

高寒草甸地区冷季水分资源 及对牧草产量的可能影响

李英年

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

摘要: 分析了高寒草甸地区冷季降水和土壤水分资源分布特征及其对牧草产量的可能影响。结果表明: 祁连山海北高寒草甸地区冷季降水资源贫乏, 但 9~10 月较高的降水受枯黄植被蒸散量小、植被盖度大的影响, 易贮存于土壤。加之地处高寒, 气温低, 土壤封冻早, 冻结期长, 使土壤水分在冬季可以冰晶水的形式留存于土体, 从而给来年牧草进入正常营养生长发育阶段提供了水分条件的需求。牧草产量的高低与冷季降水及土壤水分条件有一定的联系性。建立冷季降水与牧草产量间的预报方程, 其拟合率高。

关键词: 高寒草甸地区; 冷季降水资源; 土壤水分资源; 牧草产量

中图分类号: S812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5759(2001)03-0015-06

高寒草甸作为青藏高原及其周围山地的特殊植被类型, 是在长期的低温、高湿等严酷环境下, 经过漫长的适应和演化所形成的。由于该类草地土壤理化性质相当时期内变化不大, 草原建设投入甚微, 牧草产量高低很大程度受自然气候因素的制约。多年来, 对高寒草甸牧草产量影响机制及产量形成模式进行了研究报道^[1-3], 同时以冬春气温变化对牧草产量影响也进行了分析^[4]。作为课题研究的延续, 试图进一步分析冷季水分(土壤水和自然降水)资源分布状况对高寒草甸牧草产量可能产生的影响。

1 实验地及研究材料

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(简称海北站)进行。该站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的大通河河谷, 37°37'N、101°19'E, 海拔 3 200 m。自 1980 年开始从未间断地对牧草产量的年间动态进行测定^[2], 牧草产量为地上生物量达最高时 9 月 15 日前后 5 天内的测定值。测定采用收割法, 用剪刀于 50 cm × 50 cm 样方内齐地表剪下, 每次为 5 个重复, 尔后在恒温 85℃ 烘箱内烘干 48 h, 并称干重(g/m²)。同期还进行气象常规项目的连续观测。样地设在海北站综合实验场地。主要采用 1980~1995 年冷季(9 月~翌年 4 月。由于 9 月受枯黄植被及地表覆盖度影响植被蒸散量较小, 降水可留存于土壤, 故将 9 月降水列入冷季降水) 15 年降水和同期牧草产量资料, 以及 1991~1993 年有关土壤水分资料, 来探讨冷季水分资源对高寒草甸牧草产量的可能影响。

2 区域自然气候、植被和土壤概况

海北站地处高寒地区, 年平均气温较低(-1.7℃), 7 月平均气温 9.8℃, 1 月平均气温

收稿日期: 2000-04-25

基金项目: 本研究得到国家基础研究规划项目(19980408000), 中国科学院“九五”重大项目及特别支持项目(KZ95T-06, KZ951-A 1-204, KZ951-A 1-301)及海北高寒草甸生态系统实验站研究项目资助。

作者简介: 李英年(1962-), 男, 青海乐都人, 高级工程师。

- 14.8℃, 无霜期仅为 20 天左右。日平均气温稳定通过 0℃ 的活动积温约 1100℃·h; 10℃ 的年积温 < 100℃·h, 持续天数不足 10 天。由于气温低, 植物生长期只有 135 天左右。这里按气象四季标准划分, 季节不明, 全年皆冬, 只有冷(10 月~ 翌年 4 月)、暖(5~ 9 月)二季之分。年降水量较高, 平均为 580 mm 左右, 但降水的年变率较大, 最高年是最低年的 2 倍; 降水主要集中于暖季的 5~ 9 月, 占年降水量的 80%, 冷季的 10 月~ 翌年 4 月仅是年降水量的 20%。年日照时间平均为 2452 h, 植物生长季的 5~ 9 月日平均日照时间为 6.7 h。

海北站地区地理上处于蒙新荒漠、青藏高原和黄土高原的交汇地带, 是我国北方干旱与半干旱区嵌套的半湿润区域。气候上又处在“极锋”活跃位置的南侧, 冬夏两季大气环流截然不同。日照时间在我国为一相对低值区, 受高海拔因素制约, 气温低, 气候有其独特的一面。总的特征是冷季漫长、寒冷、少雨而干燥; 暖季短暂、凉爽、降水丰富而湿润。特殊的地理、气候环境下, 这里形成了以坡积- 残积物、洪积- 冲积物、古冰水沉积物所发育形成的亚高山草甸土、高寒灌丛土为主, 部分地带分布有钙积土的土壤类型。土壤发育年轻、简单, 土层浅薄, 具有较强的薄层性和粗骨性, 有机质含量丰富, 潜在肥力高^[5]。植被以寒冷湿中生的高寒草甸和高寒灌丛植被类型为主, 植物群落结构简单, 种类组成较少, 植株低矮、密集、生长期短促、生物生产力较低等为基本特点^[6]。

3 结果及分析

3.1 海北站冷季降水资源的分布

海北站地区深居欧亚大陆腹地, 又处于青藏高原的东北隅, 冬夏大气环流截然不同, 具明显的高原大陆性气候。暖季受弱的东南季风影响, 暖湿气流顺大通河谷溯源而上, 受地形热力及动力爬坡作用及与北方冷空气交汇, 水汽易达凝结高度, 地方性降水多, 地形雨明显, 降水相对丰富。而在冷季, 西伯利亚- 蒙古冷高压盘踞欧亚大陆, 高空多为下沉气流, 近地面层气流发生辐散, 空气干燥, 水汽含量低, 天空晴朗, 降水(雪)极为稀少。除 9 月仍受一定的季风影响外, 其它时间的降水主要发生于柴达木盆地西小高压东移时, 其中后部气流辐合上升时产生微量降水, 虽然降水量不高, 但在地表可形成一定厚度的积雪, 维持时间长短不一, 对土壤水分起到一定的保墒作用, 影响到来年牧草的正常生长发育, 进而影响牧草产量的形成。

统计 1980~ 1998 年冷季(9 月~ 翌年 4 月)降水量的月际分布(表 1)情况表明, 海北高寒草甸地区冷季的 9 月~ 翌年 4 月, 降水量呈现“U”型变化过程。其中 9 和 4 月较高, 多年平均分别为 75.4 mm 和 39.9 mm, 而 12 月最小, 平均只为 3.2 mm。冷季长达 8 个月, 平均降水量仅为 193.9 mm(最高达 356.0 mm), 是年降水总量的 34% 左右。特别是寒冷的 11 月~ 翌年 2 月, 平均降水量为 23.8 mm, 占年降水量的 4%, 是冷季降水量的 12%。同时 11 月~ 翌年 2 月以降雪为主, 大部分降雪来不及融化入渗地表, 就被吹风、蒸发等过程而散失, 对土壤水的增加贡献较小, 很大程度地形成无效降水。这些特点表明, 冷季降水在年内分布少, 降水资源贫乏。

由表 1 冷季(9 月~ 翌年 4 月)降水量年际动态变化情况还可以看出, 海北站地区冷季降水年际振动明显, 年间差异较大, 分布极不均匀。同时还表明, 降水不仅各月间差异明显, 而且相同月内年际变化的差异也较为剧烈。

3.2 海北站冷季土壤水分的分布

由于冬季土壤完全冻结, 土壤水分测定困难, 但考虑到冬季土壤水分基本保持稳定、变化平稳等特点, 这里仅用冷季前后的土壤水分资料测定情况进行描述。于 1991~ 1993 年曾对暖

表 1 海北站地区冷季降水统计

Table 1 Precipitation of cold season at Haibei alpine meadow ecosystem research station

序号 No.	年份 Year	降水量 precipitation (mm)								合计 Total
		上年度(月) Last year(months)				本年度(月) This year(months)				
		9	10	11	12	1	2	3	4	
1	1980~ 1981	84.5	10.8	1.1	0.0	3.7	0.0	3.0	6.6	109.7
2	1981~ 1982	107.8	7.1	2.8	1.0	3.6	7.0	12.1	6.7	148.1
3	1982~ 1983	79.4	31.7	16.1	2.2	5.9	3.8	5.5	41.9	186.5
4	1983~ 1984	82.4	21.5	1.4	1.7	1.1	6.2	18.7	59.1	192.1
5	1984~ 1985	64.3	11.9	2.9	2.0	3.4	2.4	50.5	36.8	174.2
6	1985~ 1986	126.9	65.1	0.4	4.5	11.5	19.2	53.5	74.9	356.0
7	1986~ 1987	15.2	29.7	12.5	15.7	0.0	10.5	33.6	60.6	177.8
8	1987~ 1988	49.6	5.9	16.2	0.0	5.0	13.1	40.9	15.7	146.4
9	1988~ 1989	102.6	108.0	12.6	3.1	7.2	27.8	21.4	50.9	333.6
10	1989~ 1990	93.0	87.8	24.1	14.0	4.1	21.0	14.7	42.8	301.5
11	1990~ 1991	56.2	25.9	3.7	0.2	5.4	0.8	19.1	28.2	139.5
12	1991~ 1992	28.4	10.3	0.6	3.8	0.9	5.2	19.1	30.2	98.5
13	1992~ 1993	99.3	26.4	0.3	0.5	2.4	9.9	15.5	15.2	169.5
14	1993~ 1994	31.4	22.6	4.1	1.2	4.4	5.9	21.1	47.3	138.0
15	1994~ 1995	100.5	15.5	16.5	4.0	4.7	12.0	18.9	35.6	207.7
16	1995~ 1996	110.8	25.9	2.1	0.4	2.1	2.4	27.4	37.4	208.5
17	1996~ 1997	38.2	25.0	6.6	0.0	0.5	4.9	11.1	35.0	121.3
18	1997~ 1998	11.8	2.0	4.0	0.0	0.2	3.7	11.7	52.6	86.0
平均	Mean	75.4	31.4	7.5	3.2	3.9	9.2	23.4	39.9	193.9

季植物生长期内的土壤水分变化情况进行了观测研究^[7,8]。结果发现,海北站地区土壤含水量保持有较高的水平。在植物返青前 4 月中旬左右的融冻阶段,土壤下层仍维持冻土,直至 7 月上旬方可全部融化,土壤上部含水量很高,4 月中下旬 0~ 60 cm 土壤含水量占干土重(下同)的 50% 左右,甚至超过最大持水量,是年内土壤含水量的最高时期,表现出冷季高寒草甸地区土壤水分资源丰富。但年景不同,随上年度 9~ 11 月降水量,以及冬季降雪覆盖程度和维持时间的不同,初春牧草生长发育期的 4~ 5 月土壤水分年波动变化明显,随前期降水分布有很大的差异。如 1990 年 9~ 10 月降水量为 38.7 mm,1991 年 4~ 5 月 0~ 60 cm 土层平均含水量为 47%;1991 年 9~ 10 月降水量为 125.7 mm,1992 年 4~ 5 月 0~ 60 cm 土层平均含水量为 56%;1992 年 9~ 10 月降水量为 74.0 mm,同时 10 月以后到 4 月之间降水也相对丰富,1993 年 4~ 5 月 0~ 60 cm 土层平均含水量可达 54%。6 月以后随牧草生长加快,叶面积指数增大,土壤水分很快降低,直到 9 月中旬以后,植被枯黄,蒸散减弱又逐渐升高^[7],一般可上升至 37% 左右,以后随土壤冻结,水分集聚后又达较高的水平。

高寒草甸地区,植物根系发达,主要分布于地表 0~ 20 cm 土层,占地下总生物量的 93.2%

以上^[9],植物根系有较强的滞水和持水能力^[8]。底层 40~ 60 cm 以下为砾石结构,土壤水分下渗不明显,大部分自然降水易聚集于地表上层。当冬季来临,土壤冻结,可使水分以冰晶水的形式留存于土壤中。观测表明,冷季的 10 月~ 翌年 4 月土壤地表封冻,土层冻结深厚,同时因植物根系具良好贮水能力,土壤水分得到保持而不致散失,形成一个良好的天然“蓄水库”,这个“水库”储水明显,且相当稳定,是全年最高的时期。暖季正直雨季,土壤得到降水的补给,致使年内土壤不出现干燥状况。

春季受冬春牧事活动过程及低气温、多大风等恶劣环境的影响,地表近似裸露,地表蒸发大,加之也是我国北方干旱胁迫最重时期,较高的土壤含水量可通过融冻过程,以土壤温度梯度的热力条件为载体,水分自深层向地表迁移,对降水偏少、“春旱”频繁发生的高寒草甸地区的植物生长,提供了水分供应的需求。

3.3 冷季水分资源对高寒草甸牧草产量的影响

冷季降水虽然较少,但对来年草甸植物的生长和发育有着不可质疑的影响作用。它不仅表现在秋季降水多,利于土壤墒情的提高,使冷季土壤封冻后土体含水量充足;而且冷季一定量的降雪,虽受吹风、蒸发影响,入渗土壤较少,但可提高地区空气湿度,减少土壤深层水分散失,保证土壤“蓄水库”有较高的水分贮存。这给来年牧草进入正常生长发育提供了一定的好的土壤墒情,从而可弥补自然降水的不足,发挥秋雨春用,利于牧草营养生长阶段的水分需求,最终为牧草产量提高,奠定了有利的基础作用。

统计海北站各月降水量与年牧草产量线性回归相关系数列表 2。可以发现,冷季 9 月~ 翌年 4 月各月及多年冷季平均降水量与年牧草产量普遍存在正的相关性。虽然相关系数不高(只有 4 月的相关系数通过 0.05 的信度检验),但一定程度表明了牧草产量与冷季降水的关系存在。从而说明冷季水分资源对高寒草甸牧草产量有一定的影响机制。当然,暖季的水分对于牧草生长是显得非常重要的,但在这里仅探讨冷季水分对牧草产量的影响机制的问题。

表 2 牧草产量与冷季降水量的相关关系

Table 2 The relationship between herbage production and cold season precipitation

月份	上年度 Last year				本年度 This year				9~ 翌年 4 月
Month	9	10	11	12	1	2	3	4	September-April
<i>r</i>	0.237	0.367	0.312	0.002	0.403	0.398	0.063	0.529	0.462

3.4 利用降水资料建立高寒草甸牧草产量预报模式

通过以上分析,并以冷季降水量作为牧草产量的预报因子是很有意义的。考虑到因子间还存在一定的相关性,建立预报方程时采用逐步回归法。为了对所建立的模型进行检验,仅采用 1981~ 1993 年 13 年的牧草资料来建立模式,而用 1994 和 1995 年资料来进行预报正确与否的效果检验。通过对高寒草甸地区冷季各月降水量进行逐步回归后建立草甸牧草产量的估测模型有:

$$GW = 280.80 + 3.8256 X_3 - 9.2795 X_4 - 0.8872 X_7 + 2.5554 X_8$$

其中: *GW* 为牧草产量模拟估算值, X_3 、 X_4 、 X_7 、 X_8 分别为冷季上年度 10、12 和本年度 3、4 月各月降水量。

所建立牧草产量的多元回归估测模型复相关系数为 0.903 5 ($n=13$), 经显著性检验, 达极显著性检验水平 ($P < 0.01$)。进行模拟处理看出, 利用上述气象因子来估测年牧草产量具有一定的准确性。图 1 绘出了利用所建立的模型对 1981~1993 年牧草产量的模拟结果及实际情况的比较, 证实其拟合率很高, 作为牧草产量的预报方程是可行的。对 1994 和 1995 年牧草产量进行试报, 实际产量分别为 390.8 g/m^2 和 415.7 g/m^2 , 而预报产量分别为 387.5 g/m^2 和 381.0 g/m^2 , 其相对误差仅为 0.9% 和 8.4%, 说明预报准确率较高。

4 讨论

高寒草甸植被是青藏高原所特有的植被类型, 具有独特严酷的环境条件。其植被产量高低主要取决于自然环境条件的波动变化。冷季降水资源虽然贫乏, 但对草地生产力影响甚为明显, 冷季降水较少时一定程度上限制了来年牧草的生长发育, 以至牧草产量的提高。虽然土壤水分资源丰富, 但土壤水分的高低直接或间接受冷季前期降水及冷季期间降雪波动变化影响明显。

高寒草甸地区牧草生长期短, 一般只有 135 天左右, 在这短短的时间里, 牧草要完成整个生长发育过程, 各个时段均显得极其重要。特别是牧草生长发育的初期营养阶段, 是奠定年内牧草生长好坏、年生产力高低的基础。在牧草萌动发芽、返青的初期阶段, 由于受高海拔因素影响, 气温仍然较低, 日最低气温时常小于 -7°C , 春季又正直我国北方冷空气(寒潮)频繁交替发生时节, 气温变化剧烈, 较高的土壤水分及其较大的冷季降雪量, 一方面可保持来年春季充足的水分, 形成较大湿度, 土壤热容量大, 地温变化平稳; 另一方面, 较高的土壤湿度, 不仅可提高外界温度, 而且可使初春嫩小的牧草叶片外表层维持产生一定厚度的薄水膜, 形成“湿冻”现象, 减弱了辐射冷却降温的速率和程度, 保证了牧草在营养生长阶段不被外界气温冻坏冻伤, 使冻害大大得到缓解。

研究表明^[4], 1 月平均气温越低, 当年牧草产量越高。这是因为 1 月气温低, 土壤冻结厚而坚实, 土壤内部易贮存大量的水分, 从而在春季发挥水资源的优越性。虽然寒冷的冬季可冻死冻伤植物的根茎, 但与土壤水分贮存量的作用相比显得次要。

分析表明, 在秋季蓄墒阶段, 把降水量大部分贮存在土壤中, 采取覆盖措施, 防止水分损失, 通过冬季封冻稳定贮水的有利条件, 合理利用土壤水分资源, 充分发挥秋雨春用的作用, 对提高牧草产量是有利的。因而也可认为, 在高寒草甸地区若条件许可, 冷季进行适量灌溉, 可提高来年牧草产量。

利用高寒草甸地区冷季降水因子, 建立草甸牧草产量的预报模式表明, 效果较好, 牧草产量与冷季降水和土壤水分资源分布有着一定的内在联系; 也从另一方面证实, 土壤本身贮存的有效水少也是高寒草甸牧草产量减少的一个重要原因。这为该类型地区如何进行草场经营管

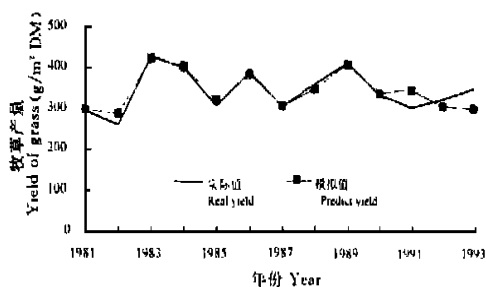


图 1 牧草产量模拟值与实际值比较

Fig 1 Comparison of predicting and real herbage production

理, 合利安排冬春补饲青干草(燕麦)的种植, 抗灾保畜, 持续发展畜牧业生产提供了可靠的依据。

参考文献:

- [1] 李英年, 王启基, 周兴民. 矮嵩草草甸地上生物量与气候因子的关系及其预报模式的建立[M]. 高寒草甸生态系统(第4集). 北京: 科学出版社, 1995. 1-10
- [2] 杨福囤, 王启基, 史顺海. 矮嵩草草甸生物量季节动态与年间动态[C]. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1989. 61-72
- [3] 李英年, 周兴民, 王启基, 等. 地温影响高寒草甸牧草产量的效应分析[J]. 草地学报, 1997, 5(3): 168-174
- [4] 李英年, 张景华. 祁连山海拔冬春气温变化对草地生产力的影响[J]. 高原气象, 1998, 17(4): 443-446
- [5] 乐炎舟, 左克成, 张金霞, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点[M]. 高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 19-23
- [6] 周兴民, 李建华. 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及其地理分布规律[M]. 高寒草甸生态系统. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982. 9-17
- [7] 鲍新奎, 李英年. 寒毡土的水分动态变化[M]. 中国土壤系统分类. 北京: 科学出版社, 1993. 344-352
- [8] 李英年, 王启基, 周兴民, 等. 高寒草甸区土壤水分动态的模拟研究[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 77-83
- [9] 王启基, 杨福囤, 史顺海. 高寒矮嵩草草甸地下生物量形成规律的初步研究[C]. 高寒草甸生态系统国际学术讨论会论文集. 北京: 科学出版社, 1989. 73-82

Cold season resource and its effects on herbage production in the alpine meadow region

L I Y ing-nian

(Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Sciences,
Xining 810001, China)

Abstract: The influence of cold season precipitation and soil moisture on herbage production in alpine meadow of Qilian mountains was analyzed. The data were collected at Haibei alpine meadow ecosystem research station from 1980 to 1998. The results indicated that the precipitation in the region was insufficiency during cold season. However less evaporation, high vegetation coverage caused soil to preserve water which comes from last September and October mostly. Moreover, low air temperature, early soil freeze and long frozen period keep soil moisture in the form of ice crystal until warm season to meet the plant growth. There is a positive relationship between cold season precipitation, soil moisture condition and herbage production. Using analysis, we established a model to predict herbage production accurately by data of cold season precipitation.

Key words: alpine meadow region; natural resources of cold season precipitation; natural resources of soil moisture; herbage production