

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2024.0589

# 黄瓜耐湿冷性苗期湿冷害指数鉴定方法的建立

丁圆圆, 刘汉强, 潘玉朋, 孟焕文, 程智慧

(西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 为建立黄瓜耐湿冷性苗期形态学鉴定方法, 分别以耐湿冷性不同的 8 个试验品种和 5 个验证品种的 2 叶 1 心期幼苗为试材, 在人工气候箱温度 9 °C/5 °C(昼/夜)+空气相对湿度 RH 95%条件下进行湿冷处理, 以 25 °C/18 °C(昼/夜)+RH 85%为对照, 处理 7 d 后逐株统计湿冷害等级, 计算湿冷害指数, 并测定生长指标。结果表明, 湿冷条件下不同品种表现出不同程度的叶片黄化、失水萎蔫或死亡的症状, 湿冷害指数可准确反映各品种耐湿冷性, 验证试验与方法建立试验结果一致; 根据各品种湿冷处理与对照条件下株高、叶长和叶宽指标的相对值等对其耐湿冷性进行聚类分析, 与湿冷害指数分类也一致。因此, 苗期湿冷害指数可以用于黄瓜品种资源耐湿冷性鉴定, 0<湿冷指数 $\leq$ 0.250 的为强耐湿冷型, 0.250<湿冷指数 $\leq$ 0.550 的为中耐湿冷型, 0.550<湿冷指数 $\leq$ 0.750 为弱耐湿冷型, 0.750<湿冷指数 $\leq$ 1.000 的为湿冷敏感型。

**关键词:** 黄瓜; 品种资源; 耐湿冷性; 湿冷害指数; 苗期鉴定方法

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)06-084-07

## Establishing of a wet-cold tolerant identification method for cucumber during seedling stage by wet-cold injury index

DING Yuanyuan, LIU Hanqiang, PAN Yupeng, MENG Huanwen, CHENG Zhihui

(College of Horticulture, Northwest A&amp;F University, Yangling 712100, Shaanxi, China)

**Abstract:** To establish a wet-cold tolerant identification method during seedling stage for cucumber by morphology, the seedlings in two developed true leaves of 8 test cultivars and 5 validation cultivars with different wet-cold tolerance were treated under 9 °C/5 °C(day/night)+ relative humidity 95% growth chambers (taking 25°C/18°C + relative humidity 85% as the control). After 7 days of treatment, the degree of wet-cold injury was counted for each plant, the wet-cold injury indexes were calculated and the growth parameter were measured. The results showed that the different cultivars presented different level of leaf yellowing, water losing wilting or death under wet-cold stress and the wet-cold injury indexes could indicate the wet-cold tolerance of the cultivar accurately. The results of validation test were consistent with those of method establishment test. The clustering of wet-cold tolerance of various varieties based on the relative values of plant height, leaf length and leaf width etc. under wet-cold stress and control condition were consistent with the classification of wet-cold injury index. Therefore, it is thought that the wet-cold injury index at seedling stage can be used to identify the wet-cold tolerance of cucumber cultivars. The wet-cold injury index greater than 0 but less than or equal to 0.250 indicates strong tolerant type, greater than 0.250 but less than or equal to 0.550 indicates moderate tolerant type, greater than 0.550 but less than or equal to 0.750 indicates weak tolerant type, and greater than 0.750 but less than or equal to 1.000 indicates sensitive type.

**Key words:** Cucumber; Cultivar germplasm; Wet-cold tolerance; Wet-cold injury index; Identification method at seedling stage

黄瓜是典型的喜温蔬菜, 生长发育适宜温度为 15~32 °C, 对低温敏感, 10~12 °C 生长缓慢或停止, 5 °C 可致冷害; 也不耐高温, 35 °C 和 40 °C 以上常分

别导致生殖和生长障碍。黄瓜喜湿但也不耐高温, 适宜空气湿度为 80%~90%<sup>[1]</sup>; 空气湿度与植株同化物的积累和分配显著相关, 空气相对湿度增加, 黄

收稿日期: 2024-09-22; 修回日期: 2025-03-11

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0100701, 2023YFE0206900); 国家自然科学基金(32202493)

作者简介: 丁圆圆, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为蔬菜生理生态。E-mail: dingyuanyuan@nwfufu.edu.cn

共同第一作者: 刘汉强, 男, 讲师, 研究方向为蔬菜生理生态与生物技术。E-mail: hanqiang0216@nwfufu.edu.cn

通信作者: 程智慧, 男, 教授, 研究方向为蔬菜生理生态与生物技术。E-mail: chengzh@nwfufu.edu.cn

瓜结瓜数和总产量提高,干物质积累量增加,但湿度过高也会造成叶片膜脂过氧化,干物质积累随之减少,引发霜霉病等侵染性病害<sup>[2]</sup>;净光合速率与叶面水汽压差呈负相关<sup>[3]</sup>。早春和冬春设施栽培中,黄瓜常受到低温加高湿度的湿冷环境胁迫,选育和应用耐湿冷品种是应对湿冷环境的重要措施,建立耐湿冷性鉴定方法和综合鉴定体系对黄瓜耐湿冷性鉴定和品种选育具有重要意义。

目前,关于黄瓜耐寒冷性和耐热性的研究比较深入<sup>[4-6]</sup>,关于耐湿性的研究仍然很少,关于湿热复合逆境<sup>[7-11]</sup>和湿冷复合逆境<sup>[12-14]</sup>的研究也先后起步。抗性鉴定是植物抗逆育种和品种筛选的基本技术,也是抗逆性研究的重要内容。黄瓜耐寒性鉴定和耐热性鉴定都已形成了系统的技术体系<sup>[15-23]</sup>,但耐湿热性鉴定和耐湿冷性鉴定鲜有报道<sup>[24-25]</sup>,迫切需要深入系统地研究。

黄瓜幼苗期耐寒性和耐热性都与成株期具有一致性,所以从种子发芽期、幼苗期到成株期都可以进行抗逆性鉴定。王伟平等<sup>[17]</sup>开展黄瓜核心种质苗期耐冷性鉴定和品种筛选,在2叶1心期进行冷胁迫,根据叶片黄化症状将87份核心种质分为4组,筛选出不同耐冷种质,并利用重测序信息进行了GWAS分析。魏爽等<sup>[21]</sup>在3叶1心期进行热胁迫,

以热害指数为指标进行聚类分析把86份黄瓜核心种质划分为四大类群。Liang等<sup>[23]</sup>建立了黄瓜苗期43℃/38℃高温处理后测定H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量和Fq'/Fm'快速鉴定黄瓜耐热性的方法。

黄瓜幼苗期耐湿热性与成株期也有一致性,并已有基于苗期和成株期性状对不同生态型黄瓜品种耐湿热性鉴定的报道<sup>[10]</sup>。笔者研究已观察到黄瓜幼苗期耐湿冷性与成株期有密切关系,并建立了黄瓜耐湿冷性苗期综合评价预测方程<sup>[25]</sup>。笔者采用人工气候箱设置湿冷环境,对已知耐湿冷性不同的黄瓜品种幼苗进行湿冷胁迫处理,通过幼苗受湿冷害的形态特征分析,建立湿冷害指数鉴定法并验证,以为黄瓜耐湿冷性种质资源和栽培品种鉴定筛选提供新的技术支撑。

## 1 材料与方法

试验于2019年9月至2021年12月在西北农林科技大学园艺学院蔬菜生理生态与生物技术实验室进行。

### 1.1 供试材料和培养

根据前期试验筛选结果,以耐湿冷性不同的13个黄瓜品种为试材(表1)。其中,鉴定法建立分别以耐湿冷性较强的博耐5号(BN5)和津优4号

表1 供试黄瓜品种和耐湿冷特性  
Table 1 The experimental cucumber cultivars and their wet-cold resistance

名称 Name	代码 Code	来源 Source	耐湿冷特性 Wet-cold resistance
三叶早 Sanyezao	SYZ	山东泰安市禾元农业科技有限公司 Shandong Tai'an Heyuan Agri-sci-tech Company Ltd.	湿冷敏感 Sensitive
妙收 313 Miaoshou 313	MS	北京妙收益农农业科技有限公司 Beijing Miaoshou Yinong Agri-sci-tech Company Ltd.	湿冷敏感 Sensitive
蔬研 4号 Shuyan 4	SY4	湖南省农业科学院蔬菜研究所 Vegetable Research Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences	湿冷敏感 Sensitive
富阳 F1-35 Fuyang F1-35	FY35	山东寿光市洪亮种子有限公司 Shandong Shouguang Hongliang Seed Company Ltd.	弱耐湿冷 Weak tolerant
秋胜 Qiusheng	QS	吉林环球种业有限公司 Jilin Huanqiu Seed Company Ltd.	弱耐湿冷 Weak tolerant
雅美特 2188 Yameite 2188	YMT	山东寿光欣欣然园艺有限公司 Shandong Shouguang Xinxinran Horticultural Company Ltd.	弱耐湿冷 Weak tolerant
荷兰 35 Helan 35	HL35	山东寿光市洪亮种子有限公司 Shandong Shouguang Hongliang Seed Company Ltd.	弱耐湿冷 Weak tolerant
中农 26号 Zhongnong 26	ZN26	中国农业科学院蔬菜花卉研究所 Vegetable and Flower Research Institute, CAAS	中耐湿冷 Moderate tolerant
京研优胜 Jingyanyousheng	JYYS	国家蔬菜工程技术研究中心 National Vegetable Engineering Technology Research Center	中耐湿冷 Moderate tolerant
长春密刺 Changchunmici	CCMC	沈阳谷雨种业有限公司 Shenyang Guyu Seed Company Ltd.	中耐湿冷 Moderate tolerant
博耐 5号 Bonai 5	BN5	天津德瑞特种业有限公司 Tianjin Derit Seed Company Ltd.	强耐湿冷 Strong tolerant
津优 4号 Jinyou 4	JY4	天津科润黄瓜研究所 Tianjin Kerun Cucumber Research Institute	强耐湿冷 Strong tolerant
津优 1号 Jinyou 1	JY1	天津科润黄瓜研究所 Tianjin Kerun Cucumber Research Institute	强耐湿冷 Strong tolerant

(JY4),耐湿冷性中等的中农26号(ZN26)和京研优胜(JYYS),耐湿冷性较弱的富阳F1-35(FY35)和秋胜(QS),湿冷敏感的三叶早(SYZ)和妙收313(MS)为试材;鉴定方法验证分别以耐湿冷性较强的津优1号(JY1),耐湿冷性中等的长春密刺(CCMC),耐湿冷性较弱的雅美特2188(YMT)和荷兰35(HL35),以及湿冷敏感的蔬研4号(SY4)为试材。

将供试种子(有种衣剂的先洗去种衣剂)室温下浸种4h,然后放入28℃恒温箱中,黑暗环境催芽至种子露白,播入装有育苗基质的50孔穴盘,置于人工气候室培养。培养条件为:昼/夜温度25℃/18℃,空气相对湿度85%,光周期12h/12h,白天光照强度 $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。待子叶展开后,移栽于营养钵(8cm×8cm),培养至2叶1心期。

### 1.2 鉴定条件和方法

湿冷处理在冷光源低温人工气候箱(RXD-1000D-LED型,宁波普朗特仪器有限公司)内进行。条件为:温度9℃/5℃(昼/夜)+空气相对湿度RH95%,光周期12h,白天光照强度 $250\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,以25℃/18℃(昼/夜)+RH85%为对照。将各品种生长一致的2叶1心幼苗分别移入湿冷和对照条件下,每个材料3穴盘(每盘50株)作为3次重复,分别放在3个人工气候箱中。

在湿冷处理7d时统计湿冷害指数,每个重复随机选取5株测定形态指标。

### 1.3 湿冷害指数计算方法

观察幼苗生长点和相邻展开真叶的受害情况,按如下标准逐株进行湿冷害分级。

0级:生长正常,无湿冷害症状;

1级:强耐湿冷,生长点没有明显受害,真叶受害面积小于或等于叶片的1/3;

2级:中耐湿冷,生长点受害,真叶受害面积大于1/3小于或等于2/3;

3级:弱耐湿冷,生长点受害严重,真叶受害面积大于2/3;

4级:湿冷敏感,植株受害死亡。

根据单株湿冷害分级结果,计算每个鉴定材料群体的湿冷害指数。

湿冷害指数= $\sum(\text{湿冷害等级}\times\text{该等级苗数})/(\text{最高湿冷害等级}\times\text{总苗数})$ 。

### 1.4 幼苗形态指标测定方法

株高(SH)用直尺测量子叶节处至生长点距离;叶长(LL)和叶宽(LW)用直尺分别测量从上往下第

2片真叶的最大叶长和叶宽。

### 1.5 数据处理与统计分析

采用Microsoft Office Excel 2010进行相关指标参数值的整理,计算形态指标相对值(处理值/对照值)并分析与耐湿冷性的关系;采用IBM SPSS 21.0进行聚类分析和差异显著性等统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 湿冷害指数鉴定法的建立

2.1.1 湿冷处理后8个不同耐湿冷品种的形态表现 湿冷处理7d后,8个耐湿冷性不同的试验材料形态表现出不同的湿冷害症状(图1)。湿冷敏感的品种三叶早(SYZ)和妙收313(MS)表现为植株严重失水萎蔫至死亡,基本无健康组织或部位;弱耐湿冷的品种富阳F1-35(FY35)和秋胜(QS)表现为叶片、叶柄、主茎均出现严重失水萎蔫,叶片未失水面积仅约1/3,主茎基部尚好;中耐湿冷的品种中农26号(ZN26)和京研优胜(JYYS)表现为幼苗生长受到严重抑制,叶片大面积失水萎蔫,真叶叶脉黄化严重,生长点萎蔫,叶片未失水凋亡面积约1/2,叶柄黄化萎蔫,但主茎尚好;强耐湿冷的品种博耐5号(BN5)和津优4号(JY4)表现为生长受到抑制,叶片呈现水渍状,叶片边缘萎蔫,真叶的部分叶脉黄化,但叶片仍有2/3以上面积呈正常绿色状态,叶柄和茎秆尚好。

2.1.2 湿冷处理后8个不同耐湿冷品种的湿冷害指数 根据湿冷处理各品种幼苗的形态特征进行湿冷害分级,计算出各品种的湿冷害指数,结果见表2。可以看出,8个试验品种的湿冷害指数均准确区分了不同品种的耐湿冷性。2个强耐湿冷品种的湿冷害指数在0.204~0.246,2个中耐湿冷品种的湿冷害指数在0.452~0.508,2个弱耐湿冷品种的湿冷害指数在0.706~0.748,2个湿冷敏感品种的湿冷害指数在0.951~0.987。因此,湿冷害指数能准确定量反映品种的耐湿冷特性;湿冷害指数越低,品种的耐湿冷性越强;湿冷害指数越高,品种的耐湿冷性越弱。

在定量鉴定品种湿冷性的同时,还可根据湿冷害指数对品种耐湿冷性进行定性分类,即强耐湿冷型, $0<\text{湿冷指数}\leq 0.250$ ;中耐湿冷型, $0.250<\text{湿冷指数}\leq 0.550$ ;弱耐湿冷型, $0.550<\text{湿冷指数}\leq 0.750$ ;湿冷敏感型, $0.750<\text{湿冷指数}\leq 1.000$ 。

### 2.2 湿冷害指数鉴定法的验证

2.2.1 湿冷处理后5个不同耐湿冷品种的形态表现 验证试验中,湿冷处理7d后5个验证材料形

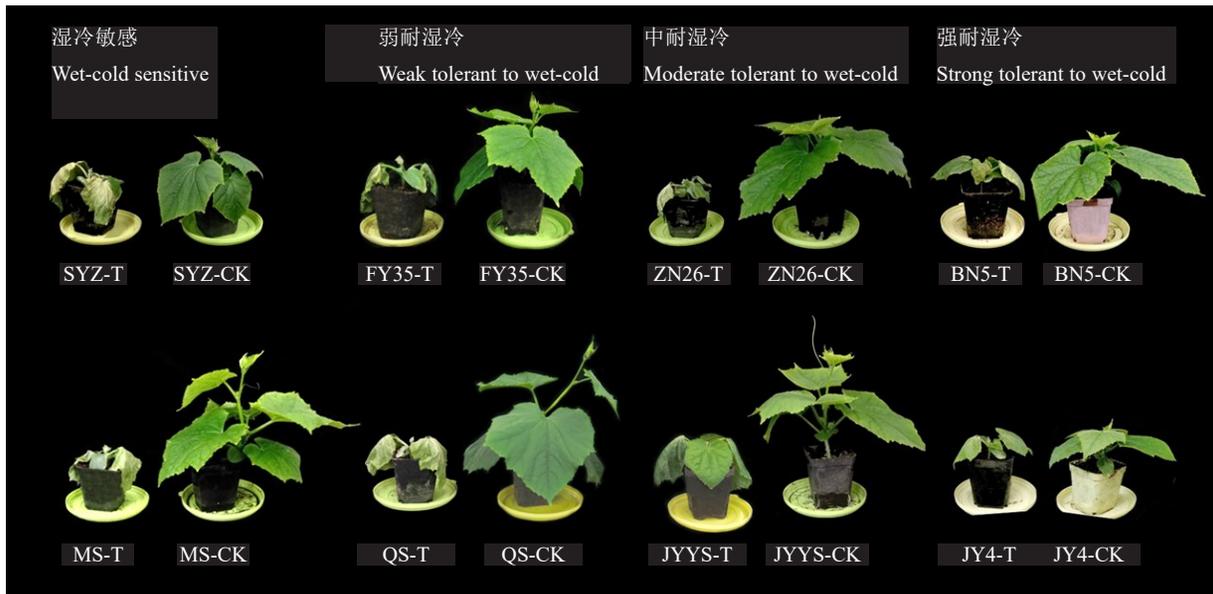


图1 鉴定方法建立试验中8个不同耐湿冷性黄瓜品种湿冷处理后的状态

Fig. 1 Status of 8 different tolerant cucumber cultivars after wet-cold treatment in method establishment test

表2 湿冷处理后8个试验品种的湿冷害指数  
Table 2 The wet-cold harm indexes of 8 test cultivars after wet-cold treatment

试验品种 Test cultivar	湿冷害指数 Wet-cold harm index
BN5	0.204
JY4	0.246
ZN26	0.452
JYYS	0.508
FY35	0.748
QS	0.706
SYZ	0.987
MS	0.951

态也表现出不同的湿冷害症状(图2)。湿冷敏感的品种蔬研4号(SY4)植株严重失水萎蔫至死亡,基本无健康组织;弱耐湿冷的品种雅美特2188(YMT)和荷兰35(HL35)叶片、叶柄和主茎均严重失水萎蔫,叶片未失水面积仅约1/3,但主茎基部尚好;中耐湿冷的品种长春密刺(CCMC)生长受到严重抑制,叶片大面积失水萎蔫,真叶叶脉严重黄化,生长点萎蔫,叶片未失水凋亡面积约1/2,叶柄黄化萎蔫,但主茎尚好;强耐湿冷的品种津优1号(JY1)幼苗生长受到抑制,叶片呈现水渍状,边缘萎蔫,真叶的部分叶



图2 鉴定方法验证5个不同耐湿冷性黄瓜品种湿冷处理后的状况

Fig. 2 Status of 5 different tolerant cucumber cultivars after wet-cold treatment in method verification

脉黄化,但叶片仍有 2/3 以上面积呈正常绿色状态,叶柄和茎秆尚好。

2.2.2 湿冷处理后 5 个不同耐湿冷品种的湿冷害指数 根据湿冷处理 5 个验证品种幼苗的形态特征进行湿冷害分级,计算湿冷害指数结果(表 3)。可以看出,5 个验证品种的湿冷害指数均准确区分了不同品种的耐湿冷性。强耐湿冷性品种津优 1 号(JY1)湿冷害指数为 0.213,在 0~0.250 之间;中耐湿冷性品种长春密刺(CCMC)湿冷害指数为 0.453,在 0.250~0.550 之间;弱耐湿冷性品种雅美特 2188(YMT)和荷兰 35(HL35)的湿冷害指数分别为 0.721 和 0.739,均在 0.550~0.750 之间;湿冷敏感性品种蔬研 4 号(SY4)湿冷害指数为 0.955,在 0.750~1.000 之间。验证品种的湿冷害指数均能准确定量反映品种的耐湿冷特性,湿冷害指数越低,品种耐湿冷性越强,说明湿冷害指数可用于黄瓜品种耐湿冷性鉴定。

表 3 湿冷处理后 5 个验证品种的湿冷害指数  
Table 3 The wet-cold harm indexes of 5 verifying cultivars after wet-cold treatment

验证品种 Verifying cultivar	湿冷害指数 Wet-cold harm index
JY1	0.213
CCMC	0.453
YMT	0.721
HL35	0.739
SY4	0.955

2.2.3 湿冷处理对不同耐湿冷品种幼苗生长的影响 湿冷处理 7 d 后处理与对照的 13 个品种幼苗生长指标相对值见表 4。可以看出,各品种株高、叶长和叶宽 3 个指标的相对值均小于 1,说明其生长

表 4 湿冷处理 7 d 不同黄瓜品种 3 个生长指标与对照条件下的相对值

Table 4 Growth index of 13 cucumber cultivars under wet-cold treatment for 7 d

品种 Cultivar	株高 Plant height	叶长 Leaf length	叶宽 Leaf width
SYZ	0.132 f	0.687 d	0.683 fg
SY4	0.242 e	0.853 a	0.780 bc
HL35	0.283 d	0.709 d	0.678 g
QS	0.377 c	0.770 b	0.700 ef
YMT	0.378 c	0.717 cd	0.704 ef
FY35	0.384 c	0.746 bc	0.700 ef
ZN26	0.384 c	0.701 d	0.724 de
MS	0.390 c	0.759 b	0.826 a
JY1	0.392 c	0.714 cd	0.691 fg
CCMC	0.465 b	0.753 b	0.745 cd
JY4	0.474 b	0.764 b	0.711 ef
BN5	0.487 b	0.851 a	0.795 ab
JYYS	0.536 a	0.694 d	0.749 cd

注:同列数据后不同小写字母代表在 0.05 水平有显著性差异。

Note: Different lowercase in the same column indicate significant differences at 0.05 level.

受到了不同程度的抑制;相对值越小,受抑制程度越重。品种间 3 个指标相对值均有显著差异,耐湿冷性强的品种,生长受抑制的程度较弱;耐湿冷性弱的品种,生长受抑制的程度较强。3 个指标相比,以株高相对值最小,说明株高指标对湿冷胁迫更敏感。

2.2.4 湿冷处理不同耐湿冷品种幼苗形态指标和湿冷害指数的聚类分析 对形态指标相对值和湿冷害指数进行聚类分析(图 3),在欧式距离为 5 时

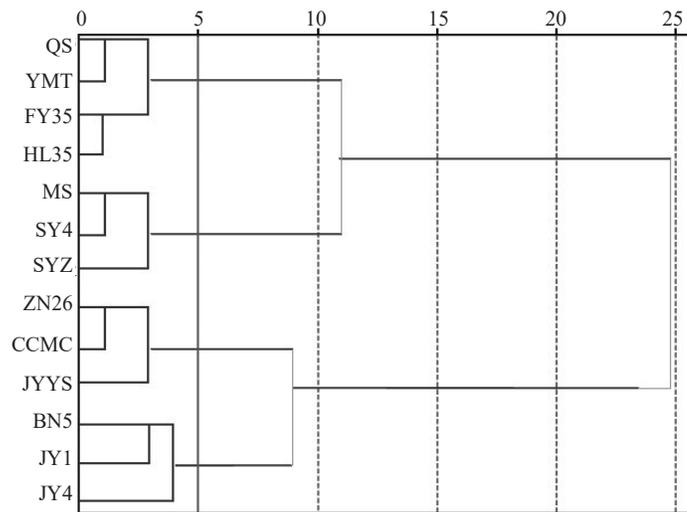


图 3 耐湿冷性不同的 13 个黄瓜品种湿冷胁迫下形态指标聚类分析

Fig. 3 Morphological parameter cluster analysis of 13 different tolerant cucumber cultivars under wet-cold stress

把13个品种分为4类。第1类品种有津优4号(JY4)、津优1号(JY1)和博耐5号(BN5),均为强耐湿冷型;第2类品种有长春密刺(CCMC)、京研优胜(JYYS)和中农26号(ZN26),均为中耐湿冷型;第3类品种有秋胜(QS)、雅美特2188(YMT)、富阳F1-35(FY35)和荷兰35(HL35),均为弱耐湿冷型;第4类品种有妙收313(MS)、蔬研4号(SY4)和三叶早(SYZ),均为湿冷敏感型。这与湿冷害指数定性分类结果一致。

### 3 讨论与结论

植物抗逆性鉴定方法多种多样,从技术手段来说,有形态学鉴定、组织细胞学鉴定、生理生化鉴定、分子生物学鉴定等。形态学鉴定具有直观、不需要特殊仪器设备等特点;从鉴定时期来说,有发芽期鉴定、幼苗期鉴定、开花结果期鉴定、成株期鉴定等。发芽期和幼苗期鉴定属于早期鉴定,具有时间周期短、节省试验空间、效率高等优势;从鉴定条件来说,有自然条件下鉴定和人工环境鉴定。人工环境鉴定具有鉴定条件稳定易控、不受自然季节影响、一年任何时间都可以连续在相同环境下重复开展鉴定工作等优势。由于不同生育时期的抗逆性具有较高的一致性,早期鉴定常成为鉴定技术研究的重点。

叶片失水褪绿及萎蔫是植物冷害的主要形态表现,基于这些形态特征的冷害指数常作为蔬菜耐低温鉴定的指标,并据此建立了黄瓜<sup>[17]</sup>、甜瓜<sup>[26]</sup>等耐寒性评价方法。笔者观察湿冷处理后叶片受害面积和幼苗形态表现,建立了黄瓜耐湿冷性苗期湿冷害指数鉴定法,除了用验证品种进行验证外,形态指标和湿冷害指数聚类等分析结果也印证了该鉴定法的准确性和可靠性。

利用多元统计学方法建立多指标的回归方程预测抗逆性,是植物和黄瓜抗逆性鉴定方法研究的热点之一<sup>[18-19,24]</sup>。笔者也曾报道了在黄瓜苗期测算湿冷处理和对照条件下生长和生理生化指标的相对值,通过主成分分析简化变量和逐步回归寻优,建立了包含相对CAT活性、相对Pro含量和相对PPO活性3个自变量的黄瓜耐湿冷性预测方程<sup>[25]</sup>。该方法可以通过生理生化指标所承载的生物信息,综合预测黄瓜的耐湿冷特性。苗期湿冷害指数鉴定法,属于形态学鉴定方法,与生理生化等综合鉴定方法相比具有易实施和操作简便的特点,而且两项研究中所用研究材料相同,两种方法对各鉴定材

料的定位也是一致的。因此,这两种鉴定方法都可以用于黄瓜品种资源耐湿冷性鉴定和评价。

通过对8个试验品种和5个验证品种湿冷处理后幼苗生长和叶片进行形态学观察和湿冷害分级,建立了黄瓜品种资源耐湿冷性苗期湿冷害指数定量鉴定和定性评价方法。具体方法是:将待鉴定材料育成2叶1心期苗,置于人工气候箱温度9℃/5℃(昼/夜)+空气相对湿度RH95%、光周期12h、白天光照强度250 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>条件下进行湿冷处理7d,按照下列标准进行单株湿冷害分级,0级:生长正常,无湿冷害症状;1级:强耐湿冷,生长点没有明显受害,真叶的受害面积小于叶片的1/3;2级:中耐湿冷,生长点受害,真叶的受害面积大于1/3小于2/3;3级:弱耐湿冷,生长点受害严重,真叶的受害面积大于2/3;4级:湿冷敏感,植株受湿冷害死亡。根据单株湿冷害分级计算每个鉴定材料群体的湿冷害指数,形成定量评价结果。根据湿冷害指数大小进行定性评价,即0<湿冷指数≤0.250,为强耐湿冷型;0.250<湿冷指数≤0.550,为中耐湿冷型;0.550<湿冷指数≤0.750,为弱耐湿冷型;0.750<湿冷指数≤1.000,为湿冷敏感型。

### 参考文献

- [1] 程智慧. 蔬菜栽培学各论[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2022.
- [2] 王慧, 李梅兰, 许建平, 等. 基于冠层温湿度模型的日光温室黄瓜霜霉病预警方法[J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3027-3034.
- [3] 张婷华, 杨再强, 李叶萌, 等. 相对湿度对黄瓜叶片光合特性的影响[J]. 气象科技, 2013, 41(6): 1128-1133.
- [4] 李琼, 李丽丽, 侯娟, 等. 瓜类作物响应低温胁迫机制的研究进展[J]. 园艺学报, 2022, 49(6): 1382-1394.
- [5] 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.
- [6] YU B W, MING F Y, LIANG Y G, et al. Heat stress resistance mechanisms of two cucumber varieties from different regions[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(3): 1817.
- [7] 杨立, 杨再强, 陆思宇, 等. 高温高湿胁迫对黄瓜产量形成的影响机理[J]. 中国农业气象, 2022, 43(5): 392-407.
- [8] 全培江, 程智慧, 孟焕文. 黄瓜幼苗对高温高湿胁迫的生理响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(6): 85-93.
- [9] 全培江, 孟焕文, 潘玉朋, 等. 高温和高湿环境对不同生态型黄瓜幼苗生长的影响[J]. 中国蔬菜, 2023(3): 85-91.
- [10] 全培江, 徐文俊, 潘玉朋, 等. 不同生态型黄瓜品种成株期耐湿热性分析[J]. 上海蔬菜, 2023(6): 80-83.
- [11] 全培江, 徐文俊, 潘玉朋, 等. 黄瓜不同生态型品种资源耐湿热性鉴定[J]. 中国蔬菜, 2024(5): 98-104.
- [12] 李淑菊, 丁圆圆, 程智慧. 黄瓜耐冷耐湿性及其鉴定研究进

- 展[J]. 中国蔬菜, 2020(6):23-30.
- [13] AMIN B, ATIF M J, WANG X, et al. Effect of low temperature and high humidity stress on physiology of cucumber at different leaf stages[J]. *Plant Biology*, 2021, 23(5): 785-796.
- [14] AMIN B, ATIF M J, PAN Y P, et al. Transcriptomic analysis of *Cucumis sativus* uncovers putative genes related to hormone signaling under low temperature (LT) and high humidity (HH) stress[J]. *Plant Science*, 2023, 333: 111750.
- [15] 苗永美, 宁宇, 曹玉杰, 等. 黄瓜萌芽期和苗期耐冷性评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 1914-1922.
- [16] 周双, 秦智伟, 周秀艳. 黄瓜种质资源苗期耐低温性评价[J]. 中国蔬菜, 2015(10): 22-26.
- [17] 王伟平, 宋子超, 薄凯亮, 等. 黄瓜核心种质幼苗耐低温性评价及 GWAS 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1606-1612.
- [18] 程智慧, 聂文娟, 孟焕文, 等. 黄瓜耐热性芽苗期鉴定指标筛选及预测方程的建立[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(4): 121-126.
- [19] 但忠, 木万福, 苏银玲. 欧洲型黄瓜成株期耐热性鉴定指标的筛选及预测方程的建立[J]. 西南农业学报, 2015, 28(5): 2213-2217.
- [20] 张松, 苗晗, 宋子超, 等. 黄瓜发芽期耐热性评价及全基因组关联分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(2): 335-346.
- [21] 魏爽, 张松, 薄凯亮, 等. 黄瓜核心种质幼苗耐热性评价及 GWAS 分析[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(5): 1223-1231.
- [22] 付丽军, 李聪晓, 苏胜宇, 等. 黄瓜苗期耐热种质筛选与耐热性评价体系构建[J]. 植物生理学报, 2020, 56(7): 1593-1604.
- [23] LIANG Y G, XIE W W, YANG C Y, et al. A quick and effective method for thermostability differentiation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) [J]. *Physiologia Plantarum*, 2024, 176(1): e14215.
- [24] 全培江, 孟焕文, 潘玉朋, 等. 黄瓜耐湿热性鉴定方程的建立[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(6): 32-36.
- [25] 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.
- [26] 周亚峰, 许彦宾, 王艳玲, 等. 基于主成分-聚类分析构建甜瓜幼苗耐冷性综合评价体系[J]. 生物多样性, 2017, 52(4): 520-529.