# 西藏地区不同豌豆品种（系）营养品质的综合评价

高小丽[1,2] 黄海皎[1,2] 杨文才[1,3] 廖文华[1,2]

（[1]西藏自治区农牧科学院农业研究所/省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室，拉萨 850000；[2]农业农村部作物基因资源与种质创制西藏科学观测实验站，拉萨 850032；[3]西藏自治区农牧科学院草业科学研究所，拉萨 850000）

**摘要：**利用主成分分析和聚类分析法对20份豌豆品种（系）的营养品质进行综合分析。结果表明，豌豆品种（系）蛋白质平均含量为22.71%，粗脂肪平均含量为1.32%，粗纤维平均含量为4.38%，灰分平均含量为2.72%，碳水化合物平均含量为65.61%，16种氨基酸总含量平均值为21.80%，各品质性状的变异系数介于2.53%~16.87%之间。主成分分析表明参试豌豆品种（系）的营养品质指标可以用3个主成分（累计贡献率达80.287%）来表示，主成分综合评价得分大于1的包括3个品种（系）。欧氏遗传距离为10.0时，聚类分析将20个豌豆品种（系）划分为3个类群，第I类群包括6个品种（系），第II类群包括9个品种，第III类群包括5个品种。根据两者分析结果的相似性，最终筛选出中秦1号、2011056、拉萨黑豌豆3个优异资源供生产或加工使用。

**关键词：**主成分；聚类；评价；豌豆；品质

豌豆别称麦豌豆、寒豆、麦豆、雪豆、毕豆等，原产于地中海南部及地中海沿岸，是世界第四大豆类作物，籽粒中富含碳水化合物（约占60%）和矿物质元素等多种营养成分，含有人体必需的8种氨基酸，其中赖氨酸含量最高，含硫氨基酸较低。豌豆蛋白的生物价为48%~64%，功效比为0.6~1.2，高于大豆而低于玉米、水稻、小麦、花生[1]。按食用部位可分为干籽粒用豌豆和菜用豌豆2种类型。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，干籽粒豌豆是高质量蛋白（约占25%）和必需氨基酸的重要来源，其水解肽具有重要的抗氧化、降血压、抗炎、降胆固醇及调节肠道菌群等功效[2]，加工方向主要是利用淀粉制作粉丝，蛋白一般被用作饲料。随着社会的进步和生活水平的提高，植物蛋白越来越受到重视，一般作为食品添加剂替代部分肉蛋白，如火腿肠、香肠等产品的加工。豌豆中除了含有这些营养成分外，还含有多肽、膳食纤维、胰蛋白酶抑制剂、酚类化合物、植物凝集素等功效成分。在食品加工中，豌豆膳食纤维可以增加面团持水力、延缓面包老化，减少蒸煮损失率，改善酥性饼干的质构特性和感官品质，并可增加饼干的保健功能[3]，改善牛肉鸡肉等肉制品的营养特性和烹饪性能。在西藏地区，豌豆一般与青稞或小麦混合炒熟后制成糌粑，或用于粉丝、粉条、凉粉“朋必”等的生产[4]。

主成分分析是通过正交变换将多个变量简化成少数综合性变量，从而在原始变量中解释变量之间元素的突出关系，该方法被广泛应用于种植业领域，综合评价主要作物的农艺性状及品质特征特性，在西藏青稞[5-6]、燕麦[7]、野生食用菌[8]和油菜[9]中均有报道。国内外对豌豆种质资源鉴定及其遗传多样性研究已有大量报道[10-12]，但对西藏豌豆品质分析的报道较少。本研究对近年来西藏自治区农牧科学院豆类育种课题组筛选的优异品种（系）、内地引进的材料进行了干籽粒营养品质含量的分析化验，运用主成分分析法和聚类分析法进行评价，旨在为豌豆育种及精深加工提供参考。

## 1 材料与方法

**1.1 供试材料** 2019年春季，对20份豌豆品种（系）进行了品质化验分析，材料来源详见表1。

**基金项目：**西藏自治区科技厅重点研发及转化项目（XZ-2019-01-NB-03，XZ-2019-NK-NS-006）；农作物种质资源平台（NICGR-2020-28）；西藏自治区财政厅项目（XZNKYNYS-2020-C-017）

**通信作者：**杨文才

表 1 试验豌豆品种(系)及来源

| 品种(系) | 来源 | 品种(系) | 来源 |
|---|---|---|---|
| 2011064 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 拉萨黑豌豆 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 |
| 2011042 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | CS6007 | 甘肃省农业科学院作物研究所 |
| 2011029 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | RC09 | 甘肃省农业科学院作物研究所 |
| 2011085 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 1702 | 甘肃省农业科学院作物研究所 |
| 2011088 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 须豆类 1 号 | 四川省农业科学院作物研究所 |
| 2011028 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 食荚大菜豆 1 号 | 四川省农业科学院作物研究所 |
| 2011056 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 2013017 | 中国农业科学院作物科学研究所 |
| 藏豌 1 号 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 中秦 1 号 | 中国农业科学院作物科学研究所 |
| 2015004 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 2013013 | 中国农业科学院作物科学研究所 |
| 藏豌 2 号 | 西藏自治区农牧科学院农业研究所 | 2013002 | 中国农业科学院作物科学研究所 |

**1.2 试验方法** 豌豆种植 试验设在西藏自治区拉萨市,试验材料顺序排列,每份材料种植 2 行,行长 2m,行距 0.33m,前茬作物为青稞。

豌豆样品采集及营养品质指标的测定 统一收获,翻动晾晒干后进行脱粒,每份清选大而饱满籽粒 250g,粉碎后过 40mm 筛,用于测定蛋白质、粗脂肪、粗纤维、淀粉、灰分、碳水化合物、氨基酸含量,其测定方法分别参照 GB/T5009.5–2016、GB/T5009.6–2016、GB/T5009.10–2003、GB/T5009.9.3、GB/T5009.4–2016、GB/T28050–2011、GB/T5009.124–2016。

**1.3 数据处理与分析** 采用 Excel 2019 软件整理数据,SPSS 20.0 分析软件进行相关分析。

## 2 结果与分析

**2.1 品质性状的变化分析** 20 份豌豆品种(系)品质性状结果见表 2。

表 2 不同品种(系)豌豆营养品质的比较分析 (%)

| 品种(系) | 粗蛋白质含量 | 粗脂肪含量 | 粗纤维含量 | 水分含量 | 灰分含量 | 碳水化合物含量 | 氨基酸总含量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2011064 | 21.90 | 1.94 | 3.92 | 8.50 | 2.62 | 65.10 | 22.08 |
| 2011042 | 22.32 | 1.23 | 4.95 | 7.38 | 2.61 | 66.52 | 22.31 |
| 2013002 | 20.71 | 1.26 | 4.14 | 8.48 | 2.82 | 66.82 | 20.45 |
| CS6007 | 22.23 | 1.35 | 4.61 | 7.75 | 2.80 | 65.95 | 21.03 |
| 2011029 | 22.44 | 1.91 | 4.33 | 8.18 | 2.80 | 64.72 | 22.31 |
| 2011085 | 20.81 | 1.32 | 4.31 | 8.00 | 2.61 | 67.30 | 19.96 |
| 2011088 | 22.30 | 1.33 | 5.05 | 6.50 | 2.42 | 67.50 | 21.43 |
| 2011028 | 24.03 | 1.24 | 4.81 | 7.29 | 2.73 | 64.81 | 22.28 |
| 2011056 | 24.47 | 1.31 | 4.45 | 8.05 | 2.80 | 63.45 | 22.95 |
| 2013017 | 22.72 | 1.15 | 4.22 | 8.29 | 2.43 | 65.51 | 22.27 |
| RC09 | 24.33 | 1.23 | 4.16 | 7.43 | 2.82 | 64.17 | 22.92 |
| 1702 | 25.34 | 1.24 | 4.22 | 6.76 | 2.61 | 64.14 | 20.89 |
| 拉萨黑豌豆 | 24.75 | 1.02 | 5.71 | 7.65 | 2.85 | 63.85 | 22.93 |
| 藏豌 1 号 | 20.06 | 1.43 | 3.82 | 7.60 | 2.54 | 68.50 | 18.68 |
| 须豆类 1 号 | 22.73 | 1.14 | 3.74 | 8.02 | 2.73 | 65.48 | 23.36 |
| 食荚大菜豆 1 号 | 20.91 | 1.35 | 4.77 | 7.93 | 2.80 | 67.07 | 20.37 |
| 2015004 | 23.04 | 1.22 | 3.91 | 7.61 | 2.82 | 65.39 | 21.92 |
| 中秦 1 号 | 26.04 | 1.31 | 4.62 | 7.83 | 2.96 | 61.97 | 26.35 |
| 藏豌 2 号 | 20.07 | 1.25 | 4.06 | 7.93 | 2.82 | 68.07 | 18.99 |
| 2013013 | 22.23 | 1.26 | 3.75 | 7.94 | 2.71 | 65.96 | 22.59 |
| 平均值 | 22.71 | 1.32 | 4.38 | 7.76 | 2.72 | 65.61 | 21.80 |
| 标准方差 | 1.75 | 0.22 | 0.50 | 0.51 | 0.14 | 1.66 | 1.70 |
| 变异系数 | 7.73 | 16.87 | 11.50 | 6.58 | 5.30 | 2.53 | 7.81 |

粗蛋白含量　20个豌豆品种(系)粗蛋白含量均值为22.71%,变异系数为7.73%,不同品种间蛋白质含量变异较小。所有品种(系)中,中秦1号粗蛋白含量最高,为26.04%,其次是1702,含量为25.34%,这2个品种可以作为植物蛋白原料的生产品种;藏豌1号最低,为20.06%;拉萨黑豌豆为24.75%。

粗脂肪含量　粗脂肪含量平均值为1.32%,变异系数为16.87%,不同品种间粗脂肪含量变异相对较大。2011064粗脂肪含量最高,为1.94%;其次是2011029,为1.91%;拉萨黑豌豆最低,为1.02%。

粗纤维含量　粗纤维平均含量为4.38%,变异系数为11.50%,差异相对较小。拉萨黑豌豆粗纤维含量最高,达5.71%;其次是2011088,为5.05%;须豆类1号最低,仅为3.74%,须豆类1号主要是食用嫩荚、嫩叶,因此粗纤维含量较低;2013013含量为3.75%,植株为无限蔓生型,叶尖带有卷须,多花多荚,抗倒伏,籽粒清脆甘甜,可作为优质饲草推广应用。

灰分含量　灰分平均含量为2.72%,变异系数为5.30%,差异相对较小。参试品种(系)中,中秦1号灰分含量最高,为2.96%;2011088最低,为2.42%。

碳水化合物含量　碳水化合物平均含量为65.61%,变异系数为2.53%。藏豌1号碳水化合物含量最高,为68.50%;其次是藏豌2号,为68.07%;中秦1号最低,仅为61.97%。

**2.2　豌豆品质性状的相关性分析**　不同豌豆品种(系)营养品质指标间的相关性分析结果表明(表3),蛋白质含量与粗脂肪含量、水分含量呈负相关,与碳水化合物含量呈极显著负相关;与粗纤维含量、灰分含量呈正相关,与氨基酸总含量呈极显著正相关。粗脂肪含量与水分含量呈正相关,与其他品质呈负相关。粗纤维含量与水分含量、碳水化合物含量呈负相关,碳水化合物含量与氨基酸总含量呈极显著负相关。

**表3　豌豆营养品质指标间的相关性分析**

| 营养品质指标 | 蛋白质含量 | 粗脂肪含量 | 粗纤维含量 | 水分含量 | 灰分含量 | 碳水化合物含量 | 氨基酸总含量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 蛋白质含量 | 1 | | | | | | |
| 粗脂肪含量 | −0.211 | 1 | | | | | |
| 粗纤维含量 | 0.350 | −0.225 | 1 | | | | |
| 水分含量 | −0.341 | 0.309 | −0.384 | 1 | | | |
| 灰分含量 | 0.256 | −0.018 | 0.061 | 0.304 | 1 | | |
| 碳水化合物含量 | −0.922** | −0.011 | −0.216 | −0.022 | −0.443 | 1 | |
| 氨基酸总含量 | 0.787** | −0.051 | 0.212 | 0.042 | 0.317 | −0.847** | 1 |

** 表示在0.01水平上极显著相关

**2.3　豌豆品质特性的主成分分析及综合评价**　主成分分析是将多个变量进行降维处理,将大量数据中的信息囊括在几个潜在因子中进行数据分析的一种综合评价方法。本研究检测的豌豆品质性状间存在一定的相关性,难以直观评价豌豆的综合品质。为更好地评价豌豆的品质,对供试品种的品质性状进行主成分分析。各特征值大小代表各综合指标遗传方差大小,各特征值累计方差贡献率代表各有关综合指标对总遗传方差的贡献率,选用对总遗传方差贡献率达80%的前3个特征根分析其分量来源(表4)。第1主成分特征值为3.026,占特征值总和的43.226%,累计贡献率为43.226%;第2主成分特征值为1.701,占特征值总和的24.294%,累计贡献率为67.520%;第3主成分特征值为0.894,占特征值总和的12.767%,累计贡献率为80.287%。

**表4　3个主成分的特征根值、贡献率及各因子载荷矩阵**

| 项目 | 主成分 | | | 分量来源 |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 特征根(λ) | 3.026 | 1.701 | 0.894 | |
| 贡献率(%) | 43.226 | 24.294 | 12.767 | |
| 累计贡献率(%) | 43.226 | 67.520 | 80.287 | |
| 主成分特征向量 | 0.952 | −0.140 | −0.155 | 蛋白质 |
| | −0.195 | 0.568 | −0.657 | 粗脂肪 |
| | 0.425 | −0.543 | 0.107 | 粗纤维 |
| | −0.174 | 0.850 | 0.212 | 水分 |
| | 0.453 | 0.495 | 0.586 | 灰分 |
| | −0.943 | −0.237 | 0.134 | 碳水化合物 |
| | 0.881 | 0.198 | −0.145 | 氨基酸总含量 |

由表4可知，7个品质性状中蛋白质、粗纤维、灰分、氨基酸总含量对第1主成分有正影响，权重系数较大的为蛋白质和氨基酸总含量。第2主成分的特征向量中，粗脂肪、水分有正影响，且权重较大。第3主成分中，灰分正影响所占权重较大。

用SPSS 20.0软件综合处理可得豌豆各品种（系）综合评价得分值（表5），其中综合得分值大于1的品种（系）分别是中秦1号、2011056和拉萨黑豌豆，综合得分值分别为2.15、1.07和1.02。综合得分介于0到1之间的品种（系）有7个，分别为RC09、2011029、须豆类1号、2011028、2015004、2011064和2013013。其余10个品种（系）综合得分值均小于0。

**2.4 基于7个品质性状的聚类分析** 采用Wrad法对20个豌豆品种（系）的7个品质性状进行聚类分析，在欧氏距离为10时，可将20个豌豆品种（系）按照品质优劣划分为3个类群（图1）。第I类群包括6个品种（系），分别为2011056、RC09、2011028、拉萨黑豌豆、1702和中秦1号，这些品种粗蛋白质平均含量为24.83%，粗脂肪平均含量为1.23%，粗纤维平均含量为4.66%，水分平均含量为7.50%，灰分平均含量为2.80%，碳水化合物平均含量为63.73%。这6个品种（系）的粗蛋白、粗纤维、灰分平均含量较群体含量（即20份品种相应品质性状的均值）分别高9.32%、6.43%、2.76%，而粗脂肪、水分、碳水化合物平均含量较群体低。

第II类群包括9个品种，分别为2011042、CS6007、2011088、2011064、2011029、2013017、2015004、须豆类1号和2013013，这些品种粗蛋白质平均含量为22.43%、粗脂肪平均含量为1.39%，粗纤维平均含量为4.28%，灰分平均含量为2.66%，碳水化合物平均含量为65.79%，氨基酸总含量平均为22.14%。除粗脂肪、水分、碳水化合物、氨基酸总含量均值较群体含量高外，其余3个性状均较群体低。

**表5 豌豆营养成分主成分得分值及排序**

| 品种（系） | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | 综合得分值 | 排序 |
|---|---|---|---|---|---|
| 2011064 | −0.58 | 1.94 | −1.22 | 0.06 | 9 |
| 2011042 | −0.20 | −1.14 | −0.07 | −0.37 | 15 |
| 2013002 | −1.28 | 0.90 | 0.83 | −0.23 | 14 |
| CS6007 | −0.19 | 0 | 0.37 | −0.03 | 11 |
| 2011029 | 0.35 | 1.79 | −0.79 | 0.49 | 5 |
| 2011085 | −2.01 | −0.09 | 0.08 | −0.88 | 17 |
| 2011088 | −1.41 | −2.55 | −0.88 | −1.34 | 19 |
| 2011028 | 1.12 | −0.89 | −0.02 | 0.27 | 7 |
| 2011056 | 2.06 | 0.70 | 0.07 | 1.07 | 2 |
| 2013017 | −0.23 | −0.25 | −0.34 | −0.20 | 13 |
| RC09 | 1.52 | 0.03 | 0.09 | 0.68 | 4 |
| 1702 | 0.74 | −1.36 | −0.53 | −0.08 | 12 |
| 拉萨黑豌豆 | 2.78 | −1.12 | 0.69 | 1.02 | 3 |
| 藏豌1号 | −3.74 | −0.38 | −0.36 | −1.75 | 20 |
| 须豆类1号 | 0.39 | 0.54 | 0.24 | 0.33 | 6 |
| 食荚大菜豆1号 | −1.17 | 0.04 | 0.59 | −0.42 | 16 |
| 2015004 | 0.23 | 0.24 | 0.30 | 0.20 | 8 |
| 中秦1号 | 4.51 | 0.84 | −0.05 | 2.15 | 1 |
| 藏豌2号 | −2.61 | 0.22 | 0.85 | −0.97 | 18 |
| 2013013 | −0.27 | 0.54 | 0.13 | 0.03 | 10 |

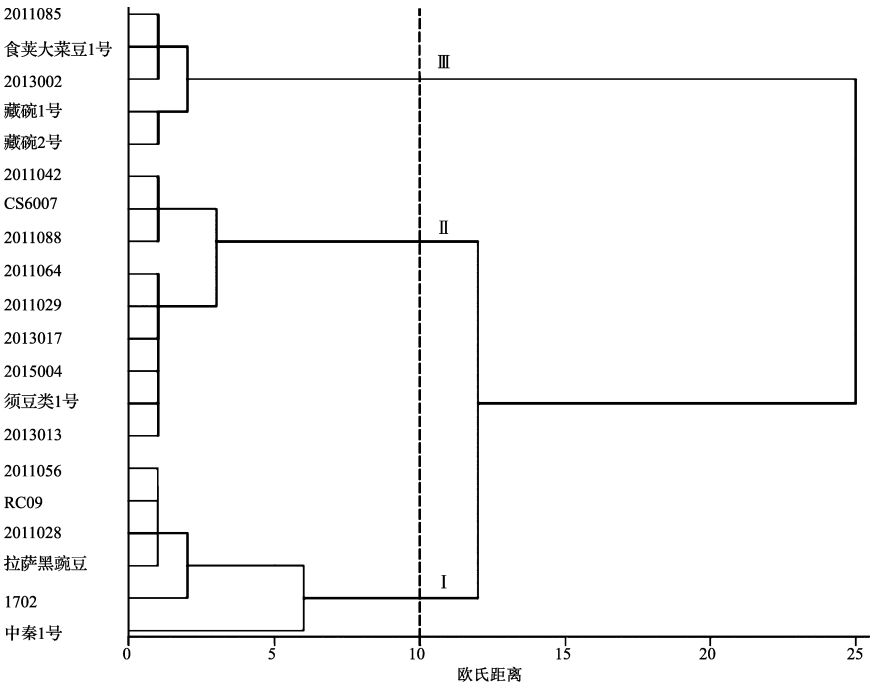


**图1 20个豌豆品种（系）7个品质性状综合聚类**

第III类群包括5个品种，分别为2011085、食荚大菜豆1号、2013002、藏豌1号和藏豌2号，这些品种粗蛋白质平均含量为20.51%，粗脂肪平均含量为1.32%，粗纤维平均含量为4.22%，水分平均含量为7.76%，灰分平均含量为2.72%，碳水化合物平均含量为67.55%，氨基酸总含量平均为19.69%。除碳水化合物含量较均值高外，其他品质含量均等于或低于均值。

从分析结果来看，通过主成分综合得分值筛选出来的优良材料并没有如预期聚成一类，如在主成分分析中综合得分值排名第12位的1702被聚为第I类，而排名第19位的2011088被聚为第Ⅱ类。原因主要在于各性状之间的相关性不显著，主成分分析和聚类分析在本质上不同，部分材料因在部分性状上表现优异致使其综合得分排名靠前，但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。

## 3 结论与讨论

豌豆适应性强、用途广，是重要的蔬菜和杂粮作物，国内外从低海拔到高海拔均有分布，种植方式既有旱作也有水作，遗传多样性极其丰富。准确客观地评价豌豆种质资源遗传多样性是其有效利用的前提[13]。本研究中20个豌豆品种（系）在西藏地区的品质分析结果表明，粗脂肪平均含量为1.32%，粗纤维平均含量为4.38%，灰分平均含量为2.72%，碳水化合物平均含量为65.61%，氨基酸总含量平均值为21.80%。从中国农业科学院作物科学研究所引进的豌豆新品种中秦1号的粗蛋白、灰分、氨基酸总含量最高。

主成分分析和聚类分析被广泛用于评价综合营养品质[14-15]，崔翠等[16]筛选出豌豆铝毒耐性育种和耐性机制研究的重要种质资源C175和C145；赵愉风等[17]通过2.5%PEG溶液模拟干旱胁迫处理萌发期豌豆种子，并采用多种分析方法为豌豆萌发期耐旱性鉴定及耐旱指标筛选奠定了理论基础；李莉等[18]对15份外引豌豆种质资源的主要农艺、经济性状共8个数量性状进行了主成分分析，综合成为4个主成分，聚类划分为5大类群。本研究对20份豌豆的7个品质性状进行主成分分析，综合为3个主成分，聚类划分为3大类，根据两者分析结果的相似性，最终筛选出中秦1号、2011056、拉萨黑豌豆3个优异资源供生产或加工使用。

**参考文献**

[1] 宗绪晓. 豌豆生产技术. 北京：北京教育出版社，2016
[2] 葛姣. 豌豆蛋白在健康功效、功能特性、结构改性及应用方面的研究进展. 中国食品科学技术学会，2019：188-189
[3] 李素芬，刘建福. 豌豆纤维对面团质构及酥性饼干品质的影响. 食品工业科技，2015，36（14）：47
[4] 于翠翠，文华英，张文会. 西藏不同品种（系）豌豆营养成分比较. 农产品加工，2019（22）：71-72，76
[5] 白婷，靳玉龙，朱明霞，王波，唐亚伟. 西藏地区不同青稞品种秸秆饲用品质分析. 饲料工业，2019，40（12）：59-64
[6] 李萍. 西藏林芝地区春青稞产量及其构成因子主成分分析. 西南农业学报，2010，23（1）：26-29
[7] 周启龙，多吉顿珠，土登群培，刘云飞，益西央宗. 拉萨18个引进燕麦品种主要农艺性状和营养成分的遗传多样性分析. 草业科学，2020，37（3）：550-558
[8] 杨林，池福敏，冯建英，张小栓，吴志刚. 西藏林芝地区五种野生食用菌氨基酸主成分分析与综合评价. 食品工业科技，2019，40（16）：260-265，273
[9] 孟霞，卓嘎，旦巴，大次卓嘎，王建林. 西藏野生油菜种质资源植株形态性状多样性分析. 中国农学通报，2010，26（16）：309-314
[10] 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
[11] 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
[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
[13] 崔翠，孙建蓉，赵愉风，郜欢欢，程闯，王瑞莉，王刘艳，周清元. 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. 植物遗传资源学报，2019，20（4）：932-948
[14] 王辉，牟琴，聂廷，王梅，刘嘉，邓仁菊. 基于相关性与主成分分析法综合评价不同品种甘薯脆片加工适宜性. 江苏农业科学，2020，48（6）：173-179
[15] 王倩朝，刘永江，李莉，李淑贤，孔治有，刘俊娜，环秀菊，覃鹏. 藜麦籽粒氨基酸组分遗传特性分析与评价. 中国粮油学报，2020，35（8）：62-68
[16] 崔翠，程闯，赵愉风，郜欢欢，王瑞莉，王刘艳，周清元. 52份豌豆种质萌发期耐铝毒性的综合评价与筛选. 作物学报，2019，45（5）：798-805
[17] 赵愉风，周清元，郜欢欢，叶桑，王倩，程闯，郭彦军，崔翠. 菜用豌豆品种资源萌发期耐旱性鉴定. 核农学报，2019，33（1）：48-59
[18] 李莉，万正煌，焦春海，陈宏伟，刘昌燕，伍广洪. 外引豌豆资源的鉴定及主要数量性状的主成分分析. 湖北农业科学，2014，53（23）：5643-5648

（收稿日期：2020-09-10）