

刘光杨,周 炜,白竹谊,等. 耐阴小型荷花品种筛选研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(10):186-193.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.10.034

耐阴小型荷花品种筛选研究

刘光杨¹,周 炜¹,白竹谊¹,郭 奕²,吕存红²,金奇江¹,王彦杰¹,徐迎春¹

(1. 南京农业大学园艺学院,江苏南京 210095; 2. 浙江伟达园林工程有限公司,浙江杭州 311256)

摘要:对湘湖流霞、丹阳点绛、湘湖烟雨、小娃娃、小樱桃、小绣球、越城晚霞、月光、曙色、粉月、星月朦胧、大师、鼓浪小红 13、红灯笼、童乐、童趣等 16 个小型荷花品种进行 0%、22%、58%、70% 的遮阴处理,通过研究不同遮阴处理对荷花生长和生理特性的影响,以期选出耐阴性强的品种。结果表明,不同品种的荷花在遮阴情况下都可以通过改变外在结构和内部物质含量的方法来适应弱光环境。在弱光环境下,荷花的立叶高度、叶片数、叶面积、叶绿素含量等都有所提高,可溶性糖含量有所降低。通过运用主成分分析法等数学方法对荷花的耐阴性进行综合评价分析,最终筛选出湘湖烟雨、湘湖流霞、曙色 3 个具有较强耐阴性的荷花品种。

关键词:荷花;耐阴性;筛选;主成分分析

中图分类号:S682.320.37 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)10-0186-08

荷花是我国传统十大名花之一,自古以来深受人们的喜爱。荷花是喜光植物^[1],在室内种植时由于光照弱,其生长较差,所以观赏效果不佳,部分品种在室内种植甚至会死亡。在实际应用中,荷花的喜光生理特性制约着小型盆栽荷花的推广。

近年来,一些小型的适合盆栽的荷花品种被选育出来^[2]。为了将小型盆栽荷花推向市场,亟待选育出耐阴性好的荷花品种。为此,本研究以观赏价值较高的 16 个小型荷花品种为试材,通过设置不同遮阴度处理,研究其对小型荷花生长和生理特性的影响,以筛选出耐阴性较强的小型荷花品种,为小型荷花盆花生产及市场推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验在浙江省杭州市萧山区义桥镇浙江省风景园林学会水生植物伟达研究所苗木基地进行。

1.2 试验材料

本试验共使用 16 个荷花品种,分别为湘湖流霞、丹阳点绛、湘湖烟雨、小娃娃、小樱桃、小绣球、越城晚霞、月光、曙色、粉月、星月朦胧、大师、鼓浪小红 13、红灯笼、童乐、童趣,均由浙江伟达园林工程有限公司提供。

1.3 试验处理

本次试验于 2018 年 4 月至 2018 年 7 月在浙江伟达园林工程有限公司进行。4 月 15 日挑选植株健壮、大小一致、具明显侧芽和顶芽,且包括 2 个完整的节和节间的种藕移入口径为 380 mm 的花盆中。待荷花长出叶片后,于 5 月 15 日用不同遮光度的黑色遮阳网对荷花进行遮阴处理。遮阴度分别为 0% (CK)、22%、58%、70%。采用完全随机区组设计,每个处理、每个品种设 3 个重复。

收稿日期:2019-03-25

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(16)1024];南京农业大学大学生科研训练项目(编号:1814A09);江苏高校品牌专业建设工程(编号:PPZY2015B156)。

作者简介:刘光杨(1997—),男,山东泰安人,主要从事荷花睡莲品种的筛选工作。E-mail:463344741@qq.com。

通信作者:徐迎春,博士,副教授,硕士生导师,主要从事荷花生理、分子生物学方面的研究。E-mail: xyc@njau.edu.cn。

[10] 张 智,刘建新,王炜勇. 正交设计在根茎秋海棠‘Helen Lewis’组织培养中的应用[J]. 浙江农业学报,2011,23(6):1119-1122.

[11] 刘 君,黑银秀,朱长志,等. 应用正交设计法优选救心菜不定芽增殖培养基[J]. 南方农业学报,2015,46(11):2015-2019.

[12] 刘 庆,朱世杨,张小玲,等. 正交试验设计在花椰菜不育系丛生芽诱导培养中的应用研究[J]. 安徽农学通报,2014,20(13):61-62.

[13] 庄枫红,马姜明,梅军林,等. 应用正交设计法优选莼菜扦插繁殖方法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2016,34(3):144-149.

[14] 毛 羽,张无敌. 无土栽培基质的研究进展[J]. 农业与技术,2004,24(3):83-88.

[15] 陈宝玲,王华新,陈 尔,等. 不同栽培基质对纹瓣兰组培苗生长的影响[J]. 广东农业科学,2014,41(20):29-32.

1.4 指标的测定方法

1.4.1 形态指标 于 2018 年 7 月 15 日(开花期)测量以下形态指标:

(1)立叶高度(cm):以种植盆底为起点,直接用卷尺测量,每盆测量 3 次;(2)叶面积(cm^2):以叶片的最大直径(cm)为代表,直接用卷尺测量,每盆测量 3 次;(3)叶片数(张):长势良好、完整叶片的数量;(4)冠幅(cm):整株荷花叶幕区的最大直径;(5)开花数(朵):自定植日至测量日的总开花数。

1.4.2 生理指标 于 2018 年 7 月 15 日取叶片,测定以下生理指标:(1)叶绿素含量,采用分光光度计法^[3]测量;(2)可溶性糖含量,采用蒽酮比色法^[3]测定。

1.4.3 数据处理与分析 所有数据采用 Excel 2003 进行统计,利用软件 SPSS 20 进行方差分析、相关性分析及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同遮阴度对荷花生长的影响

2.1.1 对立叶高度的影响 由表 1 可知,不同遮阴度处理下不同品种荷花的立叶高度整体上较 CK 都有所提高。在不同遮阴度下,丹阳点绛、湘湖烟雨、曙色、星月朦胧、鼓浪小红 13、红灯笼、月光等 7 个品种的立叶高度一直呈增加趋势,其余品种的立叶

高度都呈先增后减的趋势,在遮阴度 58% 时达到最大值。这与尹慧等对于白三叶的研究结果^[4]是一致的。不同品种的立叶高度之间存在着明显差异,其中大师、曙色、小樱桃在遮阴情况下的立叶高度变化较为明显,在 22% 的遮阴度下,立叶高度较 CK 分别提升 55.25%、50.88%、31.65%,说明这些品种对于弱光环境较为敏感,可以迅速作出反应,以抵抗不利环境的影响。在 70% 的遮阴度下,曙色立叶高度较 CK 提升 82.33%,湘湖烟雨次之,立叶高度提升 80.38%,说明这 2 个品种的耐阴性较好。

2.1.2 对叶面积的影响 由表 2 可知,小娃娃、曙色、星月朦胧、鼓浪小红 13 等 4 个品种叶面积一直增加,其余品种的叶面积都呈先增后减的趋势。在 22% 的遮阴度下,所有品种的叶面积均较 CK 有所提升,其中小樱桃、大师、湘湖流霞变化较为明显,分别较 CK 提高 164.09%、115.48%、92.64%。说明这 3 个品种对弱光较为敏感。在中等遮阴度下,所有品种的叶面积均较 CK 有所增长,说明荷花是具有一定耐阴性的^[5-6]。其中湘湖烟雨、小娃娃、星月朦胧的提升幅度是较大的,说明它们具有较好的耐阴性。

2.1.3 对叶片数的影响 由表 3 可知,随着遮阴度的升高,小樱桃、童趣、湘湖流霞、月光的叶片数一直呈下降趋势,说明其通过增加叶片数来抵抗弱光

表 1 不同遮阴条件下荷花立叶高度的变化

品种	不同遮阴度下的立叶高度(cm)			
	0(CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	20.13 ± 3.83c	24.42 ± 2.75b	31.43 ± 4.20a	22.94 ± 2.85bc
丹阳点绛	35.23 ± 3.42c	41.94 ± 2.67b	44.83 ± 2.36ab	48.38 ± 3.62a
湘湖烟雨	22.58 ± 2.04b	27.45 ± 1.96b	35.64 ± 2.84a	40.73 ± 3.85a
小娃娃	41.92 ± 3.74a	45.85 ± 4.72a	49.39 ± 5.21a	46.24 ± 3.06a
小樱桃	21.23 ± 3.28c	27.95 ± 1.83b	35.34 ± 3.74a	29.93 ± 3.64ab
小绣球	20.67 ± 1.94c	26.34 ± 1.82b	32.64 ± 2.49a	21.75 ± 2.33c
越城晚霞	44.93 ± 5.39b	57.03 ± 6.73a	60.63 ± 3.24a	42.34 ± 5.38b
月光	35.59 ± 4.23c	41.29 ± 5.32bc	45.24 ± 2.94ab	51.05 ± 4.82a
曙色	25.02 ± 3.03c	37.75 ± 4.34b	41.75 ± 3.28ab	45.62 ± 4.73a
粉月	29.39 ± 3.81b	37.34 ± 2.48a	41.34 ± 3.85a	36.45 ± 3.04a
星月朦胧	30.48 ± 2.95c	31.23 ± 3.59c	42.85 ± 3.49b	50.67 ± 4.63a
大师	26.84 ± 2.59c	41.67 ± 4.05b	50.83 ± 4.83a	37.58 ± 2.95b
鼓浪小红 13	29.02 ± 1.34b	30.37 ± 2.95b	36.59 ± 2.48a	41.45 ± 3.95a
红灯笼	21.94 ± 3.82b	25.95 ± 3.29ab	26.64 ± 2.74ab	31.38 ± 3.85a
童乐	37.38 ± 4.23b	41.32 ± 5.23b	50.96 ± 3.95a	45.05 ± 4.20ab
童趣	33.67 ± 3.04c	41.48 ± 3.59b	51.34 ± 4.83a	42.94 ± 3.53b

注:同行数据后标有不同小写字母的进行表示差异显著($P < 0.05$)。表 2、表 3、表 4、表 6、表 7 同。

表 2 不同遮阴条件下荷花叶面积的变化

品种	不同遮阴度下的叶面积 (cm ²)			
	0 (CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	154.45 ± 12.45a	297.54 ± 22.53b	363.86 ± 21.42a	324.23 ± 28.54b
丹阳点绛	311.34 ± 24.12c	399.84 ± 35.23b	452.16 ± 32.42a	254.34 ± 19.25d
湘湖烟雨	192.53 ± 17.23c	314.32 ± 22.42b	432.35 ± 29.43a	286.34 ± 19.45b
小娃娃	153.86 ± 18.34c	276.43 ± 26.34b	385.69 ± 32.43a	430.13 ± 28.34a
小樱桃	200.94 ± 24.85c	530.66 ± 43.24a	410.34 ± 35.34b	358.19 ± 26.45b
小绣球	143.88 ± 18.24b	176.35 ± 12.43a	153.86 ± 11.43ab	139.54 ± 10.35b
越城晚霞	302.24 ± 24.92b	403.12 ± 33.53a	369.14 ± 25.86a	294.32 ± 19.35b
月光	284.92 ± 24.94a	357.19 ± 29.42b	452.64 ± 38.54a	379.94 ± 28.85b
曙色	215.74 ± 17.24c	254.97 ± 22.24c	298.79 ± 21.53b	365.56 ± 31.24a
粉月	200.48 ± 13.43c	286.65 ± 12.43ab	312.05 ± 24.12a	267.36 ± 19.24b
星月朦胧	254.02 ± 19.27b	319.19 ± 22.42b	425.39 ± 31.58a	530.93 ± 42.42a
大师	176.02 ± 12.58c	379.29 ± 22.42a	320.54 ± 21.43b	294.84 ± 21.94b
鼓浪小红 13	200.31 ± 15.34d	258.93 ± 21.42c	329.24 ± 20.53b	368.58 ± 19.42a
红灯笼	176.59 ± 15.83bc	242.29 ± 17.24a	194.19 ± 16.23b	164.64 ± 12.54c
童乐	324.69 ± 28.53bc	490.97 ± 33.85a	348.39 ± 31.43b	283.23 ± 24.65c
童趣	254.29 ± 23.85b	348.50 ± 28.34b	385.43 ± 28.63a	353.56 ± 28.34a

表 3 不同遮阴条件下荷花叶片数的变化

品种	不同遮阴度下的叶片数 (张)			
	0 (CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	14.33 ± 1.25b	16.67 ± 1.25a	12.33 ± 0.84c	13.33 ± 0.42bc
丹阳点绛	22.67 ± 1.70b	30.00 ± 1.25a	20.33 ± 1.41c	18.00 ± 1.43c
湘湖烟雨	15.00 ± 1.41a	16.67 ± 1.70a	12.33 ± 0.84b	8.67 ± 0.63c
小娃娃	26.00 ± 1.41b	28.67 ± 1.25a	20.33 ± 1.41c	11.00 ± 0.84d
小樱桃	15.33 ± 0.94a	14.67 ± 1.41a	11.33 ± 0.84b	8.67 ± 0.94c
小绣球	16.33 ± 1.25c	18.33 ± 1.41b	25.67 ± 1.41a	16.33 ± 1.35c
越城晚霞	13.67 ± 1.70b	16.67 ± 0.47a	12.33 ± 0.84b	11.67 ± 0.72b
月光	22.33 ± 1.25b	27.67 ± 1.25a	26.67 ± 1.25a	28.00 ± 1.53a
曙色	12.67 ± 0.88d	28.33 ± 1.70a	20.33 ± 1.41b	16.33 ± 1.56c
粉月	19.33 ± 1.41b	23.67 ± 1.41a	20.00 ± 1.70b	18.00 ± 0.84b
星月朦胧	18.67 ± 0.84b	24.67 ± 1.41a	16.00 ± 0.84c	15.33 ± 1.43c
大师	22.33 ± 1.84c	31.33 ± 2.26a	25.67 ± 2.15b	14.00 ± 0.84d
鼓浪小红 13	26.00 ± 1.41b	30.33 ± 2.53a	24.67 ± 1.53b	20.00 ± 1.35c
红灯笼	23.00 ± 1.70b	36.67 ± 2.94a	22.33 ± 1.63b	15.67 ± 0.89c
童乐	22.33 ± 1.25c	32.67 ± 2.47a	26.67 ± 1.32b	16.33 ± 1.35d
童趣	26.67 ± 1.41a	18.33 ± 0.84b	13.67 ± 0.84c	11.67 ± 1.41d

环境的能力比较弱。除小樱桃、童趣、湘湖流霞、月光外,其他品种的叶片数呈先增后降的趋势。在 22% 遮阴度下,除小樱桃外其他品种的叶片数都比 CK 多,其中曙色的增长幅度最大,达到 123.6%,与 CK 差异显著,说明其对于弱光环境最为敏感。小绣球在 58% 的遮阴度叶片数达到最大值,较 CK 提高了 57.20%。有 12 个品种的叶片数均在 22% 遮阴度下达到最大值。通过该指标评价结果看出,曙

色和小绣球的耐阴性较好。

2.1.4 对冠幅的影响 由表 4 可知,除小娃娃、大师和月光外,其余品种随着遮阴度的增加,冠幅都呈先增后降的趋势。其中曙色在 22% 的遮阴度下冠幅较 CK 显著提高了 51.60%,对弱光环境较敏感。小娃娃在弱光环境下,其冠幅是一直增长的,在 70% 的遮阴度时,其冠幅达到最大值,较 CK 显著提高了 54.59%。月光在 22% 的遮阴度下,其冠幅

表 4 不同遮阴条件下荷花冠幅的变化

品种	不同遮阴度下的冠幅 (cm)			
	0 (CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	37.2 ± 1.6c	54.9 ± 5.2b	65.2 ± 5.2a	58.3 ± 4.6ab
丹阳点绛	52.2 ± 4.5c	59.4 ± 4.6bc	80.3 ± 6.3a	67.4 ± 5.8b
湘湖烟雨	56.2 ± 4.2b	66.8 ± 4.6a	58.8 ± 5.6ab	52.2 ± 4.1b
小娃娃	58.8 ± 6.3b	65.2 ± 5.8b	79.2 ± 6.2a	90.9 ± 7.9a
小樱桃	44.2 ± 4.2b	55.0 ± 4.2a	41.8 ± 5.8b	39.2 ± 2.6b
小绣球	55.8 ± 5.9b	57.2 ± 3.5b	72.2 ± 5.3a	49.9 ± 3.5b
越城晚霞	64.5 ± 5.8a	66.1 ± 4.6a	72.7 ± 4.6a	52.2 ± 5.2b
月光	59.3 ± 6.2b	56.7 ± 4.8b	64.2 ± 2.5ab	71.4 ± 3.9a
曙色	43.8 ± 3.8b	66.4 ± 5.3a	65.7 ± 3.0a	58.7 ± 6.3a
粉月	46.3 ± 4.2b	62.2 ± 5.3a	54.3 ± 6.3ab	51.2 ± 4.0b
星月朦胧	51.9 ± 5.7b	62.9 ± 7.3a	51.3 ± 3.6b	50.3 ± 6.3b
大师	56.2 ± 5.8b	70.3 ± 3.5a	65.3 ± 5.9ab	66.5 ± 6.3a
鼓浪小红 13	56.9 ± 6.2a	61.9 ± 4.6a	45.6 ± 3.6b	44.7 ± 3.9b
红灯笼	53.3 ± 4.6ab	57.1 ± 4.2a	53.2 ± 2.5ab	48.5 ± 2.6b
童乐	62.2 ± 6.2b	75.2 ± 4.6a	70.6 ± 4.6a	61.2 ± 4.7b
童趣	57.2 ± 5.7b	71.8 ± 5.7a	59.3 ± 3.6b	55.8 ± 3.6b

减小,但在遮阴度较高的情况下其冠幅有了较为明显的增长,在 70% 的遮阴度下,其冠幅较 CK 增长了 20.40%。除湘湖流霞、丹阳点绛、小娃娃、月光、曙色、粉月、大师等 7 个品种外,其余品种的冠幅在 70% 的遮阴度下都比 CK 小。

2.1.5 对开花数的影响 由表 5 可知,在 22% 的遮阴条件下小娃娃已经不开花,其他品种开花数与 CK 差异不大;在 58% 的遮阴度下,湘湖流霞、丹阳点绛、越城晚霞、童趣均能开 5 朵花,开花情况最好;在 70% 的遮阴度下,丹阳点绛、湘湖烟雨、越城晚霞等 3 个品种还可以开花,说明其在弱光条件下开花的能力比较强,比较适合在弱光条件下作观赏品种。

由以上不同荷花品种生长、开花的情况来看,在中等遮阴情况下,湘湖流霞、童趣、曙色、丹阳点绛和越城晚霞的耐阴性比较强。

2.2 不同遮阴度下荷花的生理反应

2.2.1 对叶绿素含量的影响 由表 6 可以看出,16 个荷花品种的总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量随着遮阴度的增加一直呈上升趋势,这与前人对其他植物进行的遮阴处理结果^[5,7]一致。荷花可以通过提高叶绿素含量来应对弱光环境对其造成的不良影响。其中童趣和湘湖烟雨 2 个品种在 58% 和 70% 遮阴度情况下,其总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 的含量与 CK 相比都呈显著差异,说明这 2 个品种叶绿素含量的变化较明显,通过增加叶绿素含量的

表 5 不同遮阴条件下荷花开花数的变化

品种	不同遮阴度下的开花数 (朵)			
	0 (CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	6	5	5	0
丹阳点绛	7	5	5	3
湘湖烟雨	5	6	4	3
小娃娃	3	0	0	0
小樱桃	8	6	4	0
小绣球	7	6	4	0
越城晚霞	6	6	5	4
月光	7	5	0	0
曙色	5	5	4	0
粉月	5	5	0	0
星月朦胧	4	3	0	0
大师	7	9	0	0
鼓浪小红 13	11	7	0	0
红灯笼	8	6	0	0
童乐	7	5	0	0
童趣	6	4	5	0

方式抵抗弱光逆境的能力较强。随着遮阴度的增加,叶绿素 a/b 呈下降趋势,说明荷花的叶片生成了更多的叶绿素 b 来吸收蓝紫光以提高光合效率。

2.2.2 对可溶性糖含量的影响 根据表 7,随着遮阴度的增加,所选的 16 个品种中除丹阳点绛、小樱桃、童乐、粉月、小娃娃、越城晚霞外,其余 10 品种的可溶性糖含量都呈逐渐下降的趋势。丹阳点绛

表 6 不同遮阴处理对叶绿素含量的影响

品种	遮阴度 (%)	Chl a/b	Chl b 含量 (mg/g)	Chl a 含量 (mg/g)	总叶绿素含量 (mg/g)	品种	遮阴度 (%)	Chl a/b	Chl b 含量 (mg/g)	Chl a 含量 (mg/g)	总叶绿素含量 (mg/g)
湘湖流霞	0(CK)	2.55 ± 0.24a	0.57 ± 0.06a	1.48 ± 0.12a	2.05 ± 0.19a	曙色	0(CK)	2.37 ± 0.21a	0.69 ± 0.04a	1.63 ± 0.19a	2.32 ± 0.25a
	22	2.46 ± 0.31a	0.65 ± 0.09a	1.56 ± 0.24a	2.21 ± 0.32a		22	2.18 ± 0.19a	0.85 ± 0.12a	1.83 ± 0.24a	2.68 ± 0.15a
	58	2.34 ± 0.19a	0.73 ± 0.12a	1.74 ± 0.18a	2.47 ± 0.48a		58	2.07 ± 0.26a	0.94 ± 0.08b	1.94 ± 0.12a	2.88 ± 0.34b
	70	2.27 ± 0.23a	0.88 ± 0.07b	1.96 ± 0.13b	2.84 ± 0.10a		70	2.02 ± 0.27a	0.98 ± 0.09b	1.96 ± 0.17a	2.94 ± 0.25b
丹阳点绛	0(CK)	2.66 ± 0.16a	0.68 ± 0.08a	1.81 ± 0.14a	2.49 ± 0.17a	粉月	0(CK)	2.47 ± 0.28a	0.62 ± 0.08a	1.53 ± 0.18a	2.15 ± 0.23a
	22	2.58 ± 0.26a	0.74 ± 0.13a	1.91 ± 0.18a	2.65 ± 0.24a		22	2.38 ± 0.31a	0.74 ± 0.12a	1.75 ± 0.18a	2.49 ± 0.38a
	58	2.48 ± 0.17a	0.78 ± 0.06a	1.94 ± 0.21a	2.72 ± 0.28a		58	2.34 ± 0.25a	0.76 ± 0.09a	1.79 ± 0.21a	2.55 ± 0.15a
	70	2.29 ± 0.36a	0.88 ± 0.12a	2.02 ± 0.25a	2.90 ± 0.29a		70	2.22 ± 0.23a	0.88 ± 0.14b	1.98 ± 0.14b	2.86 ± 0.19b
湘湖烟雨	0(CK)	2.63 ± 0.26a	0.51 ± 0.04a	1.33 ± 0.18a	1.84 ± 0.14a	星月朦胧	0(CK)	2.48 ± 0.16a	0.76 ± 0.08a	1.88 ± 0.25a	2.64 ± 0.34a
	22	2.47 ± 0.31a	0.72 ± 0.06a	1.77 ± 0.17b	2.49 ± 0.44a		22	2.36 ± 0.29a	0.82 ± 0.12a	1.95 ± 0.17a	2.77 ± 0.18a
	58	2.44 ± 0.35a	0.97 ± 0.19b	2.36 ± 0.12b	3.33 ± 0.19b		58	2.35 ± 0.27a	0.89 ± 0.09a	2.06 ± 0.13a	2.95 ± 0.22a
	70	2.32 ± 0.21a	1.13 ± 0.08b	2.60 ± 0.21b	3.73 ± 0.28b		70	2.28 ± 0.35a	0.96 ± 0.14a	2.20 ± 0.18b	3.16 ± 0.12b
小娃娃	0(CK)	2.46 ± 0.24a	0.73 ± 0.11a	1.79 ± 0.24a	2.52 ± 0.31a	大师	0(CK)	2.56 ± 0.09a	0.65 ± 0.13a	1.66 ± 0.18a	2.31 ± 0.14a
	22	2.33 ± 0.21a	0.84 ± 0.15a	1.98 ± 0.17a	2.82 ± 0.27a		22	2.36 ± 0.18a	0.73 ± 0.06a	1.73 ± 0.14a	2.46 ± 0.29a
	58	2.25 ± 0.19a	0.92 ± 0.09a	2.04 ± 0.12a	2.96 ± 0.33a		58	2.33 ± 0.23a	0.82 ± 0.08a	1.92 ± 0.24a	2.74 ± 0.23b
	70	2.11 ± 0.26a	0.98 ± 0.21a	2.06 ± 0.18a	3.04 ± 0.18b		70	2.24 ± 0.15a	0.91 ± 0.16a	2.03 ± 0.21b	2.94 ± 0.18c
小樱桃	0(CK)	2.27 ± 0.30a	0.63 ± 0.05a	1.39 ± 0.18a	2.02 ± 0.25a	鼓浪	0(CK)	2.78 ± 0.16a	0.58 ± 0.13a	1.60 ± 0.16a	2.18 ± 0.25a
	22	2.22 ± 0.21a	0.72 ± 0.09a	1.60 ± 0.12a	2.32 ± 0.33a		22	2.72 ± 0.14a	0.71 ± 0.08a	1.93 ± 0.19b	2.64 ± 0.14b
	58	2.14 ± 0.19a	0.91 ± 0.14b	1.96 ± 0.25b	2.87 ± 0.35b		58	2.55 ± 0.24a	0.77 ± 0.15a	1.96 ± 0.12b	2.73 ± 0.15c
	70	2.11 ± 0.24a	0.96 ± 0.12c	2.05 ± 0.14b	3.01 ± 0.44c		70	2.46 ± 0.28a	0.87 ± 0.09b	2.14 ± 0.17c	3.01 ± 0.23c
小绣球	0(CK)	2.18 ± 0.23a	0.71 ± 0.08a	1.53 ± 0.17a	2.24 ± 0.34a	红灯笼	0(CK)	2.60 ± 0.17a	0.71 ± 0.06a	1.84 ± 0.19a	2.55 ± 0.18a
	22	2.13 ± 0.21a	0.82 ± 0.06a	1.74 ± 0.14a	2.56 ± 0.16a		22	2.53 ± 0.24a	0.78 ± 0.09a	1.96 ± 0.15a	2.74 ± 0.32a
	58	2.07 ± 0.29a	0.93 ± 0.05b	1.92 ± 0.12b	2.85 ± 0.34b		58	2.38 ± 0.25a	0.84 ± 0.12a	2.00 ± 0.14a	2.84 ± 0.19a
	70	2.04 ± 0.34a	1.21 ± 0.13c	2.44 ± 0.19b	3.65 ± 0.23c		70	2.27 ± 0.18a	0.91 ± 0.07a	2.08 ± 0.16a	2.99 ± 0.23a
越城晚霞	0(CK)	2.29 ± 0.21a	0.71 ± 0.09a	1.62 ± 0.17a	2.33 ± 0.36a	童乐	0(CK)	2.35 ± 0.19a	0.87 ± 0.06a	2.02 ± 0.17a	2.89 ± 0.35a
	22	2.16 ± 0.28a	0.84 ± 0.12a	1.81 ± 0.19a	2.65 ± 0.24a		22	2.19 ± 0.31a	0.92 ± 0.15a	2.01 ± 0.16a	2.93 ± 0.12a
	58	2.09 ± 0.17a	0.88 ± 0.14a	1.84 ± 0.25a	2.72 ± 0.22a		58	2.15 ± 0.23a	0.99 ± 0.10a	2.15 ± 0.21a	3.14 ± 0.23a
	70	2.04 ± 0.19a	0.96 ± 0.07b	1.94 ± 0.12a	2.90 ± 0.43a		70	2.09 ± 0.19a	1.08 ± 0.12b	2.27 ± 0.24a	3.35 ± 0.14b
月光	0(CK)	2.44 ± 0.34a	0.53 ± 0.04a	1.30 ± 0.12a	1.83 ± 0.43a	童趣	0(CK)	2.39 ± 0.19a	0.50 ± 0.06a	1.18 ± 0.17a	1.68 ± 0.38a
	22	2.36 ± 0.21a	0.61 ± 0.13a	1.42 ± 0.25a	2.03 ± 0.26a		22	2.27 ± 0.16a	0.61 ± 0.08a	1.38 ± 0.21a	1.99 ± 0.25a
	58	2.33 ± 0.27a	0.79 ± 0.18b	1.86 ± 0.18b	2.65 ± 0.33b		58	2.25 ± 0.23a	0.87 ± 0.12b	1.96 ± 0.16b	2.83 ± 0.29b
	70	2.26 ± 0.25a	0.92 ± 0.08c	2.07 ± 0.19b	2.99 ± 0.14b		70	2.14 ± 0.15a	0.94 ± 0.05b	1.99 ± 0.18b	2.93 ± 0.16b

和小樱桃在 22% 遮阴度的条件下,可溶性糖含量与 CK 间差异显著,分别下降 35.32% 和 19.96%。在其余 14 个品种中月光和鼓浪小红 13 的可溶性糖含量变化比较明显,在 58% 的遮光度下,分别下降 31.39% 和 34.68%。除湘湖流霞外,其余品种在 70% 的遮阴度下,可溶性糖含量均与 CK 间具有显著差异。植物进行光合作用,主要是为了生产供植物生命活动使用的有机物,在弱光条件下,植物合成糖类的能力下降,因此通过可溶性糖的含量可以评价植物的光合能力。综上,湘湖流霞的光合效率保持得最好,丹阳点绛和小樱桃较差。

2.3 耐阴性综合评价

2.3.1 各单项指标的耐阴系数及相关性分析 植物的耐阴性是一种很重要的复合性状,受多方面因素的影响。如果仅以单一指标对其进行评价,是不科学、不准确、不全面的^[8]。为了更科学地评价荷花的耐阴性,本研究通过数学方法对基础数据进行处理,从而对荷花的耐阴性进行综合评价。在试验过程中所测得的数据均带有量纲,为了保证综合评价的科学性和可靠性,对基础数据进行无量纲化处理。首先定义 1 个耐阴系数(β):

表 7 不同遮阴条件下荷花可溶性糖含量的变化

品种	不同遮阴度下的可溶性糖含量(mg/g)			
	0(CK)	22%	58%	70%
湘湖流霞	15.63 ± 0.78a	14.93 ± 0.95a	11.34 ± 0.46a	9.53 ± 0.25a
丹阳点绛	16.45 ± 0.53a	10.64 ± 0.24c	12.75 ± 1.37b	11.24 ± 0.47c
湘湖烟雨	17.25 ± 1.35a	16.72 ± 0.56a	13.44 ± 0.72b	11.87 ± 0.36c
小娃娃	10.57 ± 1.08a	10.54 ± 0.36a	10.58 ± 1.36a	8.06 ± 0.26b
小樱桃	15.43 ± 0.34a	12.35 ± 0.56c	13.45 ± 0.94b	10.35 ± 0.35d
小绣球	14.74 ± 0.75a	13.95 ± 0.45a	10.48 ± 0.73b	9.45 ± 0.74b
越城晚霞	16.48 ± 0.38a	11.34 ± 0.66b	12.43 ± 0.34b	11.75 ± 0.96b
月光	15.23 ± 0.56a	12.53 ± 1.03b	10.45 ± 1.34c	7.45 ± 1.14d
曙色	12.37 ± 0.86a	11.95 ± 0.75a	9.35 ± 0.84b	8.34 ± 0.63b
粉月	17.44 ± 0.38a	12.54 ± 1.35b	13.45 ± 1.75b	10.16 ± 1.45c
星月朦胧	14.96 ± 0.76a	12.04 ± 1.54b	9.38 ± 0.64c	7.04 ± 0.35d
大师	10.45 ± 0.57a	10.25 ± 0.84a	10.04 ± 0.68a	8.54 ± 0.68b
鼓浪小红 13	13.84 ± 0.38a	12.94 ± 0.38b	9.04 ± 0.46c	8.74 ± 0.24c
红灯笼	18.34 ± 0.58a	17.35 ± 0.87a	14.65 ± 1.64b	11.45 ± 1.03c
童乐	10.63 ± 1.56a	8.76 ± 0.76b	9.02 ± 0.35b	7.94 ± 0.76b
童趣	12.32 ± 0.76a	12.03 ± 0.49a	11.43 ± 0.54a	9.43 ± 0.35b

$$\beta = \frac{\text{58\% 遮阴度下的指标观测值}}{\text{全光照下的指标观测值}} \quad (1)$$

各项指标的β值见表 8,可见不同荷花品种同一指标的β值有差异,同一种荷花品种不同指标的β值也不相同。

运用 Pearson 法对 10 项指标的β值进行相关性分析,发现叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量之间存在显著相关性,其余指标之间差异较大,如果指

标之间存在着相关性,会造成信息重叠,影响结果的准确性,所以要对数据进行主成分分析。

2.3.2 主成分分析 对 16 个品种的 10 个单项耐阴指标的耐阴系数进行主成分分析,由表 9 可知,前 4 个主成分的累计贡献率达到了 80.202%,包含了绝大部分信息,因此可以用这 4 个主成分进行耐阴性综合评价。第 1 主成分主要由叶绿素总量、叶绿素a 含量,叶绿素b 含量构成,携带了33.592% 的

表 8 各单项指标的耐阴系数(β 值)

品种	耐阴系数									
	立叶高	叶面积	叶片数	冠幅	可溶性糖含量	花数	叶绿素总量	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素 a/b
湘湖流霞	1.561	2.356	0.860	1.753	0.676	0.833	1.205	1.176	1.281	0.918
丹阳点绛	1.272	1.452	0.897	1.538	0.775	0.714	1.092	1.072	1.147	0.932
湘湖烟雨	1.578	2.246	0.822	1.046	0.779	0.800	1.810	1.774	1.902	0.928
小娃娃	1.178	2.507	0.782	1.347	1.001	0.001	1.175	1.140	1.260	0.915
小樱桃	1.665	2.042	0.739	0.946	0.872	0.500	1.421	1.410	1.444	0.943
小绣球	1.579	1.069	1.572	1.294	0.711	0.571	1.272	1.255	1.310	0.950
越城晚霞	1.349	1.221	0.902	1.127	0.754	0.833	1.167	1.136	1.239	0.913
月光	1.271	1.589	1.194	1.083	0.686	0.001	1.448	1.431	1.491	0.955
曙色	1.669	1.385	1.605	1.500	0.756	0.800	1.241	1.190	1.362	0.873
粉月	1.407	1.557	1.035	1.173	0.771	0.001	1.186	1.170	1.226	0.947
星月朦胧	1.406	1.675	0.857	0.988	0.627	0.001	1.117	1.096	1.171	0.948
大师	1.894	1.821	1.150	1.162	0.961	0.001	1.186	1.157	1.262	0.910
鼓浪小红 13	1.261	1.644	0.949	0.801	0.653	0.001	1.186	1.157	1.262	0.910
红灯笼	1.214	1.100	0.971	0.998	0.799	0.001	1.252	1.225	1.328	0.917
童乐	1.363	1.073	1.194	1.135	0.849	0.001	1.114	1.087	1.183	0.915
童趣	1.525	1.516	0.513	1.037	0.928	0.833	1.087	1.064	1.138	0.915

信息;第2主成分主要由冠幅、花数、立叶高构成,携带了19.301%的信息;第3主成分主要由叶片数、可溶性糖含量、叶面积构成,携带了16.395%的信息;第4主成分主要由可溶性糖含量、冠幅构成,携带了10.915%的信息。

表 9 各综合指标系数及贡献率

指标	各主成指标系数			
	1	2	3	4
立叶高度	0.290	0.610	0.073	-0.388
叶面积	0.469	0.192	-0.657	0.246
叶片数	-0.081	0.217	0.842	-0.302
冠幅	-0.191	0.718	0.106	0.462
可溶性糖含量	-0.074	0.254	-0.666	-0.545
开花数	0.232	0.698	0.064	0.392
叶绿素总量	0.986	-0.045	0.099	-0.049
叶绿素 a 含量	0.986	-0.076	0.097	-0.038
叶绿素 b 含量	0.973	0.023	0.103	-0.072
叶绿素 a/b	0.249	-0.631	0.069	0.341
特征值	3.359	1.930	1.639	1.091
贡献率(%)	33.592	19.301	16.395	10.915
累计贡献率(%)	33.592	52.892	69.287	80.202

2.3.3 综合评价

2.3.3.1 主成分得分 主成分得分由主成分对于各指标的载荷和各个指标的耐阴系数按照公式(2)计算而来:

$$Z_{ki}=M_1\times\beta_1+M_2\times\beta_2+M_n\times\beta_n+\cdots+M_{10}\times\beta_{10}。$$

(2)

式中: Z_{ki} 表示第 k 个品种第 i 个主成分得分 $k\in[1,16],i\in[1,4];M_n$ 表示在该主成分对于各个指标的载荷, $n\in[1,10];\beta_n$ 表示对应指标的 β 值。

2.3.3.2 各主成分比重 比重(T_i)表示每个主成分的贡献率(P_i)占4个主成分累计贡献率的比例,按照公式(3)计算:

$$T_i=P_i/\sum P_i,i\in[1,4]。$$

(3)

2.3.3.3 隶属函数值 各个主成分的各个指标的隶属函数值 $[\mu(Z_{ki})]$ 根据各主成分的得分按照公式(4)计算得到:

$$\mu(Z_{ki})=\frac{Z_{ki}-Z_{\min}}{Z_{\max}-Z_{\min}}。$$

(4)

式中: Z_{ki} 的表示第 k 个品种第 i 个主成分的得分; Z_{\max} 表示第 i 个主成分的最大得分; Z_{\min} 表示第 i 个主成分的最小得分;其中 i 与 n 的取值范围与公式(3)相同。

2.3.3.4 各品种耐阴能力的综合评价 为了对各

个品种的耐阴能力的大小作比较,定义1个 D 值来衡量耐阴能力的大小,并按公式(5)计算:

$$D_k=\sum_{i=1}^4T_i\cdot\mu_{ki}。$$

(5)

式中: k 与 i 的取值范围与前文相同。

以上数据的计算结果见表10。根据 D 值的大小可以对各品种的耐阴能力进行排序,顺序为湘湖烟雨>湘湖流霞>曙色>小绣球>童趣>小樱桃>月光>丹阳点绛>小娃娃>粉月>大师>越城晚霞>星月朦胧>鼓浪小红13>童乐>红灯笼。与上述根据荷花形态指标和开花情况得到的结果基本一致。

3 讨论与结论

前人研究发现,植物在弱光条件下生长时,其外在形态结构和生理生化特性都会发生一定程度的改变^[6,9-11]。本研究发现,荷花在22%遮阴度处理下,其立叶高度、叶片数、叶面积、冠幅等与CK相比大体呈现上升的趋势,说明荷花可通过提高受光面积以接受更多光能的方法来提高光合速率,这与林晗婧等在罗勒上的研究结果^[12]一致。在22%的遮阴度下,除小娃娃外,其他15个品种均正常开花。当遮阴度达到58%时,有8个品种已经不能正常开花,说明此时植株的营养情况已经不能支持其生殖生长的需要。

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量可以作为衡量光合作用的指标^[13]。本试验结果表明,随着遮阴度的提高,荷花的叶绿素a、叶绿素b含量和叶绿素总量呈上升趋势,但是叶绿素a/b呈下降趋势,这说明相对于叶绿素a,叶绿素b的增长速度更快一些,可能由于其对蓝紫光的吸收能力更强,在弱光条件下,植物冠层下部的红光比例较低,所以叶绿素b更多可以使植物捕获更多的光能,从而维持光合系统的正常运行^[14]。

植物通过光合作用合成有机物供其自身生长发育和繁殖使用,可溶性糖是植物光合作用的重要产物,植物可以通过调节细胞内可溶性糖的含量来调节细胞的渗透压^[15]。弱光条件对于可溶性糖含量有着明显的影响,所以其含量可以衡量植物的耐阴性^[16]。本次试验中除丹阳点绛、小樱桃、童乐、粉月、小娃娃、越城晚霞外,其余10种品种的可溶性糖含量都呈一直降低的趋势,说明荷花可以通过降低还原糖含量的方法来适应弱光环境,这与王京伟等

表 10 各品种的隶属函数值、权重及综合指标值的综合评价

品种	$Z(1)$	$Z(2)$	$Z(3)$	$Z(4)$	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	D 值	排名
湘湖流霞	5.119	2.910	-0.492	0.599	0.358	1.000	0.956	1.000	0.722	2
丹阳点绛	4.274	2.357	-0.019	0.302	0.069	0.646	0.628	0.730	0.412	8
湘湖烟雨	6.998	2.321	-0.414	0.088	1.000	0.623	0.902	0.536	0.826	1
小娃娃	4.859	1.904	-0.007	0.121	0.269	0.357	0.619	0.566	0.402	9
小樱桃	5.683	2.085	-0.555	-0.115	0.551	0.473	0.000	0.648	0.433	6
小绣球	4.667	2.296	0.885	-0.271	0.204	0.607	1.000	0.789	0.543	4
越城晚霞	4.517	2.149	0.143	0.063	0.152	0.513	0.485	0.514	0.356	12
月光	5.287	1.550	0.214	-0.243	0.415	0.130	0.534	0.796	0.422	7
曙色	4.786	2.794	0.709	-0.103	0.244	0.926	0.878	0.637	0.591	3
粉月	4.525	1.710	-0.015	-0.221	0.155	0.233	0.825	0.744	0.391	10
星月朦胧	4.446	1.530	-0.186	-0.135	0.128	0.118	0.744	0.676	0.326	13
大师	4.782	2.147	-0.184	-0.503	0.243	0.512	0.742	0.000	0.377	11
鼓浪小红 13	4.623	1.346	-0.117	-0.240	0.189	0.000	0.696	0.761	0.325	14
红灯笼	4.503	1.385	0.200	-0.358	0.148	0.025	0.524	0.868	0.293	16
童乐	4.071	1.645	0.356	-0.432	0.000	0.191	0.633	0.936	0.302	15
童趣	4.494	2.213	-0.516	0.063	0.145	0.554	0.973	0.514	0.463	5
权重					0.419	0.241	0.204	0.136		

对于泽兰的研究结果^[9]是一致的。

植物的耐阴性受到多方面因素的影响,如果仅以某种单一的生长或生理指标对其进行评价,是不全面、不准确、不科学的,所以要进行综合评价。在本研究中定义了“耐阴系数”来消除各个指标之间的量纲差别,并通过主成分分析和隶属函数法等对荷花的耐阴性进行综合评价分析,克服了单一评价指标片面、信息重叠的缺陷。

综上所述,荷花虽是喜强光的花卉植物,但仍具有一定耐阴性,本研究所选 16 个品种中,湘湖烟雨、湘湖流霞、曙色的耐阴性较强,比较适合作为耐阴的荷花盆栽品种进行推广种植。

参考文献:

- [1]冷寒冰,秦俊,叶康,等.不同光照环境下荷花叶片光合响应模型比较[J].应用生态学报,2014,25(10):2855-2860.
- [2]胡鑫,丁跃生,金奇江,等.观赏荷花新品种“首领”[J].园艺学报,2017,44(7):1425-1426.
- [3]李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [4]尹慧,安莹,陈雅君,等.不同遮阴强度下白三叶形态特征和生长动态[J].中国草地学报,2015,37(5):86-91.
- [5]郭玉洁,董彦娜,王琦,等.藿香耐阴性研究[J].河北农业大

学学报,2018,41(2):62-66,115.

- [6]曹良军,刘宝臣,唐伟斌,等.遮阴对麦冬叶面积和叶绿素含量的影响[J].中国园艺文摘,2011,27(7):1-3.
- [7]陈霞.不同遮荫处理对天南星科白鹤芋属植物生长及叶绿素的影响[J].北京农业,2013(18):94-95.
- [8]赵银月,詹和明,代希茜,等.云南间作大豆耐阴性综合评价及鉴定指标筛选[J].中国油料作物学报,2019,41(1):81-91.
- [9]王京伟,张晓飞,崇晓泽,等.泽兰的耐阴性研究[J].西部林业科学,2018,47(3):107-112.
- [10]刘忆文,董彦娜,白靖怡,等.加拿大美女樱的耐阴性[J].江苏农业学报,2017,33(6):1438-1440.
- [11]杨柳,何正军,赵文吉,等.红景天属植物生长及生理生化特征对遮阴的响应[J].江苏农业科学,2018,46(3):106-111.
- [12]林晗婧,田野,张秀丽,等.弱光环境对罗勒幼苗叶片生长和叶绿素荧光特性的影响[J].黑龙江科学,2015,6(2):4-6,37.
- [13]赵明水,刘欣欣,张明如.浙西北 15 个树种叶片叶绿素含量分析[J].浙江林业科技,2014,34(2):49-52.
- [14]温冰消,刘卫国,杨文钰.植物面对阴蔽的两种策略:避阴与耐阴反应机制研究进展[J].分子植物育种,2019,17(3):1028-1033.
- [15]薛伟,李向义,朱军涛,等.遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响[J].植物生态学报,2011,35(1):82-90.
- [16]杨东海.七种常用园林植物耐阴性的研究[D].长春:吉林农业大学,2011.