



马骋芳,康锁倩,徐玖亮.洱海流域水稻主栽品种产量和稻米品质差异研究[J].中国农业大学学报,2025,30(04):15-27.

MA Chengfang, KANG Suoqian, XU Jiuliang. Study on the differences in yield and quality among the main rice varieties in the Erhai basin[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(04): 15-27.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.04.02

洱海流域水稻主栽品种产量和稻米品质差异研究

马骋芳 康锁倩 徐玖亮*

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193)

摘要 为筛选适合洱海流域种植的优质丰产型水稻品种,以13个云南省主栽的水稻品种为供试材料,采用随机区组设计,在云南省大理市湾桥镇古生村常规种植,以主栽品种‘云梗37号’为对照,测定各品种产量及构成因子和品质指标,并利用相关性和主成分分析方法进行综合得分评价。结果表明:有效穗数以‘云梗57号’最高,为 $680.7 \times 10^4/\text{hm}^2$,较‘云梗37号’高17.4% ($P < 0.05$);穗粒数以‘声农4号’最高,为143.3,‘凤15-53’最低,为80.3;各品种的结实率在74.8%~95.2%,其中‘云梗50号’结实率最高,‘云科梗1号’最低;千粒重以‘凤15-53’最高,为29.5 g,较‘云梗37号’高17.7%;‘云两优502’产量最高,为 $14.9 \text{ t}/\text{hm}^2$,‘云科梗1号’产量最低,为 $10.2 \text{ t}/\text{hm}^2$ 。糙米率以‘楚梗22号’最高,为82.6%,较‘云梗37号’高3.3%,‘滇禾优615’最低,为76.0%;精米率和整精米率均以‘云两优502’最高,分别为76.7%和75.5%;各品种直链淀粉含量在4.4~22.4 g/100 g、胶稠度在62.3~96.7 mm;食味值最高的是‘云梗50号’,为89.6,最低的是‘云梗48号’,为80.9;‘凤15-53’蛋白质含量最高,为9.7 g/100 g,其次是‘云梗21k-10’,为9.6 g/100 g。供试13个水稻品种的产量和品质水平均存在不同程度变异,产量变异主要在穗粒数和有效穗数上,品质性状变异主要在直链淀粉含量上。供试13个水稻品种的产量及构成因子间、品质性状间均存在相关关系,其中产量与精米率、整精米率均表现为极显著正相关,相关系数(r)分别为0.460和0.551,结实率与糙米率呈极显著正相关, $r=0.528$,直链淀粉含量与胶稠度呈极显著负相关, $r=-0.779$ 。综合得分‘云梗50号’最高,为1.932 7,‘滇禾优615’最低,为-0.609 9。因此,‘云梗50号’优质丰产性最好,可作为洱海流域种植水稻品种的最优选择。

关键词 水稻;产量;品质;洱海流域;主成分分析

中图分类号 S511

文章编号 1007-4333(2025)04-0015-13

文献标志码 A

Study on the differences in yield and quality among the main rice varieties in the Erhai basin

MA Chengfang, KANG Suoqian, XU Jiuliang*

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To screen high-quality and productive rice varieties suitable for cultivation in the Erhai basin, 13 main rice varieties planted in Yunnan Province were used as test materials in a randomized block design, and were planted routinely, and the main variety ‘Yungeng 37’ was used as a control in Gusheng Village, Wanqiao Town, Dali City, Yunnan Province. The yield and constitutive factors and quality indexes of the varieties were determined, and the correlation analysis and principal component analysis were conducted using the method of comprehensive score evaluation. The results showed that: The effective panicles was the highest in ‘Yungeng 57’ at $680.7 \times 10^4/\text{hm}^2$, and 17.4% higher than that of ‘Yungeng 37’ ($P < 0.05$);

收稿日期: 2024-10-12

基金项目: 云南省重大科技专项(202202AE090034)

第一作者: 马骋芳(ORCID:0009-0003-9850-4660),硕士研究生,E-mail:1794493183@qq.com

通讯作者: 徐玖亮(ORCID:0000-0002-1177-9860),副教授,主要从事养分管理与作物品质研究,E-mail:jlxu9@cau.edu.cn

The number of kernels per panicle was the highest in ‘Shengnong 4’ at 143.3 and the lowest in ‘Feng 15-53’ at 80.3; The seed setting rate of each variety ranged from 74.8% to 95.2%, among which the ‘Yungeng 50’ had the highest seed setting rate and ‘Yunkegeng 1’ had the lowest; The 1 000-grain weight was the highest in ‘Feng 15-53’ at 29.5 g, which was 17.7% higher than that of ‘Yungeng 37’; ‘Yunliangyou 502’ had the highest yield of 14.9 t/hm² and ‘Yunkegeng 1’ had the lowest yield of 10.2 t/hm². The brown rice rate was the highest in ‘Chugeng 22’ at 82.6%, which was 3.3% higher than that of ‘Yungeng 37’, and the lowest in ‘Dianheyong 615’ at 76.0%; Both the milled rice rate and head rice rate were the highest for ‘Yunliangyou 502’, which were 76.7% and 75.5%, respectively; The amylose content of each variety ranged from 4.4 to 22.4 g/100 g, and the gelatin consistency ranged from 62.3 to 96.7 mm; The highest taste value was ‘Yungeng 50’ at 89.6, and the lowest was ‘Yungeng 48’ at 80.9; ‘Feng 15-53’ had the highest protein content of 9.7 g/100 g, followed by ‘Yungeng 21k-10’ of 9.6 g/100 g. The yield and quality levels of the 13 rice varieties for testing had different degrees of variation, with yield variation mainly in the number of kernels per panicle and the number of effective panicles, while the quality trait variation primarily in the amylose content. There were correlations among the yield and constitutive factors and quality traits of the 13 rice varieties for testing, among which the yield was highly significantly positively correlated with the milled rice rate and head rice rate, with correlation coefficients (*r*) of 0.460 and 0.551, respectively, while the seed setting rate was highly significantly positively correlated with the brown rice rate, with *r* of 0.528, and the amylose content was highly considerably negatively correlated with the gelatin consistency, with *r* of -0.779. The composite score of ‘Yungeng 50’ was the highest at 1.932 7, while ‘Dianheyong 615’ was the lowest at -0.609 9. Therefore, ‘Yungeng 50’ has the best quality and yield, and can be used as the optimal choice of rice varieties for planting in the Erhai basin.

Keywords rice; yield; quality; Erhai basin; principal component analysis

水稻是世界上最重要的粮食作物之一^[1],产量和品质是水稻生产的2个重要组成部分^[2]，“高产不优质,优质不高产”一直是我国水稻产业发展的瓶颈,且由于环境因素导致同一水稻品种的产量和品质在各地表现不尽相同^[3],因此筛选出适宜地区种植的高产优质品种具有重要意义。

针对水稻品种的筛选已有很多研究报道。林江等^[4]对24个水稻品种进行比较分析,筛选出‘云航粳4号’‘云资粳25’‘云航粳14号’‘云资香1号’和‘云资红28号’等优质高产品种,适宜在云南省红河哈尼族彝族自治州弥勒市种植并打造高原特色香软米品牌。布哈丽且木·阿不力孜等^[5]对11个水稻品种进行综合评价结果表明,‘新粳伊20号’优质丰产性最好,适合在新疆稻区种植。张详^[6]对18个水稻品种进行综合评价发现,‘吨两优900’水稻品种综合表现最好,最适宜在安徽省六安市作为主推品种推广种植。叶春萍^[7]对11个水稻品种进行筛选比较发现,‘晶两优534’‘丰两优华占’‘喜两优丝苗’在黄山市屯溪区种植的综合表现好。

洱海是云南省第二大高原湖泊,是大理市主要饮用水源地^[8]。洱海流域位于低纬度地区,且海拔较高,独特的地理位置赋予了洱海流域四季温和、

光照充足,干湿季分明等气候特征^[9]。水稻是云南省大理州的主要粮食作物,2020年全州水稻种植面积50 566.7 hm²,其中洱海流域水稻种植面积7 193.3 hm²^[10]。目前洱海流域水稻面临着“种植技术参差不齐、种植经济效益低、农户种植积极性不高^[11]、优质品种品质退化^[12]、优质高产品种供给不足^[13]”等一系列问题。近年来随着品种审定制度的改革,激活了育种者的积极性,品种审定进度不断加快,丰富了品种的多样性,但是品种“井喷”态势下也造成了农户品种选择难的问题^[14]。同时,随着人们生活水平的提高,从吃饱逐渐走向吃好、吃的健康。如何协同提高水稻产量和品质已成为我国稻米生产和发展的关注点,针对稻米品质的研究逐渐成为一个热门课题^[15],推广优质稻种植对农民增收、提高种粮积极性、优化品种布局^[16]、推动水稻产业升级^[17]和保障粮食安全具有重要意义^[18]。目前对洱海流域水稻品种产量和稻米品质性状差异的研究鲜有报道,本研究利用相关性和主成分分析方法对云南省主栽的13个水稻品种的产量及稻米品质进行综合分析,旨在筛选出适宜洱海流域种植的高产优质水稻品种,以期为洱海流域优质丰产水稻生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选择云南省主栽的 13 个水稻品种,分别是‘云梗

37 号’‘云梗 46 号’‘云梗 48 号’‘云梗 50 号’‘云梗 57 号’‘云梗 21k-10’‘云科梗 1 号’‘楚梗 22 号’‘楚梗 53 号’‘云两优 502’‘声农 4 号’‘凤 15-53’‘滇禾优 615’,以‘云梗 37 号’作对照,品种信息见表 1。

表 1 品种相关信息
Table 1 Variety-related information

编号 Number	品种 Variety	选育单位 Breeding unit
1	云梗 37 号	云南省农业科学院粮食作物研究所
2	云梗 46 号	云南省农业科学院粮食作物研究所 华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室
3	云梗 48 号	云南省农业科学院粮食作物研究所
4	云梗 50 号	云南省农业科学院粮食作物研究所
5	云梗 57 号	云南省农业科学院粮食作物研究所
6	云梗 21k-10	云南省农业科学院粮食作物研究所
7	云科梗 1 号	云南省农业科学院粮食作物研究所
8	楚梗 22 号	云南省楚雄彝族自治州农业科学院
9	楚梗 53 号	云南省楚雄彝族自治州农业科学院
10	云两优 502	云南省农业科学院粮食作物研究所
11	声农 4 号	云南声农水稻作物研究所
12	凤 15-53	云南省大理白族自治州农业科学院
13	滇禾优 615	云南农业大学稻作研究所与云南禾朴农业科技有限公司

1.2 试验地概况

试验于 2023 年 5—10 月在云南省大理白族自治州大理市湾桥镇古生村大理苍洱留香农业发展有限公司 3 号种植基地(100°08'15" E, 25°48'54" N, 海拔 1 980 m)开展,该地区属低纬高原亚热带季风气候,温暖湿润,干湿分明,年均气温 15.1℃,全年平均降水量 1 000 mm,其中,85% 以上的降雨集中在 5—10 月。试验地前茬作物为马铃薯,0~20 cm 土壤基本理化性质:有机质 71.9 g/kg, pH 6.3, 全氮 4.3 g/kg, 有效磷 87.6 mg/kg, 速效钾 101.1 mg/kg。

1.3 试验设计

试验采用随机区组排列,每个品种为 1 个处理,共设 13 个处理,3 次重复,小区面积 5 m×7 m,四周设宽 1 m 的保护行。

1.4 试验方法

2023 年 4 月 27 日播种,6 月 1 日移栽,秧龄 35 d,人工插秧,每穴 3~4 个基本苗,株距 10 cm,行距 25 cm。基肥施用水稻绿色智能肥($w_N:w_P:w_K=$

15:11:14)480 kg/hm²,分蘖肥施用尿素 78 kg/hm²,促花肥施用尿素 58 kg/hm²和硫酸钾镁肥($w_K:w_{Mg}:w_S=25:6:17$)46 kg/hm²,保花肥施用尿素 98 kg/hm²和硫酸钾镁肥 46 kg/hm²,肥料均购自云南云天化股份有限公司。其他田间管理按照当地常规措施,并严格控制杂草、害虫、疾病等。

1.5 测定项目及方法

1.5.1 产量及构成因素

于水稻收获前进行考种,每小区调查 20 穴有效穗数,并根据平均穗数取 5 穴调查穗粒数、结实率和千粒重。成熟期进行小区实割测产,称稻谷鲜重,测定其含水量,最后以含水率为 14.5% 计算稻谷实收产量。

1.5.2 稻米品质

风干稻谷放在室温下 3 个月后进行稻米品质测定。稻米的糙米率、精米率、整精米率、直链淀粉含量、胶稠度、蛋白质含量等均按照中华人民共和国国家标准 GB/T 17891—2017《优质稻谷》^[19]测定,用北京东孚久恒公司的大米食味计测定食味值。

1.6 数据统计

采用 Microsoft Excel 2019 进行统计与整理,采用 IBM SPSS Statistics 26.0 对所有指标进行单因素显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同水稻品种的产量及产量构成

由表 2 可知,13 个水稻品种的公顷有效穗数在

$376.4\times10^4\sim680.7\times10^4$,其中‘云梗 57 号’的有效穗数最高,较‘云梗 37 号’增加 17.4%。‘声农 4 号’穗粒数最高,为 143.3,‘凤 15-53’穗粒数最低,为 80.3,两品种均与‘云梗 37 号’存在显著差异。13 个水稻品种的结实率在 74.8%~95.2%,‘云梗 50 号’结实率最高,‘云科梗 1 号’最低。千粒重最高的品种是‘凤 15-53’,为 29.5 g,较‘云梗 37 号’高 17.7%。13 个水稻品种实收产量在 10.2~14.9 t/

表 2 不同水稻品种的产量及产量构成
Table 2 Yield and yield components of different rice varieties

品种 Variety	有效穗数/ ($\times10^4/\text{hm}^2$) Effective panicles	穗粒数 Kernels per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	理论产量/ (t/hm^2) Theoretical yield	实收产量/ (t/hm^2) Actual yield	增产/% Yield increase
云梗 37 号 Yungeng 37	579.6 $\pm$ 44.5 ^{abcd}	115.9 $\pm$ 4.9 ^{cd}	93.9 $\pm$ 1.5 ^a	25.1 $\pm$ 0.5 ^f	15.7 $\pm$ 1.1 ^{abcd}	11.6 $\pm$ 0.4 ^{de}	0
云梗 46 号 Yungeng 46	442.8 $\pm$ 16.7 ^{ef}	135.2 $\pm$ 7.3 ^{abc}	93.6 $\pm$ 0.8 ^a	26.5 $\pm$ 0.3 ^{de}	14.8 $\pm$ 1.1 ^{cde}	12.0 $\pm$ 0.2 ^{cd}	3.3
云梗 48 号 Yungeng 48	589.7 $\pm$ 31.1 ^{abc}	130.3 $\pm$ 9.6 ^{abc}	78.8 $\pm$ 1.6 ^{fg}	26.7 $\pm$ 0.3 ^{cde}	16.2 $\pm$ 1.8 ^{abcd}	13.0 $\pm$ 0.3 ^{bc}	12.4
云梗 50 号 Yungeng 50	505.0 $\pm$ 28.2 ^{cde}	138.9 $\pm$ 6.7 ^{ab}	95.2 $\pm$ 1.6 ^a	26.1 $\pm$ 0.6 ^e	17.3 $\pm$ 0.5 ^{abc}	11.0 $\pm$ 0.6 ^{def}	-5.2
云梗 57 号 Yungeng 57	680.7 $\pm$ 19.7 ^a	87.4 $\pm$ 2.3 ^{ef}	93.8 $\pm$ 1.6 ^a	27.7 $\pm$ 0.3 ^b	15.5 $\pm$ 0.7 ^{abcde}	13.3 $\pm$ 0.6 ^b	14.7
云梗 21k-10 Yungeng 21k-10	376.4 $\pm$ 43.3 ^f	132.4 $\pm$ 8.1 ^{abc}	84.5 $\pm$ 1.7 ^{cde}	26.7 $\pm$ 0.2 ^{cde}	11.1 $\pm$ 0.6 ^{fg}	12.1 $\pm$ 0.2 ^{bcd}	4.7
云科梗 1 号 Yunkegeng 1	564.9 $\pm$ 23.3 ^{bcd}	107.4 $\pm$ 1.5 ^d	74.8 $\pm$ 1.2 ^g	27.4 $\pm$ 0.1 ^{bcd}	12.4 $\pm$ 0.2 ^{efg}	10.2 $\pm$ 0.5 ^f	-11.9
楚梗 22 号 Chugeng 22	503.4 $\pm$ 22.6 ^{cde}	104.7 $\pm$ 5.0 ^{de}	94.7 $\pm$ 1.8 ^a	27.5 $\pm$ 0.2 ^{bc}	13.7 $\pm$ 0.6 ^{def}	10.5 $\pm$ 0.2 ^{ef}	-9.4
楚梗 53 号 Chugeng 53	569.2 $\pm$ 11.0 ^{bcd}	123.0 $\pm$ 5.1 ^{bcd}	83.6 $\pm$ 2.1 ^{de}	26.0 $\pm$ 0.1 ^e	15.3 $\pm$ 1.2 ^{bcdde}	11.9 $\pm$ 0.2 ^{cd}	2.9
云两优 502 Yunliangyou 502	647.8 $\pm$ 41.3 ^{ab}	115.7 $\pm$ 5.9 ^{cd}	88.6 $\pm$ 1.1 ^{bc}	27.3 $\pm$ 0.2 ^{bcd}	18.1 $\pm$ 1.4 ^{ab}	14.9 $\pm$ 0.5 ^a	28.8
声农 4 号 Shengnong 4	482.2 $\pm$ 21.3 ^{de}	143.3 $\pm$ 8.9 ^a	92.0 $\pm$ 0.5 ^{ab}	29.3 $\pm$ 0.3 ^a	18.5 $\pm$ 0.2 ^a	12.1 $\pm$ 0.3 ^{bcd}	4.2
凤 15-53 Feng 15-53	477.8 $\pm$ 56.4 ^{de}	80.3 $\pm$ 2.5 ^f	86.9 $\pm$ 1.8 ^{cd}	29.5 $\pm$ 0.1 ^a	9.8 $\pm$ 1.0 ^g	11.3 $\pm$ 0.5 ^{def}	-2.4
滇禾优 615 Dianheyou 615	594.0 $\pm$ 27.7 ^{abc}	116.7 $\pm$ 5.8 ^{cd}	81.5 $\pm$ 0.7 ^{ef}	24.2 $\pm$ 0.2 ^g	13.6 $\pm$ 0.3 ^{def}	10.8 $\pm$ 0.2 ^{def}	-6.5

注:不同小写字母表示 0.05 水平下差异显著。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level.

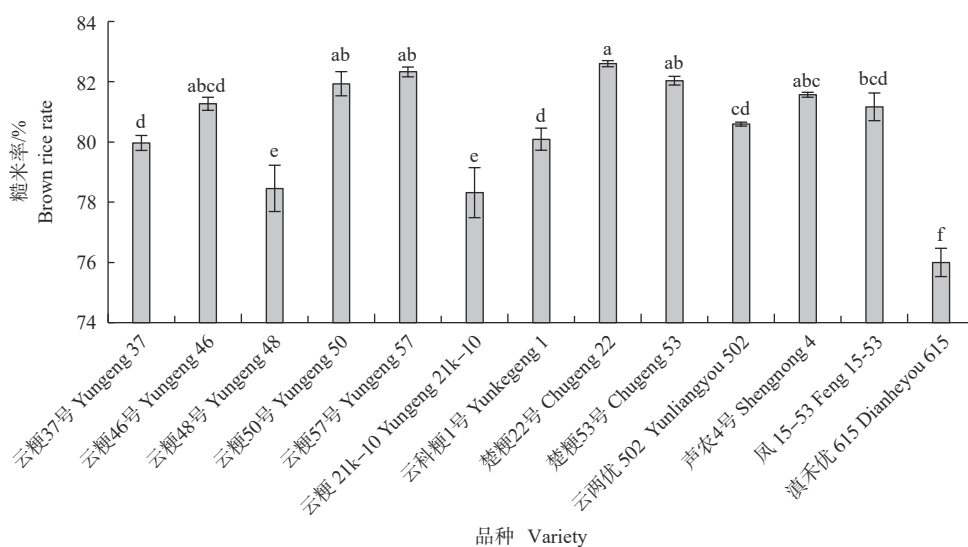
hm²,产量高于‘云梗37号’的品种有‘云梗46号’‘云梗48号’‘云梗57号’‘云梗21k-10’‘楚梗53号’‘云两优502’‘声农4号’,其中‘云两优502’实收产量最高,显著高于其他品种;‘云科梗1号’实收产量最低,比‘云梗37号’减少11.9%。

2.2 不同水稻品种的加工品质

由图1可知,‘楚梗22号’糙米率最高,为82.6%,较‘云梗37号’高3.3%;‘滇禾优615’糙米率最低,为76.0%,较‘云梗37号’低5.0%。

由图2可知,‘云两优502’精米率最高,比‘云梗37号’高10.1%,但与‘云梗57号’‘楚梗53号’‘滇禾优615’差异均不显著;精米率最低的品种是‘云梗37号’,为69.7%,与‘云梗50号’‘云科梗1号’均无显著差异。

由图3可知,13个水稻品种的整精米率在57.8%~75.5%,除‘云科梗1号’外,各品种的整精米率都高于‘云梗37号’。‘云两优502’整精米率最高,较‘云梗37号’高22.0%;‘云科梗1号’整精米率最低,为57.8%,显著低于其他品种。



不同小写字母表示0.05水平下差异显著。下同。

Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level. The same below.

图1 不同水稻品种的糙米率

Fig.1 Brown rice rate of different rice varieties

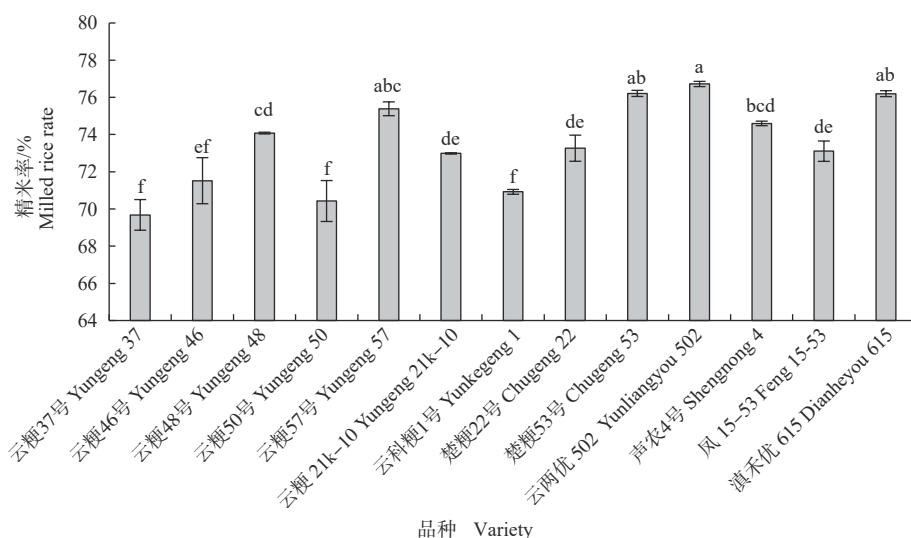


图2 不同水稻品种的精米率

Fig. 2 Milled rice rate of different rice varieties

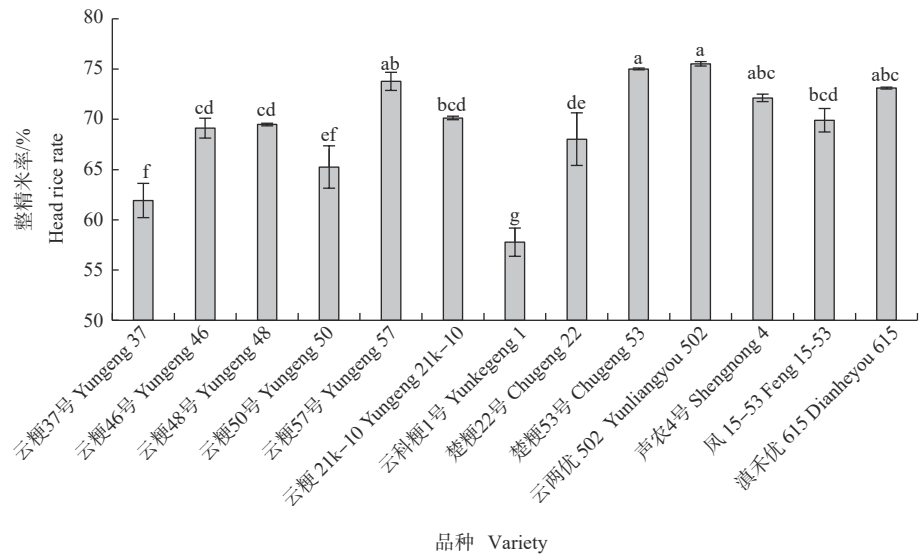


图3 不同水稻品种的整精米率
Fig. 3 Head rice rate of different rice varieties

2.3 不同水稻品种的蒸煮食味品质

由图4可知,13个水稻品种的直链淀粉含量在4.4~22.4 g/100 g,最高的是‘云梗57号’,为

22.4 g/100 g,较‘云梗37号’高274.5%;最低的是‘云科梗1号’,为4.4 g/100 g,较‘云梗37号’低6.0%。

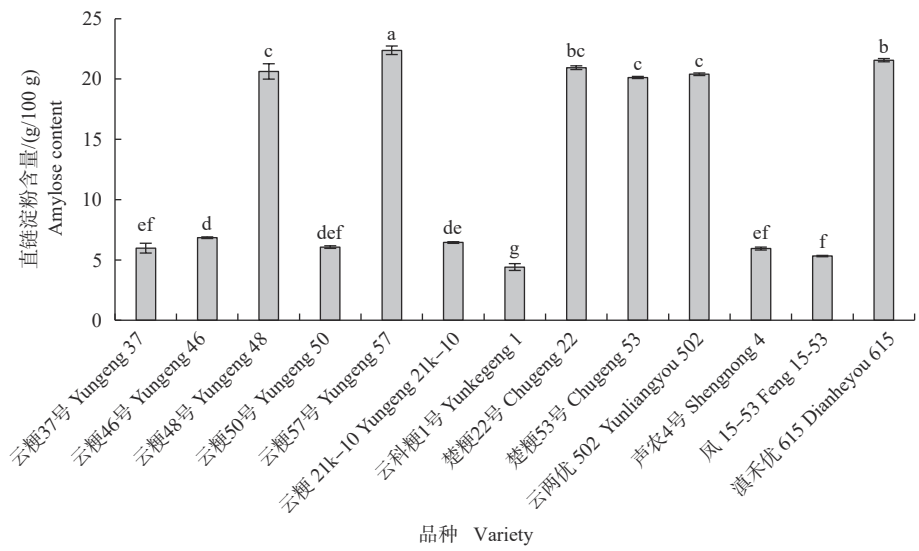


图4 不同水稻品种的直链淀粉含量
Fig. 4 Amylose content of different rice varieties

由图5可知,13个水稻品种的胶稠度在62.3~96.7 mm,‘滇禾优615’胶稠度最低,为62.3 mm;‘云科梗1号’胶稠度最高,为96.7 mm,较‘云梗37号’高3.2%。

由图6可知,13个水稻品种中食味值最高的是‘云梗50号’,为89.6,与‘云梗37号’差异不显著;

最低的是‘云梗48号’,为80.9,较‘云梗37号’低2.4%。

2.4 不同水稻品种的营养品质

由图7可知,‘风15-53’的蛋白质含量最高,为9.7 g/100 g,其次是‘云梗21k-10’,为9.6 g/100 g,两品种蛋白质含量无显著差异;最低的是‘云两优

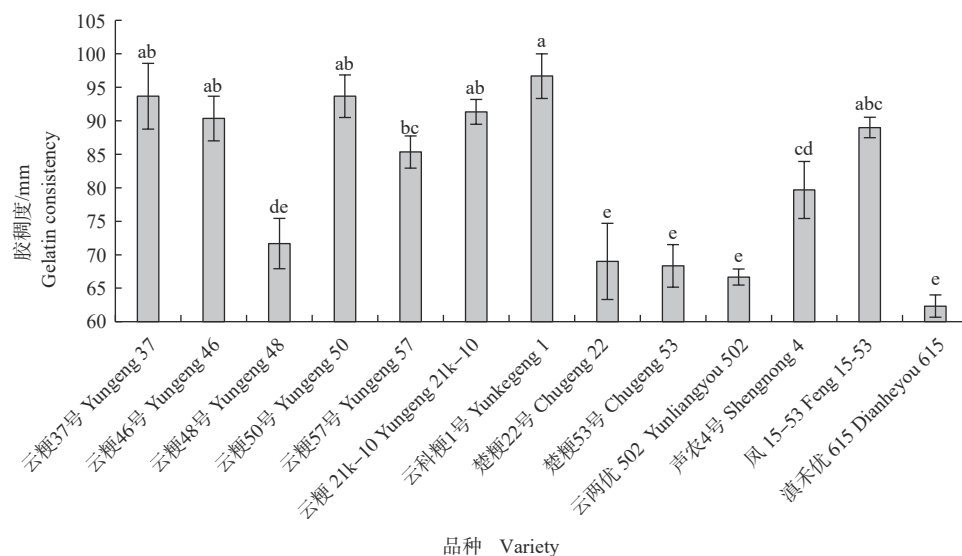


图5 不同水稻品种的胶稠度

Fig. 5 Gelatin consistency of different rice varieties

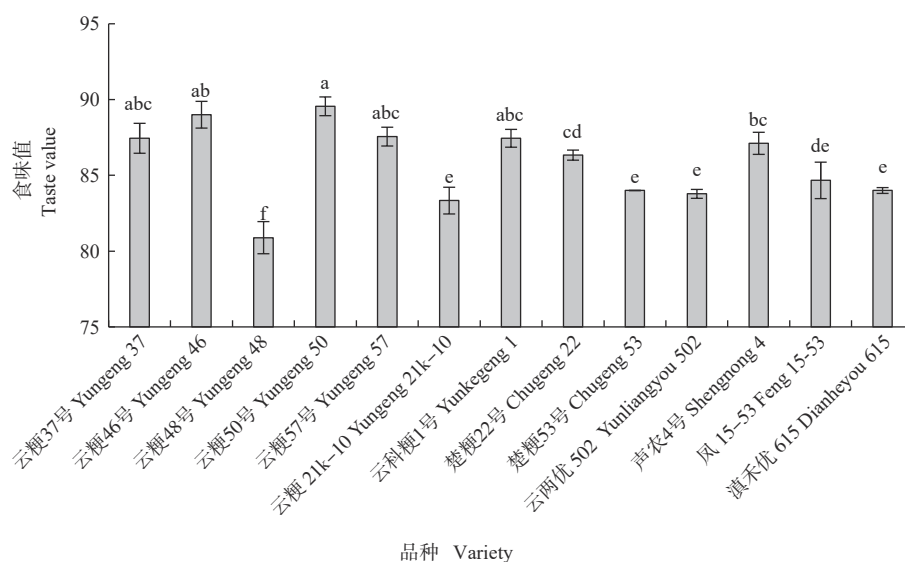


图6 不同水稻品种的食味值

Fig. 6 Taste value of different rice varieties

502', 为 6.6 g/100 g, 与‘云梗 57 号’‘滇禾优 615’均无显著差异, 较‘云梗 37 号’低 25.1%。

2.5 不同水稻品种的产量与品质性状指标差异

由表 3 可知, 13 个水稻品种的结实率、千粒重、糙米率、精米率、整精米率和食味值的变异系数 (CV) 均 <10.0%, 其中食味值 CV 最小, 仅为 3.1%, 说明不同品种间食味值变化较小; 13 个水稻品种的有效穗数、穗粒数、产量、蛋白质含量、直链淀粉含量和胶稠度的 CV 均在 10.0% 以上, 其中直链淀粉含量的 CV 最大, 为 59.9%, 说明不同品种间

直链淀粉含量差异最大。

2.6 不同水稻品种的产量与品质性状的相关性

由图 8 可知, 供试 13 个水稻品种的产量与品质性状间均存在相关关系, 其中有效穗数与穗粒数呈显著负相关, $r = -0.365$, 与结实率、千粒重均呈负相关, r 分别为 -0.127 、 -0.146 , 与实收产量呈正相关, $r = 0.211$, 与蛋白质含量呈极显著负相关, $r = -0.630$ 。穗粒数与千粒重呈负相关, $r = -0.291$ 。结实率与糙米率、食味值均呈极显著正相关, r 均为 0.528。千粒重与糙米率呈极显著正相关, $r = 0.521$ 。实收产量与

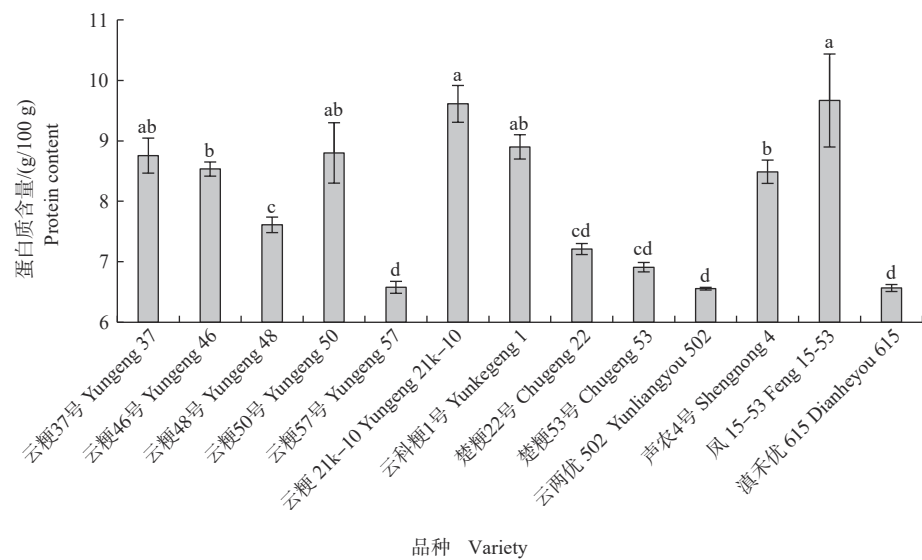


图7 不同水稻品种的蛋白质含量
Fig. 7 Protein content of different rice varieties

表3 不同水稻品种的产量与品质性状指标差异
Table 3 Differences in yield and quality trait indexes of different rice varieties

指标 Index	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Average	标准差 SD	变异系数/% CV
有效穗数/($\times 10^4/\text{hm}^2$) Effective panicles	376.4	680.7	539.5	94.4	17.5
穗粒数 Kernels per panicle	80.3	143.3	117.8	20.7	17.5
结实率/% Seed setting rate	74.8	95.2	87.8	6.9	7.9
千粒重/g 1 000-grain weight	24.2	29.5	26.9	1.5	5.6
实收产量/(t/hm^2) Actual yield	10.2	14.9	11.9	1.4	11.5
糙米率/% Brown rice rate	76.0	82.6	80.5	2.0	2.4
精米率/% Milled rice rate	69.7	76.7	73.5	2.4	3.3
整精米率/% Head rice rate	57.8	75.5	69.3	5.3	7.7
蛋白质含量/(g/100 g) Protein content	6.6	9.7	8.0	1.2	15.0
直链淀粉含量/(g/100 g) Amylose content	4.4	22.4	12.9	7.7	59.9
食味值 Taste value	80.9	89.6	85.8	2.7	3.1
胶稠度/mm Gelatin consistency	62.3	96.7	81.4	12.8	15.8

有效穗数、结实率、千粒重和结实率均呈正相关, r 分别为 0.211、0.083、0.085、0.121, 与精米率、整精米率均呈极显著正相关, r 分别为 0.460、0.551。糙米率与食味值呈极显著正相关, $r=0.489$ 。精米率与整精米率呈极显著正相关, $r=0.869$, 精米率和整精米率均与直链淀粉含量呈极显著正相关, r 分别为 0.712、0.583,

与蛋白质含量、食味值和胶稠度均呈极显著负相关。蛋白质含量与直链淀粉含量呈极显著负相关 ($r=-0.870$), 与胶稠度呈极显著正相关 ($r=0.701$)。直链淀粉含量与食味值、胶稠度均呈极显著负相关, r 分别为 -0.444 、 -0.779 。食味值与胶稠度呈极显著正相关, $r=0.578$ 。

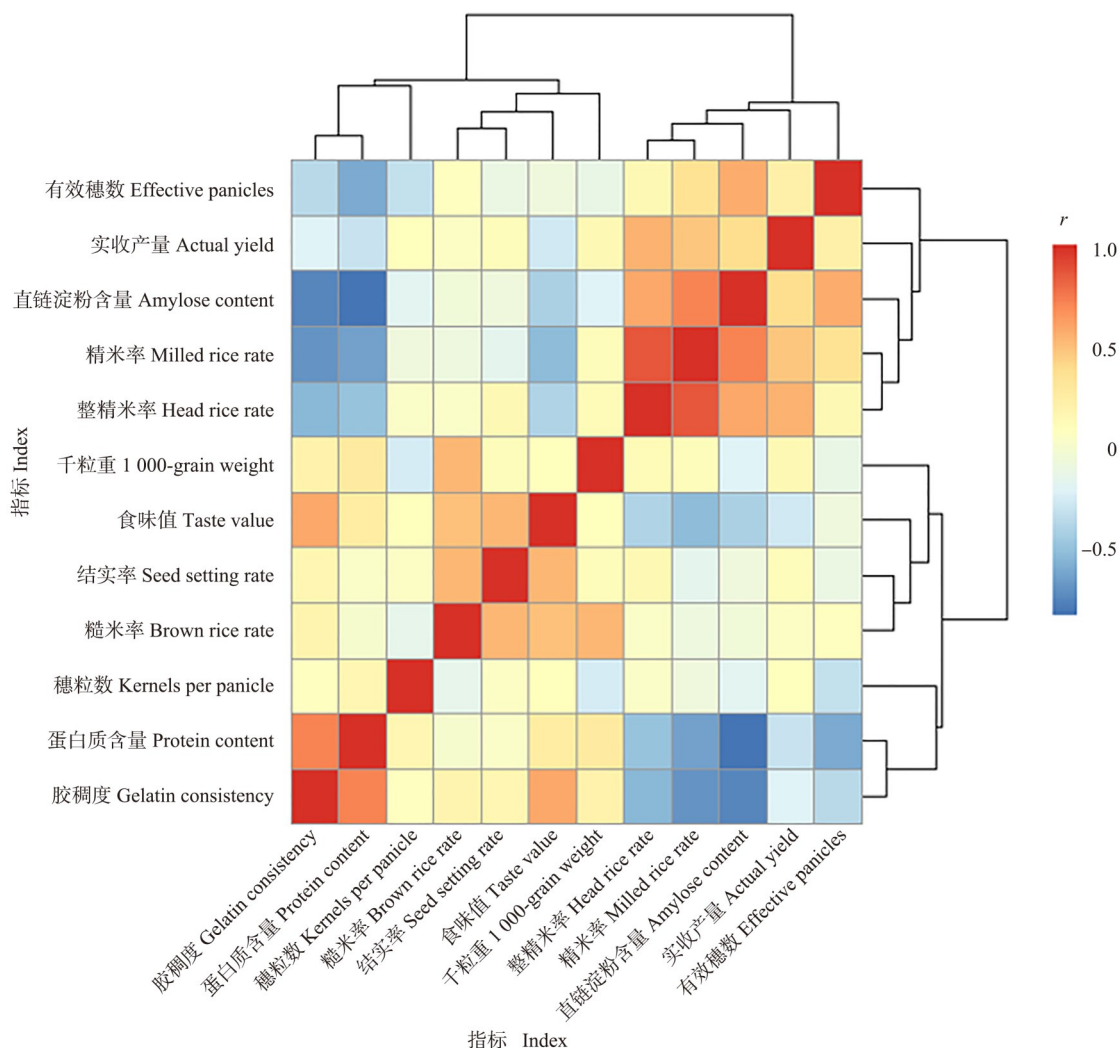


图8 不同水稻品种的产量与品质性状的相关性

Fig. 8 Correlation between yield and quality traits in different rice varieties

2.7 不同水稻品种的产量及品质性状指标主成分分析

由表4可知,第1—4主成分的特征值分别为 5.121、2.234、1.478 和 1.346,贡献率分别为 42.678%、18.620%、12.319% 和 11.218%,累积贡献率为 84.834%,说明前4个主成分可反映原始变量的绝大部分信息,因此可选取前4个主成分来进行主成分分析。

2.8 不同水稻品种的主成分综合得分及排序

由表5可知,13个水稻品种中有9个水稻品种综合得分 >0 ,占比69.23%,4个水稻品种综合得分 <0 ,占比30.77%,其中‘云粳50号’综合得分最高,为1.9327,‘滇禾优615’最低,为 -0.6099 。‘云粳50号’优质丰产性最好,其次是‘凤15-53’‘云粳46号’‘云科粳1号’和‘云粳37号’,综合得分都 >1.5 ,‘滇禾优615’最差。

表4 主成分特征值及贡献率
Table 4 Principal component eigenvalue and contribution rate

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate	主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
1	5.121	42.678	42.678	7	0.280	2.336	97.423
2	2.234	18.620	61.298	8	0.169	1.407	98.831
3	1.478	12.319	73.616	9	0.083	0.693	99.524
4	1.346	11.218	84.834	10	0.045	0.375	99.899
5	0.769	6.410	91.244	11	0.011	0.094	99.993
6	0.461	3.843	95.087	12	0.001	0.007	100.000

表5 不同水稻品种的主成分综合得分和排序
Table 5 Composite score and ranking of principal component of different rice varieties

品种 Variety	综合得分 Composite score	排序 Rank	品种 Variety	综合得分 Composite score	排序 Rank
云粳 50 号 Yungeng 50	1.932 7	1	楚粳 22 号 Chugeng 22	0.721 4	8
凤 15-53 Feng 15-53	1.737 8	2	云粳 57 号 Yungeng 57	0.301 1	9
云粳 46 号 Yungeng 46	1.729 3	3	楚粳 53 号 Chugeng 53	−0.016 6	10
云科粳 1 号 Yunkegeng 1	1.709 2	4	云粳 48 号 Yungeng 48	−0.024 6	11
云粳 37 号 Yungeng 37	1.611 4	5	云两优 502 Yunliangyou 502	−0.271 5	12
云粳 21k-10 Yungeng 21k-10	1.498 4	6	滇禾优 615 Dianheyong 615	−0.609 9	13
声农 4 号 Shengnong 4	1.477 3	7			

3 讨 论

水稻的产量和品质不仅受基因的影响,还与环境条件相关^[20]。由于基因和环境交互作用效应的存在,使得同一品种在不同的环境条件下表现不尽相同^[21],因此在某一地区开展品种筛选研究至关重要。本研究结合云南省洱海流域地区实际生产环境和栽培措施,通过 2 个方面性状进行优良品种的

筛选:一是产量性状,产量是衡量品种优劣的重要指标之一,选择高产的品种,能保证水稻在不同栽培条件下的丰产性和稳定性^[22];二是优质稻米品种,随着生活水平的提高,人们对稻米品质的要求也愈来愈高,洱海流域拥有得天独厚的农业生态环境与资源优势^[23],非常有利于优质稻米的生产,因此应该更加重视稻米的品质。

本研究发现,13 个水稻品种中‘云两优 502’产量

最高,为14.9 t/hm²,较‘云粳37号’增加28.8%;‘云科粳1号’产量最低,为10.2 t/hm²。13个水稻品种的产量和品质水平均存在不同程度变异,其中有效穗数、穗粒数和产量的CV在10.0%~20.0%,不同水稻品种产量指标中穗粒数与有效穗数差异最大,与布哈丽且木·阿不力孜等^[5]研究结果一致。施继芳等^[24]研究表明,海拔对出糙率和精米率的影响较小,对整精米率的影响较大,本试验中不同水稻品种糙米率、精米率、整精米率的CV均<10.0%,整精米率CV为7.7%,而糙米率和精米率的CV分别为2.4%和3.3%。不同水稻品种品质指标中直链淀粉含量差异最大,说明主要由基因所控制,要大幅度升高或降低直链淀粉含量,还应从品种入手^[25]。

本试验中,‘云粳46号’、‘云粳48号’、‘云粳57号’、‘云粳21k-10’、‘楚粳53号’、‘云两优502’和‘声农4号’这7个水稻品种的产量高于‘云粳37号’,较‘云粳37号’增产2.9%~28.8%,可作为提升水稻产量的候选品种。‘云科粳1号’结实率仅为74.8%且产量最低,不适宜在本地区种植。通过增加基本苗和提高种植密度可进一步提升‘云粳50号’和‘楚粳22号’的产量,‘滇禾优615’可通过喷施镁提高结实率进而提高产量^[26]。胶稠度按米胶长度可分为硬胶(≤40 mm)、中等(41~60 mm)、软胶(≥61 mm)。本试验中所有参试品种的胶稠度都≥61 mm,属于软胶,相关分析表明,直链淀粉含量与胶稠度呈极显著负相关, $r=-0.779$,这与莫慧栋^[27]的研究结果一致,直链淀粉含量与胶稠度的长短有关,直链淀粉含量低则胶稠度较软,含量高则胶稠度较硬。本研究相关分析表明,胶稠度与食味值呈极显著正相关,这与魏海燕等^[28]的研究结果一致,胶稠度与食味值成正比,胶稠度长,糊化温度低,且糊化时峰值黏度大,崩解值大,最终胶黏度小,蒸煮食味品质较好。本研究中‘云粳46号’‘云粳50号’‘云粳57号’的食味值均高于‘云粳37号’,‘云科粳1号’的胶稠度高于‘云粳37号’,可作为水稻品种食味品质选择的参考。

本研究利用主成分分析法对13个水稻品种的产量和品质指标进行主成分分析得到主成分特征值,并提取前4个主成分做综合分析。‘云粳50号’综合得分最高,为1.932 7,‘滇禾优615’综合得分最低,为-0.609 9。后续试验可扩大云南省主栽水稻品种范围,以便进一步确定适合洱海流域种植的

优质丰产型水稻品种。

4 结 论

在洱海地区,供试的13个水稻品种的产量和品质性状间存在不同程度变异,产量变异主要在穗粒数和有效穗数上,品质性状变异主要在直链淀粉含量上。13个水稻品种产量及构成因子间、品质性状间均存在相关关系,其中产量与精米率、整精米率存在极显著正相关, r 分别为0.460和0.551,结实率与糙米率呈极显著正相关, $r=0.528$,直链淀粉含量与胶稠度呈极显著负相关, $r=-0.779$ 。通过主成分分析方法对13个供试品种进行综合分析,‘云粳50号’综合得分最高,为1.932 7,‘滇禾优615’综合得分最低,为-0.609 9。因此,‘云粳50号’优质丰产性最好,可作为洱海流域种植水稻品种的最优选择。

参考文献 References

- [1] 安宁,范明生,张福锁. 水稻最佳作物管理技术的增产增效作用[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):846-852
An N, Fan M S, Zhang F S. Best crop management practices increase rice yield and nitrogen use efficiency[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(4): 846-852 (in Chinese)
- [2] German R N, Thompson C E, Benton T G. Relationships among multiple aspects of agriculture's environmental impact and productivity: A meta-analysis to guide sustainable agriculture[J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2017, 92(2): 716-738
- [3] 衣政伟,侯凡,胡中泽,唐昌华. 2020年长江中下游中轴迟熟水稻区域试验[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(9): 1959-1963
Yi Z W, Hou F, Hu Z Z, Tang C H. Regional trial of medium *indica* late maturing rice in the middle and lower reaches of Yangtze River in 2020 [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2022, 63(9): 1959-1963 (in Chinese)
- [4] 林江,张铁怀,汤翠凤,李红玉,童云海,陆卫,刘发伟,姜仁欢,董超,张良. 云南红河州烟区优质水稻品种筛选[J]. 福建农业科技, 2024, 55(9): 75-81
Lin J, Zhang T H, Tang C F, Li H Y, Tong Y H, Lu W, Liu F W, Jiang R H, Dong C, Zhang L. Screening of rice varieties with high quality in the Tobacco production area of Honghe Prefecture in Yunnan Province [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2024, 55(9): 75-81 (in Chinese)
- [5] 布哈丽且木·阿不力孜,张燕红,袁杰,赵志强,文孝荣,杜孝敬,王奉斌,吕玉平,阿曼古丽·艾孜子. 新疆优质丰产型水稻品种筛选与评价[J]. 新疆农业科学, 2023, 60(11): 2694-2703
Buhaliqiemu·A B L Z, Zhang Y H, Yuan J, Zhao Z Q, Wen X R, Du X J, Wang F B, Lu Y P, Amanguli·A Z Z. Screening and evaluation of aromatic rice varieties with high quality and high yield in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(11): 2694-2703 (in Chinese)
- [6] 张祥. 2023年六安市水稻新品种展示试验[J]. 现代农业科技, 2024(15):

- 7-10
Zhang X. Demonstration experiment of new rice varieties in Lu'an city in 2023[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2024(15): 7-10 (in Chinese)
- [7] 叶春萍. 优质高产协同提升水稻新品种筛选研究[J]. 种子科技, 2024, 42(17): 41-44, 145
Ye C P. Screening of new rice varieties for synergistic improvement of high quality and high yield[J]. *Seed Science & Technology*, 2024, 42(17): 41-44, 145 (in Chinese)
- [8] 黄一良. 大理市洱海区域农村生活污水处理工程建设问题及对策[J]. 乡村科技, 2021, 12(3): 115-116
Huang Y L. Problems and countermeasures of rural domestic sewage treatment project construction in the area around Erhai Lake in Dali City [J]. *Rural Science and Technology*, 2021, 12(3): 115-116 (in Chinese)
- [9] 杨昆楠. 气候变化对云南洱海流域生态质量的影响研究[J]. 黑龙江环境通报, 2023, 36(6): 40-42
Yang K Y. Study on the impact of climate change on ecological quality of Erhai basin in Yunnan [J]. *Heilongjiang Environmental Journal*, 2023, 36(6): 40-42 (in Chinese)
- [10] 何张伟, 梁燕, 杨艳, 杨民. 洱河流域优质软米生态栽培技术[J]. 云南农业科技, 2023(3): 30, 33
He Z W, Liang Y, Yang Y, Yang M. Ecological cultivation technology of high-quality soft rice in Erhai basin [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2023(3): 30, 33 (in Chinese)
- [11] 何张伟, 梁燕, 杨艳, 杨民, 杨敏琴, 黄飞. 大理州水稻产业发展现状与对策[J]. 农业科技通讯, 2023(7): 19-20, 29
He Z W, Liang Y, Yang Y, Yang M, Yang M Q, Huang F. Status quo and countermeasures for the development of rice industry in Dali Prefecture [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2023(7): 19-20, 29 (in Chinese)
- [12] 何张伟, 梁燕, 杨艳, 杨民, 黄飞, 杨敏琴. 洱河流域水稻产业转型发展与思考[J]. 中国种业, 2021(11): 47-49
He Z W, Liang Y, Yang Y, Yang M, Huang F, Yang M Q. Transformation and development of rice industry in Erhai basin and reflections[J]. *China Seed Industry*, 2021(11): 47-49 (in Chinese)
- [13] 邓安凤, 杨从党, 罗俊, 李贵勇, 朱海平, 夏琼梅, 普亚萍, 马淑琴. 云南省水稻生产现状及绿色发展对策[J]. 中国稻米, 2019, 25(3): 83-88
Deng A F, Yang C D, Luo J, Li G Y, Zhu H P, Xia Q M, Pu Y P, Ma S Q. Present situation of rice production in Yunnan Province and countermeasures for green development[J]. *China Rice*, 2019, 25(3): 83-88 (in Chinese)
- [14] 何张伟, 梁燕, 杨艳, 杨民, 黄飞. 大理州水稻生产中存在的技术问题及对策[J]. 中国种业, 2021(5): 49-51
He Z W, Liang Y, Yang Y, Yang M, Huang F. Technical problems and countermeasures in rice production in Dali Prefecture [J]. *China Seed Industry*, 2021(5): 49-51 (in Chinese)
- [15] 丁得亮, 崔晶, 张欣, 施利利, 王松文. 我国粳稻食味品质研究进展[J]. 江苏农业科学, 2010, 38(2): 1-4
Ding D L, Cui J, Zhang X, Shi L L, Wang S W. Research progress on edible quality of japonica rice in China[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2010, 38(2): 1-4 (in Chinese)
- [16] 张正东, 王飞, 唐小洁, 徐梦彬, 周星, 徐年龙, 王升. 江苏农垦近3a主栽水稻品种产量的稳定性[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(4): 618-623
Zhang Z D, Wang F, Tang X J, Xu M B, Zhou X, Xu N L, Wang S. Stability of yield of the main rice varieties in Jiangsu Nongken in the last 3a [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2020, 61(4): 618-623 (in Chinese)
- [17] 叶延琼, 章家恩, 秦钟, 李逸勉, 李韵. 广东省水稻产业发展规划探讨[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 1-5
Ye Y Q, Zhang J E, Qin Z, Li Y M, Li Y. Discussion on the development plan of rice industry in Guangdong Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(3): 1-5 (in Chinese)
- [18] 谭卫娜, 官利兰, 陈健章, 李水源. 2018年恩平市晚造水稻新品种比较试验[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(11): 41-43
Tan W N, Guan L L, Chen J Z, Li S Y. Comparative test of new rice varieties for late planting in Enping City in 2018 [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(11): 41-43 (in Chinese)
- [19] GB/T 17891—2017 优质稻谷[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
GB/T 17891—2017 High quality rice [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese)
- [20] 王毅, 赵伏伟, 伍振华, 汪胜勇, 胡勤政, 邱先进, 田小海. 华南地区引进水稻品种(系)在江汉平原的适应性研究[J]. 中国稻米, 2020, 26(1): 57-62
Wang Y, Zhao F W, Wu Z H, Wang S Y, Hu Q Z, Qiu X J, Tian X H. Adaptability evaluation of rice varieties from South China district in Jiangnan Plain [J]. *China Rice*, 2020, 26(1): 57-62 (in Chinese)
- [21] 韩勇, 李建国, 姜秀英, 刘博, 刘军. 辽宁省水稻品种产量现状及生态变异分析[J]. 辽宁农业科学, 2011(2): 18-22
Han Y, Li J G, Jiang X Y, Liu B, Liu J. Analysis on yield current status and ecological variations of rice varieties in Liaoning Province [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2011(2): 18-22 (in Chinese)
- [22] 李建, 李云, 熊建云, 魏康碧, 王天明, 王文鑫, 王定开. 文山州5个常规籼稻品种比较试验研究[J]. 中国种业, 2024(1): 94-98
Li J, Li Y, Xiong J Y, Wei K B, Wang T M, Wang W X, Wang D K. Comparative trials of 5 conventional indica rice varieties in Wenshan Prefecture [J]. *China Seed Industry*, 2024(1): 94-98 (in Chinese)
- [23] 李仕金, 柯璐瑶, 刘志玲, 马骋芳, 马峰翔, 徐玖亮. 洱河流域水稻生产技术存在的问题、对策及建议[J]. 中国种业, 2024(2): 35-38
Li S J, Ke L Y, Liu Z L, Ma C F, Ma F X, Xu J L. Existent problems, countermeasures and suggestions of rice cultivation technology in Erhai Lake basin [J]. *China Seed Industry*, 2024(2): 35-38 (in Chinese)
- [24] 施继芳, 黄光福, 张玉娇, 李小波, 王春荣, 张石来, 张静, 胡凤益. 不同海拔地区多年生稻稻米品质分析[J]. 中国稻米, 2020, 26(4): 40-43
Shi J F, Huang G F, Zhang Y J, Li X B, Wang C R, Zhang S L, Zhang J, Hu F Y. Quality analysis of perennial rice in different altitude regions [J]. *China Rice*, 2020, 26(4): 40-43 (in Chinese)
- [25] 苏振喜, 廖新华, 赵国珍, 世荣, 朱振华, 蒋聪, 邹茜, 戴陆园. 高原粳稻在不同海拔条件下品质特性分析[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 1157-1162
Su Z X, Liao X H, Zhao G Z, Shi R, Zhu Z H, Jiang C, Zou Q, Dai L Y. Analysis of quality characteristics of highland japonica rice at different altitudes [J]. *Ecology and Environmnet*, 2008, 17(3): 1157-1162 (in Chinese)
- [26] 代亚宁. 叶面施镁对水稻产量与品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2021
Dai Y N. Effect of foliar magnesium application on rice yield and quality [D]. Harbin: Northeast Agricultural Univerty, 2021 (in Chinese)
- [27] 莫惠栋. 我国稻米品质的改良[J]. 中国农业科学, 1993, 26(4): 8-14

Mo H D. Improvement of rice quality in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1993, 26(4): 8-14 (in Chinese)

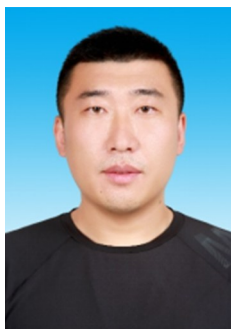
- [28] 魏海燕, 王亚江, 孟天瑶, 葛梦婕, 张洪程, 戴其根, 霍中洋, 许轲. 机插超级粳稻产量、品质及氮肥利用率对氮肥的响应[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 488-496

Wei H Y, Wang Y J, Meng T Y, Ge M J, Zhang H C, Dai Q G, Huo Z Y, Xu K. Response of yield, quality and nitrogen use efficiency to nitrogen fertilizer from mechanical transplanting super japonica rice[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(2): 488-496 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅



第一作者简介: 马骋芳, 中国农业大学资源与环境学院资源利用与植物保护专业硕士研究生。参与云南省重大科技专项(202202AE090034)等项目。2022—2023 学年获得中国农业大学硕士一等学业奖学金, 2023—2024 学年获得中国农业大学三好学生荣誉称号。



通讯作者简介: 徐玖亮, 工学博士、博士后, 现任中国农业大学资源与环境学院副教授, 博士生导师, 中国农业大学优秀人才, 主要从事养分管理与作物品质研究。硕、博士毕业于韩国科学技术研究院。主持国家自然科学基金 2 项、国家重点研发计划子课题(2023YFD2300403)和云南省重大科技专项(202202AE090034)等多个项目。近年来围绕粮食作物和经济作物开展品质研究工作, 相关研究成果已在 *Plant Communications*, *Food Chemistry*, *Food Research International* 和 *Foods* 等期刊发表。