

基于气象适宜度指数的若尔盖湿地天然牧草产量估算模型

王珊^{1,2}, 郭斌^{1,2}, 张菡^{1,3}, 王明田^{1,4}

¹高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室, 成都 610072; ²四川省阿坝州气象局, 四川马尔康 624000;

³四川省农业气象中心, 成都 610072; ⁴四川省气象台, 成都 610072)

摘要:气象条件极大地制约着若尔盖湿地天然牧草的生长状况,为了从气候条件适宜角度评估牧草长势年景的优劣,利用若尔盖湿地天然草场牧草1983—2013年近31年(2002年缺测)牧草产量观测资料,得到能够反映光、温、水对牧草生长影响程度的气象适宜度指数,分析了若尔盖湿地天然牧草产量与气象因子之间的关系,分别建立了5月、6月和7月牧草产量气象适宜度线性和生长曲线估算模型。结果表明:所建立的牧草产量气象适宜度估算模型能够较好地模拟牧草产量的演变趋势;各月气象适宜度产量线性模型的精度普遍高于生长曲线模型;与干重模型相比,鲜重模型精度较差。受牧草产量观测资料精度的限制,6、7月牧草产量估算模型还需要进一步改进。

关键词:若尔盖湿地;天然牧草产量;气象适宜度;估算模型

中图分类号:S162.5+6

文献标志码:A

论文编号:casb17050142

Estimation Model for the Natural Herbage Yield in Zoige Wetland: Based on Meteorological Suitability Index

Wang Shan^{1,2}, Guo Bin^{1,2}, Zhang Han^{1,3}, Wang Mingtian^{1,4}

¹Sichuan Key Laboratory of Heavy Rain and Drought-flood Disasters in Plateau and Basin, Chengdu 610072;

²Aba Prefecture Meteorological Bureau, Maerkang Sichuan 624000;

³Sichuan Agro-meteorological Center, Chengdu 610072; ⁴Sichuan Meteorological Observatory, Chengdu 610072)

Abstract: The growth status of natural herbage in Zoige wetland is largely restricted by the meteorological condition in the region. In order to evaluate the advantages and disadvantages of the herbage growing season from the perspective of the climatic condition, the paper consulted the observation data of the natural herbage yield in Zoige wetland over the past 31 years from 1983 to 2013 (no available data in 2002), obtained the meteorological suitability index that could reflect the impact of light, temperature and water on the growth of herbage, and analyzed the relationship between the natural herbage yield and the meteorological factors in Zoige wetland, and built the evaluation models for showing the linear and growth curve of herbage yield and meteorological suitability in May, June and July respectively. The results showed that: the evaluation model for the herbage yield and meteorological suitability could better simulate the evolution trend of herbage yield; the accuracy of the linear model for the herbage yield and meteorological suitability for each month was generally higher than that of the growth curve model; the accuracy of raw weight model was poorer compared with that of dry weight model. Due to the restricted accuracy of the observation data of herbage yield, the estimation models for the herbage yield in June and July also need to be improved.

Key words: Zoige wetland; natural herbage yield; meteorological suitability; estimation model

基金项目:四川省气象局2015年科研项目“气候变化对若尔盖湿地天然牧草生长的影响”(川气课题2015-开发-05)。

第一作者简介:王珊,女,1984年出生,工程师,本科,主要从事应用气象及高原天气预报研究。通信地址:624000 四川省阿坝州马尔康市阿坝州气象局, Tel:0837-2821230, E-mail:abgb_001@163.com。

通讯作者:郭斌,男,1970年出生,重庆人,高级工程师,高级信息系统项目管理师,本科,研究方向:应用气象。通信地址:624000 四川省阿坝州马尔康市阿坝州气象局, Tel:0837-2821230, E-mail:abgb_001@163.com。

收稿日期:2017-05-31, 修回日期:2017-07-14。

0 引言

川西北若尔盖湿地是中国三大湿地之一,被列入国际重要湿地名录,黄河上游水量的30%来源于此,因此若尔盖湿地素有“黄河蓄水池”之称。若尔盖湿地有天然草场80.8万hm²,可利用草场面积65.2万hm²,是全国乃至亚洲最重要的草原牧区之一,也是亚洲最好的天然牧场之一。近十余年以来,若尔盖湿地环境日益恶化,湿地及其周边河流和湖泊、泥炭沼泽、沼泽化草甸和湿草甸的面积逐年减少,水土流失严重^[1-4]。因此,研究若尔盖湿地天然牧草产量变化规律和牧草产量估算模型,对草场资源的可持续利用和引导牧民合理放牧,维持草地生态系统稳定、治理沙化具有重要意义。

天然牧草的产量主要受气候、下垫面土壤性质及放牧强度等因素影响。由于研究数据取自未放牧的围栏观测地段,故放牧强度不予考虑,同时短期内下垫面土壤性质和牧草品种相对比较稳定,因此本研究选择气候条件作为天然牧草产量的主要影响因子。国内许多学者已经相继开展了草甸草场牧草生长发育与气象因子之间的关系研究。姚玉璧等^[5]利用积分回归模型建立了甘肃省玛曲地区天然牧草产量气候模型,认为在牧草生长发育全生育期内,降水和温度增加,牧草产量也相应增加;巩爱歧等^[6]利用灰色关联分析法探讨了青南牧区牧草产量与水、热因子的关系,认为水、热因子与牧草产量的关联度基本相等,在水分条件较好的情况下,热量因子是主要因子;颜亮东等^[7]利用Logistic模型结合水热指数,建立了青海高原天然牧草产量气象预报模型;陈添宇等^[8]根据海拔高度的不同,利用光、温、水气象因子分区建立了甘南草场牧草产量的线性气象预报模式。但是,气象适宜度指数在青藏高原及其东南缘天然草场牧草产量预测中的应用尚属空白^[9-18]。因此,本研究利用川西北若尔盖湿地牧业气象观测站1983—2013年近31年(2002年缺测)5—7月逐月天然牧草产量测定资料和地面气象观测资料,结合天然牧草生长气象适宜度指数,建立了若尔盖湿地天然牧草产量气象适宜度估算模型,以期了解气象因子与天然牧草产量的关系。

1 资料与方法

1.1 资料来源及研究区域概况

气象资料为四川省若尔盖气象站1983—2013年近31年地面气象观测资料及对应的30年牧草产量测定资料(2002年牧草产量缺测),其中5月产量资料序列为30年,6月牧草产量资料为1994—2013年共20年,7月牧草产量资料为1995—2013年共19年。为便

于分析,将牧草产量单位统一为g/m²。

观测方法依据中国气象局牧业气象观测规范要求,在50 m×50 m围栏草地取4个重复测定产量,观测地段为天然草甸草场,草场种群主要以高原早熟禾、沙草科苔草、杂类草为主;该站位于33.62°N, 102.94°E、海拔高度3406.0 m,年降水量649.0 mm,5—9月雨季累积降水量512.3 mm占全年降水量的79.6%;观测区域雨热同季,年平均气温1.1℃,年日照时数2062.5 h,最热月7月平均气温11.1℃,最冷月1月平均气温-10.0℃。土壤以沼泽土和亚高山草甸土为主。

1.2 研究方法

1.2.1 气象资料和牧草气象适宜度指数 利用若尔盖1983—2013年近31年每年4月上旬—8月下旬的逐旬平均气温、旬降水量、旬日照时数等数据,根据钱栓等^[19-22]构造的气象适宜度指数来反应天然牧草生长季光、温、水适宜度情况,即:

(1)热量适宜度指数 I_{jt} , 见公式(1)。

$$I_{jt} = \begin{cases} 1(t_j \geq t_{js}) \\ \frac{1}{1 + (\frac{t_{js} - t_j}{t_{jm}})^2} (0 \leq t_j \leq t_{js}) & \dots\dots\dots (1) \\ 0(t_j < 0) \end{cases}$$

其中, $t_{jm} = \begin{cases} \min(t_{j1}, t_{j2}, t_{j3}, \dots, t_{jn})(t_{jm} \geq 3.0) \\ 3.0(t_{jm} < 3.0) \end{cases}$,

$t_{js} = \bar{t}_j + 2.0$ 。

式中: t_j 为拟评价旬当年平均气温; \bar{t}_j 为拟评价旬历年气温平均值; $t_{j1}, t_{j2}, t_{j3}, \dots, t_{jn}$ 为拟评价旬历年旬平均气温; t_{jm} 为拟评价旬历年最低旬平均气温。

(2)水分适宜度指数, 见公式(2)。

$$I_{jp} = \begin{cases} 1(p_j \geq \bar{p}_j) \\ \frac{1}{1 + 4(1 - \frac{p_j}{\bar{p}_j})^2} (0 \leq p_j < \bar{p}_j) & \dots\dots\dots (2) \end{cases}$$

式中: p_j 为拟评价旬当年降水量实测值, \bar{p}_j 为评价旬历年降水量旬平均值。

(3)日照适宜度指数, 见公式(3)。

$$I_{js} = \begin{cases} 1(S_j \geq \bar{S}_j) \\ \frac{1}{1 + (\frac{\bar{S}_j - S_j}{S_{jm}})^2} (0 \leq S_j < \bar{S}_j) & \dots\dots\dots (3) \end{cases}$$

其中, $S_{jm} = \min(S_{j1}, S_{j2}, S_{j3}, \dots, S_{jn})$ 。

式中: S_j 为拟评价旬当年旬日照时数的实测值; \bar{S}_j 为评价旬日照历年平均值; S_{jm} 为拟评价旬历年日照时数的最小值。

(4)牧草长势气象适宜度指数, 见公式(4)。

$$I_j = I_{jt} \wedge I_{jp} \wedge I_{js} \dots\dots\dots (4)$$

式中: I_{jt}, I_{jp}, I_{js} 分别为拟评价旬的牧草生长热量、水分、日照适宜度指数; \wedge 为集合“与”运算。

(5) 任意时段的牧草生长综合气象适宜度指数采用逐旬累加的方式, 见公式(5)。

$$I = \sum_{j=1}^n I_j \dots\dots\dots (5)$$

式中: I 为牧草生长 1 旬到 n 旬的牧草生长条件气象适宜度指数, j 为旬序数, n 为牧草生长期旬数。

(6) 任意时段的牧草生长累积气象适宜度指数采用逐旬累加的方式, 见公式(6)。

$$I_k = \sum_{j=1}^n I_{jk} \dots\dots\dots (6)$$

1.2.2 模型建立方法 利用公式(1)~(6)分别计算出历年 4—7 月逐旬和月的气象适宜度指数及累积气象适宜度指数, 然后与对应年 5—7 月牧草产量数据进行相关分析, 挑选相关显著的气象适宜度指数作为气象因子,

使用 SPSS 软件的多元线性回归模型和生长曲线模型分别建立 5—7 月逐月牧草产量气象适宜度指数估算模型。

2 结果与分析

2.1 5 月牧草产量气象适宜度模型

将历年 4—5 月各月、旬 $I_{jt}, I_{jp}, I_{js}, I$ 气象适宜度指数与对应年 5 月牧草鲜重、干重做相关分析, 选取显著相关的适宜度指数与 5 月牧草产量建立多元线性拟合和非线性曲线拟合模型(见表 1~2)。

表 1 5 月牧草产量与气象适宜度指数相关分析

产量	气象适宜度指数	相关系数
鲜重	$I_{t_{4-5}}$: 4—5 月累积热量适宜度指数	-0.346*
干重	$I_{t_{4-5}}$: 4—5 月累积热量适宜度指数	-0.507**

注: *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。下同。

表 2 5 月牧草产量气象适宜度模型

产量	复相关系数	产量模型	F 检验值	显著性水平 P
鲜重	0.506	$Y=780.871-141.342I_{t_{4-5}}$	5.816	0.035
	0.3483	$Y=693.3-290.95\ln I_{t_{4-5}}$	3.86524	0.06
干重	0.527	$Y=318.175-67.4I_{t_{4-5}}$	9.676	0.004
	0.5120	$Y=276.9-139.5\ln I_{t_{4-5}}$	9.95006	0.003

注: Y —因变量牧草产量(g/m^2); $I_{t_{4-5}}$ —4—5 月热量适宜度指数。

从表 1~2 可得出: 5 月牧草鲜重和干重与 4—5 月热量适宜度指数呈负相关, 相关系数均通过了 0.05 的显著性检验; 从 5 月牧草鲜重和干重气象适宜度模型检验可知, 除 5 月鲜重对数模型外, 其余均通过了 0.05 的 F 检验。从线性模型系数可知, 4—5 月累积热量适宜度每增加 1 个单位, 牧草鲜重减少 141.3 g/m^2 , 牧草干重减少 67.4 g/m^2 , 从公式(1)热量适宜度指数的意义

可知, 温度越高, 热量适宜度指数越大, 牧草产量越低。从气候变化角度来讲, 气候变暖将导致 5 月牧草产量下降。

由于 5 月牧草产量生长曲线模型由于未通过 F 检验, 故方程不成立, 其余 5 月牧草产量气象适宜度模型模拟效果均较好, 较好地模拟出了历年 5 月牧草产量波动变化趋势(见图 1)。

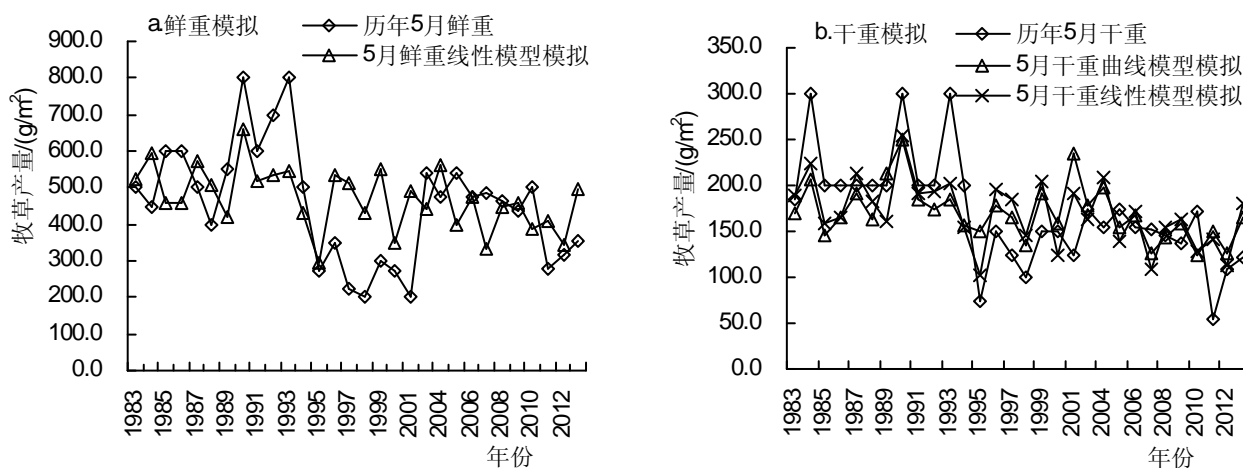


图 1 5 月牧草产量气象适宜度模型拟合图

2.2 6月牧草产量气象适宜度模型

将历年4—6月各月、旬 I_{jt} 、 I_{jp} 、 I_{js} 、 I 气象适宜度指数与对应年6月牧草鲜重、干重做相关分析,并建立多元线性和生长曲线模型(见表3~4)。

从表3~4可看出:6月牧草鲜重和干重与4—6月热量适宜度指数呈负相关,与4—6月累积水分适宜度呈正相关,其中鲜重与6月综合气象适宜度呈正相关,其相关系数均通过了0.05的显著性检验;从牧草鲜重

表3 6月牧草产量与气象适宜度指数相关分析

产量	气象适宜度指数	相关系数
鲜重	I_6 :6月综合气象适宜度指数	0.593**
	Ip_{4-6} :4—6月累积水分适宜度指数	0.641**
	It_{4-6} :4—6月累积热量适宜度指数	-0.519*
干重	Ip_{4-6} :4—6月累积水分适宜度指数	0.463*
	It_{4-6} :4—6月累积热量适宜度指数	-0.615**

表4 6月牧草产量与气象适宜度模型

产量	复相关系数	模型	F检验值	显著性水平 P
鲜重	0.745	$Y=-258.085+294.987Ip_{4-6}+245.016I_6$	19.963	0.001
	0.6678	$Y=\exp(5.7381+0.4189Ip_{4-6})$	13.68082	0.002
干重	0.680	$Y=346.024-80.874It_{4-6}+49.068Ip_{4-6}$	16.886	0.003
	0.6007	$Y=\exp(6.2921-0.3334It_{4-6})$	9.59642	0.007

注:Y—因变量牧草产量(g/m²); I_6 、 Ip_{4-6} 、 It_{4-6} 的含义见表3。

和干重气象适宜度模型检验可知,模型均通过了0.05的F检验。

6月牧草鲜重模型指明牧草鲜重的高低受4—6月水分适宜度和6月综合气象适宜度因子限制,且与水分因子呈指数增加的关系。4—6月累积水分适宜度每增加1个单位,鲜重增加295.0 g/m²;6月综合气象适宜度每增加1个单位,牧草鲜重增加245.0 g/m²。牧草

干重模型指明了牧草干重高低受热量和水分适宜度因子的综合影响,且与热量适宜度呈指数下降的关系,水分气象适宜度每增加1个单位,牧草干重增加49.1 g/m²,热量气象适宜度每增加1个单位,牧草干重下降80.1 g/m²,增温将导致6月牧草产量下降。2种牧草气象适宜度模型对6月牧草产量的拟合效果均较理想(见图2),较好地模拟出了历年6月牧草产量的波动变

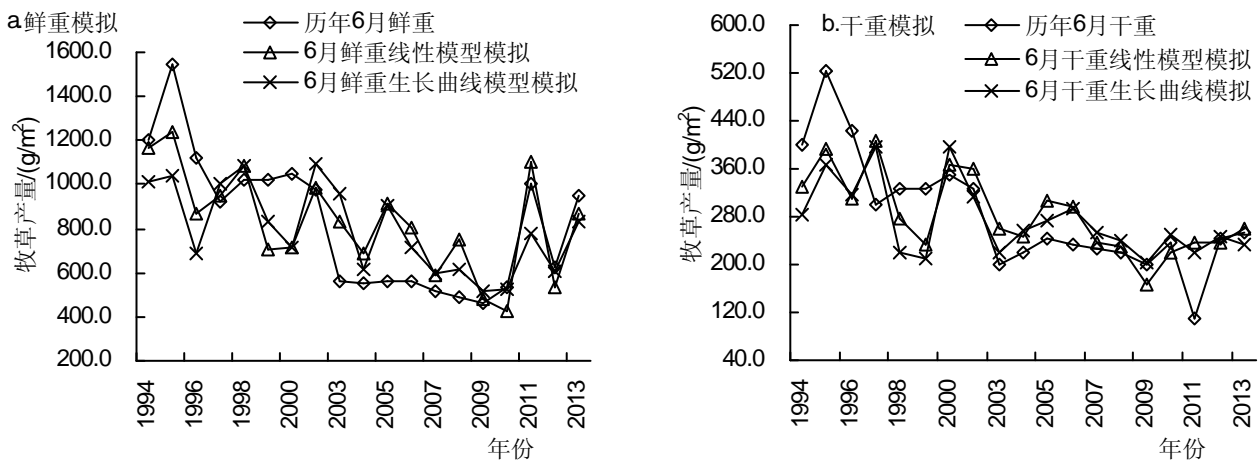


图2 6月牧草产量气象适宜度模型拟合图

化趋势。

2.3 7月牧草产量气象适宜度模型

用历年4—7月各月、旬 I_{jt} 、 I_{jp} 、 I_{js} 、 I 气象适宜度指数与对应年7月牧草鲜重、干重做相关分析,然后用相关显著的气象适宜度指数与7月牧草产量建立多元线性和生长曲线模型(见表5~6)。

表5 7月牧草产量气象适宜度指数相关分析

产量	气象适宜度指数	相关系数
鲜重	It_{4-7} :4—7月累积热量适宜度指数	-0.574*
	Ip_{4-7} :4—7月累积水分适宜度指数	0.593**
干重	It_{4-7} :4—7月累积热量适宜度指数	-0.678**
	Ip_{4-7} :4—7月累积水分适宜度指数	0.532*

表 6 7月牧草产量气象适宜度模型

产量	复相关系数	模型	F检验值	显著性水平 P
鲜重	0.723	$Y=1064.561+349.198I_{p_{4-7}}-302.95I_{t_{4-7}}$	8.211	0.004
	0.5929	$Y=\exp(6.2124+0.3679I_{p_{4-7}})$	8.67501	0.0095
干重	0.720	$Y=534.788-116.326I_{t_{4-7}}+52.583I_{p_{4-7}}$	8.079	0.004
	0.6366	$Y=\exp(6.5986-0.3044I_{t_{4-7}})$	13.30059	0.0022

注: Y—因变量牧草产量; $I_{t_{4-7}}$ 、 $I_{p_{4-7}}$ 的含义见表5。

从表5~6可知: 7月牧草鲜重和干重与4—7月水分气象适宜度指数呈正相关, 与4—7月热量累积适宜度指数呈负相关, 相关系数均通过了0.05的显著性水平。说明4—7月热量累积气象适宜度指数越大, 则牧草产量越低, 而4—7月水分气象适宜度指数越大, 则牧草产量越高; 从7月牧草产量气象适宜度模型(通过了0.01的F检验)可知, 牧草生长期4—7月水分和热量因子间配合是否适宜决定了7月牧草产量的高低。7月牧草鲜重高低受水分因子的胁迫且呈指数增长的关系, 4—7月水分气象适宜度每增加1个单位, 7月牧草鲜重增加349.2 g/m²; 4—7月热量气象适宜度指数每增加1个单位, 7月牧草鲜重减少303.0 g/m²。4—7月热量适宜度对牧草干重模型的贡献大于4—7月的水分适宜度, 故热量气象适宜度是7月牧草干重的主

导因子且呈负指数的关系。4—7月水分气象适宜度每增加1个单位, 7月牧草干重增加52.6 g/m², 4—7月热量气象适宜度指数每增加1个单位, 7月牧草干重减少116.3 g/m²。从热量气象适宜度指数公式(2)可知, 如果4—7月平均温度越高则热量气象适宜度指数越大, 那么7月牧草产量就越低, 间接说明温度升高将导致7月牧草产量下降。7月牧草产量气象适宜度模型的拟合效果较理想, 基本反映出历年7月牧草产量的波动变化趋势(见图3)。

2.4 牧草产量气象适宜度模型精度分析

利用剩余标准差S对所建立的气象适宜度模型的拟合精度进行分析, 结果见表7。由表7可知: 气象适宜度产量线性模型的精度普遍高于曲线模型, 6、7月模型精度较5月精度差, 鲜重精度较干重精度差, 其原

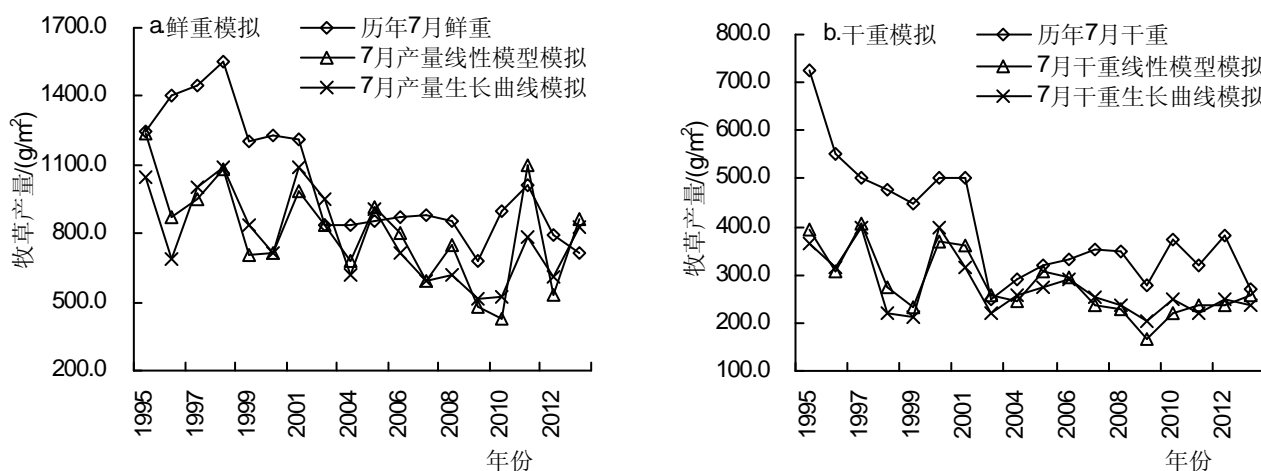


图 3 7月牧草产量气象适宜度模型拟合图

表 7 牧草气候产量模型拟合精度分析

Y	5月		6月				7月				
	鲜重	干重	鲜重	干重	鲜重	干重	鲜重	干重			
Y_w	线性	线性	曲线	线性	曲线	线性	曲线	线性	曲线	线性	曲线
S	153.0	46.9	51.1	211.9	248.1	72.3	78.8	330.7	346.8	152.7	160.9

注: Y—月牧草产量; Y_w —气象适宜度模型类型; S—模型剩余标准差。

因是6、7月的牧草历史产量资料序列较短。

3 结论与讨论

(1)若尔盖湿地天然牧草产量随时间变化不存在显著的上升或下降趋势,不需要分离气象产量和趋势产量。

(2)本研究首次从气候条件适宜角度评估了川西高原草原天然牧草长势的优劣,利用若尔盖湿地天然牧草观测资料,建立了5—7月各月气象适宜度产量估算模型,估算模型的模拟效果较好地反映了历年各月牧草产量的波动变化趋势,取得了较为满意的结果;其中,线性模型的模拟精度高于生长曲线模型,鲜重模型模拟精度较干重模型精度差;受牧草产量观测资料的限制,6月和7月的牧草产量估算模型的模拟精度较5月牧草产量模型差,6、7月牧草产量估算模型还需要进一步改进。

(3)牧草产量高低的影响因素较多,在牧草生长季各个时期气象条件对牧草产量形成的影响也存在显著差异。各月牧草产量模型中反映出热量因子是牧草产量的主导因子,温度升高将导致牧草产量下降;在牧草生长关键期6—7月,牧草产量高低受水分因子限制,故在该时段进行湿地草原大面积人工增雨作业可收到最佳的效果。

(4)气候变化对牧草产量的影响及草原干旱等气象灾害对牧草产量形成的致灾机理需要进一步的研究。

(5)由于影响牧草长势优劣的因素较多,单纯通过气象模型评估牧草长势年景的精度仍需提高,需通过卫星遥感数据耦合气象因子评估模型等方法提高牧草长势客观评估的准确性。

参考文献

- [1] 杨永兴.若尔盖高原生态环境恶化与沼泽退化及其形成机制[J].山地学报,1999,17(4):318-323.
- [2] 蒋锦刚,李爱农,等.1974—2007年若尔盖县湿地变化研究[J].湿地科学,2012,10(3):318-326.
- [3] 姜焯,孙建国,谢家丽,等.近20a若尔盖湿地水土流失变化的遥感评估[J].遥感技术与应用,2013,28(6):1088-1093.
- [4] 盛海洋,杨学俊,白宛洲,等.四川黄河流域土地沙化原因分析[J].水土保持研究,2007,14(3):8-10.
- [5] 姚玉璧,张秀云,段永良.气候变化对亚高山草甸类草地牧草生长发育的影响[J].资源科学,2008,30(12):1839-1844.
- [6] 巩爱歧,彭毛,康海军,等.青南牧区草地牧草产量与水_热因子的灰色关联分析[J].草业科学,1999,16(4):37-41.
- [7] 颜亮东.青海高原天然牧草产量预报方法及模式[J].气象,1997,23(12):52-54.
- [8] 陈添宇,陈乾.预测甘南天然草场牧草产量的气象模式[J].干旱地区农业研究,1996,14(3):84-90.
- [9] 刘剑霞,王军,胡小玲.降水对青海同德高寒草地牧草产量的积分回归分析[J].畜牧与饲料科学,2010,31(1):83-84.
- [10] 李国军,张胜智,吉哲君.玛曲草原气候生态环境变化及牧草产量灰色预测[J].干旱气象,2009,27(1):61-65.
- [11] 郭连云,丁生祥,吴让,等.气候变化对三江源区兴海县天然牧草的影响[J].草业科学,2009,26(6):90-95.
- [12] 刘彩虹,李红梅,张调风.气候变暖背景下青南牧区牧业生产关键期变化特征及预估研究[J].草业科学,2015,32(8):1352-1362.
- [13] 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.
- [14] 郭连云,赵年武,谢卫东.三江源高寒草地针茅牧草黄枯期与气象条件的关系[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):253-257.
- [15] 张清雨,吴绍洪,赵东升,等.内蒙古草地生长季植被变化对气候因子的响应[J].自然资源学报,2011,33(1):754-762.
- [16] 周咏梅.青海草地资源评价模型[J].中国农业气象,1997,18(1):38-40.
- [17] 周刊社,杜军,袁雷,等.西藏怒江流域高寒草甸气候生产潜力对气候变化的响应[J].草业学报,2010,19(5):17-24.
- [18] 魏玉蓉,潘学标,敖其尔,等.草地牧草物候发育模型的应用研究——以锡林郭勒草原为例[J].中国生态农业学报,2007,15(1):117-121.
- [19] 钱拴.中国主要天然草地产草量气象预测方法[J].生态学杂志,2009,28(6):1201-1205.
- [20] 钱拴,毛留喜,张艳红.中国天然草地植被生长气象条件评价模型[J].生态学杂志,2007,26(9):1499-1504.
- [21] 徐玲玲,钱拴.内蒙古天然草场牧草产量的气象估算模型[J].中国草地学报,2011,33(1):54-57.
- [22] 钱拴.中国主要天然草地产草量气象预测方法[J].生态学杂志,2009,28(6):1201-1205.