

文章编号: 1007-0435(2002)04-0279-08

# 矮嵩草草甸植物种群物候学定量研究\*

周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 李英年, 严作良, 赵旭霞

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 通过对矮嵩草草甸主要植物种群物候特性的观测研究, 采用聚类分析和主分量排序法将矮嵩草草甸 19 种植物种群划分为不同的物候类群。利用相关系数排序法指出了影响不同物候期的主要生态因子依次是温度、降水量和日照时数。研究结果表明, 物候指数是说明高寒矮嵩草草甸物候模式的一个有用指标。

**关键词:** 矮嵩草草甸; 物候指数; 聚类分析; 主分量排序; 相关系数

**中图分类号:** S812 **文献标识码:** A

## A Quantitative Study on the Plant Population Phenology in *Kobresia humilis* Meadow

ZHOU Hua-kun, ZHOU Li, ZHAO Xin-quan, LU Wei,

LI Ying-nian, YAN Zuo-liang, ZHAO Xu-xia

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

**Abstract:** The phenological characteristics of main plant populations in *Kobresia humilis* meadow were measured and studied in this paper. The 19 plant populations in *Kobresia humilis* meadow were divided into different phenological groups with clustering analysis and principal component ordination. By the method of correlative coefficient ordination, the main ecological factors that influenced different phenological periods were listed as bellow: temperature, precipitation and sunshine hours, respectively. All of this study proved that phenological index was a good quantitative standard to show phenological pattern of alpine *Kobresia humilis* meadow.

**Key words:** *Kobresia humilis* meadow; Phenological index; Clustering analysis; Principal component ordination; Correlative coefficient

植物物候学是研究植物生长发育节律及其与气候条件关系的一门科学<sup>[1,2]</sup>, 在植物群落研究和畜牧业生产中有一定的重要性。一方面反映植物生长发育与环境条件的关系, 另一方面, 在牧场管理中, 可根据牧草生长发育阶段, 合理安排放牧与割草程序。国内外对植物物候学的观测研究已有大量文献报道<sup>[2~8]</sup>。然而, 大多仅限于定性研究, 缺乏相应的定量研究。本文以青海省高寒地区矮嵩草草甸主要植物种群为研究对象, 通过定量分析, 揭示其物候学变化模式及其规律。

## 1 材料与方法

**1.1 研究样地** 选在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站, 地势平坦, 植被分布均匀的矮嵩草草甸。该站地处青藏高原东北隅, 祁连山北支冷龙岭东段南麓的平缓滩地, 在青海省海北州门源县境内, 位于 37°29' ~ 37°45' N, 101°12' ~ 101°33' E, 海拔 3200m<sup>[9,10]</sup>。属典型高原大陆性气候特点, 无四季之分, 仅有冷暖二季之别, 冷季漫长, 干燥而寒冷, 暖季短暂, 湿润而凉爽, 年温差较小而日温差较悬殊, 太阳辐射强烈<sup>[9~11]</sup>。

收稿日期: 2002-05-30; 修回日期: 2002-07-17

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目课题(2001BA 606A-02), 国家重点基础研究专项经费(G1998040800)和中科院海北定位站基金

作者简介: 周华坤, (1974-), 男, 在读博士生, 主要从事草地生态学研究

土壤为高山草甸土和高山灌丛草甸土, 表土和亚表层有机质含量丰富。植被类型有高寒草甸(A lpine meadow)、高寒灌丛(A lpine shrub)和沼泽化草甸(Sw amping meadow)。其中矮蒿草草甸在高寒草甸中分布较广, 为主要植被类型之一, 是青藏高原隆起, 形成高山冷湿气候的产物<sup>[9]</sup>。

## 1.2 测试项目

1998年8~9月选择样地, 1999年4~10月进行有关参数测定。

1.2.1 用曲管地温表测5、10、15和20cm土层的地温, 每次观测记录植物物候期。

1.2.2 每月上、中、下旬选择3个晴天, 在10:00~11:00h间, 用土钻法取样, 重复6次, 测土壤湿度, 共分4个层次: 依次为0~4.99、5~9.99、10~14.99和15~20cm。

1.2.3 光照、降水、气温、地表温度和空气湿度以该站气象观测场同期记录为准。

1.2.4 矮蒿草草甸植物种群不同物候期的统计值

见表1。

1.2.5 在矮蒿草草甸样地选择19种代表性植物, 每种定株标记20株, 自4月初开始, 3~5d观测一次, 至10月初枯黄为止。观测相对休眠期、营养期、花蕾期、花期、结实期、果后营养期、枯黄期, 每期又分2~4个亚期<sup>[12]</sup>。以该种植物10%样株的物候变化比率划分该物候期的始期和末期<sup>[13]</sup>。统计每种植物各物候期的延续天数和生态因子值(表1)。

以19种植物物候期的物候指数<sup>[13, 14]</sup>为变量, 利用相对欧氏距离<sup>[15]</sup>聚类分析法<sup>[16]</sup>, 将其归类, 用主分量分析<sup>[17, 18]</sup>方法进行排序分析。计算不同物候期植物的物候指数和6个生态因子间的相关系数<sup>[17]</sup>, 按大小排序。

## 1.3 数据处理

物候指数、物候变化比率、相关系数和气候因子参数的计算统计均在Office 2000办公软件上进行, 用BAS I C程序CLU S T E R · B A S和P C A · B A S进行聚类分析和主分量排序。

表1 矮蒿草草甸植物种不同物候期的生态因子

Table 1 The ecological factors of different phenological periods of *K. humilis* meadow

生态因子 Ecological factor	营养期 Vegetative period	花蕾期 Pretlowering bud period	开花期 Florescence	结实期 Seed set Period	果后营养期 Vegetative period after fruit period	枯黄期 Withering period	生长期 Grow ing period
0 积温 0 accumulated air temperature	532.51 ± 362.82	252.53 ± 135.24	309.17 ± 155.68	159.06 ± 111.21	532.85 ± 280.94	117.30 ± 85.77	1297.92 ± 49.18
5 积温 5 accumulated air temperature	488.12 ± 255.22	234.22 ± 119.44	301.67 ± 161.12	155.61 ± 114.85	491.18 ± 289.70	83.68 ± 84.63	1196.69 ± 34.99
0 地表积温 0 accumulated ground surface temperature	879.46 ± 407.78	367.25 ± 158.81	471.64 ± 221.47	241.96 ± 153.48	838.14 ± 421.98	207.77 ± 139.11	2050.72 ± 90.44
5 地表积温 5 accumulated ground surface temperature	872.19 ± 407.18	366.26 ± 159.70	470.39 ± 222.15	241.0 ± 154.28	807.98 ± 437.58	191.69 ± 140.01	2031.28 ± 84.77
降水量(mm) Precipitation (mm)	211.28 ± 98.20	98.62 ± 49.67	114.25 ± 64.68	63.75 ± 38.19	185.83 ± 102.03	36.64 ± 21.74	476.93 ± 20.69
日照时数(h) Sunshine hours(h)	510.44 ± 205.36	188.49 ± 100.81	220.93 ± 99.32	109.61 ± 60.76	425.08 ± 196.35	163.36 ± 120.11	1057.52 ± 70.10
气温( ) (1.5m) Air temperature( )	6.43 ± 1.45	8.62 ± 1.51	8.57 ± 1.76	9.03 ± 1.60	6.71 ± 1.58	4.57 ± 1.53	6.69 ± 0.57
地表温度( ) (0m) Ground surface temperature( ) (0m)	12.72 ± 0.91	14.26 ± 2.04	14.32 ± 1.93	14.59 ± 2.37	12.93 ± 1.77	9.59 ± 2.43	13.33 ± 0.59
土壤温度( ) (0~20cm) Soil temperature( ) (0~20cm)	7.73 ± 1.79	10.59 ± 1.63	10.81 ± 1.60	11.34 ± 1.31	10.88 ± 0.60	9.81 ± 0.00	9.42 ± 0.58
土壤含水量(%) (0~20cm) Soil water content(%) (0~20cm)	31.02 ± 0.58	30.66 ± 0.81	30.86 ± 0.81	31.27 ± 1.67	30.55 ± 0.82	28.98 ± 0.71	30.85 ± 0.16

注: 表中数据为19种植物不同物候期平均值 ± 标准差

Note: The data of Table 1 are calculated by the average values ± standard deviation of different phenological periods of 19 plant populations in *K. humilis* meadow

## 2 结果与分析

### 2.1 物候特征

2.1.1 物候特征包括物候指数、物候延续天数、物候变化比率<sup>[13,14]</sup>定量指标(表 2)。物候指数是利用植物种物候谱形状建立的定量指标,物候变化比率是植物种在某一物候期间物候变化的相对比率,公式如下:

$$PI = \sum_{i=1}^k (PR_i + PR_{i+1}) \times (t_{i+1} - t_i) / 2 \quad (1)^{[13]}$$

式中 PI 为植物种群的物候指数;  $PR_i \cdot PR_{i+1}$  分别为观测  $i, i+1$  时刻植物种群物候变化比率,  $t_i$  为不同的观测时间,  $i=1, 2, 3, \dots, n (k < n)$ 。

$$PAR = PI / LD \quad (2)^{[13]}$$

其中 PI 含义同公式(1), PAR、LD 分别为某一物候期该植物种物候变化平均比率和物候延续天数。

表 2 矮嵩草草甸植物种不同物候期的物候特征

Table 2 The plant phenological characteristics of different phenological periods in *K. humilis* meadow

物候阶段 Phenological stage	营养期 Vegetative period	花蕾期 Preflowering bud period	开花期 Florescence period	结实期 Seed set period	果后营养期 Vegetative period after fruit period	枯黄期 Withering period	生长期 Growing period
物候指数 Phenological index (PI)	56.82 ± 28.97	7.52 ± 4.96	14.20 ± 7.57	6.61 ± 5.46	39.59 ± 18.05	12.67 ± 7.07	137.06 ± 17.80
物候特征 Phenological characteristics							
物候持续天数 Lasting days (LD)	70.95 ± 30.02	27.53 ± 11.78	34.00 ± 15.02	17.11 ± 9.53	64.63 ± 30.19	23.84 ± 10.90	164.16 ± 10.22
物候变化比率 Phenological average rate (PAR)	0.77 ± 0.10	0.27 ± 0.12	0.42 ± 0.13	0.39 ± 0.16	0.60 ± 0.09	0.50 ± 0.14	0.78 ± 0.19

注: 表 2 数据为矮嵩草草甸 19 个植物种群的平均值 ± 标准差

Note: The data of table 2 are calculated by the average values ± standard deviation of 19 plant populations in *K. humilis* meadow

2.1.2 矮嵩草草甸的营养生长期和果后营养期的物候指数、物候持续天数和物候变化率均较大,其它物候期则较小,这与高原植物生长和生殖对严酷气候条件的适应有关,其营养生长期较长,而开花、结实等生殖生长期则相对较短,表现出高原植物典型的生态-生物学特性<sup>[19]</sup>(表 2)。

### 2.2 物候类型划分

2.2.1 聚类分析是运用数学方法对不同样本进行数量分类,定量地确定样本间的亲属关系,并按其间的相似程度,归组并类,以便客观分类的一种多元统计分析方法<sup>[20]</sup>。

以 19 种植物物候指数 (PI) 为变量,利用相对欧氏距离<sup>[15]</sup>聚类分析法<sup>[16]</sup>,将其归类,公式如下:

$$RED_{jk} = \left\{ \sum_{i=1}^s \left[ \left( \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^s x_{ij}} \right) - \left( \frac{x_{ik}}{\sum_{i=1}^s x_{ik}} \right) \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (3)^{[17]}$$

式中  $RED_{jk}$  为第  $j, k$  物种间的相对欧氏距离,  $s$  为变量数,  $x_{ij}, x_{ik}$  分别为第  $j, k$  个物种的第  $i$  变量值。取相对欧氏距离 (RED) 为 0.50, 19 种植物可

明显地区分为三种不同物候类型(图 1), 各类型均具有相近的生态特征和遗传反应。

2.2.2 第 I 类型属花期较早的植物, 主要是莎草科的矮嵩草 (*K. humilis*)、小嵩草 (*K. pygmaea*)、二柱头草 (*Scirpus distigmaticus*) 和杂类草中的矮火绒草 (*Leontopodium nanum*) 共 4 种, 均以无性繁殖为主, 属寒冷中生和早中生植物, 返青早, 在返青后经过 20 多天短暂的营养生长, 便进入花期, 开花期在 5 月中旬前后。这类植物是高寒草甸中的早花植物, 结实后进入较长的果后营养期, 所以第 I 类型植物在果后营养期具有相对较高的物候指数和积温、降雨、日照时数等生态因子累积值, 其它物候期则相对较短。该类型植物大多是莎草科植物, 耐牧耐践踏, 营养价值丰富, 具有高蛋白、高脂肪、高无氮浸出物、纤维素含量低和热值含量较高的“四高一低”的典型特性<sup>[9,19]</sup>, 是高寒草甸地区的优良牧草, 经济利用价值高。

2.2.3 第 II 类型为开花期出现在生长旺盛期的植物类群, 包括雪白萎陵菜 (*Potentilla nivea*)、甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*)、高山唐松草 (*Thalictrum*

*alpinum*)、蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、鹅绒萎陵菜(*Potentilla anserina*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)、苔草(*Carex* spp.)、雅毛茛(*Ranunculus pulchellus*)、兰石草(*Lancea tibetica*)共 9 种,大多能进行有性繁殖。返青后经过一段时间的营养生长后,进入花期,开花期在 7 月中旬前后,结实后经过果后营养期,逐渐枯黄,呈现一致的发育节律。该类型植物以杂类草为主,部分属于毒草,营养价值较低,但在夏天也是牲畜抓膘的牧草之一,并且部分牧草也可以作为草药和营养品加以开发利用<sup>[19]</sup>。

2.2.4 第 III 类型为开花期较晚的植物类群,包括美丽风毛菊(*Saussurea superba*)、麻花苣(*Gentiana straminea*)、线叶龙胆(*G. farreri*)、羊茅(*Festuca ovina*)、早熟禾(*Poa* spp.)、垂穗披碱草(*Elymus*

*nutans*)共 6 种。以有性繁殖为主,8 月中旬进入花期,其中线叶龙胆开花晚,在 9 月中下旬。该类植物在结实后进入短暂的果后营养期后逐渐枯黄,营养期较长,该期有较大的物候指数和生态因子累积值,其他物候期则较短。该类型植物包括禾草类和少量杂类草,营养价值较高,适口性好,牲畜喜采食,8 月中旬以后,禾草类的营养成分明显降低,粗纤维含量增高,适口性下降,所以应根据该类牧草物候期的不同,优化利用时期,合理安排放牧。

2.2.5 上述各类植物开花的迟早,与其生物-生态学特性密切相关<sup>[4]</sup>。由物候指数而划分的物候类型可以直观地反映各类植物的物候特性,同时也表明,在同一生境条件下,不同类型植物的物候变化具趋同适应性<sup>[5,21]</sup>。

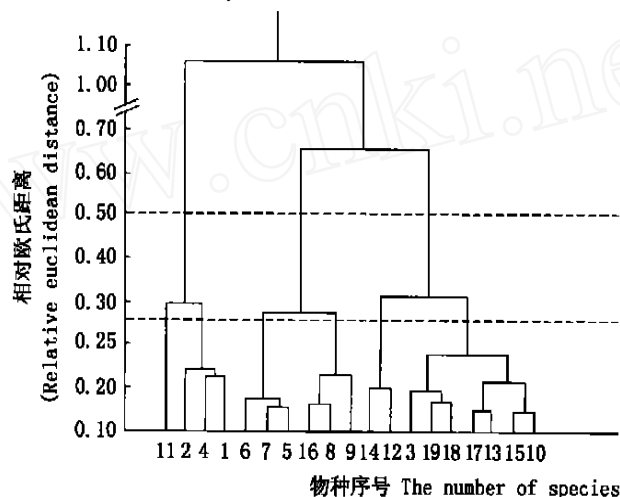


图 1 矮蒿草草甸植物物候指数的相对欧氏距离聚类

Fig 1 The RED clustering figure of phenological index of main plant populations in *K. humilis* meadow

1. 矮蒿草(*K. humilis*), 2. 二柱头草(*Scirpus distigmaticus*), 3. 苔草(*Carex* sp.), 4. 小蒿草(*K. pygmaea*), 5. 羊茅(*Festuca ovina*), 6. 垂穗披碱草(*Elymus nutans*), 7. 早熟禾(*Poa* sp.), 8. 麻花苣(*Gentiana straminea*), 9. 美丽风毛菊(*Saussurea superba*), 10. 雪白萎陵菜(*Potentilla nivea*), 11. 矮火绒草(*Leontopodium nanum*), 12. 雅毛茛(*Ranunculus pulchellus*), 13. 高山唐松草(*Thalictrum alpinum*), 14. 兰石草(*Lancea tibetica*), 15. 甘肃棘豆(*Oxytropis kansuensis*), 16. 线叶龙胆(*Gentiana farreri*), 17. 蒲公英(*Taraxacum* sp.), 18. 鹅绒萎陵菜(*Potentilla anserina*), 19. 甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)

### 2.3 物候指数主分量分析

主分量分析(Principal Component Analysis, PCA)是近年来排序(Ordination)中普遍使用的一种多元特征分析方法,在众多的属性中,选取少数含信息量大的主分量对实体重新排序,使之能直观地排列在新的坐标轴上(二维或三维)进行相互间的比较与分析<sup>[18]</sup>。

#### 2.3.1 利用 19 种植物 6 个物候期的物候指数矩

阵,用 BASIC 程序 PCA·BAS 进行主分量排序。在排序时,选取的主分量,包含 80%~85% 的信息即可,如果前三个主分量含有 80% 的信息量,排序结果就比较理想<sup>[18]</sup>。表 3 中,前三个主分量的累计信息百分比超过了 85%,从 6 个物候期对三个主分量的负荷情况可以看到,对第一主分量影响较大的是营养期和果后营养期的物候指数,前者为正,后者为负,由于植物营养期物候指数愈大,果后营养期的物

候指数则愈小, 呈显著负相关 ( $p < 0.01, n = 19$ ), 其他物候期的物候指数贡献较小, 所以第一主分量基本上反映营养期(花前和果后)的物候指数。第二主

分量代表了枯黄期的物候指数; 第三主分量则代表花蕾期的物候指数。将第一、二、三主分量为坐标轴做三维排序图(图2)。

表3 物候指数对前三个主分量的负荷值

Table 3 The burdening value of phenological indexes to first 3 principal components

物候阶段 Phenological stage	第一主分量 The first principal component	第二主分量 The second principal component	第三主分量 The third principal component
营养生长期 Vegetative growth period	0.907	-0.320	-0.012
花蕾期 Preflowering bud period	0.377	0.193	0.898
开花期 Florescence period	0.625	0.672	-0.103
结实期 Seed set period	-0.398	0.687	0.120
果后营养期 Vegetative period after fruit period	-0.910	0.142	0.172
枯黄期 Withering period	0.237	-0.843	0.254
特征根( $\lambda$ ) Special value	2.397	1.793	0.926
信息百分比(%) Information percentage	39.9	29.9	15.4
累计信息百分比(%) Accumulated information percentage	39.9	69.8	85.3

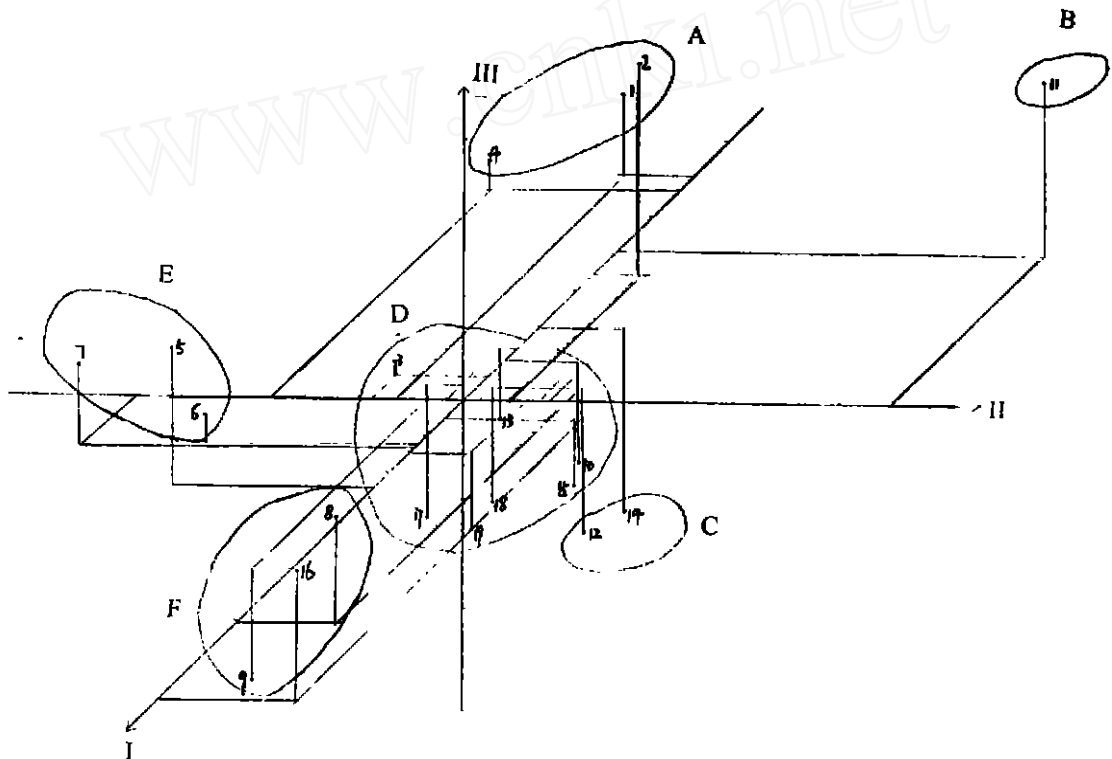


图2 矮蒿草甸植物种群物候指数三维排序

Fig. 2 Three dimensional ordination figure of phenological index of main plant populations in *K. humilis* meadow  
 1. 矮蒿草 (*K. humilis*), 2. 二柱头 蒿草 (*Scirpus distigmaticus*), 3. 苔草 (*Carex* spp.), 4. 小蒿草 (*K. pygmaea*), 5. 羊茅 (*Festuca ovina*), 6. 垂穗披碱草 (*Elymus nutans*), 7. 早熟禾 (*Poa* spp.), 8. 麻花苳 (*Gentiana straminea*), 9. 美丽风毛菊 (*Saussurea superba*), 10. 雪白委陵菜 (*Potentilla nivea*), 11. 矮火绒草 (*Leontopodium nanum*), 12. 雅毛茛 (*Ranunculus pulchellus*), 13. 高山唐松草 (*Thalictrum alpinum*), 14. 兰石草 (*Lancea tibetica*), 15. 甘肃棘豆 (*Oxytropis kansuensis*), 16. 线叶龙胆 (*Gentiana farreri*), 17. 蒲公英 (*Taraxacum* sp.), 18. 鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*), 19. 甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*)

2.3.2 按照各个种群的聚类程度,将19种植物划为六大物候类群(图2),每一类群在排序图中的相对位置反映该类群在第一、二和三主分量上对应的平均物候指数的大小,结果与表4的统计结果完全吻合。

2.3.2.1 在I轴,从负向到正向依次排列着A、B、C、D、E、F六大类群,营养期物候指数依次为 $A < B < C < D < E < F$ ,相应地,果后营养期物候指数分别为 $A > B > C > D > E > F$ 。

2.3.2.2 II轴代表枯黄期的物候指数,由于在表3

中的负荷值为负,所以在II轴,枯黄期的物候指数从左到右变小,如E类群处于排序图II轴的最左边,则在六大物候类群中枯黄期的物候指数最大。B类群处于排序图II轴的最右边,枯黄期的物候指数最小(表4)。

2.3.2.3 III轴自下而上代表花蕾期的物候指数逐渐变大,B类群处于III轴的最上部,则在六大物候类群中花蕾期的物候指数最大。C类群处于排序图III轴的最下部,花蕾期的物候指数最小(表4)。

表4 六大物候类群在I、II和III主分量的物候指数

Table 4 The average phenological indexes of six phenological groups in the primary three principal components

主分量 Principal component 物候阶段 Phenological stages	I 营养生长期 Vegetative growth period	II 果后营养期 Vegetative period after fruit period	III 枯黄期 Withering period	IV 花蕾期 Preflowering bud period
A类群 A group (1, 2, 4)	19.00	71.67	17.17	9.05
B类群 B group (11)	23.10	56.65	4.45	13.55
C类群 C group (12, 14)	32.85	43.50	7.30	2.63
D类群 D group (3, 10, 13, 15, 17, 18, 19)	56.15	38.20	8.76	3.92
E类群 E group (5, 6, 7)	82.08	26.13	22.23	9.72
F类群 F group (8, 9, 16)	98.78	17.70	7.02	12.85

2.3.3 在物候聚类分析图(图1)中,取 $RED = 0.25$ 时,19种植物聚类为六大类,这与排序图中划分出的六大物候类群完全吻合,说明主分量排序与聚类分析有异曲同工之妙。各物候类群的划分与各类群中种群生物-生态学特性的一致性有关,A类群中各种群的果后营养期较长,该期物候指数较大,营养期较短且物候指数较小,F类群与A恰恰相反,其它类群则居中。

2.3.4 排序图中各种群的位置也体现其在营养期、花蕾期、果后营养期和枯黄期物候指数的大小情况,同时各物候类群中的植物在畜牧业生产和植物学上的意义也不尽相同。

2.3.4.1 A物候类群中1号植物-矮蒿草果后营养期、花蕾期和枯黄期的物候指数均较大,处于三维排序图中的第三卦限,该物候类群的植物除矮蒿草外,还有小蒿草和二柱头草,它们是莎草科植物的代表物种,也是青藏高原高寒草甸中的建群种,营养丰

富,颇具放牧利用价值。

2.3.4.2 B物候类群中11号植物-矮火绒草在果后营养期、花蕾期的物候指数较大,枯黄期的物候指数较小,处于三维排序图中的第二卦限。矮火绒草植株低矮,贴地生长,以营养繁殖为主,常形成大小不等的镶嵌斑块状出现在矮蒿草草甸中,也是矮蒿草草甸开始退化的指示种<sup>[19]</sup>。

2.3.4.3 C物候类群中14号植物-兰石草在营养期、花蕾期和枯黄期的物候指数较小,处于排序图中的第六卦限,该物候类群中的植物还有雅毛茛,是矮蒿草草甸退化演替中的先锋种和伴生种。

2.3.4.4 D物候类群中13号植物-高山唐松草在营养期和枯黄期的物候指数居中,花蕾期的物候指数较小,处于坐标原点朝下的部位,在第七卦限。苔草、雪白萎陵菜、甘肃棘豆、蒲公英、鹅绒萎陵菜和甘肃马先蒿也属于该类群,它们是矮蒿草草甸的主要伴生种,其放牧利用价值较低,但在矮蒿草草甸物种

多样性的维持和群落结构稳定性方面有一定作用。

**2 3 4 5 E 物候类群中 7 号植物-早熟禾**在营养期、枯黄期和花蕾期的物候指数均较大,处于排序图中第四卦限。除早熟禾外,还有羊茅和垂穗披碱草,它们是矮嵩草草甸上的主要伴生种,属优良禾草,抽穗前草质柔软,营养丰富,是夏季牲畜抓膘的主要牧草。垂穗披碱草和早熟禾也是高寒牧区人工草地建群的首选草种。

**2 3 4 6 F 物候类群中 16 号植物-线叶龙胆**在营养期和花蕾期的物候指数较大,枯黄期物候指数较小,处于排序图中第一卦限。该类群还包括美丽风毛菊和麻花苳,其根和茎均可入药,麻花苳在青海省分布广,数量大,是大宗药材之一。

**2 3 5** 通过对植物种群物候指数的主分量排序,可以定量地说明矮嵩草草甸主要植物种群的物候特性。尽管在同一地区同一生境条件下,不同植物的物候变化有其相似之处,但由定量指标物候指数通过主分量排序划分的物候类群可以客观生动地反映其在物候变化上的差异,同时也有利于说明各物候类

群中的植物在畜牧业生产和植物学上的意义。

## 2 4 影响物候变化的生态因子

植物的物候变化与其在该物候期中生态因子的累积值密切相关,而与生态因子平均值相关性不显著<sup>[13]</sup>。

**2 4 1 相关性分析与排序(表 5)**结果表明,在生长期影响物候变化的主要生态因子依次为 0 的积温、5 的地表积温和 5 的积温。结果表明,与物候变化最密切的生态因子为温度,其次为降水量,日照时数居第三,该结果与王启基等<sup>[6]</sup>对禾草生长发育影响因子的研究结果一致。就各个物候期而言,主要生态因子的作用是不同的,与开花期、花蕾期相关最密切的生态因子为日照时数,其次为温度,这与该阶段植物在生理上对日照的需求有关<sup>[22-23]</sup>。与果后营养期密切相关的生态因子为日照、降水量和温度,由于该期处于植物生长末期,对热量的需求依赖于日照时数的增加。与其它物候期相关最密切的仍为温度,其次为日照时数和降水量。

表 5 各物候阶段物候指数与生态因子的相关系数

Table 5 Phenological indexes of different phenological stages and correlation coefficients and ordination of main ecological factors

生态因子 Ecological factor	营养期 Vegetative period	花蕾期 Pretlowing bud period	开花期 Florescence	结实期 Seed set period	后营养期 Vegetative period after fruit period	枯黄期 Withering period	生长期 Growing period
0 积温 0 accumulated air temperature	0.9610	0.4380	0.5741	0.9004 <sup>3</sup>	0.9571	0.9575	0.5989 <sup>1</sup>
5 积温 5 accumulated air temperature	0.9780 <sup>3</sup>	0.2940	0.5314	0.8884	0.9364	0.9247	0.5814 <sup>3</sup>
0 地表积温 0 accumulated ground surface temperature	0.9822 <sup>1</sup>	0.4461 <sup>2</sup>	0.6210 <sup>2</sup>	0.9131 <sup>1</sup>	0.9621 <sup>3</sup>	0.9679 <sup>1</sup>	0.5483
5 地表积温 5 accumulated ground surface temperature	0.9816 <sup>2</sup>	0.4401 <sup>3</sup>	0.6085 <sup>3</sup>	0.9128 <sup>2</sup>	0.9104	0.9598 <sup>3</sup>	0.5900 <sup>2</sup>
降水量(mm) Precipitation(mm)	0.9771	0.3064	0.5237	0.8604	0.9629 <sup>2</sup>	0.9256	0.5441
日照时数(h) Sunshine hours(h)	0.9654	0.5948 <sup>1</sup>	0.7362 <sup>1</sup>	0.8898	0.9704 <sup>1</sup>	0.9645 <sup>2</sup>	0.5367

注:表中 1, 2, 3 代表各列相关系数的大小序列

Note: The small "1, 2, 3" is the ordination of the correlative coefficient in each column

**2 4 2** 需要说明的是,本文只是矮嵩草草甸物候变化一年的观测分析结果,尚有待今后继续积累多年资料后再计算验证,毕竟一年的资料是有局限性的。

## 3 结论

**3 1** 植物种群物候指数有助于定量分析植物种群

的物候学特性、物候类与生态因子间的关系,为建立矮嵩草草甸各植物种群物候模式的相应变化提供理论依据。

3.2 采用相对欧氏距离聚类分析和主分量排序两种多元统计分析方法形象而生动地显示了矮嵩草草甸各植物种群的物候学特性。

3.3 物候指数与主要生态因子的相关系数排序,有利于说明与不同物候期相关最密切的各项生态因子。

3.4 按照高寒草甸植物的物候规律和模式,合理安排放牧制度,有效防止草地退化,有助于促进高寒草地畜牧业的可持续发展。

### 参考文献

- [1] 施奈勒 (杨郁华译, 1965). 植物物候学[M]. 北京: 科学出版社, 1961. 1~ 12
- [2] 竺可桢, 宛敏澍. 物候学[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 1~ 6
- [3] 王义凤. 内蒙古地区大针茅草原中主要种群生物量的季节动态的初步观测[A]. 见: 草原生态系统研究, 第一集[C], 北京: 科学出版社, 1985. 64~ 73
- [4] 史顺海, 杨福国, 陆国泉. 矮嵩草草甸主要植物种群物候观测和生物量测定[A]. 见: 高寒草甸生态系统国际学术讨论会文集[C], 北京: 科学出版社, 1988. 49~ 60
- [5] 祝宁, 江洪, 金永岩. 中国东北天然次生林主要树种的物候研究[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1990, 14(4): 358~ 365
- [6] 王启基, 周兴民. 高寒矮嵩草草甸禾草种群的生长发育节律及环境适应性[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1991, 15(2): 168~ 176
- [7] 张利权, 雍学葵. 海三棱藨草种群的物候与分布格局研究[J]. 植物生态学报与地植物学学报, 1992, 16(1): 43~ 51
- [8] Mary V P, Nikols M W. Effects of experimental warming on plant reproductive phenology in a subalpine meadow [J]. Ecology, 1998, 79(4): 1261~ 1271
- [9] 周兴民, 李健华. 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[A]. 见: 高寒草甸生态系统(1)[C], 北京: 科学出版社, 1982. 9~ 18
- [10] 杨福国. 高寒草甸生态系统定位站自然概况[A]. 见: 高寒草甸生态系统(1)[C], 北京: 科学出版社, 1982. 1~ 8
- [11] 李英年. 中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站气候概述[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1998, 9(3): 30~ 33
- [12] 倍桀芒 (郑钧镛译). 地植物研究中的物候学观测方法[M]. 北京: 科学出版社, 1958. 39~ 45
- [13] 张堰青, 周兴民, 王启基, 张耀生. 金露梅灌丛主要植物种物候特征的数值分析[A]. 见: 姜恕等著. 植被生态学. 北京: 科学出版社, 1994. 289~ 296
- [14] West N F, Wein R W. A plant phenological index technique [J]. Bioscience 1971, 21: 116~ 117
- [15] Orloci L. Multivariate analysis in vegetation research [M]. 2nd ed. W. Junk. The Hague, 1978. 206~ 221
- [16] Lance G N, Williams W T. A general theory for classificatory sorting strategies—2. Clustering systems [J]. Computer Journal 1968, 9: 373~ 380
- [17] 拉德维格, 蓝诺兹 (李育中等译). 统计生态学[M]. 呼和浩特: 内蒙古大学出版社, 1990. 54~ 66; 70~ 74; 94~ 100
- [18] 孔令毅. 主分量排序. 普通生态学——原理、方法和应用[M]. 郑师章, 吴千红等编著. 上海: 复旦大学出版社, 1993. 325~ 332
- [19] 周兴民, 王质彬, 杜庆. 青海植被[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987. 28~ 37
- [20] 屠其璞, 王俊德. 气象应用概率统计学[M]. 北京: 气象出版社, 1982. 320~ 323
- [21] 利恩 (颜邦侗等译, 1984). 物候学与季节性模式的建立[M]. 北京: 科学出版社, 1974. 56~ 62
- [22] Hilmann W S. Biological rhythms and physiological timing [J]. Ann. Rev. Plant Physiol 1976, 27: 159~ 179
- [23] Zeewart J A D. Physiology of flower formation [J]. Ann. Rev. Plant Physiol 1976, 27: 321~ 348