

# 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

黎毛毛<sup>1</sup>, 万建林<sup>1</sup>, 黄永兰<sup>1</sup>, 曹桂兰<sup>2</sup>, 陈红萍<sup>1</sup>, 韩龙植<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>江西省农业科学院水稻研究所, 南昌 330200;

<sup>2</sup>中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程/  
农业部作物种质资源与生物技术重点开放实验室, 北京 100081)

**摘要:**以中国水稻微核心种质为试验材料,在低氮水平下进行了水稻氮素利用率相关性状的鉴定评价,分析了产量和氮素利用率相关性状的相关关系。结果表明,秸秆含氮率和单株秸秆含氮量变幅分别为0.56%~1.85%和0.04~0.61 g,子粒含氮率和单株子粒含氮量变幅分别为1.28%~3.23%和0.02~1.04 g,植株含氮量变幅为0.10~1.30 g,氮素子粒产量利用率和氮素生物产量利用率变幅分别为3.85~57.52 g/g和17.56~104.02 g/g,氮素收获指数变幅为7.05%~88.58%,氮素利用率相关性状在品种间存在较大的差异。秸秆含氮率与含氮量、子粒含氮率与含氮量和植株含氮量在梗稻和籼稻亚种间没有显著差异;氮素生物产量利用率籼稻略大于梗稻,但差异不显著;氮素子粒产量利用率与氮素收获指数在梗稻和籼稻亚种间存在较明显的差异。氮素子粒产量利用率、氮素收获指数与结实率、单株子粒重和单株有效穗数均呈极显著正相关;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。

**关键词:**水稻微核心种质;低氮;产量;氮素利用率;相关关系

## Evaluation and Correlation Analysis of the Related Characters of Nitrogen Use Efficiency for Mini Core Collection of Rice (*Oryza sativa* L.) in China

LI Mao-mao<sup>1</sup>, WAN Jian-lin<sup>1</sup>, HUANG Yong-lan<sup>1</sup>, CAO Gui-lan<sup>2</sup>, CHEN Hong-ping<sup>1</sup>, HAN Long-zhi<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Rice Research institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200;

<sup>2</sup>Key Laboratory of Crop Germplasm Resources and Biotechnology, Ministry of Agriculture / National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, NRCRI/Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** The evaluation of nitrogen use efficiency in low-nitrogen level and correlation coefficients among characters related to grain yield and nitrogen use efficiency were conducted by using mini core collection of rice (*Oryza sativa* L.) in China. The results showed that the range of variance of straw nitrogen contain rate (SNR) and straw nitrogen absorption per plant were 0.56% - 1.85% and 0.04 - 0.61 g, respectively. The range of variance of grain nitrogen contain rate (GNR) and grain nitrogen absorption per plant was 1.28% - 3.23% and 0.02 - 1.04 g, respectively. The range of variance of nitrogen absorption per plant was 0.10 - 1.30 g. The range of variance of nitrogen grain production efficiency (NGPE) was 3.85 - 57.52 g/g. The range of variance of nitrogen plant biology production

收稿日期:2010-07-12 修回日期:2011-01-18

基金项目:作物种质资源保护项目[NB09-2130135-1];江西省自然科学基金项目(2009GZ0054);江西省农科院博士启动基金项目(2009-4)

作者简介:黎毛毛,博士,研究员,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail: lmm056@yahoo.com.cn

通讯作者:韩龙植,博士,研究员,博导,主要从事水稻种质资源研究。E-mail: lzhan58@yahoo.com.cn

efficiency (NPBE) was 17.56-104.02 g/g. The range of variance of nitrogen harvest index (NHI) was 7.05%-88.58%. The characters related to nitrogen use efficiency were obviously different among rice germplasms. The SNR, straw nitrogen absorption (SNA), GNR, grain nitrogen absorption (GNA) and plant nitrogen absorption (PNA) were no obviously different between japonica rice and indica rice. There was no obvious different on NPBE, even the value of indica rice were a little big than japonica rice. There were obvious different on NGPE and NHI between japonica rice and indica rice. NGPE and NHI were significantly positively associated with seed setting rate, grain weight per plant and effect panicle per plant. Directly to select seed setting rate, grain weight per plant and effect panicle per plant were more effective selected higher resistance to low-nitrogen and higher nitrogen use efficiency under low-nitrogen condition.

**Key words:** Mini core collection of rice; Low-nitrogen; Grain yield; Nitrogen use efficiency; Correlation

氮素是水稻生长中不可缺少的最重要营养元素。近半个世纪以来,世界各国把增施氮肥作为提高水稻产量的主要措施。随着耐肥抗倒高产品种的推广应用,农田氮肥施用量迅猛增长,许多地区的氮肥施用量大大超过作物自身的需要量。据世界粮农组织统计<sup>[1]</sup>,中国1995-1997年水稻种植面积年均 $3.17 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,占世界水稻种植面积的20%,而水稻氮肥使用量占全球水稻氮肥总用量的37%。中国单季稻氮肥用量平均为 $180 \text{ kg/hm}^2$ ,比世界氮肥平均用量高75%左右。在苏南稻区的部分高产田氮肥用量甚至高达 $300 \sim 750 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[2]</sup>。中国氮肥的农学利用率很低,不及菲律宾和印度的50%<sup>[3-4]</sup>。中国水稻氮肥利用率平均约为28%~37%,比世界一般水平低15%~20%<sup>[5]</sup>。氮肥施用量居高不下,氮素利用率持续降低,一方面直接导致稻谷生产成本增加,且氮肥使用量的增加,常伴随病虫害的加重,从而导致农药施用量的增加和农产品品质下降;另一方面,大量的氮素流失带来严重的环境污染。一部分直接导致地下水污染与湖泊、河流和浅海等水域生态系统富营养化;另一部分则以一氧化氮(NO)和二氧化氮(NO<sub>2</sub>)等氮素化合物形式污染大气,对人类的生存环境和农业可持续发展构成严重威胁<sup>[5-7]</sup>。朴钟泽等<sup>[8]</sup>分析认为,在耐低氮水稻育种中可以把较高的稻谷产量、多穗、高结实率和高收获指数作为耐低氮水稻品种的参考指标。徐福荣等<sup>[9]</sup>研究表明,在田间自然缺氮条件下,以水稻植株叶绿素计SPAD值作为耐低氮能力评价指标。钟代斌等<sup>[10]</sup>研究认为,分蘖数可以作为水稻氮高效资源筛选的形态指标。潘圣刚等<sup>[11]</sup>研究表明,干湿交替灌溉和厢沟灌溉条件下水稻氮素积累总量、氮素吸收利用率分别比常规灌溉增加了18.5%、94.6%和22.1%、62.4%,产量分别增加了2.5%和9.1%;

中等氮肥处理的水稻氮素农学利用率和吸收利用率分别比低肥处理增加了73.9%和36.2%,产量比不施肥处理增加了48.9%。徐富贤等<sup>[12]</sup>研究认为,结实率、千粒重、生物产量和收割指数高的品种对氮的利用率高。前人对水稻氮素利用率作了大量的研究工作,但所用的试验材料比较单一,多为籼稻、粳稻、两个亲本杂交后代分离群体或来自相同地区的籼稻与粳稻种质,其研究结果不能全面评价水稻氮素利用率相关性状的特征特性及其相关关系。本研究利用来自中国28个省(市、区)的水稻微核心种质为试验材料,从植株含氮率、植株含氮量、氮素子粒产量利用率和氮素收获指数等方面开展水稻氮素利用率相关性状的鉴定评价,筛选氮高效水稻种质,分析水稻主要农艺性状与氮素利用率的相关关系,旨在为氮高效水稻育种提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以来源于中国28个省(市、区)的204份栽培稻微核心种质为试验材料,其中粳稻91份,籼稻113份,204份微核心种质的来源、种质名称及籼粳类型见表1。试验在江西省农业科学院水稻研究所试验站(南昌)进行。试验田的pH值5.36,铵态氮 $20.6 \text{ mg/kg}$ ,硝态氮 $5.24 \text{ mg/kg}$ ,全氮 $0.19\%$ ,速效钾 $94.0 \text{ mg/kg}$ ,有效磷 $16.0 \text{ mg/kg}$ ,有机质 $32.2 \text{ g/kg}$ 。试验于2009年5月20日播种,6月20日移栽,5行区,10穴/行,单本栽插,顺序排列,2次重复,行株距为 $16.5 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。每 $667 \text{ m}^2$  N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和K<sub>2</sub>O的施用量分别为 $6 \text{ kg}$ 、 $9 \text{ kg}$ 和 $15 \text{ kg}$ ,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。水稻成熟后,每小区取中间10株进行室内考种和定氮样品处理。

表1 204份中国栽培稻微核心种质名称及来源

Table 1 The name and origin of 204 accessions of rice mini core collection in China

统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species	统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species	统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species
02-00058	抚宁紫皮梗子	河北	粳	15-04016	三粒寸	广东	粳	21-01989	冷水糯	云南	粳
02-00133	隆化毛葫芦	河北	粳	15-04286	西什15	广东	粳	21-02089	拉木加	云南	粳
02-00210	高阳淀粉 大红芒	河北	粳	16-00163	横县良春香谷	广西	籼	21-02171	齐头谷	云南	籼
02-00294	水原300粒	河北	粳	16-01841	矮仔占	广西	籼	21-02224	紫糯	云南	籼
02-00295	叶里藏花	河北	粳	16-02459	红梗早谷	广西	粳	21-02235	鱼眼糯	云南	粳
04-00115	中楼一号1	山西	粳	16-05252	红矮糯	广西	籼	21-02619	黄皮糯	云南	粳
05-00024	卫国	辽宁	粳	16-06887	七月籼	广西	籼	21-02769	魔王谷内杂	云南	粳
05-00052	丹东陆稻	辽宁	粳	16-09350	光亮香糯	广西	粳	21-02824	毫莱	云南	籼
06-00035	兴国	吉林	粳	17-00435	洞庭晚籼	湖北	籼	21-02851	毫香	云南	籼
07-00010	老光头83	黑龙江	粳	17-00502	洞庭晚籼	湖北	籼	21-02852	毫荒腊	云南	籼
07-00109	白毛稻	黑龙江	粳	17-00524	柳叶粘	湖北	籼	21-03121	南高谷	云南	籼
08-00036	木槲球	上海	粳	17-00966	宜恩长坛青粘	湖北	籼	21-03433	金枝糯	云南	籼
08-00066	老虎种	上海	粳	17-01470	霸王鞭1	湖北	粳	21-03781	鸡血糯	云南	粳
08-00253	有芒早梗	上海	粳	18-01067	矮脚早	湖南	籼	21-03879	饭毫皮	云南	籼
09-00530	黄壳早廿日	江苏	粳	18-01903	须谷糯	湖南	粳	21-04413	半节芒	云南	粳
09-00724	百歌稻	江苏	粳	18-03950	木瓜糯	湖南	粳	21-04506	靴五升	云南	籼
09-01361	寸三粒	江苏	粳	18-04082	红旗5号	湖南	粳	21-04732	八百粒	云南	粳
10-00463	铁秆乌	浙江	粳	18-04906	万利籼	湖南	籼	21-05048	细麻线	云南	籼
11-00322	六十早	安徽	籼	19-00022	香稻	河南	籼	21-05072	乌嘴红谷	云南	籼
11-00389	秋前白	安徽	籼	19-00205	旱麻稻	河南	籼	21-05171	背子糯	云南	粳
11-00403	雷火占	安徽	籼	20-01262	细白粘	四川	粳	22-00040	泽谷	贵州	粳
11-00529	肥东塘稻	安徽	粳	20-01452	麻麻谷	四川	籼	22-00513	麻谷糯	贵州	粳
12-00589	金溪白	江西	籼	20-01734	南天纲酒谷	四川	粳	22-00570	香糯	贵州	粳
12-00644	解放籼	江西	籼	20-02073	梅花糯	四川	籼	22-01439	粘壳糯	贵州	籼
12-01446	三百粒	江西	籼	20-02821	中农4号	四川	籼	22-01615	马尾粘	贵州	籼
12-02254	台山糯	江西	籼	20-03042	红谷	四川	籼	22-01843	红壳折糯(2)	贵州	粳
12-02280	矮禾迟	江西	籼	20-03053	三颗寸	四川	籼	22-02148	寸谷糯	贵州	籼
12-02373	矮密	江西	籼	20-03215	山酒谷	四川	粳	22-02356	飞蛾糯2	贵州	籼
12-02850	红米三担白	江西	籼	21-00083	毫马克(K)	云南	粳	22-02423	紫芒飞蛾糯	贵州	粳
13-00723	金包银	福建	粳	21-00272	文香糯	云南	籼	22-02754	油粘	贵州	粳
13-00737	闽北晚籼	福建	籼	21-00357	毫补卡	云南	粳	22-03815	贯推白禾1	贵州	粳
13-00816	陆财号	福建	籼	21-00529	三七十萝	云南	粳	22-04053	阳壳糯	贵州	籼
13-01006	乌壳占	福建	籼	21-00694	齐头白谷	云南	粳	22-04574	毫虑光粘	贵州	粳
13-01301	一支香	福建	籼	21-00785	木邦谷	云南	粳	22-04637	小白米	贵州	籼
13-01433	盐水赤	福建	籼	21-01082	大弯糯	云南	籼	24-00195	麻谷子	陕西	粳
15-00503	鼠牙占	广东	籼	21-01106	紫米	云南	粳	24-00215	老红稻	陕西	粳
15-00648	丝苗	广东	籼	21-01120	香谷	云南	粳	26-00008	加巴拉	西藏	籼
15-01740	饿死牛	广东	籼	21-01165	小红谷	云南	粳	28-00005	黑芒稻	宁夏	粳
15-03025	芥眉	广东	籼	21-01257	清可	云南	籼	29-00010	葡萄黄	天津	粳
15-03057	南雄早油占	广东	籼	21-01577	五子堆	云南	粳	30-00195	台东陆稻328	台湾	粳
15-03168	白花花螺	广东	籼	21-01744	老造谷	云南	籼	30-00206	台中65号/ 台中HR539	台湾	粳
15-03336	黑督4	广东	籼	21-01853	毫巴永1	云南	粳	30-00210	台中在来 1号/台中65	台湾	籼
15-03586	赤壳糯	广东	籼	21-01899	公居73	云南	粳				
				21-01970	冷水谷2	云南	粳				

续表

统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species	统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species	统一编号 Accession number	种质名称 Accession name	原产省 Province of origin	亚种类型 Sub -species
30-00244	台中籼选 220号	台湾	籼	R0014	圭 630	湖南	籼	ZD-01266	广陆矮 15-1	广西	籼
				R0032	IR 661-1(早)	湖南	籼	ZD-01328	红晚 1号	福建	籼
31-00032	冈加高 1	海南	粳	R0215	培 C122	湖南	粳	ZD-01402	湘矮早 10号	湖南	籼
31-00042	冈加丁 2	海南	籼	R0333	粳 7623	上海	粳	ZD-01423	湘晚籼 1号	湖南	籼
31-00388	包二幅	海南	籼	R0337	宁恢 21	江苏	粳	ZD-01512	南特号	江西	籼
A0016	金南特 B	湖南	籼	R0430	76-1	辽宁	粳	ZD-01559	秀水 115	浙江	粳
A0060	竹珍 B	湖南	籼	R0447	湖恢 628	湖南	粳	ZD-01820	扬稻 2号	江苏	籼
A0086	朝阳一号 B	湖南	籼	R0468	特青选恢	湖南	籼	ZD-02017	泸科 3号	四川	籼
A0096	L 301B	湖南	籼	R0515	湘恢 91269	湖南	籼	ZD-02032	矮沱谷 151	四川	籼
A0112	安农晚粳 B	湖南	粳	R0604	JWR 221	江苏	粳	ZD-02261	中花 8号	北京	粳
A0120	金南特 43B	湖南	籼	ZD-00002	广陆矮 4号	广东	籼	ZD-02277	晋稻 1号	山西	粳
A0132	早熟农 虎 6号 B	湖南	粳	ZD-00141	矮脚南特	广东	籼	ZD-02324	辽粳 287	辽宁	粳
				ZD-00213	柳沙 1号	广西	籼	ZD-02431	黄丝桂占	广东	籼
A0172	青四矮 16B	广东	籼	ZD-00358	郴晚 3号	湖南	粳	ZD-02495	早熟香黑米	广西	籼
A0240	珍汕 97B	江西	籼	ZD-00474	二九南 1号	浙江	籼	ZD-02547	墨米	广西	籼
A0244	献改 B	江西	籼	ZD-00560	南京 11号	江苏	籼	ZD-02605	金优 1号	福建	籼
A0246	江农早 1号 B	江西	籼	ZD-00587	桂花黄	江苏	粳	ZD-02685	粳 87-304	湖南	粳
A0298	京虎 B	安徽	粳	ZD-00592	苏粳 2号	江苏	粳	ZD-02694	湘晚籼 3号	湖南	籼
A0386	黎明 B	辽宁	粳	ZD-00743	成都矮 3号	四川	籼	ZD-02715	湘早籼 7号	湖南	籼
A0408	滇瑞 409B	云南	籼	ZD-00747	矮麻抗	四川	籼	ZD-02944	镇籼 232	江苏	籼
A0430	包协 123B	湖南	籼	ZD-00760	蜀丰 101	四川	籼	ZD-03104	早籼 240	安徽	籼
A0434	80B	湖南	籼	ZD-00806	立新粳	四川	粳	ZD-03115	当育 5号	安徽	粳
A0464	包协-7B	湖南	籼	ZD-01001	黑梗 2号	黑龙江	粳	ZD-03386	成农水晶	四川	籼
A0596	G 珍汕 97B	四川	粳	ZD-01006	桂朝 2号	广东	籼	ZD-03525	郑稻 5号	河南	粳
A0598	88B	江苏	籼	ZD-01108	二钢矮	广东	籼	ZD-03867	四倍体朝 6	北京	粳
R0004	古 154	湖南	籼	ZD-01195	包选 21号	广东	籼				

## 1.2 调查项目与样品处理

种子成熟后,每个品种各取中间 10 个整株,切除根部后,将有效穗剪下放入网袋中,秸秆捆好带回晒干。有效穗晒干后进行人工脱粒考种,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、千粒重和单株子粒重等,取 2 次重复的平均值。考种结束后,将实粒与空粒分开。空粒和脱粒后的穗秆与秸秆放在一起称重后,剪碎混匀用信封取 20 g 样品放入 60℃ 烘箱中干燥 48 h 称样,计算各试验材料单株秸秆重和每 667 m<sup>2</sup> 秸秆重,取 2 次重复的平均值;再将 2 次重复的样品混匀后用粉碎机粉碎,待测定。取 20 g 实粒样品在 60℃ 烘箱中干燥 48 h 称样,计算各试验材料单株子粒重和每 667 m<sup>2</sup> 子粒重,取 2 次重复的平均值;再将 2 次重复的样品混匀后用粉碎机粉碎,待测定。

万方数据

## 1.3 植株含氮率与含氮量的测定

称取粉碎后的样品 0.25 g,加入 5 ml 浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 1.8 g 混合催化剂(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: CuSO<sub>4</sub> = 10:1)消煮 90 min,消煮液采用凯氏蒸馏法测定,秸秆与子粒分别测定,分别计算子粒含氮率和秸秆含氮率,再计算子粒含氮量、秸秆含氮量、植株含氮量、氮素子粒产量利用率、氮素生物产量利用率和氮素收获指数。计算公式:

$$\text{子粒含氮率或秸秆含氮率}(\%) = (V - V_0) \times C \times 100 / (1/2H_2SO_4) \times 14.0 \times 10^{-3} / m \times 100$$

式中:V——滴定试液时所用酸标准溶液的体积(ml);V<sub>0</sub>——滴定空白时所用酸标准溶液的体积(ml);C(1/2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)—0.01 mol/L(1/2H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)标准溶液浓度;m——实验样品质量(g)。

单株子粒含氮量(g) = 子粒含氮率(%) × 单株产量(g);单株秸秆含氮量(g) = 秸秆含氮率(%) × 单株秸秆重(g);植株含氮量(g) = 单株子粒含氮量

(g) + 单株秸秆含氮量(g); 氮素子粒产量利用率(g/g) = 单株产量(g)/植株含氮量(g); 氮素生物产量利用率(g/g) = 单株生物产量(g)/植株含氮量(g); 氮素收获指数(%) = 单株子粒含氮量(g)/植株含氮量(g)。

1.4 统计分析

以各试验材料室内考种数据和凯氏定氮测得数据为基础数据,利用SXW 统计分析软件进行统计分析。由于24份微核心种质在江西省南昌地区种植时不能正常抽穗或结实,最后只采用其中180份微核心种质的试验数据进行分析,其中籼稻104份、粳稻76份。

2 结果与分析

2.1 水稻微核心种质主要农艺性状的表型差异

表2列出了180份水稻微核心种质株高、穗长、

穗粒数、结实率、千粒重、单株有效穗数、单株子粒重和单株秸秆重的最大值、最小值、平均值、变异系数、重复间和品种间的方差分析结果。从表2可见,水稻微核心种质主要农艺性状的表型值有较大差异。株高变幅为61.90~180.25cm,穗长变幅为10.99~34.20cm,单株有效穗数变幅为1.00~28.20穗,结实率变幅为18.02%~100.0%,单株子粒重变幅为0.84~60.24g,单株秸秆重变幅为3.65~65.00g。水稻微核心种质主要农艺性状的变异系数均大于16%;其大小依次为单株子粒重>单株秸秆重>穗粒数>单株有效穗数>株高>结实率>穗长>千粒重。2次重复主要农艺性状间的方差分析结果表明,主要农艺性状在品种间的差异均达到极显著水平,主要农艺性状在重复间的差异均不显著。

表2 水稻微核心种质主要农艺性状的表型变异

Table 2 Variance of the main agronomical characters of rice core collection

项目 Item	株高(cm) Plant height	穗长(cm) Panicle length	穗粒数(个) No. of grain per panicle	结实率(%) Seed setting rate	千粒重(g) 1000-grain weight	单株有效穗数 Effect panicles pe rplant	单株子粒重(g) Grain yield per plant	单株秸秆重(g) Straw yield per plant
最大值 Max	180.25	34.20	314.22	100.00	31.78	28.20	60.24	65.00
最小值 Min	61.90	10.99	20.67	18.02	13.71	1.00	0.84	3.65
平均值 Mean	109.61	23.13	98.71	69.23	22.14	9.45	13.05	19.74
变异系数(%) CV	31.00	16.88	44.74	21.14	16.01	43.73	69.97	64.94
重复间方差 ANOVA of repeats	0.55	1.36	2.62	1.95	3.34	0.99	0.09	0.38
品种间方差 ANOVA of varieties	25.17**	3.67**	7.05**	5.94**	3.25**	2.98**	4.47**	4.33**

\*\*表示0.01水平上差异显著; \*\* means the difference significant at 0.01 level

2.2 水稻微核心种质氮素利用率相关性分析

2.2.1 水稻微核心种质氮素利用率相关性状的表型变异

由表3可见,水稻微核心种质氮素利用率相关性状有较大差异,如单株子粒含氮量变幅为0.02~1.04g,氮素子粒产量利用率变幅为3.85~57.52g/g,氮素生物产量利用率变幅为17.56~

104.02g/g,氮素收获指数变幅为7.05%~88.58%。水稻微核心种质氮素利用率相关性状的变异系数均大于12%;其大小依次为单株子粒含氮量>单株秸秆含氮量>植株含氮量>氮素生物产量利用率>氮素子粒产量利用率>氮素收获指数>秸秆含氮率>子粒含氮率。

表3 水稻微核心种质氮素利用率相关性状的表型变异

Table 3 Variance of the relativity characters of nitrogen-use efficiency of rice core collection

项目 Item	秸秆 含氮率(%) SNR	子粒 含氮率(%) GNR	单株秸秆 含氮量(g) SNA/plant	单株子粒 含氮量(g) GNA/plant	植株 含氮量(g) PNA	氮素子粒产量 利用率(g/g) NGPE	氮素生物产 量利用率(g/g) NPBPE	氮素收获 指数(%) HNI
最大值 Max	1.85	3.23	0.61	1.04	1.30	57.52	104.02	88.58
最小值 Min	0.56	1.28	0.04	0.02	0.10	3.85	17.56	7.05
平均值 Mean	1.18	1.86	0.22	0.23	0.45	28.00	43.03	51.38
变异系数(%) CV	20.15	12.99	54.52	64.08	49.75	28.85	36.45	26.51

SNR:Straw nitrogen-contain rate;GNR:Grain nitrogen-contain rate;SNA;Straw nitrogen absorption;GNA:Grain nitrogen absorption;PNA:Plant nitrogen absorption;NCPE:Nitrogen grain production efficiency;NPBPE:Nitrogen plant biology production efficiency;HNI:Nitrogen harvest index,the same as below

2.2.2 水稻微核心种质子粒含氮率和子粒含氮量  
从水稻微核心种质子粒含氮率与子粒含氮量的种质  
次数分布图(图 1)和筛选的 20 份子粒含氮率与子  
粒含氮量最高的种质清单(表 4)表明,子粒含氮率  
与子粒含氮量在品种间差异较大。来自广西的籼稻  
种质墨米的子粒含氮率最低,仅为 1.28%;来自四

川的籼稻种质三颗寸的子粒含氮率最高,为  
3.23%;平均值为 1.86%,变异系数为 12.99%。来  
自北京的粳稻种质四倍体朝 6 子粒含氮量最低,为  
0.33 kg/667m<sup>2</sup>;来自贵州的粳稻种质香糯子粒含氮  
量最高,为 20.72 kg/667m<sup>2</sup>;平均值为 4.70 kg/  
667m<sup>2</sup>,变异系数为 64.08%。

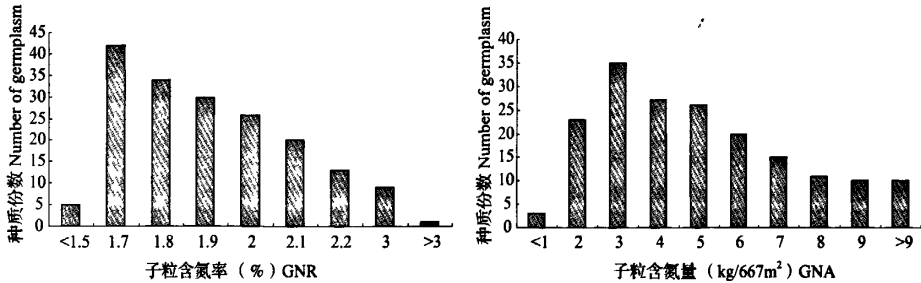


图 1 水稻微核心种质子粒含氮率和子粒含氮量的次数分布图

Fig. 1 Frequency distribution of grain nitrogen contain and nitrogen absorption of rice core collection

表 4 子粒含氮率和子粒含氮量较高的水稻种质

Table 4 Rice germplasm with high nitrogen contain rate and nitrogen absorption of grain

种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	子粒含氮率(%) GNR	种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	子粒含氮量 (kg/667m <sup>2</sup> ) GNA
广陆矮 4 号	籼	广东	2.15	南京 11 号	籼	江苏	8.28
矮脚南特	籼	广东	2.16	万利籼	籼	湖南	8.38
台中在来 1 号/台中 65	籼	台湾	2.17	老造谷	籼	云南	8.42
抚宁紫皮梗子	粳	河北	2.18	高阳淀 稻大红芒	粳	河北	8.46
献改 B	籼	江西	2.18	文香糯	籼	云南	8.54
梗 7623	粳	上海	2.18	金优 1 号	籼	福建	8.67
秀水 115	粳	浙江	2.18	桂朝 2 号	籼	广东	8.68
湘矮早 10 号	籼	湖南	2.19	矮麻抗	籼	四川	8.72
宁恢 21	粳	江苏	2.20	广陆矮 4 号	籼	广东	8.75
早籼 240	籼	安徽	2.20	木瓜糯	粳	湖南	8.85
公居 73	粳	云南	2.22	泸科 3 号	籼	四川	9.45
珍油 97B	籼	江西	2.24	JWR 221	粳	江苏	10.13
南雄早油占	籼	广东	2.25	成农水晶	籼	四川	10.20
泽谷	粳	贵州	2.30	蜀丰 101	籼	四川	11.40
青四矮 16B	籼	广东	2.35	立新梗	粳	四川	11.58
湘早籼 7 号	籼	湖南	2.36	柳沙 1 号	籼	广西	11.64
加巴拉	籼	西藏	2.42	郴晚 3 号	粳	湖南	14.95
二九南 1 号	籼	浙江	2.49	网加高 1	粳	海南	15.71
拉木加	粳	云南	2.62	红晚 1 号	籼	福建	16.08
三颗寸	籼	四川	3.23	香糯	粳	贵州	20.72

对 104 份籼稻种质和 76 份粳稻种质的分析结果  
表明,籼稻子粒含氮率的最大值、最小值和平均值  
分别为 3.23%、1.28% 和 1.87%,粳稻子粒含氮率  
的最大值、最小值和平均值分别为 2.62%、1.40%  
和 1.85%;籼稻单株子粒含氮量的最大值、最小值  
和平均值分别为 0.81g、0.03g 和 0.25g,粳稻单株  
子粒含氮量的最大值、最小值和平均值分别为 1.04g、  
0.02g 和 0.21g。分析认为子粒含氮率与含氮量在  
粳稻和籼稻亚种间没有显著的差异。

2.2.3 水稻微核心种质秸秆含氮率与秸秆含氮量  
从水稻微核心种质秸秆含氮率与含氮量次数分

布图(图 2)和秸秆含氮率与秸秆含氮量最高的 20  
份水稻种质清单(表 5)可见,秸秆含氮率与秸秆  
含氮量在品种间存在较大的差异。来自云南的粳  
稻种质黄皮糯的秸秆含氮率最低,仅为 0.56%;来  
自湖南的籼稻种质湘矮早 10 号秸秆含氮率最高,  
为 1.85%;平均值为 1.18%,变异系数为 20.15%。  
来自贵州的籼稻种质粘壳糯的秸秆含氮量最低,为  
0.87 kg/667m<sup>2</sup>;来自福建的粳稻种质金包银的  
秸秆含氮量最高,为 12.12 kg/667m<sup>2</sup>;平均值为  
4.33 kg/667m<sup>2</sup>,变异系数为 54.52%。

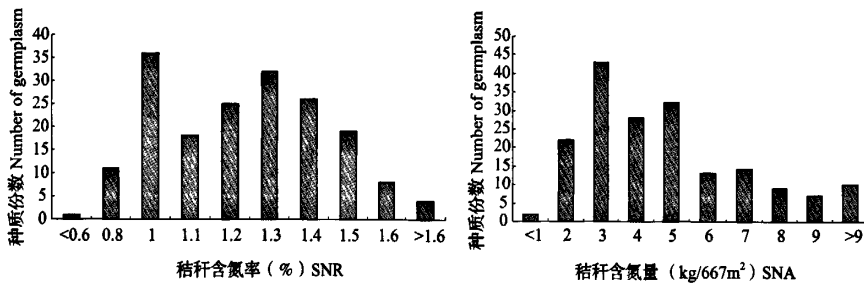


图2 水稻微核心种质秸秆含氮率与含氮量次数分布图

Fig. 2 Frequency distribution of straw nitrogen contain rate and nitrogen absorption of rice core collection

表5 秸秆含氮率和秸秆含氮量较高的水稻种质

Table 5 Rice germplasm with high nitrogen contain rate and nitrogen absorption of straw

种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	秸秆含氮率(%) SNR	种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	秸秆含氮量 kg/667m <sup>2</sup> SNA
包协 123B	籼	湖南	1.45	培 C122	粳	湖南	7.69
水原 300 粒	粳	河北	1.46	葡萄黄	粳	天津	7.79
江农早 1 号 B	籼	江西	1.46	八百粒	粳	云南	7.93
辽梗 287	粳	辽宁	1.46	红晚 1 号	籼	福建	8.46
四倍体朝 6	粳	北京	1.47	油粘	粳	贵州	8.49
抚宁紫皮梗子	粳	河北	1.48	寸谷糯	籼	贵州	8.57
晋稻 1 号	粳	山西	1.48	半节芒	粳	云南	8.61
青四矮 16B	籼	广东	1.50	立新梗	粳	四川	8.73
洞庭晚籼	籼	湖北	1.51	毫菜	籼	云南	8.76
三百粒	籼	江西	1.52	丝苗	籼	广东	8.83
京虎 B	粳	安徽	1.52	老造谷	籼	云南	9.11
寸谷糯	籼	贵州	1.53	南高谷	籼	云南	9.13
木樨球	粳	上海	1.54	鼠牙占	籼	广东	9.26
台东陆稻 328	粳	台湾	1.57	红梗旱谷	粳	广西	9.43
白毛稻	粳	黑龙江	1.60	JWR 221	粳	江苏	10.08
早籼 240	籼	安徽	1.60	魔王谷内杂	粳	云南	10.26
麻谷子	粳	陕西	1.61	乌壳占	籼	福建	10.52
拉木加	粳	云南	1.65	文香糯	籼	云南	10.66
金南特 B	籼	湖南	1.75	齐眉	籼	广东	11.25
湘矮早 10 号	籼	湖南	1.85	金包银	粳	福建	12.12

对 104 份籼稻种质和 76 份粳稻种质的分析结果表明,籼稻秸秆含氮率的最大值、最小值和平均值分别为 1.85%、0.66% 和 1.15%,粳稻秸秆含氮率的最大值、最小值和平均值分别为 1.65%、0.56% 和 1.21%;籼稻单株秸秆含氮量的最大值、最小值和平均值分别为 0.57 g、0.04 g 和 0.23 g,粳稻单株秸秆含氮量的最大值、最小值和平均值分别为 0.61 g、0.05 g 和 0.20 g。分析认为秸秆含氮率与含氮量在粳稻和籼稻亚种间没有显著的差异。

**2.2.4 水稻微核心种质植株含氮量和氮素生物产量利用率** 从水稻微核心种质植株含氮量和氮素生物产量利用率次数分布(图 3)可见,品种间存在较大的差异。来自黑龙江的粳稻种质黑梗 2 号的植株含氮量最低,为 1.94 kg/667m<sup>2</sup>;来自贵州的粳稻种质香糯的植株含氮量最高,为 25.91 kg/667m<sup>2</sup>;平均

值为 9.03 kg/667m<sup>2</sup>,变异系数为 49.75%。来自贵州的粳稻种质香糯的氮素生物产量利用率最低,为 17.56 g/g;来自云南的籼稻种质毫香的氮素生物产量利用率最高,为 104.02 g/g;平均值为 43.03 g/g,变异系数为 36.45%。

对 104 份籼稻种质和 76 份粳稻种质的分析结果表明,籼稻植株含氮量的最大值、最小值和平均值分别为 1.23 g、0.14 g 和 0.48 g,粳稻植株含氮量的最大值、最小值和平均值分别为 1.30 g、0.10 g 和 0.42 g;籼稻氮素生物产量利用率的最大值、最小值和平均值分别为 104.02 g/g、21.37 g/g 和 43.66 g/g,粳稻氮素生物产量利用率的最大值、最小值和平均值分别为 85.89 g/g、17.56 g/g 和 42.17 g/g;分析认为,植株含氮量在粳稻和籼稻亚种间没有显著的差异;氮素生物产量利用率籼稻略大于粳稻,但差异不显著。

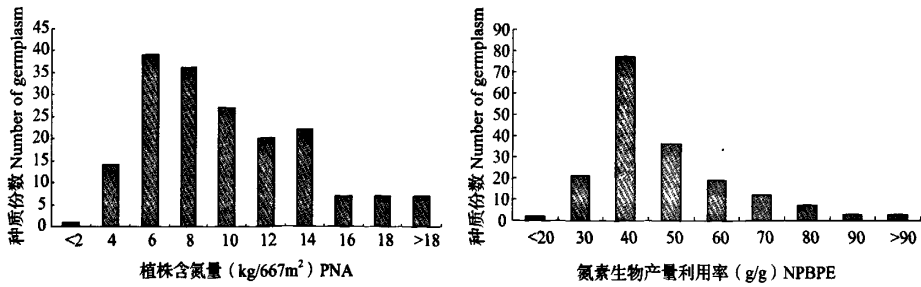


图3 水稻微核心种质植株含氮量和氮素生物产量利用率次数分布图

Fig. 3 Frequency distribution of plant nitrogen absorption and NBPPE of rice core collection

2.2.5 氮素子粒产量利用率和氮素收获指数 从水稻微核心种质氮素子粒产量利用率和氮素收获指数次数分布(图4)与筛选出的氮素子粒产量利用率和氮素收获指数较大的20份水稻种质清单(表6)可见,氮素子粒产量利用率和氮素收获指数在品种间存在较大的差异。来自云南的籼稻种质毫莱的氮

素子粒产量利用率和氮素收获指数最低,分别为3.85 g/g和7.05%;来自海南的粳稻种质闷加高的氮素子粒产量利用率和氮素收获指数最高,分别为57.52 g/g和88.85%;其平均值分别为28.00 g/g和51.38%,其变异系数分别为28.85%和26.51%。

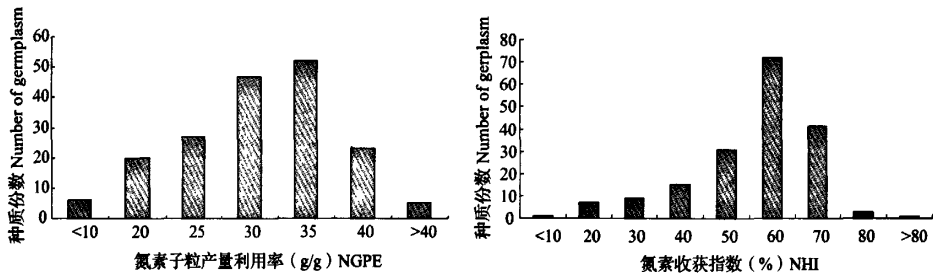


图4 水稻微核心种质氮素子粒产量利用率和氮素收获指数次数分布图

Fig. 4 Frequency distribution of NGPE and NHI of rice core collection

表6 氮素子粒产量利用率和氮素收获指数较高的水稻种质

Table 6 Rice germplasms with high NGPE and HNI

种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	氮素子粒产量 利用率(g/g) NGPE	种质名称 Accession name	亚种 Subspecies	来源 Origin	氮素收获 指数(%) HNI
解放籼	籼	江西	36.34	柳沙1号	籼	广西	65.29
梅花糯	籼	四川	36.42	秀水115	粳	浙江	65.34
广陆矮15-1	籼	广西	36.67	红晚1号	籼	福建	65.48
中花8号	粳	北京	36.95	加巴拉	籼	西藏	65.62
镇籼232	籼	江苏	37.02	粳7623	粳	上海	66.22
郑稻5号	粳	河南	37.27	竹珍B	籼	湖南	66.39
黄皮糯	粳	云南	37.33	黄皮糯	粳	云南	66.82
湘晚籼3号	籼	湖南	37.33	桂朝2号	籼	广东	67.15
墨米	籼	广西	38.00	朝阳一号B	籼	湖南	67.47
红米三担白	籼	江西	38.29	广陆矮4号	籼	广东	67.76
台中籼选220号	籼	台湾	38.33	粘壳糯	籼	贵州	68.05
桂朝2号	籼	广东	38.59	台中籼选220号	籼	台湾	68.62
矮麻抗	籼	四川	38.70	老光头83	粳	黑龙江	68.81
横县良春畚谷	籼	广西	38.80	横县良春畚谷	籼	广西	69.07
苏梗2号	粳	江苏	39.80	陆财号	籼	福建	69.37
粘壳糯	籼	贵州	42.53	椰晚3号	粳	湖南	69.61
红晚1号	籼	福建	42.80	矮脚南特	籼	广东	70.11
椰晚3号	粳	湖南	44.62	广陆矮15-1	籼	广西	74.81
香糯	粳	贵州	46.50	香糯	粳	贵州	79.99
闷加高1	粳	海南	57.52	闷加高1	粳	海南	88.58



对 104 份籼稻种质和 76 份粳稻种质的分析结果表明,籼稻氮素子粒产量利用率的最大值、最小值和平均值分别为 42.80 g/g、3.85 g/g 和 28.28 g/g,粳稻氮素子粒产量利用率的最大值、最小值和平均值分别为 57.52 g/g、5.22 g/g 和 27.62 g/g;籼稻氮素收获指数的最大值、最小值和平均值分别为 74.81%、7.05% 和 52.08%,粳稻氮素收获指数的最大值、最小值和平均值分别为 88.58%、10.33% 和 50.52%。粳稻氮素子粒产量利用率与氮素收获指数的最大值和最小值均大于籼稻,但其平均值略小于籼稻,这是因为籼稻氮素子粒产量利用率和氮素收获指数整体水平较高的原因。如籼稻氮素子粒产量利用率大于 29 g/g 的种质有 57 份,占参试籼稻种质的 54.81%;氮素收获指数大于 50% 的种质有 71 份,占参试籼稻种质的 68.27%。粳稻氮素子粒产量利用率大于 29 g/g 的种质只有 33 份,占参试粳稻种质的 43.42%;氮素收获指数大于 50% 的种质只有 36 份,占参试籼稻种质

的 47.37%。氮素子粒产量利用率与氮素收获指数在粳稻和籼稻亚种间存在较明显的差异。

### 2.2.6 产量和氮素利用率有关性状的相关分析

在低氮水平下,产量与氮素利用效率有关性状的相关分析结果列于表 7。分析结果表明,单株子粒重与植株含氮量、氮素子粒产量利用率和氮素收获指数呈极显著正相关;氮素子粒利用率与植株含氮量和氮素收获指数早极显著正相关。说明植株含氮量、氮素子粒产量利用率和氮素收获指数较高的材料,一般表现较高的产量;单株子粒重和氮素收获指数较高的材料,一般表现较高的氮素子粒利用率。单株子粒重与穗粒数、结实率、有效穗数和单株秸秆重呈极显著正相关,与千粒重呈显著正相关;氮素子粒利用率与结实率、千粒重、有效穗数和单株子粒重呈极显著正相关。说明在氮素水平较低的情况下,大穗、大粒、结实率高和有效穗数多的材料,一般表现较高的产量和氮素子粒利用率。

表 7 水稻产量和氮素利用率有关性状间的相关关系

Table 7 Correlation coefficients among characters related to grain yield and nitrogen-use efficiency (NUE) of rice

性状 Trait	穗粒数 Spikes/plant	结实率 SSR	千粒重 1000-GW	有效穗数 Panicles/plant	单株 秸秆重 SW/P	单株 子粒重 GW/P	植株 含氮量 PNA	氮素子粒产量 利用率 NGPE	氮素生物产量 利用率 NPBPE
结实率 SSR	-0.27**								
千粒重 1000-GW	-0.23**	0.24**							
有效穗数 Panicles/plant	-0.24**	0.31**	0.12						
单株秸秆重 SW/P	0.49**	-0.16*	-0.17*	0.30**					
单株子粒重 GW/P	0.27**	0.44**	0.18*	0.62**	0.42**				
植株含氮量 PNA	0.43**	0.19*	0.06	0.57**	0.75**	0.87**			
氮素子粒产量利用率 NGPE	-0.12	0.72**	0.34**	0.42**	-0.23**	0.62**	0.22**		
氮素生物产量利用率 NPBPE	0.35**	-0.50**	-0.35**	-0.21**	0.67**	-0.23**	0.09	-0.59**	
氮素收获指数 NHI	-0.23**	0.68**	0.28**	0.39**	-0.41**	0.48**	0.10	0.90**	-0.77**

SSR:Seed setting rate;1000-GW:1000-grain weight;SW/P:Straw weight/plant;GW/P:Grain weight/plant

产量与氮素利用效率有关性状的相关分析表明,氮素子粒产量利用率与结实率、单株子粒重和有效穗数呈极显著正相关,其相关系数分别为 0.72、0.62 和 0.42;氮素收获指数与结实率、单株子粒重和有效穗数也早极显著正相关,其相关系数分别为 0.68、0.48 和 0.39。分析认为在氮素水平较低的情况下,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间接筛选指标。

## 3 讨论

### 3.1 水稻微核心种质氮素利用率相关性状表型差异

黄农荣等<sup>[6]</sup>分析表明,氮素积累总量与利用效率呈现相反的变化趋势,高氮处理的氮素积累总量比低氮处理的高,但其氮素生产利用率比低氮处理的要低。Wu 等<sup>[13]</sup>研究认为,杂交水稻品种的氮素

利用效率比半矮秆和高秆常规水稻品种高。Park 等<sup>[14]</sup>、江立庚等<sup>[15]</sup>研究认为,水稻品种的氮素需求量和利用效率在籼稻和粳稻间有较大的差异,即便是同型品种,也存在较大的氮素利用率差异。曹桂兰等<sup>[16]</sup>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。本研究结果表明,水稻微核心种质在江西种植表现较大的差异,所研究的 8 个与氮素利用率有关性状的变异系数均大于 12%。秸秆含氮率与含氮量、子粒含氮率与含氮量和植株含氮量在粳稻和籼稻亚种间没有显著差异;氮素生物产量利用率籼稻略大于粳稻,但差异不显著;氮素子粒产量利用率与氮素收获指数在粳稻和籼稻亚种间存在较明显的差异。氮素利用率有关性状在品种间存在较大差异。本研究筛选出几个氮素利用率相关性状较高的种质,其中来自贵州的粳稻种质香糯的单株子粒重、氮素子粒产量利用率和氮素收获指数分别为 52.68 g、42.8 g/g 和 65.48%;来自海南的粳稻种质闷加高 1 的单株子粒重、氮素子粒产量利用率和氮素收获指数分别为 51.07 g、57.52 g/g 和 88.58%。分析认为,通过对种质资源氮素利用率相关性状的分析研究,可以筛选出耐低氮和氮高效的种质资源。

### 3.2 水稻氮素利用率相关性状的相关性

De Datta 等<sup>[17]</sup>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。朴钟泽等<sup>[18]</sup>研究表明,稻谷产量、穗数、结实率和收获指数与氮素利用效率、氮素吸收总量和氮素转移率均呈显著正相关。本研究表明,在低氮条件下,氮素子粒产量利用率与结实率、千粒重、单株有效穗数、单株子粒重、植株含氮量和氮素收获指数呈极显著正相关;氮素收获指数与结实率、千粒重、有效穗数和单株子粒重呈极显著正相关。

黄农荣等<sup>[6]</sup>研究表明,品种间植株氮素吸收量、干物质生产效率和子粒生产效率具有明显差异;水稻氮素利用率与抽穗期及乳熟期倒 2、倒 3 叶的叶绿素含量呈显著或极显著负相关;与收获指数、稻谷产量和穗数之间均呈极显著正相关,它们可作为水稻氮素利用效率的评价指标。张云桥等<sup>[19]</sup>研究认为,株高可作为预测水稻品种氮素利用效率、氮高效的指标。郑家奎等<sup>[20]</sup>研究认为,株高、有效穗数、

生物产量、单株产量和结实率可作为耐低氮和氮高效水稻材料的筛选指标。本研究表明,氮素子粒产量利用率和氮素收获指数与结实率、单株子粒重和单株有效穗数均呈极显著正相关;认为在氮素水平较低的情况下,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。

### 参考文献

- [1] FAO. Statistical databases, Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations [EB/OL]. [2010-12-23]. <http://www.fao.org>.
- [2] 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
- [3] 崔英德. 复合肥的生产与施用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999: 1-24
- [4] Ten Berge H F M, Thiyagarajan T M, Shi Q H. Numerical optimization of nitrogen application to rice. Part. I. Description of MAN-AGE-N[J]. Field Crops Res, 1997, 51: 29-42
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 徐志远, 秦智伟, 周秀艳. 氮肥利用研究现状及培育耐低氮胁迫蔬菜品种的探讨[J]. 东北农业大学学报, 2007, 38(5): 706-710
- [8] 朴钟泽, 韩龙植, 高熙宗. 水稻不同基因型氮素利用效率差异[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(3): 233-238
- [9] 徐福荣, 汤翠凤, 余藤琼, 等. 利用叶绿素仪 SPDA 值筛选耐低氮水稻种质[J]. 分子植物育种, 2005, 3(5): 695-700
- [10] 钟代斌, 陆雅海, 郭龙彪, 等. 氮高效水稻种质资源筛选的初步研究[J]. 植物遗传资源科学, 2001, 2(4): 16-20
- [11] 潘圣刚, 曹凌贵, 蔡明历, 等. 不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 283-289
- [12] 徐富贤, 熊洪, 熊成, 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
- [13] Wu P, Tao Q N. Genotype response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes[J]. Plant Nutrition, 1995, 18(3): 487-500
- [14] Park H, Mok S J. Efficiency of soil and fertilizer nitrogen in relation to rice variety and application time, using 15 N labeled fertilizer[J]. J Korean Agric Chem, 1982, 25(4): 232-238
- [15] 江立庚, 戴廷波, 韦善清, 等. 南方水稻氮素吸收与利用效率的基因型差异及评价[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 466-471
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 张云桥, 吴荣生, 蒋宁, 等. 水稻的氮素利用效率与品种类型的关系[J]. 植物生理通讯, 1989(2): 127-143
- [20] 郑家奎, 文春阳, 张涛, 等. 耐低氮水稻材料筛选及筛选指标研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7361-7363

# 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

作者: [黎毛毛](#), [万建林](#), [黄永兰](#), [曹桂兰](#), [陈红萍](#), [韩龙植](#), [LI Mao-mao](#), [WAN Jian-Lin](#), [HUANG Yong-lan](#), [CAO Gui-lan](#), [CHEN Hong-ping](#), [HAN Long-zhi](#)

作者单位: [黎毛毛](#), [万建林](#), [黄永兰](#), [陈红萍](#), [LI Mao-mao](#), [WAN Jian-Lin](#), [HUANG Yong-lan](#), [CHEN Hong-ping](#) (江西省农业科学院水稻研究所, 南昌, 330200), [曹桂兰](#), [韩龙植](#), [CAO Gui-lan](#), [HAN Long-zhi](#) (中国农业科学院作物科学研究所/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程/农业部作物种质资源与生物技术重点开放实验室, 北京, 100081)

刊名: [植物遗传资源学报](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF PLANT GENETIC RESOURCES](#)

年, 卷(期): 2011, 12(3)

## 参考文献(20条)

1. [郑家奎](#); [文春阳](#); [张涛](#) [耐低氮水稻材料筛选及筛选指标研究](#) 2009(16)
2. [张云桥](#); [吴荣生](#); [蒋宁](#) [水稻的氮素利用效率与品种类型的关系](#) 1989(02)
3. [朴钟泽](#); [韩龙植](#); [高熙宗](#) [水稻氮素利用效率的选择效果](#) 2004(07)
4. [De Datta S K](#); [Broadbent F E](#) [Nitrogen-use efficiency of 24 rice genotypes on N-deficient soil](#) 1990
5. [曹桂兰](#); [张媛媛](#); [朴钟泽](#) [水稻不同基因型耐低氮能力差异评价](#) 2006(03)
6. [江立庚](#); [藏廷波](#); [韦善清](#) [南方水稻氮素吸收与利用效率的基因型差异及评价](#) 2003(04)
7. [Park H](#); [Mok S J](#) [Efficiency of soil and fertilizer nitrogen in relation to rice variety and application time, using 15 N labeled fertilizer](#) 1982(04)
8. [Wu P](#); [Tao Q N](#) [Genotype response and selection pressure on nitrogen-use efficiency in rice under different nitrogen regimes](#) 1995(03)
9. [徐富贤](#); [熊洪](#); [熊戎](#) [水稻氮素利用效率的研究进展及其动向](#) 2009(05)
10. [潘圣刚](#); [曹凑贵](#); [蔡明历](#) [不同灌溉模式下氮肥水平对水稻氮素利用效率、产量及其品质的影响](#) 2009(02)
11. [钟代斌](#); [陆雅海](#); [郭龙彪](#) [氮高效水稻种质资源筛选的初步研究](#) 2001(04)
12. [徐福荣](#); [汤翠凤](#); [余藤琼](#) [利用叶绿素仪SPDA值筛选耐低氮水稻种质](#) 2005(05)
13. [朴钟泽](#); [韩龙植](#); [高熙宗](#) [水稻不同基因型氮素利用效率差异](#) 2003(03)
14. [徐志远](#); [秦智伟](#); [周秀艳](#) [氮肥利用研究现状及培育耐低氮胁迫蔬菜品种的探讨](#) 2007(05)
15. [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](#) 2006(06)
16. [罗志祥](#); [苏泽胜](#); [施伏芝](#) [氮肥高效利用水稻育种的现状与展望](#) 2003(01)
17. [Ten Berge H F M](#); [Thiyagarajan T M](#); [Shi Q H](#) [Numerical optimization of nitrogen application to rice. Part. I. Description of MAN-AGE-N](#) 1997
18. [崔英德](#) [复合肥的生产与施用](#) 1999
19. [江立庚](#); [曹卫星](#) [水稻高效利用氮素的生理机制及有效途径](#) 2002(03)
20. [FAO Statistical databases, Food and Agriculture Organization \(FAO\) of the United Nations](#) 2010

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_zwyczyxb201103004.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_zwyczyxb201103004.aspx)