

# 新疆额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木的热值

张和钰<sup>1,2</sup>, 周华荣<sup>1,2</sup>, 叶琴<sup>1,2</sup>, 温彬<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** [目的] 分析额尔齐斯河流域典型地区植物种类、器官和物种多样性对植物热值的影响及其相关性, 为额尔齐斯河流域植被的生态恢复及生物多样性保护提供科学依据。[方法] 通过对额尔齐斯河流域典型地区主要灌木群落进行调查, 测定优势种灌木热值。[结果] 研究区优势种灌木全株热值范围为 15.20(心叶驼绒藜)~19.60 MJ/kg(圆叶桦), 平均值为 17.32 MJ/kg, 该值与全球陆生植物平均热值相近; 优势种灌木的全株热值顺序为: 圆叶桦(*Betula rotundifolia*) > 金丝桃叶绣线菊(*Spiraea hypericifolia*) > 欧亚圆柏(*Juniperus Sabina*) > 西伯利亚刺柏(*Juniperus sibirica*) > 欧亚绣线菊(*Spiraea media*) > 金露梅(*Potentilla fruticosa*) > 尖刺蔷薇(*Rosa oxycantha*) > 苦豆子(*Sophora alopecuroides*) > 淡枝沙拐枣(*Calligonum leucocladum*) > 驼绒藜(*Krascheninnikovia ceratoides*) > 红果沙拐枣(*Calligonum rubicundum*) > 怪柳(*Tamarix chinensis*) > 梭梭(*Haloxylon ammodendron*) > 心叶驼绒藜(*Krascheninnikovia ewersmannia*); 热值与物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数呈正相关, 与优势度指数呈负相关, 但显著性非常差; 研究区优势种灌木热值高于或与当前主要的生物质原材料相近。[结论] 额尔齐斯河流域典型地区优势种的植物热值较高, 具有作为能源植物的潜力, 可以为植被恢复和水土保持的先锋植物的选择参考, 优势种的热值受植物种类、器官的影响, 热值与物种多样性相关性差。

**关键词:** 热值; 多样性; 优势种灌木; 额尔齐斯河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)05-0299-07

中图分类号: Q947.5

**文献参数:** 张和钰, 周华荣, 叶琴, 等. 新疆额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木的热值[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 299-305. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.054

## Caloric Values of Dominant Plants in Typical Areas of Irtys River Watershed in Xinjiang Region

ZHANG Heyu<sup>1,2</sup>, ZHOU Huarong<sup>1,2</sup>, YE Qin<sup>1,2</sup>, WEN Bin<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi, Xinjiang Uygur Autonomous Region 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** [Objective] To understand dominant shrub caloric value characteristics and study relationship between caloric value and species diversity index, in order to provide scientific basis for vegetation ecological restoration and biodiversity protection in typical areas of the Irtys river watershed in Xinjiang Uygur Autonomous Region. [Methods] We determined the caloric value, calculated the diversity index of dominant species and analyzed the correlation between calorific value and diversity index. [Results] The caloric value ranged from 15.20 to 19.60 MJ/kg across all species, with a mean value of 17.32 MJ/kg, which is close to that of worldwide terrestrial plants. The caloric values of the dominant shrubs were in an order of *Betula rotundifolia* > *Spiraea hypericifolia* > *Juniperus Sabina* > *Juniperus sibirica* > *Spiraea media* > *Potentilla fruticosa* > *Rosa oxycantha* > *Sophora alopecuroides* > *Calligonum leucocladum* > *Krascheninnikovia ceratoides* > *Calligonum rubicundum* > *Tamarix chinensis* > *Haloxylon ammodendron* > *Krascheninnikovia ewersmannia*. Calorific value was positively correlated with species diversity index, richness index and evenness index, and negatively correlated with dominance index, but not significantly. The calorific value of the domi-

收稿日期: 2015-11-12

修回日期: 2016-02-19

资助项目: 国家自然科学基金项目“干旱区灌木地景观地理学研究”(41171157)

第一作者: 张和钰(1990—), 男(汉族), 福建省漳州市人, 硕士研究生, 研究方向为植被生态和环境影响评价。E-mail: 1099853770@qq.com。

通讯作者: 周华荣(1960—), 男(汉族), 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事干旱区景观生态和环境影响评价研究工作。E-mail: zhouhr@ms.xjb.ac.cn。

nant species in the study area is higher than that of the primary biomass raw material, which indicates that the shrub has a high calorific value. [Conclusion] The calorific value of dominant species of plants is higher, and has the potential as an energy plant. The dominant species can be used as a reference of pioneer plants for the vegetation restoration and soil and water conservation. The calorific value of dominant species is influenced by plant species and organs, and the correlation between caloric value and species diversity is poor.

**Keywords:** caloric value; diversity; dominant shrub; the Irtysh river watershed of Xinjiang Uygur Autonomous Region

植物热值是指植物干物质完全燃烧后所释放出来的能量值,是反映绿色植物光合作用固定光能的能力和评价植物第一性生产力的重要指标,是评价植物营养价值高低及植物能用潜力的重要内容<sup>[1]</sup>。同时热值可作为植物生长状况的一个有效的指标,热值的高低体现了植物对环境的适应程度,各种环境因子对植物生长的影响,可以从热值的变化上反映出来,所以对植物热值的研究具有重要的意义<sup>[2]</sup>。

国外对植物热值的研究已有数十年的历史。1934年 Long<sup>[3]</sup>首先测定了向日葵不同部位叶片热值,1960年 Golley<sup>[4]</sup>应用氧弹式热量计测定了从热带雨林至极地泰加林主要植物群落中优势植物种类的平均热值,此后,对植物热值的研究被越来越多的学者重视。Singh等<sup>[5]</sup>和龙世友等<sup>[6]</sup>分别对个体水平、种群水平和群落水平对生态系统中物质的热值高低及热值的变化机制等进行了大量研究;Miller等<sup>[7]</sup>和 Lemenih等<sup>[8]</sup>则对原生态系统、森林生态系统、湖泊生态系统中的个体、种群及群落的能值及能量流动循环等相关领域进行研究。中国在这方面的研究起步较晚,到20世纪80年代初才有零星的报道,具有代表性的是1978年杨福囤等<sup>[9]</sup>对草甸常见植物的热值的报道。研究表明植物种类、养分含量、组织器官和物候期等植物内在因素以及土壤类型、光照强度、日照时数等环境因素均是影响热值的主要原因<sup>[10]</sup>。随着人们对生态环境的关注程度日益提高,对灌木植物的热值研究也逐渐开展。于应文等<sup>[11]</sup>对金露梅(*Potentilla fruticosa*)的热值及其季节动态进行研究,并提出金露梅整株热值在整个生长季变化的线型方程 $Y=1\ 058.18-38.636\ T(r=-0.958, Y$ 为热值,为月平均气温)。李宏<sup>[12]</sup>从研究植物热值出发,在前人对中国植物热值研究的基础上,选择了新疆克拉玛依地区的胡杨、俄罗斯杨、紫穗槐、柠条这4种乔灌木作为研究对象,通过研究其热值和化学组分变化,试图找出4种乔灌木热值的变化规律。金则新等<sup>[13]</sup>分别于2006年7、10月和2007年4月,对全光照、林缘和林下3种光环境下夏蜡梅及群落中35种主要植物叶的灰分含量和去灰分热值进行测定,不同

光环境下夏蜡梅叶灰分含量的大小顺序是:全光照>林缘>林下,群落各层植物的灰分含量大小顺序为:草本层>灌木层>间层>乔木层,夏蜡梅灰分含量略低于灌木层灰分含量的平均值;各层次植物平均去灰分热值大小顺序为:乔木层>灌木层>草本层>间层,夏蜡梅平均去灰分热值低于间层。多数植物不同季节叶的灰分含量、去灰分热值均以10月最高。

额尔齐斯河流域(以下简称额河流域)是发源于中国境内的一条重要的国际性河流。由于额河流域辽阔,自然条件复杂,位于新疆生态功能区划中的阿尔泰—准噶尔西部山地温凉森林、草原生态区,额尔齐斯河—乌伦古河草原牧业、灌溉农业生态亚区,主要的生态服务功能为生物多样性维护、水土保持等,植被类型具有多样性,对于灌木地的研究具有极高的意义。本文通过对额河流域典型地区主要灌木群落的调查,测定优势种灌木热值,研究植物种类、器官和物种多样性对植物热值的影响及其相关性。既丰富了国内关于灌木植物热值特征的研究,同时通过灌木热值的高低反映物种对环境的适应程度和对灌木群落的多样性特征的研究,为以后该流域植被恢复和水土保持中先锋物种的选择提供科学依据。目前,额河流域已经开展了一些关于植被生态的研究,包括森林类型划分和对天然林生物多样性研究;植被景观格局与生物多样性空间变化规律研究;天然林灌木层生物量分布特征研究;利用归一化植被指数,揭示植被变化情况;湿地生态系统健康评价研究等<sup>[14-17]</sup>。但是对该流域灌木植被进行热值研究还未见报道。

## 1 研究区概况

额尔齐斯河全长4 248 km,流域面积 $1.64 \times 10^6$  km<sup>2</sup>,其中中国境内的全长633 km,流域面积5.273 km<sup>2</sup>。流域范围为85°31′37″—91°1′15″E,44°59′35″—49°10′45″N。土壤类型主要有草甸土、暗草甸土、林冠草甸土、灌溉耕种草甸土、淡棕钙土、草甸棕钙土、草甸沼泽土、淤泥沼泽土、半固定风沙土等<sup>[18]</sup>。

气候具有典型的干旱气候特征,较为干燥。年平均气温4.2℃,年均无霜期150 d,年均日照824.5 h,年降水100 mm,年平均蒸发2 000 mm。夏季多偏西风,冬季盛偏东风,大于8级大风日年均可达18 d<sup>[19]</sup>。

研究区灌木植被类型主要由荒漠和灌丛组成(表1)。荒漠群落包括:灌木荒漠、小半乔木荒漠、半灌木荒漠、多汁木本盐柴类荒漠。灌木荒漠由中温超旱生灌木所形成的植物群落,以硬果沙拐枣群系为主要的代表群系;小半乔木、半灌木、小半灌木荒漠主要的群系有梭梭柴群系、优若藜(驼绒藜)群系、小蒿群系、盐生假木贼群系、小蓬群系等;多汁木本盐柴类荒漠以

高度耐盐(喜盐)的多汁灌木或者小灌木组成,主要的群系有盐爪爪群系、囊果碱蓬群系等。灌丛主要以杜加依灌丛为主,建群植物均为耐盐潜水旱生灌木,主要的群系铃铛刺群系、多枝怪柳群系。本文以额河流域的喀纳斯地区、哈巴河县、布尔津县、阿勒泰市、北屯市和富蕴县等典型地区的山地灌丛、平原荒漠和河岸低地灌丛为主要研究对象。

表1 研究区灌木群落类型<sup>[20]</sup>

植被类型	群落序号	群落类型
灌丛	I	欧亚圆柏+西伯利亚刺柏-阿尔泰羽衣草( <i>Juniperus Sabina</i> + <i>Juniperus sibirica</i> - <i>Alchemilla pinguis</i> )
	II	圆叶桦+金露梅-苔草( <i>Betula rotundifolia</i> + <i>Potentilla fruticosa</i> - <i>Carex tristachya</i> )
	III	三蕊柳+沙棘-博洛塔绢蒿( <i>Salix nipponica</i> + <i>Hippophae rhamnoides</i> - <i>Artemisia boratalensis</i> )
	IV	欧亚绣线菊+西伯利亚接骨木-苔草( <i>Spiraea media</i> + <i>Sambucus sibirica</i> - <i>Carex tristachya</i> )
	V	金丝桃叶绣线菊+尖刺蔷薇-大麻( <i>Spiraea hypericifolia</i> + <i>Rosa oxyacantha</i> - <i>Cannabis sativa</i> )
	VI	怪柳+西伯利亚白刺-鞑靼滨藜( <i>Tamarix chinensis</i> + <i>Nitraria sibirica</i> - <i>Atriplex tatarica</i> )
	VII	铃铛刺+苦豆子-白茎盐生草( <i>Halimodendron halodendron</i> + <i>Sophora alopecuroides</i> - <i>Halogeton arachnoideus</i> )
荒漠	VIII	淡枝沙拐枣+驼绒藜-沙蓬( <i>Calligonum leucocladum</i> + <i>Ceratoides latens</i> - <i>Agriophyllum squarrosum</i> )
	IX	红果沙拐枣+梭梭-角果藜( <i>Calligonum rubicundum</i> + <i>Haloxylon ammodendron</i> - <i>Ceratocarpus arenarius</i> )

## 2 材料和方法

### 2.1 野外样地调查

2014年8—9月以额河为采样样线,分别在流域内的喀纳斯地区、哈巴河县、布尔津县、阿勒泰市、北屯市和富蕴县等额河流域典型地区进行常规群落学调查。根据不同的地形、土壤和植被类型采用典型取样法设置了55个样方。灌木样方面积选择10 m×10 m,并在每个样方中心和四角共设置5个1 m×1 m的草本植物调查样方。在样方内进行物种记录及数量统计,植株的基本特征调查包括:高度、基径、盖度、冠幅、株数等。进行样方调查的同时,使用GPS进行定位,并记录生境、海拔、坡度、坡向、土壤类型等生境因子。采用样方收获法对生物量进行测量。

### 2.2 群落的划分及群落物种多样性测定

在统计各样方中不同灌木和草本盖度、密度及高度的基础上,计算样方中灌木植物的重要值,公式如下:

物种重要值=

$$(\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 3$$

在重要值矩阵的基础上,采用双向指示种分析(two-way indicator species analysis, TWINSpan)中的正分析,利用WinTWINS 2.3软件对样地及灌木物种进行聚类。TWINSpan分类将研究区的灌木物种划分为灌丛(I—VII)和荒漠(VIII—IX)。

依据物种多样性指数引用的广泛性及其对群落物种多样性状况的反映的情况,本文综合前人研究成果<sup>[21-23]</sup>,选用Simpson指数(D)、Shannon-Wiener指数(H)、Pielou均匀度指数(J)、Simpson优势度指数(C)、Margalef丰富度指数(M),在野外样方调查的基础上,计算群落的物种多样性。

### 2.3 样品采集

对样地内的欧亚圆柏、西伯利亚刺柏、圆叶桦、金露梅、欧亚绣线菊、金丝桃叶绣线菊、尖刺蔷薇、怪柳、铃铛刺、苦豆子、梭梭、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣、驼绒藜、心叶驼绒藜等群落优势种灌木进行分物种分器官取样(根系取样土壤深度为50 cm)。每种植物设3个重复,均选择健康的植株,同时对地上部分进行根、干、枝、叶等的分离,将3株植物的各器官进行混合,带回实验室备用。

以上采集的样品按物种、分器官称鲜重后,105℃杀青0.5 h,之后70℃烘干至恒重。用粉碎机粉碎后过100目筛,样品烘干至恒重后置于干燥器中备用。

### 2.4 热值测定

用热量计法测定植物干重热值,仪器采用河南鹤壁先锋仪器仪表有限公司生产的ZDHW-5000C全自动量热仪测定。

试验过程中用空调控制室温在20℃左右,试验过程中避免开门和窗户。每个样品重复测定3次,保证充分燃烧的重复值相差不超过0.2 kJ/g,取平均值。每次测定前用苯甲酸进行标定。

## 2.5 数据处理和分析

全株热值(地上)=(叶片热值×叶片重量+茎秆热值×茎秆重量+枝热值×枝重量)/(叶片重量+茎秆重量+枝重量)<sup>[24]</sup>。

采用 SPSS 软件对优势种灌木各个器官及全株的热值进行单因素方差分析,对多样性指数和热值之间的相关性进行相关性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 优势种灌木热值特征

由表 2 可知,研究区优势灌木植物的全株平均热值为 17.32 MJ/kg,最高值为 19.60 MJ/kg(圆叶桦),最小值为 15.20 MJ/kg(心叶驼绒藜)。全株热值排序为:圆叶桦>金丝桃叶绣线菊>欧亚圆柏>西伯利亚刺柏>欧亚绣线菊>金露梅>尖刺蔷薇>苦豆子>淡枝沙拐枣>驼绒藜>红果沙拐枣>怪柳>梭梭>心叶驼绒藜。

从科的角度上看,柏科(欧亚圆柏、西伯利亚刺柏)、蔷薇科(金露梅、欧亚绣线菊、金丝桃叶绣线菊、尖刺蔷薇)和豆科(苦豆子、铃铛刺)的热值均高于藜科(梭梭、驼绒藜、心叶驼绒藜)和蓼科(淡枝沙拐枣、红果沙拐枣)。

从立地条件来看,分布在山地的灌木(欧亚圆柏、西伯利亚刺柏、圆叶桦、金露梅、欧亚绣线菊、金丝桃叶绣线菊、尖刺蔷薇)热值比分布在河岸低地(怪柳、苦豆子、铃铛刺)和荒漠(梭梭、淡枝沙拐枣、红果沙拐

枣、驼绒藜、心叶驼绒藜)的热值高,荒漠生境的热值相对最低。

单因素方差分析表明,圆叶桦热值显著高于其他灌木物种的热值,欧亚圆柏、西伯利亚刺柏和金丝桃叶绣线菊热值显著高于金露梅、欧亚绣线菊、尖刺蔷薇、西伯利亚白刺、怪柳、铃铛刺、苦豆子、梭梭、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣、驼绒藜、心叶驼绒藜。

通过对研究区优势种灌木根、茎、枝和叶热值平均数进行比较可知(表 2),各器官之间热值顺序为:枝>茎>叶>根。其中根在热值测定的优势种灌木中始终显著低于其他器官的热值(怪柳和梭梭除外)。圆叶桦、尖刺蔷薇、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣和心叶驼绒藜的枝、茎和叶的热值顺序为:枝>茎>叶,并且它们之间差异显著;欧亚圆柏、西伯利亚刺柏、欧亚绣线菊和苦豆子的枝、茎和叶的热值大小为叶热值显著高于茎、枝,茎和枝的热值没有显著差异;梭梭的叶、枝、茎和根的热值大小顺序为:茎>枝>根>叶,枝和茎热值显著高于叶和根,枝和茎的热值差异不明显;怪柳的各器官热值大小顺序为:枝>茎>根>叶,各器官间的热值差异显著。

由于果实的数据缺失较多在器官热值比较中,果实不参与比较。由于果实的数据缺失较多在器官热值比较中,果实不参与比较。

### 3.2 优势种灌木所在样地物种多样性

根据野外样方调查,优势种所在样方物种群落特征如表 3 所示。

表 2 优势种灌木的热值特征

立地条件	灌木种类	MJ/kg					
		果	叶	枝	茎	根	全株
山地	欧亚圆柏	18.71±0.26	20.72±0.88 <sup>Aa</sup>	17.88±0.40 <sup>Db</sup>	17.42±0.94 <sup>Cb</sup>	16.58±0.20 <sup>Bc</sup>	18.68±1.03 <sup>B</sup>
	西伯利亚刺柏	20.10±1.77	19.77±2.49 <sup>Ba</sup>	17.17±0.47 <sup>Eb</sup>	17.21±0.94 <sup>Cb</sup>	16.24±2.04 <sup>Cc</sup>	18.5±1.376 <sup>B</sup>
	圆叶桦		18.66±0.21 <sup>Cc</sup>	20.88±0.31 <sup>Aa</sup>	19.25±0.43 <sup>Ab</sup>	16.32±0.24 <sup>Cd</sup>	19.60±0.86 <sup>A</sup>
	金露梅	16.51±0.43	17.45±0.19 <sup>Db</sup>	17.97±0.24 <sup>Db</sup>	18.06±0.36 <sup>Ba</sup>	16.91±1.43 <sup>Bc</sup>	17.49±0.52 <sup>C</sup>
	欧亚绣线菊		18.07±0.80 <sup>Ca</sup>	17.75±0.05 <sup>Db</sup>	17.88±0.47 <sup>Cb</sup>	17.67±0.51 <sup>Ab</sup>	17.90±0.11 <sup>C</sup>
	金丝桃叶绣线菊		18.59±0.74 <sup>Cb</sup>	19.15±0.66 <sup>Ba</sup>	18.60±0.40 <sup>Bb</sup>	17.89±0.14 <sup>Ac</sup>	18.78±0.25 <sup>B</sup>
	尖刺蔷薇	16.61±0.22	16.88±0.42 <sup>Ec</sup>	17.98±0.43 <sup>Da</sup>	17.48±0.46 <sup>Cb</sup>	16.82±0.62 <sup>Bc</sup>	17.44±0.49 <sup>C</sup>
河岸低地	怪柳		13.12±1.18 <sup>Hd</sup>	18.29±0.45 <sup>Ca</sup>	17.37±0.71 <sup>Cb</sup>	16.31±0.64 <sup>Cc</sup>	16.26±0.29 <sup>D</sup>
	铃铛	16.92±0.41	16.99±0.57 <sup>Eb</sup>	17.24±0.46 <sup>Da</sup>	17.36±0.66 <sup>Ca</sup>	15.45±1.80 <sup>Dc</sup>	17.13±0.17 <sup>C</sup>
	苦豆子	18.07±0.29	17.68±0.49 <sup>Da</sup>	17.09±0.33 <sup>Eb</sup>	16.75±0.31 <sup>Dc</sup>	16.77±0.91 <sup>Bc</sup>	17.40±0.48 <sup>C</sup>
	梭梭		13.26±1.64 <sup>Hc</sup>	17.60±0.66 <sup>Da</sup>	17.77±0.49 <sup>Ca</sup>	16.25±1.26 <sup>Cb</sup>	16.21±1.97 <sup>D</sup>
荒漠	淡枝沙拐枣		15.12±0.64 <sup>Fe</sup>	18.48±0.26 <sup>Ca</sup>	16.45±1.29 <sup>Db</sup>	14.35±0.33 <sup>Ed</sup>	16.68±1.20 <sup>D</sup>
	红果沙拐枣		14.65±0.12 <sup>Gc</sup>	17.64±0.53 <sup>Da</sup>	16.92±0.89 <sup>Db</sup>	14.56±1.73 <sup>Ec</sup>	16.41±1.17 <sup>D</sup>
	驼绒藜		16.56±1.10 <sup>Eb</sup>	17.78±0.48 <sup>Da</sup>	15.12±0.20 <sup>Ec</sup>	14.81±0.36 <sup>Ad</sup>	16.48±0.61 <sup>D</sup>
	心叶驼绒藜		14.11±0.65 <sup>Gc</sup>	16.71±0.24 <sup>Ea</sup>	14.77±1.20 <sup>Fb</sup>	13.31±1.53 <sup>Fd</sup>	15.20±1.01 <sup>E</sup>
平均			16.78	17.77	17.23	16.15	17.35

注:数值为平均值±标准差。不同大写字母表示不同植物种之间在  $p<0.05$  水平上差异显著;不同小写字母表示同种植物不同器官之间在  $p<0.05$  水平上差异显著。

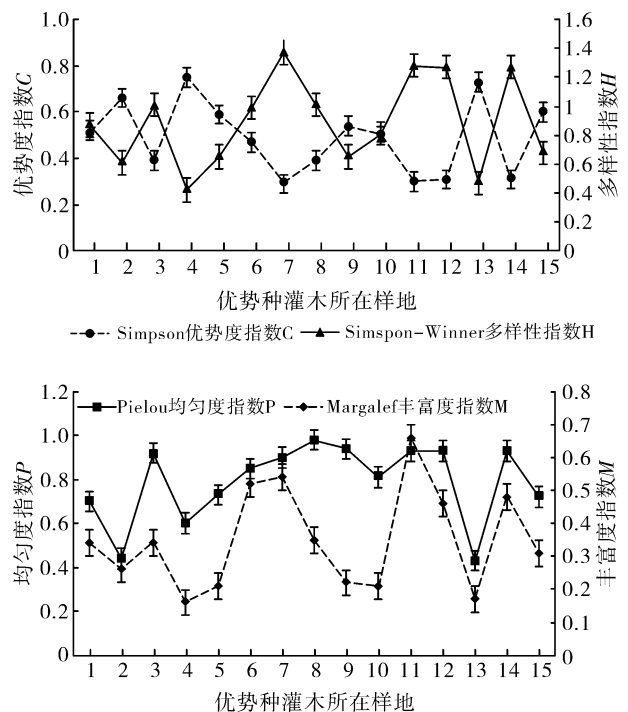
表 3 优势种灌木所在群落的群落特征

群落优势种	海拔/m	主要伴生种	盖度/%	总地上生物量/ (g · m <sup>-2</sup> )
欧亚圆柏	2 112	小叶忍冬、尖刺蔷薇、欧亚绣线菊、刺醋栗、苔草、阿尔泰羽衣草	83.0	228.3
西伯利亚刺柏	2 000	金丝桃叶绣线菊、尖刺蔷薇、黑果小檗	72.0	210.3
圆叶桦	1 754	灌木柳、尖刺蔷薇、高山地榆	82.5	268.4
金露梅	1 650	尖刺蔷薇	64.0	178.1
欧亚绣线菊	1 500	欧亚圆柏、新疆忍冬、阿尔泰忍冬、尖刺蔷薇、刺蔷薇、树莓、老鹳草、龙芽草、蒿蓄	89.4	197.4
金丝桃叶绣线菊	1 380	黑果小檗、西伯利亚小檗、绿叶木蓼、尖刺蔷薇、龙蒿、薊	77.5	259.4
尖刺蔷薇	1 000	欧亚圆柏、沼泽桦、黑果柃子、黑茶藨子、中麻黄、欧亚绣线菊、西伯利亚刺柏、少花柃子、柃子、芳香新塔花、白茎蓝刺头、野艾蒿	86.2	468.5
柃柳	780	铃铛刺、疏花蔷薇、驼绒藜、猪毛菜、龙蒿、尖翅地肤、大赖草	68.3	189.6
铃铛刺	750	柃柳、淡枝沙拐枣、吐兰柳、苦豆子、猪毛菜、骆驼蓬	57.5	200.4
苦豆子	420	铃铛刺、柃柳、西伯利亚白刺、短喙粉苞菊、光苞独行菜、倒披针叶虫实	55.0	164.8
梭梭	700	驼绒藜、心叶驼绒藜、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣、西伯利亚白刺、羽毛三芒草、大果粉苞苣、白茎蓝刺头、黑沙蒿	44.2	221.3
淡枝沙拐枣	434	驼绒藜、心叶驼绒藜、红果沙拐枣、囊果碱蓬、尖叶盐爪爪、角果藜、黑沙蒿	40.0	108.6
红果沙拐枣	500	梭梭、驼绒藜、角果藜	36.7	85.2
驼绒藜	475	铃铛刺、梭梭、淡枝沙拐枣、羽毛三芒草、角果藜、猪毛菜	41.6	118.7
心叶驼绒藜	400	西伯利亚白刺、苦豆子、梭梭、木蓼、猪毛菜、角果藜	42.9	93.1

图 1 显示了额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木所在样地物种多样测度指数的分布情况。从图 1 中可以看出, Shannon-Wiener 指数 ( $H$ )、Pielous 均匀度指数 ( $J$ )、Simpson 优势度指数 ( $C$ )、Margalef 丰富度指数 ( $M$ ) 变化幅度较大, 说明研究区优势种灌木所在样地的物种多样性变化比较大。

由图 1 可知, 优势种灌木所在样地的物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数的变化趋势基本一致, 优势度指数则与物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数呈明显的负相关的关系。这是因为物种丰富度高的群落其多样性指数和均匀度指数也高, 而优势度指数低, 相反的当群落有较高的生态优势度指数时, 优势种的个体数会显著多于其他一般种, 从而群落的多样性、丰富度和均匀度指数就相应的降低了。如以金露梅和红果沙拐枣为优势种的样地群落优势度指数较高, 从而对应的多样性指数、丰富度指数和均匀度指数较低; 相反的, 以圆叶桦、尖刺蔷薇和梭梭为优势种的样地群落优势度指数较低, 对应的多样性指数、丰富度指数和均匀度指数较高。

其中尖刺蔷薇和梭梭所在样方群落多样性最高, 这是因为尖刺蔷薇和梭梭所在的样方群落 Shannon-Wiener 指数 ( $H$ )、Pielous 均匀度指数 ( $J$ ) 和 Margalef 丰富度指数 ( $M$ ) 相对于其他优势种所在样方的



注: 图中横坐标轴数字分别代表: 1 欧亚圆柏; 2 西伯利亚刺柏; 3 圆叶桦; 4 金露梅; 5 欧亚绣线菊; 6 金丝桃叶绣线菊; 7 尖刺蔷薇; 8 柃柳; 9 铃铛刺; 10 苦豆子; 11 梭梭; 12 淡枝沙拐枣; 13 红果沙拐枣; 14 驼绒藜; 15 心叶驼绒藜

图 1 研究区优势种灌木所在样地的物种多样性指数、优势度指数、均匀度指数和丰富度指数变化

群落高,而 Simpson 优势度指数( $C$ )比其他的低,这表明尖刺蔷薇和梭梭所在的样方群落物种相对丰富,物种分布均匀,优势种没有成片分布优势度低,群落的物种多样性高。相反的,金露梅和红果沙拐枣所在样方的群落多样性最低,这是因为他们所在的样方群落优势种成片分布,优势种的优势度高,从而群落内物种单一,分布不均匀,群落的多样性最低。

### 3.3 优势种灌木热值与生物多样性的相关关系

为了探讨热值与群落多样性之间的关系,本文分析了优势种灌木热值与优势种灌木所在样方群落。由表 4 可知,多样性指数、均匀度指数、多样性指数和丰富度指数之间均呈极显著相关,表明这 4 个指数能从不同侧面反映植物群落物种多样性特征。其中均匀度指数和丰富度指数之间呈极显著的正相关关系,与优势度指数呈极显著的负相关关系。通过对热值与多样性各个指数的相关性分析可知,热值与多样性指数、均匀度指数和丰富度指数呈正相关,与优势度指数呈负相关关系,热值与多样性指数和均匀度指数的相关系数为 0.1,与丰富度指数的相关系数为 0.04,与优势度指数的相关性系数为-0.1,这说明热值与多样性指数各个测度指数间的相关性显著性非常差,群落的多样性的高低对群落优势种热值的影响不显著,同样的,群落中优势种热值的高低,对群落的物种多样性的影响也甚微。这进一步的说明优势种的热值与群落的多样性特征并没有直接的相关性。

表 4 热值与多样性测定指数之间相关关系分析

项目	热值	多样性指数	均匀度指数	优势度指数	丰富度指数
热值	1				
多样性指数	0.091	1			
均匀度指数	0.110	0.846**	1		
优势度指数	-0.101	-0.985**	-0.915**	1	
丰富度指数	0.044	0.920**	0.716**	-0.871**	1

注:\*\*  $p < 0.01$  表明相关性非常显著。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

对研究区优势种灌木热值特征研究发现,其中圆叶桦热值最高,柏科、蔷薇科和豆科的热值均高于藜科和蓼科。这说明物种之间存在热值差异,这主要由于植物种类不同,从而决定了其本身生态学特征和遗传特性的不同,使其具有不同的生长发育节律和对环境的通化能力,从而反映到植物热值含量的差异,是植物对环境因素的一种适应能力的表现。这与高凯

和郭继勋等<sup>[24-26]</sup>对羊草典型草原的优势种植物的研究结果相类似。圆叶桦热值最高,其原因可能是与其木质化程度高具有一定关系。这是因为本质化程度高则植物体内含的碳元素则比较高,而碳元素是植物体内主要参与燃烧的元素。同时本文研究发现本质化程度较高的柏科和蔷薇科的植物热值也较高,这进一步说明了植物木质化程度高低对热值具有一定的影响。同时发现豆科的灌木热值也较高,这与豆科植物脂肪比较高有关系,脂肪达热值高到 38.9 kJ/g。这与高凯对浑善达克沙地 14 种植物热值特征的研究结果是相一致的<sup>[23]</sup>。

通过对不同种灌木器官的热值对比发现,植物体器官热值之间也存在着差异。从植物解剖学和植物生理学角度看,叶能合成高能有机物,含有较高的如蛋白质和脂肪等物质的高能化合物,是植物体生理活动最活跃的器官,热值一般较高<sup>[27]</sup>,而根、茎、枝为支持器官,含较多的纤维素,热值叶较低,其中根里叶片最远,主要负责吸收矿质养分和水分的功能,所以根的热值最低<sup>[27]</sup>。但是本研究显示研究区优势种的各器官的平均值大小顺序为:枝>茎>叶>根,叶的热值偏低。其中怪柳、梭梭、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣和心叶驼绒藜叶的热值很低,怪柳和梭梭的叶的热值甚至比根的热值还低,这可能与这些灌木所处的生境有关。这是因为这些灌木物种大多分布在荒漠和盐碱化比较严重的地方,由于环境的胁迫,灌木植物叶片不怎么发育,在叶片合成的高能有机物一般不储存在叶片,而是转移到枝茎中去,从而应该环境的胁迫更好的适应环境,所以相对的叶的热值就较低。这与刘祖祺、林鹏<sup>[28-29]</sup>等的研究结果是相一致。

立地条件的不同,植物热值会出现变化。本文通过测定分布在不同生境的优势种灌木发现,分布在山地的优势种灌木比分布在河岸低地和荒漠的热值高。这说明热值的高低与生境条件具有一定的关系,与任海等<sup>[10]</sup>的研究相符合。其主要原因是由于立地条件的不同,植物群落内部逐步发生着变化,这种变化主要体现在群落内植物种类组成和微生境的改变,这会改变生境内的有机质来源及积累和分解过程,进而影响植物各个构件有机物的质量及组成<sup>[30]</sup>。研究发现处于荒漠生境的植物如梭梭、淡枝沙拐枣、红果沙拐枣和心叶驼绒藜叶热值相对于水分充足的山地和河岸生境的植物偏低,但是相差不大。这是由于当植物处于胁迫环境时,植物的生长发育会受到胁迫环境的抑制,表现为热值下降、热值偏低。但是,在长期植物与环境共同进化过程中植物,植物往往会以较高的热值表现出对植物的适应。

本文测定的额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木的平均干重热值为 17.35 MJ/kg,其他学者在对浑善达克沙地 14 种植物测定过程中发现其干重热值为 18.80 MJ/kg<sup>[24]</sup>,还有学者对内蒙古羊草原主要优势种热值测定过程中发现平均干重热值为 18.76 MJ/kg<sup>[26]</sup>。通过对比表明不同的生境植物的干重热值不同,进一步证实了环境因素对植物干重热值的影响。物种的适应性对植物的热值的高低也有影响。

热值是能源植物评价和筛选过程中的重要参考标准之一。本文测定的额尔齐斯河流域典型地区优势种灌木的平均干重热值为 17.35 MJ/kg 与世界陆地植物平均热值(17.78 MJ/kg)<sup>[21]</sup>相近。当前占主导地位的生物质能源供给材料热值为柳枝稷:18.698 MJ/kg,玉米秸秆:16.648 MJ/kg,王草:17.688 MJ/kg<sup>[31-32]</sup>,所测的研究区优势种灌木均接近各类能源植物供给料的热值,从而可以看出,研究区优势种灌木在一定程度上具有成为生物质能源的潜力。热值的高低体现了植物的能量代谢水平,可作为植物生长状况的一个有效的指标。热值越高表示植物的能量代谢水平高,生长状况越好,对生长的适应能力越强,而在植被恢复和水土保持中需要对环境适应力强、生长状况好的植物作为先锋植物。本研究所测的优势种灌木都具有较高的热值,可以为以后该流域植被恢复和水土保持中先锋物种的选择提供考。

#### 4.2 结论

研究区优势种灌木全株热值范围为:15.20(心叶驼绒藜)~19.60 MJ/kg(圆叶桦),平均值为 17.32 MJ/kg,该值与全球陆生植物平均热值相近,所测的研究区优势种灌木均接近各类能源植物供给料的热值,从而可以看出研究区优势种灌木在一定程度上具有成为生物质能源的潜力。

灌木物种科间热值存在差异,研究发现,研究区优势种灌木柏科、蔷薇科和豆科的热值均高于藜科和蓼科;优势种灌木各器官热值不同,本文研究显示研究区优势种的各器官的平均值大小顺序为:枝>茎>叶>根,叶的热值偏低;立地条件的不同,植物热值会出现变化,通过测定分布在不同生境的优势种灌木发现,分布在山地的优势种灌木比分布在河岸低地和荒漠的热值高。

通过对热值与多样性各个指数的相关性分析可知,热值与多样性指数、均匀度指数和丰富度指数呈正相关,与优势度指数呈负相关关系,热值与多样性指数和均匀度指数的相关系数为 0.1,与丰富度指数的相关系数为 0.04,与优势度指数的相关性系数为 -0.1,这说明热值与多样性指数各个测度指数间的

相关性显著性非常差,群落的多样性的高低对群落优势种热值的影响不显著,同样的,群落中优势种热值的高低,对群落的物种多样性的影响也甚微。

热值越高表示植物的能量代谢水平高,生长状况越好,对生长的适应能力越强,而在植被恢复和水土保持中需要对环境适应力强、生长状况好的植物作为先锋植物。本研究所测的优势种灌木都具有较高的热值,可以为以后该流域植被恢复和水土保持中先锋物种的选择提供参考。优势种灌木的全株热值顺序为:圆叶桦>金丝桃叶绣线菊>欧亚圆柏>西伯利亚刺柏>欧亚绣线菊>金露梅>尖刺蔷薇>苦豆子>淡枝沙拐枣>驼绒藜>红果沙拐枣>怪柳>梭梭>心叶驼绒藜。

#### [参 考 文 献]

- [1] 谭忠奇,林益明,丁印龙,等. 五种丛生状棕榈植物叶热值的月变化研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1135-1138.
- [2] 鲍雅静,李政海,韩兴国,等. 植物热值及其生物生态学属性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1095-1103.
- [3] Long F L. Application of calorimetric methods to ecological research [J]. Plant Physiology, 1934, 9(2): 323-337.
- [4] Golley F G. Energy values of ecological materials[J]. Ecology, 1961, 42(3): 581-584.
- [5] Singh A K, Misra K N, Ambasht R S. Energy dynamics in a savanna ecosystem in India[J]. Japanese Journal of Ecology, 1980, 30(4): 295-305.
- [6] 龙世友,鲍雅静,李政海,等. 内蒙古草原 67 种植物碳含量分析及与热值的关系研究[J]. 草业学报, 2013, 22(1): 112-119.
- [7] Miller P M, Eddleman L E, Kramer S. Allocation patterns of carbon and minerals in juvenile and small-adult *Juniperus occidentalis* [J]. Forest Science, 1990, 36(3): 734-747.
- [8] Lemenih M, Bekele T. Effect of age on caloric value and some mechanical properties of three Eucalyptus species grown in Ethiopia[J]. Biomass Bioenergy, 2004, 27(3): 223-232.
- [9] 杨福国,何海菊. 高寒草甸地区常见植物热值的初步研究[J]. 植物生态学报, 1983, 7(4): 280-288.
- [10] 任海,彭少麟,刘鸿先,等. 鼎湖山植物群落及其主要植物的热值研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(2): 148-154.
- [11] 于应文,胡自治,张德罡,等. 天祝金强河高寒地区金露梅的热值及其季节动态[J]. 草业科学, 2000, 17(2): 1-4.
- [12] 李宏. 新疆两种乔木和两种灌木植物的热值研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2010.

(下转第 311 页)

地综合整治及高标准基本农田建设资金不足,促进黑龙江省粮食主产区耕地保护与可持续利用有重要参考。但不同矿产资源开发对农用地的生态环境影响程度不同,分别定量测算不同种类矿产资源开采对农用地生态环境影响,构建完善的矿产资源开发与农用地生态补偿标准体系将是下一步研究方向。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 殷海善,白中科. 地下权和地上权:采矿土地的产权分析[J]. 中国土地科学, 2008, 22(8): 65-68.
- [2] 陈军,成金军. 中国矿产资源开发利用的环境影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 111-119.
- [3] 王干,白明旭. 中国矿区生态补偿资金来源机制和对策探讨[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(5): 75-82.
- [4] 程焯. 基本农田保护与采矿塌陷控制[J]. 中国土地科学, 2004, 18(3): 9-12.
- [5] 李启宇. 矿产资源开发生态补偿机制研究述评[J]. 经济问题探索, 2012(7): 142-146.
- [6] Singh R N. Environmental catastrophes in the mining industry in Australia and the development of current management practices[J]. Journal of Mines, Metals and Fuels, 1999, 47(12): 339-343.
- [7] Linlin G E, Hsingchung C, Chris R. Monitoring land surface subsidence using radar interferometry: The challenges[C]// Shaping the Change 23rd FIG Congress. Munich, Germany, 2006.
- [8] Brown M A, Clarkson B D, Barton B J, et al. Implementing ecological compensation in New Zealand: Stakeholder perspectives and a way forward[J]. Journal of the Royal Society of New Zealand, 2014, 44(1): 34-47.
- [9] 文琦. 中国矿产资源开发区生态补偿研究[J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6058-6066.
- [10] 岑文. 矿产资源开发对环境的影响及对策[J]. 中国高新技术企业评价, 2014(23): 128-129.
- [11] 李璇琼. 矿产资源开发对生态环境的影响研究[D]. 成都:成都理工大学, 2013.
- [12] 朱英. 阜康市煤炭资源开发生态补偿机制研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2013.
- [13] 霍学喜,姚顺波,郭亚军. 陕西省能源开发水土保持补偿标准研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2009.
- [14] 宋戈,邹朝晖,王越. 东北粮食主产区县域耕地产能核算及其影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 308-317.
- [15] 韩茜. 新疆煤炭资源开发生态补偿机制研究[J]. 新疆师范大学学报, 2011, 30(4): 19-23.
- [16] 高新才,斯丽娟. 甘肃矿产资源开发生态补偿研究[J]. 城市发展研究, 2011, 18(5): 8-12.
- [13] 金则新,李钧敏,马金娥. 夏蜡梅及其主要伴生种叶的灰分含量和热值[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5246-5254.
- [14] 臧润国,成克武,李俊清,等. 天然林生物多样性保育与恢复[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2005.
- [15] 井学辉,臧润国,曹磊,等. 新疆额尔齐斯河流域北屯段景观动态[J]. 林业科学, 2009, 45(4): 7-13.
- [16] 吴晓成,张秋良,雷庆哲,等. 新疆额尔齐斯河天然林生物量分布特征的研究[J]. 林业资源管理, 2009(4): 61-67.
- [17] 吴金鸿,杨涵,杨方社,等. 额尔齐斯河流域湿地生态系统健康评价[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(6): 149-154.
- [18] 井学辉. 新疆额尔齐斯河流域植被景观与生物多样性空间变化规律研究[D]. 北京:中国林业科学研究院, 2008.
- [19] 王宁,刘平. 新疆额尔齐斯河流域生态承载力研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 207-211.
- [20] 张和钰,周华荣,叶琴,等. 新疆额尔齐斯河流域典型地区灌木群落多样性[J]. 生态学杂志, 2016, 35(5): 1188-1196.
- [21] Magurran A E. Ecological diversity and its measurement [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [22] 马克平,刘玉明. 生物群落多样性的测度方法(I):  $\alpha$ 多样性的测度方法(下)[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 162-168.
- [23] 钱迎倩. 生物多样性的几个问题[J]. 植物学通报, 1998, 15(5): 1-15.
- [24] 高凯,韩国栋,于永奇,等. 浑善达克沙地 14 种植物热值特征[J]. 生态学杂志, 2015, 234(2): 341-346.
- [25] 郭继勋,王若丹,包国章. 东北羊草草原主要植物热值[J]. 植物生态学报, 2001, 25(6): 746-750.
- [26] 高凯,谢中兵,徐苏铁,等. 内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 588-594.
- [27] Bidwell R G S. 植物生理学[M]. 刘富林,译,北京:高等教育出版社, 1982: 173-181.
- [28] 刘祖祺,张石城. 植物胁迫生理学[M]. 北京:中国农业出版社, 1994: 232-282.
- [29] 林鹏,王文卿. 盐胁迫下红树林植物秋茄(*Kandella cande1*)热值变化的研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 466-470.
- [30] 朴顺姬,潮洛蒙,刘新文,等. 不同类型沙化土地差不嘎蒿种群热值研究[J]. 中国沙漠, 1999, 10(S1): 82-87.
- [31] Liao Cuiping, Wu Chuangzhi, Yan Yongjie. Chemical elemental characteristics of biomass fuels in China[J]. Biomass & Bioenergy, 2004, 27(2): 119-130.
- [32] 李高扬,李建龙,王艳,等. 优良能源植物筛选及评价指标探讨[J]. 可再生能源, 2007, 25(6): 84-89.

(上接第 305 页)