我国草地面积有多大?

方精云^{1,2*}, 耿晓庆¹, 赵霞¹, 沈海花¹, 胡会峰¹

1. 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871

* 联系人, E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

2017-11-01 收稿, 2018-03-12 修回, 2018-03-13 接受, 2018-06-05 网络版发表

中国科学院前沿科学重点项目(QYZDY-SSW-SMC011)、中国科学院科技服务网络计划重点项目(KFJ-STZ-ZDTP-004)和国家自然科学基金(31330012, 31621091)资助

摘要 草地是不可或缺的自然资源, 但关于我国草地面积到底有多大存在很大争议. 本文主要利用植被分布与降水之间的相关关系来探讨我国草地的分布和面积. 归一化植被指数(NDVI)数据能够很好地反映植被的覆盖状况, 与降水之间也存在良好的相关关系, 因此可以通过建立已知草原地区的降水与NDVI的关系来反演草地的分布和面积. 利用此方法及与遥感数据相匹配的过去30年(1982~2011年)的平均降水量数据, 估算得到我国的草地总面积约为 $293 \times 10^4 \text{ km}^2$. 将研究期间的降水数据每5年求其平均, 估算得到我国草地面积的年际变化并不显著, 变动于 $290 \times 10^4 \sim 295 \times 10^4 \text{ km}^2$.

关键词 草地面积, 空间分布, 降水, 归一化植被指数(NDVI)

草地是陆地生态系统的重要组成部分, 具有重要的生产和生态功能. 它是畜牧业的重要生产基地, 同时在调节气候、保持水土、改良土壤和维持生物多样性方面也发挥着重要作用. “草地”至今没有一个统一、明确的定义. 在植物生态学或者植物地理学范畴, 草地通常是指以草本植物占优势的植物群落, 主要包括草原、草甸、草丛、草本沼泽等天然植被, 以及草本植物(不包含农作物)占优势的栽培群落^[1]. 任继周^[2]认为, 草地是土地资源的一种特殊类型, 主要生长草本植物, 或兼有灌木和稀疏乔木, 可以为家畜和野生动物提供食料和生存场所, 并为人类提供优良的生活环境和其他多种生物产品, 是多功能的草业基地, 它不包括植被盖度在5%以下的永久禁牧草地. 本文的草地是指植物生态学或植物地理学范畴上的定义.

草地面积是反映草地资源属性的一种重要指标, 是草地生物量及生产力计算的基础, 获取准确的草地

面积对制定合理的草地保护和利用策略具有重要的指导意义. 我国草地面积的统计有多种来源, 如全国范围的草地清查统计、利用遥感数据估算等. 这些估算方法得到的面积差异较大, 甚至相差数倍. 例如, 按照全国草地资源普查数据, 我国的草地面积约在 $349 \times 10^4 \sim 392 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[3~5]; 而按中国植被图估算, 我国天然草地面积分别为 $280 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[1,6](1:100万植被图)和 $406 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[7,8](1:400万植被图). 利用卫星遥感数据估算的草地面积, 也因数据来源不同、分类方法不同而不尽相同. 例如, 利用8 km空间分辨率的美国国家海洋和大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的甚高分辨率扫描辐射计(Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR)数据, 得到的结果为 $167 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[9]; 基于MODIS数据所得的面积为 $225 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[10]; 利用30 m分辨率的环境与灾害监测预报小卫星(HJ-1A/B)为主要数据源产生的

引用格式: 方精云, 耿晓庆, 赵霞, 等. 我国草地面积有多大? 科学通报, 2018, 63: 1731–1739

Fang J Y, Geng X Q, Zhao X, et al. How many areas of grasslands are there in China (in Chinese)? Chin Sci Bull, 2018, 63: 1731–1739, doi: 10.1360/N972018-00032

2010年土地覆盖数据,草地面积约为 $191.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ [11]。

不同方法得到的草地面积相差很大,那么我国草地的面积到底有多大,空间分布又是如何,这是本文要解决的主要问题。从宏观角度讲,气候决定着植被的地理分布,植被分布反映着气候的区域特征 [12]。研究表明,在我国西北等半干旱及干旱区域,降水是植被分布和生长的主要限制因子 [13-16],而草地的分布更受水分条件的影响。因此,本文利用草地分布与降水之间的关系来确定草地的分布区域,并由此估算我国草地的面积;此外,利用降水的年际变化来估算草地面积年际波动。

1 材料与方法

1.1 数据来源

(i) 归一化植被指数数据。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)可以表征植被的覆盖状况。本文采用美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)全球监测与模型研究组(global inventory modelling and mapping studies, GIMMS)生产的空间分辨率为8 km、时间步长为半月、时间序列为1982~2011年的NDVI3g数据集 [17,18]。GIMMS NDVI数据集进行了辐射校正、几何校正、除坏线等处理,消除了太阳方位角、平流层气溶胶、传感器错误以及火山喷发带来的影响。为了有效地减少大气中来自云、气溶胶、视角的干扰,利用最大值合成法(maximum value composites, MVC) [19]获取NDVI月值 [20]。

(ii) 气候及植被数据。气候数据采用1982~2011年全国837个气象站点(768个站点数据来自国家气象局、69个来自内蒙古自治区气象局)的年降水量数据。本文对837个站点1982~2011年的年平均降水量进行30年平均,以及每5年平均。根据各气象站点的经纬度信息,利用Surfer软件对气象数据进行空间Kriging插值 [21],获取与NDVI数据空间分辨率一致,投影系统相同的气象栅格数据。

植被数据来自1:100万中国植被图(2007)和1 km分辨率中国植被功能型图 [22]。中国植被功能型图利用中国土地利用数据、中国植被图集的植被型分类、中国冰川图、中国沼泽湿地图和2001年中分辨率成像光谱仪(moderate resolution imaging spectroradiometer, MODIS)土地覆盖产品进行数据融合,所产生的

中国土地覆盖数据。

1.2 确定草地分布区的原则和方法

我国草地按其集中分布的程度可粗略地分为两大类:集中连片分布的温带草地(或称北方草地)和离散块状分布的亚热带草丛草坡(或称南方草地)。南方草地因为分布支离破碎,其范围不能用气候指标来确定,因此其面积可由相关植被专题图,如中国植被图来确定;而北方草地的分布则主要受降水量的影响,本文利用草地分布与降水之间的关系来确定其分布区域,并由此估算我国草地的面积。如此确定的草地分布区可以理解成是草地的潜在分布区或最大分布区。

考虑到500 mm年降水线常作为半干旱区与半湿润区的分界线 [23],本文选定500 mm降水线为南北区域的分界线。为确定北方草地的潜在分布区,首先需要确定草地分布的降水和NDVI阈值。确定两阈值的具体步骤如下。

(1) 根据中国植被图,获取草地的分布区;它应该位于草地与荒漠、草地与森林之间的区域;前者为草地分布区的干旱边界(干旱阈值),后者为其湿润边界(湿润阈值);两者之间属于草地分布区。

(2) 从植被图上提取的边界应该是一条带,有一定的宽度,定义该条带的宽度为边界内外各1 km,然后统计条带内的年平均降水量,最终确定降水阈值(干旱和湿润阈值)(图1和2)。

(3) 我国北方地区气象站点数量非常有限,因此其插值数据很难真实反映降水的实际情况。由于降水与NDVI之间存在良好的关系 [21,24,25],可通过建立降水量与生长季NDVI均值(本文的生长季为5~9月)之间的关系(图3),由降水阈值推算得到相对应的NDVI阈值。

(4) 由NDVI阈值,提取潜在的草地分布区域。在草地潜在分布区的基础上,去除非草地区域(包括城镇居民区、河流湖泊、被开垦的耕地、部分隐域性的沙地石质山地-林地等),便可得到我国北方草地的分布区域。其中,非草地区域的范围和面积参考中国植被功能型图来确定 [22]。

2 结果

2.1 我国北方草地的降水阈值和NDVI阈值

研究区内草地与森林以及草地与荒漠植被交界

图1 我国北方地区草地和森林(a)以及草地和荒漠植被(b)交界区降水量的空间分布(底图来源于国家测绘地理信息局网站)
Figure 1 Spatial distribution of the precipitation in the ecotone area between grassland and forest (a) and between grassland and desert vegetation (b) in northern China (the map is from the website of the National Geographic Information Bureau)

区的降水分布如图1所示。可以看出, 83%的草地、森林交界区降水量都大于300 mm, 而降水量小于300 mm的区域主要分布在西北山盆地带。从西向东, 依次是新疆的“三山两盆”地带以及青海甘肃境内的祁连山和宁夏贺兰山。虽然这些地区降水稀少, 但冰川融水补给对于植被生长至关重要, 在降水量小于300 mm的高海拔山地仍可能有森林分布, 因此这一区域草地和森林的辨识不能仅依赖年降水量, 需综合利用海拔、遥感植被指数来实现。具体做法是, 先依据山地植被垂直地带规律, 利用数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据区分林草分布区, 进一步利用遥感植被指数进行确认。东部湿润区林草交界区的降水频度分布如图2(a)所示, 这里以437 mm的降水均值作为划分草地和森林的降水阈值。另外, 由图1(b)可以看出, 草地与荒漠植被交界区的降水多小于300 mm。同样地, 以该区域的降水均值(102 mm)

作为划分草地和荒漠植被的降水阈值。

由于我国北方地区气象站点数量非常有限, 其插值数据很难真实反映降水的实际情况。因此, 可通过建立降水量与NDVI的关系, 利用相对可靠的植被冠层NDVI信息反映气候要素的空间变化特征。具体做法是: 先建立研究区降水和NDVI的统计关系, 依据这一关系得到降水阈值所对应的NDVI阈值, 进而利用NDVI阈值提取潜在草地分布区。为此, 在北方的森林、草地和荒漠的分布区域内, 读取所有像元的降水和NDVI值来建立降水与NDVI的关系(图3), 由降水阈值, 得到对应的我国北方草地潜在分布区的NDVI阈值在0.1151~0.6145(表1)。

2.2 1982~2011年间的草地分布

由上述方法得到我国北方草地的分布区域(图4)。经统计, 我国北方草地面积约为 $229.64 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。另

图2 我国北方地区草地与森林(a)以及草地与荒漠植被(b)交界区降水频度分布图
Figure 2 Histogram of the precipitation in the ecotone area between grassland and forest (a) and between grassland and desert vegetation (b) in northern China

图3 植被区域NDVI与降水量的回归关系
Figure 3 Relationship between NDVI and precipitation in the vegetation area

表1 森林、荒漠类型的降水量与NDVI阈值
Table 1 The precipitation and NDVI thresholds for forest and desert vegetation

植被类型	降水阈值 (mm)	NDVI阈值
荒漠	102	0.1151
森林	437	0.6145

外,从1:100万植被图上,获得我国南方草地的面积约为 $63.41 \times 10^4 \text{ km}^2$.那么,我国草地的总面积约为 $293.05 \times 10^4 \text{ km}^2$.参照植被图的植被类型划分,1982~2011年30年间我国平均的全国草地分布图如图4所示.

基于图4,可得到我国各省区的草地面积(表2);其中,西藏自治区草地面积最大,为 $72.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全国草地总面积的24.6%;其次是内蒙古、新疆和青海,分别为 51.4×10^4 , 50.1×10^4 和 $45.9 \times 10^4 \text{ km}^2$.此外,甘肃、四川和云南的草地面积也比较大,分别为 13.9×10^4 , 11.1×10^4 和 $9.0 \times 10^4 \text{ km}^2$.

进一步计算了每5年的平均NDVI,然后利用前文得到的NDVI阈值,计算获得每5年草地的分布及面积(表3).总体上,过去30年我国草地面积变化趋势不显著,波动于 $290 \times 10^4 \sim 295 \times 10^4 \text{ km}^2$ (表3).

3 讨论

3.1 1982~2011年间平均的草地面积

草地面积是草地的主要自然属性,也是草地资源的基本参数,但关于我国草地究竟有多大面积一

图4 1982~2011年我国草地空间分布(底图来源于国家测绘地理信息局网站)
Figure 4 Spatial distribution of China's grasslands during 1982–2011 (the map is from the website of the National Geographic Information Bureau)

表2 各省区草地面积统计

Table 2 Area of grasslands by provinces/regions

省区	面积(10^4 km^2)	省区	面积(10^4 km^2)
西藏	71.97	广东	1.31
内蒙古	51.43	辽宁	1.18
新疆	50.05	重庆	0.90
青海	45.90	湖北	0.72
甘肃	13.90	山东	0.71
四川	11.07	安徽	0.65
云南	9.00	海南	0.45
黑龙江	5.88	河南	0.26
陕西	4.76	天津	0.22
山西	3.95	福建	0.21
广西	3.77	江苏	0.11
江西	3.40	北京	0.03
贵州	3.17	台湾	0.01
宁夏	2.97	港澳	0.01
河北	1.99	浙江	0.01
吉林	1.68	上海	0.00
湖南	1.37		
全国总计:	293.05		

表3 1982~2011年期间每5年的草地潜在面积(假定南方草地的面积不变)

Table 3 5-Year mean area of grassland during 1982~2011(the grassland area in southern China is assumed unchanged)

年份	北方面积(10^4 km^2)	南方面积(10^4 km^2)	总面积(10^4 km^2)
1982~1986	226.72	63.41	290.13
1987~1991	228.26	63.41	291.67
1992~1996	226.85	63.41	290.26
1997~2001	231.21	63.41	294.62
2002~2006	227.58	63.41	290.99
2007~2011	227.11	63.41	290.52

直存在争议,这主要是由于不同作者所使用的数据不同以及对草地的定义不同而致^[1,26,27].在全国草地普查数据中,草地包括以草本为主的植物群落和一些可用于放牧的灌木等,而中国植被图中草地主要指以草本植物占优势的植物群落.沈海花等人^[1]认为,我国天然草地的面积可能在 $280 \times 10^4 \sim 393 \times 10^4 \text{ km}^2$,并认为获取我国草地面积的两个比较可信的数据源应该是我国草场资源普查资料和1:100万中国植被图.从宏观角度看,最近完成的主要基于TM影像的中国土地覆盖数据(ChinaCover)^[11]可能也是一个有效的数据源.按

照本文的定义,草地包括该数据中的草甸、草丛、草原和稀疏草地,共4类,总面积为 $281.3 \times 10^4 \text{ km}^2$.利用降水-NDVI关系,估算得到的草地面积约为 $293 \times 10^4 \text{ km}^2$,介于上述数值之间,但偏向小值范围.

图5比较了省区尺度上,本文计算所得的草地面积与1:100万植被图以及2010年中国土地覆盖数据(ChinaCover)的差异.总体上看,三者基本一致,但本文得到的新疆、甘肃、青海、宁夏等省区的草地面积较大,而西藏、内蒙古以及黑龙江的草地面积较小.例如,北疆古尔班通古特沙漠地区,由于年降水量超过100 mm,并且全年分布较为均匀^[28,29],植被生长条件相比其他荒漠地区要优越,可能出现部分地区荒漠植被NDVI值高于本文计算的草地NDVI阈值的情况,从而被误判为稀疏草地;而在呼伦贝尔东部草甸草原区,林草过渡带内草本植被较为茂盛^[15,30],NDVI值较高,可能被误判为森林植被,从而使得估算的草地面积偏小.另外,在藏北荒漠草原地带,由于部分地区植被十分稀疏,NDVI值多低于0.05,因而被划为荒漠植被.

3.2 1982~2011年间草地面积的变化

据文献统计,20世纪80年代末到90年代末这10年间,草地面积净减少5155万亩(1亩=0.067 ha),其中主要是开垦为耕地^[31].2000年1月,国家开始了“退耕还林还草”试点工程,草地面积有所恢复.但从本文1982~2011年间草地面积的年际变化情况看,过去30年我国草地面积并没有明显的变化趋势(表3).由于本文利用了生长季5~9月的NDVI影像,这一时期草地与耕地以及初期林地可能难以有效地区分,在剔除耕地等非草地区域时,因使用的均是一个时期的植被功能型图,故可能导致草地面积变化不明显.

3.3 基于降水-NDVI关系的草地面积估算方法

任继周等人^[32,33]利用年积温以及湿润度数据,建立了CSCS模型,模拟潜在自然植被的类型与空间分布.然而,真实的植被类型分布还受到了人类活动等因素的影响,因此,冯琦胜等人^[34]在CSCS分类基础上,借助1:100万植被图及DEM数据来确定现存自然植被分布图,并且参考了植被图中对栽培植被和无植被区域的划分.相比以往植被分布与气候关系研究,本文首先利用500 mm降水线将北方集中连片分布的温带草地和南方离散块状分布的亚热带草丛

图5 3种方法得到的省区草地面积的比较

Figure 5 Grassland area for each province, estimated by three methods

草坡进行划分, 分别统计草地面积. 考虑我国北方地带性草地植被的分布主要受降水限制的事实, 先建立降水阈值, 再通过降水-NDVI之间的经验关系, 将离散的降水信息反演到空间连续的植被冠层NDVI上, 估算出我国北方草地的潜在分布区. 这一方法不仅考虑了降水等气候因素与植被分布之间的相关关系, 还利用了直接反映植被生长状况的NDVI数据. 这在一定程度上剔除了人类生产活动的影响, 因而能比较客观地反映草地植被的实际分布.

需要指出的是, 我国南方草地主要为草山草坡, 其中95%以上为零星天然草地^[35,36]. 由于地形起伏等因素造成的非地带性分异特征导致这些零星天然草地的范围不能用气候指标来确定, 因此本文利用大

比例尺的1:100万中国植被图来粗略地确定其分布.

4 结论

本文利用草地分布与降水的关系来确定我国北方草地的分布区域, 通过建立降水-NDVI阈值关系, 估算得到我国草地总面积约 $293 \times 10^4 \text{ km}^2$, 与植被图以及遥感分类得到的结果较为接近, 但部分地区空间分布状况略有差异. 另外, 利用这一方法估算得到我国草地面积在过去30年间并没有明显的变化趋势, 这与以往的结果有所不同. 本研究主要利用降水-NDVI阈值方法, 但是降水-NDVI阈值往往难以准确反映人类活动导致的自然植被和农耕地的转变, 这可能是本文估算结果存在不确定性的原因之一.

致谢 本文的审图号为GS(2018)1458号.

参考文献

- 1 Shen H H, Zhu Y K, Zhao X, et al. Analysis of current grassland resources in China (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 139–154 [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]
- 2 Ren J Z. The definition, analysis and relevant description of several professional vocabulary (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2015, 24: 1–4 [任继周. 几个专业词汇的界定, 浅析及其相关说明. *草业学报*, 2015, 24: 1–4]
- 3 Department of Animal Husbandry and Veterinary, General Station of Animal Husbandry and Veterinary of Ministry of Agriculture of China. *Rangeland Resources of China* (in Chinese). Beijing: China Science & Technology Press, 1996 [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]

- 4 Commission for Integrated Survey of Natural Resources of the Chinese Academy of Sciences. The Map of China's Grassland Resources (1:4000000) (in Chinese). Beijing: Science Press, 1996 [中国科学院自然资源综合考察委员会. 中国草地资源图(1:400万). 北京: 科学出版社, 1996]
- 5 Wu C J. Land Use Map of China (1:4000000) (in Chinese). Beijing: Surveying and Mapping Press, 2001 [吴传钧. 中国土地利用图(1:400万). 北京: 测绘出版社, 2001]
- 6 Hou X Y. 1:1000000 Vegetation Atlas of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2001 [侯学煜. 1:100万中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001]
- 7 Hou X Y. The Vegetation Map of the People's Republic of China (1:4000000) (in Chinese). Beijing: Sino Maps Press, 1982 [侯学煜. 中华人民共和国植被图(1:4000000). 北京: 中国地图出版社, 1982]
- 8 Ni J, Sykes M T, Prentice I C, et al. Modelling the vegetation of China using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model BIOME3. *Glob Ecol Biogeogr*, 2000, 9: 463–479
- 9 Li K, Wang S, Cao M. Vegetation and soil carbon storage in China. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 2004, 47: 49–57
- 10 Chen S R, Wang S X, Zhou Y. Estimation of Chinese grassland productivity using remote sensing (in Chinese). *Transact CSAE*, 2008, 24: 208–212 [陈世荣, 王世新, 周艺. 基于遥感的中国草地生产力初步计算. 农业工程学报, 2008, 24: 208–212]
- 11 Wu B F, Yuan Q Z, Yan C Z, et al. Land cover changes of China from 2000 to 2010 (in Chinese). *Quat Sci*, 2014, 34: 723–731 [吴炳方, 苑全治, 颜长珍, 等. 21世纪前十年的中国土地覆盖变化. 第四纪研究, 2014, 34: 723–731]
- 12 Fang J Y, Song Y C, Liu H Y, et al. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Bot Sin*, 2002, 44: 1105–1122
- 13 Xie L, Wen G, Fu C B. The response of the vegetation seasonal variability and its spatial pattern to climate variation in China: Multi-year average (in Chinese). *Acta Meteorol Sin*, 2002, 60: 181–187 [谢力, 温刚, 符淙斌. 中国植被覆盖季节变化和空间分布对气候的响应——多年平均结果. 气象学报, 2002, 60: 181–187]
- 14 Li X B, Shi P J. Sensitivity analysis of variation in NDVI, temperature and precipitation in typical vegetation types across China (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 2000, 24: 379–382 [李晓兵, 史培军. 中国典型植被类型 NDVI 动态变化与气温、降水变化的敏感性分析. 植物生态学报, 2000, 24: 379–382]
- 15 Zhang G L, Xu X L, Zhou C P, et al. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir grassland in past 30 years (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2011, 66: 47–58 [张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应. 地理学报, 2011, 66: 47–58]
- 16 Sun Y L, Guo P, Yan X D, et al. Dynamics of vegetation cover and its relationship with climate change and human activities in Inner Mongolia (in Chinese). *J Nat Res*, 2010, 25: 407–414 [孙艳玲, 郭鹏, 延晓冬, 等. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系. 自然资源学报, 2010, 25: 407–414]
- 17 Tucker C J, Pinzon J E, Brown M E, et al. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *Int J Remote Sens*, 2005, 26: 4485–4498
- 18 Pinzon J E, Tucker C J. A non-stationary 1981–2012 AVHRR NDVI3g time series. *Remote Sens*, 2014, 6: 6929–6960
- 19 Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Int J Remote Sens*, 1986, 7: 1417–1434
- 20 Stow D, Petersen A, Hope A, et al. Greenness trends of Arctic tundra vegetation in the 1990s: Comparison of two NDVI data sets from NOAA AVHRR systems. *Int J Remote Sens*, 2007, 28: 4807–4822
- 21 Piao S L, Fang J Y, Zhou L M, et al. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999. *J Geophys Res Atmos*, 2003, 108, doi: 10.1029/2002JD002848
- 22 Ran Y H, Li X, Lu L. China land cover classification at 1 km spatial resolution based on a multi-source data fusion approach (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2009, 24: 192–203 [冉有华, 李新, 卢玲. 基于多源数据融合方法的中国 1 km 土地覆盖分类制图. 地球科学进展, 2009, 24: 192–203]
- 23 Wang Y L. The summary concerning arid meteorological targets to establish, quote and test in China (in Chinese). *Arid Land Geogr*, 1990, 13: 80–86 [王延禄. 我国建立、引用和验证气象干旱指标综述. 干旱区地理, 1990, 13: 80–86]
- 24 Davenport M L, Nicholson S E. On the relation between rainfall and the normalized difference vegetation index for diverse vegetation types in East Africa. *Int J Remote Sens*, 1993, 14: 2369–2389
- 25 Malo A R, Nicholson S E. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *J Arid Environ*, 1990, 19: 1–24
- 26 Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, et al. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. *Sci China Life Sci*, 2010, 53: 757–765
- 27 Fang J Y, Bai Y F, Li L H, et al. Scientific basis and practical ways for sustainable development of China's pasture regions (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2016, 61: 155–164 [方精云, 白永飞, 李凌浩, 等. 我国草原牧区可持续发展的科学基础与实践. 科学通报, 2016, 61: 155–164]

- 28 Chen C D, Zhang L Y, Hu W K. The basic characteristics of plant communities, flora and their distribution in the sandy district of Gurbantungut (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 1983, 7: 89–99 [陈昌笃, 张立运, 胡文康. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落、区系及其分布的基本特征. *植物生态学报*, 1983, 7: 89–99]
- 29 Qian Y B, Wu Z N, Zhang L Y, et al. Impact of ecoenvironment on vegetation community pattern in Gurbantungut Desert (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2004, 59: 895–902 [钱亦兵, 吴兆宁, 张立运, 等. 古尔班通古特沙漠生境对植物群落格局的影响. *地理学报*, 2004, 59: 895–902]
- 30 Zhang F, Wang Q, Li Y. Study on quantitative method of spatial and temporal dynamic monitoring of vegetation cover in Hulun Buir grassland (in Chinese). *J Nat Res*, 2010, 25: 1698–1708 [张峰, 王桥, 李营. 呼伦贝尔草原植被覆盖时空动态变化监测定量方法研究. *自然资源学报*, 2010, 25: 1698–1708]
- 31 Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s (in Chinese). *Geogr Res*, 2003, 22: 1–12 [刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22: 1–12]
- 32 Ren J Z. Classification and cluster applicable for grassland type (in Chinese). *Acta Agrest Sin*, 2008, 16: 4–10 [任继周. 分类、聚类与草原类型. *草地学报*, 2008, 16: 4–10]
- 33 Liang T G, Feng Q S, Huang X D, et al. Review in the study of comprehensive sequential classification system of grassland (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2011, 20: 252–258 [梁天刚, 冯琦胜, 黄晓东, 等. 草原综合顺序分类系统研究进展. *草业学报*, 2011, 20: 252–258]
- 34 Feng Q S, Xiu L N, Liang T G, et al. Distribution of the existing natural vegetation in China based on CSCS (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2013, 22: 16–24 [冯琦胜, 修丽娜, 梁天刚. 基于 CSCS 的中国现存自然植被分布研究. *草业学报*, 2013, 22: 16–24]
- 35 Ren J Z, Zhang Y J. Grassland resources in the south of China and its development strategy (in Chinese). *J China Jiliang Univer*, 2002, 3: 11–17 [任继周, 张英俊. 中国南方草地资源及其发展战略. *中国计量学院学报*, 2002, 3: 11–17]
- 36 HuangFu J Y, Mao F X, Lu X S. Analysis of grassland resources in southwest China (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2012, 21: 75–82 [皇甫江云, 毛凤显, 卢欣石. 中国西南地区的草地资源分析. *草业学报*, 2012, 21: 75–82]

Summary for “我国草地面积有多大?”

How many areas of grasslands are there in China?

Jingyun Fang^{1,2*}, Xiaoqing Geng¹, Xia Zhao¹, Haihua Shen¹ & Huifeng Hu¹

¹ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² College of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China

* Corresponding author, E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

Grassland is the indispensable natural resources which covers a large area of terrestrial China and plays an important role in the ecological construction, ecological security, and food security of the country. The size of the grassland, i.e., grassland area, is its important natural property, which is the basis to estimate total grassland biomass and productivity. Therefore, an accurate estimate of the grassland area is of great importance in reasonable protection and utilization of the grassland resources. However, the estimated area of China's grasslands varies greatly among different studies due to different data sources and grassland definitions. Climate determines geographical distribution of natural vegetation, and thus the distribution of a vegetation type can be retrieved based on regional characteristics of climate. In the semi-arid and arid regions of northern China, precipitation is the major limiting factor of vegetation distribution, especially for grassland. On the other hand, normalized difference vegetation index (NDVI) data well reflects the vegetation coverage and is strongly correlated with precipitation in the arid and semi-arid regions. Therefore, the distribution and area of grasslands can be retrieved using the relationship between precipitation and NDVI in the recognized regions of the grassland. For these reasons, we first roughly divide grasslands into two categories according to their concentrative degree of distribution: contiguous temperate grassland (northern grassland) and discrete subtropical grassland (southern grassland), and then quantify the range and area of the grasslands in these two different regions. Because the grassland distribution in the southern regions cannot be directly determined by climatic variables, we use the vegetation map of China to determine the range and area of the grasslands. For the northern grasslands, we first determine the thresholds of mean precipitation in the ecotones between grasslands and forests and between grasslands and desert vegetation, based on vegetation distribution in the vegetation map of China, and then use the precipitation thresholds to make sure the distributional limits of the grasslands. By conducting a regression analysis between average precipitation and the NDVI average value of vegetation growing season (May–September) over the past 30 years (1982–2011), we estimate the NDVI threshold for grassland and retrieved its potential distribution. The precipitation and NDVI thresholds for the grassland distribution in our study area are estimated to be 102–437 mm and 0.12–0.61 unit, respectively. Finally we document an estimate of the total grassland area of $293 \times 10^4 \text{ km}^2$ in China, with a small variation of 290×10^4 – $295 \times 10^4 \text{ km}^2$ over the past 30 years. Uncertainties remain in our estimations because the area might be overestimated or underestimated at regional scale. For instance, a part of deserts in northern Xinjiang was falsely determined as sparse grassland, because the NDVI values of these deserts exceeded the thresholds for grassland; and in the northern Tibetan Plateau, the sparse desert grassland, showing NDVI values lower than 0.05, was falsely determined as desert. Nevertheless, our estimate is generally consistent with that from the vegetation map of China and land cover data of China in 2010. Overall, this study develops a useful methodology which estimates the range and area of the grasslands based on the thresholds of precipitation and NDVI values and generates reliable estimates of the total grassland area in China.

grassland area, spatial distribution, precipitation, normalized difference vegetation index (NDVI)

doi: 10.1360/N972018-00032