

竹类植物在北京地区的抗寒性分析与评价

王金革^{1,2}, 包峥焱^{1,2}, 李心竹^{1,2}, 李岩^{1,2}, 张祎^{1,2}, 朱莹^{1,2*}

(1.北京市植物园管理处, 北京 100093; 2.北京市花卉园艺工程技术中心, 北京 100093)

摘要 为了探索竹类植物在北京地区的抗寒性及园林应用前景, 运用层次分析法(AHP)和K-means聚类分析法对北京植物园60种竹类植物进行了抗寒性分析与评价。评价模型由适应性、更新能力和观赏性3个评价准则及相关的11个评价因子构成。结果表明: 评价等级为I级竹类植物28种, 包括安吉金竹、阔叶箬竹、金镶玉竹、早园竹、鹅毛竹等, 占总数的46.7%, 这类植物抗寒性强, 在北京地区可广泛推广应用; II级竹类植物11种, 包括白哺鸡竹、喜变箬竹、髯毛箬竹等, 占总数的18.3%, 这类植物有一定抗寒性, 可适当推广应用; III级竹类植物17种, 包括黄槽斑竹、美丽箬竹等, 这类植物抗寒性一般, 需要在特定的环境中应用; IV级竹类植物4种, 包括白纹东根篾、对花竹、黄皮绿筋竹等, 这类植物抗寒性差, 可在特定条件下小面积栽植。

关键词 竹类植物; 极端低温; 层次分析法; 抗寒性; 评价

中图分类号 S795 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)04-0112-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.027



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis and Evaluation of Cold Resistance of Bamboos in Beijing

WANG Jin-ge^{1,2}, BAO Zheng-yan^{1,2}, LI Xin-zhu^{1,2} et al (1. Beijing Botanical Garden Management Office, Beijing 100093; 2. Beijing Floriculture Engineering Technology Research Center, Beijing 100093)

Abstract In order to explore the cold resistance and garden application prospect of bamboo plants in Beijing area, the cold resistance of 60 bamboo plants in Beijing Botanical Garden was analyzed and evaluated by AHP and K-means clustering analysis. The evaluation model consists of three evaluation criteria, namely adaptability, renewal ability and ornamental characteristics, and 11 related evaluation factors. The results showed that there were 28 bamboos rated as grade I, accounting for 46.7% of the total, including *Phyllostachys parifolia*, *Indocalamus latifolius*, *Phyllostachys aureosulcata f. spectabilis*, etc. These plants have strong cold resistance and can be widely applied in Beijing. There were 11 bamboos rated as grade II, accounting for 18.3% of the total, including *Phyllostachys dulcis*, *Indocalamus varius*, *Indocalamus barbatus*, etc. This kind of plant had a certain cold resistance, can be properly popularized and applied. There were 17 bamboos rated as grade III, including *Phyllostachys bambusoides* 'Mixta', *Indocalamus decorus*, etc. These plants had moderate cold resistance and need to be applied in specific environments. There were only 4 kinds of bamboos in grade IV, including *Pleioblastus chino* 'Angustifolius', *Phyllostachys bambusoides* 'Dui Hua Zhu', etc. These plants had poor cold resistance and can be planted in a small area under specific conditions.

Key words Bamboo plants; Extreme low temperature; Analytic hierarchy process; Cold resistance; Evaluation

我国是世界竹子分布的中心, 竹类资源丰富, 现有竹类植物40属500余种, 有竹林面积400 hm²以上, 绝大多数集中在南方地区, 北方竹子分布较少, 在甘陕南部和黄淮地区有少量的散生竹区^[1]。竹类植物四季常青, 枝叶茂盛, 是其重要的非木材可再生林业资源^[2], 也是园林绿化的重要材料, 素有“岁寒三友”之称, 具有丰富的文化内涵, 深受我国人们的喜爱。竹类植物在园林绿地中具有广泛的应用前景, 但其分布具有明显的地带性和区域性, 栽培区域也多集中在南方。北方地区, 温度是一些极具经济价值和观赏价值的竹种得不到进一步推广种植的主要限制因子^[2]。20世纪60~70年代, 我国开展了“南竹北移”的引种驯化工作, 将一些抗性较强的散生竹引种到黄河以北流域^[3]。同时, 竹类植物的抗寒性研究也日益为人们所关注, 且多集中在生理指标的测定上^[3-12], 但对极端低温条件下竹类植物的抗寒性评价较少^[13-14]。

北京植物园从20世纪70年代初开始从南方引种竹类植物^[14-15], 目前露地种植的竹类植物已达11属60种(含变

种、变型)。受全球气候变暖的影响, 在没有极端低温的条件下, 很多竹类植物在北京植物园能够正常生长并露地越冬。但在2010年1月, 北京地区极端低温达到-18.9℃, 王金革等^[13]对北京植物园种植的竹类植物抗寒性进行了评价, 筛选出包括金镶玉竹、黄槽竹、黄竿京竹等12种抗寒性强的竹类植物。2021年1月, 北京地区又遇到了-20.4℃的极端低温, 创1972年以来新低。北京植物园的竹类植物在这次极端低温下受到了不同程度的影响, 不同种类在极端低温下的表现存在着明显差异。为了筛选出抗寒性强、适宜在北京地区栽植的竹类植物, 笔者对11属60种(含变种、变型、品种)竹类植物进行了抗寒性调查, 并应用层次分析法(AHP)进行分析与评价, 运用K-means聚类分析对评价价值进行等级划分, 建立系统科学的竹类植物抗寒性评价体系, 筛选出抗寒性较强的种类, 以期竹类植物在北京地区的园林应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 选择北京植物园竹园内的11属60种(含变种、变型、品种)竹类植物进行观测, 常规养护管理60种。基本情况见表1。

1.2 试验地概况 北京植物园竹园位于卧佛寺西侧(116°12'00"E, 40°00'22"N), 是以栽培、展示竹亚科植物为主的专类园, 地处小西山麓, 属山前暖区带范围, 湿热条件比较优越^[16], 是典型的北温带半湿润大陆性季风气候, 夏季高温多

基金项目 北京市植物园科技项目“几种箬竹属植物生长规律及栽培技术的研究”(BZ202205)。

作者简介 王金革(1980—), 女, 北京人, 高级工程师, 从事竹亚科植物引种驯化、栽培养护及研究。*通信作者, 教授级高级工程师, 硕士, 从事园林植物栽培与生理研究。

收稿日期 2022-03-31

雨,冬季寒冷干燥,春秋季节较短。年平均气温 11.6 °C,年降水量 600 mm 左右,大部分集中于 7、8 月^[16]。

表 1 60 种竹类植物基本情况

Table 1 Basic information of 60 bamboos plants

序号 No.	种(品种)名称 Species(variety)	属名 Genus	栽植年份 Planting time	序号 No.	种(品种)名称 Species(variety)	属名 Genus	栽植年份 Planting time
1	巴山木竹 <i>Arundinaria fargesii</i>	北美箭竹属	1986	33	早园竹 <i>Phyllostachys propinqua</i>	刚竹属	2003
2	毛环短穗竹 <i>Semiarundinaria densiflora</i> var. <i>villosa</i>	业平竹属	2008	34	绿皮黄筋竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i> f. <i>houzeauana</i>	刚竹属	2007
3	短穗竹 <i>Semiarundinaria densiflora</i>	业平竹属	2018	35	黄皮绿筋竹 <i>Phyllostachys sulphurea</i> f. <i>robertii</i>	刚竹属	2006
4	白纹阴阳竹 <i>Hibanobambusa tranquillans</i>	阴阳竹属	2009	36	黄纹竹 <i>Phyllostachys vivax</i> ‘Huang Wen Zhu’	刚竹属	2005
5	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	箬竹属	1986	37	金条竹 <i>Phyllostachys aureosulcata</i> f. <i>flavostriata</i>	刚竹属	2017
6	善变箬竹 <i>Indocalamus varius</i>	箬竹属	2008	38	金添玉竹 <i>Phyllostachys vivax</i> ‘Viridivittata’	刚竹属	2017
7	阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>	箬竹属	2009	39	黄槽斑竹 <i>Phyllostachys bambusoides</i> ‘Mixta’	刚竹属	2018
8	美丽箬竹 <i>Indocalamus decorus</i>	箬竹属	2018	40	紫竹 <i>Phyllostachys nigra</i>	刚竹属	2013
9	髯毛箬竹 <i>Indocalamus barbatus</i>	箬竹属	2018	41	对花竹 <i>Phyllostachys bambusoides</i> ‘Dui Hua Zhu’	刚竹属	2018
10	箬叶竹 <i>Indocalamus longiauritus</i>	箬竹属	1986	42	乌哺鸡竹 <i>Phyllostachys vivax</i>	刚竹属	2006
11	肿节少穗竹 <i>Ologostachyum oedogonatum</i>	少穗竹属	2008	43	黄秆乌哺鸡竹 <i>Phyllostachys vivax</i> ‘Aureo-canlis’	刚竹属	2006
12	四季竹 <i>Oligostachyum lubricum</i>	少穗竹属	2018	44	紫蒲头灰竹 <i>Phyllostachys nuda</i> f. <i>localis</i>	刚竹属	2003
13	曲竿竹 <i>Phyllostachys flexuosa</i>	刚竹属	2003	45	黄条纹金刚竹 <i>Pleioblastus kongosanensis</i> ‘Aureo-striatus’	苦竹属	2009
14	早竹 <i>Phyllostachys violascens</i>	刚竹属	2006	46	狭叶青苦竹 <i>Pleioblastus chino</i> ‘Hisauchii’	苦竹属	1986
15	雷竹 <i>Phyllostachys violascens</i> ‘Prevernalis’	刚竹属	2006	47	油苦竹 <i>Pleioblastus oleosus</i>	苦竹属	2009
16	黄古竹 <i>Phyllostachys angusta</i>	刚竹属	2003	48	白纹东根笹 <i>Pleioblastus chino</i> ‘Angustifolius’	苦竹属	2018
17	石绿竹 <i>Phyllostachys arcana</i>	刚竹属	2006	49	垂枝苦竹 <i>Pleioblastus amarus</i> var. <i>pendulifolius</i>	苦竹属	2018
18	黄槽石绿竹 <i>Phyllostachys arcana</i> f. <i>luteosulcata</i>	刚竹属	2007	50	斑苦竹 <i>Pleioblastus maculatus</i>	苦竹属	2018
19	罗汉竹 <i>Phyllostachys aurea</i>	刚竹属	1985	51	辣韭矢竹 <i>Pseudosasa japonica</i> ‘Tsutsumiana’	矢竹属	2009
20	黄竿京竹 <i>Phyllostachys aureosulcata</i> f. <i>aureo-caulis</i>	刚竹属	2003	52	矢竹 <i>Pseudosasa japonica</i>	矢竹属	2008
21	黄槽竹 <i>Phyllostachys aureosulcata</i>	刚竹属	2003	53	曙筋矢竹 <i>Pseudosasa japonica</i> ‘Akebonousuji’	矢竹属	2008
22	金镶玉竹 <i>Phyllostachys aureosulcata</i> f. <i>spectabilis</i>	刚竹属	2003	54	笔竿竹 <i>Pseudosasa guanxianensis</i>	矢竹属	2018
23	桂竹 <i>Phyllostachys reticulata</i>	刚竹属	2006	55	铺地竹 <i>Sasa argenteostriatus</i>	赤竹属	2009
24	蓉城竹 <i>Phyllostachys bisetii</i>	刚竹属	2003	56	菲白竹 <i>Sasa fortunei</i>	赤竹属	2009
25	白哺鸡竹 <i>Phyllostachys dulcis</i>	刚竹属	2003	57	菲黄竹 <i>Sasa auricoma</i>	赤竹属	2012
26	筠竹 <i>Phyllostachys glauca</i> ‘Yunzhu’	刚竹属	2007	58	翠竹 <i>Sasa pygmaea</i>	赤竹属	2012
27	淡竹 <i>Phyllostachys glauca</i>	刚竹属	1978	59	鹅毛竹 <i>Shibataea chinensis</i>	鹅毛竹属	1990
28	变竹 <i>Phyllostachys glauca</i> var. <i>variabilis</i>	刚竹属	2003	60	白纹椎谷笹 <i>Sasaella glabra</i> f. <i>albostrata</i>	东筴竹属	2016
29	红哺鸡竹 <i>Phyllostachys iridescens</i>	刚竹属	2007				
30	美竹 <i>Phyllostachys mannii</i>	刚竹属	2008				
31	灰竹 <i>Phyllostachys nuda</i>	刚竹属	2003				
32	安吉金竹 <i>Phyllostachys parvifolia</i>	刚竹属	2008				

1.3 评价方法 结合竹类植物在北京植物园极端低温下的适应性、更新能力和观赏性,邀请园林专家现场打分,并运用层次分析法^[16-17]确定评价指标,建立评价模型。采用 1~9 比率标度法^[17]比较指标的相对重要性,量化各项指标,计算各因素权重。制订评价标准,根据历年对竹类植物的观测记录及 2020 年极端低温,对竹类植物适应性、更新能力和观赏性进行评价打分,并计算出评价综合分值,进行等级划分。

1.3.1 评价模型的构建。结合专家打分,构建了 4 个层次的竹类植物综合评价结构模型(图 1)。该模型包含目标层(A)、准则层(B)、因子层(C)和最底层(D)。目标层(A)为竹类植物抗寒性评价;准则层(B)为竹类植物抗寒性评价的主要因子,分别为适应性(B₁)、更新能力(B₂)及观赏性(B₃);因子层(C)为 11 个具体评价指标,是隶属准则层(B)的主要评价因子,由植株各结构因子的冻害率以及出笋、成竹率与各结构因子的观赏效果等 11 个指标组成;最底层(D)为待评价的 60 个竹类植物。

1.3.2 权重的计算。采用 1~9 标度法,邀请专家分别对准则层、因子层各因子的相对重要度进行两两比较构建判断矩阵,计算准则层权重、因子层权重(表 2~5)及总排序值(表 6),并进行一致性检验(CR<0.100 0,说明该矩阵具有满意的一致性)。

1.3.3 各评价指标记录与评分标准制订。以竹园内 60 种竹类植物为观测对象,在历年物候观测记录的基础上,结合 2020 年冬季极端低温进行调查记录。2021 年春季采取抽样调查方法,每种竹类植物选取 2 m×2 m 的 3 个样地,对竹类植物叶片、小枝、侧枝、竹秆及竹鞭冻害情况,冻害后母株展叶、出笋及成竹情况,竹类植物的叶、秆和竹林观赏性进行调查、评价并评分(标准采用 5 分制),结果见表 7。

计算公式:

$$\text{叶片冻害率} = \text{叶片受冻数} / \text{总叶片数} \times 100\%$$

$$\text{小枝冻害率} = \text{小枝受冻数} / \text{总小枝数} \times 100\%$$

$$\text{侧枝冻害率} = \text{侧枝受冻数} / \text{总侧枝数} \times 100\%$$

竹杆冻害率 = 竹杆受冻数 / 总竹杆数 × 100%

竹鞭冻害率 = 竹鞭受冻数 / 总竹鞭数 × 100%

萌芽展叶率 = 新展叶数 / 总芽数 × 100%

出笋率 = 出笋数 / 总立竹数 × 100%

成竹率 = 新竹数 / 总出笋数 × 100%

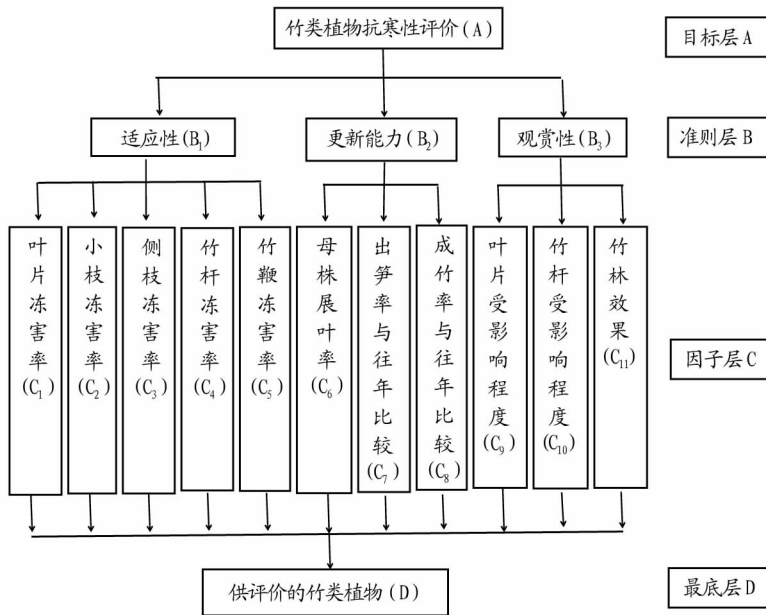


图 1 竹类植物抗寒性评价模型

Fig.1 Evaluation model for cold resistance of bamboos

表 2 A-B_i 判断矩阵及一致性检验

Table 2 A-B_i judgment matrix and consistency test

A	B ₁	B ₂	B ₃	权重值 Weight value
B ₁	1	2/1	3/1	0.490 5
B ₂	1/2	1	2/1	0.311 9
B ₃	1/3	1/2	1	0.197 6

注: CR=0.051 7<0.100 0, λ_{max} = 3.053 7。

表 3 B₁-C_i 判断矩阵及一致性检验

Table 3 B₁-C_i judgment matrix and consistency test

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	权重值 Weight value
C ₁	1	1/2	1/3	1/4	1/5	0.064 1
C ₂	2/1	1	1/2	1/2	1/3	0.117 2
C ₃	3/1	2/1	1	1/2	1/2	0.184 3
C ₄	4/1	2/1	2/1	1	1/2	0.255 5
C ₅	5/1	3/1	2/1	2/1	1	0.378 9

注: CR=0.015 0<0.100 0, λ_{max} = 5.067 2。

表 4 B₂-C_i 判断矩阵及一致性检验

Table 4 B₂-C_i judgment matrix and consistency test

B ₂	C ₆	C ₇	C ₈	权重值 Weight value
C ₆	1	1/3	1/2	0.163 8
C ₇	3/1	1	2/1	0.539 0
C ₈	2/1	1/2	1	0.297 2

注: CR=0.008 9<0.100 0, λ_{max} = 3.009 2。

表 5 B₃-C_i 判断矩阵及一致性检验

Table 5 B₃-C_i judgment matrix and consistency test

B ₃	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	权重值 Weight value
C ₉	1	1/2	2/1	0.297 2
C ₁₀	2/1	1	3/1	0.539 0
C ₁₁	1/2	1/3	1	0.163 8

注: CR=0.008 9<0.100 0, λ_{max} = 3.009 2。

表 6 各评价指标层的权重及总排序值

Table 6 The weight and the total ranking weight of each evaluation index layer

准则层 B Criterion Layer B	准则层权重 Criterion Layer weight	因子层 C Index level	因子层权重 Index level weight	总排序值 Total weight
适应性 Adaptability (B ₁)	0.490 5	叶片冻害率 C ₁	0.064 1	0.031 4
		小枝冻害率 C ₂	0.117 2	0.057 5
		侧枝冻害率 C ₃	0.184 3	0.090 4
		竹杆冻害率 C ₄	0.255 5	0.125 3
		竹鞭冻害率 C ₅	0.378 9	0.185 9
更新能力 Renewal Capacity (B ₂)	0.311 9	母株展叶率 C ₆	0.163 8	0.051 1
		出笋率与往年比较 C ₇	0.539 0	0.168 1
		成竹率与往年比较 C ₈	0.297 2	0.092 7
观赏性 Ornamental characteristic (B ₃)	0.197 6	叶片受影响程度 C ₉	0.297 2	0.058 7
		竹杆受影响程度 C ₁₀	0.539 0	0.106 5
		竹林效果 C ₁₁	0.163 8	0.032 4

表 7 竹类植物的评价指标和评分标准

Table 7 The index and criterion for evaluation of bamboo plants

分值 Score	适应性 Adaptability(B ₁)					更新能力 Renewal Capacity(B ₂)			观赏性 Ornamental characteristic(B ₃)		
	叶片冻害率 Freezing injury rate of leaves (C ₁)//%	小枝冻害率 Freezing injury rate of twigs (C ₂)//%	侧枝冻害率 Freezing injury rate of lateral branch (C ₃)//%	竹秆冻害率 Freezing injury rate of clum (C ₄)//%	竹鞭存活率 Freezing injury rate of bamboo rhizome (C ₅)//%	萌芽展叶率 Lamina rate of bamboo (C ₆)%	出笋率与往年比较 The rate of bamboo shoot compared with ever (C ₇)	成竹率与往年比较 Bamboo rate compared with ever (C ₈)	叶片受影响程度 Degree of leaf damage (C ₉)	秆竹受影响程度 Degree of impact on bamboo culms (C ₁₀)	竹林效果 Bamboo effect (C ₁₁)
5	<5	<5	<5	<5	<5	>95	与往年相当	与往年相当	未受影响	未受影响	未受影响
4	5~<30	5~<30	5~<30	5~<30	5~<30	80~95	比往年少<30%	比往年少<30%	<1/3	<1/3	<1/3
3	30~<50	30~<50	30~<50	30~<50	30~<50	50~<80	比往年少30%~<50%	比往年少30%~<50%	1/3~<1/2	1/3~<1/2	1/3~<1/2
2	50~<80	50~<80	50~<80	50~<80	50~<80	30~<50	比往年少50%~<80%	比往年少50%~<80%	1/2~<4/5	1/2~<4/5	1/2~<4/5
1	≥80	≥80	≥80	≥80	≥80	<30	比往年少80%及以上	比往年少80%及以上	≥4/5	≥4/5	≥4/5

1.3.4 综合评价值的计算及分级。将每个竹类植物的 11 个评价指标得分值分别与各指标的权重相乘后求和,得出各竹类植物的综合评分值。用 K-means 聚类分析对综合评分制进行聚类分析,并运用最小距离法划分为 4 个等级^[16]。

1.4 数据分析 用 yaahp V 10.0 进行模型构建、权重计算和一致性检验,用 Excel 2019 进行综合评价分值的计算,用 SPSS 21.0 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 评价模型和指标层排序 由表 6 可知,准则层 3 个评价准则适应性(B₁)、更新能力(B₂)和观赏性(B₃)的权重分别是 0.490 5、0.311 9、0.197 6,其中适应性(B₁)比重最大,其次是更新能力(B₂)。在总权重值中,竹鞭冻害率 C₅ 的总权重值最高,为 0.185 9,权重值在 0.064 1~0.539 0,总排序值在 0.031 4~0.185 9。

在北京地区,影响竹类植物生长发育的主要因素是冬季的低温,适应性在 3 个评价准则中最重要,它关系到竹类植物能否在北京地区存活,是在北京地区生存和发展的重要因素。竹类植物一般通过竹笋繁衍后代,维持竹林持续发展,因此更新能力为次要因素。在园林应用中,除了考虑竹类植物生存和发展,还需考虑观赏性,因此观赏性排在适应性和更新能力之后。在 11 个评价因子中,竹鞭冻害率影响竹类植物的存活率,是竹类植物生命维系和发展的关键,因此总排序值最高;其次是出笋率,出笋率反映的是竹类植物繁衍后代的能力,是竹林能否持续发展的关键。再次是竹秆冻害率,竹秆冻害率反映在竹林内是营养物质的储存和消耗的多少,冻害程度越深,竹林内消耗越大,储存越少,影响竹林的生长势。其余因子如叶片冻害率、竹林效果、叶片受影响程度等比重较小。该研究中,竹鞭冻害率、出笋率 2 个因子为主要影响因素,竹秆冻害率、成竹率、竹秆受影响程度、侧枝冻害率 4 个因子为次要因素,叶片受影响程度、小枝冻害率、母株展叶率、竹林效果、叶片冻害率 5 个因子为一般评价因素。

2.2 竹类植物的评分值及评价等级 根据评价指标和评分标准进行评分,依据 11 个因子的权重值计算出各竹类植物的评分值,用聚类分析划分为 I、II、III、IV 4 个等级(表 8)。其中,最高分为安吉金竹 4.999 5,最低分黄皮绿筋竹 2.037 6,二者分数相差较大。评价等级 I 级有 28 种,包括安吉金竹、阔叶箬竹、金镶玉竹、早园竹、鹅毛竹等,占总数的 46.7%。这些种类具有较强的适应性,极端低温下,植株叶片轻微受冻,小枝、侧枝、竹秆、竹鞭均正常;冻害后植株在 6 月完成换叶,出笋和成竹情况较好,母株生长发育及繁殖能力均未受影响,恢复能力强;经过恢复,在外观形态上,叶片、竹秆及竹林观赏效果均未受影响,在北京地区可大力推广应用。评价等级 II 级有 11 种,包括白哺鸡竹、善变箬竹、箬竹等,占总数的 18.3%。这些种类在适应性、更新能力和观赏性个别性状上稍有缺陷,可以在北京地区适当推广应用。评价等级 III 级有 17 种,包括黄槽斑竹、笔竿竹、美丽箬竹等,这些种类在观赏性、适应性或更新能力个别性状上稍差,在特定的小环境可以推广应用。评价等级 IV 级有 4 种,包括白纹东根篔、对花竹、黄皮绿筋竹等。这些种类是受冻害影响最大的,1 月的低温,使植株的叶片、小枝、侧枝全部受冻死亡,竹秆大部分受冻,个别竹种竹鞭受冻;春季出笋、新竹均细小、植株低矮。这类植物作为专类园的种质资源保存,对栽植环境和管理水平要求较高,不宜在北京地区推广应用。

3 讨论

3.1 竹类植物种间抗寒性差异较大 竹类植物在北京地区属于边缘植物,冬季低温和春季干旱是主要制约因素。低温中竹类植物表现出的抗寒性差异很大。株型较为高大的刚竹属植物,如金镶玉竹、安吉金竹、黄竿乌哺鸡竹等,除了叶片受冻,其他未受影响,表现出较强的抗寒性;而罗汉竹、黄皮绿筋竹等,叶片、小枝、侧枝、竹秆全部受冻,最严重的是黄皮绿筋竹,竹鞭受冻,死亡近半。以上结论与王金革等^[13-14]研究结果一致,同时北京地区常用的早园竹、金镶玉竹、黄槽竹等表现出较强的抗寒性。

表8 竹类植物评分值及等级

Table 8 Bamboo scoring values and evaluation grades

序号 No.	竹种 Bamboo species	评分值 Value	等级 Rank	序号 No.	竹种 Bamboo species	评分值 Value	等级 Rank
1	安吉金竹	4.999 5	I	31	箬竹	4.112 9	II
2	阔叶箬竹	4.893 0	I	32	髯毛箬竹	4.058 9	II
3	金镶玉竹	4.878 0	I	33	油苦竹	4.027 7	II
4	早园竹	4.846 6	I	34	白纹椎谷箬	3.979 2	II
5	鹅毛竹	4.834 3	I	35	垂枝苦竹	3.933 8	II
6	箬叶竹	4.802 9	I	36	斑苦竹	3.933 8	II
7	黄竿京竹	4.752 7	I	37	绿皮黄筋竹	3.933 7	II
8	黄槽竹	4.752 7	I	38	毛环短穗竹	3.910 7	II
9	蓉城竹	4.752 7	I	39	金条竹	3.798 0	II
10	灰竹	4.752 7	I	40	黄槽斑竹	3.705 3	III
11	紫蒲头灰竹	4.752 7	I	41	笔竿竹	3.691 5	III
12	黄竿乌哺鸡竹	4.728 9	I	42	美丽箬竹	3.674 6	III
13	红哺鸡竹	4.721 3	I	43	菲黄竹	3.674 6	III
14	曲竿竹	4.709 9	I	44	翠竹	3.674 6	III
15	金添玉竹	4.689 9	I	45	四季竹	3.660 1	III
16	淡竹	4.647 1	I	46	黄槽石绿竹	3.654 0	III
17	石绿竹	4.553 2	I	47	黄条纹金刚竹	3.642 2	III
18	巴山木竹	4.539 6	I	48	菲白竹	3.623 5	III
19	乌哺鸡竹	4.529 4	I	49	铺地竹	3.615 9	III
20	早竹	4.521 8	I	50	紫竹	3.473 7	III
21	雷竹	4.521 8	I	51	白纹阴阳竹	3.200 3	III
22	黄古竹	4.521 8	I	52	罗汉竹	3.199 1	III
23	桂竹	4.521 8	I	53	狭叶青苦竹	3.137 9	III
24	变竹	4.521 8	I	54	辣韭矢竹	3.137 9	III
25	美竹	4.443 1	I	55	矢竹	3.079 2	III
26	黄纹竹	4.411 7	I	56	曙筋矢竹	3.079 2	III
27	筠竹	4.380 3	I	57	白纹东根箬	2.933 5	IV
28	短穗竹	4.377 0	I	58	对花竹	2.780 8	IV
29	白哺鸡竹	4.326 1	II	59	肿节少穗竹	2.706 7	IV
30	善变箬竹	4.117 6	II	60	黄皮绿筋竹	2.037 6	IV

地被竹中抗寒性较强的是箬竹属的阔叶箬竹、箬叶竹,鹅毛竹属的鹅毛竹等,冬季仅叶片尖缘受轻微冻害,表现出较强的抗寒性,而同是箬竹属的美丽箬竹表现出的抗寒性相对一般。同是地被竹的赤竹属植物,地上部分的抗寒性较差,每年冬季地上部全部枯萎,以地下竹鞭越冬,春季抽枝展叶,出笋成竹继续生长发育,每年周而复始。

杆型中等的矢竹属和苦竹属的狭叶青苦竹,通常地上部分正常越冬,春季正常生长发育,但在极端低温下(-18.9℃^[13]和-20.4℃),地上部分几乎全部受冻死亡,以地下竹鞭越冬,春季对地上部分进行修剪,重新抽枝展叶、出笋成竹继续生长发育。

3.2 竹类植物抗寒性受多种因素影响 竹类植物表现出的抗寒性差异除了受自身因素的影响外,还与竹林的年龄结构、单株的竹龄以及周围环境有关。张玮等^[12]对北京植物竹类植物进行抗寒性评价研究表明,正值壮年的竹类植物抗寒性强,新植、栽植时间短和老龄竹抗寒性弱,周围环境也影响竹类植物生长和发育。该研究中,温度比2010年1月更低,冻害程度也更深,但安吉金竹、红哺鸡竹、黄竿乌哺鸡竹抗寒性明显较之前好,这与3种植物当时定植时间短有关。

对阔叶箬竹评价差异较大,张玮等^[12]在新植、立地条件差、光照不好的情况下,抗寒性差;蔡伟国等^[13]的研究和该研究均表明,在阳光充足或半遮阴的地点,表现出抗寒性较强。低温中,阔叶箬竹冬季叶片仅叶尖轻微受冻,出笋成竹及观赏性均未受影响。年龄结构也影响竹类植物的抗寒性,如白哺鸡竹和黄槽石绿竹是栽植多年的竹林,竹林老龄化且开花,生长势转弱,表现出的抗寒性较差。竹类植物的抗寒性除了受以上因素的影响外,还与周围环境因素有关。同一种群的植物处于同一生态位中,资源需求的相似性和资源的稀缺性往往成为邻株植物之间竞争的根源所在^[18-20]。竹类植物竹鞭穿透力强,较易侵占到相邻植物的生长空间进行生长、扩张和繁衍,威胁原有植物。如黄皮绿筋竹位于红哺鸡竹与黄竿京竹中间,红哺鸡竹和黄竿京竹生长势强,即使中间有隔板分隔,竹鞭仍然串入到黄皮绿筋竹林内,从而使黄皮绿筋竹生长势变弱,抗寒性减弱。

竹类植物栽植的地域不同,表现出的抗寒性有明显差异。王文哲等^[6,21]在研究日照地区竹子抗寒性中,从形态和生理生化方面对23个竹种(品种)的抗寒性进行了研究,认为罗汉竹和矢竹抗寒性强。秦宇^[22]在山东省引种观赏竹的

抗寒性研究得出,四季竹和矢竹抗寒性强。该研究中,四季竹、罗汉竹和矢竹的受冻情况相对比较严重。四季竹部分叶片干枯,植株上部枯萎。罗汉竹叶片全部干枯,部分竹秆变色,少部分死亡。矢竹地上部分全部死亡,但竹鞭未受太大影响。这与北京地区天气干燥多风,植株比较缺水造成生长势相对较弱,从而降低了抗寒性有关。另外,2021年1月温度更低,仅 $-20.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,超过这3种竹类植物所能忍受的范围。

4 结论

该研究运用层次分析法,对北京植物园60个竹类植物进行了评价,并用聚类分析法按评价分数值,划分了4个等级。评价等级为I级的竹类植物有28种,占总数的46.7%,这说明近50%的竹类植物在北京地区能够抵御 $-20.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 极端低温,能够适应北京地区的气候条件,可广泛地推广应用;评价等级II级有11种,这部分竹类植物叶片、小枝受轻微影响,抗寒性较强,较适应北京地区气候条件,可以适当推广应用;评价等级III、IV级的竹类植物,受立地条件、周围环境以及管理措施的影响较大,且需要有一定的管理经验,在此基础上,可以在特定条件下小面积栽植。

参考文献

[1] 孙茂盛, 鄢波, 徐田, 等. 竹类植物资源与利用[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
 [2] 刘秋芳, 张旭东, 周金星, 等. 我国竹子抗寒性研究进展[J]. 世界林业研究, 2006, 19(5): 59-62.
 [3] 刘国华, 栾以玲, 张艳华. 自然状态下竹子的抗寒性研究[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(2): 10-14.

(上接第104页)

[15] 环境保护部, 中国科学院. 关于发布《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》的公告: 公告 2013 年第 54 号[EB/OL]. (2013-09-02) [2021-09-21]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201309/t20130912_260061.htm.

(上接第111页)

[74] LEIMU R, MUTIKAINEN P, KORICHEVA J, et al. How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation? [J]. *Journal of ecology*, 2006, 94(5): 942-952.
 [75] WAITT D E, LEVIN D A. Genetic and phenotypic correlations in plants: A botanical test of Cheverud's conjecture [J]. *Heredity*, 1998, 80(3): 310-319.
 [76] DAVIES C, ELLIS C J, IASON G R, et al. Genotypic variation in a foundation tree (*Populus tremula* L.) explains community structure of associated epiphytes [J]. *Biology letters*, 2014, 10(4): 1-5.
 [77] 张光明, 谢寿昌, 袁牢山. 木果石栎群落优势种的生态位宽度与重叠[J]. 云南植物研究, 2000, 22(4): 431-446.
 [78] LIU W Y, FOX J E D, XU Z F. Biomass and nutrient accumulation in montane evergreen broad-leaved forest (*Lithocarpus xylocarpus* type) in Ailao Mountains, SW China [J]. *Forest ecology and management*, 2002, 158(1/2/3): 223-235.
 [79] VITOUSEK P M, SHEARER G, KOHL D H. Foliar ^{15}N natural abundance

[4] 葛忠强, 吴德军, 李春明, 等. 10个竹子品种在山东自然寒冷条件下抗寒性评价[J]. 山东林业科技, 2020, 50(5): 13-18, 12.
 [5] 蔡纯. 部分竹种抗寒性研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
 [6] 王文哲, 梁青, 丁振. 日照地区部分竹子的抗寒性研究[J]. 山东林业科技, 2012, 42(5): 22-25.
 [7] 张玲. 引种地被竹的抗旱抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
 [8] 黄滔, 黄程前, 刘玮, 等. 湖南长沙地区13种观赏竹抗寒性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(25): 6-12.
 [9] 徐传保, 赵兰勇, 张廷强, 等. 以电导法配合 Logistic 方程确定四种竹子的抗寒性[J]. 北方园艺, 2009(2): 182-184.
 [10] 徐传保. 部分竹子抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
 [11] 蔡纯, 武荣花, 范自川, 等. 我国竹子抗寒性研究进展[J]. 河南农业科学, 2015, 44(5): 13-17.
 [12] 张玮, 谢锦忠. 竹子抗寒性研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(9): 5281-5282, 5286.
 [13] 王金革, 陈进勇. 北京植物园竹亚科植物耐寒性评价[J]. 世界竹藤通讯, 2012, 10(2): 1-8.
 [14] 蔡伟国, 张济和. 北京植物园的抗寒竹种[J]. 竹子研究汇刊, 1989, 8(2): 66-71.
 [15] 张济和. 北京植物园竹亚科植物的引种栽培[J]. 中国园林, 1990, 6(3): 44-49.
 [16] 朱莹, 宋华, 刘恒星, 等. 120个有髯鸢尾品种的园林应用综合评价[J]. 中国园林, 2021, 37(9): 101-105.
 [17] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息, 2012(2): 39-40.
 [18] 施建敏, 叶学华, 陈伏生, 等. 竹类植物对异质生境的适应——表型可塑性[J]. 生态学报, 2014, 34(20): 5687-5695.
 [19] 赵金龙, 王沂鑫, 韩海荣, 等. 辽河源不同龄组油松天然次生林生物量及空间分配特征[J]. 生态学报, 2014, 34(23): 7026-7037.
 [20] 秦鹏, 顾琪, 王舒宗, 等. 4种地被竹大个体空间分布的点格局分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(4): 39-45.
 [21] 王文哲. 日照地区竹子抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
 [22] 秦宇. 山东省引种观赏竹的抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.

[16] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 等. 中国高等植物受威胁物种名录[J]. 生物多样性, 2017, 25(7): 696-744.
 [17] 中国科学院植物研究所(系统与进化植物学国家重点实验室). 中国珍稀濒危植物名录(汇总)[EB/OL]. [2021-09-21]. <http://www.iplant.cn/rep/protlit>.

in Hawaiian rainforest: Patterns and possible mechanisms [J]. *Oecologia*, 1989, 78(3): 383-388.
 [80] HULSHOF C M, VIOLLE C, SPASOJEVIC M J, et al. Intra-specific and inter-specific variation in specific leaf area reveal the importance of abiotic and biotic drivers of species diversity across elevation and latitude [J]. *Journal of vegetation science*, 2013, 24(5): 921-931.
 [81] UMAÑA M N, SWENSON N G. Intraspecific variation in traits and tree growth along an elevational gradient in a subtropical forest [J]. *Oecologia*, 2019, 191(1): 153-164.
 [82] LIU X J, SWENSON N G, LIN D M, et al. Linking individual-level functional traits to tree growth in a subtropical forest [J]. *Ecology*, 2016, 97(9): 2396-2405.
 [83] FAJARDO A, PIPER F I. Intraspecific trait variation and covariation in a widespread tree species (*Nothofagus pumilio*) in southern Chile [J]. *New phytologist*, 2011, 189(1): 259-271.
 [84] 李晶晶. 西双版纳热带季节雨林桐栎桶功能性状种内变异的研究及应用[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018.