

# 番茄 ILs 果实性状的主成分分析与聚类分析

杨生保<sup>1,2</sup>, 杨涛<sup>2</sup>, 李宁<sup>2</sup>, 唐亚萍<sup>2</sup>, 王强<sup>2</sup>, 帕提古丽<sup>2</sup>, 王柏柯<sup>2</sup>, 张贵仁<sup>2</sup>, 余庆辉<sup>2</sup>, 高杰<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>新疆农业科学院园艺作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

**摘要:** 利用以栽培番茄 *Lycopersicon esculentum* (加工番茄 M82) 为背景创建的 *L. pennellii* LA716 渐渗系群体 (ILs, introgression lines), 对 7 个番茄果实主要性状进行了主成分和聚类分析。结果表明, 7 个果实性状可简化为 3 个主成分, 分别为果实质量因子、果形因子和品质因子, 累计贡献率 85.435%。利用欧式距离, 类平均法可将 77 份渐渗系分为 3 大类群, 第 I 类群包括 70 个渐渗系材料, 在  $D=17.53$  的水平又可将第 I 类群分为 2 个亚群, 果实性状较好的材料主要集中在这个类群中; 第 II 类群包括 1 个材料, 说明此材料的独特性; 第 III 类群包括 6 个材料。

**关键词:** 渐渗系; 果实性状; 主成分分析; 聚类分析

## Principal Component and Cluster Analysis Based on Fruit Traits in ILs of Tomato

YANG Sheng-bao<sup>1,2</sup>, YANG Tao<sup>2</sup>, LI Ning<sup>2</sup>, TANG Ya-ping<sup>2</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>,  
Patiguli<sup>2</sup>, WANG Bai-ke<sup>2</sup>, ZHANG Gui-ren<sup>2</sup>, YU Qing-hui<sup>2</sup>, GAO Jie<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052;

<sup>2</sup> Institute of Horticultural Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091)

**Abstract:** The introgression line population, which was generated via processing tomato parent *Lycopersicon esculentum* M82 and a wild species *L. pennellii* LA716, was employed in this paper to evaluate seven fruit traits using principal component and cluster analysis. The results showed that these seven fruit traits were mainly composed of three independent principal components, including fruit weight factor, fruit shape factor and fruit quality factor, and the cumulative contribution of these three factors was 85.435%. Furthermore, 77 introgression lines could be divided into three groups by euclidean distance UPGMA method. The first group included 70 lines and could be divided into two sub-group at  $D=17.53$  level. The second group included one lines, and the third group included six lines. The experimental result showed that the 70 lines with excellent fruit traits mostly belonged to group one.

**Key words:** introgression lines; fruit traits; principal component analysis; cluster analysis

番茄 (*Lycopersicon esculentum*) 是重要的栽培作物并已完成了基因组测序<sup>[1]</sup>。新疆由于特殊的地理气候特点, 已成为我国重要的加工番茄原料产区, 随着种植面积扩大和种植技术的提升, 优异加工番茄品种的需求日益紧迫。野生种是较丰富的资源并可用于栽培种的性状改良和产量的提高<sup>[2-4]</sup>。

Y. Eshed 等<sup>[5-6]</sup> 以栽培番茄 *Lycopersicon esculentum* (加工番茄 M82) 为背景创建了 *L. pennellii* LA716 渐渗系群体 (ILs, introgression lines), 全套 76 份渐渗系群体覆盖了整个番茄基因组, 平均渗入片段  $12.3 \text{ cM}$ <sup>[3,7]</sup>。目前, ILs 大多用于数量性状 QTLs 定位和主效 QTLs 精细定位研究, 已鉴定了上百个表

收稿日期: 2014-07-01 修回日期: 2014-08-04 网络出版日期: 2015-06-23

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20150623.0859.002.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金 (2013211B24); 新疆维吾尔自治区“十二五”重大专项 (201230116-3); 农业部公益性行业科研专项 (201303115)

第一作者研究方向为蔬菜分子育种。E-mail: ysb.jack@163.com

通信作者: 高杰, 研究方向为蔬菜分子育种。E-mail: ofc111@163.com

型的 3069 个 QTLs<sup>[8-9]</sup>,而且还在不断进行此方面的研究<sup>[10-11]</sup>,该套渐渗系群体非常利于番茄优异性状挖掘和评价。主成分分析和聚类分析避免了人为选择评价因子的主观性,已大量应用于种质资源的评价,例如花生<sup>[12]</sup>、小麦<sup>[13]</sup>、大蒜<sup>[14]</sup>、亚麻<sup>[15]</sup>、番茄<sup>[16]</sup>等。在加工番茄方面,韩泽群等<sup>[17]</sup>利用主成分分析和聚类分析对加工番茄主要农艺性状进行了综合分析,但其参试对象仅为目前新疆种植的加工番茄品种。番茄属于茄科(Solanaceae)番茄属(*Lycopersicon*),原产于中美洲和南美洲,我国资源分布较少,而野生及优异种质资源的缺乏已成为我国品种改良和资源挖掘的瓶颈,鉴于此,项目组从美国番茄遗传资源中心(TGRC, tomato genetic resource center)引进 *L. pennellii* LA716 的 76 个渐渗系,另加背景材料 *Lycopersicon esculentum* M82(加工番茄)共计 77 份材料,通过新疆和海南两季田间试验的观察,

利用主成分和聚类分析,分析了 77 份材料的果实性状,挖掘优异种质资源,为加工番茄品种改良奠定基础,而此类研究鲜有报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

栽培种 *Lycopersicon esculentum* M82 及来自 *L. pennellii* LA716 的 76 个渐渗系。渐渗系群体是基于普通番茄 *L. esculentum* M82 遗传背景,利用侧翼标记,将野生种 *L. pennellii* LA716 片段渗入构建,包括初始含有较长染色体片段的 50 个品系,及后来开发的含有较短片段的 26 个品系,这些含有较短片段的品系与 50 个品系中的一些品系基本完全重叠。上述材料均来自美国番茄遗传资源中心,种子由新疆农业科学院园艺作物研究所繁殖(表 1)。

表 1 供试材料

Table 1 List of materials

编号 Code	品系名称 Name of lines						
1	LA4028	21	LA4057	41	LA4092	61	LA4079
2	LA4031	22	LA4058	42	LA4093	62	LA4080
3	LA4032	23	LA4059	43	LA4094	63	LA4082
4	LA4033	24	LA4060	44	LA4095	64	LA4083
5	LA4037	25	LA3502	45	LA4097	65	LA4085
6	LA4038	26	LA4063	46	LA4099	66	LA4086
7	LA4039	27	LA4064	47	LA3524	67	LA4088
8	LA4040	28	LA4065	48	LA4102	68	LA4090
9	LA4041	29	LA4066	49	LA4029	69	LA4096
10	LA4043	30	LA4067	50	LA4030	70	LA4098
11	LA4044	31	LA4069	51	LA4034	71	LA4101
12	LA4046	32	LA4071	52	LA4035	72	LA4103
13	LA4047	33	LA4074	53	LA4036	73	LA4052
14	LA4048	34	LA4076	54	LA4042	74	LA4070
15	LA4050	35	LA4078	55	LA3488	75	LA4075
16	LA4051	36	LA4081	56	LA4049	76	LA4077
17	LA4053	37	LA4084	57	LA4061	77	LA3475
18	LA4054	38	LA4087	58	LA4068		
19	LA4055	39	LA4089	59	LA4072		
20	LA4056	40	LA4091	60	LA4073		

### 1.2 方法

田间试验共进行了 2 季独立生物学调查,分别

于 2012 年 10 月至 2013 年 2 月在海南三亚新疆农科院南繁基地进行(Trial No. 1),于 2013 年 3-9 月

在新疆农业科学院安宁渠良种繁育场进行 (Trial No. 2)。每季田间试验均单行种植,株距 50 cm,沟心距 1.5 m,每小区种植 20 株,采用滴灌栽培模式,田间管理同大田。田间试验均采用随机区组试验设计,3 次重复。新疆的田间试验在 3 月底播种,5 月中旬定植,海南的田间试验在 10 月育苗,11 月中旬定植。

根据每小区种植株数,在果实开始成熟时每天调查各渐渗系材料的成熟株数,当小区成熟株数达到总株数的 50% 时,记为该小区该材料的始熟期,并于始熟期后 15 d 于每小区随机采取 15 个成熟的单果进行各果实性状的调查。

调查项目:可溶性固形物 (SSC, soluble solid content)、果肉厚 (PT, pericarp thickness)、果形指数 (FSI, fruit shape index)、单果重 (FW, fruit weight)、果实纵径 (FLD, fruit longitudinal diameter)、果实横径 (FTD, fruit transverse diameter) 及单果耐压力

(CRF, compression resistance of per fruit) 参照新疆地方标准 DB65/T3180-2010,用 KQ-1 型颗粒强度仪测定。

数据统计分析:利用 Excel 进行数据录入,用 SPSS 13.0 软件进行主成分分析,关联分析采用 Pearson 双尾法,系统聚类利用 DPS7.05 软件,采用欧式距离类平均法 (UPGMA)。

## 2 结果与分析

### 2.1 ILs 各果实测试性状表现

试验结果表明 (表 2), 所调查的 7 个主要果实性状在 2 个独立试验间存在一定差异, 2 个独立试验各性状变异幅度介于 1.59% ~ 9.70% 之间, 其中单果重变异幅度最大, 2 个独立试验的变异幅度分别为 9.70% 和 6.82%, 各性状变异幅度大小顺序为: 单果重 > 单果耐压力 > 可溶性固形物 > 果肉厚 > 果实横径 > 果实纵径 > 果形指数。

表 2 ILs 群体 7 个果实性状 2 个独立试验间的变异

Table 2 Variations of two trials for seven traits in ILs

性状 Traits	试验 Trial	最小值 Min.	最大值 Max.	均值 Mean	标准误 SE	变异系数 (%) CV	样本数 Sample No.
果实纵径 (mm) FLD	1	29.38	78.25	53.92	0.9776	1.81	3375
	2	28.07	77.94	50.99	0.8083	1.59	3466
果实横径 (mm) FTD	1	27.03	78.46	46.53	0.9039	1.94	3375
	2	20.50	78.38	44.79	0.7604	1.70	3466
果形指数 FSI	1	0.71	1.78	1.15	0.0186	1.62	3375
	2	0.64	1.85	1.14	0.0199	1.75	3466
单果耐压力 (N) CRF	1	10.00	86.20	43.80	2.1356	4.88	3338
	2	9.90	97.20	40.59	1.9442	4.79	3466
果肉厚 (mm) DT	1	2.46	9.88	6.79	0.1701	2.51	3363
	2	2.25	10.18	6.63	0.1830	2.76	3423
可溶性固形物 (%) SSC	1	2.10	8.10	3.93	0.1288	3.28	3336
	2	2.20	7.50	4.27	0.1036	2.43	3443
单果重 (g) FW	1	25.33	106.67	66.23	6.4264	9.70	231
	2	29.33	107.10	60.67	4.1389	6.82	231

### 2.2 ILs 果实性状间的相关性分析

利用 Pearson 两尾测验关联分析, 结果表明 (表 3), 测试的 7 个果实主要性状间存在不同程度的相关性。果实纵径与测试的各性状都存在显著或极显著相关性, 相关系数介于 -0.252 ~ 0.767 之间, 其中与可溶性固形物含量存在显著负相关。果实横径与 5 个性状间存在极显著相关, 相关系数介于

-0.377 ~ 0.944 之间, 其中与果形指数存在极显著负相关。果形指数与 3 个性状间存在显著或极显著相关, 其中与果实横径为极显著负相关。单果耐压力共计与 5 个性状存在显著或极显著相关, 相关系数介于 0.290 ~ 0.610 之间。果肉厚与 5 个性状存在显著或极显著相关, 相关系数介于 -0.280 ~ 0.602 之间, 其中与可溶性固形物含量之间为显著

负相关。仅有 2 个性状与可溶性固形物含量存在显著负相关,分别为果实纵径和果肉厚。单果重与 4 个性状存在极显著相关,相关系数介于 0.472 ~ 0.944 之间。

表 3 各测试性状之间的相关性分析(2 个独立试验的平均值)

Table 3 Pearson correlations for each trait(Average of two trials)

	果实纵径 FLD	果实横径 FTD	果形指数 FSI	单果耐压力 CRF	果肉厚 PT	总可溶性固形物 SSC	单果重 FW
果实纵径 FLD	1						
果实横径 FTD	0.625 **	1					
果形指数 FSI	0.473 **	-0.377 **	1				
单果耐压力 CRF	0.610 **	0.398 **	0.290 *	1			
果肉厚 PT	0.602 **	0.549 **	0.058	0.322 **	1		
总可溶性固形物 SSC	-0.252 *	-0.126	-0.120	-0.095	-0.280 *	1	
单果重 FW	0.767 **	0.944 **	-0.163	0.472 **	0.591 **	-0.204	1

\*、\*\* 表示相关性在 0.05、0.01 水平达到显著

\*, \*\* Correlation is significant at 0.05 and 0.01 level

### 2.3 ILS 果实性状的主成分分析

对 77 份番茄 ILS 资源的 7 个果实主要性状进行主成分分析,从表 4 可看出,前 3 个主成分累计贡献率达 85.435%,其中第 1 主成分特征值为 3.479,贡献率为 49.700%,在该主成分特征向量中单果重的贡献最大,为 0.266,其次为果实纵径和果实横径,这些都与果实重量密切相关,因此可称为“果实

质量因子”。第 2 主成分特征值为 1.536,贡献率为 21.936%,在该主成分特征向量中果形指数的贡献最大,为 0.630,其次为果实纵径,因此可称为“果形因子”。第 3 主成分特征值为 0.966,贡献率为 13.799%,在该主成分特征向量中可溶性固形物的贡献最大,为 0.907,其次为单果耐压力,这些都与果实品质相关,因此可称为“品质因子”。

表 4 各性状主成分特征向量及贡献率

Table 4 Eigenvectors and contribution of principal components

性状 Traits	第 1 主成分 The first PC	第 2 主成分 The second PC	第 3 主成分 The third PC	第 4 主成分 The fourth PC	第 5 主成分 The fifth PC	第 6 主成分 The sixth PC	第 7 主成分 The seventh PC
果实纵径 FLD	0.257	0.227	0.103	0.164	-0.577	-1.546	-7.716
果实横径 FTD	0.245	-0.318	0.077	-0.100	-0.309	-3.205	5.783
果形指数 FSI	0.026	0.630	0.085	0.264	-0.384	0.205	6.066
单果耐压力 CRF	0.188	0.219	0.371	-0.792	0.873	0.110	-0.079
果肉厚 PT	0.215	-0.005	-0.219	0.872	0.933	0.177	0.372
总可溶性固形物 SSC	-0.093	-0.137	0.907	0.504	0.026	0.167	-0.135
单果重 FW	0.266	-0.187	0.055	-0.064	-0.485	4.263	1.250
特征值 Eigenvalues	3.479	1.536	0.966	0.570	0.409	0.032	0.008
贡献率(%) Contribution	49.700	21.936	13.799	8.150	5.845	0.462	0.109
累计百分率(%) Accumulative contribution	49.700	71.636	85.435	93.585	99.430	99.891	100

### 2.4 二维排序分析

以第 1 主成分值为横坐标,分别以第 2 和第 3 主成分值为纵坐标绘制二维排序图(图 1、图 2)。由于第 1 主成分为果实质量因子,是产量形成的关键,单果重越大产量越高,因此值越高越好。第 2 主成分为果形因子,果形指数是果实纵径与横径之比,由于果形指数与单果重的负相关关系,所以第 2 主成分值适

中为宜,符合该特点的材料主要在二维排序图(图 1)纵坐标右侧围绕横坐标处分布。第 3 主成分主要为品质相关因子,由于可溶性固形物和耐压力是加工番茄品种评价的重要指标,越高越好,符合该特点的材料主要在二维排序图(图 2)的右上角,这些材料具有单果质量大且可溶性固形物和单果耐压力高的特点,对加工番茄品种改良具有很好的利用价值。

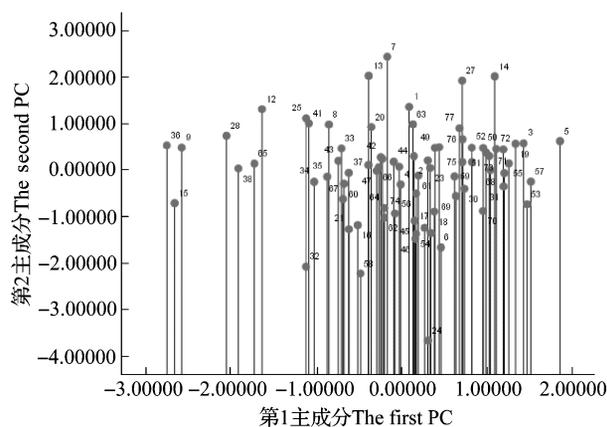


图 1 第 1、2 主成分二维排序图

Fig. 1 Scatter plot based on the first and second PC

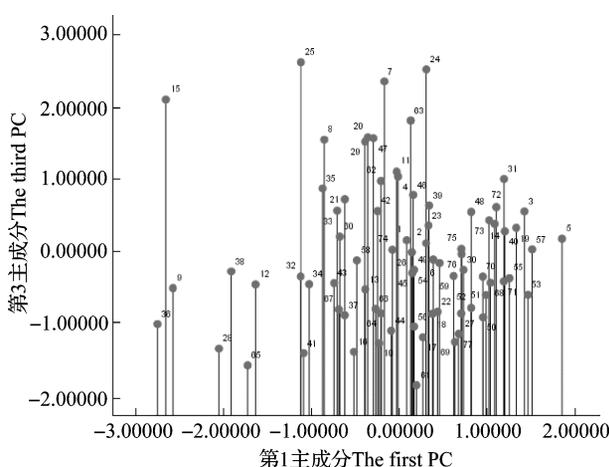


图 2 第 1、3 主成分二维排序图

Fig. 2 Scatter plot based on the first and third PC

## 2.5 基于果实性状的聚类分析

利用 DPS7.05 软件, 采用欧氏距离, 类平均法 (UPGMA) 对 77 份番茄 ILs 的 7 个果实性状进行系统聚类分析。结果表明 (图 3), 77 份 ILs 在欧氏距离  $D = 27.53$  的水平上可划分为 3 大类群, 各类果实性状平均值见表 5。

第 I 类群主要包括 70 个渐渗系材料, 此类群单果重适宜, 可溶性固形物适宜, 单果耐压力适宜, 果形指数适宜, 该类群在  $D = 17.53$  的水平上又可划分为 2 大亚群  $I_1$  和  $I_2$ , 其中第  $I_1$  亚群包括 LA4044、LA4039、LA4093 等 22 份材料。第  $I_2$  亚群主要包括 LA4031、LA4059、LA4063 等 48 份材料。

第 II 类群主要包括 1 个材料, 此类群单果重最大, 可溶性固形物较高, 果肉厚偏低, 单果耐压力适宜, 果形指数偏低, 其对应的材料编号为 LA4060, 说明该材料的独特性。

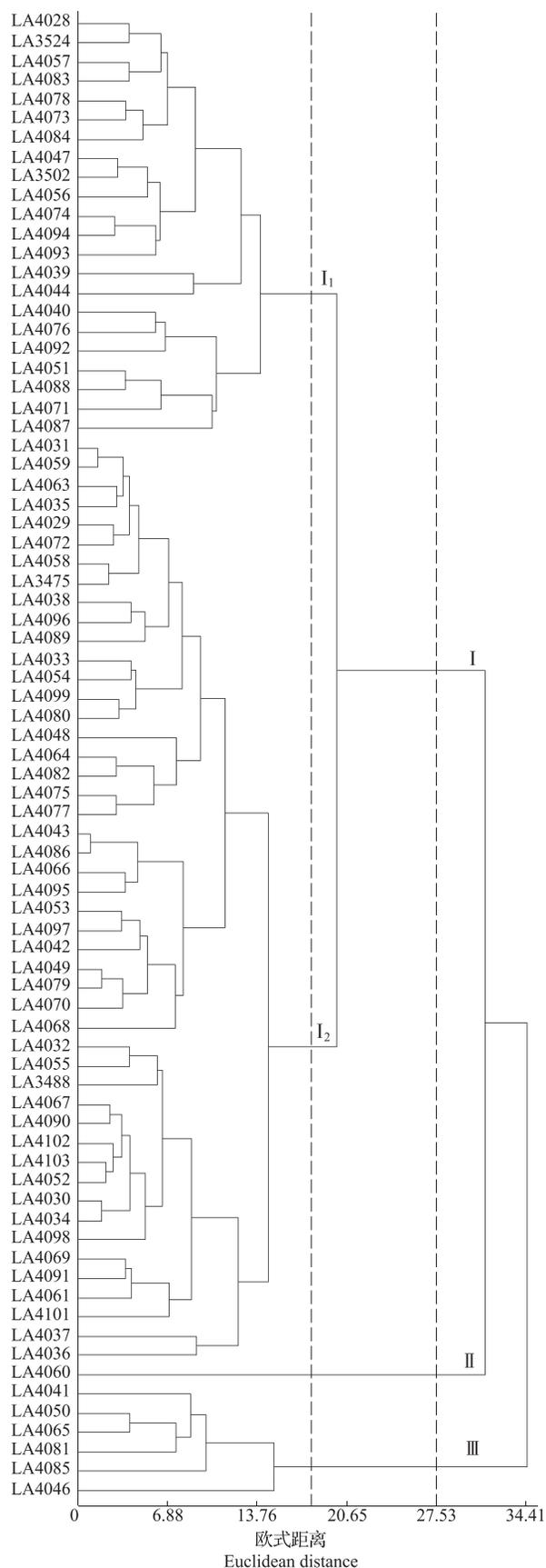


图 3 主要果实性状系统聚类图  
Fig. 3 Dendrogram of cluster analysis of the main fruit character

表 5 各类群果实性状平均值

Table 5 Means of fruit characteristics for every group by cluster analysis

类群 Group	数目 Total	果实纵径 (mm)FLD	果实横径 (mm)FTD	果形指数 FSI	单果耐压力(N) CRF	果肉厚 (mm)PT	总可溶性固 形物(%)SSC	单果重 (g)FW
第 I 类 Group1	70	53.08	46.18	1.16	42.75	6.80	4.10	64.98
第 II 类 Group2	1	49.38	55.34	0.90	42.73	5.03	4.89	93.80
第 III 类 Group3	6	45.36	38.80	1.17	35.61	5.85	3.98	42.59

第 III 类群包括 6 个材料, 此类群单果重偏小, 可溶性固形物偏低, 果肉厚适宜, 单果耐压力偏低, 果形指数适宜, 其编号分别为 LA4041、LA4050、LA4065、LA4081、LA4085 和 LA4046。

### 3 讨论

番茄 *L. pennellii* 渐渗系群体是极具利用价值的研究试材, 因其以加工番茄 M82 为背景构建, 研究该套材料的果实性状对加工番茄育种具有重要意义。本研究对该套材料的果实主要性状进行了测试, 利用 2 个独立试验的测试结果分析了各测试果实性状间的相关性, 并利用主成分和聚类分析, 挖掘其育种价值。2 个独立试验各性状变异幅度介于 1.59% ~ 9.70% 之间, 其中单果重变异幅度最大, 可能因为所调查果实性状为数量性状, 受多基因控制, 易受到不同气候区域和年度间肥水差异影响。果实性状间相关性分析可阐明各果实性状间存在的内在联系, 由分析结果可看出, 果实纵径、果实横径、果形指数、单果耐压力、果肉厚和单果重这 6 个果实性状间彼此紧密程度高, 存在不同程度的相关性, 而可溶性固形物与他们间的相关性较低, 与测试的各性状多呈负相关, 此研究结果与前人研究结果高度相似<sup>[18-20]</sup>。

多元统计方法中的主成分和聚类分析能从不同视角给予农艺性状全面客观的分析<sup>[17]</sup>, 并已在番茄种质资源评价中得到应用<sup>[16,21]</sup>。韩泽群等<sup>[17]</sup>通过主成分和聚类分析将研究的加工番茄 17 个农艺性状简并为 5 个主要因子, 其中果实质量是其中重要的因子之一, 并将 22 个品种划分为 3 类。吴丽艳等<sup>[21]</sup>通过主成分和聚类分析, 将所研究的 12 个果实性状简并为 4 个因子, 并将 62 份樱桃番茄品种划分为 3 类, 同样, 该研究中的果实重量宜成为重要的因子之一。本研究针对 77 份渐渗系材料 7 个果实性状进行研究, 将 7 个果实性状简并为 3 个因子, 3

个因子累计贡献率达 85.435%, 主要为果实质量因子、果形因子和品质因子, 并将 77 个渐渗系材料分为 3 大类群, 其分类结果与前人分类结果相似<sup>[17,21]</sup>。

单果质量是产量形成的关键, 可溶性固形物和单果耐压力是加工番茄重要品质指标, 加工番茄机械采收装车拉运中, 果实易被挤破导致汁液四溢, 因此适宜的果形已成为品种选择的一个重要指标, 本研究聚类分析结果表明第 I 类群的 70 份材料, 单果重、可溶性固形物、单果耐压力和果形指数适宜, 果实呈高圆形, 可用于加工番茄的品种改良和育种, 第 II 类群虽然具有单果质量大和固形物高的特点, 但其果实的纵径远小于果实横径, 果实近扁圆形, 在生产中据笔者观察加工番茄机械采收装车拉运中该果形果实易被挤破导致汁液四溢, 第 III 类群由于单果质量偏小, 可溶性固形物偏低, 单果耐压力偏低, 非加工番茄品种改良的主要需求方向。本研究通过对 77 份番茄 ILs 的 7 个果实性状进行相关性、主成分和系统聚类分析, 为此套材料在加工番茄品种改良和育种研究中应用提供了参考。

#### 参考文献

- [1] The Tomato Genome Consortium. The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution [J]. *Nature*, 2012, 485: 635-641
- [2] Wang B H, Chee P W. Application of advanced backcross quantitative trait locus (QTL) analysis in crop improvement [J]. *J Plant Breed Crop Sci*, 2010, 2(8): 221-232
- [3] Eshed Y, Zamir D. A genomic library of *Lycopersicon pennellii* in *L. esculentum*: A tool for fine mapping of genes [J]. *Euphytica*, 1994, 79: 175-179
- [4] Zamir D. Improving plant breeding with exotic genetic libraries [J]. *Nat Genet*, 2001, 2: 983-990
- [5] Eshed Y, Abu-abied M, Saranga Y, et al. *Lycopersicon esculentum* lines containing small overlapping introgressions from *L. pennellii* [J]. *Theor Appl Genet*, 1992, 83: 1027-1034
- [6] Eshed Y, Zamir D. An introgression line population of *Lycopersicon pennellii* in the cultivated tomato enables the identification and fine mapping of yield-associated QTL [J]. *Genetics*, 1995, 141: 1147-1162
- [7] Liu Y S, Zamir D. Second generation *L. pennellii* introgression

- lines and the concept of fine mapping [C] // Report of the Tomato Genetics Cooperative. Ithaca: Cornell university, 1999, 49: 26-30
- [8] Lippman Z B, Semel Y, Zamir D. An integrated view of quantitative trait variation using tomato interspecific introgression lines [J]. *Curr Opin Genet Dev*, 2007, 17: 545-552
- [9] Alseekh S, Ofner I, Pleban T, et al. Resolution by recombination; breaking up *Solanum pennellii* introgressions [J]. *TIPS*, 2013, 18 (10): 536-538
- [10] 余庆辉, 王柏柯, 刘磊, 等. 番茄芽期耐盐 QTL 定位及其效应的初步分析 [J]. *西北植物学报*, 2010, 30(9): 1792-1798
- [11] 余庆辉, 刘磊, 王柏柯, 等. 利用 *S. pennellii* LA716 渐渗系群体对番茄苗期耐盐 QTLs 进行定位及 QTL 效应的初步分析 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(4): 761-768
- [12] 李清华, 黄金堂, 陈海玲, 等. 27 份花生种质资源的主成分分析及遗传距离测定 [J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 519-524
- [13] 周丽艳, 郭振清, 马玉玲, 等. 春小麦品种农艺性状的主成分分析与聚类分析 [J]. *麦类作物学报*, 2011, 31(6): 1057-1062
- [14] 陈书霞, 周静, 申晓青, 等. 大蒜种质产量和品质性状主成分聚类分析与综合评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(3): 429-434
- [15] 王利民, 张建平, 米君, 等. 国外引进油用亚麻品种资源农艺性状分析与评价 [J]. *中国油料作物学报*, 2011, 33(4): 356-361
- [16] 周蓉, 蒋芳玲, 梁梅, 等. 基于表型性状的番茄品种评价和遗传多样性分析 [J]. *西北农业学报*, 2012, 21(9): 95-102
- [17] 韩泽群, 姜波. 加工番茄品种多性状综合评价方法研究 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47(2): 357-365
- [18] Tanksley S D, Grandillo S, Fulton T M, et al. Advanced backcross QTL analysis in a cross between an elite processing line of tomato and its wild relative *L. pimpinellifolium* [J]. *Theor Appl Genet*, 1996, 92: 213-224
- [19] Bernacchi D, Beck-bunn T, Eshed Y, et al. Advanced backcross QTL analysis in tomato. I. Identification of QTLs for traits of agronomic importance from *Lycopersicon hirsutum* [J]. *Theor Appl Genet*, 1998, 97: 381-397
- [20] Ökmen B, ŞiĖva H Ö, Gurbuz N, et al. Quantitative trait loci (QTL) analysis for antioxidant and agronomically important traits in tomato (*Lycopersicon esculentum*) [J]. *Turk J Agric*, 2011, 35: 501-514
- [21] 吴丽艳, 龚亚菊, 黎志彬, 等. 樱桃番茄种质资源果实相关性状的多元统计分析 [J]. *西南农业学报*, 2012, 25(5): 1818-1822

(上接第 906 页)

#### 参考文献

- [1] 德英, 穆怀彬, 王照兰, 等. 老芒麦和垂穗披碱草 rDNA-ITS 序列分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(4): 609-613
- [2] Lanwrence T. Inheritance of a dwarf character in Russian wildrye grass, *Elymus junceus* [J]. *Can J Genet Cytol*, 1967, 9: 126-128
- [3] Crane C F, Carman J G. Mechanisms of apomixes in *Elymus rectisetus* from East Australia and New Zealand [J]. *Am J Bot*, 1987, 74: 456-477
- [4] 郑殿升, 杨庆文. 中国作物野生近缘植物资源 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 1-11
- [5] 牛永春, 李振岐, 商鸿生. 50 种禾草的抗条锈性鉴定 [J]. *草业科学*, 1991, 8(3): 46-48
- [6] 周荣华, 董玉琛, 李立会, 等. 中国多年生小麦野生近缘植物的抗病性鉴定 [J]. *作物品种资源*, 1993(3): 1-5
- [7] Ni Y, Asamoah-Odei N, Sun G. Maternal origin, genome constitution and evolutionary relationships of polyploid *Elymus* species and *Hordelymus europaeus* [J]. *Biol Plantarum*, 2011, 55(1): 68-74
- [8] Sun G, Zhang X. Origin of the H genome in StH-genomic *Elymus* species based on the single-copy nuclear gene *DMCI* [J]. *Genome*, 2011, 54(8): 655-662
- [9] 王崇云, 党承林. 植物的交配系统及其进化机制与种群适应 [J]. *武汉植物学研究*, 1999, 17(2): 163-172
- [10] 盘朝帮. 一些牧草植物的主要授粉方式 [J]. *四川草原*, 1981(2): 94-96
- [11] 闵继淳. 多年生异花授粉牧草品种及选育方法的讨论 [J]. *八一农学院学报*, 1985(3): 49-52
- [12] 徐柱. 中国禾草属志 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1997
- [13] Hamrick J L, Godt M J W. Allozyme diversity in plant species [C] // Brown A H D. *Plant population genetics, breeding, and genetic resources*. Sunderland: Sinauer Associate, 1990: 43-63
- [14] 德英, 穆怀彬, 刘新亮, 等. 披碱草属 8 种野生牧草居群穗部形态多样性 [J]. *草业科学*, 2011, 28(9): 1623-1631
- [15] 刘林德, 祝宁, 申家恒, 等. 刺五加、短梗五加的开花动态及繁育系统的比较研究 [J]. *生态学报*, 2002, 22(7): 1041-1048
- [16] 肖宜安, 何平, 李晓红. 濒危植物长柄双花木的花部综合特征与繁育系统 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 333-340
- [17] 王照兰, 赵来喜. 老芒麦种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007
- [18] Cruden R W. Pollen-Ovule ration: A conservative indicator of breeding systems in flowering plants [J]. *Evolution*, 1977, 31: 32-36
- [19] Dafni A. *Pollination Ecology* [M]. New York: Oxford University Press, 1992
- [20] 乌吉玛, 德英, 斯琴巴特尔. 不同熟性披碱草自交 & 异交及开放授粉结实率的研究 [J]. *内蒙古草业*, 2013, 25(1): 32-35
- [21] 王洪新, 胡志昂. 植物的繁育系统、遗传结构和遗传多样性保护 [J]. *生物多样性*, 1996, 4(2): 92-96