



许光利, 汪 燕, 梁成刚, 等. 斯里兰卡引进稻种资源蒸煮食用与营养品质分析[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(3): 37-45.

斯里兰卡引进稻种资源蒸煮食用与营养品质分析

许光利¹, 汪 燕¹, 梁成刚¹, 江谷驰宏¹, 丁春邦², 李 天¹

(1 四川农业大学 农学院/农业部 西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130;

2 四川农业大学 生命科学学院, 四川 雅安 625014)

摘要:【目的】对引自斯里兰卡的水稻品种进行蒸煮食用及营养品质分析,以期发现可利用的优良或特殊的稻种资源材料,以利于我国水稻生产和育种。【方法】2014 年 4—10 月,以引进的 65 个籼稻品种为材料,采用单因素随机区组排列,进行田间常规种植收获后,对各品种的蒸煮食用品质和营养品质进行分析。【结果】各品种直链淀粉的质量分数为 21.35%~29.34%,供试品种间表现差异不显著;蛋白质质量分数为 5.24%~9.17%,供试品种间表现为显著差异;氨基酸总含量中必需氨基酸占 33.80%~36.30%,非必需氨基酸占 63.70%~66.20%。相关性分析和主成分分析表明,营养品质因子(氨基酸)对稻米品质影响最大(贡献率为 53.447%),其含量越高,稻米直链淀粉含量越低,同时蒸煮食用品质越差。通过聚类分析,65 个品种被归为 4 类,各具特点。【结论】所引进的水稻品种,特点不一,可作为原材料供将来生产和育种选用。

关键词:斯里兰卡; 稻种资源; 国外引种; 蒸煮食用品质; 营养品质; 主成分分析; 聚类分析
中图分类号:S511 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2016)03-0037-09

Evaluations of cooking, eating and nutritional qualities of *indica* rice cultivars introduced from Sri Lanka

XU Guangli¹, WANG Yan¹, LIANG Chenggang¹, JIANGGU Chihong¹, DING Chunbang², LI Tian¹
(1 College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation in Southwest China, Ministry of Agriculture, P. R. China, Chengdu 611130, China;
2 College of Life Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract:【Objective】The cooking, eating and nutritional qualities of rice cultivars introduced from Sri Lanka were analyzed so as to screen the suitable materials for rice production and breeding. 【Method】Single factor randomized block design was applied in 2014, and 65 rice cultivars introduced from Sri Lanka were planted under conventional cultivation. After harvest, rice samples from each cultivar were collected for cooking, eating and nutritional analysis. 【Result】Amylose contents were between 21.35%~29.34% across all cultivars and there were no significant differences. Protein contents were 5.24%~9.17% and significantly differed among cultivars. Essential and non-essential amino acids accounted for 33.80%~36.30% and 63.70%~66.20% of total contents of amino acids, respectively. Based on correlation and principal analysis, the nutritional factor (amino acids) contributed 53.447% to the rice qualities. Higher contents of amino acids were associated with lower amylose contents, and lower cooking and eating qualities. All 65 rice cultivars were classified into 4 types through clustering analysis, and each of them exhibited different characteristics. 【Conclusion】The introduced rice cultivars show different

收稿日期:2015-06-09 优先出版时间:2016-04-15
优先出版网址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160415.1555.018.html>
作者简介:许光利(1984—),男,博士研究生,E-mail: guangli.xu@hotmail.com;通信作者:李 天(1962—),男,教授,博士,
E-mail: lit@scau.edu.cn
基金项目:四川省科技支撑计划项目(2014NZ0103)

characteristics and can be used as raw materials for future rice production and breeding.

Key words: Sri Lanka; rice genetic resource; germplasm introduction; cooking and eating quality; nutritional quality; principal analysis; clustering analysis

稻种资源是开展水稻育种及其相关科学研究的重要物质基础,世界上许多国家及国际机构已充分认识到种质资源对作物育种的卓越贡献^[1]。我国虽属稻种资源大国,但仍然存在着稻种资源匮乏、优质品种少、利用率低、种质资源丧失及对稻种资源研究不够深入等问题^[2-3]。此外,我国由于地域性广、生态复杂等原因,稻作生产中易遭受各种病虫害、温度、干旱等生物和非生物胁迫的影响而损失产量^[4]。引进国外优异稻种,对于丰富我国稻种资源及提高水稻产量具有意义^[5-6]。近 60 年来因直接或间接引进国外水稻资源而增产的稻谷超过 7 730 万 t,创造了巨大的经济效益^[7]。持续开展稻种资源的收集和整理,完善稻米种质资源评价体系,是我国水稻生产及育种可持续发展的重要保证和举措^[1]。

目前,我国引进的稻种资源主要来自于日本、韩国以及东南亚国家和地区,这些稻种由于高产、抗病虫、耐旱耐热、优质等特点,为我国水稻品种生产和改良做出了重要贡献^[5,8]。斯里兰卡属于南亚热带稻作区,该地区由于土壤危害、病虫害严重等原因,水稻品种普遍具抗源性广泛、抗逆性强等特点^[5]。近些年来,关于斯里兰卡水稻种质资源品质性状的研究鲜有报道,为进一步丰富我国水稻种质资源,本文在前人研究的基础上,对 65 个从斯里兰卡引进的水稻品种进行蒸煮食用及营养品质的分析,以期发现可利用的优良或特殊稻种资源材料,为水稻生产和育种提供基础材料。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2014 年 4—10 月在四川农业大学教学农场进行。4 月播种,5 月移栽。供试土壤为紫色土,基础肥力为:土壤有机质 20.18 g · kg⁻¹,全氮 1.31 g · kg⁻¹,速效氮 110.95 mg · kg⁻¹,速效磷 26.52 mg · kg⁻¹,速效钾 143.42 mg · kg⁻¹,pH 6.60。

试验选用从斯里兰卡引进的 65 个籼稻 *Oryza sativa* subsp. *indica* 品种为材料,采用单因素随机区组排列,小区面积为 4 m² (2 m × 2 m),行穴距为 25 cm × 18 cm。大田采取统一管理措施,保证水稻生长

过程的水肥供应。收获后 15 d,取一部分样品粉碎并过 100 目筛,用于蒸煮及营养品质测定。另取样品保存,用于蒸煮食用品质感官评价。

1.2 品质测定方法

稻米的蒸煮食用品质及营养品质测定均在农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室进行。

1.2.1 蒸煮食用品质测定 直链淀粉含量测定:根据农业部 NY147-88^[9] 方法,称取 0.100 g 粗淀粉样品于 15 mL 试管中,先后加入无水乙醇 1 mL 和 1 mol · L⁻¹ 的 NaOH 溶液 9 mL,混合震荡后沸水浴中加热 10 min,冷却后转移至 100 mL 容量瓶并定容,过滤,吸取 5 mL 样液,加入 1 mol · L⁻¹ 乙醇 1 mL 和碘液 1.5 mL,静置 20 min 后,在 620 nm 下比色。

淀粉的黏滞性测定:称取 3.00 g 含水量 (*w*) 10% 左右的水稻粉样,加入 25 mL 水,搅拌均匀,使用 RVA (Rapid viscosity analyzer) 仪测定。运行参数:50 °C 条件下保持 1 min,以 11.84 °C · min⁻¹ 的速度上升到 95 °C,并保持 2.5 min,再以 11.84 °C · min⁻¹ 的速度下降到 50 °C,并保持 1.4 min。搅拌器的转速在起始 10 s 内为 960 r · min⁻¹,之后保持在 160 r · min⁻¹。并记录峰值黏度、热浆黏度、崩解值、冷胶黏度、消减值、到达峰值黏度时间以及糊化温度。

蒸煮食用品质感官评价:采用 GB/T15682—2008^[10] 并结合曹萍等^[11] 介绍的日本农林水产食味测定的相关方法进行。选择性别、年龄平衡的 20 个人组成评定小组。用电饭锅,在同一条件下煮饭,然后每人对外观、香气、味道、黏度、硬度、综合评价共 6 项指标进行评定:以极差 -5 分、很差 -4 分、较差 -3 分、略差 -2 分、稍差 -1 分、一般 0 分、极好 5 分、很好 4 分、较好 3 分、略好 2 分、稍好 1 分等评分标准进行评价打分,用每人评价分值的平均值进行评定,每次每组评定品种数不超过 11 个。

1.2.2 营养品质测定 蛋白质含量采用全自动凯氏定氮仪测定。称取精米样品 0.300 g 放于消化管中,加入消化片与浓硫酸,然后置于高温通风橱,在 350 °C 条件下进行硝化,消化完成待液体冷却后使用 Buchi AGB-339 全自动凯氏定氮仪 (瑞士步琦公司) 测定成熟籽粒含氮量,换算成蛋白质含量 (以干质量为计),换算系数为 5.95。

氨基酸组分含量使用氨基酸分析仪进行测定。称取精米样品 0.200 g 于带塞试管中,并加入 6 mol · L⁻¹的 HCl 8 mL,盖上塞子,震荡后置于冰箱冷冻。结冰后取出试管,加入适当氮气排除空气,在 110 ℃烘箱中烘 22 h。待试管冷却至室温,用旋转蒸发仪蒸干液体,用 0.02 mol · L⁻¹的稀 HCl 溶液清洗并过滤于 100 mL 的容量瓶中,定容。吸取 5 mL 液体于 25 mL 容量瓶中并定容,最后使用针头移液管吸取样品,置于收集瓶中,使用日立公司 L-8800 型氨基酸全自动测定仪(日本日立公司)进行氨基酸测定(氨基酸含量以干质量为计)。

1.2.3 相关性、主成分及聚类分析 根据刘百龙等^[12]方法,使用 SAS Enterprise Guide 4.3 和 JMP 9 等分析软件进行相关性、主成分及聚类分析。

1.2.4 数据分析 以上蒸煮食用与营养品质测定均至少重复 3 次,并使用 SAS Enterprise Guide 4.3 进行方差分析及显著性检验,用 Excel 制图表。

2 结果与分析

2.1 水稻蒸煮食用品质分析

稻米的蒸煮品质是稻米在蒸煮过程中所表现出来的理化特性,是衡量稻米品质优劣的主要指标。由图 1 和表 1 可知,直链淀粉质量分数变幅在 21.35% ~ 29.34%,平均值为 25.66%,在供试品种间差异不显著。根据 NY/T593—2002^[13]食用稻品质标准,有 2 个品种的直链淀粉质量分数 < 22.0%,达优质一级标准,其分别是 At95-7-5 和 96-911;10 个品种直链淀粉质量分数在 22.1% ~ 24.0%,达优质二级标准,占总数的 15.38%;24 个品种直链淀粉质量分数在 24.1% ~ 26.0%,达优质三级标准,占 36.92%。可见,达优质标准的品种占总数的 55.38%。

RVA 黏度值可以间接反应稻米的蒸煮品质。如

表 1 所示,RVA 各参数除到达峰值黏度时间外,其余参数在供试品种间表现为显著或极显著差异。影响稻米蒸煮品质的主要参数指标是崩解值和消减值,崩解值大则米饭较软,消减值小则米饭软而不黏结。本试验中崩解值和消减值的范围分别是 10.59 ~ 75.00 RVU (Rapid visco unit, 仪器单位)和 34.04 ~ 109.84 RVU,变幅分别达到 33.63% 和 26.06%。RVA 各指标变异系数由大到小是:崩解值 > 热浆黏度 > 消减值 > 峰值黏度 > 冷胶黏度 > 到达峰值黏度时间 > 起始糊化温度。

稻米蒸煮食用品质感官评价是指通过人主观的观、闻、尝等方法对稻米的外观、味道、香气、黏度、硬度以及综合评价的综合得分,是衡量稻米食用品质的主要指标之一。如表 2 所示,感官评价各指标在供试品种间表现为极显著差异,且变异系数较大。硬度和香气和综合评价 3 项指标表现优异的品种较多,分别占 76.92%、63.08% 和 55.38%。外观和味道表现优异的品种分别占 43.38% 和 38.46%,而黏度最低,仅占 2.31%。综合起来,各指标均表现优异的品种有 5 个,分别是 At402、94-4918、95-1566、SN238 和 H4。

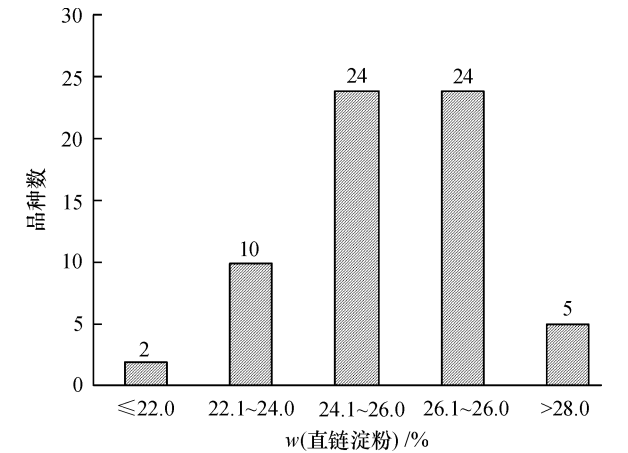


图 1 65 个水稻品种的直链淀粉含量分布

Fig.1 Distributions of amylose contents of 65 rice cultivars

表 1 65 个水稻品种的蒸煮品质								
Tab.1 Cooking qualities of 65 rice cultivars								
项目	w(直链淀粉)/%	峰值黏度/ RVU	热浆黏度/ RVU	崩解值/ RVU	冷胶黏度/ RVU	消减值/ RVU	到达峰值 黏度时间/min	起始糊化 温度/℃
平均值	25.66	182.29	138.31	43.98	255.33	73.04	6.25	76.90
最大值	29.34	255.71	200.09	75.00	333.84	109.84	6.90	87.75
最小值	21.35	75.17	62.30	10.59	122.33	34.04	5.70	73.95
标准差	1.73	47.40	42.38	14.79	58.82	19.03	0.30	2.89
变异系数/%	6.76	26.00	30.64	33.63	23.04	26.06	4.79	3.76
方差分析 ¹⁾	ns	***	***	***	***	***	ns	*

1)表中为品种间方差分析,其中*、***和ns分别代表差异显著($P \leq 0.05$)、差异极显著($P \leq 0.001$)和差异不显著($P \geq 0.05$)(ANOVA 单因素方差分析法)。

表 2 65 个水稻品种蒸煮食用品质感官评价

Tab.2 Comparisons of sensory evaluation of 65 rice cultivars

项目	外观	香气	味道	黏度	硬度	综合评价	综合得分
平均值	-0.03	0.27	-0.08	-0.47	0.43	0.08	0.21
最大值	1.50	1.60	1.23	1.00	2.00	1.50	1.47
最小值	-1.46	-1.38	-1.38	-1.50	-1.00	-1.15	-1.31
标准差	0.53	0.54	0.59	0.54	0.60	0.60	2.19
变异系数/%	1 766.67	200.00	737.50	114.89	139.53	750.00	1 046.80
方差分析 ¹⁾	***	***	***	***	***	***	***

1)表中为品种间方差分析,***表示差异极显著($P \leq 0.001$,ANOVA 单因素方差分析法)。

2.2 水稻营养品质分析

蛋白质含量是衡量和评定稻米营养品质的主要指标之一。由图 2 和表 3 可知,蛋白质含量在供试品种间表现为显著差异。总体来说,蛋白质质量分数在 5.24%~9.17%之间,变异系数为 11.56%。多数品种蛋白质质量分数在 6.0%~8.0%之间,4 个品种的蛋白质质量分数 $\geq 8.0\%$,达优质二级标准以上,分别为 Bg2676、Bg2677、At95-1534 和 At95-2-10;27 个品种的蛋白质质量分数介于 7.0%~7.9%,达优质三级标准,占总数的 41.54%;26 个品种的蛋白质质量分数介于 6.0%~6.9%,达四级标准,占总数的 40.0%;8 个品种的蛋白质质量分数 $< 6.0\%$,占总数的 12.31%。

供试水稻品种共检测出 17 种氨基酸,包括必需和非必需氨基酸,各氨基酸组分含量在供试品种间表现为显著或极显著差异。各品种必需氨基酸占总氨基酸含量的 33.80%~36.30%,非必需氨基酸占

总氨基酸含量的 63.70%~66.20%,可见,稻米中的氨基酸以非必需氨基酸为主。必需氨基酸以亮氨酸(Leu)和天冬氨酸(Asp)含量最高,非必需氨基酸以谷氨酸(Glu)、精氨酸(Arg)和脯氨酸(Pro)为主。

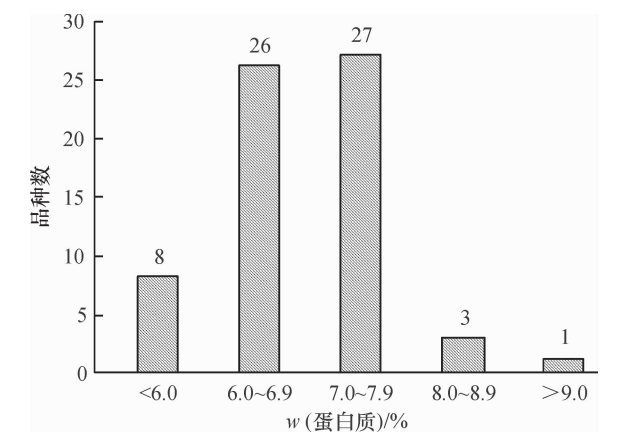


图 2 65 个水稻品种蛋白质含量的分布

Fig.2 Distributions of protein contents of 65 rice cultivars

表 3 65 个水稻品种的蛋白质和氨基酸含量

Tab.3 The contents of protein and amino acids of 65 rice cultivars

项目	$w(\text{蛋白质})/\%$	$w(\text{总氨基酸})/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$	$w(\text{必需氨基酸})/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$							
			苏氨酸 (Thr)	蛋氨酸 (Met)	缬氨酸 (Val)	亮氨酸 (Leu)	苯丙氨酸 (Phe)	赖氨酸 (Lys)	异亮氨酸 (Ile)	天冬氨酸 (Asp)
平均值	6.90	65.55	2.29	1.30	4.54	6.33	4.56	3.15	3.00	5.49
最大值	9.17	98.46	3.03	2.12	6.09	8.62	5.98	3.99	4.03	7.79
最小值	5.24	47.15	1.48	0.77	3.10	4.12	3.20	2.14	2.07	3.64
标准差	0.80	11.64	0.35	0.28	0.67	1.05	0.62	0.40	0.49	1.22
变异系数/%	11.56	16.00	15.31	21.54	14.77	16.61	13.69	12.78	16.29	22.23
方差分析 ¹⁾	*	**	**	***	***	**	**	*	**	***

项目	$w(\text{非必需氨基酸})/(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})$								
	谷氨酸 (Glu)	组氨酸 (His)	精氨酸 (Arg)	胱氨酸 (Cys)	丙氨酸 (Ala)	甘氨酸 (Gly)	脯氨酸 (Pro)	酪氨酸 (Tyr)	丝氨酸 (Ser)
平均值	13.16	1.88	5.65	2.39	4.05	3.02	6.05	1.35	4.45
最大值	17.94	2.52	8.00	2.88	5.84	4.32	8.58	2.80	5.96
最小值	8.35	0.42	3.85	2.05	2.21	2.03	3.31	0.25	2.94
标准差	2.16	0.39	1.05	0.16	0.84	0.57	1.16	0.62	0.68
变异系数/%	16.42	20.71	18.53	6.54	20.80	18.74	19.15	46.31	15.38
方差分析 ¹⁾	**	***	**	*	***	**	***	***	**

1)表中为品种间方差分析,其中*、**和***分别代表0.05、0.01和0.001水平差异显著(ANOVA 单因素方差分析法)。

2.3 相关性及主成分分析

稻米品质的相关性如表4所示,直链淀粉含量与崩解值呈显著正相关,而与蛋白质及各氨基酸组分均呈显著负相关,说明蛋白质含量高的品种,其直链淀粉含量低、崩解值低、食味差。峰值黏度和热浆黏度均与冷胶黏度、消减值及峰值时间呈极显著正相关,而与糊化温度呈显著负相关。冷胶黏度和消减值均与峰值时间呈极显著正相关,硬度与冷胶黏

度和消减值均呈显著正相关,说明峰值黏度高的品种,其RVA谱表现的黏度值(热浆黏度、冷胶黏度、消减值)越高,米饭越硬。此外,蛋白质和个别氨基酸与RVA(除糊化温度)呈显著负相关。多数氨基酸与糊化温度呈显著正相关,表明氨基酸含量过高,会降低蒸煮食用品质。另外,蛋白质及各氨基酸之间均呈极显著正相关($P<0.01$,表略)。

表4 65个水稻品种蒸煮食用品质与营养品质的相关性分析¹⁾
Tab.4 Correlation analysis among cooking, eating, and nutritional qualities for 65 rice cultivars

性状	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14
x2	0.261													
x3	0.182	0.971**												
x4	0.501*	0.239	0.081											
x5	0.108	0.950**	0.978**	0.0511										
x6	-0.251	0.572**	0.701**	-0.507*	0.771**									
x7	-0.091	0.694**	0.741**	-0.185	0.726**	0.679**								
x8	-0.365	-0.481*	-0.487*	-0.311	-0.469*	-0.164	-0.205							
x9	0.244	-0.211	-0.164	-0.054	-0.158	-0.057	-0.020	-0.040						
x10	0.042	0.186	0.199	0.182	0.178	0.033	-0.063	-0.147	-0.053					
x11	0.229	-0.093	-0.137	0.474*	-0.153	-0.280	-0.147	-0.009	0.455*	0.384				
x12	0.147	-0.120	-0.218	0.520*	-0.290	-0.548*	-0.245	0.069	0.129	0.572**	0.639**			
x13	-0.201	0.377	0.480*	-0.379	0.582**	0.744**	0.318	-0.315	-0.122	0.024	-0.460*	-0.616**		
x14	0.205	-0.113	-0.148	0.224	-0.192	-0.290	-0.203	0.191	0.343	0.463*	0.631**	0.633**	-0.550*	
x15	-0.782**	-0.324	-0.242	-0.618**	-0.214	0.207	0.044	0.449	-0.283	-0.137	-0.431	-0.196	0.047	-0.173
x16	-0.744**	-0.339	-0.377	-0.177	-0.368	-0.235	-0.200	0.537*	-0.346	-0.042	-0.048	0.171	-0.276	0.080
x17	-0.526*	-0.391	-0.468*	0.150	-0.446*	-0.414	-0.326	0.328	-0.168	-0.092	0.289	0.299	-0.373	0.062
x18	-0.724**	-0.387	-0.437*	-0.132	-0.421	-0.289	-0.223	0.528*	-0.360	0.027	0.009	0.261	-0.304	0.136
x19	-0.755**	-0.347	-0.386	-0.201	-0.371	-0.226	-0.143	0.527*	-0.331	0.005	-0.071	0.203	-0.270	0.129
x20	-0.702**	-0.330	-0.371	-0.179	-0.370	-0.237	-0.149	0.519*	-0.351	-0.022	-0.090	0.193	-0.272	0.125
x21	-0.704**	-0.371	-0.407	-0.211	-0.406	-0.256	-0.208	0.574**	-0.326	-0.013	-0.069	0.197	-0.295	0.161
x22	-0.696**	-0.345	-0.395	-0.135	-0.383	-0.251	-0.193	0.524*	-0.333	0.027	0.028	0.268	-0.302	0.179
x23	-0.717**	-0.365	-0.401	-0.224	-0.396	-0.241	-0.201	0.558*	-0.290	0.022	-0.034	0.217	-0.286	0.147
x24	-0.783**	-0.324	-0.363	-0.165	-0.335	-0.190	-0.135	0.493*	-0.403	-0.048	-0.090	0.154	-0.224	0.040
x25	-0.489*	-0.452*	-0.503*	-0.028	-0.502*	-0.457*	-0.405	0.283	-0.273	-0.109	-0.240	0.045	-0.142	-0.225
x26	-0.736**	-0.360	-0.403	-0.151	-0.395	-0.268	-0.190	0.521*	-0.354	-0.033	-0.021	0.213	-0.303	0.107
x27	-0.575**	-0.347	-0.392	-0.030	-0.403	-0.339	-0.176	0.304	-0.132	-0.023	0.200	0.249	-0.395	0.150
x28	-0.745**	-0.425	-0.468*	-0.155	-0.448*	-0.292	-0.239	0.527*	-0.349	-0.046	0.004	0.222	-0.281	0.060
x29	-0.679**	-0.353	-0.398	-0.145	-0.405	-0.297	-0.232	0.538*	-0.315	0.013	0.004	0.233	-0.347	0.151
x30	-0.705**	-0.425	-0.462*	-0.174	-0.417	-0.225	-0.240	0.497*	-0.273	-0.159	-0.224	0.022	-0.167	-0.043
x31	-0.621**	-0.191	-0.273	-0.064	-0.214	-0.126	-0.038	0.543*	-0.352	-0.245	-0.036	-0.028	-0.229	-0.004
x32	-0.750**	-0.353	-0.395	-0.160	-0.384	-0.248	-0.147	0.518*	-0.344	-0.019	-0.018	0.233	-0.304	0.127

1)x1:直链淀粉;x2:峰值黏度;x3:热浆黏度;x4:崩解值;x5:冷胶黏度;x6:消减值;x7:峰值时间;x8:糊化温度;x9:外观;x10:香气;x11:味道;x12:黏度;x13:硬度;x14:综合评价;x15:蛋白质;x16:苏氨酸;x17:蛋氨酸;x18:缬氨酸;x19:亮氨酸;x20:苯丙氨酸;x21:赖氨酸;x22:异亮氨酸;x23:天冬氨酸;x24:谷氨酸;x25:组氨酸;x26:精氨酸;x27:半胱氨酸;x28:丙氨酸;x29:甘氨酸;x30:脯氨酸;x31:酪氨酸;x32:丝氨酸。*表示显著相关,**表示极显著相关(Spearman相关分析法)。

为了进一步分析归纳影响稻米品质的因素,对 32 项指标进行主成分分析,通过相应的特征值和特征向量(λ),选取前 5 个($\lambda_1 \sim \lambda_5$)作为评价品质的主成分,累计贡献率为 88.741% (表 5)。第 1 主成分中,以各氨基酸的特征向量最大,可以看作是营养品质因子,第 1 主成分特征向量越大,直链淀粉含量越低,糊化温度越高。第 2 主成分中,以消减值、味道、黏度和硬度的特征向量最大,第 2 主成分特征向量越大,消减值和硬度越高,而味道和黏度越低。第 3 主成分以综合评价、香气、热浆黏度和峰值黏度的特征向量最大。第 4 主成分以崩解值、外观和糊化温度的特征向量最大,崩解值越高,外观和糊化温度越低。将第 2、3、4 主成分综合起来可以看作是蒸煮食用品质。第 5 主成分以香气、酪氨酸和蛋氨酸的特征向量最大,可以看作是感官与营养品质联合因子,香气值越高,酪氨酸和蛋氨酸含量越低。

2.4 聚类分析

以 32 个指标为依据,将各数值标准化后进行 ward 法聚类分析,将 65 个品种分为 4 类(图 3)。第 I 类包括 At4-L-6c、96-3297、SN238、At95-10-4、98-444、At94-17、Bg300、Bg379-2、Bg2586-1、Bg95-518、Bg2746、Ld355、IR29723、At402、94-4918、95-1566、H4 和 Suwanda 等 18 个品种,这一类具有较高的外观、口味、黏度及综合评价值,而峰值黏度、热浆黏度、冷浆黏度、消减值和硬度较低,即该类品种具有较好的蒸煮食用品质;第 II 类包括 At94-16、At95-7、SN272、At96-19-17-2、97-1405、At-95-7-5、IRT283、At96-5-8、Bg2341-1、At95-4-3、At95-15-19、Bg94-1、93-1154、96-1520、Bg403、Bw302、94-4338、SN270 和 96-911 等 19 个品种,该类品种具有较高的峰值黏度、热浆黏度、冷胶黏度、消减值和香气,即具有较低的蒸煮食用品质;第 III 类包括 At-4-E-4、Bg2426-2E、At95-2-10、At95-1534、Bg2676、At95-2-1、Bg450 和 Bg2677 等 8 个品种,该类品种具有较高的蛋白质和氨基酸含量,而直链淀粉含量、崩解值、外观、香气、口味、黏度较差,即具有较高的营养品质;第 IV 类包括 At354、Bg95-595、SN208、95-3000、95-296、Bg1222、95-3350、Bg380、96-2943、At95-6-8、Bw328-1、At95-22-18、Bg2225-1、IR72RY、94-4549、SN291、At96-19-17-1、At354-R、Bg357 和 Bg2039 等 20 个品种,该类品种具有较低的蛋白质和氨基酸含量,而直链淀粉含量、硬度较高,即具有较低的营养品质和蒸煮食用品质。

表 5 65 个水稻品种的品质性状主成分特征向量¹⁾

Tab. 5 Eigenvectors of rice qualities based on principal component analysis for 65 rice cultivars

性状	特征向量				
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5
x1	-0.146	-0.278	-0.022	0.144	-0.032
x2	-0.133	0.164	0.323	0.336	0.072
x3	-0.133	0.242	0.329	0.170	0.054
x4	-0.014	-0.209	0.020	0.519	0.059
x5	-0.136	0.256	0.281	0.224	0.052
x6	-0.098	0.363	0.105	-0.078	-0.006
x7	-0.063	0.283	0.318	-0.088	0.251
x8	0.042	0.049	0.226	-0.416	0.131
x9	-0.085	-0.148	0.038	-0.426	0.169
x10	-0.029	-0.121	0.351	-0.056	-0.585
x11	-0.013	-0.321	0.266	-0.031	0.231
x12	0.047	-0.312	0.275	0.036	-0.231
x13	-0.084	0.310	-0.098	0.057	-0.224
x14	-0.014	-0.261	0.387	-0.208	0.005
x15	0.137	0.275	-0.084	-0.229	-0.141
x16	0.238	0.038	0.058	0.023	-0.040
x17	0.173	-0.116	-0.071	0.106	0.359
x18	0.239	0.012	0.059	0.015	0.015
x19	0.238	0.032	0.068	0.017	-0.039
x20	0.234	0.043	0.077	0.033	-0.103
x21	0.233	0.046	0.065	0.022	-0.058
x22	0.238	0.010	0.089	-0.004	-0.003
x23	0.237	0.028	0.075	0.021	-0.070
x24	0.237	0.053	0.077	0.014	-0.051
x25	0.191	-0.012	-0.176	0.135	-0.144
x26	0.238	0.034	0.068	0.047	-0.005
x27	0.210	-0.055	0.077	0.066	0.184
x28	0.240	0.009	0.033	0.031	0.022
x29	0.236	0.018	0.084	0.043	-0.033
x30	0.223	0.063	-0.068	-0.04	-0.063
x31	0.191	0.066	0.026	0.045	0.377
x32	0.239	0.028	0.071	0.018	-0.017
特征值	17.103	5.090	2.781	2.163	1.259
累积贡献率/%	53.447	69.354	78.045	84.806	88.741

1) $\lambda_1 \sim \lambda_5$: 特征向量; x1: 直链淀粉; x2: 峰值黏度; x3: 热浆黏度; x4: 崩解值; x5: 冷胶黏度; x6: 消减值; x7: 峰值时间; x8: 糊化温度; x9: 外观; x10: 香气; x11: 味道; x12: 黏度; x13: 硬度; x14: 综合评价; x15: 蛋白质; x16: 苏氨酸; x17: 蛋氨酸; x18: 缬氨酸; x19: 亮氨酸; x20: 苯丙氨酸; x21: 赖氨酸; x22: 异亮氨酸; x23: 天冬氨酸; x24: 谷氨酸; x25: 组氨酸; x26: 精氨酸; x27: 半胱氨酸; x28: 丙氨酸; x29: 甘氨酸; x30: 脯氨酸; x31: 酪氨酸; x32: 丝氨酸。

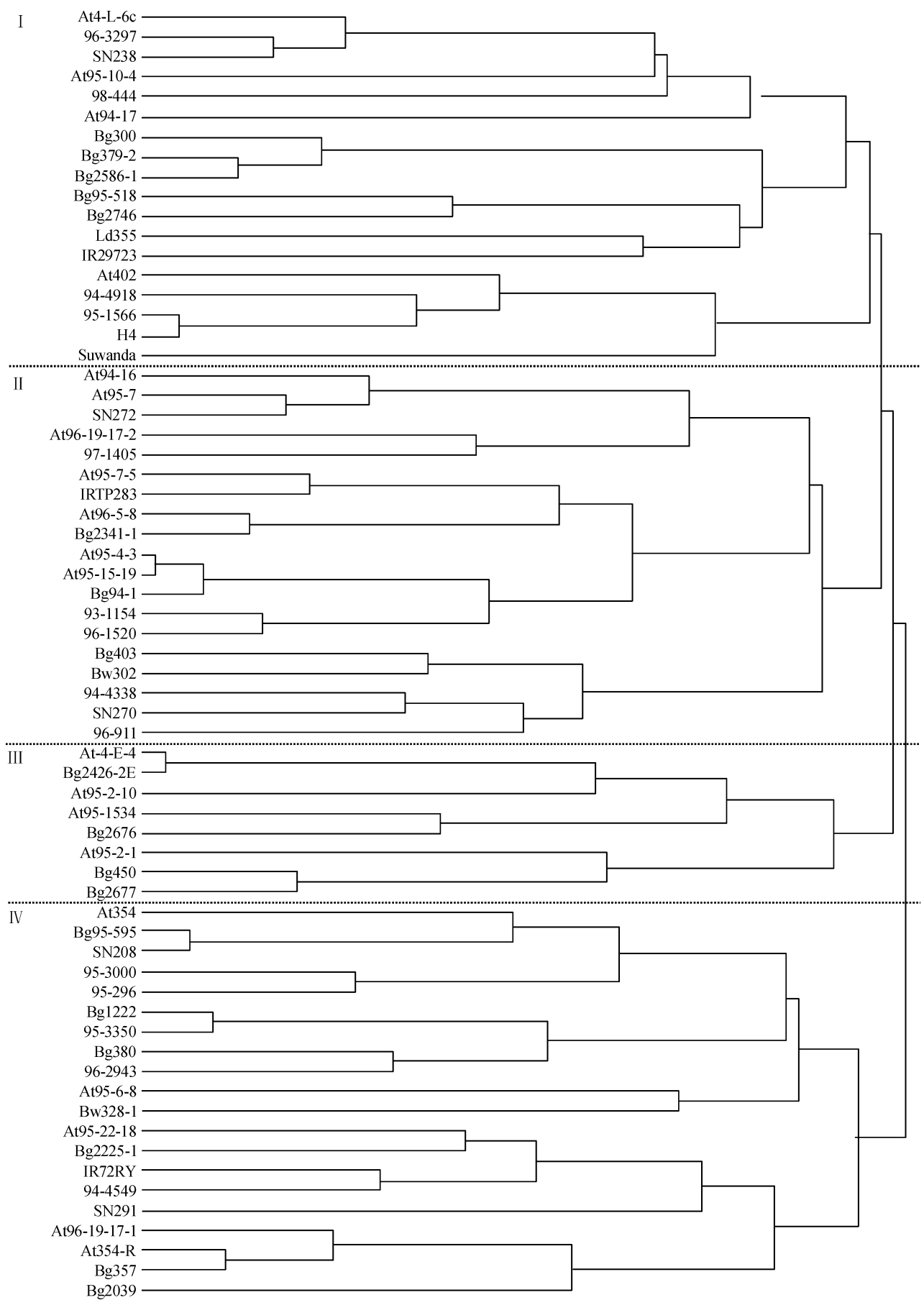


图 3 65 个品种稻米蒸煮食用品质及营养品质的聚类分析

Fig. 3 Clustering analysis of 65 rice cultivars based on cooking and eating, and nutritional qualities

3 讨论与结论

从以上结果可以看出,引进的斯里兰卡水稻多数品种直链淀粉含量较高(平均值 25.66%),蛋白质含量适中(平均值 6.90%),这同杨金华等^[14]对斯里兰卡的稻种资源分析结果基本一致。总体来说,65 个供试品种中,有 36 个和 57 个品种分别达到直链淀粉、蛋白质含量国家优质标准,这表明引进的水稻品种具有良好的品质特性,可为水稻生产和育种提供优质资源。

稻米的适口性是一个受多方面因素影响的评价指标^[15]。其中,淀粉(或直链淀粉)含量被普遍认为是影响稻米蒸煮食用品质的重要指标^[16-18]。斯里兰卡引进水稻多数品种直链淀粉含量较高,这可能与斯里兰卡消费习惯相关,收获后的稻谷并非直接碾磨为大米食用,而是直接把稻谷进行蒸煮后晾干,再储藏或碾为大米食用,高直链淀粉便于在蒸煮后进行储藏或碾磨^[19]。虽然各供试品种间的直链淀粉含量差异不显著,但 RVA 和食用品质感官评价却有所差别,表明除了直链淀粉,其他的组分例如蛋白质和氨基酸也对稻米的品质有着影响^[20]。前人对蛋白质与蒸煮食用品质相关分析结果表明,蛋白质与消减值呈显著正相关,而与热浆黏度、崩解值、峰值黏度等呈显著负相关^[17, 21-23]。在本试验中,蛋白质与崩解值呈显著负相关,而与其他 RVA 或感官评价指标关系不显著。一般而言,优良的稻米崩解值较高,热浆黏度、冷胶黏度、消减值和糊化温度较低^[16, 24]。这表明蛋白质含量越高,稻米蒸煮食用品质表现越差。

供试品种的氨基酸以谷氨酸、亮氨酸、脯氨酸、精氨酸和天冬氨酸为主,其中必需氨基酸占总含量的 33.80% ~ 36.30%,非必需氨基酸占 63.70% ~ 66.20%,与前人的研究结果基本一致^[25-26]。在必需氨基酸中,赖氨酸被认为是稻米蛋白质合成的第一限制性氨基酸,苏氨酸和蛋氨酸则分别是第二、三限制性氨基酸^[15, 27]。在本试验中,赖氨酸、苏氨酸和蛋氨酸含量分别占氨基酸总含量的 4.34%、3.15% 和 1.79%,变异系数相对较高,说明育种中可根据不同需求选择育种材料。值得注意的是氨基酸含量并非越高越好,多数氨基酸组分与糊化温度呈显著正相关,这表明氨基酸含量升高反而会降低稻米蒸煮食用品质。通过主成分分析可知,营养品质因子(氨基

酸)对稻米品质的累积贡献率达到 53.447%,表明在优质品种选育中应重视对营养品质的选择。

通过聚类分析,65 个水稻品种被分为 4 类,第 I 类具有较高的蒸煮食用品质,包括 At4-L-6c 等 18 个品种;第 II 类具有较低的蒸煮食用品质,包括 At94-16 等 19 个品种;第 III 类具有较高的营养品质,包括 At4-E-4 等 8 个品种;而第 IV 类具有较低的营养品质和蒸煮食用品质,包括 At354 等 20 个品种。在将来水稻生产及育种中,可以根据这些品种的不同特性进行选育,以丰富优质水稻生产和育种资源。

参考文献:

- [1] 韩龙植,曹桂兰. 中国稻种资源收集、保存和更新现状[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(3): 359-364.
- [2] 叶卫军,胡时开,李媛媛,等. 水稻种质资源的分子鉴定和育种利用[J]. 分子植物育种, 2013, 11(4): 625-633.
- [3] SONG Z, LI B, CHEN J, et al. Genetic diversity and conservation of common wild rice (*Oryza rufipogon*) in China[J]. Plant Spec Biol, 2005, 20(2): 83-92.
- [4] 魏兴华,汤圣祥,余汉勇,等. 中国水稻国外引种概况及效益分析[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 5-11.
- [5] 王富有. 中国作物种质资源引进与流出研究——以国际农业研究磋商组织和美国为主[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(3): 335-342.
- [6] 游书梅,曹应江,郑家奎,等. 73 份亚洲水稻恢复系农艺性状的主成分与聚类分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(2): 250-256.
- [7] 王述民,张宗文. 世界粮食和农业植物遗传资源保护与利用现状[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3): 325-338.
- [8] 李丹婷,夏秀忠,农保选,等. 地中海地区稻种资源的籼粳分类及遗传多样性[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 25-30.
- [9] 中华人民共和国农业部. 米质测定方法: NY147-88[S]. 北京:中国标准出版社,1988.
- [10] 全国粮油标准化技术委员会. 粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法: GB/T15682—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [11] 曹萍,吕文彦,裴忠友. 提高蒸煮与食味品质鉴定准确性,优化稻米品质[J]. 辽宁农业科学, 2002, (5): 33-35.
- [12] 刘百龙,石瑜敏,王威豪,等. 引进国际水稻所籼稻品系主成分及聚类分析[J]. 南方农业学报, 2011, 42

- (12): 1449-1453.
- [13] 中华人民共和国农业部. 食用稻品种品质:NY/T593—2002[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [14] 杨金华,曾永生,林溶辉,等. 国外引进稻种资源的米质鉴定评价初报[J]. 作物品种资源, 1994(2): 41-42.
- [15] YOON M R, LEE S C, KANG M Y. The lipid composition of rice cultivars with different eating qualities[J]. J Korean Soc Appl Biol Chem, 2012, 55(2): 291-295.
- [16] HASJIM J, LI E, DHITAL S. Milling of rice grains: effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties[J]. Carbohydr Polym, 2013, 92(1): 682-690.
- [17] TAN Y, CORKE H. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties [J]. J Sci Food Agric, 2002, 82(7): 745-752.
- [18] ZHAO W, CHUNG J, KWON S, et al. Association analysis of physicochemical traits on eating quality in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Euphytica, 2013, 191(1): 9-21.
- [19] 李中. 斯里兰卡人的饮食[J]. 食品与健康, 1994(4): 26.
- [20] CHAMPAGNE E T, BETT K L, VINYARD B T, et al. Correlation between cooked rice texture and rapid visco analyser measurements[J]. Cereal Chem J, 1999, 76(5): 764-771.
- [21] 吴洪恺,刘世家,江玲,等. 稻米蛋白质级分及总蛋白质含量与淀粉 RVA 谱特征值的关系[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(4): 421-426.
- [22] XIE L, CHEN N, DUAN B, et al. Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice [J]. J Cereal Sci, 2008, 47(2): 372-379.
- [23] ZHENG L, ZHANG W, LIU S, et al. Genetic relationship between grain chalkiness, protein content, and paste viscosity properties in a backcross inbred population of rice [J]. J Cereal Sci, 2012, 56(2): 153-160.
- [24] LIU Q, ZHOU X, YANG L, et al. Effects of chalkiness on cooking, eating and nutritional qualities of rice in two indica varieties [J]. Rice Sci, 2009, 16(2): 161-164.
- [25] 李祖胜,徐庆国,刘红梅. 播种期对杂交水稻组合稻米直链淀粉和蛋白质及氨基酸含量的影响[J]. 作物研究, 2012, 26(4): 315-319.
- [26] 梁成刚,张青,李敬,等. 水稻灌浆期高温对天冬氨酸代谢酶活性及其家族氨基酸含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(1): 71-76.
- [27] 焦爱霞,杨昌仁,曹桂兰,等. 水稻蛋白质含量的遗传研究进展[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 1-8.

【责任编辑 李晓卉】