

三江源区高寒草地牧草生长季气候变化特征 及其对牧草生育期长度的影响

魏占雄¹, 郭连云², 谢卫东³

(1. 青海省兴海县三江源办公室, 青海 兴海 813300; 2. 青海省海南州气象局, 青海 共和 813000;

3. 青海省兴海县气象局, 青海 兴海 813300)

摘 要: 利用 1999–2010 年青海省三江源区西北针茅牧草生育期观测资料和同期气象资料, 分析了牧草生长季气候变化特征及其对牧草生育期长度的影响。结果表明: (1) 三江源区兴海高寒草地牧草生长季(4–9 月) 平均气温以 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速度升高, 降水量以 $148.6\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速度极显著增多, 日照时数以 $7.7\text{ h}/10\text{ a}$ 的速度微弱增加, 总的气候趋势呈现出“暖湿”特征, 对高寒草地牧草的生长发育极为有利。(2) 西北针茅牧草的各生育期长度, 0°C –返青期日数、返青–抽穗期日数、开花–成熟期日数、成熟–黄枯期日数均表现逐年缩短的变化趋势, 其中成熟–黄枯期日数显著缩短。抽穗–开花期日数则呈逐年延长的趋势。(3) 对西北针茅牧草 0°C –返青期日数, 2 月降水量、1 月平均气温、累计日照时数的影响最大; 对返青–抽穗期日数, 累计降水量影响较大; 对抽穗–开花期日数 7 月上旬降水量和累计日照时数影响大; 对开花–成熟期日数影响较大的有 7 月中旬、下旬和 8 月上旬的平均气温以及累计温度; 对成熟–黄枯期日数影响最大的气候因子是 8 月、9 月中旬的平均气温、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 日平均气温终日数和累计降水量和累计日照时数。

关键词: 气候变暖; 西北针茅; 生育期; 三江源区; 兴海县

中图分类号: S812; Q142.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0170-05

The Characteristics of Climate Change on Alpine Pasture Growing Season and the Impacts to the Length of Herbage Growth of the 3-River Sources, Qinghai Province

WEI Zhan-xiong¹, GUO Lian-yun², XIE Wei-dong³

(1. Three Rivers Office in Xinghai County of Qinghai Province, Xinghai, Qinghai 813300, China;

2. Meteorological Bureau in Hainan State of Qinghai Province, Gonghe, Qinghai 813000, China;

3. Meteorological Bureau in Xinghai County, Xinghai, Qinghai 813300, China)

Abstract: Data for this study included development materials of *Stipa sareptana* var. *krylovii* from 1999 to 2010, and meteorological records from 1961 to 2010, which were both collected at the standard weather station of Xinghai County, Qinghai Province. Analysis of the forage growing season, climate change and its effect on the length of herbage growth. The results showed that: (1) The average temperature (from April to September) increased with 0.36°C every 10 years, precipitation significantly increased with 148.6 mm every 10 years, sunshine hours in every 10 years, a weak increase at the rate of 7.7 h , the general climate trends show a warming feature, it's very favorable to alpine pasture on the growth and development; (2) *Stipa sareptana* var. *krylovii* length of each growth period, 0°C –number of days turning green, turning green–the number of days heading stage, flowering–maturity days, mature–number of days showed wilting shortened year by year trend, which mature–wilting significantly reduced number of days. Heading–number of days the flower trend was gradually extended; (3) For *Stipa sareptana* var. *krylovii* 0°C –number of days turning green, February precipitation, January average temperature, total sunshine hours were affected most; next spring–heading days, greater impact on the cumulative rainfall; On the heading–number of days flowering in early July precipitation and sunshine hours accumulated a great impact; mature–the wilting of the greatest number of days the climate factor is

收稿日期: 2011-01-18

修回日期: 2011-02-21

资助项目: 青海省科技厅科技促进新农村建设计划项目(2009-N-503)

作者简介: 魏占雄(1969–), 男, 青海平安人, 兽医师, 从事生态环境保护工作。E-mail: glycloud@126.com

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

August, in mid-September the average temperature, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ day daily average temperature days and the cumulative precipitation and cumulative sunshine hours. Flowering-maturity has a greater impact on the number of mid-July and late August and the average temperature and accumulated in early temperature.

Key words: climate warming; *Stipa sareptana* var. *krylovii*; development stage; the 3 Rivers Source; Xinghai County

在过去的 100 a (1906–2005 年) 中全球平均地表气温升高了 0.74°C ^[1], 国内外学者对中国气候的变化趋势作了许多研究^[2-5], 指出中国区域气温在 20 世纪 70 年代中后期至今有明显增加, 但是各个子区域气温变化趋势并不尽相同, 存在明显的地区性差异。畜牧业是对气候变化反映最为敏感的行业之一, 气候变暖对畜牧业的影响也是近年来国内外研究的热点和焦点问题^[6-7]。决定天然草地牧草生产力高低的是作为能量和物质基础的气候因子, 如温度、降水、日照等, 随着变暖为特征的气候变化进一步发展, 温度、降水和日照在时间尺度上的波动变化对牧草产量的影响将进一步显现出来。围绕气候变化对畜牧业尤其是对牧草产量的影响, 许多学者已经做了大量的研究工作^[8-11]。但对于牧草生育期长度与气候因子的定量研究却鲜有报道, 本研究拟就三江源兴海高寒草地牧草生育期长度与气候因子的关系进行定量分析, 从而揭示三江源高寒草地牧草生育期长度与气候环境之间的关系。

1 研究区概况

兴海县位于青藏高原东北部, 是黄河上游“三江源”地区, 环湖牧区和青南牧区过渡的区域, 地处东经 $99^{\circ}01' - 100^{\circ}20'$, 北纬 $34^{\circ}48' - 36^{\circ}14'$ 。全县地势西南高, 东北低, 境内地貌类型多样, 其中以山地草原为主, 平均海拔 4 300 m。气候具有显著的高原大陆性气候特征。全县草原面积 101.03 万 hm^2 , 占全县总面积的 83%, 其中可利用草地面积 93.6 万 hm^2 , 占草地面积的 92.7%, 是一个以牧为主, 半农半牧的北方典型农牧交错区域。草地畜牧业是该县国民经济的主体, 在全县经济发展中占有举足轻重的地位。由于地处地理位置特殊的三江源区, 分析气象条件对高寒草地牧草生育期的影响, 对于在未来气候变暖的前提下, 预测三江源区高寒草地的演替发展、放牧管理、群落稳定性和生产力等方面具有一定的意义, 为合理利用草地资源, 发展草地畜牧业生产提供参考数据。

2 资料与方法

2.1 研究地点和资料

实验样地设在兴海县子科滩镇高寒针茅草原, 位于 $35^{\circ}35' \text{N}$, $99^{\circ}59' \text{E}$, 海拔高度 3 300 m。样地面积为

$50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, 天然牧草在生长期内围栏封育, 牧草黄枯后在不破坏根系生长的前提下适当采食放牧。兴海高寒牧区牧草生育期较长, 生长期相对较短。西北针茅牧草 (*Stipa sareptana* var. *krylovii*) 从返青到种子成熟, 可分为返青、抽穗 (现蕾)、开花、成熟和枯黄 5 个时期。在牧草封育场内均分为 4 个小区 (A, B, C, D, 4 个重复), 每一小区又均分为 4 个 (1, 2, 3, 4) 重复进行观测, 每一小区每 4 a 轮流测定一次获得牧草观测资料。4–9 月为西北针茅生长季节, 西北针茅牧草观测资料为 1999–2010 年共 12 a 数据, 温度、降水、日照等气象资料取自距观测地段 2.5 km 处兴海国家基准气候站平行观测资料。以高寒草地优势牧草西北针茅的生育期资料, 研究兴海高寒草地针茅牧草与气象因子的关系。

2.2 研究方法

(1) 用 5 d 滑动平均法^[12] 确定日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日和终日。

(2) 用趋势分析法^[12] 定量描述研究对象的变化趋势, 用 \hat{x}_i 表示样本量为 n 的某一变量, 用 t_i 表示 \hat{x}_i 所对应的时间, 建立 \hat{x}_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$\hat{x}_i = a + b t_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a ——回归常数; b ——回归系数。回归系数 b 的符号表示变量 x 的趋势倾向。用线性相关系数判断变化趋势的程度是否显著。

(3) 用相关分析法^[13] 分析气候因子与牧草各生育期长度的关系。

(4) 多元线性回归分析法^[14] 分析牧草各生育期长度对各气象因子的响应。

(5) 应用 DPS、Excel 对数据进行统计处理、分析及绘图。

3 结果与分析

根据 1999–2010 年连续 12 a 的观测, 兴海地区西北针茅牧草各生育期的多年平均日期是: 返青期为 4 月 10 日, 抽穗期为 6 月 17 日, 开花期为 7 月 13 日, 成熟期为 8 月 18 日, 枯黄期为 9 月 4 日。返青期最早年为 4 月 6 日, 黄枯期最晚年为 9 月 19 日。因此, 选取 4 月上旬至 9 月中旬的旬平均气温、旬降水量和日照时数 17 个气象因子。

3.1 气候因子的年际变化特征

从表 1 可以看出, 在兴海牧草生长季, 1999–2010 年 12 a 中, 4 月下旬、6 月中旬旬平均气温呈显著下降趋势, 倾向率分别每年 0.31℃和 0.17℃, 9 月中旬旬平均气温呈显著上升趋势, 倾向率为每年 0.39℃; 4 月中旬、5 月上旬、8 月下旬的旬降水量表现为显著增多趋势, 倾向率依次是 0.66, 1.76, 2.68 mm/a, 6 月中旬旬降水量呈极显著增加趋势, 倾向率

为 4.11 mm/a; 4 月上旬、9 月中旬的日照时数呈现为显著增加趋势, 倾向率分别为 1.37 h/a 和 3.22 h/a, 4 月下旬的旬日照时数则表现为极显著增加趋势, 倾向率为 2.87 h/a。总的来说, 兴海牧草生长季 4–9 月平均气温呈不显著的上升趋势, 气候倾向率为 0.36℃/10 a, 降水量以每年 14.86 mm 的速度极显著增多, 日照时数增加趋势微弱, 牧草生长季总的气候趋势是“暖湿”性, 这种气候对牧草的生长极为有利。

表 1 1999–2010 年兴海牧草生长季各气候因子的趋势变化倾向率

时间	气温		降水		日照时数	
	倾向率/ (℃·a ⁻¹)	相关系数	倾向率/ (mm·a ⁻¹)	相关系数	倾向率/ (h·a ⁻¹)	相关系数
4 月上旬	0.02	0.081	– 0.1	0.167	1.37	0.571 ^{**}
4 月中旬	0.11	0.235	0.66	0.529 [*]	– 0.54	0.144
4 月下旬	– 0.31	0.552 ^{**}	0.08	0.041	2.87	0.737 ^{***}
5 月上旬	0.36	0.740	1.76	0.653 ^{**}	1.40	0.454
5 月中旬	– 0.08	0.181	0.29	0.065	0.37	0.089
5 月下旬	0.12	0.423	1.54	0.501 [*]	0.95	0.205
6 月上旬	– 0.13	0.401	0.51	0.133	1.17	0.270
6 月中旬	– 0.17	0.485 [*]	4.11	0.664 ^{***}	– 2.00	0.425
6 月下旬	0.00	0.009	0.11	0.046	– 0.10	0.026
7 月上旬	0.04	0.116	– 2.48	0.352	– 2.48	0.352
7 月中旬	– 0.04	0.063	– 0.17	0.048	– 1.41	0.261
7 月下旬	– 0.03	0.074	2.52	0.337	– 2.32	0.394
8 月上旬	0.02	0.057	– 0.23	0.079	1.11	0.252
8 月中旬	0.07	0.214	– 0.42	0.076	– 0.21	0.050
8 月下旬	0.11	0.339	2.68	0.501 [*]	– 1.67	0.304
9 月上旬	– 0.05	0.103	– 0.69	0.120	1.17	0.270
9 月中旬	0.39	0.555 ^{**}	– 0.96	0.382	3.22	0.629 ^{**}
4–9 月	0.036	0.427	14.86	0.715 ^{***}	0.77	0.038

注: *、**、*** 分别表示通过 0.10、0.05 和 0.01 水平的显著性检验。下同。

3.2 西北针茅牧草生育期特征

3.2.1 气温稳定通过 0℃– 返青期 从图 1 可以看出, 西北针茅 0℃– 返青期日数有逐年缩短的趋势, 以 2.5 d/10 a 的速度缩短, 回归系数为 0.042 (P>0.10)。0℃– 返青期日数最少年 2 d, 最多年 22 d, 相差 20 d。0℃– 返青期日数 12 a 中有 8 a 小于多年平均日期, 占总年数的 66.7%。

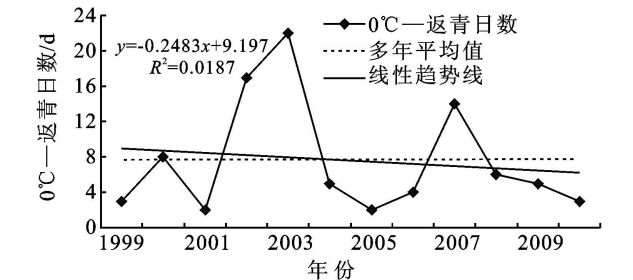


图 1 西北针茅气温稳定通过 0℃– 返青期年际变化

选取 1–3 月平均气温、降水量、日照时数, 上年度秋季降水量, 日平均气温稳定通过 0℃、3℃初日以

及日平均气温稳定通过 0℃– 返青日期间的累计温度、降水量和日照时数与牧草 0℃– 返青日数进行相关分析, 结果表明, 牧草 0℃– 返青期日数与 1 月平均气温呈显著负相关, 相关系数为– 0.550 (P<0.05), 与稳定通过 0℃初日呈极显著负相关, 相关系数– 0.802 (P<0.001); 与累计温度和累计日照时数呈极显著正相关, 相关系数分别为 0.911 (P<0.001)、0.868 (P<0.001), 与其他气象要素的相关均不显著。

为了进一步了解牧草 0℃– 返青期日数对各气候因子的响应程度大小, 将牧草 0℃– 返青期日数 (Y) 作为因变量, 各气候因子作为自变量, 进行多元逐步回归, 建立牧草 0℃– 返青期日数与其影响气候因子的关系模式:

$$Y = 3.12 - 1.56T_1 - 1.96R_2 + 0.22R_3 - 0.076S_1 + 0.11 \sum S \quad (2)$$

式中: Y——牧草 0℃– 返青期日数; T₁——1 月平均气温; R₂——2 月降水量; R₃——3 月降水量; S₁——1

月日照时数; $\sum S$ ——气温稳定通过 0°C 至返青日期间累计日照时数。对方程进行显著检验, 结果表明, $F = 41.1 > F(5, 6)_{0.01} = 8.75$, $P = 0.0001 < 0.01$, 复相关系数 $R = 0.986$, 回归模型成立。

由式(2)可知, 对牧草 0°C —返青期日数来说, 2月降水量和1月平均气温对其影响最大, 理论上, 2月降水量每增加1 mm、1月平均气温每升高 1°C , 牧草 0°C —返青期日数会缩短2.0 d和1.6 d; 其次是3月降水量, 降水量每增加1 mm, 牧草 0°C —返青期延长0.2 d; 气温稳定通过 0°C 至返青日期间累计日照时数每增加10 h, 0°C —返青期延长1.1 d; 1月日照时数的作用较小。

3.2.2 返青—抽穗期 从图2可以看出, 西北针茅的返青—抽穗期日数以 $0.7\text{ d}/10\text{ a}$ 的气候倾向率缩短, 相关系数为 $0.215 (P > 0.10)$ 。返青—抽穗期日数最少年为60 d, 最多年81 d, 相差21 d。选取4月上旬—6月上旬平均气温、降水量、日照时数以及牧草返青—抽穗期间累计温度、降水量、日照时数与牧草返青—抽穗期日数进行相关分析, 结果表明, 牧草返青—抽穗期日数与4月中旬平均气温、返青—抽穗期累计降水量正相关显著, 相关系数分别为 $0.464 (P < 0.10)$ 、 $0.560 (P < 0.05)$, 与其他气候因子的相关系数未通过显著水平检验。

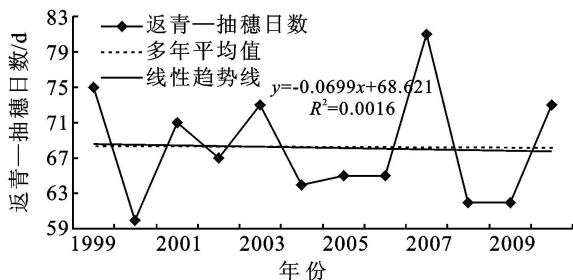


图2 西北针茅1999—2010年返青—抽穗期年际变化情况

牧草返青—抽穗期日数与各气候因子的多元逐步回归方程如下:

$$Y = 59.89 + 0.081 \sum R \quad (3)$$

式中: Y ——牧草返青—抽穗期日数; $\sum R$ ——牧草返青—抽穗期间累计降水量。 $F = 4.04 > F(1, 10)_{0.25} = 1.49$, $P = 0.07 < 0.10$, 相关系数 0.537 , 回归检验显著。对于牧草返青—抽穗期日数, 返青—抽穗期间累计降水量影响较大, 累计降水量每增加10 mm, 返青—抽穗期日数相应延长0.8 d。

3.2.3 抽穗—开花期 西北针茅牧草抽穗—开花期日数呈逐年延长的趋势, 每10年延长6.1 d ($P > 0.10$)。抽穗—开花期日数最少年为11 d, 最多年为40 d, 相差29 d。选取6月上旬—7月上旬平均气温、降

水量、日照时数以及牧草抽穗—开花期间累计温度、降水量、日照时数与牧草抽穗—开花期日数进行相关分析, 结果表明: 牧草抽穗—开花期日数与7月上旬平均气温显著负相关, 相关系数 $-0.505 (P < 0.10)$; 与抽穗—开花期间累计温度、降水量、日照时数正相关显著, 相关系数依次是 $0.510 (P < 0.10)$ 、 $0.553 (P < 0.05)$ 、 $0.642 (P < 0.02)$ 。

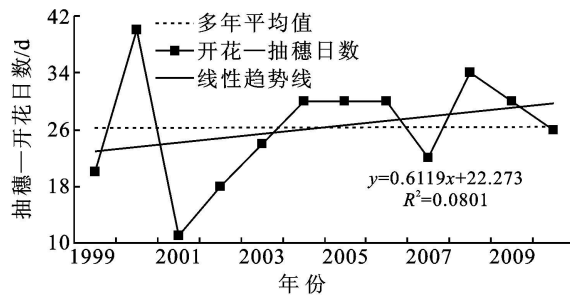


图3 西北针茅1999—2010年抽穗—开花期日数年际变化

牧草抽穗—开花期日数与各气候因子的多元回归方程如下:

$$Y = 6.82 + 0.12R_{7上} + 0.09 \sum S \quad (4)$$

式中: Y ——牧草抽穗—开花期日数; $R_{7上}$ ——7月上旬降水量; $\sum S$ ——牧草抽穗—开花期间累计日照时数。检验方程 $F = 5.65 > F(2, 9)_{0.05} = 4.26$, $P = 0.03 < 0.05$, $R = 0.746$ 显著。对于牧草抽穗—开花期日数, 7月上旬降水量和抽穗—开花期间累计日照时数影响大, 7月上旬降水量每增多1 mm, 累计日照时数每增多10 h, 抽穗—开花期日数延长0.12 d和0.9 d。

3.2.4 开花—成熟期 由图4可见, 西北针茅牧草开花—成熟期日数呈现逐年缩短的趋势, 以 $4.2\text{ d}/10\text{ a}$ 的速度缩短, 相关系数 $0.228 (P > 0.10)$ 。牧草开花—成熟期日数最少年25 d, 最多年45 d, 两者相差20 d。选取7月中旬—8月上旬平均气温、降水量、日照时数以及牧草开花—成熟期间累计温度、降水量、日照时数与牧草开花—成熟期日数进行相关分析, 结果表明: 牧草开花—成熟期日数与8月上旬降水量呈显著正相关, 相关系数 $0.471 (P < 0.10)$; 与牧草开花—成熟期间累计温度、累计降水量和累计日照时数呈极显著正相关, 相关系数分别是 $0.899 (P < 0.001)$ 、 $0.717 (P < 0.01)$ 、 $0.687 (P < 0.01)$; 与其他气候因子的相关未通过显著检验, 但与7月下旬平均气温有较大负相关 (-0.451)。

牧草开花—成熟期日数与各气候因子的多元回归方程如下:

$$Y = 35.0 - 0.94T_{7中} - 1.05T_{7下} - 0.86T_{8上} + 0.082 \sum T \quad (5)$$

式中: Y ——牧草开花—成熟期日数; $T_{7中}$ 、 $T_{7下}$ 、 $T_{8上}$ ——7月中旬、下旬和8月上旬平均气温; ΣT ——牧草开花—成熟期间累计温度。检验方程 $F = 143.60 > F(4, 7)_{0.01} = 7.85$, $P = 0.0001 < 0.01$, $R = 0.994$ 显著。对牧草开花—成熟期日数影响较大的有7月中旬、下旬和8月上旬的平均气温, 旬平均气温每升高 1.0°C , 牧草开花—成熟期日数相应缩短 0.94 d 、 1.1 d 、 0.86 d ; 牧草开花—成熟期间累计温度的影响次之, 累计温度每增加 10°C , 牧草开花—成熟期日数延长 0.8 d 。

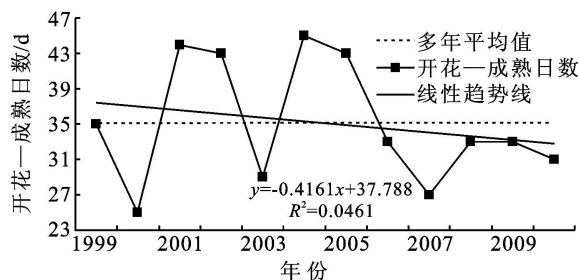


图 4 西北针茅 1999—2010 年开花—成熟期日数年际变化

3.2.5 成熟—黄枯期 从图 5 可以看出, 西北针茅牧草成熟—黄枯期日数呈逐年显著缩短趋势, 以每年 1.2 d 的速度提前, 相关系数 $0.59 (P < 0.05)$ 。牧草成熟—黄枯期日数最少年为 8 d , 最多年为 33 d , 两者相差 25 d 。选取 8 月中旬—9 月中旬平均气温、降水量、日照时数, 日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 3^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日数以及牧草成熟—黄枯期间累计温度、降水量、日照时数与牧草成熟—黄枯期日数进行相关分析, 结果表明, 牧草成熟—黄枯期日数与 8 月下旬平均气温正相关极显著, 相关系数 $-0.711 (P < 0.01)$; 与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日数、牧草成熟—黄枯期间累计温度、降水量、日照时数正相关极显著, 相关系数依次是 $0.705 (P < 0.01)$ 、 $0.886 (P < 0.001)$ 、 $0.808 (P < 0.001)$ 、 $0.918 (P < 0.001)$ 。

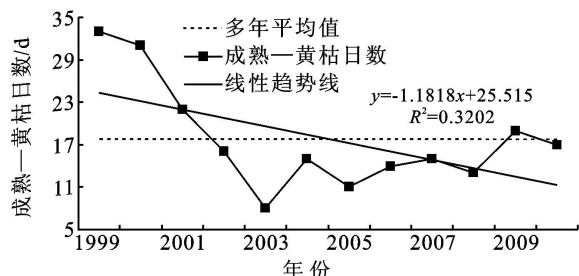


图 5 兴海西北针茅 1999—2010 年成熟—黄枯期日数年际变化
牧草成熟—黄枯期日数与各气候因子的多元逐步回归方程如下:

$$Y = 2.78 + 0.87T_{8中} - 0.40T_{9中} - 0.03R_{8中} + 0.13D_{\geq 0^{\circ}\text{C}} - 0.56D_{\geq 5^{\circ}\text{C}} + 0.10\Sigma R + 0.07\Sigma S \quad (6)$$

式中: Y ——牧草成熟—黄枯期日数; $T_{8中}$ 、 $T_{9中}$ ——8月中旬和9月中旬平均气温; $R_{8中}$ ——8月中旬降水量, $D_{\geq 0^{\circ}\text{C}}$ 、 $D_{\geq 5^{\circ}\text{C}}$ 分别是日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日数, ΣR 、 ΣS 分别是牧草成熟—黄枯期间累计温度、日照时数。检验方程, $F = 236.57 > F(7, 4)_{0.01} = 14.98$, $P = 0.0001 < 0.01$, $R = 0.9988$ 显著。对牧草成熟—黄枯期日数影响最大的气候因子是 8 月、9 月中旬的平均气温、日平均气温 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日数和累计降水量, 8、9 月中旬平均气温每升高 1°C , $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日数提前 1 d , 累计降水量每减少 10 mm , 牧草成熟—黄枯期日数缩短 0.87 d 、 0.40 d 、 1.0 d ; 其次是累计日照时数减少 10 h , 牧草成熟—黄枯期日数缩短 0.7 d ; 8 月中旬降水量和 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日数的影响甚微。

4 结论

(1) 三江源区兴海高寒草地牧草生长季(4—9 月)平均气温以 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 的速度升高, 降水量以 $148.6\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速度极显著增多, 日照时数以 $7.7\text{ h}/10\text{ a}$ 的速度微弱增加, 总的气候趋势呈现出“暖湿”特征, 对高寒草地牧草的生长发育极为有利。

(2) 西北针茅牧草的各生育期长度, 气温稳定通过 0°C —返青期日数、返青—抽穗期日数、开花—成熟期日数、成熟—黄枯期日数均表现逐年缩短的变化趋势, 其中成熟—黄枯期日数显著缩短。抽穗—开花期日数则呈逐年延长的趋势。

(3) 西北针茅牧草 0°C —返青期日数与 1 月平均气温呈显著负相关, 与稳定通过 0°C 初日呈极显著负相关, 与累计温度和累计日照时数呈极显著正相关; 返青—抽穗期日数与 4 月中旬平均气温、返青—抽穗期累计降水量正相关显著; 抽穗—开花期日数与 7 月上旬平均气温显著负相关, 与抽穗—开花期间累计温度、降水量、日照时数正相关显著; 开花—成熟期日数与 8 月上旬降水量正相关显著, 与牧草开花—成熟期间累计温度、累计降水量和累计日照时数正相关极显著; 成熟—黄枯期日数与 8 月下旬平均气温正相关极显著, 与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 终日数、累计温度、累计降水量、累计日照时数正相关极显著。

(4) 对西北针茅牧草 0°C —返青期日数, 2 月降水量、1 月平均气温、累计日照时数的影响最大; 对返青—抽穗期日数, 累计降水量影响较大; 对抽穗—开花期日数 7 月上旬降水量和累计日照时数影响大; 对开花—成熟期日数影响较大的有 7 月中旬、下旬和 8 月上旬的平均气温以及累计温度; 对成熟—黄枯期日数影响最大的气候因子是 8 月、9 月中旬的平均气温、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 终日数和累计降水量和累计日照时数。

(下转第 178 页)

比重太小。因此,3 号样地的空间信息指数、胸径和冠幅均为最小。

4 结论与讨论

(1) 建立了森林空间结构信息指数 FSI, 通过分析计算可知,3 块样地的空间结构信息指数分别为:1 号样地辽东栎林 62.216 4,2 号样地蒙古栎林 70.075 2,3 号样地栓皮栎林 42.101 6。

(2) 通过对森林空间结构信息指数的计算结果的比较可知,森林空间结构的复杂性与多个因素有关,不能凭森林单一的某一方面来评价森林结构的复杂与否。

(3) 森林的稳定性同森林结构的复杂性成正相关,因此可以通过森林空间结构信息指数的大小来描述森林结构的稳定性。本文中 2 号样地蒙古栎林空间结构信息指数最大,因此可以确定 2 号样地蒙古栎林的稳定性在这 3 块样地中是最大的;同样的道理,3 号样地栓皮栎林空间结构信息指数最小,其稳定性也最小。

参考文献:

- [1] 贺珊珊,张怀清,彭道黎. 林分空间结构可视化研究综述[J]. 林业科学研究, 2008, 21(增刊): 100-104.
- [2] 惠刚盈, Gadow K V, 胡艳波, 等. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1225-

1229.

- [3] 惠刚盈, 克劳斯, 冯佳多. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [4] 安慧君, 张韬. 异龄混交林结构量化分析[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [5] Spies T A, Franklin J F. The structure of natural, young, mature, and old-growth Douglas-fir forests in Oregon and Washington[C]// Aubry L F, Carey K B, Huff A B. Wildlife and Vegetation of Unmanaged Douglas-fir Forests. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-285, Pacific Northwest Res. Stn., Portland, OR, 1991: 94-121.
- [6] Moeur M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data[J]. For. Sci., 1993, 39: 756-775.
- [7] Pretzsch H. Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs[J]. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 1995, 166(9/10): 190-201.
- [8] Kuuluvainen T, Penttinen A, Leinonen K, et al. Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: An example from boreal spruce forests in Southern Finland[J]. Silva Fennica, 1996, 30: 315-328.
- [9] Goff E G, Zedler P H. Structural gradient analysis of upland forests in the western Great Lakes area[J]. Ecol. Monogr, 1968, 38: 65-86.
- [10] 林鹏. 植物群落学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 29-31.

(上接第 174 页)

参考文献:

- [1] 中国气象局国家气候中心. 气候变化—人类面临的挑战[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 16.
- [2] 姚檀栋, 朱立平. 青藏高原环境变化对全球变化的响应及其适应对策[J]. 地球科学进展, 2006, 21(5): 459-464.
- [3] 杜军. 西藏高原近 40 年的气温变化[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.
- [4] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地球学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [5] 郭连云. 青海同德近 50 年气候与草地畜牧业生产的关系[J]. 草业科学, 2008, 25(1): 77-81.
- [6] 马兴祥, 方德彪, 王润元, 等. 祁连山地区气候条件对牧草生长脆弱性影响研究[J]. 草业科学, 2005, 22(2): 2-6.
- [7] 才旦. 青海高寒草地生态系统的评价、功能失调原因和治理对策[J]. 草业科学, 2006, 23(9): 7-11.

- [8] 魏永林, 许存平, 张盛魁. 气候变化对海北地区天然草地生物量及生态环境影响[J]. 草业科学, 2008, 25(3): 22-26.
- [9] 郭连云, 赵年武, 田辉春. 气象影响因子对高寒针茅草原牧草产量的影响[J]. 草业科学, 2010, 27(10): 79-84.
- [10] 李文娟, 马轩龙, 陈全功. 青海省海东、海北地区草地资源产量与草畜平衡现状研究[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 270-275.
- [11] 王有丰. 气候因子对天然草地牧草产量的影响[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(6): 63-65.
- [12] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 37-59.
- [13] 荣廷昭, 李晚忱. 田间试验与统计分析[M]. 成都: 四川大学出版社, 2001: 148-203.
- [14] 施能. 气象科研与预报中的多元分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2002.