

100份黄瓜种质资源商品瓜主要品质性状分析

李悦¹, 宋晓飞¹, 杨艳红¹, 赵剑宇², 朱雪云¹, 崔浩楠¹, 李晓丽^{1*}, 闫立英¹

(1. 河北科技师范学院园艺科技学院, 河北秦皇岛 066000; 2. 中国农业大学园艺学院, 北京 100193)

摘要 以国内外搜集的100份黄瓜资源为试材, 对商品瓜的单瓜重、瓜长、瓜横径、瓜把长、中心腔横径、瓜心室数、可溶性固形物含量7个品质性状进行主成分和聚类分析, 选出特征根累计贡献率为93.908 7%的前4个主成分, 在主成分分析的基础上, 对100份黄瓜种质资源进行聚类分析, 将其分为四大类群: 第1类为短果型, 共38份; 第2类为短果优质型, 共26份; 第3类为长果型, 共19份; 第四类为多心室型, 共17份。该研究为黄瓜优质新品种选育奠定了材料基础。

关键词 黄瓜; 种质资源; 新品种选育; 主成分; 聚类分析

中图分类号 S642.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)02-0051-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.02.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of Main Quality Characters of 100 Cucumber Germplasm Resources

LI Yue, SONG Xiao-fei, YANG Yan-hong et al (College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao, Hebei 066000)

Abstract Taking 100 cucumber resources collected at home and abroad as test materials, the principal component and cluster analysis were carried out on the seven quality traits of commercial melon, including single melon weight, melon length, melon transverse diameter, melon handle length, central cavity transverse diameter, melon ventricular number and soluble solid content. The first four principal components with the cumulative contribution rate of characteristic roots of 93.908 7% were selected on the basis of principal component analysis, 100 cucumber germplasm resources were clustered and divided into four groups; the first group was short fruit type, a total of 38; the second type was short fruit high-quality type, with a total of 26 copies; the third type was long fruit type, a total of 19; the fourth category was multi ventricular type, a total of 17. It laid a material foundation for the breeding of new high-quality cucumber varieties.

Key words Cucumber; Germplasm resources; Breeding of new varieties; Principal component; Cluster analysis

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)为葫芦科黄瓜属植物, 又名胡瓜, 是一种世界性蔬菜, 我国已栽培2000多年, 在蔬菜产业中占有重要地位^[1]。“十三五”期间, 我国黄瓜年均播种面积122.97万hm², 产量6 623.08万t^[2], 生产规模位居世界第一。近年来, 随着生活水平的提高, 人们对黄瓜的商品品质提出了更高要求, 因此提高商品瓜品质是黄瓜育种的重要目标^[3]。利用遗传基础丰富的种质资源, 了解黄瓜主要性状的遗传多样性, 对黄瓜新品种选育具有十分重要的意义^[4]。种质资源携带大量的生物遗传信息, 是作物性状遗传和品种选育的物质基础^[5]。目前, 关于黄瓜种质资源的收集与评价及遗传多样性的研究较多, 种质资源遗传多样性的常用分析方法有相关分析、主成分分析和聚类分析等^[6]。徐强等^[7]对19个加工类型黄瓜品种的主要品质性状进行了主成分分析和聚类分析, 结果表明, 当聚类平均距离为0.942时, 19个品种被聚为短果中等品质、短果优质和长果高产3种类型。曹齐卫等^[8]对138个来源于不同区、适于设施栽培的黄瓜品种的多个果实外观品质性状进行了遗传多样性分析, 结果表明, 华南型品种的果实数量性状变异系数均大于华北型品种和欧洲温室型品种。于娅等^[9]对43份黄瓜种质资源的12个农艺性状进行了主成分分析和聚类分析, 结果表明, 12个性

状可以综合成4个主要成分, 即叶片因子、果实大小因子、颜色因子、产量因子。搜集并筛选优质黄瓜种质资源是黄瓜优质育种的前提, 加强种质资源利用及开展种质资源鉴定评价将会对黄瓜育种工作有推动作用。笔者对课题组收集的100份黄瓜品种资源的商品瓜主要品质性状进行主成分分析和聚类分析, 明确其品质主要特征, 了解商品品质主要性状间的关系, 并将100份黄瓜种质资源进行分类, 为种质资源的利用及黄瓜新品种选育提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验材料来自国内外种质资源, 共计100份。材料来源及编号见表1。

1.2 试验方法 试验于2021年8—11月在河北科技师范学院园艺园林实验站施各庄基地进行。采用顺序排列法, 不设重复, 各材料定植4株。结果盛期, 每份材料选取5条正常商品瓜进行主要品质性状的调查, 包括单瓜重、瓜长、瓜横径、瓜把长、中心腔横径、瓜心室数、可溶性固形物含量。调查测定方法参照《黄瓜种质资源描述规范和数据标准》^[10]。

1.3 数据分析 应用Excel软件求出商品瓜各主要品质性状的最大值、最小值、平均值和标准差, 并计算变异系数。运用DPS软件进行主成分分析并形成聚类图, 聚类方法选择离差平方和法, 聚类距离选择卡方距离^[11]。

2 结果与分析

2.1 黄瓜种质资源商品瓜主要品质性状分布情况 100份黄瓜种质资源的商品瓜主要品质性状分布情况见表2。由表2可知, 100份种质资源的商品瓜主要品质性状存在不同程度的多样性。100份黄瓜平均单瓜重为150.89 g, 瓜长平均

基金项目 河北省现代农业产业技术体系蔬菜创新团队项目(HBCT-2018030209); 果菜类蔬菜现代种业科技创新团队项目河北省黄瓜育种创新团队(21326309D-4); 河北省高校园艺作物育种应用技术研发中心(YF201404)。

作者简介 李悦(1995—), 女, 河北廊坊人, 硕士研究生, 研究方向: 黄瓜遗传育种。*通信作者, 副教授, 硕士, 从事黄瓜遗传育种与分子生物学研究。

收稿日期 2022-02-15

为 15.71 cm,瓜把长平均为 2.44 cm,瓜横径平均为 3.94 cm,中心腔横径平均为 2.43 cm,可溶性固形物含量平均为 3.32%,瓜心室数平均 3.20 个。这 7 个品质性状的变异系数相差较大,其中,瓜把长变异系数最大,为 59.74%,最大值为 8.28 cm,最小值为 1.00 cm,标准差为 1.46 cm。可溶性固形物含量变异系数最小,仅为 7.53%,最大值 4.25%,最小值

2.83%,标准差为 0.25%。各品质性状的变异系数由大到小依次为瓜把长>瓜长>单瓜重>中心腔横径>瓜心室数>瓜横径>可溶性固形物含量。说明 100 份种质资源商品瓜瓜把长分布较广,而可溶性固形物含量分布较为集中,可为不同育种目标的种质资源筛选奠定材料基础。

表 1 试验材料来源及编号

Table 1 Source and number of test materials

序号 Serial number	国家 Country	种质资源编号 Germplasm resource number	种质资源份数 Number of germplasm resources
1	西班牙 Spain	21A25	1
2	俄罗斯 Russia	21A31	1
3	巴西 Brazil	21A86	1
4	埃及 Egypt	21A36	1
5	伊朗 Iran	21S55,21A56	2
6	土耳其 Turkey	21A40,21A41,21A44,21A51,21A52,21A53	6
7	美国 U.S.A	21A02,21A04,21A08,21A09,21A12,21A14,21A96,17S-185,17S-198,17S-217	10
8	中国 China	21A101,21A103,21A104,21A105,21A106,21A107,21A108,21A109,21A110,21A111,21A112,21A113,21A114,21A116,21A118,21A119,21A122,21A123,21A125,21A126,21A127,21A128,21A131,21A132,21A133,21A134,21A135,21A136,21A137,21A138,21A139,21A140,21A141,21A142,21A143,21A144,21A146,21A148,21A149,17S-1,17S-3,17S-4,17S-10,17S-13,17S-20,17S-23,17S-28,17S-31,17S-43,17S-44,17S-49,17S-51,17S-56,17S-74,17S-77,17S-86,17S-98,17S-108,17S-109,17S-116,17S-117,17S-118,17S-126,17S-132,17S-135,17S-152,17S-155,17S-175,17S-199,17S-200,17S-201,17S-208,17S-209,17S-210,17S-211,17S-212,17S-222,17S-221	78

表 2 100 份黄瓜种质资源主要品质性状基本特征

Table 2 Basic characteristics of main quality characters of 100 cucumber germplasm resources

项目 Item	单瓜重 Single melon weight//g	瓜长 Melon length cm	瓜把长 Melon handle length//cm	瓜横径 Transverse diameter of melon//cm	中心腔横径 Transverse diameter of central cavity//cm	可溶性固 形物含量 Soluble solid content//%	瓜心室数 Number of melon ventricles 个
最大值 Maximum	266.03	32.63	8.28	5.53	3.41	4.25	4.00
最小值 Minimum	101.55	6.50	1.00	3.40	1.50	2.83	3.00
平均 Average	150.89	15.71	2.44	3.94	2.43	3.32	3.20
标准差 Standard deviation	24.86	5.40	1.46	0.34	0.30	0.25	0.38
变异系数 CV//%	16.48	34.37	59.74	8.61	12.18	7.53	11.91

2.2 黄瓜种质资源商品瓜主要品质性状主成分分析 主成分分析能够将大量的性状简化成较少且不相关的指标信息^[12],近年来,主成分分析方法已被运用在中药^[13]、水稻^[14]、番茄^[15]上开展种质资源评价。对 100 份黄瓜种质资源的商品瓜主要品质性状进行主成分分析,各特征根及其贡献率和特征向量见表 3 和表 4。特征根的大小说明该综合指标(即主成分)遗传方差的大小,其累计贡献率表示该综合指标对总遗传方差贡献的百分率^[16]。

由表 3 可知,前 4 个特征根的累计贡献率已达 93.908 7%,说明 7 个性状的绝大部分信息可简化为前 4 个主成分。按照累计贡献率一般应大于等于 85%的原则,选前 4 个主成分及特征向量列于表 4。特征向量可体现各性状对综合指标的贡献程度^[7]。

由表 3 可知,第 1 主成分的特征值为 3.523 7,贡献率为 50.338 2%。对应的特征向量中,各性状从大到小依次为瓜长、瓜把长。在这一特征向量中,瓜长最大,其次为瓜把长,

因此这一主成分可作为果实纵向表现的综合指标,定性为纵向因子。

表 3 主成分的特征根及贡献率

Table 3 Characteristic roots and contribution rate of principal components

序号 Serial number	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate//%	累计贡献率 Cumulative contribution rate//%
1	3.523 7	50.338 2	50.338 2
2	1.328 8	18.983 1	69.321 3
3	1.005 9	14.369 5	83.690 8
4	0.715 3	10.217 9	93.908 7
5	0.213 6	3.052 0	96.960 7
6	0.145 4	2.077 2	99.037 9
7	0.067 3	0.962 1	100

第 2 主成分的特征值为 1.328 8,贡献率为 18.983 1%,累计贡献率达 69.321 3%,瓜心室数最大。说明瓜心室数对第 2

主成分贡献最大,故将第 2 主成分称为心室数因子。

第 3 主成分的特征值为 1.005 9,贡献率为 14.369 5%,累计贡献率达 83.690 8%,可溶性固形物含量贡献最大,说明可溶性固形物含量可作为果实品质的综合指标,定性为可溶性固形物含量因子。

第 4 主成分的特征值为 0.715 3,贡献率为 10.217 9%,累

计贡献率达 93.908 7%,单瓜重贡献最大,说明单瓜重可作为果实产量的综合指标,定性为单瓜重因子。

由于这 4 个主成分的累计贡献率为 93.908 8%,因此利用这 4 个主成分就可以区分出 100 份黄瓜种质资源的类型,为种质资源的快速评价与筛选利用奠定了理论基础。

表 4 前 4 个主成分对应的特征向量

Table 4 Eigenvectors corresponding to the first four principal components

性状 Character	第 1 主成分 The first principal component	第 2 主成分 The second principal component	第 3 主成分 The third principal component	第 4 主成分 Fourth principal component
单瓜重 Single melon weight(x_1)	0.397 6	0.404 4	0.046 9	0.441 7
瓜长 Melon length(x_2)	0.512 1	0.054 9	-0.058 0	0.166 1
瓜把长 Melon handle length(x_3)	0.482 5	0.187 8	-0.021 3	0.149 6
瓜横径 Transverse diameter of melon(x_4)	-0.432 4	0.393 3	-0.026 0	0.267 8
中心腔横径 Transverse diameter of central cavity(x_5)	-0.381 3	0.485 1	-0.070 8	0.331 6
可溶性固形物含量 Soluble solid content(x_6)	-0.004 7	0.098 1	0.988 9	-0.054 8
瓜心室数 Number of melon ventricles(x_7)	0.120 4	0.631 3	-0.101 6	-0.755 1

2.3 黄瓜种质资源商品瓜主要品质性状的聚类分析 聚类分析可了解种质资源的亲缘性,分析性状之间、种质资源之间的关系,为设定育种方案提供一定的理论依据^[17]。近年来,运用聚类分析方法对种质资源进行评价在甜瓜^[18]、大豆^[19]、花椰菜^[20]上已有报道。利用上述主成分分析中选取的 4 个主成分所涉及的 5 个性状指标作为分析指标,采用离差平方和法对 100 份黄瓜种质资源进行系统聚类分析。聚类结果(图 1)显示,在阈值为 1.54 时,可将 100 份黄瓜种质资源分为四大类。第 1 类包括 21A25、21A52、21A31、21A114、21A139、21A134、21A112、21A109、21A113、21A55、21A137、17S-209、21A111、21A107、21A108、21A118、21A135、17S-152、21A51、17S-43、17S-132、17S-217、21A53、17S-13、21A146、17S-56、21A04、21A142、21A140、17S-1、21A141、21A09、21A14、17S-211、21A126、17S-198、21A128、21A136,共 38 份种质资源,占 38%。

第 2 类包括 21A40、17S-208、21A110、21A133、21A56、21A08、17S-212、21A101、21A103、21A41、21A138、17S-86、21A96、21A119、17S-109、21A44、21A104、21A105、17S-49、17S-221、21A148、21A02、17S-98、21A12、17S-10、21A132,共 26 份种质资源,占 26%。

第 3 类包括 21A36、17S-4、17S-74、21A86、17S-185、21A149、17S-201、21A116、17S-108、21A106、17S-44、17S-116、17S-77、17S-175、17S-155、17S-28、17S-117、17S-126、17S-51,共 19 份种质资源,占 19%。

第 4 类包括 21A122、21A131、21A127、21A144、17S-210、17S-222、17S-3、21A125、17S-200、17S-31、21A143、17S-23、17S-118、17S-135、21A123、17S-199、17S-20,共 17 份种质资源,占 17%。

各类群 5 个品质性状的平均值见表 5。由表 5 可知,第 1 类种质资源共性特点是果实短小,瓜长平均 11.98 cm,最短只有 9.40 cm,最长为 16.30 cm,可称为短果类型。第 2 类种

质资源果实也较短,但可溶性固形物含量高于其他类群,可溶性固形物含量最高为 3.80%,最低为 3.20%,平均 3.45%,可称为短果优质类型。第 3 类种质资源商品瓜均较长,瓜长平均 23.11 cm,最长为 29.90 cm,最短为 15.10 cm,可称为长果类型。第 4 类瓜心室数多于其他类群,称为多心室类型。

表 5 5 个品质性状的平均值

Table 5 Average value of 5 quality characters

类别 Category	单瓜重 Single melon weight g	瓜长 Melon length cm	瓜把长 Melon handle length cm	可溶性固形物含量 Soluble solid content %	瓜心室数 Number of melon ventricles 个
第 1 类 Category 1	138.05	11.98	1.53	3.21	3.07
第 2 类 Category 2	141.87	14.36	1.94	3.45	3.08
第 3 类 Category 3	175.57	23.11	4.17	3.32	3.07
第 4 类 Category 4	165.82	17.86	3.32	3.32	3.73

3 结论与讨论

综合分析 100 份黄瓜种质资源的主要品质性状发现,这些资源具有丰富的遗传多样性,育种价值较大,可为黄瓜优良品种选育奠定材料基础。

变异系数大于 10%时,说明品种间该性状差异较大^[21],该试验的 7 个品质性状中,瓜把长变异系数最大,为 59.74%,最大值为 8.28 cm,最小值为 1.00 cm,标准差为 1.46 cm。各品质性状的变异系数表现为瓜把长>瓜长>单瓜重>中心腔横径>瓜心室数>瓜横径>可溶性固形物含量。品种性状的变异系数高是品种改良及选育的基础^[22],该试验中 100 份黄瓜种质资源品质性状变异较大,可为黄瓜品质育种提供丰富的材料。

主成分分析可进行目标性状的简化,该试验将 7 个品质性状简化为 4 个主要成分,即纵向因子、心室数因子、可溶性固形物含量因子、单瓜重因子,累计贡献率达 93.908 8%,说明前 4 个主成分已经包含了参试资源的大量遗传信息,可利

用这些成分包含的性状进行种质资源的快速综合评价。

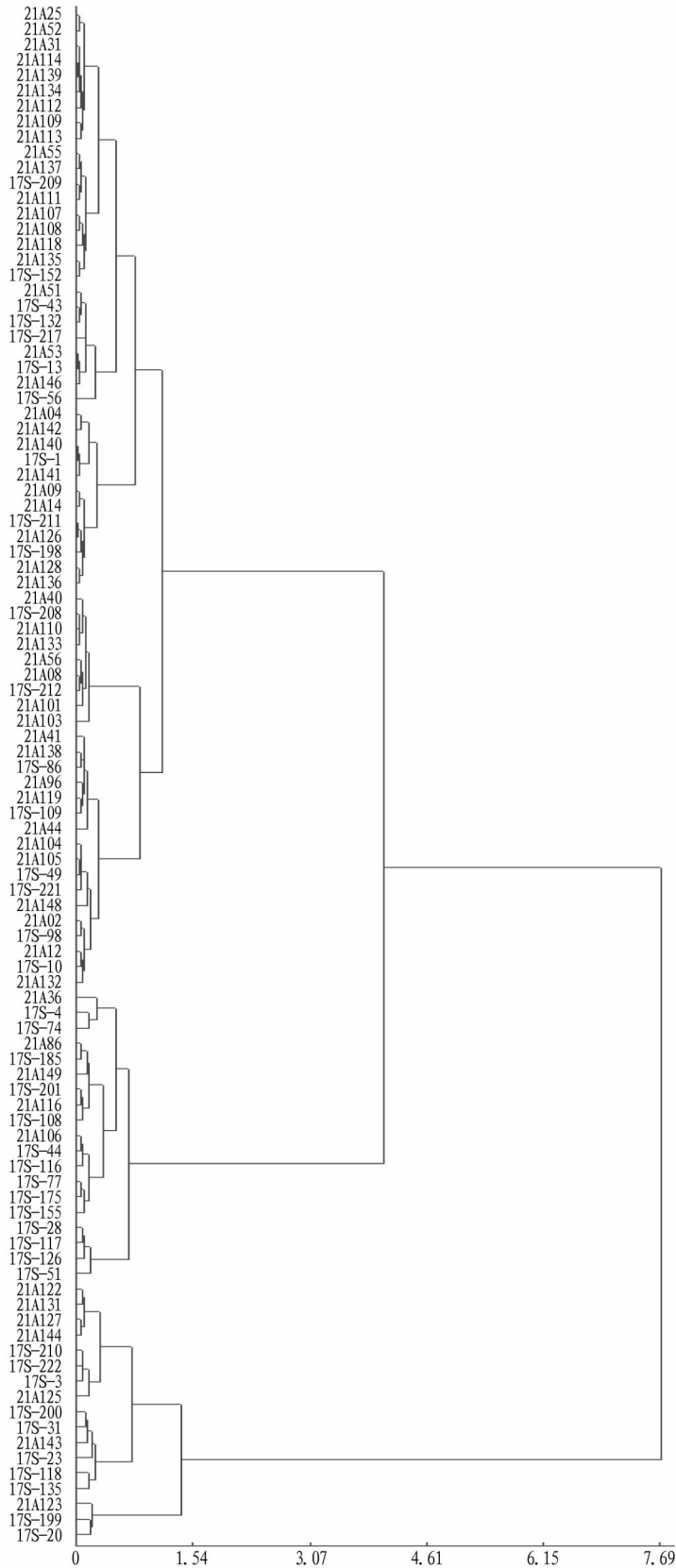


图 1 100 份黄瓜种质资源商品瓜主要品质性状聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of main quality characters of commercial melons from 100 cucumber germplasm resources

该试验通过聚类分析对搜集的 100 份黄瓜种质资源进行分类,发现在卡方距离为 1.54 时,可以将 100 份黄瓜分为

四大类:第 1 类为短果型,共 38 份;第 2 类为短果优质型,共 (下转第 59 页)

黑麦草对 Pb^{2+} 的富集作用,具体表现为低浓度 (≤ 200 mg/kg) 时 $CA > EDTA > FeCl_3$, 中低浓度 (500 mg/kg) 时 $EDTA > CA > FeCl_3$, 中高浓度 (1 000 mg/kg) 时 $EDTA > FeCl_3 > CA$, 高浓度 ($> 1\ 000$ mg/kg) 时 $FeCl_3 > EDTA > CA$, 因此,对于受 Pb^{2+} 污染程度较高的土壤,选用 $FeCl_3$ 诱导黑麦草的方式可对场地 Pb^{2+} 浓度起到较好的降低作用。 $EDTA$ 对黑麦草修复任何 Pb^{2+} 浓度土壤具有较好的提升作用,而 $FeCl_3$ 仅对 Pb^{2+} 污染程度严重的土壤修复能起到较好的促进作用, CA 对黑麦草修复 Pb^{2+} 污染程度严重的土壤修复效果影响较小。对于 Pb^{2+} 污染程度较高的土壤, $EDTA$ 和 $FeCl_3$ 诱导作用下可显著提高黑麦草对 Pb^{2+} 的富集效率,有利于提升污染场地的植物修复效果。而 CA 诱导作用下对于黑麦草修复 Pb^{2+} 污染程度较低的土壤提升效果明显。

该研究表明 3 种螯合剂的施加均能促进黑麦草对重金属 Pb^{2+} 的富集作用,综合考虑螯合剂适应性及成本, $EDTA$ 和 $FeCl_3$ 这 2 种螯合剂对于黑麦草修复高浓度 Pb^{2+} 污染土具有良好的提升效果,且 $FeCl_3$ 效果更为显著。

参考文献

- [1] LI X Y, LIU L J, WANG Y G, et al. Heavy metal contamination of urban soil in an old industrial city (Shenyang) in Northeast China [J]. *Geoderma*, 2013, 192: 50–58.
- [2] 崔德杰, 张玉龙. 土壤重金属污染现状与修复技术研究进展 [J]. *土壤通报*, 2004, 35(3): 366–370.
- [3] 纪文贵, 王珂, 蒙建波, 等. 中国土壤重金属污染状况及其风险评价 [J]. *农业研究与应用*, 2020, 33(5): 22–28.
- [4] DUAN Q N, LEE J C, LIU Y S, et al. Distribution of heavy metal pollution in surface soil samples in China: A graphical review [J]. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2016, 97(3): 303–309.
- [5] 张彩凤. 重金属污染土壤修复方法概述 [J]. *绿色科技*, 2018(22): 64–65.
- [6] 缪晓伟. 土壤重金属污染治理与修复方法 [J]. *资源节约与环保*, 2020(11): 107–108.
- [7] 王一帆, 栾倩, 蔡蓓, 等. 土壤重金属污染的修复技术研究 [J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(22): 12–17.

(上接第 54 页)

26 份;第 3 类为长果型,共 19 份;第四类为多心室型,共 17 份。

参考文献

- [1] 山东农业大学. 蔬菜栽培学各论(北方本) [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [2] 张圣平, 苗晗, 薄凯亮, 等. “十三五”我国黄瓜遗传育种研究进展 [J]. *中国蔬菜*, 2021(4): 16–26.
- [3] 曹守军, 李涛, 姚建刚, 等. 烟台地方黄瓜种质资源植物学鉴定及聚类分析 [J]. *北方园艺*, 2016(10): 14–18.
- [4] 张红梅, 翟文, 金海军, 等. 利用 InDel 标记分析 23 份黄瓜种质的遗传多样性及核心种质资源筛选 [J]. *上海农业学报*, 2019, 35(4): 28–33.
- [5] 于娅. 榆耳种质资源评价体系建立与有性繁殖系统解析及杂交育种的研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- [6] 陈林, 曹振强, 梁肇均, 等. 黄瓜种质资源农艺性状多样性分析 [J]. *广东农业科学*, 2021, 48(6): 15–22.
- [7] 徐强, 刘进生, 陈学好, 等. 加工类型黄瓜品质性状的主成分及聚类分析 [J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2003, 24(4): 78–81.
- [8] 曹齐卫, 李利斌, 孔素萍, 等. 设施黄瓜新育成品种果实外观品质的遗传多样性分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(2): 305–312.
- [9] 于娅, 李艳军, 王飞, 等. 北方地区黄瓜种质资源农艺性状的主成分和聚类分析 [J]. *中国瓜菜*, 2020, 33(12): 29–34.
- [10] 李锡香, 朱德蔚. 黄瓜种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

- [8] 黑泽文, 向慧敏, 章家恩, 等. 豆科植物修复土壤重金属污染研究进展 [J]. *生态科学*, 2019, 38(3): 218–224.
- [9] 胡梦凌, 曾和平, 董达诚, 等. 腐殖质改良植物修复重金属污染土壤的研究进展 [J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(3): 273–280.
- [10] CUNNINGHAM S D, OW D W. Promises and prospects of phytoremediation [J]. *Plant physiology*, 1996, 110(3): 715–719.
- [11] 郭晓宏, 朱广龙, 魏学智. 5 种草本植物对土壤重金属铅的吸收、富集及转运 [J]. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 183–186.
- [12] 张胜爽, 张凌云. 铅污染耕地土壤的生物修复技术研究进展 [J]. *贵州农业科学*, 2019, 47(6): 154–158.
- [13] MEERS E, RUTTENS A, HOPGOOD M, et al. Potential of *Brassic rapa*, *Cannabis sativa*, *Helianthus annuus* and *Zea mays* for phytoextraction of heavy metals from calcareous dredged sediment derived soils [J]. *Chemosphere*, 2005, 61(4): 561–572.
- [14] 郭平, 刘畅, 张海波, 等. 向日葵幼苗对 Pb、Cu 富集能力与耐受性研究 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6): 92–95, 113.
- [15] 何宏平. 蒙脱石等粘土矿物与金属离子的作用特征及机理研究 [D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 1999.
- [16] 王湛. 螯合剂强化植物修复对重金属污染土壤的修复研究进展 [J]. *可持续发展*, 2020(4): 634–638.
- [17] 麦笑桃. Cd-Pb 污染土的螯合强化植物修复与重金属渗漏风险研究 [D]. 广州: 广州大学, 2019.
- [18] 章绍康, 弓晓峰, 易佳璐, 等. 多种强化技术联合植物修复重金属污染土壤机制探讨 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(14): 1–6.
- [19] 曹志远, 王开爽, 谢修鸿, 等. 螯合剂不同施用方式下花卉植物修复铅污染土壤的效果 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(5): 286–290.
- [20] 杨明珠, 陈华, 梁语燕, 等. $EDTA$ 强化黑麦草对铅污染土壤的诱导修复效应 [J]. *环境科学与技术*, 2014, 37(9): 19–22.
- [21] RAMANA S, BISWAS A K, SINGH A B, et al. Tolerance of ornamental succulent plant crown of thorns (*Euphorbia milli*) to Chromium and its Remediation [J]. *International journal of phytoremediation*, 2015, 17(4): 363–368.
- [22] ZHANG Y P, LI F Z, XU W W, et al. Enhanced phytoextraction for Co-contaminated soil with Cd and Pb by ryegrass (*Lolium perenne* L.) [J]. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 2019, 103(1): 147–154.
- [23] ALABOUDI K A, AHMED B, BRODIE G. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant [J]. *Annals of agricultural sciences*, 2018, 63(1): 123–127.
- [24] 敬路准, 陈晓明, 肖伟, 等. 黑麦草修复重金属污染土壤与废水及富集植物的微生物降解 [J]. *环境工程学报*, 2019, 13(6): 1449–1456.

- [11] 赵晓玲. 11 个黄瓜品种的主要农艺性状及聚类分析 [J]. *甘肃农业科技*, 2009(10): 33–35.
- [12] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 727–734.
- [13] 许有诚, 赵庄, 卢日刚, 等. 主成分分析在中药质量分析及质量评价中的应用进展 [J]. *大众科技*, 2021, 23(8): 37–41.
- [14] 逢洪波, 郑晓明, 李玥莹, 等. 一种基于主成分分析对水稻苗期耐寒性的评价方法: CN202011588556.9 [P]. 2021–04–09.
- [15] 王晓敏, 刘佩君, 郑福顺, 等. 宁夏露地夏茬大果番茄杂交组合的综合评价 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2022, 44(1): 160–170.
- [16] 孙耀中, 东方阳, 陈受宜, 等. 氯化钠胁迫下转 BADH 基因水稻农艺性状的主成分及聚类分析 [J]. *中国农学通报*, 2003, 19(3): 23–25, 31.
- [17] 闫世江, 张继宁, 刘洁. 聚类分析在黄瓜育种中的应用 [J]. *当代生态农业*, 2012, 21(Z1): 9–12.
- [18] 李超, 杨英, 陈伟, 等. 西州密系甜瓜 SSR 指纹图谱构建及聚类分析 [J]. *园艺学报*, 2022, 49(3): 622–632.
- [19] 陈观杰, 郑晓峰, 冯乃杰, 等. 雷州半岛地区大豆农艺性状因子和聚类分析 [J]. *浙江农业科学*, 2022, 63(3): 485–491, 523.
- [20] 肖瑜, 牛国保, 单晓政, 等. 花椰菜农艺性状相关性、主成分及聚类分析 [J]. *分子植物育种*, 2021–11–01 [2022–02–07]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211101.0931.004.html>.
- [21] 董灵艳, 张洪勇, 袁海涛, 等. 山东省转基因棉花品种数量性状遗传多样性分析 [J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(13): 86–88.
- [22] 刘卫星, 张枫叶, 贺群岭, 等. 我国北方花生品种产量品质性状的综合评价及聚类分析 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(12): 103–106.