

牧草产量的遥感估算与载畜能力研究

毛留喜¹, 侯英雨¹, 钱拴¹, 李锡福², 伏洋², 张海珍², 张艳红¹

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 青海省气象局, 西宁 810001)

摘要: 为了切实保护草地生态环境, 实现草畜平衡, 以畜牧业大省青海省为例, 利用经过 GPS 定位的青海省牧草地面观测资料, 分析牧草产量与 NOAA/AVHRR 植被指数 NDVI 之间的关系, 分类建立青海省牧草产量估算线形模型与指数模型。模型的拟合结果良好, 相关系数平方 (R^2) 超过 0.67。大部分时次的地面实测值与遥感估算值所处的产量等级基本一致, 模型精度可以应用于大范围的牧草产量预测。根据牧草遥感估测结果, 计算分析青海天然草场的载畜能力。结果表明, 青海省县级天然草地年最高载畜量基本呈南高北低的态势。南部大部分县以及北部的祁连县在 100~200 万只绵羊单位之间, 海西州和海东大部分县在 50 万只绵羊单位以下。

关键词: 牧草产量; 遥感; 估算模型; 载畜能力; 羊单位

中图分类号: F307.3; TP79; S812.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0147-05

毛留喜, 侯英雨, 钱拴, 等. 牧草产量的遥感估算与载畜能力研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 147-151.

Mao Liuxi, Hou Yingyu, Qian Shuan, et al. Estimation of pasture output and livestock carrying capacity using remote sensing[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 147-151.(in Chinese with English abstract)

0 引言

草原是陆地生态系统的一个重要的组成部分, 同时也是畜牧业最重要的物质基础^[1]。进行牧草长势动态监测与牧草产量的区域估算, 研究分析不同区域不同年份草地的载畜能力, 对政府有关部门引导牧民合理放牧和草地资源的可持续利用具有重要意义。

传统的牧草产量估算, 如“割重法”和“双重采样法”等^[2-5], 多用于小范围或单点产量估测。利用模拟模型估算牧草产量, 如 Century Model、Hurley Pasture Model 等^[6,7], 在区域尺度上不易获取模型参数, 所以大尺度应用还比较困难^[8]。近年来, 国内外学者在利用卫星遥感资料进行牧草产量的估测方面做了大量的研究和实践。或通过草地净初级生产力的估算^[9,10], 或建立卫星遥感植被指数与牧草单产之间的关系模式^[11-14], 均取得了良好的效果。

近年来, 青海省在草地生态监测、牧草产量遥感反演、载畜量估测等方面做了许多工作^[2,12,13]。本研究正是在青海省过去大量工作之基础上, 利用牧草地面生态观测资料、NOAA(诺阿)卫星遥感植被指数、地理信息系统和数字化草地类型图, 建立了不同草地类型牧草产量与遥感参数之间的定量关系, 尝试了牧草产量的遥感估算; 利用年最高产草总量和标准羊单位需草量, 估测了不同县域的草地载畜能力, 为促进畜牧业健康发展和生态环境保护提供依据。

1 研究区概况及资料处理

青海省位于青藏高原东北部, 属于大陆性干旱、半

干旱高原气候。青海省面积大约有 72 万多 km^2 , 其中草地面积占 47%, 是全国五大牧区之一。草地主要集中于青南高原、祁连山地和柴达木盆地东南部边缘山地。草地类型主要有高寒草甸类、高寒草原类、高寒荒漠草原类和温性草原类(图略)。

研究所用的牧草资料为青海 22 个牧草生态监测站 2003~2004 年牧草生长期 5~8 月每月月末实地观测的产草量、株高等。2005 年观测资料不参与统计建模, 仅用于模型的检验。牧草产量数据为监测地段 ($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$) 2 个重复和监测场 ($10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$) 4 个重复的平均值, 单位为 kg/hm^2 , 经过 GPS(全球定位系统)定位^[2]。

研究所用的卫星遥感植被指数为 NOAA 卫星 2003-2004 年每年 5-8 月每天 NOAA/AVHRR(诺阿/甚高分辨辐射计)卫星遥感数据。所有的卫星数据都经过了大气校正、几何校正, 最后生成等经纬度投影、分辨率为 0.01° 的 NDVI(标准差植被指数, 简称“植被指数”)数据集。根据牧草监测场几何中心点经纬度, 在 NOAA 卫星 NDVI 图像上围绕中心点取 3×3 个像元 ($0.01^\circ \times 0.01^\circ$) 的 NDVI 平均值, 作为该观测点的 NDVI 值。为了进一步消除云和大气的部分干扰, 对以天为时间分辨率的 NDVI 进行月最大值合成, 以与月末观测的牧草产量相对应。NDVI 的定义如下:

$$NDVI = \frac{ch2 - ch1}{ch1 + ch2} \quad (1)$$

式中 $ch1$ 、 $ch2$ ——分别为 AVHRR 第一通道和第二通道的反射率。

2 遥感估算模型

利用 NDVI 与牧草产量建立不同草地类型的牧草产量估算模型。根据青海省 22 个牧草生态气象观测站的分布情况, 分以下几类来建立牧草产量遥感估算模型:

I: 温性草原类; II: 高寒草原类; III: 高寒草甸

收稿日期: 2006-09-18 修订日期: 2007-11-28

基金项目: 中国气象局 2006 年新技术推广技术项目 (CMATG2006M01);

国家气象中心项目“生态气象业务技术应用研究”

作者简介: 毛留喜 (1962-), 男, 河南商水人, 高级工程师, 博士, 主要从事生态与农业气象研究。北京 国家气象中心, 100081。

Email: maolx@cma.gov.cn

类；IV：其他类。

其中：高寒草甸类又分为：III_a：高山蒿草草甸类；III_b：线叶蒿草草甸类；III_c：小型苔草草甸类。“其他类”是指那些没有设立观测站或者观测站资料无法使用的草地类型。对于该类模型主要是利用前三类模型所使用的站点资料来建模。

为了解决样本数不足问题，利用各类草地类型 2003、2004 年 5~8 月所有可用时次的观测资料和相应的植被指数 NDVI 来建立模型。各种草地类型的 NDVI 与产量的关系见图 1~图 6。不难看出，各类草地类型的牧草产量与植被指数 NDVI 均呈现出线性或指数关系，即：

$$Y = a + bX \quad (2)$$

或：

$$Y = aEXP(bX) \quad (3)$$

式中 Y ——牧草单产； X ——植被指数 NDVI； a 、 b ——模拟系数。各种草地类型的牧草产量遥感估算模型模拟结果见表 1。

表 1 不同草地类型的牧草产量遥感估算模型

Table 1 Pasture production estimation model by remote sensing for different types			
草地类型	牧草产量模型	相关系数 R^2	样本数
高寒草原类	$Y=22.168X+32.259$	0.68	22
温性草原类	$Y=32.566X-295.3$	0.70	12
高寒草甸类	线叶蒿草草甸 $Y=160.28EXP(0.0538X)$	0.79	16
	高山蒿草草甸 $Y=349.29EXP(0.0408X)$	0.83	18
	小型苔草草甸 $Y=94.463EXP(0.056X)$	0.69	22.7
其他类型	$Y=132.6EXP(0.0517X)$	0.67	94

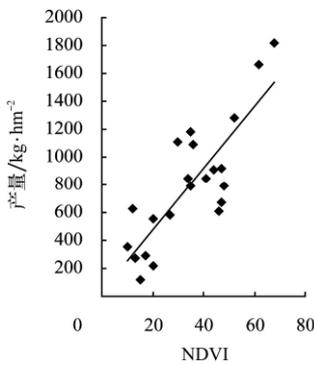


图 1 高寒草原类 NDVI 与牧草产量的关系

Fig.1 Scatter diagram between NDVI and pasture production for high-cold steppe type

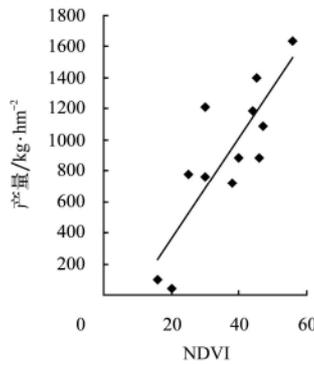


图 2 温性草原类 NDVI 与牧草产量的关系

Fig.2 Scatter diagram between NDVI and pasture production for temperate steppe type

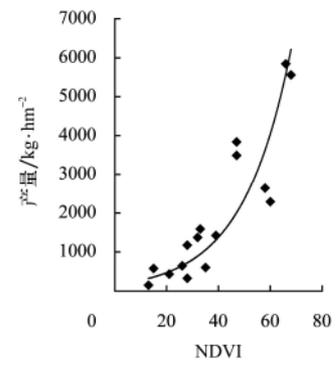


图 3 高寒草甸类 NDVI 与牧草产量的关系：线叶蒿草草甸

Fig.3 Scatter diagram between NDVI and pasture production for meadow of kobresia capillifolia

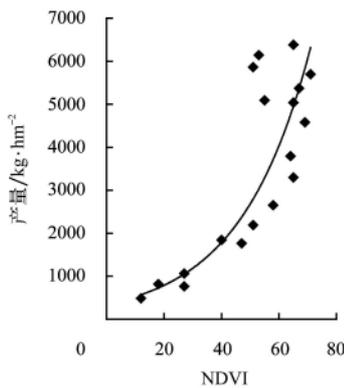


图 4 高寒草甸类 NDVI 与牧草产量的关系：高山蒿草草甸

Fig.4 Scatter diagram between NDVI and pasture production for meadow of kobresia pygmaea

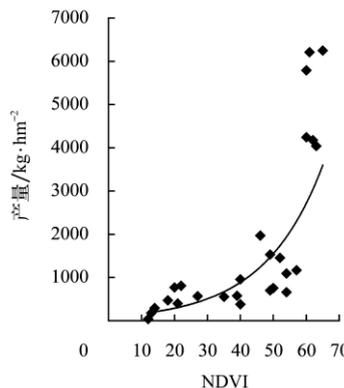


图 5 高寒草甸类 NDVI 与牧草产量的关系：小型苔草草甸

Fig.5 Scatter diagram between NDVI and pasture production for meadow of small carex spp

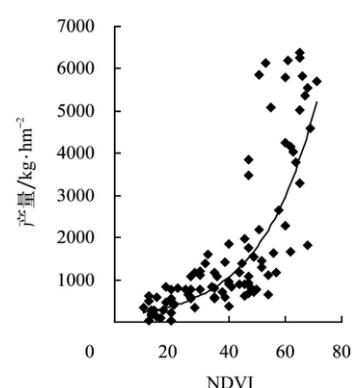


图 6 其他类 NDVI 与牧草产量的关系

Fig.6 Scatter diagram between NDVI and pasture production for the other types

3 牧草产量遥感估算

根据青海省草地资源分级标准，将牧草的单位面积产量分为 8 个等级^[12,13]，分级标准为：750 kg/hm² 以下（8 级）、750~1500 kg/hm²（7 级）、1500~3000 kg/hm²（6 级）、3000~4500 kg/hm²（5 级）、4500~6000 kg/hm²（4

级）、6000~7500 kg/hm²（3 级）、7500~9000kg/hm²（2 级）、9000 kg/hm² 以上（1 级）。

为了检验牧草产量遥感估算模型的可预测性，从青海省 2005 年的草地生态气象观测站中，挑选了一些质量可靠并且近三年变化比较稳定的牧草产量监测站所观测得到的资料，作为模型的验证数据（共 28 个时次，表 2）。

可以看出，尽管有些遥感估算结果和地面监测结果相差比较大，但大部分时次的遥感估算值和实测值所处的产量等级基本吻合，其中预测结果与实测结果完全相同，

表 2 2005 年青海省牧草产量遥感估算结果与地面监测结果的对比

Table 2 Comparison between estimated pasture production using RS and the real pasture production observed on the ground

时间/年-月	观测站	实际产量/kg·hm ⁻²	等级	估算产量/kg·hm ⁻²	等级
2005-06	兴海	900	7	942	7
2005-06	清水河	960	7	1268	7
2005-06	托托河	480	8	343	8
2005-06	天峻	1845	6	1074	7
2005-06	玛多	435	8	850	7
2005-06	祁连	2235	6	2237	6
2005-06	达日	3705	5	2686	6
2005-06	泽库	2895	6	3723	5
2005-06	河南	4335	5	4025	5
2005-06	玛沁	1320	7	1469	7
2005-06	曲麻莱	765	7	1242	7
2005-07	兴海	1365	7	1105	7
2005-07	清水河	1185	7	1659	6
2005-07	同德	863	7	1163	7
2005-07	海北牧	2978	6	4752	4
2005-07	祁连	6473	3	5893	4
2005-07	久治	6998	3	6075	3
2005-07	甘德	2468	6	3042	5
2005-07	曲麻莱	1650	6	1838	6
2005-08	兴海	1410	7	1138	7
2005-08	清水河	1238	7	1756	6
2005-08	托托河	615	8	719	8
2005-08	天峻	2100	6	1163	7
2005-08	海北牧	2363	6	4044	5
2005-08	达日	7395	3	6075	3
2005-08	泽库	4838	4	6075	3
2005-08	玛沁	2438	6	3806	5
2005-08	曲麻莱	1395	7	2299	6

即处于同一等级的有 14 个站次，预测结果与实测结果基本相同，即相差一个等级的有 13 个站次，预测结果与实测结果有较大误差，即相差两个等级的只有 1 个站次。

利用植被指数进行牧草产量估测，当牧草产量较大时，植被指数饱和的现象较为明显。但是，属高寒草原类型的青海省，其产草量受气候条件的影响，一般达不到“饱和”程度。基于 NOAA/AVHRR 数据计算的植被指数，时间分辨率较高，但空间分辨率最大为 1.1 km×1.1 km，只有对大面积草原宏观监测估产，才能基本满足服务的需求。因此，在进一步的研究中，一方面需要提高验证参数的代表性，另一方面还需要利用 MODIS 等新型遥感数据进行对比研究，多元遥感数据综合集成，将有利于估测精度的提高。

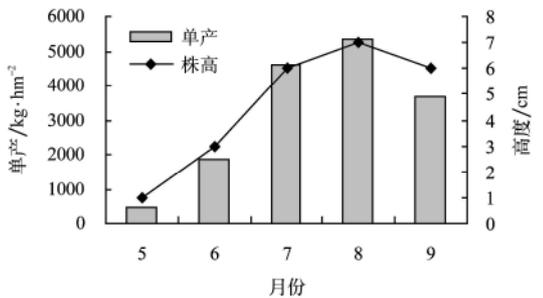
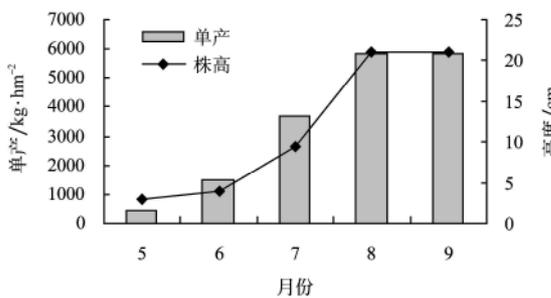
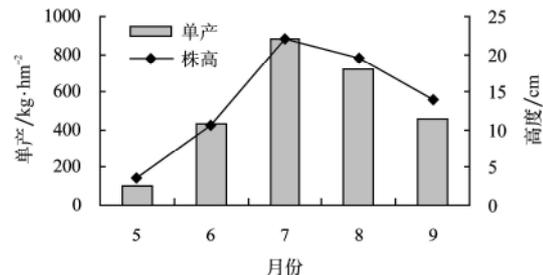
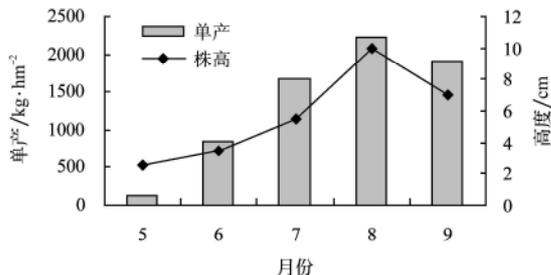
4 草地载畜能力研究

青海省牧草一般于 4 月中、下旬开始返青，6、7 月份进入生长关键期，8 月下旬前后进入黄枯期^[2]，5~8 月是牧草生长发育的主要时段。以 2003 年牧草地地面观测资料为例，分析 6 个代表站牧草生长季度内单产、株高等随时间的变化（图 7）规律。可以看出，青海省牧草高度和单产 7、8 月份达到了全生长期的最高值。因此，可以在月度牧草产量估算的基础上，求取 5~8 月牧草最大总产草量及单产，即为年度最大产草总量和最高单产。

某区域草地年最高载畜能力估算，受着多种因素的影响，如放牧时间、草地面积、牧草长势、可利用程度等。这里根据区域年最高产草总量以及标准羊单位需草量等估测载畜量^[13,14]。具体模型是：

$$Z_a = 10^3 \cdot \frac{Rt_{max} \cdot u}{d \cdot t} \quad (4)$$

式中 Rt_{max} ——某一行政区域年最高产草总量； u ——草地利用率； d ——牲畜日食草量，kg/d； t ——放牧天数； Z_a ——区域年最高载畜量，万只标准羊单位。



a. 刚察县

b. 兴海县

c. 河南县

d. 达日县

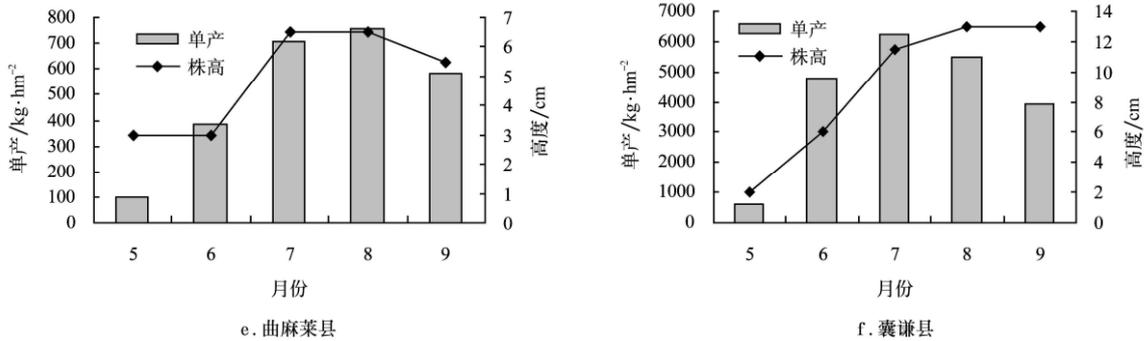


图 7 2003 年青海省代表性县域的牧草单产与高度随时间变化
Fig.7 Grass yield and height with time in 2003, representative county of Qinghai

不同草地适宜利用率是不同的，取青东河湖区草地利用率为 68%、柴达木区为 55%、青海南部为 61%^[15]。牲畜日食草量，以每标准羊单位 4 kg/d 计算。放牧时间为全年，即 365 d^[2]。

根据 (4) 式计算青海各县天然草地 2003 年和 2004 年平均最大载畜量 (图 8)。结果表明，青海省北部县天然草地年载畜量多在 100 万只标准羊单位以下，载畜能力较低；南部县载畜量多在 100~190 万只标准羊单位，载畜能力较高，呈现出南部整体天然草地载畜能力大于北部的情况。这是因为海东地区和西宁市主要是农业区，海西州大部为荒漠、戈壁，草地面积小，造成年牧草总产量不高、载畜能力低下。具体来看，海西州和海东地区大部分县天然草地年最大载畜量在 50 万只标准羊单位以下，环青海湖地区县多在 50~100 万只标准羊单位之间，黄南州南部、果洛州大部以及玉树州东部县在 100~150 万只标准羊单位之间，玉树州西部县治多和杂多达 150~190 万只标准羊单位，位居全省最高。根据区域年最高产草总量以及标准羊单位需草量等估测载畜量，对合理安排牧业生产具有一定参考价值。



图 8 青海省县级天然草地 2003~2004 年平均最大载畜量
Fig.8 Average of the maximum livestock carrying capacity between 2003 and 2004 for natural grassland of counties in Qinghai province

5 结论

青海省主要草原类型，温性草原、高寒草原、高寒草甸以及其他类草原，产草量与植被指数呈线性或指数关系，统计结果表明，模型的复相关系数的平方均在 0.67

以上，达到极显著 ($\alpha=0.001$) 水平。2005 年估算试用检验结果表明，模型具有良好的估测能力，牧草产量等级估测完全准确率为 50%，基本准确率 (相差 1 个等级) 为 46%，不准确率为 4%。

考虑某一行政区域年最高产草总量、草地利用率、牲畜日食草量和放牧天数等因子，建立载畜量估算模型，测算青海省县域范围的草地载畜量。结果表明，青海省载畜能力较低的是北部县，草地年载畜量多在 100 万只标准羊单位以下；载畜能力较高的是南部县，载畜量多在 100~190 万只标准羊单位，全省呈南部天然草地载畜能力大于北部的态势。

草产量估测和载畜量估算，为合理利用草地资源，科学调度以实现草畜平衡，既保护“三江源”地区的生态环境，又保护当地农牧民的切身利益，提供了依据和参考。

[参 考 文 献]

- [1] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司和全国畜牧兽医总站主编. 中国草地资源[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996: 108-123.
- [2] 王江山主编. 青海省生态环境监测系统[M]. 北京: 气象出版社, 2004: 131-136.
- [3] 国家气象局编定. 农业气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 165-180.
- [4] Sims P L, Singh J S, Lauenroth W K. The structure and function of ten western North America grasslands: I. Abiotic and vegetational characteristics[J]. Journal of Ecology, 1978, 66(1): 251-285.
- [5] Waite R B. The application of visual estimation procedures for monitoring pastures yield and consumption in enclosures and small plots[J]. Tropical Grasslands, 1994, 28, 38-42.
- [6] Parton W J, Scurlock J M O, Ojima D S, et al. Impact of climate change on grassland production and soil carbon world wide[J]. Global Change Biology, 1995, 1, 13-22.
- [7] Thornley J H M, Cannell M G R. Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurlley pasture model[J]. Annals of Botany, 1997, 80, 205-221.
- [8] DI Beila C, Faiver R, Ruget F, et al. Remote sensing capabilities to estimate pasture production in France[J]. Int J Remote Sensing, 2004, 25(23): 5359-5372.
- [9] 孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节性变化研究[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 36-45.

- [10] 陈利军, 刘高焕, 冯险峰. 遥感在植被净第一性生产力研究中的应用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(2): 53—57.
- [11] 李 博, 史培军, 陈 晋, 等. 内蒙古锡林郭勒盟草畜平衡动态监测试验[A]. 中国北方草地畜牧业动态监测研究[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993.
- [12] 周咏梅, 王江山. 青海省草地资源卫星遥感监测方法[J]. 应用气象学报, 1996, 7(4): 507—510.
- [13] 周咏梅. 青海省草地资源评价模型[J]. 中国农业气象, 1997, 18(1): 38—40.
- [14] Li Jianlong, Liang Tiangang, Chen Guangong. Estimation of grass yields using remote sensing and GIS technologies in China[J]. *New Zealand Journal of Agriculture Research*, 1998, 41: 31—38.
- [15] 杨正礼, 杨改河. 中国高寒草地生产能力与载畜量研究[J]. 资源科学, 2000, 22(4): 72—77.

Estimation of pasture output and livestock carrying capacity using remote sensing

Mao Liuxi¹, Hou Yingyu¹, Qian Shuan¹, Li Xifu², Fu Yang², Zhang Haizhen², Zhang Yanhong¹

(1. *National Meteorological Centre, Beijing 100081, China;*

2. *Qinghai Province Meteorological Bureau, Xining 810001, China*)

Abstract: The paper is a case study in Qinghai Province using GPS positioned grass measurement. A relationship between pasture output and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for NOAA/AVHRR was analyzed using linear and exponential models for estimating pasture output for various grass types. The results of the estimating models are acceptable, since the statistical correlation coefficient square (R^2) exceeds 0.67. Given this level of precision they can reasonably be used for estimating large-scale pasture output. Based on the estimation of remote sensing pasture output, the livestock carrying capacity of natural pasture in Qinghai was calculated and analyzed. Research results show that the yearly county maximum livestock carrying capacity in the southern region of Qinghai Province exceeds that of the northern region of Qinghai Province. The livestock carrying capacities in most southern counties of Qinghai and Qilan county are about 1000000–2000000 sheep units. The livestock carrying capacities in the counties of Haixi and in most counties in Haidong are less than 500000 sheep units.

Key words: pasture output; remote sensing; estimation model; livestock carrying capacity; sheep unit