

氮高效水稻种质资源筛选及相关特性分析

黄永兰¹, 黎毛毛², 芦明¹, 万建林¹, 龙起樟¹, 王会民¹, 唐秀英¹, 范志洁¹

(¹江西省超级水稻研究发展中心, 南昌 330200; ²江西省农业科学院水稻研究所, 南昌 330200)

摘要:在不施氮和施氮量 180 kg/hm² 2 个水平下, 对 45 份水稻种质的氮吸收与利用等相关性状进行分析, 并根据参试品种在 2 个施氮水平下的产量差异将其分为双高效型、高氮高效型、低氮高效型和双低效型等 4 种类型, 重点研究不同氮效率水稻产量、吸氮量以及氮素利用率等性状的相关性及差异分析。结果表明, 单株子粒重、单株秸秆重、植株吸氮量和氮生理利用率变幅分别为 4.50~29.65 g、6.35~18.70 g、4.80~21.28 g/m² 和 19.88~62.05 g/g。无论是在低氮还是高氮水平下, 水稻产量与有效穗数、穗粒数、结实率、生物量、子粒吸氮量、吸氮量和氮生理利用率均呈显著或极显著正相关, 与子粒和秸秆氮浓度呈显著负相关。4 种氮效率类型品种间的产量与生物量、吸氮量和氮生理利用率差异均达到极显著水平, 双高效型和高氮高效型水稻受氮肥的影响最大, 低氮高效型水稻受氮肥的影响最小。研究认为, 青马早和陆财早不论是在低氮还是高氮水平下均表现出氮高效利用特性, 为典型氮高效型; 广陆矮 4 号在低氮水平下表现出氮高效利用特性, 适于低氮条件种植, 为典型耐低氮型; 早 89-01 和早籼 152 在高氮水平下表现出氮高效利用特性, 适于高氮条件种植。

关键词:水稻; 耐低氮; 氮高效; 氮素利用率

Selection of Rice Germplasm with High Nitrogen Utilization Efficiency and Its Analysis of the Related Characters

HUANG Yong-lan¹, LI Mao-mao², LU Ming¹, WAN Jian-lin¹,
LONG Qi-zhang¹, WANG Hui-ming¹, TANG Xiu-ying¹, FAN Zhi-jie¹

(¹Jiangxi Super-rice Research and Development Center, Nanchang 330200;

²Rice Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200)

Abstract: The relativity characters of the nitrogen absorption and utilization were analysed under two levels of N supply (0 and 180 kg/hm²) by using forty five rice germplasms, which were divided into four types based on grain yield under two N rates, such as efficient-efficient (EE), inefficient-efficient (IE), inefficient-inefficient (II) and efficient-inefficient (EI). Focus on the research of variance analysis and correlation among characters related to grain yield, the N accumulation (NA) and nitrogen-use efficiency (NUE) between different types. The results showed that the range of variance of grain yield per plant, straw yield per plant, the NA and physiological N use efficiency (PNUE) were 4.50-29.65 g, 6.35-18.70 g, 4.80-21.28 g/m² and 19.88 - 62.05 g/g, respectively. Grain yield was significantly positively associated with effect panicles per plant (EP), spikelets per panicle (SP), seed setting rate (SSR), the BA, the N accumulation in grain (NAG), the NA and PNUE and significantly negatively associated with the N concentration in grain (NCG) and N concentration in straw (NCS) whether in low-nitrogen or high-nitrogen conditions. There were significantly different between grain yield (GY) with BA, NA and PNUE for four types of rice. EE and IE were the most influence by nitrogen fertilizer, EI was the least. The research showed that Qing ma

收稿日期: 2014-04-02 修回日期: 2014-06-13 网络出版日期: 2014-12-11

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20141211.2222.020.html>

基金项目: 国家农作物种质资源平台; 江西省科技厅“赣鄱英才 555 工程”领军人才培养计划; 江西省农业科学院创新基金 (2010CJJ009); 江西省科技支撑计划项目 (20121BBF60005)

第一作者主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: hylan1025@163.com

通信作者: 万建林, 主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: ncwanjl@163.com

zao, Lucaizao, Guangluai 4, Zao89-01 and Zao xian152 had been selected for tolerance-low nitrogen and high NUE type, among them, Qing ma zao and Lu cai zao is the typical high NUE type that showed higher, stable yield whether in low-nitrogen or high-nitrogen conditions; Guang lu ai 4 was the typical tolerance-low type that showed higher yield in low-nitrogen and suitable planted in poor soil, however, Zao89-01 and Zao xian152 were suitably planted in fertilize soil that showed higher yield in high-nitrogen conditions.

Key words: rice; tolerance-low nitrogen; high N use efficiency; nitrogen-use efficiency

我国农业已进入一个作物生产、农产品品质和环境保护并重的多目标时期。氮素是水稻生长中不可缺少的重要营养元素。近半个世纪以来,世界各国都把增施氮肥作为增加水稻产量的主要农业措施。据统计,2007 - 2008 年全球消耗了大约 1.28 亿 t 氮肥,其中约有 65% 被应用于粮食作物的生产^[1]。虽然氮肥能够提高粮食产量,但是其利用效率低,平均仅有 33% 被吸收利用^[2]。氮素的大量流失直接导致地下水污染和湖泊富营养化,造成水中的藻类和其他水生植物繁殖过茂,消耗水中溶解氧,使水质下降,带来严重的环境污染,对人类生存环境和农业可持续发展构成严重威胁^[3]。因此,充分挖掘和筛选水稻氮高效种质资源,并通过遗传改良培育氮高效品种,从而提高氮肥利用率减少氮肥损失,为农业可持续发展提供有效途径。水稻高效利用氮素有 2 种机制:一是在较低有效养分条件下吸收较多的氮素;二是用较少的氮素生产较多的干物质^[4]。前者常用氮素吸收效率表示,后者常用氮素利用效率表示。R. H. Moll 等^[5]把氮素利用效率 (NUE, nitrogen use efficiency) 定义为作物子粒产量除以供氮量,包括氮素吸收效率和生理利用效率 2 个构成因素。在供氮水平一致时,作物产量可表征为氮利用效率,不论介质供氮水平如何,水稻产量均高于其平均产量时,该水稻即可定义为氮高效型,反之则定义为氮低效型^[6]。黄农荣等^[7]、张亚丽等^[8]认为氮高效品种可描述为在不同供氮水平下都有较高的产量,不论低氮处理还是高氮处理均表现出氮高效利用的特性。张俊国等^[9]则认为水稻的氮高效包括植物体对氮素的高效吸收、氮素在植物体内的合理分配和高效利用,使水稻保持最大光合势和碳同化所需的适量氮素,从而获得较高的生物产量和经济产量。H. Park 等^[10]、朴钟泽等^[11]认为高产、多穗、高结实率和高收获指数可作为筛选氮高效水稻品种的参考指标。近几年来,国内许多科研单位,如南京农业大学以及扬州大学农学院等已经在氮高效水稻种质筛选和培育等方面做了大量工作^[12],安徽农业科学院水稻所、上海农业科学院作物所也已

开始在高世代材料中进行氮高效品种的选育,并已初步获得了一些符合育种目标的新品系^[3]。

综上,关于氮高效水稻品种的筛选指标、氮高效水稻种质的培育方面已有较多报道,但对不同氮效率水稻种质的评价和相关特性分析方面研究较少。因此,本研究在 2 个施氮水平下对 45 份水稻种质的主要农艺性状和氮吸收与利用等相关性状进行了综合分析,并根据参试品种在 2 个施氮水平下的产量差异将其分为双高效型、高氮高效型、低氮高效型和双低效型 4 种类型,对不同氮效率水稻产量、农艺性状、吸氮量以及氮素利用率等性状进行分析和评价,从而筛选出氮高效水稻种质,为氮高效水稻品种选育和应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验地概况

选用生育期相近的 45 份江西省水稻育种骨干亲本及近年推广种植的常规水稻品种、杂交水稻亲本为试验材料,其中地方品种 29 份、恢复系 9 份、保持系 7 份。

试验在江西省农业科学院水稻研究所试验田进行。试验田土壤 pH 值 5.26、铵态氮 19.4 mg/kg、硝态氮 4.94 mg/kg、全氮 0.15%、速效钾 92.0 mg/kg、有效磷 15.0 mg/kg、有机质 30.2 g/kg。

1.2 试验设计及方案

试验设 2 个氮素水平处理,分别为不施氮肥处理(简称低氮,CK)和施氮肥处理(180 kg/hm²,简称高氮,+N),处理之间田埂用塑料薄膜隔开。每个处理采用随机区组设计,2 次重复。施氮处理按 3 : 7 的比例分 2 次施用,磷、钾肥用量一致,均作基肥施用,磷肥用量为 P₂O₅ 60 kg/hm²,钾肥用量为 K₂O 165 kg/hm²。试验于 2012 年 5 月 17 日播种,6 月 23 日移栽,6 行区,10 穴/行,单本栽插,顺序排列,行株距为 16.5 cm × 20 cm。病虫害防治、田间除草和水管理等遵循试验基地常用的栽培管理方法。

1.3 测定项目与方法

水稻成熟后在小区中间一行采集 5 穴水稻植株进行室内考种和定氮样品处理。考种项目包括单株有效穗数、每穗实粒数、每穗总粒数、结实率、千粒重、单株子粒重和单株秸秆重。土壤基本理化性质采用常规方法测定;植株全氮含量(子粒吸氮量与秸秆吸氮量之和)采用凯氏定氮法测定^[13]。

1.4 数据计算及分析处理

氮素生理利用率指单位植株吸收的氮素所形成的子粒产量。

子粒氮浓度或秸秆氮浓度(%) = $(V - V_0) \times C(1/2H_2SO_4) \times 14.0 \times 10^{-3} / m \times 100$ 。

式中:V—滴定试液时所用酸标准溶液的体积(mL);V₀—滴定空白时所用酸标准溶液的体积(mL);C(1/2H₂SO₄)—10 mmol/L(1/2H₂SO₄)标准溶液浓度;m—实验样品质量(g)。

子粒吸氮量(g/m²) = 子粒氮浓度 × 子粒重;

秸秆吸氮量(g/m²) = 秸秆氮浓度 × 秸秆重;

植株吸氮量(g/m²) = 子粒吸氮量 + 秸秆吸氮量;

氮素生理利用率(g/g) = 产量/植株吸氮量;

以各试验材料室内考种的数据和凯氏定氮法测得的数据为基础数据,利用 Excel 2003、DPS 7.05 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下水稻主要农艺性状的表型差异

由表 1 可见,高氮处理下主要农艺性状的表型值明显大于低氮处理;参试品种主要农艺性状的变异系数在低氮水平下变化范围为 10.9% ~ 28.6%,在高氮水平下为 13.1% ~ 24.5%,其大小依次为:单株子粒重 > 单株有效穗数 > 穗粒数 > 单株秸秆重 > 结实率 > 千粒重;主要农艺性状在低氮处理下参试品种间的差异要大于高氮处理,说明低氮处理下更容易鉴别不同水稻种质间差异。方差分析结果表明,主要农艺性状在品种间的差异均达到极显著水平;单株有效穗数、单株子粒重和单株秸秆重在氮肥水平间差异达到极显著水平,而穗粒数、结实率和千粒重则差异不显著。

表 1 2 个施氮水平下参试品种主要农艺性状的表型差异

Table 1 Variance of the main agronomical characters of the tested varieties under two levels of N supply

参数 Parameter	低氮 CK			高氮 +N			方差分析 ANOVA	
	范围 Range	平均值 Average	变异系数 (%) CV	范围 Range	平均值 Average	变异系数 (%) CV	品种 Genotype	氮肥 N level
单株有效穗数(个)EP	4.3 ~ 14.0	8.4	27.4	5.7 ~ 19.0	11.2	24.2	4.38 **	71.24 **
穗粒数(粒)SP	51.1 ~ 173.7	110.8	24.4	71.7 ~ 169.4	108.9	23.6	10.30 **	0.68
结实率(%)SSR	28.4 ~ 87.2	67.2	16.0	48.3 ~ 91.0	70.4	13.1	2.05 **	3.64
千粒重(g)1000-GW	16.74 ~ 27.95	22.3	10.9	16.25 ~ 30.40	22.6	12.8	20.55 **	1.73
单株子粒重(g)GW	4.50 ~ 21.06	13.5	28.6	10.51 ~ 29.65	18.5	24.5	2.16 **	50.74 **
单株秸秆重(g)SW	6.35 ~ 17.30	11.4	20.6	7.70 ~ 18.70	12.9	21.5	2.40 **	13.30 **

** 表示 1% 水平显著

** significant at 1% level. EP: Effect panicles per plant, SP: Spikelets per panicle, SSR: Seed setting rate, 1000-GW: 1000-grain weight, GW: Grain weight per plant, SW: Straw weight per plant, the same as below

2.2 不同施氮水平下水稻氮吸收与利用相关性状的表型差异

由表 2 可见,参试品种在 2 个施氮水平下的氮吸收与利用相关性状均有较大差异,高氮处理下子粒和秸秆氮浓度、子粒和秸秆吸氮量、植株吸氮量均明显高于低氮处理,而高氮处理下氮生理利用率则低于低氮处理。从水稻氮吸收与利用相关性状的变异系数可见,在低氮水平下的变异系数范围为 15.25% ~ 32.80%,在高氮水平下为 13.84% ~ 26.26%,其大小

依次为秸秆吸氮量 > 子粒吸氮量 > 秸秆氮浓度 > 吸氮量 > 氮生理利用率 > 子粒氮浓度;水稻氮吸收与利用相关性状在低氮水平下差异大于高氮水平。方差分析结果表明,水稻氮吸收与利用相关性状在氮肥水平间差异均达到极显著水平;吸氮量和氮生理利用率在品种间的差异达到极显著水平,而子粒和秸秆氮浓度、子粒和秸秆吸氮量则差异不显著。

表 2 2 个施氮水平下参试品种氮吸收与利用相关性状的表型差异

Table 2 Variance of the relativity characters of nitrogen absorption and utilization of the tested varieties under two levels of N supply

参数 Parameter	低氮 CK			高氮 + N			方差分析 ANOVA	
	范围 Range	平均值 Average	变异系数 (%) CV	范围 Range	平均值 Average	变异系数 (%) CV	品种 Genotype	氮肥 N level
子粒氮浓度 (%) NCG	1.12 ~ 2.21	1.48	15.25	1.37 ~ 2.69	1.80	14.81	1.48	45.57 **
秸秆氮浓度 (%) NCS	0.46 ~ 1.65	0.96	22.90	0.61 ~ 1.64	1.17	18.59	1.37	25.25 **
子粒吸氮量 (g/m ²) NAG	2.47 ~ 9.04	5.88	28.13	6.45 ~ 15.81	9.82	23.52	1.41	104.15 **
秸秆吸氮量 (g/m ²) NAS	1.41 ~ 6.13	3.00	32.80	2.07 ~ 7.53	4.12	26.26	1.44	32.04 **
吸氮量 (g/m ²) NA	4.80 ~ 14.61	8.89	21.98	9.62 ~ 21.28	13.95	19.73	2.00 **	151.82 **
氮生理利用率 (g/g) PNUE	19.88 ~ 62.05	45.34	19.31	27.48 ~ 56.2	39.72	13.84	1.90 **	19.30 **

NCG: N concentration in grain, NCS: N concentration in straw, NAG: N accumulation in grain, NAS: N accumulation in straw, NA: N accumulation, PNUE: Physiological N use efficiency, the same as below

2.3 不同施氮水平下水稻产量、吸氮量以及氮素利用率等相关性状的相关分析

相关分析表明(表 3),在 2 个施氮水平下,水稻产量与有效穗数、穗粒数、结实率、生物量、子粒吸氮量、植株吸氮量和氮生理利用率均呈显著或极显著的正相关,与子粒和秸秆氮浓度均呈显著的负相关。植株吸氮量与有效穗数、生物量、子粒吸氮量和秸秆吸氮量均呈显著或极显著的正相关。氮生理利用率与生物量呈极显著的正相关,与子粒和秸秆氮浓度

均呈极显著的负相关。

在不同施氮水平下,植株吸氮量、氮生理利用率与水稻农艺性状和氮吸收指标关系也不同。其中吸氮量与结实率、氮生理利用率与穗粒数在低氮水平下均无显著相关性,而在高氮水平下均呈显著或极显著正相关。氮生理利用率与子粒吸氮量在低氮水平下呈显著正相关,而在高氮水平下无显著相关性;氮生理利用率与秸秆吸氮量在低氮水平下呈极显著负相关,而在高氮水平下无显著相关性。

表 3 2 个施氮水平下参试品种产量、吸氮量以及氮素利用率有关性状间的相关关系

Table 3 Correlation coefficients among characters related to grain yield, N accumulation and nitrogen use efficiency (NUE) of the tested varieties under two levels of N supply

参数 Parameter	产量 GY		吸氮量 NA		氮生理利用率 PNUE	
	低氮 CK	高氮 + N	低氮 CK	高氮 + N	低氮 CK	高氮 + N
有效穗数 EP	0.33 *	0.37 *	0.34 *	0.32 *	0.07	0.20
穗粒数 SP	0.34 *	0.29 *	0.29	0.15	0.22	0.32 *
结实率 SSR	0.59 **	0.50 **	0.24	0.42 **	0.70 **	0.23
生物量 BA	0.92 **	0.97 **	0.85 **	0.83 **	0.44 **	0.53 **
子粒氮浓度 NCG	-0.35 *	-0.36 *	0.07	0.08	-0.68 **	-0.75 **
秸秆氮浓度 NCS	-0.30 *	-0.40 **	0.14	-0.04	-0.64 **	-0.68 **
子粒吸氮量 NAG	0.89 **	0.83 **	0.86 **	0.92 **	0.37 *	0.15
秸秆吸氮量 NAS	0.05	0.32 *	0.53 **	0.57 **	-0.53 **	-0.23
吸氮量 NA	0.78 **	0.82 **	/	/	0.05	0.03
氮生理利用率 PNUE	0.65 **	0.58 **	/	/	/	/

* 表示显著相关, ** 表示极显著相关

*, ** Means significant at 5% and 1% levels, respectively. $r_{0.05} = 0.294, r_{0.01} = 0.380, n = 45$, GY: Grain yield, BA: Biomass accumulation, the same as below

2.4 不同氮效率水稻产量、吸氮量以及氮生理利用率有关性状的差异分析

根据 45 个参试品种在 2 种施氮水平下的产量差异,将其分为 4 种类型:(1)双高效型,在低氮和高氮水平下的产量均高于其平均值,包括青马早和陆财早等 10 个品种;(2)低氮高效型,在低氮水平下的产量高于其平均值,高氮水平下则相反,包括优丰稻和 85-059 等 12 个品种;(3)高氮高效型,在低氮水平下的产量低于其平均值,高氮水平下则相反,包括赣早粳 53 号和鹰优早 1 号等 8 个品种;(4)双低效型,在低氮和高氮水平下的产量均低于其平均值,包括特早 1 号和伍农早 3 号等 15 个品种。从表 4 可看出,在低氮水平下,4 种类型水稻产量、生物量和吸氮量大小依次为:双高效型 > 低氮高效型 > 高氮高效型 > 双低效型,低氮高效型水稻氮生理利用率最大,为 50.61 g/g。在高氮水平下,4 种类型水

稻产量、生物量和氮生理利用率大小依次为:双高效型 > 高氮高效型 > 低氮高效型 > 双低效型,高氮高效型水稻吸氮量最大,为 16.46 g/m²。在不同施氮水平下,4 种类型水稻之间的产量、生物量、吸氮量和氮生理利用率差异均达到极显著水平。4 种类型水稻在高氮处理下产量、生物量、吸氮量要明显高于低氮处理,但增加的幅度有明显差异,大小依次为:双高效型 > 高氮高效型 > 双低效型 > 低氮高效型,而高氮处理下的氮生理利用率则降低,其中低氮高效型水稻降低的幅度最大,其在低氮水平下为 50.61 g/g,在高氮水平下仅为 39.77 g/g。双高效型和高氮高效型水稻氮素吸收和利用受氮肥的影响较大,在高氮水平下,氮吸收能力强,适合在肥沃地区种植,属氮高效型。低氮高效型水稻受氮肥的影响最小,氮转化能力较强,在低氮水平下,可将土壤中限有的氮吸收利用,适合在较贫瘠的地区种植,属于耐低氮型。

表 4 不同氮效率水稻产量、生物量、吸氮量以及以及氮生理利用率平均值分析

Table 4 The Average and ANOVA of grain yield, biomass accumulation, N accumulation and physiological N use efficiency between different types

处理 Treatment	类型 Type	产量(g/m ²) GY	生物量(g/m ²) BA	吸氮量(g/m ²) NA	氮生理利用率(g/g) PNUE
CK	双高效型 EE	526.24	886.62	10.83	49.53
	低氮高效型 EI	475.17	786.98	9.45	50.61
	高氮高效型 IE	344.80	656.78	8.01	44.16
	双低效型 II	296.56	582.28	7.62	38.96
	类型间方差分析 ANOVA	32.23**	21.18**	32.39**	6.88**
+ N	双高效型 EE	703.00	1140.03	16.09	43.98
	低氮高效型 EI	472.35	790.62	11.96	39.77
	高氮高效型 IE	678.10	1067.28	16.46	41.54
	双低效型 II	455.10	767.23	12.76	35.87
	类型间方差分析 ANOVA	32.66**	29.07**	13.52**	6.53**

EE: Efficient-efficient, EI: Inefficient-efficient, IE: Efficient-inefficient, II: Inefficient-inefficient

从表 5 可见,与氮低效型相比,在高氮水平下,氮高效型水稻具有较高的吸氮量和氮生理利用率,因而具有较高的产量。但在低氮水平下情况并不一致,如氮高效品种早 89-01 与氮低效品种伍农早 3 号的产量、吸氮量和氮生理利用率分别为 451.65 g/m² 和 291.45 g/m²、8.44 g/m² 和 8.00 g/m²、53.48 g/g 和 36.44 g/g,两者之间吸氮量没有明显差异,但其产量却明显高于氮低效品种伍农早 3 号,原因是氮高效品种早 89-01 的氮生理利用率显著高于氮低效品种伍农早 3 号,说明此类氮高效品种具有较高的氮利用效率,即使在不施氮肥条件下,仍具有较高的产

量,这表明氮生理利用率对产量起着决定作用。如氮高效品种青马早与氮低效品种 R102 氮生理利用率没有差异,分别为 39.91 g/g 和 40.69 g/g,但其产量却明显高于后者,分别为 583.12 g/m² 和 274.80 g/m²,原因是氮高效品种青马早的吸氮量显著高于氮低效品种 R102,说明此类氮高效品种具有较强的吸氮能力,对氮素的响应也比较敏感,这表明吸氮量对产量起着决定作用。氮高效品种陆财早和广陆矮 4 号的吸氮量和氮生理利用率均明显高于氮低效品种,其产量也显著高于氮低效品种,说明这两者对产量共同起着决定作用。

表 5 典型氮高效与氮低效型水稻的产量、吸氮量和氮生理利用率比较

Table 5 Comparison of grain yield, N accumulation and physiological N use efficiency of typical high and low NUE type rice

类型 Type	种质资源 Germplasm	产量(g/m ²)		吸氮量(g/m ²)		氮生理利用率(g/g)	
		GY		NA		PNUE	
		低氮 CK	高氮 + N	低氮 CK	高氮 + N	低氮 CK	高氮 + N
氮高效 High NUE	青马早	583.12	764.54	14.61	18.39	39.91	41.56
	陆财早	631.77	807.64	12.10	17.56	52.20	45.96
	广陆矮 4 号	624.87	656.19	11.88	16.24	52.57	40.41
	早 89-01	451.65	813.10	8.44	17.24	53.48	47.16
	早籼 152	564.28	889.44	11.55	19.76	48.83	45.03
氮低效 Low NUE	伍农早 3 号	291.45	377.66	8.00	11.32	36.44	33.34
	特早 1 号	135.12	427.98	6.80	11.85	19.88	36.13
	R102	274.80	429.96	6.75	13.00	40.69	33.07

分析认为,不同氮效率水稻品种的产量、吸氮量和氮生理利用效率随供氮水平的不同而变化,其产量差异主要来自于氮吸收和氮生理利用率的差异。在高氮水平下,氮高效型水稻的产量是由植株吸氮量和氮生理利用率两者共同起决定作用,而在低氮水平下,氮高效型水稻的产量则是由植株吸氮量或氮生理利用率起决定作用,也可能是两者共同作用。因此,不同水稻基因型氮高效的生理机制并不相同。

3 讨论

3.1 耐低氮与氮高效水稻种质的筛选及评价方法

曹桂兰等^[14]研究表明,水稻种质资源的耐低氮能力在不同施氮水平间均有较大差异,多数农艺性状的表型差异顺序为未施氮 > 施低氮 > 普通施氮。黎毛毛等^[15]对中国水稻微核心种质研究认为,在低氮水平下,结实率、单株子粒重和单株有效穗数可以作为耐低氮与氮高效水稻种质的筛选指标。张亚丽等^[8]、张俊国等^[9]分析认为,在低氮和高氮水平下均能获得较高产量的水稻品种就是氮高效品种。徐富贤等^[16]研究认为,结实率、千粒重、生物产量和收获指数高的品种氮利用率高。本研究表明,水稻产量与有效穗数、穗粒数、结实率、生物量吸氮量、氮生理利用率呈显著或极显著正相关。氮高效品种具有较高的吸氮量和氮生理利用率,研究发现,青马早和陆财早不论是在低氮还是高氮水平下均表现出氮高效利用特性,为典型氮高效型;广陆矮 4 号在低氮水平下表现出氮高效利用特性,适于低氮条件种植,为典型耐低氮型;早 89-01 和早籼 152 在高氮水平下表现出氮高效利用特性,适于高氮条件种植。

3.2 不同氮效率水稻品种氮吸收和生理利用效率的差异

不同基因型水稻的产量差异是由氮素吸收和生理利用效率共同作用的结果^[8,17]。在氮利用方面,水稻氮素利用效率往往与其体内的氮素营养水平呈负相关,即体内含氮率高时,氮素利用效率下降^[6,18]。U. Singh 等^[19]研究发现,随供氮水平的增加而氮素利用效率及其构成因素随之降低。与吸收效率相比,氮素的生理利用效率是比较稳定的,随供氮水平的增加其降幅小于吸收效率的降幅,所以吸收效率的降低是氮素利用效率降低的主要原因。朴钟泽等^[20]研究报道,在未施氮条件下氮素利用效率高于施氮条件。本研究结果表明,高氮处理下水稻氮吸收与利用相关性均明显高于低氮处理,而高氮处理下氮生理利用率却降低。与前人研究结果相似。水稻氮吸收与利用相关性在低氮处理下差异大于高氮处理,因此低氮处理下更有利于耐低氮与氮高效种质资源的筛选。

张亚丽等^[8]研究表明,吸氮量和生理利用效率对产量的贡献率首先受到生育期的影响;对于生育期较短的品种,无论供氮水平高低均是氮生理利用效率对产量具有决定作用;对于生育期较长的品种其产量在供氮水平较低时是氮生理利用效率起决定作用,在高的供氮水平下则是吸氮量起决定作用。S. K. De Datta 等^[21]研究指出,氮素利用效率在不同水稻基因型间存在显著差异,并因年份、季节、栽培条件而表现出相当稳定的大小排序。这些结论与本研究基本一致,本研究通过对 45 份生育期相近的水稻品种间主要农艺性状和氮素吸收相关性状的比较分析,结果发现,不同氮效率水稻产量的差异主要来

自于氮吸收和氮生理利用率的差异;在高氮水平下,氮高效型水稻品种的产量是由吸氮量和氮生理利用率两者共同起决定作用;而在低氮水平下,则是由吸氮量或氮生理利用率起决定作用,也可是两者共同作用。

参考文献

- [1] FAO. Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12 [EB/OL]. [2014-04-01]. <http://www.docin.com/p-239859917.html>
- [2] Whipple W, Hunter J. Nonpoint sources and planning for water pollution control [J]. Water Pollut Control Fed, 1977, 49 (1):1523
- [3] 罗志祥, 苏泽胜, 施伏芝, 等. 氮肥高效利用水稻育种的现状与展望[J]. 中国农学通报, 2003, 19(1):66-67
- [4] 杨肖娥, 孙羲. 不同水稻品种对低氮反应的差异及其机制研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(1):73-79
- [5] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization [J]. Agronomy J, 1982, 74:562-564
- [6] 刘辉, 赵竹青. 植物氮营养高效基因型筛选指标研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(14):3265-3267, 3272
- [7] 黄农荣, 钟旭华, 郑海波. 水稻氮高效基因型及其评价指标的筛选[J]. 中国农学通报, 2006, 22(6):29-34
- [8] 张亚丽, 樊剑波, 段英华, 等. 不同基因型水稻氮利用效率的差异及评价[J]. 土壤学报, 2008, 45(2):267-273
- [9] 张俊国, 张三元, 杨春刚, 等. 水稻氮高效品种资源筛选的初步研究[J]. 吉林农业科学, 2008, 33(6):7-10
- [10] Park H, Mok S K, Seok S J. Efficiency of soil and fertilizer nitrogen in relation to rice variety and application time, using N labeled fertilizer. V. N point application in fields [J]. J Korean Agric Chem, 1982, 25(4):30-34
- [11] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗, 等. 水稻氮素利用效率的选择效果[J]. 作物学报, 2004, 30(7):651-656
- [12] 崔世友, 缪亚梅, 史传怀, 等. 氮高效水稻育种研究及展望[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(6):47-51
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000
- [14] 曹桂兰, 张媛媛, 朴钟泽, 等. 水稻不同基因型耐低氮能力差异评价[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3):316-320
- [15] 黎毛毛, 万建林, 黄永兰, 等. 水稻微核心种质氮素利用率相关性状的鉴定评价及其相关分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3):352-361
- [16] 徐富贤, 熊洪, 熊戎, 等. 水稻氮素利用效率的研究进展及其动向[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5):1215-1225
- [17] 范苗苗. 水稻氮肥利用效率的品种间差异及其生理机制[D]. 扬州:扬州大学, 2012
- [18] 江立庚, 曹卫星. 水稻高效利用氮素的生理机制及有效途径[J]. 中国水稻科学, 2002, 16(3):261-264
- [19] Singh U, Lagha J K, Castillo E G, et al. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in Medium and long-duration rice [J]. Field Crops Res, 1998, 58:35-53
- [20] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻不同基因型氮素利用率差异[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3):233-238
- [21] De Datta S K, Broadbent F E. Nitrogen-use efficiency of 24 rice genotypes on N-deficient soil [J]. Field Crops Res, 1990, 23:81-92