

单叶刺槐半同胞子代虫害指数及其与叶色参数的相关性

徐立人¹, 曹丽娜¹, 刘 宠¹, 柳俊明², 王立成², 李清泉², 杨敏生³, 张 军³, 李彦慧^{1*} (1. 河北农业大学园林与旅游学院, 河北保定 071000; 2. 河北省保定市满城区苗圃场, 河北保定 071000; 3. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000)

摘要 以单叶刺槐母本(A1-1)及8个叶形产生明显变异的半同胞子代无性系(A2-1、A15-1、C23-1、B24-3、A8-4、C9-2、A21-1、A16-1)为材料, 调查统计各无性系的虫害指数, 并测定各无性系健康叶片的叶色参数, 通过相关性分析, 筛选与虫害指标相关度高的叶色参数, 进而建立方程模型, 并对各样本的抗虫性作出评价。结果表明, 各无性系虫害的程度与叶形变异无关, 但与叶色参数 L^* 之间呈显著负相关($P<0.05$), 方程为 $y=-4\,405.111x+103.220x^2-0.806x^3+62\,666.130$, 相关系数为 -0.757 。各无性系按抗虫性强弱可分为4类, 第Ⅰ类包括A8-4、A16-1、A15-1、C23-1, 抗虫性相对较强, 其中A15-1兼具抗虫性与叶色特异性; 第Ⅱ类包括A1-1、B24-3、C9-2, 抗虫性中等; 第Ⅲ类为A21-1, 抗虫性较弱; 第Ⅳ类为A2-1, 抗虫性弱。

关键词 单叶刺槐; 叶色参数; 虫害指数; 相关性分析; 抗虫性

中图分类号 S792.27 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0152-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.038



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Pest Index of Half Sib Progenies of *Robinia. pseudoacacia*f. *unifolia* and Its Correlation with Leaf Color Parameters

XU Li-ren, CAO Li-na, LIU Chong et al (College of Landscape Architecture and Tourism, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

Abstract Based on *Robinia. pseudoacacia*f. *unifolia* female parent (A1-1) and its eight half progenies (A2-1, A15-1, C23-1, B24-3, A8-4, C9-2, A21-1, A16-1) with obvious leaf shape variation, the pest index of each clone was investigated and counted, and the leaf color parameters of healthy leaves of each clone were measured. Through correlation analysis, the leaf color parameters with high correlation with pest index were screened, and then cube was built. The resistance of each sample was evaluated. The results showed that the degree of pest was not related to the variation of leaf shape, but was negatively related to the leaf color parameter L^* ($P<0.05$). The equation was $y=-4\,405.111x+103.220x^2-0.806x^3+62\,666.130$, and the correlation coefficient was -0.757 . The clones can be divided into four categories according to their insect resistance. The first category includes A8-4, A16-1, A15-1 and C23-1, with relatively strong insect resistance, in which A15-1 has both insect resistance and leaf color specificity; the second category includes A1-1, B24-3 and C9-2, with medium insect resistance; the third category is A21-1, with weak insect resistance; the fourth category is A2-1, with weak insect resistance.

Key words *Robinia. pseudoacacia*f. *unifolia*; Leaf color parameters; Pest index; Correlation analysis; Insect resistance

刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)又名洋槐, 属豆科刺槐属多年生落叶乔木, 其根系发达、萌芽性强、生长迅速、适应性强, 是园林绿化和水土保持的优良树种, 现已成为我国北方优良的水土保持树种^[1-3]。单叶刺槐(*Robinia. pseudoacacia*f. *unifolia*)是刺槐的变种, 主要特征是复叶仅有一个或几个小叶片, 小叶面积明显大于普通刺槐。2004年从德国引进了单叶刺槐无性系, 发现其与普通刺槐混栽可产生种子, 半同胞家系中复叶的叶色、小叶数、叶面积等发生明显的变异, 部分子代具有开发观赏价值的潜质^[4]。

色彩的本质是电磁波, 波长差异导致颜色不同, 植物叶色的差异主要是叶片对光的吸收和反射情况不同导致的^[5-6]。虫害一直是困扰园林发展的突出问题^[7], 昆虫对于不同波长的电磁波敏感程度不同, 致使其对特定颜色有趋向性^[8-10]。目前, 已有众多关于叶色参数与色素相关性的研究^[11-12], 但叶色参数的差异是否与虫害的严重程度有关鲜有报道, 对单叶刺槐及其半同胞子代的研究也仅限于组培体系的建立^[13]和子代SSR鉴定^[4]等。

该试验以单叶刺槐及8个叶形产生明显变异的半同胞子代无性系为材料, 测定其叶色参数并统计虫害指数, 进行相关性分析, 筛选与虫害指数显著相关的叶色指标, 并建立方程模型, 同时对全部样本的抗虫性作出评价, 以为今后单叶刺槐新品种选育、病虫害研究以及在园林中的合理应用提供重要的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料 2019年5月5日选取单叶刺槐母本及已通过SSR分子鉴定的26个子代, 嫁接在定植于河北保定市满城区苗圃场的2年生普通刺槐上, 形成27个无性系, 每个无性系嫁接20株。

2019年8月27日, 选取长势一致的单叶刺槐母本(A1-1)及8个叶形产生明显变异的子代(A2-1、A15-1、C23-1、B24-3、A8-4、C9-2、A21-1、A16-1), 以叶片为材料(表1), 进行虫害的田间调查及叶色参数测定。

1.2 方法

1.2.1 虫害的田间调查。参照江世宏^[14]的方法, 并适当改进, 从每个参试无性系随机选择长势一致的5株进行虫害调查, 每株随机调查相同部位小叶100枚, 共500枚, 对每枚叶片的受害情况进行分级, 进而计算该无性系的虫害指数, 虫害指数越高, 其受害程度越深, 具体的分级标准及虫害指数计算公式如下:

0级, 叶片上无害虫; 1级, 叶片有害虫但无虫害现象; 2

基金项目 河北省重点研发计划项目“刺槐优异种质创制及新品种培育”(19226330D); 国家重点研发计划课题“刺槐速生建筑材林高效培育技术研究”(2017YFD0600503)。

作者简介 徐立人(1995—), 男, 河北保定人, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物遗传育种。* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事园林植物栽培和育种方面研究。

收稿日期 2020-04-26; **修回日期** 2020-05-22

级,叶片因受到虫害出现皱缩不展,或受害面积介于 25%~50%;3 级,叶片因受到虫害出现皱缩半卷,或受害面积介于 50%~75%;4 级,叶片因受到虫害出现皱缩半卷,或受害面积大于 75%。

虫害指数 = $\frac{\sum (\text{虫害级别代表值} \times \text{该级叶片数量})}{\text{最高分级级数} \times \text{调查总叶片数量}} \times 100\%$

表 1 各参试无性系的叶形特征

Table 1 Leaf shape characteristics of all clones		
序号 No.	编号 Code	叶形特点 Leaf shape characteristics
1	A1-1	复叶 1~3 小叶,1 小叶为主
2	A2-1	复叶 1~3 小叶,3 小叶为主
3	A15-1	复叶 15~19 小叶,19 小叶为主
4	C23-1	复叶 17~23 小叶,17 小叶为主
5	B24-3	复叶 3~5 小叶,3 小叶为主
6	A8-4	复叶 17~21 小叶,21 小叶为主
7	C9-2	复叶 17~19 小叶,17 小叶为主
8	A21-1	复叶 1~3 小叶,3 小叶为主
9	A16-1	复叶 17~19 小叶,17 小叶为主

1.2.2 叶色参数的测定。从“1.2.1”选取的各无性系试验株中,每株随机采集相同部位完整、无病虫害的小叶 5 枚,每个无性系共 25 枚,带回实验室。叶色参数的测定参照 Sarker 等^[15]的方法,采用日本产 Minolta CR-400 型全自动色差计测定并记录各叶片的 L^* 、 a^* 、 b^* 、 h 值,每个叶片重复测定 3 次。其中, L^* 表示光泽度, L^* 值越大,叶片亮度越高, L^* 值越小,叶片亮度越低; a^* 表示红/绿值, a^* 值越大,叶片红色越深,反之绿色越深; b^* 表示黄/蓝值, b^* 值越大,叶片黄色越深,反之蓝色越深; h 表示色相角,是区分不同色彩最准确的标准。

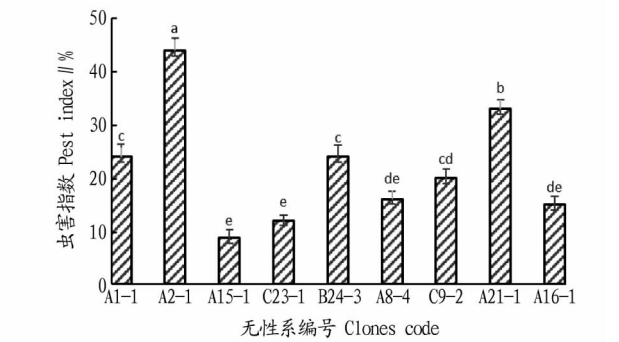
1.2.3 数据处理与分析。采用 SPSS 25.0 对数据进行单因素方差分析、相关性分析和聚类分析,采用 Excel 2016 进行图表的绘制。

2 结果与分析

2.1 虫害指数 由母本及不同编号子代的虫害指数统计结果可知(图 1),子代 A2-1、B24-3、A21-1 的虫害指数分别比母本提高了 83.33%、1.21%、37.51%,与母本相比,A2-1、A21-1 差异显著,B24-3 差异不显著,说明子代 A2-1 和 A21-1 的叶片受虫害程度较母本显著加深。子代 A15-1、C23-1、A8-4、C9-2、A16-1 的虫害指数分别比母本降低了 63.75%、50.21%、33.33%、16.67%、37.50%,与母本的虫害指数相比,A15-1、C23-1、A8-4、A16-1 差异显著,C9-2 与母本之间无显著差异,说明子代 A15-1、C23-1、A8-4、A16-1 的叶片抗虫性显著优于母本。

进一步以虫害指数为依据进行样本间聚类分析(图 2),当类间最短距离为 5 时,全部样本可按抗虫性强弱分为 4 类,第 I 类包括 A8-4、A16-1、A15-1、C23-1,抗虫性相对较强;第 II 类包括母本、B24-3、C9-2,抗虫性中等;第 III 类为 A21-1,抗虫性较弱;第 IV 类为 A2-1,抗虫性弱。

2.2 叶色参数 由图 3A 可知,子代 A15-1、C23-1、B24-3、



注:小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different small letters indicated significant difference ($P<0.05$)

图 1 单叶刺槐半同胞子代叶片虫害指数
Fig. 1 Pest index of half sib progenies of Robinia pseudoacacia. unifolia

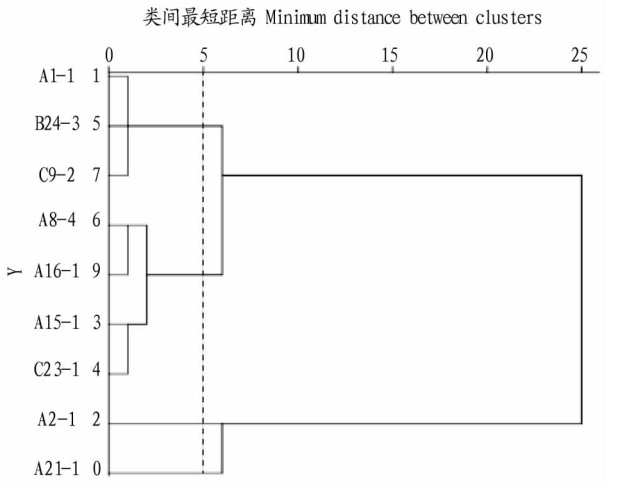


图 2 单叶刺槐半同胞子代叶片虫害指数聚类分析图
Fig. 2 Cluster analysis of leaf pest index of half sib progenies of Robinia pseudoacacia. unifolia

A8-4 的 L^* 值分别比母本提高了 8.5%、4.4%、1.6%、0.1%,与母本相比,A15-1 差异显著,C23-1、B24-3、A8-4 差异不显著,子代 A2-1、C9-2、A21-1、A16-1 的 L^* 值分别比母本降低了 5.5%、3.4%、3.8%、2.3%,与母本相比,A2-1、C9-2、A21-1 差异显著,A16-1 差异不显著,说明母本相比,A15-1 的叶片更具光泽,A2-1、C9-2、A21-1 的叶片光泽度相对较低。

由图 3B 可知,子代 A2-1、B24-3、A8-4、A21-1 的 a^* 值分别比母本提高了 0.4%、1.6%、0.5%、2.9%,与母本相比均无显著差异,子代 A15-1、C23-1、C9-2、A16-1 的 a^* 值分别比母本降低了 13.4%、12.6%、1.9%、0.1%,与母本相比 A15-1、C23-1 差异显著,C9-2、A16-1 无显著差异,说明与母本相比,子代 A15-1、C23-1 的叶片绿色更深。

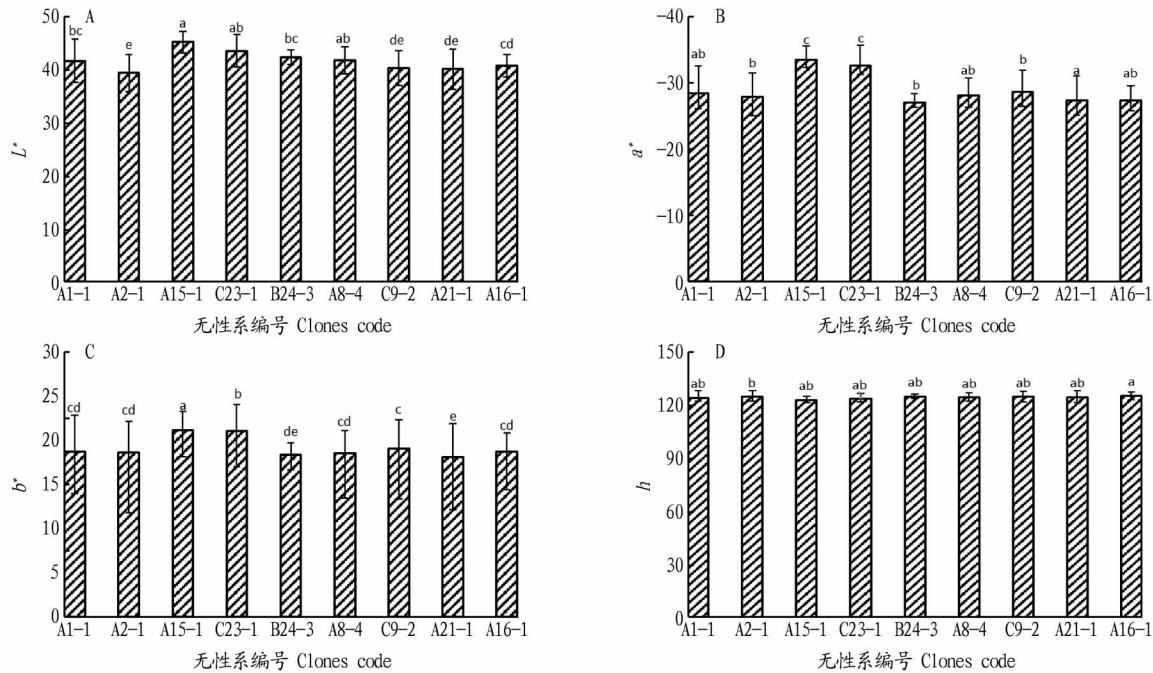
由图 3C 可知,子代 A15-1、C23-1、C9-2 的 b^* 值分别比母本提高了 17.7%、14.6%、0.8%,与母本相比 A15-1、C23-1 差异显著,C9-2 差异不显著,子代 A2-1、B24-3、A8-4、A21-1、A16-1 的 b^* 值分别比母本降低了 1.9%、5.1%、1.1%、4.0%、4.3%,与母本相比,A21-1 差异显著,B24-3、A8-4、

A2-1、A16-1 差异不显著,说明与母本相比,子代 A15-1、C23-1 叶色显著偏黄,A21-1 叶色显著偏蓝。

由图 3D 可知,子代 A2-1、B24-3、A8-4、C9-2、A21-1、A16-1 的 h 值分别比母本提高了 0.56%、0.60%、0.23%、0.51%、0.49%、0.97%,子代 A15-1、C23-1 的 h 值分别比母

本降低了 0.87、0.38%,各子代与母本之间的 h 值均无显著差异,说明各样本叶片的色相角相对一致。

综合 4 个叶色参数,仅子代 A8-4、C9-2 与母本相比无显著差异,其余子代与母本相比均差异显著。



注:小写字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)
Note: Different small letters indicated significant difference ($P<0.05$)

图 3 单叶刺槐半同胞子代叶色参数

Fig. 3 Leaf color parameters of half sib progenies of *Robinia pseudoacacia* *unifolia*

2.3 单叶刺槐虫害指数与叶色参数及小叶数量的相关性分析 以各无性系的虫害指数为因变量,叶色参数、小叶数量为自变量,利用逐步回归法,进行多元线性回归分析,进而剔除与虫害指数相关性不显著的自变量,构建最优线性回归方程。由表 2 可知,虫害指数与 a^* 、 b^* 、 h 及小叶数量之间相关性不显著,无法进行曲线拟合,说明各无性系所受虫害的严重程度与 a^* 、 b^* 、 h 及叶形变异无关。虫害指数与 L^* 之间呈显著负相关,二者之间呈良好的三次曲线关系,拟合度为 75.70%,方程为 $y = -4\,405.111x + 103.220x^2 - 0.806x^3 + 62\,666.130$,说明就该试验的各参试无性系而言,叶片光泽度越低,所受虫害程度越深。

表 2 单叶刺槐虫害指数与各叶色参数及小叶数量之间的关系
Table 2 Correlation analysis between pest index and leaf color parameters and number of leaflets of *Robinia pseudoacacia* *unifolia*

指标 Index		R^2	r
虫害指数 Pest index	L^*	0.769	-0.757 *
	a^*	0.410	0.640
	b^*	0.357	-0.598
	h	0.256	0.506
	小叶数量	0.468	-0.667

注: * 表示在 0.05 水平差异显著
Note: * indicated significant difference at the 0.05 level

3 结论与讨论

相较于感官鉴别,利用色差测定叶色参数可以实现叶色的数字化,可准确、客观地反映出不同叶片颜色的差异^[16]。通过筛选与虫害指数密切相关的叶色参数,建立方程模型,可以通过叶色对虫害进行预估,为虫害防治争取充足的时间。

该试验对单叶刺槐母本及 8 个半同胞子代的虫害指数进行调查统计,同时测定其叶色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 、 h 值。结果表明半数以上子代的抗虫性优于母本,这与贾会霞等^[17]对欧洲黑杨的研究中,多数杂交子代的抗虫性显著优于母本的结论一致,这也充分体现了“杂种优势”^[18]。叶色参数的测定结果表明除子代 A8-4、C9-2 的叶色与母本相比无显著差异外,其余子代的叶色与母本之间均存在显著差异,这与张晶等^[19]在对观赏海棠的研究中其半同胞子代叶色与母本相比出现显著变异的结论一致,这也进一步体现了杂交育种是特异性状选育的有效手段。相关性分析表明虫害指数与 a^* 、 b^* 、 h 及小叶数量之间相关性不显著,与 L^* 之间呈良好的三次曲线关系,呈显著负相关,说明叶片光泽度越低,虫害越深,原因可能是由于害虫更趋向于此波长的叶色,也有可能是由于光泽度低的叶片叶表皮相对较薄,害虫更易啃食^[20]。

该研究表明,利用叶色参数 L^* 可有效预估该试验各参试无性系的虫害指数,方程为 $y = -4\,405.111x + 103.220x^2 - 0.806x^3 + 62\,666.130$,为今后单叶刺槐的虫害预估提供了重要的理论参考,同时子代 A8-4、A16-1、A15-1、C23-1 的抗虫性显著优于母本,且子代 A15-1 的叶片与母本相比更具光泽且偏黄,兼具抗虫性和观赏潜质,这也为今后单叶刺槐新品种选育工作提供了理论依据。

参考文献

[1] 吴会峰,任丽娜,郝文芳,等. 黄土丘陵区刺槐群落林下物种分布对环境因子的响应[J]. 应用生态学报,2019,30(11):3646-3652.

[2] 徐秀琴,杨敏生. 刺槐资源的利用现状[J]. 河北林业科技,2006(S1):54-57.

[3] 潘红伟,杨敏生. 刺槐的繁殖及适应性研究进展[J]. 河北农业大学学报,2003,26(S1):105-108,111.

[4] 鲁丹丹,徐卫华,孟庆新,等. 单叶刺槐半同胞子代苗期性状变异分析[J]. 河北农业大学学报,2018,41(2):36-41,48.

[5] 杨傅子. 从 plasmon 到 nanoplasmonics——近代光子学前沿及液晶在其动态调制中的应用[J]. 物理学报,2015,64(12):18-46.

[6] 邓磊,温敏,郭微,等. 干旱胁迫及复水对4种鸭跖草科植物叶色生理生化影响[J]. 生态学杂志,2020,39(2):478-486.

[7] 廖一鸣,杨彩霞,于永清. 沈阳大学校园及周边常见园林植物病虫害调查与鉴定[J]. 沈阳大学学报(自然科学版),2018,30(6):452-457.

[8] 边磊,孙晓玲,高宇,等. 昆虫光趋性机理及其应用进展[J]. 应用昆虫学报,2012,49(6):1677-1686.

(上接第 107 页)

[6] 项敬银,俞飞,伊力塔,等. 模拟酸雨和镉复合处理对秃瓣杜英生长和荧光参数的影响[J]. 生态学报,2018,38(15):5443-5451.

[7] HAYMAN D S,TAVARES M. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XV. Influence of soil pH on the symbiotic efficiency of different endophytes[J]. New phytologist,1985,100(3):367-377.

[8] BROWN S L,CHANEY R L,ANGLE J S,et al. Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and bladder campion for zinc-and cadmium-contaminated soil[J]. Journal of environmental quality,1994,23:1151-1157.

[9] 徐佩贤,费凌,陈旭兵,等. 四种冷季型草坪植物对镉的耐受性与积累特性[J]. 草业学报,2014,23(6):176-188.

[10] LUO H J,LI H Y,ZHANG X Z,et al. Antioxidant responses and gene expression in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) under cadmium stress[J]. Ecotoxicology,2011,20(4):770-778.

[11] 冯鹏,孙力,申晓慧,等. 多年生黑麦草对 Pb、Cd 胁迫的响应及富集能力研究[J]. 草业学报,2016,25(1):153-162.

[12] 李慧芳,王瑜,袁庆华. 镉胁迫对多年生黑麦草生长及生理特性的影响[J]. 中国草地学报,2014,36(4):79-84.

[13] 何影,马森. 入侵植物意大利苍耳种子萌发对环境因子的响应[J]. 生态学报,2018,38(4):1226-1234.

[14] 黄婷,邵辉,吴坤胜,等. 模拟酸雨对黑麦草种子萌发及生理特性的影响[J]. 种子,2011,30(4):8-11.

[15] 殷秀敏,余树全,江洪,等. 酸雨胁迫对秃瓣杜英幼苗叶片叶绿素荧光特性和生长的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(6):1374-1380.

[16] 陶巧静,付涛,项锡娜,等. 模拟酸雨对西洋杜鹃生理生态特性的影响[J]. 生态学报,2014,34(8):2020-2027.

[17] 殷秀敏,伊力塔,余树全,等. 酸雨胁迫对木荷叶片气体交换和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1556-1562.

[9] 董震,齐艳梅,伍祎,等. 6种储粮害虫对不同颜色的趋性研究[J]. 粮油食品科技,2020,28(1):100-104.

[10] YU J L,SHARPE S M,VALLAD G E,et al. Pest control with drip-applied dimethyl disulfide and chloropicrin in plastic-mulched tomato (*Solanum lycopersicum* L.)[J]. Pest management science,2020,76(4):1569-1577.

[11] 朱婷,章陆杨,许志敏,等. 遮光及复光处理对紫叶狼尾草叶色及生理变化的影响[J]. 草地学报,2019,27(1):263-268.

[12] 齐睿,李小红,石博雨,等. 红叶石楠转色期叶片色彩参数与色素含量的相关性分析[J]. 河南农业科学,2019,48(4):93-101.

[13] 刘芳伊. 单叶刺槐和百子莲组培快繁体系建立[D]. 保定:河北农业大学,2013.

[14] 江世宏. 园林植物病虫害防治[M]. 4版. 重庆:重庆大学出版社,2019.

[15] SARKER U,OBA S. Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables[J]. Journal of the science of food and agriculture,2019,99(5):2275-2284.

[16] 王燕龙,车晓雨,刘煜光,等. 银杏秋季叶色参数及色素含量的变化研究[J]. 河北农业大学学报,2015,38(5):28-32.

[17] 贾会霞,孙佩,李建波,等. 丹红杨×转 *BtCry1Ac* 欧洲黑杨杂交子代抗虫性及生长量测定[J]. 分子植物育种,2017,15(10):4101-4109.

[18] LIU H J,WANG Q,CHEN M J,et al. Genome-wide identification and analysis of heterotic loci in three maize hybrids[J]. Plant biotechnology journal,2020,18(1):185-194.

[19] 张晶,浦静,赵聪,等. 3个观赏海棠半同胞家系子代叶色动态分析与初选[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(3):37-44.

[20] 张宝元,王丽,阿春花,叶蜡含量与昆虫取食行为[J]. 青海农林科技,2002(1):1-3,6.

[18] 鲁美娟,江洪,李巍,等. 模拟酸雨对刨花楠幼苗生长和光合生理的影响[J]. 生态学报,2009,29(11):5986-5994.

[19] 魏树和. 超积累植物筛选及污染土壤植物修复过程研究[D]. 沈阳:中国科学院研究生院(沈阳应用生态研究所),2004.

[20] 刘威,束文圣,蓝崇钰. 宝山堇菜(*Viola baoshanensis*)——一种新的镉超富集植物[J]. 科学通报,2003,48(19):2046-2049.

[21] 聂发辉. 镉超富集植物商陆及其富集效应[J]. 生态环境,2006,15(2):303-306.

[22] WEI S H,ZHOU Q X,WANG X,et al. A newly-discovered Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. [J]. Chinese science bulletin,2005,50(1):33-38.

[23] SUN Y B,ZHOU Q X,WANG L,et al. Cadmium tolerance and accumulation characteristics of *Bidens pilosa* L. as a potential Cd-hyperaccumulator[J]. Journal of hazardous materials,2009,161(2/3):808-814.

[24] TANG Y T,QU R L,ZENG X W,et al. Zn and Cd hyperaccumulating characteristics of *Picris divaricata* Vant. [J]. International journal of environment and pollution,2009,38(1/2):26-38.

[25] LIU F J,TANG Y T,DU R J,et al. Root foraging for zinc and cadmium requirement in the Zn/Cd hyperaccumulator plant *Sedum alfredii* [J]. Plant and soil,2010,327(1/2):365-375.

[26] LIU Z L,CHEN W,HE X Y,et al. Cadmium-induced physiological response in *Lonicera japonica* Thunb. [J]. Clean-soil air water,2013,41(5):478-484.

[27] 张尧,田正贵,曹翠玲,等. 黑麦草幼苗对镉耐性能力及吸收积累和细胞分布特点研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(11):2080-2086.

[28] 陈红纯,吴科君,李瑞,等. 外源有机酸对镉胁迫下秋华柳镉积累特征的影响[J]. 生态学报,2019,39(12):4510-4518.

[29] 陈雪娇,韩航,侯晓龙,等. 水土保持植物类芦对土壤酸胁迫的形态生理响应[J]. 草业学报,2017,26(4):143-149.