

基于秸秆补饲的青藏高原草地载畜量平衡遥感监测

李刚¹, 孙炜琳², 张华¹, 高春雨¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
2. 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081)

摘要: 为了快速准确地掌握青藏高原草地生产力/产草量及草畜平衡情况, 促进藏区草地资源可持续利用, 实现青藏高原生态与生产协调发展, 有必要对青藏高原不同行政区域天然草地及补饲后的载畜能力和草畜平衡问题开展研究。该研究首先结合 MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 的归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 数据、青藏高原草地类型图、气象数据、土壤质地数据等数据, 利用改进的 CASA (carnegie-ames-stanford-approach) 模型, 对青藏高原草地产草量进行了估算, 并分析了青藏高原草地天然产草量的空间分布情况。然后利用草谷比法估算了青藏高原饲用秸秆资源量及空间分布情况, 计算得出各县市可利用的秸秆资源的载畜量情况。最后根据草地产草量、秸秆资源载畜量和实际载畜量, 利用草畜平衡模型, 模拟得出各县市的超载过牧情况。结果表明: 2010年, 青藏高原年产草量区域差异十分明显, 西藏年产草量最大为 2 642.89 万 t, 青海藏区次之, 为 2 307.60 万 t; 云南藏区最低, 为 37.36 万 t。青藏高原天然草地总载畜量为 8 363.04 万只 (羊单位, 以下同), 其中, 青海省藏区为 2 889.10 万只, 西藏为 2 789.35 万只, 四川藏区为 1 854.10 万只, 甘肃藏区为 796.42 万只, 云南藏区为 34.09 万只。青藏高原饲用秸秆资源量为 372.16 万 t, 其中青海藏区和西藏的饲用秸秆资源总量占整个藏区的 74.77%; 其他 3 个省份的可饲用秸秆总量比例仅占 25.23%。青藏高原饲用秸秆资源可饲养牲畜 293.53 万只, 其中青海省藏区为 172.48 万只, 西藏为 46.80 万只, 四川藏区为 31.94 万只, 甘肃藏区为 19.69 万只, 云南藏区为 22.65 万只。青藏高原各县市超载过牧十分突出。在未补饲情况下, 超载率超过 5 倍的县市占 7.69%, 2~5 倍的占 13.46%, 1~2 倍的占 28.84%, 超载率小于 1 倍的占 38.82%, 未超载的仅占 11.19%。通过补饲秸秆资源, 未超载过牧的县市比例未发生变化, 但各县市的超载过牧情况有所改善。超载率超过 5 倍的县市比例下降了 3.2 个百分点, 2~5 倍的下降了 4.49 个百分点, 1~2 倍的增加了 5.49 个百分点, 超载率小于 1 倍的增加了 2.2 个百分点。因此, 今后青藏高原需根据草地资源及饲用秸秆资源的承载能力严格控制牛羊的养殖数量, 实现生态环境和畜牧业的可持续发展。

关键词: 遥感; 模型; 秸秆; CASA 模型; 产草量; 草谷比法; 载畜量; 青藏高原

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.17.026

中图分类号: S812.8; F316.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-17-0200-12

李刚, 孙炜琳, 张华, 等. 基于秸秆补饲的青藏高原草地载畜量平衡遥感监测[J]. 农业工程学报, 2014, 30(17): 200 - 211.

Li Gang, Sun Weilin, Zhang Hua, et al. Balance between actual number of livestock and livestock carrying capacity of grassland after added forage of straw based on remote sensing in Tibetan Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(17): 200 - 211. (in Chinese with English abstract)

0 引言

草地生态系统是陆地生态系统中最重要、分布最广的生态系统类型, 在全球碳循环和气候调节中起着重要的作用^[1-2]。草地是我国分布面积最广的生

态系统之一, 也是重要的畜牧业生产基地以及保护环境、维持生态平衡的绿色屏障^[2]。然而, 受人口增长、养畜量增加以及气候干暖化等多重因素影响, 青藏高原草地退化日益严重, 出现了土地沙化、水土流失、生物群落多样性减少和草地产草量下降等一系列问题, 对青藏高原草原可持续发展带来了严重的挑战。究其根本原因在于盲目追求经济利益而肆意扩大草原放牧率, 使得草地严重超载过牧而得不到休养生息所致^[3]。Olderman 等^[4]也指出全球退化土地面积中的 34.5% 是由于过度放牧引起的。因此, 青藏高原天然草地产草量、载畜能力和草畜平衡问题的研究, 对合理利用该地区天然草地和饲用秸秆资源, 优化放牧模式, 防止过牧或少牧问题的发生, 实行以草定畜, 保护生态环境和促进畜牧

收稿日期: 2013-12-15 修订日期: 2014-08-20

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(31200337); 国际科技合作项目“草地生态系统优化管理关键技术合作”(2012DFA31290)

作者简介: 李刚(1979-), 男, 山东省莱阳人, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所副研究员, 博士, 主要从事于生态遥感、草地资源利用与保护及编辑学等方面的研究。北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: ligang2525@126.com

通信作者: 高春雨(1978-), 男, 河北石家庄人, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所副研究员, 博士, 主要从事于农业生态等方面的研究。北京 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 100081。Email: gaochunyu@caas.cn

业健康发展都具有重要意义^[5]。

草地初级生产力是维持草原生态系统的物质基础，其积累形式主要表现为产草量^[6]，而草地产草量的高低是发展草原畜牧业的基础，是草地资源合理利用和载畜平衡的重要依据^[7]。近年来，许多学者对内蒙古地区^[8-13]、青海地区^[2,14-17]、甘肃地区^[18-22]、新疆地区^[24-26]、西藏地区^[27-28]、中国高寒地区^[5,29-30]及其他北方地区^[7,31-34]的北方草地生产力(或产草量)和载畜量平衡做了较多的实证研究及方法的探讨。

但是，到目前为止，利用遥感数据及秸秆资源数据对青藏高原及其行政区域天然草地总体载畜能力及草畜平衡状况的研究，还少见报道。虽然钱拴等^[5]对青藏高原的载畜能力及草畜平衡状况研究，但是其研究区域仅为西藏和青海 2 省，利用的是 NOAA/AVHRR (national oceanic and atmospheric administrator/advanced very high resolution radiometer) 分辨率为 0.01° 的归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 数据，研究方法也仅以为青海 22 个牧草监测点的数据建立草地产草量关系模型，其是否适用于整个青藏高原草原产草量的反演还有待于进一步的商榷。为了快速准确地掌握青藏高原草地生产力/产草量及草畜平衡情况，本文利用改进的 CASA (carnegie-ames-stanford-approach) 模型进行草地产草量估算，结合青藏高原的秸秆等调查统计资料，研究青藏高原不同行政区域天然草地及其补饲后的载畜能力以及草畜平衡问题，以促进草地资源合理利用，保证青藏高原生态环境和畜牧业可持续发展，为国家政策制定提供科学的依据。

1 研究区概况

青藏高原位于我国西南部，包括西藏、青海全部，甘肃甘南州、肃南县和天祝县，四川阿坝州、甘孜州和木里县，云南迪庆州、怒江州，总面积 220 多万 km²，平均海拔 4 000 m 以上 (图 1)。该区草地总面积 13 908 万 hm²，占全国草地总面积的 38%，草地饲养总量达到 9 911 万头 (羊单位)。青藏高原草地系统是一个“惰性”和“脆弱性”的生态系统，其“惰性”表现草地植被更新能力差，其任何组分衰退后难以恢复；脆弱性表现在该系统容易被破坏^[35-36]。青藏高原是我国重要的草地畜产品生产基地，畜牧业收益是牧民收入的最主要来源，是藏区国民经济的重要支撑。同时，该地区也是长江、黄河等河流上游主要水源涵养区^[37]，素有“中华水塔”之美誉，具有独特的生态战略地位。

近年来，在长期传统畜牧业经营方式下，由于片面追求牲畜数量，青藏高原草原超载过牧现象普

遍存在，草地“三化” (退化、沙化、盐碱化) 问题严重，生态环境不断恶化，草畜矛盾日益突出。目前，青藏高原畜牧业发展已经陷入饲养量增加草地退化 牧民经济收益下降的恶性循环，如何确定合理的载畜量、促进青藏高原草地畜牧业的可持续发展是一个重要的研究课题。

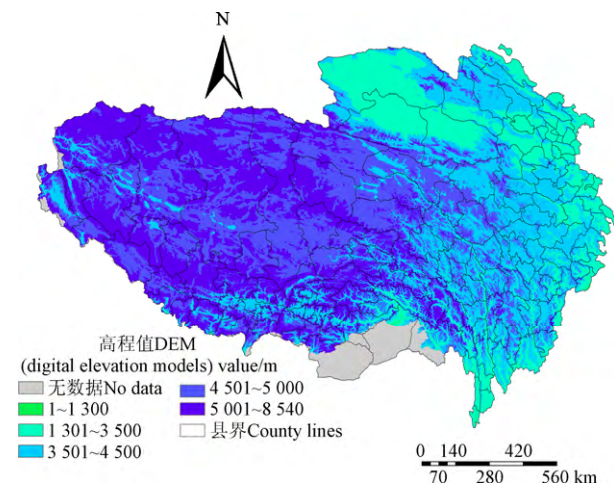


图 1 青藏高原高程示意图

Fig.1 Schematic diagram of Tibetan Plateau elevation

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

本文所用遥感及数据是由美国航空航天局提供的 2010 年 MODIS (moderate-resolution imaging spectroradiometer) 的 NDVI 产品，空间分辨率为 250 m × 250 m，时间分辨率为 10d，时间序列是 7 月 1 日 - 8 月 31 日。该数据已进行大气辐射校正和几何校正。气象数据由国家气象局提供的 2010 年青藏高原 71 个站点的每月的降水、平均温度及太阳辐射等数据。其它数据包括青藏高原区划图、1:100 万草地类型图、由中国科学院南京土壤研究所提供的 1:100 万土壤质地图，2010 年青藏高原行政区的作物秸秆数据及实际载畜量数据 (来自藏区各省 (市) 的 2011 年农村统计年鉴)。

2.2 研究方法

2.2.1 青藏高原草地产草量估算

首先，利用改进后的 CASA 模型 (详见参考文献^[12]) 估算青藏高原 NPP (net primary productivity, NPP)。CASA 模型主要通过光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR)、光合有效辐射吸收比例 (fraction of absorbed photosynthetically active radiation, FPAR) 和光能利用率 (ϵ) 来实现 NPP 的计算，公式为：

$$NPP(x, t) = PAR(x, t) \times FPAR(x, t) \times \epsilon(x, t)$$

式中：NPP(x, t) 为 x 处 t 月植被的净初级生产力，

g/m^2 。以 C 计,下同; $PAR(x,t)$ 为 x 处 t 月照射到地表的光合有效辐射, MJ/m^2 ; $FPAR(x,t)$ 为 x 处 t 月植被截取光合有效辐射的比率,无量纲,由植被类型和 NDVI 表示,本文中由 MOD15 算法中设计的 NDVI-FPAR 查找表计算得到; $\varepsilon(x,t)$ 为 x 处 t 月植被的光能利用效率, g/MJ ,即植被将光能转化为有机质的能力,在自然条件下受温度和水分的影响。受水分的影响则是通过土壤质地数据来反映。

其次,青藏高原产草量的计算。利用植物生物量与 NPP 之间的转化关系,采用系数 $0.45^{[38]}$ 将 NPP 转化为该区域的产草量 (g/m^2 ,以 C 计,下同),得到青藏高原年最大产草量空间分布。

2.2.2 青藏高原草地理论载畜量估算

天然草地载畜量的大小受着多种因素的影响,如草地面积、牧草产量、可利用程度等。本研究考虑了上述因素,根据县、地、省级年最高产草总量,以及标准羊需草量,估测载畜量,模型为:

天然草地理论载畜量(羊单位) = (县市的年最高产草量 \times 草地适宜利用率) / (牲畜日食草量 \times 放牧天数)

研究表明^[23,29,31],不同草地类型适宜利用率是不同的。为此,本文利用青藏高原不同草地类型的草地综合利用率^[39]计算藏区各县市天然草地可以利用的产草量(均利用全年放牧利用率的极大值)。牲畜日食草量,以标准羊需鲜草量为单位,即 $4 kg/d$;放牧天数为全年,即 $365 d^{[5,40]}$ 。

2.2.3 青藏高原秸秆饲料数量估算

农作物秸秆以纤维素、半纤维素和木质素为主要成分,其中干物质组成中高达 80% 为多聚糖。对反刍动物来说,其肠道内的微生物能利用酶将纤维素、半纤维素分解为乙酸、丙酸、丁酸等挥发性脂肪酸,可以为其提供 60% ~ 70% 的能量及体内合成蛋白质的碳架。因此,在反刍家畜的饲料来源中,秸秆类粗饲料占有相当重要的比重。因此,准确、科学地估算出青藏高原的秸秆饲料产量,是准确估算秸秆饲料载畜量的前提。

秸秆资源数量的估算,一般是把农作物的生物量区分为农作物的经济产量、地上秸秆产量、根部生物量 3 部分,分别计算其比例,再以农作物的经济产量为基础数据,利用如下 3 种方法计算:一是草谷比法;二是副产品比重法;三是经济系数法。

本研究利用草谷比法进行计算。草谷比 (S_G) 是指农作物地上茎秆产量与经济产量之比,它是评价农作物产出效率的重要指标,又称为农作物副产品与主产品之比。因此,在草谷比和农作物经济产量已知的条件下,可用下述公式计算农作物的秸秆

产量:

$$W_S = W_P \times S_G$$

式中: W_S 为农作物秸秆产量; W_P 为农作物经济产量; S_G 为草谷比,即秸秆产量与农作物经济产量之比。

根据毕于运^[41]对各类秸秆可饲性的研究,结合西藏可获取的秸秆资源数据,文中只考虑了小麦、玉米、豆类、薯类、油菜和蔬菜藤蔓及残余物等可用于直接饲喂或加工饲喂的秸秆资源数量。由此,可以计算得到青藏高原各省小麦、玉米、豆类、薯类藤蔓、油菜、蔬菜藤蔓及残余物等秸秆的总量。

2.2.4 青藏高原秸秆饲料载畜量估算

根据秸秆资源产量、饲用比例、牲畜日采食量等,可计秸秆饲料资源的草地载畜量。秸秆饲料载畜量的计算模型为:

秸秆饲料载畜量(羊单位) = (秸秆资源产量 \times 秸秆饲用比例) / (牲畜日食草量 \times 放牧天数)

其中:秸秆资源产量为上文的计算结果,秸秆饲用比例按 34.24%^[42]计;牲畜(牛)日采食量按 $4kg/(头 \cdot d)$ 计;放牧天数为全年,即 365 d。

2.2.5 青藏高原草畜平衡模型

根据县市年最高产草总量,各县市的秸秆产量及利用情况以标准羊需草量,按未补饲和秸秆饲料补饲 2 种情况来研究青藏高原各县市草地超载过牧情况。

1) 未补饲草畜平衡模型

某县市超载率 = (天然草地理论载畜量 - 实际载畜量) / 天然草地理论载畜量 $\times 100\%$ 。

其中,实际载畜量根据统计年鉴该地区年末实际大牲畜存栏头数得到:1 头牛合 6 个羊单位,1 匹马合 4.8 个羊单位,1 头猪合 1.8 个羊单位^[2]。天然草地理论载畜量由 2.2.2 计算得到。结果为正,表示该县市(或地区)天然草地还有一定的载畜潜力;结果为负,表示该县市(或地区)实际载畜量已超过天然草地的载畜能力,处于超载过牧状态。

2) 秸秆饲料补饲草畜平衡模型

某县市超载率 = (天然草地理论载畜量 + 秸秆饲料载畜量 - 实际载畜量) / (天然草地理论载畜量 + 秸秆饲料载畜量) $\times 100\%$ 。结果为正,表示该县市(或地区)经秸秆饲料补饲后还有一定的载畜潜力;结果为负,表示该县市(或地区)经过秸秆补饲后仍处于超载过牧状态。

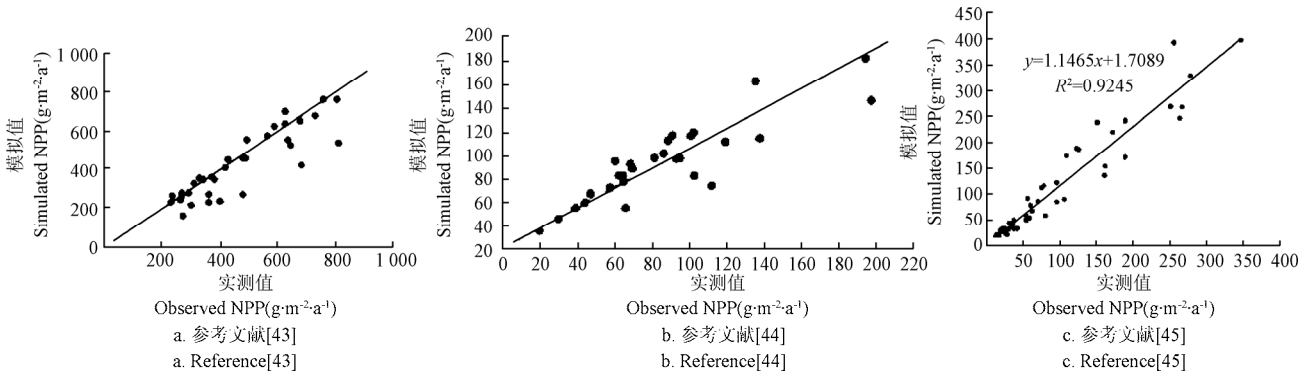
3 结果与分析

3.1 CASA 模型估算精度及适用性分析

虽然光能利用率模型-CASA 模型在估算植被 NPP 方面得到了广泛的应用,但是其是否适用于青藏高原地区植被 NPP 的估算,其估算精度如何,还

需要进一步的分析和验证。虽然本研究在该地区并没有地面实测数据，但通过查阅相关文献[43-46]，

结果表明CASA 模型完全适用于该地区植被净初级生产力估算并具有较高的估算精度（图 2）。



注：净初级生产力以 C 计，下同。
Note: Net primary productivity was calculated as C, the same as below.

图 2 不同研究净初级生产力 (NPP) 模拟精度验证

Fig.2 Comparison of simulated and observed net primary productivity (NPP) of different research

3.2 青藏高原天然草地产草量及空间分布

利用改进后的 CASA 模型，结合遥感数据、气象数据、草地类型、土壤质地等数据，计算得到青藏高原 2010 年草地年最大 NPP（图 3a），然后根据植被植物生物量与 NPP 之间的转化关系计算得到青藏高原的草地产草量，利用 ARCGIS 9.3 的空间统计分析模块，统计得到青藏高原各县市 2010 年的年最大产草量，结果如图（图 3b）。

由图 3a 可以看出，青藏高原 NPP 空间分布呈西向东及东南部逐步升高的趋势。西藏地区虽然草地面积广阔，但是由于海拔及气候等原因，其 NPP

比其他地区偏低，NPP 均值为 17.84 g/m²。西藏的东南部 NPP 相对来说比较高，NPP 为 55 ~ 72 g/m²。青海藏区的 NPP 呈西北向东南逐步升高趋势，NPP 最高为 263.67 g/m²，平均 NPP 为 23.24 g/m²。四川藏区的草地 NPP 产量分布较为集中，主要分布在西北部地区，平均 NPP 为 33.74 g/m²，部分地区最高可达 214.25 g/m²；甘肃藏区主要分布在与青海及四川接壤部分，西南部地区 NPP 较该省其他地区要高，平均产量为 39.34 g/m²，云南藏区面积相对要少，平均 NPP 产量为 16.81 g/m²，其最高产量可达 217 g/m²。

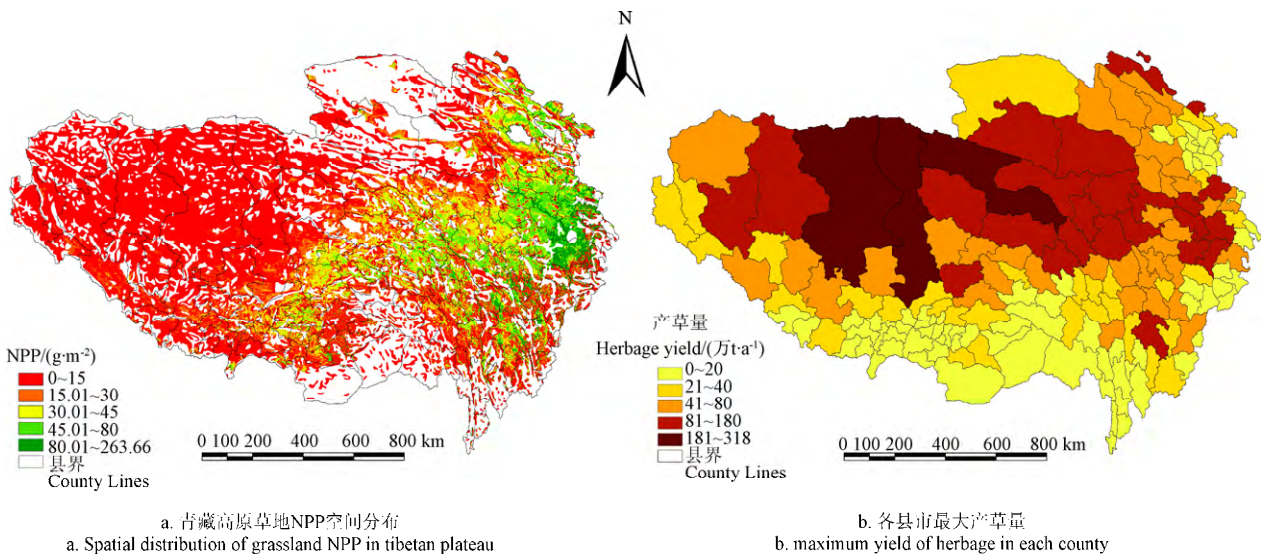


图 3 青藏高原草地 NPP 空间分布及各县市最大产草量

Fig.3 Spatial distribution of grassland NPP in Tibetan Plateau and maximum yield of herbage in each county

图 3 可以看出，西藏部分县市的平均产草量并不高，但是由于面积大，年总产草量比较高。从空间分布上来看，西藏地区的北部部分县市、青海藏

区西南部及中部地区共有 28 个县市的年产草量均超过 80 万 t（干草），产量在 40 万 ~ 80 万 t 的共有 36 个县市，其他县市的年产草量都少于 40 万 t，

占整个青藏高原县市的 62.4%。利用 ARCGIS9.3 的统计分析工具, 结合青藏高原草地类型图, 得到青藏高原区各省 2010 年最大产草量 (表 1)。由表 1 可以看出, 虽然西藏面积是青海藏区的近 1.7 倍, 但是其草地产草量却相差不多, 而四川藏区虽然草地面积仅为西藏草地面积的 1/5 强, 但是由于该地区气候适宜, 草地产草量较高, 是西藏藏区产草量的 1/2 还多 (52.71%)。

表 1 2010 年青藏高原各省最大产草量

Table 1 Maximum yield of herbage in provinces of Tibetan Plateau in 2010

省份 Province	面积 Area/(万 km ²)	产草量 Herbage yield/(万 t)
青海 Qinghai	71.715	2 307.600
西藏 Xizang	120.506	2 642.889
四川 Sichuan	24.271	1 393.069
云南 Yunnan	3.724	37.360
甘肃 Gansu	6.216	467.993

3.3 青藏高原秸秆资源量

利用前文所述秸秆饲料估算方法, 得到 2010 年青藏高原各省份不同类别秸秆资源量 (表 2)。各县市的不同作物秸秆资源空间分布如图所示 (图 4)。

从空间分布上可以看出 (图 4), 小麦秸秆资源主要集中分布于西藏南部、云南藏区大部、四川

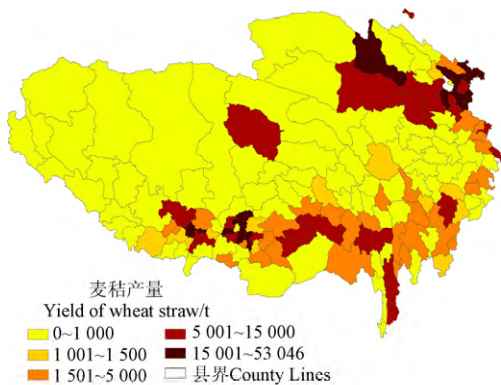
藏区东北部、青海省东北部和甘肃藏区东南部等地区。玉米秸秆资源集中分布于西藏东南部、云南藏区、四川藏区东南部等地区。豆类秸秆资源集中分布于云南藏区、西藏南部部分县市、四川藏区东北部及青海和甘肃交汇处。薯类藤蔓集中分布于青海中北部、甘肃藏区南部、四川藏区东南部及云南藏区南部。油菜秸秆资源集中分布青海中东部、甘肃藏区大部以及西藏南部等地区。蔬菜藤蔓及残余物集中分布于青海藏区的格尔木市、甘肃藏区的中部、四川藏区的东北部以及西藏南部地区部分县市。

从青藏高原 2010 年各省总的秸秆资源量来看, 青藏高原饲用秸秆资源总产量 372.16 万 t, 其中青海藏区饲用秸秆资源量为 183.95 万 t, 占 49.43%; 西藏饲用秸秆资源量 94.32 万 t, 占 25.34%; 四川藏区饲用秸秆量 38.73 万 t, 占 10.41%; 云南藏区饲用秸秆资源量 38.43 万 t, 占 10.33%; 甘肃藏区饲用秸秆资源量 16.73 万 t, 占 4.50%。从分县市来看 (图 5), 主要分布在青海省的中东部地区、甘肃藏区的中部地区、四川藏区的东北部、云南藏区大部及西藏南部地区部分县市, 其产量均在 2 万 t 以上。分作物品种看, 可饲用油菜秸秆最多, 达到 101.36 万 t, 占 27.24%, 小麦秸秆 80.68 万 t, 占 21.68%, 蔬菜藤蔓及残余物 74.3 万 t, 占 19.96%, 玉米秸秆 54.36 万 t, 占 14.61%, 薯类藤蔓 31.93 万 t, 占 8.58%, 豆类秸秆 29.53 万 t, 占 7.93%。

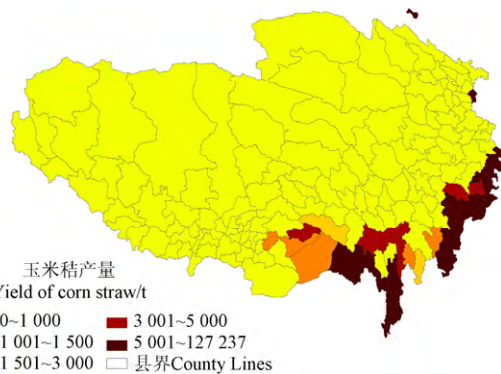
表 2 青藏高原 2010 年各省份不同作物秸秆资源量

Table 2 Straw yield of different crops in provinces of Tibetan Plateau in 2010

省份 Province	小麦秸秆 Wheat straw	玉米秸秆 Corn straw	豆类秸秆 Bean straw	薯类藤蔓 Potato vine	油菜秸秆 Rape straw	蔬菜藤蔓及残余物 Vines and residue of vegetables	小计 Subtotal
青海 Qinghai	39.83	12.87	13.55	19.07	86.52	12.11	183.95
西藏 Xizang	26.62	3.16	3.52	5.51	8.62	46.89	94.32
四川 Sichuan	5.59	16.48	4.79	4.75	1.88	5.24	38.73
云南 Yunnan	3.65	19.16	4.53	1.14	0.68	9.27	38.43
甘肃 Gansu	4.99	2.69	3.14	1.46	3.66	0.79	16.73
小计 Total	80.68	54.36	29.53	31.93	101.36	74.3	372.16



a. 麦秸产量
a. Yield of wheat straw



b. 玉米秸产量
b. Yield of corn straw

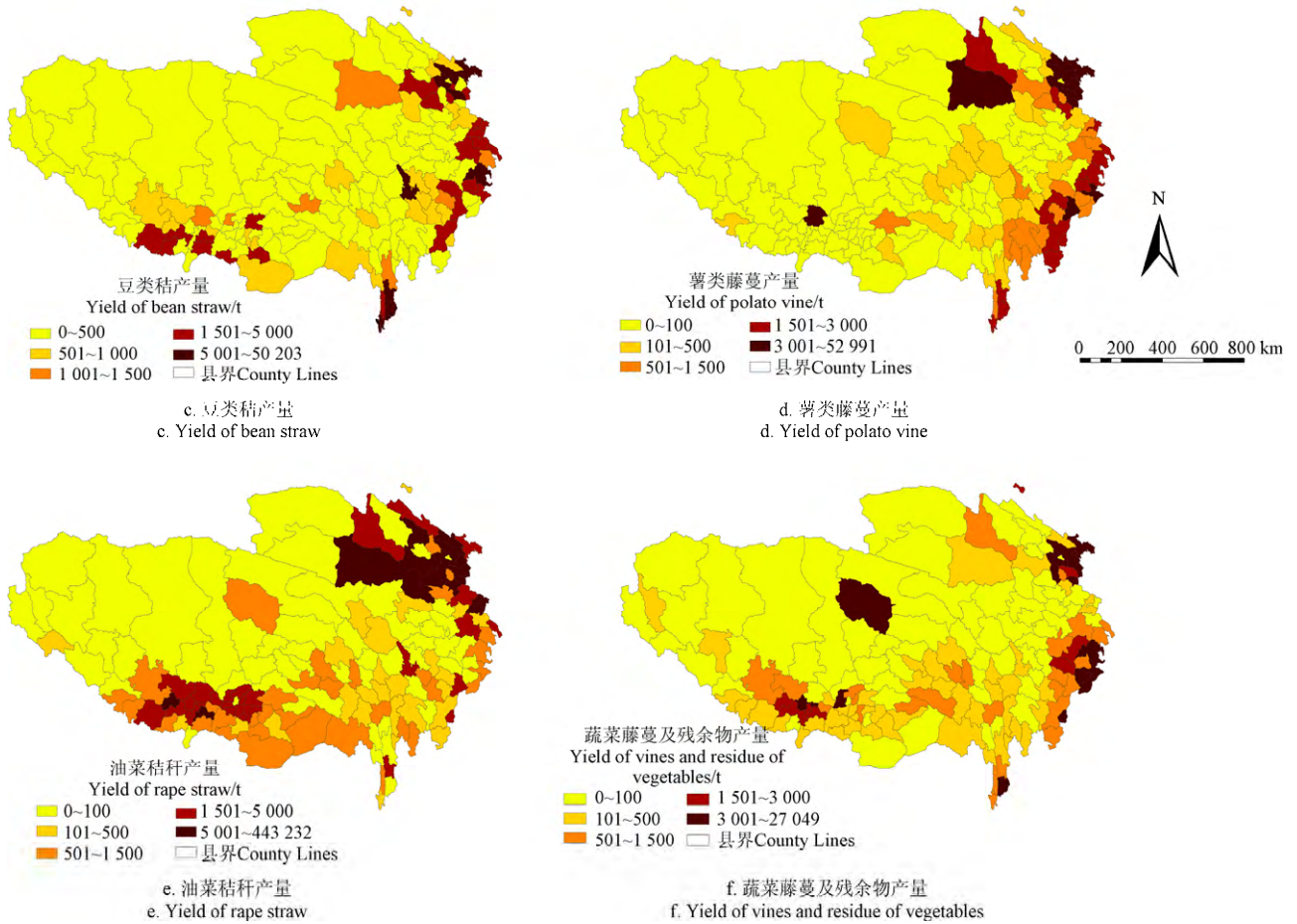


图 4 青藏高原 2010 年各县市不同秸秆资源量空间分布

Fig.4 Spatial distribution of straw yield of different crops in counties of Tibetan Plateau in 2010

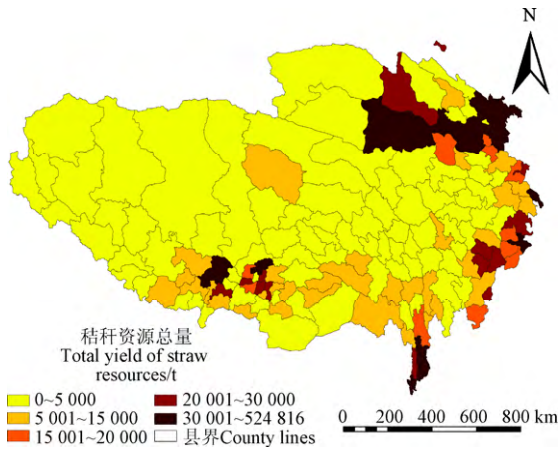


图 5 青藏高原秸秆资源总产量空间分布

Fig.5 Spatial distribution of total straw yield in Tibetan Plateau

3.4 青藏高原秸秆载畜量

利用前文的秸秆饲料载畜量计算方法，计算得到青藏高原可饲秸秆资源载畜量为 293.53 万只(羊单位，下同)，其中西藏为 46.80 万只，青海藏区为 172.48 万只，甘肃藏区为 19.69 万只，云南藏区为 22.65 万只，四川藏区为 31.94 万只，甘肃藏区为 19.69 万只。分县(市、区)看(图 6)，青

海大通县、民和县、湟中县、互助县秸秆资源载畜量最多，均超过 10 万只，此外甘肃藏区中南部、四川藏区西南部、云南藏区南部的秸秆资源载畜量也较高，这些地区县市的秸秆年产量均超过 4 万 t，而西藏西北部地区、青海西北部等地区的秸秆产量均在 1 万 t 以下，因此，这些地区可饲秸秆资源可饲养的牲畜较少。

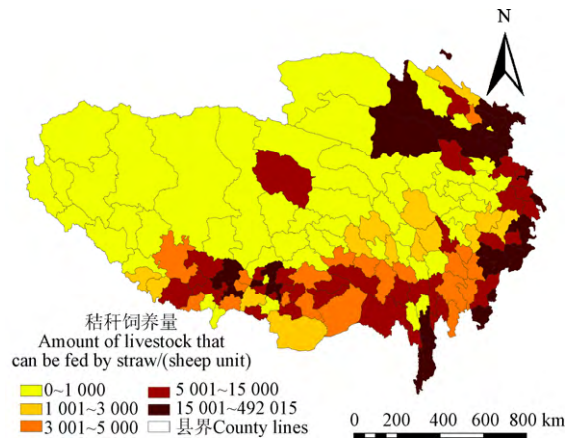


图 6 青藏高原各县市秸秆资源可饲喂牲畜数量

Fig.6 Amount of livestock that can be fed by straw in counties of Tibetan Plateau

3.5 青藏高原草畜平衡状况

3.5.1 未补饲草畜平衡状况

通过前述未补饲草畜平衡模型,计算得到青藏高原各县市超载过牧情况(图 7a)。从空间分布来看,青藏高原西北部和中部地区的载畜能力还略有发展的空间,在草地的可承受范围内,而其他地区普遍处于超载过牧状态。部分地区的天然草地承载

力超载情况已经十分严重,存栏数超过该地区的草地承载能力的十几倍,如:泸水县、湟中县、维西傈僳族自治县及兰坪白族普米族自治县的超载率均超过 10 倍天然草地的载畜能力。总体看,超载率超过 5 倍的县市占统计县市的 7.69%, 2~5 倍的占 13.46%, 1~2 倍的占 28.84%, 超载率小于 1 倍的占 38.82%, 未超载的县市仅仅占 11.19%。

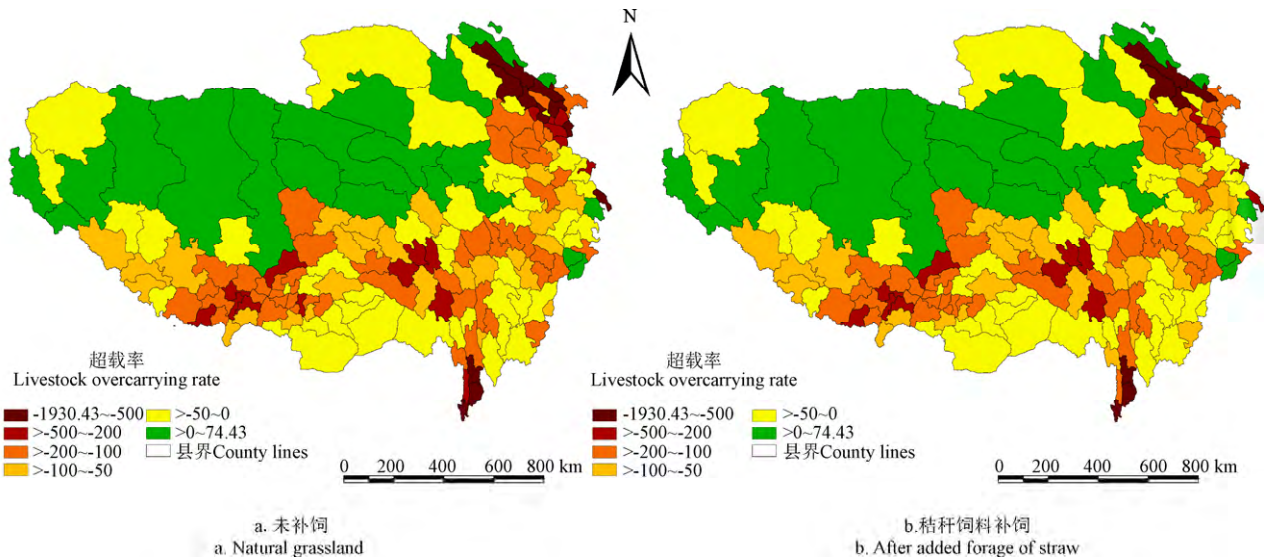


图 7 青藏高原草畜平衡情况

Fig.7 Balance between actual number of livestock and livestock carrying capacity of natural grassland and after added forage of straw

3.5.2 秸秆饲料补饲草畜平衡状况

由秸秆饲料补饲草畜平衡模型,在不考虑其他补饲饲料的情况下,计算得到青藏高原各县市仅补饲秸秆饲料超载过牧情况(图 7b)。由结果可以看出,经过秸秆饲料的补饲,青藏高原的超载过牧率明显降低,尤其是泸水县、湟中县、维西傈僳族自治县及兰坪白族普米族自治县、民和回族土族自治县、互助土族自治县等几个县,补饲秸秆饲料后的超载率明显下降。这些地区虽然草地面积少,但是其农作物种植面积大,秸秆资源丰富,再加上其他的补饲饲料,使得这些县市能够承载目前数量的牛羊。但是,有的地区由于秸秆饲料总量少,即使补饲秸秆饲料,总体超载过牧的情况并未得到根本改变,如祁连县、海晏县、刚察县、白朗县、昌都县、临潭县、洛隆县、定结县、江孜县、左贡县、类乌齐县等县市,补饲后超载率仍超过 2 倍以上。总的来看,虽然经过秸秆饲料补饲,青藏高原超载过牧仍十分突出,但是超载率超过 5 倍的县市比例有所下降,占统计县市的 4.49%, 2~5 倍的占 8.97%, 1~2 倍的占 34.33%, 超载率小于 1 倍的占 41.02%, 未超载的县市仍为 11.19%。

因此,尽管少数县市还有进一步发展畜牧业的潜力,但从整个青藏高原总体上来看,大部分县市超载过牧已十分严重,需要严格控制牛羊的养殖数量,促进草-畜健康发展。

4 讨论

本研究利用基于遥感数据的光能利用率模型-CASA 模型,对青藏高原的草地生产力进行了估算,该模型能够在不破坏草地的情况下,快速准确的掌握大范围草地的生产情况。与参考文献[5]的研究相比,本研究利用的 CASA 模型计算青藏高原地区的草地生产力时,充分考虑了研究区的草地类型、气候状况、土壤类型、土壤水分等因素,能够在区域尺度上进行应用推广。并且,参考文献[5]利用的是 NOAA/AVHRR 的 NDVI 遥感数据分辨率为 0.01° , 其建立模型时的 NDVI 取值是 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 的均值,而在如此较大的区域内,该 NDVI 值能否真正代表草地的 NDVI 还有待于商榷。而本研究利用的 MODIS 的 NDVI 遥感数据分辨率为 250 m,远高于参考文献[5]计算时用的遥感数据,计算结果更为精细、准确。但是由于数据、资料等的限制,本文在

计算青藏高原的产草量后,并没有利用地面实测数据对估算的结果验证,模型在该地区的估算精度如何还需要进一步的研究,但是李刚等^[12]的研究表明,基于遥感数据的光能利用率模型-CASA 模型在估算内蒙古草地的生产力时具有较高的精度。另外,本研究虽结合了草地生产力、秸秆饲料资源及各省市的实际载畜量对青藏高原的草畜平衡进行了分析,但对补饲情况的复杂性考虑的较少,因此,青藏高原各省市的超载率是否超出当地生态环境的承受力,还需要在今后的研究中加强调研的基础上,研究各省市的其他补饲实际,进而提高草畜平衡监测模型的准确性,更好地为决策制定者提高技术支持和服务。

5 结 论

结合 MODIS 的 NDVI 遥感数据、青藏高原草地类型图、气象数据、土壤质地等数据,利用改进的 CASA 模型,对青藏高原的草地产草量进行了估算,并分析了青藏高原天然产草量的空间分布情况。根据各省市的不同作物秸秆资源,利用草谷比法估算了青藏高原不同省份的不同作物秸秆资源量及空间分布情况,计算得出各省市利用的秸秆资源的载畜量情况。根据草地产草量、秸秆资源载畜量和实际载畜量,利用草畜平衡模型,模拟得出各省市的超载过牧情况。

1) 青藏高原 2010 年各省市的年产草量差异较大。从空间分布上来看,西藏地区的北部部分县市、青海藏区西南部及中部地区的共有 28 个县市的年产草量均超过 80 万 t(干草);产量在 40 万 t~80 万 t 的共有 36 个县市,其他县市的年产草量都少于 40 万 t,占整个青藏高原县市的 62.4%。青藏高原各省的年产草量差异十分明显,西藏草地面积广阔,年产草量最大为 2 642.889 万 t,青海次之,为 2 307.6 万 t;云南藏区最低,为 37.36 万 t。

2) 从青藏高原 2010 年各省总的饲用秸秆资源量来看,青藏高原饲用秸秆资源量为 372.16 万 t,其中青海藏区饲用秸秆量最多(183.95 万 t),占整个青藏高原秸秆资源量的近一半(49.43%);西藏饲用秸秆量 94.32 万 t,占 25.34%;其他三省份的饲用秸秆总量比例还为不到 25%。从分县市来看,主要分布在青海省的中东部地区、甘肃藏区的中部地区、四川藏区的东北部、云南藏区大部及西藏南部地区部分县市,其产量均在 2 万 t 以上。

3) 青藏高原各省未补饲的情况下,超载>2 倍以上的县市超过统计县市的 21.15%;超载率在 1 倍以上的县市近一半(49.99%),仅有 11.19%的统计县市未超载过牧。在利用秸秆饲料补饲的情况

下,未超载过牧的县市比例未发生变化,但是由于补饲,各县市的超载过牧情况有所改善,各县市的超载情况有所变化。超载>2 倍以上的县市的比例下降为 13.46%,下降了 7.69 百分点;轻微超载过牧的县市比例为 22.44%。

总的来说,青藏高原草畜平衡情况不容乐观,各省市超载过牧十分突出,需要根据草地资源及饲用秸秆资源的承载能力严格控制牛羊的养殖数量,同时采取加大补饲等有效措施,在保护天然草地提高产草量的同时,提高放牧系统的生产力,促进草畜可持续发展。

【参 考 文 献】

- [1] Scurlock J M O, Johnson K, Olson R J. Estimating net primary productivity from grassland biomass dynamics measurements[J]. *Global Change Biology*, 2002(8): 736 - 753.
- [2] 李文娟,九次力,谭忠厚,等. 青海省草地生产力及草畜平衡状况研究[J]. *资源科学*, 2012, 34(2): 367 - 372.
Li Wenjuan, Jiu Cili, Tan Zhonghou, et al. Natural grassland productivity and the livestock-feeds balance in Qinghai province[J]. *Resources Science*, 2012, 34(2): 367 - 372. (in Chinese with English abstract)
- [3] 林波,谭支良,汤少勋,等. 草地生态系统载畜量与合理放牧率研究方法进展[J]. *草业科学*, 2008, 25(8): 91 - 99.
Lin Bo, Tan Zhiliang, Tang Shaoxun, et al. Research progress in methodologies for carrying capacity and proper stocking rate in grassland ecological system [J]. *Prat Acultural Science*, 2008, 25(8): 91 - 99. (in Chinese with English abstract)
- [4] Olderman L R, Hakkeling R T A, Sombroek W G. World Map of the Human-induced Soil Degradation: An Explanatory Note: Second Revised Edition[M]. Netherlands, Wageningen: United Nations Environment Programme (UNEP), 1991.
- [5] 钱拴,毛留喜,侯英雨,等. 青藏高原载畜能力及草畜平衡状况研究[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(3): 389 - 397.
Qian Shuan, Mao Liuxi, Hou Yingyu, et al. Livestock carrying capacity and balance between carrying capacity of grassland with added for age and actual livestock in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(3): 389 - 397. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈佐忠,汪诗平. 中国典型草原生态系统[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 49 - 66.
- [7] 徐斌,杨秀春,陶伟国,等. 中国草原产草量遥感监测[J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 405 - 412.

- Xu Bin, Yang Xiuchun, Tao Weigu, et al. Remote sensing monitoring upon the grass production in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 405 - 413. (in Chinese with English abstract)
- [8] 徐希孺, 金丽芳, 侯常恭, 等. 利用 NOAA-CCT 估算内蒙古草场产草量的原理和方法[J]. *地理学报*, 1985, 40(4): 333 - 346.
- Xu Xiru, Jin Lifang, Lin Changgong, et al. The principle and method for measurement of grass output of inner-mongolian grass land using NOAA-CCT [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 1985, 40(4): 333 - 346. (in Chinese with English abstract)
- [9] 霍治国, 李世奎, 杨柏. 内蒙古天然草场的气候生产力及其载畜量研究[J]. *应用气象学报*, 1995, 6(增刊): 89 - 95.
- Huo Zhiguo, Li Shikui, Yang Bai. A study on climatic productivity and carrying capacity of natural pastures in inner Mongolia[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1995, 6(Supp): 89 - 95. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李银鹏, 季劲钧. 内蒙古草地生产力资源和载畜量的区域尺度模式评估[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(5): 610 - 616.
- Li Yinpeng, Ji Jinjun. Assessment of the productivity and livestock carrying capacity of Inner Mongolia grassland by regional scale modeling[J]. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(5): 610 - 616. (in Chinese with English abstract)
- [11] 丁国栋, 李素艳, 蔡京艳, 等. 浑善达克沙地草场资源评价与载畜量研究——以内蒙古正蓝旗沙地区为例[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(9): 1308 - 1042.
- Ding Guodong, Li Suyan, Cai Jingyan, et al. Pasture resources evaluation and stocking density in Hunshandake Sandy Land: Case study of Zhenglan Banner, Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(9): 1308 - 1042. (in Chinese with English abstract)
- [12] 李刚, 辛晓平, 王道龙, 等. 改进 CASA 模型在内蒙古草地生产力估算中的应用[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(22): 2100 - 2106.
- Li Gang, Xin Xiaoping, Wang Daolong, et al. Application of improved CASA model in productivity evaluation of grassland in Inner Mongolia[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(22): 2100 - 2106. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈辰, 王靖, 潘学标, 等. 气候变化对内蒙古草地生产力影响的模拟研究[J]. *草地学报*, 2013, 21(5): 850 - 860.
- Chen Chen, Wang Jing, Pan Xuebiao, et al. Simulation study regarding the impact of climate change on grass productivity in inner mongolia[J]. *Acta Agrectir Sinica*, 2013, 21(5): 850 - 860. (in Chinese with English abstract)
- [14] 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.
- Zhou Yongmei, Wang Jiangshan. A method of monitoring grassland resource in Qinghai Province using satellite data[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1996, 7(4): 507 - 510. (in Chinese with English abstract)
- [15] 牛志春, 倪绍祥. 青海湖环湖地区草地植被生物量遥感监测模型[J]. *地理学报*, 2003, 58(5): 695 - 702.
- Niu Zhichun, Ni Shaoxiang. Study on models of grassland biomass around Qinghai Lake assisted by remote sensing[J]. *Acta Geographic Sinica*, 2003, 58(5): 695 - 702. (in Chinese with English abstract)
- [16] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2008, 24(8): 147 - 151. (in Chinese with English abstract)
- [17] 祁英香. 青海湖地区草地载畜量及畜牧业可持续发展研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(33): 16551 - 16553.
- Qi Yingxiang. Study on carrying capacity of grassland and the sustainable development of animal husbandry in Qinghai lake area[J]. *Journal of Anhui Agri. Sci.* 2009, 37(33): 16551 - 16553. (in Chinese with English abstract)
- [18] 俞联平, 程文定, 陈兴荣, 等. 基于“3S”技术的甘肃省甘州区草地资源调查与评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2008, 29(6): 9 - 15.
- Yu Lianping, Cheng Wending, Chen Xingrong, et al. Investigation and evaluation of pasture resources in Ganzhou district of Gansu province based on ‘3s’ technology[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2008, 29(6): 9 - 15. (in Chinese with English abstract)
- [19] 梁天刚, 崔霞, 冯琦胜. 2001 - 2008 年甘南牧区草地上生物量与载畜量遥感动态监测[J]. *草业学报*, 2009, 18(6): 12 - 22.
- Liang Tiangang, Cui Xia, Feng Qisheng, et al. Remotely sensed dynamics monitoring of grassland aboveground biomass and carrying capacity during 2001 - 2008 in Gannan pastoral area[J]. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2009, 18(6): 12 - 22. (in Chinese with English abstract)
- [20] 刘兴元, 冯琦胜, 梁天刚, 等. 甘南牧区草地生产力与载畜量时空动态平衡研究[J]. *中国草地学报*, 2010,

- 32(1) : 99 - 106.
- Liu Xingyuan, Feng Qisheng, Liang Tiangang, et al. Spatial-temporal dynamic balance between livestock carrying capacity and productivity of rangeland in gannan of gansu province, China[J]. Chinese Journal of Grassland, 2010, 32(1): 99 - 106. (in Chinese with English abstract)
- [21] 吉哲君, 李晓媛, 王振国, 等. 甘南州天然草场载畜能力分析及其 2011 - 2015 年最优畜群结构研究[J]. 甘肃科技, 2010, 26(20) : 174 - 176.
- Ji Zhejun, Li Xiaoyuan, Wang Zhenguo, et al. Study on the animal carrying ability of grassland and the best model of herd structure in Gannan in 2011 - 2015[J]. Gansu Science and Technology, 2010, 26(20): 174 - 176. (in Chinese with English abstract)
- [22] 魏靖琼, 柳小妮, 任正超, 等. 基于 CASA 模型的甘肃省草地净初级生产力研究[J]. 草原与草坪, 2012, 32(4) : 8 - 14, 19.
- Wei Jingqiong, Liu Xiaoni, Ren Zhengchao, et al. Estimation of grassland net primary productivity based on CASA model in Gansu Province[J]. Grassland and Turf, 2012, 32(4): 8 - 14, 19. (in Chinese with English abstract)
- [23] 陈全功, 卫亚星, 梁天刚. 使用 NOAA/AVHRR 资料进行牧草产量及载畜量监测的方法研究[J]. 草业学报, 1994, 3(4) : 50 - 60.
- Chen Quangong, Wei Yaxing, Liang Tiangang. Researches on monitoring method of grassland biomass yield and carrying capacity by using NOAA/AVHRR information[J]. Acta Prataculturae Sinica, 1994, 3(4): 50 - 60. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李建龙, 任继周, 胡自治, 等. 新疆阜康县草畜平衡动态监测与调控研究[J]. 草食家畜, 1996, 17(增刊) : 32 - 43.
- Li Jianlong, Ren Jizhou, Hu Zizhi, et al. The study on dynamic monitoring and controlling of forage livestock balance in fukang, Xinjiang[J]. Grass-feeding Livestock, 1996, 17(Supp): 32 - 43. (in Chinese with English abstract)
- [25] 黄敬峰, 王秀珍, 胡新博. 新疆北部不同类型天然草地产草量遥感监测模型[J]. 中国草地, 1999(1) : 7 - 11, 18.
- Huang Jingfeng, Wang Xiuzhen, Hu Xinbo. Studies on grass yield monitoring models for different natural grassland types using remote sensing data in northern Xinjiang[J]. Grassland of China, 1999(1): 7 - 11, 18. (in Chinese with English abstract)
- [26] 柴琦, 李霞, 梁天刚. 北疆牧区山地草甸草地生产力动态监测与评价[J]. 草业科学, 2009, 26(4) : 12 - 15.
- Chai Qi, Li Xia, Liang Tiangang. Monitoring and evaluation of productivity of mountain meadow in northern Xinjiang[J]. Pratacultural Science, 2009, 26(4): 12 - 15. (in Chinese with English abstract)
- [27] 徐雅梅, 苗彦军. 西藏那曲地区草地资源现状及其开发利用对策[J]. 中国草食动物, 2001, 3(5) : 36 - 38.
- Xu Yamei, Miao Yanjun. The present situation of grassland resources and its development and utilization in Naqu of Tibet[J]. China Herbivores, 2001, 3(5): 36 - 38. (in Chinese with English abstract)
- [28] 秦泗国, 钟国辉, 王景升. 那曲草地气候格局对草地 NPP 的影响及载畜量研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7) : 159 - 164.
- Qi Siguo, Zhong Guohui, Wang Jingsheng. The Influence of climate patterns on grassland NPP and the study on livestock carrying capacity in Naqu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(7): 159 - 164. (in Chinese with English abstract)
- [29] 杨正礼, 杨改河. 中国高寒草地生产潜力与载畜量研究[J]. 资源科学, 2000, 22(4) : 72 - 77.
- Yang Zhengli, Yang Gaihe. Potential productivity and livestock carrying capacity of high frigid grassland in China[J]. Resources Science, 2000, 22(4): 72 - 77. (in Chinese with English abstract)
- [30] 李庆, 王洪涛, 刘文, 等. 以 HJ-1 卫星遥感数据估算高寒草地植被净第一性生产力的潜力评估——以若尔盖草地为例[J]. 中国沙漠, 2013, 33(4) : 1250 - 1255.
- Li Qing, Wang Hongtao, Liu Wen, et al. Evaluation on net primary productivity of alpine meadow based on HJ-1 satellite data: a case study in the Zoige grassland[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(4): 1250 - 1255. (in Chinese with English abstract)
- [31] 张慧, 沈渭寿, 王延松, 等. 黑河流域草地承载能力研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(4) : 514 - 520.
- Zhang Hui, Shen Weishou, Wang Yansong, et al. Study on grassland grazing capacity in the Heihe river basin[J]. Journal of Natural Resources, 2005, 20(4): 514 - 520. (in Chinese with English abstract)
- [32] 杨秀春, 徐斌, 朱晓华, 等. 北方农牧交错带草原产草量遥感监测模型[J]. 地理研究, 2007, 26(2) : 213 - 221.
- Yang Xiuchun, Xu Bin, Zhu Xiaohua, et al. Models of grass production based on remote sensing monitoring in northern agro-grazing ecotone[J]. Geographical Research, 2007, 26(2): 213 - 221. (in Chinese with English abstract)
- [33] 刘勇洪, 权维俊, 高燕虎. 华北植被的净初级生产力研究及其时空格局分析[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4) : 564 - 573.

- Liu Yonghong, Quan Weijun, Gao Yanhu. Net primary production and its spatio-temporal pattern in North China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 564 - 573. (in Chinese with English abstract)
- [34] 谢宝妮, 秦占飞, 王洋, 等. 黄土高原植被净初级生产力时空变化及其影响因素[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 244 - 253.
- Xie Baoni, Qin Zhanfei, Wang Yang, et al. Spatial and temporal variation in terrestrial net primary productivity on Chinese Loess Plateau and its influential factors[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(11): 244 - 253. (in Chinese with English abstract)
- [35] 尚占环, 龙瑞军. 青藏高原“黑土型”退化草地成因与恢复[J]. *生态学报*, 2005, 24(6): 652 - 656.
- Shang Zhanhuan, Long Ruijun. Formation reason and recovering problem of 'the black soil type' degraded alpine grassland in Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(6): 652 - 656. (in Chinese with English abstract)
- [36] 赵贵锋, 余成群, 武俊喜, 等. 青藏高原退化高寒草地的恢复与治理研究进展[J]. *贵州农业科学*, 2013, 41(5): 125 - 129.
- Zhao Guanfeng, Yu Chengqun, Wu Junxi, et al. Research progress on restoration and management of degraded alpine meadow in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2013, 41(5): 125 - 129. (in Chinese with English abstract)
- [37] 武高林, 杜国祯. 青藏高原退化高寒草地生态系统恢复和可持续发展探讨[J]. *自然杂志*, 2007, 29(3): 159 - 164.
- Wu Gaolin, Du Guozhen. Discussion on ecological construction and sustainable development of degraded alpine grassland ecosystem of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Nature*, 2007, 29(3): 159 - 164. (in Chinese with English abstract)
- [38] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. *生态学报*, 1996, 10(5): 497 - 508.
- Fang Jingyun, Liu Guohua, Xu Songling. Biomass and net production of forest vegetation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 10(5): 497 - 508. (in Chinese with English abstract)
- [39] NY/T 635-2002, 天然草地合理载畜量的计算. 中华人民共和国农业行业标准[S].
- [40] 陈全功. 中国草原监测的现状与发展[J]. *草业科学*, 2008, 25(2): 29 - 38.
- Chen Quanguo. Current status and development of grassland monitoring in China[J]. *Pratacultural Science*, 2008, 25(2): 29 - 38. (in Chinese with English abstract)
- [41] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12): 211 - 217.
- Bi Yuyun, Gao Chunyu, Wang Yajing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(12): 211 - 217. (in Chinese with English abstract)
- [42] 毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008.
- [43] 朴世龙, 方精云. 1982 - 1999 年青藏高原植被净第一性生产力及其时空变化[J]. *自然资源学报*, 2002, 17(3): 373 - 380.
- Piao Shilong, Fang Jingyun. Terrestrial net primary production and its spatio-temporal patterns in Qinghai-Xizang Plateau, China during 1982 - 1999. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(3): 373 - 380. (in Chinese with English abstract)
- [44] 高清竹, 万运帆, 李玉娥, 等. 基于 CASA 模型的藏北地区草地植被净第一性生产力及其时空格局[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2526 - 2532.
- Gao Qingzhu, Wan Yunfan, Li Yu'e, et al. Grassland net primary productivity and its spatiotemporal distribution in Northern Tibet: A study with CASA mode[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2526 - 2532. (in Chinese with English abstract)
- [45] 张锦铨, 祁威, 周才平, 等. 青藏高原高寒草地净初级生产力(NPP) 时空分异[J]. *地理学报*, 2013, 68(9): 1197 - 1211.
- Zhang Yili, Qi Wei, Zhou Caiping, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production (NPP) of alpine grassland on Tibetan Plateau from 1982 to 2009[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(9): 1197 - 1211. (in Chinese with English abstract)
- [46] 裴志永, 周才平, 欧阳华, 等. 青藏高原高寒草原区域碳估测[J]. *地理研究*, 2010, 29(1): 102 - 110.
- Pei Zhiyong, Zhou Caiping, Ou Yanghua, et al. A carbon budget of alpine steppe area in the Tibetan Plateau[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(1): 102 - 110. (in Chinese with English abstract)

Balance between actual number of livestock and livestock carrying capacity of grassland after added forage of straw based on remote sensing in Tibetan Plateau

Li Gang¹, Sun Weilin², Zhang Hua¹, Gao Chunyu¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy Agricultural Science, Beijing 100081, China;

2. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to quickly and accurately know grassland productivity and the balance between the actual livestock and carrying capacity of the grassland, to promote the rational use of grassland and ensure the sustainable development of ecological environment and animal husbandry on the Tibetan Plateau, it is necessary to estimate the stock capacity of natural grassland and grassland after supplementing feed, as well as understand grassland balance situation supplementing feed before and after among different administrative regions in the Tibetan Plateau. The study estimated the grass yield on the Tibetan Plateau and analyzed the yield's spatial distribution of natural grassland using an improved model of CASA combined with the data of NDVI from MODIS, grassland type maps, meteorological data, soil texture on the Tibetan Plateau. The paper adopt the method of straw-to-grain ratio to estimate the volume of straw forage among different administrative regions in the Tibetan Plateau and then to calculate the carrying capacity of the available straw resources of each county. According to the grass yield, carrying capacity of straw resource and the real number of livestock, the paper identified the overgrazing of all counties and cities with grass build balance model. The results showed that the annual grass yield of different regions in the Tibetan Plateau varied a lot in 2010, and the maximum was in Tibet with the largest grass yield of 26 428 890 tons, followed by Qinghai Province with the yield of 23.08 million tons, and Yunnan was the lowest, only 373 600 tons. The total livestock carrying capacity of natural grassland in the Tibetan Plateau was 83 630 365 (standard sheep unit, the same below), in which, the livestock carrying capacities of Qinghai, Tibet, Sichuan, Gansu and Yunnan were 28 890 963, 27 893 522, 18 540 968, 7 964 236 and 340 946, respectively. The overgrazing among each county and city in the Tibetan Plateau was very common. Without adding feed by straw forage, the quantities of the county and city with the overgrazing rate more than 5 times, between 2 and 5 times, less than 1 time accounted for 7.69%, 28.84% and 38.82% of total county and city, respectively. And the counties in which the actual number of livestock did not exceed the local maximum carrying capacity only accounted for 11.19%. In case of adding straw forage, the proportion of the counties without overgrazing remained the same, however the situation of overgrazing county improved. The proportions of the county with overgrazing rates more than 5 times, between 2 and 5 times, between 1 and 2 times decreased by 3.2%, 4.49%, 5.49%, respectively, and the proportion of the county with overgrazing rate less than 1 time increased by 2.2%. Therefore, it is necessary to strictly control the volume of cattle and sheep to match the carrying capacity of natural grassland and feeding straw resources, and to achieve sustainable development of ecological environment and animal husbandry.

Key words: remote sensing; models; straw; CASA model; grassland yield; method of straw-to-grain ratio; livestock carrying capacity; Tibetan plateau