

煤矿复垦区林龄与叶位对沙棘果叶含水量的影响

艾 宁^{1,2,3}, 强大宏², 刘广全^{1*}, 土小宁⁴, 刘长海^{2,3}

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 延安大学 生命科学学院, 陕西 延安 716000;
3. 陕西省红枣重点实验室/延安大学, 陕西 延安 716000; 4. 水利部 水土保持植物开发管理中心, 北京 100038)

摘 要:沙棘是我国北方矿区植被恢复重建采用的主要树种之一。沙棘果实含水量是果实利用价值的重要指标之一,叶片含水量又影响沙棘的光合生长。因此,对沙棘果叶含水量影响因素进行研究具有一定意义。通过煤矿复垦区沙棘不同林龄与叶位对果叶含水量的影响进行分析,结果表明:1)不同林龄沙棘果叶含水量存在显著差异。中国沙棘叶片含水量随着林龄的增加,呈现先增大后减少的趋势;5 a 林龄为其变化拐点;果实含水量变化趋势与叶片含水量相反,呈显著负相关。大果沙棘叶片含水量随着林龄的增加,出现先增大后减少的趋势,但降低趋势不明显;林龄为 6 a 的大果沙棘叶片含水量最高;大果沙棘果实含水量随着林龄的增大,出现先增大后显著降低的趋势;5 a 林龄大果沙棘果实含水量最大。2)低林龄和高林龄的中国沙棘叶片含水量<大果沙棘,中林龄中国沙棘叶片含水量>大果沙棘;大果沙棘的果实含水量均>中国沙棘。3)不同叶位沙棘叶片含水量存在显著差异。方位对中国沙棘叶片含水量影响较大,且阳面叶片含水量较阴面高;叶片分布部位对大果沙棘叶片含水量影响较大,且上部叶片含水量显著>中下部。同一方位,中国沙棘在上部东南方向叶片含水量显著<大果沙棘,而在下部东南方向则显著>大果沙棘;阴面的中国沙棘叶片含水量<大果沙棘,阳面反之。

关键词:煤矿复垦区;沙棘;果叶含水量;林龄;叶位

中图分类号:S793.6

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2020)01-0068-05

Effects of Forest Age and Leaf Position on the Water Content of the Fruit and Leaf of *Hippophae rhamnoides* in Coal Mine Reclamation Area

AI Ning^{1,2,3}, QIANG Da-hong², LIU Guang-quan^{1*}, TU Xiao-ning⁴, LIU Chang-hai^{2,3}

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. College of Life Science, Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi, China;

3. Shaanxi Key Laboratory of Chinese Jujube/Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi, China;

4. Plant Development and Management Center for Soil and Water Conservation of MWR, Beijing 100038, China)

Abstract: *Hippophae rhamnoides* is one of the main plant species used for vegetation restoration and reconstruction in the mining area in northern China. Fruit water content is one of the important indicators of fruit utilization value, while leaf water affects the plant photosynthetic growth. Therefore, it is meaningful to study the factors affecting the water in the fruit and leaf of *H. rhamnoides*. The effects of leaf position and plant age on the water content of the fruit and leaf of *H. rhamnoides* occurring in coal mine reclamation area were examined in this paper. Two species of *H. rhamnoides* were selected in the study, i. e. Chinese sea-buckthorn (CSB) and big-fruit sea-buckthorn (BFS). The results were as follows. 1) For CSB, signifi-

收稿日期:2019-02-22 修回日期:2019-07-23

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2016YFC0501602, 2016YFC0501705); 深圳市铁汉生态环境股份有限公司项目(THRD016); 延安大学产学研合作培育项目(YDCXY2018-03)。

作者简介:艾 宁,男,博士后,研究方向:水土保持与林业生态工程。E-mail:aining_office@126.com

*通信作者:刘广全,男,研究员,博士,研究方向:流域水土资源和生态系统管理技术。E-mail:gqliu@iwhr.com

cant differences were observed in the fruit and leaf water contents among the stands with different ages; the leaf water content increased first and then decreased with the inflection point of five-year; The trend of the fruit water content was opposite to the leaf water content, For BFS, the leaf water content also increased at first and then decreased with little amplitude; The highest leaf water content was found in the stand with the age of six years, but the decreasing trend was not obvious; the fruit water content increased at first and then decreased significantly; the fruit water content was the highest in 5-year stand. 2) The leaf water content of CSB was lower than that of BFS in young and old stands; for middle-age stand, the leaf water content of BFS was higher than that of CSB. The fruit water content of BFS was higher than CSB. 3) The leaf water content was significantly different among the leaves with different leaf positions. The leaf position had significant impacts on the leaf water content of CSB, and the leaf water content in the sunny side leaves was higher than that in the shady side. The leaf distribution also had a great influence on the leaf water content of BFS, and the water content of the top leaves was significantly higher than those of the middle and lower parts. In the same orientation, the leaf water content of CSB in the upper part in southeast was significantly lower than that of the MFS, and in the lower part, it was opposite. The leaf water content of the CSB in the shady side leaves was lower than that of BFS, and it was opposite in the sunny side.

Key words: coal mine reclamation area; *Hippophae rhamnoides*; fruit and leaf water content; forest age; leaf position

土地复垦是矿区废弃土地恢复与利用的主要方法,植被恢复重建又是矿区土地复垦后进行生态修复采取的主要措施^[1-4]。沙棘(*Hippophae rhamnoides*)具有适应性强、生长迅速、耐旱、抗风沙、抗寒和固氮能力等特点,被广泛地应用于我国干旱、半干旱地区矿区植被恢复重建中,且沙棘作为一种经济树种,利用其进行生态修复的同时还能带来一定的经济效益,特别是近年来沙棘产业的发展,沙棘不仅成为植被恢复的先锋树种,更是带动当地林业经济发展的重要树种之一^[5-9]。现阶段,主要对沙棘果、叶等营养器官进行开发利用,研究表明沙棘果叶中富含维生素、黄酮类化合物等物质,具有较高的营养价值^[10-11]。沙棘果实含水量是评价沙棘果实质量的重要指标,叶片含水量制约沙棘的光合作用,从而影响其生理生长,而林龄和叶位又对植物的果叶含水量具有一定的影响^[12-16]。目前关于沙棘相关的研究内容较多,但对其果、叶含水量的研究还较少见,特别是林龄与叶位对果、叶含水量影响方面的研究几乎没有,然而沙棘果叶含水量是影响沙棘果品和生长的重要因素,对沙棘果实品质提高和沙棘良好生长具有重要作用。因此,通过对煤矿复垦区不同林龄与叶位对沙棘林果叶含水量的影响进行研究,旨在为今后该区域进行煤矿废弃地生态修复和沙棘经济林营造时提供数据支撑和科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区鄂尔多斯东胜区东部

地区的聚鑫龙煤矿(110°4'2"E,39°54'16"N),海拔约 1 360 m,地势平坦,水蚀风蚀较严重;属于温带大陆性气候,无霜期约 135 d;降雨年际变化较大,年均降雨量约 400 mm,且主要集中在 7—9 月。研究区于 2011 年开始,依托高原圣果沙棘制品有限公司进行采煤废弃地矿区生态修复,主要树种为中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis*)、大果沙棘和怪柳(*Tamarix chinensis*)等,人工种草以芨芨草(*Achnatherum splendens*)为主。

1.2 样地设置

试验数据选取 2011—2015 年复垦区栽植,林龄为 3~7 a 的中国沙棘与大果沙棘林地的果、叶为对象,设置 20 m×20 m 的标准样地,通过样地每木检尺,确定标准木,采集标准木(选 3 株)的果、叶进行数据分析,样地信息见表 1。

1.3 数据来源

果实含水量测定:在各林龄标准木的不同方位和部位采集沙棘果实 200 g,混合,带回实验室进行烘干,测定其果实含水量。计算公式为:

$$\text{果实含水量} = \frac{x_i - x_j}{x_j} \times 100\% \quad (1)$$

式中, x_i 表示果实湿重, x_j 表示果实干重。

叶片含水量测定:在各林龄标准木的不同方位采集沙棘叶片 100 g 和不同部位分别采集沙棘叶片 100 g,带回实验室进行烘干,测定其叶片含水量。计算公式:

$$\text{叶片含水量} = \frac{x_i - x_j}{x_j} \times 100\% \quad (2)$$

式中, x_i 表示叶片湿重, x_j 表示叶片干重。

表 1 采样地基本信息

Table 1 Basic information of sampling areas

品种	样地编号	海拔/m	经纬度	林龄/a	株行距	平均胸径/cm	平均高度/cm
中国沙棘	S-7	1 360	110°4'2"E,39°54'16"N	7	2 m×2 m	3.0	157
	S-6	1 360	110°40'03"E,39°54'10"N	6	2 m×2 m	3.5	166
	S-5	1 370	110°3'53"E,39°53'53"N	5	2 m×2 m	3.7	183
	S-4	1 370	110°3'37"E,39°54'21"N	4	2 m×2 m	3.2	172
	S-3	1 340	110°4'45"E,39°54'27"N	3	2 m×2 m	3.2	138
大果沙棘	M-7	1 350	110°3'48"E,39°54'23"N	7	2 m×3 m	4.2	168
	M-6	1 320	110°3'48"E,39°54'23"N	6	2 m×3 m	5.2	190
	M-5	1 370	110°4'32"E,39°54'33"N	5	2 m×3 m	3.8	167
	M-4	1 390	110°3'23"E,39°54'21"N	4	2 m×3 m	4.1	163
	M-3	1 390	110°3'19"E,39°54'20"N	3	2 m×3 m	3.0	126

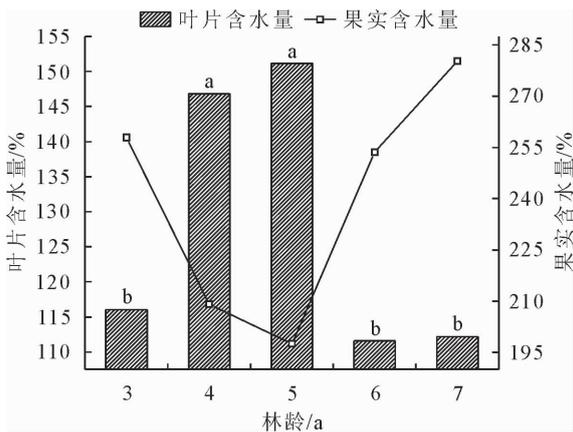
1.4 数据分析

采用单因素方差分析进行数据分析;所有统计分析和做图均在 SPSS18.0、Origin15 和 Excel2003 等软件中完成。

2 结果与分析

2.1 林龄对沙棘果叶含水量影响分析

2.1.1 林龄对中国沙棘果叶含水量影响 由图 1 可知,研究区不同林龄中国沙棘果叶含水量存在显著差异。中国沙棘叶片含水量随着林龄的增加,呈现先增大后减少的趋势,变化趋势明显;其中林龄为 5 a 的叶片含水量最高,且与除 4 a 林龄外的其他林龄叶片含水量呈显著差异。中国沙棘果实含水量随着林龄的增加,则表现出与叶片含水量相反的趋势,即先减少后增大,且林龄为 5 a 的中国沙棘果实含水量最小,与 7、6、3 a 林龄的中国沙棘林呈显著差异;相关分析表明中国沙棘叶片含水量与果实含水量呈显著负相关。



注:小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同林龄中国沙棘果叶含水量方差分析

Fig. 1 ANOVA of leaf water content of Chinese seabuckthorn with different ages

2.1.2 林龄对大果沙棘果叶含水量影响 由图 2

可知,研究区不同林龄大果沙棘果叶含水量存在显著差异。大果沙棘叶片含水量随着林龄的增加,出现先增大后减少的趋势,但是减少趋势并不明显;其中,林龄为 3 a 的大果沙棘叶片含水量最低,且与其他林龄叶片含水量呈显著差异;4~7 a 的大果沙棘叶片含水量存在差异,但差异不显著。大果沙棘果实含水量随着林龄的增大,出现先增大后降低的趋势,变化趋势明显;5 a 林龄大果沙棘果实含水量最大,与 6、7 a 果实含水量呈显著差异;同时,随着林龄增大,大果沙棘果实含水量显著降低。

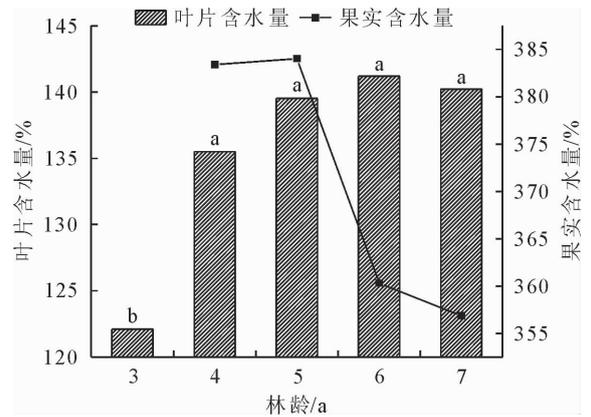


图 2 不同林龄大果沙棘果叶含水量方差分析

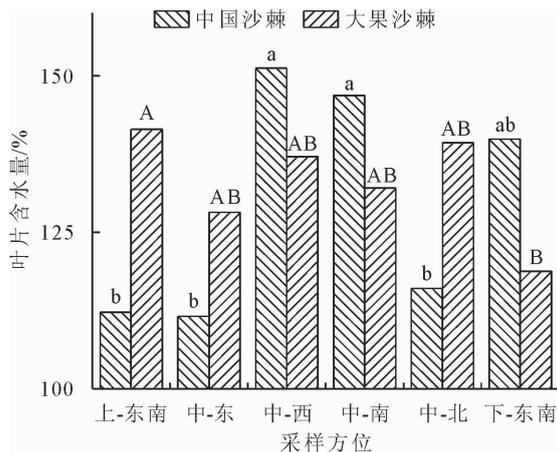
Fig. 2 ANOVA of leaf water content of big-fruit seabuckthorn with different ages

结合图 1 和图 2 可知,低林龄(3 a)和高龄(6 a 和 7 a)的中国沙棘叶片含水量低于大果沙棘,中林龄(4 a 和 5 a)中国沙棘叶片含水量高于大果沙棘。但是,大果沙棘的果实含水量则均高于中国沙棘。因此,为了研究区沙棘更好的生长,建议在 5~6 a 进行平茬。

2.2 叶位对沙棘叶片含水量影响分析

由图 3 可知,不同叶位沙棘叶片含水量存在显著差异。中国沙棘中部西面叶片含水量最高,且与上部东南、中部东、中部北 3 个方向的叶片含水量存

在显著差异;分析发现中国沙棘阳面叶片含水量较阴面高。大果沙棘上部东南方向叶片含水量最高,且与下部东南存在显著差异,与其他方位叶片含水量不存在显著差异。同一方位中,中国沙棘在上部东南方向叶片含水量显著低于大果沙棘,而在下部东南方向叶片含水量显著高于大果沙棘;在阴面的中国沙棘叶片含水量低于大果沙棘,反之在阳面的叶片含水量高于大果沙棘。因此,方位对中国沙棘叶片含水量影响较大;叶片分布部位对大果沙棘叶片含水量影响较大。



注:小写字母表示中国沙棘叶片含水量差异显著($P < 0.05$);大写字母表示大果沙棘叶片含水量差异显著($P < 0.05$)。

图 3 沙棘叶位与叶片含水量方差分析

Fig. 3 ANOVA of leaf water content seabuckthorn leaves with different positions

3 结论与讨论

3.1 结论

研究区不同林龄沙棘果叶含水量存在显著差异。中国沙棘叶片含水量随着林龄的增加,呈现先增大后减少的趋势;其中林龄为 5 a 的叶片含水量最高;果实含水量 5 a 林龄含量最低,变化趋势与叶片含水量相反,且呈显著负相关。大果沙棘叶片含水量随着林龄的增加,出现先增大后减少的趋势,但是减少趋势并不明显;其中,林龄为 6 a 的大果沙棘叶片含水量高;大果沙棘果实含水量随着林龄的增大,出现先增大后显著降低的趋势,且变化趋势明显;5 a 林龄大果沙棘果实含水量最大。

研究表明,低林龄(3 a)和高林龄(6 a 和 7 a)的中国沙棘叶片含水量低于大果沙棘,中林龄(4 a 和 5 a)中国沙棘叶片含水量高于大果沙棘。大果沙棘的果实含水量则均高于中国沙棘。

研究区不同叶位沙棘叶片含水量存在显著差异。中国沙棘阳面叶片含水量较阴面高;大果沙棘上部叶片含水量高于中下部。同一方位,中国沙棘

在上部东南方向叶片含水量显著低于大果沙棘,而在下部东南方向叶片含水量显著高于大果沙棘;在阴面的中国沙棘叶片含水量低于大果沙棘,在阳面的叶片含水量高于大果沙棘。因此,方位对中国沙棘叶片含水量影响较大;叶片分布部位对大果沙棘叶片含水量影响较大。

3.2 讨论

林龄是影响沙棘生长的重要因素之一。相关研究表明,沙棘生长过程中需要进行平茬处理,沙棘平茬是沙棘抚育管理和恢复种群稳定性的重要手段之一^[17],且不同地区沙棘平茬的林龄也各不相同。其中,辽西低山丘陵区为控制沙棘林衰老消亡,5~6 a 必须进行 1 次平茬复壮^[18];青海东峡林区的沙棘合理平茬林龄为 5 a 左右^[19];安塞地区沙棘人工林作先锋树种应以 8 a 为限,其后可间种油松、杨树等树种及牧草或平茬复壮进行林分改造^[20-21];党晓宏等^[22]通过对鄂尔多斯准格尔旗 6~12 a 的沙棘林平茬复壮效果的研究指出,该区域沙棘林最好在 8 a 进行平茬。本研究同样是在鄂尔多斯地区,但是通过对不同林龄果叶含水量的对比研究,该区域沙棘林生长 5 a 后这些指标已经出现显著的降低趋势,由于品种不同,大果沙棘向后推迟 1 a,即 6 a 林龄。

叶位是影响植物光合作用的重要因素之一。叶位不同,植物受到的光照时间、光照强度和光合产物积累等也有所不同^[16],从而进一步影响植物的光合作用,导致叶片中的化学成分分布不同^[23]。目前,国内外学者关于沙棘叶片的研究主要集中在叶片化学成分的分析与利用^[24-26]、叶片光合效率^[27-29]等方面的研究。通过对不同叶位沙棘叶片含水量的研究,发现方位对中国沙棘叶片含水量影响较大;叶片分布部位对大果沙棘叶片含水量影响较大;且阳面的叶片含水量较阴面大,这可能与沙棘是阳性植物有关^[29],该结论可以为今后沙棘的抚育管理提供一定的思路和科学依据。

参考文献:

- [1] PIEKARSKASTACHOWIAK A, SZARY M, ZIEMER B, *et al.* An application of the plant functional group concept to restoration practice on coal mine spoil heaps[J]. *Ecological Research*, 2014, 29(5): 843-853.
- [2] YAN D, ZHAO F, SUN O J. Assessment of vegetation establishment on tailings dam at an iron ore mining site of suburban Beijing, China, 7 [J]. *Environmental Management*, 2013, 52(3): 748-757.
- [3] YUAN Y, ZHAO Z, NIU S, *et al.* Reclamation promotes the succession of the soil and vegetation in opencast coal mine: a case study from robinia pseudoacacia reclaimed forests, Pingshuo mine, China[J]. *Catena*, 2018, 165: 72-79.

- [4] 王洪丹,王金满,曹银贵,等.黄土区露天煤矿排土场土壤与地形因子对植被恢复的影响[J].生态学报,2016,36(16):5098-5108.
WANG H D,WANG J M,CAO Y G,*et al.* Effect of soil and topography on vegetation restoration in an opencast coal mine dump in a loess area[J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(16):5098-5108. (in Chinese)
- [5] 徐炳成,山仑.半干旱黄土丘陵区沙棘和柠条水分利用与适应性特征比较[J].应用生态学报,2004,15(11):2025-2028.
- [6] 侯喜禄,曹清玉,白岗桧.陕北黄土区不同森林类型水土保持效益的研究[J].西北林学院学报,1994,9(2):20-24.
HOU X L,CAO Q Y,BAI G S. Study on the benefits soil and water conservation of different forest types in the Loess Region of northern Shaanxi[J]. Journal of Northwest Forestry University,1994,9(2):20-24. (in Chinese)
- [7] 张耀,王彦裕,吴天平,等.不同起源大果沙棘人工林的生长和克隆繁殖特征[J].西北林学院学报,2010,25(2):97-99.
ZHANG Y,WANG Y Y,WU T P,*et al.* the growth and clonal propagation characteristic of large-fruit seabuckthorn plantation with different origins of nursery stock[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(2):97-99. (in Chinese)
- [8] YU X,LIU X,ZHAO Z,*et al.* Effect of monospecific and mixed sea-buckthorn (*Hippophae rhamnoides*) plantations on the structure and activity of soil microbial communities[J]. PloS One,2015,10(2):0117505.
- [9] 胡建忠,夏静芳,土小宁.我国沙棘资源建设与开发的成效和经验[J].中国水土保持科学,2008,6(6):98-102.
- [10] 吴紫洁,阮成江,李贺,等.12个沙棘品种的果实可溶性糖和有机酸组分研究[J].西北林学院学报,2016,31(4):106-112.
WU Z J,RUAN C J,LI H,*et al.* Compositions of soluble sugars and organic acids in berries of 12 sea-buckthorn cultivars[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(4):106-112. (in Chinese)
- [11] 阮成江,郑清.盐城滩涂沙棘叶营养成分年动态研究[J].西北植物学报,2006,26(1):143-149.
- [12] 谭亮,赵静,马家麟,等.青海玉树沙棘不同部位营养成分分析与营养价值评价[J].天然产物研究与开发,2018,30(5):807-816,899.
- [13] 余天蓝,程功,曼苏尔·那斯尔,等.新疆6个天然居群野生沙棘果实性状多样性研究[J].果树学报,2018,35(5):548-556.
YU T L,CHENG G,MANSUR N,*et al.* Study on fruit diversity of wild seabuckthorn in Xinjiang[J]. Journal of Fruit Science,2018,35(5):548-556. (in Chinese)
- [14] LAFITTE R. Relationship between leaf relative water content during reproductive stage water deficit and grain formation in rice[J]. Field Crops Research,2002,76(2):165-174.
- [15] 冯晓钰,周广胜.夏玉米叶片水分变化与光合作用和土壤水分的关系[J].生态学报,2018,38(1):177-185.
FENG X Y,ZHOU G S. Relationship of leaf water content with photosynthesis and soil water content in summer maize[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,38(1):177-185. (in Chinese)
- [16] 王帆,何奇瑾,周广胜.夏玉米三叶期持续干旱下不同叶位叶片含水量变化及其与光合作用的关系分析[J].生态学报,2019,39(1):258-268.
WANG F,HE Q J,ZHOU G S. Leaf water content at different positions and its relationship with photosynthesis when consecutive drought treatments are applied to summer maize from the 3-leaf stage[J]. Acta Ecologica Sinica,2019,39(1):258-268. (in Chinese)
- [17] 李甜江,李允菲,田涛,等.中国沙棘平茬萌蘖种群的密度动态及其调节规律[J].浙江农林大学学报,2011,28(5):713-719.
LI T J,LI Y F,TIAN T,*et al.* Density dynamics with model adjustments for stump sprouts of *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* [J]. Journal of Zhejiang A&F University,2011,28(5):713-719. (in Chinese)
- [18] 包永平,王景余,孙德学,等.沙棘平茬复壮更新技术研究[J].防护林科技,2004(3):14-14.
- [19] 胡文忠,孙福林.中国沙棘平茬复壮和施肥试验[J].青海农林科技,2003(8):18-19.
- [20] 阮成江,李代琼.安塞人工沙棘林地上部生物量和净初级生产量[J].植物资源与环境学报,2001,10(2):38-41.
- [21] 陈云明,刘国彬,侯喜禄.黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J].应用生态学报,2002,13(11):1389-1393.
- [22] 党晓宏,高永,汪季,等.沙棘林能源价值及平茬复壮技术研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(2):176-180.
DANG X H,GAO Y,WANG J,*et al.* The technology of stumping and rejuvenation and firewood carbon value of *Xanthoceras sorbifolia* economic forest[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2013,27(2):176-180. (in Chinese)
- [23] 李春英,王微,赵春建,等.沙棘不同部位总黄酮含量的测定及比较[J].植物研究,2005,25(4):453-456.
- [24] 张建国,罗红梅,黄铨,等.大果沙棘不同品种果实特性比较研究[J].林业科学研究,2005,18(6):643-650.
- [25] 高国日,张彤,陈道国,等.沙棘 H3K9 乙酰化修饰全基因组分析[J].西北植物学报,2018,38(2):242-248.
GAO G R,ZHANG T,CHEN D G,*et al.* Genome-wide analysis of H3K9ac in *Hippophae rhamnoides*[J]. Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sin.,2018,38(2):242-248. (in Chinese)
- [26] 裴斌,张光灿,张淑勇,等.土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J].生态学报,2013,33(5):1386-1396.
- [27] 高丽,杨劼,刘瑞香.不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J].生态学报,2009,29(11):6025-6034.
- [28] 阮成江,李代琼.半干旱黄土丘陵区沙棘的光合特性及其影响因子[J].植物资源与环境学报,2000,20(1):16-21.
- [29] 李玉新,赵忠,陈金泉.不同林龄人工沙棘林结构与林下物种多样性研究[J].西北植物学报,2010,30(4):776-785.
LI Y X,ZHAO Z,CHEN J Q. Seabuckthorn plantation structures at different ages and its understory species diversity[J]. Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sin.,2010,30(4):776-785. (in Chinese)