

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2011.00882

西南稻区不同地域和施氮水平对杂交中稻氮、磷、钾吸收累积的影响

徐富贤 熊洪 张林 郭晓艺 朱永川 周兴兵 刘茂

四川省农业科学院水稻高粱研究所, 四川泸州 646000

摘要: 以杂交中稻 II 优 7 号和渝香优 203 为材料, 在西南稻区 4 省(市)的 7 个生态点采用相同的试验方案, 研究了地理位置、土化特性、施氮量对植株氮、磷、钾积累和分配的影响。结果表明, 不同试验地点间稻谷产量、干物质产量、氮磷钾的吸收量、收获指数和每生产 1 000 kg 稻谷的氮、磷、钾需要量(RAGPPG)差异显著或极显著。施肥处理对稻谷产量、干物质产量、氮的吸收量、收获指数和 RAGPPG 中的氮有显著或极显著影响, 对 RAGPPG 中的磷、钾影响不显著。氮、磷、钾收获指数间和 RAGPPG 间均呈极显著正相关, RAGPPG 和收获指数均与稻谷产量水平没有相关性。经逐步回归分析, RAGPPG 和氮、磷、钾收获指数均分别与试验点所处地理位置、施肥水平及土化特性呈极显著线性关系, 决定系数分别为 0.5972~0.8404 和 0.7637~0.8804。可作为制定各地水稻高产高效相应的氮、磷、钾施肥量的科学依据。

关键词: 杂交中稻; 地理位置; 土化特性; 施氮量; 养分利用效率

Characteristics of Nutrient Uptake and Utilization of Mid-season Hybrid Rice under Different Nitrogen Application Rates in Different Locations of Southwest China

XU Fu-Xian, XIONG Hong, ZHANG Lin, GUO Xiao-Yi, ZHU Yong-Chuan, ZHOU Xing-Bin, and LIU Mao

Rice and Sorghum Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Luzhou 646000, China

Abstract: The characteristics of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) uptake and their utilization of mid-season hybrid rice were studied. Field experiment were conducted with mid-season rice combinations II-you 7 and Yuxiangyou 203 grown under the condition of different ecological sites, chemical qualities of soil and the levels of N application in 2009. By using variance, correlation, regression and partial correlation analysis, the results indicated that significant or highly significant differences of grain yield, dry matter production, uptake amount and harvest indexes of N, P, K and N, P, K requirements of above ground plants for producing of 1 000 kg grains (RAGPPG) were found among seven locations. There were significant or highly significant effects of fertilizer application treatments on grain yield, dry matter production, uptake amount, harvest index and N among RAGPPG, but no effect on P and K among RAGPPG. Highly significantly positive correlations were observed among harvest indexes of N, P, K and among RAGPPG, but not between harvest indexes of N, P, K; RAGPPG and grain yield. Multiple stepwise regression analysis showed that harvest indexes of N, P, K and RAGPPG were significantly influenced by different ecological sites, chemical qualities of soil and the levels of N application, and the determination coefficients ranged from 0.5972–0.8404 and 0.7637–0.8804. The results provide a scientific basis for the determination of the efficient amount of N, P, and K applied for full scale rice cultivation.

Keywords: Mid-season hybrid rice; Ecological site; Soil chemical quality; Nitrogen application level; Nutrient use efficiency

西南稻区包括四川、重庆、贵州、云南 4 省(市)的 345 个县(区), 现有稻田面积 460 多万公顷。区内生态条件复杂, 水稻以杂交一季中粳为主, 三系杂交水稻应用面积比例大; 人多地少, 人均稻田占有

面积不足 0.04 hm^2 , 水稻生产水平差异大, 单产变幅 4 500~15 000 kg hm^{-2} , 急需因地制宜的高产高效施肥技术。

提高稻田肥料利用率是国内外长期以来研究的

本研究由西南水稻创新体系建设项目, 国家科技支撑计划粮食丰产科技工程项目(2006BAD02A05), 科技部农业科技成果转化资金项目(2006GB2F000256), 四川省学术带头人培养基金, 四川省水稻育种攻关项目和四川省财政推广等项目资助。

第一作者联系方式: E-mail: Xu6501@163.com, Tel: 13980258165

Received(收稿日期): 2010-09-28; Accepted(接受日期): 2011-01-06.

热点课题^[1-2]。同一水稻品种(组合)在不同生态区种植不仅产量差异较大^[3-4],而且对肥料养分的吸收利用特点也截然不同^[5]。先期研究主要集中于水稻基因型、根系生长、物质积累、生理代谢、植株性状、氮肥种类、平衡施肥、施肥方法、肥水运筹、秸秆还田等与产量、肥料吸收利用效率、维持或提高水稻土生产力的关系方面^[1-20]。如敖和军等^[3]认为采用多次施肥和不同施肥水平对超级杂交稻株体内的氮、磷、钾养分吸收积累影响不明显;殷春渊等^[6]研究结果表明,籽粒产量与氮素阶段吸收量、阶段吸收速率和氮肥利用率呈显著或极显著正相关关系;胡泓等^[7]研究指出,在连续 8 季施氮、磷肥而不施钾肥的严重低钾胁迫条件下,施用钾肥使稻谷产量、水稻钾吸收总量显著增加而钾利用效率显著降低;王强盛等^[8]认为,钾促进了抽穗后氮素转运量和转运率,提高了氮素在不同器官分配量及叶片、穗分配比例,但降低了茎鞘分配比例。以上成果为合理运筹肥料,实现水稻高产、高效栽培起了重要作用。由于受研究条件的制约,以往多在同一生态的相同土壤条件下进行比较研究^[1-20]。关于不同生态条件下土壤基础肥力和施肥水平对杂交中稻的需肥规律、吸收肥料特点及其利用效率的研究文献极少。而在水稻生产实践中,必须针对水稻品种特性并结合当地稻田生态条件、土壤条件确定施肥方案,方能在获得较高产量的同时降低生产成本,提高经济、生态效益^[3,5-8,10,16]。为此,本文设统一的施氮处理和栽

培密度,利用不同生态点各试验处理的产量、肥料利用率差异,研究杂交中稻氮、磷、钾的吸收累积特性与试验地点、土化特性、施氮水平及其互作关系,以期为该生态区杂交中稻的肥料高效利用栽培提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

在西南稻区的四川、重庆、云南、贵州 4 省(市)的 7 个生态点,采用相同的试验方案。7 个试验点的地理位置及土壤化学特性见表 1。

1.2 试验设计

以杂交中稻 II 优 7 号和渝香优 203 为材料,按各地常年高产播种期播种,地膜湿润育秧,中苗移栽,按 30.0 cm × 16.7 cm 规格每穴栽双株。试验设 4 个施氮水平,即在施 P₂O₅ 75 kg hm⁻²和 K₂O 75 kg hm⁻²用作底肥基础上,分别设施纯氮 0、90、150 和 210 kg hm⁻²(其中底肥占 60%、蘖肥 20%和穗肥 20%),分别表示为 N0、N90、N150 和 N210,并以不施任何肥料的空白处理作对照(CK)。采用裂区设计,以肥料为主处理,品种为副处理,共 10 个处理,3 次重复。小区面积 16.5 m²,小区间走道 53.3 cm,作单埂,区组间走道 86.6 cm,作双埂,均用地膜包覆。

1.3 考查项目

用 GPS 定位仪测定各点试验田所处位置的经度、纬度,用 180 K 海拔仪测海拔高度;在本田施肥

表 1 各试验点的地理位置及土壤化学特性
Table 1 Geographic position and chemical quality of soil for tested sites

	贵州小河 Xiaohe, Guizhou	云南宾川 Binchuan, Yunnan	重庆永川 Yongchuan, Chongqing	四川广汉 Guanghan, Sichuan	四川中江 Zhongjiang, Sichuan	四川东坡 Dongpo, Sichuan	四川泸县 Luxian, Sichuan
地理位置 Geographic position							
经度 Longitude (°)	106.39	100.35	105.71	104.11	105.02	103.83	105.23
纬度 Latitude (°)	36.30	25.49	29.75	31.03	30.61	30.12	29.10
海拔 Altitude (m)	1134	1420	297	450	350	420	301
土壤化学特性 Chemical quality of soil							
土壤类型 Soil type	Purple soil	Black soil	Purple soil	Purple soil	Brown soil	Purple soil	Purple soil
有机质 Organic fertilizer (%)	2.940	3.493	2.716	2.373	2.560	2.702	2.611
全氮 Total N (%)	0.198	0.248	0.131	0.165	0.159	0.193	0.139
全磷 Total P (%)	0.110	0.087	0.039	0.068	0.066	0.058	0.042
全钾 Total K (%)	1.10	1.50	1.20	1.15	1.70	1.30	1.35
pH	6.78	7.73	5.98	5.85	6.71	6.32	6.07
有效氮 Available N (mg 100 ⁻¹ g)	13.0	12.3	13.4	18.3	9.0	10.8	11.0
有效磷 Available P (%)	13.0	14.0	8.7	31.0	9.0	33.0	6.3
有效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	206.0	148.0	168.0	44.9	163.0	92.4	81.8

Purple soil: 紫泥; Black soil: 黑泥; Brown soil: 棕泥。

前按梅花五点取样法, 取稻田 0~25 cm 耕作层混合土样 2 kg 并风干; 水稻成熟期各处理每次重复均按小区平均有效茎数取样 1 穴, 分为籽粒、叶片、茎鞘 3 部分, 先在 105℃ 下杀青 30 min, 然后在 80℃ 下烘干至恒重, 以考查植株各部分干物质重。所有土壤和植株样品(三重复混和样)统一送四川省农业科学院分析测试中心, 分析各试验点稻田土化特性(用硫酸-重铬酸钾湿烧法测有机质; 用凯氏法测全氮; 用碱熔-钼锑抗比色法测全磷; 用 NaOH 熔融-火焰光度法测全钾; 用电位法测 pH 值; 用扩散法测有效氮; 用 NaHCO₃ 浸提-钼抗比色法测有效磷; 用 0.5 mol L⁻¹ NaH₄OAc 浸提-火焰光度法测有效钾)和各处理籽粒、叶片、茎鞘的氮、磷、钾含量^[15]。据此计算各处理地上部植株干物质产量, 氮、磷、钾吸收量, 植株养分的收获指数^[2]和每生产 1 000 kg 稻谷地上部植株氮素、磷素、钾素的需要量。成熟期收小区实产, 并按 13.5% 的籽粒含水量折合单产。

1.4 统计分析

首先对各处理籽粒产量, 干物质产量, 氮、磷、钾吸收量和收获指数以及每生产 1 000 kg 稻谷氮、

磷、钾的需要量进行 7 个点与 5 个处理间的联合方差、变异系数与相关分析; 然后利用各试验点、各试验处理的 N、P、K 收获指数和每生产 1 000 kg 稻谷的 N、P、K 需要量(y), 分别与试验点的经度(x₁)、纬度(x₂)、海拔(x₃), 施氮量(x₄), 土化特性的有机质(x₅)、全氮(x₆)、全磷(x₇)、全钾(x₈)、pH 值(x₉)、有效氮(x₁₀)、有效磷(x₁₁)、有效钾(x₁₂)进行偏相关与逐步回归分析。所有计算由 DPS 数据处理系统和 Microsoft Excel 操作系统完成。

2 结果与分析

2.1 试验地点和施肥处理间稻谷产量和氮、磷、钾利用效率的比较

2.1.1 产量 表 2 表明, 不同试验地点和施肥处理间产量差异显著。从试验地点看, II 优 7 号在四川广汉、四川泸县、重庆永川、贵州小河 4 个点间产量差异不显著, 以四川广汉产量最高, 分别比云南宾川、四川中江和四川东坡显著增产; 渝香优 203 则在贵州小河、云南宾川、重庆永川、四川广汉和四川泸县 5 个点间差异不显著, 均分别比四川中江和

表 2 不同地点和施氮量下的收割产量
Table 2 Harvest grain yield under the condition of different N fertilizer rates and tested sites (kg hm⁻²)

地点 Site	不同施氮处理的产量 Harvest grain yield under the different N fertilizer ratio					平均 Mean
	N0	N90	N150	N210	CK	
II 优 7 号 II-you 7						
贵州小河 Xiaohu, Guizhou	7267.05 c	8664.90 b	9491.55 a	9482.70 a	7813.65 c	8543.97 ab
云南宾川 Binchuan, Yunnan	6924.00 b	8182.50 a	8212.50 a	8403.00 a	6798.00 b	7704.00 bc
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	8312.70 b	8729.85 a	9061.05 a	8613.30 ab	8042.70 b	8551.92 ab
四川广汉 Guanghan, Sichuan	8174.85 bc	9161.10 a	9363.60 a	8645.10 b	7697.70 c	8608.47 a
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	6889.65 c	7375.50 b	8219.10 a	7686.00 b	6592.65 c	7352.58 cd
四川东坡 Dongpo, Sichuan	5625.60 b	7288.20 a	7907.85 a	7644.00 a	5251.35 b	6743.40 d
四川泸县 Luxian, Sichuan	8182.65 b	8839.20 a	8761.80 a	8780.85 a	8319.90 b	8576.88 ab
平均 Mean	7339.70 b	8320.18 a	8716.78 a	8464.99 a	7216.56 b	8011.60
渝香优 203 Yuxiangyou 203						
贵州小河 Xiaohu, Guizhou	7115.85 c	8129.25 ab	8515.95 a	8304.90 ab	7402.65 bc	7893.72 a
云南宾川 Binchuan, Yunnan	6786.00 b	7627.50 a	8019.00 a	7914.00 a	7039.50 b	7477.20 ab
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	8232.90 b	8680.80 a	8877.15 a	8380.20 ab	7901.70 b	8414.55 a
四川广汉 Guanghan, Sichuan	7302.90 bc	8442.00 a	8380.95 a	6901.50 c	7779.00 b	7761.27 a
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	5634.45 c	7051.50 b	7760.25 a	7389.00 ab	5432.10 c	6653.46 b
四川东坡 Dongpo, Sichuan	5748.30 b	7386.30 a	7870.95 a	7312.65 a	5331.15 b	6729.87 b
四川泸县 Luxian, Sichuan	8038.20 b	8512.50 a	8497.80 a	8292.15 ab	8026.05 b	8273.34 a
平均 Mean	6979.80 b	7975.69 a	8274.58 a	7784.91 a	6987.45 b	7600.49

N0、N90、N150 和 N210 分别表示施纯氮 0、90、150 和 210 kg hm⁻²。同一行 5 个施肥处理之间比较, 相同小写字母表示差异在 0.05 水平不显著; 同一列地点间平均值比较, 相同小写字母表示差异在 0.05 水平不显著。

N0, N90, N150, and N210 denote N application levels 0, 90, 150, and 210 kg hm⁻², respectively. Values within a column for sites as well within a row for five N application levels followed by the same letter are not significantly different at the 0.05 probability level.

四川东坡显著增产。就不同施肥处理的平均产量而言,2个品种均表现为每公顷施氮90、150、和210 kg 3个处理间差异不显著,均分别比每公顷施氮0 kg和CK两个处理显著增产。因此,从高产经济施肥角度考虑,7个试验点总体以施90 kg hm⁻² N效果为佳,但在不同地点间不尽相同,如II优7号在贵州小河点和渝香优203的四川中江点则以施150 kg hm⁻² N效果为宜,可能与各试验点所处生态条件和土化特性不同有关(表1)。

2.1.2 干物质产量和氮、磷、钾吸收量 II优7号的氮、磷、钾在地上部植株中的分配,除籽粒的钾含量在试验地点和施肥水平间差异不显著外,其他的差异达显著或极显著水平(表3);而渝香优203则均表现为在试验地点间差异显著或极显著,施氮水平间只有氮的差异显著,磷和钾不显著(表4)。说明品种间对氮、磷、钾的吸收特性不尽相同。此外,氮、磷在籽粒中比例较高(II优7号平均分别占地上部总量的65.67%和67.12%,渝香优203平均分别占地上部总量的63.76%和62.00%),钾则在茎鞘中比例较大(II优7号、渝香优203分别平均占地上部总量的70.46%和70.14%),2个品种表现一致。

由表5看出,35个试验点次处理II优7号的平均干物质产量和氮、磷、钾吸收量均分别比渝香优203提高12.78%、13.73%、3.58%和21.23%。各试验地点间干物质产量和氮、磷、钾吸收量差异显著或极显著,施氮水平间除渝香优203的磷、钾不显著外,其他均有显著作用;从试验地点和施肥处理共同作用的影响程度来看,对干物质产量的作用(变异系数15.50%~20.58%)不如对氮、磷、钾吸收量的影响大(变异系数31.09%~51.97%)。2个品种表现一致。

2.1.3 氮素、磷素、钾素收获指数 从表6可见,7个试验点、5个施肥处理共35个点次处理,两个水稻品种N、P、K的收获指数分别为0.6691~0.6853、0.6549~0.6979和0.2047~0.2076。其中,II优7号N、P平均收获指数分别比渝香优203提高2.42%和6.57%;2个品种的K收获指数均在0.20左右,差异极小。N、P收获指数的变异系数(16.92%~21.65%)明显比K收获指数小(47.26%~54.56%)。试验地点间N、P、K收获指数差异极显著,施肥水平间只有渝香优203的P收获指数差异显著;N、P、K收获指数相互间呈极显著正相关,表明提高N、P、K利用效率是一致的;而N、P、K收获指数与稻谷产量间的相关均不显著,说明高产与N、P、K的高效利用

并不矛盾。2个品种的以上结果完全一致。

2.1.4 每生产1000 kg稻谷的氮素、磷素、钾素的需要量 从表7发现,35个试验点次处理,2个水稻品种生产1000 kg稻谷的N、P、K需要量分别为16.37~17.05、2.91~3.06和18.28~20.28 kg, N、P、K比值为1.017~0.191.12~1.19。其中II优7号每生产1000 kg稻谷的N、K需要量分别比渝香优203高4.15%和10.94%,而P需要量则低4.90%;从N、P、K的吸收量的比例看,II优7号K的比例比渝香优203高,P的比例比渝香优203低,表明品种间对N、P、K的吸收有一定差异性。N、P需要量的变异系数,II优7号比渝香优203低,K需要量的变异系数则比渝香优203高。试验地点间每生产1000 kg稻谷的N、P、K需要量差异均极显著;施肥处理间仅N需要量差异达显著或极显著水平,P、K需要量的差异不显著。N、P、K需要量相互间均呈极显著正相关,但与稻谷产量间没有相关性。表明在提高稻谷产量的同时,N、P、K的利用效率不会下降。

2.2 N、P、K利用效率与地理位置、稻田肥力和施氮水平的关系

逐步回归分析结果(表8)表明,肥料养分利用效率与试验点所处地理位置、施肥水平及土化特性有关, F 值为18.75^{**}~76.04^{**},决定系数高达0.7637~0.8804。因此,利用这些回归方程预测N、P、K收获指数具有较高的可信度。从偏相关系数的显著测验结果看,除K的收获指数不受施氮量(x_4)的影响外,两个水稻品种其他肥料养分的收获指数均与施氮水平(x_4)呈负效应,与土壤有机质(x_5)呈正效应。表明减少氮肥施用量、增施有机肥有利于提高N、P、K的利用效率。试验地点位置和土化特性的其他指标对肥料养分的收获指数的作用程度在两个品种间有所差异。如渝香优203的K收获指数与纬度(x_2)呈负效应,II优7号P的收获指数与海拔(x_3)呈正效应;全磷(x_7)与渝香优203的N收获指数呈负效应,分别与P、K的收获指数呈正效应;有效钾(x_{12})则分别与II优7号K收获指数和渝香优203P收获指数呈负效应。

就生产1000 kg稻谷对N、P、K需求量的影响因素而言(表9),2个水稻品种均与试验点的地理位置、稻田土化特性和施氮水平间呈极显著线性关系, F 值15.32^{**}~54.42^{**},决定系数高达0.5972~0.8404。因此,可作为相应的预测模型。从具体影响因子来看,品种间的表现仍不尽相同。其中施氮量(x_4)越高,II优7号和渝香优203每生产1000 kg稻谷的氮素

表 3 II 优 7 号地上部植株中氮、磷、钾的分配

Table 3 N, P, K distribution in different organs of above ground plants under the condition of different N fertilizer rates and tested sites for II-you 7 (kg hm⁻²)

地点 Site	处理 Treatment	N			P			K		
		茎鞘	叶片	籽粒	茎鞘	叶片	籽粒	茎鞘	叶片	籽粒
		Stem	Leaf	Grain	Stem	Leaf	Grain	Stem	Leaf	Grain
贵州小河 Xiaohe, Guizhou	N0	15.02	10.74	85.84	2.24	0.82	15.73	101.8	21.72	29.40
	N90	13.22	12.48	109.34	3.20	0.84	13.76	106.2	23.64	26.45
	N150	19.60	10.58	100.89	3.52	0.90	19.88	135.9	23.88	80.24
	N210	27.18	30.10	113.57	3.46	1.70	16.94	154.6	41.18	33.41
	CK	13.96	13.72	64.67	2.80	0.90	12.32	89.02	30.12	21.79
云南宾川 Binchuan, Yunnan	N0	5.92	3.80	68.01	0.92	0.30	12.49	31.78	7.20	25.60
	N90	9.00	4.94	85.69	1.24	0.42	15.00	42.74	8.92	35.18
	N150	8.50	7.16	105.70	1.64	0.54	18.09	40.18	11.18	36.08
	N210	11.48	6.60	95.48	1.86	0.48	13.38	62.48	13.06	33.75
	CK	5.86	3.26	77.90	0.88	0.54	14.40	33.16	7.04	59.91
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	N0	18.80	11.78	69.85	6.54	1.42	15.52	104.6	17.66	20.22
	N90	23.70	15.98	109.96	7.56	1.94	23.78	123.7	21.96	31.32
	N150	36.04	30.26	153.87	19.78	3.30	29.79	158.2	30.08	35.36
	N210	25.42	20.22	106.02	7.90	2.38	13.78	115.0	28.76	24.68
	CK	20.68	15.26	104.19	7.02	1.36	19.47	116.5	24.58	27.88
四川广汉 Guanghan, Sichuan	N0	16.20	16.44	90.39	2.16	1.52	14.31	102.8	14.50	23.91
	N90	36.02	53.80	102.78	8.10	5.62	18.30	126.5	31.36	24.92
	N150	38.00	48.36	161.74	7.94	5.08	23.29	173.4	34.32	35.11
	N210	31.06	45.46	126.37	6.36	4.52	19.90	114.9	20.82	25.6
	CK	21.62	30.72	115.74	2.78	2.24	17.26	98.18	13.20	30.23
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	N0	40.46	55.94	100.21	6.94	4.84	15.63	181.5	42.54	20.83
	N90	42.78	67.50	118.67	8.32	5.66	20.69	299.2	73.40	30.71
	N150	66.24	68.94	103.94	10.52	7.32	19.19	349.3	87.32	28.25
	N210	57.54	83.98	107.38	9.96	7.02	16.06	327.6	81.96	22.34
	CK	41.54	62.58	96.70	7.64	5.06	16.13	232.6	57.00	19.03
四川东坡 Dongpo, Sichuan	N0	15.90	28.64	65.70	6.62	2.38	13.28	77.84	20.62	24.27
	N90	15.56	23.54	77.55	5.08	2.20	14.76	72.08	17.42	29.34
	N150	22.54	20.62	77.16	6.02	2.26	13.19	106.3	19.64	20.77
	N210	21.60	28.72	103.79	5.90	3.32	18.37	83.48	19.56	26.42
	CK	18.26	9.74	92.50	3.50	1.00	15.15	78.86	10.58	25.31
四川泸县 Luxian, Sichuan	N0	16.38	16.36	94.88	5.92	1.74	18.26	96.28	15.50	29.92
	N90	23.16	19.88	102.91	7.20	2.14	19.15	100.0	15.54	31.39
	N150	27.60	24.9	107.98	8.76	2.72	18.74	92.66	17.02	30.75
	N210	30.36	36.86	84.84	9.08	3.86	20.72	92.92	21.52	39.41
	CK	18.04	24.20	98.21	6.54	2.40	18.39	80.58	20.46	28.91
平均值 Mean		24.44	27.54	99.44	5.88	2.59	17.29	122.94	21.01	30.53
CV (%)		56.16	75.98	21.36	62.37	75.00	21.17	61.53	73.26	37.17
地点间 <i>F</i> 值 FVS		38.19**	39.40**	3.28*	9.78**	29.50**	3.06*	40.95**	31.72**	1.47
施氮水平间 <i>F</i> 值 FVNAL		10.16**	4.96**	4.62**	3.81*	5.63**	3.44*	4.81**	3.51*	1.39

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。缩写同表 2。

FVS: *F*-value for sites; FVNAL: *F*-value for N application levels. * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 4 渝香优 203 地上部植株氮、磷、钾积累量在叶片、茎鞘和籽粒中的分配

Table 4 N, P, K distribution in different organs of above ground plants under the condition of different N fertilizer rates and tested sites for Yuxiangyou 203 (kg hm⁻²)

地点 Site	处理 Treatment	N			P			K		
		茎鞘 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	茎鞘 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain	茎鞘 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain
贵州小河 Xiaohe, Guizhou	N0	14.12	11.14	70.70	3.20	0.78	15.01	98.26	20.38	31.24
	N90	15.06	13.74	67.32	3.96	1.20	14.81	87.94	32.68	28.57
	N150	13.90	15.12	92.79	1.54	0.98	15.47	84.36	23.70	28.96
	N210	32.54	35.54	100.72	5.08	2.82	16.94	150.48	58.78	30.72
	CK	17.08	14.84	71.52	2.48	1.18	12.28	96.30	28.52	24.29
云南宾川 Binchuan, Yunnan	N0	7.26	7.60	63.04	2.06	0.70	13.68	39.72	13.56	31.79
	N90	8.42	5.36	77.87	1.44	0.54	16.07	40.40	9.50	33.71
	N150	7.54	4.40	100.00	1.80	0.50	11.88	42.76	9.40	40.97
	N210	9.24	7.50	87.14	2.54	0.80	8.99	47.36	15.74	34.04
	CK	6.36	4.08	79.57	3.52	0.58	16.33	34.84	6.66	31.68
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	N0	20.16	17.06	73.36	7.96	3.00	18.55	112.06	29.24	22.09
	N90	24.84	19.76	88.71	9.66	3.24	15.89	133.10	27.54	28.92
	N150	25.72	18.18	101.68	8.50	2.44	16.19	108.56	19.28	26.71
	N210	19.74	16.88	114.24	9.34	2.06	9.51	97.44	18.46	23.53
	CK	19.22	14.12	94.50	5.12	1.84	20.69	97.98	20.86	30.33
四川广汉 Guanghan, Sichuan	N0	13.46	18.26	66.11	2.50	1.64	14.33	92.50	19.88	20.53
	N90	26.00	37.64	108.11	4.56	3.44	16.06	105.58	23.86	19.99
	N150	27.56	41.50	119.09	5.28	4.64	23.16	150.20	39.18	32.66
	N210	31.80	43.76	81.95	8.50	5.06	13.07	103.28	24.04	17.64
	CK	16.98	22.82	73.84	3.54	2.42	16.92	85.48	17.78	24.30
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	N0	26.08	37.06	86.88	5.96	4.12	14.9	165.06	41.36	21.05
	N90	42.32	62.48	92.43	24.28	17.02	20.33	170.66	42.94	26.40
	N150	62.34	101.7	81.13	16.68	11.22	11.68	210.64	52.06	17.80
	N210	61.96	89.54	97.84	12.38	8.22	16.61	171.92	41.38	18.76
	CK	38.46	56.74	91.23	8.56	5.88	13.41	170.34	39.74	16.51
四川东坡 Dongpo, Sichuan	N0	10.42	21.72	52.03	3.96	1.84	10.54	48.64	12.50	18.74
	N90	14.50	15.80	54.99	6.90	2.02	10.89	65.78	13.52	18.00
	N150	16.40	16.60	68.21	3.00	1.88	12.34	81.46	17.86	20.56
	N210	19.10	21.70	72.64	4.56	3.52	11.65	60.18	14.04	19.72
	CK	9.10	9.86	62.32	5.76	1.18	11.35	49.26	12.74	19.89
四川泸县 Luxian, Sichuan	N0	17.66	16.58	79.26	4.86	2.22	15.24	81.78	17.56	24.47
	N90	23.80	22.78	98.74	7.52	3.16	22.18	98.22	18.00	30.95
	N150	28.30	24.74	96.70	9.06	3.08	17.11	98.06	17.50	29.32
	N210	25.18	20.02	95.55	6.52	2.26	17.31	71.78	11.54	34.48
	CK	25.46	23.90	109.04	7.64	3.10	28.32	106.02	19.88	41.28
平均值 Mean		22.23	26.01	84.89	6.29	3.16	15.42	98.81	23.76	26.30
CV (%)		59.82	85.26	19.81	72.36	103.57	26.33	44.46	53.05	25.35
地点间 F 值 FVS		19.58**	20.02**	5.51**	8.46**	10.49**	3.19*	30.31**	11.32**	9.27**
施氮水平间 F 值 FVNAL		5.10**	2.81*	5.26**	1.98	1.68	1.30	1.48	0.64	0.82

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。缩写同表 2。

FVS: F-value for sites; FVNAL: F-value for N application levels. * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 5 不同地点和施氮量下地上部植株干物质产量和氮、磷、钾吸收量

Table 5 Dry matter production and N, P, K uptake amount of above ground plants under the condition of different N fertilizer rates and tested sites (kg hm⁻²)

地点 Site	处理 Treatment	II 优 7 号 II-you 7				渝香优 203 Yuxiangyou 203			
		干物质 Dry matter	N	P	K	干物质 Dry matter	N	P	K
贵州小河 Xiaohe, Guizhou	N0	14473.73	111.60	18.79	152.92	13186.95	95.96	18.99	149.88
	N90	14324.10	135.04	17.80	156.29	14274.23	96.12	19.97	149.19
	N150	18533.55	131.07	24.30	240.02	13436.33	121.81	17.99	137.02
	N210	20189.40	170.85	22.10	229.19	18733.05	168.80	24.84	239.98
	CK	12997.43	92.35	16.02	140.93	13336.58	103.44	15.94	149.11
云南宾川 Binchuan, Yunnan	N0	9366.53	77.73	13.71	64.58	11191.95	77.90	16.44	85.07
	N90	12319.13	99.63	16.66	86.84	11461.28	91.65	18.05	83.61
	N150	12748.05	121.36	20.27	87.44	13925.10	111.94	14.18	93.13
	N210	12867.75	113.56	15.72	109.29	12728.10	103.88	12.33	97.14
	CK	10433.85	87.02	15.82	100.11	11571.00	90.01	20.43	73.18
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	N0	12498.68	100.43	23.48	142.48	14284.20	110.58	29.51	163.39
	N90	16009.88	149.64	33.28	176.98	15062.25	133.31	28.79	189.56
	N150	19511.10	220.17	52.87	223.64	14932.58	145.58	27.13	154.55
	N210	14583.45	151.66	24.06	168.44	13127.10	150.86	20.91	139.43
	CK	16099.65	140.13	27.85	168.96	14573.48	127.84	27.65	149.17
四川广汉 Guanghan, Sichuan	N0	15491.18	123.03	17.99	141.21	12728.10	97.83	18.47	132.91
	N90	17067.23	192.60	32.02	182.78	15231.83	171.75	24.06	149.43
	N150	22762.95	248.10	36.31	242.83	19610.85	188.15	33.08	222.04
	N210	18304.13	202.89	30.78	161.32	13466.25	157.51	26.63	144.96
	CK	17266.73	168.08	22.28	141.61	14583.45	113.64	22.88	127.56
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	N0	11760.53	196.61	27.41	244.87	10044.83	150.02	24.98	227.47
	N90	18583.43	228.95	34.67	403.31	14204.40	197.23	61.63	240.00
	N150	20937.53	239.12	37.03	464.87	16378.95	245.17	39.58	280.50
	N210	20428.80	248.90	33.04	431.90	14673.23	249.34	37.21	232.06
	CK	16229.33	200.82	28.83	308.63	13097.18	186.43	27.85	226.59
四川东坡 Dongpo, Sichuan	N0	13296.68	110.24	22.28	122.73	10004.93	84.17	16.34	79.88
	N90	14423.85	116.65	22.04	118.84	11800.43	85.29	19.81	97.30
	N150	12907.65	120.32	21.47	146.71	11989.95	101.21	17.22	119.88
	N210	17097.15	154.11	27.59	129.46	13336.58	113.44	19.73	93.94
	CK	13196.93	120.50	19.65	114.75	10633.35	81.28	18.29	81.89
四川泸县 Luxian, Sichuan	N0	13121.12	127.62	25.92	141.70	12303.17	113.50	22.32	123.81
	N90	13661.76	145.95	28.49	146.93	14070.74	145.32	32.86	147.17
	N150	13755.53	160.48	30.22	140.43	13366.50	149.74	29.25	144.88
	N210	15167.99	152.06	33.66	153.85	11387.46	140.75	26.09	117.80
	CK	12823.86	140.45	27.33	129.95	15844.29	158.40	39.06	167.18
平均值 Mean		15292.59	151.42	25.76	180.48	13559.45	133.14	24.87	148.88
CV (%)		20.58	31.28	31.09	51.97	15.50	32.66	37.92	36.21
地点间 F 值 FVS		8.33**	22.60**	8.49**	34.16**	2.95*	22.10**	7.05**	19.81**
施氮水平间 F 值 FVNAL		7.62**	10.13**	5.15**	5.49**	2.91*	9.33**	1.50	1.27

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。缩写同表 2。

FVS: *F*-value for sites; FVNAL: *F*-value for N application levels. * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 6 不同地点和施氮处理下氮素、磷素、钾素的收获指数
Table 6 N, P, K harvest indexes under the condition of different N fertilizer rates and tested sites

地点 Site	处理 Treatment	II 优 7 号 II-you 7			渝香优 203 Yuxiangyou 203		
		N	P	K	N	P	K
贵州小河 Xiaohe, Guizhou	N0	0.7698	0.8376	0.1945	0.7374	0.7910	0.2104
	N90	0.8102	0.7735	0.1713	0.7011	0.7423	0.1935
	N150	0.7703	0.8186	0.3357	0.7624	0.8603	0.2133
	N210	0.6656	0.7671	0.1480	0.5977	0.6827	0.1302
	CK	0.7010	0.7696	0.1567	0.6922	0.7710	0.1650
云南宾川 Binchuan, Yunnan	N0	0.8753	0.9112	0.3979	0.8097	0.8325	0.3752
	N90	0.8604	0.9006	0.4066	0.8500	0.8906	0.4047
	N150	0.8713	0.8927	0.4141	0.8936	0.8383	0.4413
	N210	0.8412	0.8515	0.3105	0.8393	0.7298	0.3520
	CK	0.8955	0.9105	0.5994	0.8843	0.7998	0.4343
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	N0	0.6963	0.6619	0.1438	0.6643	0.6295	0.1374
	N90	0.7355	0.7152	0.1792	0.6663	0.5530	0.1547
	N150	0.6996	0.5645	0.1602	0.6992	0.5978	0.1749
	N210	0.6998	0.5738	0.1485	0.7579	0.4561	0.1708
	CK	0.7442	0.6999	0.1673	0.7399	0.7489	0.2053
四川广汉 Guanghan, Sichuan	N0	0.6528	0.6423	0.1466	0.6339	0.7008	0.1492
	N90	0.5348	0.5726	0.1385	0.6304	0.6683	0.1359
	N150	0.7354	0.7960	0.1712	0.6766	0.7765	0.1566
	N210	0.6238	0.6474	0.1606	0.5215	0.4921	0.1239
	CK	0.6894	0.7753	0.2154	0.6506	0.7402	0.1925
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	N0	0.5107	0.5706	0.0874	0.5802	0.5974	0.0947
	N90	0.5195	0.5978	0.0785	0.4700	0.3315	0.1122
	N150	0.4361	0.5194	0.0632	0.3326	0.2964	0.0657
	N210	0.4328	0.4867	0.0540	0.3938	0.4477	0.0831
	CK	0.4828	0.5606	0.0640	0.4906	0.4828	0.0752
四川东坡 Dongpo, Sichuan	N0	0.5970	0.5971	0.1998	0.6191	0.6459	0.2365
	N90	0.6656	0.6706	0.2488	0.6456	0.5509	0.1870
	N150	0.6422	0.6152	0.1440	0.6747	0.7173	0.1736
	N210	0.6743	0.6667	0.2060	0.6412	0.5915	0.2119
	CK	0.7682	0.7716	0.2225	0.7673	0.6216	0.2448
四川泸县 Luxian, Sichuan	N0	0.7441	0.7052	0.2131	0.6991	0.6836	0.1996
	N90	0.7059	0.6730	0.2156	0.6803	0.6758	0.2123
	N150	0.6737	0.6211	0.2209	0.6467	0.5859	0.2044
	N210	0.5590	0.6165	0.2580	0.6797	0.6644	0.2945
	CK	0.7000	0.6737	0.2244	0.6892	0.7257	0.2488
平均值 Mean		0.6853	0.6979	0.2076	0.6691	0.6549	0.2047
CV (%)		17.68	16.92	54.56	18.50	21.65	47.26
地点间 <i>F</i> 值 FVS		26.05**	21.01**	20.21**	22.75**	13.48**	48.49**
施氮水平间 <i>F</i> 值 FVNAL		1.73	1.88	0.91	1.39	2.99*	0.86
与 P 的相关系数 <i>r</i> with P		0.8893**		0.7843**	0.8001**		0.8392**
与 K 的相关系数 <i>r</i> with K		0.7828**			0.6722**		
与产量的相关系数 <i>r</i> with yield		0.0592	-0.0173	-0.0806	0.1732	0.1100	0.1349

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。缩写同表 2。

FVS: *F*-value for sites; FVNAL: *F*-value for N application levels. * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 7 每生产 1 000 kg 稻谷地上部植株氮素、磷素、钾素的需要量
Table 7 N, P, K requirements (kg) of above ground plants for producing of 1 000 kg grains (kg)

地点 Site	处理 Treatment	II 优 7 号 II-you 7				渝香优 203 Yuxiangyou 203			
		N	P	K	N:P:K	N	P	K	N:P:K
贵州小河 Xiaohu, Guizhou	N0	12.76	2.15	17.48	1.00:0.17:1.37	12.78	2.53	19.96	1.00:0.20:1.56
	N90	17.65	2.33	20.43	1.00:0.13:1.16	12.32	2.56	19.12	1.00:0.21:1.55
	N150	12.53	2.32	22.94	1.00:0.19:0.83	14.17	2.09	15.94	1.00:0.15:1.12
	N210	17.13	2.22	22.98	1.00:0.13:1.34	18.91	2.78	26.88	1.00:0.15:1.42
	CK	14.22	2.47	21.70	1.00:0.17:1.53	14.30	2.20	20.62	1.00:0.15:1.44
云南宾川 Binchuan, Yunnan	N0	11.20	1.97	9.30	1.00:0.18:0.83	10.25	2.16	11.19	1.00:0.21:1.09
	N90	11.29	1.89	9.84	1.00:0.17:0.87	10.84	2.13	9.88	1.00:0.20:0.91
	N150	12.74	2.13	9.18	1.00:0.17:0.72	10.35	1.31	8.61	1.00:0.13:0.83
	N210	12.72	1.76	12.24	1.00:0.14:0.96	11.55	1.37	10.80	1.00:0.12:0.94
	CK	10.88	1.98	12.51	1.00:0.18:1.15	9.92	2.25	8.06	1.00:0.23:0.81
重庆永川 Yongchuan, Chongqing	N0	14.22	3.32	20.17	1.00:0.23:0.42	14.29	3.81	21.11	1.00:0.27:1.48
	N90	15.09	3.36	17.85	1.00:0.22:1.18	15.91	3.44	22.62	1.00:0.22:1.42
	N150	18.44	4.43	18.73	1.00:0.24:1.02	16.16	3.01	17.16	1.00:0.19:1.06
	N210	17.58	2.79	19.52	1.00:0.16:1.11	19.00	2.63	17.56	1.00:0.14:0.92
	CK	14.38	2.86	17.34	1.00:0.20:1.21	14.19	3.07	16.56	1.00:0.22:1.17
四川广汉 Guanghan, Sichuan	N0	20.22	2.96	19.79	1.00:0.15:0.98	17.04	3.00	20.11	1.00:0.18:1.18
	N90	22.07	3.67	20.94	1.00:0.17:0.95	20.30	2.84	17.66	1.00:0.14:0.87
	N150	13.73	2.01	15.76	1.00:0.15:1.15	13.64	2.58	18.53	1.00:0.19:1.36
	N210	20.36	3.09	16.19	1.00:0.15:0.80	22.82	3.86	21.00	1.00:0.17:0.92
	CK	16.54	2.19	13.93	1.00:0.13:0.84	13.42	2.70	15.06	1.00:0.20:1.12
四川中江 Zhongjiang, Sichuan	N0	23.89	3.33	29.75	1.00:0.14:1.25	18.10	3.01	27.44	1.00:0.17:1.52
	N90	20.98	3.18	36.95	1.00:0.15:1.76	21.24	6.64	25.85	1.00:0.31:1.22
	N150	23.62	3.66	45.91	1.00:0.15:1.94	29.26	4.72	33.48	1.00:0.16:1.14
	N210	30.96	4.11	53.71	1.00:0.13:1.73	28.43	4.24	26.47	1.00:0.15:0.93
	CK	22.37	3.21	34.38	1.00:0.14:1.54	20.79	3.11	25.27	1.00:0.15:1.22
四川东坡 Dongpo, Sichuan	N0	15.74	3.18	17.53	1.00:0.20:1.11	15.15	2.94	14.38	1.00:0.19:0.95
	N90	14.99	2.83	15.27	1.00:0.19:1.02	14.06	3.27	16.04	1.00:0.23:1.14
	N150	18.22	3.25	22.22	1.00:0.18:1.22	15.56	2.65	18.43	1.00:0.17:1.18
	N210	16.76	3.00	14.08	1.00:0.18:0.84	16.53	2.87	13.69	1.00:0.17:0.83
	CK	15.10	2.46	14.38	1.00:0.16:0.95	12.16	2.74	12.25	1.00:0.23:1.01
四川泸县 Luxian, Sichuan	N0	16.06	3.26	17.83	1.00:0.20:1.11	15.61	3.07	17.03	1.00:0.20:1.09
	N90	17.51	3.42	17.63	1.00:0.20:1.01	17.67	4.00	17.90	1.00:0.23:1.01
	N150	19.65	3.70	17.20	1.00:0.19:0.88	19.22	3.75	18.60	1.00:0.20:0.97
	N210	16.85	3.73	17.05	1.00:0.22:1.01	20.29	3.76	16.98	1.00:0.19:0.84
	CK	18.30	3.56	16.93	1.00:0.19:0.93	16.76	4.13	17.69	1.00:0.25:1.06
平均值 Mean		17.05	2.91	20.28	1.00:0.17:1.19	16.37	3.06	18.28	1.00:0.19:1.12
CV (%)		24.98	23.69	47.04		27.97	32.07	30.91	
地点间 <i>F</i> 值 FVS		14.51**	10.52**	25.30**		16.50**	7.80**	22.28**	
施氮水平间 <i>F</i> 值 FVNAL		2.74*	0.84	1.08		6.27**	1.32	1.09	
与 P 的相关系数 <i>r</i> with P		0.7126**		0.8154**		0.6949**		0.7852**	
与 K 的相关系数 <i>r</i> with K		0.5112**				0.6297**			
与产量相关系数 <i>r</i> with yield		0.0200	0.1249	-0.0387		0.1775	0.0424	0.1568	

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。缩写同表 2。

FVS: *F*-value for sites; FVNAL: *F*-value for N application levels. * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively. Abbreviations are the same as given in Table 2.

表 8 氮素、磷素、钾素的收获指数(y)与试验点的地理位置、稻田基础肥力和施氮水平的回归分析(x)
Table 8 Regression analysis between N, P, K harvest index (y) and geographic position, basic fertility of soil for tested sites and N application level (x)

品种 Variety	回归方程 Regression equation	R ²	F 值 F-value	偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t-test value	
II 优 7 号 II-you 7	$y_N=0.0570-0.0035x_4+0.1542x_5+0.0050x_{10}$	0.8545	60.70**	$r(y, x_4)=-0.3859$	2.33*	
				$r(y, x_5)=0.9168$	12.78**	
				$r(y, x_{10})=0.2849$	1.65	
	$y_P=0.2898+0.0001x_3-0.00401x_4+0.0712x_5+0.0061x_{10}$	0.8281	36.14**	$r(y, x_3)=0.6135$	4.26**	
				$r(y, x_4)=-0.4220$	2.55*	
				$r(y, x_5)=0.5442$	3.55**	
				$r(y, x_{10})=0.3217$	1.86	
				$y_K=-0.5683+0.1109x_5+0.0782x_9-0.0018x_{11}-0.0001x_{12}$	0.8131	32.62**
	$r(y, x_9)=0.5839$	3.94**				
	$r(y, x_{11})=-0.2958$	1.70				
渝香优 203 Yuxiangyou 203	$y_N=0.1044-0.0035x_4+0.1682x_5-0.7996x_7$	0.8387	53.74**	$r(y, x_4)=-0.3691$	2.21*	
				$r(y, x_5)=0.9098$	12.20**	
				$r(y, x_7)=-0.3311$	2.12*	
		$y_P=0.1699-0.0069x_4+0.1781x_5-1.5228x_6+3.5063x_7-0.0009x_{12}$	0.7637	18.75**	$r(y, x_4)=-0.4926$	3.05**
					$r(y, x_5)=0.7833$	6.79**
					$r(y, x_6)=-0.3855$	2.25*
	$y_K=0.2998-0.0161x_2+0.0887x_5+0.8184x_7$	0.8804	76.04**	$r(y, x_{12})=-0.5098$	3.19**	
	$r(y, x_2)=-0.7415$			6.15**		
	$r(y, x_5)=0.8251$			8.13**		
				$r(y, x_7)=0.3915$	2.37*	

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

F-value and t-test value followed by the * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

表 9 每生产 1 000 kg 稻谷的氮素、磷素、钾素的需要量(y, kg)与试验点的地理位置、稻田基础肥力和施氮水平(x)的回归分析
Table 9 Regression analysis between N, P, K requirements (y, kg) for producing of 1 000 kg grains and geographic position, basic fertility of soil for tested sites and N application level (x)

品种 Variety	回归方程 Regression equation	R ²	F 值 F-value	偏相关系数 Partial correlation coefficient	t 检验值 t-test value			
II 优 7 号 II-you 7	$y_n=30.7418+0.16853x_4-4.9105x_5+2.9838x_8$	0.7815	36.96**	$r(y, x_4)=0.4281$	2.64*			
				$r(y, x_5)=-0.8531$	9.10**			
				$r(y, x_8)=0.2732$	1.58			
	$y_p=3.9058-0.0013x_3+0.0171x_4-0.0183x_{11}$	0.7050	24.70**	$r(y, x_3)=-0.8262$	8.17**			
				$r(y, x_4)=0.2477$	1.42			
				$r(y, x_{11})=-0.4489$	2.80**			
				$y_k=34.7385-13.5865x_5+4.5322x_9+0.0601x_{12}$	0.8404	54.42**	$r(y, x_5)=-0.9013$	11.58**
							$r(y, x_9)=0.4724$	2.98**
				$r(y, x_{12})=0.5875$	4.04**			
渝香优 203 Yuxiangyou 203	$y_n=35.5963+0.3244x_4-5.2291x_5-0.0787x_{11}$	0.8210	47.41**	$r(y, x_4)=0.6836$	5.22**			
				$r(y, x_5)=-0.8828$	10.47**			
				$r(y, x_{11})=-0.3863$	2.33*			
	$y_p=7.3890-0.8971x_5-8.6455x_7-0.0204x_{11}$	0.5972	15.32**	$r(y, x_5)=-0.6815$	5.18**			
				$r(y, x_7)=-0.2883$	1.68			
				$r(y, x_{11})=-0.3180$	1.87			
	$y_k=29.1373+0.3141x_2-6.5897x_5+0.0361x_{12}$	0.8089	43.75**	$r(y, x_4)=0.3179$	1.87			
	$r(y, x_5)=-0.8607$			9.41**				
	$r(y, x_{12})=0.5750$			3.91**				

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。

F-value and t-test value followed by the * and ** denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

需要量均越高。表明过多施用氮肥,降低了氮素的利用效率。土壤有机质含量(x_5)越高,II优7号每生产1000 kg稻谷的氮素、钾素需要量越低,渝香优203的氮素、磷素、钾素需要量越少。因此增施有机肥可同时提高氮素、磷素、钾素的利用效率。

3 讨论

3.1 生产单位稻谷产量需要的肥料养分量及其与产量水平的关系

探明植株对氮、磷、钾的积累量是指导高效施肥的重要基础。世界各国每生产1000 kg稻谷所需的氮量为12.9~29.0 kg^[21]。凌启鸿等^[23]认为是18.8~22.9 kg,绝大多数认为是20~22 kg,生产单位稻谷需氮量与产量呈抛物线关系,并用21.0 kg作为10500 kg hm⁻²产量水平下需氮量的参数值。敖和军等^[3]对超级稻的研究结果表明,每生产1000 kg稻谷所需的氮、磷、钾量分别为16.5~22.4、2.61~3.54和14.35~24.30 kg,随着产量水平提高,其量呈下降趋势,即产量水平越高,其肥料利用率越高。而鲁如坤^[13]、Witt等^[14]则指出,随着产量水平的提高,生产单位籽粒产量的氮磷钾的吸收量也随之提高,即其肥料利用率降低。本文以普通杂交中稻的研究结果显示,西南区每生产1000 kg稻谷所需的氮、磷、钾量分别为16.37~17.05、2.91~3.06和18.28~20.28 kg,品种间有一定差异,其需要量与稻谷产量水平无相关性。可见水稻生产单位稻谷产量需要的肥料养分量与其产量水平的关系,不同地区有明显的差异,可能与品种特性和栽培管理水平不同有关。各地应因地、因种制宜地提出相应的水稻高产高效施肥量。

3.2 植株对氮、磷、钾的吸收比例及利用效率

明确植株对氮、磷、钾积累量的比例是实施平衡施肥的依据。Ying等^[5]指出,高产水稻地上部植株对氮、磷、钾积累量的比例为1.00 0.12~0.18 1.00~1.10。凌启鸿等^[23]认为其吸收比例为1.00 0.45 1.20。敖和军等^[3]的研究表明,超级杂交稻地上部植株该比例为1.00 0.13~0.19 0.87~1.46。本研究结果为1.00 0.17~0.19 1.12~1.19。其中,磷比例与Ying等^[5]、敖和军等^[3]提出的相近,但比凌启鸿等^[23]提出的低57.78%~72.22%;钾比例与Ying等^[5]、凌启鸿等^[23]提出的接近,并在敖和军等^[3]提出的变幅范围内,只是没有后者的变幅大。目前西南地区水稻大面积生产上高产技术提出的氮、磷、钾

的施用比例为1.0 0.5 0.5或1.0 0.5 1.0,与本研究结果对比,其磷施用比例均高出163.2%~194.1%,钾施用比例则分别低124.0%~138.0%和12.0%~19.0%。综合以上研究结果,认为西南地区水稻生产的氮、磷、钾的施用比例以1.0:0.2:1.1为佳。

先期对水稻氮^[1-6,9-11]和钾^[7-8,12-14]利用效率的研究相对较多,同时研究氮、磷、钾利用率及其关系的极少。本研究结果表明,氮、磷、钾收获指数间相互呈极显著正相关关系,表明提高氮肥利用率与提高磷、钾肥利用率是协调一致的,而且氮肥对稻谷贡献效应最大^[1-2]。因此,建议在以后开展新品种肥料利用率栽培途径的研究中,只需提出氮高效利用的栽培管理措施即可,无需单独研究提高磷、钾肥利用效率的措施,可大大提高研究工作效率和加快新品种的推广进程。

3.3 西南区杂交中稻肥料养分高效利用的施肥略策

本研究结果表明,试验地点的纬度、海拔、土化特性及施氮水平对氮、磷、钾的利用效率有不同程度的影响,品种间表现有一定差异。总体表现为减少施氮量、增施有机肥有利于提高杂交中稻对N、P、K的利用效率。不同地点间肥料利用效率的差异主要受土化特性的影响,地理位置对肥料利用率的影响可能是其所处位置的温光差异对产量的作用所致^[24],但仅显著影响部分养分利用效率,如渝香优203的K收获指数与纬度呈负效应,II优7号P的收获指数与海拔呈正效应。在大面积生产上,可利用表9的回归方程,再结合各地水稻生产的目标产量,制定各地水稻高产高效相应的氮、磷、钾施肥量。

4 结论

不同试验地点间稻谷产量,干物质产量,氮磷钾的吸收量、收获指数和每生产1000 kg稻谷的氮、磷、钾需要量(RAGPPG)差异显著或极显著。施肥水平对稻谷产量,干物质产量,氮的吸收量、收获指数和RAGPPG中的N有显著或极显著影响,对RAGPPG中的磷、钾影响不显著。氮、磷、钾收获指数间和RAGPPG的氮、磷、钾需要量间呈均极显著正相关,RAGPPG的氮、磷、钾需要量和收获指数均与稻谷产量水平没有相关性。RAGPPG的氮、磷、钾需要量和氮、磷、钾收获指数均分别与试验点所处地理位置、施肥水平及土化特性呈极显著线性关系,决定系数分别为0.5972~0.8404和0.7637~0.8804。

致谢: 马均、郑家国、涂士华、李经勇、周维佳、杨丛党等专家参加了部分试验工作, 特此深表谢意。

References

- [1] Peng S-B(彭少兵), Huang J-L(黄见良), Zhong X-H(钟旭华), Yang J-C(杨建昌), Wang G-H(王光火), Zou Y-B(邹应斌), Zhang F-S(张福锁), Zhu Q-S(朱庆生), Roland B, Christian W, Buresh R, Witt C. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2002, 35(9): 1095–1103 (in Chinese with English abstract)
- [2] Xu F-X(徐富贤), Xiong H(熊洪), Xie R(谢戎), Zhang L(张林), Zhu Y-C(朱永川), Guo X-Y(郭晓艺), Yang D-J(杨大金), Zhou X-B(周兴兵), Liu M(刘茂). Advance of rice fertilizer-nitrogen use efficiency. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2009, 15(5): 1215–1225 (in Chinese with English abstract)
- [3] Ao H-J(敖和军), Wang S-H(王淑红), Zou Y-B(邹应斌), Peng S-B(彭少兵), Cheng Z-W(程兆伟), Liu W(刘武), Tang Q-Y(唐启源). Characteristics of nutrient uptake and utilization of super hybrid rice under different fertilizer application rates. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2008, 41(10): 3123–3132 (in Chinese with English abstract)
- [4] Ying J F, Peng S B, He Q R, Yang C D, Vispers R M, Cassman K G. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments: I. Determinants of grain and dry matter yields. *Field Crops Res*, 1998, 57: 71–84
- [5] Ying J F, Peng S B, Yang G Q, Zhou N, Vispers R M, Cassman K G. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments: II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency. *Field Crops Res*, 1998, 57: 85–93
- [6] Yin C-Y(殷春渊), Wei H-Y(魏海燕), Zhang Q(张庆), Dai Q-G(戴其根), Huo Z-Y(霍中洋), Xu K(许轲), Zhang S-F(张胜飞), Hang J(杭杰), Ma Q(马群). Differences and correlations in grain yield, N uptake and utilization between medium-maturing *indica* and *japonica* rice under different N fertilizer levels. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(2): 348–355 (in Chinese with English abstract)
- [7] Hu H(胡泓), Wang G-H(王光火), Zhang Q(张奇). Potassium uptake and use efficiency of rice under low-potassium stress field conditions. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2004, 18(6): 527–532 (in Chinese with English abstract)
- [8] Wang Q-S(王强盛), Zhen R-H(甄若宏), Ding Y-F(丁艳锋), Zhu Y(朱艳), Wang S-H(王绍华), Cao W-X(曹卫星). Effect of potassium application rates on nitrogen absorption and utilization of different types of rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2009, 35(4): 704–710 (in Chinese with English abstract)
- [9] Liu L-J(刘立军), Wang Z-Q(王志琴), Sang D-Z(桑大志). Effect of nitrogen management on rice yield and grain quality. *J Yangzhou Univ* (Agric & Life Sci) (扬州大学学报·农业与生命科学版), 2002, 23(3): 46–51 (in Chinese with English abstract)
- [10] Ye Q-B(叶全宝), Zhang H-C(张洪程), Wei H-Y(魏海燕), Zhang Y(张瑛), Wang B-F(汪本福), Xia K(夏科), Huo Z-Y(霍中洋), Dai Q-G(戴其根), Xu K(许轲). Effects of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency and yield of rice under different soil conditions. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2005, 31(11): 1422–1428 (in Chinese with English abstract)
- [11] Yan J(晏娟), Yin B(尹斌), Zhang S-L(张绍林), Shen Q-R(沈其荣), Zhu Z-L(朱兆良). Effect of nitrogen application rate on nitrogen uptake and distribution in rice. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2008, 14(5): 835–839 (in Chinese with English abstract)
- [12] Liao Y-L(廖育林), Zheng S-X(郑圣先), Lu Y-H(鲁艳红), Xie J(谢坚), Nie J(聂军), Xiang Y-W(向艳文). Effects of long-term K fertilization on rice yield and soil K status in reddish paddy soil. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2009, 15(6): 1372–1379 (in Chinese with English abstract)
- [13] Hu H(胡泓), Wang G-H(王光火). Influence of potassium fertilizer on nutrient accumulation and physiological efficiency of hybrid rice. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2003, 9(2): 184–189 (in Chinese with English abstract)
- [14] Zhang Y-P(张玉屏), Cao W-X(曹卫星), Zhu D-F(朱德峰), Zhou A-Z(周爱珠), Lin X-Q(林贤青), Chen H-Z(陈惠哲), Zhou Z-C(周正春). Effects of potassium fertilizer rate on growth and yield formation of super high yielding rice in red paddy soil. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2009, 23(6): 633–638 (in Chinese with English abstract)
- [15] Zou C-M(邹长明), Qin D-Z(秦道珠), Xu M-G(徐明岗), Shen H-P(申华平), Wang B-R(王伯仁). Nitrogen, phosphorous and potassium uptake characteristics of rice and its relationship with grain yield. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 2002, 25(4): 6–10 (in Chinese with English abstract)
- [16] Zhang Q-C(张奇春), Wang G-H(王光火). Yield of inbred rice and hybrid rice and soil nutrient balance under long-term fertilization. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2006, 12(3): 340–345 (in Chinese with English abstract)
- [17] Li C-L(李成亮), He Y-Q(何园球), Wang Y-L(王艳玲), Liu X-L(刘晓利). Effect of N, P and K m fertilizer application on rice grain yield in red paddy soil. *Chin J Rice Sci* (中国水稻科学), 2007, 21(2): 179–184 (in Chinese with English abstract)
- [18] Wu Z-H(吴照辉), He L-Y(贺立源), Yan C(严昶), Zuo X-D(左雪冬). Effects of low phosphorus stress on nitrogen and potassium absorbed and accumulated in rice shoot. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2009, 15(2): 311–316 (in Chinese with English abstract)
- [19] Wang X-D(王玄德), Shi X-J(石孝均), Song G-Y(宋光煜). Effects of long-term rice straw returning on the fertility and productivity of purplish paddy soil. *Plant Nutr Fert Sci* (植物营养与肥料学报), 2005, 11(3): 302–307 (in Chinese with English abstract)
- [20] Xu G-W(徐国伟), Yang L-Y(杨立年), Wang Z-Q(王志琴), Liu L-J(刘立军), Yang J-C(杨建昌). Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on absorption and utilization of nitrogen, phosphorus, and potassium in rice plants.

- Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(8): 1424–1434 (in Chinese with English abstract)
- [21] Lu R-K(鲁如坤). The Analysis Method of Soil and Agro-Chemistry (土壤农业化学分析方法). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. pp 146–165, 308–311 (in Chinese)
- [22] Witt C, Dobermann A, Abdulrachman S, Gines H C, Wang G H, Nagarajan R, Satawatananont S, Son T T, Tan P S, Tiem L V, Simbahan G C, Oik D C. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Res*, 1999, 63: 113–118
- [23] Ling Q-H(凌启鸿). Theory and Technology of Precise and Quantitative Cultivation in Rice (水稻精确定量栽培理论与技术). Beijing: China Agriculture Press, 2007. pp 93–101 (in Chinese)
- [24] Xu F-X(徐富贤), Xiong H(熊洪). Relation between temperatures in film and out film for lowland seedling and upland in thinner film of rice and its applying. *J Sichuan Agric Univ* (四川农业大学学报), 1998, 16(2): 60–63 (in Chinese with English abstract)