

孙宏蕾,姜泽东,计舒文,等.爬山虎衰老过程中不同颜色叶片光合性能比较[J].江苏农业科学,2018,46(22):123-126.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.22.027

爬山虎衰老过程中不同颜色叶片光合性能比较

孙宏蕾,姜泽东,计舒文,王艺斐,王 琮,张顺云,张 敖,朱延姝

(沈阳农业大学生物科学技术学院,辽宁沈阳 110866)

摘要:爬山虎(*Parthenocissus tricuspidata* Planch.)叶片颜色在秋季变化显著,是研究色素与叶片生理状态之间关系的理想材料。以秋季爬山虎绿色、红色、黄色叶片为材料,测定吸收光谱和叶绿素荧光动力学曲线,以及叶绿素、类胡萝卜素、花色素含量。在 3 种叶片中,黄色叶片的叶绿素、类胡萝卜素、花色素含量最低,类胡萝卜素含量显著低于花色素含量,可见光吸收最少,活性反应中心数量和光化学活性最低,荧光动力学曲线失去典型特征;红色叶的花色素含量最高,叶绿素含量、类胡萝卜素含量显著高于黄色叶,可见光吸收少于绿色叶,荧光动力学曲线基本上失去典型特征,活性反应中心数量和光化学活性高于黄色叶;绿色叶的叶绿素、类胡萝卜素含量最高,花色素含量高于黄色叶,光吸收光谱和可见光吸收光谱具有正常特征,光化学活性、活性反应中心数量较大。结果表明,绿色叶还具有较强活性氧产生能力,而黄色叶、红色叶的活性氧产生能力较弱,在 3 种叶片中花色素在活性氧清除方面都起重要作用。

关键词:爬山虎;衰老;叶片;光合性能

中图分类号:S687.301 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)22-0123-03

叶片是植物进行光合作用的重要器官,其主要功能为提供植物生长发育的有机营养。叶片若发生衰老,将导致光合作用降低和停止^[1]。叶片衰老受秋季低温和短日照诱导^[2],在该阶段,强光和干旱等环境胁迫促进衰老^[1,3]。然而,对于多年生植物,适时和适当速率的衰老有利于叶片中的营养物质转运到其他延存器官中,为它们顺利越冬和来年延存器官生长提供能量和营养物质。活性氧的产生和清除之间的平衡是控制叶片衰老速率的关键因子之一。活性氧产生将诱发和促进叶片的衰老^[4],而活性氧的清除机制将减轻或减缓活性氧的这种作用^[5-6]。叶片衰老过程伴随着叶片颜色的变化^[7],叶绿素、类胡萝卜素、花色素的含量和比值发生变化^[8]。当叶片对 CO₂ 的同化能力降低时,叶绿素会将利用所吸收的光能产生活性氧^[9]。与之相反,类胡萝卜素和花色素则具有清除活性氧的作用^[10-12]。因此,叶片的吸收光谱和叶绿素与类胡萝卜素和花青素的比值将影响植物体内活性氧的动态平衡,进而影响叶片的衰老速率。爬山虎(*Parthenocissus tricuspidata* Planch.)属葡萄科多年生落叶藤本植物,其叶片颜色在秋季发生显著变化^[13-14],是研究色素与叶片衰老之间关系的理想材料。本研究测定秋季爬山虎不同颜色叶片的叶绿素、类胡萝卜素、花色素含量,以及同一阶段的叶片荧光动力学参数和吸收光谱,分析叶片衰老过程中叶绿素与类胡萝卜素和花色素比值变化与叶片荧光动力学参数和吸收光谱的关系,以期对植物秋季叶片衰老速率调控机制提供参考依据。

1 材料与与方法

收稿日期:2017-12-14

作者简介:孙宏蕾(1994—),女,吉林德惠人,硕士研究生,主要从事植物生理和群体遗传学研究。E-mail:826234268@qq.com。

通信作者:张 敖,博士,讲师,主要从事玉米全基因组预测、数量遗传学和植物生理学研究。E-mail:zhangao7@qq.com。

1.1 材料

试验材料为沈阳农业大学校园内(41°49'N,123°34'E)生长的爬山虎。于 2016 年 10 月上旬晴天的上午,选取不同枝条上生长一致的绿色、黄色、红色叶片测定吸收光谱、叶绿素荧光动力学曲线,以及叶绿素、胡萝卜素、叶黄素、花色素含量。

1.2 方法

吸收光谱测定:3 种颜色的爬山虎叶片各 5 片,用英国汉莎公司的 Unispec-SC 单通道便携式光谱仪(PP-Systems)测定吸收光谱。

叶绿素荧光动力学曲线测定:测定吸收光谱后,用叶夹夹住叶片中部暗适应 30 min,用英国汉莎公司的植物效率仪(Handy PEA)测定叶绿素荧光参数。饱和脉冲光的光强为 3 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,持续时间为 1 s。荧光参数 F_0 为初始荧光, F_m 为最大荧光, F_v 为可变荧光, F_v/F_m 为 PS II 最大光化学效率,Wk 为 PS II 供体侧伤害指数,ETo/RC 为反应中心捕获的用于电子传递的能量,DIo/RC 为反应中心的热耗散,RC/CSm 为单位面积反应中心的数量($t = F_m$)。

光合色素含量测定:将测定吸收光谱和叶绿素荧光参数后的叶片剪下,参考黄秋婵等方法^[15-16],用 95% 乙醇浸提,测定 474、485、645、663 nm 下的吸光度,计算叶绿素 a、叶绿素 b、胡萝卜素、叶黄素含量。花色素含量测定参照桂克印等的方法^[17],用 1% 的盐酸甲醇浸提,测定 530 nm 下的吸光度,计算花色素的含量。

1.3 数据分析

荧光参数和吸收光谱使用 Microsoft Office Excel 与 SPSS 17.0 进行作图分析。

2 结果与分析

2.1 不同颜色叶片的色素含量比较

从表 1 可以看出爬山虎 3 种不同颜色叶片色素含量的差

异。绿色叶、红色叶、黄色叶的叶绿素(a+b)含量依次降低,绿色叶与红色叶和黄色叶的含量差异极显著;叶绿素a、叶绿素b含量变化趋势与叶绿素(a+b)含量变化趋势一致,3种叶片间的差异水平也一致。3种叶片中的类胡萝卜素含量依次降低,绿色叶与红色叶和黄色叶的含量差异极显著。3种不同颜色叶片胡萝卜素含量变化与类胡萝卜素含量变化一

致,且3种颜色叶片之间差异极显著。绿色叶的叶黄素含量高于黄色叶,三者差异极显著,红色叶的叶黄素含量没有测出。花色素在红色叶中含量最高,绿色叶次之,黄色叶最少,红色叶与绿色叶和黄色叶差异极显著。叶绿素a/叶绿素b、叶绿素(a+b)/类胡萝卜素、叶绿素(a+b)/花色素的比值从大到小分别是绿色叶、红色叶、黄色叶。

表1 爬山虎3种不同颜色叶片的色素含量比较

测定项目	色素含量(mg/cm ²)		
	绿叶	红叶	黄叶
叶绿素(a+b)	0.009 5±0.000 67Aa	0.001 6±0.000 24Bb	0.000 7±0.000 03Bb
叶绿素a	0.006 7±0.000 45Aa	0.001 0±0.000 18Bb	0.000 4±0.000 03Bb
叶绿素b	0.002 7±0.000 27Aa	0.000 5±0.000 07Bb	0.000 3±0.000 01Bb
叶绿素a/叶绿素b	2.545 2±0.166 24Aa	1.773 2±0.154 12Bb	1.313 4±0.066 92Bc
叶绿素(a+b)/总色素	0.252 6±0.015 33Aa	0.061 4±0.032 28Bb	0.047 4±0.007 93Bb
类胡萝卜素	0.004 8±0.000 49Aa	0.001 5±0.000 15Bb	0.000 7±0.000 07Bb
胡萝卜素	0.003 3±0.000 29Aa	0.001 7±0.000 18Bb	0.000 6±0.000 03Cc
类胡萝卜素/总色素	0.127 2±0.010 18Aa	0.012 4±0.001 4Cc	0.051 1±0.003 36Bb
叶黄素	0.001 2±0.000 21Aa	0.000Bb	0.000 1±0.000 03Bb
叶绿素(a+b)/类胡萝卜素	2.008 5±0.094 63Aa	1.064 8±0.130 23Bb	1.025 4±0.056 69Bb
叶黄素/类胡萝卜素	0.256 6±0.194 29Aa	0.000Bb	0.182 4±0.029 46Aa
叶黄素/总色素	0.033 2±0.004 65Aa	0.000Bb	0.009 6±0.002 14Aa
花色素	0.023 6±0.002 17Bb	0.120 9±0.006 03Aa	0.013 1±0.000 60Bb
叶绿素(a+b)/花色素	0.413 5±0.039 38Aa	0.057 6±0.001 43Bb	0.013 4±0.001 64Bb
花色素/总色素	0.620 1±0.024 38Cc	0.974 5±0.002 55Aa	0.897 2±0.003 87Bb
(类胡萝卜素+花色素)/总色素	0.749 3±0.015 33Cc	0.124 1±0.006 19Aa	0.894 2±0.001 15Bb
总色素	0.037 9±0.002 79Bb	0.012 4±0.001 4Cc	0.014 6±0.003 36Bb

注:同行数据后不同小写、大写字母分别表示不同颜色叶片差异显著($P<0.05$)、极显著($P<0.01$),表2同。

2.2 爬山虎不同颜色叶片的吸收光谱比较

从图1可以看出,爬山虎3种不同颜色叶片吸收光谱存在明显差异。在310~410 nm、710~1 110 nm范围内,爬山虎3种颜色叶片的吸收光谱几乎重合;在410~710 nm范围内,绿色叶吸收光谱的趋势先小幅降低,然后在680 nm处出现峰值,出现峰值后迅速降低;红色叶、绿色叶的吸收光谱趋势基本一致,但在680 nm峰值处,红色叶吸收光谱低于绿色叶;黄色叶的吸收光谱明显低于红色叶和绿色叶。每种色素吸收光的能力不同,其中叶绿素是吸收光能的主要色素,黄色叶明显低于绿色叶和红色叶,说明黄色叶中的叶绿素含量较少。

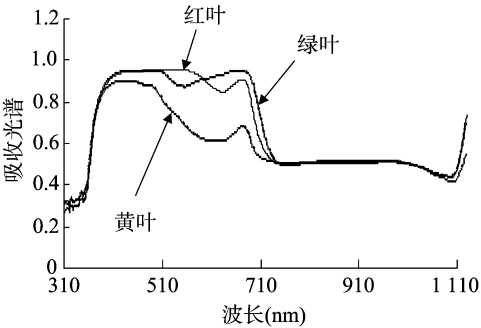


图1 爬山虎3种不同颜色叶片的吸收光谱比较

2.3 不同颜色叶片的叶绿素荧光动力学曲线和参数比较

从图2可以看出,爬山虎3种不同颜色叶片叶绿素荧光动力学曲线存在明显差异。绿色叶片的叶绿素荧光动力学曲

线均呈现该曲线的典型特征, $O-J-I-P$ 各点非常明显;红色叶片的荧光动力学曲线特征不够明显,除 O 点比较清晰外,其他各点难以辨认;黄色叶片的荧光动力学曲线特征不够明显, $O-J-I-P$ 各点均难以辨认。

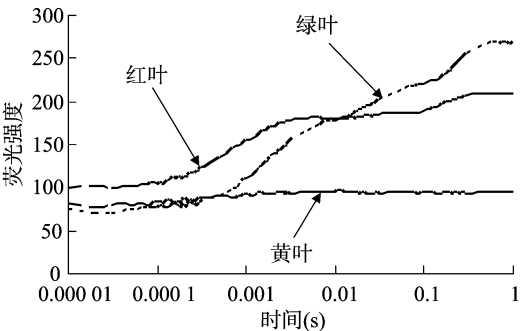


图2 爬山虎3种不同颜色叶片的叶绿素荧光动力学曲线比较

从表2可以看出,爬山虎3种不同颜色叶片叶绿素荧光参数存在明显差异。爬山虎叶片的初始荧光(F_0)从红色叶到黄色叶再到绿色叶依次减小,说明PSⅡ反应中心的结构发生变化,色素吸收光能传递给反应中心的效率降低,PSⅡ反应中心活性降低。从绿色叶到红色叶再到黄色叶最大荧光产量(F_m)大幅降低,PSⅡ最大光化学效率(F_v/F_m)也呈现依次降低的趋势,且黄色叶与绿色叶和红色叶存在极显著差异,说明随着植物叶片的衰老,光合作用的能量利用效率降低,PSⅡ活性受到了抑制,与 F_0 相一致。反应中心的热耗散(DI_0/RC)依次升高,说明在叶片衰老过程中单位反应中心有

越来越多的能量不用于光反应,而是以其他方式被耗散掉。爬山虎绿色叶片光反应中心用于电子传递的能量(ET_0/RC)高于红色叶而低于黄色叶,说明从绿色叶到红色叶光反应中心用于电子传递的能量减少,从绿色叶到黄色叶光反应中心用于电子传递的能量增加, ET_0/RC 与反应中心的数量有关。单位面积的反应中心数量(RC/CSm)表现为绿色叶最多,红色叶次之,黄色叶最少,表明与绿色叶相比,红色叶的反应中心受伤害程度更深,与红色叶相比,黄色叶的反应中心受伤害程度更深。 $PS II$ 供体侧伤害指数(W_k)的变化表现为黄色叶最大,红色叶次之,绿色叶最小,表明黄色叶的 $PS II$ 供体侧伤害程度最深。

表 2 爬山虎 3 种不同颜色叶片的荧光参数比较

参数	绿叶	红叶	黄叶
F_o	70.80 ± 1.960Aa	96.00 ± 8.408Aa	78.20 ± 14.500Aa
F_m	267.60 ± 25.295Aa	209.40 ± 21.570Aa	97.00 ± 18.596Bb
F_v	196.80 ± 26.422Aa	113.40 ± 22.695Aa	18.80 ± 4.735Bb
F_v/F_m	0.72 ± 0.028Aa	0.501 4 ± 0.102Ab	0.17 ± 0.049Bc
DI_0/RC	0.23 ± 0.032Aa	0.82 ± 0.266Aa	9.77 ± 2.608Bb
ET_0/RC	0.38 ± 0.020Ab	0.34 ± 0.036Ab	1.08 ± 0.304Aa
RC/CSm	270.51 ± 35.807Aa	124.47 ± 1.273Bb	2.47 ± 0.402 3Cc
W_k	0.18 ± 0.003Aa	0.32 ± 0.013Aa	0.77 ± 0.176Bb

3 讨论与结论

由于秋季气温降低,植物光合器和光合酶活性下降^[18],但是此时往往光照充足^[19],使光反应速率与暗反应速率不匹配,结果导致光合器内产生过剩激发能,促进活性氧的产生^[20]。在树木等多年生植物秋季叶片中,活性氧的产生一方面启动衰老^[21-22],开始叶片内含物质的分解和向越冬器官的转移^[23-24];另一方面,活性氧产生过多也会导致叶片衰老过快,引起其过早脱落而来不及将可以转移的内含物质全部转移出去^[5],造成光合同化产物质的浪费。因此,调节树木秋季叶片的活性氧数量是控制叶片内含物质转移的关键过程,而且不同颜色的叶片可能具有不同的机制。

在秋季,导致植物叶片颜色变化的主要原因是叶绿素、类胡萝卜素和花色素含量之间的相对变化。本研究中,爬山虎黄色叶片的叶绿素含量在 3 种颜色叶片中最低,叶绿素与类胡萝卜素的比值约为 1,含量最高的色素是花色素,叶绿素与花色素的比值约为 0.05。叶片中活性氧主要由叶绿素吸收的过剩光能产生^[25-26],而类胡萝卜素和花色素具有清除活性氧的功能^[27-30]。在秋季,黄色叶片的叶绿素含量降低,可见光吸收显著降低,失去荧光动力学曲线的典型特征,活性反应中心数量减少,光化学活性显著降低,表明黄色叶片降低了活性氧的产生能力。相反,类胡萝卜素和花色素含量的相对增加则加强了叶片清除活性氧的能力,从而有利于叶片缓慢有序衰老。本研究结果表明,尽管爬山虎黄色叶片显示为黄色,但清除活性氧的主要色素可能是花色素。

爬山虎红色叶片的叶绿素含量也在非常低的水平上,花色素含量大大超过叶绿素含量,也含有超过黄色叶片的类胡萝卜素,但叶黄素未检出,可见光吸收光谱正常,荧光动力学曲线除 O 点比较清晰外,其他各点很难辨认,基本上失去其典型特征,尽管光化学活性较高和活性反应中心数量较大,但

可能是花色素干扰的结果。表明红色叶片与黄色叶片同样降低了活性氧的产生能力,而且清除活性氧的主要色素是花色素。

爬山虎绿色叶片的叶绿素含量水平较高,类胡萝卜素含量也较高,远大于黄色叶片,花色素含量也高于黄色叶片,可见光吸收光谱与红色叶片相似,荧光动力学曲线 $O-J-I-P$ 各点非常明显,具有其典型特征,光化学活性较高和活性反应中心数量较大。表明绿色叶片还具有较强的产生活性氧的能力,过多活性氧的清除依赖类胡萝卜素和花色素的共同作用。

参考文献:

- [1] 翟荣荣,冯跃,曹立勇,等. 水稻叶片衰老研究进展[J]. 中国稻米,2011,17(1):7-12.
- [2] 孙玉莹,毕京翠,赵志超,等. 作物叶片衰老研究进展[J]. 作物杂志,2013(4):11-19.
- [3] 晋晓彤. 高温、强光及氮营养胁迫对黄瓜幼苗衰老的影响[D]. 天津:天津大学,2009.
- [4] Weng X Y, Xu H X, Yang Y, et al. Water-water cycle involved in dissipation of excess photon energy in phosphorus deficient rice leaves[J]. *Biologia Plantarum*, 2008, 52(2):307-313.
- [5] 张翠利,付丽娜,杨小云,等. 活性氧自由基与细胞衰老关系的研究进展[J]. 广州化工,2015,43(19):5-7.
- [6] Miret J A, Munné-Bosch S. Redox signaling and stress tolerance in plants: a focus on vitamin E[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2015, 1340(1):29-38.
- [7] 蒋艾平,刘军,姜景民. 樟木叶片秋季衰老时叶色、色素和营养元素的关系[J]. 林业科学研究,2016,29(3):362-368.
- [8] 史宝胜,孟建朝,刘冬云,等. 秋季不同色泽五叶地锦叶片生理生化特性的研究[J]. 华北农学报,2009,24(增刊1):172-175.
- [9] Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photo[J]. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, 1999, 50:601-639.
- [10] 赵文恩,韩雅珊,乔旭光. 类胡萝卜素清除活性氧自由基的机理[J]. 化学通报,1999(4):26-28.
- [11] 余晶,鲍中英,徐玉敏,等. 花青素抗氧化损伤及细胞凋亡的作用研究[J]. 中西医结合肝病杂志,2009,19(1):24-26.
- [12] Ma T, Hu N, Ding C X, et al. *In vitro* and *in vivo* biological activities of anthocyanins from *Nitraria tangutorum* Bobr. fruits[J]. *Food Chemistry*, 2016, 194:296-303.
- [13] 张毅功,陆诗雷,孙振元,等. 爬山虎属植物利用研究[J]. 资源科学,2005,27(5):141-145.
- [14] 董爱文,向中,李立君,等. 爬山虎红色色素的定性定量分析[J]. 无锡轻工大学学报(食品与生物技术),2003,22(6):99-102.
- [15] 黄秋婵,许元明,韦友欢,等. 常见桑科榕属植物叶片类胡萝卜素含量的比较分析[J]. 中国园艺文摘,2013(6):1-3.
- [16] 韦友欢,黄秋婵,王慧珏,等. 阴生植物与阳生植物色素含量的比较分析[J]. 湖北农业科学,2010,49(5):1126-1129.
- [17] 桂克印,文亮晶,李炎林,等. 不同离子处理对红檵木叶片色素含量的影响[J]. 湖北农业科学,2009,48(8):1919-1922.
- [18] 江力,刘义新,张荣铤. 烟叶成熟衰老过程中光合电子传递和光合酶活性变化的研究[J]. 华中农业大学学报,2000,19(6):533-536.
- [19] 罗紫东,关华德,章新平,等. 枫香叶片衰老过程中光合能力的变化[J]. 应用生态学报,2016,27(10):3129-3136.

孙雨晴,陈秀丽,曹琳琳,等. 温度对茼蒿生长和生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(22):126-130.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.22.028

温度对茼蒿生长和生理特性的影响

孙雨晴¹, 陈秀丽², 曹琳琳¹, 乔建磊¹, 于占东¹, 叶景学³

(1. 吉林农业大学园艺学院, 吉林长春 130118; 2. 吉林省榆树市农业技术推广服务中心, 吉林长春 130400;

3. 中国医学科学院药用植物研究所, 北京 100193)

摘要:对茼蒿在生长过程的适宜温度进行了研究。结果表明:茼蒿植株生长的适宜温度为 20~25℃。在 15~30℃ 的条件下,茼蒿均能生长,但在 20~25℃ 的条件下,生长速度最快,且植株的株高、茎粗、叶片数、根体积、地上部鲜质量、地下部鲜质量、植株鲜质量等形态指标均极显著高于 15、30℃ 时的水平。大叶茼蒿对于 30℃ 高温忍耐能力大于小叶茼蒿,小叶茼蒿对于 15℃ 的低温忍耐能力大于大叶茼蒿。

关键词:茼蒿;适宜温度;生长

中图分类号: S636.904 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)22-0126-05

茼蒿 (*Chrysanthemum coronarium* L.) 是菊科 (Compositae) 茼蒿属 (*Chrysanthemum*) 一年生或二年生草本植物,茼蒿在我国栽培已有 1 000 多年的历史^[1-2]。近年来,随着设施农业的蓬勃发展,茼蒿在设施内广泛栽培,栽培季节、栽培制度等均产生了巨大的变化,温度是设施栽培的关键性因素,而关于茼蒿温度适应性研究较少,限制了茼蒿设施栽培的发展。本研究探讨了大叶茼蒿和小叶茼蒿生长发育过程中对于温度的适应性,以期茼蒿设施栽培提供理论支持。

收稿日期:2017-07-03

基金项目:吉林省质量技术监督局项目(编号:DBXM023-2015);吉林省科技厅科技引导计划项目(编号:20130411004XH);吉林省长春市科技计划资助项目(编号:2014187)。

作者简介:孙雨晴(1992—),女,内蒙古乌兰浩特人,硕士研究生,研究方向为植物生理生态及设施园艺工程。E-mail:sunyuqing0061@163.com。

通信作者:叶景学,男,副教授,硕士生导师,研究方向为植物栽培生理。E-mail:yejingxue2002@126.com。

[20] 逢好胜,张会慧,田野,等. 不同光强下盐胁迫对桑树幼苗叶片活性氧和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中南林业科技大学学报,2014,34(8):42-47.

[21] Zhang A O, Cui Z H, Yu J L, et al. Dissipation of excess excitation energy of the needle leaves in *Pinus* trees during cold winters[J]. International Journal of Biometeorology, 2016, 60(12): 1953-1960.

[22] 陈瑾歆,陈建业. 自由基与衰老关系的研究进展[J]. 川北医学院学报,2004,19(1):207-209.

[23] Lee D W, O'Keefe J, Holbrook N M, et al. Pigment dynamics and autumn leaf senescence in a New England deciduous forest, eastern USA[J]. Ecological Research, 2003, 18(6): 677-694.

[24] Gan S, Amasino R M. Making sense of senescence: molecular genetic regulation and manipulation of leaf senescence[J]. Plant Physiology, 1997, 113(2): 313-319.

[25] 胡紫菱,崔震海,秦萍,等. 深冬季节油松针叶过剩光能的耗散及光氧化防御研究[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(5):

1 供试材料与方法

1.1 供试材料

本试验选用的是 2 种茼蒿类型,分别为大叶茼蒿(火锅茼蒿)和小叶茼蒿(光秆茼蒿),以长出 4 片真叶的茼蒿幼苗为试验材料。

1.2 试验方法

6 月初,将 2 种茼蒿种子分别播种于苗盘中,置于吉林农业大学蔬菜基地大棚内,待其幼苗长出 2 片真叶时,单株分苗移栽到 8 cm × 8 cm 号苗钵中,继续在大棚中培养,待其长到 4 片真叶时,将 2 种茼蒿幼苗分别放入人工气候箱中培养,设置培养温度为 15、20、25、30℃,每个温度处理设置 3 次重复,每种茼蒿每种处理温度培养 50 株幼苗。

试验开始前,分别选取长势相同的 2 种茼蒿幼苗,每种茼蒿每种处理温度取 5 株,小心将其从苗钵中拔出,避免损坏根部对试验造成影响;将其根部及叶部用水洗干净,置于吸水纸上,以免多余的水分对试验数据产生干扰。

555-559.

[26] Dietz K J, Turkan I, Krieger - Liszkay A. Redox - and reactive oxygen species - dependent signaling into and out of the photosynthesizing chloroplast[J]. Plant Physiology, 2016, 171(3): 1541-1550.

[27] 周丹蓉,方智振,廖汝玉,等. 李果皮花色苷、类黄酮和类胡萝卜素含量及抗氧化性研究[J]. 营养学报,2013,35(6):571-576.

[28] Thurnham D I. Antioxidant vitamins and cancer prevention[J]. J Micronutrient Anal, 1990, 7: 279-299.

[29] Ogawa K, Sakakibara H, Iwata R, et al. Anthocyanin composition and antioxidant activity of the crowberry and other berries[J]. J Agric Food Chem, 2008, 56(12): 4457-4462.

[30] Jhin C, Hwang K T. Prediction of radical scavenging activities of anthocyanins applying adaptive neurofuzzy inference system (ANFIS) with quantum chemical descriptors[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(8): 14715-14727.