

豌豆嫩尖几个营养品质性状的遗传多样性分析 及其综合评价

崔 翠, 孙建蓉, 赵愉风, 郜欢欢, 程 闯, 王瑞莉, 王刘艳, 周清元

(西南大学农学与生物科技学院, 重庆 400715)

摘要: 豌豆尖是我国的一种传统蔬菜, 筛选适于豌豆尖用的菜用豌豆种质对豌豆栽培和育种具有重要意义。本研究以 97 份不同来源豌豆为研究材料, 测定其豌豆尖中可溶性蛋白、维生素 C、淀粉、纤维素、可溶性糖、含水量、叶绿素含量共 7 个主要品质性状, 通过遗传多样性指数、频次分布、相关性、平均隶属函数和聚类, 分析其遗传多样性, 进行种质资源综合评价。研究表明, 97 份菜用豌豆种质的豌豆尖材料各品质性状的变异系数介于 2.80%~38.64% 之间, 其中纤维素含量变异系数最大(38.64%); 各性状遗传多样性指数介于 2.02~2.94 之间, 其中可溶性糖遗传多样性指数最高。利用隶属函数法进行综合评价, 平均隶属函数排名前 5 的种质分别为澳引 3 号、韩国甜脆豆、SWU-6、改良永盛珍宝和 B-61。将各品质性状标准化后进行系统聚类, 采用离差平方和法在欧氏遗传距离 $D=18.480$ 处可以将 97 份菜用豌豆分为 3 个类群, 第 I 类群包含 35 份种质, 第 II 类群包含 26 份种质, 第 III 类群包含 36 份种质。本研究 97 份豌豆嫩尖的 7 个品质性状均表现出广泛的遗传变异和丰富的遗传多样性, 平均隶属函数值较高的 5 份豌豆种质分布在不同类群, 研究结果可为豌豆嫩尖用品种选育和遗传研究提供参考。

关键词: 豌豆尖; 品质; 遗传多样性; 综合评价; 聚类分析

Genetic Diversity Analysis and Comprehensive Evaluation of Several Nutritional Quality Traits in Pea Sprouts

CUI Cui, SUN Jian-rong, ZHAO Yu-feng, GAO Huan-huan, CHENG Chuang, WANG Rui-li,

WANG Liu-yan, ZHOU Qing-yuan

(College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715)

Abstract: Pea sprouts is a kind of traditional vegetable in China. Therefore, it is of great significance to screen vegetable pea varieties with high nutritional quality for cultivation and breeding of pea sprouts. In this study, seven main nutritional quality traits in sprouts of 97 pea including soluble protein, vitamin C, starch, cellulose, soluble sugar, water content and so on, were measured to explore the characteristics of nutritional quality in different genotypes of *Pisum sativum* L.. The comprehensive evaluation of tested germplasm were performed according to genetic diversity index, frequency distribution, correlation analysis, the average membership function and cluster analysis of nutritional quality in pea sprouts. The results showed that the variation coefficient of the quality traits of the tested germplasm ranged from 2.80% to 38.64%, among them, the variation coefficient of cellulose content was the largest (38.64%). Also, the genetic diversity index ranged from 2.02 to 2.94, showing extensive genetic variation. According to the results of comprehensive evaluation based on the average membership function method, the top 5 germplasm were Aoyin 3, Korean sweet crispy pea, SWU-6,

收稿日期: 2018-10-24 修回日期: 2018-12-31 网络出版日期: 2019-03-15

URL: <http://www.doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181024002>

第一作者研究方向为作物高产高效栽培与作物逆境生物学, E-mail: cuigreeny@163.com

通信作者: 周清元, 研究方向为作物种质资源的研究与利用, E-mail: zhouqy2005@163.com

基金项目: 重庆市社会事业与民生保障科技创新 (cstc2015shmszx80026); 国家农业部现代农业产业技术体系 (CARS-12)

Foundation project: The Science and Technology Committee of Chongqing (cstc2015shmszx80026), China Agriculture Research System (CARS-12)

Improved Yongshengzhenbao, and B-61. Cluster analysis was carried out based on characteristics of nutritional quality, then, the tested germplasm were roughly divided into three groups at the Euclidean distance $D = 18.480$. There are 35 germplasm in Group I, 26 germplasm in Group II and 36 germplasm in Group III. In conclusion, the seven quality traits of 97 peas sprouts showed extensive genetic variation and abundant genetic diversity, and the 5 pea germplasm with higher nutritional quality were distributed in different groups. And the results can be used as reference for breeding and genetic study of new pea cultivars with tender tip.

Key words: Pea sprouts; quality; genetic diversity; comprehension evaluation; cluster analysis

豌豆 (*Pisum sativum* L.) 是一年生或越年生草本植物, 其耐旱、耐寒、耐瘠, 适应性强, 是世界第四大食用豆类作物^[1]。豌豆分为干籽粒用豌豆和菜用豌豆两种主要类型。菜用豌豆是以食用嫩茎尖、嫩荚、鲜豆粒为主的豆类特菜。菜用豌豆富含可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉和维生素等多种成分^[2], 食用清香脆嫩, 被称为“蔬菜圈里的优秀物种”。蔬菜豌豆产量在过去 50 年里稳步增长, 2000-2012 年间, 世界蔬菜豌豆种植面积为 160 万~220 万 hm^2 之间, 产量为 $12.0 \times 10^6 \sim 17.4 \times 10^6 \text{ t}$ ^[3], 其中, 中国是蔬菜豌豆主要生产国之一^[3]。豌豆尖, 又称豌豆苗或龙须菜, 是豌豆的幼嫩茎叶部分, 在我国四川、重庆、云南、广东等地均有一定面积生产。豌豆尖富含异黄酮、香豆素等植物激素类物质, 有很好的抗癌、抗氧化及消炎作用; 含丰富的膳食纤维, 具有增强新陈代谢的功能。豌豆尖采收周期短, 播种 30 d 后即可采收, 其后每隔 15~20 d 即可采收 1 次。生产过程中无需大量施肥用药, 是一种优质、食用安全、速生无污染的高档绿色蔬菜^[4], 具有较高的营养价值和经济价值。然而, 关于豌豆尖生产专用品种的相关研究报道很少。我国收集保存的豌豆种质资源约 4000 余份, 其中约 80% 来源于国内 28 个省区, 约 20% 源自世界五大洲^[3]。种质资源是新品种选育的物质基础, 对豌豆种质资源遗传多样性准确、合理的评价是提高豌豆资源创新和利用效率的前提。研究国内外豌豆资源的遗传多样性, 掌握其遗传特点及规律, 对于充分发掘和利用优异豌豆种质资源进行豌豆育种及拓宽育成品种的遗传基础均具有重要意义。国内外利用豌豆农艺性状和分子标记对豌豆种质资源鉴定及其遗传多样性研究均有报道^[5-17], 但由于品质分析工作繁琐、工作量大, 迄今还少有关于豌豆品质性状遗传多样性的研究报道。本研究以国内外收集到的 97 份菜用豌豆为研究材料, 在苗期采摘豌豆嫩尖测定其叶绿素、可溶性蛋白、维生

素 C、可溶性糖、淀粉、纤维素含量等品质性状, 通过频次分布、遗传多样性、平均隶属函数、聚类分析等方法, 对 97 份菜用豌豆种质进行评价, 筛选适用于优质豌豆尖生产的优良品种, 用于栽培和遗传育种研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试豌豆种质 97 份 (表 1), 是从澳大利亚、法国、韩国和中国收集的不同来源豌豆品种及其部分后代选系。由西南大学农学与生物科技学院提供。

1.2 试验设计

试验于 2016 年 11 月至 2017 年 4 月在西南大学校本部试验农场进行。试验地块土层厚、平坦、肥力中等。2016 年 11 月 6 日播种, 每品种 (系) 20 穴, 每穴 10 粒种子, 穴距 27 cm, 覆土 3~5 cm。3 个重复, 随机区组试验设计。苗高 7~10 cm 时进行定苗, 每穴留生长基本一致、健壮苗 4 株。后期根据需要统一进行除草、施肥与灌溉, 其他栽培管理与一般大田相同。

1.3 豌豆尖品质性状测定

在 5~7 片完全展开叶时, 每个品种 (系) 选取长势一致的植株, 用 SPAD-502 叶绿素含量测定仪测定从上往下第 1 片完全展开叶 SPAD 值, 每品种 (系) 每重复选取 3 株, 每叶测 3 次, 取平均值。每品种 (系) 取长势基本一致的 10 株豌豆尖 (长度为顶部真叶刚展开时茎尖部分) 混合样, 用于测定水分、可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉、纤维素和维生素 C 含量。其中, 含水量的测定采用烘干法^[6]; 可溶性蛋白含量测定用考马斯亮蓝染色法^[18]; 可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[18]; 淀粉和纤维素含量测定用硫酸提取蒽酮比色法^[18]; 维生素 C 含量测定采用 2, 6-二氯酚酚滴定法^[19]。

表1 试验材料

Table 1 Experimental materials

种质名称 Germplasm name	类型 Type	原产地 Source	种质名称 Germplasm name	类型 Type	原产地 Source	种质名称 Germplasm name	类型 Type	原产地 Source
中碗6号	育成品种	中国北京	奇珍76	引进品种	中国台湾	B-52	品系	中国重庆
中碗9号	育成品种	中国北京	香港荷兰豆	引进品种	中国香港	B-61	品系	中国重庆
中碗10号	育成品种	中国北京	长荚豌豆	引进品种	意大利	B-35	品系	中国重庆
中碗4号	育成品种	中国北京	SWU-5	地方品种	中国甘肃	D-2	品系	中国重庆
白花双荚818	育成品种	中国广东	SWU-6	地方品种	中国甘肃	B-63	品系	中国重庆
改良11号	育成品种	中国广东	SWU-8	地方品种	中国甘肃	F-1	品系	中国重庆
UY099	育成品种	中国广东	SWU-9	地方品种	中国甘肃	D-26	品系	中国重庆
UY039	育成品种	中国广东	S04	地方品种	中国甘肃	D-27	品系	中国重庆
双荚荷兰豆	育成品种	中国广东	SWU-10	地方品种	中国甘肃	B-51	品系	中国重庆
大荚荷兰豌豆	育成品种	中国河北	SWU-11	地方品种	中国甘肃	B-58	品系	中国重庆
荷兰豆1号	育成品种	中国河北	SWU-12	地方品种	中国甘肃	B-60	品系	中国重庆
荷兰豆2号	育成品种	中国河北	SWU-13	地方品种	中国甘肃	B-19	品系	中国重庆
奥珍食荚菜豌豆	育成品种	中国河北	SWU-14	地方品种	中国甘肃	D-29	品系	中国重庆
苏豌豆1号	育成品种	中国江苏	翠珍甜豌豆	地方品种	中国广东	D-6	地方品种	中国四川
朱砂红	育成品种	中国四川	D-30	地方品种	中国广东	D-19	地方品种	中国四川
食荚大菜豌豆6号	育成品种	中国四川	A-2	地方品种	中国广西	D-21	地方品种	中国四川
食荚大菜豌豆1号	育成品种	中国四川	翠青豆	地方品种	中国河北	D-14	地方品种	中国浙江
无须豌豆尖1号	育成品种	中国四川	D-17	地方品种	中国河北	安吉红花豌豆	地方品种	中国浙江
成豌豆7号	育成品种	中国四川	甜豆	地方品种	中国江西	安吉大豌豆	地方品种	中国浙江
成豌豆8号	育成品种	中国四川	A-1	地方品种	中国江西	B-15	地方品种	中国重庆
翡翠豌豆尖	育成品种	中国四川	SWU-15	地方品种	中国内蒙古	B-57	地方品种	中国重庆
澳引1号	引进品种	澳大利亚	D-15	地方品种	中国山东	D-1	品系	中国重庆
澳引2号	引进品种	澳大利亚	紫丁荷兰豆	地方品种	中国山东	D-3	品系	中国重庆
澳引3号	引进品种	澳大利亚	D-16	地方品种	中国山东	D-4	品系	中国重庆
大荚红花荷兰豆	引进品种	法国	SWU-16	地方品种	中国山东	D-11	品系	中国重庆
604荷兰豆	引进品种	中国福建	B-17	地方品种	中国四川	B-21	品系	中国重庆
韩国双荚	引进品种	韩国	SWU-4	地方品种	中国四川	D-7	品系	中国重庆
韩国甜脆豆	引进品种	韩国	D-18	地方品种	中国四川	D-13	品系	中国重庆
甜豌豆	引进品种	美国	黑眉豌豆	地方品种	中国四川	D-5	品系	中国重庆
甜脆食荚豆	引进品种	美国	D-25	品系	中国重庆	D-23	品系	中国重庆
改良永盛珍宝	引进品种	美国	B-55	品系	中国重庆	D-27	品系	中国重庆
美国肥仔	引进品种	美国	D-9	品系	中国重庆			
特选11号	引进品种	中国台湾	B-19	品系	中国重庆			

1.4 数据处理与分析

以 Microsoft Excel 2013 软件整理数据,并计算各性状最大值、最小值、平均值和变异系数。采用 DPS 7.05 分析软件进行简单相关分析。

根据平均值(\bar{X})和标准差(S)进行分级处理和频次分布,即每个性状进行 10 级分类,1 级 $< \bar{X}-2S$, 10 级 $\geq \bar{X}+2S$, 中间每隔 $0.5S$ 为 1 级,每 1 级的相对频率(P_i)用于计算遗传多样性指数。遗传多样性指数即 Shannon-Wiener index (H'), 计算公式^[20]: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$, 其中, P_i 为某性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比。

含水量、蛋白质含量、叶绿素含量、可溶性糖含量、维生素 C 含量、淀粉含量 6 个性状采用正向隶属函数法^[21]对试验材料进行品质综合评价, 计算公式: $U_{(X_i)} = (X_i - X_{i,\min}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min})$, $i=1, 2, 3, \dots, n$; 纤维素含量采用负向隶属函数法进行品质综合评价, 计算公式: $U_{(X_i)} = 1 - (X_i - X_{i,\min}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min})$, $i=1, 2, 3, \dots, n$; 式中, $U_{(X_i)}$ 是种质材料的第 i 特征的隶属函数, X_i 是种质材料的第 i 个特征值, $X_{i,\max}$ 和 $X_{i,\min}$ 分别是所有种质资源中第 i 特征的最大值和最小值。每个待评价品种(系)的各个特征的隶属函数值相加, 计算平均值, 即为平均隶属函数值。

聚类分析采用 DPS 7.05 软件, 聚类分析过程中, 为便于数量化和统计分析, 数据首先进行标准化转换, 种间遗传距离为欧氏距离, 聚类分析采用离差平方和法。

2 结果与分析

2.1 菜用豌豆尖品质性状的表型及遗传多样

根据 97 份豌豆嫩尖各营养品质性状(表 2),

统计其平均值、最大值、最小值、标准差和变异系数, 并对各性状在品种间差异进行方差分析(表 3)。结果表明, 7 个品质性状的品种间差异均具有统计学意义。不同性状的变异系数差异较大, 其中纤维素含量变异系数最大, 为 38.64%; 含水量变异系数最小, 仅 2.80%。其余 5 个性状的变异系数分别为: 可溶性糖为 36.67%, 可溶性蛋白为 29.78%, 淀粉为 27.10%, 维生素 C 为 22.70%, 叶绿素含量为 12.26%。统计 97 份豌豆尖主要品质性状频次分布并计算其遗传多样性指数(表 4)。从频次分布看, 各性状在群体均值左右分布最多, 多表现为单峰, 呈现连续性分布, 为典型的数量性状表现特点。其中: 含水量在 86.15%~92.03% 之间的品种占总品种数量的 93%, 变异范围小, 频次分布结果与变异系数结果基本一致; 可溶性蛋白含量主要分布在 23.71~51.76 mg/g 之间; 而维生素 C 在 3.44~4.99 $\mu\text{g/g}$ 和 6.02~7.57 $\mu\text{g/g}$ 间各出现一个峰值; 叶绿素含量主要集中在 27.62~36.89 SPAD 区间; 可溶性糖含量在 1.46%~1.68% 间的种质数较多; 72% 的品种淀粉含量在 10.26%~22.41% 之间; 87% 的品种纤维素在 0.34%~1.26% 之间。各品质性状多样性指数都大于 2, 均值为 2.49, 其中可溶性糖含量多样性指数最高(2.94), 其他性状依次为淀粉(2.78)、维生素 C(2.78)、纤维素(2.42)、含水量(2.12)、叶绿素(2.11)及可溶性蛋白含量(2.02)。从品种间均值差异性检验、变异系数、最大值、最小值和遗传多样性指数等结果分析, 豌豆尖 7 个营养品质性状在 97 份参试豌豆种质间差异明显, 遗传多样性较丰富, 改良潜力较大, 可为选育豌豆尖用品种提供优异的种质资源, 对生产含糖量高、脆嫩的豌豆尖具有一定的参考价值。

表 2 97 份豌豆尖主要营养品质性状的表现

Table 2 Performance of main nutritional quality traits in 97 pea tips

种质名称 Germplasm name	含水量(%) Water content	可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	维生素 C ($\mu\text{g/g}$) V_c	叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	可溶性糖(%) Soluble sugar	淀粉(%) Starch	纤维素(%) Cellulose
中碗 6 号	80.87	26.66	43.54	33.50	1.53	21.79	1.06
中碗 9 号	86.80	26.34	43.13	37.85	1.93	14.44	1.37
中碗 10 号	89.81	35.56	41.88	38.45	1.47	20.66	0.34
中碗 4 号	85.94	39.26	41.04	32.03	0.69	21.33	0.69
白花双荚 818	55.45	26.29	67.71	30.23	1.76	12.86	0.52
改良 11 号	88.67	29.83	69.38	34.15	0.51	17.38	0.97
UY099	86.97	37.75	41.04	31.08	0.42	18.28	0.98

表 2(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 (%) Water content	可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	维生素 C ($\mu\text{g/g}$) V_c	叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	可溶性糖 (%) Soluble sugar	淀粉 (%) Starch	纤维素 (%) Cellulose
UY039	88.78	35.41	59.79	33.98	0.75	11.62	0.97
双荚荷兰豆	89.50	43.64	53.13	35.35	0.57	7.44	0.75
荷兰大荚豌豆	86.88	33.38	46.04	33.28	0.56	20.20	1.04
荷兰豆 1 号	90.80	75.72	34.79	33.93	0.92	17.04	0.84
荷兰豆 2 号	89.79	28.79	67.71	36.65	1.83	19.75	1.22
奥珍食荚菜豌豆	88.16	70.82	45.63	41.45	1.21	23.82	1.23
苏豌豆 1 号	85.97	37.23	43.96	29.23	0.81	16.14	0.65
朱砂红	90.19	39.00	52.71	36.05	1.74	15.46	0.43
食荚大菜豌豆 6 号	90.22	35.15	68.13	33.65	2.00	11.05	0.76
食荚大菜豌豆 1 号	86.88	29.63	68.54	30.63	0.39	16.25	1.08
无须豌豆尖 1 号	88.04	40.93	51.46	31.38	1.99	10.94	1.27
成豌豆 7 号	83.28	33.17	64.38	24.53	1.41	13.99	0.96
成豌豆 8 号	82.17	36.45	65.63	28.08	1.97	12.07	2.16
翡翠豌豆尖	90.75	47.85	42.71	31.60	1.41	17.60	0.89
澳引 1 号	89.56	34.83	38.13	29.40	0.62	16.02	0.86
澳引 2 号	90.09	39.47	36.04	30.55	0.44	12.52	1.00
澳引 3 号	89.24	45.77	75.63	32.60	1.65	20.99	0.78
大荚红花荷兰豆	90.72	26.66	44.38	33.93	1.28	13.31	0.87
604 荷兰豆	89.43	26.34	47.29	31.63	1.79	20.54	1.15
韩国双荚	90.60	42.80	42.71	29.35	1.27	22.12	1.82
韩国甜脆豆	89.37	35.09	55.21	35.18	1.75	21.90	0.53
甜豌豆	82.00	43.74	65.63	26.98	0.70	18.85	0.88
甜脆食荚豆	90.02	21.24	66.04	37.15	1.60	13.42	0.54
改良永盛珍宝	89.29	24.63	36.04	36.60	1.79	23.25	0.54
美国肥仔	90.55	31.66	44.38	33.35	1.40	11.28	1.48
特选 11 号	95.85	40.04	48.54	33.90	1.52	10.37	0.34
奇珍 76	90.27	45.72	40.63	34.48	1.11	15.68	0.87
香港荷兰豆	89.56	25.41	48.96	32.50	0.86	21.90	0.41
长荚豌豆	89.18	38.17	41.04	27.98	1.75	16.93	0.44
SWU-5	89.64	40.67	38.54	26.13	1.87	18.17	0.46
SWU-6	91.62	35.77	58.13	34.58	1.94	22.80	0.70
SWU-8	90.18	44.31	45.63	30.98	1.61	18.40	0.87
SWU-9	89.27	25.35	47.71	31.48	1.94	13.65	0.78
S04	86.81	24.42	43.13	30.18	1.14	20.43	1.50
SWU-10	88.56	36.81	46.88	48.73	1.21	10.82	0.78
SWU-11	88.77	19.73	39.38	29.33	1.54	13.99	0.98
SWU-12	90.11	33.06	46.04	30.90	0.99	19.30	1.00
SWU-13	88.08	20.51	43.54	37.10	0.98	18.06	0.78

表 2(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 (%) Water content	可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	维生素 C ($\mu\text{g/g}$) V_c	叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	可溶性糖 (%) Soluble sugar	淀粉 (%) Starch	纤维素 (%) Cellulose
SWU-14	88.16	43.64	69.79	25.80	0.92	12.07	0.82
翠珍甜豌豆	91.45	38.32	52.29	34.65	1.13	12.41	0.61
D-30	87.93	19.42	68.54	32.00	0.91	15.12	1.42
A-2	90.46	43.11	35.21	30.25	1.65	19.30	0.54
翠青豆	86.59	31.45	50.21	31.33	0.36	20.10	0.94
D-17	85.70	89.16	50.63	31.15	1.52	13.88	0.97
甜豆	86.20	42.13	65.21	33.38	1.40	20.66	0.51
A-1	91.86	21.03	42.71	29.30	0.93	18.96	0.51
SWU-15	88.31	27.33	51.04	34.80	1.81	13.65	1.11
D-15	86.11	45.88	34.38	29.03	1.22	12.75	0.66
紫丁荷兰豆	90.47	43.27	63.96	32.30	1.15	18.40	1.55
D-16	88.93	46.45	40.21	28.55	1.16	9.24	0.73
SWU-16	88.80	53.74	38.54	40.78	1.21	14.67	0.95
B-17	87.69	43.53	68.54	27.63	1.78	19.41	1.01
SWU-4	90.00	42.91	61.04	49.23	1.65	10.71	0.81
D-18	88.44	42.85	38.54	34.53	1.65	17.04	0.68
黑眉豌豆	89.56	37.23	47.29	36.38	0.95	24.72	0.50
D-6	88.00	34.89	40.21	28.35	1.12	16.25	0.70
D-19	91.68	23.22	48.96	33.08	1.97	23.82	1.16
D-21	88.93	40.98	60.63	31.73	1.51	11.28	1.34
D-14	95.93	19.68	58.54	37.69	0.50	17.15	0.68
安吉红花豌豆	91.48	39.52	69.79	29.33	0.66	14.21	0.65
安吉大豌豆	90.78	45.25	41.46	28.70	0.84	13.08	0.66
B-15	85.10	37.33	68.96	32.73	1.44	18.06	1.29
B-57	87.09	36.40	67.29	33.98	0.77	20.99	0.77
D-1	88.64	41.50	66.88	32.18	1.92	16.47	0.81
D-3	80.27	34.42	50.21	28.88	0.99	9.24	1.56
D-4	86.19	35.56	63.54	30.50	0.44	12.29	0.85
D-11	88.67	28.74	39.38	27.78	1.36	13.88	0.63
B-21	91.42	43.11	51.88	32.03	2.13	18.85	1.04
D-7	90.19	37.13	68.13	28.30	0.69	21.11	0.87
D-13	91.14	23.17	38.96	31.23	1.22	5.63	0.65
D-5	90.31	45.61	45.21	32.03	1.65	5.40	0.67
D-23	89.87	47.49	52.29	29.55	1.59	18.40	0.80
D-27	87.99	32.70	51.88	34.70	1.69	20.43	0.59
D-25	88.66	39.47	38.54	32.60	1.39	24.84	1.00
B-55	91.08	29.94	37.71	34.75	1.78	14.55	0.93
D-9	90.05	35.82	56.88	31.35	0.99	19.07	0.85

表 2(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 (%) Water content	可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	维生素 C ($\mu\text{g/g}$) V_c	叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	可溶性糖 (%) Soluble sugar	淀粉 (%) Starch	纤维素 (%) Cellulose
B-19	90.49	41.34	65.63	30.13	1.44	16.93	2.19
B-52	90.09	33.38	36.04	33.35	1.54	12.75	0.57
B-61	87.20	37.07	73.13	31.78	1.85	11.62	0.72
B-35	88.77	42.65	74.38	34.35	1.56	20.43	0.90
D-2	89.33	14.36	48.96	27.68	1.88	9.58	1.24
B-63	88.17	43.48	38.54	31.40	0.47	12.29	1.25
F-1	88.85	22.02	40.63	33.95	1.99	16.93	1.25
D-26	88.33	34.99	65.63	32.08	1.58	18.62	0.89
D-27	89.31	44.99	45.63	29.03	0.83	7.77	1.13
B-51	90.46	33.69	43.54	34.35	1.74	14.44	0.85
B-58	87.35	39.00	68.13	34.53	0.65	20.54	0.79
B-60	86.78	38.95	67.29	31.03	1.65	12.75	0.66
B-19	90.88	39.42	44.38	26.80	1.55	16.70	0.82
D-29	89.02	41.55	60.21	30.63	1.68	13.20	0.57

表 3 豌豆尖各主要品质性状的统计分析

Table 3 Statistical of main quality characters of Pea sprouts

性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 S	变异系数 (%) CV
含水量 (%) Water content	95.93	80.27	88.76*	2.48	2.80
可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	89.16	14.36	36.92**	10.94	29.78
维生素 C ($\mu\text{g/g}$) V_c	7.56	3.44	5.18**	1.17	22.70
叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	49.23	24.53	32.43**	3.96	12.26
可溶性糖 (%) Soluble sugar	2.13	0.36	1.31**	0.48	36.67
淀粉 (%) Starch	24.84	5.40	16.16**	4.36	27.10
纤维素 (%) Cellulose	2.19	0.34	0.90**	0.35	38.64

*表示在 0.05 水平上显著相关,**表示在 0.01 水平上显著相关,下同

*Significantly correlated at the 0.05 level,**Significantly correlated at the 0.01 level, the same as below

表 4 97 份豌豆种质主要品质性状的遗传多样性指数

Table 4 Genetic diversity index of 97 pea germplasm based on main quality trait of pea sprouts

性状 Trait	频次分布 Frequency distribution										遗传多样性指数 H'
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
含水量 Water content	1	3	2	7	22	45	15	0	2	0	2.12
可溶性蛋白 Soluble protein	1	3	10	11	22	24	22	0	1	3	2.02
维生素 C V_c	0	0	16	25	15	8	6	21	5	1	2.78
叶绿素 Chlorophyll	0	3	9	16	26	20	12	6	1	4	2.11
可溶性糖 Soluble sugar	0	10	10	11	13	15	22	15	1	0	2.94
淀粉 Starch	2	5	9	18	12	16	17	12	6	0	2.78
纤维素 Cellulose	0	2	12	18	26	17	8	6	5	3	2.42

2.2 各营养品质性状的相关性分析

对各品质性状进行相关分析,结果见表 5。除含水量和维生素 C 含量呈显著负相关外($P<0.05$),

其余各性状之间相关性较小,没有达到显著水平。说明各品质性状间关联程度低,在新材料选育过程中各个性状间相互影响较小,可以同时进行选择。

表 5 豌豆尖主要品质性状的相关性

Table 5 Correlation based on main quality traits of of pea sprouts

性状 Trait	含水量 Water content	可溶性蛋白 Soluble protein	维生素 C Vc	叶绿素 Chlorophyll	可溶性糖 Soluble sugar	淀粉 Starch	纤维素 Cellulose
含水量 Water content	1						
可溶性蛋白 Soluble protein	0.046	1					
维生素 C Vc	-0.221*	-0.035	1				
叶绿素 Chlorophyll	0.170	0.021	-0.021	1			
可溶性糖 Soluble sugar	-0.017	-0.060	0.023	0.089	1		
淀粉 Starch	-0.017	-0.011	0.024	0.075	-0.010	1	
纤维素 Cellulose	-0.084	-0.006	0.131	-0.118	0.024	-0.034	1

2.3 豌豆尖营养品质的综合评价与聚类分析

蔬菜营养品质是一个综合指标,其相对优劣可以用隶属函数和平均隶属函数值大小进行度量。97 份豌豆种质各品质性状隶属函数值及其排序结果见表 6。从单项指标隶属函数来看,蛋白质、维生素 C 和叶绿素含量的隶属函数平均值均低于 0.5,说明这 3 个性状在多数种质中均低于最大值和最小值的中值,且多数偏向于含量较低的种质;含水量隶属函数值最高,为 0.815,说明多数种质含水量高于最大值和最小值的中值,偏向于含水量较高的种质。根据 7 个营养品质性状隶属函数值,统计排名靠前的种质(表 7),B-21、食荚大菜豌 6 号、F-1、无须豌豆尖 1 号和 D-19 分别以 2.13%、2.00%、1.99%、1.99% 和 1.97% 在可溶性糖含量中排名前五,而纤维素含量最少的则是特选 11 号和中碗 10 号,均为 0.34%,其余 4 个性状中排名第 1 的分别是:D-14 含水量为 95.93%,D-17 可溶性蛋白含量为 89.16 mg/g,澳引 3 号维生素 C 含量为 7.56 $\mu\text{g/g}$,D-25 淀粉含量 24.84%。从单独指标来看,不同性状按隶属函数排序不同,所以在品种选育中应根据主要育种目标关注具体性状。从各种质平均隶属函数结果看,澳引 3 号隶属函数值最高,为 0.710,说明该品种在 97 份材料中各营养品质排序靠前,综合性状较优,但从单

项指标来看,该品系仅维生素 C 含量隶属函数排名第一,其余 6 个性状在 97 份种质中隶属函数排名在 9~48 之间,隶属函数值均高于平均值,排名中等偏上;D-3 平均隶属函数值最低,仅 0.353,各单项指标性状虽然没有一个排名最后,但是各性状排名在 40~96 之间,所有性状隶属函数值低于均值,排名靠后,所以该品系总体来看不适宜用于豌豆尖用栽培或育种。从表 6 各种质平均隶属函数大小来看,平均隶属函数值为 0.6 及以上者为豌豆尖综合营养品质好的种质,共有 24 份,占比 24.74%,前 5 名从大到小依次为澳引 3 号、韩国甜脆豆、SWU-6、改良永盛珍宝、B-61;平均隶属函数值介于 0.5~0.6 之间的为中间类型,共有 44 份,占比 45.36%;平均隶属函数值低于 0.5 的有 29 份,综合营养品质相对较差,占比 29.90%,这些种质各性状平均隶属函数值均较低(除成豌 8 号可溶性糖含量隶属函数排名第 6 外),总体不适宜用于豌豆嫩尖生产用。

2.4 基于 7 个品质性状的聚类分析

运用 DPS 7.05 软件对 97 份豌豆尖 7 个品质性状进行数据标准化转化后计算欧氏遗传距离,并采用离差平方和法进行系统聚类(图 1)。结果表明,遗传距离变幅为 0.7377~23.1025,其中长荚豌豆和 B-19 遗传距离最小(0.7377),荷兰大荚豌豆和 D-1

表 6 不同种质豌豆尖的隶属函数值
Table 6 Subordinate function value of pea sprouts from different germplasm

种质名称 Germplasm name	含水量 Water content	可溶性蛋白 Soluble protein			维生素 C Vc			叶绿素 Chlorophyll	可溶性糖 Soluble sugar	淀粉 Starch	纤维素 Cellulose	平均隶属值 Average membership value	排序 Rank			
		排序 Rank	排序 Rank	排序 Rank	排序 Rank	排序 Rank	排序 Rank							排序 Rank		
中碗 6 号	0.628	95	0.164	80	0.222	66	0.268	61	0.661	41	0.843	10	0.609	75	0.501	68
中碗 9 号	0.774	82	0.160	82	0.212	69	0.564	6	0.886	9	0.465	59	0.442	89	0.493	70
中碗 10 号	0.849	35	0.283	57	0.182	73	0.304	47	0.627	45	0.785	15	0.997	2	0.628	17
中碗 4 号	0.753	89	0.333	39	0.162	77	0.327	42	0.188	83	0.820	11	0.807	29	0.525	57
白花双荚 818	0	97	0.159	83	0.808	14	0.291	52	0.789	20	0.384	72	0.899	10	0.529	55
改良 11 号	0.821	59	0.207	74	0.848	6	0.381	32	0.084	90	0.616	41	0.658	65	0.534	52
UY099	0.779	78	0.313	45	0.162	75	0.383	29	0.032	95	0.663	36	0.653	67	0.454	84
UY039	0.823	55	0.281	58	0.616	31	0.438	15	0.221	81	0.320	83	0.660	64	0.503	67
双荚荷兰豆	0.841	41	0.391	16	0.455	36	0.303	50	0.120	88	0.105	95	0.779	34	0.471	81
荷兰大荚豌豆	0.776	79	0.254	67	0.283	56	0.197	75	0.114	89	0.762	22	0.620	73	0.453	85
荷兰豆 1 号	0.873	12	0.820	2	0.010	96	0.491	11	0.315	74	0.599	44	0.728	47	0.570	38
荷兰豆 2 号	0.848	36	0.193	76	0.808	15	0.685	4	0.828	14	0.738	24	0.525	81	0.644	7
奥珍食荚菜豌豆	0.808	67	0.755	3	0.273	59	0.489	12	0.477	60	0.948	4	0.518	82	0.598	26
苏豌豆 1 号	0.754	88	0.306	48	0.232	64	0.132	90	0.253	79	0.552	52	0.831	21	0.486	75
朱砂红	0.858	25	0.329	40	0.444	37	0.155	86	0.778	24	0.517	55	0.949	4	0.623	19
食荚大菜豌豆 6 号	0.859	24	0.278	59	0.818	11	0.247	67	0.924	2	0.291	86	0.773	35	0.620	20
食荚大菜豌豆 1 号	0.776	80	0.204	75	0.828	10	0.277	57	0.017	96	0.558	51	0.598	76	0.482	77
无须豌豆尖 1 号	0.805	70	0.355	32	0.414	42	0	97	0.920	4	0.285	87	0.498	86	0.472	79
成豌豆 7 号	0.687	92	0.251	68	0.727	25	0.144	88	0.593	48	0.442	63	0.662	63	0.521	58
成豌豆 8 号	0.660	93	0.295	52	0.758	21	0.231	71	0.905	6	0.343	80	0.013	96	0.402	94
翡翠豌豆尖	0.872	14	0.448	5	0.202	72	0.263	63	0.589	49	0.628	40	0.701	58	0.551	46
澳引 1 号	0.843	38	0.274	63	0.091	90	0.244	68	0.145	87	0.547	53	0.720	51	0.448	87
澳引 2 号	0.856	30	0.336	36	0.040	94	0.275	59	0.046	93	0.366	76	0.643	69	0.401	95
澳引 3 号	0.835	48	0.420	9	1.000	1	0.381	31	0.726	29	0.802	13	0.760	39	0.710	1

表 6(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 Water content	可溶性蛋白			维生素 C			叶绿素	可溶性糖	淀粉	纤维素	平均隶属值				
		排序	Rank	Soluble protein	排序	Rank	Vc					排序	Rank	Rank	Rank	Rank
大菱红花荷兰豆	0.871	15	0.164	79	0.242	61	0.265	62	0.519	54	0.407	69	712	53	0.487	74
604 荷兰豆	0.839	42	0.160	81	0.313	52	0.358	36	0.807	16	0.779	17	0.560	79	0.547	47
韩国双荚	0.868	16	0.380	25	0.202	71	0.232	70	0.513	55	0.860	7	0.197	95	0.431	91
韩国甜豌豆	0.838	43	0.277	60	0.505	35	0.533	8	0.785	21	0.849	8	0.896	11	0.697	2
甜豌豆	0.656	94	0.393	15	0.758	23	0.190	80	0.193	82	0.692	31	0.706	56	0.537	51
甜脆食荚豆	0.854	32	0.092	91	0.768	19	0.431	16	0.698	34	0.413	68	0.890	13	0.629	16
改良永盛珍宝	0.836	46	0.137	86	0.040	92	0.658	5	0.803	17	0.919	5	0.889	14	0.646	4
美国肥仔	0.867	17	0.231	71	0.242	62	0.323	43	0.586	50	0.302	85	0.382	91	0.414	93
特选 11 号	0.998	2	0.343	34	0.343	50	0.195	76	0.655	43	0.256	90	1.000	1	0.599	25
奇珍 76	0.860	23	0.419	10	0.152	79	0.261	64	0.424	66	0.529	54	0.713	52	0.509	65
香港荷兰豆	0.843	39	0.148	84	0.354	49	0.405	23	0.279	76	0.849	9	0.962	3	0.600	23
长荚豌豆	0.833	49	0.318	44	0.162	76	0.327	41	0.780	22	0.593	45	0.945	5	0.613	22
SWU-5	0.845	37	0.352	33	0.101	86	0.407	21	0.849	12	0.657	37	0.935	6	0.635	14
SWU-6	0.894	5	0.286	55	0.576	33	0.403	24	0.891	7	0.895	6	0.802	30	0.694	3
SWU-8	0.858	27	0.400	14	0.273	57	0.281	55	0.704	33	0.669	33	0.711	54	0.576	36
SWU-9	0.836	47	0.147	85	0.323	51	0.229	72	0.890	8	0.424	67	0.758	40	0.546	48
S04	0.775	81	0.134	87	0.212	68	0.980	3	0.442	63	0.773	21	0.373	92	0.508	66
SWU-10	0.818	62	0.300	51	0.303	54	0.194	78	0.479	58	0.279	88	0.761	38	0.487	73
SWU-11	0.823	56	0.072	94	0.121	82	0.258	65	0.665	40	0.442	62	0.653	68	0.461	83
SWU-12	0.856	28	0.250	69	0.283	55	0.509	10	0.356	68	0.715	26	0.639	71	0.531	53
SWU-13	0.806	69	0.082	93	0.222	65	0.052	96	0.349	70	0.651	39	0.763	37	0.461	82
SWU-14	0.808	68	0.391	17	0.859	5	0.416	17	0.317	73	0.343	81	0.739	45	0.576	35
翠珍甜豌豆	0.889	7	0.320	43	0.434	38	0.511	9	0.433	64	0.360	77	0.853	18	0.582	34
D-30	0.802	73	0.068	96	0.828	8	1.000	1	0.310	75	0.500	56	0.412	90	0.541	50
A-2	0.865	20	0.384	22	0.020	95	0.410	20	0.726	28	0.715	27	0.893	12	0.613	21

表 6(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 Water content	排序	可溶性蛋白 Soluble protein	维生素 C		排序	叶绿素 Chlorophyll	排序	可溶性糖 Soluble sugar	排序	淀粉 Starch	排序	纤维素 Cellulose	排序	平均隶属值 Average membership value	排序
				Vc	Rank											
翠青豆	0.769	84	0.228	72	0.384	45	0.126	92	0	97	0.756	23	0.673	61	0.451	86
D-17	0.747	90	1.000	1	0.394	44	0.539	7	0.656	42	0.436	64	0.656	66	0.636	12
甜豆	0.759	85	0.371	27	0.747	24	0.099	93	0.583	51	0.785	16	0.909	8	0.645	6
A-1	0.899	3	0.089	92	0.202	70	0.380	33	0.322	72	0.698	29	0.908	9	0.551	45
SWU-15	0.812	65	0.173	78	0.404	43	0.363	35	0.819	15	0.424	66	0.583	77	0.520	59
D-15	0.757	87	0.421	8	0	97	0.287	53	0.482	57	0.378	75	0.824	25	0.497	69
紫丁荷兰豆	0.865	19	0.386	20	0.717	26	0.163	85	0.443	62	0.669	35	0.343	93	0.491	71
D-16	0.827	51	0.429	7	0.141	81	0.193	79	0.448	61	0.198	92	0.787	33	0.476	78
SWU-16	0.824	54	0.526	4	0.101	89	0.357	38	0.478	59	0.477	57	0.670	62	0.513	63
B-17	0.796	74	0.390	18	0.828	9	0.310	45	0.801	18	0.721	25	0.638	72	0.640	9
SWU-4	0.853	33	0.382	23	0.646	28	0.065	95	0.729	27	0.273	89	0.745	43	0.555	42
D-18	0.815	63	0.381	24	0.101	87	0.480	13	0.725	31	0.599	43	0.814	27	0.591	30
黑眉豌豆	0.843	40	0.306	47	0.313	53	0.467	14	0.333	71	0.994	2	0.915	7	0.636	13
D-6	0.804	71	0.274	62	0.141	80	0.346	39	0.430	65	0.558	50	0.802	31	0.520	61
D-19	0.895	4	0.118	88	0.354	48	0.369	34	0.905	5	0.948	3	0.555	80	0.587	31
D-21	0.827	52	0.356	31	0.636	29	0.203	74	0.648	44	0.302	84	0.456	88	0.486	76
D-14	1.000	1	0.071	95	0.586	32	0.194	77	0.078	91	0.605	42	0.813	28	0.520	60
安吉红花豌豆	0.890	6	0.336	35	0.859	4	0.169	84	0.170	85	0.453	61	0.833	20	0.568	39
安吉大豌豆	0.873	13	0.413	12	0.172	74	1.000	2	0.272	77	0.395	71	0.825	23	0.597	28
B-15	0.732	91	0.307	46	0.838	7	0.242	69	0.607	47	0.651	38	0.483	87	0.543	49
B-57	0.782	77	0.295	53	0.798	16	0.140	89	0.232	80	0.802	14	0.769	36	0.573	37
D-1	0.820	61	0.363	29	0.788	18	0.176	83	0.878	10	0.570	49	0.743	44	0.635	15
D-3	0.613	96	0.268	64	0.384	46	0.332	40	0.356	69	0.198	93	0.338	94	0.353	97
D-4	0.759	86	0.283	56	0.707	27	0.182	81	0.043	94	0.355	79	0.722	50	0.472	80
D-11	0.821	58	0.192	77	0.121	83	0.304	48	0.561	53	0.436	65	0.842	19	0.515	62

表 6(续)

种质名称 Germplasm name	含水量 Water content		可溶性蛋白 Soluble protein		维生素 C Vc		叶绿素 Chlorophyll		可溶性糖 Soluble sugar		淀粉 Starch		纤维素 Cellulose		平均隶属值 Average membership value		排序 Rank
	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	排序 Rank	值 Value	
B-21	8	0.889	21	0.384	41	0.424	87	0.153	1	1.000	30	0.692	74	0.617	30	0.597	27
D-7	26	0.858	49	0.304	12	0.818	60	0.271	84	0.187	12	0.808	55	0.710	12	0.583	33
D-13	9	0.882	89	0.118	84	0.111	49	0.304	56	0.482	96	0.012	22	0.830	96	0.446	88
D-5	22	0.861	11	0.418	60	0.263	44	0.315	30	0.726	97	0	26	0.822	97	0.528	56
D-23	34	0.850	6	0.443	39	0.434	19	0.412	35	0.692	34	0.669	42	0.747	34	0.624	18
D-27	72	0.804	70	0.245	40	0.424	28	0.383	25	0.751	20	0.773	17	0.864	20	0.639	10
D-25	60	0.820	37	0.336	85	0.101	18	0.414	52	0.578	1	1.000	70	0.642	1	0.566	40
B-55	10	0.880	73	0.208	91	0.081	58	0.276	19	0.798	58	0.471	60	0.680	58	0.509	64
D-9	31	0.855	54	0.287	34	0.545	73	0.227	67	0.357	28	0.703	49	0.722	28	0.552	44
B-19	18	0.866	30	0.361	22	0.758	37	0.357	46	0.610	46	0.593	97	0	46	0.443	90
B-52	29	0.856	66	0.254	93	0.040	51	0.294	39	0.665	74	0.378	15	0.876	74	0.530	54
B-61	76	0.784	50	0.304	3	0.939	25	0.398	13	0.839	82	0.320	32	0.794	82	0.646	5
B-35	57	0.823	26	0.378	2	0.970	91	0.128	37	0.675	19	0.773	59	0.693	19	0.642	8
D-2	44	0.837	97	0	47	0.354	56	0.278	11	0.856	91	0.215	83	0.513	91	0.446	89
B-63	66	0.808	19	0.389	88	0.101	30	0.382	92	0.062	78	0.355	84	0.508	78	0.389	96
F-1	53	0.825	90	0.102	78	0.152	46	0.306	3	0.921	47	0.593	85	0.507	47	0.489	72
D-26	64	0.812	61	0.276	20	0.758	82	0.182	36	0.685	32	0.680	57	0.703	32	0.600	24
D-27	45	0.836	13	0.409	58	0.273	26	0.398	78	0.263	94	0.122	78	0.569	94	0.430	92
B-51	21	0.865	65	0.258	67	0.222	22	0.405	23	0.778	60	0.465	48	0.725	60	0.555	41
B-58	75	0.788	41	0.329	13	0.818	54	0.286	86	0.162	18	0.779	41	0.757	18	0.585	32
B-60	83	0.774	42	0.329	17	0.798	94	0.092	32	0.725	73	0.378	24	0.825	73	0.593	29
B-19	11	0.875	38	0.335	63	0.242	66	0.247	38	0.672	48	0.581	46	0.738	48	0.554	43
D-29	50	0.829	28	0.364	30	0.626	27	0.390	26	0.746	70	0.401	16	0.874	70	0.638	11
均值 Mean value		0.815		0.302		0.421		0.327		0.535		0.554		0.696		0.543	

表 7 97 份豌豆尖各性状排名前 5 的种质
Table 7 The top 5 germplasm in 97 pea sprouts from different traits

性状 Trait	种质 Germplasm				
含水量 (%) Water content	D-14 (95.93)	特选 11 号 (95.85)	A-1 (91.86)	D-19 (91.68)	SWU-6 (91.62)
可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	D-17 (89.16)	荷兰豆 1 号 (75.72)	奥珍食荚菜碗豆 (70.82)	SWU-16 (53.74)	翡翠豌豆尖 (47.85)
维生素 C (μg/g) Vc	澳引 3 号 (7.56)	B-35 (7.44)	B-61 (7.31)	安吉红花豌豆 (6.98)	SWU-14 (6.98)
叶绿素 Chlorophyll	D-30 (49.22)	安吉大豌豆 (48.73)	S04 (41.45)	荷兰豆 2 号 (40.78)	改良永盛珍宝 (38.45)
可溶性糖 (%) Soluble sugar	B-21 (2.13)	食荚大菜碗 6 号 (2.00)	F-1 (1.99)	无须豌豆尖 1 号 (1.99)	D-19 (1.97)
淀粉 (%) Starch	D-25 (24.84)	黑眉豌豆 (24.72)	D-19 (23.82)	奥珍食荚菜碗豆 (23.82)	改良永盛珍宝 (23.25)
纤维素 (%) Cellulose	特选 11 号 (0.34)	中碗 10 号 (0.34)	香港荷兰豆 (0.40)	朱砂红 (0.43)	长荚豌豆 (0.44)

括号内为表型测定值
It is phenotypic values in parentheses

遗传距离最大(23.1025)。在欧氏遗传距离 D=18.48 处可以将 97 份材料分为 3 大类群(图 1), 分别包含 35 份、26 份和 36 份种质。统计 3 个类群各品质性状的均值、最大值、最小值和变异系数(表 8), 结果显示: 第 I 类群中, 除豌豆嫩尖的维生素 C 含量和纤维素均值较群体均值(即 97 份种质相应品质性状的均值)分别高 1.97% 和 2.26% 外, 其余 5 个性状均较群体低。其中可溶性糖低 30.65%、淀粉含量低 12.01%、叶绿素含量低 6.18%、蛋白质含量低 4.91%、含水量低 1.71%。第 II 类群则维生素 C 和纤维素含量均值分别较群体均值低 10.50% 和 0.85%, 其余 5 个性状均值均较群体均值高, 其幅度分别为: 可溶性糖高 11.59%、叶绿素含量高 8.38%、淀粉含量高 6.07%、蛋白质含量高 3.52% 和含水量高 0.83%。第 III 类群可溶性糖、淀粉、维生素 C、含

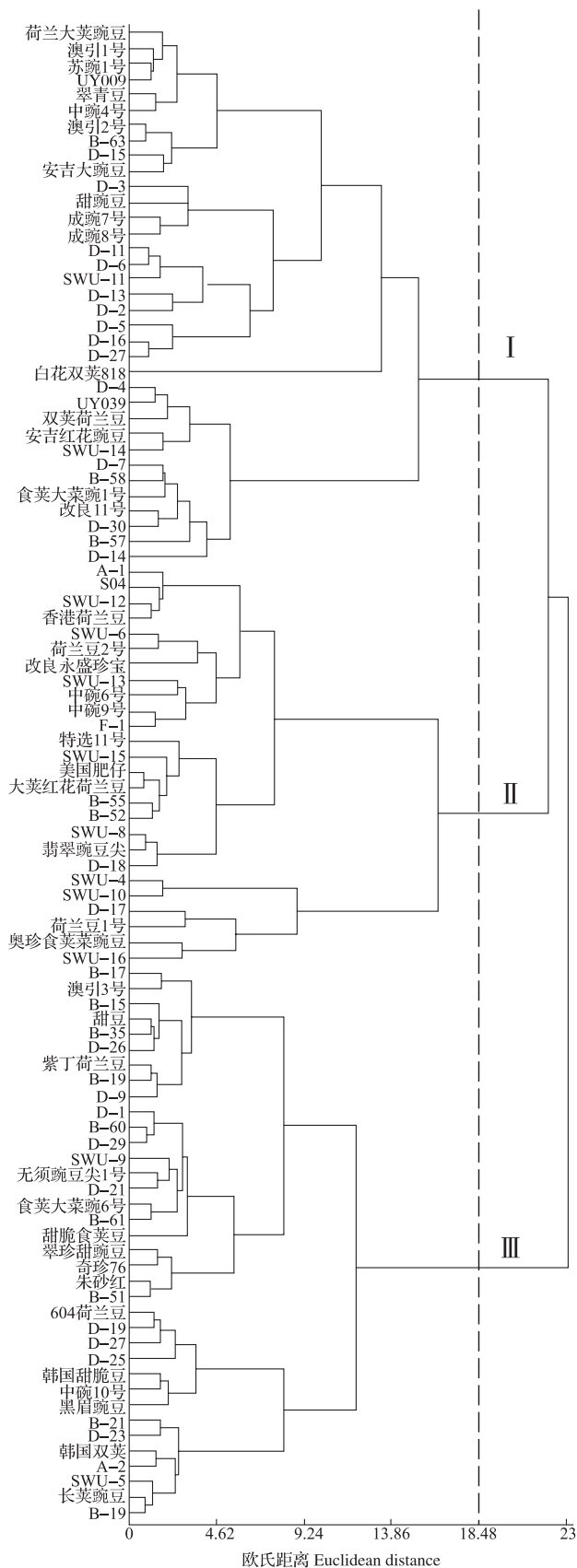


图 1 基于豌豆尖 7 个品质性状的离差平方和法聚类分析
Fig.1 Cluster analysis based on the sum of squared deviation of pea sprouts quality traits

表 8 豌豆尖各类群主要品质性状特征

Table 8 Characteristics of the main quality traits of pea sprouts in different groups

性状 Trait	项目 Item	种质类群 Gemplasms groups		
		I (35)	II (26)	III (36)
含水量 (%) Water content	平均值	86.94	89.18	89.40
	最大值	95.93	95.85	91.68
	最小值	55.45	80.87	85.10
	变异系数 (%)	7.15	2.94	1.62
可溶性蛋白 (mg/g) Soluble protein	平均值	35.11	38.22	37.74
	最大值	46.45	89.16	47.49
	最小值	14.36	20.51	21.24
	变异系数 (%)	24.06	45.81	16.37
维生素 C ($\mu\text{g/g}$) Vc	平均值	5.28	4.63	5.47
	最大值	6.98	6.85	7.56
	最小值	3.44	3.48	3.52
	变异系数 (%)	24.07	19.31	21.09
叶绿素 (SPAD) Chlorophyll	平均值	30.42	35.15	32.41
	最大值	37.69	49.23	38.45
	最小值	24.53	27.63	26.13
	变异系数 (%)	9.20	14.72	8.24
可溶性糖 (%) Soluble sugar	平均值	0.91	1.46	1.59
	最大值	1.97	1.99	2.13
	最小值	0.36	0.86	0.95
	变异系数 (%)	49.55	24.21	18.38
淀粉 (%) Starch	平均值	14.22	17.14	17.34
	最大值	21.33	23.82	24.84
	最小值	5.40	10.37	10.94
	变异系数 (%)	31.20	23.21	23.27
纤维素 (%) Cellulose	平均值	0.92	0.89	0.88
	最大值	2.16	1.50	2.19
	最小值	0.52	0.34	0.34
	变异系数 (%)	34.70	32.41	46.85

类群后括号内数字为材料份数

The number in parentheses after the class group indicates the total number of materials

水量均值在 3 个类群中最大, 分别达到 1.59%、17.34%、5.47 $\mu\text{g/g}$ 和 89.40%, 均较群体均值高。纤维素含量较群体均值低 1.59%, 降幅最大。但是, 从最大值、最小值和变异系数来看, 除含水量在第 I、II 及 III 类群、叶绿素含量在第 I 及 III 类群中的变异

系数小于 10% 外, 其余性状在各类群中的变异系数均大于 10%, 且每个类群的极差 (即最大值和最小值的差值) 较大, 某单一性状在类群间归类并不太明显, 因此在品种选育过程中还需要根据育种目标在不同类群间进行选择。

3 讨论

豌豆是重要的蔬菜和杂粮作物。我国豌豆栽培历史悠久,也是世界上豌豆栽种面积较大、产量较多的国家之一。种质资源是新品种选育的物质基础,豌豆品种资源包括地方品种、育成品种、引进的国外品种、人工创造的新类型和特殊变异材料,以及半野生豌豆和野生豌豆。准确合理地评价豌豆种质资源遗传多样性是其有效利用的前提。豌豆种质资源的发掘、创新和利用在豌豆育种和栽培中具有重要的地位和作用。近年来,国内外学者主要通过豌豆种质的农艺性状、形态特征调查和分子标记等对豌豆属的生物系统进化、遗传多样性和豌豆类群进行研究^[5-17]。近年来,随着菜用豌豆越来越受到人们的青睐,种植面积逐渐增加,同时不同食用部位的品质性状也倍受重视。但由于品质相关性状多,测试工作量大,程序繁琐,所以迄今有关菜用豌豆品质性状的研究报道还很少。本研究对97份国内外菜用豌豆种质嫩尖的7个品质性状进行了测定,并进行了遗传多样性分析。结果表明7个营养品质性状的遗传多样性指数均大于2.00,高于贺晨帮等^[6]在豌豆20个形态指标上的遗传多样性指数均值(1.369)。说明这些种质在7个营养品质性状上具有更广泛的遗传变异。对菜用豌豆营养品质性状遗传多样性的了解对于豌豆种质资源的开发和利用,尤其是菜用豌豆的遗传育种具有重要意义。

近年来,平均隶属函数值、主成分分析、聚类分析等已经广泛应用于不同作物种质资源的筛选和鉴定^[22-27]。贺晨帮等^[6]对国内外不同地理来源624份豌豆资源20个形态性状进行调查,通过主成分和聚类分析,认为参试资源由国内和国外两大基因库构成,可聚类成两大类群。本研究通过隶属函数分析,对97份材料豌豆尖品质进行综合评价,筛选出单一营养品质性状和综合营养品质性状较好品种(系),这些材料既可以进一步推广应用,也有菜用豌豆育种应用前景。在各品质性状的相关性分析中,发现各品质性状间相关系数较小,多数性状间相关性达不到显著水平,一方面说明各品质性状选择独立性极强,性状之间影响较小,有利于多个性状同时选择;另一方面,7个性状也不利于对主成分进行降维分析,因此本研究在分析中就没有采用主成分分析。通过对7个品质性状数据标准化,采用离差平方和法在欧氏遗传距离为18.48处将97份材料分

为3个类群,表明了97份材料的遗传距离远近和相似性大小。从分析结果看,通过隶属函数值筛选出来的优良材料并没有如预期按照性状聚成一类,如在平均隶属函数中排名第1和第2的澳引3号和韩国甜脆豆被聚为第III类,而排名第3和第4的SWU-6和改良永盛珍宝则被聚为第II类。究其原因主要在于各性状之间相关性不显著,隶属函数值分析和聚类分析在本质上不同,部分种质因在不同性状上表现优异致使其平均隶属函数排名靠前,但是通过这些性状综合评定两个品种(系)相似度差异大、遗传距离较远,在聚类中分属不同类群。因此,在品种选育中一方面要注重各单一性状的选育,另一方面在杂交育种中可以选择品质性状优良、遗传距离较远(类群间)的品种(系)作为亲本进行杂交育种。

随着人们生活水平的提高,蔬菜用豌豆选育除了要求提高产量外,更应该注重其营养品质的改良。市场对于优质、专用型豌豆品种的需求标准越来越高,因此,豌豆品种品质性状的优劣决定着市场的可接受程度和发展潜力。豌豆尖富含蛋白质、碳水化合物、多种维生素及丰富的膳食纤维等^[28],具有蛋白质和粗脂肪含量高、质地柔嫩、味甜清香等特点而颇受人们的青睐^[29]。从本研究对97份豌豆尖品质性状测定分析结果来看,可以根据需求选择各性状综合排名总体靠前或部分性状排名靠前的品种进行栽培推广和遗传育种研究。如含糖量高、纤维素含量低的豌豆尖品种,其食用口感较好。因此,可以在97份豌豆种质中根据其隶属函数值筛选目标性状较好的品种(系)用于栽培推广。如SWU-5,该品系可溶性糖含量在97份种质中排名第12,隶属函数值为0.849,纤维素含量负向隶属函数值为0.935,排名第6,两个性状综合排名靠前,该品种可以直接推广应用。另外,也可以选择不同目标性状分别排名靠前的种质,或选择在聚类分析中遗传距离较远的种质作为亲本进行杂交育种,在后代中选择豌豆嫩尖含符合育种目标要求的品种。如含糖量最高的B-21和纤维素含量最低的特选11号在聚类中分别为第III类和第II类,二者进行杂交,应该具有较强的优势,在后代中有可能选择出含糖量和纤维素含量符合预期的品种(系),当然这还有待于在育种实践中进行验证。研究结果为充分发掘豌豆种质资源的营养品质特点、提高资源创新和利用效率、以及选育营养品质优良的嫩尖专用型豌豆品种提供参考。

参考文献

- [1] 郑卓杰, 王述民, 宗绪晓. 中国食用豆类学. 北京: 中国农业出版社, 1997: 88-127
Zheng Z J, Wang S M, Zong X X. Food legume crops in China. Beijing: China Agriculture Press, 1997: 88-127
- [2] Di Gioia F, Renna M, Santamaria P. Sprouts, microgreens and "baby Leaf" vegetables/Yildiz F, Wiley R. Minimally processed refrigerated fruits and vegetables. Food Engineering Series. Boston: Springer, 2017: 403-432
- [3] Warkentin T D, Smýkal P, Coyne C J, Weeden N, Domoney C, Bing D J, Leonforte A, Zong X X, Dixit G P, Boros L, McPhee K E, McGee R J, Burstin J, Ellis T H N. Pea. Ron A M D. Grain Legumes. New York: Springer, 2015: 37-84
- [4] 武秀英, 陆珏峰, 马明, 武天龙. 不同叶型豌豆苗产量与品质分析. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2006, 24(3): 260-263
Wu X Y, Lu J F, Ma M, Wu T L. Analysis of yield and quality in pea sprouts with different leaf types. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2006, 24(3): 260-263
- [5] 顾竟, 宗绪晓. 豌豆资源遗传多样性及核心种质研究进展. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 334-337
Gu J, Zong X X. Research progress on pisum genetic diversity and core collection. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(2): 334-337
- [6] 贺晨帮, 宗绪晓. 豌豆种质资源形态标记遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 42-48
He C B, Zong X X. Genetic diversity of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resources revealed by morphological traits. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(1): 42-48
- [7] 侯维海, 王建林, 旦巴, 胡单. 西藏豌豆资源蛋白质含量及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 252-262
Hou W H, Wang J L, Dan B, Hu D. Analysis of protein content and genetic diversity in pea germplasm in Tibet. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(2): 252-262
- [8] 刘萌娟, 李鸣雷, 郭小华, 王静雅, 宋卫宁. 陕西豌豆种质资源形态性状遗传多样性分析. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(10): 70-80
Liu M J, Li M L, Guo X H, Wang J Y, Song W N. Genetic diversity of morphological characters of pea (*Pisum sativum* L.) accessions in Shaanxi Province. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2014, 42(10): 70-80
- [9] 孙敏杰, 张天静, 沈宝宇, 李玲. 菜用豌豆种质资源形态性状遗传多样性分析. 种子, 2017, 36(8): 60-62
Sun M J, Zhang T J, Shen B Y, Li L. Diversity on morphological characteristics of pea (*Pisum sativum* L.) genetic resources for vegetable. Seed, 2017, 36(8): 60-62
- [10] 万述伟, 宋凤景, 郝俊杰, 张晓艳, 李红卫, 邵阳, 赵爱鸿. 271份豌豆种质资源农艺性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(1): 10-18
Wan S W, Song F J, Hao J J, Zhang X Y, Li H W, Shao Y, Zhao A H. Genetic diversity of agronomic traits in 271 pea germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(1): 10-18
- [11] 王飞雁, 赵艳. 豌豆种质资源苗菜用特性遗传多样性分析. 耕作与栽培, 2012(3): 31-32
Wang F Y, Zhao Y. Genetic diversity analysis of pea germplasm resources in seedling. Tillage and Cultivation, 2012(3): 31-32
- [12] 郁永明, 沈晓岚, 李鲁峰, 刘建新, 俞信英, 潘钢敏, 俞少华, 王炜勇. 浙江省沿海地区豌豆地方品种的表型遗传多样性. 分子植物育种, 2015, 13(4): 846-853
Yu Y M, Shen X L, Li L F, Liu J X, Yu X Y, Pang G M, Yu S H, Wang W Y. Phenotypic diversity analysis of pea landraces collected in coastal area of Zhejiang Province. Molecular Plant Breeding, 2015, 13(4): 846-853
- [13] 曾亮, 李敏权, 杨晓明. 豌豆属种质资源遗传多样性的 ISSR 分析. 草业学报, 2012, 21(3): 125-131
Zeng L, Li M Q, Yang X M. Genetic diversity of *Pisum sativum* germplasm resources by ISSR. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(3): 125-131
- [14] 宗绪晓, 关建平, 王述民, 刘庆昌. 中国豌豆地方品种 SSR 标记遗传多样性分析. 作物学报, 2008, 34(8): 1330-1338
Zong X X, Guan J P, Wang S M, Liu Q C. Genetic diversity among Chinese pea (*Pisum sativum* L.) landraces revealed by SSR markers. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(8): 1330-1338
- [15] 宗绪晓, 关建平, 王述民, 刘庆昌, Robert R Redden, Rebecca Ford. 国外栽培豌豆遗传多样性分析及核心种质构建. 作物学报, 2008, 34(9): 1518-1528
Zong X X, Guan J P, Wang S M, Liu Q C, Robert R R, Rebecca F. Genetic diversity and core collection of *Alien Pisum sativum* L. germplasm. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(9): 1518-1528
- [16] 宗绪晓, 关建平, 王海飞, 马钰. 世界栽培豌豆 (*Pisum sativum* L.) 资源群体结构与遗传多样性分析. 中国农业科学, 2010, 43(2): 240-251
Zong X X, Guan J P, Wang H F, Ma Y. Population structure and genetic diversity of global pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resources. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(2): 240-251
- [17] 宗绪晓, Rebecca F, Robert R Redden, 关建平, 王述民. 豌豆属 (*Pisum*) SSR 标记遗传多样性结构鉴别与分析. 中国农业科学, 2009, 42(1): 36-46
Zong X X, Rebecca F, Robert R R, Guan J P, Wang S M. Identification and analysis of genetic diversity structure within *Pisum* Genus based on microsatellite markers. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(1): 36-46
- [18] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000: 111-162
Zou Q. Experimental guide to plant physiology. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 111-162
- [19] 李润丰, 赵希艳, 高亚弟. 2, 6-二氯酚靛反滴定法测定红色果蔬中还原型 VC. 营养学报, 2012, 34(5): 507-509
LI R F, Zhao X Y, Gao Y D. Determination of ascorbic acid content of fruits and vegetables with red color by 2, 6-Dichlorophenolindophenol converse titration method. Acta

- Nutrimenta Sinica, 2012, 34(5): 507-509
- [20] Keylock C J. Simpson diversity and the Shannon–Wiener index as special cases of a generalized entropy. *Oikos*, 2005, 109(1): 203-207
- [21] 魏永胜, 梁宗锁, 山仑, 张辰露. 利用隶属函数值法评价苜蓿抗旱性. *草业科学*, 2005, 22(6): 33-36
Wei Y S, Liang Z S, Shan L, Zhang C L. Comprehensive evaluation on alfalfa drought-resistance traits by subordinate function values analysis. *Pratacultural Science*, 2005, 22(6): 33-36
- [22] 王兴荣, 张彦军, 李玥, 刘天鹏, 张金福, 祁旭升. 干旱胁迫对大豆生长的影响及抗旱性评价方法与指标筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(1): 49-56
Wang X R, Zhang Y J, Li Y, Liu T P, Zhang J F, Qi X S. Effects of drought stress on growth and screening methods and indexes for drought-resistance in Soybean. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(1): 49-56
- [23] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军, 王幸. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(6): 1079-1087
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X J, Wang X. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(6): 1079-1087
- [24] 徐宁, 陈冰孺, 王明海, 包淑英, 王桂芳, 郭中校. 绿豆品种资源萌发期耐碱性鉴定. *作物学报*, 2017, 43(1): 112-121
Xu N, Chen B R, Wang M H, Bao S Y, Wang G F, Guo Z X. Identification of alkali tolerance of Mungbean germplasm resources during germination. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(1): 112-121
- [25] 汪灿, 周棱波, 张国兵, 张立异, 徐燕, 高旭, 姜讷, 邵明波. 薏苡种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. *作物学报*, 2017, 43(9): 1381-1394
Wang C, Zhou L B, Zhang G B, Zhang L Y, Xu Y, Gao X, Jiang N, Shao M B. Identification and indices screening of drought resistance at adult plant stage in Job's Tears germplasm resources. *Acta Agronomica Sinica*, 2017, 43(9): 1381-1394
- [26] 汪灿, 周棱波, 张国兵, 张立异, 徐燕, 高旭, 姜讷, 邵明波. 薏苡种质资源苗期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选. *中国农业科学*, 2017, 50(15): 2872-2887
Wang C, Zhou L B, Zhang G B, Zhang L Y, Xu Y, Gao X, Jiang N, Shao M B. Drought resistance identification and drought resistance indices screening of Job's Tears (*Coxi lacryma-jobi* L.) germplasm resources at seedling stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(15): 2872-2887
- [27] 芮文婧, 王晓敏, 张倩男, 胡学义, 胡新华, 付金军, 高艳明, 李建设. 番茄 353 份种质资源表型性状遗传多样性分析. *园艺学报*, 2018, 45(3): 561-570
Rui W J, Wang X M, Zhang Q N, Hu X Y, Hu X H, Fu J J, Gao Y M, Li J S. Genetic diversity analysis of 353 tomato germplasm resources by phenotypic traits. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(3): 561-570
- [28] 曹晓华, 沈旭斌, 程先骄, 林兆娜, 陈旭, 程立立, 郑金贵. HPLC 双波长法测定豌豆尖中槲皮素和山奈酚的含量. *食品科技*, 2017, 42(4): 270-276
Cao X H, Shen X B, Cheng X J, Lin Z N, Chen X, Cheng L L, Zheng J G. Determination of quercetin and kaempferol in pea shoots by dual wave-length HPLC. *Food Science and Technology*, 2017, 42(4): 270-276
- [29] 陈胜文, 谢伟平, 黄亮华, 潘启取. 豌豆苗的品质分析及播种密度对其生长特性的影响. *广东农业科学*, 2010(5): 55-56
Chen S W, Xie W P, Huang L H, Pan Q Q. Quality analysis and effects of sowing density on the growth characteristics of pea sprouts. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2010(5): 55-56