

# 黄瓜耐湿热性鉴定方程的建立

仝培江, 孟焕文, 潘玉朋, 刘汉强, 程智慧

(西北农林科技大学园艺学院 陕西杨凌 712100)

**摘要:**针对黄瓜耐湿热性鉴定方法鲜见报道的情况,以8个耐湿热性不同的黄瓜品种为试材,在人工湿热(42 °C/32 °C+RH 95%)和常温常湿(28 °C/18 °C+RH 75%)条件下采集幼苗形态和生理指标,在夏季大棚湿热和露地种植采集成株期生长和结瓜指标;经主成分分析构建独立向量,逐步回归分析构建方程。结果表明,8个品种间14个指标表现出不同程度的差异,其5个主成分的累积贡献率达94.1%。逐步回归分析构建了含不同变量的4个预测方程,以含4个自变量的方程预测效果最好, $Y=3.586+1.021X_{dw}+0.369X_{fr}+0.635X_{tr}-3.064X_{ci}$ ,  $R=0.999$ ,  $R^2=0.998$ , 式中  $X_{dw}$ 、 $X_{fr}$ 、 $X_{tr}$  和  $X_{ci}$  分别为苗干质量、采瓜数、蒸腾速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的相对值; Y 值越大,耐湿热性越强。以4个耐湿热性不同的品种验证表明,该回归方程预测准确度高于96%,可用于黄瓜耐湿热性鉴定。

**关键词:** 黄瓜; 耐湿热性; 鉴定方程

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2023)06-032-05

## Establishment of an identification equation for cucumber hot-humid tolerance

TONG Peijiang, MENG Huanwen, PAN Yupeng, LIU Hanqiang, CHENG Zhihui

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

**Abstract:** Aiming at the lack of hot-humid tolerance identification method report on cucumber, the seedlings of 8 cucumber cultivars with different hot-humid tolerance were treated under artificial hot-humid (42 °C/32 °C+RH 95%) and normal condition (28 °C/18 °C+RH 75%) to collect the morphological and physiological indexes; and grown in hot-humid plastic tunnel and open field during hot summer season to collect adult plant growth and fruiting indexes. The independent vectors were constructed by principal component analysis to the collected indexes and the equation was constructed by regression analysis. The results showed that the 14 indexes collected showed difference among eight cultivars, five principal components with cumulative contribution of 94.1% could represent those indexes, four prediction equations with different variables were constructed by stepwise regression analysis and the equation with four independent variables presented the best prediction effect:  $Y=3.586+1.021X_{dw}+0.369X_{fr}+0.635X_{tr}-3.064X_{ci}$ ,  $R=0.999$ ,  $R^2=0.998$ .  $X_{dw}$ ,  $X_{fr}$ ,  $X_{tr}$  and  $X_{ci}$  in the equation represent the relative values of seedling dry weight, harvested fruit number, transpiration rate and intercellular CO<sub>2</sub> concentration, respectively. The higher the Y value, the stronger the resistance to hot-humid. The verification experiment using 4 cultivars with different hot-humid tolerance indicated that the prediction accuracy of the regression equation is higher than 96%, which can be used to identify the hot-humid resistance of cucumber.

**Key words:** Cucumber; Hot-humid tolerance; Identification equation

湿热是我国北方设施蔬菜和南方夏季蔬菜生产中常面临的主要复合逆境,关于湿热逆境影响的研究尚处于起步阶段。黄瓜是典型的喜温果菜,不耐高温和高湿,其耐热性及其鉴定方法研究已有较多积累<sup>[1-8]</sup>,湿热胁迫影响也已引起关注<sup>[9-12]</sup>,但耐湿热性鉴定方法尚未见研究报道。笔者的研

究以前期试验筛选的耐湿热性不同的黄瓜品种为试材,采集在自然和人工湿热处理环境下幼苗和成株的生长发育和生理指标,通过生物数学分析建立耐湿热性鉴定方程并进行验证,以为黄瓜品种资源耐湿热性鉴定和育种以及栽培品种选择提供技术方法。

收稿日期: 2022-12-08; 修回日期: 2023-02-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0101705-6); 陕西省重点研发计划项目(2021ZDLNY03-12)

作者简介: 仝培江,男,在读硕士研究生,研究方向为蔬菜生理生态。E-mail: tongpeijiang@nwafu.edu.cn

孟焕文,女,副教授,研究方向为黄瓜育种和生理生态。E-mail: menghw2005@nwafu.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@nwafu.edu.cn

## 1 材料与方 法

试验于 2017 年 10 月至 2019 年 4 月在西北农林科技大学园艺学院进行。

### 1.1 材料和处理

在前期试验对黄瓜品种资源耐湿热性分析的基础上,选择苗期和成株期耐湿热性有差异的 8 个品种,包括耐湿热性较好的燕青(YQ,重庆市农科院蔬菜花卉所,华南型)、德瑞特 8-9F(D8-9F,天津德瑞特有限公司,华北型)和津优 6 号(JY6,天津科润黄瓜研究所,华北型);耐湿热性中等的北京 204(BJ204,国家蔬菜工程技术中心,华北型)和莉娜 2 号(LN2,山东寿光洪亮有限公司,欧洲温室型);对湿热较敏感的绿精灵 5 号(LJL5,国家蔬菜工程技术中心,欧洲温室型)、燕白(YB,重庆市农科院蔬菜花卉所,华南型)和津春 4 号(JC4,天津科润黄瓜研究所,华北型)进行耐湿热性鉴定方程建立试验;用苗期和成株期耐湿热性有差异的 4 个品种,包括耐湿热性较好的虞美人(YMR, Nuhems India Pvt. Ltd, 印度型)和碧玉(BY,北京宏图有限公司,欧洲温室型)及对湿热较敏感的中农 6(ZN6,中国农科院蔬菜花卉所,华北型)和中农 12(ZN12,中国农科院蔬菜花卉所,华北型)进行耐湿热性鉴定方程验证试验。

将供试品种种子洗去种衣剂,在温度(昼/夜)28 °C/18 °C、空气相对湿度(RH)75%、光/暗周期 12 h/12 h,白天光照度 16 000 lx 的人工气候箱 72 孔穴盘基质育苗。2 片真叶期以后在人工气候箱进行苗期湿热(42 °C/32 °C+RH 95%)处理 4 d,以 28 °C/18 °C+RH 75%为对照。试验采用随机区组设计,每处理 15 株,3 次重复。

为了避免气候箱在昼夜临界期环境剧烈上下波动的影响,在每天昼夜交替时段设过渡环境。具体为:夜昼过渡时段和昼夜过渡时段各 1 h,光照度 10 000 lx,湿热处理为 37 °C+RH 95%,对照为 23 °C+RH 75%;白昼时段 12 h,光照度 20 000 lx,湿热处理为 42 °C+RH 95%,对照为 28 °C+RH 75%;夜间时段 10 h,无光照,湿热处理为 32 °C+RH 95%,对照为 18 °C+RH 75%。

成株期湿热处理于夏季高温期在塑料大棚内进行,以露地栽培为对照。试验期间大棚旬最高温度区间为 48.4~50.8 °C, >38 °C 时数 188 h, RH>80%时数 411 h,露地旬最高温度区间为 44.4~48.1 °C, >38 °C 时数 125 h, RH>80%时数 188 h。将各品种 2 片真叶期幼苗分别定植于大棚和露地,株

距 32 cm,行距 60 cm,每处理 15 株,2 次重复。

### 1.2 指标测定和数据处理方法

试验各处理的每重复分别随机取样 10 株进行有关指标测定。苗期测定有关形态和生理指标,并统计湿热害指数。苗鲜质量(FW)用 1/1000 电子天平称质量,经 105 °C 杀青 0.5 h、65 °C 烘 72 h 后再用 1/10 000 电子天平称取苗干质量(DW);叶面积(LA)用尼康 D7000 相机在距离 60 cm 处拍照离体平铺的第 2 片真叶,用 ImageJ 软件测算;超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性均取真叶样分别采用 NBT 法、愈创木酚法测定和紫外吸收法测定,净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )、蒸腾速率( $T_r$ )采用 Li-Cor 6400XT 便携式光合仪(Licor, Lincoln, NE, USA)测定<sup>[9]</sup>,湿热害指数(HHDI)采用湿热处理受害分级和株数统计计算。湿热处理幼苗受害程度分为 5 个等级:0 级,无可见湿热害;1 级,仅 1 片叶片上有黄色斑点或叶缘微黄;2 级,所有叶片出现小部分脱水斑变黄,但没有萎蔫;3 级,1 片真叶边缘坏死干枯,叶片萎蔫,大部分叶片出现脱水变黄,边缘坏死干枯;4 级,所有真叶变黄干枯或全部坏死。

湿热害指数(HHDI)=(1 级株数×1+2 级株数×2+3 级株数×3+4 级株数×4)/总株数×4。

田间成株期试验在定植后 30 d 内,每 8 d 用卷尺测定 1 次实际株高,计算株高增速;结瓜后每 2 d 采收 1 次果实,记录并计算单株采瓜数,用电子秤称取单瓜质量。

除苗期湿热害指数外,其他指标均计算相对值,即处理指标值/对照指标值。试验数据用 Microsoft Excel 2019 软件进行处理,用 IBM SPSS 23.0 进行单因素方差分析、多重比较、主成分分析和逐步回归分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄瓜耐湿热性鉴定方程的建立

苗期湿热处理 8 个品种的苗鲜质量(FW)、苗干质量(DW)、叶面积(LA)、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ )的相对值,除 SOD 外品种间均有显著差异(表 1),其变异系数分别为 21.6%、33.3%、14.3%、10.1%、17.3%、11.4%、12.6%、31.0%、3.2%和 17.7%,湿热害指数的变异系数为 40.9%,表明各品种在湿热胁迫下表现出了形态和生理上的差异。

表1 湿热处理不同品种幼苗指标的相对值和湿热害指数

品种	FW	DW	LA	SOD	POD	CAT	$P_n$	$G_s$	$C_i$	$T_r$	HHDI
YQ	0.67 abc	0.67 ab	0.66 b	0.49 a	0.39 b	0.89 a	0.68 b	0.49 b	0.95 b	2.13 a	0.27
BJ204	0.42 d	0.28 c	0.60 b	0.45 a	0.49 a	0.80 b	0.71 ab	0.59 ab	0.99 a	1.24 c	0.50
LN2	0.62 bc	0.57 b	0.64 b	0.44 a	0.43 a	0.92 a	0.73 a	0.67 ab	1.02 a	1.57 bc	0.61
JY6	0.54 cd	0.51 b	0.81 a	0.44 a	0.33 b	0.88 a	0.66 ab	0.48 b	1.00 a	1.42 b	0.36
YB	0.70 abc	0.77 ab	0.55 c	0.45 a	0.48 a	0.81 b	0.64 ab	0.60 ab	1.04 a	1.53 bc	0.36
JC4	0.67 abc	0.58 ab	0.52 c	0.42 a	0.30 b	0.97 a	0.48 b	0.66 ab	1.01 a	1.81 b	0.58
D8-9F	0.87 a	0.95 a	0.68 b	0.46 a	0.38 b	1.02 a	0.73 a	1.10 a	1.05 a	1.96 b	0.28
LJL5	0.81 ab	0.89 a	0.71 b	0.57 a	0.47 a	1.11 a	0.61 b	0.901 ab	1.04 a	1.58 bc	0.16
变异系数/%	21.6	33.3	14.3	10.1	17.3	11.4	12.6	31.0	3.2	17.7	40.9

成株期湿热处理8个品种的株高增速、采瓜数和单瓜质量相对值的变异系数分别为20.8%、72.7%和68.1%，品种间有显著差异(表2)，表明供试品种成株期在湿热胁迫下表现出了生长和结瓜的差异。

表2 湿热环境下黄瓜不同品种成株期指标的相对值

品种	相对株高增速	相对采瓜数	相对单瓜质量
YQ	1.83 ab	1.08 d	3.48 a
BJ204	1.66 bc	0.85 e	1.12 b
LN2	2.12 a	1.16 c	1.01 c
JY6	1.11 d	0.28 f	0.90 d
YB	1.50 bcd	1.94 b	0.88 d
JC4	1.31 cd	0.24 f	0.88 d
D8-9F	1.31 cd	1.13 cd	1.05 bc
LJL5	1.67 bc	2.88 a	1.08 bc
变异系数/%	20.8	72.7	68.1

由于8个品种苗期和成株期在湿热环境下相关指标的变异系数差异较大，因此可用于耐湿热鉴定方程的构建。将苗期和成株期14个指标进行主成分分析，结果见表3。前5项主成分的累计贡献率达94.2%。各主成分分别可解释33.76%、28.97%、15.12%、14.08%和8.06%的总变异；前2、3、4个主成分的累计贡献率分别为59.1%、73.3%和86.6%，所以可用这5个互相独立的主成分变量代表原来的14个单独变量进行方程构建。

根据5个主成分的特征向量可推导出8个黄瓜品种的耐湿性综合评价值计算式，分别为：

$$C1 = -0.622X_1 + 0.391X_2 - 0.063X_3 + 0.054X_4 + 0.668X_5 - 0.284X_6 + 0.741X_7 + 0.544X_8 + 0.613X_9 - 0.672X_{10} + 0.576X_{11} + 0.103X_{12} + 0.770X_{13} + 0.878X_{14};$$

$$C2 = 0.169X_1 + 0.367X_2 + 0.869X_3 - 0.838X_4 + 0.285X_5 + 0.100X_6 + 0.022X_7 + 0.767X_8 + 0.686X_9 + 0.331X_{10} + 0.699X_{11} + 0.580X_{12} - 0.177X_{13} - 0.290X_{14};$$

$$C3 = 0.602X_1 - 0.151X_2 - 0.165X_3 + 0.349X_4 - 0.129X_5 + 0.891X_6 - 0.192X_7 + 0.105X_8 + 0.188X_9 - 0.304X_{10} -$$

表3 5个主成分(PCi)的特征向量和贡献率

变量	指标	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
$X_1$	株高增速	-0.622	0.169	0.602	0.284	0.236
$X_2$	单瓜质量	0.391	0.367	-0.151	0.818	-0.124
$X_3$	采瓜数	-0.063	0.869	0.165	0.397	-0.030
$X_4$	湿热害指数	0.054	-0.838	0.349	0.182	0.358
$X_5$	SOD活性	0.668	0.285	-0.129	0.610	0.124
$X_6$	POD活性	-0.284	0.100	0.891	0.036	-0.308
$X_7$	CAT活性	0.741	0.022	-0.192	-0.208	-0.488
$X_8$	苗干质量	0.544	0.767	0.105	-0.206	0.116
$X_9$	苗鲜质量	0.613	0.686	0.188	-0.260	0.148
$X_{10}$	叶面积	-0.672	0.331	-0.304	-0.269	-0.257
$X_{11}$	净光合速率	0.576	-0.699	-0.276	0.164	0.200
$X_{12}$	气孔导度	0.103	0.580	-0.097	-0.455	0.587
$X_{13}$	胞间CO <sub>2</sub> 浓度	0.770	-0.177	0.522	-0.242	-0.168
$X_{14}$	蒸腾速率	0.878	-0.290	0.338	-0.160	-0.009
贡献率/%		31.807	27.289	14.242	13.269	7.597
特征值		4.453	3.820	1.994	1.858	1.064

$$0.276X_{11} - 0.097X_{12} + 0.522X_{13} + 0.338X_{14};$$

$$C4 = 0.284X_1 - 0.818X_2 + 0.397X_3 + 0.182X_4 + 0.610X_5 + 0.036X_6 - 0.208X_7 - 0.206X_8 - 0.260X_9 - 0.269X_{10} + 0.164X_{11} - 0.455X_{12} - 0.242X_{13} - 0.160X_{14};$$

$$C5 = 0.236X_1 - 0.124X_2 - 0.030X_3 + 0.358X_4 + 0.124X_5 - 0.308X_6 - 0.488X_7 + 0.116X_8 + 0.148X_9 - 0.257X_{10} + 0.200X_{11} + 0.587X_{12} - 0.168X_{13} - 0.009X_{14}。$$

以8个品种14个指标相对值为自变量，用逐步回归法分别获得用1、2、3、4个自变量预测D值的4个回归模型：

$$Y = 1.223 + 1.990X_{dw};$$

$$Y = 1.273 + 1.508X_{dw} + 0.227X_{hf};$$

$$Y = 0.912 + 0.925X_{dw} + 0.371X_{hf} + 0.345X_{tr};$$

$$Y = 3.586 + 1.021X_{dw} + 0.369X_{hf} + 0.635X_{tr} - 3.064X_{ci}。$$

式中， $X_{dw}$ 、 $X_{hf}$ 、 $X_{tr}$ 、 $X_{ci}$ 分别为苗干质量、采瓜数、蒸腾速率和胞间CO<sub>2</sub>浓度的相对值。

用4个回归模型计算8个品种的D值见表4。

表4 8个建模品种的5个综合指标值( $C_i$ )和综合评价价值( $D$ )及权重

品种	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$D$
YQ	3.116	2.640	2.306	0.399	0.667	2.826
BJ204	4.009	3.294	2.156	0.866	0.868	1.949
LN2	5.932	0.765	2.375	-0.033	0.555	2.418
JY6	4.869	3.364	1.663	-0.451	1.499	2.014
YB	4.254	4.722	2.296	1.139	0.721	2.275
JC4	3.047	1.697	1.984	0.465	0.784	2.624
D8-9F	3.501	2.289	2.441	0.780	1.172	2.927
LJL5	4.216	1.176	1.065	0.310	0.567	3.370
权重/%	33.76	28.97	15.12	14.08	8.06	

注: $D$ 值按如下公式计算, $D=\sum(C_i \times W_i)$ , $i=1,2,\dots,n$ ,式中 $C_i$ 为综合系数, $W_i$ 为权重。

4个回归模型中,随着自变量数增加,模型的 $R$ 值增大,即相关性越显著,以模型4的 $R$ 值最大(表5)。除模型1外的3个模型 $R$ 值都大于0.94,都可作为黄瓜品种耐湿热性鉴定方程。

2.2 黄瓜耐湿热性鉴定方程的验证

用4个验证品种湿热处理与对照的14个指标的相对值(表6)计算主成分公式,得到其综合系数,根据各主成分的权重计算出 $D$ 值。对模型4进行验证,将 $X_3$ (相对采瓜数)、 $X_8$ (相对苗干质量)、 $X_{13}$ (相对

表5 4个回归模型的自变量参数及显著性和拟合系数

模型	自变量参数	非标准化系数	$P$	$R$	$R^2$
1	常数	1.223	0.007	0.882	0.777
	干质量	1.990	0.004		
2	常数	1.273	0.002	0.947	0.897
	干质量	1.508	0.011		
	采瓜数	0.227	0.060		
3	常数	0.912	0.002	0.993	0.985
	干质量	0.925	0.010		
	采瓜数	0.371	0.002		
	$T_r$	0.345	0.008		
4	常数	3.568	0.006	0.999	0.998
	干质量	1.021	0.001		
	采瓜数	0.369	0.000		
	$T_r$	0.635	0.002		
	$C_i$	-3.064	0.014		

胞间 $CO_2$ 浓度)和 $X_{14}$ (相对蒸腾速率)代入回归方程得到回归值(表7)。可以看出,测试品种的 $D$ 值由大到小顺序为BY>YMR>ZN6>ZN12,回归值由大到小顺序为BY>YMR>ZN6>ZN12,排序与综合评价价值( $D$ )基本一致,准确度皆大于96%。因此,该回归模型可以用于黄瓜品种耐湿热性鉴定。

表6 4个测试品种14个指标的相对值

品种	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$
YMR	1.47	1.03	1.68	0.35	1.08	1.64	1.05	0.61	0.86	0.78	0.78	0.50	1.17	2.25
ZN12	1.77	0.86	0.64	0.37	0.85	1.15	1.39	0.6	0.69	0.97	0.68	0.65	1.04	2.54
BY	2.50	0.95	2.39	0.28	0.91	0.76	1.04	0.62	0.61	0.67	0.87	0.98	1.01	1.78
ZN6	1.38	0.81	0.75	0.30	0.76	0.95	0.85	0.66	0.62	0.56	0.79	0.80	1.34	1.88

表7 4个测试品种的5个综合指标值、综合评价价值( $D$ )、回归值和准确度

品种	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$D$	回归值	差值	准确度/%
YMR	4.214	2.609	3.360	1.164	-0.343	2.823	2.806	0.017	99.391
ZN12	3.548	1.671	2.738	0.489	-0.188	2.150	2.216	-0.067	96.978
BY	3.407	3.616	3.334	1.938	-0.009	2.975	3.075	-0.100	96.729
ZN6	4.102	1.530	2.205	0.373	0.021	2.216	2.133	0.083	96.254
权重/%	33.76	28.97	15.12	14.08	8.06				

3 讨论与结论

高温是植物生长的主要逆境之一,高空气湿度也影响植物生长发育<sup>[13]</sup>,高温高湿形成的复合湿热环境是我国北方设施蔬菜和南方夏季蔬菜生产中面临的主要复合逆境。

形态指标直接反映植物的生长状况。叶片是植物光合作用的主要器官,叶面积反映了植物接受太阳光的潜在能力;生物量(干质量和鲜质量)反映

了植物同化作用的结果;逆境下的生长指标可以指示植物对逆境的适应能力<sup>[1,4]</sup>。高温影响黄瓜幼苗生长<sup>[14]</sup>,高温高湿环境下加富 $CO_2$ 可增加黄瓜植株干质量和叶面积<sup>[15]</sup>。抗氧化酶活性可以反映植物抵御逆境的能力,高温高湿影响植物抗氧化酶活性,抑制光合作用;高温促进蒸腾作用,而高湿度会限制蒸腾作用<sup>[16-19]</sup>。苗期高温高湿处理对黄瓜营养生长和生殖生长都有显著的抑制作用,且高温高湿的伤害略大于高温常湿,常温高湿的影响相对最小<sup>[9]</sup>。

建立抗逆性鉴定方法是植物种质资源研究和育种以及栽培中选择抗逆品种的基础。黄瓜是喜温果菜,发芽期和幼苗期抗逆性鉴定具有简便、快速的特点,但成株期鉴定可能更能反映逆境下的生产能力。关于黄瓜耐热性鉴定方法,前人已建立了不同时期、适用不同类型材料的多种鉴定方法<sup>[1-4,6,8]</sup>,但尚未见有关耐湿热性鉴定方法的报道。

杨寅桂等<sup>[19]</sup>经田间自然高温下幼苗期与成株期筛选,并结合幼苗期人工高温筛选,从不同生态型黄瓜品种中筛选出耐热材料6个、热敏材料2个。本研究结果表明,苗期和成株期指标都与黄瓜耐湿热性有关。考虑到湿热复合逆境的复杂性,分别在苗期和成株期进行湿热胁迫,采集生长发育和生理指标,并且以同品种对照环境的植株生长发育为参比,计算指标的相对值;用主成分分析将14个指标转换为5个相独立的综合指标;用逐步回归分析建立方程,14个指标每引入1个变量则会进行 $F$ 检验,并对已选入的指标再逐个进行 $t$ 检验,删除不显著已引入的指标,确保了每次引入新变量之前方程只含有显著指标<sup>[20]</sup>。

笔者的研究通过逐步回归分析,分别建立了含2个自变量的模型 $Y=1.273+1.508X_{dw}+0.227X_{hr}$ ,含3个自变量的模型 $Y=0.912+0.925X_{dw}+0.371X_{hr}+0.345X_{tr}$ ,含4个自变量的模型 $Y=3.586+1.021X_{dw}+0.369X_{hr}+0.635X_{tr}-3.064X_{ci}$ ,都可用于黄瓜耐湿热能力的预测(式中 $X_{dw}$ 、 $X_{hr}$ 、 $X_{tr}$ 和 $X_{ci}$ 分别为苗干质量、采瓜数、蒸腾速率和胞间 $CO_2$ 浓度的相对值);预测 $Y$ 值越大,表明黄瓜耐湿热能力越强。3个预测方程中,以含4个自变量的预测方程效果最好。

### 参考文献

- [1] 孟焕文,张彦峰,程智慧,等.黄瓜幼苗对热胁迫的生理反应及耐热鉴定指标筛选[J].西北农业学报,2000,9(1):96-99.
- [2] 聂文娟,孟焕文,程智慧,等.自然高温条件下黄瓜耐热性成株期鉴定技术研究[J].北方园艺,2010(20):22-25.
- [3] 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.
- [4] 但忠,木万福,苏银玲,等.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.
- [5] 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.
- [6] 黄建都,林翻飞,王艳娜,等.黄瓜芽期耐热相关指标的筛选及预测方程的建立[J].江西农业学报,2019,31(12):8-12.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 郑涵,王丹,杨再强,等.花期高温高湿对设施黄瓜叶片光合特性和保护酶活性的影响[J].北方园艺,2021(5):48-55.
- [11] 张丰寅,杨再强,杨立,等.高温高湿对苗期黄瓜叶片光合特性和保护酶活性的影响[J].北方园艺,2022(16):1-8.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 李建建,徐晓昀,聂书明,等.高温胁迫对黄瓜幼苗生长的影响[J].红河学院学报,2007(5):10-13.
- [15] 刘杰才,崔世茂,吴玉峰,等. $CO_2$ 加富下空气湿度调控对高温大棚嫁接黄瓜逆境生理的影响[J].华北农学报,2012,27(3):130-135.
- [16] 薛义霞,李亚灵.空气湿度对高温下番茄营养生长的影响[J].西北农业学报,2010,19(4):149-154.
- [17] 杨世琼,杨再强,王琳,等.高温高湿交互对设施番茄叶片光合特性的影响[J].生态学杂志,2018,37(1):57-63.
- [18] 袁昌洪,杨再强,赵和丽.番茄高温高湿胁迫后的补偿生长[J].生态学杂志,2020,39(2):487-496.
- [19] 杨寅桂,李为观,娄群峰,等.黄瓜耐热材料筛选[J].中国瓜菜,2008,21(1):1-3.
- [20] ZHAN X H, LIANG X, XU G H, et al. Influence of plant root morphology and tissue composition on phenanthrene uptake: Stepwise multiple linear regression analysis[J]. Environmental Pollution, 2013, 179: 294-300.