

氮肥用量对双季稻产量和氮肥利用率的影响

王秀斌¹, 徐新朋¹, 孙刚², 孙静文¹, 梁国庆¹, 刘光荣², 周卫^{1*}

(1 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 农业部植物营养与肥料重点实验室, 北京 100081;

2 江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200)

摘要: 试验采用田间小区试验, 设置 7 个氮肥用量(N 0、60、120、180、240、300 和 360 kg/hm²), 研究了江西省高产田、中产田和低产田双季稻最佳施氮量, 以及不同施氮水平对水稻产量、氮肥贡献率、土壤氮素依存率和氮肥利用率的影响。结果表明, 低产田、中产田和高产田分别在施氮量为 120、180 和 240 kg/hm² 处理取得高产; 氮肥贡献率在低产田和中产田上大于高产田, 且分别在施氮处理为 N 120、180 和 240 kg/hm² 达到最大; 土壤氮素依存率为高产田 > 中产田 > 低产田, 且在一定范围内随着施氮量的增加, 土壤氮素依存率逐渐降低; 氮肥吸收利用率为低产田 > 中产田 > 高产田, 氮肥农学效率、氮肥生理利用率和氮肥偏生产力低、中、高产田间差异不大。高、中、低产田氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力随氮肥用量增加而降低, 而氮肥生理利用率各施氮处理间变化不大。综合产量和氮肥利用率得出, 低产田、中产田和高产田双季稻适宜施氮量分别为 N 120、180 和 240 kg/hm²。

关键词: 高、中、低产田; 双季稻; 产量; 氮肥施用量; 氮肥利用率

中图分类号: S511.062.01

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2013)06-1279-08

Effects of nitrogen fertilization on grain yield and nitrogen use efficiency of double cropping rice

WANG Xiu-bin¹, XU Xin-peng¹, SUN Gang², SUN Jing-wen¹, LIANG Guo-qing¹, LIU Guang-rong², ZHOU Wei^{1*}

(1 Institute of Agricultural Resource and Regional Planning, CAAS/

Key Lab of Plant Nutrition and Fertilizer Research, MOA, Beijing 100081, China;

2 Institute of Soil and Fertilizer & Resources and Environment, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: Field trials with seven treatments of N application rates(N 0, 60, 120, 180, 240, 300 and 360 kg/ha) were set up to determine the optimum N application rate, and to identify the responses of N fertilization contribution rate, soil N dependent rate and N use efficiency to different N application rates in paddy fields with different yield levels(high, middle and low). The results show that the low-, middle-, and high-yield paddy fields have the highest grain yields under the application rates of N 120, 180 and 240 kg/ha, respectively. The nitrogen fertilization contribution rates(NCR) in the low- and middle- yield fields are larger than that in the high-yield field, and the highest NCRs are acquired in the treatments of N 120, 180 and 240 kg/ha for the three fields separately. Soil nitrogen dependent rates(SNPR) are in the order: high-yield field > middle-yield field > low-yield field, and the SNPR is decreased with the increase of N application rates to some extent. The trend of nitrogen recovery efficiency(NRE) is low-yield field > middle-yield field > high-yield field, whereas no distinct differences exist for nitrogen agronomic efficiency (NAE), nitrogen physiological efficiency (NPE) and nitrogen partial factor productivity(PFP_N) among high-, middle-, and low-yield paddy fields. All NAE, NRE and PFP_N in high-, middle-, and low-yield paddy fields are decreased with the increase of N application rates, while NPE remains

收稿日期: 2013-02-28

接收日期: 2013-06-15

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-01-31); 农业部公益性行业(农业)科研专项(201003016); 国家重点基础研究发展计划(2013CB127405)项目资助。

作者简介: 王秀斌(1975—), 男, 山西偏关人, 博士, 副研究员, 主要从事作物高效施肥方面的研究。E-mail: wangxb@caas.ac.cn

* 通信作者 Tel: 010-82108671, E-mail: wzhou@caas.ac.cn

relatively stable among different fertilization treatments. The optimum N application rates for double cropping rice in low-, middle- and high- yield fields are N 120, 180 and 240 kg/ha, respectively.

Key words: High-, middle-, and low-yield paddy fields; double cropping rice; yield; nitrogen fertilizer application rate; nitrogen use efficiency

氮素是水稻生产的主要养分限制因子之一。我国水稻生产中氮肥施用量高而肥料利用率低的问题尤为突出,我国水稻单季平均施氮量为 180 kg/hm²,比世界平均水平高出约 75%,甚至高产田块中,水稻氮肥施用量高达 300 ~ 450 kg/hm²^[1-2],而稻田氮肥吸收利用率仅为 30% ~ 35%^[2-4]。过量施用氮肥不仅造成氮素大量损失,还会引起地下水硝酸盐污染、湖泊富营养化和温室气体排放增加等诸多问题^[5-7]。目前,有关氮肥用量对水稻产量和氮肥利用率的影响已有较多报道,氮肥利用率指标也是多种多样,如氮肥吸收利用率(recovery efficiency RE)、氮肥生理利用率(physiological efficiency PE)、氮肥农学利用率(agronomic efficiency AE)和氮肥偏生产力(partial factor productivity of applied N PFP)等^[2,8]。随着水稻品种的不断更新,水稻产量不断提高,总体上针对不同地力等级田块双季稻氮肥用量的研究较少^[9-10]。合理施用氮肥是兼顾作物产量、增加经济效益、提高氮素利用效率和控制农业面源污染的重要措

施^[11-13]。本文研究了氮肥用量对双季稻产量及氮肥利用率的影响,为指导不同地力水平双季稻合理施用氮肥,提高水稻产量和氮肥利用率提供理论依据和技术途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2011 年于江西省大余县、新干县和南昌县三个不同地力水平的水稻土上开展双季稻氮肥用量田间试验,此三个点的水稻土常年产量水平分别为 < 6750、6750 ~ 8250、> 8250 kg/hm²。根据土壤有机质和常年产量水平,以上三个点分别代表双季稻的低产田、中产田和高产田。供试水稻品种均为当地大面积推广的杂交水稻品种,其大鱼县早、晚稻分别为金优 463 和天丰优 101;新干县早、晚稻分别为湘丰优 402 和荣优 225;南昌县早、晚稻分别为春光 1 号和皖稻 103。供试土壤基础理化性质如表 1 所示。

表 1 试验地块土壤理化性质
Table 1 Physical-chemical properties of the selected soils in experimental fields

地点 Location	地力水平 Fertility level	pH	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Olsen P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	阳离子交换量 CEC (cmol/kg)
江西大余 Dayu County	低产田 LYF	5.5	14.5	0.73	4.5	68.0	17.6
江西新干 Xingan County	中产田 MYF	5.8	17.8	0.82	5.8	86.5	21.8
江西南昌 Nanchang City	高产田 HYF	6.2	26.5	1.38	8.5	125.6	29.5

注(Note): LYF—Low yield field; MYF—Middle yield field; HYF—High yield field.

1.2 试验设计

早稻与晚稻试验设置 7 个施氮处理,具体为施氮(N)0、60、120、180、240、300 和 360 kg/hm²,分别以 N0、N60、N120、N180、N240、N300 和 N360 表示。小区面积 20 m²,重复 3 次。所有小区磷肥施用量均为 P₂O₅ 90 kg/hm²,钾肥施用量为 K₂O 120 kg/hm²。磷、钾肥均在基肥一次施入,氮肥按基:蘖:穗肥比例 40:30:30 施用。氮肥用尿素(含 N

46.4%),磷肥用过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),钾肥用氯化钾(含 K₂O 60%)。试验小区田埂用塑料薄膜包裹覆盖以防止窜水窜肥,其他按当地高产方案管理。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 氮含量测定 植株样品整株取样装网袋放入烘箱中于 105℃ 杀青后,75℃ 烘干,称重,粉碎,过筛。样品经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮后定容,过滤,采用

流动注射分析仪测定全氮含量。

1.3.2 测产与考种 每个小区单打单收,田间直接测定产量,取 1 kg 水稻子粒样品,烘干后计算含水量,再通过含水量折算出实际产量。

1.3.3 计算方法

氮肥贡献率 = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮区产量 × 100%

土壤氮素依存率 = 不施氮区地上部吸氮量 / 施氮区地上部吸氮量 × 100%

氮肥农学利用率 = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮量

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%

氮肥生理利用率 = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / (施氮区地上部吸氮量 - 不施氮区地上部吸氮量)

氮肥偏生产力 = 施氮区产量 / 施氮量

1.3.4 统计方法 采用 Microsoft Excel 2007 软件和 SPSS 17.0 数据处理系统进行数据统计。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对不同产量水平稻田水稻产量的影响

表 2 显示,不施氮处理(N0)均是高产田产量最

表 2 不同施氮量下双季稻产量及增产率

Table 2 Grain yields and increased rates of double cropping rice under different nitrogen fertilizer rates

地力水平 Fertility level	处理 Treatment	早稻 Early rice		晚稻 Late rice	
		产量(kg/hm ²)	增产率(%)	产量(kg/hm ²)	增产率(%)
		Grain yield	Increased rate	Grain yield	Increased rate
低产田 LYF	N0	3720 c	—	3960 d	—
	N60	5800 b	55.9	5995 b	51.4
	N120	6400 a	72.0	6452 a	62.9
	N180	6525 a	75.4	6515 a	64.5
	N240	6540 a	75.8	6500 a	64.1
	N300	6480 a	74.2	5845 b	47.6
	N360	6285 ab	69.0	5795 b	46.3
中产田 MYF	N0	4365 e	—	4260 d	—
	N60	6150 d	40.9	5695 c	33.6
	N120	6945 b	59.1	6480 b	52.1
	N180	7575 a	73.5	7545 a	77.1
	N240	7605 a	74.2	7575 a	77.8
	N300	6900 b	58.1	6660 b	56.3
	N360	6555 c	50.1	6495 b	52.5
高产田 HYF	N0	5025 f	—	5835 e	—
	N60	5655 e	12.5	7200 d	23.4
	N120	6225 d	23.9	7725 c	32.4
	N180	7170 c	42.7	8385 b	43.7
	N240	8265 a	64.5	9150 a	56.8
	N300	7985 ab	58.9	8850 a	51.7
	N360	7750 b	54.2	8715 ab	49.4

注(Note): LYF—Low yield field; MYF—Middle yield field; HYF—High yield field. 同列数据后不同字母表示相同肥力水平土壤不同处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by the different letter within a column are significantly different among the treatments in the same fertility level field at the 0.05 level.

高,其次是中产田,低产田最低。高、中、低三个产量水平下稻田早稻和晚稻产量变化呈现相同的趋势,即,随着施氮量的增加,产量呈先增加后缓慢减少的趋势,施氮处理比 N0 的产量均有显著增加。低产田在施氮量为 N 120 kg/hm² 处理产量达到最大(此后施氮量增加,产量增加不显著),早稻和晚稻比 N0 分别增产了 72.0% 和 62.9%;中产田在施氮量 N 180 kg/hm² 时产量达到最大,早稻和晚稻比 N0 分别增产了 73.5% 和 77.1%;而高产田则是在施氮量为 N 240 kg/hm² 时产量达到最大,早稻和晚稻比 N0 分别增产了 64.5% 和 56.8%。最大增产率

表现为低产田和中产田大于高产田,施用氮肥对水稻产量的影响为中、低产田明显高于高产田。

2.2 不同施氮量对高、中、低产田氮肥贡献率和土壤氮素依存率的影响

由表 3 可以看出随着施氮量的增加,各试验田的氮肥贡献率(NCR)均呈现先升后降的趋势,且低产田和中产田大于高产田。低产田、中产田和高产田的 NCR 分别在施氮量为 N 120、180 和 240 kg/hm² 的处理中达到最大值(此后施氮量增加,NCR 增加不显著),其早稻分别为 41.9%、42.4% 和 39.2%,晚稻分别为 38.6%、43.5% 和 36.2%。

表 3 不同施氮量对稻田氮肥贡献率和土壤氮素依存率的影响(%)
Table 3 Effect of different nitrogen fertilizer rates on NCR and SNDR in paddy fields

地力水平 Fertility level	处理 Treatment	早稻 Early rice		晚稻 Late rice	
		氮肥贡献率 NCR	氮素依存率 SNDR	氮肥贡献率 NCR	氮素依存率 SNDR
低产田 LYF	N0	—	—	—	—
	N60	35.9 b	44.2 a	33.9 b	43.8 a
	N120	41.9 a	39.0 b	38.6 a	38.5 b
	N180	43.0 a	39.6 b	39.2 a	37.9 b
	N240	43.1 a	37.9 b	39.1 a	37.5 b
	N300	42.6 a	38.4 b	32.2 b	37.9 b
	N360	40.8 a	38.9 b	31.7 b	38.2 b
中产田 MYF	N0	—	—	—	—
	N60	29.0 c	61.4 a	25.2 c	62.8 a
	N120	37.1 b	57.9 b	34.3 b	59.7 b
	N180	42.4 a	53.3 c	43.5 a	54.2 c
	N240	42.6 a	54.8 c	43.8 a	56.0 c
	N300	36.7 b	56.3 bc	36.0 b	57.5 bc
	N360	33.4 c	58.8 b	34.4 b	58.6 b
高产田 HYF	N0	—	—	—	—
	N60	11.1 d	78.9 a	19.0 d	76.6 a
	N120	19.3 c	74.7 b	24.5 c	72.5 b
	N180	29.9 b	69.1 c	30.4 b	68.6 c
	N240	39.2 a	60.8 d	36.2 a	62.0 d
	N300	37.1 a	62.9 d	34.1 a	64.5 d
	N360	35.2 a	64.4 d	33.0 ab	66.6 cd

注(Note): LYF—Low yield field; MYF—Middle yield field; HYF—High yield field; NCR—Nitrogen fertilization contribution rate; SNDR—Soil nitrogen dependent rate. 同列数据后不同字母表示相同肥力水平土壤不同处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by the different letter within a column are significantly different among the treatments in the same fertility level field at the 0.05 level.

这一结果与获得最高产量施氮处理是一致的。而土壤氮素依存率(SNDR)各施氮水平下均表现为高产田>中产田>低产田,且随着施氮量的增加,土壤氮素依存率(SNDR)逐渐降低,当达到最高产量施氮量后不再显著下降。

2.3 不同施氮量对高产田、中产田和低产田氮肥利用率的影响

表4和表5显示,无论早稻还是晚稻试验,随氮肥用量增加,高、中、低产田氮肥农学利用率(NAE)均呈逐渐降低的趋势,早稻最高产量施氮量

下NAE分别为22.3、17.8和13.5 kg/kg,晚稻分别为20.8、18.3和13.8 kg/kg。

无论早稻还是晚稻试验,氮肥吸收利用率(NRE)均表现为低产田>中产田>高产田;随氮肥用量的增加,高、中、低产田NRE显著降低,早稻最高产量施氮量下NRE分别为44.2%、33.2%和23.5%,晚稻分别为43.5%、30.5%和23.8%。

氮肥生理利用率(NPE)在低、中、高产田间十分接近,早稻和晚稻均随氮肥用量增加而缓慢下降,总体上看各施氮处理间变化不大;低、中、高产田

表4 不同施氮量下早稻氮肥利用率
Table 4 N use efficiencies of early rice under different nitrogen fertilizer rates

地力水平 Fertility level	处理 Treatment	氮肥农学利用率 NAE (kg/kg)	氮肥吸收利用率 NRE (%)	氮肥生理利用率 NPE (kg/kg)	氮肥偏生产力 PFP _N (kg/kg)
低产田 LYF	N0	—	—	—	—
	N60	34.7 a	56.5 a	43.8 a	96.7 a
	N120	22.3 b	44.2 b	42.6 a	53.3 b
	N180	15.6 c	35.9 c	41.0 a	36.3 c
	N240	11.8 d	31.7 cd	39.5 ab	27.3 d
	N300	9.2 de	28.0 d	38.0 ab	21.6 de
	N360	7.1 e	21.3 e	36.6 b	17.5 e
中产田 MYF	N0	—	—	—	—
	N60	29.7 a	49.7 a	41.0 a	102.5 a
	N120	21.5 b	41.0 b	40.1 a	57.9 b
	N180	17.8 c	33.2 c	39.0 a	42.1 c
	N240	13.5 d	27.0 d	37.1 ab	31.7 d
	N300	8.5 e	23.5 e	35.9 ab	23.0 e
	N360	6.1 e	19.3 f	33.8 b	18.2 f
高产田 HYF	N0	—	—	—	—
	N60	10.5 ab	41.5 a	39.3 a	94.3 a
	N120	10.0 ab	36.2 b	38.0 a	51.9 b
	N180	11.9 a	29.9 c	37.0 a	39.8 c
	N240	13.5 a	23.5 d	35.1 ab	34.4 d
	N300	9.9 ab	19.2 e	33.2 b	26.6 e
	N360	7.6 b	14.8 f	32.0 b	21.5 f

注(Note): LYF—Low yield field; MYF—Middle yield field; HYF—High yield field; NAE—Nitrogen agronomic efficiency; NRE—Nitrogen recovery efficiency; NPE—Nitrogen physiological efficiency; PFP_N—Nitrogen partial factor productivity. 同列数据后不同字母表示相同肥力水平土壤不同处理间在0.05水平差异显著 Values followed by the different letter within a column are significantly different among the treatments in the same fertility level field at the 0.05 level.

表 5 不同施氮量下晚稻氮肥利用率
Table 5 N use efficiencies of late rice under different nitrogen fertilizer rates

地力水平 Fertility level	处理 Treatment	氮肥农学利用率 NAE (kg/kg)	氮肥吸收利用率 NRE (%)	氮肥生理利用率 NPE (kg/kg)	氮肥偏生产力 PFP _N (kg/kg)
低产田 LYF	N0	—	—	—	—
	N60	33.9 a	51.6 a	43.0 a	99.9 a
	N120	20.8 b	43.5 b	41.6 a	53.8 b
	N180	14.2 c	34.5 c	40.1 a	36.2 c
	N240	10.6 d	28.5 d	39.0 ab	27.1 d
	N300	6.3 e	25.7 e	37.5 ab	19.5 de
	N360	5.1 e	20.5 f	36.2 b	16.1 e
中产田 MYF	N0	—	—	—	—
	N60	23.9 a	44.9 a	41.5 a	94.9 a
	N120	18.5 b	36.1 b	40.6 a	54.0 b
	N180	18.3 b	30.5 c	39.4 a	41.9 c
	N240	13.8 c	24.8 d	37.8 ab	31.6 d
	N300	8.0 d	21.5 de	36.0 ab	22.2 de
	N360	6.2 d	17.6 e	34.9 b	18.0 e
高产田 HYF	N0	—	—	—	—
	N60	22.8 a	41.8 a	39.8 a	120.0 a
	N120	15.8 b	34.8 b	38.2 a	64.4 b
	N180	14.2 b	28.5 c	37.1 a	46.6 c
	N240	13.8 b	23.8 d	35.5 ab	38.1 d
	N300	10.1 bc	18.6 de	33.6 b	29.5 e
	N360	8.0 c	14.0 e	32.2 b	24.2 e

注(Note): LYF—Low yield field; MYF—Middle yield field; HYF—High yield field; NAE—Nitrogen agronomic efficiency; NRE—Nitrogen recovery efficiency; NPE—Nitrogen physiological efficiency; PFP_N—Nitrogen partial factor productivity. 同列数据后不同字母表示相同肥力水平土壤不同处理间在 0.05 水平差异显著 Values followed by the different letter within a column are significantly different among the treatments in the same fertility level field at the 0.05 level.

早稻 NPE 的变幅分别为 36.6 ~ 43.8、33.8 ~ 41.0、32.0 ~ 39.3 kg/kg, 晚稻分别为 36.2 ~ 43.0、34.9 ~ 41.5、32.2 ~ 39.8 kg/kg。

氮肥偏生产力(PFP_N)早稻和晚稻均随氮肥用量增加而显著降低,低、中、高产田差异不大,早稻 PFP_N 变幅分别为 17.5 ~ 96.7、18.2 ~ 102.5、21.5 ~ 94.3 kg/kg, 晚稻分别为 16.1 ~ 99.9、18.0 ~ 94.9、24.2 ~ 120.0 kg/kg。

3 讨论

3.1 氮肥用量与水稻产量

水稻合理施氮量的确定历来备受重视,研究结果也因研究区域、稻作类型和土壤肥力水平等差异很大。钱永稳等^[14]对江苏单季稻的研究表明,在高肥力等级下单季稻最高产量的氮肥用量为 N 346.5 kg/hm²,而在中等肥力条件下氮肥用量为 N 268.5 kg/hm²;盛丽萍等^[15]在江苏的研究也指出,单季稻高产田块目标产量 9750 ~ 10500 kg/hm²需施纯氮

330 ~ 360 kg/hm²,中产田块目标产量 9000 ~ 9750 kg/hm² 需施纯氮 300 ~ 330 kg/hm²,低产田块目标产量 8250 ~ 9000 kg/hm² 需施纯氮 210 ~ 300 kg/hm²;姬景红等^[16]研究表明,黑龙江白浆土低肥力区氮肥用量应控制在 N 130 ~ 165 kg/hm²,高肥力区氮肥用量应不超过 130 kg/hm²;王建明^[17]采用“3414”田间试验,得出太湖流域高产水稻的氮肥推荐用量为 N 267 kg/hm²;汪寿根和陈润兴研究表明,氮肥过高虽然提高了有效穗数,却会降低穗实粒数、结实率及千粒重,最终降低产量^[18]。本研究得出,双季稻低、中、高产田的适宜施氮量分别为 N 120、180 和 240 kg/hm²,在此施氮量下水稻子粒产量均达到最大,此后施氮量增加,产量增加不显著或有所降低(表 2)。此外,低产田早稻没有像中产田那样在最佳施氮量下出现典型的产量峰值,可能与低产田采用的水稻品种耐肥性有关,对此需进一步研究验证。

3.2 氮肥用量与氮肥利用率

国际上通用的氮肥利用率定量指标包括氮肥生理利用率、氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力^[2,8],这些指标从不同侧面描述了作物对氮素或氮肥的利用率。我国氮肥利用率通常指氮肥吸收利用率,近十年来,其他三个指标的应用也已引起重视^[19]。研究发现,我国稻田氮肥吸收利用率仅为 30% ~ 35%,较发达国家低 10 ~ 15 个百分点^[3-4];目前我国大田水稻氮肥农学效率一般低于 10 kg/kg,远低于国际上水稻农学利用率 20 ~ 25 kg/kg,在施氮量较高的太湖等稻区,氮肥吸收利用率和农学利用率则更低^[2];氮肥生理利用率则比较稳定,受水稻产量的影响较小。张绍林等根据在太湖地区进行的 26 个田间试验得出,当稻田施氮量由 N 46 kg/hm² 增加到 230 kg/hm² 时,氮肥生理利用率由 45.0 kg/kg 下降至 22.7 kg/kg,早稻、晚稻和单季晚稻的氮肥生理利用率分别为 36.2、41.5 和 33.1 kg/kg^[20]。曾祥明等^[9]研究表明,与农民习惯施肥处理比较,优化施肥处理的氮肥吸收利用率、农学利用率和偏生产力均大幅度提高,高地力稻田土壤氮素依存率高、氮肥贡献率小、施肥增产的潜力小,低地力稻田土壤氮素依存率低、氮肥贡献率大、施肥增产的潜力大。本研究显示,氮肥贡献率呈现低、中产田大于高产田,土壤氮素依存率则表现为高产田 > 中产田 > 低产田,氮肥吸收利用率为低产田 > 中产田 > 高产田,而氮肥农学利用率、氮肥生理利用率和氮肥偏生产力同一施氮量下低、

中、高产田间互有高低。最高产量施氮量下氮肥农学利用率低、中、高产田早稻分别为 22.3、17.8 和 13.5 kg/kg,晚稻分别为 20.8、18.3 和 13.8 kg/kg;最高产量施氮量下氮肥吸收利用率低、中、高产田早稻分别为 44.2%、33.2% 和 23.5%,晚稻分别为 43.5%、30.5% 和 23.8%,而氮肥生理利用率各施氮处理则保持相对稳定,在 32 ~ 44 kg/kg 范围变化。

4 结论

1) 随着施氮量的增加,高、中、低产田早稻和晚稻产量均呈现先增加后减少的趋势,双季稻低、中和高产田的适宜施氮量分别是 N 120、180 和 240 kg/hm²,在此施氮量下水稻子粒产量均达到最大,此后施氮量增加,产量增加不显著或有降低;最大增产率表现为低产田、中产田 > 高产田,施用氮肥对水稻产量的影响为中、低产田明显高于高产田。

2) 随着施氮量的增加,氮肥贡献率均呈现先升高后降低的趋势,且低、中产田大于高产田。低产田、中产田和高产田的氮肥贡献率分别在施氮量为 N 120、180 和 240 kg/hm² 的处理达到最大,而土壤氮素依存率则表现为高产田 > 中产田 > 低产田,且在一定范围内随着施氮量增加,土壤氮素依存率逐渐降低,当达到最高产量施氮量后不再显著减少。

3) 氮肥吸收利用率为低产田 > 中产田 > 高产田,氮肥农学利用率、氮肥生理利用率和氮肥偏生产力同一施氮量下低、中、高产田间互有高低。高、中、低产田氮肥农学利用率、氮肥吸收利用率和氮肥偏生产力随氮肥用量增加而降低,而氮肥生理利用率各施氮处理间变化不大;最高产量施氮量下氮肥农学利用率低、中、高产田早稻分别为 22.3、17.8 和 13.5 kg/kg,晚稻分别为 20.8、18.3 和 13.8 kg/kg;最高产量施氮量下氮肥吸收利用率低、中、高产田早稻分别为 44.2%、33.2% 和 23.5%,晚稻分别为 43.5%、30.5% 和 23.8%。

参考文献:

- [1] FAO. Food and agriculture organization of the United Nations [DB/OL]. Statistical databases, 2004. <http://faostat.fao.org>.
- [2] 彭少兵,黄见良, Roland Buresh, 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. Peng S B, Huang J L, Buresh R *et al.* Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China [J]. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(9): 1095-1103.
- [3] 刘立军,杨立年,孙小淋,等. 水稻实地氮肥管理的氮肥利用

- 效率及其生理原因[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1672-1680.
- Liu L J, Yang L N, Sun X L *et al.* Use efficiency and its physiological mechanism under site-specific nitrogen management in rice[J]. *Acta Agron. Sin.*, 2009, 35(9): 1672-1680
- [4] 李庆逵. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 江西: 江西科学技术出版社, 1997.
- Li Q K. Fertilizer issues in the sustainable development of China agriculture[M]. Jiangxi: Jiangxi Science and Technology Press, 1997.
- [5] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2009, 45(5): 778-783.
- Zhu Z L. Research on soil nitrogen in China[J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2009, 45(5): 778-783.
- [6] Ju X T, Xing G X, Chen X P *et al.* Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 2009, 106(9): 3041-3046.
- [7] De Datta S K, Buresh R J. Integrated nitrogen management in irrigated rice[J]. *Adv. Soil Sci.*, 1989, 10: 143-169.
- [8] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production[J]. *Plant Soil*, 1981, 58: 177-204
- [9] 曾祥明, 韩宝吉, 徐芳森, 等. 不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2886-2894.
- Zeng X M, Han B J, Xu F S *et al.* Effect of optimized fertilization on grain yield of rice and nitrogen use efficiency in paddy fields with different basic soil fertilities[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2012, 45(14): 2886-2894.
- [10] 张福锁, 陈新平, 陈清, 等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- Zhang F S, Chen X P, Chen Q *et al.* Guide book for fertilizer recommendation of main crops in China[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [11] Chuan L M, He P, Jin J Y *et al.* Estimating nutrient uptake requirements for wheat in China[J]. *Field Crops Res.*, 2013, 146: 96-104.
- [12] Chuan L M, He P, Pampolino M F *et al.* Establishing a scientific basis for fertilizer recommendations for wheat in China: Yield response and agronomic efficiency[J]. *Field Crops Res.*, 2013, 140: 1-8.
- [13] Xu X P, He P, Pampolino M F *et al.* Nutrient requirements for maize in China based on QUEFTS analysis[J]. *Field Crops Res.*, 2013, 150: 115-125.
- [14] 钱永稳, 余媛, 刘燕, 等. 不同地力等级下氮肥用量对水稻产量的影响[J]. 现代农业科技, 2012, (22): 19-20.
- Qian Y W, Yu Y, Liu Y *et al.* Effect of different nitrogen applications on grain yield of rice[J]. *Mod. Agric. Sci. Technol.*, 2012, (22): 19-20.
- [15] 盛丽萍, 肖丽霞, 侯立志, 等. 靖江市水稻精确施肥技术试验研究[J]. 上海农业科技, 2011, (5): 108-110.
- Shen L P, Xiao L X, Hou L Z *et al.* Research on precise applications of nitrogen fertilizer for rice in Jingjiang[J]. *Shanghai Agric. Sci. Tech.*, 2011, (5): 108-110.
- [16] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 氮肥调控对白垩土水稻产量效益及氮肥利用效率的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(1): 136-140.
- Ji J H, Li Y Y, Liu S Q *et al.* Effect of different applied nitrogen methods on rice yield and nitrogen utilized efficiency in Albic soil[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2012, 43(1): 136-140.
- [17] 王建明, 何晓艳, 毛华方. 太湖流域高产水稻氮磷钾肥用量的推荐[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(2): 122-124.
- Wang J M, He X Y, Mao H F. Recommendation of N, P and K application for high yielding of rice in Tai lake region[J]. *Jiangsu Agric. Sci.*, 2011, 39(2): 122-124.
- [18] 汪寿根, 陈润兴. 不同氮肥用量对中嘉早 17 水稻产量的影响[J]. 现代农业科技, 2011, (5): 61-63.
- Wang S G, Chen R X. Effect of different nitrogen application on yield of rice cultivar Zhongjiazao 17[J]. *Mod. Agric. Sci. Technol.*, 2011, (5): 61-63.
- [19] 刘立军, 桑大志, 刘翠莲, 等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1456-1461.
- Liu L J, Sang D Z, Liu C L *et al.* Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Sci. Agric. Sin.*, 2003, 36(12): 1456-1461.
- [20] 张绍林, 朱兆良, 徐银华, 等. 关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量[J]. 土壤, 1988, (1): 5-9.
- Zhang S L, Zhu Z L, Xu Y H *et al.* On the optimal rate of application of nitrogen fertilizer for rice and wheat in Tai lake region[J]. *Soils*, 1988, (1): 5-9.