南京农业大学学报 2026,49(3):479-490
Journal of Nanjing Agricultural University
http://nauxb.njau.edu.cn
DOI:10.7685/jnau.202412020

谷世闯,牟涛,秦强,等. 黄瓜品种高原适应性评价体系研究[J]. 南京农业大学学报,2026,49(3):479-490.
Gu S C, Mu T, Qin Q, et al. Study on the evaluation system of cucumber varieties' adaptability to plateau[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2026, 49(3): 479-490.

黄瓜品种高原适应性评价体系研究

谷世闯[1],牟涛[2],秦强[2],王诗友[1],朱拼玉[1],丁海峰[1],李季[1*]

(1.南京农业大学园艺学院,江苏 南京 211800;2.拉萨市高原生物研究所,西藏 拉萨 850000)

摘要:[**目的**]本文旨在建立一套黄瓜品种高原适应性评价体系,筛选出适宜高原栽培的黄瓜品种,助推拉萨地区蔬菜产业发展。[**方法**]初步筛选了综合性状良好的华北型、华南型和欧洲温室型等14个黄瓜品种(C1—C14)作为试验材料,在拉萨市高原生物研究所曲水县种植基地对包括苗期耐冷性相关的生长及生理等9个指标以及成株期植株性状、果实性状和产量情况等23个指标,采用主成分分析、隶属函数分析等方法进行综合评价,并采用聚类分析进行等级划分,建立黄瓜品种高原适应性评价体系。[**结果**]4 ℃低温处理后,多数华北型黄瓜品种苗期耐冷性中等,综合评分为0.15~0.43,而华南型和欧洲温室型黄瓜品种苗期耐冷性较强,其中,C11和C14的综合评分分别为0.76和0.61。在成株期适应性试验中,多数华北型黄瓜品种产量较高,成株期适应性较弱,而欧洲温室型C14风味香甜、生长势强、抗病性极好,适应当地生长条件;华南型C11可溶性糖含量最高、硬度最大,具有全雌性。根据苗期耐冷性划分为3个等级,其中C11和C14品种苗期耐冷性较强;根据成株期适应性划分为3个等级,其中C14品种成株期适应性较强。[**结论**]建立了一套黄瓜苗期和成株期综合评价分析的高原适应性评价体系,筛选出综合表现优异的欧洲温室型C14和华南型C11品种,可在高原地区推广种植,实现地方主栽品种的迭代。

关键词:黄瓜;耐冷性;适应性;主成分分析;隶属函数分析;聚类分析
中图分类号:S642.2 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-2030(2026)03-0479-12

Study on the evaluation system of cucumber varieties' adaptability to plateau

GU Shichuang[1], MU Tao[2], QIN Qiang[2], WANG Shiyou[1], ZHU Pinyu[1], DING Haifeng[1], LI Ji[1*]

(1.College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 211800, China;
2.Lhasa Plateau Biology Research Institute, Lhasa 850000, China)

Abstract: [**Objectives**] This study aimed to establish a plateau adaptability evaluation system for cucumber varieties, and identify those suitable for cultivation in plateau areas, thereby promoting the development of the vegetable industry in the Lhasa region. [**Methods**] Fourteen cucumber varieties (C1-C14), including those of the North China type, South China type, and European greenhouse type with good comprehensive traits were preliminarily selected as experimental materials. The study was conducted at the Qushui County planting base of the Lhasa Plateau Biology Research Institute. Nine indexes related to cold tolerance at the seedling stage, including growth and physiological factors, and 23 indexes related to plant traits, fruit traits, and yield at the adult stage were evaluated. Principal component analysis and membership function analysis were applied for comprehensive evaluation, and clustering analysis was used for classification. An adaptive evaluation system for cucumber varieties in plateau conditions was established. [**Results**] Following a 4 ℃ low-temperature treatment, most North China type cucumber varieties exhibited moderate cold tolerance at the seedling stage, with comprehensive scores ranging from 0.15 to 0.43. In contrast, South China type and European greenhouse type cucumber varieties demonstrated stronger cold tolerance, with comprehensive scores of 0.76 and 0.61 for C11 and C14, respectively. In the adaptability trial at the adult stage, most North China type varieties had higher yields but weaker adaptability at the adult stage. The European greenhouse type variety C14 displayed excellent flavor, vigorous growth, and strong disease resistance, making it well-suited to the local growing conditions. The South China type variety C11 exhibited the highest soluble sugar content, maximum hardness, and was fully female. Based on cold tolerance at the seedling stage, the varieties were classified into three levels, with C11 and C14 showing strong cold tolerance. Based on adaptability at the adult stage, the varieties were also classified into three levels, with C14 exhibiting the best adaptability. [**Conclusions**] A comprehensive plateau adaptability evaluation system for cucumber varieties, covering both seedling and adult stages, was established. The European greenhouse type variety C14 and the South China type variety C11, which performed outstandingly in the evaluation, were selected for promotion in plateau regions, thereby facilitating the upgrading of local dominant varieties.
Keywords: cucumber; cold tolerance; adaptability; principal component analysis; membership function analysis; clustering analysis

收稿日期:2024-12-18
基金项目:拉萨市重点科技计划项目(LSKJ202429);扬州市重点研发专项(YZ2022042)
*通信作者:李季,教授,研究方向为瓜菜分子育种与栽培,E-mail:liji1981@njau.edu.cn。

黄瓜是最重要也是产值最高的瓜菜作物之一,其市场需求大、种植效益高。据国际粮农组织统计,2021年黄瓜的产值达到了3.34万美元·hm^{-2},居所有瓜菜作物的首位。中国是全球黄瓜种植面积最大的国家,年产值达到了120亿美元[1-2]。近年来,随着现代健康膳食理念的深入人心,以及黄瓜食用价值、营养价值和药用价值的不断开发[3-4],西藏等高原城乡居民对黄瓜的消费需求不断增加,仅通过小规模生产和内地的冷链供应已经无法满足当地市场需求,也不符合区域蔬菜产业发展的战略要求。

本课题组在高原地区多年的瓜菜引种和市场调研后发现,黄瓜品种缺乏高原环境适应性:一方面是由于高原地区年温差小,但温度普遍偏低,日温差大,夏季夜温可降至10 ℃以下,黄瓜易出现“花打顶”现象[5-6],严重影响了瓜菜的生产,因此耐低温性是瓜菜适应高原环境的最关键性状之一;另一方面,由于高原大气压低,冬春低温季节大棚内空气含水量极低,影响黄瓜的水分吸收能力,使其处于水分胁迫状态,极易被白粉病侵袭,而6—8月雨季漫长,棚内湿度过高,低温干燥和高温高湿的生长条件都容易带来瓜类病害[7-9],因此抗病性也是瓜菜品种所缺乏的高原适应性性状。

植物对逆境的应答与适应机制非常复杂[10],单项指标对作物逆境适应性评价的系统性和准确性均较低[11-12]。因此,本研究围绕黄瓜苗期低温应答的生长和生理指标,以及高原环境下黄瓜成株期的植株、果实发育以及产量等指标,对黄瓜品种的高原适应性开展了全面的鉴定研究,通过对14个品种的32个指标的测定,采用主成分分析和隶属函数法等多元统计分析策略,成功建立了黄瓜品种高原适应性评价体系。该体系对于高效引进具有高原环境适应性的黄瓜品种以及推动西藏瓜菜产业发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验于2024年4至11月在西藏自治区拉萨市高原生物研究所曲水基地进行。该基地地处东经91°06′,北纬29°36′,海拔约3 500 m。前茬作物为番茄,土壤较松散、肥力中等,日照充足,灌溉条件良好。

1.2 试验材料

供试黄瓜品种共14个,其中C1—C8为华北型品种,C9—C13为华南型品种,C14为欧洲温室型品种。

1.3 试验设计

1.3.1 苗期耐冷性试验 从14份黄瓜品种材料中分别选取20粒饱满种子,于58 ℃温水中浸泡4 h后放入垫有湿润滤纸的培养皿中,在28 ℃恒温箱中催芽,每隔8 h换1次水,直至种子露白;将种子播种于装有草炭和珍珠岩混合(体积比2∶1)的32孔穴盘中,置于人工气候箱中培养。培养条件:昼/夜温度为25 ℃/18 ℃,昼/夜时间为12 h/12 h,光照度15 000 lx,空气湿度85%。当幼苗培养至3叶1心时,选取生长一致的幼苗置于4 ℃、光照度8 000 lx、昼/夜时间16 h/8 h的人工气候箱中,并以25 ℃/18 ℃正常生长的植株为对照。幼苗培养48 h后随机选取5株测定相关指标,计算平均值。试验重复3次。

1.3.2 成株期适应性试验 前茬作物采收完,温室内土壤施肥整地。各供试黄瓜品种种子于2024年4月5日浸种4 h后在28 ℃下恒温催芽,待种子露白后播种于72孔穴盘。试验共设14个处理,春季在温室中试种,采用高垄吊蔓双行栽培方式,垄高20 cm,垄宽75 cm,垄间55 cm。每垄种植2行,行距40 cm,株距30 cm,铺盖黑色地膜保温保湿。5月5日所有黄瓜品种定植,采用统一管理方式,及时修剪侧枝,摘除老瓜、病叶,保证水肥供应。

1.4 调查指标

1.4.1 苗期生长及生理指标测定 每品种分别取昼/夜温度25 ℃/18 ℃处理(对照)和在人工气候箱中4 ℃低温处理2 d的黄瓜幼苗各3株,测量其生长指标。株高(SH):用直尺测量子叶节处至生长点距离;茎粗(SD):用游标卡尺在子叶节下1 cm测量3次直径,取均值;叶长(LL):用直尺测量从上往下第2片真叶的最大叶长,3次重复,取均值。

每品种随机选取5株幼苗的第2片真叶,剪碎后混匀装入冻存管,液氮速冻,-80 ℃冰箱保存。使用试剂盒(苏州格锐思公司)和分光光度计对过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性及游离脯氨酸(Pro)含量、可溶性糖含量(SSC)和可溶性蛋白含量(SPC)进行测定。3次重复,取均值。

1.4.2 成株期植株性状、果实性状及产量指标测定 采用李锡香等[13]的方法进行田间观察并测定植株性状、果实性状及产量等指标。每品种每个小区随机选取5株,3次重复。在不同黄瓜成株期调查分类、生

长习性、生长势、霜霉病抗性、白粉病抗性和性型等性状。

每品种选取商品瓜进行性状测定。外观性状:各品种随机选取 5 株,每株选取 10 个果实,3 次重复。用直尺和游标卡尺测量瓜长和瓜粗;用电子秤测定所采果实总质量,计算得到平均单果重;果色、风味品质(甜味、香味和涩味)和瓜把苦味根据 5 位品鉴员测试结果取平均值。生理性状:各品种选择 3 个果实,3 次重复,每重复测定 1 个果实。采用 GY-3(托普云农公司)硬度计测定硬度;采用 PAL-1 数显糖度计(日本 ATAGO 公司)测定可溶性糖含量。

测产采取抽样法,参试黄瓜品种从播种期到始花期时间为 4—5 月,41~49 d;从始收期到末收期时间为 7—9 月,59~68 d;收获期各品种随机选 15 株,3 次重复,调查每株的单株结果数,计算平均单株结果数,并根据平均单果重计算平均单株产量(kg)及折合产量(kg·667 m^{-2})。计算公式如下:

$$\text{平均单株产量}=\text{平均单株结果数}\times\text{平均单果重}\times 0.001 \tag{1}$$

$$\text{折合产量}=\text{平均单株产量}\times\text{每 667 } m^2 \text{ 种植株数} \tag{2}$$

参照李锡香等[13]的黄瓜性状分级标准,将性型、霜霉病抗性、白粉病抗性、果瘤大小、果瘤密度、果形、果色、瓜斑、果刺、单性结实性、风味品质和瓜把苦味等分级指标的评价结果进行赋值,便于后续综合评价分析。图 1 示黄瓜果瘤大小。

a. 大果瘤 Large tubercle　　b. 中果瘤 Medium tubercle　　c. 无果瘤 None tubercle

图 1　黄瓜果瘤大小

Fig. 1　Tubercle size of cucumber

1.5　数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 软件对数据进行整理;采用 SPSS 27 软件进行相关性分析、主成分分析和聚类分析。采用杨鸿基等[14]的方法,利用隶属函数法计算各品种综合指标得分。计算公式如下:

$$\text{相对值}=\text{处理均值}/\text{对照均值} \tag{3}$$

各品种综合指标:

$$CI_i=\sum_{j=1}^{n} E_{ij}\cdot X'_j \tag{4}$$

式中:CI_i 为某一品种第 i 个主成分得分;E_{ij} 表示第 i 个主成分第 j 个单项指标对应的特征向量;X'_j 表示第 j 个单项指标的标准化值。

各品种综合指标的隶属函数值:

$$\mu(x_{ij})=(x_{ij}-x_{j\min})/(x_{j\max}-x_{j\min}) \tag{5}$$

各品种综合指标的权重:

$$\omega_j=p_j\Big/\sum_{j=1}^{n} p_j \tag{6}$$

各品种综合评价值:

$$D_i=\sum_{j=1}^{n}[\mu(x_{ij})\cdot\omega_j] \tag{7}$$

式中:x_{ij} 表示 i 材料主成分分析中第 j 个综合指标;$x_{j\max}$、$x_{j\min}$ 分别表示该指标的最大值和最小值。对同一综合指标而言,各黄瓜材料的隶属函数值的大小反映了适应性的强弱。ω_j 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的权重;p_j 为主成分分析中第 j 个综合指标的贡献率;D_i 表示第 i 个材料由综合指标评价所得的适应性综合评价值,根据 D 值大小可以对各黄瓜材料的适应性进行排序。

2　结果与分析

2.1　黄瓜苗期耐冷性综合评价分析

2.1.1　低温对不同黄瓜品种苗期生长指标和生理指标的影响　在 4 ℃低温环境下处理 2 d 后,各品种较

对照的相对值如表 1 所示。14 个黄瓜品种的株高、茎粗和叶长相对值均小于 1,表明低温处理后,各黄瓜品种的幼苗长势均受到了抑制。其中,C10、C11 和 C14 的各生长指标相对值较高,即受低温影响较小,耐冷性较强。经 4 ℃低温处理后,各品种游离脯氨酸(Pro)含量均高于对照,部分品种可溶性糖含量(SSC)和可溶性蛋白含量(SPC)也有所增加,其中品种 C11 的渗透调节物质含量高于其他品种。低温处理下,品种 C9 的抗氧化酶活性均小于 1,受低温影响严重,自我调节能力弱;而与对照处理相比,品种 C11 的抗氧化酶活性均提高,表明其调节低温过氧化能力较强。在参试黄瓜品种各指标的相对值中,生长指标的变异系数(*CV*)变化幅度为 9.20%~23.94%,生理指标的 *CV* 变化幅度为 26.32%~48.55%,明显大于生长指标。由于不同耐冷性指标在不同品种间的变化幅度较大,根据单个指标进行黄瓜苗期耐冷性评价可靠性不足,因此,需要对各指标间相关性进行评价与分析。

表 1 低温处理下不同黄瓜品种苗期各指标的相对值

Table 1 Relative values of various indexes of different cucumber varieties at seedling stage under low temperature treatment

品种编号 Variety code	生长指标 Growth index			生理指标 Physiological index					
	株高 SH	茎粗 SD	叶长 LL	POD	CAT	SOD	Pro	SSC	SPC
C1	0.73	0.89	0.89	2.51	1.04	0.22	1.16	0.92	0.63
C2	0.81	0.95	0.87	1.51	0.86	0.67	1.23	0.96	0.79
C3	0.56	0.79	0.81	1.96	1.00	0.55	3.01	1.24	1.25
C4	0.73	0.86	0.81	2.05	0.73	0.49	1.29	1.47	0.60
C5	0.42	0.89	0.74	1.02	0.57	1.06	1.93	0.81	1.42
C6	0.79	0.72	0.73	0.77	2.04	0.90	2.04	0.67	2.37
C7	0.45	0.84	0.72	1.87	0.60	1.06	1.90	1.17	1.09
C8	0.62	0.92	0.92	1.34	0.98	0.26	2.06	1.04	1.12
C9	0.77	0.80	0.81	0.95	0.97	0.52	2.39	1.02	1.26
C10	0.91	0.92	0.77	1.31	0.96	0.33	2.95	1.27	2.06
C11	0.96	0.93	0.88	2.28	1.65	1.25	3.27	1.82	2.52
C12	0.53	0.78	0.74	1.10	1.60	0.69	1.01	1.32	1.20
C13	0.68	0.90	0.76	1.02	0.91	0.84	1.25	0.88	0.71
C14	0.92	0.99	0.97	1.75	1.48	0.73	3.17	1.35	2.29
均值 Mean	0.71	0.87	0.82	1.53	1.10	0.68	2.04	1.14	1.38
变异系数/% *CV*	23.94	9.20	9.76	35.29	39.09	45.59	39.22	26.32	48.55

注:SH:Shoot height;SD:Stem diameter;LL:Leaf length;POD:过氧化物酶活性 Peroxidase activity;CAT:过氧化氢酶活性 Catalase activity;SOD:超氧化物歧化酶活性 Superoxide dismutase activity;Pro:游离脯氨酸含量 Free proline content;SSC:可溶性糖含量 Soluble sugar content;SPC:可溶性蛋白含量 Soluble protein content. 下同 The same as follows.

2.1.2 不同黄瓜品种苗期不同指标间的相关性分析 相关性分析结果(表 2)显示,各指标间存在相关性,Pro 与 SPC 呈极显著正相关($P<0.01$),相关系数为 0.745;POD 与 SSC、SH 与 SD、SD 与 LL 之间均呈显著正相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.563、0.533 和 0.661。此外,其他指标间存在不同程度的正相关或负相关性。以上结果表明,黄瓜苗期的 9 个耐冷指标间存在重叠关系。

表 2 黄瓜苗期耐冷指标间的相关性分析

Table 2 Correlation analysis among cold tolerance indexes of cucumber seedlings

指标 Index	POD	CAT	SOD	Pro	SSC	SPC	SH	SD
CAT	0.037							
SOD	−0.193	0.018						
Pro	0.070	0.279	0.176					
SSC	0.563*	0.191	−0.046	0.380				
SPC	−0.299	0.508	0.462	0.745**	0.134			
SH	0.145	0.444	−0.059	0.458	0.312	0.418		
SD	0.316	−0.132	0.032	0.269	0.247	0.062	0.533*	
LL	0.512	0.274	−0.466	0.316	0.345	−0.035	0.511	0.661*

注:* 和 ** 分别表示相关性达到显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)水平。下同。

Note:* and ** indicate that the correlation has reached significant($P<0.05$) and extremely significant($P<0.01$) levels, respectively. The same as follows.

2.1.3 不同黄瓜品种苗期不同指标的主成分分析 对黄瓜苗期生长、生理的 9 个指标进行主成分分析,结果(表 3)显示,以主成分因子累计贡献率大于 80%为依据,共提取 4 个主成分因子,其特征值分别为 3.221、2.263、1.196 和 0.863,贡献率分别为 35.793%、25.141%、13.290%和 9.589%,累计贡献率达

83.814%,说明这 4 个综合主因子(PC1—PC4)能代表 9 个单项指标的大部分信息。在新确定的 4 个综合指标中,第 1 主成分(PC1)中各指标特征向量均大于 0,主要是 SH(0.244)和 Pro(0.231),其中,特征向量最大的是 SH;第 2 主成分(PC2)主要由 SPC(0.296)和 CAT(0.280)构成,其中,SPC 的特征向量最大;第 3 主成分(PC3)主要由 SOD(0.530)和 SSC(0.417)构成,其中,特征向量最大的是 SOD;第 4 主成分(PC4)主要由 SD(0.636)和 POD(-0.487)构成,其中,特征向量最大的是 SD。4 个主成分主要与 SH、SPC、SOD 和 SD 关系较大。

表 3　黄瓜苗期主成分特征向量及贡献率

Table 3　Principal component(PC) eigenvectors and contribution rates of cucumber seedlings

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4	指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4
POD	0.137	−0.260	0.324	−0.487	SH	0.244	0.003	−0.339	−0.007
CAT	0.142	0.280	−0.290	−0.441	SD	0.158	−0.261	0.036	0.636
SOD	0.030	0.250	0.530	0.294	LL	0.208	−0.241	−0.249	0.057
Pro	0.231	0.125	0.117	0.233	特征值 Eigenvalue	3.221	2.263	1.196	0.863
SSC	0.208	−0.061	0.417	−0.387	贡献率/% Contribution rate	35.793	25.141	13.290	9.589
SPC	0.214	0.296	−0.019	0.170	累计贡献率/% Accumulative contribution rate	35.793	60.935	74.225	83.814

2.1.4　不同黄瓜品种苗期耐冷性综合评价分析及聚类分析　如表 4 所示,根据主成分分析得到的 4 个综合指标特征向量和 9 个单项指标相对值,计算出各黄瓜品种 4 个综合指标值 $CI(x)$。根据公式(5)和公式(6)计算每个黄瓜品种的隶属函数值 $\mu(x)$ 和权重 ω_j,4 个综合指标的权重分别为 0.43、0.30、0.16 和 0.11。D 值能反映每个黄瓜品种苗期综合耐冷能力,D 值越大,表示该黄瓜品种苗期耐冷性越强。根据公式(7)计算每个黄瓜品种的 D 值,并对 D 值进行排序。其中,品种 C11 的 D 值最大,表明其苗期耐冷性最强;C1 的 D 值最小,表明其苗期耐冷性最弱。

表 4　不同黄瓜品种苗期评价指标及综合排名

Table 4　Evaluation indexes and comprehensive ranking of different cucumber varieties at seedling stage

品种编号 Variety code	$CI(1)$	$CI(2)$	$CI(3)$	$CI(4)$	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	D	排名 Ranking
C1	−0.19	−1.60	−0.84	−1.20	0.27	0.00	0.15	0.09	0.15	14
C2	−0.17	−0.95	−0.56	0.80	0.27	0.16	0.24	0.68	0.28	9
C3	−0.02	−0.01	0.65	−0.96	0.32	0.39	0.60	0.16	0.37	5
C4	−0.25	−1.12	0.57	−1.20	0.25	0.12	0.57	0.09	0.24	13
C5	−1.08	0.42	1.03	1.88	0.00	0.50	0.71	1.00	0.37	5
C6	−0.29	2.47	−1.37	−0.56	0.24	1.00	0.00	0.28	0.43	4
C7	−0.84	0.05	2.00	0.09	0.07	0.40	1.00	0.47	0.36	7
C8	−0.02	−0.91	−1.01	0.46	0.32	0.17	0.10	0.58	0.27	11
C9	−0.30	0.35	−0.79	0.12	0.23	0.48	0.17	0.48	0.32	8
C10	0.71	0.12	−0.58	0.66	0.53	0.42	0.23	0.64	0.46	3
C11	2.27	0.61	1.44	−0.39	1.00	0.54	0.83	0.33	0.76	1
C12	−0.81	0.80	0.06	−1.51	0.08	0.59	0.43	0.00	0.28	9
C13	−0.92	−0.06	−0.13	0.94	0.05	0.38	0.37	0.72	0.27	11
C14	1.91	−0.17	−0.47	0.86	0.89	0.35	0.27	0.70	0.61	2
ω_j					0.43	0.30	0.16	0.11		

根据 D 值采用组间联接法对 14 份黄瓜种质苗期综合耐冷性进行聚类分析,结果(图 2)显示,黄瓜苗期耐冷性可分为 3 类:第Ⅰ类包括 C11 和 C14,D 值平均为 0.69,属于苗期强耐冷型;第Ⅱ类包括 C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8、C9、C10、C12 和 C13,D 值平均为 0.33,属于苗期中耐冷型;第Ⅲ类只有 C1,D 值最低(0.15),属于苗期弱耐冷型。

2.2　黄瓜成株期适应性综合评价分析

2.2.1　不同黄瓜品种植株性状比较　从表 5 可以看出,所有参试品种生长习性均为无限生长,其中 C2、C3 和 C7 生长势表现为中,其他品种生长势表现为强。调查统计可知,14 个黄瓜品种霜霉病抗性均表现为强;从白粉病抗性来看,C14 抗性最强,其次是 C2、C3、C4、C5、C6 和 C8,再次是 C1、C7、C9、C10、C11、C12 和 C13。除 C4、C7 和 C8 的性型为雌雄同株外,C1、C10、C11、C12 和 C14 的性型为全雌,其他品种为强雌。

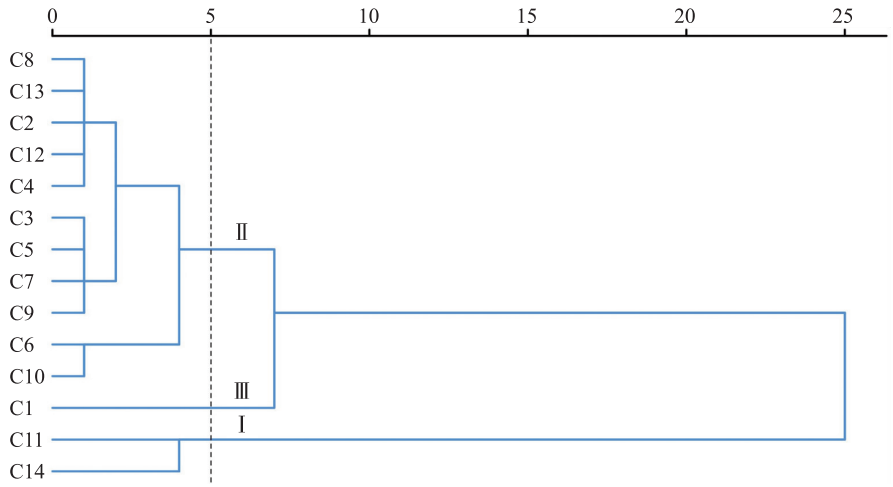

图 2 黄瓜苗期耐冷性聚类分析

Fig. 2 Clustering analysis of cucumber seedling cold tolerance

表 5 参试黄瓜品种的植株性状

Table 5 Plant traits of the tested cucumber varieties

品种编号 Variety code	分类 Classification	生长习性 Growth habit	生长势 Growth vigor	霜霉病抗性 Downy mildew resistance	白粉病抗性 Powdery mildew resistance	性型 Sex type
C1	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	全雌 Gynoecy
C2	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	中 Medium	强 Strong	中 Medium	强雌 Subgynoecy
C3	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	中 Medium	强 Strong	中 Medium	强雌 Subgynoecy
C4	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	中 Medium	雌雄同株 Monoecism
C5	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	中 Medium	强雌 Subgynoecy
C6	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	中 Medium	强雌 Subgynoecy
C7	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	中 Medium	强 Strong	弱 Weak	雌雄同株 Monoecism
C8	华北型 North China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	中 Medium	雌雄同株 Monoecism
C9	华南型 South China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	强雌 Subgynoecy
C10	华南型 South China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	全雌 Gynoecy
C11	华南型 South China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	全雌 Gynoecy
C12	华南型 South China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	全雌 Gynoecy
C13	华南型 South China type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	弱 Weak	强雌 Subgynoecy
C14	欧洲温室型 European greenhouse type	无限生长 Indeterminate growth	强 Strong	强 Strong	强 Strong	全雌 Gynoecy

2.2.2 不同黄瓜品种果实性状比较 由表 6 可知,在农艺性状方面,除了 C1—C8 的果形为棒状外,其他品种均为圆筒形。在棒状瓜中,C8 瓜长最长,为 33.90 cm,C3 最短,为 28.10 cm;圆筒形瓜长都在 20 cm 以内,C14 最短,为 14.08 cm,其他品种相差微弱,为 16.10~17.30 cm。所有参试黄瓜品种中,C12 横径最大,C14 横径最小。C14 无果瘤,C9 和 C13 果瘤大小为中,其他品种果瘤大小均表现为大。在果瘤密度和果刺方面,除 C14 外,C9—C13 表现为稀,其他品种均表现为密。果色 C14 为中等绿色,C9 和 C13 为黄绿色,C10—C12 为浅绿色,其他品种为深绿色。除 C10—C13 有瓜斑外,其他品种均无瓜斑。所有参试品种

均具有单性结实性。参试品种 C4 平均单果重(270.60 g)最大,C14 最小。在品质性状方面,所有参试品种肉质表现为硬,瓜把无苦味。C11 硬度为 7.19 Pa,硬度最大,其他品种硬度差距较小,均在 7 Pa 以下。C8、C1 和 C2 可溶性糖含量分别为 3.24%、3.34%和 3.38%,风味中且有涩味;C13 可溶性糖含量为 4.16%,风味淡且有涩味;其他品种中,C11 可溶性糖含量最高,C14 次之,风味浓且无涩味。

表 6　参试黄瓜品种的果实性状

Table 6　Fruit traits of the tested cucumber varieties

品种编号 Variety code	瓜长/cm Fruit length	瓜粗/cm Fruit diameter	果瘤大小 Tubercule size	果瘤密度 Tubercule density	果形 Fruit shape	果色 Fruit color	瓜斑 Stripe pattern	果刺 Spine type	单性结实性 Parthe-nocarpy	平均单果重/g Average single fruit weight	肉质 Flesh texture	硬度/Pa Firmness	可溶性糖含量/% Soluble sugar content	风味品质 Flavor quality	瓜把苦味 Bitterness of neck
C1	29.20	3.52	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	230.54	硬 Hard	6.33	3.34	中、涩 Medium, astringent	无 None
C2	31.90	3.56	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	232.50	硬 Hard	6.29	3.38	中、涩 Medium, astringent	无 None
C3	28.10	3.64	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	214.10	硬 Hard	5.86	3.48	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C4	32.28	3.66	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	270.60	硬 Hard	6.15	3.76	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C5	29.18	3.34	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	229.00	硬 Hard	5.60	3.50	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C6	28.80	3.59	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	246.00	硬 Hard	5.99	3.76	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C7	33.06	3.32	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	248.30	硬 Hard	6.16	3.76	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C8	33.90	3.77	大 Large	密 Dense	棒状 Stabfoermig	深绿 Dark green	无 None	密 Dense	有 Exist	236.00	硬 Hard	6.35	3.24	中、涩 Medium, astringent	无 None
C9	17.30	3.66	中 Medium	稀 Sparse	圆筒形 Cylindrical	黄绿 Yellow green	无 None	稀 Sparse	有 Exist	140.30	硬 Hard	6.78	4.24	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C10	16.10	3.50	大 Large	稀 Sparse	圆筒形 Cylindrical	浅绿 Light green	有 Exist	稀 Sparse	有 Exist	145.00	硬 Hard	6.57	4.34	中、涩 Medium, astringent	无 None
C11	17.08	3.82	大 Large	稀 Sparse	圆筒形 Cylindrical	浅绿 Light green	有 Exist	稀 Sparse	有 Exist	137.26	硬 Hard	7.19	4.56	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C12	16.64	4.05	大 Large	稀 Sparse	圆筒形 Cylindrical	浅绿 Light green	有 Exist	稀 Sparse	有 Exist	147.50	硬 Hard	6.76	3.82	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None
C13	16.46	3.73	中 Medium	稀 Sparse	圆筒形 Cylindrical	黄绿 Yellow green	有 Exist	稀 Sparse	有 Exist	138.10	硬 Hard	6.04	4.16	淡、涩 Light, astringent	无 None
C14	14.08	3.30	无 None	无 None	圆筒形 Cylindrical	中等绿 Medium green	无 None	无 None	有 Exist	100.30	硬 Hard	5.80	4.46	浓、不涩 Thick, not astringent	无 None

2.2.3　不同黄瓜品种产量比较　从表 7 可以看出,华北型黄瓜单株产量和折合产量较高。在所有参试黄瓜品种中 C8 单株产量和折合产量最高,其次为 C6,而 C10 最低,折合产量小于 6 000 kg·667 m^{-2}。

表 7　参试黄瓜品种的产量

Table 7　Yield of the tested cucumber varieties

品种编号 Variety code	单株产量/kg Yield per plant	折合产量/(kg·667 m^{-2}) Equivalent yield	折合产量排名 Ranking of equivalent yield	品种编号 Variety code	单株产量/kg Yield per plant	折合产量/(kg·667 m^{-2}) Equivalent yield	折合产量排名 Ranking of equivalent yield
C1	6.64	11 619.16	5	C8	9.82	17 185.00	1
C2	7.44	13 020.00	3	C9	4.04	7 070.00	11
C3	6.17	10 790.64	6	C10	3.25	5 687.50	14
C4	7.36	12 880.00	4	C11	3.51	6 142.50	13
C5	5.86	10 255.00	7	C12	5.43	9 502.50	8
C6	9.45	16 537.50	2	C13	3.98	6 965.00	12
C7	5.16	9 030.00	9	C14	4.33	7 577.50	10

2.2.4　不同黄瓜品种各性状间相关性分析　选取在各黄瓜品种间具有差异的性状指标,包括分类(Y_1)、生长势(Y_2)、白粉病抗性(Y_3)、性型(Y_4)、果瘤大小(Y_5)、果瘤密度(Y_6)、果形(Y_7)、果色(Y_8)、瓜斑(Y_9)、果刺(Y_{10})、瓜长(Y_{11})、瓜粗(Y_{12})、平均单果重(Y_{13})、硬度(Y_{14})、可溶性糖含量(Y_{15})、风味品质(Y_{16})和折合产量(Y_{17})进行进一步分析。从相关性矩阵(表 8)中可以看出,黄瓜各单项指标之间相关性

较强,各单项指标之间存在重叠关系,根据单项指标来评价各黄瓜品种的高原适应性准确性较低,因此,需要通过多元统计分析对黄瓜品种进行高原适应性综合评价。

表 8 不同黄瓜品种成株期 17 个指标之间的相关性分析

Table 8 Correlation analysis among 17 indexes of different cucumber varieties at adult stage

指标 Index	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9	Y_{10}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{14}	Y_{15}	Y_{16}
Y_2	0.442															
Y_3	−0.291	−0.121														
Y_4	0.630 *	0.347	−0.277													
Y_5	0.680 **	0.271	0.045	0.151												
Y_6	1.000 **	0.442	−0.291	0.630 *	0.680 **											
Y_7	0.978 **	0.452	−0.440	0.614 *	0.599 *	0.978 **										
Y_8	−0.896 **	−0.433	0.559 *	−0.646 *	−0.349	−0.896 **	−0.958 **									
Y_9	−0.625 *	−0.330	0.614 *	−0.526	−0.027	−0.625 *	−0.730 **	0.853 **								
Y_{10}	1.000 **	0.442	−0.291	0.630 *	0.680 **	1.000 **	0.978 **	−0.896 **	−0.625 *							
Y_{11}	−0.878 **	−0.367	0.192	−0.752 **	−0.558 *	−0.878 **	−0.859 **	0.799 **	0.628 *	−0.878 **						
Y_{12}	0.146	0.281	−0.304	−0.034	−0.100	0.147	0.269	−0.373	−0.471	0.147	−0.020					
Y_{13}	−0.878 **	−0.324	0.224	−0.704 **	−0.637 *	−0.878 **	−0.859 **	0.774 **	0.549 *	−0.878 **	0.873 **	−0.112				
Y_{14}	0.308	0.194	−0.686 **	0.261	−0.150	0.308	0.430	−0.571 *	−0.471	0.308	−0.042	0.554 *	−0.178			
Y_{15}	0.867 **	0.369	−0.306	0.485	0.511	0.867 **	0.863 **	−0.822 **	−0.591 *	0.867 **	−0.784 **	0.055	−0.700 **	0.245		
Y_{16}	0.195	−0.025	0.125	−0.021	0.120	0.196	0.167	−0.145	0.046	0.196	−0.293	−0.316	−0.139	−0.249	0.575 *	
Y_{17}	−0.786 **	−0.194	0.580 *	−0.504	−0.441	−0.786 **	−0.824 **	0.811 **	0.667 **	−0.786 **	0.736 **	0.044	0.758 **	−0.292	−0.837 **	−0.414

注:Y_1:分类 Classification;Y_2:生长势 Growth vigor;Y_3:白粉病抗性 Powdery mildew resistance;Y_4:性型 Sex type;Y_5:果瘤大小 Tubercule size;Y_6:果瘤密度 Tubercule density;Y_7:果形 Fruit shape;Y_8:果色 Fruit color;Y_9:瓜斑 Stripe pattern;Y_{10}:果刺 Spine type;Y_{11}:瓜长 Fruit length;Y_{12}:瓜粗 Fruit diameter;Y_{13}:平均单果重 Average single fruit weight;Y_{14}:硬度 Firmness;Y_{15}:可溶性糖含量 Soluble sugar content;Y_{16}:风味品质 Flavor quality;Y_{17}:折合产量 Equivalent yield. 下同 The same as follows.

2.2.5 不同黄瓜品种不同指标的主成分分析 对 14 个黄瓜品种的 17 个指标进行主成分分析(表 9)后得到特征向量和贡献率,前 3 个主成分贡献率分别为 58.557%、16.736%和 8.095%,累计贡献率为 83.387%,表明 3 个综合指标可以解释 17 个指标 83.387%的总变异,具有较高的代表性。在这 3 个新确定的综合指标中,第 1 主成分(PC1)中主要特征向量是果形(Y_7)和瓜长(Y_{11}),分别为 0.991、−0.983,其中特征值最大的是果形;第 2 主成分(PC2)中主要特征向量是白粉病抗性(Y_3)和瓜粗(Y_{12}),分别为 0.737、−0.736,其中特征值最大的是白粉病抗性;第 3 主成分(PC3)中主要特征向量是风味品质(Y_{16})和生长势(Y_2),分别为 −0.653、0.539,其中特征值最大的是风味品质。3 个主成分主要与果形、白粉病抗性和风味品质相关。

表 9 黄瓜成株期主成分特征向量及贡献率

Table 9 Principal component eigenvectors and contribution rates at cucumber adult stage

指标 Index	PC1	PC2	PC3	指标 Index	PC1	PC2	PC3
Y_1	0.928	0.307	0.146	Y_{11}	−0.983	−0.079	−0.040
Y_2	0.456	−0.074	0.539	Y_{12}	0.262	−0.736	0.328
Y_3	−0.317	0.737	0.351	Y_{13}	−0.959	−0.145	−0.096
Y_4	0.680	−0.057	0.155	Y_{14}	0.497	−0.705	−0.018
Y_5	0.548	0.710	0.254	Y_{15}	0.888	0.191	−0.233
Y_6	0.975	0.164	0.098	Y_{16}	0.340	0.381	−0.653
Y_7	0.991	−0.026	0.034	Y_{17}	−0.808	−0.085	0.466
Y_8	−0.916	0.364	0.079	特征值 Eigenvalue	9.955	2.845	1.376
Y_9	−0.733	0.504	0.096	贡献率/% Contribution rate	58.557	16.736	8.095
Y_{10}	0.975	0.164	0.098	累计贡献率/% Accumulative contribution rate	58.557	75.293	83.387

2.2.6 不同黄瓜品种成株期高原适应性综合评价分析及聚类分析 由表 10 可见,各综合指标权重分别为 0.70、0.20 和 0.10。根据计算得到的隶属函数值及权重,计算各黄瓜品种的综合评价值(D 值),结果显示,品种 C14 的 D 值最大,表明其成株期高原适应性最强;C8 的 D 值最小,表明其成株期高原适应性最弱。利用组间联接法对 D 值进行聚类分析,结果(图 3)显示,在距离为 4 处,可以把 14 个黄瓜品种分为 3 类,与分类指标一致。其中,第Ⅰ类只有 C14,D 值最高(0.95),成株期高原适应性强;第Ⅱ类包含 C9—C13,D 值平均为 0.72,成株期高原适应性中等;第Ⅲ类包含 C1—C8,D 值平均为 0.19,成株期高原适应性弱。

表 10　不同黄瓜品种成株期评价指标及综合排名

Table 10　Evaluation indexes and comprehensive ranking of different cucumber varieties at adult stage

品种编号 Variety code	*CI*(1)	*CI*(2)	*CI*(3)	μ(1)	μ(2)	μ(3)	*D*	排名 Ranking
C1	−0.66	−0.68	0.99	0.17	0.19	0.77	0.23	8
C2	−0.93	−0.11	0.05	0.06	0.32	0.54	0.16	12
C3	−0.76	0.33	−0.89	0.13	0.42	0.31	0.20	10
C4	−0.85	0.06	−0.10	0.09	0.36	0.50	0.19	11
C5	−0.74	0.78	−0.39	0.13	0.53	0.43	0.24	7
C6	−0.78	0.22	0.35	0.12	0.40	0.62	0.22	9
C7	−0.83	0.19	−2.14	0.10	0.39	0.00	0.15	13
C8	−1.06	−0.63	1.91	0.00	0.20	1.00	0.14	14
C9	0.92	0.13	−0.20	0.84	0.38	0.48	0.71	5
C10	1.16	−0.43	−0.90	0.94	0.24	0.31	0.74	3
C11	1.31	−1.15	−0.58	1.00	0.07	0.38	0.75	2
C12	1.02	−1.46	0.70	0.88	0.00	0.70	0.69	6
C13	0.97	−0.03	0.20	0.86	0.34	0.58	0.73	4
C14	1.23	2.77	1.01	0.97	1.00	0.78	0.95	1
ω_j				0.70	0.20	0.10		

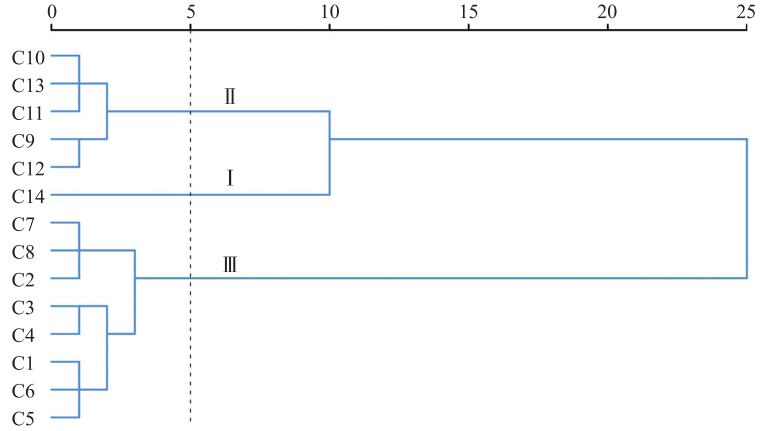

图 3　黄瓜成株期适应性聚类分析

Fig. 3　Clustering analysis of cucumber adaptability at adult stage

3　讨论与结论

在高原地区,作物生长面临低氧、低温、气候干旱及昼夜温差等逆境,这些因素显著影响作物的生长发育[15]。对于黄瓜而言,其自然适应性相对较弱,喜温不耐寒[16]、喜湿而不耐旱[17],大部分品种缺乏高原环境适应性。因此,如图 4 所示,建立一套黄瓜品种高原适应性评价体系,筛选和引进高原适应性强的黄瓜品种显得尤为重要,可促进高原地区黄瓜的稳定生产。

目前,对于作物苗期耐冷性评价的研究体系比较成熟,一般以 4 ℃作为低温处理温度[18-20],对生长及生理指标进行测定,采用相关性分析、主成分分析及隶属函数法进行评价。本研究发现,4 ℃处理下,14 个黄瓜品种生长指标的相对值均小于 1,并且茎粗与株高和叶长相对值均呈显著相关,这表明低温对黄瓜苗期生长状态有一定的抑制作用,与丁圆圆等[21]的研究结果一致。低温处理后各品种的 POD、CAT 和 SOD 等抗氧化酶活性发生变化,其中,SOD 活性与黄瓜耐冷性主要呈负相关,这与杨鸿基等[14]的研究结果一致。研究表明,Pro 含量、SSC 和 SPC 与植物耐冷性呈正相关[22-23]。同时,本研究发现,14 个黄瓜品种在经过苗期低温处理后,Pro 相对值均大于 1,表明 Pro 含量高的黄瓜品种,耐冷性也相对较强。本研究将计算得出的 4 个综合指标进行隶属函数分析,计算 *D* 值,据此进行聚类分析,并把 14 份材料分为苗期强耐冷型、苗期中耐冷型和苗期弱耐冷型 3 个等级,发现多数华北型黄瓜品种苗期耐冷性中等,而华南型和欧洲温室型苗期耐冷性较强,其中,C11 和 C14 属于苗期强耐冷型品种。

有关作物成株期适应性评价的研究也有报道,如王现丽等[24]以 13 份豇豆品种为材料,从农艺性状、产量、品质性状及抗病性进行比较分析,通过综合评价筛选出适宜在海南夏季陆地栽培的豇豆品种。干旱及高温、高湿的密闭环境均可导致白粉病暴发,影响黄瓜的正常生长状态,甚至死亡[7]。本研究发现,在冬季低温干旱条件下,部分华南型黄瓜品种感染白粉病严重,而欧洲温室型 C14 白粉病抗性最好,*D* 值评

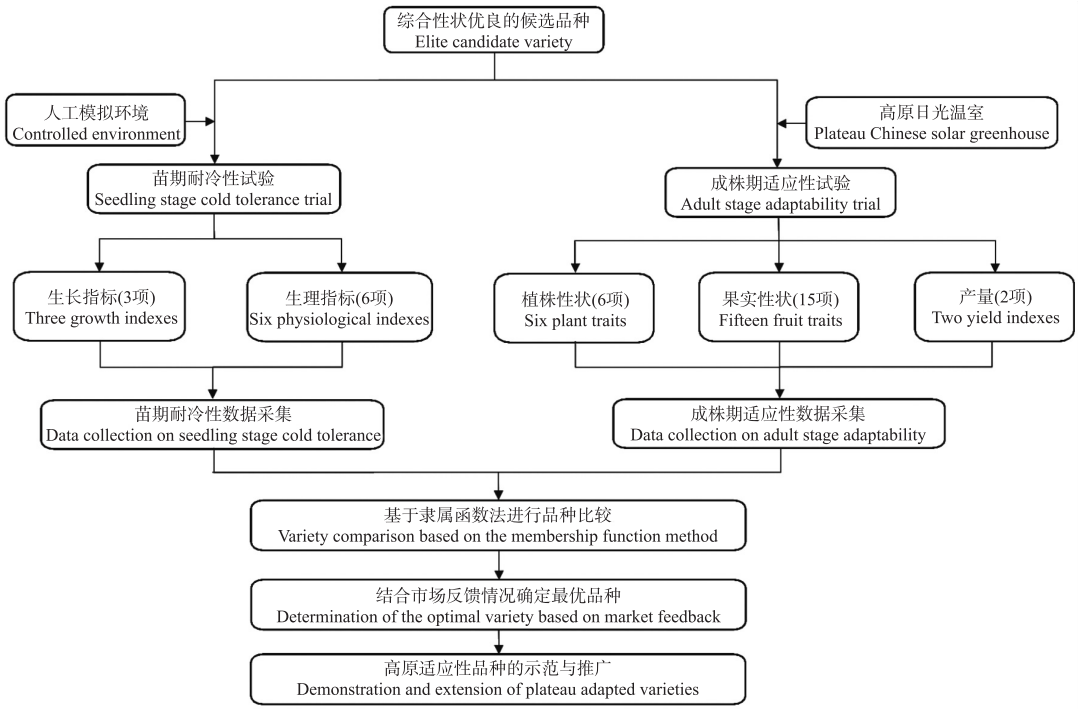

图 4 黄瓜高原适应性评价与筛选技术流程图

Fig. 4 Technical flowchart for evaluating and screening cucumber adaptability to plateau

分最高,这与郭海滨[25]的研究结果一致。此外,白粉病抗性和瓜粗在第 2 主成分(PC2)中特征值较大,但相关性分析显示二者并无显著相关性,这可能是抗病基因通过调控细胞周期进程,在抵御病原菌的同时间接影响果实细胞分裂模式,导致瓜粗性状变异,甚至出现畸形果,而样本量或环境异质性导致表型相关性未达显著水平[26]。以上结果表明耐低温干旱性是黄瓜品种高原适应性评价的重要指标之一。本研究所比较的 14 个黄瓜品种在拉萨温室栽培中均表现出自身品质特性,该方法与前人在番茄[27]、辣椒[28]和豇豆[29]上的引种比较试验方法相似。将黄瓜成株期适应性单项指标转化为 3 个综合指标,在此基础上进行综合评价分析,根据 *D* 值对 14 个黄瓜品种进行聚类分析,可将其分为 3 个等级:多数华北型黄瓜品种产量较高,成株期适应性较弱;欧洲温室型 C14 果形美观、风味香甜、生长势强、抗病性极好,适应当地生长条件;华南型 C11 可溶性糖含量最高、硬度最大,且为全雌性。

目前,已有关于黄瓜苗期耐冷性和成株期适应性的研究报道[30-31],但多数研究仅对黄瓜单个发育时期进行筛选,而针对高原地区黄瓜苗期及成株期综合适应性评价的研究少见。此外,黄海涛[32]对长豇豆萌发期、幼苗期和成株期的耐冷性进行分析,发现幼苗期耐冷性的强弱与萌发期和成株期的结果存在差异,且无显著相关关系。本研究表明,黄瓜苗期耐冷性与成株期适应性具有一定相关性,但并非完全一致,如品种 C7 苗期耐冷性排名第 7,但成株期适应性排名第 13,这可能是不同黄瓜品种在苗期和成株期对高原环境的响应机制不同,因此应综合 2 个发育期的评价结果,形成一套完整的黄瓜品种高原适应性评价体系,以选出适宜高原地区栽培种植的优良黄瓜品种。本研究发现,欧洲温室型 C14 和华南型 C11 综合表现优良,可在高原地区作为主导品种进行示范推广,增强市场竞争力,提高经济效益,助力高原地区蔬菜产业发展。

综上,本研究虽然为黄瓜品种高原适应性的研究提供了新的见解和方法,但仍有一些不足之处:第一,本研究未能充分评估高原地区特有的逆境条件,如光伤害和紫外线辐射对黄瓜生长发育的影响[33];第二,光合作用是影响黄瓜植株性状、果实性状及产量的关键因素,叶绿素含量的变化与植物的光合作用效率密切相关[34],而本研究未测定高原环境对黄瓜叶绿素含量的影响。因此,未来的研究需要在这些领域进行更深入的探索,以便更全面地了解黄瓜在高原地区的适应机制,为黄瓜高原适应性研究的深入发展提供新的思路和方向。

参考文献 References:

[1] 惠成章,刘术均,刘爱群. 新时期我国黄瓜产业高质量发展研究[J]. 农业科技与装备,2023(6):85-87.

Hui C Z, Liu S J, Liu A Q. Research on the high-quality development of cucumber industry in the new era[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2023(6): 85-87(in Chinese with English abstract).

[2] 王振华,王玉春,李建平,等. 小黄瓜变成特色大产业——沂南县全产业链培育富民兴乡黄瓜产业[J]. 农业知识,2024(2):9-10.
Wang Z H, Wang Y C, Li J P, et al. Cucumber becomes a characteristic big industry: the whole industrial chain of Yinan county cultivates cucumber industry to enrich the people and revitalize the countryside[J]. Agriculture Knowledge, 2024(2): 9-10(in Chinese).

[3] Kaur M, Sharma P. Recent advances in cucumber(*Cucumis sativus* L.)[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2022, 97(1): 3-23.

[4] 孙亚玲,臧传江,姚甜甜,等. 我国黄瓜耐热性研究进展[J]. 中国果菜,2018,38(10):57-62.
Sun Y L, Zang C J, Yao T T, et al. Research advances on heat tolerance of cucumber in China[J]. China Fruit & Vegetable, 2018, 38(10): 57-62(in Chinese with English abstract).

[5] 连正冰. 黄瓜“花打顶”的原因分析与预防补救[J]. 河南农业,2018(22):41.
Lian Z B. Cause analysis and preventive remedy of cucumber “flower topping”[J]. Agriculture of Henan, 2018(22): 41(in Chinese).

[6] Liu L H, Wen H F, Song T F, et al. Low temperature-induced cold shock protein modulates determinate growth in cucumber[J]. Molecular Horticulture, 2026, 6(1): 16.

[7] 王静欣,马顺尧. 黄瓜白粉病绿色防控技术[J]. 世界热带农业信息,2024(10):25-27.
Wang J X, Ma S Y. Green control technology of cucumber powdery mildew[J]. World Tropical Agriculture Information, 2024(10): 25-27(in Chinese).

[8] Xu X W, Du Y J, Li S H, et al. A genome-wide association study reveals molecular mechanism underlying powdery mildew resistance in cucumber[J]. Genome Biology, 2024, 25(1): 252.

[9] Abdelfatah A, Mazrou Y S A, Arafa R A, et al. Control of cucumber downy mildew disease under greenhouse conditions using biocide and organic compounds via induction of the antioxidant defense machinery[J]. Scientific Reports, 2025, 15(1): 11705.

[10] Magdy M, Mostofa M G, Rahimi M, et al. Editorial: abiotic stress alleviation in plants: morpho-physiological and molecular aspects[J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 14: 1295638.

[11] 赵金花,高佳荷,伊如,等. 3 种葱属植物野生成年植株耐旱生理响应及综合性评价[J]. 草地学报,2025,33(2):507-515.
Zhao J H, Gao J H, Yi R, et al. Comprehensive evaluation and physiological response to drought stress in three wild adult *Allium* L. species[J]. Acta Agrestia Sinica, 2025, 33(2): 507-515(in Chinese with English abstract).

[12] 熊强强,孙长辉,顾雯霏,等. 基于生育期、产量和品质对 70 份粳糯品种(系)的综合评价[J]. 作物学报,2025,51(3):728-743.
Xiong Q Q, Sun C H, Gu W F, et al. Comprehensive evaluation of 70 *Japonica* glutinous rice varieties(lines) based on growth period, yield, and quality[J]. Acta Agronomica Sinica, 2025, 51(3): 728-743(in Chinese with English abstract).

[13] 李锡香,朱德蔚,杜永臣,等. 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.
Li X X, Zhu D W, Du Y C, et al. Cucumber Germplasm Resource Description Specifications and Data Standards[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005(in Chinese).

[14] 杨鸿基,徐诚,高亚宁,等. 新疆哈密瓜苗期耐冷性评价[J]. 中国瓜菜,2022,35(2):90-94.
Yang H J, Xu C, Gao Y N, et al. Cold tolerance evaluation of Hami melon seedlings in Xinjiang[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(2): 90-94(in Chinese with English abstract).

[15] Li C X, Dong S Y, Liu X P, et al. Co-domestication of cold tolerance and female flower is determined by *CsEIN2* in cucumber[J]. Plant Biotechnology Journal, 2025, 23(10): 4412-4427.

[16] Zhang M, Liu W Q, Wang C C, et al. Root-to-shoot mobile mRNA CmoKARI1 promotes JA-Ile biosynthesis to confer chilling tolerance in grafted cucumbers[J]. Nature Communications, 2025, 16(1): 7782.

[17] Chen J C, Chen G X, Guo J Y, et al. The CsTIE1-CsAGL16 module regulates lateral branch outgrowth and drought tolerance in cucumber[J]. Horticulture Research, 2025, 12(1): uhae279.

[18] Guo Y L, Li J Y, Liu L L, et al. The Ca^{2+} channels CNGC2 and CNGC20 mediate methyl jasmonate-induced calcium signaling and cold tolerance[J]. Plant Physiology, 2025, 198(2): kiaf219.

[19] Qi C D, Dong D H, Li Y F, et al. Heat shock-induced cold acclimation in cucumber through CsHSFA1d-activated JA biosynthesis and signaling[J]. The Plant Journal, 2022, 111(1): 85-102.

[20] Takeuchi K, Harimoto S, Che Y F, et al. The protective role of chloroplast NADH dehydrogenase-like complex (NDH) against PS Ⅰ photoinhibition under chilling stress[J]. New Phytologist, 2025, 248(5): 2262-2279.

[21] 丁圆圆,王曦奥,刘策,等. 黄瓜耐湿冷性苗期综合评价预测方程的建立[J]. 中国农业科技导报,2022,24(11):87-96.
Ding Y Y, Wang X A, Liu C, et al. Establishment of comprehensive evaluation and prediction equation for cucumber wet-cold tolerance at seedling stage[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(11): 87-96(in Chinese with English abstract).

[22] Diao Q N, Tian S B, Cao Y Y, et al. Physiological, transcriptomic, and metabolomic analyses of the chilling stress response in two melon(*Cucumis melo* L.) genotypes[J]. BMC Plant Biology, 2024, 24(1): 1074.

[23] Wang Y, Wang J, Sarwar R, et al. Research progress on the physiological response and molecular mechanism of cold response in plants[J]. Frontiers in Plant Science, 2024, 15: 1334913.

[24] 王现丽,牛玉,杜公福,等. 海南地区豇豆品种比较分析与综合评价[J]. 中国瓜菜,2024,37(9):151-158.

Wang X L,Niu Y,Du G F,et al. Comparative analysis and comprehensive evaluation of cowpea varieties in Hainan[J]. China Cucurbits and Vegetables,2024,37(9):151-158(in Chinese with English abstract).

[25] 郭海滨. 北方高寒地区棚室旱黄瓜嫁接技术研究与应用[J]. 北方园艺,2018(12):204-206.
Guo H B. Research and application of grafting technology of dry cucumber in greenhouse in northern cold region[J]. Northern Horticulture,2018(12):204-206(in Chinese).

[26] Qi F F,Zhang F X. Cell cycle regulation in the plant response to stress[J]. Frontiers in Plant Science,2020,10:1765.

[27] 摆福红,王晓敏,胡新华,等. 基于主成分和隶属函数分析的露地大果番茄杂交组合综合评价[J]. 中国瓜菜,2024,37(12):88-95.
Bai F H,Wang X M,Hu X H,et al. Comprehensive evaluation of open field large fruit tomato hybrid combinations based on principal component and membership function analysis[J]. China Cucurbits and Vegetables,2024,37(12):88-95(in Chinese with English abstract).

[28] 吕梦瑶,王盼乔,李纪锁,等. 不同朝天椒品种果实性状评价及聚类分析[J]. 中国瓜菜,2024,37(8):67-75.
Lü M Y,Wang P Q,Li J S,et al. Fruit traits evaluation and cluster analysis of different Chaotian pepper varieties[J]. China Cucurbits and Vegetables,2024,37(8):67-75(in Chinese with English abstract).

[29] 黄伟康,符启位,郭静依,等. 25份长荚豇豆品种萌芽期耐冷性综合评价[J]. 长江蔬菜,2023(6):40-45.
Huang W K,Fu Q W,Guo J Y,et al. Cold tolerance comprehensive evaluation of 25 long-podded cowpea cultivars at germination stage[J]. Journal of Changjiang Vegetables,2023(6):40-45(in Chinese with English abstract).

[30] 王政. 华北型黄瓜苗期耐低温材料的筛选及鉴定[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2023.
Wang Z. Screening and identification of low temperature tolerant materials for seedling cucumber of North China type[D]. Yangling:Northwest A&F University,2023(in Chinese with English abstract).

[31] 刘红红,苏华,侯宜佐,等. 黄瓜新品种在广西玉林地区的引种表现及栽培技术[J]. 长江蔬菜,2019(13):27-29.
Liu H H,Su H,Hou Y Z,et al. Introduction and cultivation techniques of new cucumber cultivars in Yulin area of Guangxi[J]. Journal of Changjiang Vegetables,2019(13):27-29(in Chinese).

[32] 黄海涛.长豇豆耐冷种质资源筛选、遗传图谱构建及结荚期耐冷性QTL定位[D]. 雅安:四川农业大学,2018.
Huang H T. Selection of cold-resistance of germplasm resources,construction of genetic map and QTL mapping of cold tolerance at pod stage in bean[D]. Ya'an:Sichuan Agricultural University,2018(in Chinese with English abstract).

[33] Qian M,Rosenqvist E,Prinsen E,et al. Downsizing in plants:UV light induces pronounced morphological changes in the absence of stress[J]. Plant Physiology,2021,187(1):378-395.

[34] Wang J Z,Li Z L,Chen Z M,et al. The CsRAP2.12-CsERF113L/CsRAP2.7 module positively regulates chlorophyll degradation to impair saline-alkali tolerance in cucumber[J]. Journal of Integrative Plant Biology,2026,68(3):607-627.

责任编辑:范雪梅