

# Comprehensive Evaluation on Hardy Waterlilies by Analytic Hierarchical Process in Shanghai

Li Tu<sup>1</sup>, Xiaojing Sun<sup>2</sup>, Kuan Yang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Shanghai Chenshan Botanical Garden, Shanghai

<sup>2</sup>Science and Technology Commission of Shanghai Municipality, Shanghai

Email: \*578551864@qq.com, 576383064@qq.com

Received: Feb. 26<sup>th</sup>, 2017; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 20<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

A comprehensive evaluation on 47 hardy waterlilies was carried by analytic hierarchical process in Shanghai. According to the evaluation results of 11 selected indexes, 47 varieties were classified into 4 grades: grade I (>7.56) has 7 varieties; grade II (6.46 - 7.56) has 15 varieties; grade III (5.37 - 6.46) has 15 varieties; grade IV (<5.37) has 10 varieties. The results of comprehensive evaluation were agreed with the actual application effect, which provided the scientific basis for hardy waterlilies selection in Shanghai area.

## Keywords

Hardy Waterlily, Comprehensive Evaluation, Analytic Hierarchical Process

---

# 基于层次分析法的上海地区耐寒睡莲综合评价

屠莉<sup>1</sup>, 孙小晶<sup>2</sup>, 杨宽<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>上海辰山植物园, 上海

<sup>2</sup>上海市住房和城乡建设管理委员会科学技术委员会, 上海

Email: \*578551864@qq.com, 576383064@qq.com

收稿日期: 2017年2月26日; 录用日期: 2017年3月17日; 发布日期: 2017年3月20日

---

\*通讯作者。

## 摘要

运用层次分析法对上海地区栽植的47个耐寒品种(种)进行了综合评价。根据11个选择指标的评价结果,把47种分为4级: >7.56分为I级, 包含7个品种; 6.46~7.56分为II级, 包含15个品种; 5.37~6.46分为III级, 包含15个品种; <5.37分为IV级, 包含10个品种(种)。综合评价结果与耐寒睡莲的实际应用效果表现一致, 为上海地区睡莲品种的选择应用提供了科学依据。

## 关键词

耐寒睡莲, 综合评价, 层次分析法

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

睡莲为睡莲科(Nymphaeaceae)睡莲属(Nymphaea)植物的统称, 是多年水生草本花卉植物, 其花色艳丽, 是上海地区园林水景营造常见植物[1]。根据生态习性, 睡莲可分为热带睡莲与耐寒睡莲, 其中耐寒睡莲在冬季可进入休眠, 有很强的耐寒能力。上海地处江海交汇的长江三角洲东部, 属湿润的北亚热带季风气候区, 4~8月盛行夏季东南风, 暖热湿润, 11~2月气温较低, 无严冬天气, 其气候条件完全能够满足耐寒睡莲的生长繁殖要求。20世纪90年代以来, 上海地区开始大力引种栽培耐寒睡莲, 并进行应用。本研究在前人研究的基础上, 拟通过层次分析法筛选出综合性状优良并适合上海地区的耐寒睡莲品种资源, 以期为本地园林绿化和产业发展提供参考。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 材料

本研究利用上海辰山植物园中栽培的47种耐寒睡莲植株作为研究对象(表1)。

### 2.2. 观测方法

每个品种选取10株代表性的健康植株作为观察株, 植于相同规格的容器中, 进行挂牌, 采集观赏数据, 观察时期为从长出浮叶到花期结束。采用缸栽法种植, 缸口径53cm, 高45cm, 栽植深度10cm, 常规水肥管理方法。

### 2.3. 综合评价体系的建立

采用层次分析法进行评价, 根据所有品种的得分情况制定4级分级标准。层次分析法(Analytic hierarchy process)是美国运筹学家萨蒂在20世纪70年代提出的一种决策方法[2], 它结合定性与定量分析, 将人的主观判断用量化的方式进行表达和处理, 并广泛应用于观赏植物的评价中[3][4][5][6]。

#### 2.3.1. 建立分层结构模型

在开花盛期, 对花色、着花密度、单花开放时间、花形、花径、重瓣性、群体花期、香味、挺浮水、

**Table 1.** The tested hardy waterlilies  
**表 1.** 待试耐寒睡莲品种

序号	品种	学名	序号	品种	学名
1	阿斯梅拉特	<i>N.</i> 'Esmeralda'	25	莉莉·潘斯	<i>N.</i> 'lily Pons'
2	奥毛斯特	<i>N.</i> 'Almost Black'	26	路易斯	<i>N.</i> 'Louise'
3	澳大利亚红	<i>N.</i> 'Australian Red'	27	美拉	<i>N.</i> 'Mayla'
4	巴巴拉	<i>N.</i> 'Barbara Dobbins'	28	美洲之星	<i>N.</i> 'American Star'
5	保罗	<i>N.</i> 'PaulHarriot'	29	孟加勒	<i>N.</i> 'Mangala-Ubon'
6	贝特西	<i>N.</i> 'Betsy Sakata'	30	普林尼斯白睡莲	<i>N.</i> 'AlbaPlenissima'
7	彼得	<i>N.</i> 'Peter Slocum'	31	水之友	<i>N.</i> 'MitraWaree'
8	碧月	<i>N.</i> 'BiYue'	32	苏人	<i>N.</i> 'Sioux'
9	伯瑞特·斯创	<i>N.</i> 'Berit Strawn'	33	桃色辉光	<i>N.</i> 'Peachglow'
10	查兰娜·斯创	<i>N.</i> 'Charlene Strawn'	34	童心	<i>N.</i> 'TongXin'
11	赤子之心	<i>N.</i> 'ChiZiZhiXin'	35	万维莎	<i>N.</i> 'Wanvisa'
12	达尔文	<i>N.</i> 'Darwin'	36	威尔弗伦夫人	<i>N.</i> 'MmeWilfronGonnere'
13	德克萨斯	<i>N.</i> 'Texas Dawn'	37	霞光	<i>N.</i> 'Pink Sunrise'
14	娥妮	<i>N.</i> 'E'ni'	38	霞光万丈	<i>N.</i> 'XianguangWanzhang'
15	粉葡萄	<i>N.</i> 'Pink Grapefruit'	39	鲜粉	<i>N.</i> 'PinkOpol'
16	粉色黎明	<i>N.</i> 'Pink Dawn'	40	小白仙子	<i>N.</i> 'XiaoBai Xian Zi'
17	光辉	<i>N.</i> 'Lustrous'	41	星光	<i>N.</i> 'Starbright'
18	豪华	<i>N.</i> 'Somptuosa'	42	亚克	<i>N.</i> 'Arc-en-ciel'
19	红雷克	<i>N.</i> 'LaydekeriFulgens'	43	伊丽莎白公主	<i>N.</i> 'Princess Elizabeth'
20	红苏丹	<i>N.</i> 'Sultan'	44	莹宝石	<i>N.</i> 'Perry's Fire Opal'
21	红仙子	<i>N.</i> 'RoseArey'	45	柚子粉	<i>N.</i> 'YouZiFen'
22	红星	<i>N.</i> 'Red Star'	46	诱惑	<i>N.</i> 'Attraction'
23	黄公主	<i>N.</i> 'Yellow Princess'	47	月亮女神	<i>N.</i> 'Moondance'
24	黄皇后	<i>N.</i> 'Yellow Queen'			

叶片观赏价值、品种健壮指数 11 个主要观赏性状进行详尽的观察记录。在充分了解睡莲的性状特性、市场偏爱及专家访问和参照其它花卉分类、分级评定标准基础上,采用层次分析法对待测品种进行评价,分层结构模型如表 2。

### 2.3.2. 矩阵一致性检验

在 AHP 评价体系中,根据总目标要求、专家及游客意见判断耐寒睡莲观赏性状、生长性状和适应性性状的重要程度,用 1-9 比率标度使之定量化,并构成两两比较判断矩阵。

通过计算判断矩阵的最大特征根( $\lambda_{\max}$ )及对应特征向量(W),计算出某一层各因素相对于上一层某因素的相对重要性权值。本评价体系构造出 A~C (第二层因素相对于第一层的比较判断)、C~P (第三层因素相对于第二层的比较判断)共 4 个矩阵(表 3),并进行一致性检验。

**Table 2.** Comprehensive evaluation model on hardy waterlilies varieties**表 2.** 耐寒睡莲品种评价因子的分层结构模型

目标层 A	约束层 C	指标层 P	最基层 D
优良的睡莲品种	C1 观赏性状	P1 花色, P2 花型, P3 重瓣性, P4 叶片观赏价值, P5 单花开放时间	
	C2 生长性状	P6 着花密度, P7 群体花期, P8 挺浮水, P9 花径, P10 香味	
	C3 品种适应性状	P11 品种健壮指数	
			待测睡莲品种

**Table 3.** Judgment matrix and consistency check**表 3.** 判断矩阵及其一致性检验

A-C				C1-Pi							
A	C1	C2	C3	W	C1	P1	P2	P3	P4	P5	W
C1	1	3	3	0.905	P1	1	3	3	4	5	0.846
C2	1/3	1	1	0.302	P2	1/3	1	1	2	3	0.340
C3	1/3	1	1	0.302	P3	1/3	1	1	2	3	0.340
					P4	1/4	1/2	1/2	1	2	0.196
					P5	1/5	1/3	1/3	1/2	1	0.122
$\lambda_{\max} = 3.000$ CI = 0.000 CR = 0.000				$\lambda_{\max} = 5.057$ CI = 0.014 CR = 0.013							
C2-Pi							C3-Pi				
C2	P6	P7	P8	P9	P10	W	C3	P11			W
P6	1	3	5	7	7	0.878	P11	1			1
P7	1/3	1	2	5	5	0.402					
P8	1/5	1/2	1	3	3	0.225					
P9	1/7	1/5	1/3	1	1	0.091					
P10	1/7	1/5	1/3	1	1	0.091					
$\lambda_{\max} = 5.098$ CI = 0.025 CR = 0.022							$\lambda_{\max} = 1$ CI = 0 CR = 0				

### 2.3.3. 品种评分标准

根据文献研究和专家意见, 结合实际观察和测量数据, 拟订了 4 分制的睡莲评价具体指标评分标准(表 4), 再结合具体品种各个因素的评分值, 最终计算出各睡莲品种的评价值。

### 2.3.4. 分级方法

根据观察记录资料的统计结果, 依据综合评价体系对每一品种的各项性状对照睡莲观赏性状评价标准进行逐项打分, 并计算每个品种的总分(X)和所有品种得分的平均值(M)。采用统计学方法, 计算标准差(S), 根据所有品种的得分情况制定 4 个观赏等级,  $X \geq +S$  者为 I 级,  $+S > X >$  者为 II 级,  $>X >$  -S 者为 III 级,  $X \leq X-S$  者为 IV 级[7] [8]。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 判断矩阵一致性检验结果

在层次分析法中, 对构造的 4 个判断矩阵(表 3)进行一致性检验。判断矩阵偏离一致性指标为  $CI = \lambda_{\max} - n / (n - 1)$ , CI 与判断矩阵的平均随机一致性指标 RI 之比值 CR, 即为判断矩阵一致性指标,  $CR = CI / RI$

(RI 值见表 5)。若  $CR < 0.10$ ，则认为该矩阵具有满意一致性，否则应进行调整。根据 4 个判断矩阵的计算结果(表 3)，4 个判断矩阵  $CR < 0.10$ ，均具有满意的一致性。

### 3.2. 各评价指标权重

得到各个评价指标相对于所隶属性状的加权值后，再与该性状的权值加权综合，即可计算出指标层各评价指标因素相对于总的综合评价值的权值(如表 6 所示)。

### 3.3. 品种评价结果

根据制定的评分标准，对耐寒睡莲品种进行评估打分，结果见表 7。依据综合评价结果，采用统计学方法，计算待测耐寒睡莲品种得分均值  $X$  (6.463)与分值标准差  $S$  (1.092)，依此将 47 个耐寒睡莲品种观赏性价值分为 4 个等级，将得分高于  $X + S$  的品种列为 I 级品种，将得分介于  $X + S \sim X$  的品种列 II 级品种，将得分  $X \sim X - S$  的品种列为 III 级品种，将得分低于  $X - S$  的品种列为 IV 级品种[7]。

**Table 4.** Appraisal criterion of the specific evaluation index

**表 4.** 具体评价指标的评分标准

具体评价指标	分值			
	4	3	2	1
花色	镶嵌、洒金等靓丽花色	鲜红、变色等鲜艳花色	玫红、深粉、深黄等较靓丽花色	常见淡粉、白色等
花型	星芒放射状	碟形放射状	杯状	碗状
重瓣性	花瓣 50 枚以上	花瓣 35~50 枚	花瓣 25~35 枚	花瓣 25 枚以下
叶片观赏价值	叶片有斑块镶嵌	叶片有条纹镶嵌	纹理不多见，或褪去	叶片为常见绿色
单花开放时间	$\geq 6$ h	4~6 h	$< 4$ h	
着花密度	5 d 开花 $\geq 5$ 朵	5 d 开花 2~4 朵	5 d 开花 $\leq 2$ 朵	
群体花期	$> 180$ d	120~180 d	$< 120$ d	
挺浮水	花朵挺出水面 $> 10$ cm	花朵挺出水面 $> 5 \sim 10$ cm	花朵挺出水面 $< 5$ cm	花朵浮水
花径	$\geq 20$ cm	$\leq 10$ cm	10~20cm	
香味	浓香	淡香	无香	
品种健壮指数	$\geq 90\%$	75%~90%	60%~75%	$\leq 60\%$

**Table 5.** Random identical index

**表 5.** 平均随机一致性指标(RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.000	0.000	0.580	0.900	1.120	1.240	1.320	1.410	1.450	1.490

**Table 6.** The total value for the standard hierarchy related to the objective hierarchy

**表 6.** 指标层对于目标层的权值

层次 C	C1			C2			C3				
	0.905			0.302			0.302				
层次 P	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
	0.846	0.340	0.340	0.196	0.122	0.878	0.402	0.225	0.091	0.091	1.000
总权重	0.766	0.308	0.308	0.177	0.110	0.265	0.121	0.068	0.027	0.027	0.302

**Table 7.** Comprehensive evaluation of hardy waterlilies varieties  
**表 7.** 耐寒睡莲综合评价结果

序号	品种	花色	花形	花瓣数	叶片	开花时间	盛期着花密度	群体花期	花朵挺出水面	花径	香味	生长势	得分
1	万维莎	4	4	2	4	4	4	4	2	2	3	4	9.083
2	霞光万丈	3	4	4	2	4	4	4	2	4	2	4	8.606
3	粉色黎明	4	3	2	2	3	4	4	2	2	3	4	8.311
4	桃色辉光	3	4	3	1	4	4	4	2	4	2	4	8.121
5	孟加勒	3	4	3	1	4	4	4	1	4	3	4	8.080
6	巴巴拉	3	4	2	2	4	4	4	2	3	3	4	7.990
7	红仙子	3	4	3	3	2	4	4	1	4	3	3	7.912
8	德克萨斯	2	4	1	4	4	4	4	3	3	3	4	7.338
9	美洲之星	3	4	2	3	3	4	3	2	3	3	2	7.332
10	赤子之心	3	4	3	1	3	3	3	1	4	3	3	7.282
11	黄皇后	2	4	2	2	4	4	4	2	4	3	4	7.251
12	莉莉·潘斯	3	4	4	3	3	2	3	1	2	2	1	6.994
13	美拉	3	2	3	1	3	3	3	1	4	3	4	6.968
14	伊丽莎白公主	3	4	2	1	3	3	3	1	2	3	3	6.920
15	豪华	3	1	3	4	2	3	4	1	2	3	3	6.846
16	黄公主	2	1	3	4	4	4	3	1	4	4	4	6.827
17	澳大利亚红	3	4	2	1	3	3	2	1	4	2	3	6.826
18	童心	3	4	3	1	3	2	2	1	2	2	3	6.815
19	奥毛斯特	3	2	3	4	3	3	2	1	3	4	2	6.774
20	鲜粉	3	4	2	1	3	3	2	1	2	2	3	6.772
21	贝特西	2	4	1	1	4	4	4	2	2	3	4	6.712
22	保罗	3	4	1	1	3	3	2	1	3	3	3	6.518
23	伯瑞特·斯创	2	3	2	2	3	4	4	2	2	2	3	6.450
24	路易斯	2	4	1	3	3	4	3	1	2	2	3	6.438
25	查兰娜·斯创	2	4	1	2	4	4	3	1	3	3	3	6.425
26	月亮女神	1	4	2	1	4	4	4	4	2	3	4	6.390
27	苏人	3	1	1	2	3	4	4	2	3	3	3	6.346
28	红雷克	3	1	1	4	3	4	4	1	2	4	2	6.330
29	红星	3	4	2	1	3	2	2	2	2	2	2	6.273
30	阿斯梅拉特	3	4	2	1	3	2	2	1	4	2	2	6.259
31	红苏丹	3	4	2	1	3	2	2	1	2	3	2	6.232
32	莹宝石	2	4	3	1	3	2	2	1	2	3	3	6.076
33	彼特	2	1	3	4	3	3	4	2	4	4	2	6.037
34	星光	2	4	2	1	3	3	2	1	2	2	2	5.704

## Continued

35	达尔文	2	1	3	4	3	3	2	1	3	2	2	5.646
36	碧月	1	4	2	1	3	3	3	1	2	3	3	5.388
37	亚克	1	4	1	4	3	2	3	2	2	2	3	5.387
38	娥妮	1	4	1	1	4	3	3	3	2	2	3	5.299
39	霞光	1	4	3	1	3	2	2	1	2	2	3	5.283
40	柚子粉	1	4	3	1	3	2	2	1	2	2	3	5.283
41	威尔弗伦夫人	2	2	2	1	3	2	2	1	4	3	3	5.206
42	诱惑	1	1	2	4	3	3	4	1	4	3	3	5.170
43	粉葡萄	1	4	1	1	3	2	4	2	2	3	3	5.004
44	光辉	1	4	2	1	3	2	2	1	2	2	3	4.975
45	水之友	1	4	2	1	3	2	2	1	2	2	2	4.673
46	普林尼斯白睡莲	1	1	2	1	3	3	2	1	2	2	4	4.618
47	小白仙子	1	2	1	1	3	4	2	1	3	2	3	4.608

根据综合评价结果,将评分高于 7.555 的品种划为 I 级品种,共 7 个品种,分别为万维莎、霞光万丈、粉色黎明、桃色辉光、孟加勒、巴巴拉、红仙子, I 级品种既具有很高的观赏价值和应用价值,可在上海地区园林绿地中重点使用;将评分介于 6.463~7.555 的品种划为 II 级品种,共 15 个品种,分别为德克萨斯、美洲之星、赤子之心、黄皇后、莉莉·潘斯、美拉、伊丽莎白公主、豪华、黄公主、澳大利亚红、童心、奥毛斯特、鲜粉、贝特西、保罗,其具有较高的观赏价值和应用价值;将评分介于 5.371~6.463 的品种划为 III 级品种,共 15 个,分别为伯瑞特·斯创、路易斯、查兰娜·斯创、月亮女神、苏人、红雷克、红星、阿斯梅拉特、红苏丹、莹宝石、彼特、星光、达尔文、碧月、亚克,其观赏价值和应用价值较为一般,在园林应用中可作为参考品种使用;将评分低于 5.371 的品种划为 IV 级品种,共 10 种,分别为娥妮、霞光、柚子粉、威尔弗伦夫人、诱惑、粉葡萄、光辉、水之友、普林尼斯白睡莲、小白仙子,其使用价值相对较低,可作为资源储存品种,以备后续开发。

#### 4. 结论与讨论

陈发棣[8]、李淑娟等人均曾运用统计学方法对南京、关中地区引进的耐寒睡莲进行过观赏性和适应性评价,本课题组在评价指标制定和评价体系构建的过程中也以前人的研究为基础,并对前人的标价体系进行了调整,去除了不适合研究服务对象的指标,如是否适宜做切花、品种的繁殖指数、结实性等指标,并增加了品种的单日开花时间、品种健壮指数等观赏适应性指标,同时评价更突出耐寒睡莲在观赏性上的价值,导致评价结果也与前人有所差异。

通过连续对耐寒睡莲观赏性状的深入研究,为上海地区耐寒睡莲品种应用提供了科学依据,着重考虑耐寒睡莲的花型、花色、重瓣性和花期长短等观赏特点,制定了适合上海地区的耐寒睡莲评价标准,进而对每一品种进行评价,基本上反映了耐寒睡莲品种在上海地区的表现及其整体观赏性状的优劣,为上海地区选择栽培睡莲品种提供了科学的参考依据和评价体系。

#### 基金项目

本研究由上海市绿化和市容管理局科技攻关项目(G172408; G162414)资助。

## 参考文献 (References)

- [1] 黄国振, 邓惠勤, 李祖秀, 等. 睡莲[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [2] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科技出版社, 1986.
- [3] 熊亚运, 夏文通, 王晶, 等. 基于观赏价值和种球再利用的郁金香品种综合评价与筛选[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(1): 107-114.
- [4] 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(自然科学版), 2015, 39(1): 93-98.
- [5] 徐忠, 张春英. 层次分析法在上海露地栽培杜鹃花品种综合评价中的应用[J]. 上海农业学报, 2014, 30(3): 52-55.
- [6] 白露, 张志国, 栾东涛, 等. 基于层次分析法的八仙花引种适应性综合评价[J]. 北方园艺, 2015(24): 40-45.
- [7] 李淑娟, 樊璐, 原雅玲, 等. 关中地区引进耐寒睡莲品种观赏性状评价及优良品种筛选[J]. 陕西林业科技, 2010(3): 15-18.
- [8] 陈发棣, 崔娜欣, 丁跃生. 南京地区新引耐寒睡莲主要观赏性状初步评价[J]. 上海农业学报, 2002, 18(3): 51-55.

### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [br@hanspub.org](mailto:br@hanspub.org)