比例的增加显著提高土壤铵态氮含量, 但是显著降低脲酶活性。在抽穗期, SN3 处理土壤铵态氮含量和脲酶活性显著高于其他处理, 硝态氮含量显著低于其他处理; 与 SN0 相比, SN1、SN2、SN3、SN4 处理显著提高水稻整株氮吸收量, 增幅分别为 37.34%、62.37%、57.65%、19.47%。油菜秸秆全量还田条件下, 适当提高基肥比例对水稻产量和氮素吸收有积极效应, 当基肥:分蘖肥:穗肥 =3:3:4 时, 产量和氮肥利用率均处于较高水平。

关键词: 油菜秸秆还田; 氮肥比例; 土壤氮素; 水稻产量

水稻是中国重要的粮食作物, 种植面积占全国粮食作物播种面积的 29.8%, 产量占全国粮食总产量的 33.6%^[1]。江苏省是水稻生产大省, 水稻播种面积和单产居全国前列^[2]。水旱轮作是江苏省主要种植制度, 水稻前茬主要种植小麦, 油菜的面积比较小。近年来, 我国实施大豆和油料产能提升工程, 推行稻油轮作, 江苏省是我国“双低”油菜重点种植区域之一, 单产均居全国领先地位, 相应面积逐渐扩大。

作物秸秆含有丰富的碳和氮、磷、钾及微量元素, 作物秸秆直接还田可以改善土壤理化性质、提高土壤肥力、促进作物增产, 是一种经济且有价值

的管理措施^[3]。陈婉华等^[4]研究表明与秸秆不还田相比, 还田提高作物产量和土壤养分转化相关酶活性。丛日环等^[5]发现与单施化肥相比, 长期秸秆还田配施化肥更有利于提高土壤铵态氮储量。Xia 等^[6]通过 meta 分析表明, 秸秆还田显著提高作物氮的吸收和利用效率并提高生产力。

然而, 有研究表明, 常规施肥条件下秸秆还田导致水稻减产^[7], 但秸秆还田配合分蘖肥增氮可以显著提高水稻生物产量和籽粒产量。秸秆还田条件下氮肥前移更有利于作物增产^[8]。这主要由于农作物秸秆中不稳定的碳是土壤微生物重要的碳和能量来源^[9-10]。因此, 秸秆的输入可能会刺激微生物生长并固定土壤中矿物质氮, 进而影响土壤无机氮素含量^[11-12]。尤其碳氮比高的秸秆还田, 前期氮素供应不足会出现微生物与作物争氮的现象, 许多研究表明, 秸秆还田后会引引起水稻前期生长不良, 出现僵苗现象^[13-14]。秸秆还田配施氮肥调节土壤碳氮比, 能有效补充养分, 提高作物产量^[15]。胡雅杰等^[16]研究表明, 在稻麦轮作系统中, 施氮总量不变, 适当提高基肥施用比例可以提高秸秆还田条件下水稻氮素吸收量和氮肥利用率。然而, 不同

收稿日期: 2023-11-04; 录用日期: 2024-01-26

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-12); 江苏省自主创新资金项目 [CX (23) 1001-1]; 扬州市科技计划现代农业项目 (YZ2021036); 江苏里下河地区农科所科研专项基金 [SJ (21) 105]。

作者简介: 翟思龙 (1992-), 助理研究员, 博士, 主要从事农业资源与环境研究。E-mail: zhaisilong0329@163.com。

通讯作者: 张瑛, E-mail: yzjk@126.com。

的作物秸秆碳氮比不同,使微生物矿化和固持的时间和强度发生重大变化,影响土壤中无机氮的变化。在江苏稻麦轮作模式,秸秆还田的研究很多,但关于在油菜-水稻轮作研究相对较少。本研究通过研究油菜秸秆还田条件下,不同氮肥运筹对水稻产量和土壤可利用氮的影响,为油菜秸秆还田条件下水稻的氮肥运筹提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在江苏里下河地区农业科学研究所万福基地进行,试验地土壤有机碳 8.12 g/kg,全氮 1.26 g/kg,全磷 0.96 g/kg,全钾 1.64 g/kg,速效钾 67.56 mg/kg,碱解氮 89.54 mg/kg,有效磷 42.47 mg/kg。

1.2 供试材料

油菜品种为扬油 12 号,还田量为 30.24 t/hm²

(FW),经测定秸秆干样中氮含量为 2.38%,磷含量为 0.382%,钾含量为 2.45%。水稻品种为缘两优 968,由江苏里下河地区农业科学研究所水稻研究室提供。

1.3 试验设计

本研究基于稻油轮作系统开展。油菜全生育期只施用基肥,施用 450 kg/hm² 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)。水稻季整个生育期施用 225 kg/hm² 纯氮,各处理分别按基肥、分蘖肥、穗肥不同比例施用(表 1)。磷肥(P₂O₅),钾肥(K₂O)作为基肥施用,施用量均为 120 kg/hm²。各处理小区面积 20 m²,每个处理重复 3 次。于 2022 年 6 月 9 日施基肥,移栽水稻,移栽行距 33 cm,株距 17 cm,2022 年 6 月 16 日施分蘖肥,8 月 2 日施穗肥,10 月 9 日收获。小区间筑埂并用塑料薄膜包裹,防止水肥互串。

表 1 试验处理

编号	处理	总氮	基肥	分蘖肥	穗肥
SN0	秸秆全量还田不施肥	0	0	0	0
SN1	秸秆全量还田氮肥比例(2.2:2.2:5.6)	225	49.5	49.5	126
SN2	秸秆全量还田氮肥比例(2.5:2.5:5)	225	56.25	56.25	112.5
SN3	秸秆全量还田氮肥比例(3:3:4)	225	67.5	67.5	90
SN4	秸秆全量还田氮肥比例(3.5:3.5:3)	225	78.75	78.75	67.5

1.4 样品采集与测定方法

小区样品采用五点取样法采集,每个小区采集 5 个点,将 5 个点土样混合成一个样品。于 2022 年 6 月 26 日取苗期 0~20 cm 土层土壤样品;8 月 9 日取抽穗期 0~20 cm 土层土壤样品和地上部植株样品(5 穴),10 月 9 日收获测产。土壤样品过 2 mm 筛,去除根部碎屑、秸秆残留物和小石头。将过筛后的新鲜土壤储存在 4℃冰箱。植株在 105℃ 下杀青 0.5 h,85℃ 烘 48 h。

土壤相关指标及植株总氮参照农化分析方法测定^[17]。其中,土壤铵态氮和硝态氮用连续流动分析仪测定;脲酶活性测定采用靛酚蓝比色法;植株总氮含量测定采用凯氏定氮法。土壤可溶性总氮采用过硫酸钾氧化消化法,在高压蒸汽灭菌锅中 120~124℃ 条件下消解 0.5 h,然后用连续流动分析仪测定^[18]。

1.5 数据分析与计算公式

用 SPSS 20.0 处理分析数据,采用方差分析(ANOVA)中的最小显著性法(LSD)对各处理的数据进行显著性检验($P<0.05$),用 Origin 8.0 作图。

水稻植株氮吸收量 = 水稻植株氮含量 × 生物量
 氮肥吸收利用率(%) = (施氮区地上部吸氮量 - 不施氮区地上部吸氮量) / 施氮量 × 100

2 结果与分析

2.1 油菜还田条件下不同氮肥运筹对水稻产量的影响

油菜秸秆还田条件下,不同氮肥运筹对产量的影响显著不同。随着基肥比例的增加产量有所提高,与 SN0 相比,SN1、SN2、SN3、SN4 处理水稻产量分别增加 15.73%、43.78%、68.05%、43.78% (图 1)。

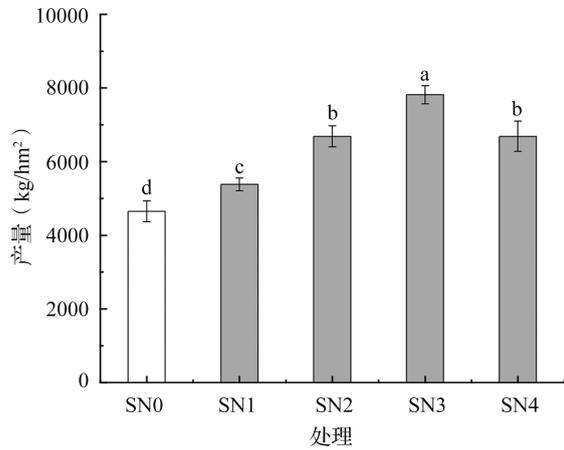


图1 油菜秸秆还田条件下不同氮肥运筹对水稻产量的影响
注:小写字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 油菜还田条件下不同氮肥运筹对可利用氮和脲酶活性的影响

由图2a可知,在苗期随着基肥比例的增加,土壤铵态氮含量显著提高。与SN0相比,SN1、

SN2、SN3、SN4处理显著提高土壤铵态氮含量,增幅分别为16.66%、53.04%、56.43%、142.19%。

由图2b可知,在苗期随着基肥比例的增加,土壤硝态氮含量先增加后降低。与SN0相比,SN2处理显著提高土壤硝态氮含量,增幅为106.24%;SN3和SN4处理显著降低土壤硝态氮含量,降幅分别为31.12%和20.35%;SN1处理无显著影响。

由图2c可知,在苗期随着基肥比例的增加,土壤可溶性总氮含量先增加后降低。与SN0相比,SN1处理显著提高土壤可溶性总氮含量,增幅为33.64%;SN4处理显著降低土壤可溶性总氮含量,降幅为12.48%;SN2和SN3处理无显著影响。

由图2d可知,在苗期脲酶活性随着基肥比例的增加而降低,与SN0相比,SN1、SN2、SN3、SN4处理土壤脲酶活性显著降低,降幅分别为27.51%、46.88%、32.44%、44.89%。

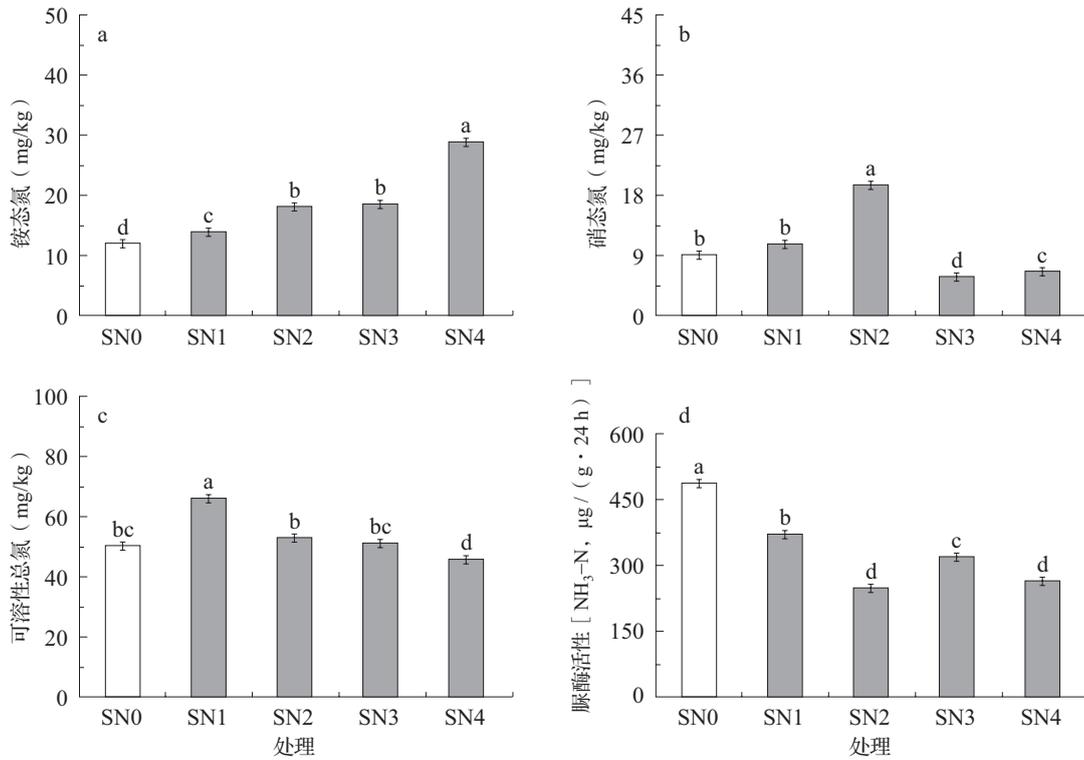


图2 油菜秸秆还田条件下不同氮肥运筹对苗期稻田土壤铵态氮、硝态氮、可溶性总氮和脲酶活性的影响

由图3a可知,在抽穗期不同氮肥运筹对铵态氮的影响显著不同。与SN0相比,SN1、SN2、SN3处理显著提高土壤铵态氮含量,增幅分别为10.90%、29.51%、55.35%;SN4处理显著降低土壤铵态氮含量,降幅为9.08%。

由图3b可知,在抽穗期不同氮肥运筹对硝态氮的影响显著不同。与SN0相比,SN2、SN3、SN4处理土壤硝态氮含量显著降低,降幅分别为63.12%、91.54%、87.02%;SN1处理显著提高土壤硝态氮含量,增幅为85.03%。

由图 3c 可知, 在抽穗期油菜秸秆还田条件下, 不同氮肥运筹对可溶性总氮含量的影响显著不同。与 SN0 相比, SN1、SN3、SN4 处理土壤可溶性总氮含量显著提高, 增幅分别为 27.42%、17.25%、

9.89%; SN2 处理无显著影响。

由图 3d 可知, 与 SN0 相比, SN3 处理显著提高土壤脲酶活性, 增幅为 40.89%; SN1、SN2、SN4 处理无显著影响。

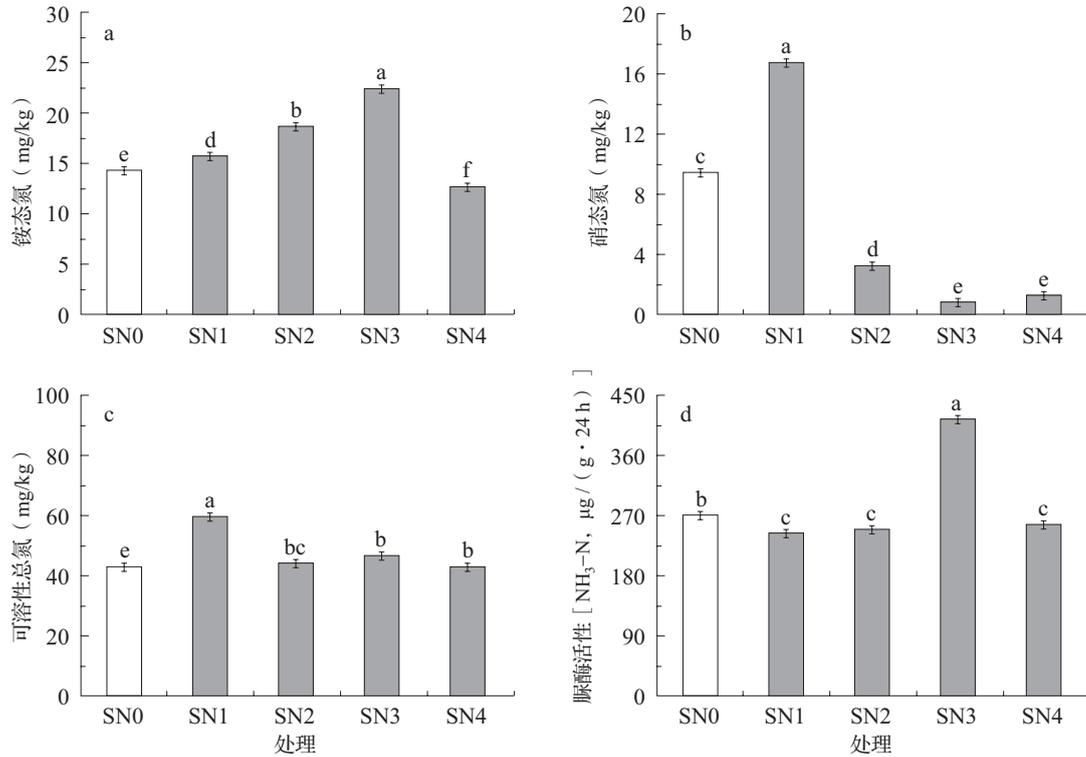


图 3 油菜秸秆还田条件下不同氮肥运筹对抽穗期稻田土壤铵态氮、硝态氮、可溶性总氮和脲酶活性的影响

2.3 油菜还田条件下不同氮肥运筹对水稻抽穗期氮素吸收的影响

由表 2 可知, 在抽穗期油菜秸秆还田条件下, 不同氮肥运筹对植株的影响显著不同。与 SN0 相比, SN1、SN2、SN3、SN4 处理显著提高水稻整株氮含量, 增幅分别为 37.34%、62.37%、57.65%、19.47%。与 SN0 相比, SN2 和 SN3 处理显著提高水稻茎秆氮含量, 增幅分别为 22.22% 和 56.68%。SN1 和 SN4 处理无显著影响。与 SN0 相比, SN1、

SN2、SN3、SN4 处理显著提高水稻叶片氮含量, 增幅分别为 93.10%、100.28%、85.76%、39.22%。与 SN0 相比, SN1、SN2、SN3、SN4 处理显著提高水稻穗氮含量, 增幅分别为 43.01%、80.99%、45.07%、38.12%。不同氮肥运筹对氮肥利用率的影响显著不同, SN2 和 SN3 处理的氮肥利用率显著高于 SN1 和 SN4 处理。由图 4 可知, 不同氮肥运筹改变了各部分器官吸氮量占整株吸氮量的百分比, SN3 处理显著提高了茎、叶吸氮量的百分比。

表 2 抽穗期植株氮吸收量

处理	茎 (mg/株)	叶 (mg/株)	穗 (mg/株)	整株 (mg/株)	氮肥利用率 (%)
SN0	385.00 ± 37.24c	201.88 ± 24.74c	421.06 ± 34.17c	1008.89 ± 84.22d	—
SN1	393.00 ± 26.97c	389.84 ± 40.27a	602.15 ± 28.95b	1385.60 ± 84.73b	28.46 ± 7.78b
SN2	471.71 ± 15.13b	404.32 ± 33.48a	762.10 ± 31.52a	1638.14 ± 67.53a	47.54 ± 9.80a
SN3	604.70 ± 61.48a	375.02 ± 46.86a	610.81 ± 14.31b	1590.53 ± 101.42a	43.95 ± 6.07a
SN4	342.65 ± 28.98c	281.06 ± 17.44b	581.59 ± 46.84b	1205.31 ± 15.36c	14.84 ± 5.20b

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 (P<0.05)。

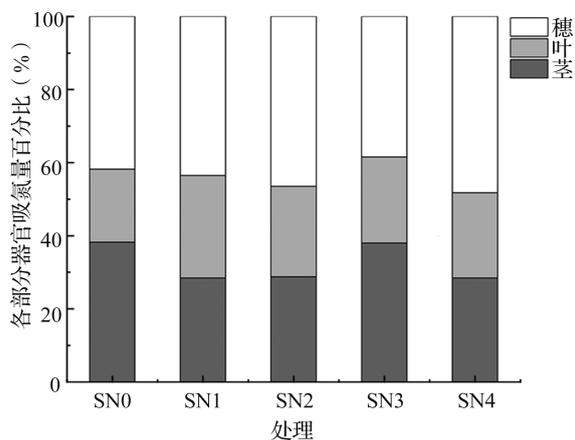


图4 油菜秸秆还田条件下不同氮肥运筹对水稻抽穗期各器官吸氮量百分比的影响

3 讨论

本研究表明,在油菜秸秆全量还田条件下,氮肥总量不变,随着基肥比例的增加对水稻的增产效应先增加后降低,SN3处理产量显著高于其他处理。研究表明,秸秆还田对作物产量有积极作用^[19],然而,秸秆还田对于产量的效应受很多因素的影响,如气候条件、土壤类型、还田方式、氮肥及其比例^[20]。许多研究表明,秸秆还田前期抑制水稻生长,特别是对于碳氮比大的农作物秸秆,通过增加氮素的固定化并造成氮素限制^[21],秸秆还田是在中后期随着养分的释放对作物产生积极效应^[22]。研究表明,单独秸秆还田不添加氮肥对产量无影响甚至有负面效应^[23],秸秆还田配施氮肥可以显著促进作物产量^[24],但是不同类型秸秆结合不同氮肥运筹对产量的效应不同^[25]。

一方面,氮肥基施比例的增加缓解了由于秸秆还田造成微生物与作物前期争夺氮素的问题,提高了土壤可利用氮。本研究结果表明,在苗期随着氮肥基施比例的增加土壤铵态氮含量显著提高,相应的脲酶活性显著降低。然而,随着氮肥比例增加,当氮肥不再是限制因子就会增加氮肥损失的风险。另一方面,本研究结果表明,在抽穗期土壤铵态氮含量随氮肥比例的增加也是先增加后降低,这与产量的变化规律一致。秸秆还田在中后期随着秸秆的分解给作物提供养分从而促进作物增产^[16]。水稻主要吸收铵态氮,硝态氮比铵态氮更容易淋失,本研究结果表明随着氮肥基施比例的增加,土壤硝态氮和可溶性总氮含量显著降低,因此可能降低氮损失的风险。

此外,本研究发现,SN3处理抽穗期脲酶活性显著高于其他处理,表明SN3处理前期调节土壤碳

氮比更有利于微生物的生长和活动,从而促进水稻的氮素吸收,结果也表明,SN3处理的氮肥吸收利用率高于其他处理。并且SN3处理的茎、叶氮吸收量显著高于其他处理,表明SN3处理可能提高了后期氮素向籽粒的转移,前人研究也表明在油菜秸秆还田条件下,氮肥比例基肥:分蘖肥:促花肥:保花肥3:3:2:2更有利于水稻氮素后期的转运^[26]。

4 结论

在江苏省水旱轮作制度下,油菜秸秆全量还田条件下随着基肥比例的提高产量先增加后降低。基肥:分蘖肥:穗肥为3:3:4时产量最高,可以缓解水稻前期氮不足,同时在中期、后期也能维持较高土壤可利用氮,促进水稻氮素吸收和转化,降低氮损失。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.
- [2] 佴军. 近30年江苏省水稻生产的时空变化与效益分析[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- [3] Li Z, Zhao B, Olk D C, et al. Contributions of residue-C and -N to plant growth and soil organic matter pools under planted and unplanted conditions[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2018, 120: 91-104.
- [4] 陈婉华, 袁伟, 王子阳, 等. 不同耕作方式与秸秆还田对土壤酶活性及水稻产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022(7): 162-169.
- [5] 丛日环, 张丽, 鲁艳红, 等. 添加不同外源氮对长期秸秆还田土壤中氮素转化的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(7): 1107-1114.
- [6] Xia L, Lam S K, Wolf B, et al. Trade-offs between soil carbon sequestration and reactive nitrogen losses under straw return in global agroecosystems[J]. *Global Change Biology*, 2018, 24(12): 5919-5932.
- [7] 刘梦红, 李红宇, 杜俊, 等. 秸秆还田与粪肥增氮对寒地水稻产量和氮素吸收、利用的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(9): 49-59.
- [8] Huang S, Zeng Y J, Wu J F, et al. Effect of crop residue retention on rice yield in China: a meta-analysis[J]. *Field Crops Research*, 2013, 192: 188-194.
- [9] Lu F, Wang X K, Han B, et al. Net mitigation potential of straw return to Chinese cropland: estimation with a full greenhouse gas budget model[J]. *Ecological Applications*, 2010, 20(3): 634-647.
- [10] Qiu Q, Wu L, Ouyang Z, et al. Priming effect of maize residue and urea N on soil organic matter changes with time[J]. *Applied Soil Ecology*, 2016, 100: 65-74.
- [11] Thuy N H, Shan Y H, Bijay S, et al. Nitrogen supply in rice-based cropping systems as affected by crop residue management[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72(2): 514-523.

- [12] Zhao Y, Zhang J B, Muller C, et al. Temporal variations of crop residue effects on soil N transformation depend on soil properties as well as residue qualities [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2018, 54 (5): 659–669.
- [13] 黄晶, 王学春, 王红妮, 等. 油菜秸秆翻埋还田对水稻秧苗生长及土壤性状的影响 [J]. *西南农业学报*, 2016, 29 (8): 1908–1912.
- [14] 韦叶娜, 王学春, 赵祥, 等. 油菜秸秆还田对水稻根系及分蘖生长的影响 [J]. *云南大学学报 (自然科学版)*, 2018, 40 (3): 609–618.
- [15] 李涛, 何春娥, 葛晓颖, 等. 秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24 (12): 1633–1642.
- [16] 胡雅杰, 朱大伟, 邢志鹏, 等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (1): 12–22.
- [17] 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, 1999: 159–160.
- [18] Rogora M, Minella M, Orr A, et al. A comparison between high-temperature catalytic oxidation and persulphate oxidation for the determination of total nitrogen in freshwater [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2006, 86 (14): 1065–1078.
- [19] Yang H S, Zhai S L, Li Y F, et al. Waterlogging reduction and wheat yield increase through long-term ditch-buried straw return in a rice-wheat rotation system [J]. *Field Crops Research*, 2017, 209: 189–197.
- [20] Liu D T, Song C C, Xin Z H, et al. Agricultural management strategies for balancing yield increase, carbon sequestration, and emission reduction after straw return for three major grain crops in China: a meta-analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 340: 117965.
- [21] Zhao Y, Wang J, Cai Z, et al. Short-term effects of nitrapyrin, rice straw and its biochar application on N transformation in soils of humid subtropical China [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil and Plant Science*, 2018, 68 (5): 448–456.
- [22] 张宇杰, 王志强, 马鹏, 等. 麦秆还田下水氮耦合对水稻氮素吸收利用及产量的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2022, 36 (4): 388–398.
- [23] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响 [J]. *作物学报*, 2008 (6): 1014–1018.
- [24] Li L, Zhang Z, Tian H, et al. Nitrogen deep placement combined with straw mulch cultivation enhances physiological traits, grain yield and nitrogen use efficiency in mechanical pot-seedling transplanting rice [J]. *Rice Science*, 2022, 29 (1): 89–100.
- [25] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 秸秆覆盖与氮肥运筹对杂交稻根系生长及氮素利用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (1): 23–35.
- [26] 彭志芸, 向开宏, 杨志远, 等. 麦/油-稻轮作下秸秆还田与氮肥管理对直播杂交稻氮素利用特征的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2020, 34 (1): 57–68.

Effects of nitrogen fertilizer management on rice yield and soil available nitrogen under rape green manure incorporation

ZHAI Si-long¹, ZHANG Yun-hong¹, ZHANG Yong-ji¹, XIN Hai-bin², MA Chang-qing³, ZHANG Ying^{1*}, ZHANG Yong-tai¹ (1. Lixiahe District Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu, Yangzhou Jiangsu 225007; 2. Agricultural Technology Comprehensive Service Center of Jiangdu District Yangzhou City, Yangzhou Jiangsu 225200; 3. Gaoyou Agricultural Technology Comprehensive Service Center, Yangzhou Jiangsu 211400)

Abstract: The effects of different nitrogen fertilizer management on the soil available nitrogen content and rice yield under rape straw incorporation were studied, which could provide a theoretical basis for nitrogen fertilizer management of rice under the total rape straw incorporation. Using Yuanliangyou 968 as the experimental material, an experiment was conducted in Yangzhou, Jiangsu Province in 2022. Five treatments were set up, namely rape straw incorporation without fertilization (SN0), rape straw incorporation with nitrogen fertilizer (SN1, base fertilizer : tillering fertilizer : ear fertilizer=2.2 : 2.2 : 5.6), rape straw incorporation with nitrogen fertilizer (SN2, base fertilizer : tillering fertilizer : ear fertilizer=2.5 : 2.5 : 5), rape straw incorporation with nitrogen fertilizer (SN3, base fertilizer : tillering fertilizer : ear fertilizer=3 : 3 : 4), rape straw incorporation with nitrogen fertilizer (SN4, base fertilizer : tillering fertilizer : ear fertilizer=3.5 : 3.5 : 3). Soil ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, soluble total nitrogen, urease, plant nitrogen content, and yield were measured at the seedling, heading, and maturity stages. The results showed that compared with SN0 treatment, the rice yield of SN1, SN2, SN3 and SN4 treatments increased by 15.73%, 43.78%, 68.05% and 43.78%, respectively. Under rape straw incorporation at seedling stage, the content of ammonium nitrogen increased significantly with the increase of the proportion of base fertilizer, and the activity of urease decreased. At heading stage, soil ammonium nitrogen and urease activity under SN3 treatment was significantly higher than other treatments, and soil nitrate nitrogen was significantly lower than other treatments. Compared with SN0 treatment, the aboveground nitrogen uptake in rice under SN1, SN3 and SN4 treatments was significantly increased by 37.34%, 62.37%, 57.65% and 19.47%, respectively. Under rape straw incorporation, increasing the proportion of base fertilizer had positive effects on rice yield and nitrogen uptake. When basal fertilizer : tillering fertilizer : ear fertilizer=3 : 3 : 4, both yield and nitrogen fertilizer utilization were at a high level.

Key words: rape straw incorporation; nitrogen fertilizer ratio; soil nitrogen; rice yield