

# 黄瓜耐湿冷性鉴定时期和鉴定指标筛选

丁圆圆, 潘玉朋, 刘汉强, 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:**为筛选黄瓜耐湿冷性鉴定时期和鉴定指标,分别对耐湿冷性不同的3个品种3个苗龄期,耐湿冷性不同的8个品种2叶期苗,在人工气候箱9℃/5℃(昼/夜)+空气相对湿度(RH)95%条件下进行湿冷处理,以25℃/18℃+RH 85%为对照,分析不同处理对幼苗生长和生理指标及其相对值的影响。结果表明,湿冷处理显著抑制黄瓜幼苗生长和生理代谢,诱导抗氧化、渗透调节和酶保护反应。湿冷胁迫下,2叶期、3叶期和4叶期的生长和生理指标均能较好反映品种耐湿冷性,但早期鉴定以2叶期更好。综合聚类分析、相关性分析和变异分析,黄瓜耐湿冷性苗期鉴定,形态指标可首选苗高、苗鲜质量、苗干质量,次选茎粗和真叶1的长和宽;生理指标可首选脯氨酸含量、过氧化氢酶活性、气孔导度、蒸腾速率、过氧化物酶活性、丙二醛含量、胞间二氧化碳浓度,次选超氧阴离子自由基含量、电子传递速率、实际量子效率和非光化学猝灭系数。

**关键词:**黄瓜;耐湿冷性;鉴定时期;鉴定指标

中图分类号:S642.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)07-041-08

## Screening of stages and indexes for cucumber wet-cold tolerance identification

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

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

**Abstract:** To screen the stages and indexes for cucumber wet-cold tolerance identification, three stage seedlings of 3 cultivars with different wet-cold tolerance, and seedlings at 2 leaf stage of 8 different wet-cold tolerant cultivars were treated in growth chamber under wet-cold (9℃/5℃+RH 95%) condition taking 25℃/18℃+RH 85% as the control. The growth and physiologic indexes of seedlings were collected and their relative values were analyzed. The results showed that wet-cold treatment significantly inhibited the growth and physiologic metabolism of cucumber seedlings, and induced antioxidant, osmotic regulation and enzyme protection reactions. Under wet-cold stress, the growth and physiologic indexes of seedlings at 2-leaf, 3-leaf and 4-leaf stage could better indicate the wet-cold tolerance of the cultivars, but the 2-leaf stage was better for early identification. Based on cluster analysis, correlation analysis and variation analysis, plant height, fresh mass and dry mass of seedlings were first recommended in morphological indexes, followed by stem diameter and length and width of the first true leaf. The content of proline, activity of catalase, stomatal conductance, transpiration rate, activity of peroxidase, content of malonaldehyde and concentration of intercellular carbon dioxide were first suggested in physiologic indexes, followed by content of superoxide anion free radical, electron transport rate, actual quantum efficiency, non-photochemical quenching coefficient.

**Key words:** Cucumber; Wet-cold tolerance; Identification stage; Identification index

黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是普遍栽培的典型喜温蔬菜,易受冷害<sup>[1]</sup>,高空气湿度也影响生长发育<sup>[2-3]</sup>,并诱发病害<sup>[4]</sup>。由低温与高空气湿度构成的湿冷环境是我国北方设施环境和南方早春季节制约黄瓜生产管理的主要复合逆境。选育和选择抗

性品种是解决这一问题的有效途径之一,建立抗性鉴定体系是抗逆品种选育和选择的基础,而鉴定时期和鉴定方法筛选是抗性鉴定体系建立的关键。

关于低温对黄瓜生长发育的影响已有大量研究<sup>[5-7]</sup>,表明黄瓜不同时期的耐冷性具有一致性,并

收稿日期:2024-11-20;修回日期:2025-02-25

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

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

共同第一作者:潘玉朋,男,副教授,研究方向为蔬菜生理生态与生物技术。E-mail:yupeng.pan@nwfau.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@nwfau.edu.cn

已在不同时期采用不同方法对黄瓜耐冷性进行了鉴定评价。齐晓花等<sup>[8]</sup>测定 15 °C 下种子相对发芽力、2.5 °C 低温处理后胚根伸长速率和 3 叶 1 心幼苗相对电解质渗透率,采用隶属函数法评价了 22 个黄瓜品种的耐冷性;苗永美等<sup>[9]</sup>分析萌芽期和苗期 12 个形态和生理指标与耐冷性的关系,建立耐冷性方程,评价了 13 个黄瓜品种的耐冷性;戴忠仁等<sup>[10]</sup>通过冷害分级和生理生化指标鉴定了 20 个黄瓜品种的耐冷性;周双等<sup>[11]</sup>用苗期冷害指数评价了 43 份黄瓜资源耐低温性;王伟平等<sup>[12]</sup>根据 2 叶 1 心苗自然低温胁迫后子叶和真叶黄化症状分级,对 87 份黄瓜核心种质进行了分组,并利用重测序数据进行 GWAS 分析,检测到位于不同染色体上的苗期耐低温位点。黄瓜耐湿冷性研究及其鉴定是亟待解决的生物学和技术问题,但湿冷复合逆境的影响及耐湿冷性鉴定的研究刚刚起步<sup>[13-18]</sup>。苗期是早期抗性鉴定的重要时期,合适的指标是鉴定方法准确性、简捷性和效率与效益的关键参数。因此,用已知耐湿冷性不同的品种,在人工湿冷环境下,筛选耐湿冷鉴定的时期和指标,可为黄瓜耐湿冷性早期鉴定体系的建立奠定技术基础。

## 1 材料与方法

试验于 2019 年 1 月至 2020 年 6 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 材料

供试材料均为前期试验筛选的耐湿冷能力有明显差异的黄瓜品种。鉴定时期以强耐湿冷的津优 4 号(JY4),中耐湿冷的中农 26(ZN26),弱耐湿冷的荷兰 35(HL35)为试材;鉴定指标以强耐湿冷的津优 4 号(JY4)和博耐 5 号(BN5),中耐湿冷的中农 26(ZN26)和长春密刺(CCMC),弱耐湿冷的荷兰 35(HL35)和富阳 F1-35(FY35),湿冷敏感的三叶早(SYZ)和蔬研 4 号(SY4)为试材。试材种子购于科研院所和种子公司。为了便于与有关指标进行相关性定量分析,笔者分别给定性的强耐湿冷、中耐湿冷、弱耐湿冷、湿冷敏感的品种赋予耐湿冷值 8、6、4、2。

供试种子(如有包衣先洗去)首先在室温下浸种 4 h,然后在 28 °C 恒温箱中黑暗催芽至露白,播入装有育苗基质的 50 孔穴盘,置于人工气候箱(RDN-1000E-4,宁波东南仪器有限公司)温度 25 °C/18 °C(昼/夜)、空气相对湿度 85%、光周期 12 h,

白天光照强度 250  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  条件下培养,子叶展开后移栽于营养钵(8 cm×8 cm)中,继续培养至供试苗态。

### 1.2 方法

湿冷处理和对照条件:采用冷光源人工气候箱(RXD-1000D-LED 型,宁波普朗特仪器有限公司)设湿冷处理 and 对照。湿冷处理为 9 °C/5 °C(昼/夜)+空气相对湿度 95%,对照为 25 °C/18 °C+空气相对湿度 85%;光周期 12 h,白天光照强度 250  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

鉴定时期选择试验:将 3 个品种生长一致的 2 叶期(2 叶 1 心)、3 叶期(3 叶 1 心)、4 叶期(4 叶 1 心)苗均分为 2 份,分别移入湿冷处理 and 对照条件下培养,每处理 25 株苗,3 次重复分别放在 3 个人工气候箱。处理 3 d 后每重复每处理随机取样 5 株测定有关指标。

鉴定指标选择试验:将 8 个品种生长一致的 2 叶期苗均分为 2 份,分别移入湿冷处理 and 对照条件下培养,每处理 25 株苗,3 次重复分别放在 3 个人工气候箱。处理 3 d 后每重复每处理随机取样 5 株测定有关指标。

### 1.3 测定指标和方法

1.3.1 形态指标和生物量测定 采用直尺测量子叶节处至生长点的距离为株高(SH);采用游标卡尺测量子叶节下 1 cm 处两个方向的直径,取均值为茎粗(SD);用直尺分别测量第 1 真叶的长(LL1)和宽(LW1)及第 2 真叶的长(LL2)和宽(LW2);用电子天平[1/1000,梅特勒-托利多(上海)有限公司]先测定单株苗鲜质量(SFW),再经 105 °C 杀青、80 °C 烘 24 h 后称苗干质量(SDW)。

1.3.2 生理指标测定 参照曹翠玲等<sup>[19]</sup>的方法测定相关生理指标。

采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用邻苯二酚法测定多酚氧化酶(PPO)活性,采用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性,采用苯丙氨酸脱氨原理测定苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性。

采用 TDNB 比色法测定谷胱甘肽(GSH)含量,采用钼蓝比色法测定维生素 C(Vc)含量;采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白(SP)含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖(SS)含量,采用酸性茚三酮比色法测定脯氨酸(Pro)含量。采用分光光度法测定丙二醛(MDA)含量,采用碘化钾法测定过氧化氢( $\text{H}_2\text{O}_2$ )含量,采用磺胺比色法测定超氧阴离子自由基( $\text{O}_2^{\cdot-}$ )含量。

采用 SPAD-520(日本)测定叶绿素含量(Chl);采用便携式光合仪(Li-6800 型,美国 LI-COR 公司)测定净光合速率( $P_n$ )、胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、气孔导度( $G_s$ )等光合参数,采用便携式叶绿素荧光仪(PAM-2500,德国 WALZ 公司)测定光系统II 反应中心实际量子效率(PhiPSII)、电子传递速率(ETR)、非光化学猝灭系数(NPQ)、光化学猝灭系数( $qP$ )等叶绿素荧光参数。

#### 1.4 数据分析

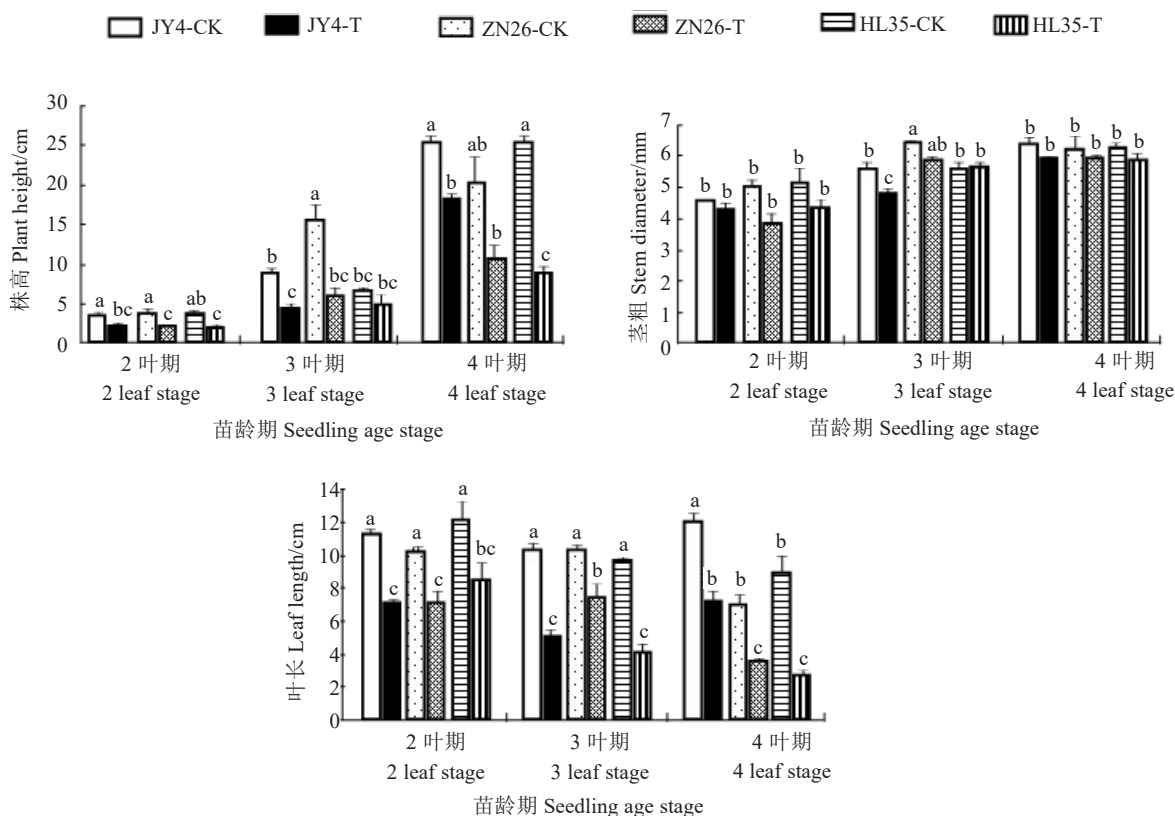
采用 Excel 2010 进行数据整理与计算,各指标的相对值=湿冷处理指标值/对照指标值。采用 SPSS 21.0 软件进行数据差异显著性分析、相关性

分析和聚类分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 耐湿冷性鉴定时期选择

2.1.1 不同品种 3 个叶龄期生长对湿冷胁迫的响应 湿冷胁迫下黄瓜各生长指标均受到抑制,但受抑制的程度与品种、叶龄和生长指标有关(图 1)。2 叶期湿冷处理,3 个品种的株高均显著低于对照;3 叶期湿冷处理,HL35 的株高与对照差异不显著;4 叶期处理,ZN26 的株高与其对照差异不显著。除 3 叶期 JY4 的茎粗显著低于对照外,其他时期和品种与对照无显著差异。3 个叶龄期湿冷处理,3 个品



注:不同小写字母表示同一时期的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters represent significant difference among different treatments of the same stage at 0.05 level. The same below.

图 1 湿冷处理对不同耐湿冷黄瓜品种 3 个叶龄期形态指标的影响

Fig. 1 Effects of wet-cold treatment on morphologic indexes of different tolerant cucumber cultivars at three seedling stages

种的叶长均显著低于对照。

2.1.2 不同品种 3 个叶龄期生理对湿冷胁迫的响应 2 叶期湿冷处理,3 个品种的 Pro、SS、 $O_2\cdot^-$ 含量和 CAT 活性均与其对照有显著差异。3 叶期湿冷处理,耐湿冷能力较强的品种 JY4 和耐湿冷能力较弱的品种 HL35 的 Pro 含量与其对照差异显著,而 ZN26 与其对照差异不显著;耐湿冷能力中等的品种 ZN26 和耐湿冷能力较弱的品种 HL35 的 SS 含

量与对照呈显著差异,JY4 与其对照差异不显著;3 个品种 CAT 活性与其对照均无显著差异;耐湿冷能力较强的品种 JY4 和耐湿冷能力较弱的品种 HL35 的  $O_2\cdot^-$ 含量与其对照呈显著差异,ZN26 与其对照差异不显著。4 叶期湿冷处理,3 个品种的 4 个指标与其对照均呈显著差异(图 2)。

总体来说,3 个叶龄期各品种幼苗主要生长指标(株高和叶长)和生理指标对湿冷处理都比较敏

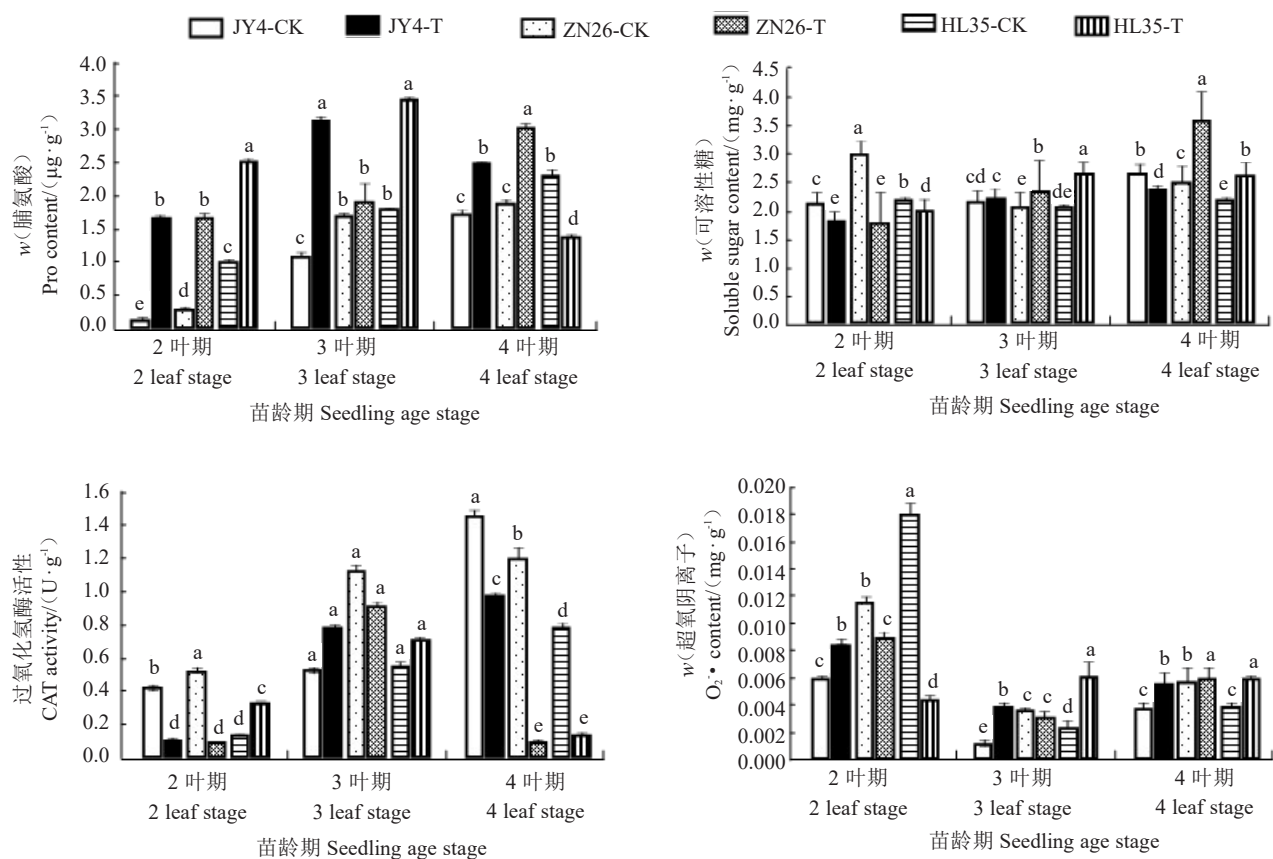


图2 湿冷处理对不同耐湿冷黄瓜品种3个叶龄期生理指标的影响

Fig. 2 Effects of wet-cold treatment on physiologic indexes of different tolerant cucumber cultivars at three seedling stages

感,选择适宜指标基本上都可以进行耐湿冷性鉴定,但以2叶期更适于早期鉴定。

2.2 耐湿冷性形态指标选择

2.2.1 湿冷胁迫下不同耐湿冷品种形态指标相对

值聚类分析 由图3可知,聚类分析把8个品种按形态指标分为2大类,一类为湿冷敏感型和弱耐湿冷型品种,包括SYZ、FY35、HL35、SY4;另一类为中耐湿冷型和强耐湿冷型品种,包括CCMC、

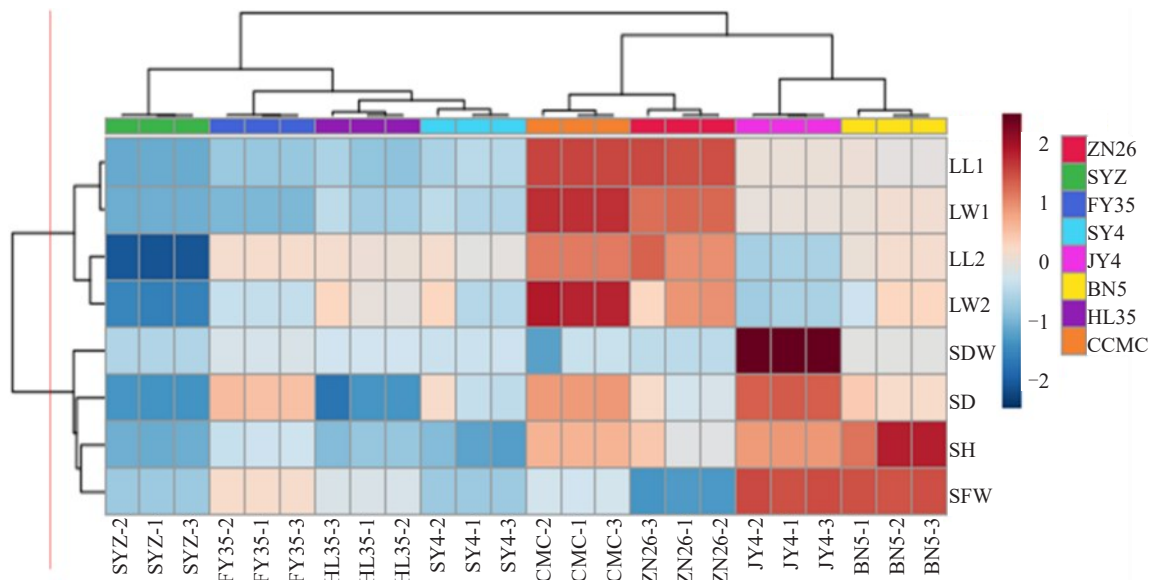


图3 湿冷处理下不同耐湿冷黄瓜品种幼苗形态指标相对值聚类分析

Fig. 3 Cluster analysis of morphologic index relative values of different tolerant cultivar cucumber seedlings under wet-cold treatment

ZN26、JY4、BN5。8个品种株高和苗鲜质量的相对值差异较大,与品种耐湿冷性关系更密切;茎粗和苗干质量的相对值差异较大,与品种耐湿冷性关系较密切;真叶1长和宽的相对值也能在一定程度上反映品种的耐湿冷特性。耐湿冷性强的品种,指标相对值更高,图中颜色更趋近于红色;耐湿冷性弱的品种相对值低,图中颜色更趋近于蓝色。

2.2.2 湿冷胁迫下不同耐湿冷品种形态指标相对值相关分析及变异分析 湿冷与对照环境下不同品种黄瓜2叶期形态和生理指标的相对值见表1。可以看出,各形态指标和生物量的相对值基本上都小于1,说明湿冷处理抑制了幼苗生长和物质积累。但品种间有一定的差异,耐湿冷能力较弱的品种SYZ的相对株高、相对叶长和相对干质量最小;

| 表1 湿冷处理不同耐湿冷黄瓜品种幼苗形态指标的相对值                                                                                               |          |        |       |       |       |       |         |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|--------|
| Table 1 The morphologic index relative values of different tolerant cultivar cucumber seedlings under wet-cold treatment |          |        |       |       |       |       |         |        |
| 品种 Cultivar                                                                                                              | SH       | SD     | LL1   | LW1   | LL2   | LW2   | SFW     | SDW    |
| SYZ(2)                                                                                                                   | 0.59     | 0.82   | 0.40  | 0.39  | 0.71  | 0.79  | 0.65    | 0.49   |
| SY4(2)                                                                                                                   | 0.59     | 0.88   | 0.51  | 0.49  | 0.89  | 0.87  | 0.65    | 0.63   |
| FY35(4)                                                                                                                  | 0.64     | 0.92   | 0.47  | 0.41  | 0.90  | 0.86  | 0.90    | 0.71   |
| HL35(4)                                                                                                                  | 0.61     | 0.81   | 0.47  | 0.47  | 0.89  | 0.89  | 0.80    | 0.66   |
| CCMC(6)                                                                                                                  | 0.71     | 0.94   | 0.91  | 0.89  | 0.98  | 0.99  | 0.78    | 0.62   |
| ZN26(6)                                                                                                                  | 0.67     | 0.89   | 0.89  | 0.81  | 0.98  | 0.93  | 0.49    | 0.55   |
| JY4(8)                                                                                                                   | 0.73     | 0.96   | 0.62  | 0.58  | 0.83  | 0.84  | 1.25    | 1.28   |
| BN5(8)                                                                                                                   | 0.78     | 0.90   | 0.61  | 0.60  | 0.90  | 0.89  | 1.24    | 0.78   |
| 均值 Mean                                                                                                                  | 0.67     | 0.89   | 0.61  | 0.58  | 0.89  | 0.88  | 0.85    | 0.72   |
| 标准差 SD                                                                                                                   | 0.070    | 0.053  | 0.193 | 0.183 | 0.086 | 0.060 | 0.276   | 0.245  |
| 变异系数 CV/%                                                                                                                | 10.54    | 5.98   | 31.70 | 31.56 | 9.76  | 6.77  | 32.61   | 34.28  |
| 相关系数 r                                                                                                                   | 0.955*** | 0.652* | 0.562 | 0.562 | 0.388 | 0.380 | 0.681** | 0.639* |

注:品种括弧内为其耐湿冷性赋值,赋值越高,其耐湿冷性越强。\*代表0.10水平显著相关,\*\*代表0.05水平显著相关,\*\*\*代表0.01水平显著相关。下同。

Note:The data in bracket after cultivar is the assigned value for its resistance to wet-cold. The higher the value, the stronger the resistance. \* represents significant correlation at 0.10 level; \*\* represents significant correlation at 0.10 level; \*\*\* represents significant correlation at 0.10 level. The same below.

而耐湿冷能力较强品种BN5和JY4形态指标的相对值较大,其苗鲜质量和(或)干质量的相对值甚至大于1。

各生长指标相对值与品种耐湿冷性赋值的相关分析表明,相关系数最高的为SH(0.955),达0.01显著水平;其次依次为SFW、SD、SDW,相关系数达0.10或0.05显著水平;真叶1的长和宽相对值与品种耐湿冷性相关系数均为0.562,而真叶2的长和宽相对值与品种耐湿冷性相关系数仅为0.388和0.380。

品种间各生长指标相对值的变异分析表明,变异系数最大的为SDW;其次为SFW、LL1和LW1,变异系数在30%~35%之间;SD相对值的变异系数最小,仅为5.98%。一般来说,较大的变异系数可更灵敏地反映不同品种间耐湿冷性的差异。

### 2.3 耐湿冷性生理指标选择

2.3.1 湿冷胁迫下不同耐湿冷品种生理指标相对值聚类分析 由图4可知,聚类分析把8个黄瓜品

种22个生理指标相对值分为4类,第1类包括CAT、qP、PhiPSII、ETR,第2类包括GSH、Chl、P<sub>n</sub>、C<sub>i</sub>,第3类包括SOD、Vc、MDA、NPQ、PAL,第4类包括T<sub>r</sub>、G<sub>s</sub>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、SS、SP、Pro、O<sub>2</sub><sup>-</sup>•、POD、PPO,可以在各类指标中选择差异较大且与品种耐湿冷性关系密切的指标作为品种耐湿冷性综合评价的鉴定指标。

2.3.2 湿冷胁迫下不同耐湿冷品种生理指标相对值的相关分析及变异分析 由表2可知,湿冷处理后所有品种O<sub>2</sub><sup>-</sup>•和MDA含量均升高,但湿冷敏感品种SY4增量最多;强耐湿冷品种JY4的O<sub>2</sub><sup>-</sup>•含量相对值接近1,说明受伤害较轻。

为缓解湿冷胁迫的过氧化伤害,大多数品种体内的CAT、PAL、POD、SOD和PPO活性不同程度地增强,抗氧化物GSH和维生素C含量升高;耐湿冷性较弱的品种CAT和POD等抗氧化酶活性和维生素C等抗氧化物含量增量相对较多。湿冷处理使Pro等渗透调节物质含量增加,可降低细胞水势

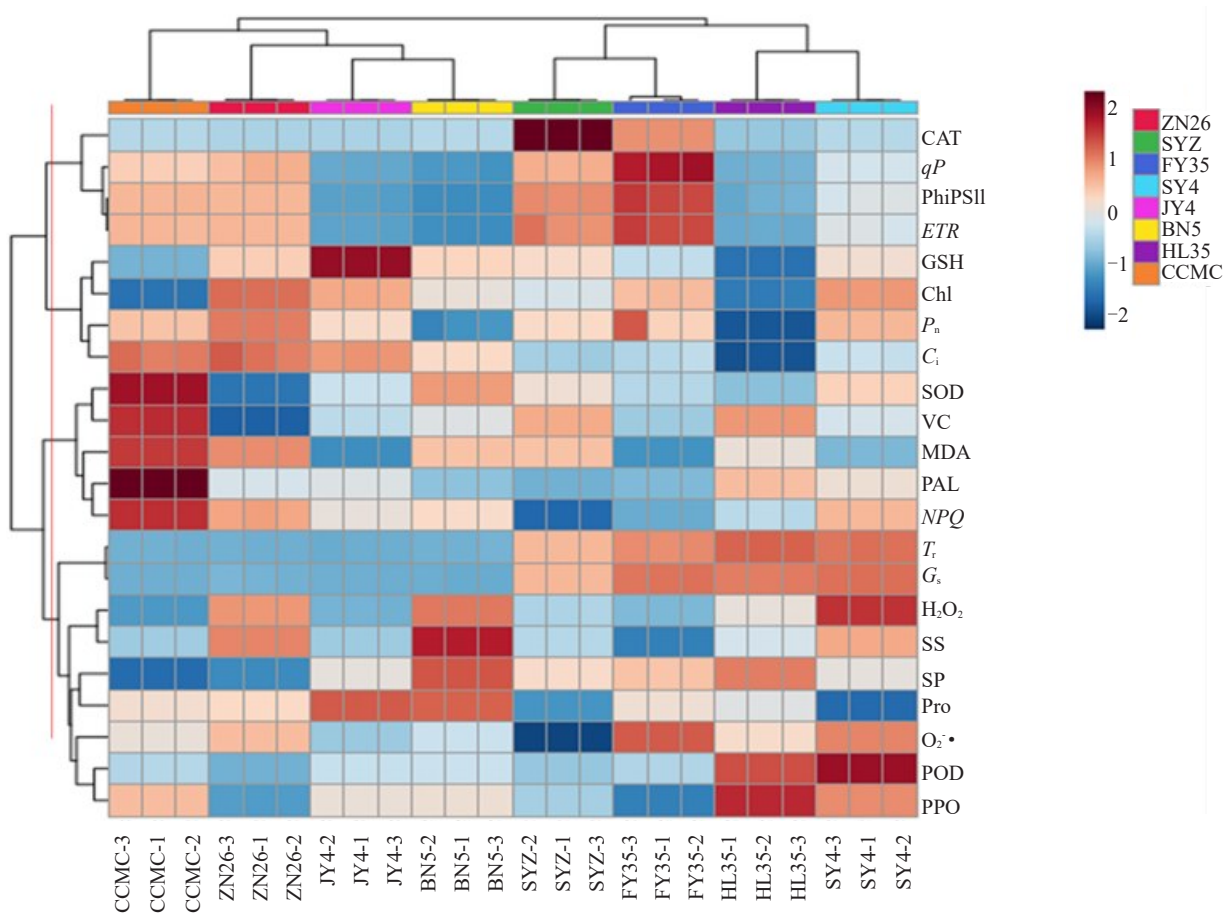


图 4 湿冷处理下不同耐湿冷性黄瓜品种生理指标相对值聚类分析  
Fig. 4 Cluster analysis of physiologic index relative values of different tolerant cultivar cucumber seedlings under wet-cold treatment

以保护细胞组织,耐湿冷性越强的品种,Pro 含量增加越明显。

湿冷处理对不同耐湿冷程度品种 Chl 含量的影响无明显规律;光合特性指标  $P_n$ 、 $G_s$  降低,其中  $P_n$  下降幅度最大;叶绿素荧光参数  $NPQ$  大幅升高,PhiP-SII、ETR 和  $qP$  大幅降低。

各生理指标相对值与品种耐湿冷性赋值的相关性最高的为 Pro,相关系数达 0.95 以上;其次依次为 CAT、 $G_s$ 、 $T_r$ 、MDA、POD、 $C_i$ ,相关系数在 0.60~0.86 之间;再次为  $O_2\cdot^-$ 、ETR、PhiPSII、 $qP$  和  $NPQ$ ,相关系数在 0.45~0.52 之间;其余指标的相关系数都较小。其中,Pro、CAT 和  $G_s$  与品种耐湿冷相关性达 0.01 显著水平, $T_r$ 、MDA 和 POD 与品种耐湿冷相关性达 0.05 显著水平, $C_i$  与品种耐湿冷相关性达 0.10 显著水平。

品种间各生理指标相对值的变异分析表明(表 2),变异系数最大的超 109%,为  $P_n$ ;其次依次为  $G_s$ 、 $qP$ 、ETR、PhiPSII、 $T_r$ 、POD、PPO,变异系数在 50%以

上;变异系数在 30%以上的还有 GSH、CAT、Pro、SOD、NPQ、SP、PAL、 $H_2O_2$ ;变异系数最小的为 Chl,仅为 6.28%。选择变异系数较大的生理指标有利于较灵敏地反映不同品种耐湿冷的生理特性。

3 讨论与结论

3.1 黄瓜耐湿冷性鉴定时期

不同叶龄的植物对逆境胁迫的响应可能表现出一定差异性,但多数植物不同发育时期对同一逆境胁迫有一致的耐性。因此,植物抗逆性早期鉴定常在种子发芽期和幼苗期进行。齐晓花等<sup>[8]</sup>分别测定 15℃低温下相对发芽力、2.5℃低温处理后胚根生长速率和 3 叶期的相对电解质渗透率,对 6 个生态型 22 个黄瓜品种的耐冷性进行综合评价;苗永美等<sup>[9]</sup>通过测定萌芽期和苗期 12 个指标对 13 份黄瓜资源耐冷性进行评价;周双等<sup>[11]</sup>通过低温处理 3 叶期幼苗,通过冷害指数对 43 份黄瓜资源耐冷性进行评价;王伟平等<sup>[12]</sup>对 2 叶期苗进行冷胁迫处理,

表 2 湿冷处理不同耐湿冷黄瓜品种幼苗生理指标的相对值  
Table 2 The physiologic index relative values of different tolerant cucumber seedlings under wet-cold treatment

| 品种<br>Cultivar | CAT       | MDA      | PAL   | POD      | PPO    | SOD   | O <sub>2</sub> · <sup>-</sup> | GSH   | H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> | VC     | SP     | SS    | Pro      | Chl   | P <sub>n</sub> | T <sub>r</sub> | G <sub>s</sub> | C <sub>i</sub> | PhiPSII | ETR    | NPQ   | qP     |
|----------------|-----------|----------|-------|----------|--------|-------|-------------------------------|-------|-------------------------------|--------|--------|-------|----------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|--------|-------|--------|
| SYZ(2)         | 2.17      | 1.52     | 0.96  | 1.55     | 0.70   | 1.28  | 1.25                          | 1.48  | 0.97                          | 1.54   | 1.13   | 0.90  | 1.80     | 1.00  | 0.09           | 0.71           | 0.63           | 0.73           | 0.14    | 0.15   | 3.43  | 0.15   |
| SY4(2)         | 1.28      | 1.64     | 1.48  | 2.77     | 2.56   | 1.39  | 1.99                          | 1.42  | 1.75                          | 1.23   | 1.05   | 1.24  | 1.13     | 1.06  | 0.04           | 1.08           | 0.93           | 0.79           | 0.09    | 0.09   | 12.84 | 0.09   |
| FY35(4)        | 1.22      | 1.40     | 1.00  | 1.62     | 1.37   | 1.00  | 2.17                          | 1.12  | 0.84                          | 1.07   | 1.23   | 0.61  | 3.73     | 1.04  | 0.03           | 0.95           | 0.92           | 0.76           | 0.17    | 0.17   | 6.37  | 0.22   |
| HL35(4)        | 1.11      | 1.23     | 1.70  | 2.34     | 3.44   | 0.85  | 1.53                          | 0.33  | 1.17                          | 1.59   | 1.45   | 0.98  | 3.47     | 0.92  | 0.43           | 1.15           | 0.89           | 0.46           | 0.04    | 0.04   | 8.73  | 0.04   |
| CCMC(6)        | 1.07      | 1.19     | 2.59  | 0.84     | 2.06   | 2.15  | 1.45                          | 0.76  | 0.72                          | 1.86   | 0.41   | 0.85  | 3.77     | 0.91  | 0.06           | 0.32           | 0.17           | 1.08           | 0.13    | 0.13   | 17.04 | 0.13   |
| ZN26(6)        | 0.93      | 1.11     | 1.35  | 0.46     | 1.01   | 0.47  | 1.73                          | 1.58  | 1.48                          | 0.67   | 0.54   | 1.32  | 3.94     | 1.08  | 0.04           | 0.32           | 0.15           | 1.09           | 0.13    | 0.13   | 13.54 | 0.14   |
| JY4(8)         | 0.62      | 1.36     | 1.38  | 0.96     | 1.47   | 1.09  | 1.04                          | 2.58  | 0.81                          | 1.16   | 1.05   | 0.85  | 5.45     | 1.05  | 0.10           | 0.35           | 0.18           | 1.03           | 0.04    | 0.04   | 10.55 | 0.04   |
| BN5(8)         | 0.58      | 1.02     | 1.05  | 0.99     | 1.52   | 1.63  | 1.26                          | 1.54  | 1.56                          | 1.27   | 1.56   | 1.54  | 5.37     | 1.01  | 0.34           | 0.31           | 0.19           | 0.90           | 0.02    | 0.02   | 11.34 | 0.02   |
| 均值 Mean        | 1.12      | 1.31     | 1.44  | 1.44     | 1.77   | 1.23  | 1.55                          | 1.35  | 1.16                          | 1.30   | 1.05   | 1.04  | 3.58     | 1.01  | 0.14           | 0.65           | 0.51           | 0.86           | 0.10    | 0.10   | 10.48 | 0.10   |
| 标准差 SD         | 0.495     | 0.21     | 0.532 | 0.791    | 0.889  | 0.511 | 0.388                         | 0.662 | 0.39                          | 0.365  | 0.402  | 0.304 | 1.515    | 0.063 | 0.154          | 0.369          | 0.37           | 0.215          | 0.056   | 0.057  | 4.282 | 0.069  |
| 变异系数 CV/%      | 44.14     | 16.04    | 36.96 | 54.86    | 50.33  | 41.47 | 25.01                         | 48.97 | 33.56                         | 28.07  | 38.15  | 29.37 | 42.30    | 6.28  | 109.25         | 56.84          | 72.96          | 25.14          | 58.74   | 59.28  | 40.86 | 66.17  |
| 相关系数 r         | -0.854*** | -0.760** | 0.136 | -0.738** | -0.171 | 0.108 | -0.514                        | 0.411 | -0.132                        | -0.189 | -0.066 | 0.261 | 0.954*** | 0.028 | 0.221          | -0.786**       | -0.817***      | 0.606*         | -0.493  | -0.513 | 0.451 | -0.461 |

对黄瓜核心种质耐冷性进行鉴定。本研究表明,湿冷处理后不同叶龄黄瓜植株生长变化相似,但与对照间差异显著性有所不同;2 叶期湿冷处理各品种的株高和叶长均与对照差异显著,而 3 叶期和 4 叶期湿冷处理有个别品种的株高与对照差异不显著;2 叶期各品种的 Pro、SS、O<sub>2</sub>·<sup>-</sup>含量和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 活性等,处理与对照间差异显著;随着苗龄增大,植株器官结构和生理机能不断完善,抵御和适应湿冷环境的能力提高,4 个生理指标差异显著性逐渐降低。因此,选择适宜指标,在 3 个叶龄时期基本上都可以进行黄瓜耐湿冷性鉴定,但早期鉴定以 2 叶期更好。

### 3.2 黄瓜耐湿冷性鉴定指标

黄瓜耐冷性遗传受多基因控制<sup>[20]</sup>,耐湿冷性可能同样为复杂的数量性状。因此,耐湿冷性鉴定需要筛选不同类型的鉴定指标。张红梅等<sup>[21]</sup>对 3~4 片真叶苗进行临界低温处理,测定叶长、叶宽、冷害指数,叶绿素、Pro 和 MDA 含量及光合荧光参数等,认为叶绿素含量及光合荧光参数与冷害指数显著相关。戴忠仁等<sup>[10]</sup>通过测定冷胁迫后冷害指数和 MDA 含量,对 20 份黄瓜材料进行了耐冷性鉴定。本研究表明,湿冷胁迫显著抑制黄瓜生长,严重损伤光合系统,导致膜脂过氧化,活性氧自由基,尤其是 MDA、O<sub>2</sub>·<sup>-</sup>和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 累积;而 CAT、PAL、POD、SOD 和 PPO 活性明显增强,抗氧化物 GSH 和维生素 C 含量明显升高,从而调节黄瓜对湿冷胁迫的响应。Pro 和 SP 等渗透调节物质可维持生物膜系统的稳定性,与植物耐冷性呈正相关<sup>[22]</sup>。本研究湿冷胁迫下各品种 Pro 含量明显上升,除中耐湿冷品种外,其他品种的 SP 含量均升高。

植物抗逆性涉及生长发育、生理生化和分子调控,抗逆性鉴定需选择适宜的指标。指标过少,可能影响鉴定准确性;指标过多则增加鉴定工作量和成本。作为鉴定指标,首先要能反映品种间的抗性差异的趋势;其次要在品种间有较大的变异系数,以便灵敏指示品种抗性差异;另外也要考虑指标测定的难易程度。湿冷是一种复合逆境,黄瓜耐湿冷性涉及形态和生理的多个方面,难以用形态或生理方面的某个单一指标去全面、准确地鉴定品种的耐湿冷特性。笔者通过对湿冷处理下 8 个不同耐湿冷性黄瓜品种幼苗的 6 个形态指标及 22 个生理生化指标相对值的综合分析认为,苗高、苗鲜质量、苗干质量、真叶 1 长和宽、茎粗等形态指标,Pro 含量、CAT 活性、G<sub>s</sub>、T<sub>r</sub>、POD 活性、MDA 含量、C<sub>i</sub>、O<sub>2</sub>·<sup>-</sup>含量、ETR、PhiPSII、NPQ 等生理生化指标,可作为黄瓜耐湿冷

性鉴定的候选指标。

综上所述,黄瓜不同叶龄期幼苗生长均受湿冷胁迫的显著抑制,受抑制程度与品种耐湿冷性有关;2叶、3叶和4叶期的幼苗基本都可以进行耐湿冷性鉴定,但早期鉴定以2叶期更好。黄瓜耐湿冷性苗期鉴定,形态指标可首选苗高、苗鲜质量、苗干质量,次选茎粗和真叶1的长和宽;生理指标可首选Pro含量、CAT活性、 $G_s$ 、 $T_r$ 、POD活性、MDA含量、 $C_i$ ,次选 $O_2\cdot$ 含量、ETR、PhiPSII和NPQ等。

### 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,2021.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 董洪霞,沈镐,李锡香,等.黄瓜耐冷相关基因的表达分析[J].分子植物育种,2017,15(9):3446-3453.
- [6] 李猛,吕亭辉,邢巧娟,等.瓜类蔬菜耐低温性评价与调控研究进展[J].园艺学报,2018,45(9):1761-1777.
- [7] 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.
- [8] 齐晓花,张萍,徐强,等.黄瓜种子及幼苗期耐冷性鉴定[J].中国蔬菜,2011(16):34-38.
- [9] 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.
- [10] 戴忠仁,于锡宏.利用生理生化的方法鉴定黄瓜品种的耐冷性[J].中国科技博览,2015(9):197-198.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] AMIN B, ATIF M J, MENG H W, et al. Melatonin rescues photosynthesis and triggers antioxidant defense response in *Cucumis sativus* plants challenged by low temperature and high humidity[J]. Frontiers in Plant Science, 2022, 13:855900.
- [17] AMIN B, ATIF M J, MENG H W, et al. Biochemical and physiological responses of *Cucumis sativus* cultivars to different combinations of low-temperature and high humidity[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2023, 42(1):390-406.
- [18] 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.
- [19] 曹翠玲,麻鹏达.植物生理学教学实验指导[M].陕西杨凌:西北农林科技大学出版社,2016.
- [20] 李恒松,朱文莹,彭佳林,等.黄瓜耐冷性遗传分析与连锁标记筛选[J].上海交通大学学报(农业科学版),2015,33(1):14-18.
- [21] 张红梅,金海军,丁小涛,等.黄瓜早期耐冷性鉴定指标的筛选[J].上海农业学报,2009,25(4):31-35.
- [22] 李合生.现代植物生理学[M].北京:高等教育出版社,2012.