

# 广东省地方稻种品质性状表型多样性及其形成的生态因子分析

陈雨, 陈建酉, 潘大建, 范芝兰, 孙炳蕊, 李晨

(广东省农业科学院水稻研究所, 广州 510640)

**摘要:** 为了进一步完善广东地方稻种资源的鉴定评价, 并为该资源在水稻品质育种中的有效利用提供科学依据, 以国家作物种质库编目的 2974 份广东地方稻种为研究对象, 其 9 个品质性状数据为基础, 研究了广东地方稻种品质性状的区域分布特点, 并对总体和不同稻作区品质性状多样性进行了比较分析, 同时对部分生态因子与品质性状的相关性进行了初探。结果显示, 广东地方稻种资源品质性状具有丰富的多样性。其糙、精米率较高, 蛋白质含量丰富多样, 胶稠度的变异幅度大, 直链淀粉含量适中且达国标的材料偏少; 中南稻作区为广东优质地方稻种的主要集中地; 不同稻作区的品质性状多样性表现各异; 直链淀粉含量、碱消值及胶稠度是影响广东地方稻种品质形成的主要指标; 湿度和温度的地域差异是广东地方稻种稻米品质多样性的主要成因。本研究结果充分说明, 广东地方稻种中具有优异品质性状资源的利用对改良现有稻米品质和拓宽遗传基础具有十分重要的意义。

**关键词:** 地方稻种; 稻米品质; 多样性; 生态因子

## Studies on the Quality Trait Diversity and Its Correlation with Ecological Factor of Rice Landrace in Guangdong Province

CHEN Yu, CHEN Jian-you, PAN Da-jian, FAN Zhi-lan, SUN Bing-rui, LI Chen

(Rice Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640)

**Abstract:** In order to further improve evaluation and its effective utilization of landrace rice in Guangdong province, we used 2974 accessions catalogued in the national crop germplasm bank of which 9 rice quality traits as basic data to study. The geographic distribution of rice quality traits were analyzed, quality traits diversity among each and total rice area were compared, and the correlation between some ecological factors and rice quality traits were studied. The landrace rice in Guangdong province showed higher brown rice rate and milled rice rate, richer diversity of protein content, larger variation in gel consistency, and not many materials reached the national standard in amylose content. High-quality rice germplasm mainly distributed in south central rice area of Guangdong province. The result also showed that amylose content, gelatinization temperature, and gel consistency were the main impact indexes of rice quality formation. Humidity and temperature difference among areas were the main impact factors of rice quality variety formation. So, it is very important for high quality rice breeding and genetic background expanding to effectively use landrace rice in Guangdong province.

**Key words:** rice landrace; rice quality; diversity; ecological factor

水稻在世界粮食作物中的重要地位不言而喻。由于面临人口数量增长的压力, 长期以来,

收稿日期: 2012-05-22 修回日期: 2012-11-06 网络出版日期: 2013-04-17

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130417.1134.003.html>

基金项目: 科技基础条件项目(2011B060400032)

作者简介: 陈雨, 硕士, 助理研究员。研究方向: 稻种资源研究与利用。E-mail: chenyu616@126.com

陈建酉为同等贡献作者

通信作者: 李晨, 博士, 副研究员。研究方向: 稻种资源研究与利用。E-mail: lic11111@sina.com

育种家多以产量作为品种选育的首要目标。随着经济的发展和水平的提高,人们对稻米品质提出了更高的要求。因此,稻米品质的优劣直接影响其商品价值和种植推广,各国都越来越重视稻米品质的研究,品质育种逐渐成为水稻育种攻关的热点。在品质育种方面,美国、日本、泰国、澳大利亚的水稻优质化走在世界的前列。我国于 20 世纪 80 年代中期,开始较为系统地开展稻米品质的研究<sup>[1]</sup>,广东省水稻品质育种研究起步较早,优质稻育种一直走在全国的前列<sup>[2]</sup>。然而,现有育成品种的遗传基础日益狭窄,不仅对育种研究的发展造成瓶颈,也给水稻生产带来了潜在威胁。齐永文等<sup>[3]</sup>利用 36 个微卫星标记和 42 个表型性状对 453 份选育品种进行分析,研究了中国水稻选育品种的遗传多样性近 50 年的变化趋势,结果表明从 20 世纪 50 年代到 80 年代,选育品种的遗传多样性一直下降,80 年代降到最低水平。面对育种亲本遗传背景狭窄的现状,地方稻种资源凭借其丰富的遗传多样性和得天独厚的地域适应性优势逐渐成为育种家寻找突破的出路之一。

随着分子生物学技术和数量遗传学的发展,稻米品质育种的基础研究也取得了一些进展。黄祖六等<sup>[4]</sup>应用 RELP、AFLP 和 SSLP 标记检测到控制稻米直链淀粉含量的基因座位受 2 个主效 QTL 和 5 个微效 QTL 共同控制,同时检测到 6 个与胶稠度有关的基因位点。何平等<sup>[5]</sup>在水稻第 6 染色体糯性基因附近找到 1 个控制直链淀粉含量的主效基因 *ac-6*,同时也检测到与胶稠度、垩白大小和糊化温度有关的 QTL。Y. F. Tan 等<sup>[6]</sup>利用重组自交系定位了与碾磨品质有关的 QTL。郭咏梅等<sup>[7]</sup>、穆平等<sup>[8]</sup>利用旱稻和水稻构建的 DH 群体检测到与稻米蒸煮和营养品质性状 4 项指标有关的 7 个加性效应 QTL 以及与稻米外观和碾磨品质性状 7 项指标有关的 11 个 QTL。迄今为止,水稻中已克隆了 6 个稻米蒸煮食味品质性状相关基因,其中 5 个控制直链淀粉含量、1 个与香味有关<sup>[9]</sup>。这些研究成果无不得益于优良品质资源的发掘。

广东省是中国最主要稻作区之一,具有悠久的稻作历史。经过长期的自然选择和人工驯化,形成了一大批颇具地域特色的优异地方稻种资源。经过多年调查、收集、鉴定,现保存品质性状数据较全的广东省地方稻种近 3000 份,但是迄今在育种上的利

用甚少,主要原因在于缺乏对该资源的全面分析和科学评价。陈雨等<sup>[10]</sup>曾利用包含广东、海南在内的 4000 余份华南地方稻种,以农艺性状的多样性分析为基础构建了初级核心种质,筛选出了在农艺性状具有典型代表性的资源,但对品质性状的分析研究尚未进行。为了进一步完善该资源评价的信息平台,利用现有完整数据对广东省地方稻种的品质性状多样性及其与生态因子的相关性进行分析,旨在为该稻种资源在品质育种中的有效利用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与数据来源

以国家作物种质库编目<sup>[11]</sup>的广东省稻种资源为基础,将已收集的 2974 份广东省地方稻种资源的 9 个品质性状数据规范整理,建立了广东省地方品种稻米品质原始数据库和样本库。

利用《广东省县图集》<sup>[12]</sup>、《中国水稻种植业区划》<sup>[13]</sup>等资料,分析整理了广东省 112 个县(市、区)的生态气候类型、稻作种植业区划等情况。

### 1.2 研究方法

对广东省地方稻种资源的糙米率(BR, brown rice rate; 单位 %,下同)、精米率(MR, milled rice rate; %)、蛋白质含量(PC, protein content; %)、赖氨酸含量(LC, lysine content; %)、总淀粉含量(GS, general starch content; %)、直链淀粉含量(ANC, amylose content; %)、支链淀粉含量(AMC, amylopectin content; %)、碱消值(ASV, alkali spreading value)和胶稠度(GC, gel consistency; mm)进行统计和分析。食用稻米品质检测依据农业部行业标准 NY/T 83 - 1988《米质测定方法》,稻米品质评价标准参考 GB/T 17891 - 1999《优质稻谷》,稻米品质的分级参考《水稻种质资源描述范围和数据标准》<sup>[14]</sup>进行。

### 1.3 统计分析

数据整理利用 Microsoft Excel 软件;性状描述参数统计、相关性分析及主成分分析采用 SPSS13.0 软件,因子提取指定特征值大于 1;利用 GIS 软件分析各品质性状地理分布特点;计算多样性指数( $H'$ )前利用样本均值  $\pm$  标准差分级法进行质量化处理,表型多样性指数计算公式为:

$$H' = -\sum P_i * \ln P_i$$

其中  $P_i$  为该性状第  $i$  类的表现型频率。

## 2 结果与分析

### 2.1 广东省地方稻种品质性状的区域分布特点

广东省分为粤北、中北、中南、西南 4 个稻作区 (图 1), 其地方稻种以籼稻为主体, 占资源总量的 97.3%。通过 GIS 软件对各品质性状的地理分布分析结果表明: 糙米率、精米率、蛋白质含量和赖氨酸含量高的资源均以中南稻作区最多; 在中南稻作区

和中北稻作区中, 低蛋白含量和低赖氨酸含量的资源相对较多; 总淀粉含量高的资源主要集中在中北及中南稻作区; 支链淀粉含量高的资源主要分布在中南及粤北稻作区; 直链淀粉含量 2 级的资源主要集中在粤北稻作区; 糊化温度高的资源主要分布在中南及中北稻作区; 胶稠度 1 级的资源主要存在于中南稻作区。因此, 中南稻作区是广东省优质地方稻种的主要集中地。

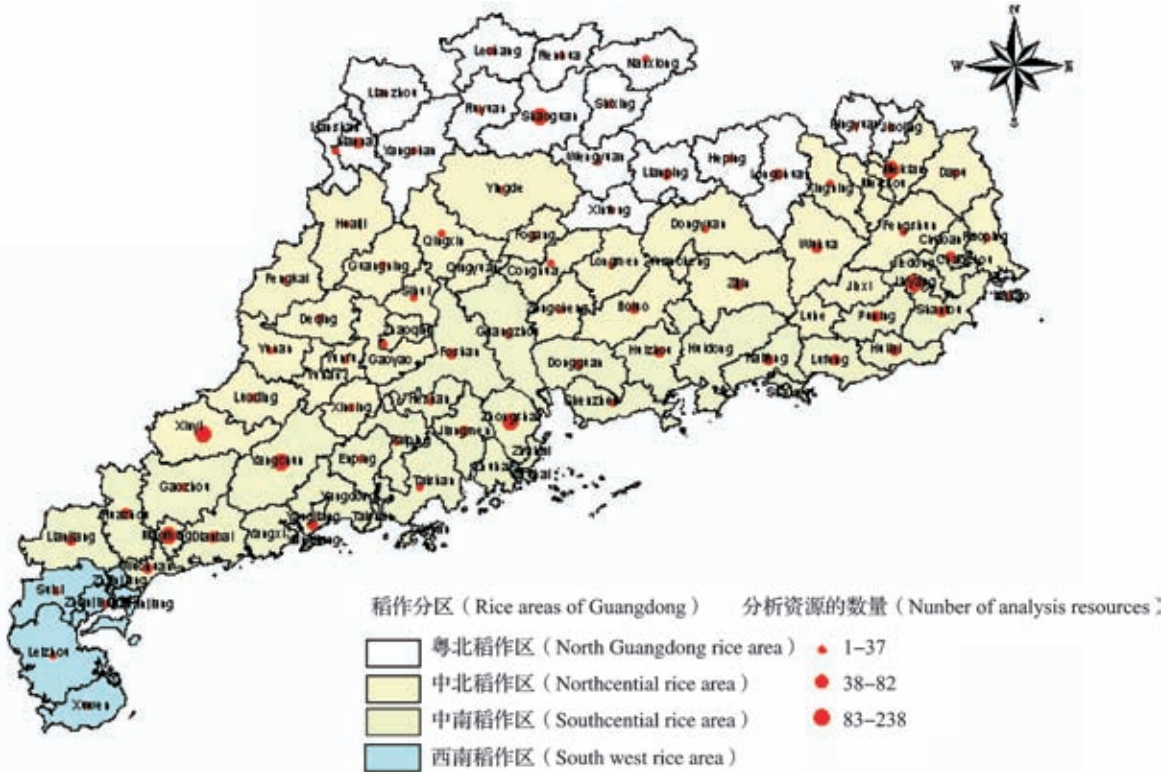


图 1 广东省稻作区划及资源采集数量

Fig. 1 Rice planting regionalization and number of resources in Guangdong province

### 2.2 广东省地方稻种 9 个品质性状的表型多样性

对照新的稻米品质评价标准, 广东省地方稻种资源中糙米率达到 2 级以上 ( $BR > 77\%$ ) 的材料占资源总数的 97.8%; 精米率达到 2 级以上 ( $MR > 72\%$ ) 占 43.4%。蛋白质含量多样, 高、中、低蛋白含量均存在, 其中含量  $> 12\%$  的材料占总资源的 3.7%。赖氨酸含量变幅最小, 大多数处于 0.35% ~ 0.45% 的中等水平。总淀粉含量高 ( $GS > 78\%$ ) 的资源占 14.3%。直链淀粉含量达国标 2 级 (ANC 含量在 16.0% ~ 23.0%) 的材料较少, 仅占 1.6%。支链淀粉含量高 ( $AMC > 77\%$ ) 的资源占 3.6%。碱消值中等 (4 ~ 5) 即对应糊

化温度在 70 ~ 74 °C 的材料占 44.3%, 有 55.4% 的材料碱消值较高 ( $ASV > 5$ ) 即糊化温度偏低。胶稠度达国标 2 级以上 ( $GC > 60$  mm) 的资源占 14.6%。

表 1 列出了 9 个品质性状的基本统计参数, 频数分布见图 2。总体看来, 广东省地方稻种的糙米率和精米率普遍较高, 且变异系数较小; 蛋白质、赖氨酸和直链淀粉含量的变异系数较大; 碱消值普遍偏高, 即糊化温度普遍偏低; 胶稠度的变幅和变异系数最大; 各品质性状的频数基本趋于正态分布。各品质性状极大值和极小值的品种名和原产地见表 2。

表 1 广东省地方稻种资源 9 个品质性状的平均数、最小值、最大值、标准差、方差和变异系数

Table 1 The mean, minimum, maximum, SD, variance, and CV for 9 quality traits of rice landrace in Guangdong province

参数 Parameters	糙米率 BR	精米率 MR	蛋白质含量 PC	赖氨酸含量 LC	总淀粉含量 GS	支链淀粉含量 AMC	直链淀粉含量 ANC	碱消值 ASV	胶稠度 GC
平均数 Mean	79.51	71.61	9.98	0.40	76.76	59.07	26.21	5.43	41.67
最小值 Min.	69	62	7	0	70	51	0	3	24
最大值 Max.	88	77	19	1	80	85	32	7	100
标准差 <i>s</i>	1.407	1.258	1.066	0.044	1.000	4.145	4.138	0.689	15.540
方差 Variance	1.981	1.583	1.137	0.002	1.0001	17.179	17.121	0.475	241.487
变异系数(%) CV	1.77	1.76	10.68	11.00	1.30	7.02	15.79	12.69	37.29

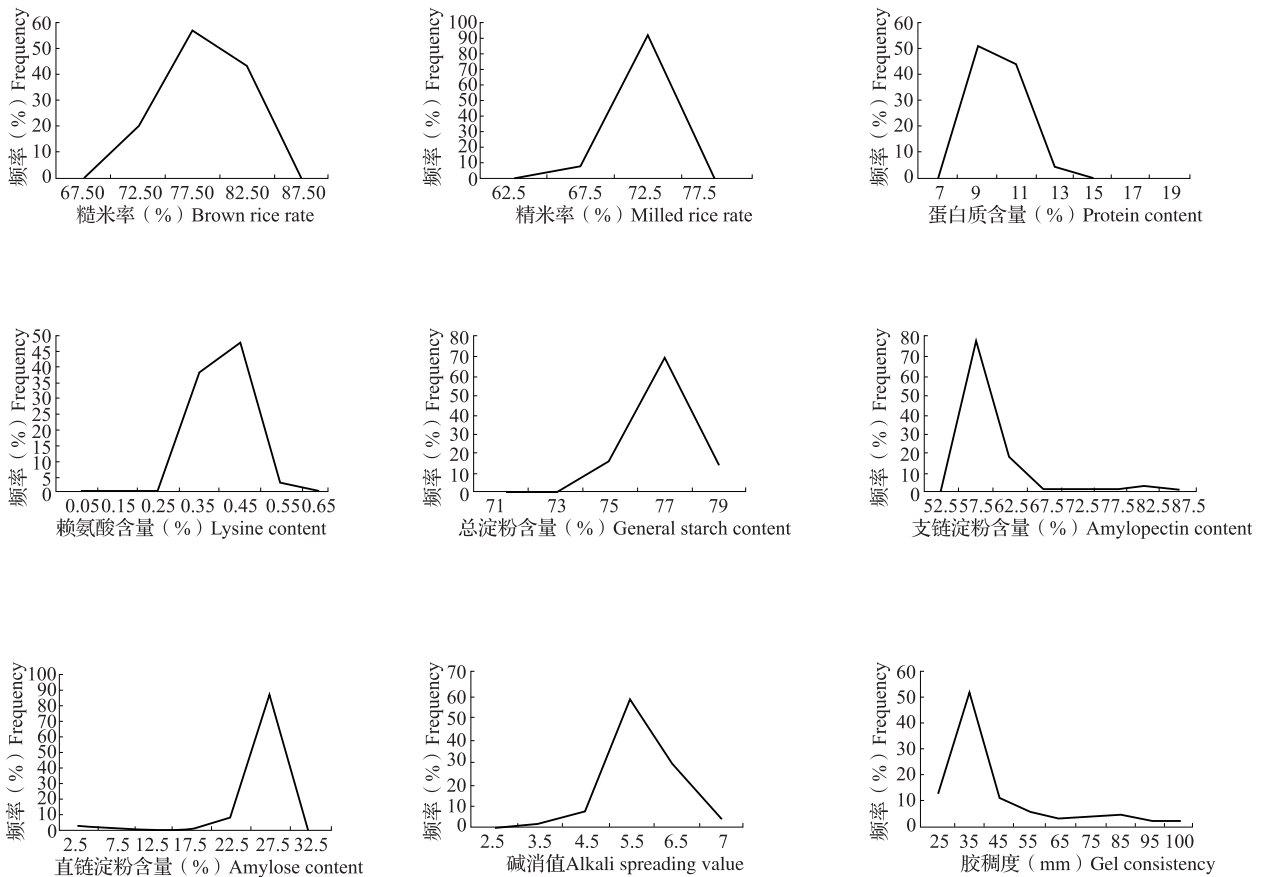


图 2 广东省地方稻种资源 9 个品质性状的频数分布

Fig. 2 The Frequency distribution for 9 quality traits of rice landrace in Guangdong province

### 2.3 4 个稻作区的品质性状表型多样性比较

4 个稻作区的 9 个品质性状均值比较表明(表 1、表 3),粤北稻作区 I 的总淀粉和直链淀粉含量低于总体,而支链淀粉含量均值高于其他稻作区。中北稻作区 II 的蛋白质、赖氨酸含量以及碱消值低于总体,而总淀粉和直链淀粉含量均值高于其他稻作

区。中南稻作区 III 支链淀粉含量低于总体,蛋白质和赖氨酸含量与总体相等,其余性状均值都大于总体,同时糙米率和精米率都大于其他稻作区。而西南稻作区 IV 有 4 个性状均值低于总体,分别是糙米率、精米率、总淀粉和支链淀粉含量,但蛋白质含量、碱消值和胶稠度均值高于其他稻作区。

表 2 各品质性状极值的品种名及其原产地

Table 2 The variety name and origin of each trait with extreme value

品质性状 Quality traits		品种名 Variety name	原产地 Region of origin
糙米率 BR	Min.	晒面白	县市不详
	Max.	鸡鬃磨	化州县
精米率 MR	Min.	大梗谷	清远县
	Max.	香占	新会县
蛋白质 PC	Min.	金银早	博罗县
	Max.	三春种	海南区
赖氨酸 LC	Min.	鸡鬃磨	化州县
	Max.	捌角占	乐会县
总淀粉 GS	Min.	三号快	澄海县
	Max.	闽侯早木	县市不详
支链淀粉 AMC	Min.	蚶蛤矮	普宁县
	Max.	闷咖乐	海南区
直链淀粉 ANC	Min.	大糯	电白县
	Max.	潮汕含哈	潮汕县
碱消值 ASV	Min.	蚁仔赤	紫金县
	Max.	早降占	县市不详
胶稠度 GC	Min.	翻炮石	佛冈县
	Max.	乾隆赤	县市不详

极值反映了性状的变异幅度。从表 1、表 3 可以看出,中南稻作区 III 有 5 个性状的极值与总体一致,分别是赖氨酸、总淀粉、支链淀粉、直链淀粉和碱消值;赖氨酸和碱消值的极值表现为 4 个稻作区均与总体一致;另外,中北稻作区 II 的直链淀粉和胶稠度极值表现与总体一致。将 4 个稻作区各性状变异幅度与总体相比,求百分比的均值,则 4 个稻作区品质性状的平均变异幅度分别为总体的 80.03%、80.99%、88.31% 和 83.24%,表明中南稻作区 III 的变幅明显大于其他 3 个稻作区。

变异系数和表型方差反映了性状的异质性。粤北稻作区 I 的支链淀粉、直链淀粉含量以及胶稠度的变异系数大于其他稻作区;中北稻作区 II 的赖氨酸、总淀粉含量和碱消值变异系数大于其他稻作区;西南稻作区 IV 也有 3 个性状的变异系数大于其他 3 个稻作区,分别是糙米率、精米率和蛋白质含量。

表型多样性指数是一个变异分布和频率分布的综合指标,本研究用 Shannon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 比较了各稻作区及总体间品质性状的表型多样性(表 4)。粤北稻作区 I 的赖氨酸含量和胶稠度的多样性指数高于其他 3 个区,而直链淀粉含量的多样性指数最低;中北稻作区 II 的精米率和支链淀粉含量的多样性指数最高,而赖氨酸含量和胶稠度的多样性指

表 3 4 个稻作区品质性状的平均数、变异范围、变异系数和方差

Table 3 The mean, range, CV, and variance for 9 quality traits of each rice area

品质性状 Quality traits	平均数 Mean				变异范围 Range				变异系数(%) CV				方差 Variance			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
糙米率 BR	79.56	79.5	79.63	78.99	74~88	71~83	74~88	69~82	1.77	1.70	1.77	1.85	1.987	1.809	1.990	2.137
精米率 MR	71.62	71.61	71.71	71.17	67~75	67~75	67~77	62~74	1.59	1.71	1.76	1.93	1.303	1.501	1.598	1.892
蛋白质含量 PC	10.06	9.81	9.98	10.37	8~14	7~14	7~14	9~19	9.92	10.30	10.72	11.42	0.976	1.020	1.146	1.402
赖氨酸含量 LC	0.41	0.39	0.40	0.41	0~1	0~1	0~1	0~1	10.00	11.79	10.50	10.49	0.002	0.002	0.002	0.002
总淀粉含量 GS	76.54	76.94	76.79	76.43	73~79	73~79	70~80	74~79	1.27	1.37	1.27	1.11	0.941	1.108	0.954	0.726
支链淀粉含量 AMC	59.67	59.09	58.98	58.67	53~84	53~85	51~85	54~83	10.36	6.63	6.23	5.62	38.211	15.348	13.521	10.866
直链淀粉含量 ANC	25.34	26.38	26.34	26.31	1~31	0~32	0~32	2~30	24.48	14.40	14.14	12.42	38.492	14.442	13.869	10.680
碱消值 ASV	5.49	5.30	5.47	5.53	3~7	3~7	3~7	3~7	12.70	13.17	12.41	11.84	0.486	0.487	0.461	0.429
胶稠度 GC	42.55	40.13	42.11	43.17	25~	24~	27~	28~	41.71	35.23	36.84	37.77	315.029	199.604	240.656	265.917
					100	100	100	100								

数低于其他 3 个区;中南稻作区 III 有 3 个性状多样性指数为各区中最高,分别是糙米率、蛋白质含量和碱消值;西南稻作区 IV 的糙米率、精米率和蛋白质含

量的多样性指数均低于其他 3 个区,而总淀粉含量和直链淀粉含量的多样性指数最高。4 个稻作区单个品质性状的平均多样性指数 (Mean),除了支链淀

粉含量以外的其他性状均低于总体;而从各稻作区的整体平均多样性指数(Mean')来看,中北稻作区

Ⅱ和中南稻作区Ⅲ高于粤北稻作区Ⅰ和西南稻作区Ⅳ。

表 4 各稻作区及总体稻米品质性状表型多样性指数

Table 4 Shannon-Wiener diversity index for quality traits of each and total rice area

品质性状 Quality traits	I	II	III	IV	各性状平均 Mean	总体 Total
糙米率 BR	1.337	1.415	1.425	1.321	1.375	1.386
精米率 MR	1.416	1.435	1.429	1.132	1.353	1.420
蛋白质含量 PC	1.410	1.396	1.441	1.258	1.376	1.405
赖氨酸含量 LC	1.457	1.351	1.384	1.423	1.404	1.412
总淀粉含量 GS	1.397	1.410	1.389	1.470	1.417	1.430
支链淀粉含量 AMC	0.728	1.076	0.834	0.866	0.876	0.818
直链淀粉含量 ANC	0.636	0.777	0.765	0.876	0.764	0.773
碱消值 ASV	1.200	1.192	1.273	1.241	1.227	1.257
胶稠度 GC	0.988	0.899	0.937	0.953	0.944	0.948
各稻作区平均 Mean'	1.174	1.217	1.209	1.171		1.205

## 2.4 品质理化指标间的相关性分析

稻米品质理化指标之间存在相互影响和制约关系。从表 5 结果可以看出,同属加工品质的精米率与糙米率,以及同属营养品质的蛋白质与赖氨酸含量呈极显著正相关,这一结果符合常理。淀粉含量与其他指标密切相关,尤其是其中的直链淀粉含量与其他 8

个性状呈极显著相关,胶稠度与 3 个性状呈极显著相关,其中直链淀粉含量与胶稠度又呈极显著负相关。以上结果可以看出,直链淀粉含量、碱消值及胶稠度是影响广东省地方稻种品质的主要指标。提高直链淀粉含量会降低稻米的碱消值及胶稠度,并且降低了营养品质,反之却会降低稻谷的加工品质。

表 5 品质性状间的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of 9 quality traits

品质性状 Quality traits	糙米率 BR	精米率 MR	蛋白质 含量 PC	赖氨酸 含量 LC	总淀粉 含量 GS	支链淀粉 含量 AMC	直链淀粉 含量 ANC	碱消值 ASV	胶稠度 GC
糙米率 BR	1								
精米率 MR	0.568 **	1							
蛋白质含量 PC	0.038 *	0.018	1						
赖氨酸含量 LC	-0.011	-0.002	0.831 **	1					
总淀粉含量 GS	0.137 **	0.091 **	-0.722 **	-0.731 **	1				
支链淀粉含量 AMC	-0.058 **	-0.048 **	-0.006	-0.039 *	0.153 **	1			
直链淀粉含量 ANC	0.089 **	0.068 **	-0.157 **	-0.126 **	0.067 **	-0.972 **	1		
碱消值 ASV	-0.027	0.012	0.007	-0.038 *	0.043 *	0.275 **	-0.269 **	1	
胶稠度 GC	0.014	-0.022	0.003	-0.038 *	0.046 *	0.406 **	-0.401 **	0.131 **	1

\* 和 \*\* 分别代表  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  的显著性水平,下同

\* and \*\* represent significance level at 0.05 and 0.01, respectively, the same as below

## 2.5 品质性状的主成分分析

主成分分析能较好地反映群体方差的主要来源及其对应的性状。表 6 列出了广东省地方稻种总体以及 4 个稻作区因子特征值大于 1 的主成分因子占总方差的百分率和特征值;同时为了表明每个变量与公因子的相关性程度,将各性状的特征向量值与主成分因子一一对应列出。总体的品

质性状分成了 3 个主成分因子:PC1 营养品质具有较高的载荷、PC2 蒸煮品质具有较高的载荷、PC3 碾磨品质具有较高的载荷,能够解释总体品质性状 74.214% 的变异;粤北、中北和中南稻作区和总体一样分为 3 个主成分因子,分别解释的品质性状变异为 76.875%、68.226% 和 73.791%;西南稻作区显得比较特殊,其因子特征值大于 1 的主

成分因子有 4 个,解释了超过 82% 的品质性状变异,其中 PC4 中食味品质具有较高的载荷。通过对比不同群体各品质性状的特征向量值发现,不同稻作区也表现迥异(正负号表明分析主成分因子和性状指标的正负相关性,即变量对主成分的贡献方向;特征向量值的大小判定取其绝对值)。碾磨品质糙米率和精米率在总体和 4 个稻作区中都有较高的特征向量值,而粤北、中北、中南稻作区的蒸煮品质碱消值特征向量值均较低;营养品

质蛋白质和赖氨酸含量两个特征向量值,粤北、中北和中南 3 个稻作区与总体较高、表现接近,西南稻作区则偏低;蒸煮品质方面,中北稻作区的支链淀粉含量和直链淀粉含量特征向量值均明显高于总体和其他稻作区,其余 3 个稻作区均低于总体;而支链淀粉和直链淀粉含量对该主成分因子的贡献方向,中南和西南稻作区与总体一致,粤北和中北稻作区与总体相反;西南稻作区的胶稠度对食味品质的正向贡献颇大。

表 6 品质性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of rice quality traits

性状 Characters	总体 Total			粤北稻作区 North rice region			中北稻作区 North central rice region			中南稻作区 South central rice region			西南稻作区 Southwest rice region			
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC4
特征值	2.718	2.169	1.793	3.063	2.023	1.832	2.591	2.243	1.306	2.743	2.161	1.738	2.747	1.880	1.715	1.050
贡献率(%)	30.196	24.096	19.922	34.033	22.481	20.361	28.787	24.924	14.516	30.473	24.012	19.306	30.517	20.889	19.054	11.662
累计贡献率(%)	30.196	54.292	74.214	34.033	56.514	76.875	28.787	53.711	68.226	30.473	54.485	73.791	30.517	51.406	70.459	82.122
糙米率 BR	-0.384	0.308	0.834	-0.138	0.081	0.938	-0.144	-0.325	0.764	-0.325	0.519	0.748	0.531	0.287	0.775	-0.013
精米率 MR	-0.391	0.362	0.807	-0.262	-0.073	0.918	-0.163	-0.190	0.711	-0.297	0.561	0.727	0.554	0.270	0.762	-0.017
蛋白质含量 PC	0.756	0.516	0.169	0.735	-0.577	0.206	0.908	0.116	0.236	0.774	0.524	0.027	-0.683	0.466	0.145	0.064
赖氨酸含量 LC	0.743	0.542	0.131	0.695	-0.554	0.142	0.921	0.058	0.191	0.765	0.528	-0.018	-0.688	0.567	0.200	0.048
总淀粉含量 GS	-0.705	-0.524	0.140	-0.519	0.722	0.084	-0.895	0.007	0.122	-0.739	-0.422	0.249	0.614	-0.590	-0.019	-0.023
支链淀粉含量 AMC	0.499	-0.728	0.370	0.761	0.593	0.065	-0.217	0.929	0.133	0.514	-0.642	0.484	-0.528	-0.682	0.437	0.037
直链淀粉含量 ANC	-0.683	0.589	-0.332	-0.846	-0.465	-0.048	-0.051	-0.955	-0.099	-0.707	0.510	-0.407	0.715	0.501	-0.432	-0.066
碱消值 ASV	0.173	-0.252	0.101	0.330	0.255	-0.057	-0.067	0.262	-0.047	0.111	-0.233	0.173	-0.217	-0.279	0.280	-0.599
胶稠度 GC	0.227	-0.408	0.353	0.530	0.467	0.174	-0.122	0.492	0.284	0.202	-0.346	0.396	0.053	-0.208	0.155	0.823

## 2.6 部分生态因子与品质性状多样性形成的相关性

以北回归线为界,广东省西南稻作区和中南稻作区绝大部分属于热带季风气候,粤北稻作区和中北稻作区绝大部分属于亚热带季风气候,湿度和温度是影响地方稻种品质形成的主要环境因素。由于处在大陆最南端,因此广东省水稻生育期的气温相对较高,最高温度也多出现在抽穗到成熟期。最大降雨量主要集中在早造生育期,而晚造生育期

尤其是成熟期的气候相对干燥。广东地貌复杂,包含山地、丘陵、平原地区,海拔也是重要生态因子。为了明确这些生态因子对地方稻种品质形成的影响,笔者根据《广东省县地图集》等材料,整理了广东省 112 个县(市、区)的海拔、年平均温度、年最高温度、年最低温度及年降雨量等部分生态因子数据(表 7),利用 SPSS 软件对稻种的 9 个品质性状及生态因子进行了相关性分析(表 8)。

表 7 部分生态因子统计分析

Table 7 Statistical analysis of ecological factors

生态因子 Ecological factors	平均数 Mean	变幅 Variation range	标准差 <i>s</i>	变异系数(%) CV
海拔(m) Altitude	44.68	1.00 ~ 250.00	52.69	117.92
年平均温度(°C) Annual average temperature	21.38	18.70 ~ 25.50	1.12	5.22
年最高温度(°C) Annual maximum temperature	38.12	36.00 ~ 42.00	1.12	2.93
年最低温度(°C) Annual minimum temperature	-1.97	-7.30 ~ 3.40	2.75	139.76
年降雨量(mm) Annual rainfall	1733.66	1389.00 ~ 2399.00	246.03	14.20

表 8 部分生态因子与稻米品质理化指标的相关性分析

Table 8 Correlation analysis between ecological factors and rice quality traits

品质性状 Quality traits	海拔 Altitude	年平均温度 Annual average temperature	年最高温度 Annual maximum temperature	年降雨量 Annual rainfall
糙米率 BR	0.029	0.114	0.082	-0.016
精米率 MR	0.131	-0.079	0.025	-0.259 **
蛋白质含量 PC	-0.044	0.089	-0.221 *	0.144
赖氨酸含量 LC	0.029	-0.092	-0.100	0.065
总淀粉含量 GS	-0.153	0.020	0.250 *	-0.166
支链淀粉含量 AMC	0.193 *	-0.227 *	-0.138	-0.066
直链淀粉含量 ANC	-0.225 *	0.240 *	0.167	0.043
碱消值 ASV	-0.109	-0.024	-0.260 *	0.151
胶稠度 GC	0.107	-0.122	-0.075	0.105

结果表明,随着地区海拔高度的升高和年平均温度的降低,广东省地方稻种资源的直链淀粉将降低,而支链淀粉将提高;随着年最高温度的提高,蛋白质含量和碱消值降低,而总淀粉含量会提高。多项研究认为,高温会使稻米的糊化温度升高,胶稠度变硬;相反,低温则会使糊化温度降低,碱消值升高<sup>[15-17]</sup>。然而,本研究中发现当地区年最高温度高于36°C时,糊化温度反而呈下降趋势。结果同时揭示,降雨量的多少对稻米加工品质的影响极显著,年均降雨量越大精米率越低。作为双季稻区的广东,晚造稻米加工品质明显优于经历梅雨季节的早造稻米,则很可能归因于此。

### 3 讨论

#### 3.1 地方稻种资源的多样性及其发掘利用

地方稻种具有丰富的遗传多样性和良好的地域适应性,是生态环境对品种的选择以及品种对生态环境适应双向作用的结果。表现型是基因型和环境互作的结果,利用表型研究作物资源的多样性依然十分重要,往往是资源发掘利用的第一步。在现有水稻选育品种遗传基础日益狭窄的背景下,对地方稻种的全面评价、深入鉴定和充分发掘利用的重要性日益凸显,不少学者已开展了相关工作并取得了

一定成效。曾亚文等<sup>[18]</sup>对云南地方稻种的多样性及优异种质进行了研究,认为云南是中国稻种最大的遗传和生态多样性中心,也是中国稻种优异种质的富集中心;金伟栋等<sup>[19]</sup>对我国粳稻高产地区之一的太湖流域粳稻地方品质进行了多样性研究,指出太湖流域粳稻地方品种在杂交粳稻亲本改良和纯度鉴定中有很高的利用价值。人们对稻种资源的表型多样性的研究不仅局限于农艺性状,也包含品质性状和其他生理特性的鉴定。例如,曾亚文等<sup>[20]</sup>研究了云南地方稻种矿质元素含量的变异类型及其地理生态差异,阮仁超等<sup>[21]</sup>在贵州地方稻种多样性评价的基础上筛选出一批耐逆、抗病虫及优质特种资源,徐霞等<sup>[22]</sup>对广西地区水稻品种稻米品质进行了分析评价并从中发掘出优质稻种资源。赵国珍等<sup>[23]</sup>近年采用表型主成分及聚类分析法,对76个云南高原粳稻的11个品质性状进行分析,为云南粳稻品质育种奠定了基础。目前,对以籼稻为主体的广东省地方稻种资源的研究甚少,并且对其品质性状多样性研究尚无报道,本研究填补了这一空白,相关结果对该资源的发掘利用具有较高的参考价值。

#### 3.2 广东地方稻种在稻米品质改良中的利用价值

作为亚洲栽培稻的起源地之一的中国,其地方稻种资源尤以云贵高原及两广地区较为丰富,特点



各异。贵州省地方稻种粳、籼比例各为 59.5% 和 40.5%, 粘、糯比例各为 62.4% 和 37.6%<sup>[18]</sup>, 云南省地方稻种粳、籼比例各为 46.2% 和 53.8%<sup>[18]</sup>; 与之相比, 广东省地方稻种则明显不同, 籼稻比例达到 97.3%, 粘稻也占绝大多数, 糯稻仅 4%, 因此广东省地方稻种在粘籼稻改良中的利用潜力巨大。同样位于高原的贵州省地方稻种有 70% 以上的籼稻具有中等直链淀粉含量 (16.1% ~ 23.0%), 云南高原粳稻直链淀粉含量的平均值达食用稻品种品质 1 级标准, 但精米率不高<sup>[23]</sup>。而本研究的广东省地方稻种与徐霞等<sup>[22]</sup>研究的广西省地方水稻品种的品质总体特征较为相似, 均表现为糙米率、精米率较高, 直链淀粉含量适中且达国标的材料偏少; 但广东省地方稻种的蛋白质含量更为丰富多样, 其中以中南稻作区为最, 碱消值普遍偏高 (糊化温度偏低), 胶稠度的变异幅度更大。

现有研究表明, 优质米的直链淀粉含量应在 18% ~ 20%<sup>[24]</sup>, 食味品质较好的品种其糊化温度多在 70 ~ 74℃<sup>[25]</sup>, 在一定范围内提高稻米的蛋白质含量能改善稻米的营养品质和食味品质<sup>[26]</sup>。广东省地方稻种中相当一部分材料具有较好的食味品质, 43.3% 的材料碱消值在 4 ~ 5 (糊化温度 70 ~ 74℃)。以上可见, 利用广东省地方稻种中具有优异品质性状的资源来改良现有品种的稻米品质, 同时拓宽品种的遗传基础都具有十分重要的意义。

### 3.3 优质稻育种的关键品质性状

稻米品质性状间的相关性增加了选育优质食用水稻品种的难度, 因此需要抓住关键指标。学者们在稻米品质性状之间的相关性方面一直存在分歧。李贤勇等<sup>[27]</sup>、刘宜柏等<sup>[28]</sup>、R. N. Kaw 等<sup>[29]</sup>研究发现直链淀粉含量与胶稠度呈负相关, 但 J. B. Tomar 等<sup>[30]</sup>认为直链淀粉含量与胶稠度之间无相关性, 而本研究表明直链淀粉含量和胶稠度呈极显著负相关。G. M. Reddy 等<sup>[31]</sup>发现蛋白质含量与碱消值间存在显著的负相关, 但 A. A. Hussain 等<sup>[32]</sup>认为蛋白质含量与直链淀粉含量表现为极显著的负相关, 但蛋白质含量与碱消值和胶稠度不存在显著相关性, 这点本研究结果与 Hussain 的结果一致, 而本研究中碱消值与胶稠度为极显著正相关与之不同。周少川等<sup>[33]</sup>研究表明食味品质与直链淀粉含量和不完全粒因子呈极显著负相关, 与胶稠度呈极显著正相关。另外, N. Kongseree 等<sup>[34]</sup>认为米粒延伸性与直链淀粉含量呈显著正相关。葛国科等<sup>[35]</sup>研究了籼稻稻米蛋白质含量与外观品质性状间的遗传相关

性。结果表明, 除了与糙米厚的相关性未达到显著水平以外, 蛋白质含量与其他稻米外观品质性状间的遗传相关性均达极显著水平, 其中与糙米宽间的相关性表现为正值, 其余为负相关。同时指出, 直链淀粉主要通过细胞质遗传主效应和母体加性效应影响蛋白质含量与糙米长、糙米长宽比、糙米长厚比间的遗传相关性。本研究结果显示广东省地方稻种的直链淀粉含量与其他 8 个品质性状都具有极显著相关性, 而胶稠度又与直链淀粉含量呈极显著负相关。同时, 品质性状与生态因子的相关性显示, 直链淀粉含量与年平均温度呈显著正相关, 与海拔高度呈极显著负相关。以上研究结果进一步说明, 直链淀粉作为稻米的主要物质成分——淀粉的其中一种, 在水稻品质改良中地位极为重要。一直以来, 直链淀粉含量也是制约广东省地方稻米品质提高的瓶颈。有研究指出选择直链淀粉含量适宜的恢复系或不育系配组是解决杂交稻米直链淀粉含量的关键, 在杂交水稻选配时选择软胶稠度双亲可组配出理想胶稠度的组合<sup>[36]</sup>。因此, 选择广东省地方稻种对当地育成品种进行品质改良时适宜优先选择胶稠度高、直链淀粉含量中等的资源。

### 参考文献

- [1] 翟凤林. 作物品质育种 [M]. 北京: 农业出版社, 1988: 242-272
- [2] 司徒志谋, 罗森辉, 蔡惠娇. 广东省优质水稻生产现状与发展策略 [J]. 中国稻米, 2004 (2): 41-42
- [3] 齐永文, 张冬玲, 张洪亮, 等. 中国水稻选育品种遗传多样性及其近 50 年变化趋势 [J]. 科学通报, 2006, 51 (6): 693-699
- [4] 黄祖六, 谭学林, Tragoonrun S, 等. 稻米直链淀粉含量基因座位的分子标记定位 [J]. 作物学报, 2000, 26 (6): 777-782
- [5] 何平, 李仕贵, 李晶昭, 等. 影响稻米品质几个性状的基因座位分析 [J]. 科学通报, 1998, 43 (16): 1747-1750
- [6] Tan Y F, Sun M, Xing Y Z, et al. Mapping quantitative trait loci for milling quality, protein content and color characteristics of rice using a recombinant inbred line population derived from an elite rice hybrid [J]. Theor Appl Genet, 2001, 103: 1037-1045
- [7] 郭咏梅, 穆平, 刘家富, 等. 水、旱条件下稻米蒸煮和营养品质性状与土壤水分环境互作分析及其 QTL 定位 [J]. 遗传学报, 2007, 34 (5): 420-428
- [8] 穆平, 郭咏梅, 刘家富, 等. 稻米外观和碾磨品质 QTL 定位及其与土壤水分环境互作分析 [J]. 农业生物技术学报, 2007, 15 (4): 654-660
- [9] 康美花, 曹丰生, 高珍珠. 稻米蒸煮食味品质性状遗传研究进展 [J]. 安徽农学通报, 2010, 16 (23): 68-70
- [10] 陈雨, 潘大建, 刘斌, 等. 华南地方稻种资源初级核心种质构建 [J]. 植物遗传资源学报, 2008, 9 (3): 322-327
- [11] 中国农业科学院品种资源研究所. 中国稻种资源目录 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992: 352-654
- [12] 广东省测绘局. 广东省县图集 [M]. 广州: 广东省地图出版社, 1982: 3-196
- [13] 闵绍楷, 吴宪章, 姚长溪, 等. 中国水稻种植区划 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1988: 53-55
- [14] 韩龙植, 魏兴华. 水稻种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006, 4

- [15] 李林. 水稻灌浆期温光因子对稻米品质的影响[J]. 中国农业气象, 1989, 10(3): 33-38
- [16] 唐湘如. 灌浆期温度对稻米品质及有关生理特性的影响[J]. 湖南农学院学报, 1991, 17(1): 1-8
- [17] 贺浩华, 彭小松, 刘宜柏. 环境条件对稻米品质的影响[J]. 江西农业学报, 1997, 9(4): 66-72
- [18] 曾亚文, 李自超, 申时全, 等. 云南地方稻种的多样性及优异种质研究[J]. 中国水稻科学, 2001, 15(3): 169-174
- [19] 金伟栋, 洪德林. 太湖流域粳稻地方品种遗传多样性研究[J]. 生物多样性, 2006, 14(6): 479-487
- [20] 曾亚文, 刘家富, 汪禄祥, 等. 云南地方稻矿质元素含量的变异类型与地理生态差异[J]. 作物学报, 2006, 32(8): 1166-1173
- [21] 阮仁超, 陈惠查, 游俊梅. 贵州地方稻种遗传资源研究与利用概述[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(S1): 59-63
- [22] 徐霞, 应兴华, 段彬伍, 等. 广西地区水稻品种稻米品质分析与评价[J]. 南方农业学报, 2011, 42(6): 575-577
- [23] 赵国珍, 蒋聪, 邹茜, 等. 云南高原粳稻品质特性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(6): 916-920, 927
- [24] 韩金香, 胡培松, 焦桂爱, 等. 稻米蒸煮食味品质及其仪器分析的研究现状[J]. 中国水稻科学, 2009(2): 114-117
- [25] 高振宇, 曾大力, 崔霞, 等. 水稻稻米糊化温度控制基因 ALK 的图位克隆及其序列分析[J]. 中国科学(C 辑), 2003, 33(6): 481-487
- [26] 黄星, 李晓光, 刘洪亮, 等. 水稻籽粒蛋白质含量选择对杂交后代蛋白质含量及氮代谢关键酶活性的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(6): 657-660
- [27] 李贤勇, 王天凯, 王楚桃. 稻米蒸煮品质与营养品质的相关性分析[J]. 西南农业学报, 2001, 14(3): 21-24
- [28] 刘宜柏, 黄英金. 稻米食味品质的相关性研究[J]. 江西农业大学学报, 1989(4): 55-59
- [29] Kaw R N, De La Cruz N M. Interrelations among physicochemical grain quality characters in rice[J]. J Genet & Breed, 1990, 44: 139-142
- [30] Tomar J B, Nanda J S. Genetic and association studies of Kernel shape in rice[J]. Indican J Genet, 1985, 45(2): 278-283
- [31] Reddy G M, Sarala A K. Study on the amylose content and gelatinization temperature in certain local cultivars and induced grain shape mutants in rice[J]. Euphytica, 1979, 28: 665-674
- [32] Hussain A A, Maurya D M, Vaish C P. Study on quality status of indigenous upland rice [J]. Indian J Genet, 1987, 47(2): 145-152
- [33] 周少川, 李宏, 王家生, 等. 华南籼稻早造稻米蒸煮、外观和碾米品质与食味品质的相关性研究[J]. 作物学报, 2002, 28: 397-400
- [34] Kongseree N, Juliano B O. Physico-chemical properties of rice grain and starch from lines differing in amylose content and gelatinization temperature [J]. J Agr Food Chem, 1972, 20(3): 714-716
- [35] 葛国科, 郑希, 吴建国, 等. 籼稻稻米蛋白质含量与外观品质性状间不同遗传体系的条件遗传相关分析[J]. 遗传学报, 2007, 34(2): 129-137
- [36] 张小明, 王仪春, 石春海, 等. 稻米蒸煮营养品质性状的遗传研究进展[J]. 植物遗传资源科学, 2002, 3(2): 51-55