

doi:10.11937/bfyy.20204051

应用 Logistic 方程测定八个绣球品种的耐热性

凌 瑞¹, 董 钠¹, 刘惠斌¹, 郑泽新², 翟俊文¹, 吴沙沙¹

(1. 福建农林大学 园林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省绣球花卉科技有限公司, 福建 永春 362600)

摘 要:以 8 个绣球品种为试材, 采用电导率结合 Logistic 方程的方法, 研究了 8 个绣球品种的高温半致死温度, 以期评价绣球品种资源的耐热性, 为绣球品种在南方城乡园林绿化中的应用提供参考依据。结果表明: 高温处理后, 细胞伤害率与处理温度呈典型的“S”曲线模型, 经显著性检验符合 Logistic 方程。8 个绣球品种的高温半致死温度范围为 54.81~60.07 °C, 耐热性由强到弱次序为‘夏洛特公主’(60.07 °C) > ‘花手鞠’(57.67 °C) > ‘无尽夏’(57.07 °C) > ‘塔贝’(56.95 °C) > ‘细高跟’(56.94 °C) > ‘蒙娜丽莎’(56.64 °C) > ‘无尽夏新娘’(56.35 °C) > ‘佳澄’(54.81 °C)。根据高温半致死温度对绣球品种的耐热性进行系统聚类分析, 可将以上品种分为 3 个类群, 第Ⅰ类群‘夏洛特公主’为较耐热品种, 平均半致死温度为 60.07 °C, 该品种是应用在高温地区的潜在优良品种; 第Ⅱ类群包括‘塔贝’‘细高跟’‘蒙娜丽莎’‘无尽夏’‘花手鞠’‘无尽夏新娘’为中等耐热品种, 平均半致死温度为 56.94 °C; 第Ⅲ类群‘佳澄’为不耐热品种, 平均半致死温度为 54.81 °C, 更适合在温度较低的温带地区种植。

关键词:绣球品种; 耐热性; Logistic 方程; 细胞伤害率; 高温半致死温度

中图分类号:S 663.401 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2021)11-0063-07

绣球(*Hydrangea macrophylla*) 又名八仙花、紫阳花, 在我国有着悠久的栽培历史, 为我国的传统观赏花木之一, 不仅因花色丰富、枝繁叶茂、观赏期长而具有极高的观赏价值及园林应用价值, 而且因其繁殖容易、抗性等特点, 也是建设生态型、节约型园林十分理想的绿化材料, 具有广阔的市场前景, 在国际市场上备受园艺爱好者的青睐^[1-2]。绣球的品种繁多, 现已有 500 余种,

并不断有新品种被培育出来^[3]。目前虽然有部分品种已逐渐应用在园林绿化美化中, 但由于大部分绣球品种的原产地多为温带气候, 一些优良品种引种至夏季高温地区后, 生长发育与观赏价值均会受到严重的影响, 高温随之成为制约其园林推广与应用的首要限制因子, 而全球气候变暖与城市热岛效应也为引种栽培工作带来更为严峻的挑战。若要在高温地区更好地引种栽培较为合适的绣球品种, 耐热性是品种选择的重要指标之一。但是, 目前国内外对绣球的研究多集中在资源调查^[4-5]、繁殖栽培^[6-7]及育种技术^[8-9]等领域, 对其抗性生理虽偶有报道, 但大多集中在干旱胁迫^[10-11]、铝盐胁迫^[12-13]等方面, 而针对绣球品种的耐热性评价研究极少^[14]。

耐热性研究方法有很多, 通过电导法配合 Logistic 回归方程的拟合计算出待测植物的高温半致死温度(LT₅₀)来评价植物耐热性是其中一种。半致死温度是指可引起植物体组织、器官、细

第一作者简介:凌瑞(1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向为观赏植物资源与应用。E-mail: Lingrui9655@163.com.

责任作者:吴沙沙(1984-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事观赏植物资源与应用等研究工作。E-mail: shashawu1984@126.com.

基金项目:2018 年福建农林大学花卉产业专家指导服务团队资助项目(11891008001); 福建农林大学科研创新基金资助项目(KFA17331A); 2018 年福建省发改委农业“五新”工程资助项目(闽财政[2018]0438 号)。

收稿日期:2020-09-19

胞一半死亡的温度,若温度继续超出该范围,植物所受到的伤害将不可逆转最终死亡;生理试验中通常将植物组织电解质渗出率为 50% 时的温度定为植物的半致死温度^[15-16]。通过该方法评价植物耐热性既便捷又高效^[17],现已应用在跖草科(Commelinaceae)^[18]、杜鹃花科(Ericaceae)^[19]、蔷薇科(Rosaceae)^[20]、槭树科(Aceraceae)^[21]、景天科(Crassulaceae)^[22]等多种植物材料的耐热性评价中。现有研究证明了该方法在多个经济作物与观赏花卉品种耐热性差异评价中的可行性^[23]。

因此,该研究选用目前具有一定生产规模且观赏性较高的 8 个绣球园艺品种为试材,应用细胞伤害率结合 Logistic 方程的耐热性评价方法,测定其高温半致死温度,旨在从细胞膜透性角度比较不同绣球品种对高温环境适应能力的强弱,为绣球品种在中国南方地区城乡园林绿化中的应用及推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以‘塔贝’(‘Taube’)、‘细高跟’(‘Stiletto’)、‘蒙娜丽莎’(‘Mona Lisa’)、‘无尽夏’(‘Endless Summer’)、‘佳澄’(‘Kasumi’)、‘花手鞠’(‘Stockings’)、‘夏洛特公主’(‘Princess Charlotte’)、‘无尽夏新娘’(‘Endless Summer Bride’) 8 个绣球的园艺品种为试材,均为生长健壮、长势一致的二年生扦插苗,栽培于福建省福州市福建农林大学森林兰苑遮阴棚内,常规水肥管理。

1.2 试验方法

1.2.1 细胞伤害率测定

于 2020 年 8 月选取长势一致且健康的新鲜功能叶(植株顶部向下数第 2 片成熟叶),每个品种随机选取 10 株,采集 1 片叶片,采摘后自封袋保存迅速带回实验室,用去离子水洗净叶片后擦干,按照品种将所取叶片剪成 0.5 cm² 的碎叶,混匀后每次称取 0.2 g 碎叶置于装有 20 mL 去离子水的试管中,分别在 25、35、40、45、50、55、60、65、70 °C 条件下水浴 20 min,取出后静置 2 h,期间自然冷却至室温,用电导仪测定电导值(*C_t*),然后全部放置在 100 °C 水浴锅中沸水浴 15 min,取出静

置冷却至室温后测定电导值(*C_m*)。以室温下叶片的电导值(*C_{ck}*)为对照。每个温度处理重复 3 次。根据公式计算细胞伤害率^[24]。

细胞伤害率(%) = (*C_t* - *C_{ck}*) / (*C_m* - *C_{ck}*) × 100。

式中:*C_t* 为不同温度处理下叶片的相对电导率,*C_m* 为沸水浴后测得的叶片相对电导率,*C_{ck}* 为室温下叶片的相对电导率。

1.2.2 Logistic 方程及半致死温度测定

Logistic 方程的表达方式为 $y = k / (1 + ae^{-bt})$,其中 *y* 为细胞的伤害率,*t* 为不同的处理温度,*k* 为细胞伤害率的饱和容量,该研究消除了本底干扰 *k* 为 100%。*a* 与 *b* 为方程参数,为了确定 *a* 和 *b* 的值,将 Logistic 方程转为 $\ln[(k-y)/y] = \ln a - bt$,令 $y = \ln[(k-y)/y]$,则变成转化细胞伤害率(*y*)与处理温度(*t*)的直线方程。将 Logistic 方程求二级导数 $d^2y/dt^2 = [kabe^{-bt}(abe^{-bt} - b)] / (1 + ae^{-bt})^3$,当 $d^2y/dt^2 = 0$ 时,则 $abe^{-bt} - b = 0$, $t = \ln(a)/b$,此时 *t* 值为曲线的拐点,即为高温半致死温度。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Office Excel 2016 软件进行数据整理与图表绘制,采用 SPSS 20.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理温度与细胞伤害率的关系

植物的细胞膜是细胞器与环境间的界面结构,对维持细胞结构稳定与生理代谢活动至关重要^[25],在正常温度下细胞膜具有选择透过性,当植物遭遇高温胁迫时,细胞膜的渗透性增大,细胞内的电解质不断外渗,从而导致植物组织浸提液的电导率升高^[26-27]。研究表明,植物的耐热性与其在高温处理后组织浸提液的电导率呈负相关^[28-29],因此可通过测定组织浸提液的电导率来判断植物耐热能力的差异。由图 1 可知,随着处理温度的递增,整个电解质渗出的过程呈现出“缓慢增加-急速增加-缓慢增加”的一致规律,即典型的“S”形曲线,“S”形曲线随着拟合度的不同有所差异,经显著性检验这种非对称的“S”形曲线符合 Logistic 方程。

由图 1 可知,随着温度胁迫的增强,8 个绣球品种的细胞伤害率皆有不同程度的增加,二者成正相关性,但不同品种间的增加速率存在差异,这反映出不同品种间由于遗传特性差异而表现出的耐热性差异。在温度胁迫初期,8 个绣球品种的细胞伤害率差异不显著。在 35~55 ℃ 温度内,8 个绣球品种的细胞伤害率均随着温度的增加而缓慢上升,表明在这个温度区间内绣球的叶片能够通过自主调节来维持细胞的稳定。其中‘花手鞠’的细胞伤害率增长最慢,说明该阶段温度升高对其影响最小;在 55~65 ℃ 温度内,8 个品种的细胞伤害率均呈现急速上升趋势,说明在这个温度范围内绣球叶片的细胞膜受损严重并造成大量电解质外渗,其中‘花手鞠’的增幅最大,为 962.78%,‘塔贝’的增幅最小,为 332.05%。当温度升至 65 ℃ 时,8 个绣球品种的细胞伤害率均已经达到 80% 以上,其中‘佳澄’的细胞伤害率最大,为 94.05%,‘蒙娜丽莎’的细胞伤害率最小,为 83.25%。当高温处理超过 65 ℃ 时,8 个品种的细胞伤害率增长又逐渐趋于平缓,这说明此时高温已对植物细胞造成了不可逆的伤害,细胞质膜已经完全丧失主动运输功能,细胞内外电解质浓度趋于平衡。综上可知,高温对 8 个绣球品种的膜系统造成不可逆伤害的临界温度在 55~65 ℃。

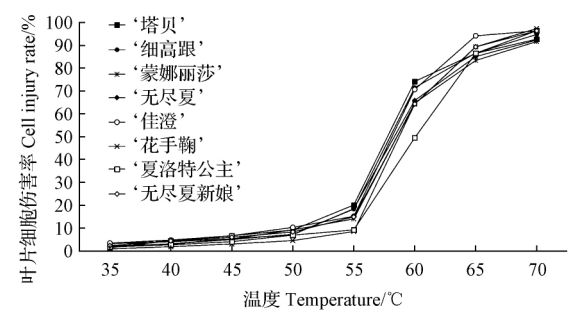


图 1 绣球品种细胞伤害率与处理温度间的关系
Fig. 1 Relationship between cell injury rate and temperature in *Hydrangea macrophylla* cultivars

2.2 Logistic 回归模型的建立及 LT₅₀ 的确定

对不同温度处理下绣球的细胞伤害率进行非线性回归分析,回归结果用 Logistic 方程进行拟合,从而得出方程的参数值 a、b,拟合度 R² 及高温半致死温度。由表 1 可知,拟合度 R² 在

0.891~0.960,均大于决定系数显著性临界值,说明拟合结果符合 Logistic 方程的变化规律且准确度较高。

半致死温度是用于评价植物耐热性的重要指标之一,高温半致死温度与绣球耐热性呈正相关,由表 1 可知,8 个品种的 LT₅₀ 在 54.81~60.07 ℃,平均值为 57.31 ℃。根据 LT₅₀ 数值,得出 8 个绣球品种耐热性为‘夏洛特公主’(60.07 ℃)>‘花手鞠’(57.67 ℃)>‘无尽夏’(57.07 ℃)>‘塔贝’(56.95 ℃)>‘细高跟’(56.94 ℃)>‘蒙娜丽莎’(56.64 ℃)>‘无尽夏新娘’(56.35 ℃)>‘佳澄’(54.81 ℃)。其中‘夏洛特公主’的高温半致死温度比‘佳澄’高 5 ℃ 左右,说明二者具有较明显的耐热性差异。

表 1 各绣球品种的方程参数及半致死温度
Table 1 Coefficient of equation and semi-lethal temperature of *Hydrangea macrophylla* cultivars

品种 Cultivars	方程系数 Coefficient of equation		相关系数 R ² Correlation coefficient	高温半致死温度 Semi-lethal high temperature/℃
	a	b		
‘塔贝’ ‘Taube’	156 305.50	0.21	0.960**	56.95
‘细高跟’ ‘Stiletto’	155 999.23	0.21	0.935**	56.94
‘蒙娜丽莎’ ‘Mona Lisa’	83 187.82	0.20	0.939**	56.64
‘无尽夏’ ‘Endless Summer’	51 195.93	0.19	0.915**	57.07
‘佳澄’ ‘Kasumi’	99 731.09	0.21	0.896**	54.81
‘花手鞠’ ‘Stockings’	1 027 699.61	0.24	0.905**	57.67
‘夏洛特公主’ ‘Princess Charlotte’	165 343.03	0.20	0.891**	60.07
‘无尽夏新娘’ ‘Endless Summer Bride’	137 925.23	0.21	0.923**	56.35

注: * 和 ** 分别表示处理与对照差异达显著 (P<0.05) 和极显著水平 (P>0.01)。
Note: * and ** indicate the significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 LT₅₀ 的聚类分析

将 8 个绣球品种的高温半致死温度经标准化转换后,采用平方欧氏距离,用离差平方和法对不同绣球品种的耐热性进行了系统聚类分析(图 2),在欧式距离 5 处可将 8 个品种分为 3 类,第 I 类群‘夏洛特公主’为较耐热品种,高温半致

死温度为 60.07 °C; 第Ⅱ类群包括‘塔贝’‘细高跟’‘蒙娜丽莎’‘无尽夏’‘花手鞠’‘无尽夏新娘’为中等耐热品种, 平均半致死温度为 56.94 °C; 第Ⅲ类群‘佳澄’为不耐热品种, 高温半致死温度为 54.81 °C。

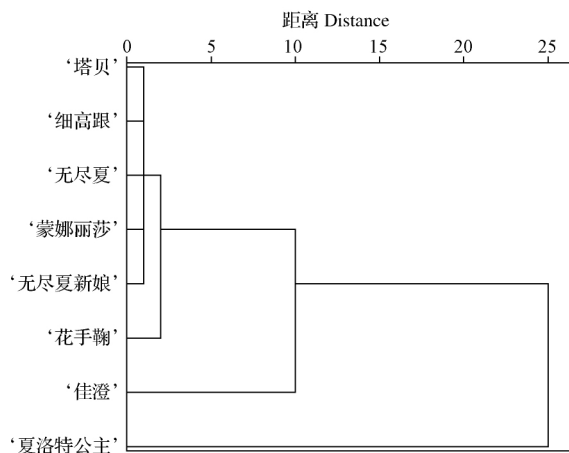


图2 8个绣球品种的耐热性聚类

Fig. 2 Cluster analysis of LT_{50} and browning in dextrin *Hydrangea macrophylla*

3 讨论

在自然界中, 植物并非总是生活在适宜的环境条件下, 植物生存所需的一系列环境因素往往不会满足或超出其正常的需求范围, 从而显著影响植物的生长发育与代谢活动^[30]。植物对逆境的适应能力是决定其引种栽培成功与否的关键因素之一, 在多变的逆境环境因素中, 不断升高的温度环境被认为是最严峻的胁迫类型之一^[31]。生物膜系统在逆境生理研究中占据重要的地位, 生物膜系统是受热与抗热的中心部位, 细胞膜的热稳定性与植物的耐热能力息息相关^[32-33]。正常温度条件下, 生物膜的脂类与蛋白质直接由静电与疏水键相互联系着, 高温胁迫使生物膜功能键断裂、膜蛋白变性, 具体表现为对生物膜结构与功能的破坏, 最终导致细胞死亡^[34]。当植物遭遇高温胁迫时, 细胞膜的透性增大导致植物细胞内的电解质不断外渗, 从而增加组织浸出液的电导率^[35]。细胞膜的透性增大程度与高温胁迫程度有关, 也与植物自身耐热性的强弱有关^[36]。研究表明, 高温胁迫下耐热植物的电导率增加幅度要显著低于不耐热植物^[37]。因此, 对组织浸出液的

电导率进行测定是反映细胞膜受损程度与植物耐热性最直接的方法^[38]。蔡化等^[39]研究发现, 植物体内的电导率随着胁迫温度的增加与胁迫时间的延长而持续上升。ASHRAF等^[40]将细胞膜的热稳定性作为评价植物耐热性的重要指标之一。高温半致死温度能准确地反映植物细胞在高温胁迫下的热稳定性, 进一步比较植物间的耐热差异^[41], 该方法时间投入少且数据直观, 其有效性已在多种植物的耐热研究中得到证实^[35, 39, 41-43]。

该研究对不同梯度温度条件下绣球叶片的细胞伤害率进行测定, 细胞伤害率与处理温度呈显著正相关。此外, 随着处理温度的升高, 8个绣球品种叶片的细胞伤害率增长速度总体呈现“缓慢增加-急速增加-缓慢增加”的趋势, 即典型“S”形曲线, 经过检验符合 Logistic 方程并且方程的拟合度 R^2 值均达显著水平, 说明方程拟合结果可靠且准确度较高。通过计算“S”形曲线拐点求得8个绣球品种的半致死温度, 半致死温度越高则品种耐热性越好, 反之则越差。从耐热性角度, 8个绣球品种的半致死温度均超过了 50 °C, 说明8个品种均有一定的高温耐受能力, 是华南地区园林绿化材料更新潜在的植物资源。李娜等^[44]对绣球原种的高温半致死温度的测定结果为 55.25 °C, 与该研究的8个品种的高温半致死温度结果较为相近, 除品种‘佳澄’外其余品种的高温半致死温度均高于绣球原种, 说明这些品种在高温地区比绣球原种更具应用潜力。刘婉迪等^[19]通过电导率法结合 Logistic 方程评价9个杜鹃品种耐热性, 结果表明8个杜鹃品种的细胞伤害率发生跃变的温度为 45~55 °C, 9个杜鹃品种的半致死高温为 46.92~53.84 °C, 其耐热能力不如该研究参试的8个绣球品种。陈碧露等^[45]同样利用该方法对8个月季品种的耐热性进行鉴定, 高温半致死温度在 49.97~52.07 °C, 大部分月季品种的耐热性均强于该研究的8个绣球品种。章毅等^[10]对5个绣球品种的抗旱性进行研究, 结果表明‘塔贝’的抗旱性强于‘无尽夏新娘’, 评价结果与该研究耐热性鉴定结果一致, 而孙欧文^[46]对4个绣球品种在高温干旱复合胁迫下的生理生化进行测定, 结果表明在高温干旱复合胁迫下‘无尽夏新娘’的综合抗性稍强于‘塔贝’, 具体原因还需要进一步探究。‘无尽夏’系列是目前

国内最畅销的大花绣球品种,由于花序硕大、花期较长已成为夏季花园的主角^[47],该研究结果表明‘无尽夏’系列的2个品种耐热表现良好,‘无尽夏’的耐热能力稍强于‘无尽夏新娘’。‘花手鞠’是绣球经典重瓣品种,该研究中‘花手鞠’的耐高温能力较好,与曾奕等^[47]对绣球品种的田间耐热性观测结果一致,这可能与‘花手鞠’厚硬的叶片质地有关,‘无尽夏’系列品种叶片大而薄故耐热性稍差,还需结合叶片解剖特征进行深入研究。通过对测得的半致死高温进行系统聚类分析,8个品种的耐热性可大致分为3个类群,其中‘夏洛特公主’为较耐热品种,‘佳澄’为较不耐热品种,‘塔贝’‘细高跟’‘蒙娜丽莎’‘无尽夏’‘花手鞠’‘无尽夏新娘’具有相近的高温半致死温度,为中等耐热品种。结果表明‘夏洛特公主’有一定的高温适应能力,适合应用在高温地区的潜在优良品种;‘佳澄’的耐热表现不佳,更适合在温度较低的温带地区种植。

该研究结果与前期田间热害形态观测结果基本一致,说明通过该研究方法对绣球品种的耐热性进行判断简单易行。由于该研究是在离体条件下采用植物叶片作为研究对象进行的,因此对绣球品种耐热能力的评价结果还需要通过对整体植株耐热性研究后进行进一步验证。该研究结果可作为衡量绣球品种适应能力的重要指标之一,为其在城乡园林绿化美化中的应用、栽培地区的选择提供科学的参考依据,关于其抗旱性、耐寒性等特性还需进一步研究。

参考文献

- [1] 任倩倩,郑建鹏,张京伟. 绣球属抗逆性研究进展[J]. 安徽农业科学,2020,11(48):26-28.
- [2] 乔谦,王江勇,陶吉寒. 绣球属植物研究进展[J]. 农学学报,2020,10(4):60-64.
- [3] 李艳香. 19个绣球属种质资源的SRAP分析[D]. 长沙:湖南农业大学,2009.
- [4] 孙强,虞秀明,姚红军. 绣球属品种资源收集及扦插生根能力比较[J]. 北方园艺,2016(11):71-73.
- [5] 彭晖晖,周朴华,周红灿,等. 湖南省绣球属植物资源调查[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2008,34(5):563-567.
- [6] 王红梅,刘春风,孟紫莲,等. 圆锥绣球‘北极熊’组培快繁体系的建立[J]. 分子植物育种,2020,2(1):1-9.
- [7] 张国华,陈旦旦,曹受金,等. 绣球花扦插繁殖技术研究[J]. 现代园艺,2019,42(23):24-25.
- [8] UEMACHI T, NISHIO T. Relationship between the inflorescence structure and setting of decorative flowers on lacecap cultivars of *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. and *H. serrata* (Thunb.) Ser[J]. Horticultural Research, 2005, 4(4):435-438.
- [9] WAKI T, KODAMA M, AKUTSU M, et al. Development of DNA markers linked to double-flower and hortensia traits in *Hydrangea macrophylla* (Thunb.) Ser. [J]. Horticulture Journal, 2017, 87(2):264-273.
- [10] 毅章,韦孟琪,孙欧文. 不同绣球品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱机制研究[J]. 西北林学院学报,2018,1(33):90-97.
- [11] 蔡建国,章毅,孙欧文,等. 绣球抗旱性综合评价及指标体系构建[J]. 应用生态学报,2018,29(10):3175-3182.
- [12] 李叶华,陈爽,赵冰. 铝胁迫对绣球组培苗生长及生理特性的影响[J]. 浙江农林大学学报,2020,37(16):1064-1070.
- [13] 汪霖. NaCl胁迫对绣球生理指标的影响[J]. 北方园艺,2011(24):80-83.
- [14] 辛雅芬. 高温对八仙花生理指标的影响[J]. 安徽农业科学,2009,11(37):2504-2506.
- [15] 葛亚英. 两种苦苣苔科花卉低温半致死温度的测定及耐寒生理变化研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.
- [16] 赵伟. 三种国产唇柱苣苔属野生花卉的组培、扦插和幼苗半致死温度研究[D]. 上海:上海师范大学,2015.
- [17] CASTOR T, TYLER T. Determination of taxol in taxus media needles in the presence of interfering components[J]. Journal of Liquid Chromatography, 1993, 16(3):723-731.
- [18] 徐玉芬,杨静,邓磊,等. 应用 Logistic 方程测定4种鸭跖草科屋顶绿化植物的耐热性[J]. 仲恺农业工程学院学报,2018,31(4):52-55.
- [19] 刘婉迪,王威,谢倩,等. 9个杜鹃品种的高温半致死温度与耐热性评价[J]. 西北林学院学报,2018,33(5):105-110.
- [20] 崔睿航,范少然,焦美玲,等. 生物电阻抗技术评价大花月季的耐热性及抗寒性[J]. 北方园艺,2016(22):75-81.
- [21] 林乐静,林立,祝志勇,等. 13个鸡爪槭品种的耐热性研究[J]. 江苏林业科技,2018,45(6):12-15.
- [22] 张燕利,高捍东,吴锦华. 4种景天科植物耐热性测定[J]. 西南林学院学报,2010,30(6):52-54.
- [23] YEH D M, LIN H F. Thermostability of cell membranes as a measure of heat tolerance and relationship to flowering delay in *Chrysanthemum*[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2003, 128(5):656-660.
- [24] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [25] 田治国,杨艳. 万寿菊9个品种高温半致死温度与耐热性研究[J]. 江苏林业科技,2016,43(6):38-40.
- [26] WAHID A, GELANI S, ASHRAF M, et al. Heat tolerance in plants: An overview[J]. Environmental & Experimental Botany, 2007, 61(3):199-223.
- [27] MARTINEAU J R, SPECHT J E, WILLIAMS J H, et al. Temperature tolerance in soybeans, evaluation of a technique for

- assessing cellular membrane thermostability[J]. Crop Science, 1979, 19(1): 75-78.
- [28] WAHID A, SHABBIR A. Induction of heat stress tolerance in barley seedlings by pre-sowing seed treatment with glycinebetaine[J]. Plant Growth Regulation, 2005, 46(2): 133-141.
- [29] BLUM A, KLUEVA N, NGUYEN H T. Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress[J]. Euphytica, 2001, 117(2): 117-123.
- [30] MITTLER R. Abiotic stress, the field environment and stress combination[J]. Trends in Plant Science, 2006, 1(11): 15-19.
- [31] WANG W, VINOCUR B, LTMANA A. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance[J]. Planta, 2003, 1(218): 1-14.
- [32] REPO T, LAPPI J. Estimation of standard error of impedance-estimated frost resistance[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1989, 4(1): 67-74.
- [33] REPO T, ZHANG G, RYYP A, et al. The relation between growth cessation and frost hardening in *Scots pines* of different origins[J]. Trees, 2000, 14(8): 456-464.
- [34] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 5版. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [35] 张月雅, 刘明磊, 颜小梅, 等. 4种蕨类植物耐热性测定[J]. 吉林农业大学学报, 2015, 37(3): 313-316.
- [36] 廖明安. 园艺植物研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- [37] 张景云, 赵晓东, 万新建, 等. 小白菜耐热性鉴定及其耐热性分析[J]. 核农学报, 2014, 28(1): 146-153.
- [38] HATICE GULEN A E. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants[J]. Plant Science, 2003, 166(3): 739-744.
- [39] 蔡化, 张鹤山, 田宏, 等. 5份野生鸭茅材料高温半致死温度与耐热性研究[J]. 湖北农业科学, 2014, 53(24): 6068-6070.
- [40] ASHRAF M, SAEED M M, QURESHI M J. Tolerance to high temperature in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at initial growth stages[J]. Environmental & Experimental Botany, 1994, 34(3): 275-283.
- [41] 史彦江, 宋锋惠, 俞涛, 等. 高温胁迫下平欧杂种榛品种的耐热性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(28): 23-28.
- [42] 夏莹莹, 叶航, 马锦林, 等. 4个油茶品种的半致死温度与耐热性研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(4): 58-61.
- [43] 刘志高, 邵伟丽, 申亚梅, 等. 铁线莲品种耐热性分析及评价指标筛选[J]. 核农学报, 2020, 34(1): 203-213.
- [44] 李娜, 徐慧, 陈晓璇. 武汉地区4种花灌木的耐热性测定[J]. 安徽农业科学, 2014(31): 10998-10999.
- [45] 陈碧露, 罗素梅, 刘小平, 等. 不同品种月季的耐热性鉴定[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(13): 178-180.
- [46] 孙欧文. 高温干旱胁迫对4个绣球品种生理生化特性的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2019.
- [47] 曾奕, 杨伟权, 郁书君. 绣球花的育种研究进展[J]. 广东农业科学, 2018, 45(6): 36-43.

Heat Resistance of Eight Cultivars of *Hydrangea macrophylla* by Logistic Equation

LING Rui¹, DONG Na¹, LIU Huibin¹, ZHENG Zexin², ZHAI Junwen¹, WU Shasha¹

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agricultural and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. Fujian Hydrangea Flower Technology Co. Ltd., Yongchun, Fujian 362600)

Abstract: Eight *Hydrangea macrophylla* cultivars were selected as experimental materials. The changes of cell injury rate of functional leaves of *Hydrangea macrophylla* at 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 °C and 70 °C were measured by conductivity method. The semi-lethal high temperature was obtained by logistic equation fitting, and the adaptability of different *Hydrangea macrophylla* cultivars to high temperature environment was compared. In order to evaluate the heat resistance of *Hydrangea macrophylla* cultivars, and provide a reference for the application of *Hydrangea macrophylla* cultivars in urban and rural landscaping in Southern China. The results showed that after high temperature treatment, the cell injury rate and treatment temperature showed a typical ‘S’ curve model, and the significance test was in accordance with the logistic equation. The semi-lethal high temperature range of the eight *Hydrangea macrophylla* cultivars ranged from 54.81 °C to 60.07 °C, and the order of heat resistance from strong to weak was ‘Princess Charlotte’ (60.07 °C) > ‘Stockings’ (57.67 °C) > ‘Endless Summer’ (57.07 °C) > ‘Taube’ (56.95 °C) > ‘Stiletto’ (56.94 °C) > ‘Mona Lisa’ (56.64 °C) > ‘Endless Summer Bride’ (56.35 °C) > ‘Kasumi’ (54.81 °C).

doi:10.11937/bfyy.20202182

磷供应水平对盆花月季‘仙境’生长和品质的影响

马庆华, 贺淑霞, 王伟南, 曹 晗, 李 贺

(中国林业科学研究院 华北林业实验中心, 北京 102300)

摘 要:以盆花月季‘仙境’为试材,采用根部浇灌方式,设置 0(P₀)、10(P₁₀)、20(P₂₀)、30(P₃₀)g·柱⁻¹4个磷供应水平,研究了磷水平对盆花月季‘仙境’根系生长、不同器官氮磷养分吸收、叶片 SPAD 值以及开花品质(花朵数量、花径、花朵干质量等)的影响,以期为月季养分管理提供参考依据。结果表明:磷不同供应水平明显改变了‘仙境’的根系形态,P₂₀和 P₃₀处理较 P₀和 P₁₀处理,总根长增加了 81%~111%,总根表面积扩大了 133%~196%,细根总长度增加了 95%~119%。植株不同器官(新生叶片、新生枝条和根系)生物量和氮、磷养分积累量表现出与根系生长类似的趋势。与 P₀和 P₁₀处理相比,P₂₀和 P₃₀处理单株花朵数量增加 128%~206%,叶片 SPAD 值增加 16%~21%。与对照 P₀相比,P₁₀、P₂₀和 P₃₀花径分别增加 12%、19%和 24%。植株总根长与总氮和总磷吸收量表现出显著的正相关关系。综上所述,盆花月季‘仙境’对不同磷供应水平表现出高度的根形态可塑性,适宜的磷供应水平促进根系生长和养分吸收,提高开花数量和品质。

关键词:磷;根形态;养分吸收;开花品质;月季‘仙境’

中图分类号:S 365 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2021)11-0069-07

月季(*Rosa hybrida* L.)是世界上重要的观赏植物种类之一,素有“花中皇后”之称^[1]。其种

第一作者简介:马庆华(1979-),女,博士,助理研究员,现主要从事氮磷养分高效吸收及根际调控机理等研究工作。

E-mail:maqinghua519@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31700559)。

收稿日期:2020-05-28

类繁多,耐寒、耐旱、抗病,对环境适应性强,广泛应用于城市环境绿化^[2]。欧美国家许多礼品用花逐渐被花期长、花色丰富的盆栽月季所代替^[3]。在生产栽培过程中,肥料用量对月季生长发育和开花品质影响很大,科学的养分管理与调控是现代农业发展的关键课题^[4]。近年来,针对农作物养分管理的研究已取得重大进展,然而针对多年

According to the semi-lethal high temperature, the above cultivars could be divided into three groups, the first group ‘Princess Charlotte’ was a more heat-resistant cultivar, with an average semi-lethal high temperature of 60.07 °C. This cultivar was a potential excellent cultivar applied in high-temperature areas; the second group included ‘Tricolor’, ‘Stockings’, ‘Endless Summer’, ‘Taube’, ‘Stiletto’, ‘Mona Lisa’ were moderately heat-resistant cultivars, with an average semi-lethal high temperature of 56.94 °C; the third group included only ‘Kasumi’ that was not heat-resistant, with an average semi-lethal high temperature of 54.81 °C. It was more suitable for planting in lower temperature areas.

Keywords: *Hydrangea macrophylla* cultivars; heat resistance; Logistic equation; cell injury rate; semi-lethal high temperature