

张冰冰,叶艳英,尹玉玲,等. 43 份芦笋种质资源遗传多样性评价[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):39–46.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.007

## 43 份芦笋种质资源遗传多样性评价

张冰冰<sup>1</sup>, 叶艳英<sup>1</sup>, 尹玉玲<sup>1</sup>, 金水凤<sup>2</sup>, 罗稳根<sup>2</sup>, 周劲松<sup>1</sup>, 罗绍春<sup>1</sup>, 汤泳萍<sup>1</sup>

(1. 江西省农业科学院蔬菜花卉研究所,江西南昌 330200; 2. 江西省吉安市农作物良种场,江西吉安 343016)

**摘要:**从国内外收集 43 份芦笋种质,利用多重分析,研究了芦笋种质资源的遗传多样性。结果表明:15 个农艺及品质性状变异系数为 8.03%~53.90%,Simpson 多样性指数  $D_s$  为 0.279 1~0.850 2,该批芦笋种质资源具有较为丰富的遗传多样性。多重分析显示芦笋总产量与优质笋产量、商品笋产量极显著极强正相关,与株高极显著极强正相关,与茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度和优质笋率极显著中等正相关;上述性状的改良有利于快速提升芦笋品质。主成分分析显示,前 4 个主成分因子累计贡献率为 79.121%,主成分综合评价将 43 份种质分为 4 个群集,聚类分析将其也分为 4 个群集,第 I 群集综合性状一般种质;第 II 群集低产、株型矮小、晚出笋种质;第 III 群集高产、株型高大、早出笋种质;第 IV 群集高产、株型高大、出笋特早种质。2 种评价方法比较发现,获得的优良种质结果基本一致。

**关键词:**芦笋;种质资源;农艺性状;品质性状;遗传多样性

**中图分类号:**S644.602 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)13-0039-08

芦笋(*Asparagus officinalis* L.)又名石刁柏,为多年生宿根性蔬菜,富含皂苷、芸香苷、黄酮、多糖等多种活性成分,尤其是天冬门酰胺、精氨酸硒、抗坏血酸、胆碱等含量较高,被誉为蔬菜之王。芦笋原产于欧亚大陆及北非河谷及草原地带,清朝末年传入我国。现今,我国已成为世界第一大芦笋生产及出口国,年产量约为 780 万 t,约占世界总贸易量的 50%<sup>[1]</sup>,农业产值已接近 200 亿元<sup>[2]</sup>。芦笋产业已发展成为前景广阔的朝阳产业。

我国芦笋种质资源相对贫乏,遗传背景较狭窄,雌雄异株,育种年限长,严重制约了优异品种选育。为解决我国芦笋产业品种制约问题,亟须系统深入地进行芦笋新品种选育和繁殖制种技术研究,筛选适应我国气候条件的芦笋品种。芦笋种质资源的收集、鉴定与评价、利用是芦笋品种创制与基因挖掘的重要基础。目前种质资源遗传多样性的研究主要有形态学、细胞学、生化标记、分子标记等方法<sup>[3]</sup>。形态学方法简单直观、易于观察,是种质

资源鉴定与评价最直接、最快速、最高效的一种方法<sup>[4]</sup>。为进一步挖掘芦笋的利用价值,选育高品质芦笋品种,本研究收集 43 份国内外芦笋新品种(系),通过设施避雨栽培技术,在江西省吉安市农作物良种场进行比较试验。通过对 15 个主要农艺及品质性状的变异分析、相关分析、通径分析、灰色关联度分析、主成分分析和聚类分析,研究其遗传多样性,以期芦笋资源利用和新品种选育提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

共收集国内外芦笋品种(系)43 个,均为二倍体品种(表 1),其中京紫龙 2 号为紫芦笋,其余均为绿芦笋。

#### 1.2 试验设计

吉安市农作物良种场连体大棚试验地为江西省典型红壤黏土。2017 年 8 月中旬穴盘育苗,10 月 31 日移栽定植,每畦栽单行,株距 30 cm,行距为 130~160 cm,密度 1 500 株/667 m<sup>2</sup>。每畦定植 2 个芦笋品种(系),每材料 61 株,随机区组排列,每品种(系)2 个重复。参照《芦笋设施避雨栽培技术规程》<sup>[5]</sup>进行田间管理。

#### 1.3 项目测定及方法

1.3.1 产量和商品性 2019 年 3 月 1 日始光头笋时期第 1 次采笋,逐日记载产量至 4 月 1 日,并转换成小区产量( $K_1$ , kg)/667 m<sup>2</sup> 进行分析。参照 Zhu 等的方法<sup>[6]</sup>进行分级,嫩茎基部直径大于 1.2 cm 为

收稿日期:2021-08-25

基金项目:江西现代农业科研协同创新专项(编号:JXXTCX201904-03);江西省重点研发计划(编号:20202BBFL63008);江西省科技厅重点项目(编号:20202BBF62006)。

作者简介:张冰冰(1991—),男,安徽濉溪人,硕士,研究实习员,从事芦笋遗传育种与生物技术研究。E-mail:2532213847@qq.com。

通信作者:汤泳萍,硕士,研究员,主要从事芦笋遗传育种和栽培技术研究及示范推广工作。E-mail:typ19751227@163.com。

表 1 供试试验材料信息

种质编号	种质名称	来源	种质编号	种质名称	来源
V1	Gijnlim	荷兰	V23	Mondeo	德国
V2	Extremely Male Imperial Crown	美国	V24	巨丰	山东省
V3	Florida	美国	V25	JX1516	江西省
V4	Jersey Knight	美国	V26	京紫龙 2 号	北京市
V5	Grate	美国	V27	京绿龙 1 号	北京市
V6	Imperial	美国	V28	Idalea	美国
V7	JX1509	江西省	V29	JX1506	江西省
V8	2000 -5F1	山东省	V30	JX1508	江西省
V9	Grande	美国	V31	JX1514	江西省
V10	JX1515	江西省	V32	JX1505	江西省
V11	Enos	意大利	V33	Apollo	美国
V12	JX1502	江西省	V34	JX1516	江西省
V13	JX1503	江西省	V35	冠军 1 号	山东省
V14	JX1512	江西省	V36	UC115	美国
V15	JX1513	江西省	V37	Dogeras	美国
V16	Aitlas	美国	V38	JX1510	江西省
V17	Supreme	美国	V39	JX1511	江西省
V18	California Early	美国	V40	JX1504	江西省
V19	Purple Passion	美国	V41	丰岛 2 号	浙江省
V20	Green Pride	美国	V42	京绿 1 号	北京市
V21	WB - 210F1	美国	V43	京绿龙 3 号	北京市
V22	Atals	美国			

优质笋 ( $K_2$ , kg/667 m<sup>2</sup>)、大于 0.6 cm 为商品性笋 ( $K_3$ , kg/667 m<sup>2</sup>)。

1.3.2 农艺性状和抗病性 2019 年初记录各种质见笋日期,并根据 2018 年底割母茎时间 12 月 10 日,转换成见笋时间 ( $K_9$ , d)。每重复随机连续 30 株插牌标记抽笋数 ( $K_{10}$ , 支)。插牌单株地上部生长量最大时,测单株株高 ( $K_4$ , cm)、茎粗 ( $K_5$ , cm)、生育指数 ( $K_6$ , cm<sup>2</sup>)、第二主茎株高 ( $K_7$ , cm) 和第一分枝高度 ( $K_8$ , cm)。其中,茎粗为距地面 5 cm 的直径,公式:生育指数 = 株高 × 茎粗。

江西省位于长江中下游南岸,属亚热带季风气候,雨量丰沛,多年平均年降水量 1 638 mm,4—6 月为降雨集中期,降水量接近全年一半,是中国多雨省区之一<sup>[7]</sup>。芦笋露天种植,极易受茎枯病(芦笋癌症)危害,植株提前枯萎,甚至全田毁灭,故采用大棚避雨栽培生产。整体调查每个种质小区芦笋褐斑病、菌核病、根腐病、茎枯病的发生,评价其抗病性 ( $K_{11}$ ),分别标注好、一般、差。

1.3.3 品质性状测定 计算优质笋率 ( $K_{12}$ , %) 与商品笋率 ( $K_{13}$ , %),参照《植物新品种特异性、一致

性和稳定性测试指南 芦笋》<sup>[8]</sup> 嫩笋笋头形状、鳞芽包裹程度、笋身粗细对笋均匀度 ( $K_{14}$ ) 和笋外观品质 ( $K_{15}$ ) 分级,分别标注好、一般、差。

1.4 统计分析

分级结果好、一般、差分别赋值为 2、1、0 进行分析。采用 Microsoft Excel 2010 处理各性状数据,并计算其最小值、最大值、平均值、标准差、变异幅度、变异系数;进行 10 级分类,从第 1 级 [ $X_i < (X - 2\sigma)$ ] 到第 10 级 [ $X_i \geq (X + 2\sigma)$ ],中间每级间差  $0.5\sigma$ ,  $X$  为平均值,  $\sigma$  为标准差。每一级的相对频率用于计算 Simpson 多样性指数  $D_s$  进行描述和评价,公式:  $D_s = 1 - \sum (N_i/N)^2$ ,  $N_i$  表示某性状第  $i$  个代码值(即第  $i$  级)出现个数,  $N$  为总个体数<sup>[9]</sup>。采用 SPSS 25.0 进行相关性分析、通径分析、主成分分析、系统聚类分析。采用 DPS 7.05 进行灰色关联度分析。其中相关性分析采用皮尔逊(Pearson)相关系数表示。参考 Salkind 等对相关性的分级<sup>[10]</sup>, 0 ~ 0.2 为极弱相关或不相关, >0.2 ~ 0.4 为弱相关, >0.4 ~ 0.6 为中等相关, >0.6 ~ 0.8 为强相关, >0.8 ~ 1.0 为极强相关。

2 结果与分析

2.1 芦笋种质资源不同性状的多样性

由表 2 可知,15 个农艺及品质性状的变异系数范围为 8.03% ~ 53.90%,笋外观品质最大,为 53.90%,其次是优质笋产量,为 40.90%,见笋时间和商品笋率最小,均为 8.03%。变异系数由大到小排序:笋外观品质>优质笋产量>抗病性>商品笋产量>笋粗细均匀度>总产量>生育指数>抽笋数>茎粗>第一分枝高度>第二主茎株高>株

高>优质笋率>见笋时间=商品笋率。Simpson 多样性指数  $D_s$  范围为 0.279 1~0.850 2,优质笋产量最大,为 0.850 2,第二主茎株高次之,为 0.845 9,笋粗细均匀度最小,为 0.279 1,按  $D_s$  由大到小排序:优质笋产量>第二主茎株高>优质笋率>总产量>茎粗>商品笋产量>第一分枝高度>生育指数>见笋时间>株高>抽笋数>抗病性>笋外观品质>商品笋率>笋粗细均匀度。综上,该批芦笋种质资源类型丰富,遗传多样性较高,种质之间存在的差异大,有利于优异种质的比较和筛选。

表 2 芦笋种质资源农艺与品质性状的多样性分析

性状	最小值	最大值	均值	标准差	变异幅度	变异系数 (%)	Simpson 多样性指数 $D_s$
$K_1$ (kg/667 m <sup>2</sup> )	36.17	161.41	82.99	28.44	125.24	34.27	0.840 5
$K_2$ (kg/667 m <sup>2</sup> )	18.57	127.00	58.66	24.00	108.43	40.90	0.850 2
$K_3$ (kg/667 m <sup>2</sup> )	12.73	66.94	35.71	12.51	54.21	35.04	0.837 2
$K_4$ (cm)	96.00	185.00	143.26	19.49	89.00	13.61	0.803 7
$K_5$ (cm)	0.30	0.73	0.46	0.10	0.43	22.29	0.839 4
$K_6$ (cm <sup>2</sup> )	31.04	120.45	67.62	22.28	89.41	32.95	0.835 0
$K_7$ (cm)	82.00	165.00	124.95	19.65	83.00	15.73	0.845 9
$K_8$ (cm)	21.00	56.00	39.88	8.12	35.00	20.36	0.837 2
$K_9$ (d)	97.00	122.00	109.47	8.79	25.00	8.03	0.830 7
$K_{10}$ (支)	5.00	19.40	11.40	2.63	14.40	23.07	0.774 5
$K_{11}$	0	2.00	1.33	0.52	2.00	39.37	0.743 1
$K_{12}$ (%)	36.26	80.11	69.13	8.55	43.85	12.37	0.841 5
$K_{13}$ (%)	35.18	49.21	42.95	3.45	14.03	8.03	0.469 4
$K_{14}$	0	2.00	1.12	0.39	2.00	35.02	0.279 1
$K_{15}$	0	2.00	1.33	0.71	2.00	53.90	0.607 9

2.2 芦笋种质农艺及品质性状的相关性

表 3 结果显示,芦笋总产量与优质笋产量、商品笋产量极显著极强正相关;与株高极显著强正相关;与茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度和优质笋率极显著中等正相关,上述性状与芦笋总产量密切相关。而与其他性状相关系数均小于 0.3,呈弱相关或极弱相关且不显著,说明芦笋总产量与这些性状无关。见笋时间与株高极显著强负相关,与茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度极显著中等负相关,说明出笋越早株高越低,进而影响到其他株型性状。品质性状中,优质笋率与总产量、商品笋产量极显著中等正相关,与优质笋产量极显著强相关,说明优质笋率是芦笋产量品质的典型代表性状。笋粗细均匀度与抽笋数、抗病性极显著中等正相关,笋外观品质与抽笋数极显著弱正相关,与抗病性极显著强正相关,表明芦笋抽笋数、抗病性与芦笋品质密切相关,选育抽笋数多、

抗病性强的材料有利于提升芦笋品质。

2.3 芦笋种质总产量与各性状的途径分析

以芦笋总产量  $K_1$  为因变量、其他性状为自变量进行途径分析。线性回归方差分析表明,  $F = 676.832$  且达到极显著水平,说明芦笋总产量与各性状间存在极显著线性关系,可以进行下一步途径分析(表 4)。各性状对芦笋总产量的直接作用大小排序为:优质笋产量(0.566)>商品笋产量(0.533)>生育指数( $|-0.158|$ )>茎粗(0.125)>优质笋率( $|-0.124|$ )>商品笋率( $|-0.111|$ )>第二主茎株高(0.036)>抗病性(0.032)>株高(0.024)>第一分枝高度( $|-0.023|$ )>笋外观品质( $|-0.019|$ )>笋粗细均匀度( $|-0.013|$ )>抽笋数(0.011)>见笋时间( $|-0.008|$ )。直接途径系数越大,性状对产量的影响也越大,优质笋产量和商品笋产量对芦笋总产量直接贡献最大。而茎粗、第二主茎株高、抗病性、株高、抽笋数增加,芦笋总产量也增加。

表 3 芦笋种质农艺与品质性状的相关性分析

性状	相关系数														
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$K_{15}$
$K_1$	1	0.982 **	0.976 **	0.611 **	0.479 **	0.575 **	0.595 **	0.551 **	-0.238	0.214	0.137	0.543 **	0.064	0.144	0.266
$K_2$		1	0.964 **	0.594 **	0.485 **	0.574 **	0.582 **	0.541 **	-0.22	0.142	0.089	0.678 **	0.07	0.115	0.254
$K_3$			1	0.603 **	0.500 **	0.589 **	0.587 **	0.561 **	-0.234	0.207	0.091	0.544 **	0.265	0.185	0.218
$K_4$				1	0.657 **	0.841 **	0.908 **	0.833 **	-0.602 **	0.354 *	0.191	0.23	0.089	0.287	0.365 *
$K_5$					1	0.955 **	0.676 **	0.599 **	-0.449 **	0.217	0.136	0.357 *	0.171	0.328 *	0.329 *
$K_6$						1	0.821 **	0.737 **	-0.555 **	0.277	0.152	0.341 *	0.158	0.331 *	0.359 *
$K_7$							1	0.931 **	-0.586 **	0.317 *	0.199	0.255	0.096	0.366 *	0.342 *
$K_8$								1	-0.468 **	0.257	0.071	0.21	0.162	0.342 *	0.232
$K_9$									1	-0.253	-0.335 *	-0.035	-0.105	-0.300	-0.339 *
$K_{10}$										1	0.438 **	-0.128	0.049	0.463 **	0.342 *
$K_{11}$											1	-0.052	-0.086	0.510 **	0.730 **
$K_{12}$												1	0.027	-0.021	0.152
$K_{13}$													1	0.265	-0.159
$K_{14}$														1	0.287
$K_{15}$															1

注：\*、\*\* 分别表示在 5%、1% 水平上显著相关。

表 4 芦笋种质资源总产量与各性状的通径分析

性状	直接通径系数	间接通径系数														合计
		$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$K_{15}$	
$K_2$	0.566		0.514	0.014	0.061	-0.091	0.021	-0.012	0.002	0.002	0.003	-0.084	-0.008	-0.001	-0.005	0.415
$K_3$	0.533	0.546		0.014	0.063	-0.093	0.021	-0.013	0.002	0.002	0.003	-0.067	-0.029	-0.002	-0.004	0.441
$K_4$	0.024	0.336	0.321		0.082	-0.133	0.033	-0.019	0.005	0.004	0.006	-0.029	-0.010	-0.004	-0.007	0.586
$K_5$	0.125	0.275	0.267	0.016		-0.151	0.024	-0.014	0.004	0.002	0.004	-0.044	-0.019	-0.004	-0.006	0.353
$K_6$	-0.158	0.325	0.314	0.020	0.119		0.030	-0.017	0.004	0.003	0.005	-0.042	-0.018	-0.004	-0.007	0.732
$K_7$	0.036	0.329	0.313	0.022	0.085	-0.130		-0.021	0.005	0.003	0.006	-0.032	-0.011	-0.005	-0.006	0.558
$K_8$	-0.023	0.306	0.299	0.020	0.075	-0.116	0.034		0.004	0.003	0.002	-0.026	-0.018	-0.004	-0.004	0.573
$K_9$	-0.008	-0.125	-0.125	-0.014	-0.056	0.088	-0.021	0.011		-0.003	-0.011	0.004	0.012	0.004	0.006	-0.230
$K_{10}$	0.011	0.080	0.110	0.008	0.027	-0.044	0.011	-0.006	0.002		0.014	0.016	-0.005	-0.006	-0.006	0.202
$K_{11}$	0.032	0.050	0.049	0.005	0.017	-0.024	0.007	-0.002	0.003	0.005		0.006	0.010	-0.007	-0.014	0.105
$K_{12}$	-0.124	0.384	0.290	0.006	0.045	-0.054	0.009	-0.005	0.000	0.005	-0.002		-0.003	0.000	-0.003	0.672
$K_{13}$	-0.111	0.040	0.141	0.002	0.021	-0.025	0.003	-0.004	0.001	0.005	-0.003	-0.003		-0.003	0.003	0.178
$K_{14}$	-0.013	0.065	0.099	0.007	0.041	-0.052	0.013	-0.008	0.002	0.005	0.016	0.003	-0.029		-0.005	0.156
$K_{15}$	-0.019	0.144	0.116	0.009	0.041	-0.057	0.012	-0.005	0.003	0.005	0.023	-0.019	0.018	-0.004		0.286

从间接通径系数可知,优质笋产量通过商品笋产量的间接通径系数(0.546)最大,而商品笋产量通过优质笋产量的间接通径系数(0.514)次之,说明优质笋产量通过商品笋产量对芦笋总产量产生较大的影响;株高、茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度、优质笋率通过商品笋产量的间接通径系数分别为 0.321、0.267、0.314、0.313、0.299、0.290,说明这 6 个性状通过商品笋产量对芦笋总产量产生较大影响。结果进一步证实了优质笋产量与商品笋产量是直接影响芦笋总产量的重要性状,

株高、茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度、优质笋率也对芦笋产量产生较大的影响。

2.4 芦笋种质总产量与各性状的灰色关联度分析

以芦笋总产量  $K_1$  为母因素  $Y_1$ ,其他性状为子因素进行灰色关联度分析(表 5),依据各性状关联度值排序为:优质笋产量 > 商品笋产量 > 优质笋率 > 株高 > 生育指数 > 第二主茎株高 > 第一分枝高度 > 茎粗 > 笋外观品质 > 抽笋数 > 抗病性 > 商品笋率 > 笋粗细均匀度 > 见笋时间。其结果与“2.2”“2.3”节结果基本一致,可相互验证。

表 5 芦笋种质资源总产量与各性状的灰色关联度分析

关联矩阵	关联度值													
	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$K_{15}$
$Y_1$	0.943 3	0.927 5	0.772 1	0.750 7	0.768	0.767 5	0.755 9	0.657 4	0.719	0.718 8	0.793 3	0.707 2	0.705	0.724 4
排序	1	2	4	8	5	6	7	14	10	11	3	12	13	9

2.5 芦笋种质性状的主成分分析

对 43 份芦笋种质的 15 个农艺及品质性状进行 KMO 和 Bartlett’s 检验, KMO 系数为 0.703, Bartlett’s 球形检验  $P=0.000<0.05$ , 说明本研究考察性状适合进行下一步主成分分析。根据特征值大于 1 的原则提取了 4 个因子(表 6), 前 4 个特征根在 15 个特征根中累计贡献率达 79.121%, 基本能反映全部特征。

表 6 最大方差法旋转因子载荷矩阵

性状	载荷			
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
$K_1$	0.347	0.885	0.130	0.040
$K_2$	0.331	0.929	0.072	0.018
$K_3$	0.346	0.876	0.100	0.219
$K_4$	0.870	0.305	0.170	0.009
$K_5$	0.758	0.294	0.112	0.083
$K_6$	0.869	0.327	0.127	0.064
$K_7$	0.887	0.292	0.166	0.047
$K_8$	0.840	0.268	0.056	0.142
$K_9$	0.699	-0.073	0.289	-0.024
$K_{10}$	0.216	0.004	0.662	0.220
$K_{11}$	0.042	0.017	0.92	-0.137
$K_{12}$	0.072	0.776	-0.099	-0.105
$K_{13}$	0.078	0.066	-0.041	0.882
$K_{14}$	0.255	-0.028	0.646	0.477
$K_{15}$	0.229	0.180	0.745	-0.366
特征值	4.593	3.504	2.471	1.300
贡献率(%)	30.623	23.359	16.472	8.667
累计贡献率(%)	30.623	53.982	70.454	79.121

第 1 主成分特征值为 4.593, 贡献率为 30.623%; 正向载荷较高的有株高、茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度、见笋时间, 这些性状

皆为植株农艺性状指标, 故第 1 主成分命名为芦笋植株农艺因子。第 2 主成分特征值为 3.504, 贡献率为 23.359%; 正向载荷较高的性状有芦笋总产量、优质笋产量、商品笋产量、优质笋率, 均为直接产量因子, 故第 2 主成分命名为芦笋产量因子。第 3 主成分特征值为 2.471, 贡献率为 16.472%, 正向载荷较高的性状有抗病性、笋外观品质、抽笋数、笋粗细均匀度, 多数与嫩笋性状有关, 故第 3 主成分命名为嫩笋性状因子。第 4 主成分特征值为 1.300, 贡献率为 8.667%, 正向载荷较高的仅商品笋率 1 个指标, 因此第 4 主成分命名为商品笋率因子。

根据第 2 主成分产量因子各性状载荷量的大小研究其对总产量的影响, 排序为: 优质笋产量(0.929) > 商品笋产量(0.876) > 优质笋率(0.776) > 生育指数(0.327) > 株高(0.305) > 茎粗(0.294) > 第二主茎株高(0.292) > 第一分枝高度(0.268) > 笋外观品质(0.180) > 见笋时间(|-0.073|) > 商品笋率(0.066) > 笋粗细均匀度(|-0.028|) > 抗病性(0.017) > 抽笋数(0.004)。结果显示优质笋产量和商品笋产量依旧是影响芦笋总产量的直接因素, 优质笋率对产量的影响也较大, 农艺性状中生育指数对产量的影响最大, 株高、茎粗、第二主茎株高、第一分枝高度对产量的影响次之。

主成分综合评价见表 7, 依据各种质主成分综合得分  $T$  进行排名, 可分为 4 级。包括 3 份性状优良( $T\geq 1$ )、15 份性状较好( $0.1\leq T<1$ )、3 份性状一般( $0\leq T<0.1$ )、22 份性状较差( $T<0$ )。对主成分综合评价筛选的 3 份性状优良种质(V4、V18、V3)与其田间表现比较分析, 具有产量高、株型高大、出笋早的优质特征, 表明主成分综合评价具有一定的代表性。

表 7 芦笋种质资源主成分综合评价

分级	群集	主成分综合得分 $T$
I	性状优良	V4(1.11)、V18(1.10)、V3(1.05)
II	性状较好	V36(0.77)、V37(0.72)、V2(0.67)、V6(0.47)、V1(0.40)、V11(0.38) V8(0.37)、V10(0.37)、V34(0.32)、V24(0.22)、V17(0.19)、V35(0.19) V30(0.16)、V16(0.12)、V31(0.10)
III	性状一般	V40(0.08)、V41(0.04)、V25(0.02)
IV	性状较差	V7(-0.03)、V33(-0.07)、V15(-0.09)、V38(-0.09)、V32(-0.10)、V20(-0.13)、V23(-0.13)、V39(-0.16)、V22(-0.19)、V28(-0.31)、V14(-0.34)、V43(-0.38)、V12(-0.39)、V9(-0.42)、V42(-0.52)、V5(-0.56)、V13(-0.58)、V19(-0.59)、V27(-0.67)、V29(-0.76)、V21(-0.81)、V26(-1.52)

2.6 43 份芦笋种质系统聚类分析

组间连接法对 43 份芦笋种质的 15 个农艺及品质性状聚类分析,当阈值为 10.0 时将供试种质划分为 4 个群集(图 1),各类群的性状平均值与变异系数见表 8。第Ⅰ群集包括 20 份种质,占供试种质的 46.51%,主要特征是综合性状一般材料,性状特征介于第Ⅱ群集和第Ⅲ群集之间。

第Ⅱ群集包括 8 份种质,占供试种质的 18.60%,主要特征是芦笋总产量较低(58.17 kg/667 m<sup>2</sup>),株高(114.38 cm)、茎粗(0.37 cm)、生育指数(41.88 cm<sup>2</sup>)、第二主茎株高(96.50 cm)和第一分枝高度(27.50 cm),表现株型矮小,见笋时间晚(115.25 d)。

第Ⅲ群集包括 14 份种质,占供试种质的 32.56%,主要特征是芦笋总产量较高(111.42 kg/667 m<sup>2</sup>),株高(157.71 cm)、茎粗(0.53 cm)、生育指数(84.25 cm<sup>2</sup>)、第二主茎株高(140.71 cm)和第一分枝高度(45.79 cm),表现株型高大、见笋时间早(106.93 d)。

第Ⅳ群集包括 1 份种质,占供试种质的 2.33%,主要特征是芦笋总产量最高(161.41 kg/667 m<sup>2</sup>)、株高(185.00 cm)、茎粗(0.57 cm)、生育指数(105.45 cm<sup>2</sup>)、第二主茎高度(165.00 cm)和第一分枝高度(55.00 cm),表现株型最高大壮硕,见笋时间最早(97.00 d),即最优种质。

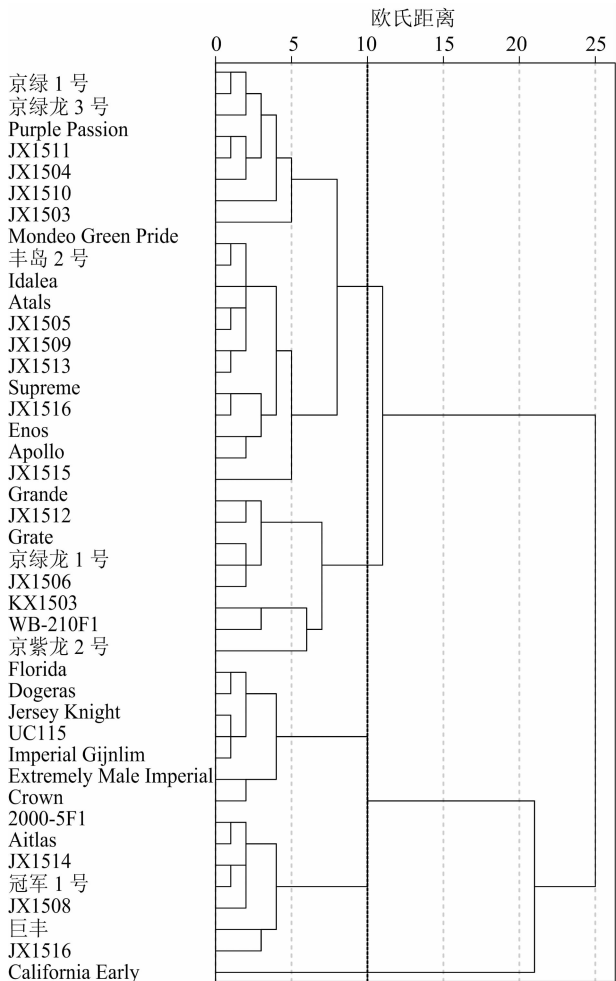


图1 43 份芦笋种质系统聚类

表 8 芦笋种质资源各群集性状特征表现

性状	群集Ⅰ		群集Ⅱ		群集Ⅲ		群集Ⅳ	
	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)	平均值	变异系数(%)
K <sub>1</sub> (kg/667 m <sup>2</sup> )	69.10	23.50	58.17	27.09	111.42	7.73	161.41	—
K <sub>2</sub> (kg/667 m <sup>2</sup> )	46.48	31.59	39.40	32.03	82.19	8.36	127.00	—
K <sub>3</sub> (kg/667 m <sup>2</sup> )	29.64	25.48	25.30	30.92	48.09	10.61	66.94	—
K <sub>4</sub> (cm)	142.60	6.19	114.38	10.06	157.71	8.25	185.00	—
K <sub>5</sub> (cm)	0.45	14.98	0.37	12.51	0.53	23.03	0.57	—
K <sub>6</sub> (cm <sup>2</sup> )	64.38	17.52	41.88	17.84	84.25	27.99	105.45	—
K <sub>7</sub> (cm)	123.30	7.35	96.50	10.75	140.71	9.44	165.00	—
K <sub>8</sub> (cm)	39.95	10.57	27.50	13.47	45.79	11.97	55.00	—
K <sub>9</sub> (d)	109.55	7.71	115.25	5.73	106.93	8.48	97.00	—
K <sub>10</sub> (支)	11.82	20.21	9.41	26.93	11.96	22.95	11.30	—
K <sub>11</sub>	1.30	36.17	1.25	56.57	1.43	35.95	1.00	—
K <sub>12</sub> (%)	66.13	14.05	67.21	13.81	73.85	5.48	78.68	—
K <sub>13</sub> (%)	42.79	7.19	43.14	12.00	43.18	7.28	41.47	—
K <sub>14</sub>	1.20	34.20	0.88	40.41	1.14	31.77	1.00	—
K <sub>15</sub>	1.30	50.53	1.00	92.58	1.50	43.36	2.00	—

2.7 优异种质筛选

根据性状鉴定结果,综合考虑矮秆(株高≤100 cm),高秆(株高≥170 cm),出笋早(见笋时间<100 d),高产(总产量≥120 kg/667 m<sup>2</sup>)等性状,筛选上述 4 类优异种质共 9 份(表 9),其中矮秆种质 2 份,为 JX1506(江西)、京紫龙 2 号(北京),隶

属于聚类群集Ⅱ;高秆种质 4 份,分别为 Dogeras、Jersey knight、UC115、Imperial,均收集于美国,隶属于聚类群集Ⅲ;高产种质 2 份,为巨丰(山东)、JX1516(江西),隶属于聚类群集Ⅲ;兼具高秆、出笋早、高产最优种质 1 份,为 California early(美国),隶属于群集聚类Ⅳ,有利于进一步生产与育种利用。

表 9 芦笋优异种质性状特征表现

种质类型	种质编号	种质名称	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	K <sub>10</sub>	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>	K <sub>14</sub>	K <sub>15</sub>
I	V29	JX1506	74.73	51.55	32.45	96.00	0.35	33.60	89.00	26.00	117.00	8.10	1	68.98	43.43	1	0
	V26	京紫龙 2 号	36.17	26.91	12.73	97.00	0.32	31.04	82.00	25.00	119.00	5.00	0	74.39	35.18	0	0
Ⅱ	V37	Dogeras	98.79	73.28	46.12	170.00	0.70	119.00	152.00	52.00	102.00	10.10	1	74.18	46.68	1	2
	V4	Jersey Knight	114.53	83.61	53.96	173.00	0.62	107.26	155.00	51.00	100.00	13.90	2	73.00	47.11	2	2
	V36	UC115	106.48	81.70	49.80	177.00	0.58	102.66	162.00	56.00	102.00	10.60	1	76.73	46.77	1	2
	V6	Imperial	106.48	83.05	44.03	178.00	0.51	90.78	151.00	49.00	100.00	13.20	1	78.00	41.35	1	0
Ⅲ	V24	巨丰	122.63	92.48	51.04	146.00	0.33	48.18	128.00	42.00	119.00	12.20	2	75.41	41.62	1	2
	V34	JX1516	129.75	96.96	61.60	139.00	0.51	70.89	116.00	41.00	119.00	10.20	1	74.73	47.48	1	1
Ⅳ	V18	California Early	161.41	127.00	66.94	185.00	0.57	105.45	165.00	55.00	97.00	11.30	1	78.68	41.47	1	2

3 结论与讨论

种质资源遗传多样性研究对资源引选、亲本组配、杂种优势利用及新品种创制具有重要的指导意义<sup>[11]</sup>。农艺性状与作物生产直接相关,易识别鉴定,是作物种质研究和遗传分类的重要依据。但农艺性状复杂多样,易受环境影响,选择难度大,因此科学方法的运用显得尤为重要<sup>[12]</sup>。本研究搜集 43 份国内外芦笋新品种(系),对 15 个主要农艺及品质性状进行变异分析、Simpson 多样性指数、相关分析、通径分析、灰色关联度分析、主成分分析、系统聚类分析,研究其遗传多样性,结果可为育种实践提供参考。

3.1 芦笋种质遗传多样性

遗传变异系数是遗传变异潜力大小的标志,表示群体中直接选择的范围<sup>[12]</sup>。对 43 份芦笋种质的主要农艺及品质性状分析发现,变异系数最大为 53.90%,最小为 8.03%,平均 26.33%,Simpson 多样性指数 D<sub>s</sub> 最大为 0.850 2,最小为 0.279 1,平均 0.749 0,说明该批芦笋种质资源性状的资源类型丰富,农艺性状差异明显,具有丰富的遗传多样性。优质笋产量、商品笋产量、茎粗、生育指数、第一分枝高度、抽笋数、抗病性、笋外观品质等 8 个性状的变异系数均在 20% 以上,且 D<sub>s</sub> 均大于 0.6,说明上述性状指标具有较大的选择潜力,可利用杂交配组

进行高产、高抗、品优的选育。

3.2 芦笋种质产量与各性状的多重分析

相关性分析结果显示,各性状至少与其他 1 个性状存在极显著或显著相关。优质笋产量、商品笋产量与芦笋总产量极显著强正相关,是影响其总产量的直接因素。总产量与株高极显著强相关,与茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度极显著中等相关,与优质笋率极显著中等相关,说明这些性状的变化直接影响芦笋总产量的变化,其结论在通径分析、灰色关联度分析和主成分因子载荷量中都得到相互验证,表明上述性状的改良有利于快速提升芦笋品质。值得注意的是,见笋时间与产量指标呈弱负相关且不显著,与株高、茎粗、生育指数、第二主茎株高、第一分枝高度呈中等或强负相关且极显著,说明见笋时间通过影响芦笋株形而影响产量。但芦笋最重要的采收时间为春季光头笋时期,出笋越早,越有利于提前上市,产品价格越高。据调查发现,1、2 月份春节期间上市的鲜芦笋比平时价格高 20~30 元/kg。因此在创制新品种时应注意育种目标与生产实际结合,选育贴合市场的优良品种。陈河龙等认为,株高、第一分枝高度、茎粗是芦笋的主要农艺性状,株高与产量密切相关<sup>[13]</sup>。王培等认为,芦笋品种间株高和茎数差异显著,与产量密切相关<sup>[14]</sup>。李霞等认为,优质笋率是评价芦笋质量的重要指标<sup>[15]</sup>。本研究结果与前人结论基本一

致,但是主成分累计贡献率为 79.12%,说明还有一些性状未被考虑在内,如一级分枝数、一级分枝间距、笋鳞片数量、长宽度等。

### 3.3 芦笋种质主成分综合评价与系统聚类分析

主成分分析可将较多的性状进行降维分类,以提炼出较少的比较独立的主成分,用于作物农艺性状的评价和筛选,既能把握其综合性状表现,又能简化选择程序,且更具有科学性<sup>[16]</sup>。本研究通过主成分分析,将 15 个性状降为 4 个主成分,分别反映了芦笋的植株农艺因子、产量因子、嫩笋性状因子与商品笋率因子,累计贡献率 79.121%。通过主成分综合评价,将 43 份种质划分为 4 类,其中 3 份性状优良,15 份性状较好,3 份性状一般,22 份性状较差。育种工作者可根据上述 4 个主要特征及材料群集,有针对性地发掘育种中间材料,进而有效利用资源。

系统聚类分析不仅可揭示品种类群间的遗传差异,还可了解类群内品种的遗传相似性,为作物新品种选育提供科学依据<sup>[17-18]</sup>。本研究当阈值为 10 时,将 43 份芦笋种质划分为 4 类,分别为综合性状一般种质,低产、株型矮小、晚出笋种质,高产、株型高大、早出笋种质与最优种质。与主成分综合评价结果比较分析,发现 3 份性状优良种质分别属于第Ⅲ和第Ⅳ群集,性状较好的 15 份种质除 V10 和 V11 隶属于第Ⅰ群集外,其余均隶属第Ⅲ群集。表明虽算法不同,但其对种质的最终评价基本可以相互印证。

### 3.4 芦笋优异种质筛选

选择优良品种是发展芦笋产业、保障经济效益的关键。通过聚类分析筛选获得 14 份高产种质和 1 份最优种质。Bussell 等研究发现,通过两季测产评价芦笋多年产量<sup>[19]</sup>,其方法的可靠性被 Scholten 等在品种选育和生产中验证<sup>[20]</sup>。因此上述 15 份种质可用于下一步品种生产推广综合评价。

除高产种质用于推广生产外,其他优异种质可用于基因的挖掘和新品种的创制。依据对芦笋性状改良实际,从 43 份芦笋种质中筛选了高秆、矮秆、出笋早、高产等优异种质 9 份,可作为芦笋育种的亲本材料。

#### 参考文献:

[1] Chitrakar B, Zhang M, Adhikari B. *Asparagus* ( *Asparagus*

*officinalis* ): processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard - stem by products [ J ]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 93: 1 - 11.

[2] 陈光宇. 药食同源之新兴产业 芦笋大健康 [ J ]. 中国农村科技, 2019 ( 1 ): 66 - 69.

[3] 周兆禧, 陈莹, 明建鸿, 等. 基于表型性状的油梨种质资源遗传多样性分析 [ J ]. 园艺与种苗, 2019, 39 ( 3 ): 18 - 23.

[4] 崔彦芹, 徐婧, 郭元章, 等. 芝麻品种区域试验北方片区综合剖析及育种变化趋势 [ J ]. 中国油料作物学报, 2020, 42 ( 3 ): 401 - 410.

[5] 江西省质量技术监督局. 芦笋设施避雨栽培技术规程: DB36/T 1004—2017 [ S ]. 2017.

[6] Zhu Q J, Chen L L, Sun X, et al. Evaluation of the adaptability of 28 green *Asparagus* cultivars [ J ]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14 ( 2 ): 235 - 242.

[7] 李世勤. 江西: 项目建设突出重点 三级平台数据共享 [ J ]. 中国水利, 2012 ( 23 ): 22 - 23, 30.

[8] 中华人民共和国农业部. 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 芦笋: NY/T 2496—2013 [ S ]. 北京: 中国农业出版社, 2014.

[9] 赵朝森, 王瑞珍, 赵现伟. 国外大豆种质资源农艺及品质性状分析与评价 [ J ]. 植物遗传资源学报, 2021, 22 ( 3 ): 665 - 673.

[10] Srikanth A, Schmid M. Regulation of flowering time: all roads lead to Rome [ J ]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2011, 68 ( 12 ): 2013 - 2037.

[11] 朱世杨, 张小玲, 刘庆, 等. 花椰菜自交系主要形态性状的主成分分析和聚类分析 [ J ]. 植物遗传资源学报, 2012, 13 ( 1 ): 77 - 82.

[12] 史建磊, 陈先知, 黄宗安, 等. 华南型黄瓜主要农艺性状遗传多样性评价 [ J ]. 核农学报, 2016, 30 ( 10 ): 1914 - 1924.

[13] 陈河龙, 高建明, 张世清, 等. 芦笋种质资源 ISSR 分析 [ J ]. 热带作物学报, 2018, 39 ( 3 ): 520 - 524.

[14] 王培, 漆慧娟, 张旭娟, 等. 芦笋种质资源农艺学性状分析 [ J ]. 长江蔬菜, 2015 ( 10 ): 7 - 9.

[15] 李霞, 刁家连, 张元国, 等. 影响芦笋产量性状的相关性分析 [ J ]. 中国农学通报, 2005, 21 ( 6 ): 273 - 277.

[16] 张向前, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析 [ J ]. 植物遗传资源学报, 2010, 11 ( 2 ): 168 - 174.

[17] 王江民, 肖植文, 张建华, 等. 聚类分析法在 28 个玉米杂交种筛选中的应用 [ J ]. 西南农业学报, 2014, 27 ( 2 ): 480 - 484.

[18] 樊树雷, 李和孟, 邱宝财, 等. 基于主成分及聚类分析的 10 个杨梅品种生产性状综合评价 [ J ]. 江苏农业科学, 2020, 48 ( 14 ): 170 - 173.

[19] Bussell W T, Falloon P G, Nikoloff A S. Evaluation of *Asparagus* yield performance after two years' harvesting [ J ]. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 1987, 15 ( 2 ): 205 - 208.

[20] Scholten C T J, Boonen P H G. *Asparagus* breeding in the Netherlands [ J ]. Acta Horticulturae, 1996, 415: 67 - 70.