

朱晓林,魏小红,冯悦,等. 基于多元统计分析的番茄性状研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(7):174-181.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.033

基于多元统计分析的番茄性状研究

朱晓林,魏小红,冯悦,赵耀东

(甘肃农业大学生命科学技术学院,甘肃兰州 730070)

摘要:以培育的 29 份无限生长型番茄为材料,采用相关性、通径与主成分为主的评价方法从番茄内在品质与外在特征等方面综合分析其 12 个农艺性状指标。结果表明:(1)12 个性状指标的平均变异系数为 33.07%,番茄红素含量的变异系数最大,为 73.30%,果形指数的变异系数最小,为 9.20%,各性状指标间既相互独立又密切相关,这种变异为以后的育种与品种改良提供了很大发展空间。(2)相关及通径分析表明,单果质量与果实横径、果形指数的相关系数以及直接通径系数均达到极显著相关水平,与可溶性蛋白含量以及类黄酮含量呈显著负相关;同时以质量为因变量,建立了估测营养成分含量的回归方程。(3)主成分分析将 12 个农艺性状简化为 6 个主成分,且累计贡献率为 85.081%,能够反映 12 个性状的大部分信息,同时对 6 个主成分的特征值进行加权计算,筛选出得分最高的优质番茄材料 516 与 844;多元分析法为今后蔬菜品质准确全面的综合评价提供了一种可行的新思路。

关键词:番茄性状;单果质量;相关分析;通径分析;主成分分析

中图分类号: S641.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0174-08

番茄(*Solanum lycopersicum*),作为茄科番茄属中多汁浆果 1 年生草本植物,被联合国粮农组织列为优先推广的四大水果之一^[1]。番茄果实表面光亮,色泽鲜艳,口味独特,富含番茄红素、维生素和矿物质,营养价值高,具有防癌、降血压、降胆固醇等保健作用^[2-6],深受消费者喜爱。随着番茄的广泛栽培,其消费量也在逐年增加,人们对于番茄的风味及多样性要求也逐渐提高。在提高番茄产量的同时也要求其果实综合表现良好,对影响番茄产量的因素进行分析并对其品质进行综合评价也必不可少。

目前相关分析与通径分析^[7]在作物遗传育种及栽培研究上应用广泛。张京社等对 103 个玉米杂交种的主要农艺性状作相关与通径分析,结果表明,穗部性状在影响籽粒产量诸因素中占主导地位^[8]。申慧芳等对与绿豆产量有关的 12 个农艺性状作相关与通径分析,结果表明,单株荚数、抗性和生育期对绿豆产量影响较大^[9]。苏泽春等对 7 个草莓品种的单株产量及主要经济性状作相关与通

径分析,发现果实横径和硬度是影响单株产量的主要因素^[10]。张继宁等研究 12 个茄子品种的 11 个农艺性状,并作相关与通径分析,结果表明,结果数、单果质量与早期产量 3 个性状对产量影响较大,可作为茄子高产育种主要选择性状^[11]。陈贤等研究番茄红熟果实耐贮性与品质,通径分析结果表明,果实干物质含量是果实变质率的主要影响因素^[12]。曲瑞芳研究认为,番茄果实的番茄红素含量与可溶性固形物含量、黏度等性状呈正相关,与硬度等性状呈负相关^[13]。万赛罗等作番茄果实硬度与相关性状间相关与通径分析,结果表明,纤维素含量和原果胶含量对番茄果实硬度影响最大^[14]。主成分分析法是将多个变量简化为少数几个主成分的多元统计分析法,番茄农艺性状系统是由多个指标构成的复杂系统,各评价指标间存在不同程度的相关性,采用主成分分析法既可以同时提取多个指标的大部分信息,又避免了人为选择评价因子的主观性^[15-17],同时可根据主成分得分筛选出综合得分较高的材料。

目前很多研究只涉及番茄农艺性状与某一个品质指标之间的相关性,主成分分析只涉及筛选出主成分因子。采用相关分析、通径分析、回归分析多种手段进行各指标之间相关性充分分析的研究和根据主成分得分筛选优良品种等的研究还鲜见报道。本试验以 29 份不同果色的番茄种质资源为

收稿日期:2019-03-24

基金项目:国家自然科学基金(编号:31560663)。

作者简介:朱晓林(1996—),男,甘肃临潭人,硕士研究生,专业方向为植物生态生理。E-mail:2428498183@qq.com。

通信作者:魏小红,博士,教授,博士生导师,主要从事植物生理与分子生理方面研究。

材料,采用多元统计分析方法,在相关性及通径分析的基础上,建立关于质量的逐步回归方程,以期为今后在番茄产量预测方面提供参考依据。同时通过主成分分析法在简化分析步骤的基础上,根据主成分因子得分筛选优质的番茄种质资源,以期为今后番茄品种选育提供理论指导。

1 材料方法

1.1 试验地概况

田间试验于 2018 年 3—8 月在甘肃省张掖市益新泉蔬菜育种公司温室大棚内进行,该试验地地处 $100^{\circ}6' \sim 100^{\circ}52' E$ 、 $38^{\circ}32' \sim 39^{\circ}24' N$,平均海拔 1 474 m,属于温带大陆气候。年平均降水量 113 ~ 120 mm,蒸发量 2 047 mm,日照时长 3 086 h,无霜期 138 ~ 179 d,具有日照时间长、温差大等特点,适合番茄生长。试材随机区组排列,3 次重复,每个小区定植 20 株,株距 25 cm,行距 45 cm。

1.2 试验材料

供试番茄种质资源共 29 份,采用局部控制的原则,随机取样,每份材料至少取样 3 份,于 2018 年 8 月初采自甘肃省张掖市益新泉蔬菜育种公司温室大棚内。29 份材料均为培育的番茄种质资源,保存于甘肃农业大学生命科学技术学院,每种种质资源 3 份,每份包含数个果实,品质测定为单个果实取样。

1.3 分析方法

1.3.1 营养组分指标测定方法 可滴定酸含量的测定采用酸碱滴定法^[18],可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法测定^[19],维生素 C 含量的测定采用高效液相色谱法^[20],可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[21],番茄红素含量的测定采用高效液相色谱法^[22],硝酸盐含量的测定采用硝酸根电极法^[23]。

1.3.2 植物次级代谢物指标测定方法 总酚含量的测定采用 Folin-Ciocalteu 比色法^[24];类黄酮含量的测定采用亚硝酸钠-硝酸铝比色法^[25]。

1.3.3 外观指标 单果质量(g,FM)采用精确度为 0.1 g 的电子天平测定,随机测取 3 个果实质量求其平均值,重复 3 次。果实纵径(mm,FW)和横径(mm,FL)采用游标卡尺测定,分别测果实果基到果顶的长度和果实最粗处的直径,各测定 3 次,取平均值。果形按果形指数(纵径/横径: H/D)大小分为圆形($H/D = 0.86 \sim 1.00$)、扁圆形($H/D = 0.71 \sim$

0.85)、扁平形($H/D \leq 0.70$)、长圆形($H/D \geq 1.01$),同时观察果色、果面特征和果肩。

1.4 数据统计分析

每组数据设定 3 个重复,采用 Microsoft Excel 2010 进行数据整理分析,采用 SPSS 21.0 对不同番茄材料的营养组分与次级代谢物方面的指标进行相关性及通径分析,确立关于产量的回归方程,并进行主成分分析,按累计贡献率大于 80% 确定主成分个数。

2 结果与分析

2.1 番茄品质性状的多样性分析

29 份番茄材料的外观特征如表 1 所示,可以看出,果形指数大于 1 的材料有 L8 与 867,属长果形;其余均小于 1,属扁圆或圆形。参试番茄单果质量为 37.9 ~ 232.7 g,果色包括橙红、深红、橘黄、橙黄等,果形指数为 0.73 ~ 1.04,心室数介于 1.9 ~ 12.0 个之间,可见 29 份材料外观特征差异较大,体现了参试番茄材料的多样性,有利于番茄种质资源的深入鉴定与评价。

由表 2 可知,番茄材料性状的变异系数为 9.20% ~ 73.30%,其中变异系数在 35% 以上的有单果质量、可溶性糖含量、类黄酮含量、番茄红素含量,说明其离散程度较大;单果质量性状的方差最大,数值为 2 516.26,反映出在 29 份番茄中其单果质量波动最大;而果形指数与总酸度的方差最小,数值均为 0.01,即这两者的波动最小。

2.2 不同番茄品种性状间的相关分析及通径分析

2.2.1 不同番茄种质资源性状间的相关性分析

由表 3 可知,单果质量与果实纵径、横径间呈极显著正相关,相关系数分别为 0.870、0.879,而与可溶性蛋白、类黄酮含量呈显著负相关,相关系数分别为 -0.379、-0.406;可溶性蛋白含量与硝酸盐含量、果形指数间呈极显著正相关,相关系数分别达 0.586、0.480,与总酚含量间呈显著正相关,相关系数为 0.445,而与果实横径间呈显著负相关,相关系数为 -0.452;同时维生素 C 含量与总酚含量、总酸度与番茄红素含量间也呈显著正相关,其相关系数分别为 0.433、0.428;类黄酮含量与果实纵径、横径间呈显著负相关,相关系数分别为 -0.428、-0.394;而果实横径与纵径间呈极显著正相关,且相关系数达到 0.887。

2.2.2 不同农艺性状指标与果实质量之间的通径

表 1 不同番茄材料的主要外观形态

编号	果色	果面	果肩	果形	果纵径 (cm)	果横径 (cm)	果形指数	心室数 (个)	单果质量 (g,FW)
215	橙红	光滑	无	扁圆	6.37	7.70	0.83	12.0	225.4
511	橙红	光滑	无	扁圆	4.54	5.37	0.85	3.0	90.2
512	橙红	光滑	无	圆形	4.95	5.18	0.96	2.5	69.6
513	橙红	光滑	无	圆形	4.17	4.38	0.95	3.0	74.5
515	橙红	光滑	无	扁圆	4.18	4.99	0.84	2.1	50.8
516	橙红	光滑	无	扁圆	4.65	5.65	0.85	4.3	110.3
517	深红	光滑	无	圆形	5.89	6.64	0.89	7.3	123.1
18	橙红	光滑	无	长圆	6.17	5.95	1.04	5.2	194.9
19	橙红	光滑	无	圆形	6.01	6.66	0.90	4.5	169.5
L10	橙红	光滑	无	圆形	5.70	6.06	0.94	4.2	120.7
L11	深红	光滑	无	扁圆	5.08	6.06	0.84	5.1	145.0
L12	橙红	光滑	无	扁圆	4.53	5.80	0.78	2.1	83.8
L13	橙红	光滑	无	圆形	4.72	5.38	0.88	4.3	124.0
L14	橙红	光滑	无	圆形	4.13	4.58	0.90	4.2	87.3
867	橙红	光滑	无	长圆	3.24	3.17	1.02	2.0	37.9
846	深红	光滑	无	扁圆	5.09	6.44	0.79	5.0	161.0
826	深红	光滑	无	扁圆	3.70	5.09	0.73	2.1	72.5
802	橙黄	光滑	无	圆形	5.28	6.14	0.86	5.2	138.0
861	橙红	光滑	无	扁圆	5.08	6.96	0.73	5.0	174.7
801	橘黄	光滑	无	圆形	7.38	8.21	0.90	10.0	232.7
863	橙红	光滑	无	圆形	5.34	5.93	0.90	10.2	128.2
850	橙黄	光滑	无	扁圆	5.79	7.00	0.83	9.5	137.9
845	橙红	光滑	无	圆形	5.84	6.04	0.97	9.5	126.2
827	橙红	光滑	无	扁圆	4.07	5.38	0.76	2.3	97.6
848	橙黄	光滑	无	扁圆	5.42	6.43	0.84	8.5	166.2
862	橙红	光滑	无	圆形	5.58	6.36	0.88	8.5	152.4
844	橙红	光滑	无	扁圆	5.67	6.63	0.85	7.6	189.4
847	橙红	光滑	无	扁圆	4.81	6.17	0.78	4.1	112.4
828	橙红	光滑	无	圆形	3.81	3.97	0.96	1.9	62.7

注:表中数据为 3 次重复平均值。

表 2 番茄品质性状的多样性分析

性状	单果质量 (g)	可溶性 蛋白含量 (mg/g)	可溶性糖 含量 (mg/g)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	总酸度 (%)	总酚含量 (mg/100 g)	类黄酮 含量 (mg/g)	番茄红素 含量 (mg/100 g)	硝酸盐 含量 (mg/L)	果实纵径 (cm)	果实横径 (cm)	果形指数
最大值	232.73	5.65	84.06	42.43	0.71	8.36	24.36	17.86	6.79	7.38	8.21	1.04
最小值	37.85	1.25	18.36	15.12	0.21	2.45	4.67	0.41	1.59	3.24	3.17	0.73
均值	126.16	3.06	43.29	27.66	0.36	4.89	9.86	5.28	4.11	5.08	5.87	0.87
方差	2 516.26	1.01	240.84	55.63	0.01	2.63	22.26	15.00	1.65	0.84	1.13	0.01
标准差	50.16	1.00	15.52	7.46	0.11	1.62	4.72	3.87	1.29	0.91	1.07	0.08
变异系数(%)	39.76	32.68	35.85	26.97	30.56	33.13	47.87	73.30	31.39	17.91	18.23	9.20

分析 相关性分析只能简单说明 2 个变量间的相关程度和方向。为进一步确定与评估番茄 12 个农艺性状间的相互作用方式,在相关分析的基础上,对

番茄果实的质量与其他农艺性状之间的相关性进行通路分析(表 4)。通过通路分析剖析相关系数,把相关系数分解为直接作用和间接作用 2 个部分。

表 3 供试番茄材料不同性状间的相关性分析

性状	相关系数												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1.000												
2	-0.379*	1.000											
3	0.111	-0.135	1.000										
4	-0.130	0.215	-0.298	1.000									
5	-0.045	0.111	-0.238	-0.041	1.000								
6	-0.229	0.445*	0.028	0.433*	-0.253	1.000							
7	-0.406*	0.188	0.058	0.337	-0.001	0.340	1.000						
8	-0.031	0.121	-0.033	-0.225	0.428*	-0.62	-0.124	1.000					
9	-0.280	0.586**	-0.109	0.130	0.086	0.344	0.233	0.045	1.000				
10	0.870**	-0.226	0.088	-0.128	-0.084	-0.223	-0.428*	-0.058	-0.318	1.000			
11	0.879**	-0.452*	0.143	-0.137	-0.094	-0.290	-0.394*	-0.140	-0.343	0.887**	1.000		
12	0.596**	0.480**	-0.159	0.048	0.043	0.185	0.006	0.182	0.064	0.119	-0.345	1.000	

注: * 代表显著相关($P < 0.05$), ** 代表极显著相关($P < 0.01$)。1—单果质量;2—可溶性蛋白含量;3—可溶性糖含量;4—维生素 C 含量;5—总酸度;6—总酚含量;7—类黄酮含量;8—番茄红素含量;9—硝酸盐含量;10—果实纵径;11—果实横径;12—果形指数。

表 4 番茄农艺性状对单果质量的通径分析

性状	直接通径系数	间接通径系数										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-0.149	—	-0.008	0.010	0.002	0.002	-0.014	0.007	0.080	0.249	-0.947	0.390
2	0.056	0.020	—	-0.013	-0.005	0.000	-0.004	-0.002	-0.015	-0.097	0.300	-0.129
3	0.045	-0.032	-0.017	—	-0.001	0.002	-0.025	-0.013	0.018	0.141	-0.287	0.039
4	0.022	-0.017	-0.013	-0.002	—	-0.001	0.074	0.024	0.012	0.092	-0.197	0.035
5	0.005	-0.066	0.002	0.019	-0.006	—	-0.025	-0.035	0.047	0.246	-0.608	0.150
6	-0.074	-0.028	0.003	0.015	-0.022	0.002	—	-0.007	0.032	0.471	-0.825	0.005
7	0.056	-0.018	-0.002	-0.010	0.009	-0.003	0.009	—	0.006	0.064	-0.293	0.148
8	0.136	-0.087	-0.006	0.006	0.002	0.002	-0.017	0.003	—	0.350	-0.719	0.052
9	-1.101	0.034	0.005	-0.006	-0.002	-0.001	0.032	-0.003	-0.043	—	1.858	0.097
10	2.095	0.067	0.008	-0.006	-0.002	-0.001	0.029	-0.008	-0.047	-0.976	—	-0.280
11	0.813	-0.072	-0.009	0.002	0.001	0.001	0.000	0.010	0.009	-0.131	-0.722	—

注:1—可溶性蛋白含量;2—可溶性糖含量;3—维生素 C 含量;4—总酸度;5—总酚含量;6—类黄酮含量;7—番茄红素含量;8—硝酸盐含量;9—果实纵径;10—果实横径;11—果形指数。

同时分别对相关系数和直接通径系数较大的农艺指标进行分析,当某个农艺性状与果实营养品质之间的直接通径系数与相关系数效应方向相同时,说明该性状与果实营养品质之间直接相关,进一步结合其直接通径系数与相关系数的大小,可判断其是否可作为番茄该营养品质的选择指标;当直接通径系数与相关系数效应方向不相同,说明该性状通过作用于其他指标对目标性状产生影响,因而不能作为番茄该营养品质的选择指标。

由表 3、表 4 可知,可溶性蛋白含量、类黄酮含量、果实横径、果实纵径与单果质量的相关系数绝对值较大,大小排序为果实横径(0.879) > 果实纵

径(0.870) > 类黄酮含量(0.406) > 可溶性蛋白含量(0.379);果形指数、果实横径、果实纵径与单果质量的直接通径系数较大,排序为果实横径(2.095) > 果实纵径(1.101) > 果型指数(0.813)。

果实横径、果形指数与单果质量的相关系数和直接通径系数方向相同,均为正值;可溶性蛋白含量、类黄酮含量与单果质量的相关系数和直接通径系数方向相同,均为负值;果实纵径与单果质量的相关系数和直接通径系数方向相反,说明可溶性蛋白含量、类黄酮含量、果形指数、果实横径可能成为番茄单果质量的筛选指标,而果实纵径则不能成为单果质量的筛选指标。

进一步分析,果实横径、果形指数与单果质量的相关系数达到极显著相关水平,说明它们与番茄单果质量有较大相关性且直接相关,因此可以作为番茄单果质量筛选的评价指标。可溶性蛋白、类黄酮含量与番茄单果质量的相关系数达到显著水平,但其直接通径系数分别仅为 -0.149 、 -0.074 。这是由于可溶性蛋白含量与果实横径呈显著负相关,它通过果实横径对单果质量产生较大的间接负效应。而类黄酮含量也是通过果实横径对单果质量产生较大的间接负效应,从而降低了其对单果质量的直接通径系数。因此可溶性蛋白含量与类黄酮含量不能作为单果质量的筛选指标。

表 5 影响果实质量的主要农艺性状筛选和回归方程建立

质量	影响果实质量的主要性状因子	回归方程	偏回归系数(P_i)	方程 F 值
Y	X_{10}, X_{11}	$Y = -266.832 + 45.138X_{10} + 147.396X_{11}$	$P_{10} = 0.959; P_{11} = 0.232$	58.998**

注: X_{10} —果实横径; X_{11} —果形指数。

2.3 不同农艺性状指标主成分分析

对 12 个番茄品质性状进行主成分分析得到 12 个主成分,其中前 6 个主成分的方差累计贡献率达到 85.081% (表 6),可以说明,前 6 个主成分所包含的信息量足以反映出这 12 个品质性状的绝大部分信息,因而对这 6 个主成分进行分析基本可以达到预期的目的,同时也简化了分析步骤。

表 6 相关矩阵的特征值、百分率及累积百分率

因子	特征值	百分率 (%)	累计百分率 (%)
1	3.808	31.735	31.735
2	1.784	14.869	46.604
3	1.607	13.388	59.993
4	1.206	10.051	70.044
5	0.973	8.105	78.149
6	0.832	6.932	85.081

表 7 列出了各因子的得分,果实横径、果实纵径、单果质量在第 1 主成分上有较高的载荷值,分别为 -0.236 、 -0.212 、 -0.221 ,这些指标均与果形有关,因此称为果形因子;总酸度在第 2 主成分上具有很高的载荷值,为 0.401,果实酸度是决定其风味的关键因子,因此称为风味因子;在第 3 主成分中,载荷值较大的有果形指数、果实纵径,分别为 0.370、0.338,占主要地位的果形指数反映果实形状,因此称为外观因子;可溶性糖、维生素 C 含量在第 4 主

2.2.3 不同农艺性状指标与果实质量之间的回归分析 通过对番茄种质资源的 12 个农艺性状指标进行相关性与通径分析,可较直观地反映各指标与质量之间相关的密切程度。为进一步精确反映它们间存在的相关性,以单果质量为因变量,11 个农艺性状为自变量进行逐步回归分析,建立回归方程。同时为反映各自变量对因变量的重要程度,对回归系数进行标准化处理得到偏回归系数。偏回归系数大则说明自变量对因变量的重要程度较大。由表 5 可知,果实质量主要取决于果实横径与果形指数,这与相关性通径分析结果一致。

成分里有很高的载荷值,分别为 0.613、 -0.462 ,这些性状与果实营养有关,因此称为营养因子;在第 5 主成分里硝酸盐含量载荷最大,为 0.551,代表了以硝酸盐含量为主的成分因子;番茄红素、类黄酮含量在第 6 主成分中的载荷值较大,分别为 0.419、0.548,这些成分主要与果实次级物有关,因此称为次级代谢因子。

表 8 是 6 个主成分的特征值加权计算 12 个性状的主成分因子的综合得分,即不同番茄材料果实的品质综合评价指标,可以看出,材料 516、844 的综合得分最高,均为 8.321 分,可以说明这 2 个番茄材料在综合方面表现良好,是很好的番茄种质资源。其次是 801,得分为 8.105 分,也是一个不错的番茄材料。而综合得分低于 5 的有材料 512、515、L12、L14、867、826、828,这些材料在各方面表现较差,应在今后育种中进行改良。

3 讨论

3.1 番茄品质性状的多样性分析

番茄性状描述结果表明,各指标(除果形指数)的变异系数均大于 15%,其中番茄红素含量的变异最大,达到 73.30%,这是因为被试番茄材料含有不同的果色,而果色则是影响番茄红素含量的一个重要因素。其次为类黄酮含量,变异系数为 47.87%。总酚含量、总酸度与硝酸盐含量间的变异系数差异

表 7 因子载荷矩阵

性状	载荷					
	1	2	3	4	5	6
单果质量	-0.221	-0.036	0.249	-0.013	0.202	0.090
可溶性蛋白含量	0.173	0.075	0.333	0.187	0.102	-0.197
可溶性糖含量	-0.054	-0.140	-0.178	0.613	0.256	0.343
维生素 C 含量	0.096	-0.251	0.217	-0.462	0.027	0.305
总酸度	0.024	0.401	0.002	-0.306	0.356	0.252
总酚含量	0.140	-0.251	0.243	0.143	0.139	0.222
类黄酮含量	0.148	-0.193	-0.098	-0.078	0.220	0.548
番茄红素含量	0.020	0.217	0.036	0.136	0.206	0.419
硝酸盐含量	0.150	0.011	0.166	0.099	0.551	-0.246
果实纵径	-0.212	-0.020	0.338	0.048	0.020	0.087
果实横径	-0.236	-0.097	0.149	-0.069	0.266	0.004
果形指数	0.077	0.162	0.370	0.220	-0.547	0.225

表 8 不同番茄各个主成分及综合得分

编号	特征值						综合得分 (分)
	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	
215	-4.785	-2.420	6.456	-0.368	6.008	4.664	6.043
511	-1.948	-1.929	2.189	2.038	3.895	4.337	5.561
512	-1.336	-1.589	2.235	1.354	3.328	3.256	4.725
513	-1.634	-1.762	1.647	3.158	3.954	4.134	6.195
515	-0.834	-1.514	1.817	0.229	2.494	3.045	3.412
516	-2.318	-2.517	2.371	3.655	5.521	6.066	8.321
517	-2.727	-1.717	3.220	1.537	4.268	3.692	5.318
L8	-4.183	-1.681	5.517	0.076	5.157	3.671	5.428
L9	-3.833	-2.089	4.139	2.522	5.673	4.706	7.140
L10	-2.419	-1.990	3.538	1.382	4.566	4.231	6.027
L11	-3.035	-1.985	4.238	0.906	4.751	4.069	5.747
L12	-1.719	-1.703	2.646	0.928	3.339	3.602	4.594
L13	-2.627	-1.835	3.311	2.162	4.680	3.823	6.153
L14	-1.490	-1.712	3.307	-0.740	3.101	2.881	3.452
867	-0.126	-1.841	1.662	0.105	2.717	3.932	4.258
846	-3.625	-1.390	4.198	1.494	4.907	3.626	5.898
826	-1.083	-2.296	2.278	0.815	3.704	4.161	4.943
802	-3.170	-2.102	3.163	2.997	5.137	4.299	6.647
861	-3.725	-2.157	4.682	1.076	5.434	4.638	6.368
801	-5.096	-3.092	6.222	1.619	7.052	5.999	8.105
863	-2.805	-2.068	3.402	2.111	4.825	4.668	6.545
850	-3.047	-1.913	3.712	1.078	4.407	3.722	5.085
845	-2.620	-1.082	3.813	0.514	4.162	3.646	5.449
827	-2.093	-1.646	2.489	1.846	4.001	3.981	5.557
848	-3.832	-2.156	4.043	2.546	5.484	4.561	6.822
862	-3.075	-1.615	4.686	-0.002	4.677	3.972	5.554
844	-4.338	-1.336	4.629	2.756	6.205	4.998	8.321
847	-2.390	-1.641	3.058	1.390	4.204	3.631	5.327
828	-1.119	-1.532	2.068	0.753	2.893	3.375	4.197

不大,但均大于 30%。说明试验的 29 份番茄种质材料间存在明显的遗传差异,表明在新品种选育过程中质量和可溶性糖含量的选育空间比较大。此外,果实纵径、横径的变异系数分别为 17.91%、18.23%,两者差异很小,推测纵、横径可能受同一类型基因调控。在本试验中,番茄材料种植过程中的栽培管理、土地条件以及成熟度一致,因此番茄果实品质性状的多样性来源于品种间差异性^[26]。

3.2 不同番茄品种性状间的相关分析及通径分析

3.2.1 不同番茄种质资源性状间的相关性分析

番茄果实质量和果实纵径、果实横径间呈极显著的正相关性。可溶性蛋白含量与硝酸盐含量、果形指数间也呈极显著正相关性。果实横径与果实纵径间呈极显著正相关性。根据性状的相关性可以通过对一种性状的选择间接达到选择另一种性状的效果,从而提高选择效率,加速育种进程^[27]。结果显示,有些性状之间表现为显著正相关,而有些性状之间表现为显著负相关,体现出不同品种不同性状之间紧密又复杂的联系,为之后的育种工作提供了参考价值^[28]。

3.2.2 不同农艺性状指标与果实质量之间的通径分析

目前,关于植物性状之间相关性的研究多采用相关与通径分析的手段进行分析说明。本研究在相关与通径分析的基础上,进一步对各相关性状进行回归分析,从而对相关与通径分析的结论进行验证,同时也为番茄果实质量及组分含量提供一种快速无损化估测方法。

由于相关系数是通径分析中直接与间接通径系数共同作用的结果,这定会使直接通径系数与相关系数间存在较大差异。而只有通过 2 种分析方法的相互补充,才能更好地评价性状之间的相关程度以及方式,从而筛选出该地区评价番茄果实主要营养成分含量的影响因子。罗颖等对 6 份番茄品种果实发育、成熟后贮藏过程中可溶性固形物含量的动态变化及其与果实指标的相关性^[29]分析,发现番茄可溶性固形物含量与可滴定酸含量、维生素 C 含量呈极显著相关,与可溶性糖含量呈显著相关,其研究为高可溶性固形物品种的选育提供依据^[29]。本研究以 29 份番茄品种为材料,得到影响番茄果实质量的主要农艺性状,从而可在不损坏果实的基础上,根据对番茄植株以及果实的简单观察与测量,快速地对其营养品质进行判断和选择。

3.2.3 不同农艺性状指标与果实质量之间的回归

分析 此外,本试验利用 29 个番茄品种,分别对番茄的 12 个农艺性状与果实质量间进行逐步回归分析。结果表明,果实横径与果形指数是影响番茄果实质量的主要决定因素,这与相关以及通径分析所得的结果一致。前人曾利用果实颜色的 L^* 、 a^* 、 b^* 值获得各种果实颜色系数,并用其评价番茄果实颜色,其中包括果实 a^*/b^* ^[30-31]。国艳梅等也曾根据番茄果实的颜色系数建立番茄红素含量的回归方程,并采用柱状图的方式对预测值与实测值进行比较,以说明所建方程具较好的拟合性^[31]。本试验所建立回归方程的拟合性较高,说明可用于番茄果实单果质量的定量分析,从而实现番茄果实营养成分含量的快速无损化估测。

3.3 主成分分析

由于多个单一指标间存在信息叠加,很难从单一指标方面评价或筛选番茄品种,同时为使试验具有较强的代表性和结果具有较好的推广应用价值,本研究中选取的参试品种较多,所考察农艺性状之间的关系复杂,使得量化多品种多性状综合评价比较困难。因此多元统计分析方法在作物品种分类和育种材料筛选中的应用显得尤为重要^[32]。本试验采用主成分分析方法,将 12 个农艺性状简化为 6 个主成分,累计贡献率达到 85.081%,同时采用综合评价的方法利用主成分函数筛选出得分较高的番茄材料 516、844、801。目前番茄品种的选育主要采用的是对优质亲本的杂交等方法,存在周期长、结果不确定性较高等缺点,因此利用控制算法实现新番茄品种优化研究,对于番茄加工产业具有非常重要的意义。

4 结论

本研究采用相关及通径分析、逐步回归与主成分分析的多元统计方法,对 29 份番茄种质资源的 12 个农艺性状从不同角度进行了较为全面的评价与分析。由相关及通径分析结果可知,性状间交互关系复杂,既相辅相成,又相互制约。逐步回归确立了以质量为因变量的拟合性较高的预测方程。主成分分析简化了繁琐的分析步骤,筛选出综合得分最高的材料 844、516。多元统计分析方法为番茄育种以及品质分析提供了一种可行的分析思路。

参考文献:

[1]常培培,梁燕,张静,等. 5 种不同果色樱桃番茄品种果实挥发

- 性物质及品质特性分析[J]. 食品科学,2014,35(22):215-221.
- [2] Alshatwi A A, Ai Obaaid M A, Ai Sedairy S A, et al. Tomato powder is more protective than lycopene supplement against lipid peroxidation in rats[J]. Nutrition Research,2010,30(1):66-73.
- [3] Rao A V, Rao L G. Carotenoids and human health [J]. Pharmacological Research,2007,55(3):207-216.
- [4] Fordes, Bergmannmm, Kroger J, et al. Healthy living is the best revenge: findings from the european prospective investigation into cancer and nutrition - potsdam study [J]. Archives of Internal Medicine,2009,169(15):1355-1362.
- [5] Block Q, Patterson B, Subar A. Fruit, vegetables, and cancer prevention;a review of the epidemiological evidence[J]. Nutrition and Cancer,1992,18(1):1-29.
- [6] Butelli E, Titta L, Giorgio M, et al. Enrichment of tomato fruit with health - promoting anthocyanins by expression of select transcription factors[J]. Nature Biotechnology,2008,26(11):1301-1308.
- [7] 李春喜,姜丽娜,邵云. 生物统计学[M]. 5版. 北京:科学出版社,2013.
- [8] 张京社,杨玉东,王志忠,等. 玉米杂交种主要农艺性状的相关与通径分析[J]. 山西农业科学,2006,34(1):23-25.
- [9] 申慧芳,李国柱. 绿豆产量构成因素的相关与通径分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2005(2):164-167.
- [10] 苏泽春,和加卫,和志娇,等. 草莓主要经济性状与单株产量的相关和通径分析[J]. 江西农业学报,2014,26(8):18-21.
- [11] 张继宇,袁文业,郭仰东. 茄子主要农艺性状的相关与通径分析[J]. 中国农学通报,2007,23(5):290-292.
- [12] 陈贤,王再强,关文灵,等. 番茄品系红熟果实的耐贮性与品质的通径分析[J]. 北方园艺,2007(7):18-20.
- [13] 曲瑞芳. 番茄果实中番茄红素的遗传分析及与农艺性状的相关性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2006.
- [14] 万赛罗,李翔,梁伍七,等. 番茄果实硬度与相关性状间的相关及通径分析[J]. 中国园艺文摘,2009(4):32-34.
- [15] Sheqiang M, Chunfu S, Rungping Z, et al. Traffic safety evaluation of the provincial regions in China based on principal component analysis[C]//Intelligent Computation Technology and Automation, 2009. ICICTA'09. Second International Conference on. IEEE, 2009:864-867.
- [16] Liu C H, Xu L, Gao H Y, et al. Water quality evaluation in representative lake based on principal component analysis [C]// Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE),2011 International Conference on. IEEE,2011:4704-4707.
- [17] Ding C. Principal component analysis of water quality monitoring data in Xiasha region [C]//Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on. IEEE,2011:2321-2324.
- [18] 李文生,冯晓元,王宝刚,等. 应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J]. 食品科学,2009,30(4):247-249.
- [19] 田玉肖,黄玉婷,张芬,等. 红柄叶用甜菜主要营养成分及抗氧化能力分析[J]. 核农学报,2018,32(10):1984-1991.
- [20] 马倩倩,吴翠云,蒲小秋,等. 高效液相色谱法同时测定枣果实中的有机酸和维生素C含量[J]. 食品科学,2016,37(14):149-153.
- [21] 赵英永,戴云,崔秀明,等. 考马斯亮蓝G-250染色法测定草乌中可溶性蛋白质含量[J]. 云南民族大学学报(自然科学版),2006,15(3):235-237.
- [22] 张亮,张坤生,吕晓玲,等. 番茄红素测定方法的研究[J]. 中国食品学报,2005,5(1):75-78.
- [23] 任韧,金铨,龚立科,等. 分光光度法测定不同食品基质中亚硝酸盐含量[J]. 中国食品卫生杂志,2016,28(4):480-484.
- [24] 曹炜,索志荣. Folin-Ciocalteu 比色法测定蜂蜜中总酚酸的含量[J]. 食品与发酵工业,2003,29(12):80-82.
- [25] 周春华,孙崇德,李鲜. 富含绿原酸的植物中类黄酮测定方法探讨[J]. 植物生理学通讯,2007,43(5):902-904.
- [26] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报,2014,30(13):276-285.
- [27] 刘子记,申龙斌,杨衍,等. 甜椒核心种质遗传多样性与亲缘关系分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):199-202.
- [28] 芮文婧,张倩男,王晓敏,等. 47份大果番茄种质资源表型性状的遗传多样性[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):92-95.
- [29] 罗颖,薛琳,黄帅,等. 番茄果实可溶性固形物含量与果实指标的相关性研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2010,28(1):23-27.
- [30] Drogoudi, Pavlina D, Pantelidis, et al. Effects of position on canopy and harvest time on fruit physico-chemical and antioxidant properties in different apple cultivars [J]. Scientia Horticulturae, 2011,129(4):752-760.
- [31] 国艳梅,杜永臣,王孝宜,等. 利用色差仪估测番茄果实番茄红素含量的研究[J]. 中国蔬菜,2008(11):10-14.
- [32] 王晓静,梁燕,徐加新. 番茄品质性状的多元统计分析[J]. 西北农业学报,2010,19(9):103-108.

(上接第117页)

- [15] 吴时英,徐颖. 城市森林病虫害图谱[M]. 上海:上海科学技术出版社,2005:1-165.
- [16] 王炎. 上海林业病虫害[M]. 上海:上海科学技术出版社,2008:1-186.
- [17] 徐公天,杨志华. 中国园林昆虫[M]. 北京:中国林业出版社,2007:1-287.
- [18] 郑乐怡,归鸿. 昆虫分类(上、下册)[M]. 南京:南京师范大学出版社,1999:1-598.
- [19] 虞国跃,王合. 王家园昆虫[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [20] 马克平. 生物多样性的测度方法[J]. 生物多样性,1994,2(2):162-168.
- [21] 荣亮,李恺,严莹,等. 上海市崇明岛不同季节的昆虫多样性[J]. 昆虫知识,2009,46(5):772-777.
- [22] 高磊,章一巧,池杏珍. 城市不同绿地类型节肢动物群落的组成与结构[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2016,34(2):53-57.
- [23] 雷相东,唐守正,李冬兰,等. 东北过伐林灌木层物种多样性与林分因子的典型相关分析[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(4):346-350.