

荒漠草原牧草生物量的遥感估算及空间分布

张 杰¹ 张 强¹ 何金梅² 孙 冰³

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室 ,中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室 ,
甘肃兰州 730020 2. 兰州中心气象台 730020 3. 甘肃省畜牧厅 730000)

摘要 :应用 2005 年 5 ~ 10 月份 EOS/MODIS 资料 ,采用光能利用率算法 ,估算了中国西北荒漠绿洲区域 *NPP* ,并结合地上生物量观测资料 ,建立了基于 *NPP* 的地上生物量估算模型 ,同时分析了生物量和 *NPP* 时空分布特征。结果表明 ,2005 年牧草生长期 内 *NPP* 的变化基本是 6、7 月份最大 ,其它月份较小 ,5 ~ 6 月份是牧草叶面积变化比较大的时期 ,也是 *NPP* 变化比较显著的时期 ,生物量模型估算得到的 44 个样本的生物量误差基本都小于 20% ,说明模型能够反映牧草的实际生长状况 ;不同荒漠牧草对光的利用能力和对 CO₂ 同化能力有很大差异 ,骆驼刺、红砂、黑果枸杞是荒漠牧草生物量较大的牧草类型 ;牧草类型、牧草盖度以及平均高度是造成不同牧草产量相差较大的重要原因。

关键词 :中国西北荒漠牧草 ;地上生物量 ;*NPP* ;遥感估算 ;牧草类型 ;时空分布

文章编号 :1000-0933 (2007)06-2294-08 中图分类号 :Q143 ,Q948 ,S812 文献标识码 :A

Estimation and analysis of grass biomass in desert by remote sensing

ZHANG Jie¹ ,ZHANG Qiang¹ , HE Jin-Mei² , SUN Bing³

1 Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province ,Key open Laboratory of Arid Climatic Changing and Disaster Reduction of CMA , Institute of Arid Meteorology , China Meteorological Administration , Lanzhou 730020 , China

2 Lanzhou Observatory Central , Lanzhou 730000 , China

3 Gansu Stock Bureau , Lanzhou 730000 , China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (6) 2294 ~ 2301.

Abstract : Net Primary Productivity in desert-oasis region in Northwest China is estimated combined the model of light energy utilization with EOS/MODIS data from May to Oct. . On the basis of *NPP* and observed value of aboveground biomass , biomass model is also built , then , temporal and spatial distribution of biomass and *NPP* are analyzed. The results show that *NPP* is larger in June and July than other growth periods , grass *LAI* and *NPP* change rapidly from May to June. Estimated error of 44 cases by the biomass model is less than 20% , which show that the biomass model is very good , the model can describe growing status. Photosynthesis and respiration are different because of different type grass , three types grass are more adaptive to desert environment and the biomass are also big , the grass types include *Alhagi sparsifolia* , *Lycium ruthenicum* and *Reaumuria songarica*. The grass biomass is influenced by many factors such as grass type , total cover and plant height *et al.*

Key Words : desert grass in Northwest China ; aboveground biomass ; *NPP* ; estimation by remote sensing ; grass type ;

基金项目 :甘肃省退牧还草科技支撑资助项目 (甘退牧 200301) ;中国气象局兰州干旱气象研究所干旱基金资助项目 (IAM200504)

收稿日期 2006-06-05 ; 修订日期 2006-11-28

作者简介 张杰 (1975 ~) ,女 ,甘肃民勤人 ,博士生 ,主要从事陆面过程和气候变化研究. E-mail :zs-zhangjie@163.com

Foundation item : The project was financially supported by Science Supporting Project of return grazing land to grassland (No. 200301) and arid fund (No. IAM200504)

Received date 2006-06-05 ; **Accepted date** 2006-11-28

Biography ZHANG Jie , Ph. D. candidate , mainly engaged in land process and climate change. E-mail :zs-zhangjie@163.com

temporal and spatial distribution

干旱荒漠是中国西部的一个典型地表生态。由于自然降水稀少,过度放牧和人为开垦,荒漠区植被在长期的进化过程中,其分布、生长和生理调节等在个体、种群、群落甚至在斑块尺度上都有不同的反映^[1,2]。脆弱的生态系统结构使其成为全球变化响应的敏感区。尽管如此,荒漠区地表植被仍起着抑制沙尘暴等环境恶化的生态屏障作用^[3]。在全球变暖的大背景下,为实现生态环境的可持续发展,实施生态系统的恢复和重建显得十分迫切和重要。然而,人为改善环境将会引发好多现实的问题,譬如:休牧后地上生物量增减情况,牧草的载畜量变化等,这就需要对休牧前后牧草生物量的空间和时间变化有一个定量的评估。遥感技术是评估生物量空间变化的一种有效手段^[4]。

遥感技术的发展推动了植被生产力与生物量的研究,研究范围、研究精度和实时性都大大提高^[5]。但是,估算模型类型也丰富多样,有经验模型^[6]、物理模型^[7]、半经验模型^[8]和综合模型^[9]等。研究表明^[10],这些模型都各有优缺点,经验模型简单易行但缺乏生态学原理,物理模型具备物理基础但存在无解和多解情况,半经验模型结合了前两者的优点,综合模型则结合了更多有关信息量,可以精确反映植被的生物物理参数,是今后建模的主要方向。目前应用的几个综合模型的不同之处在于对植物最大光能利用率及其所受的影响因素考虑不同^[11],研究表明,光能转化效率随环境条件变化,植物随生物合成途径及呼吸速率的不同而变化,在CASA模型中,光能转化效率随季节的变化以及群落内部的变化通过温度及土壤水分的可利用程度来调节^[12],植物的生长发育是气候条件(太阳辐射、温度、水汽压等)和土壤因素等共同作用的结果,因此有必要综合考虑这些因素^[13],Prince^[9]则提出了一个考虑了植物呼吸及其它生理胁迫的模型,包括土壤水分、最高最低温度、水汽压以及作物生长呼吸等,从理论上讲,在中国西北受高温胁迫、干旱以及夜间存在逆湿的荒漠绿洲区域^[3],Prince提出的光能利用率模型估算生产力较为合理。地上生物量与净第一生产力之间存在一定关系^[13],本研究应用Prince提出的光能利用率算法,估算荒漠牧草的生产力和地上生物量。

1 估算方法

1.1 地上生物量的估算

地上生物量是生态系统全部活的和死的地上有机物,张佳华在遥感估算生物量时,考虑了植物估损模型的研究(如干旱胁迫等)^[13],根据这种思路,本研究建立了生物量与NPP的关系,表示为:

$$Y_a = NPP_a \times f(\xi) = NPP_{m5} \times f_5(\xi) + NPP_{m6} \times f_6(\xi) + NPP_{m7} \times f_7(\xi) + NPP_{m8} \times f_8(\xi) + NPP_{m9} \times f_9(\xi)$$

式中, Y_a 当年生物量,单位为 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; NPP_a 为牧草当年净第一生产力,单位为 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; $f(\xi)$ 为产量的综合影响因子,无量纲, NPP_{mi} 为第 i 月的净第一生产力, $f_i(\xi)$ 为第 i 月的牧草产量的影响因子, $f(\xi)$ 表示为:

$$f_i(\xi) = 30/44 (\text{CH}_2\text{Omol}/\text{CO}_2\text{mol}) \times K (\text{经济系数或地上生物量比重}) [1 - 0.08 (\text{灰分})] \times [1 - 0.10 (\text{水分})] = 0.565 \times K_i$$

结合实地采样资料,得到牧草整个生育期的 NPP_a 与产量可建立相应的关系。

1.2 NPP 的遥感估算

为了描述气候条件(太阳辐射、温度、水汽压等)和土壤因素等对植物生长发育的影响,本研究采用光能利用率模型估算净第一生产力(NPP)。光能利用率模型以资源平衡观点作为其理论基础。资源平衡观点假定生态过程趋于调整植物特性以响应环境条件,这种观点认为,植物的生长是资源可利用性的组合体,物种通过生态过程的排序和生理生化、形态过程的植物驯化,应趋向于使所有资源对植物生长有平等限制作用。因此,NPP的计算可表达为^[14]:

$$NPP = \varepsilon \times APAR$$

式中,APAR 为植被所吸收的光合有效辐射,估算方法见文献^[15], ε 为光能转化效率。

1.3 光能转化效率的估算

光能转化效率是在一定时期内,单位面积上植被光合生产的干物质中所包含的化学潜能与同一时间投射

到该面积上的光合有效辐射之比。光能利用率模型将所有 *NPP* 调控因子以相对简单的方法组合在一起 ,并且这种观点提出了在计算 *NPP* 时可以直接利用遥感数据 ,使得其成为 *NPP* 模型的一个主要发展方向 ,并被应用到 GLO-PEM 模式中^[9] ,即可表示为 :

$$\varepsilon = \varepsilon^* \times \sigma_T \times \sigma_E \times \sigma_S \times (1 - \gamma_m) (1 - \gamma_g)$$

ε^* 是最大光能利用率 ,叶在不同生长阶段和光照强度下 ,含氮量的变化同样具有动态性和周期性 ,由此可假定最大光合速率的变化依赖于冠层叶内氮的动态分配 ,很多研究根据 C3、C4 植物含氮量的不同来模拟最大光能利用率 ,Running 等^[16]根据生态生理过程模型 BIOME-BGC 模拟了 10 种植被类型所模拟的结果 ,得出草地的月最大光能利用率为 0.608Gc/MJ。

σ_T 是温度变化时叶氮对光能利用率的调节率 ,可表示为气温的函数 ;由于环境水汽压的差异 ,叶片气孔内外的水汽压存在明显的不同 ,因此 ,植被对光的利用率也有明显不同。大气水汽压对气孔阻抗的胁迫可用 σ_E 表示。

σ_S 是水分胁迫影响系数 ,反映了植物所能利用的有效水分条件对光利用率的影响。随着环境中有效水分的增加 ,逐渐增大。它的取值范围为 0.5 (在极端干旱条件下)到 1 (非常湿润条件下)。

γ_g 是生长呼吸部分 , γ_m 每年吸收的维持呼吸后剩余部分。

$\varepsilon^*、\sigma_T、\sigma_E、\sigma_S、\gamma_g、\gamma_m$ 的具体计算参见文献^[4,17] ,基于上述的计算步骤 ,即可实现生物量的估算。

2 研究区域概况和数据说明

2.1 研究区域概况

西北干旱荒漠草场主要位于甘肃省河西走廊地区 and 新疆一带 ,南北跨纬度 35 ~ 45°N ,东西跨经度 105 ~ 75°E。本研究以中国西北干旱区甘肃省内 (图 1a) ,河西走廊安西县为研究区域 (图 1b) ,区域位于北纬 40 ~ 41°N ,东经 95 ~ 97.5°E 之间 ,平均海拔 1000m 左右 ,属于温带大陆性季风气候 ,年平均气温在 0 ~ 8℃ 之间 ,年降水量在 100 ~ 450mm 之间。土壤类型主要以沙壤土、盐钙土和粘土为主 ,分布着白刺 (*Nitraria tangutorum*)、芨芨草 (*Achnatherum splendens*)、骆驼刺 (*Alhagi sparsifolia*)、黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum*)、甘草 (*Glycyrrhiza uralensis*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、柽柳 (*Tamarix chinensis*)、大叶白麻 (*Poa cynosuroides*)、红砂 (*Reaumuria songarica*)、罗布麻 (*Apocynum venetum*)、赖草 (*Leymus hochst*)、灰绿碱蓬 (*Suaeda glaucescens*)、泡泡刺 (*Nitraria tangutorum*)和盐爪爪 (*Kalidium foliatum*)等灌木和草本类型 ,安西荒漠草场是全球典型的中纬度干旱荒漠草原生态类型 ,是首批退牧工程的试点区域。具体研究区域见图 1 ,图中阴影部分为已经实施退牧的区域 ,区域涉及踏实、布隆吉、河东和桥子乡 4 个乡镇 ,共 35 个子区域 ,本研究采集的数据都位于这些子区域之内。

2.2 资料说明

本研究所用的卫星资料是 2005 年 5 ~ 10 月的 Terra 和 Aqua 资料 ,数据格式有 MODIS02 的辐射量资料 ,用于估算到达地表的太阳辐射量 ,地表温度、气温、NDVI 以及地表反照率等参数^[8] ;为了对波段反射率进行大气订正 ,采用 MODIS 3A 文件数据 ,包括太阳天顶角、方位角、卫星天顶角、方位角、地理经纬度等资料 ,应用 6S 辐射传输模型进行大气订正^[9]。以上数据资料的分辨率均取 1 km ,卫星观测资料与地面采样时间是同一天。数据来源于中国气象局兰州干旱气象研究所

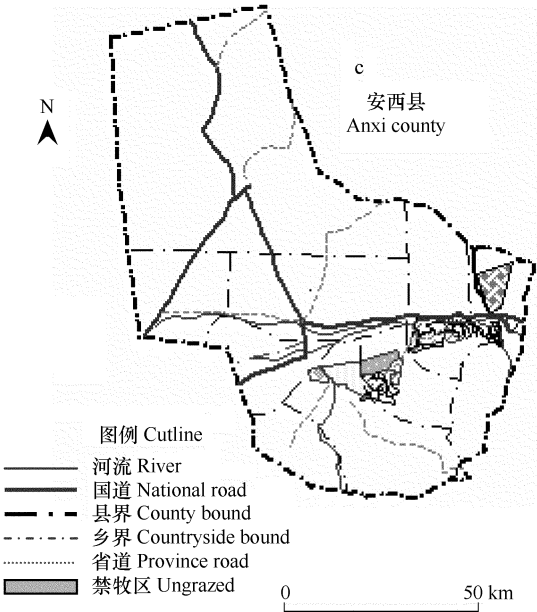


图 1 安西县荒漠草场退牧工程区位置
Fig. 1 Position of ungrazed region in the desert in Anxi county

遥感中心。另外,为了准确估算区域的坡度、坡向,采用3"的数据高程资料,计算方法见文献[20]。

对卫星资料进行大气订正时,需要一些能见度资料,主要采用甘肃省河西走廊地区安西县气象站逐日观测资料,资料来源于甘肃省气象局兰州中心气象台。另外,本项目为了更好地估算草原生产力,在退牧和非退牧工程区进行了地面样方取样观测,在退牧区设样方共44个,在非退牧区共设样方19个,观测项目有样方面积、土壤类型、总盖度、高度、植物名称、灌木分盖度、灌木平均高度、草本分盖度、草本平均高度、鲜重、风干重等项目,每个样方面积基本在1m²以上,大部分为10m²。样方的观测在5~10月份进行,每月观测2~3次,当植被干重最大时,观测的干重即为牧草的年生物量。采样区域及周边地区植被分布比较均匀,因此,认为单位样方面积的取样与单位面积上卫星观测的结果是一致的,地面观测资料基本可以反映卫星观测得到的区域信息。卫星估算的年生物量是根据牧草各月NPP累计值与生物量的关系得到。

3 结果分析

3.1 牧草产量与NPP的关系

净第一生产力NPP是绿色植物单位时间和单位面积的光合量与呼吸量之差,即植物除去呼吸作用消耗后的总第一生产力的剩余部分,本研究在估算生产力的基础上,来建立地上生物量估算模型,根据图2,给出了拟合公式:

$$Y = 0.3982 \times NPP + 84.081 \quad (n = 63, R = 0.485)$$

图2给出了牧草地上生物量观测值与NPP估算值之间的关系,从图可看出,地上生物量与NPP有很好的线性关系,在44个样本中,相关系数达到0.483,通过0.05的置信度。当然也有一些点比较离散,原因可能以下几点:首先,卫星反演的NPP代表了1×1km像元上的平均状态,而实际观测的取样是10m²;其次,牧草的种类很多,实际取样有时只代表有限区域的物种,而卫星观测的区域代表一个混合像元,这种地表的非均一性在卫星资料应用中是很难克服的;另外,NPP包括了地下生物量的累积,对于不同的作物,地上生物量和地下生物量并不存在简单的线性关系。图中点的趋势线在Y方向上的截距不为0,原因可能因为地下生物量的存在所致。上述分析的几点原因也是遥感估算生物量的最主要的误差原因。

3.2 结果检验

根据NPP与地上生物量的关系,用卫星资料估算了研究区域年NPP和年地上生物量,选取44个禁牧区的样方观测得到的地上生物量,将不同样方面积的观测数据统一为单位面积的生物量,然后与卫星估算的单位面积生物量进行比较,结果如图3。图中横坐标为实际样方观测值,纵坐标为卫星观测估算值,从图中可看出,大部分样本都在y=x的直线附近,除了2个样本外,其它样本都在y=(1±20%)x的两条虚线之间,所有样本的绝对误差基本在±100g/m²之间,平均绝对误差为56.8g/m²,相对误差基本在±20%之间,平均相对误差为7.02%。说明估算的生物量基本是准确的,采用上述的方法得出结果基本是合理的,可以反映地面的真实状况。

3.3 荒漠牧草产量的空间分布

基于上述算法,估算了中国西北荒漠牧草典型区域

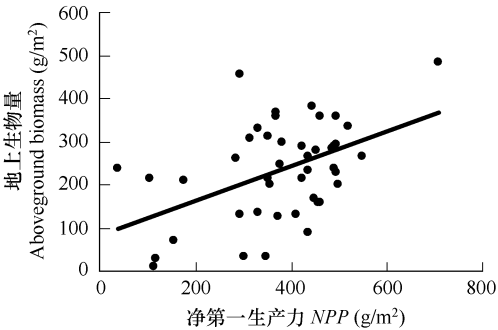


图2 荒漠牧草地上生物量观测值与NPP估算值的关系
Fig. 2 The relation of observed value and evaluated value of aboveground biomass of desert grass

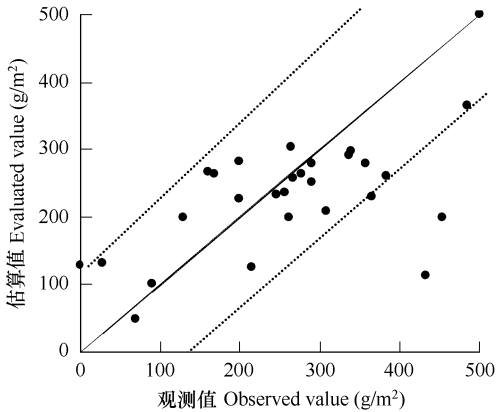


图3 生物量估算值与观测值的对比
Fig. 3 Comparison of evaluated value and observed value of grass biomass

接彩图 4

安西县及周边地区的 2005 年地上生物量 结果见图 4 ,荒漠牧草区域内 ,2005 年实施放牧休牧工程以后地上生物量的空间分布有很大的差异 ,荒漠区域年地上生物量基本在 $100\text{g}/\text{m}^2$ 以上 ,位于安西县中部地区 ,大部分牧草生物量在 $200 \sim 400\text{g}/\text{m}^2$ 之间 ,休牧区地上生物量最高达 $450\text{g}/\text{m}^2$,地上生物量在 $100\text{g}/\text{m}^2$ 以下的区域主要是戈壁和沙漠地表 ,主要位于安西县北部地区 ,原因可能是 :一方面是该地区仍然是放牧区 ,牧草地上生物量因放牧而降低 ,另一方面是该地区牧草覆盖度相对降低 ,地上生物量最大值为 $530\text{g}/\text{m}^2$,位于安西绿洲区 ,绿洲区域地上生物量都比周遍其他区域大 ,原因是绿洲区域靠地下水和流域水灌溉 ,有丰富的水分供给 ,以树木和农作物为主的植被能够充分吸收太阳辐射 ,同化 CO_2 ,进行光合作用 ;另一个原因就是 ,绿洲区域植被的覆盖度相对周遍区域的高 ,所以地上生物量也相对高 ,最后一个原因就是牧草和作物本身的属性造成单位叶面积地上生物量的差异。在南部祁连山区 ,年地上生物量基本在 $324\text{g}/\text{m}^2$ 以下 ,原因是虽然祁连山区降水丰富 ,但由于山区容易产生地形云 ,所以太阳辐射相对较少 ,不利于光合作用产生。

另外 ,休牧区域的生物量相对来说是比较高的 ,主要的原因可能是该地区虽处于荒漠地带 ,由于其毗邻祁连山山脉 ,该地区流域也比较多 ,受祁连山融雪水的补给 ,植被的生长需水相对充足 ,在西部阳光充分的条件下 ,牧草的生长也比较旺盛。

本部分给出了牧草产量的空间分布 ,从 3.1 部分可知 ,牧草产量与 NPP 之间存在很好的线性关系 ,因此 ,这里不再分析 NPP 的分布 ,下面给出 NPP 在生育期内 5 ~ 8 月的时间变化特征 ,从 NPP 的变化上可以反映作物生长生理生态方面的变化。

3.4 不同牧草的 NPP 随时间的变化

根据实地考察 ,选取了以 4 种混合型牧草为代表的草场类型的区域 ,主要牧草分别为怪柳-骆驼刺、骆驼刺-黑果枸杞、骆驼刺-红砂、赖草-芦苇 ,区域内植被分布相对比较均一 ,区域较大 ,并且地势很平坦 ,以该区域对应的卫星象元的观测资料估算了其 NPP 在 5 ~ 8 月的变化 ,结果见图 5。4 种混合牧草类型的 NPP 在 5 月份最小 ,随着时间的推移 , NPP 逐渐增加 ,除赖草-芦苇牧草类型在 6 月份达到最大外 ,其他牧草基本都在 7 月份达到最大值 ,之后有所减小 ,怪柳-骆驼刺、骆驼刺-黑果枸杞、骆驼刺-红砂、赖草-芦苇 ,的最大 NPP 分别是 : 67.36 、 77.86 、 91.08 、 $75.36\text{g}/\text{m}^2$,说明 4 种牧草类型对 CO_2 的同化能力有差别 ,对太阳辐射的光合作用能力有所不同 ,造成差别的原因一方面是牧草类型不同 ,另一方面也与四种牧草区植被盖度不同等因素有关。本部分内容也说明一个问题 ,即不同牧草类型的 NPP 、盖度等有所不同 ,因此 ,在不分牧草类型的情况下 ,建立牧草类型与产量之间的关系模型存在误差 ,这也说明了 3.1 和 3.2 部分一些样本观测值和估算值误差较大的原因 ,以及 NPP 与产量之间关系模型相关性略差的原因 ,但是 ,对于大面积的区域 ,目前还不能用遥感技术的方法准确地对牧草类型进行分类 ,因此造成上述误差的因素还有待今后采取其他方法去解决。

3.5 不同牧草种类几个生物特性参数的对比

3.4 部分提及了不同牧草类型的光合作用能力有所不同 ,因此 NPP 也有所差异 ,以及其可能对产量估算造成的误差。为了进一步论证上述结果 ,本部分采用实地观测资料 ,对比分析了 7 种植被类型的植被总盖度、平均高度以及地上生物量鲜重 ,每个植被类型取 3 个观测区域 ,观测资料的样本区域在 $1\text{m}^2 \times 1\text{m}^2$ 到 $10\text{m}^2 \times$

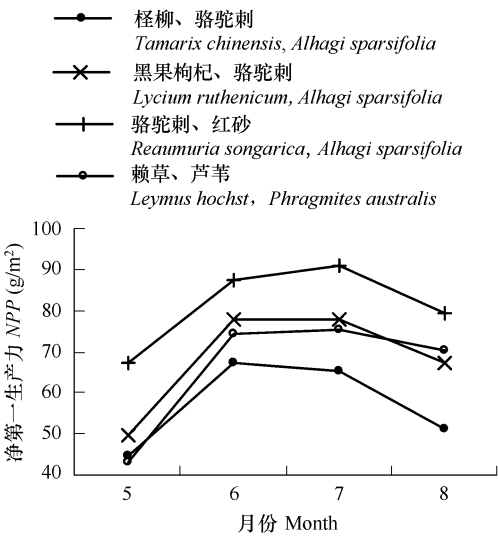


图5 4 种混合牧草的生育期内的 NPP 变化

Fig.5 NPP variable of 4 types grass during growth period

1. 怪柳、骆驼刺 *Tamarix chinensis* ,*Alhagi sparsifolia* ; 2. 黑果枸杞、骆驼刺 *Lycium ruthenicum* ,*Alhagi sparsifolia* ; 3. 骆驼刺、红砂 *Reaumuria songarica* ,*Alhagi sparsifolia* ; 4. 赖草、芦苇 *Leymus hochst* ,*Phragmites australis*

10m² 之间,本研究都将其归一化到 1m² × 1m² 的区域,然后对 3 个区域进行平均,来对比分析上述 3 个参数的变化。

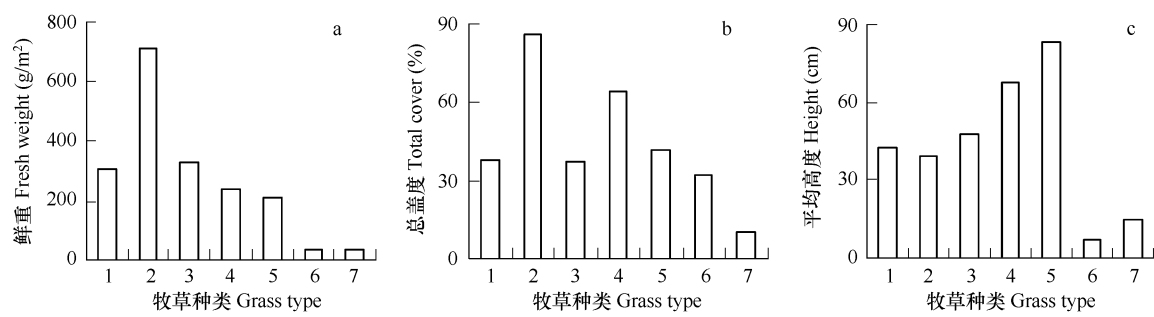


图 6 7 种混合牧草的地上生物量鲜重 (a)与植株平均高度 (b)和总盖度 (c)的对比

Fig. 6 comparison of fresh weight of aboveground biomass (a) total cover (b) and plant height (c) of 7 mix grass

1. 骆驼刺、黑果枸杞 *Alhagi sparsifolia* ,*Lycium ruthenicum* 2. 甘草、芦苇、赖草、灰绿碱蓬 *Glycyrrhiza uralensis* ,*Phragmites australis* ,*Leymus hochst* ,*Suaeda glaucescens* 3. 骆驼刺、红砂 *Alhagi sparsifolia* ,*Reaumuria songarica* 4. 芨芨草、芦苇、赖草 *Achnatherum splendens* ,*Phragmites australis* ,*Leymus hochst* 5. 芦苇、芨芨草、大叶白麻 *Phragmites australis* ,*Achnatherum splendens* ,*Poacynum hendersonii* 6. 赖草、芦苇 *Leymus hochst* ,*Phragmites australis* 7. 泡泡刺、红砂、盐爪爪 *Nitraria tangutorum* ,*Reaumuria songarica* ,*Kalidium foliatum*

图 6 给出了温性荒漠草原区域内 7 种混合牧草的地上生物量鲜重 (a)、总盖度 (b)、和植株平均高度 (c) 的平均分布状况,从图中可以看出,在选定的区域内,第 2 种混合牧草甘草、芦苇、赖草、灰绿碱蓬的鲜重最大,达到 709.5g/m²,其次是第 1 种混合牧草骆驼刺、黑果枸杞和第 3 种混合牧草骆驼刺、红砂,其鲜重分别达到 305.9 g/m² 和 326.9g/m²,第 6 种混合牧草赖草、芦苇和第 7 种混合牧草泡泡刺、红砂、盐爪爪的地上鲜重最低,分别低达 32.0g/m² 和 36.5kg/m²,说明不同牧草类型的地上生物量鲜重有相当大的差别。将牧草鲜重和牧草平均高度和总盖度分别进行对比,发现不同牧草鲜重差别与总盖度的分布有很大的一致性,第 2 种混合牧草的总盖度最高,第 6 和第 7 种混合牧草的鲜重最低,分别与牧草鲜重的大小比较一致。当然总盖度是主要因素之一,牧草的平均高度也是影响牧草生物量的主要因素之一,从牧草种类第 6 和第 7 类型对比可看出,虽然第 6 种牧草的总盖度比第 7 种牧草的总盖度大很多,但因为第 6 中牧草的平均高度比第 7 种牧草低,所以二者的鲜重很接近。

上述只从牧草的总盖度和平均高度的差异分析了不同牧草生物量的差异,当然还可能有很多因素的影响,如混合牧草中各种牧草类型的分盖度、草本、木本的多少等,有待探讨。

4 结论与讨论

采用光能利用率模型对 2005 年中国西北荒漠牧草区的月 NPP、年 NPP 进行估算,结合地面观测,分析了牧草地上生物量与 NPP 的关系,并建立了牧草地上生物量的估算模型,同时分析了牧草地上生物量和 NPP 的时空变化分布特征以及造成牧草地上生物量的估算误差及不同牧草 NPP 差异较大的原因,得出以下几点结论:

荒漠牧草地上生物量与 NPP 之间存在较好的线性关系,在 NPP 估算的基础上,建立的牧草地上生物量模型很好地反映了牧草空间分布特征。安西县荒漠牧草地上生物量基本在 200 ~ 450g/m² 之间,与祁连山区植被相比,牧草的参量相对较大,说明其对光、温、水的利用能力是比较强,在不受水分胁迫的条件下,实施退牧工程很有利于对气候资源的利用。

在同样的光、温、水、气、热的环境下,荒漠牧草 NPP 时间变化有很大差别,2005 年度牧草生长期 NPP 的变化基本是 6、7 月份最大,其它月份较小,5 至 6 月份是牧草叶面积变化比较大的时期,也是 NPP 变化比较显著的时期,反映了荒漠牧草对光的利用能力和对 CO₂ 同化能力的差异。单位面积的 NPP 可以反映不同牧草类型本身的属性特征,它也反映了牧草对外间环境的适应性,这一特性可以作为参考进一步用于牧草分类和生物量估算。

安西荒漠草原区的骆驼刺、红砂、黑果枸杞混合牧草类型是荒漠草场生物量相对比较大的牧草类型。牧草类型、总盖度以及高度是造成不同牧草类型地上生物量相差大的主要原因,也是本研究牧草地上生物量估算误差的主要来源。

Reference :

[1] Zhao W Z , Liu H. Recent advances in desert vegetation response to groundwater table changes. *Acta Ecologica Sinica* ,2006 ,26 (8) : 2703 ~2708.

[2] Zhao W Z , Chang X L , Li Q S , *et al.* Relationship between structural component biomass of reed population and ground water depth in desert oasis. *Acta Ecologica Sinica* ,2003 ,23 (6) :1138 ~1146.

[3] Zhang Q , Cao X Y , Wei G A , *et al.* Observation and study of land surface parameters over Gobi in typical arid region. *Advances in Atmospheric Sciences* ,2002 ,19 (1) :121 ~135.

[4] Chen L J , Liu G H , Feng X F. Estimation of net primary productivity of terrestrial vegetation in China by remote sensing. *Acta Botanica Sinica* , 2001 ,43 (11) :1191 ~1198.

[5] Xu H M , Jia H K , Huang Y M. A simulation model of net primary production at watershed scale in hilly area of Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica* ,2005 ,25 (5) :1064 ~1074.

[6] Ruimy A , Saurer B. Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *J. Geophys. Res.* ,1994 ,99 (3) :5263 ~5283.

[7] Li X. Modeling the gap probability of discontinuous vegetation canopy. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* ,1988 ,26 :161 ~170.

[8] Hame T. A new methodology for the estimation of biomass of conifer dominated boreal forest using NOAA AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.* , 1997 ,18 (15) :3211 ~3243.

[9] Prince S D , Goward S N. Global primary production : a remote sensing approach. *J. Biogeogr.* ,1995 ,22 :815 ~835.

[10] Dai X H , Yu S X. Advances in the estimation of vegetation productivity and biomass with the aids of remote sensing. *Chinese Journal of Ecology* , 2004 ,23 (4) :92 ~98.

[11] Peng S L , Guo Z H , Wang B S. Use of GIS and RS to estimate the light utilization efficiency of the vegetation in Guangdong. *Acta Ecologica Sinica* ,2000 ,20 (6) :903 ~909.

[12] Zhou G S , Zhang X S. NPP research of vegetation in China under global climate change. *Acta Phytocologica Sinica* ,1996 ,20 (1) :11 ~19.

[13] Zhang J H , Wang C Y. Research on crop yield stressed by water by remote sensing relying on parameter of stomatic conductance. <http://www.cws.net.cn/Journal/slxh/199908/08.html>.

[14] Montellb J L. Solar radition and productivity in tropical ecosystems. *J. Appl. Ecol.* ,1972 ,9 :747 ~766.

[15] Xia C Z , Xiong L Y , Zhuang D F. MODIS-based approach to estimate terrestrial gross photosynthesis. *Progress in Geography* ,2004 ,23 (4) :10 ~19.

[16] Running S W , Thornton P E , Nemani R , *et al.* Goba terrestrial gross and net primary productivity for the Earth Observing System. New York : Springer Verlag ,2000 :44 ~57

[17] Prince S D , Dubayah R O , Czajkowski K P , *et al.* Inference of surface and air temperature , atmospheric precipitable water and vapor pressure deficit using Advanced Very High-Resolution Radiometer satellite observations : comparison with field observations. *Journal of Hydrology* ,1998 , 213 :230 ~249.

[18] Zhang J , Zhang Q , Guo N , *et al.* Retrieval of the land surface albedo over arid oasis of Northwest China from EOS/MODIS data. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* ,2005 ,29 (4) :510 ~517.

[19] Zhang J , Wang J M , Guo N. Atmospheric correction of visible to middle infrared of EOS/MODIS data over land surface by using 6 S model. *Journal of Applied Meteorological Science* ,2004 ,15 (6) :651 ~657.

[20] Zhang J , Li D L. Analysis on distribution character of rainfall over Qilian Mountain and Heihe Valley. *Plateau Meteorology* ,2004 ,23 (1) :61 ~67.

参考文献 :

[1] 赵文智 ,刘鹤. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展. *生态学报* ,2006 ,26 (8) :2703 ~2708.

[2] 赵文智 ,常学礼 ,李启森 ,等. 荒漠绿洲区芦苇种群构件生物量与地下水埋深关系. *生态学报* ,2003 ,23 (6) :1138 ~1146.

[5] 许红梅 ,贾海坤 ,黄永梅. 黄土高原丘陵沟壑区小流域植被净第一性生产力模型. *生态学报* ,2005 ,25 (5) :1064 ~1074.

[10] 戴小华 ,余世孝. 遥感技术支持下的植被生产力与生物量研究进展. *生态学杂志* ,2004 ,23 (4) :92 ~98.

[11] 彭少麟 ,郭志华 ,王伯荪. 利用 GIS 和 RS 估算广东植被光利用率. *生态学报* ,2000 ,20 (6) :903 ~909.

[12] 周广胜 ,张新时. 全球气候变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. *植物生态学报* ,1996 ,20 (1) :11 ~19.

[13] 张佳华 ,王长耀. 以气孔导度为显参的遥感光合水分胁迫作物产量模型研究. <http://www.cws.net.cn/Journal/slxh/199908/08.html>.

[15] 夏朝宗 ,熊利亚 ,庄大方. 基于 MODIS 的陆地植被光合过程参数的反演研究. *地理科学进展* ,2004 ,23 (4) :10 ~19.

[18] 张杰 ,李栋梁. 黑河流域祁连山区局地降水量的空间结构和变化分析. *高原气象* ,2004 ,23 (1) :61 ~67.

[19] 张杰 ,张强 ,郭妮 ,等. 应用 EOS-MODIS 卫星资料反演西北干旱绿洲的地表反照率. *大气科学* ,2005 ,29 (4) :510 ~517.

[20] 张杰 ,王介民 ,郭妮. 应用 6S 模式对 EOS/MODIS 可见光到红外波段的大气订正. *应用气象学报* ,2004 ,15 (6) :651 ~657.

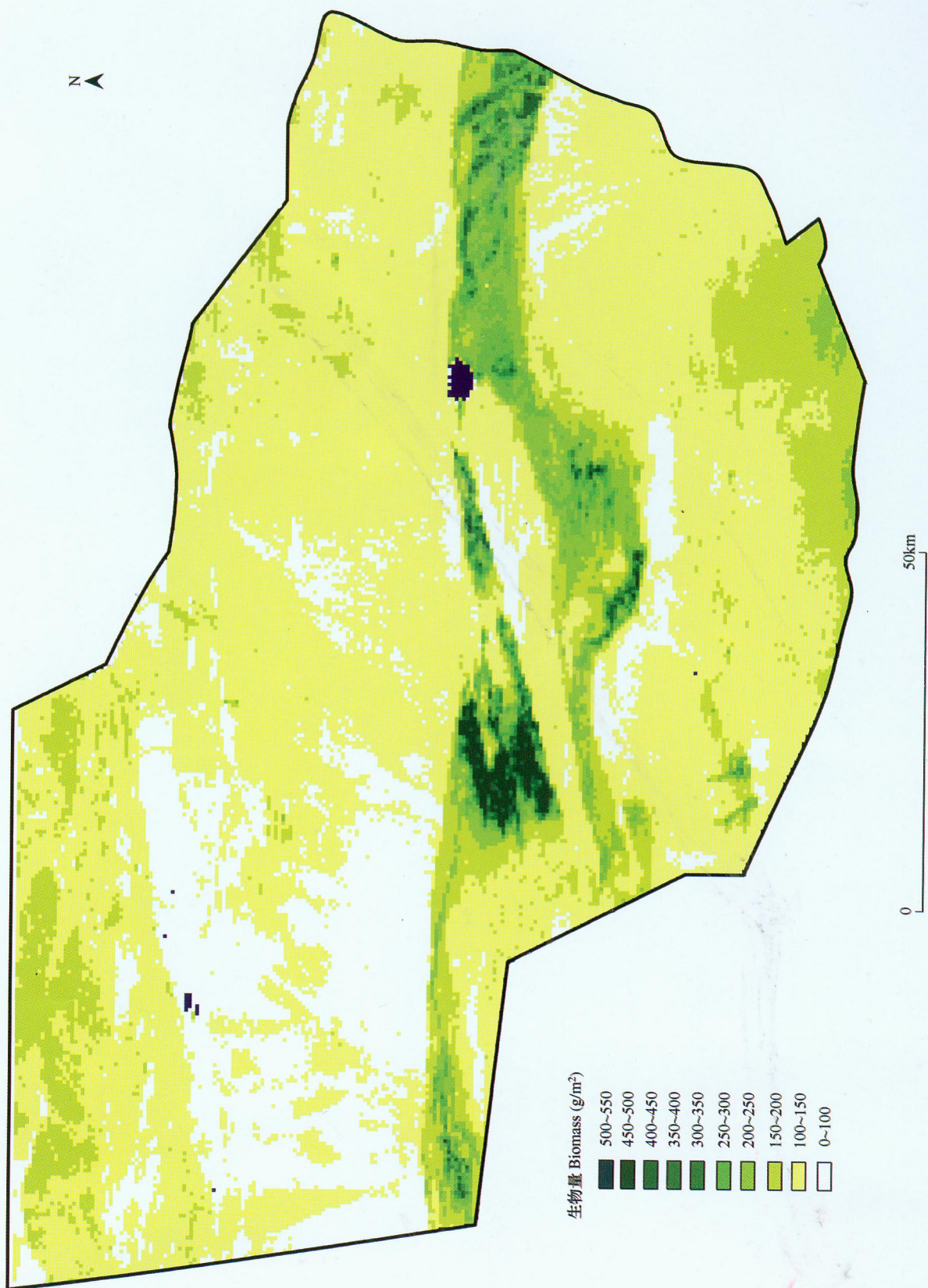


图 4 2005 年安西荒漠牧草区域植被的生物量空间分布
Fig.4 Spatial distribution of grass aboveground biomass in Anxi desert region in 2005