

鄂尔多斯高原植物群落季节生长格局模拟

姜联合^{1,2}, 王建中¹, 郑元润^{3*}

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国科学院植物研究所, 北京 100093;
3. 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

摘要:影响大尺度空间生态模型模拟结果与资源管理整合的因素主要有两种:一是一些模型生态学意义不明确,二是一些模型所需要的生态输入信息过于复杂。建立一个基于基本的生态学公理且输入较为简单的生态学模型,便于更加有效地服务于资源环境管理。该模型用于模拟发生严重荒漠化的鄂尔多斯高原植物群落季节及年生长、叶片投影盖度、蒸发系数。模型首先基于降雨、蒸散、渗漏及土壤水分特性与蒸发系数(k)的关系,采用迭代的计算方法,模拟植物群落蒸散与土壤可利用水分达到平衡状态时的 k 值,进而采用得到广泛验证的经验公式计算植物群落的其它参数。野外 NPP 观察数据对模型的验证表明:模拟结果与观察值相符较好。模拟结果表明:蒸发系数小于 0.35×10^{-2} ,显示鄂尔多斯高原气候较为干燥;叶片投影盖度低于 50%;除东部的准格尔旗外,植物群落净第一性生产力均低于 $1\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,近 90% 的 NPP 累积集中于 5 至 8 月份。根据该文的模拟结果,在进行植被恢复时,恢复植被密度必须低于 50%,放牧密度以 $0.8 \sim 2.0$ 个/ hm^2 羊单位为宜。

关键词:叶片投影盖度;净第一性生产力;植物群落;鄂尔多斯高原;季节生长

A simulation model of the seasonal growth pattern of plant communities in the Ordos Plateau

JIANG Lian-He^{1,2}, WANG Jian-Zhong¹, ZHENG Yuan-Run^{3*} (1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 3. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 733~739.

Abstract: Two main factors hinder the effective incorporation of ecological information from computer models into resource management at large spatial scales: (1) some models are not based on ecologically sound principles; (2) most models based on sound principles are too sophisticated or detailed. This paper presents a generic model based on well established ecological principles with an appropriate level of detail to better server sustainable resource management decision making. The model was developed to simulate seasonal and annual growth, foliage projective cover (FPC), and evaporative coefficient in the Ordos plateau, where serious desertification happened recently. The value of k is based on the relations between precipitation, evapotranspiration, drainage and soil moisture and derived by iterative method when plant community, soil moisture and precipitation reached the equilibrium point. Other parameters of plant community were calculated by well validated empirical equations. Observed NPP data in the study area were used to validate the model, and the model results were in high agreement with observed data. The model was used to simulate evaporative coefficient, FPC , and annual production in the study area. The simulation results indicate that the k parameter is lower than 0.35×10^{-2} and implies a typical dry climate in study area. Estimated foliage projective cover of plant community is lower than 50%, and the annual production is very

基金项目:中国科学院资源环境领域野外台站基金资助项目;中国科学院院长基金资助项目;国家“十五”攻关资助项目(2002BA517A11-7);国家重大基础研究计划资助项目(G2000018607)

收稿日期:2004-07-13; **修订日期:**2004-12-28

作者简介:姜联合(1968~),女,山西人,博士生,主要从事荒漠化防治技术及其评价研究。E-mail: Jianglh@ibcas.ac.cn

* 通信作者 Author for correspondence.

Foundation item: The Fund for Field Station in Resource and Environment Fields, Chinese Academy of Sciences; President Fund of Chinese Academy of Sciences; “10th 5-Year” State Plan for Science and Technology (No. 2002BA517A11-7) and State Key Basic Research Development Planning Project of China (No. G2000018607)

Received date: 2004-07-13; **Accepted date:** 2004-12-28

Biography: JIANG Lian-He, Ph. D. candidate, mainly engaged in desertification combating. E-mail: Jianglh@ibcas.ac.cn

low—— less than 1 t/(hm² · a) in most of sites. About 90% of annual *NPP* was produced during May to August (four months). Based on the results by this model, the coverage of restored vegetation should be less than 50% when vegetation rehabilitation engineering was conducted, and livestock density should be lie between 0.8~2.0 sheep unit/hm² in the Ordos plateau.

Key words: foliage projective cover; *NPP*; plant community; the Ordos Plateau; seasonal growth

文章编号:1000-0933(2005)04-0733-07 中图分类号:Q145.2 文献标识码:A

近年来,荒漠化已成为阻碍人类社会发展的环境问题。据 20 世纪 90 年代的估计,我国的荒漠化土地面积占国土面积的 27.3%,18 个省、自治区,471 个县受到荒漠化的影响^[1]。鄂尔多斯高原是我国荒漠化中心区域之一,受到荒漠化的长期困扰。近 30 多年来,当地政府投入大量人力物力进行荒漠化防治工作,尽管取得巨大成绩,但总体形势仍是局部好转,整体恶化。

鄂尔多斯高原气候上属于半干旱区,为典型的农牧交错带^[2]。尽管干旱、半干旱区土地生产力低下、环境脆弱^[3,4],土地直接经济价值有限,但却可能成为潜在的社会经济发展资源库,丰富的生物多样性亦可能在生态系统的稳定性、遗传资源及潜在药用资源等方面起重要作用。鄂尔多斯高原具备上述典型特征,被称为灌木王国,分布着 100 多种灌木,其西部残留有第三纪的一些孑遗植物,可以作为丰富的灌木基因库。近年来,鄂尔多斯高原发现的煤炭及天然气资源更加强了鄂尔多斯高原作为资源区生态恢复的重要性。

为更加有效地进行退化生态系统恢复,了解退化原因并采取恰当的恢复措施至关重要。如果沙漠的历史形成是由于干旱、多风及沙地地表裸露等因素造成的,不合理的土地利用方式则是近现代荒漠化发生发展的主要原因^[5,6]。因而资源的合理利用如放牧管理应基于区域上草地的年生产能力,即净第一性生产力(*NPP*)。

在进行植被恢复时亦应采取合适的植被盖度。恢复植被的盖度应建立在当地自然环境能够支撑的基础上。在过去的生态恢复工程中有许多经验值得借鉴。如“三北”防护林工程,尽管目前仍难以评估其稳定性,但地下水位的降低可能是由于恢复植被的密度过高而造成的^[7],在干旱、半干旱区通常不能维持大面积的高密度森林植被。因而,为保持恢复植被的稳定性,合理的植被密度是必需的。

由上可见,依据 *NPP* 制定合理的放牧密度,根据土地的承载力确定最适的恢复植被盖度,对于鄂尔多斯高原资源的合理利用与可持续的退化生态系统恢复具有重要意义,急需在区域上对 *NPP* 及最适植被盖度进行合理的估计。目前已有一些类似的研究:采用遥感手段进行草地生产力估计^[8],采用遥感数据进行植被动态模拟^[9],采用 BIOME3 模型进行中国生产力的模拟等^[10]。但这些研究通常需要较为复杂的输入,难以为广大的决策人员使用。

本文目的在于采用常规的气象数据开发一个简单、易用、具有友好界面、基于生态学过程的植物群落生长模型,模拟长期气候条件作用下最适的植被盖度、植物群落季节生长动态等参数,为荒漠化土地的恢复及放牧控制管理提供必要的参考标准。

1 研究方法

1.1 模型开发与描述

进行生态系统模拟,应建立可利用资源(如水分、养分等)与生物生产(群落高度、盖度及密度等)之间的联系。本文的假设建立在生态系统的公理之上:即可利用资源越多,生态系统能够维

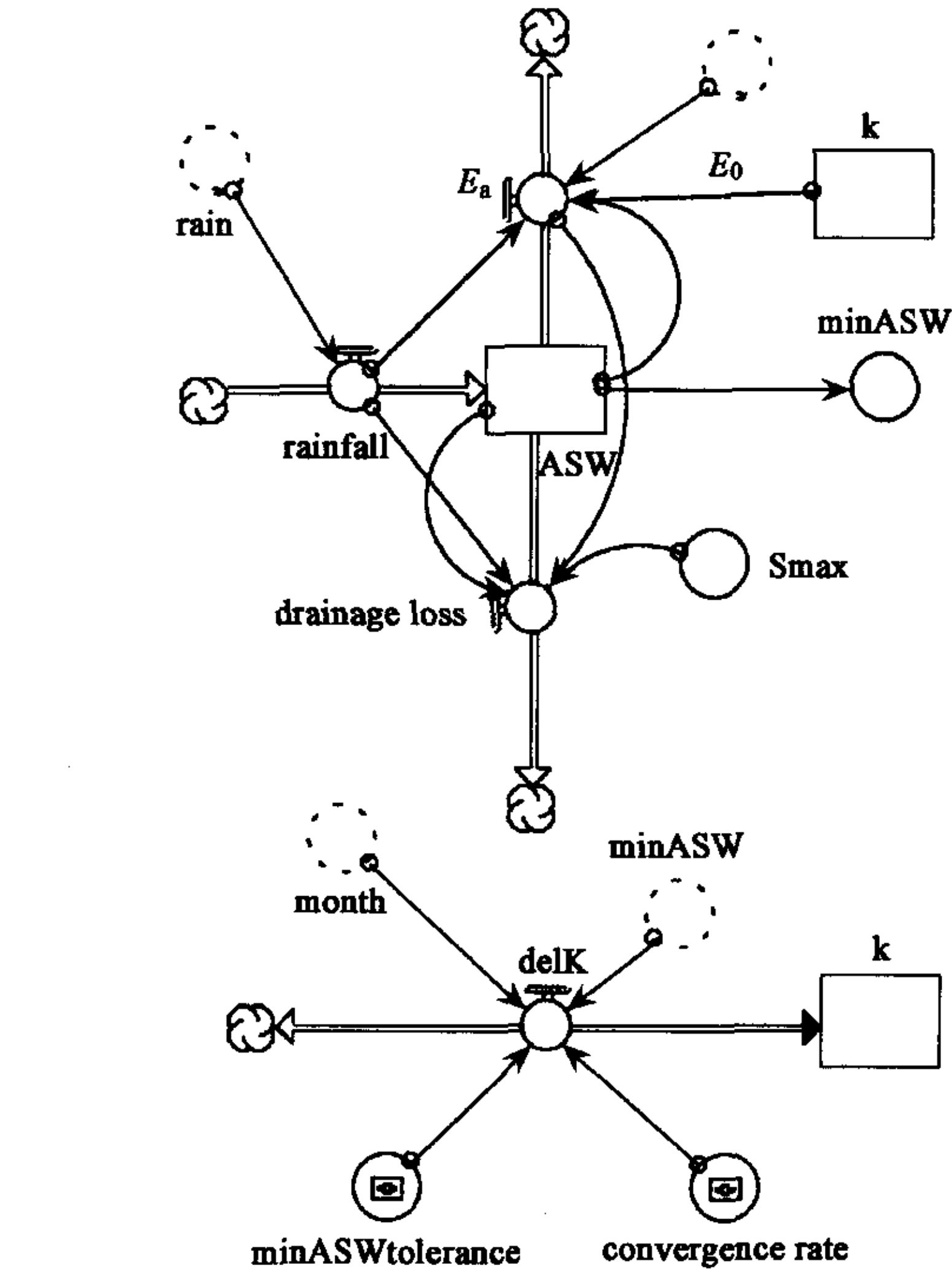


图 1 Stella 水分平衡模型图解

Fig. 1 Pictorial form of Stella model and module for simulation on water balance

rain 为月降水, rainfall 为年降水, E_a 为月实际蒸散, E_0 为月蒸发皿蒸发, ASW 为土壤可利用水, minASW 为土壤最小可利用水, k 为蒸发系数, drainage loss 为水分渗漏损失 drainge soil water loss, S_{max} 为土壤最高持水量 soil water holding capacity, month 为月份 valuve for calculating k by iterative method, delK 为迭代过程计算值, minASWtolerance 为土壤最小可利用水极限 minimum avaiable soil water tolerance,, convergence rate 为迭代收敛值 convergence rate for iterative method; loss, S_{max} , month, delK, minASWtolerance, convergence rate stand for evaporation coefficient, monthly rainfall (mm); annual rainfall (mm); monthly evapotranspiration (mm); monthly pan evaporation(mm); available soil water (mm); minimum available soil water (mm)

持的生长与积累越多。

采用 STELLA^[11]模型环境建立模拟模型。图 1 显示植物群落的水分平衡模块。其中,累积单元由矩形的累积库符号表示,其值由初始值加上一定时期内输入与输出之间的平衡决定。输入输出流动则由带有活塞的管道组成,其流向用箭头表示。其它变量及常数则由圆形符号表示。带有箭头的线条则表示变量之间的关系。

1.1.1 土壤水分、蒸散与叶片投影盖度(Foliage projective cover, FPC) 植被捕获太阳光能及将光合作用产物转化为新的组织是受下列因素限制的:可以接收太阳光的叶片数量,可利用水分及养分,年均温度及其年变化周期等,其中,可接受太阳光的叶片数量是决定性的植物群落内部因素。光合产物向植物不同器官之间的分配则受资源的可利用性、植物的生物学特性及消费者群落所制约。叶片的水平空间分布,也即 FPC ,受蒸发系数(表征一定气候条件下植物群落蒸腾水分的能力)制约,植物群落蒸腾是土壤水分损失的重要组成部分,同时主要是通过叶片进行的,因此, FPC 亦是表征植物群落水分损失的有效变量^[12]。可见植物群落的 FPC 与水分平衡过程密切相关。因此拟在水分平衡模拟的基础上,根据相关经验公式计算植物群落的 FPC (式(4)、(5))。

模型的基本假设是植物群落生长所需的资源越丰富,生态系统所能维持的生长潜力就越大。在众多的生态因子中,水分平衡过程是影响干旱、半干旱区植物群落生长的重要因子。假设在其它条件合适的条件下,如果土壤水分允许,在群落水平上植物群落可以持续生长。而土壤水分状况决定于土壤可利用水。在干旱区植物群落水分关系研究中,可以通过简单的水分平衡关系计算土壤可利用水分(式(1),(2)),其中降水为水分输入,蒸散及渗漏为水分输出。在渗漏发生前土壤水分可以达到田间持水量水平,如果超过土壤持水量(S_{max})就会发生渗漏。在气候条件允许的情况下,植物群落倾向于尽可能多地利用土壤水分,但不会消耗土壤水分以至达到永久萎蔫点^[12]。如果水分充足,植物群落蒸散与大气的蒸发动力有关(而蒸发动力可以用培养皿的蒸发量来衡量)。实际蒸散与潜在蒸散的比(E_a/E_0)与土壤可利用水分(W)线性相关^[13~15], E_a/E_0 与土壤可利用水分之比称为蒸发系数(k)。如果土壤水分受限,植物群落蒸散与叶片盖度密切相关,尤其与暴露于大气中的叶层直接相关。

$$E_a/E_0 = k \times W \quad (1)$$

$$W = P - D + S_{ext} \quad (2)$$

式中, E_a 为月实际蒸散(mm), E_0 为月蒸发皿蒸发(mm), k 为蒸发系数, W 为某月的土壤可利用水分(mm)。 W 可以用(2)式计算而得,其中, P 为月降水(mm), D 为月土壤水分渗漏损失(mm), S_{ext} 为每月开始时储存于土壤根际层的植物群落可利用水分(mm)。

如果土壤水分不受限制, E_a 倾向于等于 E_0 :

$$E_a/E_0 = 1.0 \quad (3)$$

蒸散与土壤水分之间的相互平衡可以用于模型迭代求解,也即最适的 k 值保证植物群落尽可能多地利用土壤水分,但不至于耗尽土壤水分。在月降水 P 与月蒸发皿蒸发 E_0 已知的情况下,通过(1)、(2)、(3)式,无法直接求出 k 值,本文采用迭代方法,使用 Stella 模型系统进行模拟运算,以月为单位,模型运行 100a 后,土壤水分、降水及植物群落蒸散达到平衡状态,此时的 k 值即是维持植物群落与土壤水分平衡的值,具体模拟过程见图 1。其中, S_{max} 为测得的鄂尔多斯高原各模拟地点的土壤最大持水量,其它未知变量仅给予初始值,值的大小仅影响模型达到平衡的速度,而不影响最后 k 值结果。根据野外观察,鄂尔多斯高原各土壤类型的 MinASWtolerance 值近似为 1.1 mm, convergence rate 为迭代精度值,给定值为 0.01。通过此方法最终获得鄂尔多斯高原各植物群落的 k 值。

植物群落所有层片的结构可以用来估算光合潜力^[16], FPC 代表着植物群落最适光合作用叶层体系,因而可以用来模拟植物群落的许多参数。在相似的气候条件下,植物群落 FPC 类似^[12]。研究表明^[17],植物群落上下层的 FPC 都与蒸发系数 k 线性相关,因而在 k 已知的情况下,便可以计算出植物群落上、下层的 FPC ^[12]:

$$FPC_{cover} = 9770 \times k/100 - 7.15 \quad (4)$$

$$FPC_{under} = 5880 \times k/100 + 10.04 \quad (5)$$

式中, FPC_{cover} 为上层 FPC , FPC_{under} 为下层 FPC 。很明显较低的 FPC 可以使一部分土壤水分留在土壤中,而较高的 FPC 则倾向于耗尽土壤水分。在长期大气候作用下,植物群落 FPC 会与土壤水分之间达到动态平衡。鄂尔多斯高原的优势植物群落为灌木或半灌木群落,尽管退化较为严重的区域仅存在灌木或半灌木层片,但条件稍好或破坏较轻的区域仍可以明显区分出灌木层及稀疏的草本层两个层片。因此,本文将其分作两个层次来计算。

1.1.2 生长指数 植物群落生长指数,如月净光合指数(Monthly Net Photosynthetic Index, NPI)及年生长指数(Current Annual Growth Index, $CAGI$),描述的是当其它环境因子均合适时植物群落的生长速率。生长指数由气候指数导出,气候指数表征气候对植物群落的影响程度^[18]。这些气候因素相互影响,共同作用于植物群落^[19]。

模型考虑 4 种气候因素:月均温、月降水、月蒸发及月太阳辐射。这 4 种气候因子对月净第一性生产力的效应通过湿度指数

(Moisture index, MI), 辐射指数(Radiation index, RI)及热量指数来度量(Thermal index, TI)。其定义由公式(6)、(7)及(8)分别表示:

$$MI = E_a/E_o \quad (6)$$

式中, MI 定义为当其它因子适合时,植物群落叶层在土壤水分受限时与土壤水分充足时固定的干物质之比^[14]。

$$RI = 1 - e^{(-3.5 \times R/750)} \quad (7)$$

式中, RI 定义为植物群落叶层产生的干物质系数,系数的范围为 0~1。 R 为月总太阳辐射, e 为自然对数的底^[14]。

$$TI = 0.049 \times 10^{(0.044 \times T_m)} \quad (8)$$

式中, TI 为月光合热量指数, T_m 为月均温($^{\circ}\text{C}$)。

如果求出 3 种气候指数及 FPC ,植物群落月净光合指数就可通过公式(9)求出。月净光合指数代表在一定气候条件下任何时间内植物群落固定能量的潜力。这个值在 0~1 之间变动^[14]:

$$NPI = FPC_{total} \times TI \times MI \times RI \quad (9)$$

式中, FPC_{total} 为植物群落上、下层 FPC 的和。

1.1.3 月净第一性生产力 在上述各式的基础上,采用公式(10)可以计算植物群落的月实际净增长,也即月净第一性生产力为(Actual current monthly growth increment, $CMGI$):

$$CMGI = NPI \times CAGI_{opt} \quad (10)$$

式中, $CAGI_{opt}$ 为月最适净增长($\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$),它与年均温相关,可用(11)式计算:

$$CAGI_{opt} = 0.86 + 0.1 \times T_a \quad (11)$$

式中, T_a 为年均温。

至此,本文重点模拟的两个参数植物群落叶片投影盖度及月净第一性生产力均可由此模型模拟得出。

由上可见,本文的模型描述的是在以月为单位的时间间隔内生态系统一年内的“平均”变化。正如 Huggett^[20]与 Battaglia 和 Sands^[21]所描述的那样,这种模型介于传统的生态学模型及基于过程的景观生态学模型之间。在模拟水分平衡的重要参数蒸发系数 k 时,属于机理模型,而 FPC 及一些生长指数的计算则采用的是经验公式。这些经验公式在澳大利亚全国的植物群落生理生态学研究中得到广泛验证^[17]。

1.2 研究区域

本文的研究区域为鄂尔多斯高原的主体部分内蒙古鄂尔多斯市(原为伊克昭盟)。鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部, $37^{\circ}35'24'' \sim 40^{\circ}51'40''\text{N}$, $106^{\circ}42'40'' \sim 111^{\circ}27'20''\text{E}$ 之间,西、北、东三面为黄河环抱,东西长 343km,南北宽约 245 km,总面积 87428 km^2 。鄂尔多斯市属于古老沉积构造盆地,东部为准格尔黄土丘陵区,西部为桌子山低山缓坡和鄂尔多斯高地,北部为库布其沙漠,南部为沙漠、滩地、湖泊相间的毛乌素沙地,中部为波状起伏的高原。东胜区至杭锦旗四十里梁乡居高原中部,是一条高亢的地形分水岭和气候分界线。海拔为 850~1 600 m^[22]。

本区属于典型的大陆性气候,年均温 6.23°C ,东部年降雨量为 300~400 mm,西北部仅为 150~300 mm,日照时数为 2 900~3 200 h, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 2 800~3 600 $^{\circ}\text{C}$,无霜期为 130~165 d。地表风沙广布,东部为干草原栗钙土,西部为荒漠草原棕钙土^[2]。

1.3 气象数据

鄂尔多斯市 7 旗 1 区的 8 个气象台站 30a(1970~1999 年)的月均温、月降水、月蒸发及月太阳辐射平均数据作为模型的输入数据。研究区具体位置及年气象资料见表 1。

1.4 模型验证数据

为对模型结果进行验证,采用 IBP 标准方法^[23]对鄂尔多斯高原 4 个地点进行 NPP 的野外观察,其计算方法为 1a 内地上部分生物量的净增长。每一个观察值包括 5 个重复,连续观察 3a(1997~1999 年),结果见表 2。

1.5 模型验证

缺乏实测数据进行有效验证是模型模拟研究中存在的普遍问题^[24]。本文亦存在类似问题,在 8 个模拟地点中,仅有 4 个地点的 NPP 野外观察值,但这些地点大致均匀分布于鄂尔多斯高原,可认为代表了鄂尔多斯高原的总体情况。由表 2 可见,观察值与模拟值的误差在 9%~15% 之间,这一结果亦与 Armstrong 等^[24]报道的 11% 的误差接近。图 2 的回归分析结果进一步显示观察值与模拟值相符较好($p < 0.05$)。因而可以认为模拟结果较为合理,可用于模拟鄂尔多斯高原的净第一性生产力及叶片投影盖度。

2 结果

图 3 显示,从东至西 k 值呈降低趋势,准格尔旗最高,东胜次之,伊金霍洛、乌审及达拉特旗属于同一水平,鄂托克前、鄂

表 1 研究区地理及气候特点(气象数据为 30a 平均值)

Table 1 Research sites and their geographic and climatic characters (Climatic data is annual for 30 years average)

	纬度 Latitude	经度 Longitude	高度 Elevation (m)	年均温 Yearly average temperature(℃)	年降水 Annual precipitation (mm)	年蒸发 Annual pan evaporation (mm)	日照百分率 Sun shine fraction (%)
鄂托克前 Otog Qian	39°06′	107°59′	1380.3	7.6	265.6	2424.3	66.8
鄂托克 Otog	38°11′	107°29′	1333.3	7.1	270.9	2470.4	66.4
杭锦 Hangjin	39°51′	108°44′	1387.3	6.4	276.7	2471.1	71.6
乌审 Uxin	38°36′	108°50′	1307.2	7.5	315.6	2330.3	66.2
伊金霍洛 Ejin Horo	39°34′	109°44′	1329.8	6.7	345.2	2311.2	67.0
达拉特 Dalad	40°24′	110°02′	1012.2	6.8	297.3	2224.6	69.8
东胜 Dongsheng	39°50′	109°59′	1460.4	6.2	386.2	2256.0	69.1
准格尔 Jungar	39°40′	110°52′	1038.8	7.7	384.4	2071.7	67.5

托克及杭锦旗属于同一组,基本反应了鄂尔多斯高原由东至西的干旱趋势变化规律。模拟 *NPP* 值亦很低,仅有准格尔旗的 *NPP* 值大于 1t/(hm²·a),到西部的鄂托克前、鄂托克及杭锦旗 *NPP* 值仅为约 0.5t/(hm²·a)左右。尽管由西向东植物群落叶片投影盖度逐渐增加,但在整个鄂尔多斯高原,叶片投影盖度均小于 50%。这表明鄂尔多斯高原大部分需保持自然状态,维持其现有的灌木资源基因库、生物多样性及环境功能,而不宜进行大面积农业开发或恢复高密度的人工植被。

图 4 显示,鄂尔多斯高原 *NPP* 的累积从 4 月开始有较明显增加,6 月达到增长高峰,7 月 *NPP* 的累积亦很明显,到 8 月迅速降低,10 月 *NPP* 累积已为 0。表 3 显示,鄂尔多斯高原 5~8 月份的 *NPP* 累积几近 90%。从 10 月至第 2 年的 2 月份,处于生命活动的维持期内,*NPP* 的积累为 0,实际上为 *NPP* 的消耗期,3 月 *NPP* 开始正增长。模拟结果基本与当地生命活动规律一致。

3 讨论

k 值与气候:模拟 *k* 值均小于 35%,据 Specht 和 Specht^[12]提出的标准属于干旱区,但我国均把鄂尔多斯高原划入半干旱区,这个差异是由于鄂尔多斯高原蒸发量过大造成的,尽管东部雨量较大,但蒸发亦达到每年 2 000 mm 以上,从而加剧了干旱程度。而到鄂尔多斯高原西部乌海,降雨量仅为 150 mm 左右,实际上已属于干旱区的范围了。

表 3 各地 5、6、7、8 四个月份净第一性生产力占全年比例(%)

Table 3 The percentages of net primary productivity in May, June, July and August in one year(%)

鄂托克前 Otog Qian	鄂托克 Otog	杭锦 Hangjin	乌审 Uxin	伊金霍洛 Ejin Horo	达拉特 Dalad	东胜 Dongsheng	准格尔 Jungar
87.3	88.9	89.8	88.9	91.9	90.5	90.5	89.7

(1)雨热格局的影响 鄂尔多斯高原降雨主要集中于 7、8、9 三个月,8 月中、下旬至 9 月鄂尔多斯高原温度已逐渐降低,不利于 *NPP* 的累积,7 月份虽然雨量集中,但温度亦较高,对植物生长具有一定限制作用,较高的呼吸作用亦会增加能量的消耗。尽管 6 月份降水偏低,但已可满足植物生长需求,尤其是 6 月中、下旬逐渐进入雨季及温度逐渐升高,*NPP* 累积达到最大。由此可见,鄂尔多斯高原的雨热不很同步,会对植物生长造成不利影响,这与前人的研究结果相类似^[2]。在生产实践中应在 6、7 月份间加大投入力度,如灌溉与施肥,促进植物生物量的累积。

(2)合理的恢复植被密度 过度放牧以及过度农业开发活动使地下水位大大降低,过去鄂尔多斯高原十分常见的沙地小湖泊已大量干涸,河水流量锐减,低湿地大量减少。毛乌素沙地独具特色的柳湾林面积锐减,由 20 世纪 50 年代的 6.7×10⁵hm² 降至 20 世纪 90 年代的 10 万 hm²,其中实有林地面积仅有 3.8×10⁴hm²,林内生物多样性亦大大在降低。荒漠化面积则持续增加。

表 2 鄂尔多斯高原植物群落(灌丛)净第一性生产力观察(平均值±标准误差)与模拟值

Table 2 Observed (Mean ± standard error) and simulated data of *NPP* of shrubland in the Ordos Plateau

地点 Sites	净第一性生产力(<i>NPP</i>) (t/(hm ² ·a))	
	观察值 Observed	模拟值 Simulated
准格尔 Jungar	1.15±0.23	1.26
伊金霍洛 Ejin Horo	0.65±0.12	0.74
鄂托克 Otog	0.47±0.14	0.54
杭锦 Hangjin	0.44±0.17	0.49

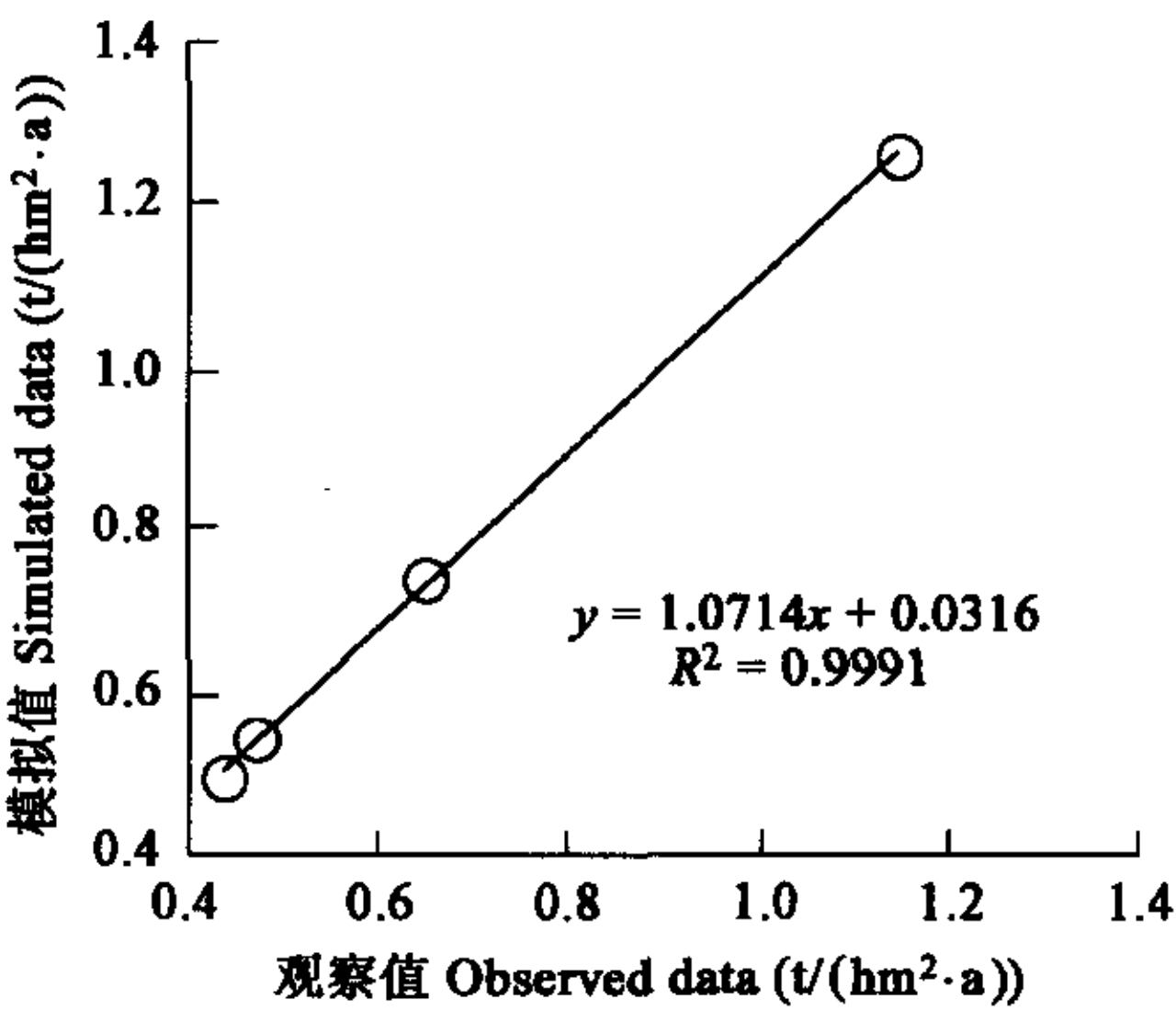


图 2 净第一性生产力观察值与模拟值相关比较(观察点见表 2)

Fig. 2 Comparison of the observed and simulated *NPP* for the locations in table 2

为保持生态环境的可持续发展,当地政府进行了大量生态恢复工程。但由于缺乏合适植被盖度的基本信息,一些生态工程存在密度过大的问题,因而向政府决策者提供准确的恢复植被信息非常重要。本文基于水分平衡的植物群落叶片投影盖度模拟结果可以作为一个有效的参考标准,模拟植物群落盖度均小于50%,因而,在进行植被恢复时,恢复植被密度必须低于50%。

(3)放牧管理 尽管鄂尔多斯高原东部准格尔旗的净第一性生产力较高,但整个鄂尔多斯高原的生产力仍很低下。据实验结果,1只绵羊每天需消耗1.75kg干草,根据净第一性生产力的模拟结果很容易计算单位草地面积能够承载的牲畜数量,因此,净第一性生产力可以作为制定畜群密度管理时的重要依据。计算可得鄂托克前旗、鄂托克旗、杭锦旗、乌审旗、伊金霍洛旗、达拉特旗、东胜区、准格尔旗的畜群承载力分别为:0.9、0.8、0.8、1.1、1.2、1.2、1.3、2.0只羊/hm²。由此可见,目前超载放牧是十分严重的。此外,由于牲畜不能取食植物生产的所有干物质,在制定放牧管理措施时宜稍低于此值。

(4)模型特点 与其它植物群落模型相比,本文所发展的模型在大尺度的研究中具有一定的优越性。如,Armstrong等^[24]发展了一个用于英国7个矮灌木及5个草本群落生长、死亡、枯枝落叶及生物量的计算机模型。但此模型的输入包括每种植物群落类型的面积等相对较难获得的参数。其它一些模型亦可预测植物群落的生长与生物量^[25, 26],但仍存在输入参数较难获得,不宜在大尺度上推广应用的困难。本文的模型输入参数来自普通的气象观察数据,容易获得,因而对于区域研究较为合适。尽管我国的NPP监测取得很大进展^[9],观察数据仍然过少难以向区域水平进行推广。采用遥感及GIS技术建立的NPP模型是有效的方法^[8],但由于缺乏足够的地面校正数据及遥感数据过于昂贵限制了其推广应用。

本文的模型仍有一些过于简单化的倾向。尽管干旱、半干旱区土壤营养比较贫乏,仍会对植物群落的动态造成一定影响,但与土壤水分的影响相比作用较小,加之,土壤养分数据缺乏,本文未考虑土壤养分的影响,需要将来进一步完善,同时亦造成本文NPP的模拟结果可能偏高。最后需要指出的是目前我国正实行西部大开发,面对西北脆弱的生态环境,在进行资源开发及生态恢复时必须考虑环境的承载力,因而本文的研究结果,可为我国的西部大开发提供一定的借鉴。

References:

[1] China National Committee for the Implementation of the UN Convention to Combat Desertification. *China National Action Program to Combat Desertification*. Beijing: Ministry of forestry, 1992. 3.

[2] Zhang X S. Principles and optimal models for development of Maowusu sandy grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 18(1):1~16.

[3] Daily G C, Alexander S, Ehrlich P R, et al. Ecosystem services: Benefits Supplied to Human Societies by natural ecosystems, issues Ecology. *The Ecological Society of American*, 1997. 2.

[4] Yates D N, Kittel T G F, Cannon R F. Comparing the correlative Holdridge model to mechanistic biogeographical models for assessing vegetation distribution response to climatic change. *Climatic Change*, 2000, 44: 59~87.

[5] Mitchell D J, Fullen M A, Trueman I C, Fearnough W. Sustainability of reclaimed desertified land in Ningxia, China. *Journal of Arid Environments*, 1998, 39: 239~251.

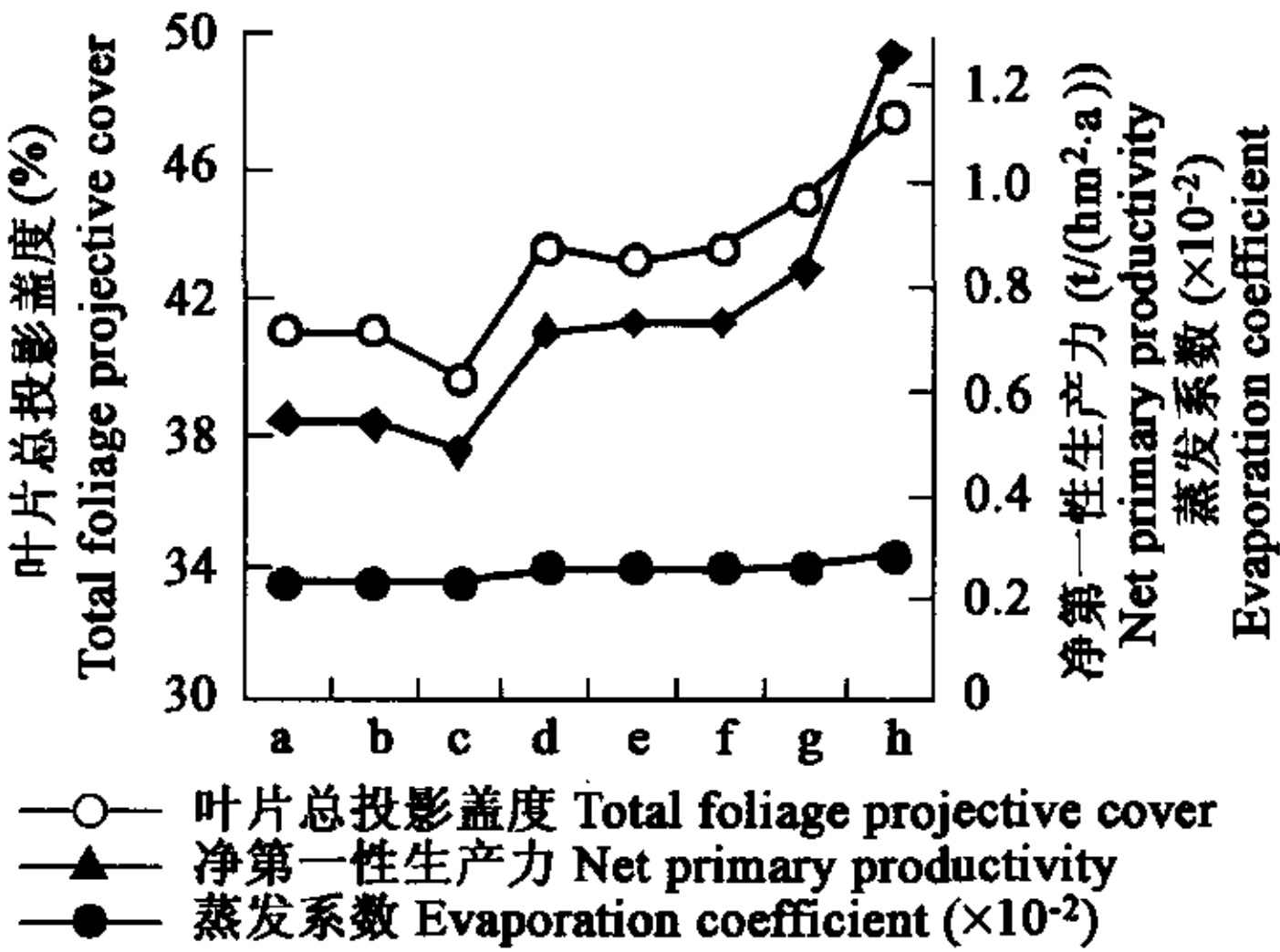


图3 鄂尔多斯高原植物群落叶片总投影盖度、净第一性生产力及蒸发系数

Fig. 3 Total foliage projective cover, net primary productivity and evaporation coefficient of plant communities in the Ordos Plateau a, b, c, d, e, f, g, h 分别代表鄂托克前旗、鄂托克旗、杭锦旗、乌审旗、伊金霍洛旗、达拉特旗、东胜区、准格尔旗 a, b, c, d, e, f, g, h represent Otog Qian, Otog, Hangjin, Uxin, Ejin Horo, Dalad, Dongsheng, Jungar, respectively

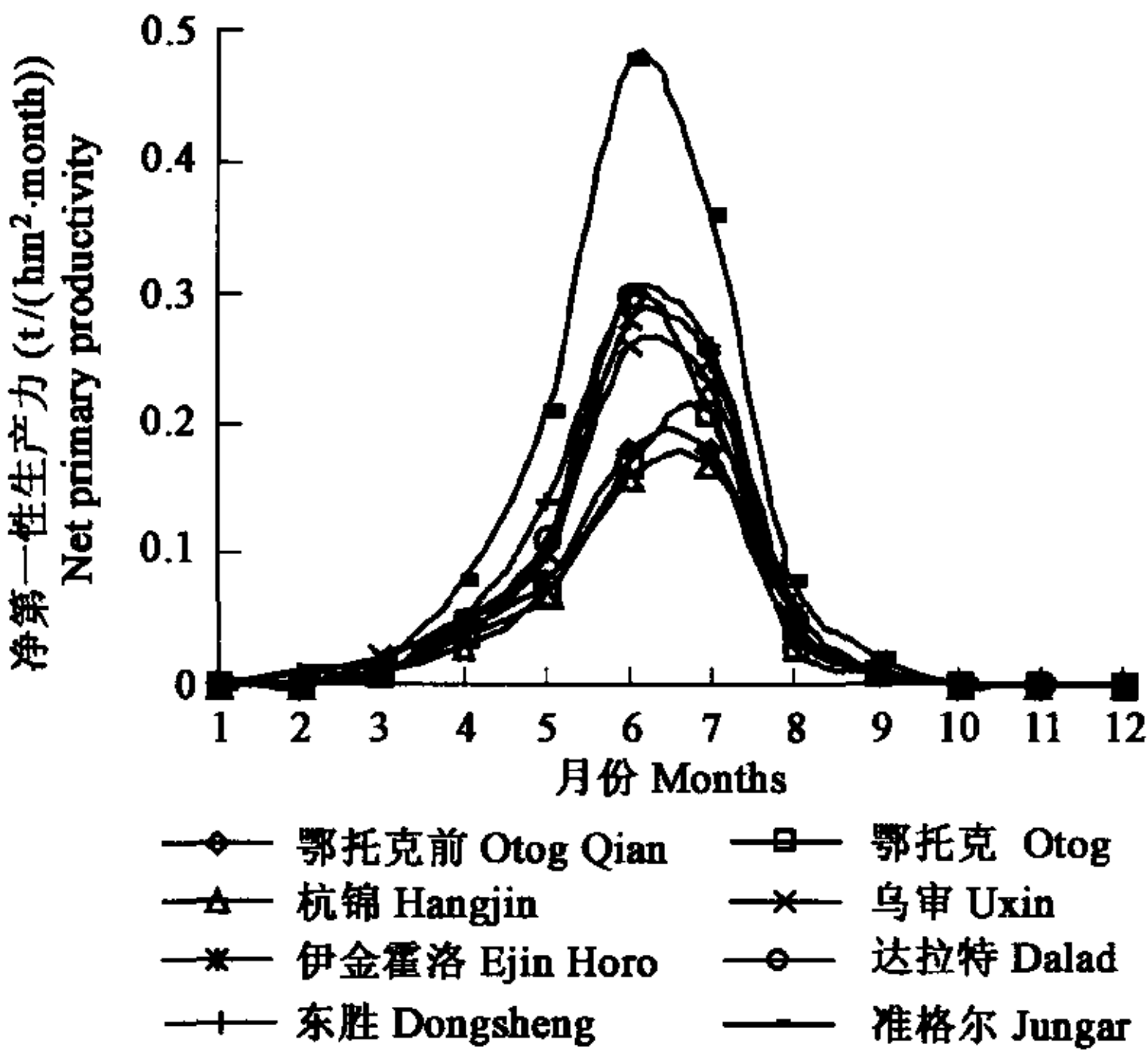


图4 鄂尔多斯高原植物群落净第一性生产力月动态

Fig. 4 Monthly net primary productivity of plant communities in the Ordos Plateau

- [6] Zhu F. Study on land desertification in the middle reaches of the Tarim River, Xinjiang. *Arid Zone Research, supplement*, 1995. 406~419.
- [7] Mitchell D J, Fearnough W, Fullen M A, *et al.* Ningxia desertification, reclamation and development. *China Review*, 1996, 5 (Autumn/Winter): 27~31.
- [8] Li J, Liang T, Chen Q. Estimating grassland yields using remote sensing and GIS technologies in China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1998, 41: 31~38.
- [9] Gao Q, Yu M, Yang X. An analysis of sensitivity of terrestrial ecosystems in China to climate change using spatial simulation. *Climatic Change*, 2000, 47: 373~400.
- [10] Ni J, Sykes M T, Prentice I C, *et al.* Modelling the vegetation of China using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model BIOME3. *Global Ecology and Biogeography*, 2000, 9: 463~479.
- [11] High Performance Systems, Inc., STELLA research 6.0, 2000.
- [12] Specht R L, Specht A. *Australia Plant Communities*. Victoria: Oxford University Press, 1999. 242~243.
- [13] Specht R L. Water use by perennial evergreen plant communities in Australia and Papua New Guinea. *Australia Journal of Botany*, 1972, 20: 273~299.
- [14] Specht R L. Growth indices—their role in understanding the growth, structure and distribution of Australia vegetation. *Oecologia*, 1981a, 50: 347~356.
- [15] Specht R L. The balance between the foliage projective covers of overstorey and understorey strata in Australia vegetation. *Australia Journal of Ecology*, 1981b, 6: 193~202.
- [16] Specht R L. Foliage projective covers of overstorey and understorey atrata of mature vegetation in Australia. *Australia Journal of Ecology*, 1983, 8: 433~439.
- [17] Specht R L. Specht A. Species richness of overstorey strata in Australia plant communities—the influence of overstorey growth rates. *Australia Journal of Botany*, 1989, 37: 321~336.
- [18] Prescott J A, Collins J A, Shirpurkar G R. The comparative climatology of Australia and Argentina. *Geographical Review*, 1952, 42: 118~133.
- [19] Fitzpatrick E A, Nix H A. The climate factor in Australia grassland ecology. In: Moore R. M. ed. *Australia Grasslands*. Canberra: Australia National University Press, 1970. 3~26.
- [20] Huggett R J. *Modelling the Human Impact on Nature*. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- [21] Battaglia M, Sands P J. Process based forest productivity models and their application in forest management. *Forest Ecological and Management*, 1998, 103: 13~32.
- [22] Chen C D. Where is the boundary in middle part of typical steppe sub zone and desert steppe sub zone (Ordos Plateau) in China? *Acta Phytocologica Sinica*, 1964, 2(1): 143~150.
- [23] Milner C, Hughes R E. *Methods for the Measurement of the Primary Production of Grassland*. IBP Handbook No. 6, Oxford: Blackwell, 1968.
- [24] Armstrong H M, Gordon I J, Grant S A, *et al.* A model of the grazing of hill vegetation by sheep in the UK. 1. Prediction of vegetation biomass. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34: 166~185.
- [25] Sibbald A R, Grant S A, Milne J A, *et al.* Heather moorland management—a model. In: Bell M. and Bunce R. C. H. eds. *Agriculture and Conservation in the Hill and Uplands*, Merlewood: Institute of Terrestrial Ecology, 1987. 107~108.
- [26] Hanson J D, Skiles J W, Parton W J. A multi-species model for rangeland plant communities. *Ecological Modelling*, 1988, 44: 89~123.

参考文献:

- [2] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设原则与优化模式. *植物生态学报*, 1994, 18(1): 1~16.
- [22] 陈昌笃. 我国典型草原亚地带和荒漠草原亚地带中段(鄂尔多斯地区)的分界线在那里? *植物生态学与地植物学丛刊*, 1964, 2(1): 143~150.