

秸秆还田条件下氮肥运筹对作物产量和氮肥利用效率的影响

韩 上^{1,2}, 武 际^{1*}, 李 敏¹, 唐 杉¹, 王 慧¹, 程文龙¹, 石祖梁³, 桑亚松⁴

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 养分循环与资源环境安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036; 3. 农业农村部农业生态与资源保护总站,
北京 100125; 4. 肥东县农业技术推广中心, 安徽 合肥 231600)

摘 要: 研究秸秆直接还田条件下, 水旱轮作区水稻和旱作区小麦的适宜氮肥施用量和氮肥运筹的组合, 为秸秆还田后氮肥的合理施用提供依据。2014 ~ 2017 年度在安徽省肥东县和太和县布置田间试验, 比较不同施氮处理对作物产量和氮肥利用效率的影响。结果表明, 与当地推荐氮肥用量和习惯运筹方式处理相比, 在水稻和小麦上增加氮肥用量作物产量均未有显著提升; 降低氮肥用量则显著降低了水稻产量, 降幅在 6.51% ~ 10.25% 间; 降低氮肥用量时氮肥前移处理小麦产量并未下降。在水稻和小麦上推荐氮肥用量时氮肥前移处理 ($N_{210} M_{7/2/1}$ 和 $N_{240} M_{8/2}$) 均获得了较高产量, 分别为 10 066 和 7 583 kg/hm², 与最高产量处理差异均不显著。氮肥农学利用率和偏生产力整体上随着氮肥用量的增加而降低; 同一氮肥用量下, 利用效率则表现为氮肥前移 > 习惯基追比 > 一次性基施。在推荐氮肥用量和高氮条件下, 推荐氮肥用量时氮肥前移处理的农学利用率和偏生产力均处于最高水平, 高氮各处理氮肥利用效率均较低。秸秆还田条件下, 提高氮肥用量并不能显著提高水稻或小麦产量; 推荐施氮量下氮肥前移在水稻和小麦上均获得较高的产量和氮肥利用效率, 是目前推荐施氮量下的较优运筹方式。

关键词: 秸秆还田; 氮肥用量; 后氮前移; 氮肥利用效率

秸秆作为含碳丰富的可再生资源, 在还田时向土壤中输了大量的碳和作物所需的各种营养元素, 是保持和提高土壤肥力的重用手段^[1-2]。氮素是影响作物产量的最主要养分因素之一, 氮肥的合理施用是作物获得高产的重要保证^[3]。而当前农作物生产中施用的氮肥多为速效态, 养分释放迅速^[4]。氮肥施入土壤后除了被作物吸收利用和在土壤剖面残留, 还有部分会通过各种途径损失到环境中。过量施氮造成的氮素损失不利于作物高产和氮肥利用效率的提高, 同时还会造成环境污染^[5-6]。大量研究已经证实, 秸秆还田初期微生物在分解秸秆时会消耗土壤中的氮素, 出现与作物争氮的现象^[7-8], 而随着秸秆的分解, 秸秆中的氮素可以缓慢释放出来供作物吸收利用^[9-10]。但当前生产上, 为防止秸秆还田前期与作物争氮, 许多地区仍会在当地推荐施

肥量的基础上增施一定量的氮肥做基肥。

安徽省是我国粮食主产省, 常年农作物种植面积超过 860 万 hm²^[11]。目前粮食生产北方以小麦 - 玉米 / 大豆轮作, 南方以水稻 - 小麦 / 油菜轮作为主, 其中小麦和水稻播种面积位居各作物前两位, 占农作物总播种面积的 50% 以上^[11]。随着秸秆直接还田比例的进一步提高^[12], 如何通过调整秸秆还田条件下的氮肥运筹, 达到不增加氮肥用量和提高氮肥利用效率的目的变得尤为重要。前人已有不少关于秸秆还田条件下氮肥运筹的研究^[13-15], 但大田条件下连续多年的研究并不多见, 且不同区域和轮作制下研究结果并不一致^[16-18]。为此, 本研究以安徽水旱轮作区水稻和旱作区小麦为研究对象, 比较秸秆直接还田条件下不同氮肥施用量和氮肥运筹组合连续多年的施用效果, 为秸秆还田条件下氮肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

试验于 2014 ~ 2017 年分别在安徽省水旱轮作区肥东县和旱作区太和县进行。肥东点土壤为水稻土, 太和点土壤为砂姜黑土。供试点耕层 (0 ~

收稿日期: 2019-06-09; 录用日期: 2019-09-07

基金项目: 安徽省科技重大专项 (17030701055); 公益性行业科研专项 (201503122); 安徽省农业科学院团队项目 (2020YL066)。

作者简介: 韩上 (1989-), 男, 河南信阳人, 助理研究员, 博士在读, 主要从事植物营养与作物施肥技术研究。E-mail: hs0059@126.com。

通讯作者: 武际, E-mail: wuji338@163.com。

20 cm) 基本理化性质见表 1。肥东点水稻品种为当地推广种植的 C 两优华占, 育苗移栽, 栽插密度 22.5 万穴/hm², 前茬为小麦; 太和点小麦品种为当地主栽的周麦 27, 播量 195 kg/hm², 前茬为玉米。

表 1 供试土壤基本理化性质

试验点	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
肥东	17.19	0.90	8.30	127.03	7.21
太和	16.30	1.05	5.85	161.54	8.25

1.2 试验设计

试验采用裂区设计, 氮肥用量为主区, 氮肥运筹为副区。氮肥用量设低、中、高 3 个水平, 其中中水平为当地推荐氮肥用量; 氮肥运筹设氮肥一次性基施、习惯基追比和后氮前移 3 个比例, 另设不施氮肥处理作对照, 共计 10 个处理, 各处理前茬作物秸秆均全量还田。

肥东点 2015、2016 和 2017 连续 3 年水稻季各处理氮肥运筹见表 2, 各处理磷、钾肥全部基施, 用量为 P₂O₅ 75 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm², 小区面积 40 m², 3 次重复, 随机区组排列。太和点 2014、2015 和 2016 连续 3 年小麦季各处理氮肥运筹见表 3, 各处理磷、钾肥全部基施, 用量为 P₂O₅ 90 kg/hm²、K₂O 120 kg/hm², 小区面积 30 m², 3 次重复, 随机

表 2 水稻季各处理氮肥运筹方式 (kg/hm²)

施氮量	基追用量 (基肥: 分蘖肥: 穗肥)		
	M _{10/0/0}	M _{5/3/2}	M _{7/2/1}
N ₀	—	—	—
N ₁₆₅	165:0:0	82.5:49.5:33	115.5:33:16.5
N ₂₁₀	210:0:0	105:63:42	147:42:21
N ₂₅₅	255:0:0	127.5:76.5:51	178.5:51:25.5

表 3 小麦季各处理氮肥运筹方式 (kg/hm²)

施氮量	基追用量 (基肥: 拔节肥)		
	M _{10/0}	M _{6/4}	M _{8/2}
N ₀	—	—	—
N ₁₉₅	195:0	117:78	156:39
N ₂₄₀	240:0	144:96	192:48
N ₂₈₅	285:0	171:114	228:57

区组排列。其它管理措施在水稻和小麦生育期内保持一致。供试肥料分别为尿素 (N 46%), 过磷酸钙 (P₂O₅ 12%), 氯化钾 (K₂O 60%)。

1.3 测定项目及方法

在 2015 年水稻基肥施用前和 2014 年小麦基肥施用前, 采集 0 ~ 20 cm 土层土样, 采用常规方法测定基本理化性质^[19]。

在作物成熟期, 按小区实收水稻和小麦籽粒计重。

根据参考文献 [20-21] 计算如下参数:

氮肥农学利用率 (N kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 氮肥用量;

氮肥偏生产力 (N kg/kg) = 施氮区产量 / 氮肥用量。

1.4 数据分析

用 Excel 2010 进行数据分析和图表处理, 用 SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田条件下氮肥运筹对水稻产量的影响

不同施氮处理的水稻产量存在明显差异 (表 4)。不施氮处理 (N₀) 连续 3 年的产量均处于最低水平, 显著低于施氮各处理; 与 N₀ 相比, 施氮各处理 3 年平均增产率在 35.1% ~ 53.5%。各施氮处理中, N₂₅₅ M_{7/2/1} 处理, 即施氮量 255 kg/hm²、氮肥运筹为 7:2:1 时在第 1 年和第 3 年产量最高, N₂₁₀ M_{7/2/1} 处理产量次之, 二者 3 年平均产量无显著差异; N₂₁₀ M_{5/3/2} 和 N₂₅₅ M_{5/3/2} 处理 3 年平均产量也处于较高水平, N₁₆₅ M_{10/0/0} 处理产量最低。与 N₁₆₅ M_{10/0/0} 处理相比, 各施氮处理产量均有不同程度提升, 说明在低氮条件下, 氮肥一次性基施时水稻产量较低。相同氮肥施用量下, 分次施氮的水稻产量无论是在低氮 (N₁₆₅)、中氮 (N₂₁₀) 还是高氮 (N₂₅₅) 条件下均高于一次性基施; 其中均以 7:2:1 的氮肥运筹产量较高, 5:3:2 次之, 但二者间连续 3 年产量差异均不显著。

与推荐氮肥用量和习惯运筹方式处理 (N₂₁₀ M_{5/3/2}) 相比, 低氮 (N₁₆₅) 各处理均显著降低了水稻产量, 降幅在 6.51% ~ 10.25%; N₂₁₀ M_{10/0/0} 处理也明显降低了水稻产量, 3 年平均降幅为 5.68%; 而单纯增加氮肥用量处理 (N₂₅₅ M_{5/3/2}) 并没有增加水稻产量; N₂₅₅ M_{7/2/1} 和 N₂₁₀ M_{7/2/1} 处理 3 年平均增产率分别为 1.98% 和 1.80%, 产量略有增加。

表 4 不同施氮处理对水稻产量的影响

处理	2015 年产量 (kg/hm ²)	2016 年产量 (kg/hm ²)	2017 年产量 (kg/hm ²)	3 年平均 (kg/hm ²)	增产率 (%)
N ₀	6 680 ± 222 d	6 550 ± 296 d	6 475 ± 275 d	6 568 ± 234 d	—
N ₁₆₅ M _{10/0/0}	9 138 ± 385 c	8 775 ± 329 c	8 700 ± 577 c	8 871 ± 297 c	35.1e
N ₁₆₅ M _{5/3/2}	9 432 ± 301 bc	9 013 ± 73 bc	9 075 ± 585 c	9 173 ± 289 bc	39.7d
N ₁₆₅ M _{7/2/1}	9 310 ± 215 c	9 065 ± 5 bc	9 356 ± 481 bc	9 244 ± 139 bc	40.7d
N ₂₁₀ M _{10/0/0}	9 605 ± 461 abc	9 048 ± 328 bc	9 325 ± 189 bc	9 326 ± 212 b	42.0cd
N ₂₁₀ M _{5/3/2}	9 933 ± 83 ab	9 338 ± 258 ab	10 392 ± 210 a	9 888 ± 16 a	50.5ab
N ₂₁₀ M _{7/2/1}	9 983 ± 297 ab	9 632 ± 285 a	10 583 ± 506 a	10 066 ± 85 a	53.2a
N ₂₅₅ M _{10/0/0}	9 415 ± 265 bc	9 000 ± 220 bc	9 933 ± 501 ab	9 449 ± 283 b	43.9c
N ₂₅₅ M _{5/3/2}	9 912 ± 437 ab	9 245 ± 350 abc	10 400 ± 284 a	9 852 ± 299 a	50.0b
N ₂₅₅ M _{7/2/1}	10 133 ± 108 a	9 427 ± 367 ab	10 692 ± 431 a	10 084 ± 69 a	53.5a

注：同列数字后小写字母不同表示差异达 0.05 显著水平。下同。

2.2 秸秆还田条件下氮肥运筹对小麦产量的影响

与不施氮 (N₀) 处理相比, 施氮各处理显著提高了小麦产量, 3 年平均增幅在 55.8% ~ 80.6% (表 5)。各施氮处理中, 2015 年小麦产量以 N₂₈₅ M_{6/4} 最高, N₂₄₀ M_{8/2} 和 N₂₈₅ M_{8/2} 次之; 2016 年和 2017 年以 N₂₈₅ M_{8/2} 最高, N₂₈₅ M_{6/4} 和 N₂₄₀ M_{8/2} 次之; N₁₉₅ M_{10/0} 连续 3 年产量均处于最低水平。综合 3 季产量, 以 N₂₈₅ M_{8/2} 处理, 即施氮量 285 kg/hm²、氮肥运筹为 8:2 时产量最高, N₂₈₅ M_{6/4} 和 N₂₄₀ M_{8/2} 处

理产量次之, N₁₉₅ M_{8/2} 和 N₂₄₀ M_{6/4} 处理产量也处于较高水平。在低氮肥用量 (N₁₉₅) 时, 8:2 的氮肥运筹产量最高, 显著高于 6:4 和 10:0 氮肥运筹处理; 在中氮肥用量 (N₂₄₀) 时, 8:2 的氮肥运筹产量最高, 6:4 的氮肥运筹产量也处于较高水平, 二者均显著高于氮肥一次性基施处理; 在高氮肥用量 (N₂₈₅) 时, 8:2 和 6:4 的氮肥运筹产量接近, 显著高于氮肥一次性基施处理。

表 5 不同施氮处理对小麦产量的影响

处理	2015 年产量 (kg/hm ²)	2016 年产量 (kg/hm ²)	2017 年产量 (kg/hm ²)	3 年平均 (kg/hm ²)	增产率 (%)
N ₀	5 103 ± 246 c	4 392 ± 23 d	2 984 ± 97 g	4 159 ± 111 d	—
N ₁₉₅ M _{10/0}	6 847 ± 308 b	6 344 ± 287 c	6 250 ± 245 f	6 480 ± 126 c	55.8e
N ₁₉₅ M _{6/4}	7 110 ± 81 ab	6 936 ± 131 abc	6 616 ± 66 ef	6 888 ± 157 b	65.6c
N ₁₉₅ M _{8/2}	7 315 ± 233 ab	7 234 ± 257 a	7 132 ± 207 bcd	7 227 ± 94 a	73.8b
N ₂₄₀ M _{10/0}	7 113 ± 257 ab	6 351 ± 302 c	6 714 ± 314 de	6 726 ± 180 bc	61.7d
N ₂₄₀ M _{6/4}	7 339 ± 198 ab	7 081 ± 299 ab	7 172 ± 348 bc	7 198 ± 172 a	73.0b
N ₂₄₀ M _{8/2}	7 412 ± 137 a	7 422 ± 189 a	7 555 ± 150 ab	7 463 ± 37 a	79.4a
N ₂₈₅ M _{10/0}	6 864 ± 338 b	6 551 ± 239 bc	6 936 ± 256 cde	6 784 ± 215 bc	63.1cd
N ₂₈₅ M _{6/4}	7 465 ± 227 a	7 425 ± 134 a	7 632 ± 347 a	7 507 ± 130 a	80.5a
N ₂₈₅ M _{8/2}	7 402 ± 191 a	7 485 ± 268 a	7 647 ± 253 a	7 511 ± 63 a	80.6a

与推荐氮肥用量和习惯运筹方式处理 (N₂₄₀ M_{6/4}) 相比, 低氮 (N₁₉₅) 处理中 N₁₉₅ M_{10/0} 和 N₁₉₅ M_{6/4} 显著降低了小麦产量, 降幅分别为 9.96% 和 4.31%, N₁₉₅ M_{8/2} 没有降低小麦产量; N₂₄₀ M_{10/0} 和 N₂₈₅ M_{10/0} 处

理明显降低了小麦产量, 3 年平均降幅为 6.55% 和 5.75%; N₂₈₅ M_{8/2}、N₂₈₅ M_{6/4} 和 N₂₄₀ M_{8/2} 处理的产量均有一定程度增加, 增幅分别为 4.36%、4.31% 和 3.69%。

2.3 不同处理氮肥利用效率比较

不同施氮量和氮肥运筹处理下水稻和小麦的氮肥农学利用率和偏生产力结果见表6和表7。

水稻上, 农学利用效率以 $N_{210} M_{7/2/1}$ 处理, 即施氮量 210 kg/hm^2 、氮肥运筹为 7:2:1 时最高, 达到了 16.7 kg/kg , $N_{165} M_{7/2/1}$ 处理次之; 而高氮 (N_{255}) 条件下各处理农学利用效率整体较低。氮肥偏生产力整体上随着氮肥用量的增加而降低; 在同一氮肥用量下, 氮肥一次性基施的偏生产力最低, 7:2:1

和 5:3:2 的氮肥运筹偏生产力较高。小麦中, 氮肥农学利用效率和偏生产力均以 $N_{195} M_{8/2}$ 处理最高, 且显著高于其他处理。各处理农学利用效率和偏生产力随着氮肥用量的增加逐渐下降。在中氮 (N_{240}) 和高氮 (N_{285}) 条件下, 以 $N_{240} M_{8/2}$ 处理的农学利用效率和偏生产力最高, 分别为 13.8 和 31.1 kg/kg , $N_{240} M_{6/4}$ 次之。高氮各处理氮肥利用效率均较低, 其中以 $N_{285} M_{10/0}$ 处理最低, 显著低于其他各处理。

表6 不同施氮处理对水稻氮肥利用效率的影响

施氮量	农学利用率 (kg/kg)			偏生产力 (kg/kg)		
	$M_{10/0/0}$	$M_{5/3/2}$	$M_{7/2/1}$	$M_{10/0/0}$	$M_{5/3/2}$	$M_{7/2/1}$
N_{165}	$14.0 \pm 0.3 \text{ b}$	$15.8 \pm 1.1 \text{ a}$	$16.2 \pm 0.3 \text{ a}$	$53.8 \pm 1.8 \text{ b}$	$55.6 \pm 1.8 \text{ ab}$	$56.0 \pm 0.8 \text{ a}$
N_{210}	$13.1 \pm 0.7 \text{ b}$	$15.8 \pm 0.5 \text{ a}$	$16.7 \pm 0.8 \text{ a}$	$44.4 \pm 1.0 \text{ d}$	$47.1 \pm 0.1 \text{ c}$	$48.0 \pm 0.4 \text{ c}$
N_{255}	$11.3 \pm 0.7 \text{ c}$	$12.9 \pm 0.6 \text{ b}$	$13.8 \pm 0.7 \text{ b}$	$37.1 \pm 1.1 \text{ f}$	$38.6 \pm 1.2 \text{ ef}$	$39.5 \pm 0.3 \text{ e}$

注: 同一指标数字后字母不同表示该指标各处理间差异达 0.05 显著水平。下同。

表7 不同施氮处理对小麦氮肥利用效率的影响

施氮量	农学利用率 (kg/kg)			偏生产力 (kg/kg)		
	$M_{10/0}$	$M_{6/4}$	$M_{8/2}$	$M_{10/0}$	$M_{6/4}$	$M_{8/2}$
N_{195}	$11.9 \pm 0.3 \text{ cd}$	$14.0 \pm 0.4 \text{ b}$	$15.7 \pm 0.3 \text{ a}$	$33.2 \pm 0.7 \text{ c}$	$35.3 \pm 0.5 \text{ b}$	$37.1 \pm 0.8 \text{ a}$
N_{240}	$10.7 \pm 0.7 \text{ d}$	$12.7 \pm 0.7 \text{ bc}$	$13.8 \pm 0.3 \text{ b}$	$28.0 \pm 0.8 \text{ e}$	$30.0 \pm 0.7 \text{ d}$	$31.1 \pm 0.2 \text{ d}$
N_{285}	$9.2 \pm 0.5 \text{ e}$	$11.8 \pm 0.1 \text{ cd}$	$11.8 \pm 0.6 \text{ cd}$	$23.8 \pm 0.8 \text{ g}$	$26.3 \pm 0.5 \text{ f}$	$26.7 \pm 0.2 \text{ f}$

3 讨论

前人在秸秆不还田条件下的大量研究表明^[22-25], 无论是在水稻还是在小麦上, 在氮肥运筹中适当减少基肥比例, 进行氮肥的前氮后移, 可更好地协调作物整个生育期对氮素的需求, 提高氮素利用效率。而在秸秆还田条件下, 随着微生物对秸秆的分解, 秸秆中逐渐释放的养分也可作为作物吸收利用^[9, 26-27]。本研究发现, 与推荐施氮量下的习惯运筹相比, 连续3年单纯增施氮肥不会显著提高水稻或小麦的产量, 但减施氮肥则会显著降低水稻或小麦产量。说明当前习惯运筹和施肥方式条件下, 水稻和小麦的推荐施肥量均较合理。而推荐施氮量下氮肥前移在水稻和小麦上均获得较高产量, 且农学利用率和偏生产力在中氮和高氮各处理中也处于最高水平。这也表明, 在秸秆还田条件下, 传统的氮肥运筹比例可进一步优化; 与前氮后移相比, 后氮前移能更好地协调秸秆前期分解时土壤微生物与作物争氮的矛盾, 减少秸秆前期腐解对作物苗期生长发育产生的

不利影响, 进而获得较高产量。综合来看, 秸秆还田条件下, 在水稻和小麦上均可在不增加氮肥用量的基础上通过优化氮肥运筹达到作物高产和氮肥利用效率提高的目的。

在小麦上连续3年研究结果表明, 与推荐施氮量下的习惯运筹处理 ($N_{240} M_{6/4}$) 相比, 减施氮肥后氮前移处理 ($N_{195} M_{8/2}$) 的产量没有下降, 氮肥利用效率还有显著提升。说明秸秆还田条件下, 通过氮肥的合理运筹可以在当前推荐施氮量的基础上, 进一步降低小麦季的氮肥用量, 达到减肥增效的目的。本研究同时发现, 普通尿素作氮肥一次性基施时, 在推荐施氮量的基础上继续增施氮肥不会显著提高水稻或小麦产量, 其中水稻产量3年平均只增加了1.3%, 小麦增加了0.8%, 而氮肥利用效率却显著下降。这可能是由于普通尿素易溶于水, 一次性过量施用会造成氮素在作物生育前期通过 NH_3 挥发、 N_2O 排放、氮淋溶和径流等途径大量损失^[4]。这也说明, 一次性施肥条件下, 想单纯通过增加氮肥用量的方式来弥补一次性施肥造成的产量下降是

不可行的, 增施的氮肥还会造成一系列环境问题, 缓控释肥是冬小麦施肥轻简化的方向^[28-30]。

4 结论

综合考虑作物产量和氮肥利用效率, 本研究条件下, 水稻的最优氮肥用量和运筹方式组合是推荐施氮量下氮肥前移处理, 即氮肥用量为 210 kg/hm²、氮肥运筹为 7:2:1; 小麦的最优氮肥用量和运筹方式组合也是推荐施氮量下氮肥前移处理, 即氮肥用量为 240 kg/hm²、氮肥运筹为 8:2。

连续 3 年试验结果表明, 同一氮肥用量条件下, 氮肥一次性施用会明显降低作物产量和氮肥利用效率。秸秆还田后增施氮肥并不会显著提高水稻或小麦产量, 还会使氮肥利用效率明显下降。

参考文献:

- [1] 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): 23-55.
- [2] 武际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 水旱轮作制下连续秸秆覆盖对土壤理化性质和作物产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (3): 587-594.
- [3] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (4): 783-795.
- [4] 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.
- [5] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展 [J]. 中国农业科学, 2008, 41 (2): 450-459.
- [6] Onema O, Roset J C W. Nitrogen and phosphorus losses from agriculture into surface water: the effects of policies and measurements in the Netherlands [J]. Water Science and Technology, 1998, 37: 19-30.
- [7] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料的问题 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (2): 259-273.
- [8] 陈海飞, 冯洋, 徐芳森, 等. 秸秆还田条件下氮肥管理对低产田水稻产量和氮素吸收利用影响的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20 (3): 517-524.
- [9] 党建友, 裴雪霞, 张定一, 等. 秸秆还田下施氮模式对冬小麦生长发育及肥料利用率的影响 [J]. 麦类作物学报, 2014, 34 (11): 1552-1558.
- [10] 武际, 郭熙盛, 王允青, 等. 不同水稻栽培模式和秸秆还田方式下的油菜、小麦秸秆腐解特征 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (16): 3351-3360.
- [11] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [12] 刘晓永, 李书田. 中国秸秆养分资源及还田的时空分布特征 [J]. 农业工程学报, 2017, 33 (21): 1-19.
- [13] 吴文革, 张四海, 赵决建, 等. 氮肥运筹模式对双季稻北缘水稻氮素吸收利用及产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (5): 757-764.
- [14] 严奉君, 孙永健, 马均, 等. 不同土壤肥力条件下麦秆还田与氮肥运筹对杂交稻氮素利用、产量及米质的影响 [J]. 中国水稻科学, 2015, 29 (1): 56-64.
- [15] 周海燕, 吴德敏, 李彦, 等. 秸秆还田条件下不同氮肥运筹对冬小麦产量、农艺性状及氮素利用效率的影响 [J]. 山东农业科学, 2011, (5): 55-59.
- [16] 李录久, 王家嘉, 吴萍萍, 等. 秸秆还田下氮肥运筹对白土田水稻产量和氮吸收利用的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22 (1): 254-262.
- [17] 闫素辉, 戴忠民, 时侠清, 等. 氮肥运筹对小麦籽粒 GMP 含量及大颗粒比例的影响 [J]. 麦类作物学报, 2015, 35 (10): 1433-1437.
- [18] 张维乐, 戴志刚, 任涛, 等. 不同水旱轮作体系秸秆还田与氮肥运筹对作物产量及养分吸收利用的影响 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (7): 1254-1266.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第 3 版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 25-144.
- [20] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径 [J]. 土壤学报, 2008, 45 (5): 915-924.
- [21] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (9): 1095-1103.
- [22] 范明生, 樊红柱, 吕世华, 等. 西南地区水旱轮作系统养分管理存在问题分析与管理策略建议 [J]. 西南农业学报, 2008, 21 (6): 1564-1568.
- [23] 潘圣刚, 翟晶, 曹湊贵, 等. 氮肥运筹对水稻养分吸收特性及稻米品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (3): 522-527.
- [24] 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.
- [25] 魏建林, 崔荣宗, 杨果, 等. 不同氮肥运筹对小麦产量及氮肥利用率的影响 [J]. 山东农业科学, 2010, (9): 53-55, 59.
- [26] 李勇, 曹红娣, 储亚云, 等. 麦秆还田氮肥运筹对水稻产量及土壤氮素供应的影响 [J]. 土壤, 2010, 42 (4): 569-573.
- [27] 赵士诚, 魏美艳, 仇少君, 等. 氮肥管理对秸秆还田下土壤氮素供应和冬小麦生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (2): 20-25.
- [28] 谭德水, 江丽华, 房灵涛, 等. 控释氮肥一次施用对小麦群体调控及养分利用的影响 [J]. 麦类作物学报, 2016, 36 (11): 1523-1531.
- [29] 夏伟光, 武际, 高凤梅, 等. 控释尿素不同施用条件下冬小麦产量和氮素利用效率 [J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31 (1): 38-44.
- [30] 卢艳丽, 白由路, 王磊, 等. 华北小麦-玉米轮作区缓控释肥应用效果分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17 (1): 209-215.

Effects of nitrogen fertilization managements on crops yield and nitrogen nutrient use efficiency under straw returning

HAN Shang^{1, 2}, WU Ji^{1*}, LI Min¹, TANG Shan¹, WANG Hui¹, CHENG Wen-long¹, SHI Zu-liang³, SANG Ya-song⁴

(1. Soil and Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources & Environment, Hefei Anhui 230031; 2. College of Resource and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei Anhui 230036; 3. Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125; 4. Agricultural Technology Extension Center of Feidong County, Hefei Anhui 231600)

Abstract: In order to provide a scientific basis for rational application of nitrogen fertilizer after straw returning, the suitable combination of nitrogen fertilizer application and management in rice of paddy-upland rotation field and wheat of dry farming region under the condition of straw directly returning to field was studied. Two field experiments were conducted to compare the effects of different nitrogen treatments on crop yield and nitrogen use efficiency in Feidong and Taihe county in Anhui province during 2014 ~ 2017. The results showed that compared with the local recommended nitrogen fertilizer dosage and the conventional operation method, the crop yield did not increase significantly when increasing nitrogen fertilizer on rice and wheat, but the decrease of nitrogen fertilizer application significantly decreased the rice yield by 6.51% ~ 10.25%, and the wheat yield did not decrease when the reduced nitrogen fertilizer was applied earlier. When the recommended nitrogen fertilizer application rate was applied on rice and wheat, the nitrogen fertilizer topdressing earlier treatments ($N_{210} M_{7/2/1}$, and $N_{240} M_{8/2}$) obtained higher yield, which was 10 066 and 7 583 kg/hm², respectively, and there was no significant difference compared with the highest yield treatment. The agronomic utilization rate and partial productivity of nitrogen fertilizer decreased with the increase of the amount of nitrogen fertilizer. The nitrogen use efficiency among the treatments showed that nitrogen fertilizer topdressing earlier > farmer practice for nitrogen fertilizer application > one-time base application of nitrogen fertilizer under the same amount of nitrogen fertilizer. Under the condition of recommended nitrogen fertilizer and high nitrogen, the agronomical utilization rate and partial productivity of nitrogen fertilizer topdressing earlier treatment were the highest, and the nitrogen use efficiency of high nitrogen treatment was lower. Under straw-return conditions, the yield of the rice or wheat did not increase obviously by increasing amount of nitrogen fertilizer. And the high yield and the utilization efficiency of the nitrogen fertilizer for both rice and wheat were obtained under the recommending nitrogen application level of the nitrogen fertilizer topdressing earlier treatment, which was the best operation method of recommended nitrogen fertilizer application and management at present.

Key words: straw returning; nitrogen fertilizer application; advancing nitrogen fertilizer; nitrogen nutrient use efficiency