

青海省草畜平衡遥感监测评估研究*

蔡福^{1,2}, 王学江^{2*}, 井梅秀², 苏妍², 包海忠²

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110166; 2. 青海省农牧业遥感中心, 西宁 810008)

摘要:【目的】草原畜牧业是青海省重要的支柱产业之一, 草畜平衡是草原可持续利用和畜牧业高效生产的前提。利用遥感信息与地面调查数据探讨草畜平衡监测评估方法, 为青海省草原资源合理化利用和保护、畜牧业乃至区域经济的健康可持续发展提供技术支撑。【方法】通过建立地面调查可食产草量与 NDVI 数据间定量关系模型, 结合干鲜草折算系数和放牧利用率对不同天然草地产草量进行反演; 再基于各类牲畜养殖数量的入户调查资料和合理载畜量有关标准, 对 2017 年青海省草畜平衡进行定量评估。【结果】青海省不同草地类型产草量与 NDVI 呈显著指数函数关系; 草地干草总产量为 2 774.49 万 t, 其中西宁市、海北州和黄南州干草单产最大, 超过 1 000 kg/hm², 西北部荒漠草原区单产最小, 在 300 kg/hm² 以下; 人工草地产草量为补饲来源最主要部分, 达 1 548.22 万 t, 青稞饲料次之, 为 917.19 万 t, 再次为秸秆补饲量 775.93 万 t, 粮食补饲量最少, 为 418.91 万 t。【结论】2017 年青海省牧区县合理载畜量为 3 378 万羊单位, 实际载畜量为 3 748 万羊单位, 载畜平衡指标为 11%, 总体处于临界超载状态, 其中东部和南部地区超载状态严重, 西部地区载畜不足, 中部地区载畜平衡; 半牧区合理载畜量为 212 万羊单位, 实际载畜量为 283 万羊单位, 载畜平衡指标为 33%, 严重超载。

关键词: 青海省; 遥感监测; 草畜平衡

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180309

0 引言

草地资源是畜牧业主要生产资料^[1], 中国是世界上草地资源除澳大利亚、加拿大外最丰富的国家, 天然拥有草地面积达 4 亿 hm², 占国土面积的 41.67%, 相当于耕地、林地各自面积的 3.3 倍和 3 倍^[2], 在国民经济社会发展中扮演着重要角色。合理利用草地资源将有利于推进畜牧业持续稳定发展, 对于做好“三农”工作、稳定增加农民收入和调整农村产业结构等具有重要意义^[3]。草畜平衡是在适度放牧(或割草)利用并维持草地可持续生产的条件下, 满足承养家畜正常生长、繁殖、生产畜产品的需要, 所能承养的家畜头数和时间, 也可认为是草原使用者为保护草原生态系统良性循环, 通过草原和其他途径获取的可利用草料总量与其饲养牲畜的草料需要量之间的动态平衡^[4], 是天然

收稿日期: 2018-05-28

第一作者简介: 蔡福(1980—), 男, 辽宁海城人, 博士, 副研究员。研究方向: 农业遥感。Email: caifu_80@163.com

*通信作者简介: 王学江(1965—), 男, 河南南阳人, 高级农艺师。研究方向: 农业遥感。Email: wangxj_qh@126.com

基金项目: 中国气象局沈阳大气环境研究所 2018 年开放基金课题: 基于 Modis 数据的青海省农牧区草畜平衡监测及评估研究

2018年6月

草地可持续利用和放牧家畜高效生产的前提。草畜平衡评估技术则是实现草原生态保护和草原畜牧业可持续发展的基础^[5]。

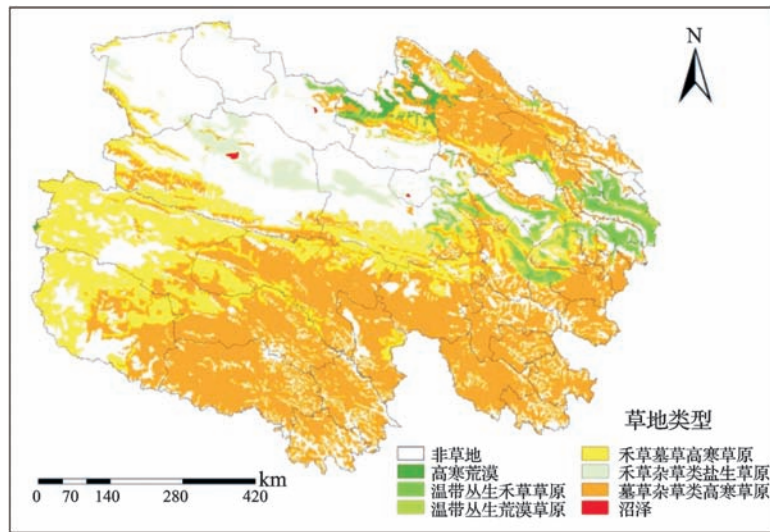
国内外相关研究均证实,长期持续超载过牧必然导致天然草地的退化和荒漠化^[6]。关于草畜平衡的计算方法已有不少学者进行了相关研究,如根据降雨—草地生产力—载畜量之间的关系进行草地承载力研究^[7-8]。国内学者在草地生产力和草畜平衡研究方面多是基于气候、草原生产力、牲畜量等角度开展的研究,取得了一系列的重要成果^[9-10]。由于我国草原类型多,放牧利用率差异大,草畜平衡的计算受到明显影响,尤其在宏观尺度上影响更大。另外,由于牧草的生长规律,草原在不同时间可供牲畜采食的饲草量不同,草原承载牲畜的能力不同,特别是同一草地暖季和冷季载畜能力差别较大^[11-12],增加了草畜平衡计算难度。针对上述现状和存在的问题,徐斌等^[10]参考了农业部行业标准《天然草地合理载畜量的计算》,通过总饲草料储量和牲畜标准采食量等计算合理载畜量,并与实际载畜量相结合构建草畜平衡指数,评价牧区半牧区的草畜平衡状况,为我国草地资源合理化利用和保护提供重要的理论依据和科学参考。虽然该研究在国家尺度得到一些重要结论,但由于实地调查资料缺乏,针对某个区域考虑的各类指标比较单一,甚至把某些省划分为载畜平衡相同的区域,这一结论明显不能实现对主要草原省份草畜平衡的准确评估。草地是青海境内最大的陆地生态系统,也是非常脆弱的自然生态系统,总面积4 212.7万hm²,其中天然草地面积4 191.7万hm²,占全省各类生态系统总面积的60.47%^[13]。草原畜牧业是青海省支柱产业之一,及时、准确监测评估草畜平衡状况直接关系到草原畜牧业乃至区域经济的健康可持续发展,对青海省生态保护与建设起到重要支撑作用。

针对以往研究的不足,本研究拟利用MODIS数据,通过建立遥感光谱信息与地面样方调查数据之间的定量关系模型,对2017年青海省草地产草量进行动态监测,并结合各类牲畜养殖数量的入户调查资料和合理载畜量有关标准对全省草畜平衡进行评估,旨在建立一套青海省草畜平衡定量评估方法,为开展相关领域业务及科研工作提供科学依据。

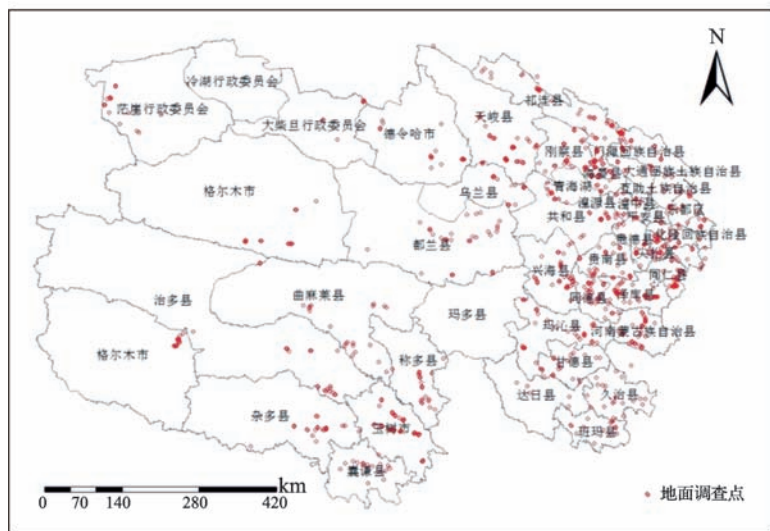
1 研究区域与方法

1.1 研究区域及资料

青海省位于青藏高原东北部,地理位置介于北纬31° 19′ ~31° 39′,东经89° 35′ ~103° 04′。开展遥感监测所采用的数据为中分辨率成像光谱仪(MODIS)的陆地二级标准产品MOD13Q1,该产品为栅格归一化植被指数和增强型植被指数(NDVI/EVI)经16天最大值合成数据(Maximum Value Composites, MVC),空间分辨率为250 m。植被类型来源于《中华人民共和国植被图(1:1 000 000)》^[14],该图是集全国260余名植被生态学与农林牧业专家经过20余年的努力和一再修订完善的巨制,它详细反映了我国11个植被类型组、55个植被型的960个群系和亚群系植被单位的分布状况、水平地带性和垂直地带性分布规律,及其与气候因子和地面环境因子的关系^[15]。青海省植被分类情况见图1(a)。



(a)



(b)

图 1 青海省植被类型和地面调查点分布

Fig. 1 The distributions of vegetation types and field survey sample points of Qinghai province

此外，本研究还采用青海省的省级和县级行政边界数据作为区域划分界线。地面调查数据来自 2017 年各县的实地调查数据，共计 1 594 个样点，内容包括样方编号、经纬度、海拔、植物盖度、草群平均高度、总产草量鲜重、可食产草量鲜重等，样点分布见图 1(b)。总产草量的测定在草群生长旺盛、产量最高的时间（8 月）进行，测定方法为：齐地面剪割草地地上部牧草后称重。草地可食产草量是最高月产草量减去有毒、有害和不可食草的重量^[16]。补充饲料粮和各类牲畜养殖数量来源于分县调查数据，2017 年共对青海省 25 个县的人工草地面积及产草量、补饲量各分量（秸秆、青稞、粮食等）、补饲天数、各类牲畜数量进行调查。

2018年6月

1.2 研究方法

1.2.1 遥感数据的处理

选用2017年7—8月NDVI数据进行最大值合成(MVC),得到青海省NDVI最大值空间分布数据(图2)。

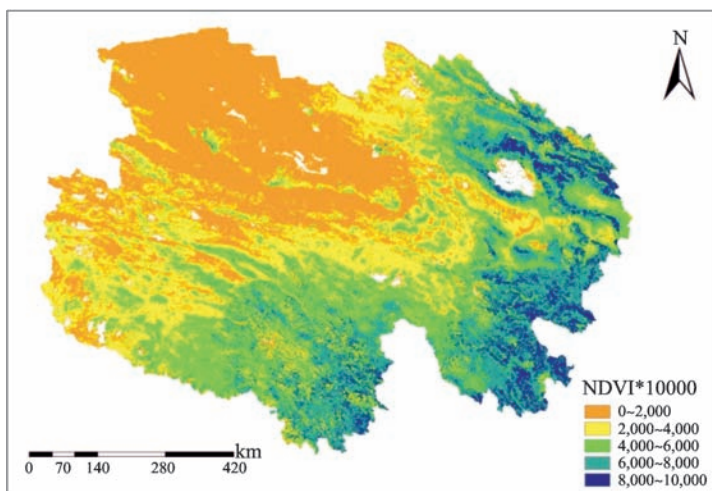


图2 2017年青海省NDVI(MVC)数据

Fig.2 NDVI (Maximum Value Composites) for grassland in Qinghai province in 2017

1.2.2 草畜平衡评估方法

草畜平衡是结合天然草地上的产草量、牲畜采食量和补饲料量得出理论载畜量,用实际载畜量和理论载畜量来进行评估,关键是获取监测单元内(县)的牲畜数量(换算为标准羊单位)和可被牲畜利用的饲草总量。具体计算过程如下。

(1) 天然草地产草量计算

$$G_n = G_e \times I_{dry} \times f \quad (1)$$

其中, G_n 为天然草地产草量, G_e 为可食产草量干重,根据遥感测产方法得到, I_{dry} 为标准干草折算系数, f 为放牧利用率。由于折算系数和放牧利用率都是范围数据,在实际计算时,需要确定不同草地类型的折算系数和放牧利用率。根据《草地合理载畜量计算》标准^[17]及辛有俊等^[13]研究成果,把青海省草地类型分为9类,确定不同类别草地的折算系数和放牧利用率(表1)。

表1 不同草地类型的折算系数、放牧利用率及估算模型

Table 1 Conversion coefficients, grazing efficiencies and evaluation models of different types of grasslands

草地类型	参照草地类型	标准干草折算系数	放牧利用率 (%)	估算模型
高寒荒漠类	荒漠草地	0.900	37.5	$y=142.59e^{0.0004x}$ ($R^2=0.99$)
温带丛生禾草草原类	禾草温性草原和山地草甸	1.000	42.5	$y=333.7e^{0.0003x}$ ($R^2=0.71$)
温带丛生荒漠草原类	荒漠草地	0.900	32.5	$y=106.98e^{0.0005x}$ ($R^2=0.74$)
禾草、藁草高寒草原类	禾草高寒草甸和高寒草原	1.025	37.5	$y=306.1e^{0.0003x}$ ($R^2=0.71$)

续表

草地类型	参照草地类型	标准干草 折算系数	放牧利用率 (%)	估算模型
禾草、杂类草盐生草甸类	杂类草高寒草地	0.900	55.0	$y=346.54e^{0.0005x}$ ($R^2=0.78$)
藁草、杂类草高寒草甸类	杂类草高寒草地	0.900	55.0	$y=61.715e^{0.0005x}$ ($R^2=0.70$)
寒温带、温带沼泽类	杂类草草甸和沼泽	0.875	25.0	同嵩草、杂类草高寒草甸公式
高寒沼泽类	杂类草草甸和沼泽	0.875	25.0	同嵩草、杂类草高寒草甸公式

注: y 表示总产草量鲜重 (kg/hm^2), x 表示放大 10 000 倍的 NDVI, 数值范围为 -10 000—10 000。

(2) 牲畜采食量计算

牲畜采食量是一个复杂的动态过程, 宏观估算中可以进行简化, 以完全放牧天数进行粗略估算。计算公式如下:

$$G_g = C_{tr} \times u \times D \quad (2)$$

其中, G_g 为牲畜采食量; C_{tr} 为实际载畜量, 单位为羊单位, 对于羊以外的其他草食牲畜均依据表 2 折算为标准羊单位, 不同牲畜资料来自牧区和半牧区县上年度末畜牧业统计数据 and 当年家畜补饲情况的调查数据; u 为每头羊日食草量, 为 1.8 kg; D 为完全放牧天数, 经调查, 青海省完全放牧时间为 4—10 月, 即 214 d。

表 2 各种草食动物折算为标准羊单位的系数^[17]

Table 2 Conversion coefficients of standard sheep unit for different herbivores

牲畜类型	绵羊	山羊	黄牛	牦牛	马	骆驼	驴	骡
折算系数	0.9	0.8	6.0	4.5	6.0	8.0	3.0	6.0

县的实际载畜量计算如下:

$$C_{tr} = \sum_{i=1}^n (S_i \times f_i) \quad (3)$$

式中, n 代表草食牲畜的种类, S_i 为第 i 类草食牲畜的数量, f_i 为第 i 类草食牲畜的折算系数。

(3) 补充饲料量计算

补充饲料量的计算数据主要来源于县调查数据, 主要包括人工草地产草量、补饲秸秆量、青贮饲料量和粮食补饲量等。

$$G_s = G_a + \frac{G_c}{2} + \frac{G_d}{3} + G_f \quad (4)$$

式中, G_s 为县总补饲量, G_a 为人工草地草量, G_c 为秸秆补饲量, G_d 为青储补饲量, G_f 为粮食补饲量。

(4) 饲草料总量计算

饲草量总量 (G_{all}) 的计算公式如下:

$$G_{all} = G_n + G_g + G_s \quad (5)$$

(5) 合理载畜量计算

合理载畜量 (C_r) 是指能保持草场健康和可持续发展的条件下, 草场可最大限度承载的牲畜数量。计算公式如下:

2018年6月

$$C_r = \frac{G_{all}}{(u \times 365)} \quad (6)$$

(6) 草畜平衡指标计算

根据各县计算的实际载畜量和合理载畜量进行草畜平衡状况的划分，载畜平衡指标(B)的计算公式如下：

$$B = \frac{(C_{lr} - C_r)}{C_r} \times 100\% \quad (7)$$

(7) 草畜平衡等级划分

根据各县(市)计算的具体草畜数据情况，进行草畜平衡状况的划分。参照《资源环境承载能力监测预警技术方法(试行)》^[18](2016)并结合青海省实际情况，将载畜情况分为5级，即：<-10%载畜不足，-10%~10%载畜平衡，10%~15%临界超载，15%~30%超载，>30%严重超载。

2 结果与分析

2.1 天然草地产草量计算

针对地面样点数据，剔除部分偏差较大的地面样方点，按草地类型建立NDVI最大值与样方可食产草量鲜重的关系(表1)。用决定系数R²来判断模型的拟合效果，R²越大，模型拟合效果越好。本研究中不同草地类型的R²值均在0.70以上，表明模型拟合效果较好。利用上述关系反演得到青海省草地产草量鲜重空间分布图(图3a)。对遥感估算得到的产草量鲜重数据依据《中国草地资源》中的各类草地类型折算干草的系数^[19](表3)计算得到可食产草量干重空间数据(图3b)。根据公式(1)计算得到天然草地产草量。

表3 各类草地类型折算干草的系数

Table 3 Hay conversion coefficients of different types of grasslands

草地类型	折算系数	草地类型	折算系数
低地草甸类	1/3.5	山地草甸类	1/3.5
改良草地	1/3.2	温性草原化荒漠类	1/2.5
高寒草甸草原类	1/3.2	温性草原类	1/3.0
高寒草甸类	1/3.2	温性荒漠草原类	1/2.7
高寒草原类	1/3.0	温性荒漠类	1/2.5
高寒荒漠草原类	1/2.7	沼泽类	1/4.0
高寒荒漠类	1/2.5		

从遥感监测结果来看，青海省草地总产草量空间分布差异比较明显。鲜草单产在4 000 kg/hm²以上的区域主要分布在东部零星地区；单产为2 000~4 000 kg/hm²的地区主要分布在东部局部区域；单产为1 000~2 000 kg/hm²的区域主要分布在东部和南部；单

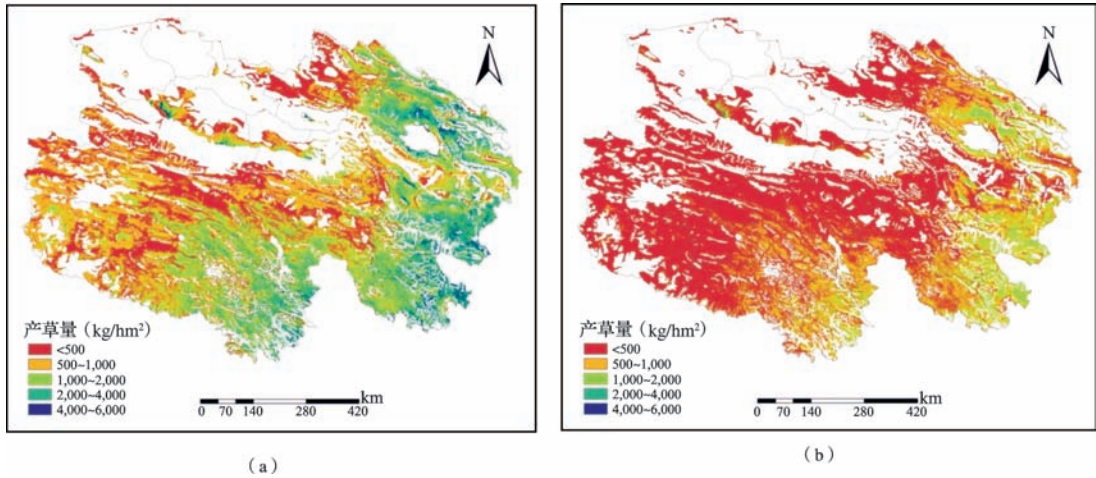


图 3 2017 年青海省草地产草量鲜重 (a) 和干重 (b) 空间分布

Fig.3 The spatial distributions of fresh (a) and dry (b) weight of grass yield for grassland in Qinghai province in 2017

产为 500~1 000 kg/hm^2 的区域主要分布在中部和西部；单产在 500 kg/hm^2 以下的区域主要分布于北部和西部。干草单产的空间分布格局与鲜草相似，以东部和南部地区居多。

2.2 青海各地区产草量情况

以县级行政边界统计各行政单元产草量情况，再进行市（州）级行政区尺度求和，得出 2017 年青海省草地鲜草总产量为 8 732.03 万 t，干草总产量为 2 774.49 万 t（表 4）。

表 4 2017 年青海省各地区草地产草量情况

Table 4 Grass yields in different areas in Qinghai province in 2017

地区	面积 (万 hm^2)	鲜重 (万 t)	干重 (万 t)	干重单产 (kg/hm^2)
西宁市	46.51	189.28	61.12	1 313.97
海东市	75.51	205.33	68.47	906.81
海北州	236.97	792.21	250.04	1 055.14
海西州	1 289.44	1 518.04	488.71	379.01
海南州	293.94	757.99	247.36	841.56
玉树州	1 638.04	2 937.43	928.36	566.75
果洛州	597.32	1 723.5	539.58	903.34
黄南州	143.33	608.25	190.85	1 331.52
青海省	4 321.06	8 732.03	2 774.49	642.08

干草单产居前 3 位的市（州）分别是西宁市、海北州和黄南州，超过 1 000 kg/hm^2 。平均干草单产小于 300 kg/hm^2 的县主要位于青海省西北部荒漠草原区的德令哈市和茫崖行委、冷湖行委。

2.3 补充饲料量情况

2017 年青海省各地区秸秆补饲量、青储饲料量、人工草地产量和粮食补饲量见表 5。

2018年6月

表5 2017年青海省各地补充饲料量情况

万t

Table 5 Condition of supplement feeds in different areas in Qinghai province in 2017 (Ten thousand tons)

地区	县名	人工草地产草总量	补饲秸秆等总量	青稞饲料总量	粮食补饲量
西宁	大通回族土族自治县	36.90	175.50	25.00	137.00
	湟中县	141.15	60.26	25.00	30.83
	湟源县	12.80	8.58	60.00	1.30
海东州	互助土族自治县	25.00	133.94	60.00	66.00
	平安县	50.00	4.01	45.00	11.36
	化隆回族自治县	59.79	10.8	80.00	15.29
	民和回族土族自治县	54.86	242.8	523.67	115.84
海北州	乐都区	45.04	38.43	45.00	13.95
	门源回族自治县	133.35	43.88	4.18	0.17
	祁连县	64.65	—	—	—
海西州	海晏县	90.64	3.65	15.00	—
	乌兰县	1.80	—	—	—
	德令哈市	6.70	0.31	0.28	0.19
海南州	格尔木市	0.08	—	0.1	0.03
	共和县	91.13	18.04		21.76
	同德县	54.68	5.28	19.2	0.05
	贵德县	0.65	0.60	0.65	0.001
果洛州	贵南县	525.30	26.61	13.31	0.89
	玛沁县	9.52	—	—	—
	班玛县	6.97	—	—	—
黄南州	同仁县	17.25	—	—	—
	尖扎县	9.66	3.25	—	2.18
	泽库县	56.75	—	0.81	2.06
	河南蒙古族自治县	53.58	—	—	—
	小计	1 548.22	775.93	917.19	418.91

2.4 牧区、半牧区草畜平衡评估结果

根据式(1)~(7)可以求得载畜平衡指标,根据草畜平衡划分等级可实现对青海省牧区及半牧区草畜平衡状况进行评价。表6给出2017年青海省牧区和半牧区草畜平衡评估结果。

表6 2017年青海省草畜平衡评估结果

Table 6 Evaluation result of grassland-livestock balance in different areas in Qinghai province in 2017

区域	县(市)	实际载畜量 (万羊单位)	合理载畜量 (万羊单位)	载畜平衡指标 (%)	评价等级
半牧区	门源县	110.62	82.82	33.58	严重超载
	贵德县	55.46	39.26	41.28	严重超载
	同仁县	60.16	51.85	16.01	超载
	尖扎县	56.65	37.62	50.59	严重超载

续表

区域	县(市)	实际载畜量 (万羊单位)	合理载畜量 (万羊单位)	载畜平衡指标 (%)	评价等级
牧区	刚察县	193.01	159.47	21.04	超载
	海晏县	69.54	60.32	15.27	超载
	祁连县	194.09	160.28	21.10	超载
	天峻县	94.13	110.66	-14.94	载畜不足
	德令哈市	30.07	28.45	5.69	载畜平衡
	格尔木市	39.18	104.18	-62.39	载畜不足
	都兰县	85.15	80.86	5.31	载畜平衡
	共和县	216.04	156.22	38.29	严重超载
	兴海县	216.74	160.08	35.39	严重超载
	同德县	173.53	123.35	40.68	严重超载
	贵南县	142.15	102.36	38.87	严重超载
	囊谦县	232.62	174.06	33.64	严重超载
	曲麻莱县	198.24	187.04	5.99	载畜平衡
	杂多县	198.12	205.21	-3.45	载畜平衡
	治多县	150.79	190.55	-20.87	载畜不足
	玉树市	280.59	231.07	21.43	超载
	称多县	141.54	136.29	3.85	载畜平衡
	久治县	142.63	136.16	4.75	载畜平衡
	玛多县	43.25	65.05	-33.51	载畜不足
	玛沁县	106.03	113.48	-6.56	载畜平衡
	班玛县	121.28	103.82	16.82	超载
	甘德县	99.58	98.28	1.32	载畜平衡
	达日县	76.77	106.89	-28.18	载畜不足
	河南县	260.60	194.59	33.92	严重超载
	泽库县	191.07	153.79	24.24	超载
	乌兰县	50.93	35.07	45.23	严重超载

全省牧区和半牧区县中, 5个县载畜不足, 占 17%; 8个县载畜平衡, 占 28%; 7个县超载, 占 24%; 10个县严重超载, 占 33%。

牧区县共有 26 个, 2017 年合理载畜量为 3 378 万羊单位, 实际载畜量为 3 748 万羊单位, 载畜平衡指标为 11%, 处于临界超载状态(表 7), 其中载畜不足的县有 5 个: 天峻县、格尔木市、治多县、玛多县和达日县, 合理载畜量为 577 万羊单位, 而实际载畜量为 404 万羊单位; 载畜平衡的县有 8 个: 德令哈市、都兰县、曲麻莱县、杂多县、称多县、久治县、玛沁县和甘德县, 合理载畜量为 986 万羊单位, 实际载畜量为 1 001 万羊单位; 超载的县有 6 个: 刚察县、海晏县、祁连县、玉树市、班玛县和泽库县, 合理载畜量为 869 万羊单位, 实际载畜量为 1 050 万羊单位; 严重超载的县有 7 个: 共和县、乌兰县、兴海县、同德县、贵南县、囊谦县和河南县, 合理载畜量为 946 万羊单位, 实际载畜量为 1 293 万羊单位。

2018年6月

表 7 2017年青海牧区县草畜平衡情况

Table 7 Condition of grassland-livestock balance in pastoral counties in Qinghai province in 2017

等级	县个数	合理载畜量 (万羊单位)	实际载畜量 (万羊单位)	载畜平衡指标 (%)
载畜不足	5	577	404	-30
载畜平衡	8	986	1 001	2
超载	6	869	1 050	21
严重超载	7	946	1 293	37
青海牧区	26	3 378	3 748	11

半牧区县有 4 个, 2017 年合理载畜量为 212 万羊单位, 实际载畜量为 283 万羊单位, 载畜平衡指标为 33%, 处于严重超载状态 (表 8), 超载的县是同仁县, 合理载畜量为 52 万羊单位, 实际载畜量为 60 万羊单位; 严重超载的县有 3 个, 包括门源县、贵德县和尖扎县, 合理载畜量为 160 万羊单位, 实际载畜量为 223 万羊单位。从空间格局上看, 牧区东部和南部地区超载状态严重, 而西部地区载畜不足, 中部地区处于载畜平衡状态, 半牧区均处于超载状态 (图 4)。

表 8 2017年青海半牧区县载畜平衡指标与等级

Table 8 Condition of grassland-livestock balance in semi-pastoral counties in Qinghai province in 2017

等级	县个数	合理载畜量 (万羊单位)	实际载畜量 (万羊单位)	载畜平衡指标 (%)
超载	1	52	60	16
严重超载	3	160	223	39
青海半牧区	4	212	283	33

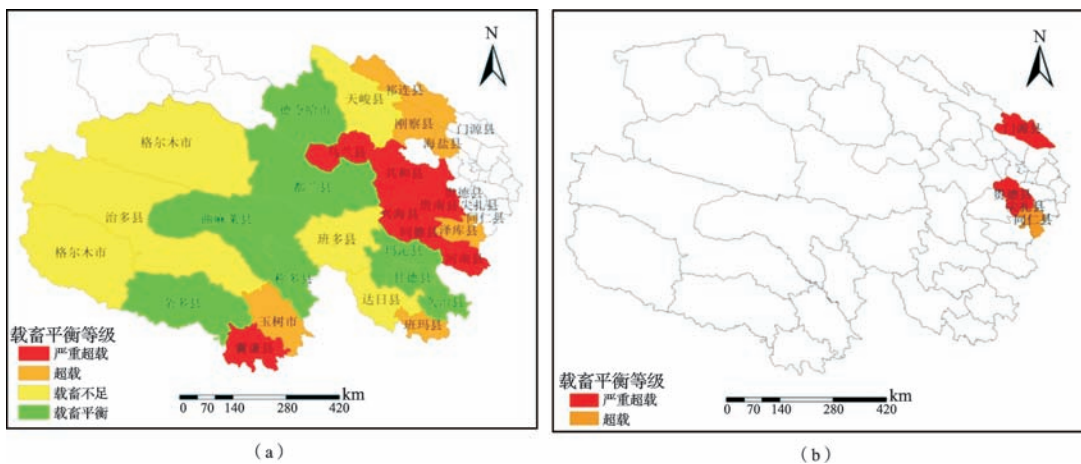


图 4 2017年青海省牧区 (a) 和半牧区 (b) 县草畜平衡空间分布情况

Fig.4 Spatial distributions of grassland-livestock balance in pastoral (a) and semi-counties in Qinghai province (b) in 2017

3 结论

(1) 青海省不同草地类型可食产草量与 NDVI 呈显著指数函数关系, 估算模型决定系数 R^2 都在 0.70 以上, 其中高寒荒漠类草地的估算精度最高, R^2 达 0.99, 禾草、藁草高寒草原类草地估算精度较低, R^2 为 0.70。

(2) 遥感估算青海省 2017 年草地鲜草总产量为 8 732.03 万 t, 干草总产量为 2 774.49 万 t。其中西宁市、海北州和黄南州干草单产最大, 超过 1 000 kg/hm², 西北部荒漠草原区的德令哈市和茫崖行委、冷湖行委单产最小, 在 300 kg/hm² 以下。补饲量各分量中, 人工草地产草量为最主要部分, 总量达 1 548.22 万 t, 青稞饲料次之, 为 917.19 万 t, 再次为秸秆补饲量 775.93 万 t, 粮食补饲量最少, 为 418.91 万 t。

(3) 青海省牧区县 2017 年合理载畜量为 3 378 万羊单位, 实际载畜量为 3 748 万羊单位, 载畜平衡指标为 11%, 处于临界超载状态, 其中牧区东部和南部地区超载状态严重, 而西部地区载畜不足, 中部地区处于载畜平衡状态。半牧区 2017 年合理载畜量为 212 万羊单位, 实际载畜量为 283 万羊单位, 载畜平衡指标为 33%, 处于严重超载状态。

4 讨论

本研究所采用的植被类型空间分布资料对草地分类较粗, 不能与《天然草地合理载畜量的计算》标准中草地类型相匹配, 是产草量计算过程中较为重要的误差来源, 进而可能导致草畜平衡评估精度的下降。因此, 准确的草地类型空间分布数据是改善评估精度的重要前提。此外, 地面生物量调查数据的空间代表性是建立可食产草量与遥感光谱信息之间准确关系的基础, 青海地区地形地貌复杂, 中西部地区更是环境恶劣, 地面采样工作困难, 大大降低了调查资料的有效性, 这也将引起产草量的估算误差。除了上述可能对草畜平衡评估结果产生的误差以外, 分析草畜平衡状况的可能成因为, 一方面, 青海牧区海拔较高、气候恶劣, 雪灾、旱灾等自然灾害频繁, 是导致草原载畜处于临界超载状态的最主要原因。另外, 青海省城市、城镇的奶类和肉制品主要来源于牧区和半牧区, 使载畜量增大, 也是导致超载的一个重要原因。

参考文献

- [1] 辛玉春. 论青海天然草地分类系统. 青海草业, 2015, 24(3): 23~30.
- [2] 张新时, 唐海萍, 董孝斌, 等. 中国草原的困境及其转型. 科学通报, 2016, 61(2): 165~177.
- [3] 沈海花, 朱言坤, 赵霞, 等. 中国草地资源的现状分析. 科学通报, 2016, 61: 139~154.
- [4] 中华人民共和国农业部. NY/T 635-2002 天然草地合理载畜量的计算. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [5] 纪亚军, 刘迎春. 青海省牧区实施草畜平衡中的问题及解决措施. 青海省畜牧兽医杂志, 2006, 36(3): 42~44.
- [6] 董世魁, 任继周, 方锡良, 等. 养殖业的农业伦理学之度. 草业科学, 2018, 35(9): 2059~2067.
- [7] Yu L, Zhou L, Liu W, et al. Using remotes sensing and GIS technologies to estimate grass yield and livestock carrying capacity of alpine grasslands in Golog prefecture, China. Pedosphere, 2010, 20(3): 342~351.
- [8] Paudel K P, Andersen P. Assessing rangeland degradation using multi-temporal satellite images and grazing pressure surface model in Upper Mustang, Trans Himalaya, Nepal. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 1845~1855.

2018年6月

- [9] 邴芳, 陈强强, 张德栋. 甘肃草原牧区相对资源承载力区域差异. 草业科学, 2016, 33(12): 2587~2596.
- [10] 徐斌, 杨秀春, 金云翔, 等. 中国草原牧区和半牧区草畜平衡状况监测与评价. 地理研究, 2012, 31(11): 1998~2006.
- [11] 孟宝平, 陈思宇, 崔霞, 等. 基于多源遥感数据的高寒草地生物量反演模型精度——以夏河县桑科草原试验区为例. 草业科学, 2015, 32(11): 1730~1739.
- [12] 杨文义, 王英舜, 贺俊杰. 利用遥感信息建立草原冷季载畜量计算模型的研究. 中国农业气象, 2001, 22(1): 39~42.
- [13] 辛玉春, 杜铁瑛, 辛有俊. 青海天然草地生态系统服务功能价值评价. 中国草地学报, 2012, 34(5): 5~9.
- [14] 中国科学院《中国植被图》编辑委员会. 中华人民共和国植被图. 北京: 地质出版社, 2007.
- [15] 《中华人民共和国植被图(1:1000000)》及其说明书出版. 生态学报, 2008, 28(3): 1337.
- [16] 青海省草原总站. 青海草地资源. 西宁: 青海人民出版社, 2012.
- [17] 王立亚, 尚永成, 陆阿飞, 等. DB63/T1176—2013. 草地合理载畜量计算. 青海省地方标准, 2013.
- [18] 国家发展改革委, 等. 资源环境承载能力监测预警技术方法(试行), 2016.
- [19] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 全国畜牧兽医总站. 中国草地资源. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.

Remote sensing monitoring and evaluating of grassland–livestock balance in Qinghai province

Cai Fu^{1, 2}, Wang Xuejiang^{2*}, Jing Meixiu², Su Yan², Bao Haizhong²

(1. Institute of Atmospheric Environment, China Meteorological Administration, Shenyang 110166, China;

2. Center of agriculture and husbandry remote sensing of Qinghai province, Xining 810008, China)

Abstract: [**Purpose**] Grassland animal husbandry is one of the important pillar industries in Qinghai province and the grassland–livestock balance is essential for sustainable utilization of grassland and high–efficient production of animal husbandry. Based on remote sensing information and field survey data, the evaluation method of grassland–livestock balance for Qinghai province has been developed, which is able to provide technical support for protecting and utilizing grassland resource and developing sustainably and healthily animal husbandry and regional economics. [**Method**] The grass yields of different types of natural grasslands were inversed by using the established quantitative relation model between NDVI and the edible grass yield from field sample survey and integrating conversion coefficients between dry and fresh grass and grazing efficiencies. The grassland–livestock balance status in Qinghai province in 2017 was quantitatively evaluated by considering synthetically the household survey data on the amount of livestock production and the relevant standards on reasonable carrying capacity. [**Result**] The relationships between the grass yields of different types of grasslands and NDVI were all significant exponential function. Total amount of hay in Qinghai province was 27.744 9 million tons. More specifically, the maximal yield per unit of hay larger than 1 000 kg/hm² is distributed in Xining, Haibei and Huangnan prefecture, while the minimal yield per unit lower than 300 kg/hm² is distributed in the desert steppe area of northwest Qinghai. In addition, the main supplement feed derives from the grass yield of artificial grassland of 15.482 2 million tons, the highland barley feed of 9.171 9 million tons, the straw of 7.759 3 million tons and the cereal supplementary feed

of 4.189 1 million tons. [**Conclusion**] The major pastoral counties in Qinghai province where the actual grazing capacity with 37.48 million sheep unit is larger than the theoretical that with 33.78 million sheep unit and the index of grassland–livestock (IGL) are 11% are in critical overgrazing level in general in 2017. Specifically, the seriously overgrazed areas are distributed in the east and south of pastoral area and the grazing capacity in the west of pastoral area is insufficient. However, the grassland and livestock in the center pastoral area is in balance. Whereas, the grassland in semi–pastoral area is severely overloaded because the actual grazing capacity with 2.83 million sheep unit is much larger than the theoretical that with 2.12 million sheep unit and IGL is 33%.

Key words: Qinghai province;remote sensing monitoring;grassland–livestock balance