

不同抚育措施对衰老火炬树叶片生理的影响

年晓晨,王冲冲,贾占稳,刘桂林*

(河北农业大学 园林与旅游学院,河北 保定 071000)

摘要:通过探讨除萌蘖、修剪、断根3种抚育措施处理对12年生衰老火炬树生理特性的影响,探究其衰老机理。设置4组处理,CK为对照组,D1为除萌蘖处理组,将主树2 m范围内萌蘖苗全部剪除,之后每隔15 d将新萌蘖苗剪除;D2为修剪处理组,将冗杂枝、干枯枝、过密枝疏除,树冠回缩;D3为断根处理组,距树干50 cm处画圆,沿弧线分6段,每隔1段断根处理,共断1/2的根。于6月开始取成熟叶片为试验材料,之后每隔30 d取样1次,测定各处理下叶片的生理指标变化规律。结果表明,在除萌蘖、修剪、断根3种抚育措施处理下,火炬树叶片叶绿素含量、SOD、POD、CAT活性、可溶性蛋白含量呈现“先升高后降低”的变化趋势,最高值分别较CK显著增长44.78%、22.10%、73.27%、141.31%、39.05%,可溶性糖含量呈现“升高”趋势,MDA含量呈现“先降低后升高”趋势,最低值显著低于CK 25.20%。3种抚育措施处理对火炬树早期预防衰老以及衰老期改善生长状态、延缓火炬树衰老均有明显作用,各处理综合评价结果为除萌蘖处理对衰老火炬树叶片生理影响效果最好,断根处理次之,修剪处理影响效果最差。

关键词:火炬树;树木衰老;森林抚育;叶片生理

中图分类号:S753.53

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2021)05-0063-06

Effects of Different Tending Measures on Physiology of Senescent *Rhus typhina* Leaves

NIAN Xiao-chen, WANG Chong-chong, JIA Zhan-wen, LIU Gui-lin*

(College of Landscape Architecture and Tourism, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: *Rhus typhina* is an excellent ornamental tree species with colorful leaves, but its short life has affected its ornamental value. The physiological characteristics of 12-year-old aging *R. typhina* were studied through three tending measures, including sprouting, pruning and root cutting, and its aging mechanism was explored. Four groups of treatments were set up in the experiment, the group without any treatment was taken as the control. D1 was the sprouting treatment group, all sprouting seedlings within 2 m of the main tree were cut off, and then new sprouting seedlings were cut off every 15 days. D2 was the pruning treatment group, in which redundant branches, dry branches and over-dense branches were removed and the crown was retracted. D3 was the root cutting treatment group, in which a 50 cm circle was drawn away from the trunk and six sections were divided along the arc. The root cutting treatment was carried out every other section, and a total of 1/2 roots were cut off. Mature leaves were taken as experimental materials in June, and then sampled every 30 days to measure the changes of physiological indexes of the leaves under different treatments. The results showed that the chlorophyll content, SOD, POD, CAT activities and soluble protein content in the leaves of *R. typhina* showed a trend of “first increasing and then decreasing”, and the highest values significantly increased by 44.78%, 22.10%, 73.27%, 141.31% and 39.05% compared with the control, respectively. Three kinds of tending measures had obvious effects on preventing the early

收稿日期:2020-10-29 修回日期:2021-04-06

基金项目:曹妃甸龙岛沙滩绿化研究与示范项目(201817)。

作者简介:年晓晨。研究方向:园林植物栽培及逆境生理。E-mail:473738182@qq.com

*通信作者:刘桂林,副教授,硕士生导师。研究方向:古树保护。E-mail:qingchen124@163.com

senescence of *R. typhina*, on improving the growth state and delaying the senescence of the tree during the senescence period. The comprehensive evaluation results of all treatments showed that the treatment of removing sprouting tillers had the best effect on the physiology of aging *R. typhina* leaves, followed by root cutting treatment, while the pruning treatment had the worst effect.

Key words: *Rhus typhina*; tree senescence; forest tending; leaf physiology

火炬树(*Rhus typhina*)是优良的观赏绿化树种,具有较强的抗逆性以及良好的保持水土能力^[1],对生态环境有改善土壤理化性质的效果^[2],主要用于荒山和盐碱荒地绿化^[3],火炬树可根蘖繁殖,扩散性极强,但通常生长 20 多 a 就会出现衰弱或死亡,是一种典型的“短命树”^[4]。

近年来已有对火炬树的生物量特征^[5]、克隆分株特性^[6]、火炬树与乡土树种生理特性的比较^[7]、各种胁迫条件下火炬树的生理响应^[8-9]等方面的研究。国内外有关学者都注意到火炬树根蘖扩散能力极强的现象,张明如等^[10]对火炬树克隆子株水平侧根的研究发现,火炬树具有克隆子株远端水平根直径大于近端水平根直径的不对称生长特性,火炬树的养分呈现出预先储备的特征,为克隆分株不断向外扩散提供一定的物质基础。目前针对不同抚育措施处理控制克隆分株分取母树养分及对衰老母树回缩修剪的研究鲜有报道。

本研究以 12 年生衰老火炬树为对象,分析不同抚育措施处理对衰老火炬树叶片质膜透性、渗透调节物质以及有关保护酶活性的影响,探讨不同抚育措施对火炬树叶片生理的影响,为火炬树延长寿命、科学的养护管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与方法

2019 年 6 月 10 日于保定市植物园选取长势均匀、树龄为 12 a(生长锥法测定)的衰老火炬树 20 株为研究对象。分别于抚育措施处理的第 0、30、60、90、120 天共 5 次进行取样,每组选取 5 株长势、胸径、生长环境相差不大的树,选择树冠外层生长状态相近、无病害损伤的当年生成熟叶片作为试验材料。采集的叶片用密封袋密封,立即放入液氮中再放到 -80℃ 冰箱保存待测,测定时间为每次取样的第 2 天。

试验共设置 4 组处理,CK 为空白对照,D1 为除萌蘖处理组,将主树 2 m 范围内萌蘖苗全部剪除,之后每隔 15 d 将新萌蘖苗剪除;D2 为修剪处理组,将冗杂枝、干枯枝、过密枝疏除,树冠回缩;D3 为断根处理组,距树干 50 cm 处画圆,沿弧线分 6 段,每隔 1 段断根处理,共断 1/2 的根;每组 5 株,每株

3 次重复。

1.2 测定指标

叶绿素含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量测定参照^[11]。

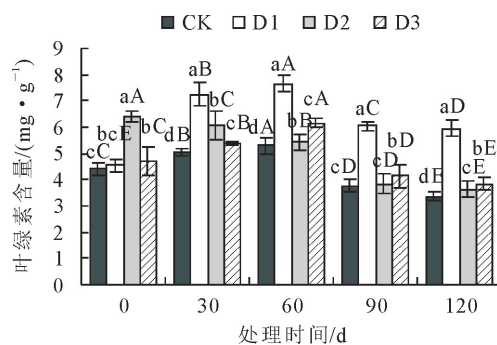
1.3 数据处理与分析

试验数据用 Excel2019 进行初步计算处理并作图,用 SPSS21.0 进行方差分析和隶属函数分析。

2 结果与分析

2.1 不同抚育措施对衰老火炬树叶片生理的影响

2.1.1 不同抚育措施对叶绿素含量的影响 叶绿素含量的高低可在一定程度上反映火炬树光合作用强弱的变化^[12]。衰老火炬树经过不同抚育措施处理后,叶绿素含量变化见图 1。各组叶绿素含量随处理时间增加呈现先增高后降低的变化趋势,3 组处理叶绿素含量均>CK,在处理 60 d 达到最高值,D1 叶绿素含量始终显著高于 CK 和其他处理($P < 0.05$)。



注:不同小写字母和大写字母分别表示不同处理间和不同处理时间上差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 1 抚育措施后不同时间叶片叶绿素含量变化

Fig. 1 The variation of chlorophyll content in the leaves at different time after tending

处理前期,在 30 d 时,D1、D2、D3 叶绿素含量分别比 CK 显著增加了 43.45%、19.76%和 6.51% ($P < 0.05$)。随着时间的延长,处理中期 60 d 时,D1、D2、D3 叶绿素含量显著>CK ($P < 0.05$),分别比 CK 增加了 44.78%、27.07%、16.33%。处理后期 90~120 d,D1、D3 叶绿素含量始终显著高于 CK ($P < 0.05$),分别比 CK 增加 60.52%/10.27%和

77.74%/14.76%,说明在处理后期 D2 对叶绿素含量的影响较小,D1、D3 可以显著提高衰老火炬树叶片的叶绿素含量,提高光合效率。

2.1.2 不同抚育措施对超氧化物歧化酶(SOD)活性影响 超氧化物歧化酶(SOD)可消除自由基,维持活性氧代谢平衡^[13],其含量越高,表明植物抗氧化胁迫能力越强。超氧化物歧化酶 SOD 活性在不同抚育措施处理下变化见图 2。随着处理时间增加各组 SOD 活性先升高后降低,在处理 60 d 时含量最高,差异显著性检验结果表明,各处理间均达到了差异显著水平($P < 0.05$)。处理后,3 组处理的 SOD 活性均显著 $> CK$,D1 的 SOD 活性始终显著高于 CK 和其他处理。处理前期,在 30 d 时,D1、D2、D3 的 SOD 活性均显著 $> CK$ ($P < 0.05$),分别比 CK 提高了 41.43%、39.88%和 10.81%。到处理中期 60 d 时,D1、D2、D3 SOD 活性显著 $> CK$ ($P < 0.05$),分别比 CK 提高了 22.10%、9.00%、6.54%,此时各处理 SOD 活性到达最高值。处理后期 90~120 d 时,D1 比 CK 显著提高了 36.54%和 12.58% ($P < 0.05$),较其他 2 组增幅较大。说明 D1、D2、D3 均可以显著提高衰老火炬树叶片的 SOD 活性,增强树体抗氧化胁迫能力,相较于 D2、D3,D1 对 SOD 活性影响更大。

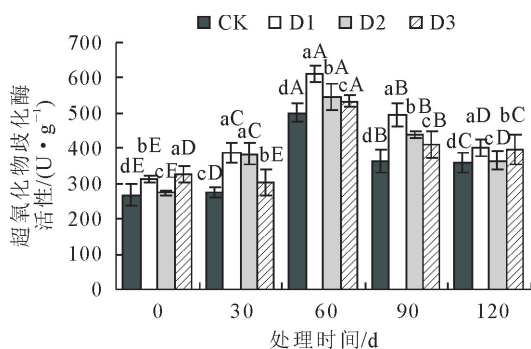


图 2 抚育措施后不同时间叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性比较

Fig. 2 The variation of super oxide dismutase (SOD) activity in the leaves at different time after tending

2.1.3 不同抚育措施对过氧化物酶(POD)活性影响 过氧化物酶(POD)活性在不同抚育措施处理下变化见图 3。随着处理时间增加 POD 活性先升高后降低,在处理后期,差异显著性检验结果表明,各处理间均达到了差异显著水平($P < 0.05$),D1 的 POD 活性始终高于 CK 和其他处理($P < 0.05$)。处理前期,在 30 d 时,D1、D2、D3 分别比 CK 显著增加了 39.92%、11.07%、27.62% ($P < 0.05$)。各处理 POD 活性在处理 60 d 时最高,分别比 CK 显著增加了 73.27%、31.41%、44.09% ($P < 0.05$)。处理后

期 90~120 d 时,D1、D2、D3 POD 活性较处理 60 d 时有所降低,仍显著 $> CK$ ($P < 0.05$)。说明处理 30 d 起,D1、D2、D3 均可以显著提高衰老火炬树叶片的 POD 活性,增强树体抗氧化胁迫能力,其中 D1 对 POD 活性影响更大。

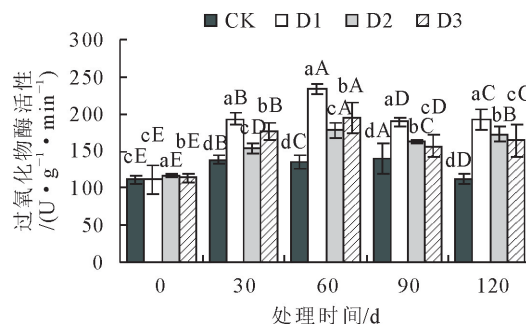


图 3 抚育措施后不同时间叶片过氧化物酶(POD)活性比较

Fig. 3 Comparison of peroxidase (POD) activity in the leaves at different time after tending

2.1.4 不同抚育措施对过氧化氢酶活性(CAT)影响 过氧化氢酶(CAT)活性在不同抚育措施处理下变化见图 4。各组植株 CAT 活性变化随处理时间增加先升高后降低,通过 D1、D2、D3 处理后,CAT 活性均比对照组显著增大($P < 0.05$),说明 3 组处理可不同程度增强衰老火炬树叶片 CAT 活性。在处理前期 30 d 时,D1、D2、D3 的 CAT 活性均显著 $> CK$ ($P < 0.05$),分别比 CK 提高了 53.67%、61.48%、67.95%。从处理 60 d 到 120 d,各处理的 CAT 活性均显著高于 CK ($P < 0.05$),其中 D1 的 CAT 活性始终显著高于 D2、D3 和 CK,分别比 CK 提高了 141.31%、113.60%和 106.16%。表明 3 组处理均可显著增强衰老火炬树叶片 CAT 活性,相较于 D2、D3,D1 对衰老火炬树叶片 CAT 活性影响更大。

2.1.5 不同抚育措施对丙二醛(MDA)含量影响 丙二醛(MDA)含量在不同抚育措施处理下变化见图 5。各组 MDA 含量随处理时间增加先降低后升高,通过 D1、D2、D3 处理后,MDA 含量均比对照组有所减少。在处理初期 30 d 时,D1、D2、D3 的 MDA 含量较 CK 均显著降低($P < 0.05$)。在处理 60 d 时,D2 的 MDA 含量到达最低值,较 CK 低 25.20%,显著 $< CK$ ($P < 0.05$)。在处理后期 90~120 d 时,D1、D2、D3 的 MDA 含量均显著 $< CK$ ($P < 0.05$),分别比 CK 降低了 21.73%、30.51%、13.54%和 16.97%、15.49%、13.00%。结果表明 D1、D2、D3 均可显著降低衰老火炬树叶片 MDA 含量,降低对细胞膜系统损伤。

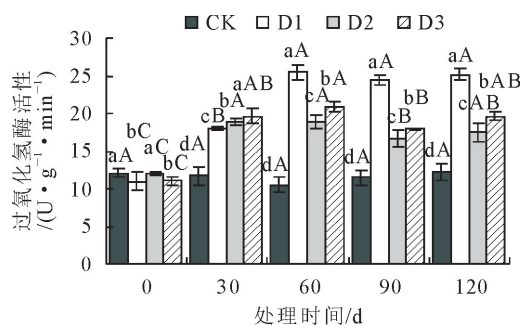


图4 抚育措施后不同时间叶片过氧化氢酶(CAT)活性比较

Fig. 4 Comparison of catalase (CAT) activity in the leaves at different time after tending

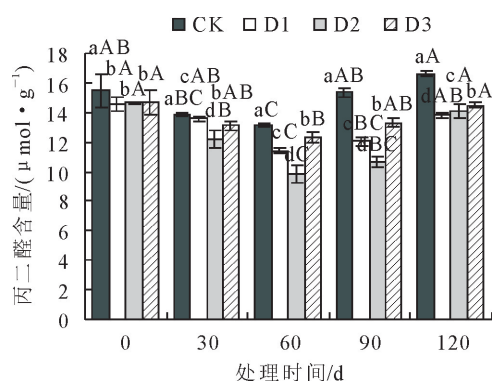


图5 抚育措施后不同时间叶片丙二醛(MDA)含量比较

Fig. 5 Comparison of malondialdehyde (MDA) content in the leaves at different time after tending

2.1.6 不同抚育措施对可溶性蛋白含量影响 可溶性蛋白含量在不同抚育措施处理下变化见图6。可溶性蛋白含量随处理时间呈先升高后降低变化趋势,3组处理可溶性蛋白含量均比CK显著增多($P < 0.05$)。从处理初期30 d起,D1、D2、D3的可溶性蛋白含量均显著 $>CK$ ($P < 0.05$)。处理中期60 d时,3组处理可溶性蛋白含量达到最高值,分别比对照增加了39.05%、36.12%、32.77%。到处理后期90 d时,各组可溶性蛋白含量较60 d无明显变化,处理120 d时D1、D3可溶性蛋白含量仍处于较高水平,D2可溶性蛋白含量较处理中前期显著降低($P < 0.05$)。综上所述,D1、D3对衰老火炬树叶可溶性蛋白含量影响效果较D2更为明显。

2.1.7 不同抚育措施对可溶性糖含量影响 可溶性糖含量在不同抚育措施处理下变化见图7,总体呈现升高趋势,从处理60 d起D1、D2、D3植株可溶性糖含量均比对照组显著增多($P < 0.05$)。在处理前期,处理30 d时,D1可溶性糖含量显著高于D2、D3和CK,较CK增加了35.99%($P < 0.05$)。从处理中期60~120 d,D1、D2、D3的可溶性糖含量均显著 $>对照$ ($P < 0.05$);D3可溶性糖含量显著高于D1、D2和CK,各处理阶段分别比CK增多了

56.85%、55.50%、53.70%($P < 0.05$)。表明3组处理均可显著增加衰老火炬树叶可溶性糖含量,相较于D1、D2、D3对衰老火炬树可溶性糖含量影响更大。

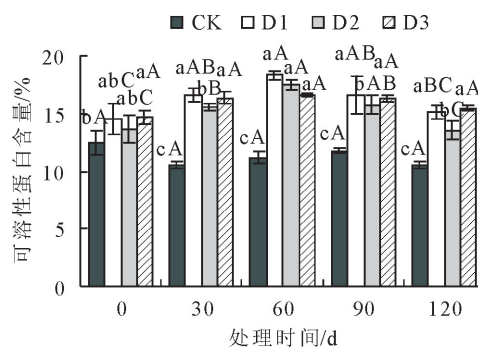


图6 抚育措施后不同时间叶片可溶性蛋白含量比较

Fig. 6 Comparison of soluble protein contents in the leaves at different time after tending

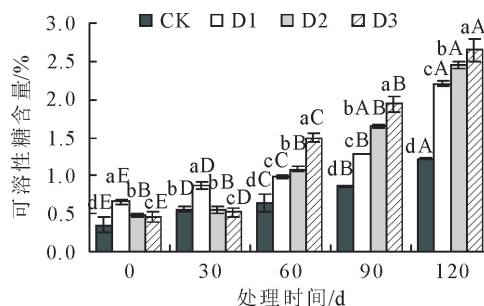


图7 抚育措施后不同时间叶片可溶性糖含量比较

Fig. 7 Comparison of soluble sugar contents in the leaves at different time after tending

2.2 生理指标间的相关性分析

由表1可知,各类生理指标之间存在一定的相关性,如SOD活性与POD活性、CAT活性等同一类别抗氧化酶活性指标,以及同可溶性蛋白含量、MDA含量等渗透调节物质或膜脂过氧化指标均存在显著或极显著相关性,其他生理指标与SOD活性存在相似相关性现象。

2.3 主成分和隶属函数分析

用单一指标来评价不同抚育措施处理效果比较片面,因此采用主成分分析法对表征火炬树衰老程度相关的7个生理指标进行综合分析。由表2可知,在前3个主成分中的方差占总方差比例为88.990%,特征值分别为4.316、1.336、0.547,方差贡献率分别为61.664%、19.508%、7.819%,对应较大向量分别为POD活性、可溶性糖含量、SOD活性。因此,选择这3个指标作为不同抚育措施处理对衰老火炬树的生长状态的综合评价指标。

运用隶属函数法对3个指标进行隶属函数值计算。将处理第30、60、90 d和120 d各指标隶属函数值累加,求其平均值,以评价各抚育措施处理对衰老

表 1 火炬树生理指标的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of resistance physiological indexes of *R. typhina*

生理指标	处理	叶绿素含量	SOD 活性	POD 活性	CAT 活性	MDA 含量	可溶性蛋白含量	可溶性糖含量
处理	1	0.049	0.100	0.244	0.335	-0.324	0.628**	0.342
叶绿素含量	0.049	1	0.477*	0.582**	0.497*	-0.563**	0.578**	-0.299
SOD 活性	0.100	0.477*	1	0.712**	0.609**	-0.711**	0.557*	0.296
POD 活性	0.244	0.582**	0.712**	1	0.904**	-0.651**	0.728**	0.415
CAT 活性	0.335	0.497*	0.609**	0.904**	1	-0.571**	0.764**	0.501*
MDA 含量	-0.324	-0.563**	-0.711**	-0.651**	-0.571**	1	-0.702**	-0.096
可溶性蛋白含量	0.628**	0.578**	0.557*	0.728**	0.764**	-0.702**	1	0.235
可溶性糖含量	0.342	-0.299	0.296	0.415	0.501*	-0.096	0.235	1

注: * 表示 0.05 水平上显著相关; ** 表示 0.01 水平上显著相关。

表 2 火炬树叶片生理指标主成分分析

Table 2 Principal component analysis of physiological indexes in the leaves of *R. typhina*

指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
叶绿素含量	0.672	-0.637	0.208
SOD 活性	0.813	0.020	-0.482
POD 活性	0.930	0.127	0.136
CAT 活性	0.896	0.242	0.285
MDA 含量	-0.818	0.225	0.364
可溶性蛋白含量	0.863	-0.065	0.200
可溶性糖含量	0.349	0.911	-0.014
特征值	4.316	1.336	0.547
贡献率/%	61.664	19.508	7.819
累积贡献率/%	61.664	81.173	88.990

表 3 火炬树叶片生理指标的综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation results of physiology indexes for the leaves of *R. typhina*

评价指标	CK	D1	D2	D3
POD 活性	0.000	1.000	0.506	0.625
可溶性糖含量	0.000	0.690	0.700	1.000
SOD	0.000	1.000	0.545	0.468
隶属函数总值	0.000	2.386	1.751	2.093
隶属函数平均值	0.000	0.897	0.584	0.698
排名	4	1	3	2

火炬树叶片生理的影响效果。由表 3 可知,3 种抚育措施处理隶属函数平均值排序为 D1(0.897)>D3(0.698)>D2(0.584)>CK(0.000),隶属函数值越高,说明抚育措施处理效果越好。表明 3 种抚育措施中,除萌蘖处理效果最好,断根处理次之,修剪处理效果相对较差。

3 结论与讨论

研究表明,除萌蘖处理对衰老火炬树叶片生理特性影响效果最好,其次为断根处理,表明分蘖是造成火炬树衰弱的主要原因。研究结果为火炬树早期预防衰老以及衰老期改善生长状态、延缓火炬

树衰老以及今后培育不分蘖的火炬树提供了理论依据。

3.1 抚育措施对衰老火炬树叶片生理特性的影响

树木在衰老过程中叶绿体数量、组成成分发生变化,叶绿素发生自我降解或液泡中的降解酶在衰老阶段被运输到叶绿体内部,导致叶绿体被降解,光合效率降低^[14]。研究结果显示适当的抚育措施可有效降低叶绿体的分解,提高叶绿素含量,除萌蘖处理下,叶片中叶绿素含量显著>CK,很大程度提高了火炬树的光合能力。

在火炬树衰老进程中,不仅外部形态发生明显变化,如叶片形态变化,树体内部各器官生理特性也发生很大变化^[15],例如活性氧积累以及细胞膜质损伤等生理生化反应。随着树体衰老,体内 SOD、POD、CAT 等抗氧化酶活性降低,自由基产生和清除平衡被打破^[16-17],导致自由基过剩,细胞膜脂发生过氧化,细胞结构破坏。对衰老火炬树采用除萌蘖、修剪、断根 3 种抚育措施可显著提高抗氧化酶活性,强化 SOD 等保护酶的防御系统,降低 MDA 等膜质过氧化物对细胞代谢的侵害,有效缓解树体衰老,对延缓火炬树衰老具有实用性。

树体内可溶性糖和可溶性蛋白可以缓解树木衰老进程中膜系统的损伤,是重要的渗透调节物质^[18]。研究结果显示,除萌蘖、修剪、断根 3 种抚育措施均可显著提高衰老火炬树体内可溶性糖和可溶性蛋白含量,表明这 3 种抚育措施均能促使火炬树积累渗透调节物质,有效缓解火炬树衰老进程中叶片膜系统的损伤。

3.2 抚育措施对衰老火炬树生理特性影响效果评价

在本研究中运用模糊数学中的隶属函数法能够较全面地对 3 种抚育措施对衰老火炬树叶片生理影响效果进行综合评价^[19-20]。综合评价结果表明,除萌蘖处理对衰老火炬树叶片生理影响效果最好,这可能是由于除萌蘖处理能有效控制无性繁殖的萌蘖

苗与母树竞争养分,从而提高母树生长量,增强树势,延缓了母树衰老进程。

参考文献:

- [1] 张传芹. 火炬树抗逆性及克隆竞争能力的研究与评价[D]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [2] 陈佐忠, 董保华, 杨宗贵. 北京地区火炬树的调查[J]. 林业资源管理, 2006, 27(1): 54-58.
CHEN Z Z, DONG B H, YANG Z G. Investigation about stag-horn sumac (*Rhus typhina*) in Beijing area[J]. Forest Resources Management, 2006, 27(1): 54-58. (in Chinese)
- [3] 王海峰, 翟明普, 马长明. 外来种火炬树研究综述[J]. 山西林业科技, 2006, 14(4): 14-16.
WANG H F, ZHAI M P, MA C M. Summary for studies on exotic species *Rhus typhina* [J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2006, 14(4): 14-16. (in Chinese)
- [4] 张川红, 郑勇奇, 李继磊, 等. 北京地区火炬树的萌蘖繁殖扩散[J]. 生态学报, 2005, 25(5): 978-985.
ZHANG C H, ZHENG Y Q, LI J L, *et al.* Dispersal of stag-horn sumac in Beijing areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 978-985. (in Chinese)
- [5] 马松涛, 刘广全, 李文华, 等. 不同立地类型火炬树人工林生物量初步研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(6): 36-38.
MA S T, LIU G, LI W H, *et al.* Study on biomass in *Rhus typhina* artificial forest at different sites[J]. Jour. of Northwest Sci. Tech-Univ. of Agri. and For.: Nat. Sci. Ed., 2003, 31(6): 36-38. (in Chinese)
- [6] 周立彪, 闫兴富, 杜茜. 不同火炬树种群的克隆分株能力比较研究[J]. 北方园艺, 2009(9): 170-172.
- [7] 吴长虹. 火炬树生物入侵可能性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [8] 杨滕希, 国伟强, 和文懿, 等. 火炬树幼苗对镉胁迫的生理响应及积累特性[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2020, 49(3): 334-340.
YANG C X, GUO W Q, HE W Y, *et al.* Effects of Cd^{2+} on the physiological response and accumulation characteristics of *Rhus typhina* [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2020, 49(3): 334-340. (in Chinese)
- [9] 曲同宝, 杨滕希, 马文育, 等. 铅(Pb^{2+})和镉(Cd^{2+})对火炬树种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(1): 30-36.
QU T B, YANG C X, MA W Y, *et al.* Effects of Pb (Pb^{2+}) and Cd^{2+} on seed germination and seedling growth of *Rhus typhina* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(1): 30-36. (in Chinese)
- [10] 张明如, 翟明普, 王学勇, 等. 火炬树克隆植株生长和生物量特征的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 39-45.
ZHANG M R, ZHAI M P, WANG X Y, *et al.* A study on the characteristics of the growth and the biomass of clonal ramets in *Rhus typhina* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3): 39-45. (in Chinese)
- [11] 李合生. 植物生理学及生物化学试验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 张利娟. 不同生长势古香樟外观形态与生理特性分析[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [13] LU C M. Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photo chemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field[J]. Journal of Experimental Botany, 2001, 52(362): 1805-1810. (in Chinese)
- [14] 秦宏伟. 植物衰老机理研究进展[J]. 生物学教学, 2007, 32(7): 10-11.
- [15] 慕莹. 银杏不同组织器官及愈伤组织培养中端粒酶活性测定[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 95-99.
MU Y. Telomerase activity assay in different organs and callus culture of *Ginkgo biloba* L. [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(3): 95-99. (in Chinese)
- [16] 于振群, 孙明高, 魏海霞, 等. 干旱和盐分交叉胁迫对皂角幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(3): 47-50.
YU Z Q, SUN M G, WEI H X, *et al.* Effect of salt and drought intercross stress on lipid peroxidation and activity of cell defense enzymes in leaves of *Gleditsia sinensis* seedlings [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(3): 47-50. (in Chinese)
- [17] 王巧, 朱红, 王华田, 等. 油松古树衰老过程中的生长与生理变化[J]. 山东大学学报: 理学版, 2016, 51(5): 29-35.
WANG Q, ZHU H, WANG H T, *et al.* Growth and physiological changes during plant senescence of ancient *Pinus tabulaeformis* Carr. [J]. Journal of Shandong University: Natural Science, 2016, 51(5): 29-35. (in Chinese)
- [18] 程程, 周威, 王晓冰, 等. 不同树龄国槐光合特性和抗氧化酶活性比较研究[J]. 西北林学院学报, 2018, 33(3): 7-13.
CHENG C, ZHOU W, WANG X B, *et al.* Photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activity of *Sophora japonica* with different ages [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2018, 33(3): 7-13. (in Chinese)
- [19] 荣俊冬, 凡莉莉, 陈礼光, 等. 保水剂与氮肥对麻竹抗性生理特性的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(3): 460-467.
RONG J D, FAN L L, CHEN L G, *et al.* Effects of super absorbent Polymers (-SAP) and nitrogen fertilizer mixture on resistance physiology indexes of *Dendrocalamus latiflorus* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(3): 460-467. (in Chinese)
- [20] 张玲, 张东来, 毛子军, 等. 不同群落类型土壤惰性碳含量特征与维持机制[J]. 森林工程, 2019, 35(6): 16-25.
ZHANG L, ZHANG D L, MAO Z J, *et al.* Effects of different litter on the growth and physiological characteristics for *Quercus mongolica* seedlings [J]. Forest Engineering, 2019, 35(6): 16-25. (in Chinese)