

# 不同施肥措施对沿淮区麦-玉周年产量及氮素利用的影响<sup>①</sup>

郑学博<sup>1,2</sup>, 周静<sup>1\*</sup>, 崔键<sup>1</sup>, 马超<sup>1,3</sup>, 房春兴<sup>4</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 4 安徽省新马桥原种场, 安徽蚌埠 233704)

**摘要:** 沿淮砂姜黑土区, 设置 5 种施肥措施 (常规施肥、推荐施肥、推荐施肥 + 秸秆粉碎全量还田, 推荐施肥 + 控失肥, 推荐施肥 + 粉煤灰), 探讨其对麦-玉轮作周年产量及氮素吸收与利用的影响。结果表明, 麦-玉轮作周年产量以推荐施肥 + 秸秆粉碎全量还田处理最高 (12 921 kg/hm<sup>2</sup>), 推荐施肥 + 粉煤灰处理次之 (12 365 kg/hm<sup>2</sup>), 较常规施肥处理分别增产 12.5%、7.7%。冬小麦季: 籽粒产量、氮素累积量 (NAA)、氮肥利用率 (NUE)、氮素吸收效率 (NUPE) 均以推荐施肥 + 粉煤灰处理较高, 分别为 6 134 kg/hm<sup>2</sup>、180.0 kg/hm<sup>2</sup>、42.1%、0.80 kg/kg; 夏玉米季: 籽粒产量、NAA、NUE、NUPE 则以推荐施肥 + 秸秆粉碎全量还田处理较高, 分别为 6 971 kg/hm<sup>2</sup>、176.5 kg/hm<sup>2</sup>、38.3%、0.65 kg/kg。本试验条件下, 推荐施肥 + 粉煤灰处理对提高沿淮砂姜黑土区麦-玉轮作周年产量、麦-玉氮肥利用率及氮素吸收效率较好, 而长期而言, 推荐施肥 + 秸秆粉碎全量还田处理更适。

**关键词:** 施肥措施; 沿淮地区; 麦-玉轮作; 周年产量; 氮素利用

**中图分类号:** S158.3

沿淮地区是安徽省乃至全国重要的商品粮生产基地, 然而仍有 60% 的农田为中低产田, 其主要土壤类型为砂姜黑土<sup>[1]</sup>, 研究适合该区的施肥措施, 对提高中低产田区的粮食生产具有重要意义。砂姜黑土“旱、涝、瘦、僵”的不良属性不利于麦-玉播种, 阻碍了其前期根系发育及后期地上部分生长, 导致麦-玉产量低而不稳, 土地生产率<sup>[2]</sup>。当前, 沿淮砂姜黑土区粮食的生产能力仍较低, 2003 年粮食单产 2 102 kg/hm<sup>2</sup>, 仅为全国水平的 50%<sup>[3]</sup>。造成区域作物低产的另一重要原因是养分资源利用效率低<sup>[4]</sup>。当前, 沿淮区仍以传统高消费、低产出的农业技术为主, 肥料结构不合理、重化肥而轻有机肥<sup>[5]</sup>; 秸秆利用率约 45%, 剩余秸秆处理方式多丢弃田间和露天焚烧, 既浪费资源、污染环境, 又不利于下季作物的萌发和幼苗生长<sup>[6]</sup>; 另据研究, 秸秆连续全量还田能显著增强夏玉米的抗倒伏能力, 提高土壤肥力和籽粒产量<sup>[1,7]</sup>。此外, 粉煤灰在改良砂姜黑土生态因子的同时, 促进了麦-玉发育, 增加籽粒产量<sup>[8-10]</sup>。本研究在沿淮砂姜黑土区通过秸秆粉碎全量还田、控失肥及粉煤灰等不同施肥措施种植冬小麦和夏玉米, 较详细地探讨了其对麦-玉周年

产量及氮素吸收与利用的影响, 旨在为沿淮砂姜黑土区农业稳产和高产提供合理的施肥措施。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验地设在安徽省新马桥原种场 (117°21'E, 33°9'N), 田块平整、肥力均等, 试验区总面积 1 220 m<sup>2</sup>, 试验小区面积 60 m<sup>2</sup>, 小区埂宽 20 cm, 小区间设立 20 cm 保护行。新马桥原种场地处淮北平原南部, 属暖温带半湿润季风气候, 年平均气温 15.9℃, 年降雨量 610 ~ 1 500 mm, 无霜期在 220 天左右。耕作制度为冬小麦-夏玉米轮作。

### 1.2 供试材料

供试土壤为砂姜黑土, 其表层 (0 ~ 20 cm) 基本理化性质: pH 值 7.18, 有机质 13.98 g/kg, 全氮 0.85 g/kg, 碱解氮 82.0 mg/kg, 速效磷 41.1 mg/kg, 速效钾 118.3 mg/kg。

供试肥料: 尿素为安徽三星化工有限公司生产, 含 N 46%; 磷酸二铵为安徽六国化工股份有限公司生产, 含 N 17%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44%; 氯化钾为加拿大生产, 含

①基金项目: 国家科技支撑计划课题项目 (2009BADA6B04) 资助。

\* 通讯作者 (zhoujing@issas.ac.cn)

作者简介: 郑学博 (1985—), 男, 山东寿光人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤生态。E-mail: xbzheng@issas.ac.cn

K<sub>2</sub>O 60%; 控失肥由河南心连心化肥有限公司生产, N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 为 23:17:5; 粉煤灰由当地电厂提供。

供试品种: 小麦为皖麦 52, 条播, 播量 187.5 kg/hm<sup>2</sup>, 行距 23 cm, 于 2009 年 10 月 22 日机播, 2010 年 6 月 20 日收获; 玉米为宏大 8 号, 条播, 种植密度 4 500 株/亩, 株距 24.7 cm, 行距 60 cm, 于 2010 年 6 月 24 日人工点播, 2010 年 10 月 14 日收获。

### 1.3 试验设计

试验设 6 个处理, 每个处理 3 次重复, 随机排列到各试验小区。6 个处理为: ①对照 (CK): 麦-玉轮作周年内均不施肥; ②常规施肥 (CG): 冬小麦季和夏玉米季 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O 分别为 202-165-90 和 310-0-0 kg/hm<sup>2</sup>, 冬小麦季做基肥撒施随翻耕一次性施入, 夏玉米季氮肥按照基肥:大喇叭口肥 = 5:5 分配施入; ③推荐施肥 (当地测土配方施肥, TJ): 小麦季 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 225-90-90 kg/hm<sup>2</sup>, 氮肥按照基肥:返青肥:拔节肥 = 6:2:2 分配施入; 玉米季 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 270-60-90 kg/hm<sup>2</sup>, 氮肥按照基肥:大喇叭口肥 = 5:5 分配施入, 其中基肥撒施随翻耕施入, 追肥按生长期撒施, 磷肥、钾肥做基肥撒施随翻耕一次性施入; ④推荐施肥 + 秸秆粉碎全量还田 (JTJ): 在 TJ 处理基础上, 将玉米/小麦秸秆地上部分粉碎后 (长度 3 ~ 7 cm) 全量覆盖于地面, 随耕地翻埋于地下 (深度 0 ~ 20 cm), 玉米和小麦秸秆还田量分别为 11 250 和 7 500 kg/hm<sup>2</sup>; ⑤推荐施肥 + 控失肥 (KTJ): 控失肥以等 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 量为标准, 不足的 N 和 K<sub>2</sub>O 采用常规化肥补足; ⑥推荐施肥 + 粉煤灰 (FTJ): 在 TJ 处理基础上, 粉煤灰按照耕层土壤 (0 ~ 20 cm) 质量的 5% 施用, 仅小麦季施用, 施用量为 112 500 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.4 测产、样品采集与分析

测产与样品采集: 成熟期取长势均匀的小麦 20

m<sup>2</sup>/小区, 玉米 40 株/小区收获后脱粒烘干计产, 再从小区中取代表性的植株 5 ~ 10 株考种, 于烘箱 105℃ 杀青, 75℃ 烘干, 按秸秆和籽粒分别粉碎过筛 (0.25 mm) 后制成样品供分析测试。

样品化学分析: 上述制备的小麦、玉米样品分别用浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮, 凯氏定氮法测定秸秆和籽粒全氮的质量分数。本试验所考察的作物氮素吸收、累积及利用效率均仅考虑植株地上部分, 未包含地下部分在内。

### 1.5 数据处理与计算方法

氮肥利用率是指施入的氮肥被当季作物吸收利用的百分率, 采用差值法计算, 公式为:

氮肥利用率 (NUE, %) = (施氮区植株地上部吸氮量 - 对照区植株地上部吸氮量) / 当季施氮量 × 100;

氮素吸收效率 (NUPE, kg/kg) = 植株地上部氮素累积量 / 当季施氮量;

氮生理效率 (NPE, kg/kg) = 生物量 / 植株地上部氮素累积量;

氮收获指数 (NHI, %) = 籽粒中氮量 / 植株地上部氮素累积量 × 100;

氮肥利用效率 (NFE, kg/kg) = 经济产量 / 当季施氮量;

各处理间产量及养分利用的差异性, 用 SPSS13.0 软件中的 ANOVA 模块分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对小麦-玉米周年产量及其构成因子的影响

本试验在 2009 年 10 月—2010 年 10 月周年间, 采用 6 种不同施肥措施种植冬小麦和夏玉米, 其产量及其构成因子分别见表 1 和表 2。

表 1 不同施肥处理对冬小麦-夏玉米周年产量的影响

Table 1 Effects of different fertilizer treatments on anniversary yields of winter wheat-summer maize

处理	冬小麦			夏玉米			周年		
	产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产 (%)		产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产 (%)		产量 (kg/hm <sup>2</sup> )	增产 (%)	
		较 CK	较 CG		较 CK	较 CG		较 CK	较 CG
CK	3 740 ± 209 b	-	-	3 083 ± 999 c	-	-	6 823 ± 1 143 c	-	-
CG	6 035 ± 196 a	61.4	-	5 448 ± 625 b	76.7	-	11 483 ± 431 b	68.3	-
TJ	6 148 ± 234 a	64.4	1.9	6 030 ± 1 271 ab	95.6	10.7	12 178 ± 1 078 ab	78.5	6.1
JTJ	5 950 ± 347 a	59.1	-1.4	6 971 ± 1 134 a	126.1	28.0	12 921 ± 864 a	89.4	12.5
KTJ	6 103 ± 260 a	63.2	1.1	6 062 ± 234 ab	96.6	11.3	12 165 ± 27 ab	78.3	5.9
FTJ	6 134 ± 537 a	64.0	1.6	6 231 ± 184 ab	102.1	14.4	12 365 ± 627 ab	81.2	7.7

注: 表中同一列数据后字母不同表示处理间差异达到  $P < 0.05$  显著水平 (LSR 法检验), 下同。

表 2 不同施肥处理对沿淮区冬小麦-夏玉米产量构成因子的影响

Table 2 Effects of different fertilizer treatments on yield components of winter wheat-summer maize

处理	冬小麦			夏玉米		
	有效穗 ( $10^5/\text{hm}^2$ )	穗粒数 (个)	千粒重 (g)	穗行数 (行)	行粒数 (个)	百粒重 (g)
CK	51.9 ± 1.4 e	30.1 ± 1.1 c	43.43 ± 1.83 a	13.0 ± 0.0 b	29.0 ± 4.4 b	24.8 ± 1.4 ab
CG	60.0 ± 1.1 d	34.1 ± 0.6 a	44.08 ± 0.38 a	14.3 ± 0.6 a	36.7 ± 0.6 a	23.5 ± 2.4 b
TJ	60.7 ± 1.3 cd	33.7 ± 1.1 a	45.93 ± 1.33 a	14.7 ± 0.6 a	35.7 ± 0.6 a	27.4 ± 3.9 ab
JTJ	66.5 ± 1.5 a	32.1 ± 0.4 b	43.50 ± 1.26 a	14.0 ± 0.0 a	37.3 ± 0.6 a	30.3 ± 3.8 a
KTJ	62.8 ± 2.0 bc	31.6 ± 0.7 b	45.78 ± 1.81 a	14.7 ± 0.6 a	35.3 ± 1.2 a	29.4 ± 2.4 ab
FTJ	63.8 ± 6.7 b	34.6 ± 0.8 a	44.63 ± 2.18 a	14.7 ± 0.6 a	35.7 ± 1.5 a	25.5 ± 4.9 ab

2.1.1 对冬小麦-夏玉米周年产量的影响 与 CG 处理相比, 各施肥处理均提高了冬小麦 (除 JTJ)、夏玉米及其周年产量, 如表 1。冬小麦季: 以 TJ 处理最高 ( $6148 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ), FTJ 处理、KTJ 处理次之, 分别比 CG 处理增产 1.9%、1.6% 和 1.1%; 而 JTJ 处理低于 CG 处理, 两者间无显著差异。夏玉米季: 以 JTJ 处理最高, FTJ 处理次之, 较 CG 处理分别增产 28.0% 和 14.4%, 且 JTJ 处理与 CG 处理间差异显著。周年产量: JTJ 处理最高 ( $12921 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ), FTJ 处理 ( $12365 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ) 次之, 分别较 CG 处理增产 12.5% 和 7.7%; TJ 和 KTJ 处理相近, 分别较 CG 处理增产 6.1% 和 5.9%; 差异分析表明, JTJ 处理与 CG 处理间差异显著, 而其余各处理间差异均不显著。可见, 短期内秸秆还田效果欠佳, 甚至引起作物 (冬小麦) 减产, 而就周年而言, 其增产效果显著; 粉煤灰处理在各季及周年的增产平稳。

2.1.2 对冬小麦-夏玉米产量构成因子的影响 由表 2 可知, 冬小麦季: 有效穗数以 JTJ 处理最高 ( $66.5 \times 10^5/\text{hm}^2$ ), KTJ 和 FTJ 处理次之, 且 JTJ 处理与其他各处理间、FTJ 处理与 TJ、CG 处理间差异均显著; 穗粒数以 FTJ 处理最高 (34.6 个), 分别比 JTJ 和 KTJ 处理提高 7.2% 和 8.7%, FTJ 和 TJ 处理分别与 JTJ 和 KTJ 处理间差异显著; 千粒重以 JTJ 处理最低, 以 TJ 最高, 分别为 43.50 g 和 45.93 g, 各处理间差异不显著。夏玉米季: 穗行数以 JTJ 最低 (14.0 行), TJ、KTJ 和 FTJ 处理基本一致且最高 (14.7 行), 而各施肥处理间差异不显著; 行粒数 JTJ 处理最多, CG 处理次之, FTJ、KTJ 和 TJ 处理相近, 各施肥处理间差异不显著; JTJ 处理百粒重最高 (30.3 g), 较 CG 处理提高 28.9%, 两者间差异显著。可见, JTJ 处理可明显增加冬小麦有效穗数, 提高夏玉米行粒数和百粒重, 而 FTJ 处理则可显著增加冬小麦穗粒数, 进而导致 JTJ 和 FTJ

处理小麦-玉米周年增产较高。

## 2.2 不同施肥处理对冬小麦和夏玉米氮吸收的影响

2.2.1 氮素累积量(NAA)与氮肥利用率(NUE) 由表 3 可知, 各施肥处理冬小麦季、夏玉米季及其周年内作物地上部分 NAA 的变幅分别为  $145.3 \sim 180.0$ 、 $150.1 \sim 176.5$  和  $298.8 \sim 343.8 \text{ kg}/\text{hm}^2$ , 其大小顺序分别为  $\text{FTJ} > \text{KTJ} > \text{JTJ} \approx \text{TJ} > \text{CG}$ 、 $\text{JTJ} > \text{FTJ} > \text{CG} > \text{KTJ} > \text{TJ}$  和  $\text{JTJ} > \text{FTJ} > \text{KTJ} > \text{TJ} > \text{CG}$ , 其中冬小麦季 FTJ 处理较 CG 处理增加 23.8%, 两者间差异显著; 麦-玉周年内 JTJ 处理和 FTJ 处理均显著高于 CG 处理, 较 CG 处理分别提高 15.1% 和 13.6%。就 NUE 而言, 冬小麦季表现为 FTJ (42.1%) 与 KTJ (40.2%) 处理显著高于 CG 处理, 分别较 CG 处理提高 12.5% 和 10.5%, 而与其他处理间无显著差异; 夏玉米季以 JTJ 处理最高 (38.3%), 且与 CG 处理间差异显著, 而与其他处理间均无显著差异; FTJ 处理次之 (32.0%) 但与 CG 处理间差异不显著。可见, FTJ 处理明显提高了冬小麦和夏玉米植株对氮肥的吸收, 而 JTJ 处理显著提高了夏玉米植株对氮肥的吸收, 而对冬小麦植株影响不明显。可能原因在于粉煤灰加入供试土壤后改变其质地, 增大了孔隙度, 改善土壤保水、透气性, 利于氮素等营养输送和根系吸收<sup>[11]</sup>; 而秸秆中 C/N 比较高, 秸秆在腐烂过程中出现反硝化作用, 微生物吸收土壤中的速效氮素, 而把农作物需要的速效氮素抢走<sup>[12]</sup>, 造成秸秆还田的首季作物 (冬小麦) C/N 比失调, 进而导致 JTJ 处理对冬小麦的氮肥利用率影响不明显。

2.2.2 氮素吸收效率与利用效率 本文中用氮生理效率 (NPE)、氮收获指数 (NHI) 指标来表征氮素利用效率。各施肥处理冬小麦季和夏玉米季的氮素吸收效率 (NUPE)、氮生理效率 (NPE) 和氮收获指数 (NHI) 见表 4。冬小麦季: NUPE、NPE 和 NHI 分别为  $0.72 \sim 0.80 \text{ kg}/\text{kg}$ 、 $79 \sim 105 \text{ kg}/\text{kg}$  和  $65.9\% \sim$

表3 不同施肥处理冬小麦-夏玉米氮素累积量 (NAA) 与氮肥利用率 (NUE)

Table 3 Nitrogen accumulation amounts and nitrogen use efficiency of winter wheat-summer maize

处理	NAA (kg/hm <sup>2</sup> )			NUE (%)	
	冬小麦	夏玉米	周年	冬小麦	夏玉米
CK	89.5 ± 5.9 c	73.1 ± 16.5 b	162.6 ± 13.4 c	-	-
CG	145.3 ± 7.8 b	153.5 ± 19.0 a	298.8 ± 12.2 b	29.7 ± 3.9 b	23.8 ± 5.6 b
TJ	167.3 ± 6.0 a	150.1 ± 17.3 a	317.3 ± 18.9 ab	36.4 ± 2.7 ab	28.5 ± 6.4 ab
JTJ	167.3 ± 12.3 a	176.5 ± 27.4 a	343.8 ± 30.1 a	36.4 ± 5.5 ab	38.3 ± 10.1 a
KTJ	175.8 ± 12.7 a	151.3 ± 17.1 a	327.1 ± 29.7 ab	40.2 ± 5.7 a	28.9 ± 6.3 ab
FTJ	180.0 ± 8.4 a	159.4 ± 4.4 a	339.4 ± 8.8 a	42.1 ± 3.8 a	32.0 ± 1.6 ab

表4 不同施肥处理冬小麦-夏玉米氮素吸收效率 (NUPE)、氮生理效率 (NPE) 与氮收获指数 (NHI)

Table 4 Nitrogen uptake efficiency, nitrogen physiological efficiency and nitrogen harvest indices of winter wheat-summer maize

处理	NUPE (kg/kg)		NPE (kg/kg)		NHI (%)	
	冬小麦	夏玉米	冬小麦	夏玉米	冬小麦	夏玉米
CK	-	-	139 ± 9 a	99 ± 6 a	64.8 ± 3.6 c	47.0 ± 12.0 a
CG	0.72 ± 0.04 b	0.46 ± 0.06 b	105 ± 6 b	71 ± 1 b	71.8 ± 2.2 ab	51.4 ± 6.9 a
TJ	0.74 ± 0.26 a	0.55 ± 0.07 ab	79 ± 4 d	77 ± 2 b	76.9 ± 1.1 a	53.8 ± 6.5 a
JTJ	0.74 ± 0.58 a	0.65 ± 0.11 a	96 ± 15 bc	80 ± 9 b	70.5 ± 6.6 abc	56.7 ± 0.5 a
KTJ	0.78 ± 0.57 a	0.56 ± 0.06 ab	89 ± 3 cd	78 ± 8 b	70.9 ± 3.9 abc	58.1 ± 1.5 a
FTJ	0.80 ± 0.04 a	0.59 ± 0.02 a	96 ± 10 bc	74 ± 6 b	65.9 ± 0.8 bc	57.5 ± 4.6 a

76.8%，处理间大小顺序分别为 FTJ>KTJ>JTJ≈TJ>CG、TJ<KTJ<JTJ≈FTJ<CG 和 TJ>CG>KTJ>JTJ>FTJ；夏玉米季：NUPE、NPE 和 NHI 的变幅分别为 0.46 ~ 0.65 kg/kg、71 ~ 80 kg/kg 和 51.4% ~ 58.1%，处理间大小顺序分别为 JTJ>FTJ>KTJ>TJ>CG、CG<FTJ<TJ<KTJ<JTJ 和 KTJ>FTJ>JTJ>TJ>CG。差异分析表明，无论冬小麦季还是夏玉米季，JTJ 和 FTJ 处理分别与 CG 处理间 NUPE 的差异显著而与 TJ 和 KTJ 处理间差异均不显著；冬小麦季 JTJ 和 FTJ 处理分别与 TJ 处理间 NPE 差异显著而与 TJ 和 KTJ 间无显著差异，夏玉米季各施肥处理间 NPE 差异均不显著；各施肥处理的 NHI 差异性与 NPE 的相似。可见，相对 CG、KTJ 和 TJ 处理而言，FTJ、KTJ 处理提高了夏玉米的氮素吸收效率和氮收获指数，进而提高了夏玉米植株氮素自营养器官向籽粒的分配和转运；而 FTJ 和 JTJ 处理提高了冬小麦的氮素吸收效率却降低了氮收获指数，提高了冬小麦植株对氮素的吸收。

**2.2.3 氮肥利用效率** 由图 1 可知，冬小麦季和夏玉米季各施肥处理氮肥利用效率的变幅分别为 26.45 ~ 29.88 kg/kg 和 16.14 ~ 25.82 kg/kg，表现在各处理上的大

小顺序分别为 CG>FTJ≈TJ>KTJ>JTJ 和 JTJ>FTJ>KTJ>TJ>CG。差异分析表明，冬小麦季 FTJ 和 JTJ 处理 NFE 显著低于 CG 处理，TJ、KTJ 处理与 CG、JTJ、FTJ 处理间差异均不显著；夏玉米季 TJ、JTJ、KTJ、FTJ 处理间 NFE 差异均不显著，但显著高于 CG 处理。可见 FTJ 处理氮肥被冬小麦-夏玉米高效利用，而 JTJ 处理氮肥在冬小麦季利用效率低，而被夏玉米高效利用。

### 3 讨论

富含可观数量氮营养的作物秸秆，配施化肥还田后，在增产麦玉产量的同时，改善土壤环境和培肥地力<sup>[13-15]</sup>。然而，秸秆还田量和肥料配比失调或还田方式不当时，作物和微生物争氮，腐殖化不完全，进而导致其增产效应在当季表现不明显<sup>[16-18]</sup>。本研究结果表明，小麦季秸秆还田处理较常规施肥处理减产 1.4%，这可能是秸秆还田量过多导致的。本研究冬小麦季秸秆还田量达 11 250 kg/hm<sup>2</sup>，远超过秸秆还田最适量（6 000 ~ 7 500 kg/hm<sup>2</sup><sup>[19]</sup>）；而本研究夏玉米季秸秆还田量为 7 500 kg/hm<sup>2</sup>，其增产效果显著，较常规处理增产 28.0%。

粉煤灰是我国当前排量较大的工业废渣之一，且

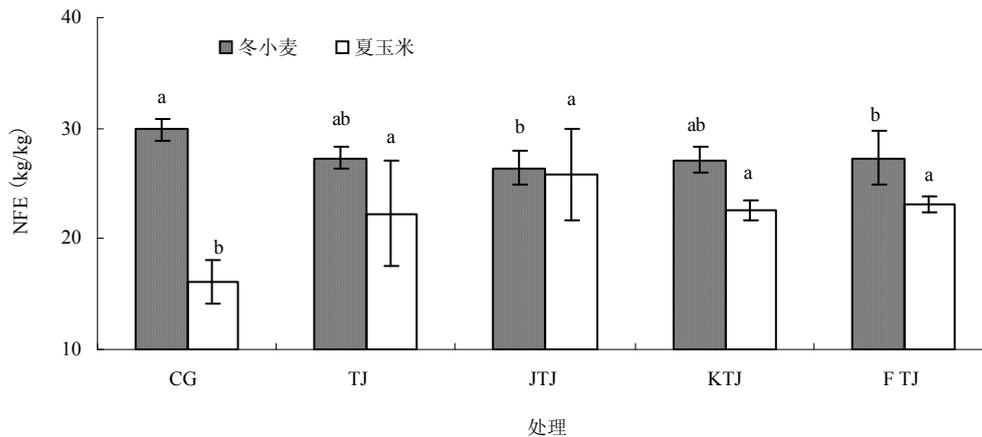


图 1 2009—2010 年冬小麦-夏玉米氮肥利用效率 (NFE)

Fig. 1 Nitrogen fertilizer efficiency of winter wheat-summer maize in 2009-2010

呈逐年增加趋势, 其综合处理利用已成为备受关注的领域<sup>[20]</sup>。在农业领域, 粉煤灰作为复合肥的添加剂, 增产砂姜黑土区小麦 14.0%~31.4%<sup>[21]</sup>; 作为土壤改良剂方面, 在改善土壤物理结构和生物特性的同时, 促进作物生长发育, 甚至产量的增加<sup>[10, 18, 22]</sup>。本研究在沿淮砂姜黑土上施用粉煤灰, 分别较常规施肥增产小麦 1.6% 和玉米 14.4%, 同时, 也促进了作物对氮素的吸收和利用。然而, 粉煤灰中含有 Cd、Cu、Pb 等有毒元素, 虽然马新明等<sup>[10]</sup>推荐了砂姜黑土上粉煤灰的安全使用量, 但在改良砂姜黑土和提高作物产量时粉煤灰和化肥最佳配比的确定仍待进一步研究。

#### 参考文献:

- 王道中, 郭熙胜, 何传龙, 刘枫. 砂姜黑土长期定位施肥对小麦生长及土壤养分含量的影响. 土壤通报, 2007, 38(1): 55-57
- 曹承富, 孔令聪, 汪芝寿, 陈爱萍, 张存岭, 陈龙潭. 砂姜黑土长期定位培肥技术研究. 土壤通报, 2003, 34(2): 102-105
- 杜群, 欧阳竹. 淮北砂姜黑土区小麦单产变化及影响因素分析. 中国生态农业学报, 2008, 16(6): 1434-1438
- 王激清, 刘全清, 马文奇, 江荣风, 张福锁. 中国养分资源利用状况及调控途径. 资源科学, 2005, 27(3): 47-53
- 王宜伦, 张许, 谭金芳, 韩燕来. 农业可持续发展中的肥料问题与对策. 中国农学通报, 2008, 24(11): 278-281
- 沈学善, 李金才, 屈会娟, 魏凤珍, 张一. 砂姜黑土区秸秆还田对玉米生育及水分利用效率的影响. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 28-33
- 沈学善, 李金才, 屈会娟, 魏凤珍, 张一, 武文明. 砂姜黑土区小麦玉米秸秆全量还田对玉米抗倒性能的影响. 中国农业科学, 2011, 44(10): 2005-2012
- 马新明, 焦有. 粉煤灰改良砂姜黑土与玉米生长关系的研究. 河南农业大学学报, 1998, 32(4): 303-307
- 丁军, 马新明, 李新平, 黄进勇, 李琳. 粉煤灰改良砂姜黑土对冬小麦田生态因子的影响. 农业环境保护, 2001, 20(4): 221-224
- 马新明, 郑谨, 董莲心, 赵巧梅, 张晓敏. 粉煤灰改良砂姜黑土对小麦生长发育的影响. 河南农业大学学报, 2001, 35(2): 103-106
- 吴家华, 刘宝山, 董云中, 刘继青, 王岗. 粉煤灰改土效应研究. 土壤学报, 1995, 32(3): 334-340
- 王敏强, 闻杰. 玉米秸秆还田技术及易出现的问题. 现代农业科技, 2008(8): 151
- 詹其厚, 袁朝良, 张效朴. 有机物料对砂姜黑土的改良效应及其机制. 土壤学报, 2003, 40(3): 420-425
- 陈芝兰, 张涪平, 蔡晓布, 何建清, 彭岳林. 秸秆还田对西藏中部退化农田土壤微生物的影响. 土壤学报, 2005, 42(4): 696-699
- Nie J, Zhou JM, Wang HY, Chen XQ, Du CW. Effect of long-term rice straw return on soil glomalin, carbon and nitrogen. Pedosphere, 2007, 17(3): 295-302
- 李少昆, 王克如, 冯聚凯, 谢瑞芝, 高世菊. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素. 作物学报, 2006, 32(3): 463-465
- 刘世平, 陈文林, 聂新涛, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 麦稻两熟地区不同埋深对还田秸秆腐解进程的影响. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1049-1053
- 王宁, 闫洪奎, 王君, 李必富, 张永坤, 曹敏建. 不同量秸秆还田对玉米生长发育及产量影响的研究. 玉米科学, 2007, 15(5): 100-103

- [19] 朱玉芹, 岳玉兰. 玉米秸秆还田培肥地力研究综述. 玉米科学, 2004, 12(3): 106-108
- [20] 邓琨. 固体废弃物综合利用技术的现状分析—对粉煤灰、煤矸石、尾矿、脱硫石膏和秸秆综合利用技术专业化的探析. 中国资源综合利用, 2011, 29(1): 33-42
- [21] 孙联合, 郭中义, 孔子明. 砂姜黑土区小麦施用粉煤灰磁化复合肥的增产效应研究. 现代农业科技, 2010(6): 284-286
- [22] 杜慧玲, 李恋卿, 潘根兴, 王建锁, 姚永平, 张俊珍. 粉煤灰结合施肥对土壤微生物和酶活性的效应. 土壤与环境, 2001, 10(1): 20-22

## Effects of Different Fertilization Treatments on Yields and Nitrogen Utilization of Winter Wheat-Summer Maize Rotation System in Region Along Huai River

ZHENG Xue-bo<sup>1,2</sup>, ZHOU Jing<sup>1</sup>, CUI Jian<sup>1</sup>, MA Chao<sup>1,3</sup>, FANG Chun-xing<sup>4</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;* 2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;* 3 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;*

4 *The Original Seed Farm of Xinmaqiao, Bengbu, Anhui 233704, China*)

**Abstract:** Field experiments were conducted to study the influence of different fertilization treatments on winter wheat-summer maize rotation system anniversary yields and nitrogen utilization along Huai River areas in 2009.10 - 2010.10. The selected treatments were conventional fertilization condition (CG), the recommend fertilization condition (TJ), straw plus the recommend fertilization condition (JTJ), the control fertilization plus the recommend fertilization condition (KTJ), coal fly ash plus the recommend fertilization condition (FTJ). The results showed that the winter wheat-summer maize rotation system anniversary yields were the highest under JTJ treatment, followed by FTJ treatment. Compared with CG treatment, the anniversary yields of the JTJ and FTJ treatments were increased by 12.5% and 7.7% respectively. N accumulation amount(NAA), N use efficiency (NUE) and N uptake efficiency (NUPE) were the highest under FTJ treatment in winter wheat, which were 180.0 kg/hm<sup>2</sup>, 42.1% and 0.80 kg/kg; NAA, NUE, NUPE were the highest under JTJ treatment in summer maize, which were 176.5 kg/hm<sup>2</sup>, 38.3% and 0.65 kg/kg. Under the experimental conditions, FTJ and JTJ treatments were favorable to the winter wheat-summer maize rotation system anniversary yields and nitrogen utilization in Huai River areas, but JTJ treatment was more favorable in the long run.

**Key words:** Fertilization treatments, Region along Huai River, Winter wheat-summer maize rotation system, Anniversary yields, Nitrogen utilization