

浑善达克沙地不同龄级沙柳灌丛土壤有机碳研究

昭日格, 乌仁陶格斯, 苏楞高娃 (呼和浩特民族学院, 内蒙古呼和浩特 010051)

摘要 [目的]研究浑善达克沙地不同龄级人工沙柳灌丛土壤有机碳分布规律,为进一步研究干旱区群落演替过程中碳收支以及生态恢复过程中的植被类型选择提供科学依据。[方法]对浑善达克沙地不同龄级(2、4、6、8 a)人工沙柳灌丛土壤 pH、容重、有机碳、碳密度进行研究。[结果]土壤 pH 在 7.34~7.60,且与土壤有机碳的变化无明显相关性。同一龄级植被垂直分布上,表层土壤容重较底层低,与土壤有机碳含量的变化呈负相关。土壤有机碳在 0.44~1.10 g/kg,不同龄级沙柳灌丛不同土层土壤有机碳含量均随林龄的增加出现先降低后升高的趋势,同一龄级沙柳灌丛不同土层的土壤有机碳含量无明显的变化规律。表层土壤碳密度随着龄级的增大呈先降低后增加的趋势。8 a 沙柳灌丛土壤碳密度最高,为 9.59 kg/m²;随着土层的加深土壤碳密度不断增大。[结论]沙柳灌丛对沙地植被恢复、土壤碳库有重要作用。

关键词 浑善达克沙地;沙柳灌丛;pH;土壤有机碳;碳密度

中图分类号 S714 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)17-0039-03

Study on Soil Organic Carbon of Different Age Classes of *Salix psammophila* Shrubs in the Hunshandake Sand Land

Zhaorige, Wuren Taogesi, Sulenggaowa (Hohhot University for Nationalities, Hohhot, Inner Mongolia 010051)

Abstract [Objective] To study distribution regularities of soil organic carbon of different age classes of *Salix psammophila* shrubs in the Hunshandake Sand Land, in order to provide a scientific basis for further study on carbon budget in the process of community succession and selection of vegetation types in the process of ecological restoration. [Method] The soil pH, bulk density, organic carbon and carbon density of the different ages (2, 4, 6, 8 a) of artificial *Salix psammophila* shrubs in Hunshandake Sand Land were studied. [Result] The results showed that the soil pH of *Salix psammophila* shrubs was 7.34~7.60. There was no significant correlation between soil pH and soil organic carbon content. In the vertical distribution of vegetation in the same age, the bulk density of the surface layer was lower than that of the bottom layer, and it was negatively correlated with the change of soil organic carbon. The contents of soil organic carbon in different ages of *Salix psammophila* shrubs were between 0.44 and 1.10 g/kg. Both of the different ages of *Salix psammophila* shrubs and the soil organic carbon content in different soil layers with the increase of woods' ages showed a trend from decline to rise, there was no obvious change of soil organic carbon in different soil layers of *Salix psammophila* shrubs. The soil carbon density in the soil surface decreased first and then increased with the increase of age. The soil carbon density of 8 a *Salix psammophila* shrubs was 9.59 kg/m², and the soil carbon density increased with the increase of soil level. [Conclusion] The results display that *Salix psammophila* shrubs play an important role in vegetation restoration and soil carbon pool.

Key words Hunshandake Sand Land; *Salix psammophila* shrubs; pH; Soil organic carbon; Carbon density

陆地生态系统的碳库包括植物和土壤 2 部分,植被碳库和土壤碳库碳贮存量约为大气碳库的 3 倍,在气候变化和全球碳循环中起着重要作用^[1]。在干旱地区,灌丛是一种广泛分布的植被类型,其种类繁多、生命力强、耐寒耐旱等特点,在群落演替、区域生态环境保护等方面具有极其重要的作用^[2-3]。近年来,国内外学者对森林、草地土壤有机碳的研究较多^[4-7],对灌丛土壤有机碳、碳密度的研究较少。杨路存等^[8]对青海高寒金露梅灌丛碳密度及其分配格局进行了研究;王鑫等^[1,9]对新疆干旱区 4 种怪柳灌丛碳贮量特征及新疆干旱区 8 种常见灌丛生物量碳和土壤有机碳特征进行研究;匡文浓等^[10]对 5 种荒漠灌木群落土壤有机碳垂直分布及其与根系分布的关系进行了研究;吴旭东等^[11]对不同沙地生境下柠条灌丛对草地土壤有机碳含量及分布的影响进行了研究^[12]。但是,上述研究均未对某种灌丛土壤有机质、碳密度是否与龄级的变化进行研究。

沙柳(*Salix psammophila*)属于杨柳科柳属灌木植物,是西北干旱盐碱地区一种优良的固沙先锋树种。它广泛分布于锡林郭勒、鄂尔多斯、东阿拉善、陕西北部及宁夏东部^[12]。沙柳抗逆性强、耐寒、耐旱、耐风沙盐碱、喜湿润、容易繁殖、

适应性广、有萌蘖力强、耐修剪等特点。防风固沙、保持水土功效显著;纤维形态、材质良好,是造纸、人造板优良原料,是沙区重要的工业用材林树种,经济效益良好^[13]。沙柳灌丛起着防风固沙的重要作用,其固碳能力和潜力研究也日益受到重视^[14]。笔者通过对 4 种不同龄级沙柳灌丛有机碳含量、碳密度进行采样分析,研究不同龄级沙柳灌丛的变化趋势,旨在为进一步研究干旱区群落演替过程中碳收支及生态恢复过程中的植被类型选择提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 研究区位于内蒙古自治区锡林郭勒盟正蓝旗(115°28'00" E, 42°47'55" N),地处浑善达克沙地腹地,该区属温带大陆性气候,夏季炎热,冬季严寒,全年平均气温 1.7℃,极端最低气温 -38℃,昼夜温差较大;无霜期 105 d 左右,年日照时数大于 1 000 h;年平均风速 4 m/s,全年大于 8 级大风日数为 90 d,多年平均降雨量为 250~350 mm,且 70% 集中在 6—8 月,海拔 1 284 m。土壤为风沙土,平均沙层厚度达 200 m,但有 30~100 cm 的钙积层,土壤贫瘠,不利于植物根系的发育。研究区内固定、半固定沙丘和丘间地相间分布。地带性植被为草原,乔木分布较少,灌木、半灌木和杂类草种类较为丰富。主要灌木有沙柳;半灌木主要有褐沙蒿(*Artemisia intramongolica*)、冷蒿(*Artemisia frigida*);主要草本植物有猪毛菜(*Salsola collina*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、苔草(*Carex dispalata*)、灰绿藜(*Chenopodium glaucum*)、大籽蒿(*Artemisia sieversiana*)、瓦松(*Orostachys malacophyllus*)等。草

基金项目 国家民族委员会项目(14HTZ012);内蒙古自治区高等学校科学研究重点项目(NJZZ229);2015 年内蒙古自治区人才基金开发基金项目。

作者简介 昭日格(1983—),女,内蒙古赤峰人,助教,硕士,从事干旱区资源恢复及森林草地生态系统研究。

收稿日期 2017-05-19

本层盖度在 40% ~ 70%^[15-16]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与取样。于 2015 年 6 月末选取龄级为 2 a (2013 年种植)、4 a (2011 年种植)、6 a (2009 年种植) 和 8 a (2007 年种植) 的人工沙柳进行调查和采样,每一龄级的林地随机设置 3 个 5 m × 5 m 的样方,共设 12 个样方。对样方内的草本设置 1 m × 1 m 小样方进行调查。记录沙柳的株高、基径、冠幅、盖度等(表 1)。

土壤样品的采集,每个样方设置 3 个 1 m × 1 m 土壤剖面,分别取 0 ~ 10、10 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 100 cm 深度土壤样品。在各层中部取土,取土后将样品带回实验室,风干后过 2 mm 筛,进行土壤有机碳含量测定,并取部分样品用于土壤容重测定^[17]。

表 1 浑善达克沙地沙柳灌丛调查样地基本情况

Table 1 Basic status of *Salix psammophila* shrubs of the Hunshandake Sand Land

林龄 Stand age a	株高 Plant height m	冠幅 Crown width cm	基径 Base diameter cm	盖度 Coverage %
8	330	446	2.45	90
6	194	273	1.10	82
4	199	152	1.04	61
2	93	112	0.73	10

1.2.2 土壤容重的测定。将样品均匀粉碎后,挑出细根、砾石等杂物,风干后得到样品干质量。然后取样品 50 g 置于干燥箱中,105 °C 烘干得到烘干质量,计算土壤含水率,从而得到原有土样的烘干质量,根据环刀体积计算土壤容重。

1.2.3 土壤碳含量的测定。用重铬酸钾法测定土壤有机质,计算土壤有机碳(Ci)含量。

1.2.4 土壤碳密度的测定。根据土壤容重及土壤有机碳含量计算土壤碳密度。采用如下公式计算土壤有机碳密度:

$$SOCD_i = \sum_{i=1}^k (C_i \times D_i \times E_i) / 100$$

式中,SOCD_i 为 i 层土壤有机碳密度(kg/m²);D_i 为 i 层土壤的容重(g/cm³);C_i 为土壤有机碳含量(g/kg);E_i 为土层厚度(cm)^[10];k 为不同的土壤层次^[18]。

1.3 数据处理 采用 SPSS 16.0 软件进行数据分析,用单因素方差分析法(One-way ANOVA)进行差异显著性分析(α = 0.05),并使用 Excel 进行基础数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同龄级土壤 pH 比较 由图 1 可知,浑善达克沙地沙柳种群的土壤 pH 在 7.34 ~ 7.60,呈中性。在表土层土壤上,8 a 的沙柳灌丛土壤 pH 最高,为 7.60,其次是 2 a 的沙柳灌丛,土壤 pH 为 7.57,4、6 a 土壤 pH 相对较低。10 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 100 cm 土层随龄级的变化趋势同 0 ~ 10 cm。这与沙柳灌丛下凋落物分解过程缓慢,且分解过程中容易产生大量有机酸有关。

在同一龄级中不同土层的土壤 pH 不同,2 a 沙柳在不同深度土壤 pH 呈显著差异(P < 0.05),4、6、8 a 沙柳在不同深

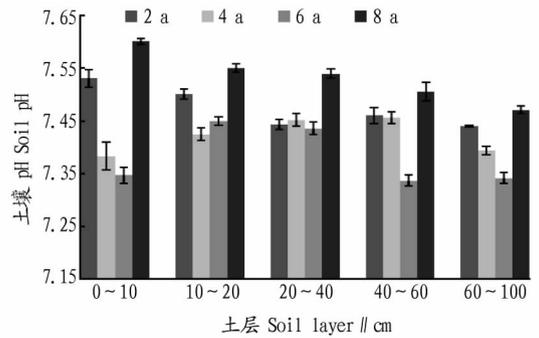


图 1 浑善达克沙地沙柳灌丛不同龄级土壤 pH

Fig. 1 Soil pH under different age classes in *Salix psammophila* shrubs of Hunshandake Sand Land

度的土壤 pH 无显著差异(P > 0.05)。同一植被类型的土壤 pH,在垂直分布上变化复杂,无明显的规律可循,这可能与影响土壤 pH 的因素较多有关。

2.2 不同龄级土壤容重比较 土壤容重能综合反映土壤的结构性和通透性等物理性质。容重过高尤其是超过植物的极限容重后,就会影响根系的延伸生长,同时会影响降水的渗透率及土壤的通气性能。容重过低,会影响土壤支撑植物的性能^[9]。由表 2 可知,浑善达克沙地沙柳灌丛土壤容重在 0.89 ~ 0.99 g/cm³,不同龄级植被表层土壤容重从大到小依次为 6 a、2 a、4 a、8 a。在同一龄级植被垂直分布上,表层容重总体较底层低,这主要是由于沙柳灌丛土壤表层含大量的枯落物和植物根系等物质使土质较疏松;而底层既无枯落

表 2 浑善达克沙地沙柳灌丛土壤有机碳、碳密度

Table 2 Soil organic carbon and carbon density in *Salix psammophila* shrubs of Hunshandake Sand Land

林龄 Stand age // a	土层 Soil layer cm	土壤容重 Soil bulk density g/cm ³	有机碳 Organic carbon content // g/kg	碳密度 Carbon density kg/cm ²
2	0 ~ 10	0.93	0.92	8.52
	10 ~ 20	0.92	0.99	9.08
	20 ~ 40	0.92	0.98	18.11
	40 ~ 60	0.94	0.92	17.35
	60 ~ 100	0.89	0.77	27.25
4	0 ~ 10	0.91	0.71	6.42
	10 ~ 20	0.90	0.76	6.80
	20 ~ 40	0.89	0.47	8.39
	40 ~ 60	0.94	0.55	10.31
	60 ~ 100	0.96	0.44	16.96
6	0 ~ 10	0.98	0.48	4.70
	10 ~ 20	0.93	0.67	6.24
	20 ~ 40	0.99	0.71	13.99
	40 ~ 60	0.97	0.53	10.24
	60 ~ 100	0.90	0.52	18.87
8	0 ~ 10	0.87	1.10	9.59
	10 ~ 20	0.93	1.01	9.40
	20 ~ 40	0.90	0.99	17.82
	40 ~ 60	0.94	0.94	17.67
	60 ~ 100	0.92	0.89	32.75

物,植物根系也较少,因此土壤相对紧实。不同龄级土壤容重无显著差异($P > 0.05$);不同土层间的土壤容重差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同龄级土壤总有机碳比较 对浑善达克沙地不同龄级沙柳灌丛土壤有机碳含量进行分析,结果显示,不同龄级沙柳灌丛不同土层土壤有机碳的含量均随林龄的增加出现先降低后升高的趋势,呈“V”字型变化。8 a 沙柳灌丛表层土壤有机碳含量最高达到 1.10 g/kg,其次是 2 a 沙柳灌丛,为 0.92 g/kg,6 a 沙柳灌丛土壤有机碳含量最低为 0.48 g/kg。同一龄级沙柳灌丛不同土层的土壤有机碳无明显变化规律(图 2)。

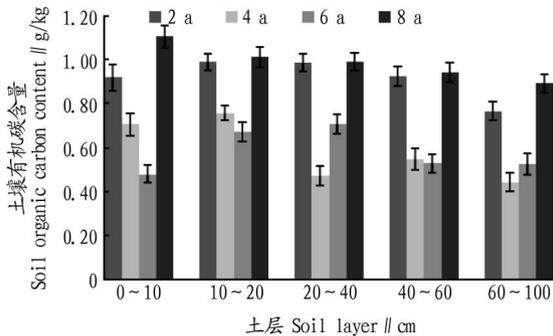


图 2 浑善达克沙地沙柳灌丛不同龄级土壤有机碳含量

Fig. 2 Soil organic carbon content under different age classes in *Salix psammophila* shrubs of Hunshandake Sand Land

对浑善达克沙地 2,4,6,8 a 不同龄级沙柳灌丛土壤有机碳的含量进行方差分析,结果表明,在 0~10 cm 土层不同龄级有机碳含量差异显著($P < 0.05$);60~100 m 土层不同龄级土壤有机碳含量差异极显著($P < 0.01$);其他土层不同龄级土壤有机碳含量差异不显著($P > 0.05$)。

2.4 不同龄级土壤有机碳密度比较 对浑善达克沙地不同龄级不同土层土壤碳密度进行比较,结果表明,土壤表层土壤碳密度随着龄级的增加呈先降低后增加的趋势。8 a 沙柳灌丛土壤碳密度最高达 9.59 kg/m²;随着土壤层次的加深土壤碳密度不断增加(图 3)。

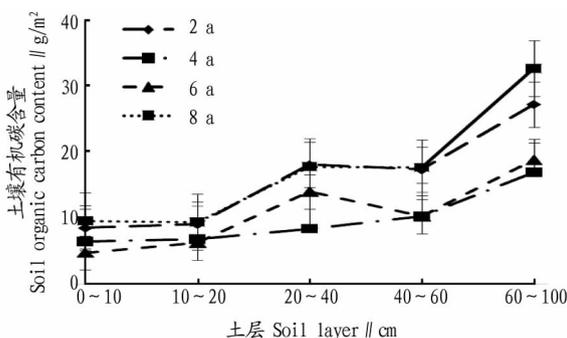


图 3 浑善达克沙地沙柳灌丛不同龄级土壤碳密度

Fig. 3 Soil carbon density under different age classes in *Salix psammophila* shrubs of Hunshandake Sand Land

3 结论与讨论

(1) 该研究结果表明,浑善达克沙地沙柳种群的土壤 pH 在 7.34~7.60,呈中性。在不同土层上,8 a 沙柳灌丛土壤

pH 最高,其次是 2 a,4 和 6 a 沙柳灌丛土壤 pH 相对较低。浑善达克沙地不同龄级沙柳灌丛表层土壤容重从大到小依次为 6 a,2 a,4 a,8 a。在同一龄级植被垂直分布上,表层容重较底层低,与土壤有机碳的变化呈负相关,这与苗娟等^[19]的研究结果一致。

(2) 该研究中浑善达克沙地不同龄级沙柳灌丛土壤有机碳在 0.44~1.10 g/kg,不同龄级沙柳灌丛不同土层土壤有机碳的含量均随林龄的增大出现先降低后升高趋势,呈“V”字型变化。同一龄级沙柳灌丛不同土层的土壤有机碳变化规律无明显变化规律。这与洗伟光等^[20]的研究结论一致。不同森林生态系统有机碳来源(地表凋落物及其根的分泌物和细根周转产生的碎屑)的数量与质量差异是影响土壤有机碳在土壤中分布的关键因子之一。不同植被组成可以形成特定的土壤表层气候,影响凋落物的分解速率,进而在某种程度上控制土壤有机碳的分解速度。这可能是造成森林生态系统之间及同一生态系统内各土层间土壤有机碳差异的原因。对浑善达克沙地不同龄级沙柳灌丛不同土层土壤碳密度进行比较,结果表明,土壤表层土壤碳密度随着龄级的增加呈先降低后增加的趋势。8 a 沙柳灌丛土壤碳密度最高,随着土壤层次的加深土壤碳密度不断增加。这与王鑫等^[1]、陶贞等^[21]、刘艳等^[22]、孙慧兰等^[23]的研究结果一致。

(3) 该研究中最大龄级沙柳灌丛为 8 a,未与天然沙柳灌丛土壤有机碳进行比较,并且采用重铬酸钾-外加加热法进行测定,因此结果存在一定的不确定性,有待于今后进一步研究。

参考文献

- 王鑫,杨德刚,熊黑钢,等. 新疆干旱区 8 种常见灌丛生物量碳和土壤有机碳特征[J]. 生态学杂志,2016,35(8):1996-2002.
- 胡会峰,王志恒,刘国华,等. 中国主要灌丛植被碳储量[J]. 植物生态学报,2006,30(4):539-544.
- 贾晓红,李新荣,张志山. 沙冬青群落土壤有机碳和全氮含量的空间异质性应用[J]. 应用生态学报,2006,17(12):2266-2270.
- 齐光,王庆礼,王新闯,等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林土壤有机碳贮量[J]. 应用生态学报,2013,24(1):10-16.
- 王艳芬,陈佐忠, TIESZEN L T. 人类活动对锡林郭勒地区主要草原土壤有机碳分布的影响[J]. 植物生态学报,1998,22(6):545-551.
- 齐玉春. 内蒙古温带草地生态系统生物地球化学循环中主要温室气体通量与碳平衡[D]. 北京:中国科学院地理科学与资源研究所,2003.
- 杨金艳,王传宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量[J]. 生态学报,2005,25(11):2875-2882.
- 杨路存,李长斌,宁伟,等. 青海高寒金露梅灌丛碳密度及其分配格局[J]. 植物生态学报,2017,41(1):62-70.
- 王鑫,杨德刚,熊黑钢,等. 新疆干旱区 4 种柽柳灌丛碳贮量特征[J]. 生态学报,2017,37(13):1-8.
- 匡文浓,钱建强,马群,等. 五种荒漠灌木群落土壤有机碳垂直分布及其与根系分布的关系[J]. 生态学杂志,2016,35(2):275-281.
- 吴旭东,宋乃平,潘军. 不同沙地生境下柠条灌丛化对草地土壤有机碳含量及分布的影响[J]. 农业工程学报,2016,32(10):115-121.
- 昭日格,李钢铁,岳永杰,等. 浑善达克沙地天然沙地物种内竞争研究[J]. 中国沙漠,2011,31(2):451-455.
- 刘建,刘凤红,董鸣,等. 浑善达克沙地南缘榆树种群的大小结构和邻体格局[J]. 中国沙漠,2005,25(1):75-80.
- 李维向,刘朝霞,闫伟,等. 沙柳优良品系选育的研究[J]. 中国沙漠,2008,28(4):679-684.
- 赵丽,王晓江,刘果厚,等. 浑善达克沙地榆树种群结构、格局及动态研究[J]. 中国沙漠,2009,29(3):508-513.

表4 广东大稠顶省级自然保护区野生动物类群的物种组成

Table 4 Species composition of wildlife groups in Dachouding Nature Reserve of Guangdong

序号 No.	动物类群 Wildlife groups	目数 Orders	占总目数比 Percentage of total orders//%	科数 Family	占总科数比 Percentage of total family//%	种数 Species	占总种数比 Proportion of total species//%
1	鸟类	14	51.85	36	50.70	139	53.88
2	兽类	8	29.63	19	26.76	40	15.50
3	爬行类	3	11.11	10	14.08	51	19.77
4	两栖类	2	7.41	6	8.45	28	10.85
合计 Total		27	100	71	100	258	100

2.5 综合评价与效益分析

2.5.1 水源涵养和水质保护价值。广东大稠顶自然保护区之所以溪流淙淙,常年不断,是因为森林的蓄水功能保证了条条溪流雨大不成洪,无雨不断流。据报道,森林可蓄水 $9\ 000 \sim 12\ 000\ \text{m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,广东大稠顶省级自然保护区现有森林面积 $2\ 248.8\ \text{hm}^2$,则每年可涵养水源 $20\ 242\ 699\ \text{万}\ \text{m}^3/\text{a}$,形成地下潜水补给溪流。随着自然保护区的建立,森林和环境的保护措施将显著增加,森林涵养水源能力将会不断提高。广东大稠顶省级自然保护区不仅地下水水质好,可作矿泉水饮用,而且地表的河溪水质也好,清澈凉润,清甜可口。这是由于经过森林土壤自然过滤及一系列的离子交换作用,起到了净化水质效果。据有关资料反映,每年净化 $1\ \text{t}$ 饮用水平均投资 $0.08\ \text{元}/\text{a}$,广东大稠顶省级自然保护区每年净化水的效益可观。

2.5.2 生态系统及其物种多样性保护价值。该保护区植被类型、植物种类具有明显的南亚热带植物特征,现存植被均为处于不同演替阶段的次生性群落,区内有4个植被类型,构成了各种动植物的生存环境。动物资源丰富,属热带与亚热带的过渡地带,具有显著的地带典型性和自然性。该保护区丰富的动植物种类,不仅在资源利用上有重要价值,也是亚热带动植物资源的种质保存基地和遗传工程上的基因库,为良种的培育和利用提供丰富的原始材料;同时,这些动植物资源蕴藏着巨大的经济潜力,保护和利用好这些资源,对于肇庆的经济建设、全省的生态环境及全球的生物多样性保护均有重要意义。

2.5.3 社会及经济效益。随着保护区生态经营和生态旅游发展的需要,广东大稠自然保护区通过多样经营和生态旅游区的开发建设,不仅为人们提供环境优美、格调高雅的科研、教育和游憩场所,而且能够为国内外投资经营者创造良好的投资环境,对整个保护区、新岗林场及周邻地区经济的腾飞具有重要的战略意义。

生态旅游是综合性的服务行业,旅游者的食、住、交通、游、购、娱等方面的需求必须得到满足,是目前国际上正在兴起的一种有利于自然保护的新型旅游业^[5-6]。保护区发展生态旅游必然会促进旅游业和服务行业的发展。大稠顶省级自然保护区科研科普区的兴建,吸引了大批人员就业。随着科学研究的开展、生态公益林建设项目的实施、生态旅游业和多种经营的发展,经济效益显而易见,不仅可以振兴新岗国有林场的林业发展,而且可以带动保护区周边村镇的经济发展。

3 讨论

保护区内珍稀濒危植物、优良用材树种、药用植物、野生水果植物、观赏植物和芳香植物等均为野生型。因此,对于数量较少的植物要加强就地保护,也应加强植物引种、驯化和栽培技术研究,利用保护区的缓冲区和改造区进行人工栽培。

大稠顶省级自然保护区与广东同纬度的鼎湖山、罗浮山等构成地带性植被南亚热带常绿阔叶林,是北回归线上的绿洲,具有水源涵养、物种多样性、珍稀动植物种类丰富等特性。大稠顶省级自然保护区的建立,保护了亚热带天然常绿阔叶林生态系统及珍稀动植物,维护了自然生态平衡,对于促进当地经济持续发展等都具有重要的战略意义。

参考文献

- [1] 廖爱群. 大稠顶自然保护区植被特征调查[J]. 广东林业科技, 2004, 20(2): 54-56.
- [2] 段茹晖, 李青丰, 赵金花, 等. 春坤山自然保护区植被特征及植物种类分析[J]. 环境与发展, 2017(2): 87-90.
- [3] 中华人民共和国国务院. 国家重点保护野生植物名录(第一批)[Z]. 1999.
- [4] 傅立国. 中国植物红皮书: 珍稀濒危植物(第一册)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [5] 钟林生, 马向远, 曾瑜哲, 等. 中国生态旅游研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2016, 35(6): 679-690.
- [6] 李运祥. 中国生态旅游的现状与开展生态旅游的对策研究[J]. 经济研究导刊, 2010(21): 128-129.

(上接第41页)

- [16] 李钢铁, 姚云峰, 左合君. 浑善达克沙地桑根达来地区榆树疏林的分布与立地因子的关系的研究[J]. 世界林业研究, 2008, 21(S1): 82-86.
- [17] 王觅. 京西山区森林土壤有机碳的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [18] 黎英华, 姚云峰, 秦富仓, 等. 不同类型土壤的有机碳密度特征[J]. 干旱区研究, 2016, 33(3): 455-460.
- [19] 苗娟, 周传艳, 李世杰, 等. 不同林龄云南松林土壤有机碳和全氮积累

特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 625-631.

- [20] 沈伟光, 周丽, 唐洪辉, 等. 不同林龄针阔混交林土壤生态化学计量特征[J]. 广东林业科技, 2015, 31(1): 1-6.
- [21] 陶贞, 沈承德, 高全洲, 等. 高寒草甸土壤有机碳储量及其垂直分布特征[J]. 地理学报, 2006, 61(7): 720-728.
- [22] 刘艳, 查同刚, 付汝军. 百花山典型林分土壤有机碳储量及垂直分布特征[J]. 西北农业学报, 2012, 21(3): 182-187.
- [23] 孙慧兰, 李卫红, 杨余辉, 等. 伊犁山地不同海拔土壤有机碳的分布[J]. 地理科学, 2012, 32(5): 603-608.