

长沙烟区烟后晚稻适宜氮肥施用量与运筹方式研究

李艳芳^{1,2}, 陈平平¹, 黎娟¹, 黄松青³, 易镇邪^{1*}, 屠乃美¹(1. 湖南农业大学农学院/南方粮油作物协同创新中心, 湖南 长沙 410128;
2. 攸县农业局, 湖南 攸县 412300; 3. 长沙市烟草公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 为给长沙烟区烟后晚稻高产高效栽培提供科学依据, 以超级杂交稻品种深优 9586 为材料, 于 2011 ~ 2012 年在长沙市宁乡烟区研究了施氮量与氮肥运筹方式对烟后晚稻产量形成与氮素吸收利用的影响。结果表明: (1) 在施氮 0 ~ 120 kg/hm² 范围内, 晚稻产量随施氮量增加呈先增后降趋势, 施氮 90 kg/hm² 条件下产量最高, 过量施氮导致减产的原因在于有效穗数与千粒重下降; (2) 氮肥运筹方式影响晚稻产量, 施氮 90 kg/hm² 时 W3 处理 (基肥: 穗肥: 粒肥比例为 0.5:0.25:0.25) 产量最高, 施氮 30 ~ 60 kg/hm² 时以 W4 处理 (0.25:0.5:0.25) 产量最高, 增产的原因在于氮肥后移提高了烟后晚稻齐穗期叶面积指数、灌浆中期叶面积指数和 SPAD 值; (3) 氮肥用量增大, 烟后晚稻氮积累量提高, 但氮农学利用率、氮肥吸收利用率、氮生理利用率、氮素干物质生产效率、氮素稻谷生产效率下降; 氮肥运筹方式影响氮素利用效率, 施氮量较低时, 氮肥后移有利于氮素利用效率的提高, 而施氮量偏高时 (90 kg/hm²) 后期施用氮肥比例不宜过高。可见, 为提高长沙烟区烟后晚稻产量和氮素利用效率, 施氮量在 60 kg/hm² 以内可采取氮肥后移策略, 而施氮 90 kg/hm² 时后期施氮比例不宜过高。

关键词: 烟后晚稻; 施氮量; 氮肥运筹方式; 产量; 长沙烟区

中图分类号: S143.1; S511.3*3

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2016) 05-0037-08

烟-稻复种是我国南方烟区一种重要的复种方式, 湖南省每年烟-稻复种面积在 7 万 hm² 左右。烟草施肥不同于早稻, 因此烟后晚稻和双季晚稻所面临的基础地力不一样; 同时, 烟区农民为了追求高效益, 烟草过量施肥问题较为严重, 据笔者调查, 长沙烟农施氮量往往高出烟草公司推荐施氮量 40% ~ 60%。因此, 烟后晚稻的氮肥施用问题必须因地制宜地开展研究。目前, 有关水稻施氮量的研究很多^[1-4], 在氮肥运筹方式上也有较多研究^[5-6], 而针对烟后晚稻开展的研究虽然也有一些^[7-8], 但是尚不够系统和深入。为明确长沙烟区烟后晚稻的适宜施氮量与氮肥运筹方式, 本研究在长沙市宁乡县典型烟田开展大田试验, 系统研究了施氮量与氮肥运筹方式对烟后晚稻产量构成因素、产量形成特性与氮素利用效率的影响, 旨在为该地

区烟后晚稻的高产高效栽培提供理论与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试晚稻品种为湖南省审定的超级稻品种深优 9586。试验于 2011 ~ 2012 年在湖南省宁乡县喻家坳乡三民-玉山烟叶种植示范区进行, 试验田位置为 28°10.887'N、112°17.768'E。前茬作物为烟草, 前季施氮 (N) 约 240 kg/hm² (长沙烟区烟农常规施氮量)。试验田排灌方便, 移栽前土壤肥力属于中上等级 (表 1)。

表 1 供试土壤基本肥力性状

年份	全氮 (g/kg)	全钾 (K g/kg)	全磷 (P g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)	pH 值
2011	2.11	7.41	0.81	183.3	32.96	240.7	5.68
2012	2.09	7.57	0.85	160.5	36.89	229.1	5.70

2011 年试验为施氮量试验, 设 4 个处理: 0、60、90 和 120 kg/hm², 随机区组设计, 3 次重复, 小区面积 15 m²。小区间做埂, 并用塑料薄膜覆盖, 两侧压至犁底层。6 月 20 日播种, 软盘湿润育秧,

收稿日期: 2015-07-29; 最后修订日期: 2015-12-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAD16B01, 2012BAD04B10-01, 2013BAD07B11-02); 湖南省科技计划项目 (2013NK3036); 长沙市烟草公司科技项目 (12231)。

作者简介: 李艳芳 (1987-), 女, 湖南蓝山县人, 农艺师, 硕士, 主要从事农业技术推广工作。E-mail: 635804123@qq.com。

通讯作者: 易镇邪, E-mail: yizhenxie@126.com。

7月29日移栽,株行距20 cm × 20 cm,2粒谷苗/穴。各处理磷肥(P₂O₅)、钾肥(K₂O)施用量均为60 kg/hm²,磷肥作基肥一次施入,氮肥和钾肥按5:3:2分基肥、分蘖肥、孕穗肥施入。其他管理同常规大田。

2012年试验为氮肥用量和运筹方式双因素试验,氮肥用量设4个水平:N1(30 kg/hm²)、N2(60 kg/hm²)、N3(90 kg/hm²)、CK(0 kg/hm²);运筹方式设4个处理,即基肥:分蘖肥:孕穗肥:粒肥比例为W1(1:0:0)、W2(0:1:0)、W3(0.5:0.25:0.25)、W4(0.25:0.5:0.25)。采用随机区组设计,3次重复,小区面积18 m²。小区间做埂,并用塑料薄膜覆盖,两侧压至犁底层。2012年6月20日播种,大田早育秧,7月20日移栽,株行距20 cm × 23 cm,2粒谷苗/穴。各处理施磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)40 kg/hm²,作基肥施入。其他管理同常规大田。

1.2 测定项目与方法

产量与产量构成因素:成熟期每小区收割2 m²,作为实际产量。每小区调查连续的50穴水稻的有效穗数,以平均数作为该小区单穴有效穗数;每小区按平均单穴有效穗数取样5穴带回室内考察穗粒数、千粒重和结实率。

叶面积与干物重:各关键生育期取样(每小区5穴),带回室内采用长宽系数法测定叶面积,将叶、茎、穗等部位分开装袋,100℃下杀青30 min后于80℃下烘至恒重,称重后粉碎并过0.3 mm孔径筛,用于测定养分含量。

氮积累量:植株氮含量用浓H₂SO₄-H₂O₂消煮,流动注射分析仪测定,再以各部位的干物质重分别乘以各部位的氮含量,计算出各部位的氮积

累量。

氮素利用效率:氮农学利用率(NAE, kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) ÷ 施氮量;氮肥吸收利用率(NRE, %) = (施氮区水稻氮素积累总量 - 不施氮区水稻氮素积累总量) ÷ 施氮量 × 100;氮生理利用率(NPE, kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) ÷ (施氮区水稻氮素积累总量 - 不施氮区水稻氮素积累总量);氮素干物质生产效率(NDMPE, kg/kg) = 地上部干物质总量 ÷ 地上部氮素积累总量;氮素稻谷生产效率(NGPE, kg/kg) = 籽粒产量 ÷ 地上部氮素积累总量;氮素收获指数(NHI, %) = 籽粒氮素积累量 ÷ 地上部氮素积累总量 × 100。

1.3 数据处理

数据采用Excel 2003与DPS 7.05进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量和运筹方式对烟后晚稻产量及其构成因素的影响

2011年,在施氮0~90 kg/hm²范围内,烟后晚稻产量随施氮量增大而增加,增幅在0.44%~3.39%之间;施氮120 kg/hm²处理最低,较不施肥处理下降6.10%,较施氮90 kg/hm²处理下降显著。分析产量构成因素发现,施氮60 kg/hm²处理有效穗最多,显著高于施氮120 kg/hm²处理;施氮显著增加了每穗粒数,但显著降低了结实率,各处理间每穗实粒数差异不大;施氮使千粒重降低,其中施氮120 kg/hm²处理下降显著;施氮降低了收获指数,其中施氮120 kg/hm²处理下降显著(表2)。

表2 施氮量对2011年烟后晚稻的产量及其构成的影响

施氮量 (kg/hm ²)	有效穗 (穗/穴)	每穗 总粒数	每穗 实粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	理论产量 (t/hm ²)	实际产量 (t/hm ²)	收获 指数
0	11.67ab	144.3b	103.0a	71.39a	23.13a	6.94ab	6.79ab	0.51a
60	12.01a	156.1a	104.4a	66.85b	22.89a	7.17a	6.82ab	0.50a
90	11.80ab	157.6a	107.2a	68.02b	22.99a	7.26a	7.02a	0.49ab
120	11.00b	156.1a	105.8a	67.74b	22.47b	6.58b	6.37b	0.48b

注:不同小写字母表示5%差异显著水平。下同。

2012年试验结果(表3)表明,在0~90 kg/hm²范围内施用氮肥对水稻有明显增产作用,增产幅度平均为14.93%;不同氮肥运筹方式间产量有差异,W1、W2、W3和W4分别较对照平均增产

8.15%、12.16%、18.20%和21.20%;施肥90 kg/hm²时最佳氮肥运筹方式是W3,其他施氮量处理产量均表现为W4(0.25:0.5:0.25) > W3(0.5:0.25:0.25) > W2(0:1:0) > W1(1:0:0)。

说明在施氮量较少时 (60 kg/hm² 以内) 氮肥后移有利于提高产量。从产量构成因素分析, 增施氮肥使烟后晚稻千粒重略有下降, 但有效穗和每穗实粒数增加, 特别是后期施氮使每穗实粒数提高。各施氮水平和氮肥运筹方式处理间收获指数略有差异, 但规律不明显。结果表明, 产量与有效穗、每穗实粒数、千粒重的相关系数分别为 0.294、0.944^{**} 和 0.797, 说明施氮使烟后晚稻增产的主要原因是提

高了每穗实粒数。

2012 年产量明显高于 2011 年, 主要原因在于千粒重、每穗粒数和结实率均得到了明显提高。造成差异的原因, 一方面是 2011 年烟叶收获推迟导致晚稻移栽晚 (7 月 29 日), 晚稻营养生长期缩短; 另一方面是 2011 年晚稻齐穗期推迟至 9 月 20 日左右, 且遭遇了低温阴雨天气, 而 2012 年晚稻灌浆期天气晴好。

表 3 施氮量与运筹方式对 2012 年烟后晚稻的产量及其构成的影响

施氮量 (kg/hm ²)	基肥: 穗肥: 粒肥	有效穗 (穗/穴)	每穗 粒数	每穗 实粒数	结实率 (%)	千粒重 (g)	理论产量 (t/hm ²)	实际产量 (t/hm ²)	收获 指数
30	1:0:0	11.22cd	168.9bc	128.1c	75.81c	25.29a	7.89d	7.74d	0.53ab
	0:1:0	11.56bc	173.6abc	135.6b	78.13bc	25.35a	8.38c	8.23bcd	0.53ab
	0.5:0.25:0.25	11.25bc	168.2bc	130.2bc	77.42bc	25.49a	8.18cd	7.94cd	0.53ab
	0.25:0.5:0.25	11.66bc	181.2a	145.2a	80.13ab	25.69a	9.45a	9.09a	0.55a
60	1:0:0	11.58abc	169.4bc	126.7c	74.79c	25.46a	8.12cd	7.97cd	0.52b
	0:1:0	11.36bc	176.7ab	129.1bc	73.05d	25.42a	8.24cd	8.00cd	0.52b
	0.5:0.25:0.25	11.40bc	172.3abc	145.3a	84.34a	25.42a	9.16ab	8.81b	0.55a
	0.25:0.5:0.25	12.27a	183.5a	134.7b	73.37d	25.73a	9.24ab	8.92ab	0.53ab
90	1:0:0	11.41bc	178.7ab	136.0b	76.09c	25.34a	8.55bc	8.32bcd	0.52b
	0:1:0	11.51bc	163.9c	136.7b	83.40a	25.53a	8.73b	8.36bcd	0.54a
	0.5:0.25:0.25	12.09ab	171.0b	144.0a	84.23a	25.29a	9.57a	9.17a	0.53ab
	0.25:0.5:0.25	11.07c	181.8a	144.4a	79.43b	25.41a	8.83b	8.57bc	0.54a
0	—	11.09	163.2	122.0	74.75	25.68	7.61	7.47	0.53

2.2 氮肥用量和运筹方式对烟后晚稻物质生产和积累的影响

2.2.1 氮肥用量与运筹方式对烟后晚稻干物质积累的影响

考察了各处理的干物质积累动态 (图 1), 孕穗期不同施氮量处理间干物质积累量差异不大, 同一施氮水平下氮肥全作基肥施入处理 (W1) 略高于其他处理。齐穗期除 N1W2、N3W1 处理干物质积累量明显较低外, 其它处理差异不大。灌浆中期一般呈现氮肥用量越大干物质积累量越多的趋势, 且同一施氮水平下氮肥后移处理的干物质积累量较大。成熟期各处理的干物质积累情况与灌浆中期基本一致, 干物质积累在不同运筹方式间的差异增大。

2.2.2 氮肥用量与运筹方式对烟后晚稻叶面积指数和叶绿素含量的影响

氮肥用量与运筹方式影响烟后晚稻剑叶叶绿素相对含量 (SPAD 值)。如图 2, 施氮处理各时期 SPAD 值比不施氮处理高, 同一施氮量下氮肥

运筹方式对剑叶 SPAD 值的影响在不同时期表现不一致, 孕穗期表现 W2 > W3 > W4 > W1 趋势, 其中 W2 处理高于其他处理; 齐穗期各处理剑叶 SPAD 值比孕穗期高, 处理间差异与孕穗期基本一致; 灌浆中期剑叶 SPAD 值较齐穗期有所下降, 其中氮肥一次性施入处理 (W1、W2) 下降速度较快, 后期施氮肥比例越大则 SPAD 值越大。烟后晚稻孕穗期、齐穗期、灌浆中期的 SPAD 值与产量的相关系数分别为 0.465、0.504、0.828^{**}。

孕穗期往后, 晚稻叶面积指数 (LAI) 呈持续下降趋势。各时期整体表现施氮量越大 LAI 越大的趋势, 不施氮处理 LAI 始终低于施氮处理; 不同氮肥运筹方式处理间 LAI 差异明显, 孕穗期以不施基肥处理 (W2) 最低, 齐穗期表现为 W3、W4 处理明显高于 W1、W2 处理, 灌浆中期 LAI 随后期施氮比例提高而增大 (图 3)。烟后晚稻孕穗期、齐穗期、灌浆中期的 LAI 与产量的相关系数分别为 0.460、0.824^{**}、0.979^{**}。

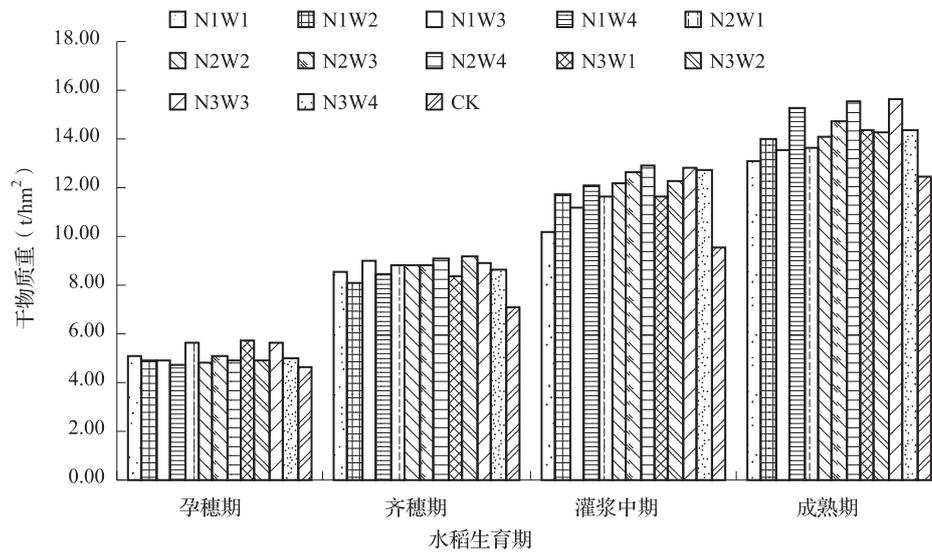


图1 不同氮肥处理的水稻各生育期干物质积累

注：N - 氮肥；W - 氮肥运筹。下同。

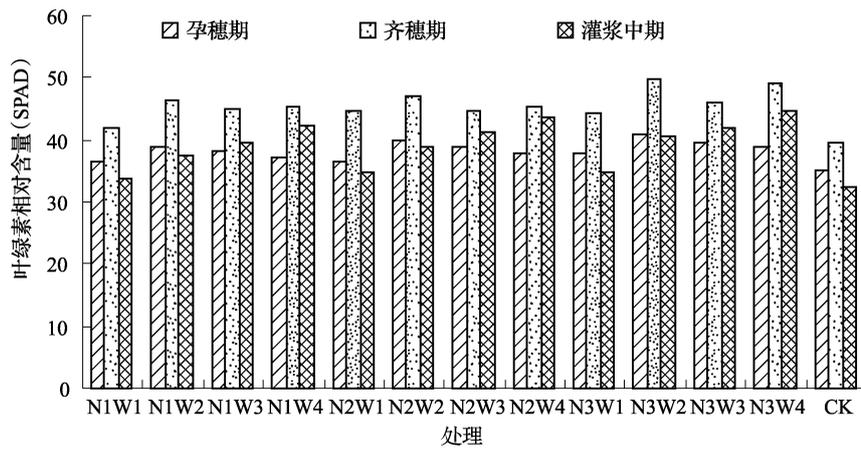


图2 不同氮肥处理的水稻各生育时期剑叶叶绿素相对含量

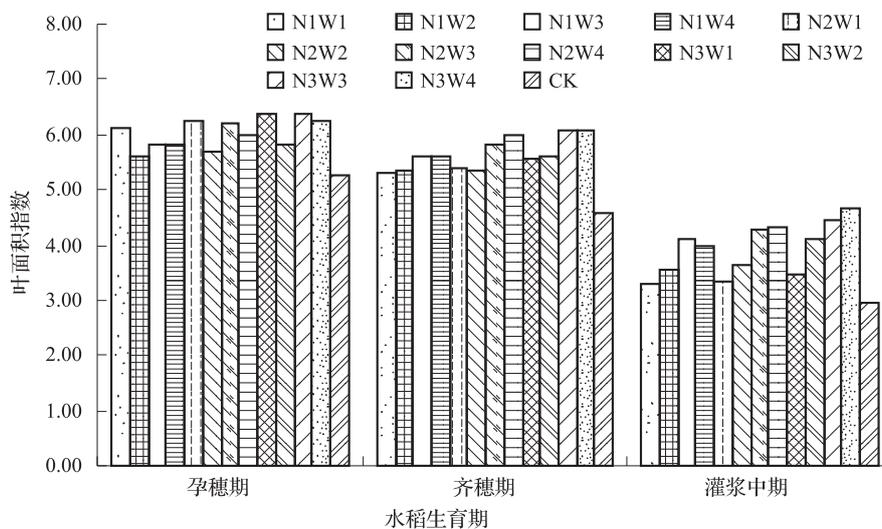


图3 不同氮肥处理的水稻各生育期叶面积指数

2.3 氮肥用量与运筹方式对烟后晚稻氮素吸收利用的影响

2.3.1 氮积累量动态变化

水稻氮素积累动态如图4和图5。各处理氮素积累量随生育进程表现持续增长趋势，且随施氮量增大而增加；各生育阶段氮素积累量占氮素总积累量的比例，孕穗前达到一半以上（平均为53.18%），孕穗至齐穗、齐穗至灌浆、灌浆至收获阶段分别平均为17.96%、23.33%和5.52%；CK、

N1、N2、N3处理的孕穗前氮素积累量占总积累量的比例分别为57.47%、54.80%、53.23%和50.45%，即施氮量越大孕穗前积累比例越小；W1、W2、W3和W4处理孕穗前积累比例分别为61.84%、49.34%、54.61%和45.51%，孕穗-齐穗阶段分别为10.98%、26.68%、13.27%和21.98%，齐穗-成熟阶段分别为27.18%、23.98%、32.12%和32.51%，说明基肥比例越高则孕穗前吸氮量越大，但抑制了孕穗后的氮素吸收。

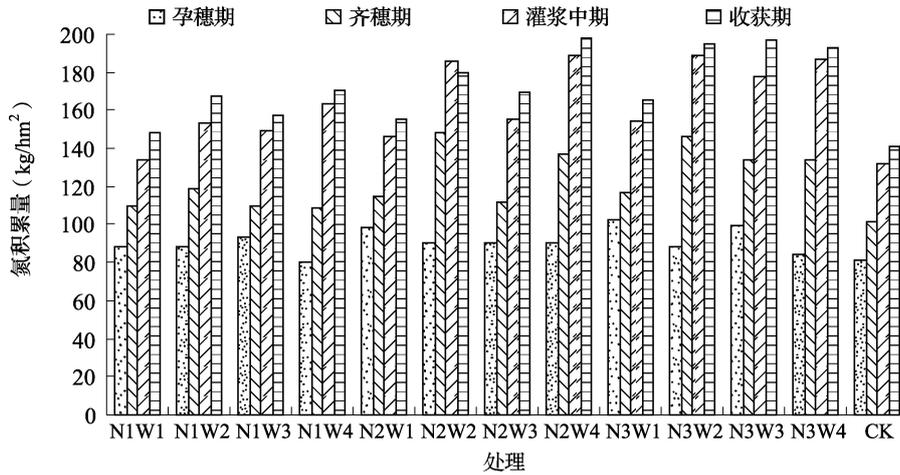


图4 不同氮肥处理的水稻氮积累量动态变化

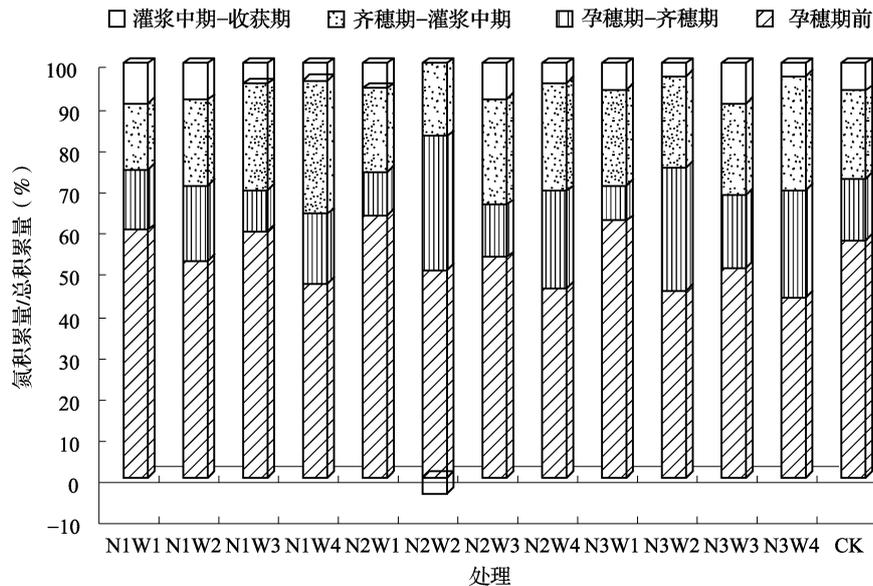


图5 不同氮肥处理的水稻各生育阶段氮积累量占总积累量的比例

2.3.2 氮素利用效率差异

氮农学利用率 (NAE) 反映单位氮素投入的稻谷生产量；氮肥吸收利用率 (NRE) 反映的是水稻氮素积累量对氮肥的响应情况；氮生理利用率 (NPE) 是投入氮素所引起的稻谷增长量与投入氮素所引起的氮素积累量增长的比值，表示施氮吸收

后氮素积累量转化为稻谷产量的效率；氮素干物质生产效率 (NDMPE)、氮素稻谷生产效率 (NGPE)、氮素收获指数 (NHI) 反映植株吸收氮后转化为生产量（干物质、稻谷）的效率以及植株对吸收的氮向籽粒的转运效率，评价的是植株吸收的氮素积累量对水稻干物质、稻谷、籽粒氮素积累

量的贡献效率。

由表4可见, 随施氮量增大, *NHI* 略有下降, 其他氮素利用效率指标 (*NAE*、*NRE*、*NPE*、*NDMPE*、*NGPE*) 下降显著; 氮肥运筹方式对氮素利用效率影响很大, 整体上看, *NAE* 表现 $W4 > W3 > W2 > W1$ 趋势,

NRE 表现 $W4 > W2 > W3 > W1$ 趋势, 处理间差异显著; *NPE* 在施氮 30 kg/hm^2 时表现为 $W4 > W3 > W2 > W1$, 而施氮 60 和 90 kg/hm^2 时则为 $W1 > W3 > W4 > W2$; *NDMPE* 表现 $W1 > W3 > W4 > W2$ 趋势; 处理间 *NHI* 差异一般不显著。

表4 不同氮肥处理的烟后晚稻氮素利用效率

因素	处理	氮农学 利用率 (kg/kg)	氮肥吸收 利用率 (%)	氮生理 利用率 (kg/kg)	氮素干物质生产 效率 (kg/kg)	氮素稻谷生产 效率 (kg/kg)	氮素收获 指数 (%)	
施氮量	N1	26.83a	65.11a	50.39a	86.88a	51.51a	75.35a	
	N2	15.95b	57.27b	48.24b	82.07b	48.24b	73.09a	
	N3	13.05c	51.22c	46.34c	78.70c	46.34c	73.14a	
氮肥运筹方式	W1	9.77c	24.27d	50.09a	87.84a	51.58a	74.99a	
	W2	17.17b	70.54b	46.06b	78.38c	46.06b	72.29a	
	W3	19.00b	53.74c	49.77a	83.09b	49.77ab	74.43a	
	W4	28.50a	82.92a	47.38ab	80.89bc	47.38ab	73.73a	
施氮量 × 氮肥 运筹方式	N1W1	10.75fg	22.43d	48.20bc	88.34ab	52.68a	75.18ab	
	N1W2	32.23b	88.67a	50.29ab	83.26b	50.29b	74.40ab	
	N1W3	15.65ef	52.22bc	50.63ab	86.47ab	50.63b	75.46ab	
	N1W4	48.68a	97.14a	52.44a	89.43a	52.44a	76.36a	
	N2W1	8.37g	23.69d	51.29a	88.04ab	51.29ab	74.63ab	
	N2W2	8.88g	63.71b	44.62de	78.62bc	44.62de	71.62ab	
	N2W3	21.97cd	47.39c	51.82a	83.14b	51.82ab	73.96ab	
	N2W4	24.59c	94.30a	45.23c	78.49bc	45.23d	72.14ab	
	N3W1	10.21g	26.70d	50.77ab	87.15ab	50.77b	75.17ab	
	N3W2	10.42g	59.23bc	43.26c	73.26c	43.26e	70.84b	
	N3W3	19.37de	61.61b	46.86bc	79.67bc	46.86c	73.87ab	
	N3W4	12.21fg	57.31bc	44.45c	74.74c	44.45de	72.70ab	
	对照	CK	—	—	—	88.4	52.91	74.47

3 小结与讨论

3.1 氮肥用量和运筹方式对烟后晚稻产量及产量构成因素的影响

氮肥影响水稻的生物量和有效穗、每穗粒数、结实率等产量构成因素, 从而影响水稻产量。在一定范围内, 增施氮肥可以增加水稻产量^[9-10]。本研究表明, 在 $0 \sim 90 \text{ kg/hm}^2$ 范围内, 烟后晚稻产量随施氮量增大而提高, 但施氮 120 kg/hm^2 处理的产量较不施氮处理下降 9.37% 。氮肥运筹方式处理间产量有差异, 施肥 90 kg/hm^2 时最佳氮肥运筹方式是 W3, 其他施肥量下均表现为 $W4 > W3 > W2 > W1$ 。说明在施氮量较少的情况下 (60 kg/hm^2 以内) 氮

肥后移有利于产量的提高。增施氮肥使烟后晚稻千粒重略有下降, 但有效穗和每穗实粒数增加, 后期氮肥施用比例较高的处理每穗实粒数高, 这与前人研究的增加后期氮肥比例能显著提高水稻产量是由于提高了每穗实粒数的结论一致^[11]。

深优 9586 在年际间产量的差异说明水稻产量水平受施肥、土壤、环境等因素的影响, 施肥对水稻产量的效应在不同年际间由于气候因子的影响而不同。综合分析两年的产量数据认为, 针对土壤肥力较高的宁乡烟区, 烟后晚稻的移栽期应在 7 月 20 日左右, 其施氮量应控制在 90 kg/hm^2 以内, 并应少施基肥, 增施穗肥和粒肥。

3.2 氮肥用量和运筹方式对烟后晚稻物质生产和

积累的影响

光合性能包括光合面积、光合能力、光合产物的消耗等^[12]。叶面积指数是水稻光合能力的重要指标。本试验发现,同一氮肥运筹方式下叶面积指数随施氮量增大略有提高。氮肥不同运筹方式间叶面积指数在孕穗期差异不大,生育中后期施入粒肥扩展了叶片的长度和宽度,延缓了叶片衰老,使灌浆期叶面积指数随后期施氮比例增大而提高。产量与齐穗期、灌浆中期的叶面积指数极显著相关。

叶绿素含量是叶片光合能力的重要指标,在一定范围内,叶片的光合能力随着叶绿素含量的增加而增强。本研究发现,同一氮肥运筹方式下水稻剑叶叶绿素相对含量随施氮量增大而增加,氮肥对叶绿素含量的影响具有时效性,基肥施入多的处理生育前期叶绿素相对含量高,穗粒肥施入比例大的生育中后期叶绿素相对含量高。产量与灌浆中期的叶绿素含量呈极显著相关。

本研究表明,水稻地上部干物重随生育进程的推进表现为前期慢、中期快、后期慢的趋势。不同氮肥施用处理的干物重在前期差异不显著,中后期氮肥施用量越大干物质积累越多,且同一施氮水平下氮肥后移的处理干物重大,生长前期氮肥对干物重提高的贡献率不大,后期施用氮肥延缓了叶片与根系衰老,增加了光合时间,促进了后期干物质的形成。整体来看,减少基肥用量,提高穗粒肥比例能增加抽穗至成熟期的叶片含氮量,使齐穗后SPAD值和绿叶面积维持较高水平,提高了群体光合势,有利于促进干物质积累,从而提高了产量和氮素吸收量,这与吴文革等^[13]、王允青等^[14]的研究一致。本研究中氮肥后移处理符合魏海燕等^[15]提出的水稻氮高效类型具有的“前稳、中小、后高”物质生产与积累特性,即前期具有一定的物质积累,拔节以后,群体光合能力仍较大,物质积累具有优势。

3.3 氮肥用量和运筹方式对烟后晚稻氮素吸收利用的影响

施氮量影响水稻的氮素利用效率的各项指标。本研究表明,增施氮肥降低了水稻的氮农学利用率、氮吸收利用率、氮生理利用率、氮素干物质生产效率、氮素稻谷生产效率,这与前人研究结果一致^[16]。但施氮量为30 kg/hm²时NHI比其他施肥处理和不施肥处理要高,说明施用少量氮肥能促进氮素向籽粒转运。

氮肥运筹方式对不同氮素利用效率指标的影响与施氮量有关。在总施氮量较低的情况下,不同氮肥运筹方式的氮农学利用率、氮吸收利用率、氮生理利用率均表现为W4 > W3 > W2 > W1,但当施氮量偏高(90 kg/hm²)时,后期重施氮肥会降低氮农学利用率、氮吸收利用率、氮生理利用率。说明总施氮量较低时,氮肥后移有利于提高氮素利用效率,而氮肥施用量偏高时后期施用氮肥比例不宜过高,这与卢铁钢等^[6]提出的中、低施氮量并提高穗粒肥施用比例能提高N肥当季利用效率的结论一致。

水稻对氮的吸收受品种特性、施肥、土壤条件和气候等因素综合影响。在本试验条件下,氮素积累量随施氮增加而增加。相同氮素水平下不同氮肥运筹方式间收获期氮素积累量差异显著,以施肥比例为基肥:穗肥:粒肥为0.5:0.25:0.25的处理最高,与潘圣刚等^[17]的研究结果一致。氮素积累量在生育期内基本呈现持续增长的趋势。氮素积累量在各时期的积累比例不同,本研究表明移栽到孕穗阶段积累的氮素最多,增施氮肥降低孕穗前吸氮比例;同时发现,提高氮素基肥比例,增加了孕穗前吸氮量,但抑制了水稻生育后期对氮素的吸收,与丁艳锋等^[18]的研究结果基本一致。

氮素干物质生产效率、氮素稻谷生产效率、氮素收获指数评价的是植株吸收的氮素积累量对水稻干物质、稻谷、籽粒氮素积累量的贡献效率。本试验结果显示,W1、W2、W3、W4处理氮素干物质生产效率分别比不施肥处理平均降低了0.63%、11.33%、6.00%、8.50%,氮素稻谷生产效率分别比不施肥处理平均降低了2.51%、5.94%、10.46%、12.95%,可见,中后期施氮比例大则氮素积累量增加快,导致吸收的养分的物质转化率降低。

综上所述,为提高长沙烟区烟后晚稻产量和氮素利用效率,施氮量在60 kg/hm²以内可采取氮肥后移策略,而施氮量较高(90 kg/hm²以上)时后期施氮比例不宜过高。

参考文献:

- [1] 周有炎,沙安勤,孙东海,等.不同施氮量对水稻产量及氮肥利用率的影响[J].现代农业科技,2011,(4):274-275.
- [2] 鲁伟林,段仁周,余新春.不同施氮量对水稻株型特征和穗部性状的影响[J].河南农业科学,2012,41(1):40-44.
- [3] 段克斌,胡双全,曹进,等.鄂东南地区晚稻不同氮肥施

- 用量与病虫发生及产量的关系 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50 (1): 39-41.
- [4] 周小军, 徐红星, 郑许松, 等. 氮肥施用量对杂交稻田白背飞虱和蜘蛛种群数量的影响 [J]. 浙江农业学报, 2012, 24 (5): 865-869.
- [5] 孙永健, 孙园园, 刘树金, 等. 水分管理和氮肥运筹对水稻养分吸收、转运及分配的影响 [J]. 作物学报, 2011, 37 (12): 2221-2232.
- [6] 卢铁钢, 崔月峰, 孙国才, 等. 氮肥运筹对水稻产量及氮素利用率的影响 [J]. 作物研究, 2012, 26 (4): 320-323.
- [7] 陈有强. 永定县烟后稻氮磷钾适宜配比研究 [J]. 耕作与栽培, 2012, (1): 31.
- [8] 易镇邪, 傅莉斌, 刘剑, 等. 烟后晚稻产量形成特性与施氮效应研究 [J]. 湖南农业科学, 2011, (11): 13-15.
- [9] 刘武, 黄林, 谢明德, 等. 氮肥用量和移栽密度对超级早稻产量及某些生理指标的影响 [J]. 作物研究, 2008, 22 (4): 254-258.
- [10] 王业农, 何世安, 何润清, 等. 施氮量对超级杂交晚稻丰源优299产量的影响 [J]. 杂交水稻, 2008, 23 (2): 63-64.
- [11] 刘建, 魏亚凤, 徐少安. 穗肥氮素配比对水稻产量、品质及氮肥利用率的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2006, 25 (3): 223-227.
- [12] 董钻, 沈秀瑛. 作物栽培学总论 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [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] 王允青, 郭熙盛, 戴明伏. 氮肥运筹方式对杂交水稻干物质积累和产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2008, (2): 31-34.
- [15] 魏海燕, 张洪程, 戴其根, 等. 不同水稻氮利用效率基因型的物质生产与积累特性 [J]. 作物学报, 2007, 33 (11): 1802-1809.
- [16] 周江明, 赵琳, 董越勇, 等. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (2): 274-281.
- [17] 潘圣刚, 翟晶, 曹凑贵, 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.
- [18] 丁艳锋, 刘胜环, 王绍华. 氮素基肥用量对水稻氮素吸收与利用的影响 [J]. 作物学报, 2004, 30 (8): 762-767.

Study on optimal nitrogen application rate and planning mode for late rice after tobacco in Changsha tobacco-planting area

LI Yan-fang^{1,2}, CHEN Ping-ping¹, LI Juan¹, HUANG Song-qing³, YI Zhen-xie^{1*}, TU Nai-mei¹ (1. College of Agronomy of Hunan Agricultural University/Southern Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crops in China, Changsha Hunan 410128; 2. Youxian Agricultural Bureau, Youxian Hunan 412300; 3. Changsha Tobacco Company, Changsha Hunan 410007)

Abstract: To provide the scientific basis for high-yielding and efficient cultivation of late rice after tobacco in Changsha tobacco planting area, effects of nitrogen application rate and nitrogen planning mode on yield formation and nitrogen absorption and utilization of late rice after tobacco were studied with super hybrid rice variety "Shenyou 9586" as material in Ningxiang tobacco planting area in 2011 ~ 2012. The results showed that (1) the yield of late rice after tobacco showed the increase-decrease trend with the increment of nitrogen rate in 0 ~ 120 kg/hm², and the highest yield was gained under N 90 kg/hm². Excessive nitrogen fertilizer deduced yield decrease because of the decrease of effective panicles and 1000-grain weight. (2) The yield of late rice was affected by nitrogen planning mode. The best nitrogen planning mode under N 90 kg/hm² condition was W3 (tillering N fertilizer: booting N fertilizer: grain N fertilizer = 0.5:0.25:0.25), and yield of W4 (0.25:0.5:0.25) was highest under N 30 ~ 60 kg/hm² conditions, and the reason of yield-increasing lied in LAI at full heading stage and middle filling stage, and higher chlorophyll content in middle filling stage were improved by postponing nitrogen. (3) With the increment of nitrogen rate, N accumulation was increased, while NAE, NRE, NPE, NDMPE, NGPE of late rice after tobacco was decreased. Nitrogen utilization efficiency was also affected by nitrogen planning mode, postponing nitrogen could improve nitrogen utilization efficiency when nitrogen application rate was lower, while the nitrogen ratio at late growth stage should not be too higher under N 90 kg/hm² condition. So, to improve yield and nitrogen utilization efficiency, postponing nitrogen strategy can be adopted when N rate is below to N 60 kg/hm², while the proportion of N application at late stage of rice should not be too higher when N rate is N 90 kg/hm².

Key words: late rice after tobacco; nitrogen application rate; nitrogen planning mode; yield; Changsha tobacco planting area