

# 中国草地资源的现状分析

沈海花\*, 朱言坤, 赵霞, 耿晓庆, 高树琴, 方精云

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

\* 联系人, E-mail: shen.haihua@ibcas.ac.cn

2015-06-30 收稿, 2015-10-02 修回, 2015-10-08 接受, 2015-12-03 网络版发表

中国科学院重点部署项目(KSZD-EW-Z-012)、中国科学院学部咨询评议项目(2011-4-13-1)和国家自然科学基金(31330012)资助

**摘要** 中国草地面积广阔, 自然资源丰富, 准确评估草地资源既是合理开发和利用草地的基础, 也对生态环境的保护具有重要意义. 但是, 关于中国草地面积、生产力和承载力等本底数据至今为止尚没有系统的梳理. 本文收集、整理了过去几十年来我国草地资源研究的各类数据, 并利用1982~2011年的遥感影像(NOAA/AVHRR-NDVI)和气候数据重新估算了我国天然草地生物量和生产力及其近30年的变化. 由于草地的定义、数据来源和分析方法不同, 现存资料对中国天然草地面积的估算差异很大, 变动范围达2倍以上( $1.67 \times 10^6 \sim 4.31 \times 10^6 \text{ km}^2$ ), 这些资料也表明, 我国目前的天然草地面积在 $2.80 \times 10^6 \sim 3.93 \times 10^6 \text{ km}^2$ 之间比较合适. 草地生物量的估算值也存在显著差异, 平均地上生物量在 $79 \sim 123 \text{ g m}^{-2}$ 之间, 但本文对最近30年(1982~2011年)天然草地地上生物量的重新估算结果为 $178 \text{ g m}^{-2}$ , 在此期间平均每年增加 $0.4 \text{ g m}^{-2}$ . 我国天然草地平均净初级生产力的估算差异更大, 为 $89 \sim 320 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (平均 $176 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ), 但许多研究都发现近年来有增加趋势. 而基于过去30年平均气候估算, 我国天然草地的潜在生产力可高达 $348 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ . 另一方面, 我国人工草地面积比较小, 约为 $2.09 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 但生产力高, 可达天然草地的2.7~12.1倍. 由于我国对天然草地缺乏有效管理, 加上人工草地的比例低, 目前我国草地对放牧家畜的承载力比较低, 很多地方的超载现象较为严重, 平均超载率估计为20%. 此外, 降水的不足始终是影响我国草地生物多样性、生物量和生产力的重要因素, 进一步探讨气候变化和过度放牧等人为活动对我国草地资源的数量和质量的影响是十分必要的.

**关键词** 草地面积, 分布, 多样性, 生物量, 生产力, 承载力

“草地”并没有一个明确统一的定义. 植物生态学或植物地理学的草地通常指以草本植物占优势的植物群落<sup>[1,2]</sup>, 可包括草原、草甸、草本沼泽、草本冻原、草丛等天然植被, 以及除农作物之外草本植物占优势的栽培群落. 农学里的“草地”主要指畜牧业的“资源”, 不仅包括以草本为主的植物群落, 还包括灌木和稀疏树木等可用于放牧的植被<sup>[3-5]</sup>. 为了避免讨论时的歧义, 本文的草地指植物生态学或植物地理学的定义, 但在叙述特定的文献资料时就以原文的定义为准.

不论依据哪种定义, 草地都是一种分布辽阔的陆地生态系统类型. 联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)估计全球草地面积为 $3.5 \times 10^9 \text{ hm}^2$ , 覆盖约26%的陆地面积<sup>[6]</sup>. 我国第一次草地普查结果表明, 中国各类天然草地约有 $4 \times 10^8 \text{ hm}^2$ , 占国土面积的41.7%, 总面积仅次于澳大利亚, 位居世界第二<sup>[7]</sup>. 在我国, 草地不仅提供饲草饲料支撑畜牧业生产, 在防风固沙、水土保持、水源涵养以及生物多样性保护和陆地生态系统碳循环中也扮演着重要角色. 但是, 近年来

**引用格式:** 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

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, doi: 10.1360/N972015-00732

在我国不少地区草地退化严重, 植被覆盖率下降, 沙尘暴等生态灾难时有发生, 草地的生态服务功能下降, 这些都阻碍了区域的可持续发展<sup>[8]</sup>. 为此, 需要用系统的观点, 科学、合理地配置草地的生态功能和生产功能, 实现草原牧区生产、生活和生态的全面协调发展<sup>[9]</sup>.

要科学地配置草地的生态功能和生产功能, 首先需要摸清草地资源的家底. 过去草地资源研究, 多关注畜牧业的可利用资源, 如产草量、牧草质量及载畜量等<sup>[4,7,10,11]</sup>. 从生态学的角度看, “草地资源”包括更广泛的内涵, 如物种组成、生物量和生产力、物质循环以及各种生态系统服务功能等<sup>[12-20]</sup>. 在过去几十年里, 无论是草地资源的调查还是草地生态学的基础研究, 我国都积累了大量的资料并提出过不少重要的观点, 但是这些资料并没有得到系统梳理. 数据的多样和观点的分歧需要进一步的讨论, 只有这样才能为我国草原牧区有关方针政策的制定提供有效数据和建设性建议.

为此, 本文全面收集分析了我国过去的草地资源研究资料, 并重新估算了我国天然草地生物量和生产力及其近30年的变化. 通过这些工作, 试图回答以下问题: (i) 我国天然草地的面积是多少? 空间分布如何? (ii) 天然草地物种多样性分布格局及其驱动因素是什么? (iii) 天然草地生物量和净初级生产力有多大? 时空分布如何? 其驱动因素是什么? (iv) 人工草地的分布格局如何? 生产力多大? 其影响因素是什么? (v) 我国草地承载力多大? 影响草地承载力的因素有哪些?

## 1 资料和方法

本文的资料来源于文献、统计年鉴、草地普查资料、农业部全国草原监测报告、1:1000000植被图等过去几十年来我国草地资源研究的各类数据. 本文将收集整理资料进行整合分析, 并对天然草地生物量和生产力进行了重新估算.

天然草地生物量是利用Ma等人<sup>[21]</sup>根据实测资料建立的地上生物量与同期归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)的关系、地上地下生物量之间的关系, 并结合1982~2011年NOAA (national oceanic and atmospheric administration satellites)/AVHRR(advanced very high resolution radiometer)-NDVI数据估算得到其最近30年的变化. 此外, 草地

潜在生产力是利用1982~2011年间平均年均温和年降水量以及MIAMI模型估算得到.

## 2 天然草地类型、分布及自然特征

### 2.1 草地面积及其变化

我国天然草地面积究竟有多少一直是个有争论的问题. 如果按照中国植被图<sup>[22,23]</sup>估算, 我国天然草地面积分别为 $4.06 \times 10^6$  km<sup>2</sup>(基于1:4000000中国植被图)和 $2.80 \times 10^6$  km<sup>2</sup>(基于1:1000000中国植被图). 而基于草地清查资料, 如中国草地资源等估算的结果则变动于 $3.49 \times 10^6 \sim 4.31 \times 10^6$  km<sup>2</sup>之间(表1)<sup>[7,24,28]</sup>.

利用卫星遥感数据估算的草地面积差异更大(表1). 基于NOAA/AVHRR(8 km)全球植被覆盖数据、2000年1:100000土地利用覆盖数据、2001年MODIS草地覆盖数据所估算的我国天然草地面积分别为 $1.67 \times 10^6$ ,  $1.85 \times 10^6$ 和 $2.25 \times 10^6$  km<sup>2</sup><sup>[29-31]</sup>.

由此可见, 不同研究估算的天然草地面积差异明显, 范围在 $1.67 \times 10^6 \sim 4.31 \times 10^6$  km<sup>2</sup>之间, 相差2.5倍以上, 对草地的定义不同可能是导致这些差异的主要原因. 如前所述, 中国植被图中草地主要指以草本植物占优势的植物群落; 而第一次草场普查中草地多属农学范畴, 多包括了灌木和稀疏乔木的饲用植物地; 遥感资料则更缺乏统一的分类系统<sup>[35-37]</sup>. 草地资源普查资料和植被调查资料能够准确反映调查地点的实际情况, 但调查范围有限, 而且实地调查在时间上也会受到限制, 不能及时反映草地植被的分布状况. 卫星遥感可以很好地解决数据滞后的问题, 但是由于缺乏详细的地面验证, 估算的结果也存在很大的不确定性.

除了实地调查和遥感资料的分析, 利用植被与气候关系可以估算出潜在的植被分布. Ni等人<sup>[33]</sup>和冯琦胜<sup>[34]</sup>分别利用BIOME3和综合顺序分类(comprehensive and sequential classification system, CSCS)模型, 结合过去几十年的气象数据, 估算了我国潜在天然草地面积分别为 $3.78 \times 10^6$ 和 $2.91 \times 10^6$  km<sup>2</sup>(表1).

虽然不同作者给出的我国草地面积相差甚大, 但本研究认为, 我国草场资源普查资料和1:1000000中国植被图是确定我国草地面积的两个基本的数据源, 据其所获得的草地面积应该还是比较可信的. 据此, 我国天然草地的面积可能在 $2.80 \times 10^6 \sim 3.93 \times 10^6$  km<sup>2</sup>之间, 但真实的面积还需要进一步研究. 我国天然草地

表1 不同资料来源的我国天然草地面积(单位:  $10^6 \text{ km}^2$ )Table 1 The area of natural grasslands from different resources ( $10^6 \text{ km}^2$ )

数据来源	面积	占国土面积 比例(%)	定义或内涵	文献
1:4000000中国植被图 <sup>[22]</sup>	4.06	42.3		[24]
1:1000000中国植被图 <sup>[23]</sup>	2.80	29.2	草原、草甸、草丛、草本沼泽	本研究
第一次草场普查(1979~1990)	3.93(3.56)	40.9	草原、草甸、荒漠、灌丛、疏林地等	[7]
中国草地资源数据	3.55	37.0	草原、草甸、荒漠、灌丛、疏林地等	[24]
1:4000000草地资源图 <sup>[25]</sup>	3.60	37.5	荒漠、草原化荒漠、荒漠草原、草原、草甸草原、 草甸/草丛/灌草丛	[24]
1:4000000土地利用图 <sup>[26]</sup>	3.49	36.4		[24]
中国1:1000000土地资源图 <sup>[27]</sup>	4.31	44.9	草原、草坡、荒漠沙地	[28]
NOAA/AVHRR全球植被图	1.67	17.4	草本植物群落, 灌木或乔木盖度<10%	[29]
1:100000土地利用数据库(2000)	1.85	19.3	天然草地、改良草地、割草地	[30]
MODIS草地覆盖类型产品2001	2.25	23.4	草地、草甸、草本沼泽	[31]
TM和中国陆地卫星影像(1999~2000)	3.31	34.5	草原、草甸、荒漠、灌丛、疏林地等	[32]
BIOME3模型	3.78	39.4	高草/低草型草地、干旱区灌丛/草原、极地/高山 苔原	[33]
CSCS模型	2.91	30.3	草原、草甸、冻原	[34]

自然环境多样, 气候的时空变化大, 加上人为干扰严重, 草地面积的年际变化也很大. 杜青林<sup>[32]</sup>利用遥感数据发现, 在20世纪90年代到21世纪初, 草地面积除在青海、江西、宁夏等省份有所增加外, 在其他大部分省份都有所减少, 而且草地的断片化也很明显, 全国成片草地的面积总共减少了7%. 过度放牧及草地开垦为农田是导致草地面积减少的主要因素. 研究表明, 2000~2005年间减少的 $1.19 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 草地中48%以上被开垦为农田<sup>[38]</sup>; 另一方面, 退耕还草以及草地的合理利用使局部地区的草地得到恢复<sup>[38,39]</sup>.

## 2.2 草地类型、分布及气候特征

(i) 草地类型和分布. 本文利用1:1000000中国植被图, 简述我国天然草地的类型及分布.

1:1000000中国植被图是根据全国植被调查资料, 结合航空遥感、卫星影像及相关的地质学、土壤学和气候学信息编制而成, 能较真实地反映我国植被类型的分布<sup>[40]</sup>. 根据该植被图, 我国天然草地可以划分为草原、草甸、草丛和草本沼泽4大类, 分别占草地总面积的50.4%, 36.6%, 10.7%和2.3%(图1). 这4类草地与不同的气候、土壤或地形因子结合, 又可以进一步分为12类草地(依面积大小排序): 高寒草甸占24.4%, 高寒草原22.9%, 温性草原16.2%, 亚热带热带草丛8.7%, 荒漠草原8.1%, 岩生草甸

5.6%, 山地草甸4.4%, 草甸草原3.3%, 沼泽化草甸2.3%, 寒温带温带沼泽和温带草丛2.1%, 高寒沼泽面积<1%.

我国的天然草地主要分布在西藏、内蒙古、青海、新疆、四川、甘肃、黑龙江以及云南等地, 占全国草地总面积的80%以上. 其中西藏天然草地面积最大, 为 $7.47 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占全国草地面积的26.7%, 主要是高寒草原和高寒草甸. 其次为内蒙古、青海和新疆, 分别为 $5.53 \times 10^5$ ,  $4.40 \times 10^5$ 和 $3.53 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 其中内蒙古草地主要以温性草原和荒漠草原为主, 青海主要以高寒草甸和高寒草原为主, 新疆则盐生草甸、高寒草原、荒漠草原、温性草原和高寒草甸均有分布. 此外, 四川、甘肃、黑龙江和云南的草地面积也较大, 分别为 $1.10 \times 10^5$ ,  $1.04 \times 10^5$ ,  $9.1 \times 10^4$ 和 $9.1 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 四川80%以上为高寒草甸, 云南86%以上为热带亚热带草丛. 北方主要牧区中, 宁夏草地面积较少, 约 $1.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 主要为温性草原和荒漠草原(图1).

(ii) 天然草地气候和海拔特征. 我国天然草地年均温、年降水跨度较大, 分别为 $0.9 \sim 17.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $195 \sim 1307 \text{ mm}$ . 地带性草原集中分布在温带干旱半干旱地区, 其年均温和年降水的均值分别在 $0.93 \sim 5.84 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $195 \sim 368 \text{ mm}$ 之间(表2). 在12类草地类型中, 高寒草原海拔分布最高, 平均高达4500 m以上, 气候寒冷, 年均温小于 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ , 降水量少( $276 \text{ mm}$ ); 荒漠草原年降

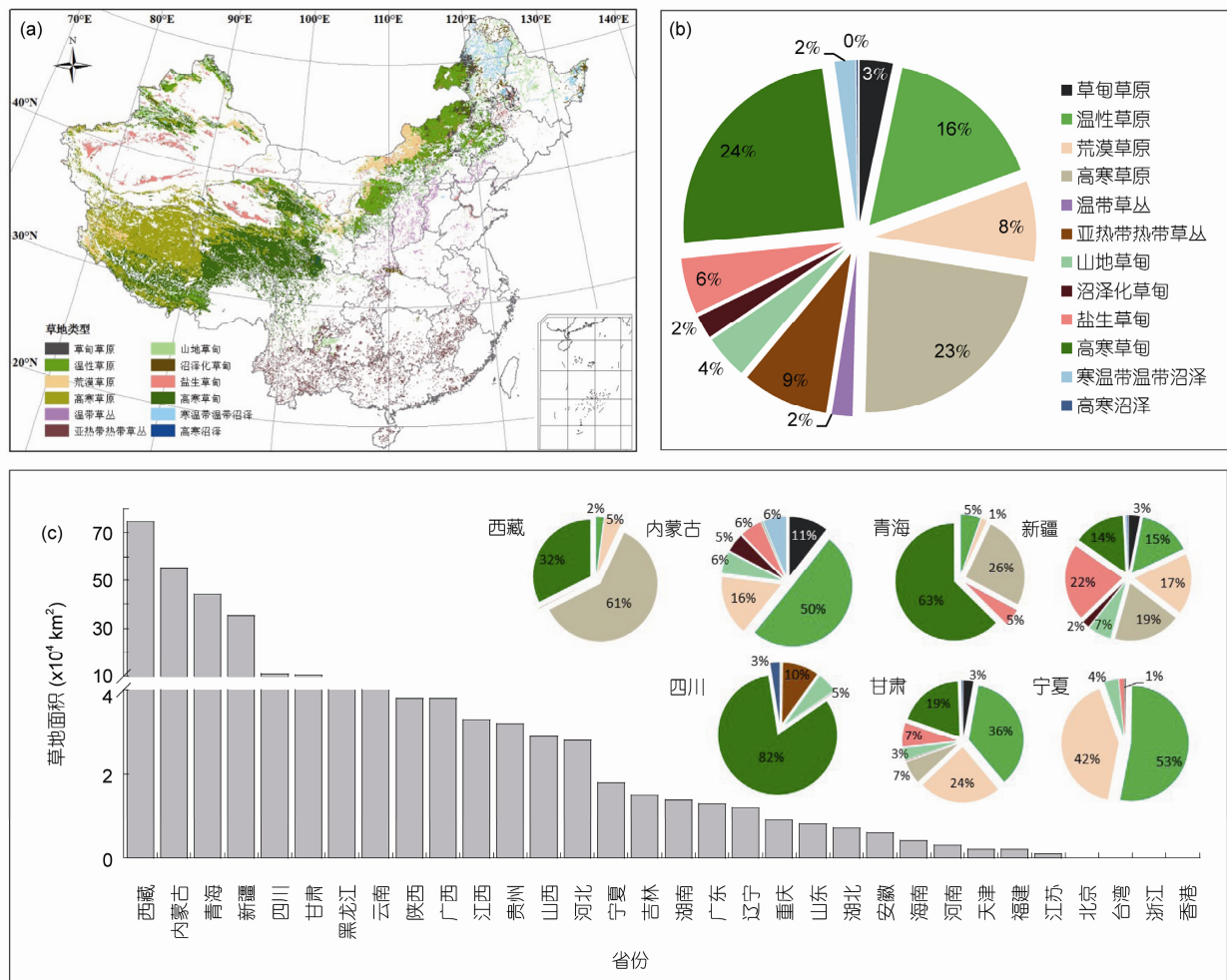


图1 基于1:1000000中国植被图得到的我国天然草地分布(a)、不同类型草地面积比例(b),以及不同省份的草地面积(单位:  $1 \times 10^4 \text{ km}^2$ )(c). (c)中饼图依次表示我国主要天然草地分布省区——西藏、内蒙古、青海、新疆、四川、甘肃以及宁夏不同类型草地面积的比例(图例参见(b))

Figure 1 (a) Spatial pattern of natural grasslands in China based on “Chinese Vegetation Map (1:1000000)”; (b) Area of different grassland types; and (c) grassland area in each province ( $10^4 \text{ km}^2$ ). The pie graph in (c) indicates the different types of grassland area in the provinces with large area of grasslands

水量最低, 小于200 mm.

过去30年间(1982~2011年), 我国天然草地年均温显著增加, 年变化率达到 $0.051 \text{ } ^\circ\text{C a}^{-1}$ ; 降水呈现微弱的增加趋势, 但年际波动较大(表2). 不同草地类型气候变化有所不同: 高寒草原温度增加最显著, 年变化率大于 $0.061 \text{ } ^\circ\text{C a}^{-1}$ ; 其次为高寒草甸和荒漠草原, 年变化率约 $0.055 \text{ } ^\circ\text{C a}^{-1}$ . 高寒草原和高寒草甸的年降水量也呈现显著增加的趋势, 而草甸草原、山地草甸和沼泽化草甸年降水量却显著减少(表2).

### 2.3 草地的植物多样性及其区域特征

我国草地的植物物种十分丰富. 据第一次草地

资源普查统计, 仅草地饲用植物就达246科1545属6704种<sup>[7]</sup>, 进一步确认这些植物的饲用价值并加以利用对发展我国畜牧业生产具有重要意义.

草地植物组成及多样性存在较大的地域差异<sup>[18,41~44]</sup>. 北京大学生态学系自2001年起, 对我国温带草地进行了广范围的群落调查, 发现样地水平平均物种丰富度为12种  $\text{m}^{-2}$ (变动于1~46种  $\text{m}^{-2}$ , 图2), 物种丰富度从大到小依次为: 草甸草原(19)>高寒草甸(18)>山地草甸(17)>温性草原(11)>高寒草原(9)>荒漠草原(8). 有些草地局部的物种丰富度特别高, 例如, 青海海北的高寒草甸在 $0.01 \text{ m}^2$ 的小样方内平均有16~20种植物, 是世界上小尺度植物物种多

表2 不同草地类型的平均海拔高度、气候特征及生物量变化(1982~2011)<sup>a)</sup>Table 2 The mean altitude, climate and biomass changes of different grassland types during the past three decades (1982~2011)<sup>a)</sup>

草地类型	海拔(m)	年均温		年降水量		生物量密度(g m <sup>-2</sup> )		年变化率(g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> )	
		平均(°C)	变化率(°C a <sup>-1</sup> )	平均(mm)	变化率(mm a <sup>-1</sup> )	地上	地下	地上	地下
草甸草原	891	3.30	0.037*	368.3	-2.72*	281.1	1108.4	0.067	0.19
温性草原	1461	4.82	0.048*	299.7	-1.25	138.7	654.7	0.19	0.68
荒漠草原	2180	5.84	0.055*	194.5	0.19	77.9	426.1	0.16*	0.64*
高寒草原	4777	0.93	0.061*	276.1	2.36*	67.7	383.7	0.081*	0.34*
山地草甸	1123	4.15	0.038*	492.2	-1.94*	399.9	1441.7	0.82*	2.19*
沼泽化草甸	749	2.61	0.030*	449.3	-2.15*	405.8	1457.3	0.037	0.08
盐生草甸	1154	7.56	0.044*	207.7	-0.51	118.3	581.7	0.26*	0.97*
高寒草甸	4396	1.97	0.056*	435.8	1.35*	155.9	714.6	0.29*	1.00*
温带草丛	756	10.97	0.047*	608.7	-0.71	312.7	1199.2	2.04*	5.79*
亚热带/热带草丛	986	17.92	0.033*	1306.5	-2.55	412.0	1473.5	2.30*	6.09*
寒温带/温带沼泽	531	0.87	0.030*	480.8	-2.47	513.5	1736.4	0.58	1.43
高寒沼泽	3610	2.14	0.054*	626.4	-0.99	361.8	1337.3	1.57*	4.30*
总体	-	-	0.051*	-	0.16	178.4	758.5	0.44*	1.33*

a) 地形数据来自全国1 km DEM图; 气象数据由全国728个气象台站月平均气温和月降水数据插值得到。\*:  $P < 0.05$

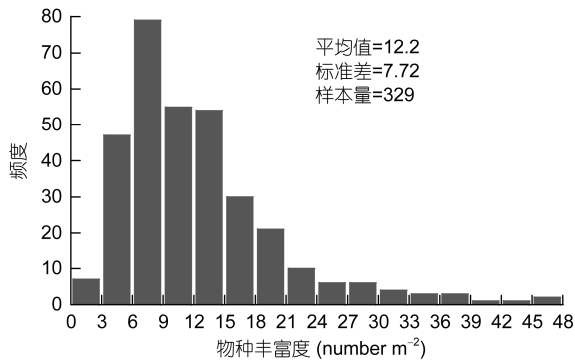


图2 北方草地植物物种丰富度频数分布图(数据来自文献[18])

Figure 2 Frequency distribution of species richness in Northern grassland in China (data from Ref. [18])

多样性最高的植被类型之一<sup>[45]</sup>。

研究表明,我国草地物种丰富度的空间分布格局主要受生长季降水的影响。随着降水量的增加,丰富度增加。温度的影响在高寒草地和温带草地正好相反:随生长季温度增加,高寒草地物种丰富度增加,而温带草地反而下降<sup>[18]</sup>。随着环境的变化,不仅物种丰富度发生改变,植物物种组成也发生变化。例如,白永飞等人<sup>[46]</sup>发现,在内蒙古锡林河流域草原,随着降水量的减少和热量的增加,多年生杂类草的相对多度逐渐减少,多年生丛生禾草的相对多度逐渐增加。此外,中旱生植物的作用逐渐减弱,旱生植

物的作用显著增强。Jin等人<sup>[44]</sup>的研究也表明,北方天然草地豆科植物的物种丰富度与生长季降水正相关。

### 3 天然草地生物量和生产力

#### 3.1 生物量及其变化

20世纪90年代中期以来,我国学者对草地植被生物量开展了大量研究<sup>[17,21,28,47~51]</sup>。方精云等人<sup>[28]</sup>首次采用草地资源数据和植物根茎比估算了我国草地(草原、草坡和荒漠沙地)总生物量为 $2.27 \times 10^9$  t,平均生物量密度为 $526 \text{ g m}^{-2}$ 。后来,Ni<sup>[15]</sup>、Li等人<sup>[29]</sup>、Piao等人<sup>[17,47]</sup>、Fang等人<sup>[48]</sup>分别利用草地资源清查数据、遥感和模型等方法估算了我国天然草地1980~2000年间地上、地下以及总生物量密度分别为79~123, 544~681和 $526 \sim 774 \text{ g m}^{-2}$ (表3)。此外,Ni<sup>[24]</sup>和Fan等人<sup>[49]</sup>也对中国草地的生物量进行了估算,但他们估算值明显偏高,所以本研究未列入。

本文利用实测生物量数据、同期NDVI以及地上地下生物量之间的关系<sup>[21]</sup>,重新估算了最近30年我国天然草地生物量及其变化。结果表明,过去30年(1982~2011年)平均地上、地下、及总生物量密度分别为178, 759和 $937 \text{ g m}^{-2}$ ,地下生物量约是地上生物量的4.3倍(表3)。

表3 不同研究得出的我国天然草地生物量及生物量密度

Table 3 Biomass and biomass density of natural grasslands derived from different resources

研究区域	研究时间	草地面积 ( $\times 10^6$ hm <sup>2</sup> )	地上生物量 ( $\times 10^8$ t)	地下生物量 ( $\times 10^8$ t)	总生物量 ( $\times 10^8$ t)	生物量密度 (g m <sup>-2</sup> )			数据来源与方法	参考文献
						地上	地下	总生物量		
中国草地	-	430.7	-	-	22.7	-	-	526.3	草地资源数据(草原、草坡、荒漠沙地); 根茎比	[28]
中国草地	-	299.0	-	-	68.0	-	-	2274.5	全球平均生物量密度; 中国草地资源数据	[24]
中国草地	-	299.0	3.0	-	-	123.2	-	-	草地资源数据	[15]
中国草地	1981~1988	331.4	3.3	20.0	23.3	98.0	602.5	701.7	草地资源数据结合遥感; 1:4000000草地资源图	[47]
中国草地	1981~1998	167.0	-	-	12.6	-	-	755.6	遥感数据结合CEVSA模型	[29]
中国草地	1982~1999	334.1	3.2	20.2	23.4	96.7	602.6	699.1	草地资源数据结合遥感; 1:4000000草地资源图	[17]
中国草地	1981~2000	331.4	3.3	22.2	25.5	100.0	-	768.9	草地资源数据	[48]
中国草地	-	331.0	8.8	64.9	73.7	264.4	1962.2	2226.7	草地资源数据, 野外实测(包括灌草丛及零星草地)	[49]
中国草地	1982~2011	280.0	5.0	21.2	26.2	178.3	758.5	936.8	地上与地下生物量关系、遥感估算; 1:1000000植被图	本研究
北方草地	-	189.2	-	-	42.9	-	-	2267.0	全球平均生物量密度; 中国草地资源数据	[24]
北方草地	-	189.2	1.5	-	-	79.0	-	-	草地资源数据	[15]
北方草地	1982~1999	227.8	2.1	15.5	17.6	92.2	681.0	774.0	草地资源数据结合遥感; 1:4000000草地资源图	[17]
北方草地	-	189.2	3.3	50.8	54.1	172.2	2688.0	2860.0	草地资源数据, 野外实测(包括灌草丛及零星草地)	[49]
北方草地	1982~2006	196.3	1.7	10.7	12.4	87.8	543.6	631.4	实测数据, 遥感估算; 1:1000000植被图	[21]
北方草地	1982~2011	221.4	2.9	13.5	16.4	131.4	610.3	741.7	地上与地下生物量关系、遥感估算; 1:1000000植被图	本研究

由上可见, 不同研究估算结果存在显著差异, 本研究估算结果略高于早期的研究结果, 分析其原因可能包括以下几个方面: (i) 草地定义系统不同, 过往研究<sup>[17,48]</sup>的草地除了草原和草甸植被外, 还包括生物量密度较低的荒漠植被, 本研究中的草地包括草原、草甸、草丛和草本沼泽, 其中草丛和草本沼泽生物量密度较高, 可能会导致本次研究估算值偏高(表3); (ii) 地下生物量的估算存在较大的不确定性. 本研究估算地下生物量时所采用的地上生物量与地下生物量之间的相关关系是根据温带草地(草原和草甸植被)实测数据构建的, 利用此关系来推算南方草地可能会产生较大误差; (iii) 时期不同, 过去30年间, 地上生物量年际间波动大, 且有逐年增加的趋势, 尤其草丛和高寒沼泽生物量增加非常显著(图3和4), 这说明关注的时期不同平均生物量也会有所差异.

本研究结果还显示, 我国北方主要牧区(内蒙古、

西藏、青海、新疆、甘肃、宁夏)地上生物量占全国草地的58.0%, 平均地上生物量密度为131.4 g m<sup>-2</sup>. 其中内蒙古的平均地上生物量密度最大, 为200.1 g m<sup>-2</sup>, 西藏最小, 仅为73.7 g m<sup>-2</sup>(图4).

从变化趋势看, 全国草地地上生物量在过去30年显著增加, 尤其最近5~6年增加趋势非常显著. 在北方草地中, 只有新疆呈现逐年增加的趋势, 其他省份在过去30年并没有发生显著变化(图4). 值得注意的是, 全国和不同区域草地生物量的年际变化呈现出明显的波动, 分别在1998和2007年前后出现拐点(breakpoint), 即1982~1998年间, 生物量呈增加趋势; 此后生物量开始减少至2007年, 然后再次增加(图4). 这种波动与降水的波动是一致的.

### 3.2 生产力及其变化

(i) 实际生产力. 草地净初级生产力(net primary

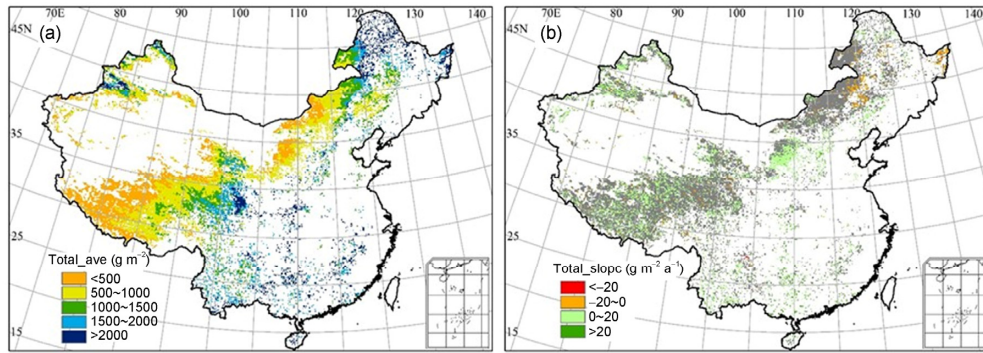


图3 中国天然草地过去30年(1982~2011年)平均总生物量密度(a)及年变化率(b)的空间分布  
Figure 3 Spatial pattern of the averaged biomass density (a) and its annual change rate (b) during the period of 1982–2011

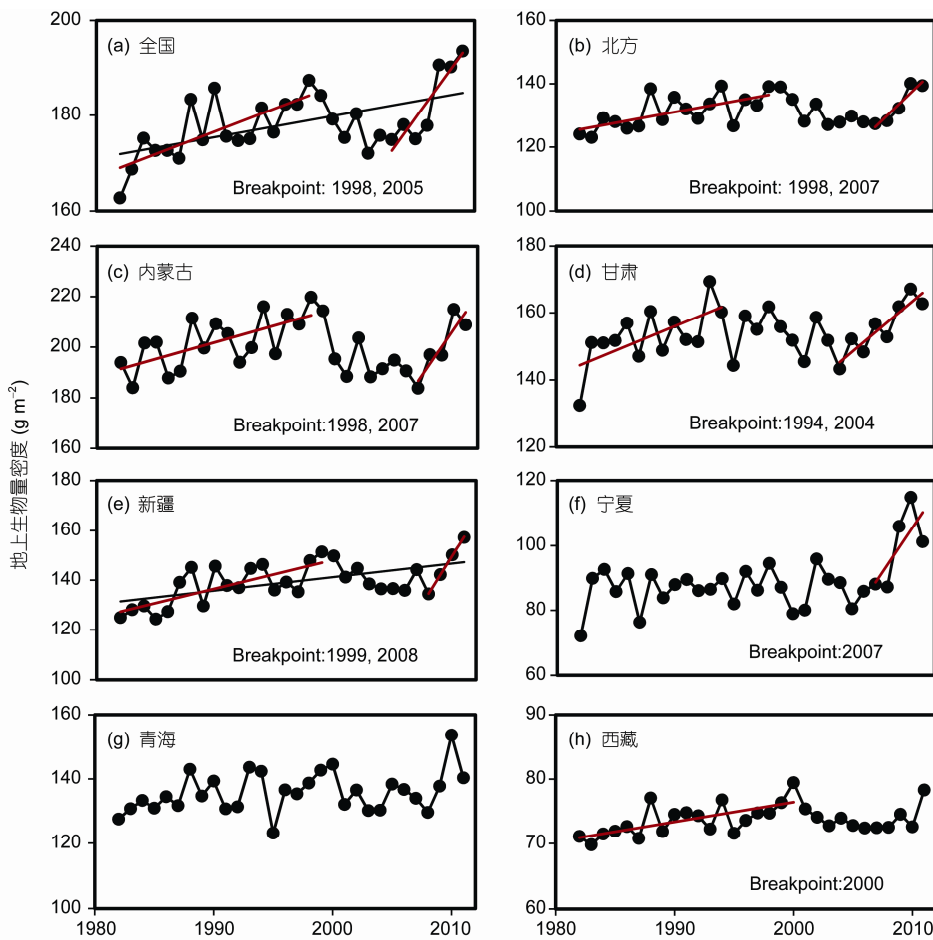


图4 过去30年间(1982~2011)中国天然草地地上生物量密度的逐年变化(实线表示显著增加,  $P < 0.05$ )  
Figure 4 Changes in aboveground biomass of China's grasslands during the period of 1982–2011. Solid line indicates that the temporal trend is statistically significant ( $P < 0.05$ ).

productivity, NPP)是草地资源的重要指标之一, 准确估算草地NPP对合理利用草地资源、提高草地产量以及管理草地碳等物质循环都具有重要意义. 早期草地生产力主要根据野外实测生物量数据估算, 如第

一次草地资源普查<sup>[7]</sup>估算的我国天然草地年地上净初级生产力(aboveground net primary productivity, ANPP)为 $34.9 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ . 之后, Ni<sup>[14]</sup>通过收集野外实测数据, 利用生物量与生产力的关系估算北方草地

表4 不同研究得出的我国天然地净初级生产力

Table 4 Net primary productivity of natural grasslands derived from different resources

研究区域	研究时间	草地面积 ( $\times 10^6 \text{ hm}^2$ )	ANPP ( $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )	TNPP ( $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )	年变化率 ( $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-2}$ )	数据来源与方法	参考文献
实际生产力							
中国草地	1981~1988	331	34.9	-	-	首次全国草地资源普查	[7]
中国草地	1982~2003	330	40.1	-	-	遥感估算	[32]
中国草地	2001	244.3	26.5	189.2	-	遥感估算	[31]
中国草地	1992~1993	-	-	116.0(草原), 191.4(草甸)	-	光能利用率模型	[52]
中国草地	2000	-	-	245, 145, 178; 208, 168	-	CASA, GLOPEM, GEOLUE; CEVSA, GEOPRO	[53]
中国草地	2001	291.6	-	122.6	-	北方生态系统生产力模型 (boreal ecosystem productivity simulator, BEPS)	[54]
北方草地	1982~2001	-	133.1	1341.1	-	野外实测生物量数据	[14]
北方草地	2002~2004	-	48.9	-	-	7/8月份野外实测生物量数据	[18]
温带草地	1997	-	-	154	-	CASA模型	[55]
温带草地	1982~1999	113.6	-	135.8	1.49	CASA模型	[13]
高寒草甸和冻原	1982~1999	159	-	137.0	1.32	CASA模型	[13]
青藏高原高寒草原	1982~1999	49.4	-	89	0.82	CASA模型	[16]
青藏高原高寒草甸	1982~1999	37.6	-	178	1.13	CASA模型	[16]
青藏高原草地	2002~2004	-	-	103.8	-	TEM, MODIS数据	[56]
青藏高原草地	1982~2009	-	-	120.8	-	CASA模型, GIMMS-SPO NDVI	[56]
内蒙古草地	1982~2002	-	-	290.2	2.88	CASA模型	[57]
内蒙古草地	2002	55.9	-	259.9	-	光能利用率模型	[58]
南方草地	2001~2010	-	-	320.0	-	LPA模型(land portfolio assess- ment model)	[59]
潜在生产力							
中国草地	1982~2011	280.4	-	348.2	-	MIAMI气候生产潜力模型	本研究
中国草地	1992~1993	-	-	277.4~312.5	-	MIAMI气候生产潜力模型	[52]
中国草地	2010	393	69.1	-	-	气候潜力模型评估	[60]
中国草地		300	100.4	-	-	实测-生态因子回归	[61]

ANPP和总净初级生产力(total net primary productivity, TNPP)分别为133和1341  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (表4), 这个值远大于Ma等人<sup>[18]</sup>同样基于生长季最大生物量估算的北方草地ANPP(48.9  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )以及其他同类研究, 因此未纳入本文统计之列.

近年来, 多位学者利用遥感资料和模型方法估算了我国草地NPP(表4). 孙睿和朱启疆<sup>[52]</sup>最早利用光能利用率模型估算我国草原和草甸NPP分别为116.0和191.4  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ . 之后, 朴世龙等人<sup>[55]</sup>利用CASA模型估算了我国温带草地的NPP, 为154  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ . CASA模型将生态过程与遥感相结合, 被认为是一个较为符合实际的模型, 因此被广泛用于草地生产力的估算<sup>[13,16,53,56,57]</sup>. 其他光能利用率模型或生物过程机理模型的估算结果低于CASA的估算值<sup>[53]</sup>. 总之,

我国天然草地ANPP和TNPP的平均估算值分别为34和176  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ (表4).

我国天然草地NPP在过去几十年里有显著增加趋势<sup>[13,16,57]</sup>. 如在1982~1999年间青藏高原高寒草原和高寒草甸NPP的年变化率分别为0.82和1.13  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-2}$ <sup>[16]</sup>; 在1982~2002年间内蒙古草地NPP平均每年增加2.88  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , 增加速度显著高于全国或整个北方草地的平均水平<sup>[57]</sup>. 有关南方草地生产力的研究虽很少, 但表明平均NPP非常高, 可达320  $\text{gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , 也呈逐年增加趋势<sup>[59]</sup>.

(ii) 潜在生产力. 潜在生产力是指在一定的气候、土壤和植被条件下, 没有人为影响或动物采食时植物可达到的最大生产力. MIAMI, Montreal, Chikugo等气候统计模型通常被用于估算植被的潜在生产



力. 孙睿和朱启疆<sup>[52]</sup>利用MIAMI模型估算的我国草地潜在生产力为277~313  $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ; 朱文泉等人<sup>[58]</sup>利用MIAMI, Montreal和Chikugo模型估算内蒙古草地生产潜力在443~959  $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$ 之间, 显著高于全国平均水平.

本研究利用1982~2011年间平均年均温和年降水量以及MIAMI模型重新估算了我国草地潜在生产力. 结果表明, 天然草地潜在生产力为348( $\pm 190$ )  $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$ , 约为实际NPP的2倍(表4和图5). 从不同植被类型看, 热带亚热带草丛和温带草丛的潜在生产力最高, 分别达827和505  $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$ ; 荒漠草原和盐生草甸潜在生产力最低. 北方六省(内蒙古、新疆、青海、甘肃、西藏以及宁夏)草地潜在生产力平均为277  $\text{gC m}^{-2} \text{a}^{-1}$ , 其中甘肃潜在生产力最高, 宁夏最低(图5).

### 3.3 影响天然草地生物量和生产力的因素

草地生物量和生产力受自然和人为因素的影响<sup>[51,62]</sup>. 在我国干旱半干旱地区的草地, 水分是植物生长的主要限制因子, 草地生物量的空间变异与降水量相关性最高<sup>[50,63]</sup>. 不仅是年降水量, 降水格局的变化, 如降水量的年际、季节变化, 降水频率的变化等也对草地地上生物量产生影响<sup>[21,51,64~67]</sup>. 虽然有研究表明, 气温的影响也很重要, 随着温度的增加, 草地生物量呈增加趋势(本文也有相似结果)<sup>[17]</sup>, 但气温影响的本质, 可能是降水作用的结果. 因此, 在讨论基于遥感数据得出的草地生物量与温度关系时, 需要注意不同水分条件, 例如, 在干旱和半干旱地区的温度与生物量的关系与在湿地草原的关系就可能很不一样.

除降水、温度等因素外, 植物物种丰富度、微环境要素、土壤养分以及放牧等人为因素都会影响生物量和生产力<sup>[68~70]</sup>. Hirota等人<sup>[68]</sup>对青藏高原高寒草甸的实验表明, 在较小尺度植被生产力随物种多样性的增加而增加. 在大尺度上, 如我国温带草地植被生产力与物种多样性之间也存在显著的正相关关系, 但这被认为是降水对两者共同起作用的结果<sup>[18]</sup>. 放牧是导致草地生物量时空变异的重要原因. 放牧通过选择性的采食、践踏和粪尿归还等过程对草地产生综合影响, 包括改变植物生产力及影响生产力形成过程中的诸多因子, 如植物种类组成与多样性、土壤养分的有效性等, 特别是过度放牧对上述各个方面几乎都产生显著的负面效应. 很多研究表明, 过度放牧导致草地生物量降低, 如在内蒙古温带草原及青藏高原高寒草甸的放牧实验结果均显示, 随放牧强度的增加, 地上和地下生物量均呈下降趋势, 过度放牧导致草原地下生物量降低30%~50%<sup>[69,70]</sup>.

## 4 人工草地分布、生产力及影响因素

### 4.1 人工草地的分布及生产力

人工草地是通过补播、施肥、排灌等措施维持的草地, 可以直接放牧, 也可以用于青饲、青贮、半干贮或干草储备等. 发展人工草地, 对减缓天然草地退化趋势、增加畜牧业产量均有重要意义. 近年来我国人工草地发展很快. 统计资料表明, 2013年我国人工草地面积约 $2.09 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 比1990年增加了2倍以上(图6).

我国人工草地在各省区(上海除外)都有分布, 但

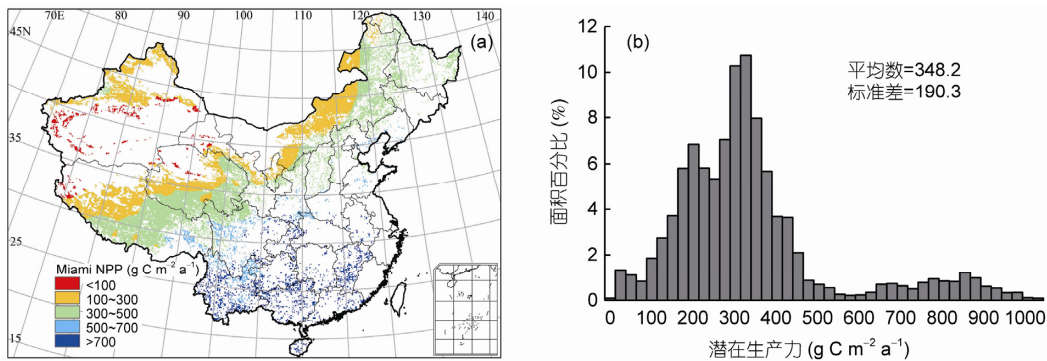


图5 基于过去30年(1982~2011)气候数据和MIAMI模型估算的我国天然草地潜在生产力的空间分布(a)和频度分布(b)

Figure 5 Spatial pattern (a) and the frequency distribution (b) of potential productivity of China's natural grasslands estimated from meteorological data during the period of 1982~2011 by the MIAMI model

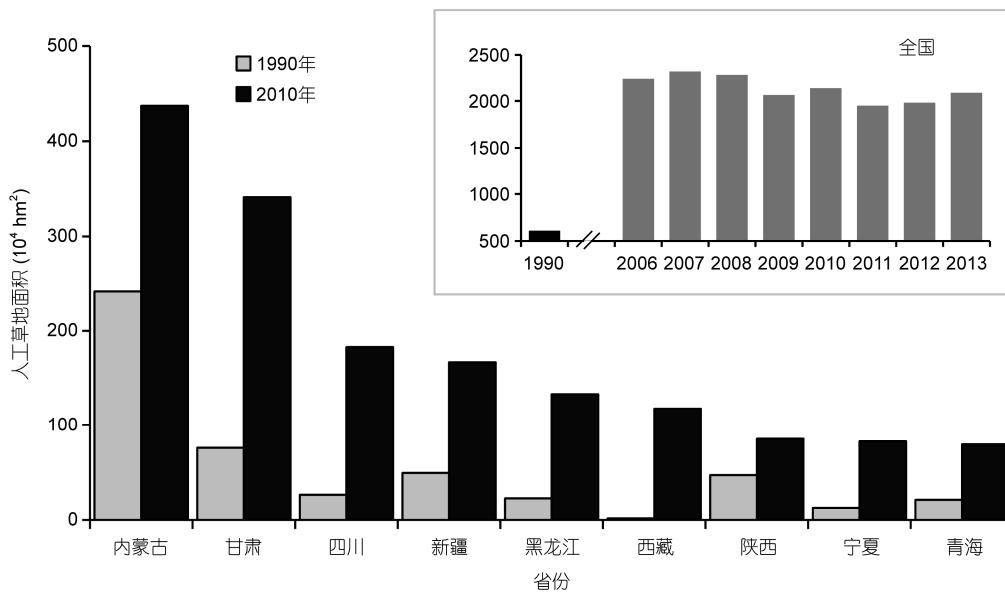


图6 不同省区人工草地面积及其变化(右上角小图为全国人工草地面积及其变化, 资料来自中国草业统计, <http://www.digitalgrass.cn>)  
**Figure 6** Sown pasture areas of different provinces in 1990 and 2010 (bars) and the change of the total sown pasture area in China (inside), data from <http://www.digitalgrass.cn>

80%以上主要分布在内蒙古、甘肃、四川、新疆、黑龙江、西藏、山西、宁夏、青海以及吉林等省区(图6)。其中, 内蒙古人工草地面积最大, 2010年各类人工草地面积约 $4.37 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 占全国人工草地总面积的20%。其次为甘肃, 2010年人工草地面积为 $3.41 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 比1990年增加了近3.5倍。四川是上述几个省区中, 人工草地面积增加最快的省份, 20年间增加了约5.7倍, 2010年总面积仅次于甘肃, 列居第三。在北方主要牧区中, 青海省人工草地面积最少, 仅 $7.99 \times 10^5$  hm<sup>2</sup>(图6)。

我国人工草地种植物种多达70种。多年生牧草主要以紫花苜蓿(*Medicago sativa*)为主的豆科牧草和以羊草(*Leymus chinensis*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、黑麦草(*Lolium perenne*)等为主的禾本科牧草, 一年生牧草主要以青贮玉米和青贮高粱等为主(图7)。其中紫花苜蓿人工草地分布最广, 2010年紫花苜蓿年末保留种植面积约 $4.08 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 占人工草地的约19%; 其次为披碱草和青贮玉米, 约 $3.01 \times 10^6$ 和 $2.13 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>, 分别占当年人工草地的14%和11%(图7)。

人工草地的生产力和牧草质量通常比同样气候环境下的自然草地高, 例如, 2010年紫花苜蓿和青贮玉米人工草地生产力(干草产量)分别高达3.1~30.0和2.2~42.0 t hm<sup>-2</sup>(平均11.5和20.7 t hm<sup>-2</sup>)(中国草业统计2013)。2010年全国多年生人工草地平均生产力为

5.0 t hm<sup>-2</sup>, 一年生草地则为21.7 t hm<sup>-2</sup>。如果我国天然草地平均地上生物量密度为1.8 t hm<sup>-2</sup>(本研究), 那么人工草地的生产力为天然草地的2.7~12.1倍。人工草地的种植规模和生产水平是衡量一个地区或国家畜牧业发达程度的重要标志。欧洲是人工草地最发达的地区之一, 人工草地面积占总草地面积的50%以上, 牧草占全部饲料生产的49%。其中, 英国的人工草地占总草地面积的70%, 荷兰则全部是人工草地。新西兰改良草地和半人工草地占草地总面积的66%, 大部分改良草地采用飞机作业, 生产能力走在世界前列。美国人工草地面积约占全部草地的29%, 牧草产值在所有农产品中仅次于玉米而居第二<sup>[71,72]</sup>。与这些发达国家相比, 我国人工草地面积小、品种少、生产力低。

#### 4.2 人工草地生产力的影响因素

我国目前人工草地多分布在干旱半干旱地区, 水分条件是影响生产力的主要因素<sup>[73,74]</sup>。对内蒙古锡林郭勒盟人工草地的分析表明, 牧草产量在降水量低的地方如镶黄旗产量非常低, 仅有0.094 t hm<sup>-2</sup>; 而在降水量较高的西乌旗生产力可达2.4~6.7 t hm<sup>-2</sup><sup>[75]</sup>。张英俊<sup>[76]</sup>认为我国北方人工草地应在降水量大于280 mm的地区建设; 通过灌溉进行适量的人工补水可以有效提高人工草地的生产力<sup>[77]</sup>。此外, 温度、土

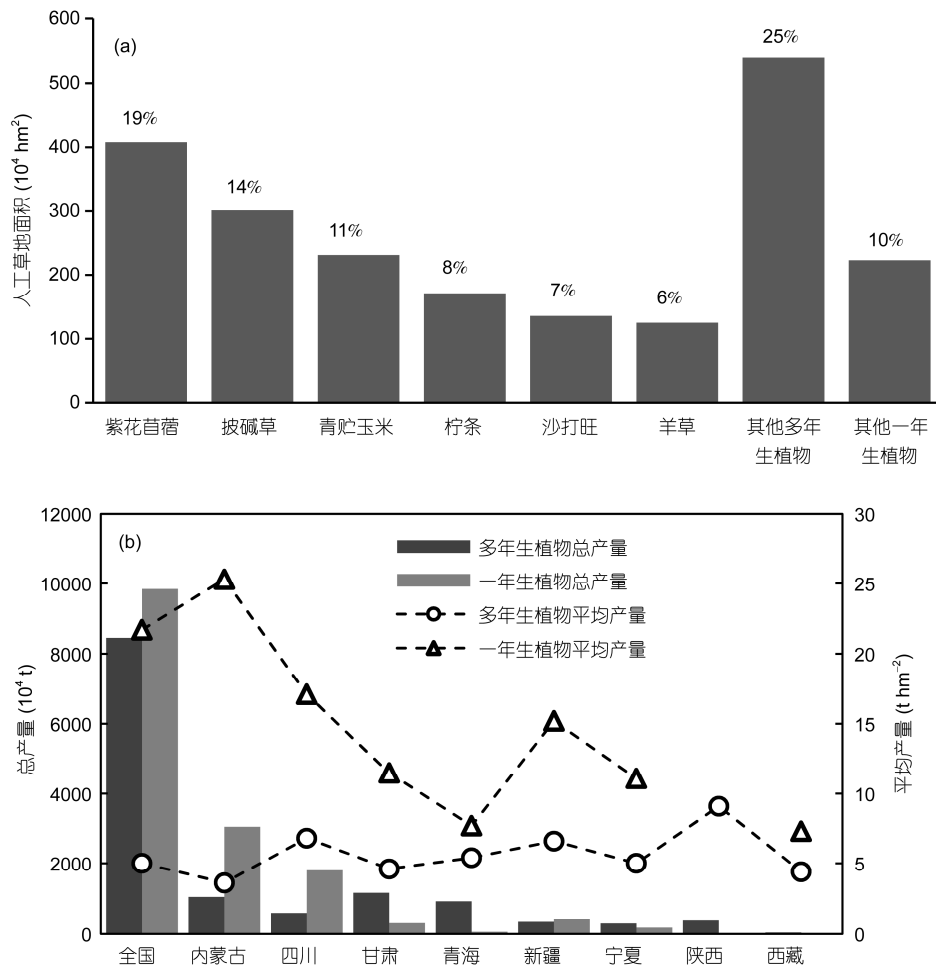


图7 2010年我国人工草地主要种植植物面积(a)和不同省份人工草地产量(b)(数据来自中国草业统计2013)(a)中数字表示各类人工草地面积在全国人工草地中所占的比例

Figure 7 Sown pasture area of different planting species (a) and sown pasture productivity in different provinces (b) (data from China Grass-industry Statistics 2013). The percentage date in (a) mean the ratio of each planting species area and total sown pasture area

壤质地及土壤养分可利用性等对人工草地的生产力也具有重要影响。例如，顾梦鹤等人<sup>[78]</sup>对青藏高原多年生人工草地的养分添加试验结果表明，施肥可以有效补充土壤对植物养分的供给，使牧草获得较高的生物量，提高草地生产力。

人工草地的生产力也受种植密度、种植方式等人为管理措施的影响。在一定范围内，合理密植可以增加生产力。研究表明，羊茅人工草地随着密度的增大其生产力显著提高<sup>[79]</sup>。在牧草种植密度一定的条件下，种植方式也会影响人工草地的生产力。研究结果显示，混播可以延长牧草的青草期，增加土壤肥力<sup>[72,79]</sup>，因此，具有更高的生产力。邓飞等人<sup>[75]</sup>通过对内蒙古锡林郭勒盟多年生人工草地的调查发现，在单播的人工草地中，单播紫花苜蓿的人工草地，其

生产力最高为4.7 t hm<sup>-2</sup>；混播的人工草地中，混播老芒麦和紫花苜蓿的人工草地生产力最高为6.7 t hm<sup>-2</sup>。此外，载畜量调控作为草地放牧系统优化的主要技术环节，对人工草地的生产力也有一定的影响。吴文荣等人<sup>[80]</sup>的研究表明，在一定的载畜量范围内，增加草地载畜量能刺激牧草的再生及生长。

由上可见，在降水条件适宜的地方，选择适合该区域的牧草品种和种植方式并进行科学管理，才能充分发挥人工草地高产的优势。

## 5 我国草地的载畜量及承载状况

载畜量指一定草地面积上的家畜放牧头数，通常分为实际载畜量和理论载畜量，常用标准羊单位表示。理论载畜量是指一定草地面积内能够使家畜

良好生长及正常繁殖的放牧头数,是评价草地生产能力的重要指标之一,也是影响草地家畜生产能力的一项临界指标<sup>[81,82]</sup>。

近年来,国内很多学者就我国草地载畜量及承载状况开展了研究。例如,李银鹏和季劲钧<sup>[11]</sup>的研究表明,1997年内蒙古草地理论载畜量为 $4.6 \times 10^7$ 绵羊单位,而实际载畜量为 $9.2 \times 10^7$ 绵羊单位,超载率高达102%。杨正礼和杨改河<sup>[83]</sup>利用MIAMI模型计算出我国高寒草地最大理论载畜量为 $1.5 \times 10^8$ 绵羊单位,适宜载畜量为 $7.9 \times 10^7$ 绵羊单位,但实际超载率为28.6%。钱拴等人<sup>[84]</sup>估算得到青海和西藏天然草地年最大载畜量分别为 $2.9 \times 10^7$ ,  $2.7 \times 10^7$ 羊单位,实际牲畜数量均超过了天然草地的最大承载能力,其中青海省超载率为27%,西藏为89%,两省总体牲畜超载率为57%。

就全国而言,自2005年至2013年我国天然草地年平均实际载畜量为 $3.1 \times 10^8$ 羊单位(全国草原监测报告2005~2013)。全国50%以上实际载畜量主要分布在内蒙古、四川、新疆、青海、西藏等重点牧区,其中内蒙古实际载畜量最高,为 $4.4 \times 10^7$ 羊单位,占全国的14%。天然草地年实际载畜量在过去近10年里没有发生显著变化,而理论载畜量(即载畜能力)呈现显著增加趋势(图8),超载率从2005年的40%逐渐降低至2013年的17%,过去10年平均超载率为29.8%<sup>[85]</sup>。

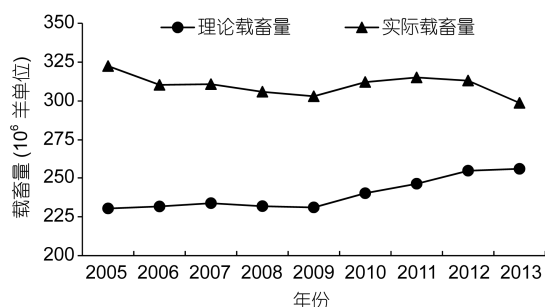


图8 我国天然草地理论载畜量与实际载畜量(数据来自全国草原监测报告2005~2013<sup>[85]</sup>)

Figure 8 Theoretical and actual grazing capacity in China's natural grasslands (data from National Grassland Monitoring Report 2005~2013<sup>[85]</sup>)

## 参考文献

- 1 Wu Z Y. Chinese Vegetation (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980 [吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980]
- 2 Jiang S. Methodology of Grassland Ecology. Beijing: China Agriculture Press, 1988 [姜恕. 草地生态研究方法. 北京: 中国农业出版社, 1988]

载畜能力与草地生产力及牧草质量密切相关,因此影响草地生产力和牧草质量的因素均会对载畜能力产生影响。此外,畜牧业的技术水平如家畜的消费模式等对载畜量也有影响。

## 6 小结

本文通过综述中国草地资源的研究进展,分析了中国草地资源的面积、生物多样性、生物量和生产力及其变化,探讨了草地载畜量、承载状况以及自然和人为因素对草地资源的影响。

(i) 我国天然草地面积究竟多大? 目前不同作者报道的草地面积变动于 $1.67 \times 10^6 \sim 4.31 \times 10^6$  km<sup>2</sup>之间。巨大的面积差异主要来自资料来源和草地定义的不同。我们认为,我国草场资源普查资料和1:1000000中国植被图是确定我国草地面积的两个基本的数据源,据其所获得的草地面积应该还是比较可信的。据此,我国天然草地的面积可能在 $2.80 \times 10^6 \sim 3.93 \times 10^6$  km<sup>2</sup>之间。准确而又及时评估草地面积对于畜牧业生产以及生态系统管理都具有重要意义,但目前还没有很好的评估方法。

(ii) 过去30年间我国天然草地生物量呈现增加趋势,平均地上和地下生物量密度分别为178和759 g m<sup>-2</sup>。基于过去文献资料得到的我国天然草地NPP为89~320 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>之间,平均值为176 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>,并具有逐年增加的趋势。根据MIAMI模型的估算,我国天然草地气候潜在生产力为348 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>,约为实际估算生产力的2倍。弄清楚草地生产力的变化原因是草地管理的基础,但目前对于这方面的研究显然不足。

(iii) 从现有的资料看,过去10余年,我国天然草地超载率得到一定程度的缓解,但超载率仍超过20%,过度放牧现象依然很严重,天然草地退化仍在持续。

(iv) 和一些发达国家相比,我国人工草地的发展比较落后。2013年底我国人工草地面积约为 $2.09 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,仅占天然草地的7.5%,远低于发达国家平均水平。人工草地具有较高的生产力,可达天然草地的2.7~12.1倍。

- 3 Ren J Z, Hu Z Z, Mu X D, et al. The integrated orderly classification system of grassland and its signification for grassland embryology (in Chinese). *Chin J Grassland*, 1980, 1: 12–24, 38 [任继周, 胡自治, 牟新待, 等. 草原的综合顺序分类法及其草原发生学意义. *中国草原*, 1980, 1: 12–24, 38]
- 4 Su D X. The regional distribution and productivity structure of the Chinese grassland resources (in Chinese). *Acta Agrest Sin*, 1994, 2: 71–77 [苏大学. 中国草地资源的区域分布与生产力结构. *草地学报*, 1994, 2: 71–77]
- 5 Jia S X. Grassland Management and its Development. The Collected Works of Jia ShenXiu (in Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2002 [贾慎修. 草地经营学及其发展. 贾慎修文集. 北京: 中国农业大学出版社, 2002]
- 6 Food and Agriculture Organization of the United Nations STAT, 2000, [http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/grass\\_stats/grass-stats.htm](http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/grass_stats/grass-stats.htm)
- 7 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 & Techology 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]
- 8 Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China's Environmental Bulletin in 2012 (in Chinese). 2013 [中华人民共和国环境保护部. 2012年中国环境状况公报. 2013]
- 9 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*, 2015, 60: 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]
- 10 Zhang X S, Li B, Shi P J. Development and utilization of grassland resources in southern China (in Chinese). *J Nat Res*, 1998, 13: 1–7 [张新时, 李博, 史培军. 南方草地资源开发利用对策研究. *自然资源学报*, 1998, 13: 1–7]
- 11 Li Y P, Ji J J. Assessment of the productivity and livestock carrying capacity of Inner Mongolia grassland by regional scale modeling (in Chinese). *J Nat Res*, 2004, 19: 610–616 [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. *自然资源学报*, 2004, 19: 610–616]
- 12 Liu J Y, Shao Q Q, Fan J W. The integrated assessment indicator system of grassland ecosystem in the Three-River Headwaters region (in Chinese). *Geogr Res*, 2009, 28: 273–283 [刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 三江源区草地生态系统综合评估指标体系. *地理研究*, 2009, 28: 273–283]
- 13 Fang J, Piao S, Field C B, et al. Increasing net primary production in China from 1982 to 1999. *Front Ecol Environ*, 2003, 1: 293–297
- 14 Ni J. Estimating net primary productivity of grasslands from field biomass measurements in temperate northern China. *Plant Ecol*, 2004, 174: 217–234
- 15 Ni J. Forage yield-based carbon storage in grasslands of China. *Clim Change*, 2004, 67: 237–246
- 16 Piao S, Fang J, He J. Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999. *Clim Change*, 2006, 74: 253–267
- 17 Piao S, Fang J, Zhou L, et al. Changes in biomass carbon stocks in China's grasslands between 1982 and 1999. *Glob Biogeochem Cycles*, 2007, 21: B2002
- 18 Ma W, He J S, Yang Y, et al. Environmental factors covary with plant diversity-productivity relationships among Chinese grassland sites. *Glob Ecol Biogeogr*, 2010, 19: 233–243
- 19 Yang Y, Fang J, Ma W, et al. Soil carbon stock and its changes in northern China's grasslands from 1980s to 2000s. *Glob Change Biol*, 2010, 16: 3036–3047
- 20 Bai Y F, Wu J G, Clark C M, et al. Grazing alters ecosystem functioning and C:N:P stoichiometry of grasslands along a regional precipitation gradient. *J Appl Ecol*, 2012, 49: 1204–1215
- 21 Ma W H, Fang J Y, Yang Y H, et al. Biomass carbon stocks and their changes in northern China's grasslands during 1982–2006. *Sci China Life Sci*, 2010, 53: 841–850
- 22 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]
- 23 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]
- 24 Ni J. Carbon storage in grasslands of China. *J Arid Environ*, 2002, 50: 205–218
- 25 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 [中国科学院综考会. 中国草地资源图(1:400万). 北京: 科学出版社, 1996]
- 26 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]
- 27 Shi Y L. The Land Resource Map of China (1:1000000) (in Chinese). Beijing: China Renmin University Press, 1991 [石玉林. 中国1:100万土地资源图. 北京: 中国人民大学出版社, 1991]

- 28 Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Carbon storage in terrestrial ecosystem of China. In: Wang G C, Wen Y P, eds. *The Measurement of Greenhouse Gas and Their Release and Related Processes* (in Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1996. 109–128 [方精云, 刘国华, 徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库. 见: 王庚辰, 温玉璞, 主编. 温室气体浓度和排放监测及相关过程. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 109–128]
- 29 Li K R, Wang S Q, Cao M K. Vegetation and soil carbon storage in China. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 2004, 47: 49–57
- 30 Wang S Y, Liu J Y, Zhang Z X, et al. Analysis on spatial-temporal features of land use in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2001, 56: 631–639 [王思远, 刘纪远, 张增祥, 等. 中国土地利用时空特征分析. 地理学报, 2001, 56: 631–639]
- 31 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]
- 32 Du Q L. *China Grass Industry Sustainable Development Strategy* (in Chinese). Beijing: China Agricutcare Press, 2006 [杜青林. 中国草业可持续发展战略. 2006]
- 33 Ni J, Sykes M T, Prentice I C. Modelling the vegetation of china using the process-based equilibrium terrestrial biosphere model biome3. *Glob Ecol Biogeogr*, 2000, 9: 463–479
- 34 Feng Q S. Characteristics of spatio-temporal distribution of global and regional vegetation types based on CSCS model (in Chinese). Doctor Dissertation. Lanzhou: Lanzhou University, 2012 [冯琦胜. 基于CSCS模型的全球及区域潜在自然植被时空分布特征研究. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2012]
- 35 Hansen M C, DeFries R S, Townshend J, et al. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: First results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm. *Earth Interact*, 2003, 7: 1–15
- 36 Liu Y H, Niu Z, Xu Y M, et al. Design of land cover classification system for China and its application research based on MODIS data (in Chinese). *Transact CSAE*, 2006, 22: 99–104 [刘勇宏, 牛铮, 徐永明, 等. 基于MODIS数据设计的中国土地覆盖分类系统与应用研究. 农业工程学报, 2006, 22: 99–104]
- 37 Chen F, Xie Z H. A land cover dataset based on Chinese vegetation data and its impact on land surface simulations (in Chinese). *Chin J Atmos Sci*, 2009, 33: 681–697 [陈锋, 谢正辉. 基于中国植被数据的陆面覆盖及其对陆面过程模拟的影响. 大气科学, 2009, 33: 681–697]
- 38 Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2009, 64, 1411–1420 [刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. 地理学报, 2009, 64: 1411–1420]
- 39 Li X H, Wei Y R, Zhang C H. Variation of grassland area and its cause in Inner Mongolia—A case study on Duolun Country of Xilin Gol League (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2012, 29: 19–24 [李兴华, 魏玉荣, 张存厚. 内蒙古草地面积的变化及其成因分析——以锡林郭勒盟多伦县为例. 草业科学, 2012, 29: 19–24]
- 40 “1:1000000 China Vegetation Atlas” editorial board. 1:1000000 China Vegetation Atlas (in Chinese). Beijing: Science Press, 2001 [《1:1000000中国植被图集》编辑委员会. 1:1000000中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001]
- 41 Li Z Q. The complexity and diversity of typical plant communities along the Northeast China transect (NECT) (in Chinese). *Acta Bot Sin*, 2000, 42: 971–978 [李镇清. 中国东北样带(NECT)植物群落复杂性与多样性研究. 植物学报, 2000, 42: 971–978]
- 42 Shimono A, Zhou H K, Shen H H, et al. Patterns of plant diversity at high altitudes on the qinghai-tibetan plateau. *J Plant Ecol*, 2010, 3: 1–7
- 43 Tang Z, Fang J, Chi X, et al. Geography, environment, and spatial turnover of species in China’s grasslands. *Ecography*, 2012, 35: 1103–1109
- 44 Jin D, Ma J, Ma W, et al. Legumes in chinese natural grasslands: Species, biomass, and distribution. *Rangel Ecol Manage*, 2013, 66: 648–656
- 45 Chen J, Yamamura Y, Hori Y, et al. Small-scale species richness and its spatial variation in an alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecol Res*, 2008, 23: 657–663
- 46 Bai Y F, Zhang L X, Zhang Y, et al. Changes in plant functional composition along gradients of precipitation and temperature in the Xilin River basin, Inner Mongolia (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 2002, 26: 308–316 [白永飞, 张丽霞, 张焱, 等. 内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究. 植物生态学报, 2002, 26: 308–316]
- 47 Piao S, Fang J Y, He J S, et al. Spatial distribution of grassland biomass in China (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 2004, 28: 491–498 [朴世龙, 方精云, 贺金生, 等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. 植物生态学报, 2004, 28: 491–498]
- 48 Fang J, Guo Z, Piao S, et al. Terrestrial vegetation carbon sinks in China, 1981–2000. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 2007, 50: 1341–1350
- 49 Fan J W, Zhong H P, Harris W, et al. Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. *Clim Change*, 2008, 86: 375–396
- 50 Yang Y H, Fang J Y, Pan Y D, et al. Aboveground biomass in Tibetan grasslands. *J Arid Environ*, 2009, 73: 91–95
- 51 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
- 52 Sun R, Zhu Q J. Distribution and seasonal change of net primary productivity in China (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2000, 55: 36–45 [孙睿, 朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究. 地理学报, 2000, 55: 36–45]

- 53 Gao Z Q, Liu J Y. Simulation study of China's net primary production (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2008, 53: 327–316 [高志强, 刘纪远. 中国植被净生产力的比较研究. *科学通报*, 2008, 53: 317–326]
- 54 Feng X, Liu G, Chen J M, et al. Net primary productivity of China's terrestrial ecosystems from a process model driven by remote sensing. *J Environ Manage*, 2007, 85: 563–573
- 55 Piao S L, Fang J Y, Guo Q H. Application of CASA model to the estimation of Chinese terrestrial net primary productivity (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 2001, 25: 603–608 [朴世龙, 方精云, 郭庆华. 利用CASA模型估算我国植被净第一性生产力. *植物生态学报*, 2001, 25: 603–608]
- 56 Zhang Y, Qi W, Zhou C, et al. Spatial and temporal variability in the net primary production of alpine grassland on the Tibetan Plateau since 1982. *J Geogr Sci*, 2014, 24: 269–287
- 57 Zhang F, Zhou G S, Wang Y H. Dynamics simulation of net primary productivity by a satellite data-driven CASA model in Inner Mongolian typical steppe, China (in Chinese). *J Plant Ecol (Chin Ver)*, 2008, 32: 786–797 [张峰, 周广胜, 王玉辉. 基于CASA模型的内蒙古典典型草原净初级生产力动态模拟. *植物生态学报*, 2008, 32: 786–797]
- 58 Zhu W Q, Pan Y Z, Long Z H, et al. Estimating net primary productivity of terrestrial vegetation based on GIS and RS: A case study in Inner Mongolia, China (in Chinese). *J Remote Sens*, 2005, 9: 300–307 [朱文泉, 潘耀忠, 龙中华, 等. 基于GIS和RS的区域陆地植被NPP估算——以中国内蒙古为例. *遥感学报*, 2005, 9: 300–307]
- 59 Sun Z, Sun C, Zhou W, et al. Evaluating the net primary productivity in the grasslands of southern China from 2001 to 2010 using a new land portfolio assessment model. *Plant Ecol*, 2013, 214: 1223–1232
- 60 Chen B M. The Integrated Agricultural Resources Production Capability and Population Supporting Capacity in China (in Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2001 [陈百明. 中国农业资源综合生产能力和人口承载能力. 北京: 气象出版社, 2001]
- 61 Tian Y Z. Assessment of potential food provisioning services of terrestrial ecosystems in China based on grid-cells (in Chinese). Doctor Dissertation. Beijing: Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, 2005 [田永中. 基于栅格的中国陆地生态系统食物供给功能评估. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2005]
- 62 Tang Y H, Wan S Q, He J S, et al. Foreword to the special issue: Looking into the impacts of global warming from the roof of the world. *J Plant Ecol*, 2009, 2: 169–171
- 63 Ma W H, Yang Y H, He J S, et al. Above-and belowground biomass in relation to environmental factors in temperate grasslands, Inner Mongolia (in Chinese). *Sci China Ser C: Life Sci*, 2008, 38: 84–92 [马文红, 杨元合, 贺金生, 等. 内蒙古温带草地生物量及其与环境因子的关系. *中国科学C辑: 生命科学*, 2008, 38: 84–92]
- 64 Bai Y F, Wu J G, Xing Q, et al. Primary production and rain use efficiency across a precipitation gradient on the Mongolia Plateau. *Ecology*, 2008, 89: 2140–2153
- 65 Bai Y F, Han X G, Wu J G, et al. Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland. *Nature*, 2004, 431: 181–184
- 66 Wang Y H, Zhou G S. Responses of temporal dynamics of aboveground net primary productivity of *Leymus chinensis* community to precipitation fluctuation in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2004, 24: 1140–1145 [王玉辉, 周广胜. 内蒙古羊草草原植物群落地上初级生产力时间动态对降水变化的响应. *生态学报*, 2004, 24: 1140–1145]
- 67 Fang J Y, Piao S L, Zhou L M, et al. Precipitation patterns alter growth of temperate vegetation. *Geophys Res Lett*, 2005, 32: 365–370
- 68 Hirota M, Zhang P C, Gu S, et al. Small-scale variation in ecosystem CO<sub>2</sub> fluxes in an alpine meadow depends on plant biomass and species richness. *J Plant Res*, 2010, 123: 531–541
- 69 Wang Y F, Wang S P. Influence of different stocking rates on belowground biomass in Inner Mongolia steppe (in Chinese). *Acta Agrest Sin*, 1999, 7: 198–203 [王艳芬, 汪诗平. 不同放牧率对内蒙古典型草原地下生物量的影响. *草地学报*, 1999, 7: 198–203]
- 70 Zhou H K, Tang Y H, Zhao X Q, et al. Long-term grazing alters species composition and biomass of a shrub meadow on the Qinghai-Tibet Plateau. *Pak J Bot*, 2006, 38: 1055–1069
- 71 Hu Z Z. The importance of artificial grassland in the development of prataculture and the control of environment in China of 21 century (in Chinese). *Grassl Turf*, 2000, 88: 12–15 [胡自治. 人工草地在我国21世纪草业发展和环境治理中的重要意义. *草原与草坪*, 2000, 88: 12–15]
- 72 Su J Y, Zhao H M. Foreign artificial grassland (in Chinese). *Grass-feeding Livestock*, 2003, 2: 65–66 [苏加义, 赵红梅. 国外人工草地. *草食家畜*, 2003, 2: 65–66]
- 73 Ren J Z, Lin H L. Promoting prataculture development in arable region to ameliorate the farming system and insure food security in China (in Chinese). *Acta Pratacult Sin*, 2009, 18: 1–9 [任继周, 林惠龙. 农区种草是改进农业系统——保证粮食安全的重大步骤. *草业学报*, 2009, 18: 1–9]
- 74 Zhang X S. Our country must go in the way of the development of artificial grassland and grassland agriculture (in Chinese). *Impact Sci Soc*, 2010, 3: 18–21 [张新时. 我国必须走在发展人工草地和草地农业的道路. *科学对社会的影响*, 2010, 3: 18–21]
- 75 Deng F, Li X B, Wang H, et al. Analysis on the development status and restriction factors of sown grassland in Xilin Gol League in Inner Mongolia (in Chinese). *Grassl Turf*, 2013, 33: 14–18 [邓飞, 李晓兵, 王宏, 等. 内蒙古锡林郭勒盟人工草地发展现状及制约因素. *草原与草坪*, 2013, 33: 14–18]

- 76 Zhang Y J. Grassland and Farm Management (in Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2009 [张英俊. 草地与牧场管理学. 北京: 中国农业大学出版社, 2009]
- 77 Wang H Q, Tian Y H, Huang W L, et al. Analyzing the impact of irrigation quantity on biomass and water use efficiency of main grasses in artificial grassland in Inner Mongolia (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2015, 10: 3225–3232 [王海青, 田育红, 黄薇霖, 等. 不同灌溉量对内蒙古人工草地主要牧草产量和水分利用效率的影响分析. *生态学报*, 2015, 10: 3225–3232]
- 78 Gu M H, Wang T, Du G Z. Effects of fertilization on productivity and stability of cultivated grassland in an alpine region (in Chinese). *J Lanzhou Univ (Nat Sci)*, 2010, 46: 59–63 [顾梦鹤, 王涛, 杜国祯. 施肥对高寒地区多年生人工草地生产力及稳定性的影响. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2010, 46: 59–63]
- 79 Li A. Study on the ecology mechanism of the relationship of artificial grassland community structure and productivity stability on the Tibetan Plateau (in Chinese). Doctor Dissertation. Lanzhou: Lanzhou University, 2011 [李昂. 青藏高原人工草地群落结构与生产力稳定性关系的生态学机制研究. 博士学位论文. 兰州: 兰州大学, 2011]
- 80 Wu W R, Jin X D, Yuan F J, et al. Effects of grazing capacity on pasture production in southern China (in Chinese). *China Herbivore Sci*, 2013, 4: 36–38 [吴文荣, 金显栋, 袁福锦, 等. 不同载畜量对南方人工草地生产性能的影响. *中国草食动物科学*, 2013, 4: 36–38]
- 81 Ren J Z. Attributes, structure and health evaluation of grassland resources. In: *Progress of Grassland Science in China*. Beijing: China Agricultural University Press, 1996 [任继周. 草地资源的属性、结构与健康评价. 见: *中国草地科学进展*. 北京: 中国农业大学出版社, 1996]
- 82 Dong S K. Grassland carrying capacity (in Chinese). *Grassl Turf*, 1998, 1: 6–11 [董世魁. 什么是草原载畜量. *国外畜牧学(草原与牧草)*, 1998, 1: 6–11]
- 83 Yang Z L, Yang G H. Potential productivity and livestock carrying capacity of high-frigid grassland in China (in Chinese). *Res Sci*, 2000, 22: 72–77 [杨正礼, 杨改河. 中国高寒草地生产潜力与载畜量研究. *资源科学*, 2000, 22: 72–77]
- 84 Qian S, Mao L X, Hou Y Y, et al. Livestock carrying capacity and balance between carrying capacity of grassland with added forage and actual livestock in the Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *J Nat Res*, 2007, 22: 389–396 [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. *自然资源学报*, 2007, 22: 389–396]
- 85 National Grassland Monitoring Report From Ministry of Agriculture (2005–2013) [农业部全国草原监测报告(2005–2013)]

## Analysis of current grassland resources in China

SHEN HaiHua, ZHU YanKun, ZHAO Xia, GENG XiaoQing, GAO ShuQin & FANG JingYun

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

Grasslands cover a large area of terrestrial China. However, the consensus has not been reached so far with regard to their distribution, biomass, productivity and other properties of the extensive ecosystem. A comprehensive assessment on the grassland ecosystem is needed not only for its integrated development and sustainable utilization, but also for understanding its ecological role in future climate change. We surveyed a large body of the literature accumulated during last few decades, combining with model estimation to clarify the grassland distribution, biomass and productivity. The grassland area varied largely among different studies with the range from  $1.67 \times 10^6$ – $4.31 \times 10^6$  km<sup>2</sup>. We considered that an area from  $2.80 \times 10^6$  km<sup>2</sup> to  $3.93 \times 10^6$  km<sup>2</sup> would be reasonable depending on the vegetation map. The averaged biomass of China's grasslands varied greatly among previous study, ranging from 79–123 g m<sup>-2</sup>. Using remote sensing dataset of vegetation index (NOAA/AVHRR-NDVI) and corresponding climate data, our re-estimation indicated that the mean above-ground biomass of natural grassland from 1982–2011 is about 178 g m<sup>-2</sup>, with an increasing rate of 0.4 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. The net primary productivity reported so far, ranging from 89–320 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> with an average of 176 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, showed also an increasing trend. The potential primary productivity based on the climate model was much higher and reached about 348 gC m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Comparing with nature grasslands, the sown pasture area is much smaller and is only about  $2.09 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>, but its productivity was 2.7–12.1 times higher than that of natural grasslands. Concerning with the livestock grazing in China's grassland, we found that the carrying capacity of natural grassland in China is very low, with the average overgrazing rate estimated to be about 20%. Precipitation is the most important factors affecting grassland biodiversity, biomass and productivity and their distribution pattern in China. Because of the extensive area and frangible environments, it is critical to further explore the effects of climate change and human activities such as livestock grazing on the vast grasslands in the East Asia.

**grassland area, distribution, bio-diversity, biomass, productivity, carrying capacity**

doi: 10.1360/N972015-00732