张国莉,唐有林,王海滨,等.不同光照强度对青海高原地区园林小菊扦插繁殖的效果[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(3):21-32.
Zhang G L, Tang Y L, Wang H B, et al. Effect of light intensity on cutting propagation of *Chrysanthemum morifolium* in plateau area[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(3):21-32.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202403045

不同光照强度对青海高原地区园林小菊扦插繁殖的效果

张国莉[1],唐有林[1],王海滨[2],田洁[1,3*]

(1.青海大学 农林科学院/青海省蔬菜遗传与生理重点实验室,青海 西宁 810016;2.南京农业大学 园艺学院,江苏 南京 210095;3.青海大学 农林科学院/青海省高原种质资源研究与利用实验室,青海 西宁 810016)

摘　要:[目的]探究青海地区园林小菊扦插苗的适宜光照条件,明确其最佳光照强度参数,以期为高海拔地区园林小菊的标准化生产栽培提供一定理论依据。[方法]本试验通过不同层数的遮阳网调控光照强度,以8个园林小菊品种('金陵玫瑰金'、'金陵激滟'、'金陵笑靥'、'金陵一品红'、'金陵礼花'、'金陵粉玉兰'、'金陵阳光'、'金陵红荷')为试验材料,分析不同光强(CK:遮光率0%,T1:遮光率56.00%,T2:遮光率79.22%)对园林小菊扦插苗生长和生理特性的影响。[结果]不同光强处理下,园林小菊扦插苗生长、光合及生理指标差异显著。在T1处理下株高、茎粗、叶片数、总根长、根数、生根率等生长指标均最佳。其中,T1处理下'金陵玫瑰金'的叶片数较CK和T2处理分别提高了5.70%和159.38%;随着光强的降低,各园林小菊品种的气体交换参数、叶绿素含量、根系活力呈先升后降的趋势。其中,T1处理下'金陵阳光'的总叶绿素含量分别比CK和T2处理的高35.10%和6.77%。通过曼特尔检验发现,净光合速率与生根率密切相关,与成活率无相关性。[结论]综合评价结果表明,不同光强处理的扦插苗排名为T1处理>CK处理>T2处理,同时发现8个品种中'金陵激滟'的长势最佳,具有较高的利用价值。

关键词:菊花;扦插繁殖;光强;生长发育;综合评价
中图分类号:S68.1　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)03-0021-12

Effect of different light intensity on the cutting propagation of *Chrysanthemum morifolium* in Qinghai plateau area

Zhang Guoli[1], Tang Youlin[1], Wang Haibin[2], Tian Jie[1,3*]

(*1.Qinghai Key Laboratory of Vegetable Genetics and Physiology/Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University; Xining 810016, China; 2.College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University/Laboratory for Research and Utilization of Germplasm Resources In Qinghai Tibet Plateau; Xining 810016, China*)

Abstract: [Objective] This study aimed to clarify the suitable light conditions for the cutting seedlings of garden chrysanthemum in the Qinghai Plateau and determine the optimal light intensity parameters, providing a theoretical basis for the standardized cultivation of garden chrysanthemum in high-altitude areas. [Methods] The experiment regulated light intensity using different layers of shading nets, with eight garden chrysanthemum varieties ('Jinling Meiguijin', 'Jinling Lianyan', 'Jinling Xiaoye', 'Jinling Yipinhong', 'Jinling Lihua', 'Jinling Fenyulan', 'Jinling Yangguang', and 'Jinling Honghe') as test materials. The effects of different light intensities (CK: 0% shading rates, T1: 56% shading rates, and T2: 79.22% shading rates) on the growth and physiological characteristics of the cuttings were analyzed. [Results] The results showed that under different light-intensity treatments, significant differences were observed in the growth, photosynthetic, and physiological indicators of the garden chrysan-

收稿日期:2024-03-14　　**修回日期**:2025-04-23
基金项目:青海省科学技术厅科技援青合作专项(2024-QY-210)
作者简介:张国莉(ORCID:0009-0004-3145-124X),硕士研究生,研究方向:园艺作物栽培生理
***通信作者**:田洁(ORCID:0000-0002-1619-7114),博士,副研究员,研究方向:园艺蔬菜生理,E-mail:tiantian8092001@163.com

themum cuttings. The T1 treatment yielded the best growth metrics, including plant height, stem diameter, leaf number, total root length, root number, and rooting rate. For instance, under T1, the leaf number of 'Jinling Meiguijin' increased by 5.70% and 159.38% compared to CK and T2, respectively. As light intensity decreased, gas exchange parameters, chlorophyll content, and root activity of the cultivars first increased and then decreased. Specifically, the total chlorophyll content of 'Jinling Yangguang' under T1 treatment was 35.10% and 6.77% higher than that of CK and T2, respectively. Mantel-test showed a strong correlation between net photosynthetic rate and rooting rate but no correlation with survival rate. [Conclusion]The comprehensive evaluation results showed that the ranking of cuttings performance under different light intensity treatments were T1 > CK > T2. Additionally, among the eight cultivars, 'Jinling Lianyan' exhibited the best growth performance, demonstrating high utilization value.

Keywords: *Chrysanthemum morifolium*, Cutting propagation, Light intensity, Growth and development, Comprehensive evaluation

菊花(*Chrysanthemum morifolium*)是菊科菊属多年生宿根草本植物,栽培历史悠久,有较高的观赏和经济价值[1]。园林小菊作为菊花中观赏型地栽品种,具有株型圆整、花枝繁多、花色艳丽的特点,在园林绿化中具有广泛的用途[2-3]。园林小菊在实际生产中通常采用扦插的方式,扦插能保证品种的遗传特性,同时具有繁殖时间短、操作便利、成本低等特点[4],但在园林小菊扦插过程中存在诸多影响因素,包括自身遗传因素[5]以及基质[6]、光照[7]、温度[8]等环境因素,因此明确园林小菊扦插所需的最佳条件对扦插苗的成活率有重要意义。

光作为植物生长发育所必须的条件,影响着植物形态建成和营养物质的积累[9],植物为了适应不同环境条件,不仅可以通过调节自身形态和生理特性,来维持自身稳定的光合性能,还可通过自身光合性能来弥补环境中的不足[10]。目前,关于菊花的研究多集中在抗寒性[11]、抗旱性[12]以及种质资源评价[13]等方面的优异性比较及筛选,对于不同光照条件与菊花扦插适应性关系的研究较少。青海地区地处青藏高原,具有海拔高、日照时间长、光照辐射强等气候特点。高原地区长时间的强辐射光照[14]不利于短日照菊花的生长,会导致菊花长势较差,植株瘦弱,花卉质量下降[15-16]。其中,褶汉美等[17]分析光强对野菊生长的影响,发现野菊生长势随光强下降先增加后降低,在60%全自然光强下生长最佳。

本研究以8个园林小菊品种为试材,通过分析不同光照强度对扦插苗生长、光合特性及生理指标的影响,揭示高原环境下园林小菊光适应性的生理机制,并确定其扦插繁殖的适宜的光照强度,旨在为高原地区园林小菊标准化栽培提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以从南京农业大学引进的8个园林小菊品种作为试材,8个品种为'金陵玫瑰金'(粉色)、'金陵潋滟'(粉紫)、'金陵笑靥'(紫色)、'金陵一品红'(红色)、'金陵礼花'(复色)、'金陵粉玉兰'(粉紫色)、'金陵阳光'(黄色)、'金陵红荷'(红色)。将8个园林小菊品种,在立地条件、苗木规格、栽植方式等大致相同的条件下,定植于青海大学园艺所试验地(36.722 57° N,101.751 09° E)大棚内,株行距为40 cm×40 cm,并且采取相同的常规水肥管理方法。

1.2 试验处理

试验选择生长健壮、无病虫害的母株并剪取8~10 cm的顶梢为插穗,留上部2~3片叶,留下的完全叶剪去一半,扦插于50孔穴盘中。设置CK(自然光日平均光照强度为39 048.11 lux,遮光率为0%)、T1(采用一层遮阳网,日平均光照强度为17 269.54 lux,遮光率为56.00%±2.87%)、T2(采用两层遮阳网,日平均光照强度为7 464.46 lux,遮光率为79.22%±3.31%)3个处理。每组处理10株,各处理5次重复,28 d后采样,进行各品种扦插苗生长指标、光合指标以及根系指标的测定与分析,以此解析不同光照强度对园林小菊插穗生长发育的影响,以期获得园林小菊扦插苗生长的适宜光强。

1.3　试验方法

1.3.1　生长指标测定

株高:茎基部至顶端垂直高度。

茎粗:茎基部处茎的直径。

叶片数:扦插28 d时,统计植株所有的可见叶。

最早生根天数:以60%插穗产生可见幼根的时间。

生根率:扦插后,可见幼根的插穗数占插穗总数的百分比。

成活率:扦插28 d时测量成活株数占扦插总株数的百分率。

1.3.2　根系指标测定

利用根系表型分析系统GXY-A进行园林小菊总根长(cm)、根总投影面积(cm^2)、根总表面积(cm^2)、根平均直径(mm)、根总体积(cm^3)、根数的测定。

1.3.3　生理指标的测定

地上部鲜重:由基部剪下选取地上部,洗净晾干多余水分,测其地上部鲜重。

地上部干重:由基部剪下选取地上部,洗净晾干多余水分,于80 ℃烘箱中烘至恒重后测其地上部干重。

根鲜重:插穗根部可见侧根由基部剪下,洗净晾干多余水分,测其根鲜重。

根干重:插穗根部可见侧根由基部剪下,洗净晾干多余水分,于80 ℃烘箱中烘至恒重后测其根干重。

地上部含水量和根含水量:分别通过地上部干鲜重和根干鲜重进行的计算。

叶绿素含量:取新鲜叶片0.1 g,参照李合生等[18]的方法在分光光度计测定波长649、665 nm下的吸光值。

气体交换参数:选择完全展开且能充分补光的叶片,采用Li-6800光合系统测定仪测定光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间CO_2浓度。

根系活力:称取根系0.2 g,参照Knievel[19]的方法在分光度计测定波长485 nm下的吸光值。

1.3.4　数据统计

所有测定指标通过Excel 2016计算平均值和标准差;通过Origin 2022进行绘图;通过SPSS 26.0进行差异显著分析和综合评价;通过genescloud平台进行曼特尔检验(Mantel-test)和冗余分析(RDA)。

2　结果与分析

2.1　不同层数遮阳网处理下光强的日变化

图1为不同遮阳网处理下日平均光照变化,其中光强CK(自然光照),日平均光照为39 048.11 lux,遮光率为0%;光强T1处理(一层遮阳网),日平均光照强度为17 269.54 lux,遮光率为56.00%±2.87%、光强T2处理(二层遮阳网),日平均光照强度约为7464.46 lux,遮光率为79.22%±3.31%。

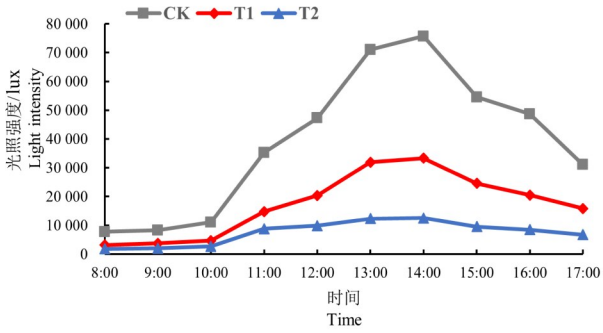


图1　不同处理下的光照强度日变化

Fig. 1　Diurnal variation of light intensity under different treatments

2.2　不同光强对园林小菊生长指标的影响

根据不同光强对园林小菊生长的影响可知,扦插苗各生长指标均存在显著差异。T1处理下各品种在不同光强处理下株高、茎粗、叶片数、成活率和生根率均显著高于CK和T2处理,其结果表明,随着光照强度的下降,各园林小菊扦插苗的生长指标量呈先升后降的趋势(表1)。其中,T1处理下'金陵玫瑰金'的株高、茎粗和叶片数、成活率和生根率较CK和T2处理显著提高了34.84%和37.24%、13.45%和15.57%、53.70%和159.38%、11.16%和13.27%、7.89%和1.89%。

2.3　不同光强对园林小菊根系指标的影响

由根系表型分析系统GXY-A对园林小菊扦插苗根系的分析结果可知,不同处理下8个园林小菊品种根系指标均明显区别于对照,其中T1处理下根数分布密度显著高于对照(表2)。其中,与T1处理下'金陵红荷'相比,CK的总根长、根平均直径、根总体积、根总表面积、根总投影面积和根尖数分别比其低了52.31%、17.31%、79.84%、77.61%、66.06%和33.43%;与CK'金陵红荷'相比,T2的总根长、根平均直径、根总体积、根总表面

表1 不同光强处理下园林小菊的生长状况

Table 1 Growth of condition of chrysanthemum under different light intensities

品种 Variety	处理 Treatments	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶片数 Leaves number	生根率/% Rooting rate	成活率/% Survival rate
‘金陵阳光’‘Jinling Yangguang’	CK	14.64±0.67b	2.85±0.23b	12.20±1.30b	78.00±3.58b	79.60±3.58b
	T1	16.02±0.26a	3.24±0.23a	13.40±1.52a	94.00±2.19a	95.60±2.19a
	T2	12.50±0.94c	2.84±0.45c	9.00±0.71c	74.40±2.83c	76.00±2.83c
‘金陵潋滟’‘Jinling Lianyan’	CK	14.06±0.27b	3.24±0.19b	10.60±0.55b	88.80±1.67b	90.40±1.67b
	T1	18.38±1.23a	3.50±0.45a	11.20±0.84a	96.00±0.89a	97.60±0.89a
	T2	12.74±0.93c	3.10±0.28c	7.60±0.89c	87.20±2.28c	88.80±2.28c
‘金陵玫瑰金’‘Jinling Meiguijin’	CK	13.72±0.44b	4.48±0.22b	10.80±0.84b	86.00±2.28b	91.20±2.28b
	T1	18.50±1.18a	5.08±0.26a	16.60±1.14a	95.60±1.67a	98.40±1.67a
	T2	13.48±0.42b	4.39±0.27b	6.40±0.89b	84.40±2.97b	86.40±2.97b
‘金陵红荷’‘Jinling Honghe’	CK	14.66±0.82b	3.35±0.20b	12.80±1.79b	86.80±2.19b	88.40±2.19b
	T1	18.18±0.58a	3.53±0.33a	13.80±2.39a	95.60±1.10a	97.20±1.10a
	T2	14.48±0.74b	2.98±0.47b	4.60±0.55b	85.20±2.68b	86.80±2.68b
‘金陵一品红’‘Jinling Yipinhong’	CK	12.80±0.77b	3.10±0.48b	12.20±0.84b	91.20±1.79b	92.80±1.79b
	T1	15.48±1.03a	3.39±0.22a	13.00±1.22a	95.20±1.10a	96.80±1.10a
	T2	12.16±0.97b	2.83±0.19b	8.80±0.84b	89.60±1.79b	91.20±1.79b
‘金陵礼花’‘Jinling Lihua’	CK	13.58±0.52b	2.75±0.18b	11.40±1.14b	88.40±2.45b	90.00±2.45b
	T1	17.18±0.74a	3.12±0.47a	13.20±1.30a	94.00±1.67a	95.60±1.67a
	T2	11.78±1.07c	2.59±0.30c	7.80±0.84c	85.60±2.28c	87.20±2.28c
‘金陵粉玉兰’‘Jinling Fenyulan’	CK	14.24±1.33b	2.86±0.30b	11.00±0.71b	89.60±3.03b	91.20±3.03b
	T1	19.04±0.78a	2.93±0.11a	13.60±1.14a	93.20±2.28a	94.80±2.28a
	T2	14.44±0.53b	2.73±0.32b	8.00±0.71b	88.00±3.29b	89.60±3.29b
‘金陵笑靥’‘Jinling Xiaoye’	CK	13.44±0.79c	2.59±0.41c	11.20±1.17a	87.60±3.63c	89.20±3.63c
	T1	16.70±1.07a	2.62±0.36a	11.40±0.55a	93.20±1.10a	94.80±1.10a
	T2	12.16±0.95b	2.41±0.33b	5.40±1.14b	86.00±3.85b	87.60±3.85b

注:不同小写字母表示同一品种的同一指标在不同光强处理下差异显著($P<0.05$);下同。

Note:Different lowercase letters indicate the significant difference of same indexes under different light intensity treatments among the same varieties ($P<0.05$);The same below.

积、根总投影面积和根尖数分别比其低了94.26%、17.15%、85.78%、89.09%、93.97%和82.89%。说明T1处理下的光强对园林小菊扦插苗根系生长的效果最佳,进一步减弱光强其促进效果减弱。

2.4 不同光强对园林小菊光合参数的影响

表3为光强对园林小菊光合参数的影响。园林小菊蒸腾速率、净光合速率、气孔导度在自然光照下均随着光强下降呈现先增加后减少的现象,在T1处理下最高。胞间CO_2浓度随着光强下降先增加后降低,T2处理下达到最低值。

由表4可知,随着光强降低,光合色素总体呈先上升后降低的趋势。其中,‘金陵阳光’的叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素、总叶绿素含量在光强T1处理时最大,较CK和T2处理分别高出28.70%和63.42%、37.41%和62.83%、30.80%和63.27%、35.10%和63.77%。说明,适度光强有利于光合色素的积累,提高园林小菊扦插苗的光能利用效率,使其维持在较高水平。

2.5 不同光强对园林小菊生理指标的影响

基于根系形态指标的差异,进一步测定根系活力等生理指标以探究光强对园林小菊生理活性的影响。园林小菊扦插苗地上部含水量、根含水量、根系活力在不同光强处理下均随着光强的减弱先增加后减少(表5)。其中,与自然光强下‘金陵潋滟’的根系活力相比,光强T1处理的增幅达49.56%,而光强T2处理的却减少了36.36%。

表2　不同光强处理下园林小菊的根系状况

Table 2　Root system of chrysanthemum under different light intensities

品种 Variety	处理 Treatments	总根长/cm Total root length	根平均直径/cm Average root diameter	根总体积/cm^3 Total volume of root	根总表面积/cm^2 Total surface area of root	根总投影面积/cm^2 Total projected area of root	根尖数 Number of root tips
'金陵阳光'	CK	165.01±15.98b	1.14±0.13a	1.93±0.17b	30.23±2.52b	14.70±1.52b	82.60±10.53b
'Jinling Yangguang'	T1	586.20±45.19a	1.26±0.09a	13.69±1.45a	236.61±12.04a	75.32±3.83a	106.20±8.87a
	T2	17.99±1.94c	0.80±0.16b	0.30±0.03c	5.74±0.60c	1.78±0.24c	15.40±1.52c
'金陵潋滟'	CK	372.86±21.71b	1.08±0.08b	3.38±0.19b	97.14±3.39b	32.36±1.92b	91.60±6.23b
'Jinling Lianyan'	T1	662.75±14.92a	1.56±0.07a	15.02±1.17a	278.56±17.31a	81.45±1.90a	106.80±8.32a
	T2	22.56±0.99c	0.90±0.03c	0.28±0.04c	6.81±0.13c	2.04±0.18c	18.80±2.68c
'金陵玫瑰金'	CK	358.70±16.21b	1.31±0.10b	3.63±0.12b	100.40±5.08b	39.41±1.56b	95.60±6.11b
'Jinling Meiguijin'	T1	700.43±23.53a	1.52±0.13a	17.82±0.76a	289.02±13.27a	110.17±11.14a	153.00±8.86a
	T2	37.06±2.72c	0.95±0.10c	1.10±0.16c	14.74±2.04c	4.99±0.21c	29.30±1.57c
'金陵红荷'	CK	313.59±26.00b	1.12±0.13b	2.62±0.16b	59.95±4.07b	30.28±2.05b	91.20±3.90b
'Jinling Honghe'	T1	657.56±13.53a	1.36±0.13a	13.00±0.73a	267.78±14.23a	89.22±8.79a	137.00±5.83a
	T2	17.99±2.80c	0.93±0.09c	0.37±0.01c	6.54±0.49c	1.83±0.28c	15.60±1.67c
'金陵一品红'	CK	137.85±10.60b	1.09±0.14b	1.17±0.13b	31.99±2.69b	10.10±0.97b	47.00±4.64b
'Jinling Yipinhong'	T1	424.37±16.86a	1.40±0.05a	10.34±0.85a	164.05±16.58a	66.04±2.25a	113.20±11.37a
	T2	20.32±2.24c	0.72±0.08c	0.43±0.06c	7.82±0.50c	2.58±0.28c	18.50±1.12c
'金陵礼花' 'Jinling Lihua'	CK	161.63±16.84b	1.04±0.10b	1.16±0.13b	38.29±2.48b	10.86±1.19b	50.00±3.39b
	T1	427.86±15.50a	1.30±0.05a	13.02±1.07a	181.88±15.00a	77.79±1.52a	90.00±9.27a
	T2	17.13±2.48c	0.57±0.05c	0.25±0.01c	5.05±0.24c	1.64±0.18c	17.30±1.92c
'金陵粉玉兰'	CK	158.98±12.13b	1.07±0.12b	1.39±0.12b	41.80±2.06b	13.07±1.00b	43.20±2.86b
'Jinling Fenyulan'	T1	626.63±11.56a	1.41±0.06a	15.64±1.52a	316.77±9.16a	77.65±2.73a	154.20±6.94a
	T2	20.52±2.20c	0.90±0.19b	0.26±0.03c	5.33±0.55c	1.67±0.19c	21.40±1.67c
'金陵笑靥'	CK	111.91±17.69b	0.83±0.11b	1.24±0.16b	34.30±1.67b	8.55±1.07b	37.00±4.06b
'Jinling Xiaoye'	T1	484.55±21.03a	1.32±0.08a	11.13±1.31a	209.28±18.96a	62.07±1.68a	122.00±13.91a
	T2	18.58±1.83c	0.67±0.05c	0.22±0.01c	5.03±0.16c	1.60±0.05c	23.40±0.89c

2.6　曼特尔检验

通过曼特尔检验(Mantel-test)的相关性热图可知(图2),扦插苗根系活力与株高、根系指标、净光合速率、叶绿素含量、含水量呈显著性相关,其中与总根长、根总投影面积、根含水量呈极其显著性相关,相关系数达0.91。同时,叶绿素含量与根系指标的相关性均达到了极其显著水平。通过网络图可知,生根率与成活率均与根系指标呈极其显著相关性,除此之外,生根率与净光合速率呈显著性相关,而成活率与净光合速率无相关性,说明根系的生长与叶片的生理功能有着密切相关性。

2.7　冗余分析

通过对8个品种不同光强处理的21个生长、光合及生理指标进行冗余分析(RDA),由图3可知,RDA第1和第2排序轴累计解释了不同光强变化对园林小菊影响程度的99.56%,第1轴包含了99.07%的有效信息,第二轴包含了0.49%的有效信息。在该图中,光强T1处理下的样本均分布于第一、四象限,在第一象限的占比大于CK和T2处理,且与生根率和成活率呈正相关的占比大于CK和T2处理,说明园林小菊更适宜T1处理的光强,不同光强对园林小菊效果排名为T1处理>CK>T2处理。

2.8　综合评价

进一步通过主成分分析计算园林小菊在不同光强的综合指标值(表6),再采用隶属函数法进行不同光强的综合得分评价(表7)。通过综合得分分析结果可看出,不同光强处理中扦插苗质量为:T1综合得分>CK综合得分>T2综合得分。综上所述,一层遮阳网下的光照强度最适合园林小菊

扦插苗的生长。

表3 不同光强处理下园林小菊气体交换参数

Table 3 Gas exchange parameters of chrysanthemum gardens under different light intensity treatments

品种 Variety	处理 Treatments	蒸腾速率/(mmol/(m²•s)) Transpiration rate	净光合速率/(μmol/(m²•s)) Net photosynthetic rate	胞间CO_2浓度/(μmol/mol) Intercellular CO_2 concentration	气孔导度/(mol/(m²•s)) Stomatal conductance
'金陵阳光'	CK	1.59±0.76b	6.18±1.26b	154.66±41.68b	0.05±0.03a
'Jinling Yangguang'	T1	3.76±0.68a	7.87±1.25a	118.06±43.35c	0.06±0.03a
	T2	1.05±0.76b	5.04±1.18c	183.94±44.43a	0.04±0.03a
'金陵潋滟'	CK	11.84±0.78b	10.79±0.57b	296.95±15.11b	0.13±0.01a
'Jinling Lianyan'	T1	14.01±0.70a	12.48±0.55a	260.35±17.58c	0.14±0.01a
	T2	11.30±0.78b	9.65±0.48c	326.23±18.24a	0.12±0.01a
'金陵玫瑰金'	CK	6.42±1.56b	8.62±0.34b	267.97±24.10b	0.10±0.01a
'Jinling Meiguijin'	T1	8.58±1.59a	10.31±0.35a	231.38±22.25c	0.11±0.01a
	T2	5.88±1.56b	7.48±0.40c	297.26±22.28a	0.10±0.01a
'金陵红荷'	CK	5.81±0.19b	8.06±0.67b	314.29±4.13b	0.09±0.01a
'Jinling Honghe'	T1	7.97±0.22a	9.76±0.68a	277.69±6.25c	0.10±0.01a
	T2	5.27±0.19b	6.92±0.74c	343.57±6.69a	0.09±0.01a
'金陵一品红'	CK	2.40±0.22b	7.03±0.79b	222.92±28.85b	0.07±0.01ab
'Jinling Yipinhong'	T1	4.56±0.17a	8.73±0.79a	186.32±29.40c	0.08±0.01a
	T2	1.86±0.21b	5.89±0.82c	252.20±30.34a	0.07±0.01b
'金陵礼花' 'Jinling Lihua'	CK	4.67±1.38b	5.92±0.37b	264.07±48.64b	0.06±0.00b
	T1	6.83±1.47a	7.61±0.37a	227.47±47.08c	0.07±0.00a
	T2	4.13±1.39b	4.78±0.36c	293.35±46.01a	0.06±0.00c
'金陵粉玉兰'	CK	1.68±0.10b	6.64±0.02b	371.02±46.96b	0.07±0.00ab
'Jinling Fenyulan'	T1	3.84±0.06a	8.33±0.01a	334.42±46.56c	0.08±0.00a
	T2	1.14±0.09b	5.50±0.07c	400.30±45.70a	0.07±0.00b
'金陵笑靥'	CK	3.84±0.84b	6.05±1.47b	315.91±13.64b	0.05±0.00b
'Jinling Xiaoye'	T1	6.01±0.76a	7.74±1.46a	279.31±12.82c	0.06±0.00a
	T2	3.30±0.83b	4.91±1.40c	345.19±13.42a	0.05±0.00b

3 讨论

青海位于青藏高原,其气候条件极具特色。低温、强风、强紫外辐射的原因造成了植物生长季节短、昼夜温差大、生态因子极不稳定的特征,因此该地区生长的本土植物对这种高原环境条件有着极强的适应性[20]。为了培育筛选适宜在青海地区生长的耐性新品种,通常采用引种筛选或者抗性品种间杂交繁殖等方法来获得。同时,结合引进品种的生态适应性特征,加强其适宜栽培条件及管理措施的研究与优化,也是提升植物抵御高原逆境能力的重要途径。例如朱爱民等[21]通过引种筛选策略,对8个苜蓿品种进行抗寒性梯度研究,最终筛选出高抗寒、一般抗寒和低抗寒品种各3、3、2个,确定了适应该地区气候的抗寒品种;王志杨[22]则通过系统性比较16个叶子花品种的抗寒能力,结合越冬防护措施分析,评估了不同品种在当地的推广可行性。

植物生长的状况与其所处的光环境密切相关,一方面,光是植物光合作用最初的能量来源,直接影响着植物的生长发育;另一方面,光通过刺激光敏色素等信号传导,来间接影响植物的代谢和物质转化[23]。本研究发现,叶绿素含量在56.00%遮光率处理下最高,79.22%遮光率处理下最低。说明适宜光强有利于光合色素的积累,而较弱的光强或是强光都会在一定程度上抑制叶

表4　不同光强处理下园林小菊的光合色素含量

Table 4　Photosynthetic pigment content of chrysanthemums under different light intensity treatments

品种 Variety	处理 Treatments	叶绿素a含量/(mg/100 g FW) Chlorophyll a content	叶绿素b含量/(mg/100 g FW) Chlorophyll b content	总叶绿素含量/(mg/100 g FW) Total chlorophyll content	类胡萝卜素含量/(mg/100 g FW) Carotenoid content	叶绿素a/叶绿素b Chla/Chlb
‘金陵阳光’ ‘Jinling Yangguang’	CK	988.87±15.80b	313.59±6.51b	1 302.46±15.16b	213.51±8.24b	3.15±0.10a
	T1	1 272.67±23.37a	430.92±10.17a	1 703.59±31.76a	288.44±11.43a	2.95±0.05b
	T2	778.77±22.77c	264.65±8.79c	1 043.42±31.56c	176.13±4.21c	2.94±0.01b
‘金陵潋滟’ ‘Jinling Lianyan’	CK	1 047.26±19.35b	344.28±11.80b	1 391.54±23.46b	197.92±6.51b	3.04±0.11a
	T1	1 347.63±21.60a	472.32±8.53a	1 819.95±23.95a	267.25±9.29a	2.85±0.07b
	T2	828.09±29.87c	289.76±16.22c	1 117.86±45.58c	161.82±9.99c	2.86±0.07b
‘金陵玫瑰金’ ‘Jinling Meiguijin’	CK	969.57±120.44b	320.30±48.58b	1 289.87±168.47b	218.68±30.19b	3.04±0.10a
	T1	1 247.05±147.76a	438.82±61.87a	1 685.87±207.69a	295.63±41.30a	2.85±0.13b
	T2	782.98±80.30c	277.94±27.40c	1 060.92±105.29c	185.69±24.50c	2.82±0.14b
‘金陵红荷’ ‘Jinling Honghe’	CK	1 234.62±59.20b	357.10±7.58b	1 591.71±60.18b	284.52±18.06b	3.46±0.17a
	T1	1 589.19±76.44a	492.57±17.13a	2 081.77±88.09a	383.87±23.18a	3.23±0.12b
	T2	968.83±50.58c	303.03±18.64c	1 271.87±68.31c	232.88±14.72c	3.20±0.07b
‘金陵一品红’ ‘Jinling Yipinhong’	CK	1 405.68±46.69b	459.64±20.35b	1 865.32±66.87b	279.39±5.12b	3.06±0.04a
	T1	1 809.05±65.47a	630.65±24.13a	2 439.70±86.90a	377.46±8.72a	2.87±0.06b
	T2	1 104.71±82.54c	387.69±26.71c	1 492.40±108.13c	228.73±8.87c	2.85±0.07b
‘金陵礼花’ ‘Jinling Lihua’	CK	951.76±25.67b	281.45±3.11b	1 233.21±27.15b	213.94±8.16b	3.38±0.08a
	T1	1 224.94±29.41a	387.74±12.53a	1 612.68±31.71a	288.66±11.22a	3.16±0.13b
	T2	751.31±24.44c	238.08±8.96c	989.39±25.86c	176.66±9.66c	3.16±0.15b
‘金陵粉玉兰’ ‘Jinling Fenyulan’	CK	941.83±39.55b	273.64±7.67b	1 215.47±47.22b	209.33±11.62b	3.44±0.05a
	T1	1 212.12±45.75a	377.09±9.40a	1 589.21±51.78a	282.38±15.90a	3.21±0.10b
	T2	742.67±30.87c	233.78±4.62c	976.46±33.35c	171.61±7.12c	3.18±0.12b
‘金陵笑靥’ ‘Jinling Xiaoye’	CK	949.30±69.67b	285.84±30.99b	1 235.14±99.94b	224.56±9.63b	3.33±0.13a
	T1	1 221.56±84.47a	392.81±32.24a	1 614.37±115.41a	303.29±13.19a	3.11±0.09b
	T2	750.81±83.00c	244.35±30.73c	995.16±113.24c	184.57±9.90c	3.08±0.09b

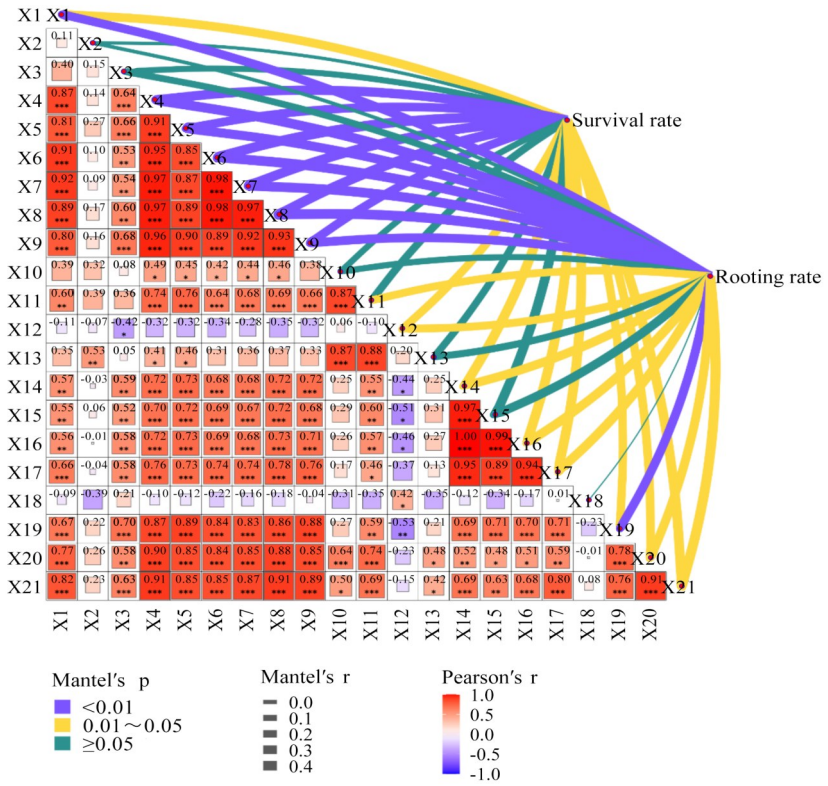
表5 不同光强下园林小菊生理指标

Table 5 Physiological indexes of chrysanthemums under different light intensities

品种 Variety	处理 Treatments	地上部含水量/% Water content of plant above ground	根含水量/% Water content of plant roots	根系活力/(μg/g•h) Root activity
‘金陵阳光’ ‘Jinling Yangguang’	CK	82.22±0.63b	86.41±1.02b	46.15±6.13b
	T1	86.90±0.71a	90.15±0.85a	69.35±11.44a
	T2	77.82±1.01c	83.31±1.21c	29.32±4.01c
‘金陵潋滟’ ‘Jinling Lianyan’	CK	80.49±1.16b	88.86±1.43b	59.08±6.63b
	T1	84.58±1.81a	92.60±1.63a	88.37±8.54a
	T2	76.09±1.21c	85.76±1.62c	37.60±5.06c
‘金陵玫瑰金’ ‘Jinling Meiguijin’	CK	84.10±2.65b	89.67±0.69b	72.41±10.07b
	T1	87.92±3.77a	93.41±0.40a	108.80±18.56a
	T2	79.70±2.34c	86.57±0.86c	46.01±6.65c
‘金陵红荷’ ‘Jinling Honghe’	CK	79.07±2.22b	88.25±0.57b	80.25±8.17b
	T1	82.90±2.82a	91.99±1.00a	120.34±14.54a
	T2	74.67±2.10c	85.15±0.65c	51.04±6.00c
‘金陵一品红’ ‘Jinling Yipinhong’	CK	80.89±1.42b	83.69±0.59b	46.74±0.87b
	T1	86.08±1.20a	87.43±0.53a	70.05±3.52a
	T2	76.49±1.60c	80.59±0.70c	29.69±0.77c
‘金陵礼花’ ‘Jinling Lihua’	CK	78.30±0.80b	88.00±0.10b	54.39±2.77b
	T1	82.92±0.88a	91.74±0.52a	81.55±6.27a
	T2	73.90±1.11c	84.90±0.38c	34.56±2.20c
‘金陵粉玉兰’ ‘Jinling Fenyulan’	CK	80.08±1.64b	86.04±0.51b	54.15±1.13b
	T1	84.22±2.54a	89.78±0.93a	81.13±3.71a
	T2	75.68±1.35c	82.94±0.47c	34.40±1.37c
‘金陵笑靥’ ‘Jinling Xiaoye’	CK	80.61±2.13b	86.41±0.73b	57.59±0.79b
	T1	85.60±1.76a	90.15±0.99a	86.25±2.01a
	T2	76.21±2.26c	83.31±0.72c	36.59±1.28c

绿素合成,降低植物酶活力和碳同化能力,使得植株矮小、叶片稀少[24]。同时,通过Mantel-test发现,叶绿素含量与根系指标呈极显著相关性($P<0.001$),表明植物体内叶绿素含量与根系的生长密切相关,通过叶片色素状态能直观反映出植物根系的状况,这是因为植物通过光合所合成的能量相对较少的用于叶片生长,大量用于根部生长,为了植株从土壤中获得足够的水分和营养物质来维持植株生长期较高的蒸腾速率[25]。对于56.00%和79.22%遮光率处理下叶绿素a/叶绿素b比值相较于全光照降低的原因,可能是因为在遮光条件下,叶绿素a向叶绿素b的转化加快,使得叶绿素b的含量增加,维持了遮阳网下植物对于弱光的适应性,增强了遮荫环境下对光照的利用效率,保证了植株的生长。

本研究发现,对于园林小菊扦插苗来说,全光照(CK)不影响扦插苗的正常生长发育;在约56%遮光率(T1处理)下,扦插苗的株高、根长、根数等都有明显的增加,植株状况优于对照;而在约79%遮光率(T2处理)下,扦插苗各指标均低于对照。与李金平等[26]研究不同遮光率对金边百里香幼苗生长的影响趋势相似。UEDA等[27]的研究表明较弱光强会抑制植物的生长,使植株株高、叶片等农艺性状变差,降低植物体内有机物的积累,引起生物量的减少;较强光照则可以促进园林小菊有效利用光合作用,增加干物质的含量,以此获得更多光合有效辐射,从而促进园林小菊的形态建成[28];而当光强过强时,植物根系会分泌有毒物质,分解叶绿体的光合结构[29],造成光能不能被有效利用,可能会通过热能等方式消耗,抑制园林小菊扦插苗的生长,导致生根率和成活率下降。在本研究中,T1处理(56.00%遮光率)有利于园林小菊扦



X1:株高;X2:茎粗;X3:叶片数;X4:总根长;X5:根平均直径;X6:根总体积;X7:根总表面积;X8:根总投影面积;X9:根尖数;X10:蒸腾速率;X11:净光合速率;X12:胞间CO_2浓度;X13:气孔导度;X14:叶绿素a含量;X15:叶绿素b含量;X16:总叶绿素含量;X17:类胡萝卜素含量;X18:叶绿素a/叶绿素b;X19:地上部含水量;X20:根含水量;X21:根系活力。

X1: Plant height, X2: Stem thickness, X3: Number of leaves, X4: Total root length, X5: Mean root diameter, X6: Total root volume, X7: Total root surface area, X8: Total root projected area, X9: Number of root tips, X10: Transpiration rate, X11: Net photosynthetic rate, X12: Intercellular CO_2 concentration, X13: Stomatal conductance, X14: Chlorophyll a content, X15: Chlorophyll b content, X16: total chlorophyll content, X17: carotenoids content, X18: chlorophyll a/chlorophyll b, X19: aboveground water content, X20: root water content, X21: root vigour.

图2　不同光强处理下园林小菊的曼特尔检验

Fig. 2　Mantel test of chrysanthemum under different light intensities

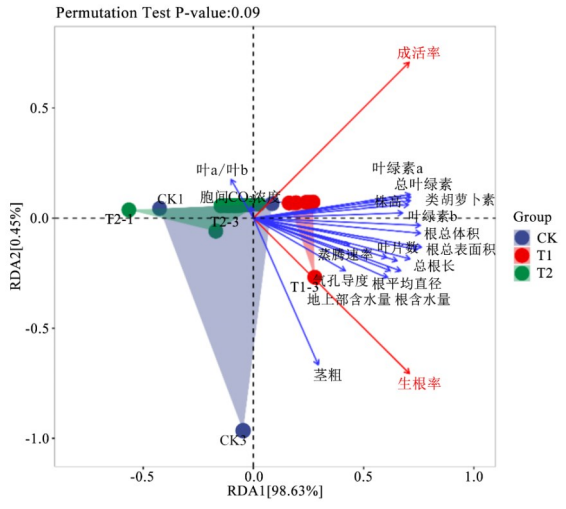


图3　不同光强处理下园林小菊的冗余分析

Fig. 3　Redundancy analysis of chrysanthemum under different light intensities

插苗的生长,并且发现8个品种中'金陵潋滟'的长势表现较为突出。由于不同高原地区的气候及光照强度等自然条件均有一定的差异,所以在生产实践中还应注重高原地区自然条件差异所带来的影响,在遮光度的选择上因地制宜以提高园林小菊的扦插效率。且在该研究过程中还有许多内容需要进一步完善及加强,本次试验仅模拟园林小菊在高原条件下扦插效率的影响,接下来将会针对园林小菊扦插苗的品质及观赏性做进一步的探究。

4　结论

本研究通过RDA分析和综合评价进一步证明,T1处理(56.00%遮光率)有利于园林小菊扦插苗的生长,并且发现8个品种中'金陵潋滟'的长

表6 各园林小菊品种在不同光强处理下的综合指标值CI(x)、权重值(W)、隶属函数值u(x)、Y(x)、综合评价值(D)

Table 6 The comprehensive evaluation of comprehensive index CI(x), index weight (W), subordinate function values (u (x)), Y(x),and comprehensive evaluation (D) of each chrysanthemums variety under different light intensities

品种 Variety	处理 Treatments	CI(1)	CI(2)	CI(3)	CI(4)	u(1)	u(2)	u(3)	u(4)	Y(1)	Y(2)	Y(3)	Y(4)	D
‘金陵阳光’ ‘Jinling Yangguang’	CK	−0.528 7	−1.181 5	−0.651 7	−2.080 8	0.371 0	0.215 0	0.341 6	0.000 0	0.265 1	0.027 7	0.029 8	0.000 0	0.322 5
	T1	0.950 6	−1.133 1	−0.814 4	−0.850 3	0.724 6	0.226 5	0.302 7	0.294 1	0.517 7	0.029 2	0.026 4	0.020 5	0.593 8
	T2	−1.332 8	−0.796 1	−1.279 0	−1.942 6	0.178 8	0.307 1	0.191 7	0.033 0	0.127 7	0.039 5	0.016 7	0.002 3	0.186 3
‘金陵潋滟’ ‘Jinling Lianyan’	CK	0.162 8	1.736 6	−0.163 1	0.172 1	0.536 3	0.912 5	0.458 4	0.538 5	0.383 2	0.117 5	0.039 9	0.037 5	0.578 1
	T1	1.542 2	1.757 7	−0.375 4	0.442 8	0.866 0	0.917 5	0.407 7	0.603 2	0.618 7	0.118 1	0.035 5	0.042 1	0.814 4
	T2	−0.711 8	2.102 6	−0.701 1	0.670 2	0.327 3	1.000 0	0.329 8	0.657 6	0.233 8	0.128 7	0.028 7	0.045 8	0.437 1
‘金陵玫瑰金’ ‘Jinling Meiguijin’	CK	0.214 2	0.959 6	−0.322 4	−1.281 7	0.548 6	0.726 8	0.420 3	0.191 0	0.392 0	0.093 6	0.036 6	0.013 3	0.535 4
	T1	1.828 3	0.806 2	−0.282 2	−1.455 9	0.934 4	0.690 1	0.429 9	0.149 4	0.667 6	0.088 8	0.037 4	0.010 4	0.804 3
	T2	−0.685 6	1.470 9	−1.053 1	−0.755 4	0.333 5	0.849 0	0.245 7	0.316 8	0.238 3	0.109 3	0.021 4	0.022 1	0.391 0
‘金陵红荷’ ‘Jinling Honghe’	CK	0.108 8	−0.149 8	0.982 3	0.238 6	0.523 4	0.461 6	0.732 2	0.554 4	0.374 0	0.059 4	0.063 8	0.038 7	0.535 8
	T1	1.600 6	−0.275 2	0.759 2	0.851 7	0.880 0	0.431 6	0.678 9	0.701 0	0.628 7	0.055 6	0.059 1	0.048 9	0.792 3
	T2	−0.833 7	0.618 1	0.342 6	0.916 1	0.298 1	0.645 1	0.579 3	0.716 4	0.213 0	0.083 0	0.050 5	0.049 9	0.396 4
‘金陵一品红’ ‘Jinling Yipinhong’	CK	−0.095 8	−1.102 4	−1.265 7	1.384 0	0.474 5	0.233 9	0.194 9	0.828 2	0.339 0	0.030 1	0.017 0	0.057 7	0.443 8
	T1	1.262 0	−1.351 0	−1.926 2	1.643 4	0.799 1	0.174 4	0.037 0	0.890 2	0.570 9	0.022 5	0.003 2	0.062 1	0.658 6
	T2	−0.814 1	−0.552 9	−1.468 6	1.443 3	0.302 8	0.365 2	0.146 3	0.842 4	0.216 3	0.047 0	0.012 7	0.058 7	0.334 8
‘金陵礼花’ ‘Jinling Lihua’	CK	−0.508 0	−0.471 7	0.906 6	−0.168 4	0.376 0	0.384 6	0.714 1	0.457 1	0.268 6	0.049 5	0.062 2	0.031 9	0.412 2
	T1	0.820 4	−0.470 2	0.581 3	−0.268 4	0.693 5	0.385 0	0.636 3	0.433 2	0.495 5	0.049 6	0.055 4	0.030 2	0.630 7
	T2	−1.263 8	−0.027 6	0.325 0	0.132 5	0.195 3	0.490 8	0.575 1	0.529 1	0.139 5	0.063 2	0.050 1	0.036 9	0.289 7
‘金陵粉玉兰’ ‘Jinling Fenyulan’	CK	−0.523 7	−0.298 4	1.561 2	0.323 4	0.372 2	0.426 1	0.870 6	0.574 7	0.265 9	0.054 8	0.075 8	0.040 1	0.436 7
	T1	1.048 8	−0.455 9	1.623 4	−0.419 7	0.748 1	0.388 4	0.885 4	0.397 1	0.534 5	0.050 0	0.077 1	0.027 7	0.689 3
	T2	−1.104 7	0.160 9	1.089 0	0.505 2	0.233 3	0.535 9	0.757 7	0.618 2	0.166 7	0.069 0	0.066 0	0.043 1	0.344 8
‘金陵笑靥’ ‘Jinling Xiaoye’	CK	−0.630 9	−0.620 5	0.951 5	0.093 6	0.346 6	0.349 1	0.724 8	0.519 8	0.247 6	0.044 9	0.063 1	0.036 2	0.391 9
	T1	0.769 4	−0.666 1	0.777 7	−0.020 4	0.681 3	0.338 2	0.683 3	0.492 5	0.486 8	0.043 5	0.059 5	0.034 3	0.624 2
	T2	−1.274 5	−0.060 3	0.403 2	0.426 6	0.192 7	0.483 0	0.593 8	0.599 4	0.137 7	0.062 2	0.051 7	0.041 8	0.293 4

表7　各园林小菊品种在不同光强处理下的综合评价值(D)

Table 7　Comprehensive evaluation value (D) of each chrysanthemum variety under different light intensities

排名 Rank	品种 Variety	处理 Treatments	D	排名 Rank	品种 Variety	处理 Treatments	D
1	‘金陵潋滟’	T1	0.814 4	13	‘金陵潋滟’	T2	0.437 1
2	‘金陵玫瑰金’	T1	0.804 3	14	‘金陵粉玉兰’	CK	0.436 7
3	‘金陵红荷’	T1	0.792 3	15	‘金陵礼花’	CK	0.412 2
4	‘金陵粉玉兰’	T1	0.689 3	16	‘金陵红荷’	T2	0.396 4
5	‘金陵一品红’	T1	0.658 6	17	‘金陵笑靥’	CK	0.391 9
6	‘金陵礼花’	T1	0.630 7	18	‘金陵玫瑰金’	T2	0.391 0
7	‘金陵笑靥’	T1	0.624 2	19	‘金陵粉玉兰’	T2	0.344 8
8	‘金陵阳光’	T1	0.593 8	20	‘金陵一品红’	T2	0.334 8
9	‘金陵潋滟’	CK	0.578 1	21	‘金陵阳光’	CK	0.322 5
10	‘金陵红荷’	CK	0.535 8	22	‘金陵笑靥’	T2	0.293 4
11	‘金陵玫瑰金’	CK	0.535 4	23	‘金陵礼花’	T2	0.289 7
12	‘金陵一品红’	CK	0.443 8	24	‘金陵阳光’	T2	0.186 3

势表现最佳,可为后期园林小菊扦插实际生产提供一定的理论依据,并且可作为培育适应青海高原地区园林小菊的优良种质资源。

参　考　文　献

[1]许兰杰,梁慧珍,余永亮,等. 菊花种质综合评价体系构建及优异种质筛选[J]. 北方园艺,2022(12):55-63.
Xu L J, Liang H Z, Yu Y L, et al. Establishment of comprehensive evaluation of *Chrysanthemum* germplasm and selection of elite resource [J]. Northern Horticulture, 2022 (12):55-63.

[2]朱德宁,韩宇,房伟民,等. 多花型园林小菊品质评价与品种筛选[J]. 南京农业大学学报,2018,41(2):266-274.
Zhu D N, Han Y, Fang W M, et al. Studies on the quality evaluation and variety selection of multi-flower garden *Chrysanthemum* [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2018,41(2):266-274.

[3]高佳慧,毛洪玉,李可,等. 耐寒地被菊景观评价体系的构建与应用[J]. 北方园艺,2020(15):55-65.
Gao J H, Mao H Y, Li K, et al. Construction and application of landscape evaluation system of cold-resistant ground-cover *Chrysanthemum*[J]. Northern Horticulture,2020(15):55-65.

[4]孙炜,于瑞宁,张飞,等. 菊花扦插生根能力的量化评价[J]. 园艺学报,2019,46(3):540-548.
Sun W, Yu R N, Zhang F, et al. Quantitative evaluation on rooting capacity for cutting propagation of Chrysanthemum[J]. Acta Horticulturae Sinica,2019,46(3):540-548.

[5]任磊,邓力群,冯雁梦,等. 影响茶菊扦插生根的因素研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2013,33(1):16-21.
Ren L, Deng L Q, Feng Y M, et al. Effects of influencing factors on rooting of cutting of Chrysanthemum for tea [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition),2013,33(1):16-21.

[6]邸葆,杨际双,何雪娜. 不同基质对菊花‘神马’扦插生根的影响[J]. 北方园艺,2012(4):69-71.
Di B, Yang J S, He X N. Effect of different media on rooting of *Chrysanthemum* ‘Jinba′ cuttings [J]. Northern Horticulture, 2012(4):69-71.

[7]陆思宇,杨再强,杨立,等. 不同光周期对菊花生长发育及内源激素的影响[J]. 华北农学报,2021,36(6):106-115.
Lu S Y, Yang Z Q, Yang L, et al. Effects of different photoperiods on the growth and development process and endogenous hormones of Chrysanthemum [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2021,36(6):106-115.

[8]程祥飞,王磊,聂林杰,等. 低温胁迫下菊花叶片叶绿素荧光特性与抗氧化酶活性的变化[J]. 河南农业科学,2018,47(4):104-108.
Cheng X F, Wang L, Nie L J, et al. Chlorophyll fluorescence characteristics and antioxidant enzyme activities of Chrysanthemum leaves under low temperature stress [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences,2018,47(4):104-108.

[9]苏炜宣,李邵,丁小明,等.光温耦合对植物生长发育的影响研究进展[J].中国农学通报,2019,35(31):16-20.
Su W X, Li S, Ding X M, et al. Effects of light-temperature coupling on growth and development of plants:research progress [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35 (31): 16-20.

[10]Hou W, Wei, Hou, Ya, et al. Effects of Shading on Plant Growth, Flower Quality and Photosynthetic Capacity of Rosa Hybrida[C]. 2017 International Conference on Biotechnology and Bioengineering. Luo Y, Wang X R, et al. Effects of shading on plant growth, flower quality and photosynthetic capacity of *Rosa* hybrida [C]//2017 International Conference on Biotechnology and Bioengineering (Icbb-2017), Offenburg, Germany. Author(s),2018:020005.1-020005.6.

[11]王翠丽,李永,崔洋,等. 9个秋菊品种叶片脂肪酸组成及其抗寒性评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(11):61-68.
Wang C L, Li Y, Cui Y, et al. Fatty acids components and

cold resistance of 9 autumn Chrysanthemum cultivars[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition),2014,42(11):61-68.

[12]汤肖玮. 茶用菊苗期耐旱性和耐涝性的综合评价[D]. 南京:南京农业大学,2020.
Tang X W. Comprehensive evaluation of drought tolerance and waterlogging tolerance of *Chrysanthemum morifolium* at seedling stage[D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University, 2020.

[13]王启璋,王海滨,田洁. 基于主成分分析评价园林小菊资源在西宁地区的适应性[J]. 中国农业科技导报,2021,23(11):62-72.
Wang Q Z, Wang H B, Tian J. Adaptability evaluation of garden Chrysanthemum resources in Xining based on PCA[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2021,23(11):62-72.

[14]张少婷,肖国杰,范广洲,等. 青海省日照时数的时空变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(1):121-126.
Zhang S T, Xiao G J, Fan G Z, et al. Spatial and temporal variation characteristics of sunshine duration in Qinghai Province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2017,31(1):121-126.

[15]王艳茹,郭巧生,靳淼. 光强对药用白菊花生长发育及光合特性的影响[J]. 中国中药杂志,2009,34(13):1632-1635.
Wang Y R, Guo Q S, Jin M. Effects of light intensity on growth and photosynthetic characteristics of *Chrysanthemum morifolium*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2009,34(13):1632-1635.

[16]刘婷,沈漫,王志忠,等. 不同光强对地被菊花期观赏品质的影响[J]. 北京农学院学报,2012,27(3):10-13.
Liu T, Shen M, Wang Z Z, et al. Effects of different light intensities on blooming traits of the ground-cover Chrysanthemum [J]. Journal of Beijing University of Agriculture,2012,27(3):10-13.

[17]禤汉美,史红专,郭巧生,等. 光强对野菊生理生化特性的影响[J]. 中国中药杂志,2020,45(7):1620-1626.
Xuan H M, Shi H Z, Guo Q S, et al. Effects of light intensity on physio-biochemical characteristics of *Chrysanthemum indicum*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(7):1620-1626.

[18]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,2000:134-137.
Li H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher education press,2000:134-137.

[19]Knievel D P. Procedure for estimating ratio of live to dead root dry matter in root core Samples[1][J]. Crop Science,197, 13(1):124-126.

[20]张婵,安宇梦,Yun JASCHKE,等. 青藏高原及周边高山地区的植物繁殖生态学研究进展[J]. 植物生态学报,2020,44(1):1-21.
Zhang C, An M Y, Yun JASCHKE, et al. Processes on reproductive ecology of plant species in the Qinghai-Xizang Plateau and adjacent highlands[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2020:1-21.

[21]朱爱民,张玉霞,王显国,等. 8个苜蓿品种抗寒性的比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(1):45-52.
Zhu A M, Zhang Y X, Wang X G, et al. Comparison of cold resistance of 8 alfalfa varieties[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition),2019,47(1):45-52.

[22]王志杨. 16个叶子花品种在长沙市的抗寒性及扦插繁育研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2022.
Wang Z Y. Study on cold resistance and cuttage propagation of 16 *Bougainvillea* varieties in Changsha city[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology,2022.

[23]王富刚,张静,张雄. 光敏色素与植物的光形态建成[J]. 基因组学与应用生物学,2017,36(8):3167-3171.
Wang F G, Zhang J, Zhang X. Phytochromes and plant photomorphogenesis [J]. Genomics and Applied Biology, 2017,36(8):3167-3171.

[24]王峰,闫家榕,陈雪玉,等. 光调控植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 园艺学报,2019,46(5):975-994.
Wang F, Yan J R, Chen X Y, et al. Light regulation of chlorophyll biosynthesis in plants [J]. Acta Horticulturae Sinica,2019,46(5):975-994.

[25]Poorter H, Nagel O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO_2, nutrients and water:a quantitative review[J]. Functional Plant Biology,2000,27(6):595.

[26]李金平,任瑞芬,尹大芳,等. 不同光环境下金边百里香的形态和生理可塑性[J]. 草业科学,2017,34(10):2130-2141.
Li J P, Ren R F, Yin D F, et al. Morphological and physiological plasticity of *Thymus mongolicus* under different light conditions[J]. Pratacultural Science,2017,34(10):2130-2141.

[27]Ueda Y, Nishihara S, Tomita H, et al. Photosynthetic response of Japanese rose species *Rosa bracteata* and *Rosa rugosa* to temperature and light[J]. Scientia Horticulturae, 2000,84(3-4):365-371.

[28]周成波,刘文科,查凌雁,等. LED红蓝光强对水培生菜生长以及有机碳和自毒物质分泌的影响[J]. 植物生理学报,2019,55(4):466-474.
Zhou C B, Liu W K, Zha L Y, et al. Effects of red and blue LED light intensities on the growth of hydroponic lettuce and secretions of organic carbon and autotoxins [J]. Plant Physiology Journal,2019,55(4):466-474.

[29]樊晓雅,初燕芳,袁玉麟. LED灯在植物工厂中的应用及对植物生长的影响[J]. 乡村科技,2020(29):107-109.
Fan X Y, Chu Y F, Yuan Y L. Application of LED lamp in plant factory and its influence on plant growth [J]. Rural Science and Technology,2020(29):107-109.

(编辑:吕俊俐)