

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.01.017

杨彩玲,郑士英,刘立龙,等. 不同耕作方式下水稻品种吉优 716 产量及氮素吸收利用对氮肥运筹的响应[J]. 广西植物,2013,33(1):96-101
Yang CL,Zheng TY,Liu LL,et al. Response of yield,nitrogen uptake in Jiyou716 to nitrogen management under different tillage patterns[J]. Guihaia, 2013,33(1):96-101

不同耕作方式下水稻品种吉优 716 产量及氮素吸收利用对氮肥运筹的响应

杨彩玲¹, 郑士英¹, 刘立龙¹, 赵荣德², 徐世宏³, 江立庚^{1*}

(1. 广西大学农学院, 南宁 530004; 2. 桂林市农业科学研究所, 广西桂林 541006; 3. 广西农业技术推广总站, 南宁 530022)

摘要: 研究在不同耕作方式和氮肥运筹模式下水稻产量形成及氮素吸收利用特点,为不同耕作方式下水稻氮肥的合理运筹提供理论依据。以吉优 716 为试验材料进行大田试验,研究常耕与免耕 2 种耕作方式下 3 种施氮量(N0、N1、N2)和两种施氮方式(F1、F2)水稻产量及氮素吸收利用的变化。结果表明:免耕水稻和常耕水稻产量、干物质积累量和氮素积累利用对施氮水平运筹的响应基本一致,但对施氮方式运筹响应呈现不一致。随着施氮量的增加,水稻产量、干物质积累量和氮素积累量也随之升高,而干物质生产效率和氮肥农学利用率下降,穗部干物质比例随着施氮量的增加有减少的趋势;免耕和常耕下,重施穗肥有利于提高干物质积累量和氮素积累量;产量响应表现相反,免耕下重施穗肥有利于产量的提高,而常耕下重施基肥有利于产量的提高。

关键词: 耕作方式; 施氮量; 施氮方式; 氮素利用; 产量; 水稻

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)01-0096-06

Response of yield, nitrogen uptake in Jiyou716 to nitrogen management under different tillage patterns

YANG Cai-Ling¹, ZHENG Tu-Ying¹, LIU Li-Long¹,
ZHAO Rong-De², XU Shi-Hong³, JIANG Li-Geng^{1*}

(1. College of Agricultural, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. Guilin Agricultural Technology Institute, Guilin 541006, China; 3. Guangxi Agricultural Technology Extension General Station, Nanning 530022, China)

Abstract: Characteristics of rice yield formation and nitrogen uptake under different soil tillage patterns and nitrogen fertilizer management patterns were studied, which provided theoretical basis for rice rational fertilizer application under different tillage systems. With Jiyou716 as materials for field experiments, change of yield, nitrogen uptake in rice at three N rates(N0, N1, N2) and two fertilizing patterns(F1, F2) under no-tillage and conventional tillage were studied. The results indicated that response of yield and nitrogen uptake of rice to nitrogen amount were basically similar under no-tillage and conventional tillage, but inconsistent to nitrogen fertilizing pattern. With N rate increasing, the yield, dry matter accumulation and N accumulation of rice increased, and N production efficiency, dry matter harvest index and N agronomy efficiency decreased. Heavy earring fertilizer was better for N accumulation and dry matter accumulation increase under no-tillage and conventional tillage. But inconsistent response for grain yield.

* 收稿日期: 2012-05-15 修回日期: 2012-07-14

基金项目: 国家现代农业产业技术体系广西水稻创新团队专项; 广西科学基金重点项目(0991010Z); 广西科技攻关项目(桂科攻 10100004-6)
作者简介: 杨彩玲(1985-), 女, 在读博士, 山西交城县人, 研究方向为植物营养与施肥, (E-mail)yclmail2005@sina.com。

* 通讯作者: 江立庚, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为作物生理生态, (E-mail)jiang@gxu.edu.cn。

Heavy earing fertilizer was in favor of yield increase under no-tillage while heavy basic fertilizer and tillering fertilizer was better for yield increase under conventional tillage.

Key words: tillage pattern; N-fertilizer; N-fertilizer mode; nitrogen utilization; yield; rice

合理施用氮肥是提高粮食产量和品质, 维持农田氮素平衡, 保持土壤可持续利用的有效途径。随着水稻 (*Oryza sativa*) 品种改良和产量水平的提高, 施氮量不断加大, 高产栽培中的氮肥施用量已达 300~350 kg/hm², 甚至高达 400~450 kg/hm², 不仅造成氮素的浪费, 而且污染环境 (刘立军等, 2002)。因此, 降低施氮量, 科学运筹氮肥, 提高氮肥利用率显得尤为重要。单玉华等 (2000) 研究表明, 水稻后期施用的氮肥利用率高于前期, 适当增加穗肥比率可以提高氮肥的吸收利用率与生产效率。许仁良等 (2005) 研究表明, 在 0~43.4% 的范围内, 前期氮肥利用率随施氮比例的增加而增加, 超过 43.4% 时, 前期施氮比例再增加而氮肥利用率表现为下

降。戴平安等 (2006) 的研究认为穗肥比例为 25%~45% 均可取得较高产量。虽然前人研究众多, 却尚未形成一致性结论。在常规耕作方式下研究水稻氮肥施用量及施用方式的研究较多 (陈盈等, 2010; 张欣等, 2010; 张学军等, 2010; Ju *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2011; Khalid *et al.*, 2011; 陈爱忠等, 2011; 张满利等, 2010; 陈平平等, 2011; 粟学俊等, 2004), 对免耕水稻的氮肥施用机理及运筹方式研究较少, 综合免耕和常耕两种耕作方式的研究则更加少。为此, 笔者进行田间试验, 在常耕与免耕两种耕作模式下研究水稻产量及氮素吸收利用对氮肥运筹的响应, 以为不同耕作制度下水稻生产的氮肥运筹提供理论依据。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physical-chemical characteristics of soils

年份 Year	pH	有机质 (g/kg) Organic matter	全氮 (g/kg) Total nitrogen	全磷 (g/kg) Total phosphorus	全钾 (g/kg) Total potassium	碱解氮 (mg/kg) Alkali-hydrolyzable nitrogen	速效磷 (mg/kg) Rapidly available phosphorus	速效钾 (mg/kg) Rapidly available potassium
2011	6.33	24.17	1.56	0.68	12.32	117.15	16.86	109.50
2010	6.33	26.28	1.58	0.73	10.12	144.73	22.04	80.76

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点与材料

试验于 2010 年晚稻和 2011 年早稻在广西大学试验基地进行。试验田土壤的基本理化性状如表 1。试验水稻品种为三系杂交水稻吉优 716。

1.2 试验设计

设耕作方式、施氮水平和施氮方式 3 个因素。耕作方式设常耕 (CT) 和免耕 (NT) 2 种耕作方式; 每种耕作方式设高氮 (N1, 225 kg/hm²) 和低氮 (N2, 75 kg/hm²) 2 个施氮水平; 每种施氮量下设重施基肥 (F1, 基肥、分蘖肥和穗肥比为 7:2:1) 和重施穗肥 (F2, 基肥、分蘖肥和穗肥比为 6:1:3) 2 个处理。为了测定氮肥利用率, 每种耕作方式下设 1 个不施氮肥的对照处理。试验共 10 个处理, 即免耕高氮肥重基肥 (NTN1F1)、免耕高氮肥重穗肥 (NTN1F2)、免耕低氮肥重基肥 (NTN2F1)、免耕低氮肥重穗肥 (NTN2F2)、免耕不施氮肥 (NTN0)、

常耕高氮肥重基肥 (CTN1F1)、常耕高氮肥重穗肥 (CTN1F2)、常耕低氮肥重基肥 (CTN2F1)、常耕低氮肥重穗肥 (CTN2F2)、常耕不施氮肥 (CTN0) 10 个处理, 完全随机区组设计, 重复 3 次, 共计 30 个小区。小区面积为 4m×6m=24 m², 四周作高 30 cm、宽 20 cm 田基, 田基盖塑料并入土 30 cm 以防肥水渗透。2010 年晚稻 7 月 24 日播种, 8 月 9 日抛栽。2011 年早稻 3 月 28 日播种, 4 月 16 日抛栽。育秧方式为秧盘育秧, 晚稻、早稻抛栽秧龄为 16 d、19 d, 抛秧密度为 28 万蔸/hm², 抛栽双苗。小区中间开一条宽 20 cm、深 20 cm 的小沟, 以便水分管理。

除氮肥外, 每小区施过磷酸钙 450 kg/hm²、氯化钾 225 kg/hm²。全部磷肥做基肥一次施用, 钾肥按基肥 60%、分蘖肥 40% 比例施用。

按水气平衡方法进行水分管理, 在水稻水分敏感期即分蘖期、孕穗期、抽穗期、灌浆期进行湿润灌溉, 其它生育期实行旱管, 水稻全生育期不建立水层。

1.3 测定内容与方法

水稻拔节期、抽穗期和成熟期在田间调查基础

上,每小区取代表性植株 5 穴,分茎鞘、叶片和穗 3 部分烘干称重粉碎,用 PE Spectrum One 近红外光谱仪测定植株含氮率。成熟期另取代表性 5 穴行考种有效穗数、每穗粒数、千粒重和结实率(2010 年用常规方法测定结实率和千粒重,2011 年用水漂法测定)。产量按小区单打单收,晒干称重。

氮素吸收与利用效率采用以下方法计算:氮素积累总量(Total nitrogen accumulation, TNA):成熟期单位面积植株氮素积累量的总和。干物质积累总量(Total dry matter accumulation, TDMA):成熟期单位面积植株干物质积累量的总和。氮素干物质生产效率(Nitrogen dry matter production efficiency, NDMPE):单位面积植株干物质总量与单位面积植株氮素积累总量的比值,即每克氮所生产的地上部分干物质的重量。氮肥农学利用率(Nitrogen agronomy efficiency, NAE):施肥处理稻谷产量和对应不施肥对照产量之差与氮素施用量之比。干物质收获指数(Dry matter harvest index, DMHI):成熟期单位面积植株穗部干物质的重量占植株干物质总重量的比值。

1.4 数据处理

采用 Excel 软件进行常规数据处理、SPSS11.5

软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 产量及构成因素对氮肥运筹的响应

表 2 和表 3 表明,常耕和免耕下两季水稻产量和产量结构对施氮水平的响应一致,产量和有效穗数随施氮量的增加而增加。不施氮处理 N0 水稻产量及有效穗数显著低于施氮处理 N1 和 N2。免耕条件下,N1 产量和有效穗数比 N2 分别高 6.85%、14.5%;常耕条件下,N1 产量和有效穗数比 N2 分别高 3.53%、4.84%。免耕条件下不同施氮量对产量和有效穗数的影响较常耕条件下大。在不同施氮量下,每穗粒数、穗长、结实率和千粒重各处理间变化不稳定。

相同施氮水平下,免耕和常耕下水稻产量和产量结构对施氮方式的响应不同。免耕条件下 F2 产量和有效穗数比 F1 分别高 2.6%、2%;常耕条件下与免耕条件下呈相反趋势,F2 产量和有效穗数比 F1 分别低 5.79%、3.21%。分析表明,免耕条件下重施穗肥有利于产量和产量结构增加,而常耕条件下重施基肥有利于产量和产量结构增加。

表 2 2010 晚季不同施氮量和施氮方式下水稻产量及产量结构
Table 2 The yield and yield components of rice under different N-fertilizer amount and N-fertilizer pattern in the late season of 2010

耕作方式 Tillage pattern	施氮水平 N rate	施氮方式 Fertilizing pattern	产量 Yield (kg/hm ²)	有效穗数 Valid panicles (×10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数 Grains per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	穗长 Panicle length (cm)	结实率 Seed set (%)	
NT	N1	F1	5227.9ab	282.8ab	129.2ab	26.30a	26.7ab	80.6a	
		F2	5376.3a	303.3a	126.6ab	26.05a	26.2ab	82.0a	
	N2	F1	4991.0ab	254.3bc	132.8a	26.02a	27.0a	88.1a	
		F2	4974.5ab	237.6cd	136.5a	25.89a	27.4a	85.4a	
	N0			4389.8b	210.3d	108.8b	26.37a	25.5b	85.1a
CT	N1	F1	6166.4a	297.3a	121.7a	26.12a	26.6a	86.0a	
		F2	5997.0a	297.3a	117.2a	25.95a	26.3a	81.8a	
	N2	F1	6107.9a	281.0a	122.5a	25.73a	25.4a	87.3a	
		F2	5820.1a	280.5a	112.8a	27.21a	26.5a	85.4a	
	N0			4430.3b	224.3b	115.4a	26.03a	26.0a	85.4a

注:同一列数字后无相同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lower letters and different capital letters after number indicate significant difference at $P<0.05$. The same below.

2.2 干物质积累、吸氮量及利用率对氮肥运筹的响应

表 4 和表 5 表明,免耕和常耕条件下,干物质和氮素积累量对氮肥运筹的响应一致。干物质和氮素积累量都随着施氮量的增加而增加、重施穗肥各处理的干物质和氮素积累量高于重施基肥处理。对照 N0 处理干物质和氮素积累量大多情况下显著低于 N1、N2 处理,N1 处理干物质和氮素积累量比 N2

处理高,但差异不显著性。施氮方式间比较,F2 处理干物质积累量较 F1 高,免耕、常耕方式下干物质积累量分别高 10.36%、9.21%。F2 氮素积累量高于 F1,部分达显著性差异。分析表明,施氮量增加和重施穗肥都可以提高水稻氮素积累量和干物质积累量。

两季水稻在免耕和常耕两种耕作方式下氮素干

物质生产效率、干物质收获指数和氮肥农学利用率对施氮水平的响应一致,NDMPE 和 NAE 随着施氮量的增加呈下降趋势,N1 比 N2 分别下降 30.3% 和 58.07%,处理间差异达显著水平。而 NAE 在常耕和免耕两种耕作方式下对施氮方式的响应呈现不

同趋势,常耕下 F1 高于 F2,而在免耕方式下 F2 高于 F1。说明增加施肥量使干物质生产效率和氮肥农学利用率降低;免耕条件下重施穗肥有利于氮肥农学利用率的提高,而常耕下重施基肥有利于氮肥农学利用率的提高。

表 3 2011 早季不同施氮量和不同施氮方式下水稻产量及产量结构
Table 3 The yield and yield components of rice under different N-fertilizer amount and N-fertilizer pattern in the early season of 2011

耕作方式 Tillage pattern	施氮水平 N rate	施氮方式 Fertilizing pattern	产量 Yield (kg/hm ²)	有效穗数 Valid panicles (×10 ⁴ /hm ²)	每穗粒数 Grains per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	穗长 Panicle length (cm)	结实率 Seed set (%)	
NT	N1	F1	6862.1a	277.2ab	125.2ab	29.33a	28.9a	70.8a	
		F2	7061.5a	297.8a	138.1a	28.56a	29.3a	74.4a	
	N2	F1	6256.4b	251.1b	137.3a	29.19a	29.2a	70.0a	
		F2	6596.7ab	247.8b	127.5ab	28.84a	28.8a	67.6a	
	CT	N0		5154.4c	210.5c	104.8b	28.44a	27.5a	72.1a
		N1	F1	7346.3a	285.2a	120.0a	29.7a	29.1a	68.9a
F2			6670.2b	263.7ab	140.9a	28.5a	29.4a	64.0a	
N2		F1	6847.1b	268.8a	133.2a	29.5a	28.7a	65.3a	
	F2	6440.8b	257.1ab	117.4a	29.9a	28.8a	67.9a		
	N0		5140.9c	228.2b	113.7a	28.8a	27.9a	63.9a	

表 4 2010 年晚季不同施氮量和施氮方式下水稻干物积累量、氮素吸收与利用效率
Table 4 Dry matter accumulation, N uptake and utilization efficiency of rice under different N-fertilizer amount and N-fertilizer management in the late season of 2010

耕作方式 Tillage pattern	施氮水平 N rate	施氮方式 Fertilizing pattern	干物质积累总量 TDMA (kg/hm ²)	干物质收获指数 DMHI (%)	氮素积累总量 TNA (kg/hm ²)	氮素干物质生产效率 NDMPE (g/g)	氮肥农学利用率 NAE (g/g)	
NT	N1	F1	13973.0a	56.67a	150.8ab	9.51a	3.73b	
		F2	15103.4a	56.06a	171.7a	8.59a	5.78ab	
	N2	F1	11449.8ab	60.34a	134.9ab	9.25a	12.20a	
		F2	12311.8ab	60.36a	139.6ab	9.08a	11.97a	
	CT	N0		8883.1b	63.47a	103.7b	8.86a	—
		N1	F1	14691.2a	56.74a	154.4a	9.27a	9.20ab
F2			15024.0a	55.52a	175.7a	8.75a	6.97b	
N2		F1	13493.3a	61.05a	149.0a	8.94a	22.40a	
	F2	15652.2a	59.06a	169.1a	8.83a	18.55ab		
	N0		7923.5b	64.05a	89.5b	8.61a	—	

两季水稻在免耕和常耕两种耕作方式下干物质收获指数对施氮水平响应一致,随着施氮量的增加干物质收获指数呈下降趋势。免耕方式下 N1 比 N0 下降 7.84%,N2 比 N1 下降 5.06%。常耕方式下 N1 比 N0 下降 8.72%,N2 比 N1 下降 3.88%。免耕和常耕下物质收获指数对施氮方式响应不一致,免耕方式下 F2 较 F1 高 0.81%,常耕方式下 F1 较 F2 高 5.2%,处理间差异不显著。分析表明,施氮量增加降低了干物质在穗中的分配比例;重施穗肥能在一定程度上提高免耕水稻干物质在穗中分配比例,而重施基肥较大程度提高常耕水稻干物质在穗中分配比例。

3 结论与讨论

本研究表明,免耕水稻和常耕水稻产量、干物质积累量和氮素积累利用对施氮水平运筹的响应基本一致,但对施氮方式运筹响应呈现不一致。随着施氮量的增加,水稻产量、干物质积累量和氮素积累量也随之升高,而干物质生产效率和氮肥农学利用率下降,与江立庚等(2004)、曾勇军等(2008)的研究一致。穗部干物质比例随着施氮量的增加有减少的趋势,与冯跃华等(2004)研究一致。在我国南方红壤发育成的水稻田中,免耕和常耕下,重施穗肥有利

于提高干物质积累量和氮素积累量。但是产量响应表现相反,免耕下重施穗肥有利于产量的提高,而常耕下重施基肥有利于产量的提高。

施氮量增加,水稻产量、干物质积累量和氮素积累量都随之增加。有效穗数与产量极显著相关,有效穗数的增加是产量增加重要因素之一。干物质积

表 5 2011 早季不同施氮量和施氮方式下水稻干物质积累量、氮素吸收与利用效率

Table 5 Dry matter accumulation, N uptake and utilization efficiency of rice under different N-fertilizer amount and N-fertilizer management in the early seasons of 2011

耕作方式 Tillage pattern	施氮水平 N rate	施氮方式 Fertilizing pattern	干物质积累总量 TDMA (kg/hm ²)	干物质收获指数 DMHI (%)	氮素积累总量 TNA (kg/hm ²)	氮素干物质 生产效率 NDMPE (g/g)	氮肥农学利用率 NAE (g/g)
NT	N1	F1	16274.4a	49.26a	161.8a	10.01a	7.59b
		F2	16716.6a	49.70a	169.9a	9.90a	8.48b
	N2	F1	14794.6a	50.43a	107.5ab	11.16a	14.71a
		F2	15287.9a	52.13a	149.0a	10.84a	19.24a
CT	N0		9335.8b	57.46a	84.0b	10.32a	—
	N1	F1	17280.5a	52.15a	146.9a	10.73a	9.81b
		F2	15517.2a	49.69a	163.4a	9.74a	6.81b
	N2	F1	13496.2a	54.07a	148.1a	11.06a	22.78a
		F2	14994.0a	49.03a	144.4a	10.21a	17.36a
	N0		10674.7b	58.06a	105.1b	11.29a	—

累量和氮素积累量之间存在正相关,结论较一致;氮素干物质生产效率是评价氮素生理利用效率的重要指标,由物质生产特性和氮素积累特性共同决定(江立庚等,2004),而氮肥运筹对氮素积累的影响大于对物质积累的影响可能是高氮水平或重施穗肥下水稻氮素效率下降的根本原因。而氮肥农学利用率下降的可能原因是,增加的氮肥不能显著增加氮素积累量,并使氮在籽粒中的分配比例下降(曾勇军等,2008)。

相同施氮量下,产量和有效穗数对施氮方式响应不同可能原因是穗部干物质比例对施氮方式响应不同。免耕条件下,重施穗肥各处理干物质中穗比例略高于重施基肥,对产量影响不大,所以产量与干物质表现一致即重施穗肥各处理产量和干物质较高。而常耕条件下重施基肥干物质中穗比例高于重施穗肥,且幅度较大。重施基肥各处理干物质穗比例增加影响大于干物质积累的影响可能是产量和干物质表现不一致的原因。因此施用氮肥时,要选择合适的施氮量和施氮方式,以保证穗部的干物质分配比例的降低不至于影响穗部干物质积累,从而达到高产的目的。

参考文献:

Chen AZ(陈爱忠), Pan XH(潘晓华), Wu JF(吴建富), *et al.*, 2011. Effects of nitrogen fertilizer planning on yield and nitrogen absorption and utilization of late rice varieties with different growth duration(氮肥运筹对不同生育期晚稻品种产量及氮素吸收利用的影响)[J]. *Crop Res(作物研究)*, 25(1):4-6, 10

Chen J, Huang Y, Tang YH. 2011. Quantifying economically and ecologically optimum nitrogen rates for rice production in south-eastern China[J]. *Agric Ecosys & Environ*, 142:3-4

Chen PP(陈平平), Zhang XP(张小平), Wu XJ(吴小京), *et al.*, 2011. Effects of nitrogen fertilizer planning mode on yield formation and nitrogen utilization efficiency of luliangyou(996 氮肥运筹对陆两优 996 产量形成与氮利用效率的影响)[J]. *Chin Agric Sci Bull(中国农业通报)*, 27(5):238-42

Chen Y(陈盈), Sui GM(隋国民), Zhang ML(张满利), *et al.*, 2010. Effect of different nitrogen amount on yield of liaoxing 1 and liaoyou 5238(不同氮肥水平对辽星 1 号和辽优 5238 产量的影响)[J]. *Li-aoning Agric Sci(辽宁农业科学)*, (1):10-13

Dai PA(戴平安), Zheng SX(郑圣先), Li XB(李学斌), *et al.*, 2006. Effect of proportion of nitrogen fertilizer for promoting panicle development on nitrogen uptake, grain amino acid contents and grain yield of two-line hybrid rice(穗肥氮施用比例对两系杂交水稻氮素吸收、籽粒氨基酸含量和产量的影响)[J]. *Chin J Rice Sci(中国水稻)*, 20(1):79-83

Feng YH(冯跃华), Zou YB(邹应斌), Ao HJ(敖和军), *et al.*, 2004. Impact of different fertilizer application on growth and yield formation of transplanted rice under zero tillage and conventional tillage conditions(不同施氮量对免耕/翻耕移栽稻生长及产量形成的影响)[J]. *Crop Res(作物研究)*, (3):145-150

Hakeem KR, Ahmad A, Iqbal M, *et al.*, 2011. Nitrogen-efficient rice cultivars can reduce nitrate pollution[J]. *Environ Sci & Poll Res Int*, 18(7):1 184-1 193

Jiang LG(江立庚), Cao WX(曹卫星), Gan XQ(甘秀芹), *et al.*, 2004. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice(不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量吸收利用及其产量和品质的影响)[J]. *Chin Agric Sci(中国农业科学)*, 37(4):490-496

Liu LJ(刘立军), Wang ZQ(王志琴), Sang DZ(桑大志), *et al.*, 2002. Effects of nitrogen fertilizer planning on grain yield and

quality in rice(氮肥运筹对水稻产量及稻米品质的影)[J]. *J Yangzhou Univ*(扬州大学学报), **23**(3):46-50

Ju XT, Kou CL, Christie P, *et al.* 2007. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environ Poll*, **45**:497-506

Shan YH(单玉华), Wang YL(王余龙), Huang JY(黄建晔), *et al.* 2000. Effect of nitrogen fertilizer applied at middle and late growing stages on ¹⁵N uptake and distribution in rice(中后期追施¹⁵N对水稻氮素积累与分配的影响)[J]. *Jiangsu Agric Res*(江苏农业研究), **21**(4):18-21

Su XJ(粟学俊), Wei PX(韦鹏霄), Lu ZR(吕志仁). 2004. Study on the combining ability of the yield-traits in hybrid rice(杂交水稻产量性状配合力研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **24**(1):91-96

Xu RL(许仁良), Dai QG(戴其根), Wang XQ(王秀芹), *et al.* 2005. Effect of different N-fertilizer, N-fertilizer management and N-fertilizer planning on N use efficiency in Rice(氮肥施用量、施用时期及运筹对水稻氮素利用率影响研究)[J]. *Jiangsu Agric Res*(江苏农业科学), (2):19-22

Zhang XJ(张学军), Zhao Y(赵营), Chen XQ(陈晓群), *et al.* 2010. Effect of different water and N supply on the yield, N uptake and water/N use efficiency of rice(不同水氮供应对水稻产量、吸氮量及水氮利用效率的影响)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农业通报), **26**(4):126-131

Zhang X(张欣), Shi LL(施利利), Liu XY(刘晓宇), *et al.* 2010. Effect of different fertilizer treatments on rice yield, grain quality and protein fraction content(不同施肥处理对水稻产量、食味品质及蛋白质组分的影响)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **26**(4):104-108

Zhang ML(张满利), Chen Y(陈盈), Hou SG(侯守贵), *et al.* 2010. Effect of nitrogen management on the yield and N use efficiency of rice(氮肥运筹对水稻产量和氮肥利用率的影响)[J]. *Crops*(作物杂志), **6**:46-50

Zeng YJ(曾勇军), Shi QH(石庆华), Pan XH(潘晓华), *et al.* 2008. Effects of nitrogen application amount on characteristics of nitrogen utilization and yield formation in high yielding early hybrid rice(施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **34**(8):1 409-1 416

(上接第 95 页 Continue from page 95)

of flavoprotein pyridine nucleotide cytochrome reductases[J]. *J Biol Chem*, **266**(35):23 542-23 547

Mao WH(毛伟华), Gong YM(龚亚明), Xia XJ(夏晓剑), *et al.* 2007. Cloning of a cDNA fragment of nitrate reductase (NR) gene in cucumber and its expression analysis under nitrogen deficiency stress(黄瓜硝酸还原酶 cDNA 片段的克隆及其在缺氮胁迫下的表达)[J]. *Acta Agric Zhejiang*(浙江农业学报), **19**(3):160-163

Meyer C, Lea US, Provan F, *et al.* 2005. Is nitrate reductase a major player in the plant NO(nitric oxide) game[J]. *Photosynth Res*, **83**:181-189

Modolo LV, Augusto O, Almeida IM, *et al.* 2005. Nitrite as the major source of nitric oxide production by *Arabidopsis thaliana* in response to *Pseudomonas syringae*[J]. *FEBS Lett*, **579**:3 814-3 820

Nakai K, Horton P. 1999. PSORT: a program for detecting sorting signals in proteins and predicting their subcellular localization[J]. *Trend Biochem Sci*, **24**(1):34-36

Parihar A, Parihar MS, Chen Z, *et al.* 2008. mAtNOS1 induces apoptosis of human mammary adenocarcinoma cells[J]. *Life Sci*, **82**:1077-1082

Qu WZ(曲文章), Cui J(崔杰), Li BS(李滨胜). 1992. The Formation of Sugarbeet Yield and Amounts of Nitrogen Applied(施氮量与甜菜产量的形成)[J]. *Sugar Crops Chin*(中国糖料), (4):29-34

Tian H(田华), Duan MY(段美洋), Wang L(王兰). 2009. Research progress on nitrate reductase functions in plants(植物硝酸还原酶功能的研究进展)[J]. *Chin Agric Sci Bull*(中国农学通报), **25**(10):96-99

Wang AN(王安娜), Wang CC(王婵婵), Wu L(吴蕾), *et al.* 2010. Soybean C4H gene clone and bioinformatics analysis(大豆 C4H 基因克隆及生物信息学分析)[J]. *J Northeast Agric Univ*(东北农业大学学报), (4):12-16

Wang LQ(王利群), Wang Y(王勇), Dong Y(董英), *et al.* 2003. Induced activity of nitrate reductase by nitrate and cloning of nitrate reductase gene(硝酸盐对硝酸还原酶活性的诱导及硝酸还原酶基因的克隆)[J]. *Chin J Biotechnol*(生物工程学报), (5):632-635

Xu F(徐飞), Cheng SR(成述儒), Luo YZ(罗玉柱). 2011. Bioinformatics analysis of sheep DRB1 gene(绵羊 DRB1 基因生物信息学分析)[J]. *Biotechnol Bull*(生物技术通报), (1):114-117

Xu JH(徐建华), Zhu JY(朱家勇). 2005. Bioinformatics and its application on protein structure and function prediction(生物信息学在蛋白质结构与功能预测中的应用)[J]. *Foreign Med Sci*(医学分子生物学杂志), **2**(3):227-232

Yin ZX(殷志祥). 2004. Research progress of protein structure prediction(蛋白质结构预测方法的研究进展)[J]. *Comp Engin Appl*(计算机工程与应用), (20):54-57

Yu HB(于海彬), Sun LY(孙立英), Cai B(蔡葆). 1988. Studies on the characters of sugar and nitrogen metabolism in sugar beet (甜菜糖氮代谢特点的研究)[J]. *Sugar Crops Chin*(中国糖料), (4):11-17

Zhang GR(张桂荣). 2010. In silico cloning of cryptochrome gene cry2 from *Zea mays* and its bioinformatics analysis(玉米隐花色素基因 cry2 的电子克隆及生物信息学分析)[J]. *J Anhui Agric Sci*(安徽农业科学), **38**(19):9 975-9 978

Zhou J, Kleinhofs A. 1996. Molecular evolution of nitrate reductase genes[J]. *J Mol Evol*, **42**(4):432-442