

文章编号: 1674-7054(2021)04-0456-10



云南德宏杂交籼稻品种农艺性状与产量的相关性

李学梅¹, 李 翱¹, 陈以相², 王根权¹, 杨荣教², 丁家盛¹

(1. 云南省德宏州植保植检站, 云南 芒市 678400; 2. 云南省德宏州农业技术推广中心, 云南 芒市 678400)

摘要: 为探讨云南省德宏州籼稻品种农艺性状与产量的关系, 采用单相关、偏相关、回归分析和通径分析等多种分析方法对 2020 年德宏州品比试验中的 42 个水稻品种进行综合评价。结果表明, 有效穗数、穗实粒数、千粒质量均与产量呈显著正相关。主成分分析提取了穗数因子、粒数因子、粒重因子和穗长因子 4 个主成分, 累计贡献率达 85.29%。根据各品种主成分得分进行综合排序, 锦两优 906、泸优 164、花优 33 分列前 3 位。聚类分析将 42 个品种聚为 5 个类群, 第 VI 类可作为生产上高产栽培的优势品种, 第 V 类可作为早熟高产育种的优异资源。依据各类型品种的特征, 笔者提出了针对性的高产育种目标和栽培建议。

关键词: 杂交籼稻; 农艺性状; 相关分析; 主成分分析; 聚类分析

中图分类号: S 511.2⁺1 **文献标志码:** A

引用格式: 李学梅, 李翱, 陈以相, 等. 云南德宏杂交籼稻品种农艺性状与产量的相关性 [J]. 热带生物学报, 2021, 12(4): 456-465. DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2021.04.008

云南是中国重要的高原稻作生态区, 水稻种植分布范围广, 从河口县(海拔 76 m)到宁蒗县永宁镇(海拔 2 700 m)均有稻作分布^[1]。因各地纬度和海拔等因素的差异, 云南稻区被划分为 5 个不同的稻作生态区^[2-3]。德宏州(23°50'~25°50'N、97°31'~98°43'E)属于华南(湿热)双季稻作区——滇南河谷盆地单季稻亚区^[4]。水稻产量性状是多基因控制的数量性状, 水稻生长发育和产量形成的过程会受到多种因素的影响^[5]。有研究^[6-7]表明, 湿度和降雨量是西南高原热带生态稻作区水稻生产的主要限制因子, 水稻营养生长期阴雨寡照等不利影响可导致水稻严重减产, 利用优质高产水稻品种有利于获得高产和增效。德宏素有“滇西边关粮仓”的美誉, 在云南农业生产和粮食安全等方面发挥着重要的作用, 通过引进筛选和育种改良, 在生产上推广运用多穗、大穗、多穗、香软等优良品种, 实现了水稻“晚改早”、“高改矮”、“硬改软”、“硬改软”的更新, 水稻产量水平大幅提高。近年来随着农业结构调整、农资及劳动力价格上涨, 如何实现水稻高产栽培成为了目前德宏水稻生产亟待解决的问题。水稻单位面积产量由单位面积内有效穗数、穗总粒数、结实率和千粒质量构成, 协调产量构成要素间的关系是取得水稻高产的关键^[8]。目前水稻农艺性状的相关性研究有很多^[9-12]; 刘丽华^[13]等研究结果表明, 穗长与穗数、穗粒数、千粒质量呈显著或极显著负相关, 穗数和千粒质量呈显著正相关, 与产量呈极显著正相关, 穗粒数与穗数、千粒质量均呈显著负相关, 结实率与千粒质量呈极显著正相关; 武玲、杜志暄等^[14-15]研究结果表明, 水稻诸多性状中对产量影响较大的因素是有效穗数、实粒数和千粒质量; 杨久等^[16]研究结果表明, 每穗实粒数对产量的影响最大, 其次是结实率和千粒质量; 吕锐玲等^[17]研究结果表明, 总粒数对早籼产量的影响最大, 每穗总粒数越多, 越容易获得高产。综上研究结果表明, 水稻农艺性状与产量之间有密切的相关性, 由于水稻生境、栽培措施、品种类型、研究方法的不同, 其影响程度存在差异。在水稻生产上, 需要根据品种特性, 合

收稿日期: 2021-06-30

修回日期: 2021-10-26

基金项目: 云南省农业厅农业发展专项计划(云财农[2019]51号)

第一作者: 李学梅(1989-), 女, 农艺师, 硕士. 研究方向: 作物栽培与病害研究. E-mail: dhcl502@126.com

通信作者: 李翱(1974-), 女, 农艺师. 研究方向: 作物育种与栽培研究. E-mail: 834368696@qq.com;

丁家盛(1984-), 男, 高级农艺师, 硕士. 研究方向: 作物遗传育种与栽培. E-mail: 576348722@qq.com

理调节群体, 合理增大穗数和穗粒数的积, 再配合提高结实率和千粒质量, 以获得高产^[18]。研究农艺性状的相互作用及影响机制对水稻高产栽培具有重要意义。

相关分析、回归分析、主成分分析和通径分析等统计方法已被广泛应用于作物性状评价研究^[15, 19-22]。笔者利用多种分析方法对 2019—2020 年德宏州区域试验中的 42 个杂交籼稻品种进行综合评价, 旨在为水稻品种选育、推广和生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种 云南省不同科研机构选育的 42 个杂交籼稻品种为研究材料(表 1), 供试品种的信息数据由各育种单位提供。

表 1 供试材料的序号、品种名称及组合
Tab. 1 Code, name and combination of Indica rice varieties under test

序号 Code	品种名称 Rice variety	组合 Combination	序号 Code	品种名称 Rice variety	组合 Combination
1	泸优164	泸香618A×明恢164	22	花优683	花香A×福恢683
2	文优305	文香28A×文恢305	23	晶两优1377	晶5155S×R1377
3	丰优9516	丰1101A×R9516	24	扬籼优2129	扬籼2A×扬香恢219
4	豪优247	豪香24A×文恢247	25	花优33	花香A×顺恢33
5	金农3优3号	金农3A×金恢3号9	26	绵优361	绵香8A×绵恢361
6	赣73优明占	赣73A×双抗明占	27	宜优1172	宜优1A×顺恢1172
7	福两优776	SE21S×福恢776	28	旌3优132	旌3A×泸恢132
8	B优261	B2A×西科恢4761	29	得优727	得月729A×成恢727
9	和优371	和211A×文恢371	30	川优712	川317A×SCR12
10	天优963	天丰A×绵恢903	31	川优007	川香29A×都恢007
11	花优7021	花香A×瑞恢7021	32	宜优177	宜香1A×R177
12	福两优176	SE21S×R176	33	滇籼优3411	滇籼34A×滇恢11
13	野香优2998	野香A×R2988	34	宜优811	宜香1A×文宝恢811
14	明1优明占	明1A×双抗明占	35	蓉优1847	蓉18A×G1847
15	宜优1086	宜香1A×泰恢086	36	锦优948	云109A×锦恢948
16	锦8优262	锦香8A×金恢262	37	凌禾优88	凌禾1A×旺恢9688
17	和优260	和2A×R260	38	内优6478	内香6A×内恢6478
18	蓉优109	蓉3A×文恢109	39	华浙优1号	华浙A×华恢1号
19	Q优12	Q4A×R1222	40	金两优华占	金18S×华占
20	红云优2121	红云2A×R121	41	T优19	特香23A×金恢19
21	锦两优906	云203S×锦恢905	42	绵优725	绵7A×绵恢725

1.2 试验地点 品种比较试验在云南省德宏州芒市团结村(95.58°E, 24.43°N)进行, 样地海拔为 863 m, 年平均气温为 19.5 °C, 试验期间的降雨量为 1 465.5 mm, 降雨集中在 6~8 月, 其中, 6 月的降雨量为 282.3 mm, 7 月的降雨量为 395.6 mm, 8 月的降雨量为 479.6 mm, 田间相对湿度 85.32%。土壤类型为红壤土, 土壤肥力状况: 有机质含量为 18.42 g·kg⁻¹, 有效磷含量为 12.82 mg·kg⁻¹, 速效钾含量为 104.68 mg·kg⁻¹, pH5.4, 肥力中等, 田块平整, 排灌方便。

1.3 试验方法 采用随机区组排列, 小区面积 6 m²(3 m×2 m), 设 3 个重复, 共 126 个小区, 小区间间隔

0.4 m, 区组间间隔 0.4 m, 四周设有保护行。稻种进行浸种和催芽后, 采用早育秧法育秧, 播种前秧田均匀撒施复合肥 $450 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 精细整地。播种期为 2020-04-27, 播种量为 $675 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 精确称量播种。水稻出苗期为 5 月 6 日, 各参试品种出苗整齐, 5 月 30 日全田均匀撒施复合肥 $600 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 作基肥, 经一耕两耙和人工平田, 田平泥化后划区移栽, 采用单苗移栽, 密度 $15 \text{ cm}\times 20 \text{ cm}$ 。全生育期共施肥 3 次, 5 月 11 日和 5 月 24 日灌水后追施苗肥, 施用尿素 $120 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、复合肥 $75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 6 月 8 日和 6 月 28 日全田均匀撒施追肥, 施用尿素 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。5 月 15 日采用“稻瘟灵”40% 乳液 $750 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 兑水喷雾防治病害, 5 月 20 日采用“高效氯氰菊酯”5% 微乳剂 $900 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、6 月 20 日采用“吡虫啉”5% 乳油 $750 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和“阿维菌素”5% 乳油 $300 \text{ mL}\cdot\text{hm}^{-2}$ 兑水喷雾防治害虫。6 月 8 日、7 月 12 日、8 月 5 日投放 0.25% “敌鼠钠盐”毒谷, 防治鼠害 3 次。7 月 6 日、7 月 20 日人工除草 2 次, 采用浅水栽秧、湿润立苗、薄水促蘖、够苗搁田、足水孕穗、干湿壮粒、间歇灌溉、落黄排水的方法管水, 通过田间管理满足水稻生长发育的营养和水分需求。在水稻生长期, 调查水稻的最高茎蘖数、有效穗数、生育期。水稻成熟后, 每个小区取样 30 株进行室内考种, 测其株高、穗长、穗总粒数、穗实粒数和千粒质量。并按小区单收, 晾干后折算公顷产量。

1.4 分析方法 采用办公软件 Excel 2007 汇总整理试验数据, 使用 SPSS 20.0 分析软件进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 供试品种主要农艺性状的表现分析 利用 SPSS 进行单样本 K-S 检测, 结果表明, 各性状的偏度范围在 $-0.79 \sim 0.53$, 峰度范围在 $-0.74 \sim 1.65$, K-S 检验中渐近显著性 P 值 (sig 2-tailed) 在 $0.134 \sim 0.995$, $P > 0.05$, 说明各性状观测值的差值序列与指定的分布(理论模型)无显著的差异, 数据符合正态分布, 各性状为正态变量。由表 2 可知, 供试品种的生育期在 $131 \sim 145 \text{ d}$, 最高茎蘖数在 $(218.64 \sim 514.58) \times 10^4$ 苗 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 有效穗数在 $(157.52 \sim 373.57) \times 10^4$ 穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$, 株高在 $114.15 \sim 134.66 \text{ cm}$, 穗长在 $21.02 \sim 29.48 \text{ cm}$, 穗总粒数在 $125.54 \sim 286.62$ 粒, 穗实粒数在 $98.15 \sim 230.28$ 粒, 千粒质量在 $21.25 \sim 37.84 \text{ g}$, 产量在 $7.50 \sim 14.32 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 供试品种在各农艺性状上类型广泛, 差异明显。从各性状的变异情况来看, 9 个主要

表 2 供试品种主要农艺性状的表现分析

Tab. 2 Statistical analysis of main agronomic traits of the indica rice varieties under test

性状 Traits	变异范围 Range of variation	均值±标准差 Mean±Standard deviation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	P 值 P -value	变异系数 Coefficient of variation /%	F 值 F -value
生育期 Growth period/d	131.00 ~ 145.00	139.93±2.80	-0.72	1.01	0.134	2.79	13.38*
最高茎蘖数 Highest tiller number/ (10^4 苗 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	218.64 ~ 514.58	369.40±53.67	-0.02	0.20	0.689	14.69	15.44*
有效穗数 Effective panicle number/ (10^4 穗 $\cdot\text{hm}^{-2}$)	157.52 ~ 373.57	251.69±41.42	0.53	1.65	0.113	16.46	7.42*
株高 Plant height/cm	114.15 ~ 134.66	125.12±5.65	-0.28	-0.74	0.949	4.52	35.30**
穗长 Panicle length/cm	21.02 ~ 29.48	24.84±1.62	0.30	0.45	0.951	6.53	14.30*
穗总粒数 Total grains per panicle	125.54 ~ 286.62	185.48±23.73	0.22	-0.12	0.909	12.80	10.22*
穗实粒数 Filled grain per panicle	98.15 ~ 230.28	151.82±23.47	-0.07	-0.25	0.995	15.46	9.90*
千粒质量 1000-grain weight/g	21.25 ~ 37.84	30.35±2.54	-0.30	0.28	0.271	8.36	60.26**
产量 Yield/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$)	7.50 ~ 14.32	11.27±0.97	-0.79	0.79	0.349	8.63	67.69**

注: *、**表示分别在 0.05、0.01 水平上显著差异。

Note: * and ** are significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

农艺性状的变异系数分布在 2.79% ~ 16.46%, 由大到小的排序依次为有效穗数、穗实粒数、最高茎蘖数、穗总粒数、产量、千粒质量、穗长、株高、生育期。分析结果表明, 在育种实践中, 有效穗数、穗实粒数、最高茎蘖数、穗总粒数改良潜力较大, 其次是千粒质量、穗长, 而株高和生育期改良潜力较小。在栽培实践中, 通过加强田间管理, 促使水稻有效分蘖增多, 提高每穗实粒数, 能够实现增产目的。

2.2 供试品种主要农艺性状的相关性分析 相关系数是反映各农艺性状和产量间的线性关系, 可以预测各农艺性状对产量的影响。表 3 结果表明, 性状与产量相关系数大小排序为有效穗数、穗实粒数、千粒质量、穗总粒数、穗长、最高茎蘖数、株高、生育期, 其中有效穗数、穗实粒数、千粒质量与产量呈显著正相关, 穗总粒数与产量显著正相关, 其余农艺性状与产量相关但均不显著。在偏相关分析结果中, 生育期、株高、最高茎蘖数与产量呈不显著负相关, 有效穗数、穗实粒数与产量均呈极显著正相关, 穗总粒数与产量呈不显著正相关, 千粒质量与产量呈显著正相关。该分析结果表明, 在育种实践中, 应注重有效穗数、穗实粒数、穗总粒数、千粒质量、穗长等目标性状的优化, 选育成穗率高的大穗多粒型品种; 在关注目标性状的同时, 还应考虑到性状间的相互作用, 促进各性状的协调发展, 选育综合性状优良的品种。在栽培实践中, 在合理密植的基础上, 优化田间管理措施, 促使分蘖成穗, 大穗多粒, 籽粒饱满, 从而达到高产的目的。

表 3 供试品种主要农艺性状的相关性分析

Tab. 3 Correlation analysis of main agronomic traits of the indica rice varieties under test

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient								
	生育期 Growth period	最高茎蘖数 Highest tiller number	有效穗数 Effective panicle number	株高 Plant height	穗长 Panicle length	穗总粒数 Total grains per panicle	穗实粒数 Filled grain per panicle	千粒质量 1000-grain weight	产量 Yield
生育期 Growth period	1	0.132	-0.189	-0.334	0.161	0.016	-0.018	0.096	-0.122
最高茎蘖数 Highest tiller number	-0.129	1	0.555**	0.192	-0.233	0.044	-0.043	-0.041	-0.078
有效穗数 Effective panicle number	-0.278	0.597**	1	0.036	-0.122	-0.150	-0.145	-0.116	0.614**
株高 Plant height	-0.079	0.289	0.105	1	0.218	-0.021	0.003	-0.204	-0.081
穗长 Panicle length	0.223	-0.305*	-0.314*	-0.050	1	0.093	0.077	0.180	0.140
穗总粒数 Total grains per panicle	0.097	-0.041	-0.101	-0.145	0.309*	1	0.917**	-0.132	0.050
穗实粒数 Filled grain per panicle	0.026	-0.047	-0.223	-0.085	0.332*	0.933**	1	-0.148	0.540**
千粒质量 1000-grain weight	0.224	-0.142	-0.026	-0.091	0.296	0.123	0.153	1	0.345*
产量 Yield	0.016	0.176	0.639**	0.018	0.258	0.393*	0.506**	0.413**	1

注: 表中每列左下角不同数值表示单相关系数, 右上角表示偏相关系数, *, **分别在0.05、0.01水平上相关。

Note: The lower left different values of table each column indicates single correlation coefficient, and the upper right corner indicates partial correlation coefficient. * and ** are significantly correlated at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 供试品种主要农艺性状与产量的回归分析 在显著性 F 检验“进入 ≤ 0.05 、排除 ≥ 0.10 ”条件下, 对参试水稻品种的生育期(x_1)、最高茎蘖数(x_2)、有效穗数(x_3)、株高(x_4)、穗长(x_5)、穗总粒数(x_6)、穗实粒数(x_7)、千粒质量(x_8)进行多元逐步回归分析, 得到回归方程: $y=146.114+0.671 x_3+1.178 x_7+7.080 x_8$ 。有效穗数、穗实粒数和千粒质量 3 个性状被逐步引入回归方程, 并且对产量(y)有积极的促进作用。SPSS 的输出结果表明, 回归方程的决定系数 $R^2=0.8164$, 即有效穗数、穗实粒数和千粒质量的线性组合能够解释产量 81.64% 的总变异, 说明建立的线性回归模型在指导育种及栽培实践中有重要的参考意义。

2.4 供试品种主要农艺性状与产量的通径分析 由表 4 可知, 各性状对产量的直接通径系数由大到小的顺序为有效穗数>穗实粒数>千粒质量>穗长>穗总粒数>生育期>株高>最高茎蘖数。其中, 有效穗数与

表4 供试品种主要农艺性状与产量的通径分析

Tab. 4 Path analysis of main agronomic traits and yield of the indica rice varieties under test

性状 Traits	相关系数 Correlation coefficient	直接通径系数 Direct path coefficient	间接通径系数 Indirect path coefficient							
			生育期 Growth period	最高茎蘖数 Highest tiller number	有效穗数 Effective panicle number	株高 Plant height	穗长 Panicle length	穗总粒数 Total grains per panicle	穗实粒数 Filled grain per panicle	千粒质量 1 000-grain weight
生育期 Growth period	0.016	0.085		0.008	-0.118	-0.080	-0.006	0.034	0.003	0.090
最高茎蘖数 Highest tiller number	0.176	-0.065	-0.011		0.254	0.066	0.009	-0.015	-0.005	-0.057
有效穗数 Effective panicle number	0.639	0.485	-0.024	0.042		0.011	-0.053	0.036	0.148	-0.006
株高 Plant height	0.018	0.013	-0.005	0.050	0.047		-0.005	-0.058	-0.004	-0.020
穗长 Panicle length	0.258	0.137	0.041	-0.045	-0.104	-0.015		0.015	0.109	0.119
穗总粒数 Total grains per panicle	0.393	0.104	0.002	-0.058	0.003	-0.054	0.056		0.278	0.062
穗实粒数 Filled grain per panicle	0.506	0.353	-0.052	-0.003	0.046	-0.040	0.122	0.174		-0.094
千粒质量 1 000-grain weight	0.413	0.224	0.041	-0.010	-0.019	-0.009	0.172	0.086	-0.072	

产量直接通径系数最大,有效穗数通过最高茎蘖数、株高、穗总粒数、穗实粒数对产量间接地起正向作用($r=0.236$),通过生育期、穗长、千粒质量对产量间接地起负向作用($r=-0.082$);穗实粒数通过生育期、有效穗数、穗长、穗总粒数对产量间接地起正向作用($r=0.342$),通过最高茎蘖数、株高、千粒质量对产量间接地起负向作用($r=-0.189$);千粒质量通过生育期、穗长、穗总粒数对产量间接地起正向作用($r=0.299$),通过最高茎蘖数、有效穗数、株高、穗实粒数对产量间接地起负向作用($r=-0.110$);三者对产量的综合效应较大。穗长对产量的直接通径系数 $r=0.137$,通过生育期、穗总粒数、穗实粒数和千粒质量对产量间接地起正向作用($r=0.284$),通过最高茎蘖数、有效穗数和株高对产量间接地起负向作用($r=-0.164$);穗总粒数通过生育期、有效穗数、穗长、穗实粒数和千粒质量对产量间接地起正向作用($r=0.401$),通过最高茎蘖数和株高对产量间接地起负向作用($r=-0.112$);二者对产量的综合效应也较大。生育期通过最高茎蘖数、穗总粒数、穗实粒数和千粒质量对产量间接地起正向作用($r=0.135$),通过有效穗数、株高和穗长对产量间接地起负向作用($r=-0.204$);株高通过最高茎蘖数和有效穗数对产量间接地起正向作用($r=0.097$),通过生育期、穗长、穗总粒数、穗实粒数和千粒质量对产量间接地起负向作用($r=-0.092$);二者对产量的总效应相对较小。最高茎蘖数主要通过其他性状对产量起间接作用,表现为正向效应($r=0.329$)大于负向效应($r=-0.088$)。综上所述,在育种实践中,选取大穗、分蘖力较强、有效穗数和穗实粒数多、千粒质量高的性状是实现高产育种目标的关键。在栽培实践中,应在合理密植的基础上,优化田间管理措施,主攻有效穗数、穗实粒数和千粒质量,方可夺取高产。

2.5 供试品种主要农艺性状的主成分分析 由表5可知,利用主成分分析方法从9个农艺性状中提取4个主成分,其累积贡献率达85.29%。第1主成分的特征值为2.69,贡献率为29.93%,对应特征向量中有效穗数的载荷量(0.449)最大,称为穗数因子。该成分与生育期(0.022)、最高茎蘖数(0.443)、株高(0.102)、产量(0.211)呈正相关,与穗长(-0.031)、穗总粒数(-0.019)、穗实粒数(-0.114)、千粒质量(-0.296)呈负相关。第2主成分的特征值为2.21,贡献率为24.50%,对应特征向量中穗实粒数的载荷量(0.698)最大,称为粒数因子。该成分与穗长(0.258)、穗总粒数(0.515)、产量(0.105)呈正相关,与生育期

表5 供试品种主要农艺性状的主成分分析

Tab. 5 Principal component analysis of main agronomic traits of the indica rice varieties under test

性状 Traits	成分特征向量 Ingredient feature vector			
	1	2	3	4
生育期 Growth period	0.022	-0.075	0.044	0.089
最高茎蘖数 Highest tiller number	0.443	-0.019	-0.113	-0.280
有效穗数 Effective panicle number	0.499	-0.214	-0.104	-0.069
株高 Plant height	0.102	-0.107	-0.064	-0.036
穗长 Panicle length	-0.031	0.258	0.047	0.948
穗总粒数 Total grains per panicle	-0.019	0.515	-0.275	0.179
穗实粒数 Filled grain per panicle	-0.114	0.698	0.109	0.300
千粒质量 1000-grain weight	-0.296	-0.138	0.790	0.128
产量 Yield	0.211	0.105	0.412	0.270
特征值 Eigenvalue	2.69	2.21	1.16	1.07
贡献率 Contribution rate/%	29.93	24.50	17.93	12.93
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	29.93	54.43	72.36	85.29

(-0.075)、最高茎蘖数(-0.019)、有效穗数(-0.214)、株高(-0.107)、千粒质量(-0.138)呈负相关。第3主成分的特征值为1.16,贡献率为17.93%,对应特征向量中千粒质量载荷量(0.790)最大,称为粒重因子。该成分与生育期(0.044)、穗长(0.047)、穗实粒数(0.109)、产量(0.412)呈正相关,与最高茎蘖数(-0.113)、有效穗数(-0.104)、株高(-0.064)、穗总粒数(-0.275)呈负相关。第4主成分的特征值为1.07,贡献率为12.93%,对应特征向量中穗长载荷量(0.948)最大,称为穗长因子。该成分与生育期(0.089)、穗总粒数(0.179)、穗实粒数(0.300)、千粒质量(0.128)、产量(0.270)呈正相关,与最高茎蘖数(-0.280)、有效穗数(-0.069)、株高(-0.036)呈负相关。将主成分的信息用于育种实践,宜选取第一、第二主成分取值高,其余主成分取中等偏高,方使分蘖性较强、多穗多粒、长穗大粒的新品系选择奏效。在栽培实践中,在合理密植的基础上,优化田间管理,促使有效分蘖增多,增加有效穗数,提高结实率和千粒质量,有益于获取高产,增加种植效益。

2.6 供试品种的聚类分析 基于上述所选的4个主成分,根据试验数据,计算供试品种相应的主成分得分,再以各主成分的特征值与其总和之比为权重,计算各供试品种的综合得分,用以评价各供试品种的表现优劣。各品种的综合得分与其产量的秩相关系数 $r=0.862$,双侧显著性检验概率 $P<0.001$,说明主成分评价结果是有效的,结果列于表6。综合表现排在前5位的依次是‘锦两优906’、‘泸优164’、‘花优33’、‘明1优明占’、‘文优305’,与试验结果基本一致。

为明确供试品种的特征、相似性和差异性,选取生育期、最高茎蘖数、有效穗数、株高、穗长、穗总粒数、穗实粒数、千粒质量和产量共9个性状,品种间采用Minkowski距离,并类采用Ward法,对42个供试品种进行系统聚类,得供试品种聚类图(图1)。

取距离阈值 $d=4.2$,供试品种被划分为5个类群,各类群特征见表7。第I类群属于中晚熟中产型,包含18个品种,分别为‘丰优9516’、‘豪优247’、‘赣73优明占’、‘和优371’、‘福两优176’、‘野香优2998’、‘宜优1086’、‘和优260’、‘蓉优109’、‘花优683’、‘晶两优1377’、‘扬籼优2129’、‘得优727’、‘川优712’、‘宜优811’、‘蓉优1847’、‘凌禾优88’、‘绵优725’,该类群品种具有分蘖较强、穗长适中、穗实粒数多、千粒质量大的特征,但生育期偏长,有效穗数较低,宜改良其成穗率,优化群体数量,增加有效穗数。第II类群属于中早熟低产型,包含10个品种,分别为‘金农3优3号’、‘福两优776’、‘天优963’、‘花优7021’、‘锦8优262’、‘Q优12’、‘宜优1172’、‘川优007’、‘内优6478’、‘T优19’,该类群品种熟期较早、结实率

表6 供试品种综合排序

Tab. 6 Comprehensive sorting of the indica rice varieties under test

品种名称 Rice variety	综合得分 Integrated score	产量 Yield/(t·hm ⁻²)	排名 Code	品种名称 Rice variety	综合得分 Integrated score	产量 Yield (t·hm ⁻²)	排名 Code
泸优164	0.9071	13.69	2	花优683	0.4676	12.13	10
文优305	0.6734	12.65	5	晶两优1377	0.1548	11.64	18
丰优9516	0.3541	11.97	12	扬粳优2129	0.1002	11.16	21
豪优247	0.2560	11.36	17	花优33	0.8055	13.44	3
金农3优3号	-0.8311	10.01	37	绵优361	0.5248	12.34	8
赣73优明占	0.3342	11.68	15	宜优1172	-0.1723	10.93	29
福两优776	-0.1695	11.15	28	旌3优132	0.6346	12.45	6
B优261	0.5013	12.14	9	得优727	0.0592	11.14	24
和优371	0.3420	11.87	14	川优712	0.1425	11.47	19
天优963	-0.3354	10.43	33	川优007	-0.2888	10.63	32
花优7021	-0.3754	10.15	34	宜优177	-1.1675	8.79	40
福两优176	-0.0004	11.22	26	滇粳优3411	-1.5755	8.18	41
野香优2998	0.3959	12.01	11	宜优811	0.1088	11.30	20
明1优明占	0.6927	13.02	4	蓉优1847	-0.0866	11.02	27
宜优1086	0.2974	11.75	16	锦优948	-0.8435	9.88	38
锦8优262	-0.1807	10.62	30	凌禾优88	0.0774	11.28	22
和优260	0.0744	11.25	23	内优6478	-0.5093	9.82	35
蓉优109	0.0213	11.25	25	华浙优1号	-0.8803	8.48	39
Q优12	-0.2652	10.79	31	金两优华占	-1.6619	7.50	42
红云优2121	0.6040	12.39	7	T优19	-0.8236	9.59	36
锦两优906	0.9946	14.32	1	绵优725	0.3432	11.94	13

高,穗长相对较短,分蘖中等、有效穗数偏少,宜改良其分蘖力,优化群体结构,提高穗长和有效穗数。第Ⅲ类群属于中晚熟低产型,包含5个品种,分别为‘宜优177’、‘滇粳优3411’、‘锦优948’、‘华浙优1号’、‘金两优华占’,该类群品种生育期较长,分蘖较低,穗长短小,穗总粒数、穗实粒数、千粒质量均偏低,宜改良其分蘖力,优化群体质量性状,提高穗长、结实率、每穗实粒数、千粒质量。第Ⅴ类群属于中早熟高产型,包含4个品种,分别为‘B优261’、‘红云优2121’、‘绵优361’、‘旌3优132’,该类群品种熟期较早,株高偏高,分蘖强,穗长较大,穗总粒数和穗实粒数多,千粒质量高,有效穗数偏低,对其改良的重点是增加群体有效穗数,提高成穗率。第Ⅵ类群属于中晚熟高产型,包含5个品种,分别为‘泸优164’、‘文优305’、‘明1优明占’、‘锦两优906’、‘花优33’,该类群品种生育期较长,分蘖强,有效穗数多、穗长偏长,穗总粒数多、穗实粒数多,千粒质量高,株高偏高,对其改良的重点是提高群体数量,优化群体结构,进一步提高产量水平。在栽培实践上,应在合理密植的基础上,促早发、成壮蘖,提高群体有效穗数、穗实粒数和千粒质量,从而达到增产的目的。

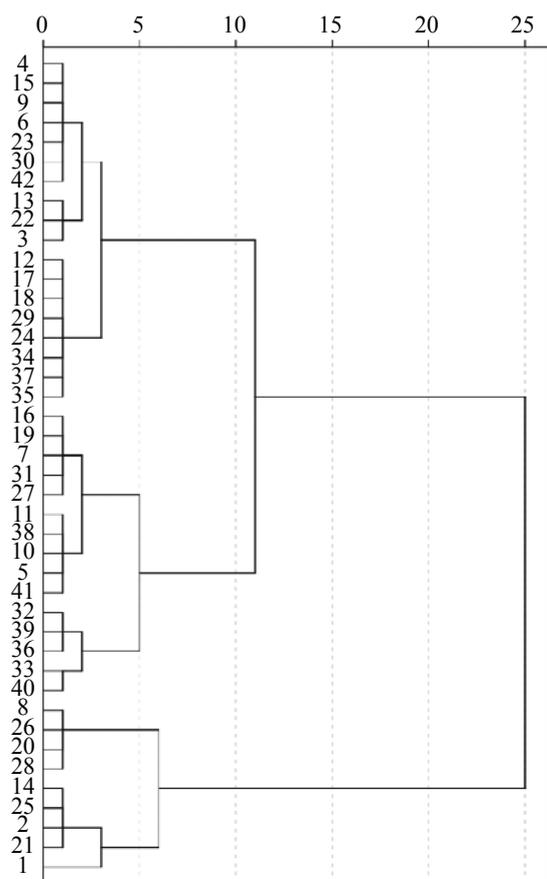


图1 供试品种聚类图

Fig. 1 Cluster dendrogram of the indica rice varieties under test

表7 不同类型品种主要农艺性状
Tab. 7 Principal agronomic traits of the indica rice varieties in different groups

性状 Traits	I	II	III	V	VI
生育期 Growth period/d	143.44±2.79	132.40±7.46	141.80±2.49	132.75±3.59	141.40±1.52
最高茎蘖数 Highest tiller number/(10 ⁴ 苗·hm ⁻²)	374.99±39.51	343.63±28.63	304.87±21.35	410.37±12.02	437.44±9.51
有效穗数 Effective panicle number/(10 ⁴ 穗·hm ⁻²)	255.64±47.69	236.76±14.08	219.82±35.22	279.99±6.89	329.97± 6.41
株高 Plant height/cm	124.89±5.61	125.57±4.88	124.33±6.99	128.59±3.55	127.38±2.14
穗长 Panicle length/cm	25.10±1.66	23.51±1.29	22.47±2.82	26.54±1.12	28.72±0.67
穗总粒数 Total grains per panicle	185.73±34.61	172.95±24.87	156.98±15.04	187.44±4.93	193.63±8.84
穗实粒数 Filled grain per panicle	152.15±35.70	140.96± 26.06	123.45±14.91	158.84±11.95	166.69±10.49
千粒质量 1000-grain weight/g	31.10±1.47	27.97 ±1.81	22.87± 1.37	32.33±0.29	34.51±0.97
产量 Yield/(t·hm ⁻²)	11.52±1.35	9.51 ±1.18	8.77 ±2.66	12.33±1.13	13.42±0.64

3 结 论

农艺性状是水稻遗传育种表型选择的重要依据,运用正态性检验能够直接反映性状观测值是否服从正态分布,有利于筛选合理的分析方法对试验数据进行分析评价。本研究中参试品种主要农艺性状的观测值符合正态分布,数据分布均匀且呈连续性变异,显著性检验结果达显著差异水平,能够采用多元统计学分析来剖析性状间相互关系及其对产量的影响。从各性状的变异情况来看,有效穗数、穗实粒数、最高茎蘖数、穗总粒数的变异系数较大,说明其在育种实践中的改良潜力较大,且因其易受环境因素的影响,所以在栽培实践中要注重加强田间管理,提高其成产效应。相关分析结果表明,最高茎蘖数与有效穗数极显著正相关,穗总粒数与穗实粒数呈极显著正相关,有效穗数、穗实粒数和千粒质量与产量均呈极显著正相关,与前人^[12-16]研究结果相符合。通径分析的结果表明,有效穗数、穗实粒数和千粒质量对产量产生直接影响,生育期、最高茎蘖数、株高、穗长、穗总粒数通过影响其他性状间接影响产量,与前人^[12,14-18]的研究结果一致。在回归分析中,有效穗数的增产作用最显著,其次是穗实粒数和千粒质量。根据统计参数所提供的信息,综合分析得出,在育种实践中,应选择株高偏高、稻穗较长、分蘖力较强、成穗率和千粒质量高、每穗实粒数多的性状,此为高产育种目标的关键。

利用主成分分析法,根据特征值大于1的原则,将农艺性状提取为穗数因子、粒数因子、粒重因子、穗长因子4个主成分,其累积贡献率达85.29%,与前人^[23-26]的研究结果有所差异,可能与所选取的材料和考察性状不同有关,其结果对水稻育种和栽培有指导意义。基于各供试品种的主成分得分进行综合评价,综合表现排在前5位的依次是‘锦两优906’、‘泸优164’、‘花优33’、‘明1优明占’、‘文优305’,主成分综合得分与产量的相关性达极显著水平,表明由主成分得分进行综合评价所得到的结果是可靠的。为明确供试品种的特征、相似性和差异性,基于主要农艺性状将供试品种分为中晚熟中产型、中早熟低产型、中晚熟低产型、中早熟高产型、中晚熟高产型五种类群,每类种群各具特征,依据各类品种的特征提出了有针对性的改良目标和栽培要点。从聚类结果可看出,第VI类可作为德宏地区种植的优势品种,第V类可作为早熟高产育种的优异资源。水稻性状是在生长发育过程中逐步形成的^[20],品种对环境的适应性及群体数量的调节,主要是通过分蘖消长来实现^[27],分蘖直接决定穗数^[28-29],有效的肥水管理与栽培配套制度,有利于水稻群体数量和群体质量的协调发展^[30],促使充分发挥品种的高产潜力^[11],提高水稻种植效益。因此,在栽培实践上,应在合理密植的基础上,优化田间管理,促使群体早发、成壮蘖,提高群体有效穗数、每穗实粒数和千粒质量,达到增产的目的。

参考文献:

- [1] 汤翠凤, 张恩来, 董超, 等. 云南新收集水稻地方品种的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(6): 1106 - 1116.
- [2] CUI D, LI J M, TANG C F, et al. Diachronic analysis of genetic diversity in rice landraces under on-farm conservation in Yunnan, China [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2016, 129: 155 - 168.
- [3] ZENG Y W, SHEN S Q, LI Z C, et al. Ecogeographic and genetic diversity based on morphological characters of indigenous rice (*Oryza sativa* L.) in Yunnan, China [J]. *Genetic Resources & Crop Evolution*, 2003, 50: 567 - 577.
- [4] 梅方权, 吴宪章, 姚长溪, 等. 中国水稻种植区划[J]. *中国水稻科学*, 1988(3): 97 - 110.
- [5] FAN G Z, CAI Q S, WANG C M, et al. QTL for yield and its components responded to elevated CO₂ in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Acta Genetica Sinica*, 2005, 32(10): 1066 - 1073.
- [6] 张晓梅, 杨从党, 丁艳锋, 等. 西南单季稻区立体生态亚区划分探讨[J]. *中国稻米*, 2016, 22(5): 10 - 14.
- [7] 钟楚, 朱颖墨, 朱勇, 等. 云南不同类型一季稻产量形成及其与气象因子的关系[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(10): 2831 - 2842.
- [8] 陈飘, 李家文, 黄彬香, 等. 广西典型地区水稻产量形成要素分析[J]. *农学学报*, 2020, 10(2): 1 - 6.
- [9] 聂守军. 黑龙江省水稻主栽品种农艺性状与产量的相关性研究[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(12): 147 - 150.
- [10] 石英尧, 钱益亮, 吴险峰, 等. 安徽中籼稻主要产量因子结构研究[J]. *中国农学通报*, 2007, 23(12): 190 - 193.
- [11] 凌英华, 赵芳明, 杨正林, 等. 不同遗传背景下杂交籼稻功能叶与产量构成因素的相关性[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(4): 553 - 559.
- [12] 陈能刚, 陈惠查, 游俊梅, 等. 贵州旱稻主要农艺性状的相关通径及聚类分析[J]. *贵州农业科学*, 2010, 38(11): 46 - 49.
- [13] 刘丽华, 王新兵, 汤凤兰, 等. 水稻产量及产量构成的稳定性和高产相关性分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(5): 84 - 88.
- [14] 武玲, 向珣朝, 杨博文, 等. 水稻籼爪交重组自交系穗部性状变异分析[J]. *中国农业大学学报*, 2017, 22(10): 26 - 35.
- [15] 杜志暄, 王建平, 黄州, 等. 水稻重组自交系群体农艺性状遗传变异及产量分析[J]. *江西农业大学学报*, 2019, 41(3): 413 - 422.
- [16] 杨久, 丁鲲, 卢义宣, 等. 云南籼粳交错区水稻农艺性状与产量相关及通径分析[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(2): 391 - 395.
- [17] 吕锐玲, 金红梅, 周强, 等. 南方稻区早籼产量与主要经济性状的关联分析[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(15): 168 - 172.
- [18] 姜心禄, 吴茂力, 池忠志, 等. 不同类型水稻品种的产量构成因素与产量的关系[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(3): 792 - 797.
- [19] 李鑫, 孙杰, 张丽丽, 等. 辽宁省水稻种质资源主要农艺性状的相关性分析[J]. *辽宁农业科学*, 2014(3): 53 - 56.
- [20] 黄大辉, 彭懿紫, 黄天进, 等. 杂交水稻主要性状的多重逐步回归和通径分析[J]. *广西农业生物科学*, 2004(2): 100 - 103.
- [21] 彭友林, 陈敬, 邹挺, 等. 杂交水稻亲本材料的产量主成分分析及品质鉴定[J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2019, 41(01): 181 - 193.
- [22] 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.
- [23] 杨树明, 张素华, 杜娟, 等. 云南高原稻作区影响水稻单株籽粒产量的主要农艺性状分析[J]. *华北农学报*, 2015, 30(S1): 120 - 128.
- [24] 殷敏, 刘少文, 褚光, 等. 长江下游稻区不同类型双季晚粳稻产量与生育特性差异[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(5): 890 - 903.
- [25] 曾宪平, 李勤修, 吕建群, 等. 四川及南亚地区水稻恢复系农艺性状的比较与分析[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(2): 241 - 247.
- [26] 秦钢, 马增凤, 秦媛媛, 等. 南繁生态条件变化对籼稻产量性状影响研究[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(1): 1 - 5.
- [27] LI X Y, QIAN Q, FU Z M, et al. Control of tillering in rice [J]. *Nature*, 2003, 422: 618 - 621.
- [28] YAN J Q, ZHU J, HE C X et al. Quantitative trait loci analysis for the developmental behavior of tiller number in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1998, 97: 267 - 274.
- [29] WANG Y H, LI J Y. Branching in rice [J]. *Current Opinion in Plant Biology*, 2011, 14(1): 94 - 99.
- [30] 蒋之坝, 黄仲青, 李奕松, 等. 杂交中稻群体数量与质量性状关系的研究[J]. *中国水稻科学*, 2000, 14(3): 179 - 182.

Correlation Between Agronomic Traits and Yield of Indica Hybrid Rice Varieties in Dehong, Yunnan

LI Xuemei¹, LI Ao¹, CHEN Yixiang², WANG Genquan¹, YANG Rongjiao², DING Jiasheng¹

(1. Dehong Plant Protection and Quarantine Station of Yunnan Province, Mangshi, Yunnan 678400;

2. Dehong Agricultural Technology Promotion Center of Yunnan Province, Mangshi, Yunnan 678400, China)

Abstract: The correlation of agronomic traits and yield of 42 indica hybrid rice varieties under regional rice variety trial in Dehong Prefecture, Yunnan in 2020 was analyzed, and these rice varieties were comprehensively evaluated by using simple correlation, partial correlation, regression and path analysis. The results indicated that yields of the rice varieties were positively correlated with effective panicle number, filled grain per panicle and thousand-grain weight. Principal components analysis extracted four principal components, tiller, grain, grain weight and panicle length as factor, and the cumulative contribution rate these four factors was 85.29%. According to comprehensive sorting results of the principal component score of each rice variety, the rice varieties Jinliangyou 906, Luyou 164 and Huayou 33 were ranked in the top. The 42 rice varieties were divided into five groups by cluster analysis, among which the fifth group could be used as good cultivars for high-yield cultivation in production, and the fourth group could be used as excellent resource for breeding of rice varieties with early maturity and high yield. The high yield breeding objectives and main cultivation suggestions were proposed appropriately according to the characteristics of the rice varieties in various groups.

Keywords: indica hybrid rice; agronomic traits; correlation analysis; principal components analysis; cluster analysis

(责任编辑: 罗启香 责任编辑: 钟云芳)