

张鑫,肖婷婷,李 艰,等. 水分胁迫对美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(3):224-227.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.03.062

水分胁迫对美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响

张鑫,肖婷婷,李 艰,王玉涛,刘广林

(沈阳农业大学林学院,辽宁沈阳 110866)

摘要:为研究不同水分胁迫处理对优良景观观赏树种美国红枫幼苗生长及叶色变化的影响,采用 1 年生改良美国红枫 *Acer ×freem anii* ‘Autumn Blaze’ 扦插苗为试验材料,采用盆栽试验的方法,设 4 个水分梯度处理,土壤水分含量分别为土壤田间持水量的 35% (重度干旱组)、50% (中度干旱组)、65% (轻度干旱组) 和 80% (对照组)。研究结果表明:本试验中,在幼苗生长方面,土壤水分含量为土壤田间持水量的 80% 时,最有利于美国红枫幼苗生长,株高、地径分别达到 63.43、0.91 cm。其次是土壤水分含量为土壤田间持水量的 65% 时,株高、地径分别为 62.18、0.89 cm。在幼苗叶色变化方面,土壤水分含量为土壤田间持水量的 50% 时,最有利于叶片中花青素的积累。而土壤水分含量为土壤田间持水量的 80% 时,叶片最早变红且鲜艳,但变化较为缓慢。因此,土壤水分含量在本研究的范围内时,土壤田间持水量 80% 的水分含量最有利于美国红枫幼苗的生长及变色。

关键词:美国红枫;水分胁迫;幼苗生长;叶色变化

中图分类号: S687.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)03-0224-04

美国红枫 (*Acer rubrum*) 属槭树科槭树属多年生落叶乔木,又名红花槭、北美红枫等,原产于美国北部以及加拿大大部分地区。树高可达 30 m,叶掌状 3~5 裂,耐寒、耐旱、耐湿且抗污染,适应性强,生长迅速。入秋叶红色,为欧美典型的秋色叶树种,又因树冠整洁,被广泛用于园林造景以及行道树栽种。目前我国华北、东北、西北及华东等地都有栽培。

随着水资源危机和干旱化危害的不断加剧,植物如何适应干旱已成为全球研究的重要问题之一^[1]。园林绿化的节水灌溉已成为城市节水的重要途径之一。现在好多关于水分的研究都是针对于农作物的产量,而研究彩叶树种的水分生理特别是干旱胁迫下的生长及叶色变化,对于园林建设的节水灌溉及提高园林植物的观赏特性具有重要意义。侯舒婷^[2]在研究黄金香柳对水分胁迫的响应时发现,随着干旱程度的加剧,黄金香柳各指标的生长均受到显著抑制;杨跃文^[3]的研究表明,干旱胁迫使北沙柳的生长受到抑制,株高与基径的生长减缓,总生物量的积累受到抑制。Sherwin 等^[4]在研究花青苷对复苏植物的光保护作用时,发现干旱胁迫能够增加复苏植物和黄栌叶片中花青苷含量;孔艳菊^[5]的研究表明,黄栌叶片中的叶绿素含量随干旱胁迫程度的加剧呈上升趋势。曹晶^[6]的研究表明,夏、秋干旱和水淹胁迫均使红叶石楠叶片中叶绿素含量降低,花青苷含量升高。彩叶树木叶片呈色是各种色素综合作用的结果,以上研究表明水分胁迫下能够引起彩叶树木叶片中的色素含量发生变化,从而引

起叶片呈色的变化。而目前还没有有关水分胁迫对美国红枫幼苗的生长及叶色变化影响的研究。本试验通过不同的水分处理,研究其对植株幼苗生长及叶色变化的影响,掌握其生长期水分的需求及变色期水分对它的影响,从而为苗圃红枫的栽培与管理提供理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

本试验选用株高、地径相近的 1 年生美国红枫改良品种扦插苗 120 株作为试验苗,每盆 1 棵幼苗,盆的规格为高 250 mm、直径 330 mm 并带有底部托盘,每盆盛土量为 7 kg。试验用土为农田表土,自然晒干过 2 mm 筛,与蚯蚓粪以 36:1 配比。试验前肥水管理一致,试验进行时不再施肥。试验在沈阳农业大学后山进行,于 2014 年 5 月 10 日移入普通塑料大棚。进行适应性生长,8 月初进行水分胁迫处理。

1.2 试验设计

采用环刀法^[7]测定所用土壤的土壤田间持水量(结果为 26.17%),然后将 120 盆幼苗进行随机分配,分成 4 组进行不同的水分梯度处理,每个处理 3 次重复。

处理 A:重度干旱组,土壤水分含量为土壤田间持水量的 35%,共 30 盆。

处理 B:中度干旱组,土壤水分含量为土壤田间持水量的 50%,共 30 盆。

处理 C:轻度干旱组,土壤水分含量为土壤田间持水量的 65%,共 30 盆。

处理 D:对照组,土壤水分含量为土壤田间持水量的 80%,共 30 盆。

土壤的干旱程度是通过连续的自然耗水以及人为的浇水方式得到的。试验过程严格控制各处理土壤水分含量,当土壤水分达到设计标准时用透明塑料袋将盆套起来,以防止水分蒸发。采取称质量法每隔 5 d,每日早晨 07:00 用感量

收稿日期:2015-12-21

基金项目:辽宁省农业科技攻关项目(编号:2011207003、2014207005)。

作者简介:张鑫(1990—),女,辽宁沈阳人,硕士研究生,主要从事园林植物方向的研究。E-mail:zx_9012@sina.com。

通信作者:刘广林,教授,主要从事观赏植物栽培与应用方面研究。E-mail:lg13263@126.com。

0.5 g 的电子称称质量测定 1 次土壤含水量,计算出需浇水量,低于处理供水下限时用大量筒准确均匀加入相应水量,补水到设定水分范围,维持水分胁迫梯度。每个盆栽间保持一定距离,防止相互影响。用移动透明塑料棚防止自然降水淋入盆栽容器中。

1.3 测定指标及方法

植株生长状况:缓苗期后,每 15 d 对植株的株高和地径进行测量,进入快速生长期后,每 7 d 测 1 次,当 3 次测量数值不再变化时停止测量。苗高的测定是用钢尺量取盆中土壤表面到最高叶片叶面的距离(精确到 0.1 cm);地径则是用游标卡尺选取植株距离土壤表面 1 cm 处进行测量(精确到 0.2 mm)。

当植株进入冬眠期停止生长时,将植株带回实验室进行鲜、干质量的测定。将取回的植株样本清洗干净,将水分彻底擦干,将根、茎分开,使用分析天平分别称取鲜质量。把称过鲜质量的植物材料装入袋中,使用 DHG-9240 型干燥箱 105 ℃ 杀青 20 min,然后在 70 ℃ 状态下烘 4~6 h 至恒质量,取出材料,在干燥器中冷却到室温,称干质量。

叶片采集:秋季叶片变色期时,从有变色叶片开始,每隔 5~7 d 摘取叶片 1 次,直至叶片凋落,共摘 5 次。每次均在植株上、中、下 3 个部位各摘取 1 张健康的叶片,相同处理的样本放在透气性好的取样袋中,带回实验室,进行色素含量的测定。

叶片色素含量测定:参照张宪政的方法^[8],稍加改进。
花青素含量测定:参照何奕昆等的方法^[9],稍加改进。

1.4 数据分析

应用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据处理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分胁迫条件下美国红枫苗木生长状况

生物量是植物获取能量的主要体现,水分胁迫将影响生物量在不同器官之间的分配^[10]。从表 1 可以看出,土壤不同的水分含量对植物的生长产生了一定的影响。在 4 种水分处理的条件下,A、B、C、D 组的株高与地径的大小随着土壤水分含量的增加而增大,其中 D 组的植株长势最好,株高达到 63.43 cm,地径为 0.91 cm,平均叶片数为 31 张,且除了茎鲜质量、干质量以及根茎比 3 方面外,D 组与 A 组的各项指标都有非常显著的差异,总干质量比 A 组增加 38.04%。B、C 这 2 组只有在株高方面表现出了非常显著的差异,地径与根干质量方面表现出了显著差异,而其他方面无显著差异。在根茎比方面,C、D 这 2 组虽然差异不显著,但是可以看出,C 组的平均根茎比要比 D 组稍大。由表 2 可以看出,土壤水分含量与各项生长指标都有相关关系,且为正相关。在株高、叶片数、根鲜质量、干质量以及总干质量方面表现与水分因子之间极显著相关,表明在植株在这些方面受到土壤水分含量的影响大。

表 1 不同土壤水分含量对美国红枫幼苗生长的影响

水分胁迫梯度	株高 (cm)	地径 (cm)	叶片数 (张)	根鲜质量 (g)	根干质量 (g)	茎鲜质量 (g)	茎干质量 (g)	根茎比	总干质量 (g)
A 组	56.08±2.68a	0.87±0.06a	28.58±2.82a	22.62±1.97a	14.32±1.12a	11.29±2.78a	6.43±1.41a	2.07±0.41a	33.91±4.68a
B 组	59.60±3.02b	0.88±0.06ab	29.38±2.46a	24.42±0.44a	14.69±0.23ab	11.60±0.94a	7.09±0.23a	2.12±0.18a	36.02±0.88ab
C 组	62.18±3.04c	0.89±0.04ab	29.67±1.76a	29.79±4.72b	16.97±1.90bc	12.83±0.73a	7.09±0.3a	2.32±0.31a	42.62±5.18ab
D 组	63.43±3.19c	0.91±0.10b	31±3.30b	32.30±1.89b	17.09±0.99c	14.52±2.14a	7.97±1.32a	2.25±0.33a	46.81±3.09b

注:表中 a、b、c 字母为 Duncan's 多重比较结果,每栏中处理间相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 2 土壤水分含量与各生长指标相关性分析

生长指标	与土壤水分含量的相关系数
株高	0.685**
地径	0.229*
叶片数	0.331**
根鲜质量	0.853**
根干质量	0.736**
茎鲜质量	0.618*
茎干质量	0.532
根茎比	0.306
总干质量	0.764**

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

2.2 水分胁迫对美国红枫幼苗叶片色素含量的影响

2.2.1 叶绿素含量的变化 (1)总叶绿素含量的变化。植物叶片呈色是相当复杂的,它与叶片细胞内色素的种类、含量以及在叶片中的分布有关^[11]。而光合色素中的主要成分叶绿素参与光合作用光能的吸收、传递和转换等过程。在本试验中,红枫幼苗变色期内,不同水分状态下,苗木叶片叶绿素

含量变化趋势基本一致(图 1)。由图 1 可以看出,在 10 月 21 日之前,叶绿素的含量变化整体呈下降趋势,A 组相对于其他组叶绿素下降趋势较为平缓,在初期,也就是 9 月 28 日至 10 月 6 日之间,各组叶片中叶绿素含量迅速下降且 D 组下降速率最大,可能是由于 10 月 1、2 日连雨,气温骤降到 0 ℃,导致叶片 pH 值下降,导致叶绿素脱镁而不稳定^[12]。到 10 月 21 日,A、B、C、D 4 组叶片中叶绿素含量均达到最小值,为 0.024 8 mg/g。随后,10 月 21—26 日,除了土壤水分含量相对较少的 A 组外,其他组叶片中叶绿素含量又有了小幅度升高,而且 B、C、D 组的土壤水分比 A 组高。

(2)叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值变化。由图 2 可以看出,B、C、D 组叶片中叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值变化趋势相同,A 组则不同于其他 3 组。9 月 28 日至 10 月 11 日,4 个组中叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值缓慢减小,10 月 11—21 日,B、C、D 这 3 组中的比值减小速率加大,而此时 A 组的减小速率相对较缓慢。到在 10 月 21 日,B、C、D 这 3 组叶片中叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值达到最小,范围在 0.557~0.946。A 组在 10 月 21 日后表现出来差异,呈现继续下降趋势。并且从数据可以看出,此时 B、C、D 组叶绿素 a 的含量明显升高。

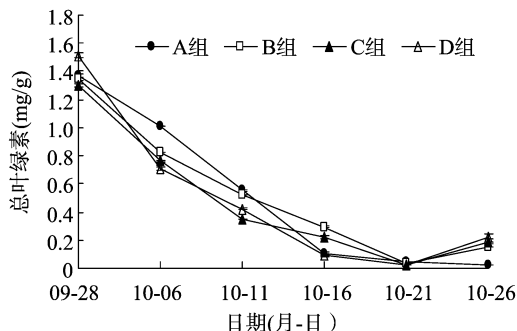


图1 不同水分处理美国红枫叶片变色期内总叶绿素含量变化趋势

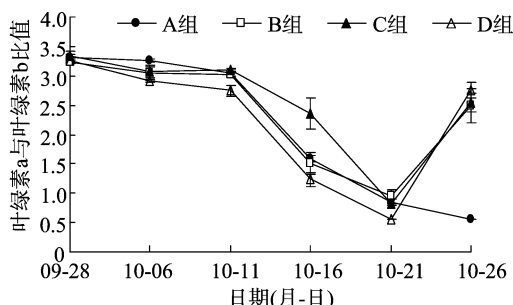


图2 不同水分处理美国红枫叶片变色期内叶绿素a与叶绿素b比值变化趋势

2.2.2 花青素相对含量的变化 花青素是一种水溶性色素，可以随着细胞液的酸碱改变颜色，它在各色素中所占比重的大小是影响叶色变化的重要原因^[13]。不同水分处理下叶片花青素含量的变化表现出一定的差异性。由图3可以看出，在10月份以前至10月11日期间，4组表现出相同的变化趋势，叶片中花青素含量都平稳上升。而在10月中旬，各组的花青素含量也有所上升，但是速度十分缓慢。在变色期的后期，也就是10月下旬，A、B、C、D组表现出了不同的变化趋势，A、B这2组叶片中花青素含量继续上升，最终B组的花青素含量高于A组。而C、D这2组叶片中花青素含量呈现降低的趋势。最终叶片中花青素含量由高到低分别为B、A、C、D，且B组与D组的差值达到41.84 mg/g。

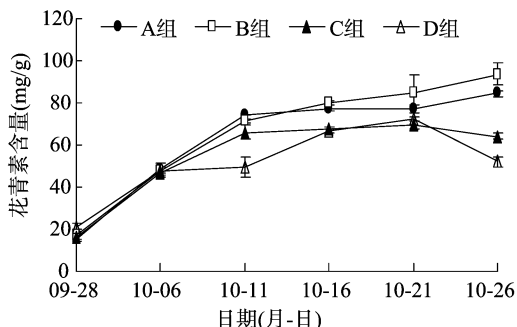


图3 不同水分处理美国红枫叶片变色期内花青素含量变化趋势

2.2.3 花青素含量与总叶绿素含量的比值变化 和叶绿素a和叶绿素b比值的情况相同，在花青素与叶绿素的比值中，A组同样表现出了与其他3组不同的变化趋势。由图4可以看出，9月28日至10月21日期间，A、B、C、D组的花青素与叶绿素的比值都呈现上升的趋势，开始上升的速率非常缓慢。直到10月16日时，上升速率明显增大。在此期间，B、C、D

组的上升速率表现出一致性，且在10月21日时，B、C、D组的比值都达到了最大。而A组在此时表现出了与其他组不同的情况，A组花青素与叶绿素比值上升的速率相对于其他3组较为缓慢。在此之后，A组与其他组的差异更加明显，它呈现出继续上升的趋势，而B、C、D组的花青素与叶绿素的比值都表现出了下降趋势。

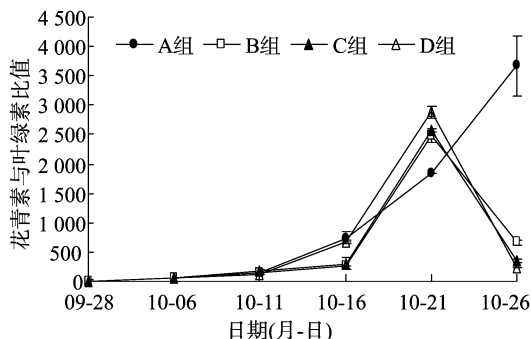


图4 不同水分处理美国红枫叶片变色期内花青素与叶绿素比值变化趋势

3 结论与讨论

水分条件是植物生长过程中的重要因素，植物受到水分胁迫时，在外部形态方面发生一系列的变化以适应水分胁迫。有研究表明^[14]，宏观上表现为叶片面积缩小，植株矮化，叶厚度增加，叶生物量减少，微观上体现为细胞增大，细胞增殖加快。本试验中，土壤水分含量越多的处理，植株的长势越好。喻晓丽等在对火炬树幼苗的研究中也发现，水分胁迫显著降低了火炬树幼苗的株高生长和直径生长^[15]。但是轻度干旱组C组、中度干旱组B组以及重度干旱组A组的植株长势并没有非常明显的差别，可能是因为水分胁迫的梯度差距不够大的原因。轻度干旱组C组的根茎比略大于对照组D组，可能是由于适当的干旱胁迫会促进根的生长。有研究表明，随着干旱胁迫的加剧，生物量更多的流向根中，来适应干旱的生存环境^[16]。Zang等在研究水分胁迫对山毛榉树苗的影响时也发现，适当的干旱胁迫会促进细根的产生^[17]。

彩叶植物叶色的表达是内在因素与外在因素共同作用的结果，而水分是植物生长发育的重要因素之一，土壤含水量的变化会影响植物叶片的内在结构和物质含量，从而影响叶片的色素合成及叶色表达^[18]。本研究中，美国红枫幼苗叶色变化期间内，除了返青时期，叶绿素不断下降，而花青素含量逐渐增高，这与孙明霞等的研究结果^[19]一致，叶片变色是由于叶片大量合成花青素的结果。同时Saure认为，在秋季随着叶绿素的降解，花青素开始合成^[20]。试验中，总叶绿素含量在后期出现了增大的现象，这可能是因为此时的气温相对于月初有所升高，使叶片产生了返青现象^[21]。而且此时B、C、D组的叶绿素含量由大到小分别为D（对照组）、C（轻度干旱组）、B（中度干旱组），可能由于土壤的湿度加高温会使植物的高温返青现象更加明显，所以表现出后期叶绿素含量不同的变化趋势，且土壤水分含量越多，返青现象越明显。同时也有可能是因为长期的重度干旱使植物的调节能力降低了，而没有出现返青现象。在叶绿素a与叶绿素b比值的变化中，土壤水分含量最多的D组，在返青现象前比值一直比其他组

低,虽然中度干旱组 B 组与轻度干旱组 C 组表现差异不明显,但是同样可以认为这与许丽颖等研究的结果^[22]一致,叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值会随着水分胁迫的加重而上升。而重度干旱组 A 组叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值一直下降,可能是由于此组没有出现返青现象造成的。在返青期间,从数据看出 B、C、D 组的叶绿素 a 含量明显增加,这表明植物出现返青现象时,体内色素的变化主要表现为叶绿素 a 含量的增加。但是从叶绿素 a 和叶绿素 b 的数据中,并没有看出贾利强等研究的结果,即水分胁迫会部分特异性地破坏叶绿素 a,致使叶绿素 a 与叶绿素 b 比值降低^[23]。

试验中,随着叶绿素含量的降低,植物体内花青素含量上升,与周肖红等的研究结果^[24]一致,黄栌叶色变红时,叶绿素下降,花青素含量上升。变色初期花青素含量上升速率较快,可能是由于 10 月初温度的骤降引起的,有研究表明,低温能诱导花青素苷的积累,高温则会加速花青素苷的降解^[25]。最终,土壤水分含量相对较多的轻度干旱组 C 组与对照组 D 组叶片中花青素含量较少,可能是由于出现了返青现象,导致叶片中叶绿素含量升高的缘故。而中度干旱组 B 组叶片中花青素含量最多,证明适度的干旱胁迫可以增加叶片中花青素的含量。王泽瑞认为,干燥的土壤环境使植物体内出现相对干旱,细胞内轻度缺水^[26]。为了从环境中吸收水分,细胞需降低水势,液泡中淀粉等不溶性大分子糖降解为可溶性的低分子糖,可导致细胞水势降低,而可溶性糖含量的增加有利于花青素的形成。有研究表明,叶片的呈色是由花青素与叶绿素比值的大小决定的,比值越大,叶片颜色越红^[27]。本试验中,在返青现象出现之前,虽然各组花青素与叶绿素比值的差别不大,但还是可以看出,对照组 D 组的比值要大于其他组。而且观察结果也显示 D 组叶片最早变红,且颜色比其他组鲜艳,但是变化较为缓慢。

综上所述,本试验中,土壤水分含量为土壤田间持水量的 80% 时,最有利于美国红枫幼苗生长。但是更多的水分含量是否会更有利于其幼苗的生长还有待进一步研究。并且适当的干旱胁迫会促进根的生长。土壤水分含量为土壤田间持水量的 50% 时,最有利于叶片中花青素的积累,虽然适当的干旱胁迫会促进花青素的合成,但是叶片呈色是多种色素综合作用的结果。而土壤水分含量为土壤田间持水量的 80% 时,叶片最早变红且鲜艳,但变化较为缓慢。因此,土壤水分含量在本研究的范围内时,土壤田间持水量 80% 的水分含量最有利于美国红枫幼苗的生长及变色。

参考文献:

- [1] 罗永忠,成自勇. 水分胁迫对紫花苜蓿叶水势、蒸腾速率和气孔导度的影响[J]. 草地学报,2011,19(2):215-221.
- [2] 侯舒婷,张倩,刘思岑,等. 黄金香柳对水分胁迫的生长与生理响应[J]. 西北植物学报,2014,34(12):2491-2499.
- [3] 杨跃文,季蒙,包哈森高娃,等. 干旱胁迫对不同种源北沙柳幼苗生长特性的影响[J]. 林业科技,2013,38(6):6-9.
- [4] Sherwin H W, Farrant J M. Protection mechanisms against excess light in resurrection lants *Crutera stigna wilmsii* and *Xeroph taviscose* [J]. Plant Growth Reg,1998,24:203-210.
- [5] 孔艳菊,孙明高,胡学俭,等. 干旱胁迫对黄栌幼苗几个生理指标的影响[J]. 中南林学院学报:自然科学版,2006,26(4):42-46.
- [6] 曹晶,姜卫兵,翁忙玲,等. 夏秋季旱涝胁迫对红叶石楠光合特性的影响[J]. 园艺学报,2007,34(1):163-172.
- [7] 袁娜娜. 室内环刀法测定土壤田间持水量[J]. 中国新技术新产品,2014(9):184-184.
- [8] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992:148-149.
- [9] 何奕昆,代庆阳,苏学辉. 雁来红叶色转变与超微结构及色素含量的关系[J]. 四川师范学院学报:自然科学版,1995,16(3):195-198.
- [10] 胡继超,姜东,曹卫星,等. 短期干旱对水稻叶水势、光合作用及干物质分配的影响[J]. 应用生态学报,2004,15(1):63-67.
- [11] 胡永红,秦俊,蒋昌华,等. 上海地区秋色叶成因的调查与分析[J]. 东北林业大学学报,2004,32(5):84-86.
- [12] 胡敬志,田旗,鲁心安. 枫香叶片色素含量变化及其与叶色变化的关系[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(10):219-223.
- [13] 张平. 几种常见彩叶植物的色素组成与叶色关系的研究[J]. 山东林业科技,2008,1(3):14-16.
- [14] 尉秋实,赵明,李昌龙,等. 不同土壤水分胁迫下沙漠蒿的生长及生物量的分配特征[J]. 生态学杂志,2006,25(1):7-12.
- [15] 喻晓丽,邸雪颖,宋丽萍. 水分胁迫对火炬树幼苗生长和生理特性的影响[J]. 林业科学,2007,43(11):57-61.
- [16] 刘长利,王文,崔俊茹,等. 干旱胁迫对甘草光合特性与生物量分配的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(1):142-145.
- [17] Zang U, Goisser M, Haerberle K H, et al. Effects of drought stress on photosynthesis, rhizosphere respiration, and fine-root characteristics of beech saplings: a rhizotron field study [J]. Journal of Plant Nutrition and soil Science,2014,177(2):168-177.
- [18] 李云飞,李彦慧,王中华,等. 土壤干旱胁迫对紫叶矮樱叶片呈色的影响[J]. 生态学报,2009,29(7):3678-3684.
- [19] 孙明霞,王宝增,范海,等. 叶片中的花色素苷及其对植物适应环境的意义[J]. 植物生理学通讯,2003,39(6):688-694.
- [20] Saure M C. External control of anthocyanin formation in apple [J]. Scientia Horticulturæ,1990,42(3):181-218.
- [21] Graham T L. Flavonoid and flavonol glycoside metabolism in *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology and Biochemistry,1998,36(1/2):135-144.
- [22] 许颖颖,赫玉苹,王刚,等. 水分胁迫对紫叶李叶片色素含量与 PAL 活性的影响[J]. 吉林农业大学学报,2007,29(2):168-172.
- [23] 贾利强,李吉跃,郎南军,等. 水分胁迫对黄连木、清香木幼苗的影响[J]. 北京林业大学学报,2003,25(3):55-59.
- [24] 周肖红,葛雨萱,王亮生,等. 黄栌叶片变色期生理变化及植物生长调节剂对叶色的影响[J]. 林业科学,2009,45(7):59-62.
- [25] 胡可,韩科厅,戴思兰. 环境因子调控植物花青素苷合成及呈色的机理[J]. 植物学报,2010,45(3):307-317.
- [26] 王泽瑞. 几种红色色彩叶树种光合特性及呈色机理的研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2011:1-39.
- [27] 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2):172-175.