

梁超, 卢子庆, 李佳沅, 等. 东北地区旱直播粳稻种质资源品质性状分析及综合评价[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(6): 641-650.

LIANG Chao, LU Ziqing, LI Jiayuan, et al. Analysis and comprehensive evaluation of quality traits of dry direct-seeded japonica rice germplasm resources in northeast china[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(6): 641-650.

## 东北地区旱直播粳稻种质资源品质性状分析及综合评价

梁超, 卢子庆, 李佳沅, 王誉瑶, 闫海凤, 李漪濛, 刘俊峰, 周婵婵, 王 术

(沈阳农业大学农学院, 沈阳 110161)

**摘要:** 系统评价旱直播稻种质资源品质性状多样性, 为水稻种质资源创新和品质育种提供理论依据。以 79 份粳稻种质为材料, 对稻米的加工品质、外观品质、营养品质、蒸煮食味品质和淀粉糊化特征参数进行遗传多样性分析和相关分析, 利用主成分分析法、隶属函数法以及聚类分析对水稻品种进行综合品质评价和基因型差异分类。试验结果表明: 旱直播水稻种质资源在多个品质性状上均表现出较为丰富的变异, 所测定性状的变异系数为 1.63%~62.69%, 其中, 垩白度的变异系数最大。相关分析发现各项品质指标间、品质指标与淀粉糊化特征参数间均存在显著的相关性。利用主成分分析提取 4 个主成分, 贡献率分别为 38.272%、17.063%、12.188% 和 8.297%, 累积贡献率达 75.819%。根据各主成分特征向量和各性状指标的因子载荷, 计算出综合品质评价  $D$  值, 并对  $D$  值进行聚类分析, 将供试材料划分为高品质型、中等品质型和低品质型 3 类, 据此筛选出整精米率、直链淀粉含量、最高黏度、最低黏度、最终黏度作为直播稻品质鉴定的关键指标。各项品质指标与综合评价  $D$  值的相关分析结果进一步证实了所筛选指标的代表性。综上, 用综合评价  $D$  值可以准确、客观地评价旱直播粳稻的综合品质。

**关键词:** 水稻; 旱直播; 种质资源; 品质; 综合评价

中图分类号: S511

文章编号: 1000-1700(2024)06-0641-10

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Analysis and Comprehensive Evaluation of Quality Traits of Dry Direct-seeded Japonica Rice Germplasm Resources in Northeast China

LIANG Chao, LU Ziqing, LI Jiayuan, WANG Yuyao, YAN Haifeng, LI Yimeng, LIU Junfeng, ZHOU Chanchan, WANG Shu

(College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

**Abstract:** A systematic evaluation of the quality traits diversity of dry direct-seeded rice germplasm resources provides a theoretical basis for the innovation of rice germplasm resources and quality breeding. Using 79 japonica rice germplasms as materials, genetic diversity analysis and correlation analysis were conducted on the processing quality, appearance quality, nutritional quality, cooking and eating quality, and starch pasting characteristic parameters of rice. Principal component analysis, membership function method, and cluster analysis were used to comprehensively evaluate the quality of rice varieties and classify genotype differences. The experimental results showed that the dry direct-seeded rice germplasm resources exhibited relatively rich variation in multiple quality traits, with the coefficient of variation of the measured traits ranging from 1.63% to 62.69%, among which the coefficient of variation of chalkiness degree was the largest. Correlation

收稿日期: 2024-09-10

基金项目: 国家重点研发项目(2016YFD0300104)

第一作者: 梁超(1997-), 男, 博士研究生, 从事水稻高产优质栽培及生理研究, E-mail: liangchao@stu.syau.edu.cn

通信作者: 周婵婵(1989-), 女, 博士, 实验师, 从事水稻高产优质栽培及生理研究, E-mail: zhouchan@syau.edu.cn

analysis revealed significant correlations among various quality indicators and between quality indicators and starch pasting characteristic parameters. Four principal components were extracted using principal component analysis, with contribution rates of 38.272%, 17.063%, 12.188%, and 8.297%, respectively, and a cumulative contribution rate of 75.819%. Based on the feature vectors of each principal component and the factor loadings of each trait indicator, the comprehensive quality evaluation  $D$  value was calculated and subjected to cluster analysis, categorizing the tested materials into three types: high-quality, medium-quality, and low-quality. Accordingly, the key indicators for identifying the quality of direct-seeded rice were selected as head rice rate, amylose content, peak viscosity, trough viscosity, and final viscosity. The correlation analysis results between each quality indicator and the comprehensive evaluation  $D$  value further confirmed the representativeness of the selected indicators. In summary, the comprehensive evaluation  $D$  value can accurately and objectively evaluate the overall quality of dry direct-seeded japonica rice.

**Key words:** rice; dry direct-seeded; germplasm resources; quality; comprehensive evaluation

水稻是主要的粮食作物,也是世界上半以上人口的主食<sup>[1]</sup>。我国60%以上的人口以米饭作为营养和热量来源,因此与其他谷物相比,水稻的品质显得尤为重要<sup>[2]</sup>。近年来,随着经济的不断发展和生活水平的不断提高,人们对优质稻米的偏好逐渐增强<sup>[3]</sup>。与此同时,受劳动力转移、人口老龄化加剧、水资源匮乏等一系列因素影响,水稻种植方式也正在发生深刻的变革,水稻直播作为一种轻简高效的栽培技术,越来越受到人们的青睐<sup>[4]</sup>。因此,加快早直播优质种质材料筛选及新品种的选育,不仅与改善人民生活品质密切相关,对于农业持续高效发展也具有重要意义。

稻米品质作为水稻的重要性状,对稻米的市场价值和消费者的接受程度有着重要影响<sup>[5]</sup>。稻米品质主要包括加工品质、外观品质、营养品质以及蒸煮食味品质<sup>[6-7]</sup>,不同群体对稻米品质的关注点各有侧重。对于稻米加工商来说,稻米在加工过程中的出米率、碎米率以及精米率等指标是核心关注点,其表现直接影响加工过程中经济效益的最大化和稻米在市场上的竞争力。营养学家则更加关注稻米的营养价值,特别是蛋白质、维生素、矿物质以及膳食纤维的含量,这些成分直接影响稻米在健康饮食中的地位。销售商则看重稻米的外观品质,如稻米的粒型、色泽、整齐度和透明度等,稻米的外观表现直接影响消费者的购买决策。对于日常生活中的消费者来说,则对稻米在蒸煮后的口感、黏性、软硬度以及香气等更为注重。

稻米品质作为一种复杂的数量性状,其外观、蒸煮食味、营养成分等多方面的特性均受到多基因的遗传控制并受到栽培措施的显著影响<sup>[8-11]</sup>。荆瑞勇等<sup>[12]</sup>对18份水稻种质的品质性状进行遗传多样性分析、相关性分析,结果表明水稻品质性状间存在不同程度的相关性。因此,在对不同水稻品种的品质进行评价时,简化品质指标错综复杂的相互关系,从本质上认识水稻品质指标间的内在联系,一直是水稻种质品质改良的关键。已有研究表明,通过使用主成分分析的方法,可以将一组较为分散的变量或指标降维成一些综合变量,并且使降维后的这些综合变量之间不具备相关性,从而筛选出影响作物品质的关键指标,实现对作物品质指标评价体系的简化。目前,关于作物品质评价筛选方面的研究,在糜子<sup>[13]</sup>、大豆<sup>[14]</sup>、青稞<sup>[15]</sup>、马铃薯<sup>[16]</sup>、水稻<sup>[17]</sup>和小麦<sup>[18]</sup>等作物上已有报道。但目前为止,对东北地区旱直播粳稻品质性状的综合分析研究却鲜有报道。

本研究对79份水稻资源的17个主要品质指标进行了测定,采用相关性分析、主成分分析、隶属函数分析和聚类分析,旨在明确供试材料间品质性状的差异和相关性,筛选出相对合理的品质评价指标,为水稻种质资源品质评价和优良水稻新品种选育提供理论支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

供试材料为来自5个不同地区的79份粳稻种质资源,包括北京品种1份,黑龙江品种4份,吉林品种36份,辽宁品种37份,引进品种1份(表1)。

### 1.2 试验设计

试验分别于2020年和2021年水稻生长季在辽宁省沈阳市辽中区潘家堡镇(42°24'N, 122°59'E)

进行,地属温带半湿润大陆性气候。水稻生长期间平均气温19.89℃,平均降水量103.39 mm。试验地土壤质地为壤土,播种前试验田0~20 cm耕作层土壤理化性质:pH值5.77,有机质含量14.45 g·kg<sup>-1</sup>、全氮含量1.52 g·kg<sup>-1</sup>、速效氮含量107.42 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷含量15.84 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾含量92.36 mg·kg<sup>-1</sup>。试验采用完全随机区组设计,3次重复。每个小区面积18 m<sup>2</sup>(长9 m,宽2 m,行距20 cm),10行区。播种量为90 kg·hm<sup>-2</sup>,播种深度2 cm。总氮肥施用量为190 kg·hm<sup>-2</sup>,施氮方式为基肥:分蘖肥:促花肥:保花肥=4:3:2:1,其中基肥在播种前1 d施入,分蘖肥于分蘖期施入,促花肥于穗分化期施入,保花肥于抽穗期施入。所有氮肥均以尿素(46% N)的形式施用。磷肥施用量为100 kg·hm<sup>-2</sup>(过磷酸钙,12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),在播种前1 d一次性基施。钾肥施用量为75 kg·hm<sup>-2</sup>(硫酸钾,50% K<sub>2</sub>O),分别在播种前1 d和穗分化期等量施入。所有小区均在播种后进行灌溉,出苗后进行干湿交替灌溉。在四叶期后保持3~5 cm水层。在最大分蘖期排水,以减少无效分蘖,并在穗分化期用3~5 cm的水层复水,直到抽穗期。灌浆期进行干湿交替灌溉,成熟期前10 d排水。田间病虫害防治按当地常规高产栽培要求进行<sup>[19]</sup>。

### 1.3 试验方法

1.3.1 品质指标测定 将79份粳稻种质的成熟稻谷置于阴凉干燥处风干90 d后进行品质测定。依据NY/T 83—2017《米质测定方法》<sup>[20]</sup>,用FC2K型试验用稻谷砻谷机(离心式,YAMAMOTO,日本)脱壳加工,测定糙米率,用VP-32型试验用碾米机(直立式,YAMAMOTO,日本)加工精米,测定精米率和整精米率。使用ScanMaker i800 plus型双光源扫描仪(中晶科技有限公司,上海)结合SC-E型大米外观品质检测分析系统(万深检测科技有限公司,杭州)测定稻米的粒长、粒宽、垩白度和垩白粒率。用Infratec-1241型谷物分析仪(福斯油品集团,德国)测定稻米蛋白质和直链淀粉含量<sup>[21]</sup>。用STA-1A型米饭食味计(Satake Corporation,日本)对蒸煮后的米饭食味进行评估<sup>[22]</sup>。具体方法是:称取30 g精米后,在30 s内用水冲洗,置于特制不锈钢罐中,保证米水比为1:1.35。然后,将其浸泡30 min,在电饭煲中蒸煮30 min,保温10 min。将米饭搅拌松散后将其置于室温下放置90 min,最后称取8 g米饭,用特定仪器将其压制成米饼后,测定米饭的食味值。

1.3.2 淀粉糊化特征参数测定 将试验样品研磨成粉,过100目筛,采用快速黏度分析仪(RVA-3D, Newport Scientific,澳大利亚)结合配套软件TCW 分析淀粉RVA谱特征参数<sup>[23]</sup>。测定参照美国谷物化学家协会(American association of cereal chemists, AACC)操作规程进行参数设置。操作规程为:称取样品3.00 g,加入25 mL蒸馏水混合。糊化程序循环设置为13 min。淀粉样品在50℃下加热1 min,然后以12℃·min<sup>-1</sup>的速度从50℃加热到95℃,在95℃下保持2.5 min,然后以相同的速度冷却到50℃,保持2 min。测定的糊化特征参数包括最高黏度、最低黏度、最终黏度、崩解值、消减值和糊化温度。

### 1.4 数据分析方法

旱直播稻种质各综合品质指标值:

$$F(X_j) = a_{1j}X_{1j} + a_{2j}X_{2j} + \dots + a_{ij}X_{ij} \quad (1)$$

式中: $F(X_j)$ 为第j个综合指标值( $j=1, 2, \dots, n$ ), $a_{ij}$ 表示各单一指标的特征值所对应的因子载荷; $X_{ij}$ 为各单一指标标准化处理值。

各综合品质指标的隶属函数值:

$$u(x_j) = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: $x_j$ 为第j个综合指标( $j=1, 2, \dots, n$ ); $u(x_j)$ 为第j个综合指标的隶属函数值; $x_{\max}$ 与 $x_{\min}$ 分别为第j个综合指标的最大值与最小值。

各综合品质指标的权重:

$$w_j = \frac{r_j}{\sum_{j=1}^n r_j} \quad (3)$$

式中: $w_j$ 为第j个综合指标( $j=1, 2, \dots, n$ )在所有综合指标中的重要程度即权重; $r_j$ 为各基因型第j个综合指标的贡献率。

品质的综合评价D值计算公式为:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(x_j)w_j] \quad (4)$$

式中: $D$ 值为旱直播稻种质品质的综合评价。

采用Excel 2019软件进行数据统计与整理,采用SPSS v.26对数据进行描述统计及各指标间显著性差异分析,采用R语言(R 4.2.2)进行相关性分析、主成分分析及聚类分析。采用LSD(least-significant different)法进行差异性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 旱直播稻种质资源不同性状的变异分析

2.1.1 品质性状变异分析 由表1可知,参试材料的糙米率在77.46%~84.32%之间,变异系数为1.66%,表明旱直播这一种植方式对参试种质糙米率的影响较小。参试材料的垩白度在1.12%~14.79%之间,变异系数为62.69%,表明旱直播对参试种质的垩白度影响最大。其他9个指标的变异系数介于2.61%~44.92%之间。按变异系数大小对参试材料的11个品质指标进行排序,表现为:垩白度>垩白粒率>长宽比>蛋白质含量>粒长>整精米率>食味值>粒宽>直链淀粉含量>精米率>糙米率。

表1 79份粳稻种质品质性状的描述性统计

Table 1 The description and statistics of quality traits of 79 japonica rice germplasms

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
糙米率BRR/%	84.32	77.46	82.30	1.36	1.66
精米率MRR/%	74.67	66.00	71.57	1.87	2.61
整精米率HRR/%	73.75	47.66	66.03	5.48	8.29
垩白度CD/%	14.79	1.12	3.85	2.41	62.69
垩白粒率CGR/%	33.00	4.24	12.26	5.51	44.92
粒长GL/mm	5.77	4.09	4.78	0.41	8.53
粒宽GW/mm	2.80	2.15	2.55	0.13	5.03
长宽比LWR	2.70	1.59	1.89	0.23	11.95
直链淀粉含量AC/%	20.00	16.70	18.73	0.09	4.39
蛋白质含量PC/%	7.80	5.30	6.54	0.62	9.46
食味值Tv	80.07	56.97	68.63	4.65	6.78

注 Note: BRR. Brown rice rate; MRR. Milled rice rate; HRR. Head rice rate; CD. Chalkiness degree; CGR. Chalky grain rate; GL. Grain length; GW. Grain width; LWR. Length-width ratio; AC. Amylose content; PC. protein content; Tv. Taste value. 下同。The same as below.

2.1.2 淀粉糊化特征参数变异分析 从表2可知,参试材料的糊化温度在68.30~73.18℃之间,变异系数最小为1.63%。参试材料的崩解值为964~1666 cP,变异系数最大为13.90%。参试材料间的糊化温度差异较小,说明参试种质的起始糊化难易程度相近。参试材料的崩解值变异较大,表明米粉在糊化过程中的黏度变化较大。其他各项糊化特征参数的变异系数介于2.22%~10.57%之间。按变异系数大小对各项糊化特征参数进行排序,表现为崩解值>最低黏度>最高黏度>最终黏度>消减值>糊化温度。

表2 79份粳稻种质淀粉糊化特征参数的描述性统计

Table 2 The description and statistics of starch gelatinization characteristic parameters of 79 japonica rice germplasms

性状 Trait	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数/% CV
最高黏度PV/cP	3 473	2 240	2 964.27	231.59	7.81
最低黏度TV/cP	1 979	1 220	1 650.57	174.41	10.57
崩解值BD/cP	1 666	964	1 313.69	182.57	13.90
最终黏度FV/cP	3 230	2 321	2 857.35	191.76	6.71
消减值SB/cP	1 378	1 005	1 206.78	68.27	5.66
糊化温度PT/℃	73.18	68.30	70.77	1.16	1.63

注 Note: PV. Peak viscosity; TV. Trough viscosity; BD. Breakdown; FV. Final viscosity; SB. Setback; PT. Pasting temperature. 下同。The same as below.

2.2 早直播稻品质性状的相关性分析

2.2.1 早直播稻品质性状间的相关分析 参试材料的11个品质性状的相关分析结果表明(图1),各个品质指标之间均存在显著相关性。糙米率与精米率、整精米率、垩白度、垩白粒率、粒宽呈显著正相关,与粒长、长宽比、直链淀粉含量呈显著负相关。精米率与整精米率、粒宽呈显著正相关,与粒长、长宽比、直链淀粉含量呈显著负相关。整精米率与垩白度、粒宽、蛋白质含量呈显著正相关,与粒长、长宽比、直链淀粉含量呈显著负相关。垩白度与垩白粒率、粒宽、蛋白质含量呈显著正相关,与粒长、长宽比、直链淀粉含量、食味值呈显著负相关。垩白粒率与粒长、长宽比、直链淀粉含量、食味值呈显著负相关,与粒宽、蛋白质含量呈显著正相关。直链淀粉含量与粒长显著正相关,与粒宽、蛋白质含量呈显著负相关。蛋白质含量与食味值呈显著负相关。

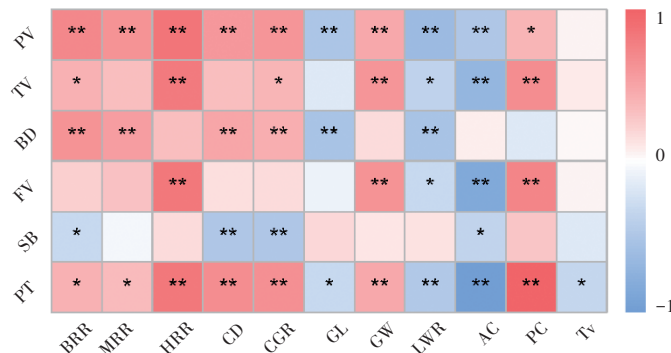


\*和\*\*分别代表5%和1%显著水平  
\*and \*\* represent significance at 5% and 1% probability level, respectively

图1 早直播稻品质性状间的相关分析

Figure 1 Correlation analysis among quality traits of dry direct-seeded rice

2.2.2 早直播稻品质性状与淀粉糊化特征参数间的相关性分析 由图2可知,淀粉的糊化特征参数与各项品质性状间的相关性达到显著或极显著水平。其中,最高黏度与糙米率、精米率、整精米率、垩白度、垩白粒率、粒宽和蛋白质含量呈显著正相关,与粒长、长宽比和直链淀粉含量呈显著负相关。最低



\*和\*\*分别代表5%和1%显著水平  
\*and \*\* represent significance at 5% and 1% probability level, respectively

图2 早直播稻品质性状与淀粉糊化特征参数间的相关分析

Figure 2 Correlation analysis between quality traits and starch gelatinization characteristic parameters of dry direct-seeded rice

黏度与糙米率、精米率、整精米率、粒宽、蛋白质含量呈显著正相关,与长宽比、直链淀粉含量呈显著负相关。崩解值与糙米率、精米率、垩白度、垩白粒率呈显著正相关,与粒长、长宽比呈显著负相关。最终黏度与整精米率、粒宽、蛋白质含量呈显著正相关,与直链淀粉含量呈显著负相关。消减值与糙米率、垩白度、垩白粒率、直链淀粉含量呈显著负相关。糊化温度与糙米率、精米率、整精米率、垩白度、垩白粒率、粒宽呈显著正相关,与粒长、长宽比、直链淀粉含量、食味值呈显著负相关。

### 2.3 旱直播稻种质资源品质性状的主成分分析

对17个品质指标进行主成分分析(表3),以特征值 $>1$ 为原则,提取4个主成分。这4个主成分的特征值分别为6.506,2.901,2.072,1.410,贡献率分别为38.272%、17.063%、12.188%和8.297%,累计贡献率达75.819%。第1个主成分主要由最高黏度、糊化温度和整精米率决定。第2个主成分主要由最终黏度和消减值决定。第3个主成分主要由食味值、垩白度和垩白粒率决定。第4个主成分主要由最低黏度、粒长和长宽比决定。

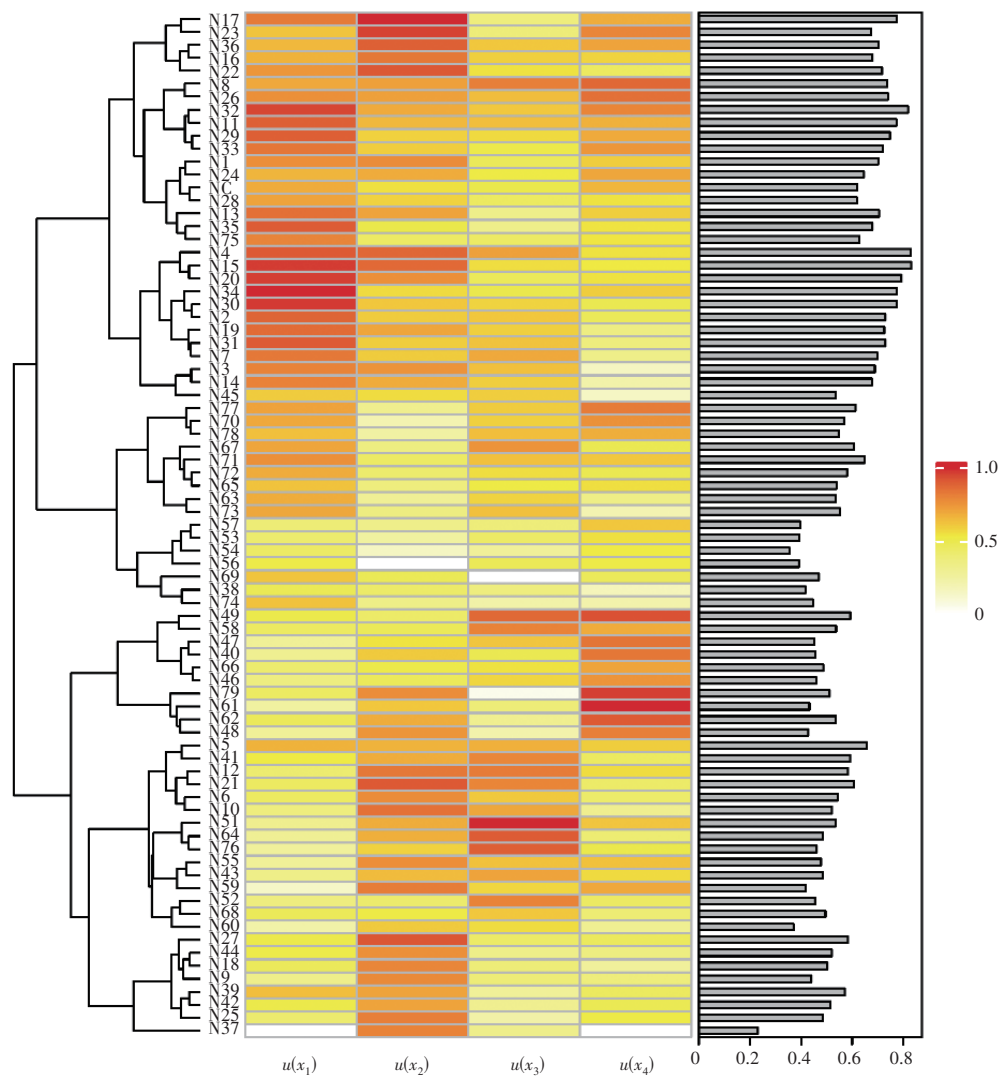
表3 各综合指标的主成分特征向量及贡献率

Table 3 Principal component feature vector and contribution of each comprehensive index

性状 Trait	因子1 Factor 1	因子2 Factor 2	因子3 Factor 3	因子4 Factor 4
糙米率BRR	0.689	-0.357	0.183	-0.073
精米率MRR	0.665	-0.293	0.455	-0.128
整精米率HRR	0.743	0.170	0.348	-0.067
垩白度CD	-0.662	0.319	0.536	-0.109
垩白粒率CGR	-0.631	0.330	0.530	-0.152
粒长GL	-0.692	0.385	-0.058	0.353
粒宽GW	0.633	-0.021	0.388	-0.235
长宽比LWR	-0.773	0.296	-0.222	0.378
直链淀粉含量AC	-0.732	-0.441	0.149	0.176
蛋白质含量PC	-0.507	-0.512	0.469	0.234
食味值Tv	-0.083	-0.094	0.674	0.456
最高黏度PV	0.760	-0.094	0.056	0.514
最低黏度TV	0.616	0.552	0.127	0.427
崩解值BD	0.376	-0.647	-0.050	0.244
最终黏度FV	0.553	0.723	0.196	0.253
消减值SB	-0.019	0.619	0.227	-0.381
糊化温度PT	0.720	0.331	-0.360	0.132
特征值Eigenvalue	6.506	2.901	2.072	1.410
贡献率Contribution/%	38.272	17.063	12.188	8.297
累计贡献率Cumulative contribution/%	38.272	55.335	67.522	75.819
因子权重Factor weight	0.505	0.225	0.161	0.109

### 2.4 旱直播稻种质资源品质的综合评价

为了更加客观评价79份旱直播稻种质的综合品质,根据公式计算出各个主成分的隶属函数值,计算综合品质 $D$ 值,并对 $D$ 值进行聚类分析(图3)。结果表明,供试材料的 $D$ 值范围为0.231~0.831,通过 $D$ 值聚类将79份种质划分为3大类。其中,第Ⅰ类为高品质型( $D \geq 0.675$ )共25份,包括吉洋108、通粳797、通系935、通禾832、通科29、松辽186、吉大818、通育256、吉农大738、沈稻240、沈稻7号、吉大898、吉农大538、通粳890、通科37、北粳2号、通禾885、松粳16、沈稻334、沈稻14、吉农大823、吉洋100、吉大618、星辰899和秋光;第Ⅱ类为中等品质型( $0.470 \leq D < 0.658$ )共37份,包括沈稻333、通系945、沈稻11、庆林598、通系935、沈稻88、吉宏6号、福星2838、沈稻47、沈稻316、沈稻49、通育838、沈稻215、通院568、吉粳49、通禾837、九稻48、吉粳528、沈稻702、福星稻39、沈稻534、丰民2000、吉宏9号、吉粳836、沈稻223、沈稻72、通粳666、沈稻69、松粳22、旱粳8号、福星90、中研15、富田2100、沈农稻546、铁粳15、沈稻357和绥研6号;第Ⅲ类为低品质型( $D < 0.461$ )共17份,包括铁粳11、松粳29、沈稻536、沈稻523、延粳27、沈稻19、沈农315、中科804、沈稻529、赋育333、沈稻528、沈稻531、沈稻520、吉农大859、开粳2号、沈稻528和沈稻18。



从左至右分别代表参试水稻种质的聚类结果,品质综合指标的隶属函数值和综合评价D值

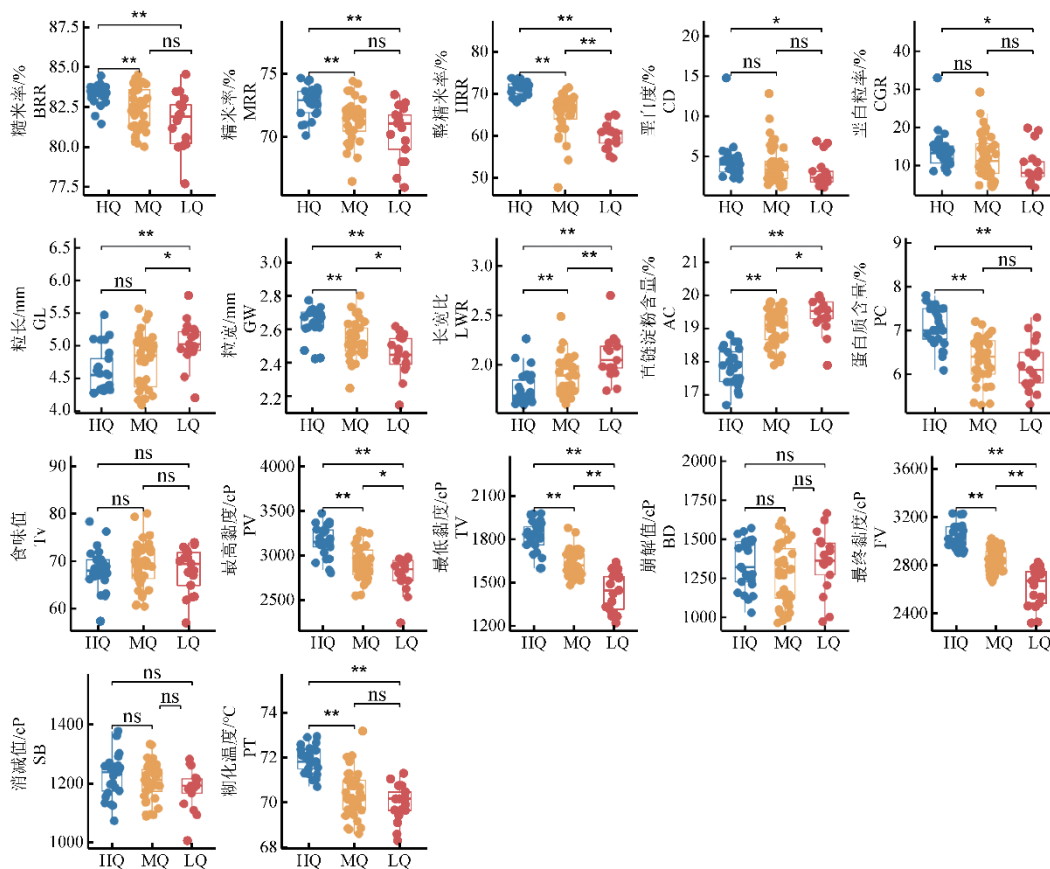
The clustering results of the tested rice germplasm, the membership function value of the comprehensive quality index and the comprehensive evaluation D value were displayed from left to right, respectively

图3 参试种质各品质综合指标的聚类分析、隶属函数值及综合评价D值

Figure 3 Cluster analysis, membership function value and comprehensive evaluation D value of each comprehensive quality index of 79 rice germplasm

将3个不同品质等级水稻材料的品质指标和淀粉糊化特征参数进行群体间的差异分析。由图4可知,不同材料类型间的整精米率、粒宽、长宽比、直链淀粉含量差异显著,高品质型材料的整精米率和粒宽相比中等品质型和低品质型材料分别增加9.01%和18.48%,4.44%和8.30%,而长宽比和直链淀粉含量分别降低7.26%和15.91%,6.11和8.06。与高品质型材料相比,低品质型材料的蛋白质含量显著降低12.23%,而垩白度、垩白粒率和食味值在高品质型材料与中等品质型材料和低品质型材料之间均无显著差异。在淀粉糊化特征参数方面,最高黏度、最低黏度和最终黏度在不同类型间差异显著,均表现为高品质类>中等品质类>低品质类。此外,高品质型材料的起始糊化温度相比其他类型平均升高1.72℃,而崩解值和消减值在不同类型间无显著差异。

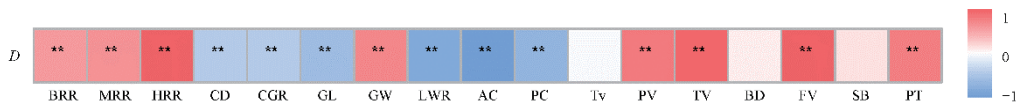
同时,对品质的综合评价D值与各指标进行相关性分析(图5),发现综合评价D值与糙米率、精米率、整精米率、粒宽、最高黏度、最低黏度、最终黏度、糊化温度呈显著正相关,与垩白度、垩白粒率、粒长、长宽比、直链淀粉含量、蛋白质含量呈显著负相关,其中,整精米率、直链淀粉含量、最高黏度、最低黏度、最终黏度的相关系数分别为0.791,-0.741,0.745,0.847,0.837,可作为水稻综合品质鉴定的关键指标。



HQ. 高品质型;MQ. 中等品质型;LQ. 低品质型; \*和\*\*分别代表5%和1%显著水平; ns. 无显著差异  
 HQ. High-quality type;MQ. Medium-quality type;LQ. Low-quality type. \*and \*\* represent significance at 5% and 1% probability level, respectively; ns. no significance

图4 不同品种类型间17个品质指标的差异性分析

Figure 4 Analysis on difference of 17 quality related indexes among different variety types



\*和\*\*分别代表5%和1%显著水平; 无显著差异  
 \*and \*\* represent significance at 5% and 1% probability level, respectively; ns. no significance

图5 品质相关指标与综合评价D值的相关分析

Figure 5 Correlation analysis between quality related indexes and comprehensive evaluation D value

### 3 讨论与结论

本研究以79份水稻种质为供试材料,对17个主要品质性状进行变异分析,发现17个品质性状表现出不同的变异程度,变异系数在1.63%(糊化温度)~62.69%(垩白度),供试材料的垩白度、垩白粒率、长宽比、最低黏度和崩解值的变异明显(CV>10%),表明参试种质的遗传多样性丰富,种质间差异较大,可为东北地区优质早直播稻的育种提供重要的资源基础。糙米率、精米率和糊化温度的变异较低,变异系数分别为1.66%、2.61%和1.63%,说明这些性状在参试材料间的差异较小,前人对寒地粳稻和杂交籼稻的研究也得出了类似的结论<sup>[24-25]</sup>。由这17个品质性状变异系数可以看出,参试种质间既有一定的遗传相似性又存在一定的遗传差异性,可以为后期优质直播稻品种的筛选提供良好的材料基础。

水稻不同品质性状间存在不同程度的相关性<sup>[26]</sup>。在本研究中,稻米的垩白与糙米率、粒长和食味值呈显著相关,其加工品质受到粒型、垩白和直链淀粉含量的显著影响。此外,米饭的食味值随着蛋白质含量的升高而显著降低,这与前人的结果一致<sup>[27-28]</sup>。对稻米的品质性状与淀粉糊化特性的相关分析表明,淀粉的糊化特征参数与各项品质指标均存在显著的相关性。直链淀粉含量与最高黏度、最低黏度、最终黏度、消减值、糊化温度呈显著负相关,而蛋白质含量对糊化特性的影响与直链淀粉含量的影响相反。卢毅等<sup>[29]</sup>研究表明较高的直链淀粉含量抑制了淀粉粒的吸水膨胀,使米饭质地变硬,黏度降低。与此同时,SALEH等<sup>[30-31]</sup>发现蛋白质会阻碍淀粉颗粒与水的结合,导致米粉吸水量减少,淀粉不易充分糊化,糊化温度升高。在外观品质中,垩白度、垩白粒率与最高黏度、最低黏度、糊化温度呈显著正相关,与消减值呈显著负相关,这可能是由于垩白的存在会影响淀粉的结晶度<sup>[32-33]</sup>。

根据评价指标和评价方法的不同将品种划分成不同的类型,有利于品种间的品质比较。朱大伟等<sup>[34]</sup>利用食味感官评分值将122个水稻品种划分为高食味型、中食味型和低食味型3种类型。卢慧等<sup>[35]</sup>基于感官百分制评分、等级综合评分以及食味计评分三种米饭食味评价方法对20个杂交籼稻品种的米饭食味进行评价,鉴定出6份食味品质优良品种。于秋竹等<sup>[36]</sup>对品质相关性状进行分析,依据品种间的产量差异将32份水稻种质分为高产优质类、中高产优质类、中产中质类、中低产中质类和低产低质类。然而,也有研究认为水稻品质是复杂的性状,由多种因素共同作用,采用多指标的综合评价能够更加准确和客观地鉴定水稻的综合品质<sup>[37-38]</sup>。本研究利用主成分分析、隶属函数分析、相关分析和聚类分析等方法,对79份水稻种质的品质进行综合评价,并依据品质的综合评价 $D$ 值将79份水稻种质分为高品质型、中品质型和低品质型3类。对不同类型间的品质指标进行差异性分析发现,高品质型材料具有更高的整精米率、直链淀粉含量、最高黏度、最低黏度和最终黏度。进一步的相关分析表明,供试材料的品质综合评价 $D$ 值与大多数品质指标均存在显著相关性,其中,整精米率、直链淀粉含量、最高黏度、最低黏度、最终黏度与综合评价 $D$ 值的关系最为密切,可作为水稻种质资源品质创新的主要参考指标,这些结果也进一步证实了筛选指标的代表性和评价方法的可行性,以及品质类型划分结果的可靠性。

综上,用综合评价 $D$ 值可以对旱直播稻品质进行准确、客观的综合评价。同时,本研究局限于对粳稻品种的品质评价,后续有待继续对籼稻、杂交稻品种进行品质鉴定,以为水稻品质改良提供理论依据和科学指导。

#### 参考文献:

- [1] 朱德峰,张玉屏,陈惠哲,等.中国水稻高产栽培技术创新与实践[J].中国农业科学,2015,48(17):3404-3414.
- [2] 胡月,郭晓红,李猛,等.中日水稻品种株型与品质比较分析[J].中国稻米,2018,24(5):39-44.
- [3] 景立权,户少武,穆海蓉,等.大气环境变化导致水稻品质总体变劣[J].中国农业科学,2018,51(13):2462-2475.
- [4] 罗锡文,王在满,曾山,等.水稻机械化直播技术研究进展[J].华南农业大学学报,2019,40(5):1-13.
- [5] LYON B G, CHAMPAGNE E T, VINYARD B T, et al. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(1): 64-69.
- [6] BAO J S. Toward understanding the genetic and molecular bases of the eating and cooking qualities of rice[J]. Cereal Foods World, 2012, 57(4): 148-156.
- [7] KOUTROUBAS S D, MAZZINI F, PONS B, et al. Grain quality variation and relationships with morpho-physiological traits in rice (*Oryza sativa* L.) genetic resources in Europe[J]. Field Crops Research, 2004, 86(2/3): 115-130.
- [8] 李珊,沈成波.调控作物硝态氮代谢和利用的研究进展[J].南京农业大学学报,2022,45(5):848-855.
- [9] 江瑜,朱相成,钱浩宇,等.水稻丰产与稻田甲烷减排协同的研究展望[J].南京农业大学学报,2022,45(5):839-847.
- [10] 张忠学,宋健,齐智娟,等.控制灌溉氮肥减施对土壤氮素分布及氮素利用率的影响[J].东北农业大学学报,2022,53(3):42-49,60.
- [11] 邱菁华,薛铸,孙书洪,等.间歇灌溉下不同生育时期喷施水溶性硅肥对水稻产量及品质的影响[J].东北农业大学学报,2022,53(9):50-57.
- [12] 荆瑞勇,卫佳琪,王丽艳,等.基于主成分分析的不同水稻品种品质综合评价[J].食品科学,2020,41(24):179-184.
- [13] 冯伯利,李冬梅,杨清华,等.糜子优异种质资源品质性状分析与综合评价[J].榆林学院学报,2023,33(2):27-33.

- [14] 石彦国,单彤彤,曾剑华,等.基于主成分分析和偏最小二乘法的蒸煮大豆食味品质评价[J].中国食品学报,2019,19(10):265-277.
- [15] 刘雅洁,李茂,李超,等.75份青稞种质的品质性状综合评价[J].麦类作物学报,2024,44(7):855-864.
- [16] 杨军林,任亚梅,张武岗,等.基于主成分分析法的熟化马铃薯品质评价[J].食品科学,2018,39(19):70-77.
- [17] 刘丽娟.淮北部分水稻品种(系)品质综合评价[J].北方水稻,2022,52(3):23-27.
- [18] 尚保华,孙睿,姜文超,等.基于主成分分析的糯小麦品质评价和分类[J].食品科学,2023,44(22):322-329.
- [19] 王术,王铁良.水稻安全生产技术指南[M].北京:中国农业出版社,2012.
- [20] 中华人民共和国农业部.米质测定方法:NY/T 83—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [21] 张诚信,郭保卫,唐健,等.灌浆结实期低温弱光复合胁迫对稻米品质的影响[J].作物学报,2019,45(8):1208-1220.
- [22] 孟庆虹,李霞辉,三上隆司,等.可见光-近红外光谱预测粳稻食味的适应性研究[J].中国粮油学报,2010,25(5):90-94,99.
- [23] 马畅,王术,张秀茹,等.东北粳稻食味特性相关影响因素分析[J].沈阳农业大学学报,2016,47(4):467-473.
- [24] 王荣升,牟凤臣,李坤,等.寒地粳稻碾磨品质和食味品质相关性状的综合分析[J].作物杂志,2023,(2):115-120.
- [25] 贾倩,吴晓,钱可峰,等.我国6个籼稻主产省93份水稻样品品质性状分析[J].中国稻米,2023,29(1):65-71.
- [26] 王术,王薇,王伯伦,等.东北主要粳稻品种品质的若干性状[J].华中农业大学学报,2009,28(2):130-135.
- [27] 陈云,李思宇,朱安,等.播种量和穗肥施氮量对优质食味直播水稻产量和品质的影响[J].作物学报,2022,48(3):656-666.
- [28] 马兆惠,李坤,程海涛,等.表观直链淀粉和蛋白质双低型粳稻食味的关联性状分析[J].沈阳农业大学学报,2019,50(1):10-18.
- [29] 卢毅,路兴花,张青峰,等.稻米直链淀粉与米饭物性及食味品质的关联特征研究[J].食品科技,2018,43(10):219-223.
- [30] SALEH M I. Protein-starch matrix microstructure during rice flour pastes formation[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 74: 183-186.
- [31] ZHAN Q, YE X T, ZHANG Y, et al. Starch granule-associated proteins affect the physicochemical properties of rice starch[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 101: 105504.
- [32] WANG L F, ZHANG L, WANG H L, et al. Insight into protein-starch ratio on the gelatinization and retrogradation characteristics of reconstituted rice flour[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 146: 524-529.
- [33] KUANG J W, MA W H, PU H Y, et al. Control of wheat starch rheological properties and gel structure through modulating granule structure change by reconstituted gluten fractions[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 193: 1707-1715.
- [34] 朱大伟,章林平,陈铭学,等.中国优质稻品种品质及食味感官评分值的特征[J].中国农业科学,2022,55(7):1271-1283.
- [35] 卢慧,袁玉洁,张丝琪,等.基于3种方法的西南杂交籼稻稻米食味评价及品种优选[J].中国农业科学,2021,54(6):1243-1257.
- [36] 于秋竹,孔宇,陈东升,等.基于主成分及聚类分析的黑龙江省水稻产量与品质的综合评价[J].沈阳农业大学学报,2015,46(2):219-224.
- [37] 李清华,朱业宝,郑长林,等.福建水稻地方品种稻米品质鉴定与评价[J].植物遗传资源学报,2023,24(5):1291-1301.
- [38] 徐清宇,余静,朱大伟,等.基于主成分分析和聚类分析的不同水稻品种营养品质评价研究[J].中国稻米,2022,28(6):1-8.

[责任编辑 马迎杰]