西北林学院学报 2018,33(6):292-296
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2018.06.46

喀纳斯自然保护区森林生态系统服务功能价值评估

白志强[1],王文栋[1],李　缓[2],刘　端[1],郭仲军[1],刘　华[2*]

(1.新疆林科院 森林生态研究所,新疆 乌鲁木齐 830000;2.安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036)

摘　要:为明确喀纳斯自然保护区森林生态系统具有的服务功能及其价值,采用《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721-2008)的方法,对2009、2014年喀纳斯自然保护区森林生态系统具有的生态服务功能及其价值进行评估。结果表明,2014年喀纳斯自然保护区森林生态系统总的服务功能价值比2009年增加了7.34%,且以涵养水源和生物多样性的价值量所占的比重为最大;灌木林地的功能价值增加率明显高于针叶林地和阔叶林地;不同森林类型所具有的服务功能及其价值主要差异明显。

关键词:森林生态系统服务功能;价值评估;喀纳斯自然保护区

中图分类号:S718.56　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1001-7461(2018)06-0292-05

Evaluation of Forest Ecosystem Service Function of Kanas National Nature Reserve

BAI Zhi-qiang[1], WANG Wen-dong[1], LI Huan[2], LIU Duan[1], GUO Zhong-jun[1], LIU Hua[2*]

(1. *Institute of Forest Ecology, Xinjiang Forestry Academy Science, Urumqi, Xinjiang* 830000, *China*; 2. *Schoole of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui* 230036, *China*)

Abstract: In order to clarify the value of forest ecosystem in the Kanas National Nature Reserve, and to provide scientific basis for ecosystem protection, seven indexes such as water and soil conservation, carbon fixation and oxygen release, nutrient accumulation, air purification, evaluation of biodiversity conservation and forest recreation services were used to evaluate their service functions and ecological values based on the specifications of assessment of forest ecosystem services in China (LY/T1721－2008). The results showed that total value of forest ecosystem services functions in 2014 increased by 7.34% compared to 2009. The largest service function was found in water conservation and biodiversity. Coniferous forests had the highest functions in the values of water and soil conservation, carbon fixation and oxygen release, nutrient accumulation and biodiversity conservation. From 2009 to 2014, the value of shrub service function increased higher in water and soil conservation, carbon fixation and oxygen release, nutrient accumulation and biodiversity protection than those of coniferous forest and broad-leaf forest. There were significant differences among the different forest types and the value of service function.

Key words: forest ecosystem; value assessment; Kanas National Nature Reserve

森林生态系统服务功能是生态系统在能流、物流的生态过程的外部显示,是人类生命支持系统的核心[1],并保障了人类生存的自然环境条件与效用[2-9]。森林生态系统服务功能主要体现在系统中的水、土、气、生的循环中具备的能力[10]。随着人类文明的进步以及对自然认知的深入,不同尺度上森林生态系统服务功能及其价值评估也逐步成为社会关注和研究的热点[4,11-16],而对新疆喀纳斯保护区森林生态服务功能价值评估还处于一个探索阶段。依据LY /T 1721-2008《森林生态系统服务功能评

收稿日期:2017-12-08　**修回日期:**2018-05-10
基金项目:新疆林业生态服务功能监测与评估(xjlk(2013)001号);新疆阿尔泰山森林生态系统定位研究站开放基金。
作者简介:白志强,男,高级工程师,研究方向:森林生态。E-mail:13999829959@163.com
* **通信作者:**刘　华,女,副教授,博士,硕士生导师,研究方向:森林生态学。E-mail:liuhuanmg@126.com

估规范》[17],从 7 个方面评估其生态服务功能及其价值的动态变化,为更好地保护森林资源及保护区建设管理提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

喀纳斯自然保护区位于新疆阿勒泰地区布尔津县西北部(86°54—87°54′E,48°35′—49°11′N),属温带高寒气候区。年日照时数 2 157.4 h;年平均气温 −0.2℃,≥10℃的年活动积温 1 595.4℃,无霜期 80～100 d,年均日照时数 2 157.4 h,年均降水量 1 065.4 mm,年均蒸发量 1 097 mm。植被与土壤的垂直地带性明显。该区域也是中国唯一的欧洲西伯利亚植物区系,并保存以泰加林为代表的天然森林生态系统,已知的维管束植物有 83 科 298 属 798 种。乔木优势树种有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*)、西伯利亚云杉(*Picea obovata*)和西伯利亚红松(*Pinus sibirica*),伴生树种有西伯利亚冷杉(*Abies sibirica*)、疣枝桦(*Betula pendula*)、山杨(*Populus tremula*)等。灌木优势种有忍冬(*Lonicera cearulea*)、蔷薇(*Rosa spinosissima*)、栒子(*Cotoneaster uniflorus*)、绣线菊(*Spiraea chamaedryfolia*)等。草本植物常见的有密穗薹草(*Carex polyphylla*),林地早熟禾(*Poa nemoralis*),白喉乌头(*Aconitum leucostomum*)、柳兰(*Chamaenerion angustifolium*)等[18-19]。

1.2　研究方法

以新疆阿尔泰山生态站监测数据、实地样地调查数据、森林资源清查数据、社会公共数据等为主要数据源。根据 LY/T 1721-2008《森林生态系统服务功能评估规范》[17]中提供的评估指标及其方法,从物质量和价值量两个方面[3],对喀纳斯自然保护区森林生态系统的 7 项服务功能及其价值进行分析。

2　结果与分析

2.1　喀纳斯自然保护区森林资源动态变化

森林面积与森林生态系统服务功能及其价值之间具有正相关性。天保工程实施以来,喀纳斯自然保护区的森林资源量呈持续增长趋势。2009—2014 年间,其森林面积增长了 4 994.06 hm^2,其中,乔木林面积增长了 26.36 hm^2,灌木林面积增长了 4 967.70 hm^2,增长率分别为 0.07%和 28.06%。

2.2　森林生态系统服务功能的动态变化

2.2.1　水源涵养功能　2009—2014 年间,喀纳斯保护区森林涵养水源量增加了 1 106.83 万 t,其价值增加了 12 641.15 万元,增长率为 9.74%,对价值增量贡献率达到了 44.06%;其中净化水质的价值占调节水量的 31.19%。从森林类型来看,灌木林在 5 a 间的调节水量增加了 1 070.54 万 t,其价值增量为 12 226.70 万元,对涵养水源价值增量贡献率为 96.72%(表 1)。

表 1　喀纳斯保护区 2009—2014 年森林涵养水源量及其价值的变化

Table 1　Changes of forest water conservation and its value in Kanas National Nature Reserve from 2009 to 2014

类别	涵养水源量/(万 t·a^{-1})			调节水量价值/(万元·a^{-1})			净化水质价值/(万元·a^{-1})		
	2009 年	2014 年	变化量	2009 年	2014 年	变化量	2009 年	2014 年	变化量
针叶林	7 039.39	7 092.64	53.25	61 284.52	61 748.15	463.63	19 112.81	19 257.41	144.6
阔叶林	503.57	486.61	−16.96	4 384.09	4 236.38	−147.71	1 367.27	1 321.2	−46.07
灌丛	3 815.15	4 885.69	1 070.54	33 214.47	42 534.52	9 320.05	10 358.6	13 265.25	2 906.65

2.2.2　土壤保育功能　2009 年和 2014 年喀纳斯保护区的森林固土量分别为 34.07 万 t 和 37.18 万 t,增长率为 9.13%;保肥量由 2009 年的 5.87 万 t 增加到了 2014 年的 6.41 万 t。2009 年,森林固土价值和保肥价值分别为 613.07 万元和 10 309.48 万元,故其保育土壤的价值达到了 10 922.55 万元,占价值总量的 2.79%;2014 年的固土与保肥价值分别为 676.58 万元和 11 250.31 万元,其保育土壤价值为 11 926.89 万元,占价值总量的 2.84%。总体上,2014 年的森林保育土壤功能价值较 2019 年的增加了 1 004.34 万元,增长了 9.20%,对价值增量贡献率为 3.50%。就森林类型而言,灌木林的保育土壤功能量及价值量变化最大,其增量分别为 3.62 万 t、997.31 万元,对保育土壤增量贡献率为 99.30%(表 2)。

2.2.3　固碳释氧功能　喀纳斯保护区的森林固碳量在 2009 年为 9.41 万 t,到 2014 年,增加到 9.77 万 t,增长率 3.84%。森林释氧量由 2009 年的 18.86万 t 增加到 2014 年的 19.27 万 t,增长率为 2.17%。2009 年,喀纳斯保护区森林固碳和释氧的价值分别为 11 292.96 万元和 24 500.65 万元;故其固碳释氧功能价值为 35 793.61 万元,占价值总量的 9.16%;2014 年,森林固碳和释氧价值分别为 11 726.07万亿元和 25 032.99 万元,固碳释氧总价值为 36 759.06 万元,占价值总量的 8.76%。5 a 间,森林固碳释氧功能价值增加 965.44 万元,增长

2.70%,对价值增量贡献率为3.36%。就森林类型而言,灌木林的固碳释氧功能量及价值量变化最大,增加量分别为0.77万t、963.96万元,对固碳释氧增量贡献率为99.84%(表3)。

表2 喀纳斯保护区2009-2014年森林保育土壤功能量及价值量的变化

Table 2 Changes of forest soil conservation function and its value in Kanas National Nature Reserve from 2009 to 2014

类别	固土量/(万 t·a^{-1})			保肥量/(万 t·a^{-1})			固土价值/(万元·a^{-1})			保肥价值/(万元·a^{-1})		
	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量
针叶林	21.37	21.42	0.05	3.68	3.69	0.01	359.51	360.32	0.81	6 466.77	6 481.35	14.57
阔叶林	1.7	1.67	-0.03	0.29	0.29	0	28.55	28.11	-0.44	513.56	505.64	-7.92
灌丛	11	14.09	3.09	1.9	2.43	0.53	225.01	288.15	63.14	3 329.15	4 263.32	934.17
合计	34.07	37.18	3.11	5.87	6.41	0.54	613.07	676.58	63.51	10 309.48	11 250.31	940.82

表3 喀纳斯保护区2009-2014年森林固碳释氧功能量及价值量的变化

Table 3 Forest carbon fixation and oxygen release function and its value in Kanas Nature Reserve from 2009 to 2014

类别	固碳量/(万 t·a^{-1})			释氧量/(万 t·a^{-1})			固碳价值/(万元·a^{-1})			释氧价值/(万元·a^{-1})		
	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量
针叶林	7.32	7.35	0.03	15.63	15.69	0.06	8 784.9	8 816.3	31.47	20 309.3	20 388.7	79.44
阔叶林	0.77	0.75	-0.03	1.68	1.61	-0.06	928.51	898.41	-30.1	2 176.02	2 096.71	-79.31
灌丛	1.32	1.68	0.36	1.55	1.96	0.41	1 579.6	2 011.4	431.75	2 015.38	2 547.58	532.21
合计	9.41	9.77	0.36	18.86	19.27	0.41	11 293.0	11 726.1	433.12	24 500.7	25 032.9	532.34

2.2.4 营养物质积累功能 2009年和2014年,喀纳斯保护区森林生态系统营养物质积累量分别为0.868 2万t和0.872 2万t,增长率为0.46%。喀纳斯保护区森林生态系统积累营养物质价值2009年为14 103.81万元,占价值总量3.61%;2014年为14 159.24万元,占价值总量的3.37%。因此,森林生态系统5年的营养物质积累价值增加量为55.43万元,增长率为0.46%,对价值增量贡献率仅为0.19%。其中,灌木林积累营养物质价值较针叶林、阔叶林为大,变化率为25.30%,对积累营养物质增量贡献率为73.73%(表4)。

2.2.5 环境净化功能 2009年和2014年,喀纳斯保护区森林生态系统提供负氧离子分别为7.31×10^{15}亿个和7.35×10^{15}亿个;吸收污染物分别为11.31 t和11.47 t,增长率为1.45%;滞尘量分别达到110.17万t和10.27万t。因此,该系统净化大气环境价值在2009年为25 858.25万亿元,占价值总量6.62%;2014年为25 882.59万元,占价值总量6.17%。5 a间的功能价值增加了24.34万元,增长0.09%,对价值增量贡献率为0.08%。就森林类型而言,针叶林和阔叶林净化大气功能量与价值量变化微小(表5)。

表4 喀纳斯保护区2009-2014年森林积累营养物质量及其价值的变化

Table 4 Forest nutrient accumulation and its value in Kanas National Nature Reserve from 2009 to 2014

类别	积累营养物质量/(万 t·a^{-1})			积累营养物质价值/(万元·a^{-1})		
	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量
针叶林	0.794 4	0.797 8	0.003 4	12 999.2	13 050.88	51.68
阔叶林	0.063 2	0.061	-0.002 2	943.02	905.91	-37.12
灌丛	0.010 6	0.013 3	0.002 8	161.58	202.46	40.87
合计	0.868 2	0.872 2	0.004	14 103.81	14 159.24	55.43

表5 喀纳斯保护区2009-2014年森林净化大气功能量及价值量的变化

Table 5 Forest air purification and its value in Kanas National Nature Reserve from 2009 to 2014

类别	负氧子/(亿个·a^{-1}/万元·a^{-1})			吸收污染物/(t·a^{-1}/万元·a^{-1})			滞尘/(万 t·a^{-1}/万元·a^{-1})		
	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量	2009年	2014年	变化量
针叶林	6.92E+15 /402.55	6.96E+15 /404.91	4.06E+13 /2.36	10.57 /6.14	10.78 /6.2	0.2 /0.07	99.37 /22934.1	99.66 /23001.2	0.29 /67.14
阔叶林	3.95E+14 /2.30E+01	3.90E+14 /2.27E+01	-4.35E+12 /-2.50E-01	7.30E-01 /5.50E-01	6.90E-01 /5.10E-01	-4.00E-02 /-4.00E-02	1.08E+01 /2.49E+03	1.06E+01 /2.45E+03	-1.90E-01 /-4.49E+01
合计	7.31E+15 /4.26E+02	7.35E+15 /4.28E+02	3.62E+13 /2.11E+00	1.13E+01 /6.68E+00	1.15E+01 /6.71E+00	1.60E-01 3.00E-02	1.10E+02 /2.54E+04	1.10E+02 /2.54E+04	1.00E-01 /2.22E+01

注:污染物包括二氧化硫、氟化物、氮氧化物、铅、镉、铜、锌、汞。

2.2.6　生物多样性保护功能　采用 Shannon-Wiener 指数评估森林生物多样性的保护价值。喀纳斯保护区森林生态系统生物多样性保护价值从 2009 年的 50 480.69 万元,增加到了 2014 年的54 481.71 万元,价值也由总量的 12.91%增加到 12.99%。就森林类型而言,针叶林和阔叶林生物多样性保护价值量变化较小,灌木林的变化较大,其变化量为 3 974.16万元,变化率为 28.06%,对森林生物多样性保护价值增量贡献率为 99.33%(表 6)。

2.2.7　森林游憩功能　喀纳斯保护区森林游憩价值由 2009 年的 12.4 亿元,增加到 2014 年的13.4亿元,价值也由总量的 31.72% 增加到 31.79%(表 6)。

2.3　服务功能价值的总量变化特征

2009 年,喀纳斯保护区森林生态系统服务功能价值为 390 880.67 万元,到 2014 年,该价值增长了 7.34%,达到了 419 572.41 万元。年均增加 5 738.35万元,年均增长率为 1.47%。不同的服务功能价值由大到小的顺序均为 WC>FR>BC>CO>PA>AN>SC。其中,涵养水源、森林游憩及生物多样性保护 3 项价值总量分别为 304 202.44 万元、330 844.6 万元,比重分别达到 77.82%、78.85%,在系统服务功能总价值中占有主体地位。针叶林的生态服务功能价值所占的比例约占总服务价值 2/3,灌木林价值所占的价值比例仅为 5%左右;从服务功能价值的变化角度来看,针叶林的服务功能价值在 2009－2014 年的变化率较小,仅为 0.5%;而阔叶林价值有所减小,5 a 间价值降低率为 2.78%;森林服务价值变化最大的为灌木林,2014 年的价值增加率达到 27.98%(表 6)。

表 6　喀纳斯保护区 2009－2014 年森林生态服务各功能价值的动态变化

Table 6　Dynamic changes of services functions and corresponding yalues of forest ecosystem in Kanas National Nature Reserve from 2009 to 2014

(万元・a^{-1})

类别	代码	2009 年	2014 年	变化量
水源涵养	WC	129 721.76	142 362.91	1.26E+04
土壤保育	SC	10 922.55	11 926.89	1.00E+03
固碳释氧	CO	35 793.61	36 759.06	9.65E+02
积累营养物质	AN	14 103.81	14 159.24	5.54E+01
净化大气	PA	25 858.25	25 882.59	2.43E+01
生物多样性保护	BC	50 480.69	54 481.71	4.00E+03
森林游憩	FR	124 000	134 000	1.00E+04
合计		390 880.67	419 572.41	2.87E+04
针叶林	CF	185 957	186 887.01	9.30E+02
阔叶林	BF	15 876.91	15 435.64	－4.41E+02
灌木	SS	65 046.76	83 249.75	1.82E+04
合计		266 880.67	285 572.41	1.87E+04

3　讨论

自然保护区保护了天然植被及其组成的生态系统。森林生态系统具有重要的作用,其生态系统服务功能价值排序为 WC>FR>BC>CO>PA>AN>SC;价值总量变化率大小排序为 WC>SC>FR>BC>CO>AN>PA;对价值增量贡献率大小排序为 WC>FR>BC>SC>CO>AN>PA。森林生态系统服务功能主要体现在涵养水源上,森林游憩服务价值随着林木生长量和森林质量的提高而逐年增加。

就森林类型而言,7 项森林生态系统服务功能价值排序为 CF>BF>SS;价值总量变化率大小排序及对价值增量贡献率大小排序均为灌木林>针叶林>阔叶林。数量化分析结果表明,灌木林的生态服务功能价值虽然较针叶林、阔叶林小,但其在 5 a 间的价值增加率最高,在森林生态系统服务功能总价值及绿色 GDP 中占据着重要的作用。

森林生态系统面积的增长和森林环境的改善是喀纳斯保护区森林生态系统服务价值增长的主要动力。在各森林类型中,灌木林面积的增加较为显著,在维系和促进当地社会经济持续发展和环境保护中发挥着巨大作用。建议继续抓好天然林保护、野生动植物保护及自然保护区建设等林业重点生态工程,提高森林经营水平,进一步巩固和提升喀纳斯保护区生态环境质量。

本次评估采用了森林生态系统服务功能评估规范(LY/T 1721-2008),在阿尔泰山森林生态监测站长期所试验观测获得的数据基础上进行的,相对而言有着较为充分的数据支持,基本上能够反映森林生态系统的真实状态,增加了研究结果的可信度。目前为止,有关森林生态系统服务价值的评估还处于一个探索阶段,新疆喀纳斯保护区森林生态服务功能价值评估方面的研究尚少。本文的研究,希望能有助于人们对森林生态价值的了解,为区域森林生态环境的保护提供参考,为区域经济的可持续发展提供重要的科学指导性依据。

参考文献:

[1]　苏常红,傅伯杰. 景观格局与生态过程的关系及其对生态系统服务的影响[J]. 自然杂志,2012,34(5):277-283.

[2]　余新晓,秦永胜,陈丽华,等. 北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J]. 生态学报. 2002,22(5):783-786.

YU X X,QIN Y S,CHEN L H,*et al*. The forest ecosystem services and their valuation of Beijing mountain areas[J]. Acta Ecologica Sinica,2002,22(5):783-786.(in Chinese)

[3]　靳芳,鲁绍伟,余新晓,等. 森林生态系统服务功能价值评估问

题[J].西北林学院学报,2005,20(3):18-22.
ZHAN F,LU S W,YU X X,*et al*.On forest ecosystem services and its evaluation in China[J].Journal of Northwest Forestry University,2005,20(3):18-22.(in Chinese)

[4] 康艳.刘康.李团胜,等.陕西省森林生态系统服务功能价值评估[J].西北大学学报:自然科学版,2005,35(3):351-354.

[5] 李海涛,许学工,肖笃宁.天山北坡中段自然生态系统服务功能价值研究[J].生态学杂志,2005,24(5):488-492.
LI H T,XU X G,XIAO D N.Service value of forest ecosystem at middle section on Northern slope of Tianshan Mountain[J].Chinese Journal of Ecology,2005,24(5):488-492.(in Chinese)

[6] 王兵,魏江生,胡文.中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估[J].生态学报,2011,37(7):1936-1945.
WANG B,WEI J S,HU W.The assessment of forest ecosystem services evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China[J].Acta Ecologica Sinica,2011,37(7):1936-1945.(in Chinese)

[7] 靳芳,鲁绍伟,余新晓,等.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].应用生态学报,2005,16(8):1531-1536.
ZHAN F,LU S W,YU X X,*et al*.Forest ecosystem service and its evaluation in China[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(8):1531-1536.(in Chinese)

[8] 黄继红,郭仲军,刘永红,等.陕西省宁陕县天然林保护工程生态效益价值评估[J].西北林学院学报,2016,31(1):298-303.
HUANG J H,GUO Z J,LIU Y H,*et al*.Assessment on ecological benefits of natural forest protection project in Ningshan county,Shaanxi[J].Journal of North west Forestry University,2016,31(1):298-303.(in Chinese)

[9] 王兵,马向前,郭浩,等.中国杉木林的生态系统服务价值评估[J].林业科学,2009,45(4):124-130.
WANG B,MA X Q,GUO H,*et al*.Evaluation of the Chinese fir forest ecosystem services value[J].Scientia Silvae Sinicae,2009,45(4):124-130.(in Chinese)

[10] 张永利,杨锋伟,王兵,等.中国森林生态系统服务功能研究[M].北京:科学出版社,2010.

[11] 刘承江,张恒庆.森林生态服务功能价值评估方法研究[J].辽宁林业科技,2008(6):33-35.

[12] 胡海胜.庐山自然保护区森林生态系统服务价值评估[J].资源科学,2007,29(5):28-36.

[13] 李长荣.武陵源自然保护区森林生态系统服务功能及价值评估[J].林业科学,2004,40(2):16-20.
LI C R.Forest ecosystem services and their valuation in Wulingyuan Natural Reserve[J].Scientia Silvae Sinicae,2004,40(2):16-20.(in Chinese)

[14] 施晓清,赵景柱,吴钢,等.生态系统的净化服务及其价值研究[J].应用生态学报,2001,12(6):908-912.
SHI X Q,ZHAO J Z,WU G,*et al*.Purifying service of ecosystem and its value[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2001,12(6):908-912.(in Chinese)

[15] 谢高地,张钇锂,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):47-53.

[16] 孙美欧,孙虎.凉水自然保护区森林生态系统生态服务功能评估[J].森林工程,2016,32(5):21-26.
SUN M O,SUN H.Assessment on forest ecosystem services in Liangshui National Nature Reserve[J].Forest Engineering,2016,32(5):21-26.

[17] 毛学刚,焦裕欣,张颖.基于BEPS模型的东北三省森林生态系统NPP模拟[J].森林工程,2017,33(1):22-27.
MAO X G,JIAO Y X,ZHANG Y.NPP simulation of forest ecosystem in three northeast provinces based on BEPS model[J].Forest Engineering,2017,33(1):22-27.

[18] 王兵,杨锋伟,郭浩,等.森林生态系统服务功能评估规范(LY/T1721-2008)[S].北京:中国标准出版社,2008.
WANG B,YANG F W,GUO H,*et al*.specifications for assessment of forest ecosystem services in china(LY/T1721-2008)[S].BeiJing:Standards Press of China,2008.(in Chinese)

[19] 刘华,佘春燕,白志强,等.喀纳斯保护区西伯利亚云杉树干液流动态变化[J].南京林业大学学报,2016,40(1):65-72.
LIU H,SHE C Y,BAI Z Q,*et al*.Dynamic changes of trunk sap flow of *Picea obovata* in the Kanas National Nature Reserve[J].Journal of Nanjing Forestry University,2016,40(1):65-72.(in Chinese)

[20] 常直海,李心田,孙继坤,等.新疆山地森林土壤[M].乌鲁木齐市:新疆科技卫生出版社,1995.

(卷终)