



# 黑龙江省水稻耐低氮种质资源的筛选与评价

赵宏亮<sup>1</sup>, 李 琬<sup>1</sup>, 王 萍<sup>2</sup>, 王曼力<sup>1</sup>, 孙明明<sup>2</sup>, 李智媛<sup>2</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院 信息中心, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为改良和培育水稻氮高效品种, 提高黑龙江省水稻氮肥利用率, 以 62 份黑龙江省水稻种质资源为材料, 采用田间试验的方法, 研究了低氮胁迫对水稻成熟期株高、有效穗数、穗长及其它产量因素的影响。结果表明: 低氮胁迫对供试材料生长均发育均有不同程度的影响, 除结实率、千粒重外, 施氮处理的各性状观测平均值均高于不施氮处理, 其中以株高、有效穗数、单株产量受到影响最大; 根据供试材料主要农艺性状的相对指标差异及其相关性分析, 认为株高、有效穗数、每穗粒数、生物产量、单株产量可作为供试材料耐低氮能力的筛选指标; 利用耐低氮指数初步筛选获得氮敏感材料 7014 和耐低氮材料 Q01、Q10、Q25、7003、7005、7009、7011、7021、7032。

**关键词:**水稻; 耐低氮; 农艺性状; 筛选指标; 评价

近年来, 随着黑龙江省水稻种植面积的不增加, 生产中肥料特别是氮肥的过量施用, 已带来了愈来愈严重的环境问题, 其产量的提高幅度愈来愈低, 报酬递减现象加重, 严重影响农民种粮积极性<sup>[1-3]</sup>。已有研究表明, 水稻品种资源在肥料的利用率上存在较大的遗传多样性<sup>[4-10]</sup>, 但针对黑龙江省水稻耐低氮的相关研究较少。本研究在低氮胁迫条件下, 对黑龙江省 62 份水稻种质资源进行了耐低氮筛选, 旨在明确黑龙江省不同水稻种质资源耐低氮性差异, 为黑龙江省培育水稻氮高效品种, 提高氮肥利用率, 保护生态环境, 提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为 62 份水稻种质资源, 其中 31 份水稻回交导入系、31 份水稻优良品种(系), 由黑龙江省农业科学院耕作栽培研究所提供。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验设计** 试验于 2016 年在黑龙江省农业科学院黑龙江现代农业示范区水田区进行(N 45°49', E 126°48', 海拔 117 m)。该区域属中温带大陆性季风气候, 冬长夏短, 年平均气温 4.5 °C, 全年≥10 °C 有效积温 2 700 °C 以上, 全年作物生长期约 155 d, 年平均降水量 569.1 mm,

降水主要集中在 6-9 月。供试土壤为黑土, 基本理化性质为有机质为 29.56 g·kg<sup>-1</sup>, 速效氮 79.56 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 55.84 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 168.42 mg·kg<sup>-1</sup>。

试验设正常施氮肥(施氮、磷、钾肥, +N)和未施氮肥(不施氮, 施磷、钾肥, -N)两个处理。肥料用量(kg·hm<sup>-2</sup>)为 N 120(尿素)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60(过磷酸钙)、K<sub>2</sub>O 45(氯化钾), 其中 60% 氮肥和全部磷、钾肥作基肥, 40% 氮肥追肥。其它田间管理同当地生产实际。

试验于 2016 年 4 月 15 日播种, 5 月 18 日插秧, 单本栽插, 插秧规格 30 cm×13 cm, 每份材料种植 3 行, 每行 10 株, 3 次重复。

**1.2.2 测定项目与方法** 于成熟期每份材料选取长势一致的植株 5 株进行产量相关性状测定, 包括株高、有效穗数、每穗粒数、穗长、生物量、单株产量、结实率、千粒重、单株产量等。

植株某性状的相对值(低氮胁迫/正常供氮)可以表征该性状对养分胁迫的敏感程度。本研究以相对生长量(相对生长量(%))=不施氮处理/施氮处理×100)为水稻对氮素高效利用和耐低氮的筛选相对指标<sup>[11]</sup>。

各性状观测值的相对值按以下公式计算:

株高相对值(%)=未施氮株高测定值/施氮株高测定值×100;

有效穗数相对值(%)=未施氮有效穗数测定值/施氮有效穗数测定值×100;

穗长相对值(%)=未施氮穗长测定值/施氮穗长测定值×100;

收稿日期: 2018-01-15

基金项目: 哈尔滨市科技创新人才资助项目(2015RQQYJ037)。

第一作者简介: 赵宏亮(1979-), 男, 博士, 助理研究员, 从事水稻栽培育种研究。E-mail: hongliang\_1979@126.com。

生物产量相对值(%)=未施氮生物产量测定值/施氮生物产量测定值×100；

千粒重相对值(%)=未施氮千粒重测定值/施氮千粒重测定值×100；

单株产量相对值(%)=未施氮单株产量测定值/施氮单株产量测定值×100；

结实率相对值(%)=未施氮结实率测定值/施氮结实率测定值×100。

1.2.3 数据分析 利用 SPSS 19.0 和 Excel 2007 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 低氮胁迫对主要农艺性状的影响

由表 1 可知,除结实率、千粒重外,施氮处理主要农艺性状测定平均值均高于未施氮处理,说明低氮对水稻生长发育存在胁迫效应,以株高、有效穗数、单株产量受到影响最大。施氮处理株高、有效穗数、穗长、每穗粒数、千粒重、单株产量、生物量的平均值与未施氮处理相比,分别高

21.26 cm、5.05 个、1.68 cm、16.51 个、9.83 g、4.15 g,而结实率、千粒重未施氮处理平均值分别比施氮处理高 2.81%和 3.78 g。由未施氮处理主要农艺性状的极大值可知,在本研究 62 份供试材料中存在低氮胁迫下能够正常生长发育的耐低氮种质材料。

2.2 耐低氮筛选相对指标差异

由表 2 可知,相对株高、相对有效穗数、相对单株产量较小,分别为 81.66%、63.46%、81.54%；相对穗长、相对每穗粒数、相对结实率、相对千粒重、相对生物量较大,分别为 92.73%、91.17%、112.56%、117.25%、95.92%。说明相对株高、相对有效穗数、相对单株产量对低氮胁迫较敏感；相对穗长、相对每穗粒数、相对结实率、相对千粒重、相对生物量对低氮胁迫不敏感。同时相对株高、相对有效穗数、相对单株产量与水稻产量存在相关性,因此这 3 个性状可作为耐低氮材料筛选指标。

表 1 62 份水稻种质材料施氮与未施氮处理下各性状分析

Table 1 Analysis on agronomic characters of 62 rice germplasm under nitrogen treatment and non-nitrogen treatment

性状 Characters	处理 Treatments	极小值 Min.	极大值 Max.	均值 Average	标准差 SD	变异系数/% CV
株高/cm	+N	81.67	151.67	111.98	15.28	13.64
Plant height	-N	66.00	118.33	90.72	10.71	11.80
有效穗数	+N	5.67	19.33	12.81	2.62	20.49
Effective panicle number	-N	3.00	14.00	7.76	1.82	23.43
穗长/cm	+N	13.93	26.57	20.90	2.85	13.63
Panicle length	-N	13.52	24.27	19.22	2.26	11.75
每穗粒数	+N	94.33	219.83	159.56	29.72	18.62
Number of grains per panicle	-N	78.67	222.50	143.05	32.52	22.74
结实率/%	+N	71.90	98.24	86.01	11.09	12.89
Seed setting percentage	-N	71.79	99.06	94.82	11.50	12.75
千粒重/g	+N	10.25	31.26	24.58	2.98	12.13
1000-grain weight	-N	21.16	37.82	28.34	3.25	11.47
单株产量/g	+N	8.90	69.02	36.42	10.37	28.48
Single plant yield	-N	9.67	47.75	26.59	6.89	25.93
生物产量/g	+N	31.62	81.42	52.44	11.16	21.28
Biomass yield	-N	24.56	73.18	48.29	8.91	18.46

2.3 主要农艺性状相关性分析

由表 3 可知,相对株高与相对有效穗数呈显著正相关,相对有效穗数与相对单株产量、相对生

物量呈极显著正相关,相对穗长与相对每穗粒数呈极显著正相关,相对穗长相对结实率呈极显著负相关,相对每穗粒数与相对单株产量、相对生物

量呈显著正相关,相对结实率与相对千粒重极显著正相关,相对单株产量与相对生物量极显著正相关。相对株高、相对有效穗数、相对单株产量、相对每穗粒数、相对生物量间均存在着显著或极

显著正相关,说明这 5 个指标在水稻的耐低氮能力上存在着一致性,因此相对每穗粒数和相对生物量也可以作为耐低氮筛选指标。

表 2 水稻种质资源耐低氮筛选相对指标分析

Table 2 Analysis on relative index of rice germplasm resources for low-nitrogen resistance

指标 Index	极小值 Min.	极大值 Max.	均值 Average	标准差 SD	变异系数/% CV
相对株高 Relative plant height	50.57	112.13	81.66	8.77	10.74
相对有效穗数 Relative effective panicle number	29.41	141.18	63.46	21.18	33.37
相对穗长 Relative panicle length	69.80	121.06	92.73	10.35	11.16
相对每穗粒数 Relative number of grains per panicle	54.89	163.03	91.17	21.38	23.45
相对结实率 Relative seed setting percentage	86.74	131.56	112.56	20.43	18.15
相对千粒重 Relative 1000-grain weight	78.21	178.83	117.25	25.92	22.11
相对单株产量 Relative single plant yield	50.49	188.62	81.54	48.85	59.90
相对生物量 Relative biomass yield	56.69	177.12	95.92	27.11	28.27

表 3 水稻种质资源主要农艺性状相对值间相关性分析

Table 3 Correlation analysis on relative value of main agronomic characters of rice germplasm resources

项目 Items	相对株高 Relative plant height	相对有效穗数 Relative effective panicle number	相对穗长 Relative panicle	相对每穗粒数 Relative number of grains per panicle	相对结实率 Relative seed setting percentage	相对千粒重 Relative 1000-grain weight	相对单株产量 Relative single plant yield
相对有效穗数 Relative effective panicle number	0.31 *						
相对穗长 Relative panicle	0.06	0.17					
相对每穗粒数 Relative number of grains per panicle	0.02	0.11	0.52 * *				
相对结实率 Relative seed setting percentage	-0.07	-0.01	-0.36 * *	-0.21			
相对千粒重 Relative 1000-grain weight	-0.03	-0.17	-0.17	-0.07	0.70 * *		
相对单株产量 Relative single plant yield		0.25	0.43 * *	0.22	0.26 *	0.17	0.14
相对生物量 Relative biomass yield	0.11	0.50 * *	0.22	0.26 *	0.30	0.18	0.75 * *

\* : $P<0.05$ , \* \* : $P<0.01$ 。

2.4 水稻种质资源耐低氮特性评价

为了能够更客观、真实的反映各水稻种质资源的耐低氮胁迫能力。本研究以耐低氮指数(R)来反映不同品种(系)间耐低氮特性的差异,将其定义为相对株高、相对有效穗数、相对每穗粒数、相对生物产量、相对单株产量之和,R 值愈大,表明耐低氮胁迫的能力越强<sup>[12]</sup>。

由图 1 可知,62 份水稻种质资源中耐低氮指数 $\leq 3$ 的水稻材料有 1 份,占总材料数的 1.61%,耐低氮指数介于 3~4 和 4~5 的水稻材料分别有 32 和 20 份,分别占 51.61%和 32.26%,耐低氮指数 $\geq 5$ 的材料有 9 份,占 14.52%。

由表 4 和表 5 可知,62 份水稻材料耐低氮指数变幅介于 2.45~6.44,62 份水稻种质资源分为

4 类,从 I 类到 IV 类耐低氮指数依次升高,耐低氮能力逐渐增强,其中氮敏感材料 1 份,为 7014,耐低氮材料 9 份,分别为 Q01、Q10、Q25、7003、7005、7009、7011、7021、7032。

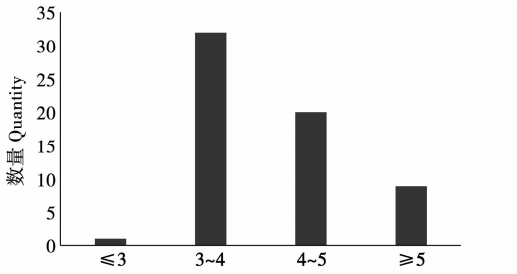


图 1 62 份水稻种质资源耐低氮指数分布情况  
Fig. 1 Low nitrogen index distribution of 62 rice germplasm resources

表 4 62 份水稻种质资源耐低氮能力分类

Table 4 Low nitrogen resistance classification of 62 rice germplasm resources				
类别 Classification	R	数量 Quantity	名称 Name	
I	$\leq 3$	1	7014	
II	3~4	32	Q21、7029、Q22、7016、7012、Q16、7026、7027、7028、7015、Q11、Q07、7030、Q33、Q38、Q34、Q39、7017、Q12、Q14、7018、Q13、Q24、7013、Q23、7024、Q29、Q35、7019、7004、7022、7006	
III	4~5	20	Q26、Q28、7020、Q15、Q40、Q27、7023、Q19、Q42、Q30、Q18、7001、7010、Q37、7007、7002、7008、Q17、7035、Q31	
IV	$\geq 5$	9	Q01、Q10、Q25、7003、7005、7009、7011、7021、7032	

表 5 62 份水稻种质资源耐低氮指数

Table 5 Low nitrogen index of 62 rice germplasm resources

编号 No.	R	编号 No.	R	编号 No.	R	编号 No.	R
7001	4.41	7017	3.56	Q07	3.40	Q26	4.05
7002	4.57	7018	3.65	Q10	5.57	Q27	4.17
7003	5.65	7019	3.92	Q11	3.37	Q28	4.10
7004	3.93	7020	4.10	Q12	3.57	Q29	3.85
7005	5.11	7021	6.11	Q13	3.66	Q30	4.35
7006	3.95	7022	3.95	Q14	3.60	Q31	4.94
7007	4.56	7023	4.22	Q15	4.15	Q33	3.49
7008	4.70	7024	3.83	Q16	3.22	Q34	3.50
7009	5.60	7026	3.26	Q17	4.81	Q35	3.87
7010	4.52	7027	3.27	Q18	4.36	Q37	4.53
7011	5.69	7028	3.31	Q19	4.30	Q38	3.49
7012	3.21	7029	3.10	Q21	3.01	Q39	3.51
7013	3.76	7030	3.47	Q22	3.17	Q40	4.16
7014	2.72	7032	5.02	Q23	3.78	Q42	4.34
7015	3.31	7035	4.81	Q24	3.74	变幅	2.72~6.44
7016	3.18	Q01	6.44	Q25	5.60	变异系数/%	19.96

### 3 结论

在低氮胁迫下,62 份供试材料的生长发育受到不同程度的影响。根据供试材料主要农艺性状的相对指标差异及其相关性分析,认为株高、有效穗数、每穗粒数、生物产量、单株产量可作为供试材料耐低氮能力的筛选指标,但所选筛选指标是否能够应用于其他水稻种质资源进行耐低氮筛选,仍需进一步做系统性研究。利用耐低氮指数,对供试材料进行耐低氮特性评价,初步获得氮敏感材料 1 份和耐低氮材料 9 份,为黑龙江省改良和培育水稻氮高效品种提供基础材料。

#### 参考文献:

- [1] Senaratne R,Ratnasinghed S. Nitrogen fixation and beneficial effects of some grain legumes and green-manure crop on rice[J]. *Boil Fertil Soil*,1995,19:49-54.
- [2] 单玉华,王余农,山本由德. 常规籼稻与杂交籼稻氮素利用效率的差异[J]. *江苏农业研究*,2001,22(1):12-15.
- [3] 王秀芹,张洪程,黄银忠,等. 施氮量对不同水稻品种吸氮特性及氮肥利用率的影响[J]. *上海交通大学学报:农业科学版*,2003,21(4):325-330.
- [4] Singh U,Ladha J K, Castillo E G,et al. Genotypic variation

in nitrogen use efficiency in medium and long-duration rice[J]. *Field Crops Research*,1998,58:35-53.

- [5] Ying J,S Peng, G Yang, et al. Comparison of high-yield rice in tropical and subtropical environments: II. Nitrogen accumulation and utilization efficiency[J]. *Field Crops Research*,1998,57:85-93.
- [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] 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.
- [8] 翟荣荣,余鹏,叶胜海,等. 浙江省晚粳稻耐低氮品种的筛选和评价[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*,2016,42(5):565-572.
- [9] 胡标林,李霞,万勇,等. 东乡野生稻 BILs 群体耐低氮性表型性状指标筛选及其综合评价[J]. *应用生态学报*,2015,26(8):2346-2352.
- [10] 张宁,郭荣发. 水稻氮高效种质资源筛选及其耐低氮胁迫机理研究进展[J]. *广东农业科学*,2014,41(5):66-70.
- [11] 裴雪霞,王姣爱,党建友,等. 耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J]. *植物营养与肥料学报*,2007,13(1):93-98.
- [12] 高丽,周健民,史衍玺. 石灰性土壤上花生耐低铁品种的筛选[J]. *中国油料作物学报*,2008,30(2):168-173.

## Screening and Evaluation of Low-nitrogen Resistance Germplasm in Heilongjiang Province

ZHAO Hong-liang<sup>1</sup>, LI Wan<sup>1</sup>, WANG Ping<sup>2</sup>, WANG Man-li<sup>1</sup>, SUN Ming-ming<sup>2</sup>, LI Zhi-yuan<sup>2</sup>

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 2. Information Center of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to improve and cultivate rice-nitrogen efficient varieties, and raise the nitrogen fertilizer use efficiency in Heilongjiang province, we took 62 rice germplasms in Heilongjiang province as materials, and researched the effects of the low nitrogen stress on plant height, effective panicle number, panicle length and other production factors of rice at mature stage in field. The results showed that the low nitrogen stress had different effects on the growth of test materials, the average value of each traits of nitrogen treatment was higher than that of non-nitrogen treatment except the seed setting percentage and 1000-grain weight, and the plant height, effective panicle number and single plant yield had the greatest influence among them; The relative index difference of main agronomic characters and their correlation analysis results indicated that the plant height, number of effective panicles, number of grains per panicle, biomass yield and yield per plant could be used as screening indexes for the low nitrogen resistance of the experimental materials. We found out nitrogen sensitive materials 7014 and low-nitrogen resistance materials Q01, Q10, Q25, 7003, 7005, 7009, 7011, 7021 and 7032 by preliminary screening of low-nitrogen resistance index.

**Keywords:** rice; tolerant to low nitrogen; agronomic characters; screening index; evaluate