

DOI: 10.5846/stxb201311052674

樊才睿, 李畅游, 贾克力, 孙标, 史小红, 高宏斌. 不同放牧制度下呼伦湖流域草原植被冠层截留. 生态学报, 2015, 35(14): 4716-4724.

Fan C R, Li C Y, Jia K L, Sun B, Shi X H, Gao H B. Grass canopy interception of Hulun watershed under different grazing systems. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4716-4724.

不同放牧制度下呼伦湖流域草原植被冠层截留

樊才睿, 李畅游*, 贾克力, 孙标, 史小红, 高宏斌

内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018

摘要:冠层截留是降雨过程中的水量分配和流域水平衡的一个重要组成部分,通过水浸泡法和降雨模拟实验研究呼伦湖流域草原 3 种放牧制度下(休牧、轮牧、自由放牧(超载放牧))植被冠层截留量的变化规律,并利用遥感解译植被归一化指数(NDVI),确定 3 种放牧制度下草原面积,估算呼伦湖流域草原降雨截留量。研究表明:在休牧、轮牧、自由放牧 3 种制度下,水浸泡法测定的截留量分别是 0.468、0.320、0.271 mm。降雨模拟实验法测得的结果分别是 0.957、0.613、0.431 mm。休牧、轮牧、自由放牧草场叶面积指数、盖度、容重、生物量等指标差异显著($P < 0.05$),且单株植被高度、鲜重对截留量影响显著呈线性正相关关系。呼伦湖流域草原一次降雨量为大于等于 30 mm 全流域降雨,其植被截留量为 $6.462 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。

关键词:呼伦湖流域; 不同放牧制度; 冠层截留; 降雨模拟

Grass canopy interception of Hulun watershed under different grazing systems

FAN Cairui, LI Changyou*, JIA Keli, SUN Biao, SHI Xiaohong, GAO Hongbin

Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China

Abstract: Different grazing systems have different influences on the biomass, leaf area index (LAI) and canopy morphology of grassland vegetation. Canopy interception is an important part of both water allocation and the balance of water across the whole basin during precipitation. In this paper, water soakage and rainfall simulation methods were used to study the change in rainfall interception by the grass vegetation canopy under three different grazing systems: no grazing, rotation grazing and free grazing (over grazing), in the Hulun watershed, Inner Mongolia, China. We discuss the relationships between trends in individual plants and the vegetation interception as well as the trends between the overall plant height and weight measurements and vegetation interception. Satellite image data from Landsat TM5 were used to extract the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of grassland in the Hulun watershed and the actual coverage of the no grazing, rotation grazing and free grazing grasslands. The relationship of actual coverage and NDVI was used to measure the grassland areas in the three grazing systems. Estimating the amount of rainfall interception of three different grazing grasslands in the Hulun watershed, even without considering the spatial and temporal variation of rainfall, can provide basic data for future basin water resources planning studies. The vegetation interceptions estimated by the water soakage method for no grazing, rotation grazing and free grazing grasslands were 0.468 mm, 0.320 mm and 0.271 mm, respectively. Those estimated by the rainfall simulation method were 0.957 mm, 0.613 mm and 0.431 mm, respectively. The predominant vegetation types having an interception advantage from three different grazing systems were; *Stipa krylovii*, *Leymus chinensis*, *Cleistogenes squarrosa* and *Artemisia frigida*. In terms of leaf area proportion, the main interception species were *Stipa krylovii* and *Cleistogenes squarrosa* in free grazing, *Stipa krylovii* and *Leymus chinensis* in rotation grazing and *Stipa krylovii* with no grazing. The

基金项目:国家自然科学基金项目(51169011, 51169017, 51269016, 51269017, 51339002); 内蒙古自治区自然科学基金项目(2012MS0612); 高等学校博士点基金新教师类项目(20131515120005); 对发展中国家科技援助项目

收稿日期:2013-11-05; **网络出版日期:**2014-09-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nndlichangyou@163.com

values of coverage, soil bulk density, biomass and LAI were significantly ($P < 0.05$) different among the three grazing systems. The LAI values were $4.36 \text{ m}^2/\text{m}^2$ with no grazing, $2.72 \text{ m}^2/\text{m}^2$ in rotation grazing and $1.37 \text{ m}^2/\text{m}^2$ in free grazing. The height and weight of individual plants were also linearly correlated with interception in the three grazing systems with vegetation interception increasing with the height and weight of individual plants. The height and weight of the plants overall was linearly correlated with interception in the no grazing and rotation grazing grasslands, where interception increased with a height and weight increase. There was no such trend in the free grazing grassland. The overall plant cover was linearly correlated with interception in all three grazing grasslands. The vegetation interception of the plants overall and the individual plants had obvious phenomenon grading in all three grasslands. Through field measurements in the Hulun watershed, the cover ranges of no grazing, rotation grazing and free grazing grasslands were 79%—98%, 57%—84% and 35%—62%, respectively. Thus, the total canopy interception in the Hulun watershed will be $6.462 \times 10^6 \text{ m}^3$ and the canopy interception of the different grazing systems will be $4.995 \times 10^5 \text{ m}^3$ with no grazing, $3.283 \times 10^6 \text{ m}^3$ with rotation grazing and $2.679 \times 10^6 \text{ m}^3$ with free grazing if the whole basin rainfall reaches 30 mm.

Key Words: Hulun watershed; different grazing systems; grass interception; rainfall simulation

冠层截留量是降雨过程中被植被冠层所截留下而无法降落到地面上的降雨量,冠层截留的降雨主要以蒸发形式损失掉。呼伦湖流域草原是我国北方重要的生态屏障,该区域地处干旱半干旱地区,水资源尤为珍贵。草原上的植物与水关系复杂,它们相互影响制约,一方面水分的多少直接影响草原的植被的生长状况和分布;另一方面植被的生长状况又直接影响着水分的分配、利用。而植被的生长状况除了受水的制约还会受到放牧情况的影响,如载畜量、牛羊啃食程度等,不同的放牧制度对植被的株高、叶面积、鲜重以及稀疏程度产生影响,导致相同的区域由于放牧制度的不同而引起降雨、截留、径流、入渗等水文过程的差异,造成水资源利用效率的不同。因此研究不同放牧制度下的植被截留,对提出合理放牧规划、改善流域生态环境、保护草原水土流失等方面具有重大的实践意义。

目前,国内外对冠层降雨截留研究主要集中在热带雨林、针叶林、乔木及灌木的冠层对降雨空间分布影响及水量分布特征等方面^[1-6],一般林冠层每次降雨可截留 3—10 mm 降水^[4-5],在某些湿润地区森林截流量占全年降水量的 10%—30%^[1-3],有些干旱地区可以达到 40%—50%^[6],并提出了很多降雨截留的数学模型^[7-10]。其次是对冬小麦、玉米等农作物的截留量研究。测得冬小麦开花灌浆期时的冠层截留为 0.6—0.65 mm^[11]、玉米抽穗以后,在灌水量为 25 mm 的条件下,冠层截留为 1.8 mm^[12]。然而对与密植、修剪低矮人工草坪和天然低矮草地植被的降雨截留特征研究少有报道。一些研究者尝试采用“简易吸水法”及“水量平衡法”测定结缕草等草地植物冠层截留量,试验结果在一定层面上较好地反映了植株降水截留特性^[13-16]。而本区域关于该方面的研究尚未见有过报道。

本文采用水浸泡法及降雨模拟实验法对流域草原 3 种放牧制度下(休牧、轮牧、自由放牧)的草地植被进行研究。从单株和群体水平上对低生草地植被冠层截留性能进行了试验观测,并探讨了叶面积、株高、鲜重与单株植被冠层截留性能的关系。利用遥感技术提取 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)指数进行截留量的估算可以较好的弥补由于研究区域太大而无法获取空间资料而造成的研究的缺失,同时可以利用遥感技术的时效性及时监测草地的动态变化。但遥感影像的分辨率有限与实际情况仍然存在一定偏差,在其精度允许范围内可用作估算依据使用。为草地生态水文过程研究提供部分科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

呼伦湖是我国北方第一大淡水湖泊位于内蒙古自治区东北部,其所在的呼伦贝尔草原是世界上天然草原保留面积最大的地方,该地属于中温带干旱、半干旱气候,其地理坐标介于 N 47°33'—49°44', E 115°37'—119°

25'之间。年平均温度 $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,年降水量为 $240.5\text{—}283.6\text{ mm}$,年蒸发量为 $1455.3\text{—}1754.3\text{ mm}$,年平均风速为 $3.38\text{—}3.92\text{ m/s}$,日照时数为 $2694\text{—}3131\text{ h}$,日照百分率为 $60\%\text{—}70\%$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为 $110\text{—}125\text{ d}$,积温为 $1969.5\text{ }^{\circ}\text{C}\text{—}2341\text{ }^{\circ}\text{C}$,全年无霜期为 $110\text{—}160\text{ d}$,从10月上旬到翌年5月上旬约 210 d 为土壤冻结期,草原干燥指数为 $5.5\text{—}10.2^{[17]}$ 。

1.2 样地的选择

本研究工作在呼伦贝尔草原南部的巴尔虎右旗的宝东苏木的3种放牧类型的草场中进行,其位置分别是自由放牧 $N\ 48^{\circ}27'54.95''$ 、 $E\ 117^{\circ}16'19.68''$;轮牧 $N\ 48^{\circ}28'33.07''$ 、 $E\ 117^{\circ}13'09.23''$;休牧 $N\ 48^{\circ}28'33.07''$ 、 $E\ 117^{\circ}11'41.26''$ (图1)。呼伦贝尔草原水系丰富,内含呼伦湖、贝尔湖、克鲁伦河、乌尔逊河、新开河、海拉尔河等。近年来草原放牧过度,草地生态破坏严重,植被生长发育受到较大影响,加上草原年降雨量少,蒸发量大,所以到达土壤表面的净降雨量显的更加重要。

1.3 研究内容及方法

1.3.1 研究内容

根据放牧标准,在3种放牧制度下选取3块地形平坦的草地($5\text{ m}\times 5\text{ m}$),采用样方法随机选取5块($1\text{ m}\times 1\text{ m}$)的样方,对3种放牧制度下的草地植被进行调查,确定主要植被有克氏针茅(*Stipa krylovii*)、羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、及冷蒿(*Artemisia frigida*)。测量其高度、盖度、生物量、叶面积指数及土壤容重、含水率(表1)。并进行降雨模拟实验。

1.3.2 水浸泡法

水浸泡法也称“简易吸水法”,是国内外比较常用于测定植被截留水量的一种方法,该方法是将草本植物剪下,测定其浸泡前后的重量差即为植被冠层最大截留量。本研究于2013年7月底将样方内主要物种分类采集,贴地表剪下整株植物样本,每种采集10株带回实验室用天平(精度 0.01 g)测定每株植物样本的鲜重,将植物样本浸入水中10s,等茎叶上水珠不再掉落再次称重,截留量为两次重量差值:

$$I = M_2 - M_1 \quad (1)$$

$$Ir = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (2)$$

式中, I 为最大截留量(g); Ir 为截留率(%); M_1 为单株植被鲜重(g); M_2 为单株植被浸水后重(g)。

根据截留量与茎叶鲜重的关系将截留量换算成茎叶单位鲜重截留量 $S_s(\text{g/g})$ 。将茎叶在 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 72 h ,测量其干重及叶比重 $\text{SLA}(\text{cm}^2/\text{g})$,叶面积指数测定采用叶比重法^[18]。

茎叶截留量 $S_s(\text{mm})$ 计算:

$$S_s = \sum_{i=1}^n (S_{si} \times F_i) / G \quad (3)$$

式中, n 物种数; S_{si} 是物种“ i ”的茎叶单位鲜重截留量(g/g); F_i 物种“ i ”的茎叶鲜重(g); G 是样方面积($1\text{ m}\times 1\text{ m}$)。

叶面积测量:2013年7月底于晴天15:00以后将样方内主要物种进行采集,每种采集10株,将4种主要植被克氏针茅、羊草、糙隐子草、及冷蒿的茎叶分离,由于实验条件的限制采取网格法,将植被样本的叶片拓印在 $1\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 的网格纸上,通过计算方格面积近似读取叶面积。

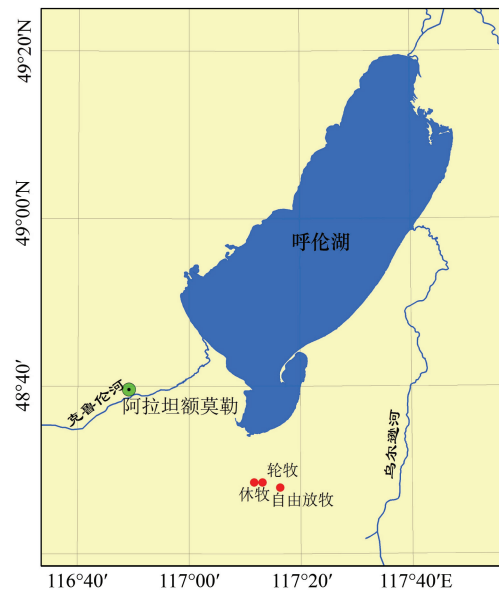


图1 样地地理位置图

Fig.1 The location of plot

1.3.3 降雨模拟实验法

人工降雨模拟实验法,是基于水量平衡法确定植被冠层截留量。

水量平衡方程为:

$$S=Pg-Pn-E$$
 (4)

式中, S 为植被冠层截留量; E 为降雨期间蒸发量; Pg 为总降雨量; Pn 为净降雨量 (Pn = 土壤水增加量+径流量)。

降雨模拟器主要由水箱、动力系统(发电机和水泵)、输送管线、回流管线、降雨器等组成,降雨器是由均匀布满小孔的 *PVC* (Polyvinyl chloride polymer) 管构成,呈竖状排列(见图 2)。首先由水泵将水经管线输送到降雨器内部产生雨滴,然后调节输送流量使降雨强度达到要求。本研究于 2013 年 8 月上旬在实验样地进行降雨实验,为确保植被冠层干燥,实验时间选在 15:00—18:00 进行。实验期间风速为微风,湿度 37%—56%。由于降雨历时较短,降雨过程中顶部遮挡阳光,所以降雨期间蒸发量忽略不计,雨强采用 70 mm/h,降雨历时 5 min,降雨有效面积 1 m×1.8 m。降雨期间由于历时较短、地势平坦未产生径流。土壤水分增加量用称重法测得,即降雨前后土壤重量差值。

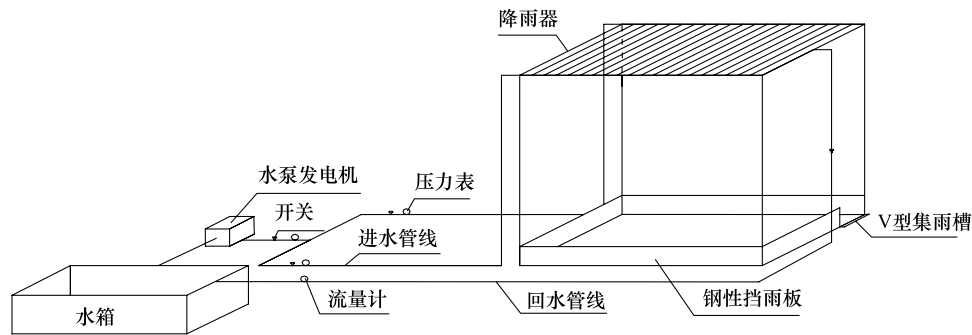


图 2 降雨模拟器

Fig.2 Rainfall simulator

2 结果与分析

2.1 植被冠层性质及吸附水量

由表 1、表 2 可知,在休牧、轮牧、自由放牧草场叶面积指数、盖度、土壤容重、生物量等指标差异显著 ($P<0.05$),轮牧草场的生物量叶面积指数及土壤容重接近自由放牧草场的 2 倍。3 种放牧制度下植物鲜重及叶面积所占比例变化显著 ($P<0.05$)。自由放牧草场优势物种为糙隐子草 (33.83%) 和克氏针茅 (36.09%),轮牧草场为克氏针茅 (45.64%) 和羊草 (31.33%),而休牧草场的优势物种为克氏针茅 (64.27%)。对茎叶截留量而言,轮牧草场与休牧草场截留量最大的物种是冷蒿 (0.796 g/g),最小的是克氏针茅 (0.116 g/g) 和羊草 (0.257 g/g);自由放牧草场植被截留量比较均,值在 0.4—0.5 g/g 之间,由于草场超载过牧,牧草啃食严重,植被株高、叶面积差异不大所以截留量比较均匀。

表 1 休牧(XM)、轮牧(LM)、自由放牧(ZY)草地植被性质与土壤性质比较

Table 1 Vegetation property and soil property in No grazing, Rotation grazing, Free grazing grassland

样地 Plot	株度 Height/cm	盖度 Coverage/%	生物量 Biomass/g	叶面积指数 Leaf Area Index/ (m ² /m ²)	土壤容重 Soil bulk density/ (g/cm ³)	土壤含水率 Soil moisture content/%
ZY	10.5±2.54a	58±4.24a	222.15±15.5a	1.37±0.15a	1.80±0.05 a	6.9±1.24 a
LM	25.4±4.02a	79±2.87a	410.25±9.5a	2.72±0.27a	1.56±0.13 a	8.5±1.15 a
XM	37.8±5.26a	94±1.19a	567.10±24.4a	4.36±0.20a	1.68±0.07 a	5.7±1.45 a

a 代表差异显著 ($P<0.05$),数据为平均值±标准差,重复为 6

表 2 休牧(XM)、轮牧(LM)、自由放牧(ZY)草地植被叶面积占总叶面积比例、单株鲜重占总鲜重比例及茎叶单位截留量
Table 2 The species leaf area fraction of total leaf area, single weight fraction of total weight and per unit stem and leaf fresh weight of interception in No grazing, Rotation grazing, Free grazing grassland

物种 Species	样地 Plot	鲜重所占比例 Fresh weight/Total/%	叶面积所占比例 Leaf area/Total/%	茎叶单位鲜重截留量 $S_s/(g/g)$
羊草	XM	7.86±2.79a	9.20±3.45a	0.257±0.088a
<i>Leymus chinensis</i>	LM	21.50±4.54a	31.33±4.82a	0.292±0.063a
	ZY	20.31±8.41a	21.99±4.48a	0.455±0.239a
糙隐子草	XM	21.04±1.30a	20.70±2.46a	0.502±0.134a
<i>Cleistogenes squarrosa</i>	LM	22.50±3.20a	10.44±4.16a	0.389±0.139a
	ZY	19.71±9.00a	33.83±12.34a	0.499±0.188a
克氏针茅	XM	55.74±6.a23	64.27±7.60a	0.270±0.092a
<i>Stipa krylovii</i>	LM	37.97±4.6a	45.64±16.87a	0.116±0.023a
	ZY	48.96±7.36a	36.09±2.74a	0.414±0.094a
冷蒿	XM	15.36±4.53a	5.92±0.73a	0.686±0.075a
<i>Artemisia frigida</i>	LM	18.03±1.36a	12.59±8.40a	0.796±0.128a
	ZY	11.02±2.95a	8.09±4.13a	0.462±0.101a

a 代表差异显著 ($P<0.05$), 数据为平均值±标准差, 重复为 6

2.2 植被株高、鲜重、盖度与截留量关系

2.2.1 株高与截留量关系

株高是植被形态特性的主要指标之一,对 3 种放牧制度下单株植物株高及整体株高与截留量关系进行回归分析,由图 3、图 4 可知休牧、轮牧、自由放牧草场单株植物株高与截留量呈线性正相关关系,截留量均随株高的增加而增大。休牧草场单株植物截留量与轮牧草场单株截留量相近,是由于休牧草场与轮牧草场植被各项指标间差异性一般显著,休牧草场主要优势植物克氏针茅(64.27%)是丛生针状植物,叶面积小于羊草、糙隐子草、冷蒿,虽然株高比轮牧草场有所增加,但截留量与其相近。休牧草场整体植被截留状况要优于轮牧和自由放牧草场,整体植被株高与截留量呈正相关关系, $R^2=0.650$ 。轮牧草场整体植被株高与截留量相关性相对较低, $R^2=0.510$,而自由放牧草场整体植被株高与截留量的相关性较差, $R^2=0.143$,由于自由放牧草场植被比较稀疏、株高整体较矮,累计计算截留量误差较大,所以整体株高与截留量无相关关系。图 4 显示,单株植被株高与截留量的相关性较高,分别为休牧草场 $R^2=0.713$ 、轮牧草场 $R^2=0.642$ 、自由放牧草场 $R^2=0.660$ 。

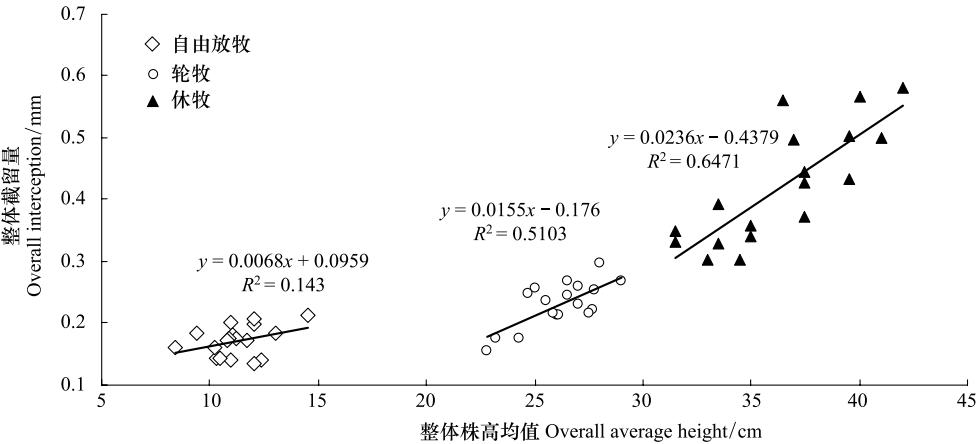


图 3 整体植被株高与截留量关系
Fig.3 The relationship between average height and interception

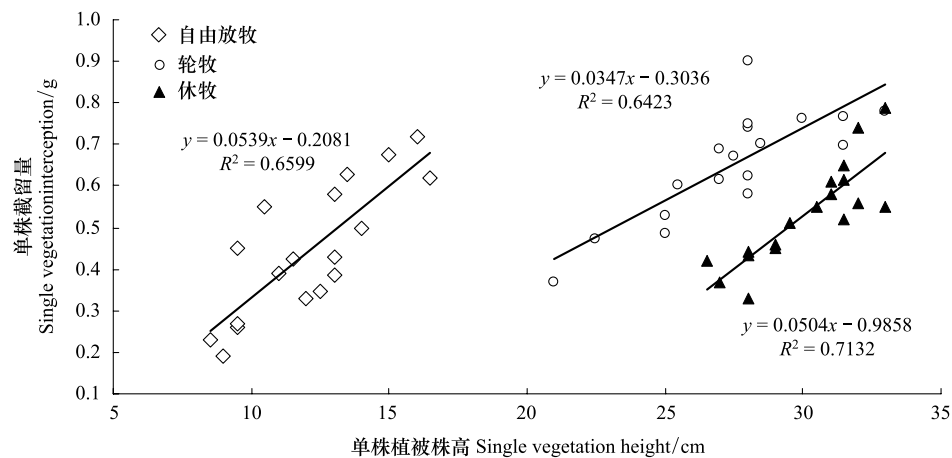


图4 单株植被株高与截留量关系

Fig.4 The relationship between single vegetation height and interception

2.2.2 鲜重与截留量关系

叶面积与茎秆也是植被的形态特性指标,由于3种放牧制度下的主要优势植被的叶形状狭长,而茎叶分离后的截留量分析工作量较大,且存在一定误差,所以采用可以代表叶与茎秆的植被综合指标植被鲜重进行分析。由图5、图6可知,3种放牧制度下单株植物鲜重与截留量均呈正相关关系,且相关性较好,植被截留量随植被鲜重增加而线性增大。图5显示,休牧草场、轮牧草场的整体植被鲜重与截留量有较好的相关性, $R_x^2 = 0.792$, $R_l^2 = 0.645$,自由放牧草场整体植被鲜重与截留量无相关关系, $R_z^2 = 0.169$ 。

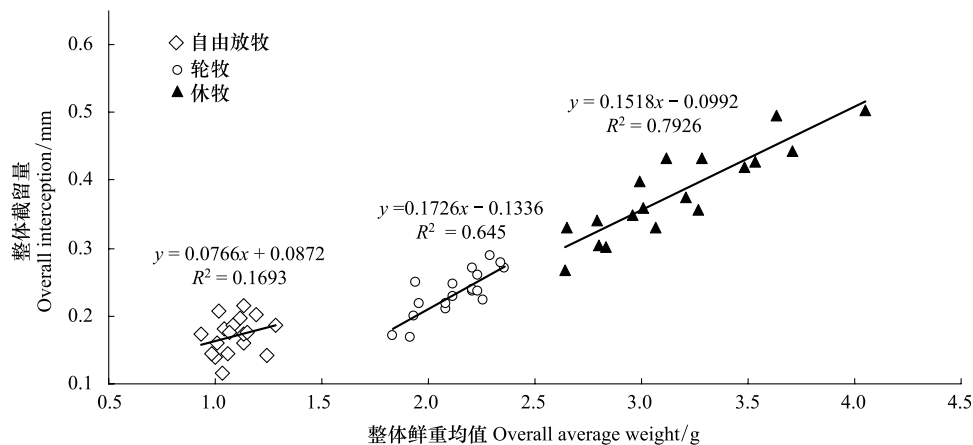


图5 整体植被鲜重与截留量关系

Fig.5 The relationship between overall average weight and interception

2.2.3 盖度与截留量关系

由图7可知,3种放牧制度下载留量与植被盖度呈正相关关系,随着植被盖度的增加,截留量呈线性增加。休牧、轮牧及自由放牧草场的植被盖度与截留量有较好的相关性, $R_x^2 = 0.812$, $R_l^2 = 0.736$, $R_z^2 = 0.591$ 。

2.3 3种放牧制度下冠层截留量

在休牧、轮牧、自由放牧草场通过水浸泡法测得的截留量分别为0.468、0.320、0.271 mm。降雨模拟实验测得的截留量分布为0.957、0.613、0.431 mm(图8)。

从自由放牧到休牧,LAI的增加幅度明显大于截留量的增加幅度。用浸泡法测得的截留量,休牧草场是轮牧草场的1.5倍,轮牧草场是自由放牧草场的1.2倍。水量平衡法测得的截留量,休牧草场是轮牧草场的1.6倍,轮牧草场是自由放牧草场的1.4倍。而叶面积指数分别为1.6倍和2.0倍。这是由于休牧、轮牧草场与

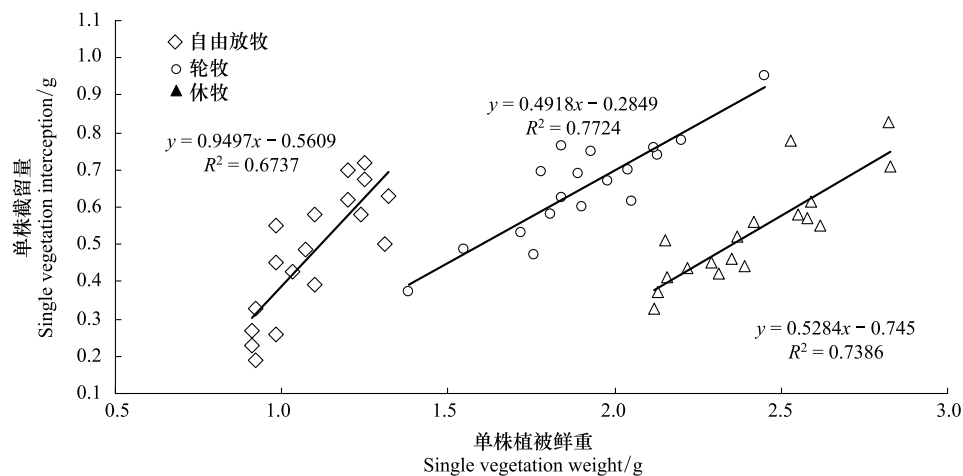


图6 单株植被鲜重与截留量关系

Fig.6 The relationship between single vegetation height and interception

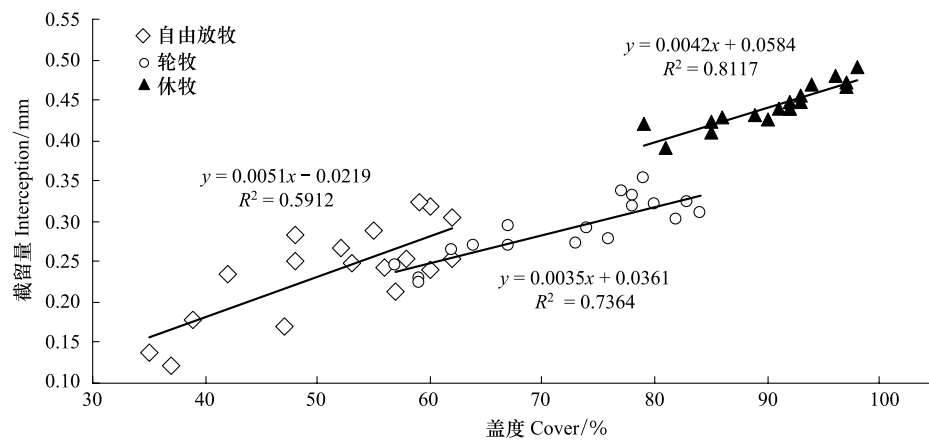


图7 盖度与截留量关系

Fig.7 The relationship between cover and interception

自由放牧草场相比的植被高度、叶面积差异极显著 ($P < 0.01$), 而休牧与轮牧间的差异没有达到极显著 ($P < 0.05$)。

2.4 基于 NDVI 指数的呼伦湖流域草原降雨截留量估算

本文采用具有中等空间分辨率的 Landsat5TM 影像数据, 时间为 2011 年 8 月, 分辨率为 30m。利用 ENVI 软件对 TM 影像预处理进行辐射校正、几何校正, 提取植被归一化指数 NDVI。利用 GIS 软件对研究区域范围界定, 以流域边界^[19]及国界为边界确定研究区域范围 (图 9), 由于近年来海拉尔河不再为呼伦湖注水, 所以将海拉尔河流域划出呼伦湖流域范围。

植被归一化指数 NDVI 与植被盖度 f 间关系:

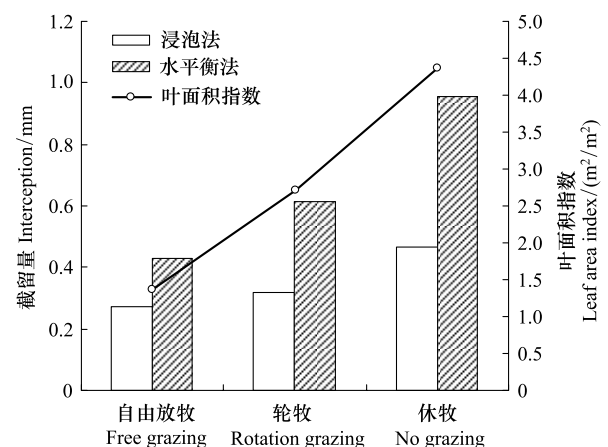


图8 水平衡法、浸泡法测定截留量与叶面积指数关系

Fig.8 The relationship between water balance, water soakage and LAI

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \tag{5}$$

式中, $NDVI_{min}$ 完全裸土或者无植被覆盖区域 $NDVI$ 值, $NDVI_{max}$ 完全植被覆盖的 $NDVI$ 值^[20]。

研究区范围内土地类型简单, 只有草地、裸土地、水体(包括沼泽地)。由 2011 年 8 月初 5 个不同点的实际盖度对反演结果进行验证, 见 3 表, 结果表明实际盖度与反演盖度相对误差小于 30%, 结果可以进行截留量计算。根据实地考察的 3 种放牧制度下草场的盖度范围, 自由放牧 35%—62%、轮牧 57%—84%、休牧 79%—98%。由实测的盖度范围反推 $NDVI$ 指数范围, 自由放牧草场 $NDVI$ 指数 0.35—0.62、轮牧草场 $NDVI$ 指数 0.62—0.84、休牧草场 $NDVI$ 指数 0.84—0.98, 同时对河道两旁沼泽地进行修正, 将其归为水体。根据 $NDVI$ 指数将全流域划分成 3 种放牧制度草原(图 9)。最终确定休牧草场面积为 1476 km²、轮牧草场面积为 10817 km²、自由放牧草场面积为 12374 km²。利用 ArcGIS 空间分析模块结合 3 种放牧制度下盖度与截留量关系式(图 7), 在不考虑降雨不均匀性的前提下, 得出一次全流域范围降雨量大于等于 30 mm 的降雨, 休牧、轮牧、自由放牧草场的截留量分别约为 4.995×10⁵、3.283×10⁶、2.679×10⁶ m³。总截留量约为 6.462×10⁶ m³。

表 3 实际盖度与反演盖度比较
Table 3 Compare with actual cover and inversion cover

点号 Point	坐标 Coordinate	实际盖度/% Actual cover	反演盖度/% Inversion cover	相对误差/% Relative error
J103	N 48°56'18.7", E 117°05'43.1"	35.87	31.4	12.5
J105	N 48°58'21.6", E 117°08'44.9"	30.76	23.7	23.0
J107	N 49°00'17.1", E 117°09'46.2"	41.78	33.8	19.1
J112	N 49°02'51.1", E 117°14'49.8"	29.42	37.8	28.5
J116	N 49°08'57.3", E 117°19'01.1"	36.41	29.0	20.4

3 结论与讨论

3.1 讨论

草地植被截留对于降雨再分配具有重要的意义, 截留量的大小关系到草原植被的生长状况和水资源的分配利用, 本文试验结果总体较好, 部分试验结果与前人研究略有差异。

(1) 休牧、轮牧、自由放牧草场叶面积指数、盖度、容重、生物量等指标差异显著($P<0.05$), 自由放牧草场植被截留量比较均匀, 变化幅度不大, 由于草场载畜过剩, 植被受牛羊啃食严重, 各种植被的株高、叶面积差异不大, 所以截留量比较均匀。休牧、轮牧、自由放牧草场所测得 LAI 分别为 4.36、2.72、1.37 m²/m², 与余开亮等^[13], 在青藏高原高寒草甸所测差异性趋势基本一致。

(2) 休牧、轮牧、自由放牧草场的单株植被高度、鲜重对截留量影响显著呈线性相关关系, 随着植被株高、鲜重的增加而截留量增大, 与卓丽等^[14], 测定结缕草截留量的结果一致。休牧及轮牧草场整体株高、鲜重与截留量相关, 自由放牧草场的整体株高、鲜重与截留量相关性较差, 由于草场植被比较稀疏、株高整体较矮, 累计计算截留量误差较大, 所以相关性较差。

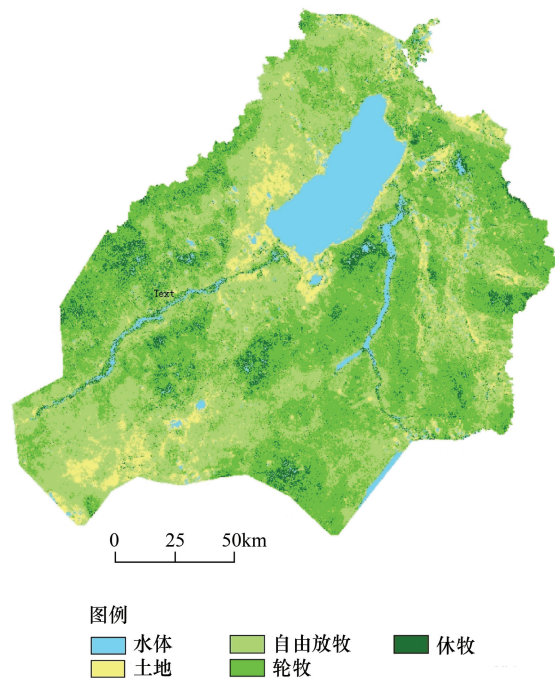


图 9 不同放牧制度草场面积
Fig.9 Grassland area of Different grazing systems

(3) 通过水浸泡法和水量平衡法测定的休牧、轮牧、自由放牧草场的截留量差异显著。其原因可能是由于水浸泡法对植被截留量测定是单株植被逐一进行测量,最后推算出每平方米该植被的截留量,并未考虑植被生长过程中由于的单株植物间接触过于紧密而造成的降水截留。水量平衡法是对一片植被整体截留量进行测量,不存在该种情况。余开亮等^[13],在青藏高原不同退化程度的高寒草甸测定的截留量时采用方法相同,结果趋势一致,但未对产生显著差异原因进行分析。相同高度、盖度水浸泡法所测定的值与余开亮^[13]、卓丽^[14]、Thurrow^[21]等测定的值比较,均低于他们所测定的值,可能是由于测定的植被类型不同所产生的差异;而水量平衡法测定结果与 Merriam^[22]的测定结果相接近。

(4) 由 Landsat5TM 影像提取的 NDVI 指数确定 3 种放牧制度草场面积,在不考虑降雨不均匀性的前提下,结合植被盖度与截留量关系,对全流域的降雨截留进行估算。虽然估算精度存在一定的误差,但在当前缺少雨量站降雨资料无法对降雨事件空间插值的前提下,将该区域植被冠层截留量的研究首次由概念性描述转变为定量化研究,进行的大胆尝试,为今后研究者提供一个思路和参考。

3.2 结论

本文利用浸泡法及水量平衡法研究单株植被和整体植被株高、鲜重、盖度及叶面积对截留量的大小及其变化。结果表明:

(1) 呼伦湖流域草原 3 种放牧制度草场的单株植被截留量和轮牧、休牧草场的整体植被截留量均显示随株高、鲜重的增加而增大,而自由放牧草场的整体植被截留量无明显规律。

(2) 通过水浸泡法和水量平衡法测定的休牧、轮牧、自由放牧草场的截留量分别是 0.468、0.320、0.271; 0.957、0.613、0.431 mm。

(3) 由遥感解译确定 3 种放牧制度草场面积,在不考虑降雨不均匀性的前提下,估算一次全流域范围降雨量大于等于 30 mm 的降雨,休牧、轮牧、自由放牧草场的截留量分别约为 4.995×10^5 、 3.283×10^6 、 2.679×10^6 m³。总截留量约为 6.462×10^6 m³。

致谢:感谢达赉湖自然保护区管理局的桂满全站长对实验的帮助

参考文献 (References):

- [1] Rowe L K. Rainfall interception by an evergreen beech forest Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 1983, 66(1/4):143-158.
- [2] 马雪华,杨茂瑞,胡星弼.亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究. *林业科学*, 1993, 29(3): 199-206.
- [3] Asdak C, Jarvis P G, Van Gardingen P, Fraser A. Rainfall interception loss in unlogged and logged forest areas of central Kalimantan, Indonesia. *Journal of Hydrology*, 1998, 206(3/4):237-244.
- [4] 刘文杰,李鹏翥,李红梅,张一平,段文平.西双版纳热带季节雨林林冠截留雾水和土壤水的关系. *生态学报*, 2006, 26(1): 9-15.
- [5] 刘文杰,张一平,刘玉洪,李红梅,段文平.热带季节雨林和人工橡胶林林冠截留雾水的比较研究. *生态学报*, 2003, 23(11): 2379-2386.
- [6] Calder I, Wiley J, Chichester S. Evaporation in the uplands. *Agriculture Water Management*, 1991, 20(1):84-85
- [7] 仪垂祥,刘开瑜,周涛.植被截留降水量公式的建立. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1996, 2(2): 47-49.
- [8] 张光灿,刘霞,赵玫.林冠截留降雨模型研究进展及其述评. *南京林业大学学报*, 2000, 24(1): 64-68.
- [9] 刘旻霞.青海云杉林林冠截留与大气降水的关系. *甘肃农业大学学报*, 2004, 39(3): 341-344.
- [10] 王安志,刘建梅,裴铁璠,金昌杰.云杉截留降雨实验与模型. *北京林业大学学报*, 2005, 27(2): 38-42.
- [11] 王庆改,康跃虎,刘海军.冬小麦冠层截留及其消散过程. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(1): 3-8.
- [12] Lamm F R, Manges H L. Partitioning of sprinkler irrigation water by a corn canopy. *Transactions of the ASAE*, 2000, 43(4): 90-9918.
- [13] 余开亮,陈宁,余四胜,王刚.物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响. *生态学报*, 2011, 31(19): 5771-5779.
- [14] 卓丽,苏德荣,刘自学,任云宇,刘艺杉.草坪型结缕草冠层截留性能试验研究. *生态学报*, 2009, 29(2): 669-675.
- [15] Wohlfahrt G, Bianchi K, Cernusca A. Leaf and stem maximum water storage capacity of herbaceous plants in a mountain meadow. *Journal of Hydrology*, 2006, 319(1/4):383-390.
- [16] 李春杰,任东兴,王根绪,胡宏昌,李太兵,刘光生.青藏高原两种草甸类型人工降雨截留特征分析. *水科学进展*, 2009, 20(6): 769-774.
- [17] 姜志国.内蒙古达赉湖国家级自然保护区综合考察报告.呼和浩特:内蒙古大学出版社, 2013:3-337.
- [18] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, f_{APAR} , and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sense of Environment*, 1999, 70(1):29-51.
- [19] 孙标.基于空间信息技术的呼伦湖水量动态演化研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2010.
- [20] 李苗苗.植被覆盖度的遥感估算方法研究[D].北京:中国科学院遥感应用研究所, 2003.
- [21] Thurrow T L, Blackburn W H, Warren S D, Taylor C A Jr. Rainfall interception by midgrass, shortgrass, and live oak mottes. *The Journal of Range Management*, 1987, 40(5):455-460.
- [22] Merriam R A. Surface water storage on annual ryegrass. *Journal of Geophysical Research*, 1961, 66(6):1833-1838.