

火烧及微地貌对高原湿草甸优势种华扁穗草地上部灰分含量及热值的影响

王 丽^{1,2,①}, 张 军¹, 杜红霞¹, 庄海海¹, 李少航¹

(1. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 为探讨火烧干扰以及微地貌差异对高原湿草甸植被的影响, 以高原湿草甸优势种华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang) 为研究对象, 分别在经历火烧干扰和未烧的湿地中选择平地 and 地垄作为样地, 研究了不同生长期以及不同年份华扁穗草地上部的灰分含量和热值 (包括干质量热值和去灰分热值) 变化。结果表明: 在火烧平地、火烧地垄、未烧平地 and 未烧地垄 4 类样地中, 不同生长期以及不同年份间华扁穗草地上部的灰分含量和热值均有一定差异。在火烧平地、火烧地垄 and 未烧平地 3 类样地中, 与生长初期相比, 生长旺盛期华扁穗草地上部的灰分含量均降低, 其干质量热值和去灰分热值均升高; 而在未烧地垄样地中, 与生长初期相比, 生长旺盛期华扁穗草地上部的灰分含量显著升高, 其干质量热值和去灰分热值则均略降低。从样地类型看, 在生长旺盛期, 平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量均低于地垄样地, 其干质量热值和去灰分热值均高于地垄样地, 其中, 其灰分含量在火烧平地样地中最低、在未烧地垄样地中最高; 其干质量热值和去灰分热值在火烧地垄样地中均最低、在未烧平地样地中均最高, 但总体无显著差异。随时间推移, 火烧样地特别是火烧平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量增加, 而其干质量热值和去灰分热值则有所降低但总体上与未烧样地间无显著差异。总体上看, 在火烧样地中, 华扁穗草地上部的干质量热值和去灰分热值低于未烧样地; 而在平地样地中, 其干质量热值和去灰分热值高于地垄样地。研究结果显示: 火烧干扰和微地貌差异对华扁穗草地上部的灰分含量和热值均有一定的影响, 据此, 建议将植物地上部的灰分含量和热值作为高原湿草甸植被优势种响应环境扰动的参考指标。

关键词: 火烧干扰; 微地貌; 灰分含量; 热值; 华扁穗草; 高原湿草甸

中图分类号: S812; X171.4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2016)04-0001-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2016.04.01

Effects of burning and micro-geomorphology on ash content and caloric value of above-ground part of dominant species *Blysmus sinocompressus* in plateau wet meadow WANG Li^{1,2,①}, ZHANG Jun¹, DU Hongxia¹, ZHUANG Haihai¹, LI Shaohang¹ (1. School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2016, 25(4): 1-7

Abstract: In order to discuss effects of differences in burning interference and micro-geomorphology on vegetation in plateau wet meadow, taking dominant species *Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang in plateau wet meadow as research object, ground and ridge in wetland experienced burning interference or not were selected as plot, respectively, and changes in ash content and caloric value (including gross caloric value and ash free caloric value) of above-ground part of *B. sinocompressus* in different growth periods and years were researched. The results show that in four types of plots of burned ground, burned ridge, unburned ground and unburned ridge, there are a certain differences in ash content and caloric value of above-ground part of *B. sinocompressus* in different growth periods and years. In three types of

plots of burned ground, burned ridge and unburned ground, compared with early growth period, ash content in above-ground part of *B. sinocompressus* in vigorous growth period decreases, while both its gross caloric value and ash free caloric value increase. While in unburned ridge plot, compared with early growth period, ash content in above-ground part of *B. sinocompressus* in vigorous growth period increases significantly, while both its gross caloric value and its ash free caloric value decrease slightly. Based on plot type, ash content in above-ground part of *B. sinocompressus* in ground plot in vigorous growth period is lower than that in ridge plot, both its gross caloric value and its ash free caloric value are higher than those in ridge plot, in which, its ash content is the lowest in burned ground plot and is the highest in unburned ridge plot, and its gross caloric value and ash free caloric value are the lowest in burned ridge plot and are the highest in unburned ground plot, but there is no significant difference between them generally. With prolonging of time, ash content in above-ground part of *B. sinocompressus* in burned plot, especially in burned ground plot increases, while its gross caloric value and ash free caloric value decrease but there is no significant difference with unburned plot generally. On the whole, gross caloric value and ash free caloric value of above-ground part of *B. sinocompressus* in burned plot are lower than those in unburned plot, while those in ground plot are higher than those in ridge plot. It is suggested that there are a certain effects of differences in burning interference and micro-geomorphology on ash content and caloric value of above-ground part of *B. sinocompressus*, hereby, ash content and caloric value of above-ground part of plant are suggested as reference index of dominant species in vegetation responding to environmental disturbance in plateau wet meadow.

Key words: burning interference; micro-geomorphology; ash content; caloric value; *Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang; plateau wet meadow

在当前全球气候变化的背景下,植被特征和群落动态等对环境扰动的指示作用已经得到大量研究结果的验证^[1]。人为扰动加剧了景观破碎化过程,或者直接改变景观类型^[2],地表植被则通过调整个体生长及群落结构等对人为扰动的直接或间接影响进行响应^[3]。青藏高原因其生态环境的脆弱性及其对全球气候变化的敏感性而备受关注,但其地理环境的特殊性阻碍了该区域相关研究的开展^[4-5]。

高寒草甸是青藏高原地区人们生产和生活的场所,其中高原湿草甸湿地更是牧民放牧和聚居的首选地。在人畜不断增加的压力下,高原湿草甸表现出覆盖度下降、毒杂草入侵和群落结构改变等趋势^[6]。近年来,人类的干扰方式更加多样化,干扰强度也明显增加,高原湿草甸退化态势愈演愈烈,因此,高原湿草甸的保护性利用及恢复成为亟待解决的问题^[7]。

灰分是指植物体矿质元素氧化物的总和,其含量可体现植物对矿质元素选择吸收与积累的特征,是植物与环境共同作用的结果^[8-9];而植物热值是评价植物体生命活动及组成的一个指标,能如实反映植物自身遗传特征及其受环境制约的状况^[10-11]。

火烧是近年来高原湿草甸较为频繁的一种干扰方式,为了解火烧对高原湿草甸湿地的生态效应,作

草甸湿地建立观测样地,以湿草甸湿地优势种华扁穗草(*Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang)为研究对象,开展植物灰分含量及热值的对比研究;同时结合湿地微地貌差异,分析湿地自身特征对湿草甸响应外界干扰的影响,以期了解火烧后由灰分含量及热值体现出的植物响应特征,为湿草甸湿地的保护与恢复以及合理利用提供基础研究数据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于西藏自治区拉萨市曲水县唐嘎郭湿地生态功能保护区,地理坐标为北纬 29°22'28"、东经 90°43'11"。该保护区总面积约 12 hm²,以冰雪融水及潜水为主要补给水源,主要湿地类型为湿草甸湿地,优势植物主要包括华扁穗草、具槽秆荸荠(*Eleocharis valleculosa* Ohwi)、蕨麻委陵菜(*Potentilla anserina* Linn.)和酸模叶蓼(*Polygonum lapathifolium* Linn.)等。研究区内大面积的沼泽及沼泽化草甸曾于 20 世纪 70 年代被开垦,用于青稞(*Hordeum vulgare* var. *coeleste* Linn.)种植,20 世纪 90 年代末因渍水严重而弃耕,自然恢复为湿草甸湿地,多用作刈割草场;草场内植物

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及样品采集 2010年2月末,研究区内的典型湿草甸曾经历火烧。基于此,于2010年5月初在经历火烧以及相邻的未受火烧(对照)的草场内分别设置火烧干扰样地和对照样地,样地面积均为10 m×8 m;样地内各含5条南北向地垄,长约8 m、宽约45 cm、高约5 cm,根据样地的这一特点,在火烧样地和对照样地内分别设置地垄和平地2类样地,即火烧地垄、火烧平地、未烧地垄和未烧平地。

分别于2011年5月(生长初期)和8月(生长旺盛期)以及2012年5月和8月在4类样地中随机选择10株华扁穗草,贴地收割地上部,混合后作为1个样品,每样地采集3个样品,共计48个样品,由于2012年5月份样品丢失,所以实测样品36个。所采样品先于105℃杀青0.5 h,然后在60℃条件下烘干至恒质量,冷却后研磨、待测。

1.2.2 测定方法 灰分含量测定参照文献[9]的干灰化法并略加修改。称取约1 g待测样放入坩埚中,记录待测样和坩埚质量;将装有待测样的坩埚放入自动控温型马弗炉中加热至600℃并保持2 h,使待测样充分炭化至无烟;将待测样灰化至灰白色,在炉温降至200℃以下时移入干燥器内冷却至室温,称取质量。按照公式“灰分含量=[(c-a)/(b-a)]×100%”计算灰分含量,式中,a为坩埚质量;b为灰化前待测样和坩埚的质量;c为灰化后待测样和坩埚的质量。

采用TQHW-5A型氧弹式热量计(鹤壁市天淇仪器仪表有限公司)测定待测样的干质量热值,并按照公式“去灰分热值=干质量热值/(1-灰分含量)”计算去灰分热值。

1.3 数据处理

采用SPSS 11.5和Origin 7.5软件进行数据分析与制图。根据研究内容,对2011年的样品进行生长期相关指标的对比,对2011年与2012年生长旺盛期的样品进行年际之间相关指标的对比。

2 结果和分析

2.1 不同生长期华扁穗草地上部灰分含量及热值的比较分析

在高原湿草甸火烧平地、火烧地垄、未烧平地

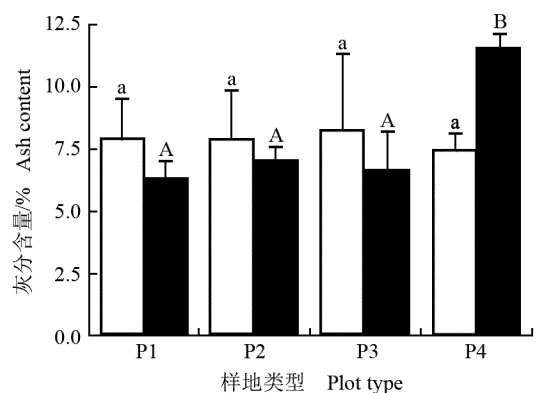
值的比较结果见图2。

2.1.1 灰分含量分析 由图1可见:在火烧平地、火烧地垄和未烧平地3类样地中,生长初期华扁穗草地上部的灰分含量均高于生长旺盛期,但无显著差异($P \geq 0.05$);而在未烧地垄样地中,生长初期其灰分含量显著低于生长旺盛期($P < 0.05$)。

在生长初期,平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量高于地垄样地,但无显著差异。其中,未烧平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量最高(8.25%),未烧地垄样地中华扁穗草地上部的灰分含量最低(7.43%),而在火烧平地样地中,华扁穗草地上部的灰分含量(7.94%)略高于火烧地垄样地(7.92%)。

在生长旺盛期,平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量均低于地垄样地。其中,未烧地垄样地中华扁穗草地上部的灰分含量最高(11.55%),且与其他类型样地存在显著差异;火烧平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量最低(6.34%),火烧地垄样地中其灰分含量(7.03%)略高于未烧平地样地(6.63%)。

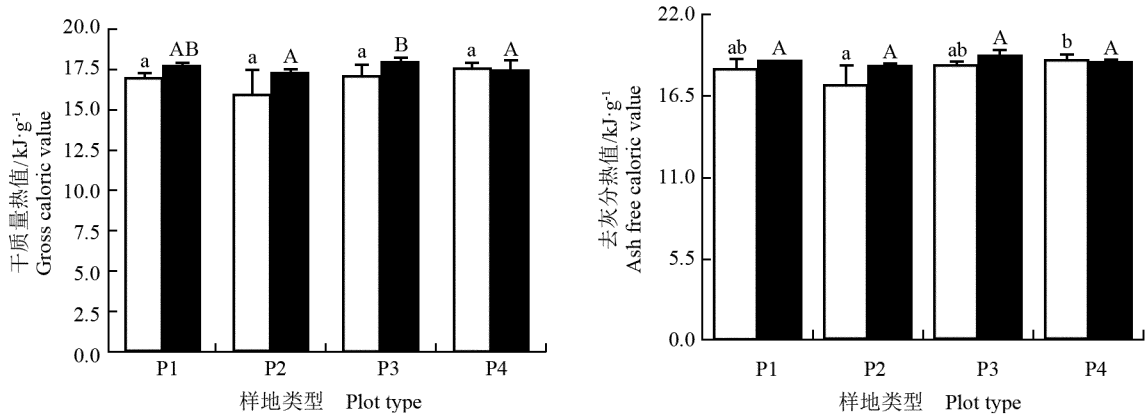
2.1.2 干质量热值分析 由图2可见:在火烧平地、火烧地垄和未烧平地3类样地中,生长初期华扁穗草地上部的干质量热值均低于其生长旺盛期;而在未烧地垄样地中,生长初期华扁穗草地上部的干质量热值略高于其生长旺盛期。其中,在火烧平地



□: 生长初期 Early growth period; ■: 生长旺盛期 Vigorous growth period. P1: 火烧平地 Burned ground; P2: 火烧地垄 Burned ridge; P3: 未烧平地 Unburned ground; P4: 未烧地垄 Unburned ridge.

不同的小写或大写字母分别表示生长初期或生长旺盛期同一指标在不同类型样地间差异显著($P < 0.05$) Different small letters or capitals indicate the significant difference of the same index among different types of plots in early or vigorous growth periods ($P < 0.05$), respectively.

图1 在高原湿草甸不同类型样地中不同生长期华扁穗草地上部灰分含量的比较



□: 生长初期 Early growth period; ■: 生长旺盛期 Vigorous growth period. P1: 火烧平地 Burned ground; P2: 火烧地垄 Burned ridge; P3: 未烧平地 Unburned ground; P4: 未烧地垄 Unburned ridge.

不同的小写或大写字母分别表示生长初期或生长旺盛期同一指标在不同类型样地间差异显著 ($P < 0.05$)。Different small letters or capitals indicate the significant difference of the same index among different types of plots in early or vigorous growth periods ($P < 0.05$), respectively.

图2 在高原湿草甸不同类型样地中不同生长期华扁穗草地上部干质量热值和去灰分热值的比较

Fig. 2 Comparison on gross calorific value and ash free calorific value of above-ground part of *Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang in different growth periods at different types of plots in plateau wet meadow

的样地中,生长初期与生长旺盛期华扁穗草地上部的干质量热值有显著差异。

从样地类型看,在生长初期,不同类型样地间华扁穗草地上部的干质量热值无显著差异。其中,火烧地垄样地中华扁穗草地上部的干质量热值最低,为 $15.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$;未烧地垄样地中华扁穗草地上部的干质量热值最高,为 $17.47 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$;未烧平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值低于未烧地垄样地,但略高于火烧平地样地。

在生长旺盛期,平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值均高于地垄样地。其中,火烧地垄样地中华扁穗草地上部的干质量热值最低,为 $17.21 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$;未烧平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值最高,为 $17.92 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,且显著高于火烧地垄和未烧地垄2类样地;火烧平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值略高于未烧地垄样地,但无显著差异。

2.1.3 去灰分热值分析 由图2还可见:在火烧平地、火烧地垄和未烧平地3类样地中,生长初期华扁穗草地上部的去灰分热值均低于生长旺盛期;而在未烧地垄样地中,其去灰分热值在生长初期略高于生长旺盛期,但均无显著差异。

从样地类型看,在生长初期,未烧地垄样地中华

差异达显著水平;但在火烧平地、未烧平地 and 未烧地垄3类样地中,华扁穗草地上部的去灰分热值无显著差异。

在生长旺盛期,平地样地中华扁穗草地上部的去灰分热值高于地垄样地,但不同类型样地间华扁穗草地上部的去灰分热值无显著差异;其中,未烧平地样地中华扁穗草地上部的去灰分热值最高 ($19.20 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$),火烧地垄样地中华扁穗草地上部的去灰分热值最低 ($18.52 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。

2.2 不同年份华扁穗草地上部灰分含量及热值的比较分析

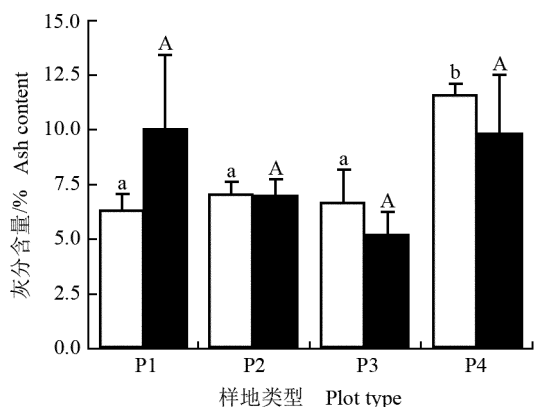
在高原湿草甸火烧平地、火烧地垄、未烧平地 and 未烧地垄4类样地中,不同年份生长旺盛期华扁穗草地上部灰分含量的比较结果见图3,其干质量热值和去灰分热值的比较结果见图4。

2.2.1 灰分含量分析 由图3可见:在火烧平地样地中,2011年生长旺盛期华扁穗草地上部的灰分含量低于2012年生长旺盛期;而在火烧地垄、未烧平地 and 未烧地垄3类样地中,2011年生长旺盛期华扁穗草地上部的灰分含量高于2012年生长旺盛期。

在2011年生长旺盛期,火烧样地中华扁穗草地上部的灰分含量低于相应的未烧样地,平地样地中华

高, 与其他样地差异显著。

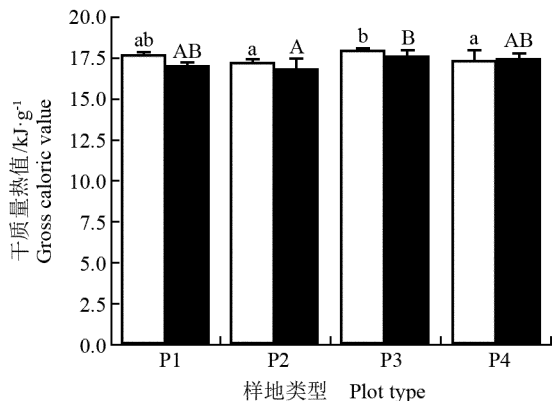
在 2012 年生长旺盛期, 华扁穗草地上部的灰分含量在不同类型样地间无显著差异; 其中, 火烧平地 and 未烧地垄 2 类样地中华扁穗草地上部的灰分含量较高, 而未烧平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量最低。



□: 2011; ■: 2012. P1: 火烧平地 Burned ground; P2: 火烧地垄 Burned ridge; P3: 未烧平地 Unburned ground; P4: 未烧地垄 Unburned ridge.

不同的小写或大写字母分别表示 2011 年或 2012 年同一指标在不同类型样地间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters or capitals indicate the significant difference of the same index among different types of plots in 2011 or 2012 ($P < 0.05$), respectively.

图 3 在高原湿草甸不同类型样地间 2011 年和 2012 年生长旺盛期华扁穗草地上部灰分含量的比较
Fig. 3 Comparison on ash content in above-ground part of *Blysmus sinocompressus* Tang et F. T. Wang among different types of plots in plateau wet meadow in vigorous growth period in 2011 and 2012



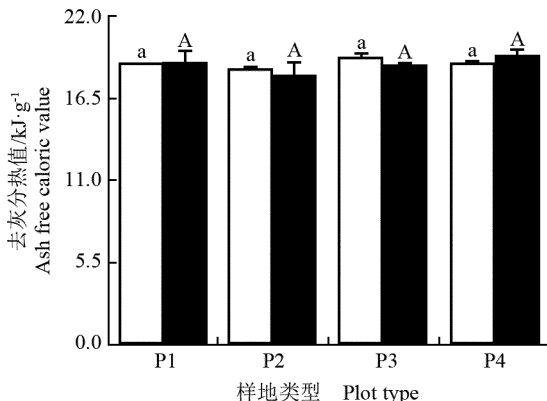
2.2.2 干质量热值分析 由图 4 可见: 在火烧平地、火烧地垄和未烧平地 3 类样地中, 2011 年生长旺盛期华扁穗草地上部的干质量热值高于 2012 年生长旺盛期; 而在未烧地垄样地中, 2011 年生长旺盛期华扁穗草地上部的干质量热值低于 2012 年生长旺盛期。

在 2011 年生长旺盛期, 平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值高于地垄样地; 其中, 未烧平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值最高, 与火烧地垄和未烧地垄 2 类样地间存在显著差异, 但与火烧平地样地无显著差异。

在 2012 年生长旺盛期, 未烧样地中华扁穗草地上部的干质量热值高于火烧样地, 平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值高于相应的地垄样地, 但均无显著差异。其中, 未烧平地样地中华扁穗草地上部的干质量热值最高, 火烧地垄样地中华扁穗草地上部的干质量热值最低, 差异达显著水平。

2.2.3 去灰分热值分析 由图 4 还可见: 在火烧平地 and 未烧地垄 2 类样地中, 2011 年生长旺盛期华扁穗草地上部的去灰分热值低于 2012 年生长旺盛期; 而在火烧地垄 and 未烧平地 2 类样地中, 2011 年生长旺盛期华扁穗草地上部的去灰分热值高于 2012 年生长旺盛期, 但均无显著差异。

在 2011 年和 2012 年的生长旺盛期, 华扁穗草地上部的去灰分热值在不同类型样地间均无显著差异。其中, 在 2011 年生长旺盛期, 平地样地中华扁穗草地上部的去灰分热值高于地垄样地; 而在 2012 年生长



□: 2011; ■: 2012. P1: 火烧平地 Burned ground; P2: 火烧地垄 Burned ridge; P3: 未烧平地 Unburned ground; P4: 未烧地垄 Unburned ridge.

不同的小写或大写字母分别表示 2011 年或 2012 年同一指标在不同类型样地间差异显著 ($P < 0.05$) Different small letters or capitals indicate the significant difference of the same index among different types of plots in 2011 or 2012 ($P < 0.05$), respectively.

旺盛期,未烧地垄样地中华扁穗草地上部的去灰分热值最高,火烧地垄样地中其去灰分热值最低。

3 讨论和结论

灰分含量的高低主要取决于生长环境中有效元素的丰缺程度以及植物的吸收能力和植物体有机物质积累量^[8,10]。而生长在特定环境中的植物,其热值特征既是环境制约的表现,也是植物主动适应环境的结果。将热值作为植物响应环境干扰的指标来看,植物应对环境胁迫的总体表现为:短期内植物生长受制约,消耗高能物质以维持生存,热值降低;而从长期看,在耐受范围内,植物为了在胁迫环境中生存,将生产和保存更多高能物质使自身热值提高,从而适应环境胁迫。

3.1 高原湿草甸优势种华扁穗草地上部的灰分含量和热值对火烧干扰的响应特征

火烧最直接的作用是清除地表植被覆盖,其干扰程度及植被的响应规律因植被对火烧的敏感程度不同而异^[12-13]。本研究选择的火烧样地均为冬季一次性火烧样地,供试的华扁穗草地上部样品于火烧后第2年(2011年)和第3年(2012年)生长季内采集,其灰分含量及热值的响应程度主要与样地的火烧干扰特征有关。

火烧可清除地表覆盖的枯落物,降低土壤水分含量,增大土壤温度和湿度的日变化,加快生态系统内的物质循环^[14-15],使土壤中可利用性元素含量增加,从而促进植物生长^[16],但这种作用具有一定的滞后性^[17]。由于本研究区的火烧强度较小,火烧对土壤元素动态的影响并不显著^[18],因此,火烧样地中华扁穗草地上部的灰分含量总体上低于未烧样地(对照),但随时间延长,火烧样地中华扁穗草地上部的灰分含量却总体上呈增加趋势,在一定程度上反映了火烧对土壤及生态系统物质循环的影响及其滞后性。

火烧可以提高植物的繁殖和生长能力^[19],引起群落中竞争格局的改变^[20]。本研究中,火烧样地中华扁穗草地上部的干质量热值和去灰分热值总体上低于未烧样地,且随时间延长,热值总体上呈下降趋势,主要原因可能是适度火烧形成了适宜华扁穗草生长的环境条件,使其繁殖生长能力提高,种群优势更

3.2 高原湿草甸优势种华扁穗草地上部的灰分含量和热值对微地貌差异的响应特征

草丘是湿地生态系统内较为常见的一种微地貌类型,垄状草丘是高原湿地中草丘微地貌之一,也可以认为是草丘发育的一个阶段,可为湿地植物提供更适宜的生境条件,其最直接的作用就是使植物成功躲避长期渍水或淹水形成的厌氧胁迫^[21]。微地貌及其导致的水分条件差异直接影响土壤内部的矿化过程。淹水条件不利于土壤元素的释放^[5,17-18],使土壤矿质养分的可利用性降低。本研究中,生长在地垄样地中华扁穗草地上部的灰分含量总体上高于平地样地,与此现象有关。在生长初期和生长旺盛期,华扁穗草地上部灰分含量的差异可能与样地水分的季节波动有关。生长初期样地积水较浅,对土壤元素释放的抑制作用不明显^[18],所以在地垄样地和平地样地生长的华扁穗草地上部的灰分含量差异较小;而在生长旺盛期,随样地积水加深,在地垄样地和平地样地生长的华扁穗草地上部的灰分含量差异更为显著。此外,在本研究中,华扁穗草地上部灰分含量年际间的差异可能主要受火烧及土壤淋溶过程的影响^[17],所以2012年仅火烧平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量明显增加。

本文基于样地内地垄形成的微地貌差异,分析高原湿草甸微地貌对植物自身及其对环境干扰响应特征的影响,结果表明,地垄样地中华扁穗草地上部的干质量热值和去灰分热值总体上低于平地样地,推测可能与微地貌引起的水分条件差异有关。在华扁穗草的生长初期和生长旺盛期,与地垄样地的无积水环境相比,平地样地基本保持3~12 cm积水,对华扁穗草产生一定的淹水胁迫,促使生长在平地样地的华扁穗草积累高能物质以适应环境胁迫,植株个体热值提高。而随着时间延长,生长在未烧地垄样地中华扁穗草地上部的热值也有所升高,这可能与低水分条件下突出的种间竞争作用有关,具体原因有待后续研究。

3.3 植物灰分含量和热值研究对高原湿草甸植被保护与恢复的意义

本研究中,高原湿草甸优势种华扁穗草地上部的灰分含量及热值对火烧干扰的响应均表现出一定的规律性,但多无显著差异,可能与本研究样地为典型湿草甸湿地,水分条件较好,且一次性火烧强度较小

则对高原湿草甸的恢复具有一定的指导意义。

从中华扁穗草地上部灰分含量及热值的分析结果看,这2个指标对环境干扰均具有一定的响应特征。在对脆弱、易破坏、难恢复的生态环境进行相关研究时,相对于常用的生物量和土壤元素等指标,植物地上部的灰分含量及热值测定的取样过程对植被生态环境的破坏较小。因此,在对青藏高原这种脆弱生态系统进行相关研究时可将植物灰分含量及热值作为优先考察的指标。

3.4 结论

通过上述的分析和讨论,得出以下结论:1)火烧及湿草甸微地貌对中华扁穗草地上部的灰分含量有一定的影响,表现为在生长初期,平地样地中华扁穗草地上部的灰分含量高于地垄样地,其中中华扁穗草地上部的灰分含量在未烧平地样地中最高、在未烧地垄样地中最低;而在生长旺盛期,地垄样地中华扁穗草地上部的灰分含量高于平地样地,其中,中华扁穗草地上部的灰分含量在未烧地垄样地中最高、在火烧平地样地中最低。2)火烧及湿草甸微地貌对高原湿草甸优势种中华扁穗草地上部的热值也有一定影响,表现为在生长季内,火烧样地中华扁穗草地上部的热值总体上低于未烧样地,平地样地中华扁穗草地上部的热值总体上高于地垄样地;且火烧后随时间推移,火烧样地中华扁穗草地上部的热值相对下降。3)灰分含量及热值可作为中华扁穗草响应环境扰动的参考指标,对高原湿草甸湿地的保护与恢复具有一定意义。

参考文献:

- [1] WU G L, LI W, LI X P, et al. Grazing as a mediator for maintenance of offspring diversity: sexual and clonal recruitment in alpine grassland communities[J]. *Flora*, 2011, 206: 241-245.
- [2] SCHRAUTZER J, ASSHOFF M, MÜLLER F. Restoration strategies for wet grasslands in Northern Germany[J]. *Ecological Engineering*, 1996, 7: 255-278.
- [3] STOATE C, BĂLDI A, BEJA P, et al. Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe: a review[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 91: 22-46.
- [4] 莫中国, 张百平, 程维明, 等. 青藏高原的主要环境效应[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 88-96.
- [5] SCHWALB A, SCHÜTT B, FANG X M. Climate evolution and environmental response on the Tibetan Plateau[J]. *Quaternary International*, 2010, 218: 1-2.
- [6] 尚占环, 龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(6): 652-656.
- [7] 于伯华, 吕昌河, 吕婷婷, 等. 青藏高原植被覆盖变化的地域分异特征[J]. *地理科学进展*, 2009, 28(3): 391-397.
- [8] 郭水良, 黄 华, 晁 柯, 等. 金华市郊10种杂草的热值和灰分含量及其适应意义[J]. *植物研究*, 2005, 25(4): 460-464.
- [9] 宁祖林, 陈惠娟, 王珠娜, 等. 几种高大禾草热值和灰分动态变化研究[J]. *草业学报*, 2010, 19(2): 241-247.
- [10] 林 恬. 森林生态系统植物热值的研究综述[J]. *台湾农业探索*, 2012(5): 69-72.
- [11] 鲍雅静, 李政海. 内蒙古羊草草原群落主要植物的热值动态[J]. *生态学报*, 2003, 23(3): 606-613.
- [12] EKINCI H. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Canakkale, Turkey[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2006, 8: 102-106.
- [13] TROLLPPE W S W, TROLLOPE L A, HARTNETT D C. Fire behaviour a key factor in the fire ecology of African grasslands and savannas[M]//VIEGAS D X. *Forest Fire Research and Wildland Fire Safety*. Rotterdam: Mill Press, 2002: 1-15.
- [14] SHARROW S H, WRIGHT H A. Effects of fire, ash, and litter on soil nitrate, temperature, moisture and tobosagrass production in the rolling plains[J]. *Journal of Range Management*, 1977, 30: 266-270.
- [15] DOERR S H, CERDÀ A. Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges[J]. *International Journal of Wildland Fire*, 2005, 14: 339-342.
- [16] SMITH S M, NEWMAN S, GARRETT P B, et al. Differential effects of surface and peat fire on soil constituents in a degraded wetland of the northern Florida Everglades [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2001, 30: 1998-2005.
- [17] KOZŁOWSKI T T, AHLGREN C E. *Fire and Ecosystems* [M]. New York: Academic Press, 1974: 7-45.
- [18] 王 丽, 王兆锋, 张懿铨, 等. 火烧对拉萨地区湿草甸湿地土壤养分特征的影响[J]. *环境科学研究*, 2013, 26(5): 549-554.
- [19] MA M J, ZHOU X H, DU G Z. Role of soil seed bank along a disturbance gradient in an alpine meadow on the Tibet plateau[J]. *Flora*, 2010, 205: 128-134.
- [20] MIAO S L, ZOU C B. Seasonal variation in seed bank composition and its interaction with nutrient enrichment in the Everglades wetlands[J]. *Aquatic Botany*, 2009, 90: 157-164.
- [21] 赵魁义, 王德斌, 宋海远. 西藏沼泽的初步研究[M]//中国科学院长春地理研究所. *中国沼泽研究*. 北京: 科学出版社, 1988: 227-235.