

高产粳稻品种源库特征及评价体系的研究

姜文洙¹, 吴涛¹, 唐曹甲子¹, 王彩芬², 马静², 强爱玲^{2*}, 都兴林^{1*}

(1. 吉林大学植物科学学院, 长春 130062; 2. 宁夏农林科学院作物研究所, 银川 750002)

摘要:本研究对76个高产粳稻品种的叶面积指数等13项生理指标进行测定, 研究高产粳稻品种的源库特征及评价体系。利用主成分分析从13个性状中确定了5个关键指标。采用动态聚类分析方法将76个水稻品种划分为源库互作型、增库增产型、增源增产型和源库饱和型4种库源类型。利用判别函数分析方法以5个关键性状作为变量建立了高产水稻品种源库种质资源评价体系, 通过检验发现该判别函数的判别精度达到98.9%。该结果为今后高产粳稻品种源库类型的评价提供了理论依据。

关键词: 粳稻; 源库; 关键性状; 判别分析; 评价

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)05-0001-04

Studies on Characteristics and Evaluation of Source-Sink in High-Yield Japonica Rice

JIANG Wenzhu¹, WU Tao¹, TANGCAO Jiazi¹, WANG Caifen², MA Jing², QIANG Ailing^{2*}, DU Xinglin^{1*}

(1. College of Plant Science, Jilin University, Changchun 130062; 2. Crop Research Institute, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

Abstract: In order to study source-sink characteristics and establish standardized evaluation system of source-sink type for high-yield rice varieties, thirteen physiological indices of 76 high-yielding rice varieties were measured. Five key indices were identified from 13 traits by principal component analysis. Using dynamic clustering method, 76 rice varieties were classified into four types, including source-sink interaction type, increase production by increase sink type, improving production by increasing source type, and saturated source-sink type. The discriminant function for evaluating the source and sink of high-yield rice varieties was established with five key indicators as variables. Through verification, it is found that the discriminant accuracy of the discriminant function is 98.9%. The results provide a theoretical basis for the evaluation of source-sink types of high-yielding japonica rice varieties.

Key words: Japonica rice; Source-sink; Key traits; Discriminant analysis; Evaluation

随着高产育种和栽培技术的发展, 水稻产量越来越高。水稻产量的提高总是与改善源库关系、实现源库关系新平衡有关^[1-2]。因此, 建立理想的源库关系, 保持植物生理功能的协调是提高水稻产量的关键。“源”是产量形成的基础。植物许多生理过程影响着源强, 如通过提高光捕获率、优化碳固定和降低光合反馈抑制, 可以提高单位叶面积光合效率^[3-4]。库容大小对源的产量

有重要影响, 超级粳稻品种抽穗后源和流的强度均比一般品种高^[5-6]。库容不足、源活性增强或糖转运抑制导致的叶片中碳水化合物积累也会导致光合作用和光合效率的反馈下调^[1, 7]。此外, 流是保持源库协调必需的, 强源、大库和高效转运都是提高作物产量的关键。近年来, 研究者对水稻源库关系、源库关系分类、源库相互作用和产量形成等方面进行了大量的研究^[8]。然而, 在现有的大多数源库模型中, 只有一种或几种植物生理特性的相关性被用来预测库强度或源库关系特性。植物不同生理特性之间相互关系以及籽粒发育与植物生理特性之间的相互关系缺乏研究, 这也是现有大多数源库模型的主要局限之一。流也是影响源库关系的一个重要因素, 而在大多数源库模型中几乎不考虑流的特性。因此, 建立一套

收稿日期: 2019-05-24

基金项目: 国家重点研发项目(2017YFD0100504); 吉林省科技厅重点项目(20190301029NY)

作者简介: 姜文洙(1975-), 男, 副教授, 博士, 主要从事水稻分子育种研究。

通讯作者: 强爱玲, 女, 硕士, 副研究员, E-mail: sdsqal@126.com
都兴林, 男, 博士, 教授, E-mail: duxinglin2004@163.com

充分考虑水稻的源、库、流特性的综合评价体系具有十分重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

搜集吉林省在生产上推广应用的不同类型优良水稻品种(系)76个为试验材料。其中中早熟品种12个,中熟品种20个,中晚熟品种32个,晚熟品种12个。2009年种植76个品种用于评价品种的源库类型,2010年从中筛选17个代表性的品种用于进一步验证源库类型。

1.2 试验设计

所有的田间试验均于2009~2010年在吉林大学农业实验实习基地试验田进行。每个小区面积7.2 m²(8.0 m×0.9 m),每个水稻品种种植在一个小区。试验采用随机区组设计,重复三次。行株距为30 cm×20 cm。每个小区种植120株(三行,每行种植40株)。本田按140-100-80 kg/hm² N-P-K的施用量施用尿素、磷酸二铵及硫酸钾。其他田间管理同常规生产田。

1.3 指标测定方法

1.3.1 倒三叶叶面积和叶面积指数

在齐穗期,各品种取10株,调查叶长、叶宽、计算整株叶面积指数和剑叶、倒二叶、倒三叶的叶面积(cm²)。

1.3.2 叶绿素含量测定

在齐穗期,用SPAD-502叶绿素含量测定仪调查叶片的叶绿素含量。

1.3.3 物质积累与转运

齐穗期和成熟期各品种取10株,分穗、茎叶分别烘干称重。收获指数=经济产量/生物产量。

1.3.4 测产考种

收获前每个小区调查20穴有效穗数,按平均穗数法取5穴考种,调查每穴穗数,每穗颖花数,每穗饱满粒数,空秕粒数,空秕率,千粒重;按小区收获后晾干,脱粒后称重并换算为单位面积产量。源库综合指标按如下公式计算:库容量(g/m²)=每平方米有效穗数×每穗总粒数×饱满籽粒千粒重;颖花数/总面积(个/cm²)=总颖花数/抽穗期叶面积;实粒数/叶面积(粒/cm²)=总实粒数/抽穗期叶面积;粒重/叶面积(g/cm²)=籽粒产量/抽穗期叶面积。

1.4 数据处理与统计分析

利用DPS V8.01对13个源库相关性状进行相关分析和主成分分析,以主成分特征根的积累贡献率达到85%的特征向量作为主成分。利用DPS V8.01的动态聚类分析法对试验品种进行聚类分析,按源库互作型、增库增产型、增源增产型和源库饱和型四个类型进行分类。利用SAS 8.2进行判别分析。主要采用李巨龙等的方法^[9]。

表1 供试品种源、库指标的变异特征

特性	指标	平均±标准偏差	变异幅度	变异系数(%)
源相关指标	叶面积指数	3.3±0.6	1.9-5.1	19.5
	倒三叶叶面积(cm ²)	1444.9±294.4	902.2-2227.2	20.4
	SPAD	39.6±2.8	32.7-48.1	7.0
库相关指标	每穴穗数(个)	17±3	12-24	15.8
	每穗颖花数(个)	138±22	99-203	16.1
	千粒重(g)	24.4±1.9	19.6-28.9	7.7
	库容量(g/m ²)	997.6±138.0	681.4-1415.3	13.8
	颖花数/叶面积(个/cm ²)	1.3±0.2	0.7-2.0	19.4
源库综合指标	饱满粒数/叶面积(粒/cm ²)	1.2±0.2	0.7-1.7	18.5
	粒重/叶面积(g/cm ²)	31.3±5.9	18.7-47.1	19.0
	空秕率(%)	8.6±4.7	2.7-29.9	55.2
产量相关指标	收获指数	0.55±0.02	0.47-0.61	4.5
	单产(kg/hm ²)	8256.0±72.7	5506.5-11190.0	13.2

2 结果与分析

2.1 源库相关性状的差异性分析

供试品种的源相关指标中,叶面积指数和倒三叶叶面积指数的变异系数分别为19.5%和

20.4%。叶绿素含量(SPAD)的变异系数为7.0%;库相关指标中,每穴穗数、每穗颖花数、千粒重和库容量的变异系数分别为15.8%、16.1%、7.7%和13.8%;源库综合相关指标中,颖花数/叶面积、饱满粒数/叶面积、粒重/叶面积和空秕率的变异系

数分别为 19.4%、18.5%、19% 和 55.2%;产量相关指标中,收获指数和单产的变异系数分别为 4.5% 和 13.2%(表 1)。由此可见,所调查的 13 个源库相关指标的变异度较大,表明 76 个供试品种具有较强的代表性。

2.2 水稻源库性状的主成分分析

对所调查的 13 个指标进行主成分分析(表 2)。根据累积方差贡献率 90% 以上的标准确定主成分个数为 5 个,其累积贡献率为 90.4%。根据 5 个主成分载荷矩阵中各个特征向量的绝对值大小

可以看出,第一主成分的贡献率为 35.0%,以叶面积指数的特征向量值为最大;第二主成分的贡献率为 28.1%,库容量的特征向量值最大;第三主成分的贡献率为 10.0%,收获指数的特征向量值最大;第四主成分的贡献率为 9.9%,以每穗颖花数的特征向量值最大;第五主成分的贡献率为 7.4%,空秕率的特征向量值最大。由此,筛选出叶面积指数、库容量、收获指数、每穗颖花数及空秕率等 5 个指标为源库类型评价的关键指标。

表 2 成分因子及主因子贡献率

特征根	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	
特征值	4.547	3.650	1.297	1.287	0.964	分量来源
累计贡献率(%)	35.0	63.1	73.0	82.9	90.4	
	-0.432	0.143	0.099	0.179	-0.063	叶面积指数
	-0.422	0.145	0.154	0.104	-0.080	倒三叶叶面积
	0.274	-0.242	0.154	0.269	0.120	SPAD
	-0.219	0.307	-0.169	-0.511	0.025	每穴穗数
	0.149	0.259	0.076	0.685	-0.075	每穗颖花数
	0.062	-0.269	0.552	-0.301	0.176	千粒重
特征向量	0.373	0.299	-0.135	-0.069	0.017	颖花数/叶面积
	0.385	0.236	-0.196	-0.084	-0.237	饱满粒数/叶面积
	0.412	0.191	0.091	-0.194	0.083	粒重/叶面积
	-0.052	0.482	0.201	0.009	0.054	库容量
	0.019	0.248	0.198	0.067	0.813	空秕率
	0.145	0.014	0.641	-0.095	-0.423	收获指数
	-0.066	0.436	0.219	-0.042	-0.180	单产

2.3 吉林省高产水稻品种源库类型的划分

利用主成分分析中筛选出的叶面积指数、库容量、收获指数、每穗颖花数及空秕率 5 个关键指标,采用动态聚类分析经 6 次迭代处理后对 76 个供试品种进行源库类型划分(表 3)。第一种类型为源和库相关指标均受到限制的源库饱和型,包

含天井 5 号等 25 个水稻品种;第二种类型为源大库小的增库增产型,包含通 35 等 23 个水稻品种;第三种类型为库大源小的增源增产型,包含吉玉粳等 25 个水稻品种;第四种类型为源和库均较大的源库互作型,包含吉粳 88、通育 221 等 3 个水稻品种。分属于源库饱和型、增库增产型和增源增

表 3 利用 K-means 动态聚类分析法划分源库类型

类型	品种数	品种
源库饱和型	25	天井 5 号、九稻 55、九稻 44、通育 403、通育 313、吉大 113、长白 9 号、长白 14、长白 16、长白 17、长白 20、九稻 39、九稻 51、通系 9、通 88-7、通育 318、通育 315、通丰 13、通 95-74、九稻 54、九稻 62、九稻 45、通育 239、通系 929、通育 120
增库增产型	23	通 35、通院 6、吉大 98、吉粳 111、九稻 56、九稻 46、九稻 42、九稻 63、通育 223、通系 12、通禾 832、通禾 837、通院 513、吉粳 78、吉粳 86、吉粳 501、吉粳 108、吉粳 504、吉粳 95、吉粳 802、吉粳 83、吉粳 806、吉粳 805
增源增产型	25	吉玉粳、九稻 60、长白 15、九稻 58、通育 316、富源 4 号、吉粳 105、吉粳 106、吉粳 101、吉粳 68、通丰 8、通丰 9、通育 240、通育 207、通育 308、通 31、通系 158、吉大 2、吉粳 67、通育 105、秋光、吉粳 91、吉粳 801、沈农 265、吉 08-156
源库互作型	3	吉粳 88、通育 221、吉粳 503

产型三种类型的品种数基本一致,说明大部分吉林省高产水稻品种属于这三种源库类型。

2.4 高产水稻源库评价体系的建立

利用5个关键指标进行了判别分析,计算出了源库饱和型(C_{12}, C_{13}, C_{14})、增库增产型(C_{21}, C_{23}, C_{24})、增源增产型(C_{31}, C_{32}, C_{34})、源库互作型(C_{41}, C_{42} ,

表4 2010年待验品种的判别分析结果

编号	品种名称	P1	P2	P3	P4	2009年	2010年
1	通丰9	0.0012	0.0036	0.9946	0.0000	增源增产型	增源增产型
2	通育221	0.0000	0.0112	0.4595	0.5291	源库互作型	源库互作型
3	通育207	0.0017	0.3241	0.6735	0.0000	增源增产型	增源增产型
4	吉粳67	0.0579	0.1963	0.7253	0.0000	增源增产型	增源增产型
5	通育120	0.5101	0.3976	0.0750	0.0000	源库饱和型	源库饱和型
6	吉08-156	0.0001	0.0004	0.9994	0.0000	增源增产型	增源增产型
7	九稻55	0.8800	0.1197	0.0003	0.0000	源库饱和型	源库饱和型
8	通系9	0.4991	0.4821	0.0154	0.0000	源库饱和型	源库饱和型
9	九稻56	0.2188	0.7802	0.0009	0.0000	增库增产型	增库增产型
10	九稻46	0.0143	0.7841	0.1999	0.0000	增库增产型	增库增产型
11	通育223	0.0151	0.9842	0.0007	0.0000	增库增产型	增库增产型
12	吉粳504	0.0000	0.9992	0.0008	0.0000	增库增产型	增库增产型
13	九稻60	0.0180	0.0003	0.9689	0.0000	增源增产型	增源增产型
14	九稻39	0.5785	0.1829	0.1828	0.0000	源库饱和型	源库饱和型
15	天井5号	0.8013	0.0135	0.1273	0.0000	源库饱和型	源库饱和型
16	通35	0.0316	0.9536	0.0145	0.0000	增库增产型	增库增产型
17	吉粳801	0.0000	0.0842	0.9080	0.0077	增源增产型	增源增产型

C_{43})的各级判别函数系数,并据此构建各类型的多元线性判别函数。将品种的5个指标调查数据代入判别函数计算判别函数值,再将此数值代入后验概率公式中,计算出4种源库类型的后验概率,最后根据后验概率的大小判断所属类型。九稻55为例,计算结果表明,源库饱和型、增库增产型、增源增产型和源库互作型的后验概率分别为0.9806、0.0194、 1.11×10^{-5} 和 4.35×10^{-18} ,源库饱和型的后验概率最大,因此九稻55属于源库饱和型。按照此方法对76个供试品种划分源库类型的结果与聚类分析的划分结果的吻合度为98.7%(图1)。

2010年利用17个水稻品种进一步验证判别函数的结果与2009年的结果完全一致,表明所构建的判别函数对水稻品种源库类型的划分具有较高的准确性(表4)。

3 讨论

源-库关系由包含众多因素的复杂信号网络调节^[10]。作物产量取决于源-库关系,而源-库关系又受到二氧化碳^[11]、温度^[12]、光照^[13]、栽培措施^[14]等生态及栽培条件的影响^[11-13]。本研究在前人研究的基础上,系统研究了吉林省不同高产水稻品种的源库关系特征。张俊国等将北方粳稻分为源库饱和型、增库增产型、增源增产型和源库互作型等四种类型^[15]。本研究利用K-means动态聚类分析法对76个吉林省高产品种按以上四类进行聚类分析,结果表明吉林省高产水稻品种多为源库互作型、库限制型和源限制型,且数量分布比较平均。同一类型水稻品种中,源库关系特征也相似。在实际生产中,同一源库型水稻品种在培育高产新品种时不应同时作为杂交亲本。因此,品种源库类型的划分为今后高产水稻育种工作提供了亲本选配的理论依据。本研究中利用判别分析方法建立了科学规范的高产水稻(下转第37页)

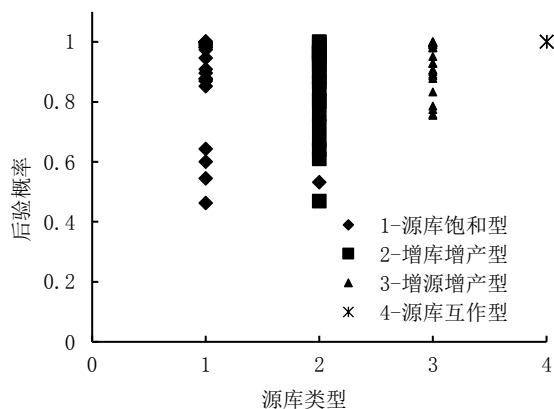


图1 各源库类型中判别函数的后验概率分布图

- [5] 杜文梅,林 英,臧连生,等.稻螟赤眼蜂与二种赤眼蜂对水稻二化螟寄生竞争作用[J].环境昆虫学报,2016,38(3):488-493.
- [6] 黄寿山,戴志一,吴达璋,等.赤眼蜂寄主选择性及其机理研究(I) 3种赤眼蜂在不同寄主上的寄生特性比较[J].昆虫天敌,1994,16(4):156-159.
- [7] 鲁 新,李丽娟,张国红.接蜂倍数对螟黄赤眼蜂不同品系的影响[J].吉林农业科学,2004,29(1):32-34.
- [8] 李丽娟,鲁 新,张国红,等.接蜂时间对螟蝗赤眼蜂人工繁殖的影响[J].吉林农业科学,2009,34(3):42-43,64.
- [9] 张国红,鲁 新,李丽娟,等.贮存后的米蛾卵对赤眼蜂繁殖的影响[J].吉林农业科学,2008,33(5):42-43,52.
- [10] 胡晓暄,杜文梅,张俊杰,等.米蛾卵冷藏温度及时间对稻螟赤眼蜂质量的影响[J].吉林农业大学学报,2017,39(3):287-291.

(上接第4页)品种源库关系评价体系,其判别精度为98.8%。判别分析在天气预报和医疗实践中得到了广泛的应用,但在农业中却鲜有应用。在进行判别分析之前,我们采用主成分分析对各因子变量进行了筛选,选出与源库关系特征密切的5个变量作为判别分析的关键指标,而将那些关系不密切的变量剔除,这样减少了判别函数中的变量数目,更利于在应用中操作。本研究建立了吉林省高产水稻品种的第一个源库关系评价体系,为今后高产水稻源库关系的研究提供理论依据。

参考文献:

- [1] Adams III W W, Muller O, Cohu C M, et al. May photoinhibition be a consequence, rather than a cause, of limited plant productivity? [J] Photosynth Res, 2013, 117:31-44.
- [2] Ainsworth E A, Bush D R. Carbohydrate Export from the Leaf: A Highly Regulated Process and Target to Enhance Photosynthesis and Productivity[J]. Plant Physiol, 2011, 155: 64-69.
- [3] Maurino V G, Weber A P M. Engineering photosynthesis in plants and synthetic microorganisms [J]. Journal of Experimental Botany, 2013, 64: 743-751.
- [4] Lin M T, Occhialini A, Andralojc P J, et al. A faster Rubisco with potential to increase photosynthesis in crops [J]. Nature, 2014, 513: 547-550.
- [5] Paul M J, Pellny T K. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development [J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54: 539-547.
- [6] 李建国,韩 勇.辽宁省粳型超级稻品种产量与源库特性研究[J].吉林农业科学,2010,35(1):1-4.
- [7] Kaschuk G, Hungria M, Leffelaar P A, et al. Differences in photosynthetic behaviour and leaf senescence of soybean (*Glycine max*) dependent on N₂ fixation or nitrate supply [J]. Plant Biology, 2010, 12: 60-69.
- [8] Rossi M, Bermudez L, Carrari F. Crop yield: challenges from a metabolic perspective[J]. Curr Opin Plant Biol, 2015, 25:79-89.
- [9] 李巨龙.判别分析在岩石可钻性分级中的应用[J].煤田地质与勘探,1997(4):64-66.
- [10] Paul M J, Foyer C H. Sink regulation of photosynthesis [J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52: 1383-1400.
- [11] Fitzgerald G J, Tausz M, O'Leary G, et al. Elevated atmospheric [CO₂] can dramatically increase wheat yields in semi-arid environments and buffer against heat waves [J]. Global change biology, 2016, 22(6): 2269-2284.
- [12] Asseng S, Ewert F, Martre P, et al. Rising temperatures reduce global wheat production [J]. Nature climate change, 2015, 5: 143-147.
- [13] 冯 博,徐程扬.光照对植物体内碳氮分配作用的机理研究进展[J].吉林农业科学,2014,39(5):18-22,42
- [14] 高 军,陈莫军,孟凡梅,等.增施穗肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].东北农业科学,2018,43(2):1-4.
- [15] 张俊国.不同粳稻品种源库关系的研究 I.不同粳稻品种的源库特征及类型划分[J].吉林农业科学,1990(2):35-41.