

青藏高原高寒草甸的时空变化特征^{*}

王秀红

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

摘 要 本文首先用比较地理学的观点分析了青藏高原高寒草甸与其相邻景观之间的连续性与间断性; 然后从高寒草甸上下限垂直分布的特征出发, 半定量地阐明了上下限分布特征的原因以及决定上下限分布的主导因素; 最后从不同的时间尺度出发, 探讨了高寒草甸生态系统的动态变化特征。

关键词 青藏高原 高寒草甸 上下限 动态变化

1 高寒草甸的基本特点

高寒草甸集中分布于青藏高原中东部, 形成高寒(灌丛)草甸地带。其地势由东南部陡峻的深切峡谷向西北部一望无垠的高原腹地转变, 其景观体现出从山地森林地带向高寒草原地带自然景观的过渡性。高寒草甸地带是具有高原亚寒带半湿润气候的自然地域单元。

高寒草甸景观是青藏高原上独特的地生态现象, 但并非孤立的自然景观, 它与其相邻的山地森林和高寒草原景观之间, 在形成条件上既有连续性又有间断性。

1.1 气候特点

从高原温暖指数趋势面来看, 温暖指数在高原上形成一个低值区。高寒草甸地带处于从高原东南部温暖指数高值区向低值区过渡的地段。从高原湿度指数趋势面分析来看, 湿度指数呈现从高原东南部向西北部降低的总趋势。从趋势面上也可以看出, 在高寒草甸地带内随着经纬度的变化, 其温暖指数和湿度指数也不同, 从高原东南部到西北部, 高寒草甸的温暖指数和湿度指数均逐渐减小。说明在较小的尺度下, 高寒草甸的气候条件本身存在着差异性。

1.2 植被情况

植物体内元素化学特征, 既与植物生物学性状(如选择性吸收)有关, 又与植物所处的生境(气候、土壤、母岩等)有关。比较青藏高原山地森林、高寒草甸和高寒草原优势植物的元素化学成分, 可以看出: 从青藏高原东南部到西北部, 随着气候条件的变化, 其灰分含量次序: 山地森林< 高寒草甸< 高寒草原; 各自的元素化学特征也不相同, 山地森林属含中量Mn的植被类型, 高寒草甸和高寒草原属含高量Si的植被类型, 而且高寒草原含Si量高于高寒草甸(侯学煜, 1994)。

^{*} 中国科学院“九五”重大项目和国家“九五”攀登项目“青藏高原环境变化与区域可持续发展研究”支持课题。

蒙郑度先生指导帮助, 特此致谢。

来稿日期: 1997-10

1.3 土壤化学性状的比较

土壤是自然景观的一面镜子, 它可反映景观的生物气候条件。山地森林、高寒草甸和高寒草原下土壤的一般化学性状表明: 从高原东南部到西北部, 随着土壤淋溶作用减弱, 土壤 pH 值升高; 随着寒旱化的增强, 土壤有机质的积累减少。三种土壤类型的腐殖质化程度均低, 腐殖质中以富里酸占优势, 相比之下, 高寒草甸生境较有利于胡敏酸的形成。

2 高寒草甸分布模式探讨

本文将高寒草甸垂直分布作为一种更普遍的自然现象, 以此来探讨高寒草甸的空间分布特征。

2.1 上下限分布模式及特点 (王秀红, 1997)

设 H 、 x 、 y 分别代表高寒草甸分布海拔高度、地理经度、地理纬度, 得出适合高寒草甸上限分布的数学模式是:

$$H = \exp(2.46 + 0.0734x + 0.203y - 0.000448x^2 - 0.00331y^2) \\ (n = 144; \quad r = 0.895)$$

适合高寒草甸下限分布的数学模式是:

$$H = \exp(-4.18 + 0.0923x + 0.557y - 0.00351x^2 - 0.00344xy) \\ (n = 135; \quad r = 0.833)$$

上限分布模式曲面的最大特点是出现极值点 (81.9 E, 30.7 N)。下限分布模式曲面呈似东南-西北向的马鞍形, 其高度在高原的西北部较高, 南部次之, 而东北部较低。

根据高寒草甸上下限分布趋势面的推断, 两个趋势面在高原西北部必然相交, 即高寒草甸垂直带的幅度为零, 作为垂直带的高寒草甸消失。而高寒草甸下限分布趋势面与高寒草甸地带分布区及其附近高原基面趋势面相交的闭合曲线区, 就是高寒草甸地带可能的水平分布范围。由此高寒草甸水平分布与垂直分布之间的关系可以明确。

2.2 分布模式规律的讨论

高寒草甸, 由适合低温的中生多年生草本植物为主组成, 一般分布在比较冷湿的地区或部位。在比较干旱或温暖的地区, 高寒草甸一般出现在海拔较高的高山。

从高寒草甸上下限模拟的相关系数值可以看出: 上限分布的规律性较强, 这既与海拔较高处水热条件比较稳定, 有类似海洋性的气候条件有关, 也与在比较严酷的生境处植物对其生境的敏感性和适应性有关, 亦即在较高海拔处, 自然景观表现出趋同现象; 而下限分布规律较差, 这既与海拔较低处水热组合条件比较复杂, 有类似大陆性的气候条件有关, 也与在较好的生境条件下植物的竞争性增强有关。

2.2.1 上限分布特点分析

上限分布的最大特征是具有极值点。在纬向上: 首先, 高原上的温度和降水量状况, 总的趋势是由南到北逐渐减少, 受温度垂直递减率的影响, 高寒草甸分布上限随纬度值的增大而降低。其次, 在青藏高原东南部有降水丰沛、云量较大, 一方面造成空气湿度较大, 太阳辐射较低, 高原东南部高山上的温度较低, 另一方面较高海拔处, 降雪量大、雪线降低, 造成亚冰雪带界线降低, 因此高寒草甸的分布上限在高原东南部降低。第三, 青藏高原具有高亢的海拔, 巨大的加热作用, 使高寒草甸的上限分布上升。在上述三方面因素的

作用下，高寒草甸分布上限在纬向上出现极大值。纬向极值点出现的位置（30.7°N）与藏南藏北的分界线冈底斯山、念青唐古拉山的位置比较吻合。可见杨勤业和郑度（1985）称冈底斯山、念青唐古拉山为我国东部秦岭、淮河线在青藏高原上的变体，从藏南到藏北的突变性，在此表现为高寒草甸的上限分布出现极值。高寒草甸分布上限在纬向上的极值出现在半干旱区的高原亚寒带-高原温带过渡带，和温暖区的湿润-半湿润过渡带。

在经向上：极值点不很明显，极值点以西上限分布高度的下降很小，故可近似认为随经度值的增大（向东部），上限高度基本上是下降的。经向极值 $x = 81.9^\circ$ 出现在高原半干旱区向干旱区过渡的边沿，干旱区一般没有高寒草甸出现。经向极值的出现是因为：东南部同理是降水量较大、云量多造成的空气湿度较大、太阳辐射降低、以及雪线下降造成的胁迫作用，致使高寒草甸的分布上限降低，而高原的加热作用使上限高度随经度值的降低（向西部）而升高。

结合高寒草甸带上部的亚冰雪带温度极低，以及高山稀疏植丛也以中生植物为主（郑度等，1975；张荣祖等，1982；高以信等，1985）等特点的综合分析，造成高寒草甸带和亚冰雪带分异的主要因素是温度条件。换言之，影响高寒草甸上限分布的主导因素是温度条件。综合以前半定量资料（表 1），可以大致看出，高寒草甸上限的最暖月温度大约在 2 ~ 3℃，一般在比较湿润的地区上限最暖月温度较高，在比较干旱的地区最暖月温度较低。

表 1 青藏高原高寒草甸及相邻景观的水分温度状况（根据郑度等，1975；高以信等，1985）

Tab. 1 Temperature and moisture conditions of alpine meadow and its neighboring landscapes

景 观	年平均气温 ()	最暖月气温 ()	最冷月平均气温 ()	年降水量 (mm)
亚冰雪带	- 4 ~ - 12	5 ~ - 2	- 13 ~ - 22	300~ 700 (藏北< 300)
高山草甸	- 2 ~ 4	2 (3) ~ 6	- 10 ~ - 22	300~ 400
亚高山草甸	- 2 ~ - 6	6 ~ 13	- 5 ~ - 16	400~ 700
亚高山灌丛草甸	*	6 ~ 10	- 5 ~ - 16	350~ 600
山地针叶林	*	10 ~ 14	0 ~ - 5	500~ 1500
高山草原	- 0.2 ~ - 4	8 ~ 12	- 10 ~ - 16	100~ 300

注：* 表示无数据；
高山草甸、亚高山草甸和亚高山灌丛草甸均属高寒草甸。

2.2.2 下限分布特点分析

高寒草甸的分布下限实际上是山地森林（高原东南部）、高寒草原（高原西北部）的分布上限。在纬向上，也由于从南到北温度和降水量递减的总趋势，其下限分布高度逐渐降低。与其上限相比，下限分布高度在高原南部的低纬度区，受降水量较大造成的空气湿度较大、太阳辐射降低的影响较小；在经向上，主要是由于由东到西较干旱的气候条件适合于高寒草原的扩展，故高寒草甸的下限上移。

由于高寒草甸的下限是上述景观上限的组合，因此探讨各种景观之间的水热状况，可以推断决定高寒草甸下限分布的主导因素。

根据高原温暖指数和湿度指数趋势面分析，以及张荣祖等（1982）关于青藏高原和我国温带若干自然地带之间的关系图式也能表明，高寒草甸与相邻高寒草原分布区的湿润系

数差异较大, 而高寒草甸与相邻山地针叶林分布区的最暖月均温差异较大。这说明了决定高寒草甸下限分布的主导因素也有空间的变异。总的来看, 在青藏高原东南部, 决定高寒草甸下限分布(山地针叶林上限分布)的主导因素是温度条件, 最暖月温度大约为 10°C ; 在高寒草甸分布的西北部, 决定高寒草甸下限分布(高寒草原上限分布)的主导因素是水分状况, 年湿润系数(年湿润系数 = $1/\text{年干燥度}$) 约为 0.7, 年降水量约为 300 mm。

3 高寒草甸生态系统的动态分析

本文主要从高寒草甸地上生物量和土壤呼吸强度及土壤速效养分的变化来分析高寒草甸生态系统的动态特征。

3.1 高寒草甸地上生物量的动态

3.1.1 高寒草甸地上生物量的季节动态

李英年等(1995)在中国科学院海北高寒草甸定位站对矮嵩草草甸地上生物量的季节性变化规律进行了模拟研究, 发现日均温在 0°C 的日数 N 与植物生物量季节动态 Y 之间的关系为:

$$Y = 982.924 - 53.3975N + 1.0434N^2 - 0.0040N^3$$

$$(r = 0.9921, n = 12)$$

经典型计算(1981年), 植物生长生物量出现最高值时的时间约在9月10日, 其生物量值为 2.987 kg/hm^2 ; 生物量增长率极大值出现的时间对应为7月17日, 其极大速率为 $30.929\text{ kg/hm}^2 \cdot \text{d}$ (千克/平方米·日)。

李英年等进一步分析了候平均气温稳定 0°C 到10月份最后一候的候平均气温积温 T , 从4月份的第4候到10月份最后一候降水量的积累 R 与植物生物量 Y 之间的季节动态二次型关系:

$$Y = -465.134 + 42.047T - 0.533T^2 - 20.683R - 0.175R^2 + 0.637TR$$

$$(r = 0.9693, n = 12)$$

结合上述方程和实际观测可以看出, 高寒草甸植物生物量从萌动发芽开始到枯黄的整个过程中, 表现出缓慢积累—快速增加—相对稳定—折损减少的4个不同阶段。

4月下旬当日均温稳定 0°C 到6月中旬的日均气温 $< 5^{\circ}\text{C}$ 期间, 气温低、降雨少、牧草叶面积很小。此时植物处于返青阶段, 生长缓慢。6月下旬到8月中旬, 日均气温稳定 5°C 以上, 此时太阳辐射强烈、气温高、降水量大、植物叶面积最大, 干物质积累迅速; 但随着植物的旺盛生长, 植物群落的结构特征却逐渐成为干物质继续增加的限制因素, 主要表现为低层植物接受的光能处于光合作用光补偿点之下, 呼吸消耗逐渐增高(师生波等, 1991)。8月底到9月初, 气温开始降低、降水量逐渐减少。植物成熟并开始枯黄, 生物量不再积累。

3.1.2 高寒草甸地上生物量的年际动态

定位站利用功率谱分析, 对高寒草甸生态系统非线性振荡行为的周期性系列研究表明: 高寒草甸生态系统的主要非生命因子——降水量以 3~4 (精确值 3.600) 年, 和气温存在以 3 年的平均低频振荡; 在这个振荡源的策动下, 高寒草甸地上净生产力也存在一个 3~4 年的平均周期, 与降水量振荡周期相同的低频振荡, 但并不一定同步。在非生命因子和初

级生产力周期性振荡的共同策动下, 高寒草甸各营养层次的消费者的数量也应存在一个 3 年~ 4 年平均波动周期, 只不过各振荡的相位不一定相同。这表明在高寒草甸生态系统的频率结构中, 0.277 8 周/年是系统的主频率 (周立等, 1995)。

以上论及较长时间尺度的平均温度, 很容易给人造成高温即有利于植物生物量的增加。实际上, 在植物生长期间的低温对植物干物质的积累也有重要作用。对几种牧草的实验表明, 夜间低温可大大降低牧草的呼吸强度, 提高牧草的叶绿素和可溶性糖的含量。此外, 夜间低温还可以延长植物的营养生长和光合作用的持续时间 (张树源等, 1982)。

3.2 高寒草甸土壤的动态特征

3.2.1 土壤呼吸强度研究 (王在模等, 1982)

(1) 土壤呼吸强度的变化特点

定位站对土壤呼吸强度的旬变化研究表明, 各类土壤呼吸强度的高峰值出现在草盛期的初期, 即 7 月上中旬。7 月上旬到 8 月中旬的草盛期时, 土壤呼吸强度较强, 但此时仍有较大幅度的变动, 如灌丛草甸土 7 月下旬的土壤呼吸仅为中旬的 $\frac{1}{3}$ 左右。6 月下旬前土壤呼吸强度缓慢增加, 8 月中旬以后就缓慢下降。

土壤呼吸强度 8~ 18 时测得的平均值为 $4 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{hr} \sim 8 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{hr}$ 。以高山灌丛草甸土最高, 碳酸盐高山草甸的裸地最低, 碳酸盐高山草甸土居中。日高峰值出现的时间一般为 14~ 16 时。

土壤呼吸强度的昼夜变化, 以矮蒿草被覆下的碳酸盐草甸土为例, 晴天昼夜呼吸强度平均值为 $7.05 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{hr}$ (1979 年 8 月 7 日~ 8 日), 阴天为 $5.55 \text{ kg/hm}^2 \cdot \text{hr}$ (1979 年 8 月 11 日~ 12 日), 前者高出后者 27%。9~ 17 时的平均值较昼夜平均值高 24.3%~ 36.7%。

(2) 影响土壤呼吸强度各要素的分析

定位站的研究表明, 热量条件是强化土壤中生命活动的主要因素, 其中地表温度与土壤呼吸强度的关系最密切, 在一定的温度范围内 (如碳酸盐草甸土为 35℃ 以下) 呈极显著的线性正相关。

土壤水分的变化影响土壤透气状况和土壤热量条件。温度较低时, 可能较多的水分影响土壤呼吸强度; 温度较高时, 较低的土壤水分可能又制约土壤呼吸强度的提高。土壤表层和亚表层的坚实度直接影响土壤呼吸强度。如小蒿草被覆下的土壤, 根土比过高, 通透性不良, 土壤呼吸强度低, 影响土壤有机物的矿化率。鲍新奎等 (1995) 通过草毡层的根土比变化, 对草毡层的变化进行了研究, 指出蒿草草甸下经过 14 年~ 17 年, 最多 30 年即可形成草毡表层。

土壤中根量及其活性对土壤活性也有很大影响。不同时期, 即使在同一温度下, 由于根量及其活性不同, 土壤呼吸强度不同。7 月份根量大、活性强, 因此地温效应大; 以后随着根量及其活性的减少, 地温效应逐渐下降。

以上讨论了呼吸强度在各种条件下的变化情况, 但就长远而论, 天然草场干物质碳的产量与总呼吸碳素相等 (Jong et al, 1972)。这是因为, 在适当长的时间范围内, 土壤的环境条件具有相对稳定的特征, 与之联系的土壤碳库总量比较固定, 碳素的输入和输出量大致相等, 土壤系统维持动态平衡。环境条件的突变和渐变, 会引起土壤物质能量动态平衡系统的破坏, 在达到新的动态破坏以前, 碳素的输入、输出量会有较大的差异; 但在相对

稳定了的环境下, 土壤呼吸强度和干物质碳的积累会趋于平衡。定位站的工作已证实了这一点。

3.2.2 土壤速效养分的季节性动态特点

高寒草甸土壤富含有机质和氮素, 潜在肥力很高, 但由于地处高寒, 土壤速效养分的供应能力较低。根据海北州门源县盘坡定位站的实验表明, 在植物生长季节, 土壤速效养分变程曲线呈马鞍形, 其鞍部(低含量期)恰处于植物干物质积累最大的时期, 亦即气温最高的时期。初步分析结论是, 随着气温的升高, 土壤速效养分增加, 植物生长速度和干物质积累强度也相应增加(营养生长期), 牧草吸收土壤养分增多。所以土壤速效养分含量的升降, 在很大程度上取决于土壤速效养分的释放速率和牧草吸收养分强度之间的平衡状况。马鞍形的出现, 表示在该时期土壤速效养分的相对不足。草盛期高寒草甸土中速效养分含量不能满足植物生长发育的要求。实验表明, 高寒草甸土速效养分中磷最缺乏, 氮素也不足, 而钾素较丰富, 增施磷氮肥可显著提高牧草产量(左克成等, 1980)。

3.3 高寒草甸生态系统的波动特征

以上只根据现有资料分析了高寒草甸生态系统中植物生物量和土壤呼吸强度及土壤中速效养分的一些动态特点。实际上影响高寒草甸生态系统波动的各种自然因素之间既彼此相互作用, 又以不同频率作准周期性振荡或波动。在一定时空条件下, 当各种波动的波谷逐渐相叠, 或波峰逐渐相叠, 亦即不少影响因素转化为限制因素而共同起作用时, 作为准受迫波动的草甸草场表现为退化, 此时人为因素的不利搅动很可能使草场不能摆脱退化的低谷而彻底丧失生产力; 而草场在其它条件下表现为优化或保持相对稳定。高寒草甸生态系统在退化与优化之间的准周期性波动是许多因素共同作用的结果。而且每一因素的波动既是更基本因素或更短时段波动的合成; 又是其它因素或更长时段波动的合成因素。高寒草甸生态系统的退化指标不同, 包括的空间和时间范围不同, 波动的周期也不同。

参 考 文 献

- 1 侯学煜 中国主要植被类型的化学特征和各植被区植被化学地理 植被生态学研究 科学出版社, 1994
- 2 王秀红 青藏高原高寒草甸层带 山地研究, 1997, 15(2).
- 3 高以信等 西藏土壤 科学出版社, 1985
- 4 杨勤业, 郑度 冈底斯山、念青唐古拉山线自然地理意义的探讨 地理研究, 1985, 4(2).
- 5 张荣祖, 郑度, 杨勤业 西藏自然地理 科学出版社, 1982
- 6 郑度, 胡朝炳, 张荣祖 珠穆朗玛峰地区的自然分带 珠穆朗玛峰地区的科学考察报告(自然地理). 科学出版社, 1975
- 7 Jong et al Calculation of soil respiration and activity from CO₂ profiles in the soil Soil Sci, 1972 113
- 8 鲍新奎等 草毡表层的形成环境和发生机理 土壤学报, 1995, 32, 增刊(1).
- 9 李英年等 矮嵩草草甸地上生物量与气候因子的关系及其预报模型的建立 高寒草甸生态系统- 4 科学出版社, 1995
- 10 刘醒华 川西林区森林采伐迹地土壤肥力的初步研究 土壤学报, 1979, 16(3).
- 11 师生波等 矮嵩草草甸植物群落生长的初步研究 高寒草甸生态系统- 3 科学出版社, 1991
- 12 王在模等 高山土壤呼吸强度之研究 高寒草甸生态系统- 1, 甘肃人民出版社, 1982
- 13 张树源等 青藏高原夜间低温对几种牧草的生理影响 高寒草甸生态系统- 1 甘肃人民出版社, 1982
- 14 周立等 高寒草甸生态系统非线性振荡行为周期性的研究(1~ 3). 高寒草甸生态系统- 4 科学出版社, 1995
- 15 左克成, 乐炎舟 青海高山草甸土的形成及其肥力评价 土壤学报, 1980, 17(4).

SPATIO-TEMPORAL CHARACTERISTICS OF THE ALPINE MEADOW ON THE QINGHAI- TIBETAN PLATEAU

W ang Xiuhong

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101*)

Abstract

The paper first analyzes the continuity and discontinuity between alpine meadow and its neighboring landscapes, secondly studies the upper and lower limit distribution of the alpine meadow and their related determining factors, thirdly studies the dynamic change of the alpine meadow ecosystem.

Key words Qinghai- Tibetan Plateau, alpine meadow, upper and lower limit, dynamic change

作 者 简 介

王秀红, 男, 1964 年 2 月生, 副研究员、博士。1986 年毕业于北京农业大学土壤农业化学系, 主要从事土壤地理研究, 共发表学术论文 19 篇。