

内蒙古鄂尔多斯高原典型草原百里香-本氏针茅草地地上生物量对气候响应动态回归分析

黄富祥^{1*}, 高 琼¹, 傅德山², 刘振铎²

(1. 中国科学院植物研究所数量生态开放实验室, 北京 100093; 2. 内蒙古自治区伊克昭盟畜牧局, 东胜 017000)

摘要:在对鄂尔多斯高原典型草原百里香-本氏针茅(*Thymus mongolicus-Stipa bungeana*)群落地上生物量进行 7a 逐月定位观测基础上, 利用多元回归方法, 逐月建立生物量与气候因子之间的定量关系模型。研究表明: (1) 不同气候因子在植物不同生长阶段产生不同影响, 光照时数只在 5 月份, 平均气温只在 6 月份对植物产生显著影响, 在其他月份都不是重要影响因子, 而降水量则在植物生长过程中各个阶段都是重要因子; (2) 同一气候因子在植物生长不同阶段上的影响作用也可不同, 降水量在生长季各月都是重要影响因子, 但重要性存在差异, 重要程度依次是 5>6>7 月份; (3) 植物进入枯凋期后, 9 和 10 月份生物量只与 8 月份生物量峰值有关, 各气候因子不对其产生影响; (4) 在生长季中各月地上生物量都与上月生物量密切相关, 说明生长的连续性对地上生物量的积累是重要的。应用逐月回归模型对降水量充裕、平均和偏少 3 种水分条件, 各月地上生物量的波动范围进行了估计。采用的逐月回归建模方法是对传统的累积因子建模方法的改进, 为了比较这两种方法的差异, 用 8 月份生物量作为植物生物量峰值, 对生长季节 5~8 月份气候因子的累积量进行回归, 建立了生物量对累积气候因子的回归模型, 并将结果与逐月回归结果进行对比, 表明与累积气候因子的回归模型相比, 逐月回归建模方法具有 3 方面优势, 即更精确、揭示气候因素与植物生长关系的能力更强、具有预测能力等。在鄂尔多斯高原年际和月际之间降水量存在显著波动性的气候特征下, 逐月回归模型比累积回归模型具有更大的优势。鉴于累积回归模型具有简洁、工作量小的优点, 也能比较正确地反映出整个生长季生物量与降水量密切相关的结论, 在实际工作中最好采用逐月回归建模与累积回归建模相结合。

关键词:百里香-本氏针茅群落; 地上生物量; 气候因子; 逐步回归分析; 偏相关系数

Relation between climate variables and the aboveground biomass of *Thymus mongolicus-Stipa bungeana* community in steppe of Ordos Plateau, Inner Mongolia

HUANG Fu-Xiang¹, GAO Qiong¹, FU De-Shan², LIU Zhen-Duo² (1. Laboratory of Quantitative Vegetation ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Husbandry Department of Ih Ju League, Inner Mongolia, Dongsheng 017300, China)

Abstract: Ranging from 106°27' to 111°28' east longitude, and from 37°38' to 40°52' northern latitude, the Ordos Plateau in Inner Mongolia, northern China, is located at a transitional ecotone from the sub-humid area in the southeast to the arid and semi-arid area in the northwest. Climatic conditions in this area are typically semi-arid. The sunshine and warmth condition is quite suitable for plant growth. Annual sunshine hour ranges from 2700~3200 h, about 62%~74% for all time. Amount of light radiation is one of the most abundant areas in China, ranging from 5520 to 5937 MJm⁻²a⁻¹. Annual temperature varies between 5.0~8.7°C, with mean -13.1~-8.4°C in January and 20.9~24.1°C in July. The light-warmth poten-

基金项目: 中国科学院资源与生态环境重大研究(BRZ951-B1-103)和国家自然科学基金杰出青年基金(39725006)资助项目

收稿日期: 1999-11-02; 修订日期: 2000-03-15

作者简介: 黄富祥(1967-), 男, 湖北蕲春县人, 博士。主要从事生态建模、风蚀和沙尘暴研究。

* 现在中国科学院大气物理所 LAPC 从事博士后研究

tial production of this area is quite high, however, hindered by severe hydrological limitation. Annual precipitation at Ordos Plateau ranges from 401.6 mm in the southeast to 162.4 mm in the northwest, with more than 60% concentrated in the two months during summer. Measured annual pan evaporation varies from 2047 to 3085 mm, about 8~10 times the precipitation. The problem of insufficient water supply is further amplified by sandy soils, which have poor water retention capacity, and the hilly topography of the area. Climate conditions are sharply changed from year to year and this is one of the most prominent characteristics in Ordos Plateau, especially for the precipitation. The variable ratio of the precipitation ranges from 20% to 50% from year to year. This kind of sharp variation of climate conditions always lead the severe shaking of the forage and stocking raising production. A good understanding for the relation of climatic variables and plant aboveground biomass is essential for animal grazing management and ecological research in Ordos Plateau.

In the present paper, the relation between the climatic variables and the *Thymus mongolicus*-*Stipa bungeana* community in steppe of Ordos plateau was studied by monthly models presented in this research. From 1985 to 1991, the aboveground biomass of *Thymus mongolicus*-*Stipa bungeana* community was investigated monthly from the fenced field in steppe of Ordos Plateau. Using data of aboveground biomass, and climatic variables of the same time, monthly regression models were presented. Following conclusions on the relation between the climatic variables and the aboveground biomass were drawn: (1) different climate variable impacts plant biomass at different periods. Hour of sunshine and averaged temperature only make influence on the aboveground biomass remarkably in May and June, respectively, and does not work at any other period. The precipitation is sensitive variable to biomass at any period during the whole growing process. (2) The same climate variable makes different influence on biomass at different month. The climatic variable of precipitation is an important factor to plant biomass at the whole process, however, the importance is quite different for different months. Partial correlation indexes were calculated to classify the priority order of precipitation and the result is May > June > July. (3) At the dormancy month September and October, the aboveground biomass is not impacted by any climatic variables, but by the biggest biomass in August. (4) The aboveground biomass at any month during the growing process is closely connected with that of previous month. This shows that the continuity of growth is important for plant biomass. The variation range of aboveground biomass under three different water condition was predicted by applying the monthly regress models presented in this paper. The mean of building the monthly models for the relation between climate and biomass of *Thymus mongolicus*-*Stipa bungeana* community is developed from the traditional way. To compare the difference of the monthly models in the present paper with the traditionally accumulative models, we also made the traditional regression model using the biomass in August as the dependent variable for the independent variables of accumulated climatic variables from May to August. Comparison between the monthly model and accumulative model shows that the advantage of monthly models lies in three aspects. First, the monthly model is much more accurate. And second, the monthly model tells us much more detail influence of climate makes on the biomass. Third, the monthly model can predict the scope of biomass under different conditions. The conclusion can be drawn that monthly models are much better than that of traditionally accumulative models, for places of Ordos Plateau kind with climatic variables sharply changed from month to month and year to year. Considering these simple and immediate merits with accumulative models, monthly models and accumulative models had better be applied during the research.

Key words: 万方数据 *Thymus mongolicus*-*Stipa bungeana* community; aboveground biomass; climate variables; stepwise regression; partial correlation index.

文章编号:1000-0933(2001)08-1339-00 中图分类号:Q948.12+1 文献标识码:A

生物量是生态系统最基本的数量特征之一,草地植物群落地上生物量的动态变化研究,可以为人们了解草地生态系统的物质循环和能量流动提供基本资料,是实现草地持续利用和管理的重要理论根据。群落地上生物量的形成是在一定的气候生态条件下,植物生长发育的结果,水热条件的结合状况对植物光合作用和地上生物量生产产生深刻影响,人们对此已经有了比较全面的定性认识^[1],在定量研究方面,也曾开展过一些工作^[2~6],然而到目前为止,还是远远不够的^[7]。

研究植物生物量与气候因子关系的传统方法是,以生物量最高月份峰值作为生物量因变量,以生长季中各月降水量、温度和光照时间的累积量作为气候自变量,建立多元回归模型。这种方法实际上存在着一定的局限性:(1)掩盖了气候影响植物生长在时间上的差异,在植物生长的不同阶段上,不同的气候因子甚至同一气候因子,对植物的影响作用都会存在差异,累积建模实际上是把生长过程不同阶段上的气候因子等同对待,势必掩盖气候因子影响作用在时间上的差异性,这实际上是生态学中广为人知的由于尺度差异造成的问题;(2)在气候因子累积时间范围的选取上,存在着一定的随意性,不同的研究者可以根据自己的偏好选取不同的时间范围,这种差异势必对研究的结果产生重要影响;(3)由于气候因子的累积量和生物量峰值只有在整个生长季结束后才能获得,因此累积模型只能提供对气候因素与生物量关系的了解,缺乏对草地地上生物量动态变化的预测能力,这就削弱了理论研究指导实践的能力。

鉴于这些原因,本文在研究鄂尔多斯高原百里香-本氏针茅群落地上生物量与气候因子关系过程中,对传统的累积因子建模方法进行了改进,采取生物量对气候因子逐月回归的方法,建立逐月回归模型。

在对百里香-本氏针茅草地围封样地地上生物量连续 7a 逐月观测基础上,利用多元逐步回归方法,逐月建立地上生物量与气候因子关系模型;应用建立的逐月回归模型,对充裕、平均以及偏少 3 种水分条件年份生物量各月波动范围进行了估计;为了比较本文逐月建模方法与传统的累积建模方法的差异,利用生长季 5~8 月份气候因子的累积量建立生物量对气候因子的回归模型,并对两种模型模拟的结果进行比较。

1 样地自然概况和研究方法

实验样地位于内蒙古伊克昭盟准格尔旗,东经 111°07'36",北纬 39°50'58",属于内蒙鄂尔多斯高原东部典型草原区。地貌以丘陵沟壑为主,海拔高度一般在 1000~1400m 之间,年降水量在 300~450mm,平均气温 5.5~8.7℃,≥10℃积温 2500~3500℃,年均蒸发量 2100~2700mm,湿润系数 0.23~0.43,土壤类型为栗钙土或黄绵土^[8]。在土地利用方式上,是一个以草地放牧为主农牧业兼营的交错区,在生态区位特征上,是一个多层次、复杂多样的生态过渡带。这里年降水变率大,春季气温也不稳定,草地群落地上生物量年间波动很大,丰欠年差别可达 2 倍以上。百里香-本氏针茅群落作为鄂尔多斯高原典型草原代表性草地群落,在鄂尔多斯高原草地畜牧业生产中占据重要地位。

实验在 1985~1991 年 4~10 月份进行,逐月观测百里香-本氏针茅草地群落地上生物量,取样时间在每月 15 日左右。样地实行围封,不采取任何特别人工建设措施。群落主要植物种有百里香(*Thymus mongolicus*)、本氏针茅(*Stipa bungeana*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等,其中以百里香为主的小半灌木占总产量的 25%~56.4%,禾本科占 16.5%~33%,豆科占 5.1%~23.6%。草丛盖度 20%~40%,高度在 5~12cm 之间,百里香为建群种,本氏针茅居优势地位。测产小区面积 1m×1m,每次采样作 10 次重复,分植物种剪割称重,草本、小灌木齐地剪割,灌木、高大半灌木剪割当年枝条及直径 3mm 以下枝条。

逐月气象因子选取样地附近的准格尔旗气象站数据,其地理位置位于东经 110°52',北纬 39°40',各项数据来自内蒙古伊克昭盟气象局^①。选取与观测实验同期各年逐旬降水、平均气温和光照时数 3 个气候因子数据。由于生物量采样时间是每月 15 日左右,为与之对应,每月气候因子取上月中旬和下旬及本月上旬

万方数据

① 内蒙古自治区伊克昭盟地面气候资料,1982,内蒙古自治区气象台。

作为本月数据。严格来说,这样的选取方法在时间上还与取样时间存在细小的差别,但由于植物生长对气候因子的响应也存在一定的时间滞后效应,本文这里将二者时间上的差异,理解为植物生长对气候的时滞效应。

研究气候因子对植物地上生物量的影响,一般采用多元回归方法^[4,5,7]。传统的回归方法采用植物生长旺季的生物量作为因变量,生长季气候因子的累积量作为自变量。本文对这种传统方法进行了改进,以每月生物量作为因变量,以上月生物量、本月降水量、平均气温和光照时数这 4 个因子作为自变量,进行多元回归。在回归方法上,主要采用逐步回归法淘汰影响不显著因子,只有当有效实验观测数据少于逐步回归所需的组数时,才以相关分析排除影响不显著因子,然后建立回归模型。当生物量观测数据的准确性存在疑惑时,一般避免使用,而采用其他可靠数据。利用这种方法,对生长季 5~8 月份,枯凋期 9 和 10 月份,分别逐月建立生物量对气候因子的回归模型。参考伊克昭盟气象台提供的 1959~1991 年的气象数据,应用建立的逐月回归模型,对降水充裕、平均以及偏少 3 种年份生物量逐月波动范围进行估计。以 8 月份生物量作为生物量峰值,对生长季 5~8 月份气候因子累积量进行回归,比较逐月回归模型与累积回归模型之间的差异。

2 逐月回归模型的结果与分析

2.1 生长季群落地上生物量对气候因子的逐月回归

利用多元线性回归,从 4 至 8 月份生长季中,逐月建立生物量对气象因子的回归模型,(见表 1)。

表 1 百里香-本氏针茅群落逐月生物量与气候因子关系模型
Table 1 Results of monthly regressions of the aboveground biomass yield of *Thymus mongolicus-Stipa bungeana* community and climate

月份 Month	回归模型 Regression model	回归方法 Regression method	F 值 F value	显著水平 P Significant level
5	$Y_5 = -27.06 + 0.98Y_4 + 0.25X_5 + 0.09Z_5$	线性回归 Enter	708.6	0.028
6	$Y_6 = -6.83 + 1.35Y_5 + 0.16X_6 + 0.45W_6$	逐步回归 Stepwise	808.8	0.000
7	$Y_7 = -12.55 + 1.08Y_6 + 0.71X_7$	逐步回归 Stepwise	176.3	0.000
8	$Y_8 = -0.71 + 1.01Y_7 + 0.08X_8$	线性回归 Enter	1532.6	0.018

(1) Y_i 表示第 i 月地上生物量; X_i 表示第 i 月降水量; Z_i 表示第 i 月光照时数; W_i 表示第 i 月平均气温
(2) 生物量为干重单位; kg/0.67km²; 降水量单位为 mm; 光照时数为 h; 平均气温为 ℃。

结果显示:①不同气候因子在植物生长季不同阶段上,影响作用存在差异。光照时数只在 5 月份对生物量产生显著影响,而平均气温只在 6 月份对生物量产生显著影响,在其他月份都不对生物量产生显著影响,而水分因素在生长季各个阶段上都是重要的影响因子。②同一影响因子在植物生长的不同阶段上,重要性程度存在差异,降水量在生长季各月都是生物量的重要影响因子,但采用偏相关分析,各月偏相关系数分别为 0.9987(5 月份)、0.988(6 月份)和 0.983(7 月份),因此重要性次序为:5>6>7 月份。③各月生物量都与上月生物量密切相关,说明植物生长的连续性对生物量的积累是重要的。

降水量在植物生长季各月都产生重要影响,而光照时数和气温只分别在 5 和 6 月份产生显著影响,其他月份都不对生物量产生显著影响,这是百里香-本氏针茅群落与当地自然气候条件长期适应的结果。鄂尔多斯高原气候特点是,太阳辐射能极为丰富、气温偏高,降水量变率大,主要集中在夏季,集中而猛烈,有效降水保证率低^[8],因此水分因子成为植物生长的主要限制因子。3~4 月初,土壤开始解冻,由于融冻作用土壤有一个短暂的返润期,对于牧草返青有利,由于这一时期含水量状况主要取决于去年秋冬季节雨雪情况,研究起来相当复杂,本文没有考察这个内容,仅从 5 月份开始研究气候因子与植物生长之间的关系;在短暂返润期^{月降雨数据},气温上升,大风频繁,土壤蒸发强烈,又缺乏降水补充,因此春旱严重,尤其在这个时期,又适值植物需水临界期,水分对植物尤其重要^[9];随着春季向夏季过度,降水量也在迅速增加,水分

重要性也就不断降低,本文得出水分重要性次序的结论与这个现实吻合。

在生长季中,每个阶段上的生物量都是在前一阶段生物量的基础上,通过植物在本阶段与气候生态因子共同作用形成,因此前一阶段的生物量都是后一阶段生物量的重要影响因子,说明了植物生长连续性对生物量的积累是重要的。在本文中,本月以前的气象因子对本月生物量的影响作用,是通过上月生物量表现出来的。

2.2 枯凋期地上生物量对气候因子的逐月回归

百里香-本氏针茅群落在 9 月份以后进入枯凋期,因此 9 和 10 月份生物量的变化动态表现出与生长季完全不同的规律(见表 2)。

表 2 枯凋期生物量回归模型

Table 2 Monthly models of the aboveground biomass yield of *Thymus mongolicus-Stipa bungeana* community during dormancy months

月份 Month	回归模型 Regression model	回归方法 Regression method	F 值 F- value	显著水平 P Significant level
9	$Y_9 = 4.20 + 0.81Y_8$	逐步回归 Stepwise	113.98	0.000
10	$Y_{10} = -2.88 + 0.79Y_8$	逐步回归 Stepwise	64.44	0.000

表 2 显示,9、10 月份生物量只与 8 月份生物量密切相关,各气候因子不对其产生显著影响。鄂尔多斯高原草地植物进入 9 月份以后一般进入休眠期,植物器官停止生长,植物现存生物量不仅停止增长,反而由于凋落等原因有所减少,因此植物 9 和 10 月份生物量都只与 8 月生物量有密切关系,而各气候因子则不产生显著影响。

2.3 逐月回归模型的模拟结果与实验观测结果的比较

以 4 月份的生物量的观测数据(原观测缺失的 1990~1991 年以 5 月份生物量回归模型对 4 月份生物量进行补充)为起始值,利用逐月回归模型和同期各月气象数据,计算得到各月生物量的模拟结果,模拟值与野外实际观测值,(见图 1)。

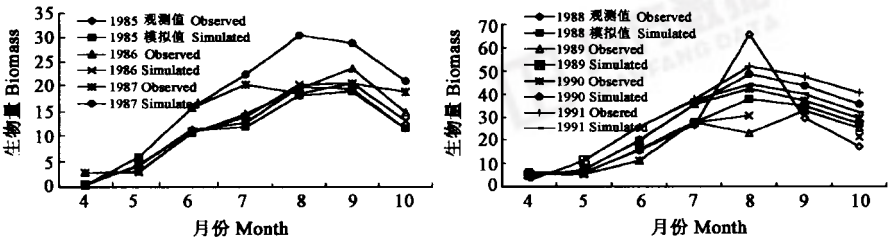


图 1 地上生物量的观测值与模拟值

Fig. 1 Comparison of the observed and simulated aboveground biomass of the *Thymus mongolicus-Stipa bungeana* community

从图 1 可以看出,拟合值与观测值吻合较好,但在某些点上差异显著,表现出的特征主要有:① 各年生物量的拟合在开始几个月份拟合的效果较好,随着时间的推移,误差越来越大,这是由于误差逐月累积的结果;② 观测实验数据中,一些月份生物量数据缺失,但拟合数据中,利用其他月份模型对缺失数据进行了补充,如 1990、1991 年 4 月份生物量数据,1989 年 10 月数据;③ 某些观测数据的准确性存在疑点,如 1987~1989 年 8 月份生物量观测数据的表现,就不太符合前人研究揭示出的植物生长规律^[2,10]。为了避免由于观测误差可能导致的模型失真,在建立回归模型时,放弃了使用这些数据。在这 3 个点上,模拟结果与观测结果存在较大差别是正常的。

2.4 不同水分条件下地上生物量变化范围的预测

草地植物群落的地上生物量在不同年份上的动态变化规律,是一个具有较高的理论和实用价值的研究课题。鄂尔多斯高原重要的气候特征是年际变化剧烈,特别是降水量变率可达 25%~30%,可以导致地上生物量在雨量丰沛和干旱年份差别达到 2 倍以上^[8],使农畜牧业生产表现出强烈的波动性^[11]。

利用本文建立的生物量逐月回归模型,可以对草地地上生物量在不同水分条件年份里各月生物量的波动状况进行预测。作为应用实例,这里将降水量状况分为降水充裕、平均和偏少 3 种气候条件,对百里香-本氏针茅群落地上生物量在不同月份的变化范围进行了预测。

具体方法,以 4 月份生物量作为模拟的起始生物量数据,4 月份生物量的确定主要参考 7a 实际观测结果;以准格尔旗气象站 1959~1991 年的气象观测数据分析得出的气候变化特征为依据,确定降水状况充裕、平均和偏少这 3 种气候条件下的逐月各气候因子的数值,水分充裕年份各月降水通过对平均水平上调 25%得到,降水平均年份各月降水量主要参考 1959~1991 年的平均值,降水偏少年份各月降水量参考平均水平下调 25%估计得到。应用本文建立的生物量逐月回归模型,得到百里香-本氏针茅群落的各月生物量波动范围(图 2)。

需要指出的是,由于降水充裕、平均和偏少这 3 种年份降水量的大小,并无严格界定,因此这里进行预测时使用的逐月气象数据的取值无法完全精确,对这 3 种年份生物量波动范围的估计,也不能算严格意义上的预测,但是这种估计仍然对实践具有一定的指导价值。

3 逐月回归建模方法与累积回归建模方法的比较

为比较本文逐月回归建模方法与累积回归方法的差异,这里用 8 月份地上生物量作为地上生物量峰值,对生长季降水量、平均气温和光照时数等气候因子的累积量进行回归,建立累积气候因子回归模型,并将逐月回归模型与累积回归模型进行对比。

3.1 利用累积气候因子建立回归模型

用 8 月份生物量峰值作为因变量,生长季 5~8 月份降水量、平均气温及日照时数等气候因子的累积量作为自变量,进行多元逐步回归,方差分析见表 3,分析结果表明只有降水量因子是影响生物量的显著因子,地上生物量与降水量之间的关系为:

$$Y = 0.681 + 0.176X$$

其中 Y 表示地上生物量,X 表示生长季降水量累积因子。

表 3 方差分析结果

Table 3 Result of ANOVA

模型	方差平方和	自由度	平均值	F 值	显著性
Model	Sum of squares	df	Means square	F	Sig.
回归 Regression	754.217	1	754.217	24.856	0.004
残差 Residual	151.717	5	30.343		
总和 Total	905.934	6			

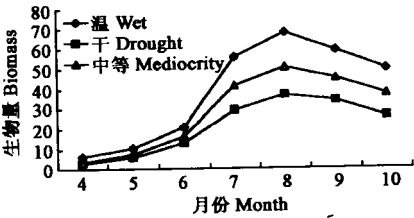


图 2 百里香-本氏针茅群落在 3 种水分条件下生物量波动范围预测

Fig.2 Range of above-ground biomass of the Thymus mongolicus-Stipa bungeana community under 3 different water conditions

气象因子累积回归模型回归结果显示,只有降水量因子是影响百里香-本氏针茅群落地上生物量的显著因子,光照和平均气温都不对生物量产生显著影响,鄂尔多斯高原有着充足的光热资源,只有水分是制约植物生长的主要因子,累积回归得到的结论与当地实际情况相符。

3.2 累积因子回归模型结果与逐月回归结果比较

累积气候因子回归模型、逐月回归模型模拟结果与实际观测结果的比较,(见图3)。

图3显示在大多数年份,逐月回归模型的模拟结果都明显比累积回归模型的模拟结果更接近于野外实际观测值,说明逐月回归模型的精度更高,这是由于逐月回归模型考虑了气候因子的影响作用在植物不同生长阶段上的差异,而累积回归模型则没有考虑这种差异。两个模型模拟结果在个别年份,模拟的效果都很差(如,1988),在前文已经交代过,野外观测数据在某些年份的准确性存在疑虑,正是在这些年份,模拟效果都不好。

除了模拟精度上的差异外,逐月回归模型优于累积回归模型的还在于另外两方面:一是可以提供累积回归模型无法揭示的有关气候因子影响作用的细节,如,日照时数和平均气温分别在5和6月份显著影响植物生长,降水量重要性在不同月份上的差异等;二是逐月回归模型可以对不同水分条件年份,植物生物量在生长季各月的波动范围进行预测,这也是累积回归模型无法提供的。

4 初步结论与讨论

基于对鄂尔多斯高原典型草原百里香-本氏针茅草地群落生物量连续7a逐月定位监测,逐月建立百里香-本氏针茅群落地上生物量对气候因子的回归模型,揭示出如下规律:①不同气候因子在植物生长不同阶段上对植物生长产生不同影响,光照时数只在5月对植物产生显著影响,平均气温只在6月份对植物产生显著影响,降水量在生长季各月都是重要的影响因子;②同一气候因子在植物生长不同阶段上,对于植物生长来说重要性存在差异,降水量在生长季中重要性次序为5>6>7月份;③进入9和10月份植物凋枯期以后,植物现存生物量只与植物生长旺季8月生物量有密切关系,与气候状况无显著关系;④植物生长季各阶段上的生物量都与前一阶段生物量密切相关,说明植物生长的连续性对于生物量是重要的。

利用植物8月份生物量以及生长季5~8月份累积气候因子,建立了生物量与气候因子之间的关系,模型结果表明,只有降水量是影响植物生物量的显著因子,这与当地实际是吻合的。

本文采用逐月回归建模方法,是对传统的累积因子建模方法的改进,通过两种模型模拟结果的比较,逐月回归模型具有3个方面优势:①能提供气候因素影响植物生长的许多重要细节,这些是累积模型无法提供的;②建立的植物生物量与气候因子之间的定量关系更精确;③能够对不同气候条件下生物量在整个生长过程中的波动情况进行预测,这也是累积回归模型无法完成的。在鄂尔多斯高原这类气候多变地区,气候状况对植物生长的影响作用是十分复杂的,利用逐月回归建模方法比传统累积因子回归建模方法更加有效。同时也应该看到,累积因子回归模型也能从总体上比较正确地反映生物量与气象因子的关系,并具有简洁的优点,因此在研究中,最好结合这两种建模方法。在本文建模研究过程中,对两个方面深有体会:①实地观测结果的精确性对于正确建立模型十分重要;②在理论研究中,科学地运用数学理论和方法是得出科学结论的关键。

植物群落野外实地调查中,经常采用直接收割法,然而由于自然群落中绝大多数种群个体呈现聚块分布,容易造成地上生物量测定数据不能准确反应植物生长的实际状况。对于这个问题,杨持等曾经对植物群落的采样问题进行过比较深入的探讨^[2]。本文在建模过程中,深有感触的是,野外实验结果精确与否对于能否正确建立和验证模型是十分关键的,因此要提高理论研究的科学性,一个重要的前提条件就是必须提高野外实验观测的精确性。

多元回归分析中经常被用来说明两个变量之间线性相关程度的指标。在多元回归分析中,由于多元变量的复杂性,复相关系数并不能准确全面地反映出变量的相关程度,只有偏相关系数才能真正反映

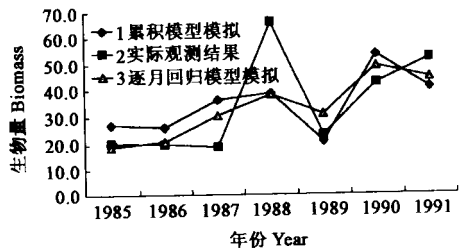


图3 累积回归模型、逐月回归模型模拟结果与实测结果的比较

Fig. 3 Comparison of the aboveground biomass between the observed in the field and simulated by the accumulative model and by the monthly model
1. Simulated; 2. Observed; 3. Monthly model

两个变量之间的本质联系^[13],因此在多元回归分析中,要了解某两个变量间的相关程度,必须主要考察偏相关系数。

参考文献

[1] 潘瑞炽,董愚得 编著. 植物生理学,北京:高等教育出版社,1995. 106~111.

[2] 杨 持,李永宏,燕 玲. 羊草草原主要种群地上生物量与水热条件定量关系初探. 见:中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究. 北京:科学出版社,1985. (1): 24~37.

[3] 侯光良,等. 宁夏天然草场产量与气候因子关系及人工草地产量估算. 自然资源学报,1989, 4(1): 54~59.

[4] 贾广寿. 蒿属荒漠草地牧草产量动态及预测方法的探讨. 中国草地,1993,(2): 19~26.

[5] 谢海生,陈仲新,赵雨兴. 鄂尔多斯高原生态过渡带气候特殊性和气候植物生长指数与畜牧业生产动态分析. 生态学报,1994, 14(4): 355~365.

[6] 陈佐忠,黄德华,张鸿芳. 内蒙古锡林河流域羊草草原与大针茅草原地下生物量与降水量关系模型探讨. 见:中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究. 北京:科学出版社,1988. (2): 20~25.

[7] 郭继勋,祝廷成. 气候因子对东北羊草草原群落产量影响的分析. 植物学报,1994,36(10): 790~796

[8] 李 博 等著. 内蒙古鄂尔多斯高原自然资源与环境研究,北京:科学出版社,1990. 33~52, 80~125, 149.

[9] 李绍良. 栗钙土的水分状况与牧草生长,见:中国科学院内蒙古草原生态系统定位站编. 草原生态系统研究. 北京:科学出版社,1988. (2): 10~19.

[10] 李月树,祝廷成. 羊草种群地上生物量形成规律的探讨. 植物生态学与地植物学丛刊,1983, 7(4): 289~298.

[11] 史培军. 中国北方农牧交错带地区的降水变化与波动农牧业. 干旱区资源 与环境,1989, 3(3):3~9.

[12] 刘振铎,等. 内蒙古鄂尔多斯高原草原地上生物量动态研究. 见:李 博,等 著. 中国北方草地畜牧业动态监测研究(一). 北京:中国农业科技出版社,1993. 191~197.

[13] 胡健颖,冯 泰 著. 实用统计学. 北京:北京大学出版社,1996. 279~282.