浙 江 林 业 科 技，2020，40（5）：84－88
J Zhejiang For Sci Technol

doi:10.3969/j.issn.1001-3776.2020.05.015

我国观赏海棠抗逆性研究进展

刘慧春，朱开元，周江华，张加强，谭　晨

（浙江省农业科学院 花卉研究开发中心，浙江　杭州　311251）

摘要：观赏海棠 *Malus* spp.为蔷薇科 Rosaceae 苹果属 *Malus* 或木瓜属 *Chaenomeles* 观赏树种，包括国内常见的西府海棠 *Malus micromalus*，皱皮木瓜（别名贴梗海棠）*Chaenomeles speciosa*，垂丝海棠 *M. halliana* 等种类以及一类来自国外被统称为北美海棠的品种。文章分别从我国观赏海棠的抗寒性、抗旱性、抗高温、抗盐碱以及抗病虫害等方面进行了综述，并提出今后可从抗逆性分子层面进行研究，如抗性基因的筛选、克隆、鉴定以及分子标记等方面，在抗病虫害研究方面，通过生物防治措施以减少农药的施用和对环境的污染。

关键词：观赏海棠；抗逆性；抗寒性；抗旱性；耐高温；耐盐碱

中图分类号：S685.99　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1001-3776（2020）05-0084-05

Research Progress on Resistance of Ornamental Crabapple in China

LIU Hui-chun，ZHU Kai-yuan，ZHOU Jiang-hua，ZHANG Jia-qiang，TAN Chen

（Research & Development Center of Flower, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 311251, China）

Abstract: Ornamental crabapple, species of *Malus* or *Chaenomeles* of Rosaceae, includes common species of *M.* micro*Malus*, *C. speciosa*, *M. halliana* in China, and introduced species or cultivars from abroad naming as North American Begonia. Reviews were made on researches of low temperature, drought, high temperature salt and alkali stress on crabapple and disease resistance. Propositions were put forwarded in the future research such as molecular mechanism of stress resistance.

Key words: ornamental crabapple; resistance; cold resistance; drought resistance; high temperature tolerance; alkali-resisting

观赏海棠 *Malus* spp.是蔷薇科 Rosaceae 苹果属 *Malus* 或木瓜属 *Chaenomeles* 的灌木或小乔木，我国是其资源分布中心，目前主要有 23 种[1]。因其树形优美，花团锦簇，具有较强的环境适应性和抗逆性，如耐瘠薄、耐寒、耐旱等，受到大众喜爱并在各种园林景观中得到了应用，如西府海棠 *M. micromalus*，皱皮木瓜（别名贴梗海棠）*Chaenomeles speciosa* 和垂丝海棠 *M. halliana*[2]。早在 20 世纪 80 年代，国内学者就开始对现代观赏海棠进行了关注，并开始引种。截至 2015 年，已从国外引种几十甚至上百个观赏海棠品种，这些品种被统称为“北美海棠”，而且其应用范围也在不断扩大[3]，目前园林上已得到应用的有 40 余个品种。观赏海棠不仅品种丰富，且具有独特的观赏效果，尤其是一些观果品种到了秋冬季节，满树果实的景观效果更是一道亮丽的风景线。在现代园林重景观更重文化的大背景下，将观赏海棠营造的自然景观与传统文化艺术结合起来，已成为我国观赏海棠园林应用的主流，从丰富的观赏海棠品种中选育出既具有较好观赏性又具有较强抗逆性的新优品种，将可能成为广大科研工作者的研究热点。

收稿日期：2020-03-09；**修回日期**：2020-07-17

基金项目：浙江省农业科学院新成果示范推广项目“赏食兼用型新优园林植物北美海棠复合栽培新技术示范”（tg202015）资助

作者简介：刘慧春，博士，从事园林植物种质创新及观赏花卉逆境生理及分子调控研究；E-mail: 52011648@qq.com。

为此，本文对观赏海棠的各种抗逆性，如抗寒性、抗旱性、抗高温、抗盐碱以及抗病虫害等方面进行了综述，对观赏海棠抗逆性方面进行了多层面的解析，旨在为观赏海棠今后的抗逆性分子机理研究、新品种选育及其园林推广应用提供一定的理论依据。

1　低温胁迫研究进展

在所有影响植物地理分布和移栽成活的环境因素中，低温胁迫是其关键因子之一。当环境温度持续低于植物生长的最低温度时即对植物形成低温胁迫，主要是冷害和冻害。低温胁迫对植物的影响主要体现在一些生理变化方面，如酶活性的改变、膜系统的失衡以及细胞失水等，从而导致植物细胞的新陈代谢紊乱，严重的失衡导致细胞死亡，从而造成植物生长发育停止，极大地降低植物的观赏价值。

观赏海棠属于具有较高抗寒性的北方园林观赏树木，但不同品种的抗寒能力却存在显著差异。李萍萍等[4]以‘凯尔斯’*M.*‘Kelsey’、‘绚丽’*M.*‘Radiant’等 15 个观赏海棠品种的 1 年生休眠枝为试材，对其进行不同低温处理，分别对不同温度处理下相关生理生化指标进行了测定，得出 15 个观赏海棠品种（系）的抗寒性强弱排序，其中，‘凯尔斯’的抗寒性最好，抗寒性最差的是‘亚当’*M.*‘Admas’。韩玲玲等[5]采用电导率法，通过半致死温度鉴定了包头地区引种的 6 个观赏海棠品种的抗寒性强弱，得出这 6 个观赏海棠品种的抗寒性有显著差异，相对电导率随着处理温度的降低呈“S”形上升，各海棠品种抗寒性强弱顺序为：‘红宝石’*M.*‘Red Jew elberry’>‘珍珠’*M.*‘Pearl’>‘亚当’>西府海棠>‘钻石’*M.*‘Sparkler’>‘绚丽’。郭云芳等[6]研究了 6 个观赏海棠品种在低温胁迫下的生理生化指标变化趋势，发现其相对电导率、丙二醛含量、可溶性蛋白含量及 SOD 活性等指标均有所上升，6 个观赏海棠品种的耐寒性强弱从强到弱排序为：‘凯尔斯’>‘红丽’*M.*‘Red Splendor’>‘绚丽’>‘火焰’*M.*‘Flame’>‘雪球’*M.*‘Snowdrift’>‘草莓果冻’*M.*‘Strawberry Parfait’。邱英杰等[7]对冬季观果效果好的 11 个观赏海棠品种的耐寒性进行比较和评价，得出‘粉芽’*M.*‘Pink Spires’和突变海棠这两个品种的耐寒性最强；另外五个品种如北美 2 号、‘斯普伦格教授’*M.*‘Professor Sprenger’、‘金色丰收’*M.*‘Harvest Gold’、‘草原之火’*M.*‘Prairifire’和北美 10 号的耐寒性中等；其余 4 个品种如北美 7 号、北美 11 号、‘草莓果冻’和西府海棠的耐寒性最弱。巴哈尔古丽•阿尤甫等[8]以 10 份北美海棠品种的 1 年生枝条为试验材料，测定了其抗寒性强弱，发现被检测的 10 个北美海棠品种均具有较强的抗寒性，除‘草莓果冻’能抵御 –40 ~ –35℃的最低温度外，其他品种可以抵御的最低温度都在 –40℃以下。

上述研究结果表明，反映观赏海棠抗寒性强弱的主要有以下生理指标：相对电导率、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、丙二醛含量等；观赏海棠是具有较强抗寒能力的植物，不同品种间的抗寒性强弱排序在不同文献中基本一致。这些研究结果为观赏海棠抗寒分子机理研究、抗寒性品种选育和生产应用提供了一定的理论依据。

2　干旱胁迫研究进展

水分是植物生命活动的基础，植物的初级代谢和次级代谢都离不开水分。干旱对植物来说是一个不利因素，干旱能使植物细胞失水，影响光合作用，其相应的生理指标也会发生变化。

邓丽娟等[9]人工模拟干旱条件及复水条件，测定了 13 个观赏海棠品种的形态指标及生理指标变化，并采用聚类分析法对品种的抗旱性进行了综合评价，将供试观赏海棠品种的抗旱性分为 4 类，第 1 类是特抗型品种‘比利时’直立 *M.*‘Belgian Erect’和‘王族’*M.*‘Royalty’，第 2 类是高抗型品种‘比利时’垂枝 *M.*‘Belgian Weep’、‘凯尔斯’和‘钻石’，第 3 类是中抗型品种‘当娜’*M.*‘Donald’、‘高原之火’、‘红花’*M.*‘Red Flower’、‘绚丽’和‘雪球’，第 4 类是低抗型品种‘红丽’、‘红玉’*M.*‘Red Jade’和‘印第安魔力’*M.*‘Indian Magic’。不同观赏海棠品种对土壤干旱胁迫和复水的响应不同，其抗旱性存在差异。李春兰等[10]以 5 个观赏海棠品种为试材，在持续自然干旱条件下，运用隶属函数法，综合比较其抗旱性强弱，结果表明，干旱胁迫下，5 个海棠品种的抗脱水能力由强到弱为：‘王族’>‘粉手帕’>‘道格’>‘粉屋顶’>‘亚当’。

脱水素是一类胚胎发育后期丰富蛋白，具有高度热稳定性和亲水性。当植物处于干旱胁迫时，细胞失水量增加，脱水素能在细胞内广泛表达，外源脱落酸处理也能诱导脱水素的表达和积累。胡玉静等[11]采用外源 ABA 处理抗旱性不同的两个观赏海棠品种‘王族’和‘红丽’,研究了干旱胁迫下这两个品种脱水素的积累情况，以及其与叶片水分状况、可溶性蛋白积累的关系，发现外源 ABA 的处理，能够诱导观赏海棠叶片脱水素的表达，但当植株处于干旱胁迫时，ABA 抑制其叶片中被诱导的脱水素的积累，并且此抑制作用与品种间抗旱性呈正相关性，从而揭示了干旱胁迫下外源 ABA 对观赏海棠不同抗性品种叶片可溶性蛋白和脱水素积累的影响。

3 高温胁迫研究进展

近年来，随着我国城市化建设步伐的加快，各地相继从国外引进优良的观赏海棠品种，并试图将观赏海棠向南推广。然而，观赏海棠多数品种喜好在北方地区生长，当从高纬度地区引种至低纬度地区时，由于地域性差异，植株常常会产生高温不适应。高温胁迫会导致植株产生各种伤害，轻则叶片萎蔫，重则叶片灼伤，严重时甚至会导致整个植株死亡[12]。为了避免盲目地对观赏海棠进行“北树南引”，国内科研人员相继展开了观赏海棠的耐热性研究，旨在为南方地区引入观赏海棠品种提供一定的理论依据。

可以从形态和生长表现来进行耐热性评价。如刘春风等[13]采用田间观测法研究了高温胁迫对 8 个观赏海棠品种的形态和生长指标的影响，比较了这 8 个品种间的差异，并对其抗热性进行了评价，发现耐热性好的品种，其苗高和地径的生长速率也较快，而耐热性差的品种则刚好相反；8 个海棠品种均能在试验地安全越夏。

更多的是利用生理生化指标来进行耐热性评价。张丽[14]通过电导法测定了 5 个观赏海棠品种叶片的相对电导率，得出 5 个北美海棠品种叶片的半致死温度均在 40℃以上，其中，‘火焰’的最高，达 45.7℃，表现为较高的耐热性；‘雪球’的最低，为 40.5℃；这 5 个北美海棠品种的耐热性从强到弱排序为：‘火焰’>‘绚丽’>‘凯尔斯’>‘钻石’>‘雪球’。刘春风等[15]利用持续 7 d 在 36 ~ 38℃高温胁迫后的生理生化指标进行测定，有效地区分了 8 个不同观赏海棠品种的耐热性，得出‘丰盛’*M.*‘Abundance’、‘草莓果冻’的耐热性强，‘哨兵’*M.*‘Sentinel’、‘绚丽’的耐热性较强，‘罗宾逊’*M.*‘Robinson’、‘亚当’的耐热性为中等，‘王族’、‘粉芽’的耐热性弱。为进一步了解观赏海棠对高温的适应性，他们同样以这 8 个品种为材料，研究了其在田间自然高温条件下的生理适应机理[16]，发现随着温度的升高，8 个海棠品种的膜透性增大，丙二醛含量、超氧化物歧化酶活性、过氧化氢含量、脯氨酸含量升高，可溶性蛋白含量先升高后下降，得出丙二醛含量、脯氨酸含量、相对电导率、可溶性蛋白含量和 SOD 活性可以作为鉴定观赏海棠品种的耐热性生理指标的结论。李长林等[17]以观赏海棠‘金吉丽’*M.*‘Jinjili’和‘特丽’*M.*‘Teli’为试材，以武汉本地乡土植物湖北海棠 *M. hupehensis* 为对照，经过 1 周 35℃高温处理，测定海棠叶片的抗性生理指标变化，发现‘金吉丽’和‘特丽’抗性生理指标变化与湖北海棠的抗性生理相似。这 2 个北美海棠品种在武汉地区能够自然生长。

高温不仅会影响观赏海棠的生长情况、生理生化指标，还会影响到其光合作用。刘春风等[18]探讨了高温胁迫下‘王族’、‘草莓果冻’、‘亚当’3 个观赏海棠品种的光合作用变化趋势，并分析了其与耐热性的关系，结果表明，3 个海棠品种的 Pn（光合速率）日变化曲线均呈双峰形，具明显的光合午休现象；非气孔因素是海棠光合午休的主要原因；推测这 3 个观赏海棠品种之中，‘王族’的耐光抑制最弱，发生的光抑制最严重，最终表现为生长速率缓慢，而‘草莓果冻’与之刚好相反，‘亚当’居中。何梅等[19]通过夏季高温环境下彩叶北美海棠‘紫宝石’*M.*‘Purple Gems’、‘王族’和绿叶北美海棠‘亚当’的生长情况、生理生化、光合气体交换参数及光响应曲线的研究，探索了 3 种北美海棠对高温环境的响应策略，并初步探讨了其与绿叶北美海棠对夏季高温环境的适应性差异，结果发现，彩叶北美海棠与绿叶北美海棠在夏季高温环境下均能通过维持细胞膜的热稳定性、降低活性氧积累、增加渗透调节物质含量、提高光合速率与叶片内部水分利用效率的方式来适应高温环境，耐热性由高到低表现为‘紫宝石’>‘亚当’>‘王族’。

4 盐碱胁迫研究进展

观赏海棠品种丰富，适应性也很强，在北方寒冷地区和南方炎热地区，都有它生长的地方。然而，在那些

土壤盐碱化较为严重的地区，很多品种都表现不太好。因此，研究观赏海棠不同品种的耐盐碱性强弱，筛选出抗盐碱能力强的观赏海棠品种，显得尤为必要。

近年来，相关科研人员逐渐展开了对观赏海棠耐盐碱性方面的研究。如李伟等[20]将北美海棠引种到新疆昌吉地区，并对其进行适应性和生物习性观测，发现引入的北美海棠品种在盐碱化严重的土壤上也能正常生长。李融等[21]分析了 8 个北美海棠品种在天津静海地区的适应性，对其形态和生长特性进行了观察，发现耐盐碱性强弱与品种关系密切，不同品种间的耐盐碱性有差异显著。秦艳药等[22]以西府海棠和北美海棠为研究对象，研究了这两种海棠植株在盐碱地上的株高、茎粗、新梢长、树冠体积，年轮的年生长动态，年轮的年平均生长量等指标，得出北美海棠比西府海棠更能适应盐碱地的生活环境的结论。霍少洁等[23]以 8 个北美海棠品种为试材，研究不同品种北美海棠的耐盐性，得出 8 种北美海棠的耐盐碱性强弱，其中，‘冬红’*M.*‘Crabapple’和‘凯尔斯’耐盐碱能力最强，其次是‘亚当’、‘红宝石’和‘绚丽’，再次是‘喜洋洋’*M.*‘Xiyangyang’和‘舞美’*M.*‘Wumei’，耐盐碱能力最弱的是‘王族’。

不仅形态生长指标可以作为衡量植物耐盐碱性强弱的参考，生理指标的测定和分析也提供了选择耐盐碱品种的有效方法。李春兰等[24]以 10 个观赏海棠品种为试材，测定盐胁迫下其叶绿素、相对电导率、丙二醛、脯氨酸含量等相关生理指标，得出 10 个品种的耐盐性强弱从强至弱排序为：‘露易莎’*M.*‘Louisa’>‘粉手帕’*M.*‘Hopa’>‘亚当’>‘塞尔科’*M.*‘Selkirk’>‘春雪’*M.*‘Spring Snow’>‘印第安魔力’>‘李斯特’*M.*‘Liset’>‘粉屋顶’*M.*‘Pink Spires’>‘王族’>‘道格’*M.*‘Dolgo’。马昕等[25]比较了 8 个海棠品种在天津盐碱地上的生理特性，发现耐盐碱能力最强的三个品种分别是‘凯尔斯’、‘冬红’和‘红宝石’,其次是‘绚丽’、‘亚当’和‘王族’,耐盐碱能力最弱的两个品种分别是‘喜洋洋’和‘舞美’。夏凯丽等[26]为筛选出不同观赏海棠品种的耐盐碱指标，同样以上述 8 个海棠品种为试材，得出在盐碱化程度较低的土壤中，1 年生枝条数量、株高、胸径和冠幅等生长指标，游离脯氨酸、可溶性糖含量以及膜透性等生理指标，均可以用来衡量观赏海棠的耐盐碱性强弱的结论。

另外，也可以用叶片的解剖结构作为参考指标，来衡量观赏海棠品种的耐盐碱性[27]。高忠浩等[28]为了解盐碱地上不同海棠品种的叶片解剖结构差异，分析其耐盐性，也得到了与马昕类似的研究结果，耐盐碱性以‘凯尔斯’最强，‘亚当’、‘冬红’和‘王族’较强，‘绚丽’、‘喜洋洋’和‘红宝石’较差，‘舞美’最差。李蕊[29]观测了盐碱地上 8 个观赏海棠品种的叶柄解剖结构差异，分析其耐盐性，得出耐盐性方面以‘亚当’、‘绚丽’、‘冬红’最强；‘凯尔斯’其次，‘王族’和‘喜洋洋’较差；‘舞美’和‘红宝石’最差。

跟所有植物一样，观赏海棠的耐盐碱性是受多种因素综合影响的，各种因素的共同作用促进了其耐盐碱性的形成，因此，综合各项形态指标、生理生化指标，再结合一些分子水平的指标，尽可能多与其耐盐碱性力密切相关的指标进行综合评价，会更具有说服力和权威性。

5　抗病虫害

观赏海棠具有较强的抗寒、抗旱、抗盐碱、抗高温能力，但抗病虫害的能力表现相对较弱，这方面的研究报道也比较少。早在 2008 年，郭蕾等[30]通过田间调查研究了山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 在不同北美海棠品种上的种群数量，结果表明，‘露易莎’、‘道格’、‘喜洋洋’等 12 个品种的抗螨性较强，‘王族’等 4 个品种的抗螨性次之，‘绚丽’的抗螨性最差。张亿艳等[31]将北美海棠引种到福建沙县，发现北美海棠抗蚜虫和光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 的能力都表现较差，其中，危害最为严重的是蛀干害虫光肩星天牛，腐烂病的危害也时有发生，严重的时候甚至可以导致整个植株死亡。

6　展望

目前，国内对观赏海棠的研究主要集中在低温胁迫、干旱胁迫、盐碱胁迫、高温胁迫等方面，均是基于形

态、生长和生理生化层面的试验，对比观赏海棠不同品种之间或者与其他常用园林植物的抗逆性，但目前的研究仍然局限于抗逆性形态指标、生理特征的研究，而对于抗逆性分子层面的研究如抗性基因的筛选、克隆、鉴定以及分子标记等方面，还有待开展进一步研究。对观赏海棠抗病虫害方面的研究，相对比较薄弱，尤其是如何减少蛀干害虫光肩星天牛的危害，如何通过生物防治措施以减少农药的施用和对环境的污染，有待后续进一步展开相关研究。

参考文献：

[1] 唐菲，丁增成，任杰，等. 我国观赏海棠种类及品种概述. 安徽农业科学，2015，43（16）：190 – 195，218.
[2] 王婷. 天津地区观赏海棠引种与筛选[J]. 北方园艺，2015，03：70 – 72.
[3] 吴晓星，刘凤栾，房义福，等. 36 个欧美观赏海棠品种（种）应用价值的综合评价[J]. 南京林业大学学报，2015，39（1）：93 – 98.
[4] 李萍萍. 观赏海棠品种（系）的抗寒特性研究[D]. 泰安：山东农业大学，2012.
[5] 韩玲玲，韩志强，杨强胜，等. 应用电导率法及 Logistic 方程测定 6 种观赏海棠的抗寒性[J]. 现代农业科技，2015，12：150 – 153.
[6] 郭芳芸，蒋倩，杨永花，等. 观赏海棠生理生化指标对低温胁迫的响应[J]. 草原与草坪，2017，37（6）：24 – 30.
[7] 邱英杰. 不同品种北美海棠观赏特性及耐寒性研究[D]. 秦皇岛：河北科技师范学院，2018.
[8] 巴哈尔古丽•阿尤甫，阿地力•衣克木，努尔伊力•买买提，等. 不同北美海棠品种在北疆耐低温性研究[J]. 中国南方果树，2018，47（3）：117 – 120.
[9] 邓丽娟，沈红香，姚允聪. 观赏海棠品种对土壤干旱胁迫的响应差异[J]. 林业科学，2011，47（3）：25 – 32.
[10] 李春兰，杨永花，杨振坤，等. 五个观赏海棠品种抗旱性比较[J]. 浙江农业学报，2017，29（5）：782 – 790.
[11] 胡玉静，邓丽娟，张杰，等. 干旱胁迫下外源 ABA 对观赏海棠叶片可溶性蛋白和脱水素积累的影响[J]. 林业科学，2012，48（4）：35 – 42.
[12] 李淑娟，陈香波，李毅，等. 观赏山楂耐热性比较研究[J]. 上海农业学报，2007，23（3）：70 – 72.
[13] 刘春风，刘少轩，谢寅峰，等. 高温胁迫对观赏海棠形态和生长的影响[J]. 林业科技开发，2013，27（3）：42 – 45.
[14] 张丽. 北美海棠品种间耐热性比较[J]. 江苏农业科学，2012，40（9）：175 – 176.
[15] 刘春风，谢寅峰，张往祥. 高温胁迫下 8 个观赏海棠品种的耐热性比较[J]. 江苏农业科学，2017，45（24）：129 – 132.
[16] 刘春风，谢寅峰，张往祥. 不同品种海棠对高温胁迫的生理响应[J]. 林业科技开发，2015，29（4）：31 – 36.
[17] 李长林，杨守坤，金莉，等. 高温胁迫对北美海棠‘金吉丽’和‘特丽’的生理指标影响[J]. 中国农学通报，2014，30（10）：170 – 173.
[18] 刘春风，张往祥，孙垒，等. 高温对观赏海棠生长和光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报：自然科学版，2013，37（4）：17 – 22.
[19] 何梅，胡玉安，王涛，等. 3 种北美观赏海棠对夏季高温环境的生理响应[J]. 江西农业大学学报，2019，41（4）：664 – 672.
[20] 李伟，杨彬. 北美海棠系列在昌吉地区的引种栽培试验[J]. 新疆林业，2012（1）：21 – 24.
[21] 李融，杨静慧，李珍，等. 不同北美海棠花形态特征比较及其品种识别[J]. 天津农林科技，2016（5）：7 – 9.
[22] 秦艳芍，黄唯子，杨静慧，等. 盐碱地上西府海棠、北美海棠生长特性比较[J]. 天津农业科技，2015，12（6）：1 – 3.
[23] 霍少洁，黄妍，李珍，等. 盐碱地 8 个北美海棠品种生长特性比较[J]. 天津农学院学报，2018，25（3）：24 – 28.
[24] 李春兰，龚婷玉，杨永花，等. 10 个观赏海棠品种耐盐性比较[A]. 中国观赏园艺研究进展 2017[C].
[25] 马昕，庞志蕊，杨静慧，等. 8 个北美海棠品种耐盐碱生理差异研究[J]. 天津农学院学报，2018，25（4）：24 – 28.
[26] 夏凯丽，杨静慧，李珍，等. 不同品种北美海棠耐盐碱生长和生理指标的相关性分析[J]. 天津农林科技，2019，1：11 – 13.
[27] 赵海燕，王建设，刘林强，等. 海岛棉苗期盐胁迫下形态学和生理学指标变化[J]. 中国农业科学，2017，50（18）：3494 – 3505.
[28] 高忠浩，李珍，杨静慧，等. 8 种北美海棠叶片解剖结构与耐盐性[J]. 天津农学院学报，2019，26（2）：39 – 42.
[29] 李蕊，李珍，杨静慧，等. 盐碱地 8 个北美海棠品种叶柄解剖结构的差异[J]. 天津农学院学报，2019，26（1）：10 – 13.
[30] 郭蕾，郑大睿，仇兰芬，等. 不同北美海棠品种抗螨性调查[J]. 广东农业科学，2008，12：103 – 104.
[31] 张亿艳，杨培华，朱业辉. 北美海棠在沙县引种试验[J]. 福建农业科技，2017，5：18 – 19.