全球历史土地利用数据集中国草地数据可靠性评估

何凡能¹, 李士成^{2*}, 杨帆^{1,3}, 李美娇^{1,3}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国地质大学(武汉)公共管理学院, 武汉 430074;

3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

* 通讯作者, E-mail: lisc@cug.edu.cn

收稿日期: 2018-01-03; 收修改稿日期: 2018-06-26; 接受日期: 2018-08-06; 网络版发表日期: 2018-09-18

国家重点研发计划项目(编号: 2017YFA0603304)和国家自然科学基金项目(批准号: 41671149、41701228)资助

摘要 全球历史土地利用数据集已在全球变化研究中得到了广泛的应用, 但其草地数据在区域尺度上的可靠性, 尚未得到验证和评估. 文章以中国学者基于历史文献重建的过去百年中国草地数据集(葛氏数据集)、过去300年中国东北地区数据集(叶氏数据集)以及1980~2015年中国遥感土地利用/覆盖数据库(CLOUDs)为基准, 采用趋势对比法、相对差异比值法和空间网格对比法对HYDE3.1、HYDE3.2、SAGE和PJ等全球数据集中国草地数据的可靠性进行评估. 结果表明: (1) 全球数据集中国历史草地数据与本国学者所重建的数据相比, 不仅呈现的变化趋势完全相悖, 而且绝对数量也存在巨大差异. (2) 从2000年中国草地空间格局看, HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE与CLOUDs的草地数据对比, 相对差异率大于60%的网格占比分别高达50.9%、52.8%和63.0%. 而小于20%的网格占比分别仅为24.9%、26.7%和16.0%. (3) 从东北地区过去300年草地空间动态过程看, HYDE3.2数据反映了草地空间分布呈不断扩张态势, 而本国学者重建的结果则反映了该地区随土地垦殖活动的增强, 草地空间分布范围日渐萎缩的特征. (4) 造成上述差异的原因除全球数据集与中国区域数据集秉承不同草地概念的内涵外, 主要是源于区域性不同土地利用范式而形成的不同的逻辑基础与重建方法.

关键词 历史草地, 全球数据集, 可靠性评估, 中国

1 引言

大量研究表明, 土地利用与土地覆被变化(Land Use and Land Cover Change, LUCC)对全球环境变化及可持续发展有着重要影响(Vanwallegheem等, 2017; 华文剑等, 2015). 历史时期土地利用与覆被变化作为

该领域的重要组成部分, 因其在解释现今和预测未来土地利用/覆被变化的过程(Hurt等, 2011)、定量刻画长时间尺度土地利用/覆被变化的环境效应(Vanwallegheem等, 2017; 李蓓蓓等, 2014)、诊断气候变化机理(Feddema等, 2005)等方面具有重要意义, 而受到国际学术界的广泛关注.

中文引用格式: 何凡能, 李士成, 杨帆, 李美娇. 2019. 全球历史土地利用数据集中国草地数据可靠性评估. 中国科学: 地球科学, 49: 421–433, doi: 10.1360/N072018-00005

英文引用格式: He F, Li S, Yang F, Li M. 2018. Evaluating the accuracy of Chinese pasture data in global historical land use datasets. Science China Earth Sciences, 61: 1685–1696, <https://doi.org/10.1007/s11430-018-9256-1>

国际上, 有关历史土地利用变化已开展了大量研究工作, 研制了许多数据集. 在区域尺度上, 如美国1800~1977年森林数据集(Clawson, 1979)和1850~2016年耕地数据集(Yu和Lu, 2018), 巴西1940~1995年土地利用数据集(Leite等, 2012), 欧洲1000BC~AD1850年毁林数据集(Kaplan等, 2009), 印度1880~2010土地利用数据集(Tian等, 2014)等; 在全球尺度上, 较具代表性的如全球历史环境数据集HYDE(Historical Database of the Global Environment)(Goldewijk等, 2017, 2011)、全球土地利用数据集SAGE(Center for Sustainability and the Global Environment)(Ramankutty和Foley, 1999)、全球过去千年土地利用数据集PJ(Pongratz Julia)(Pongratz等, 2008)、全新世土地利用数据集KK10(Kaplan和Krumhardt, 2010)(Kaplan等, 2011)等. 这些研究工作不仅极大推动了历史LUCC重建方法的发展, 而且也为全球环境变化模拟研究提供了基础数据.

在国际相关科学计划的引领下, 国内对历史土地利用与覆被变化也进行了许多研究, 并取得了一系列的成果(Yang等, 2014; 李美娇等, 2018). 如葛全胜等(2008)利用历史文献资料重建了过去300年中国土地数据; 何凡能等在构建土地宜垦性评估模型的基础上, 重建了中国过去300年耕地、林地变化空间数据集(He等, 2015; Li等, 2016); 叶瑜等(2009)基于历史文献资料复原了中国东北地区过去300年县域尺度的土地利用变化(Ye和Fang, 2011); 李士成等(2015)以人口为代用资料, 重建了青藏高原过去百年的耕地分布; Jin等(2016)利用元胞自动机(Cellular Automata, CA)模型重建了江苏省历史耕地空间格局, 吴致蕾等(2016)复原了青藏高原河湟谷地地区的历史土地利用变化等. 然而, 从目前已发表成果看, 大部分研究主要集中在耕地和林地等土地类型, 而有关历史时期草地的定量重建相对较少, 只有葛全胜等(2000)通过收集、整理与校准各种土地利用资料, 揭示了20世纪中国草地面积变化规律; Ye和Fang(2011)和吴致蕾等(2016)采用从潜在植被中扣减掉人类活动用地的方法, 重建了东北地区和青藏高原东北部河湟谷地的历史草地覆被变化.

草地作为中国面积最大的陆地生态系统类型, 其面积、空间格局和生产力等方面的变化对全球碳循环过程有着重要影响(张利等, 2016). HYDE等全球历史土地利用数据集包含有中国草地数据, 并在许多区域

性的相关研究中得到引用. 然而, 正如SAGE等全球数据集研发者所声明那样, 其在区域尺度上还存在较大的不确定性(Goldewijk和Verburg, 2013), 引用时需持审慎态度(Kaplan等, 2017). 中国学者对全球数据集中国区域的历史耕地数据的评估结果也表明, 其不能客观反映中国长时段耕地变化的时空特征(Zhang等, 2013; 何凡能等, 2012; 李蓓蓓等, 2010). 至于全球数据集中国草地数据的可靠性如何, 至今尚未评估.

有鉴于此, 本研究拟以本国学者重建的历史草地数据为基础, 对HYDE、SAGE和PJ等全球数据集中国区域草地数据的可靠性进行评估. 希冀评估结果能为中国历史草地数据集的研制提供借鉴, 为HYDE、SAGE等全球数据集的完善提供区域性参考.

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文引用了三类草地数据集, 即全球历史草地数据集、中国历史草地数据集和中国基于遥感的草地数据集. 其中, 全球历史草地数据集是基于“牧草地”的概念而建立的, 而中国历史草地数据集和基于遥感的草地数据集则是依“草地”概念而建立的, 二者不尽相同. 为了保留各自数据集草地概念的内涵, 文中对全球历史草地数据集仍以“牧草地数据集”称之, 对中国学者重建的历史草地和基于遥感的草地数据集称之为“草地数据集”.

2.1.1 全球历史草地数据集

包含有牧草地的全球数据集有HYDE(Goldewijk等, 2017, 2011)、SAGE(Ramankutty, 2012; Ramankutty和Foley, 1999)、PJ(Pongratz等, 2008)以及KK10(Kaplan等, 2011)等(表1). 因KK10没有将牧草地从人类活动用地中区分出来, 无法开展相关评估, 因此, 文中选取了HYDE3.1、HYDE3.2、SAGE和PJ等4个全球数据集的牧草地数据进行评估. 具体如下:

(1) HYDE牧草地数据集. 牧草地面积估算是基于联合国粮农组织1960年以来牧草地和人口数据, 采用历史人口总量和人均牧草地面积计算而得; 空间重建思路是在遥感草地空间格局(用同期的牧草地普查数据进行校正)的基础上, 考虑人口、净初级生产力、土壤、气候等因子, 将估算的牧草地面积分配至空间网

格. HYDE最初版本只覆盖过去300年, HYDE3.1版本将重建时段扩展至10000BC~AD2000. 最新版本HYDE3.2除了更新完善区域尺度的牧草地面积数据以外, 牧草地类型也细分为集约利用程度较高的牧草地(pasture)和集约利用程度较低的牧草地(rangeland).

(2) SAGE牧草地数据集. Ramankutty和Foley (1999)在假定历史时期土地覆被的空间格局和现代一致的基础上, 将基于人口数量估算的耕地面积分配至0.5°经纬网格, 创建了全球1700~1992年耕地数据集——SAGE. 该数据集还包含有2000年5min全球耕地和牧草地的分布数据(Ramankutty等, 2008). 随后, 其采用同样的思路, 即人口数量决定牧草地规模和历史牧草地空间格局与现代一致, 在新版数据集中增加牧草地类型, 并将耕地和牧草地的空间分布数据扩展为1700~2007年(Ramankutty, 2012).

(3) PJ牧草地数据集. 该数据集是德国马克斯普朗克气象研究所Pongratz等在HYDE和SAGE数据集的基础上, 创建的全球800~1992年的土地利用数据集, 包括耕地和牧草地两种类型. 其方法同样是将人口数据作为农业活动的代用指标, 估算历史时期牧草地面积; 并以SAGE数据集1992年的牧草地空间格局和HYDE数据集牧草地的变化率为牧草地空间分配原则进行空间重建, 得到了0.5°经纬网格的全球800~1992年牧草地数据集.

2.1.2 中国历史草地数据集

本文引用国内学者建立的两个区域性草地数据集, 即20世纪中国土地利用数据集(以下简称为葛氏数据集)(葛全胜等, 2000)和中国东北地区过去300年土地利用数据集(以下简称为叶氏数据集)(Ye和Fang,

2011). 其中, 葛氏数据集是以历史文献为基础, 通过对民国时期和1949年以后各类调查统计数据 and 当时相关研究报告的分析、比较与考证, 重建了1935、1949、1986、1997年4个时间断面的中国草地数据. 叶氏数据集是运用潜在植被法恢复了东北地区未受人为影响下的植被分布图, 以此为基础, 扣减基于历史文献和调查资料重建的耕地面积, 而得到县级空间分辨率的过去300年东北地区的草地面积(表1).

2.1.3 基于遥感的草地数据集

考虑到HYDE、SAGE等全球数据集历史时期的土地利用空间重建均是基于遥感土地覆盖数据, 因此本研究也将中国遥感土地利用/覆盖数据(China's Land-Use/cover Datasets, CLUDs)(Liu等, 2014)纳入对比, 以分析全球数据集在中国区域可能存在的不确定性. CLUDs是以Landsat TM/ETM遥感影像为主要数据源, 通过人工目视解译生成, 包括耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地6个一级类型(Liu等, 2014). CLUDs包含矢量数据库和1km比例成分分类栅格数据库, 矢量数据栅格化生成的1980、1990、1995、2000、2005、2010和2015年7期1km栅格数据(每个1km栅格的属性为一种土地利用类型)均下载自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>), 1990、2000和2010年3期的1km比例成分分类栅格数据(每个1km栅格的属性为不同土地利用类型的面积百分比)下载自地球系统科学数据共享网(<http://www.geodata.cn/>).

2.2 评估方法

为了从变化趋势、面积数量和空间格局等方面评

表 1 包含草地/牧草地的代表性全球历史土地利用数据集和中国区域定量重建数据集^{a)}

数据集名称	覆盖时段	土地利用/覆被类型	分辨率	参考文献	
全球数据集	HYDE3.1	10000BC~AD2000	耕地/牧草地/建设用地	5'	Goldewijk等, 2011
	HYDE3.2	10000BC~AD2015	耕地/牧草地/建设用地	5'	Goldewijk等, 2017
	SAGE	AD1700~2007	耕地/牧草地	0.5°	Ramankutty, 2012
	PJ	AD800~1992	耕地/牧草地	0.5°	Pongratz等, 2008
中国数据集	葛氏数据集	AD1935~1997	耕地/林地/草地/园地/居住工矿地/交通用地/水体	全国	葛全胜等, 2000
	叶氏数据集	AD1700s~2000	耕地/林地/草地	县域	Ye和Fang, 2011
	CLUDs	AD1980~2015	耕地/林地/草地/水域/城乡工矿居民用地/未利用地	1km	Liu等, 2014

a) BC为Before Christ的缩写, 指公元前; AD是拉丁文Anno Domini的缩写, 指公元

估全球数据集中国历史草地数据的可靠性, 本文选用了趋势对比、相对差异比值和网格对比等分析评估方法. 评估时段以葛氏数据集、叶氏数据集和CLUDs为基准, 设定为过去百年、过去300年以及遥感数据可得1980~2010年.

2.2.1 趋势对比法

趋势对比法是一种从宏观尺度上描述事物变化趋势差异的方法. 本研究以葛氏数据集、叶氏数据集和CLUDs为基准, 采用趋势对比法定量评估HYDE等全球数据集中国牧草地面积在过去数百年至数十年变化趋势方面的不确定性. 趋势对比法以年均增长率为指标, 其计算公式为

$$m = \left(\sqrt[t_2-t_1]{\frac{V(t_2)}{V(t_1)}} - 1 \right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中, m 为草地面积从年份 t_1 到年份 t_2 的年均增长率, $V(t_1)$ 和 $V(t_2)$ 分别为全球数据集或中国本土数据集在年份 t_1 和年份 t_2 的草地面积.

2.2.2 相对差异比值法

相对差异比值法是一种表征同类事物不同个体之间差异程度的方法. 对本研究而言, 相对差异比值是用于揭示不同数据集土地利用面积的差异程度. 其计算公式如下:

$$R = \frac{V_{\text{globe}}(t)}{V_{\text{China}}(t)}, \quad (2)$$

式中, $V_{\text{globe}}(t)$ 为全球数据集中国历史草地面积, $V_{\text{China}}(t)$ 为中国本土数据集草地面积, R 为相对差异比值. R 值越趋近于1, 表明全球数据集和中国本土数据集的草地面积总量越接近; R 值越偏离1, 表明两个数据集的草地面积相差越大.

本文首先以葛氏数据集为基准, 计算全球数据集和葛氏数据集中国大陆地区1935、1949、1986和1997年的相对差异比值; 其次以CLUDs为基准, 计算全球数据集和CLUDs中国大陆地区1980、1990、2000和2010年的相对差异比值; 最后以叶氏数据集为基准, 计算了全球数据集和叶氏数据集中国东北地区1700、1780、1950和2000年的相对差异比值.

2.2.3 网格对比法

网格对比法是为了揭示不同数据集所反映同种土地类型空间分布差异的一种传统分析方法, 已被多次应用到历史土地利用数据集精度评估工作中(何凡能等, 2012; 李蓓蓓等, 2010; Kaplan等, 2017; Goldewijk和Verburg, 2013; Zhang等, 2013). 全球数据集草地空间重建均是基于遥感草地空间格局, 因此, 本研究以CLUDs为准, 采用网格对比法, 对全球数据集中国草地空间格局重建的合理性进行评估. 其计算公式为

$$\text{relativediff}(i, t) = \frac{(V_{\text{globe}}(i, t) - V_{\text{CLUDs}}(i, t))}{V_{\text{CLUDs}}(i, t)} \times 100\%, \quad (3)$$

式中, $\text{relativediff}(i, t)$ 为全球数据集网格 i 在年份 t 的相对差异率, $V_{\text{globe}}(i, t)$ 、 $V_{\text{CLUDs}}(i, t)$ 分别为全球数据集和CLUDs的网格 i 在年份 t 的草地面积占比. $\text{relativediff}(i, t)$ 值越大, 表征全球数据集和CLUDs在网格尺度上的空间格局差异越大. 鉴于上述几个全球数据集的空间分辨率, 评估网格大小选取为10km.

此外, 本文还选取了空间分辨率可达县级、时间序列覆盖过去300年的中国东北地区历史草地数据集为基准, 对全球数据集中国东北地区1700、1780、1950和2000年的草地空间格局重建的合理性进行区域评估.

3 结果

3.1 数量评估

3.1.1 全国总量评估

受可资对比数据源的限制, 本文在全国尺度草地总量评估方面只针对两个时段, 即过去百年和1980~2010年. 其中, 过去百年是以葛氏数据为基准, 1980~2010年是以CLUDs数据为基准, 分别对全球数据集中国草地数据进行定量评估.

就近百年变化趋势而言, 全球数据集中国草地面积均呈增长态势(图1). HYDE3.1和HYDE3.2中国草地覆盖率分别从1900年15.56%和24.29%增至2005年的53.20%和2010年的52.23%, 草地面积分别扩大了3.42和2.15倍. 其中, 1900~1950年为缓慢增长时期, 年均增长率分别为1.30%和0.77%; 1950~1990年为快速增长时期, 年均增长率分别为2.28%和1.73%; 1990~2010年为相对稳定或缓慢减少时期, 年均增长率分别为

图 1 近百年中国草地面积变化趋势图

-0.01%和-0.09%。PJ和SAGE所反映的变化过程也处于增长态势,草地覆盖率分别从1900年的20.45%和13.96%增至1992年的32.06%和2007年的29.12%。其中,大体也可分为3个阶段,即1960年前的缓慢增长阶段,其年均增长率分别为0.49%和0.69%;1960~1990年的快速增长阶段,年均增长率分别为0.95%和1.71%;1990年后为相对稳定或缓慢减少阶段。而从国内学者重建的数据看,中国近百年草地面积则呈快速减少态势,1935~1997年间年均递减率为1.61%,这与全球数据集所揭示的变化趋势完全相悖。

从相对差异比值看,4个全球数据集中国区域的草地面积与葛氏数据相比也存在较大差异(表2)。其中,HYDE3.1和HYDE3.2的草地数量以1970年为分界点,其前明显低于葛氏数据,其后又显著高于葛氏数据;1935年HYDE3.1和HYDE3.2中国草地数量分别仅是葛氏草地面积的0.45和0.61,而1997年则分别为1.98和1.95,已几乎是葛氏数据的2倍。PJ和SAGE的中国草地数量总体低于葛氏数据,虽然1986年前后其面积总量已较为接近,相对差异比值分别为0.95和0.85,但在1935年其总量分别仅是葛氏数据的0.53和0.37,差异依然显著。

从现代遥感草地数据(CLOUDs)看,1980~2010年间中国草地面积虽然亦呈缓慢减少趋势,但减少幅度较小,在30年中仅减少了0.6%(图1),其覆盖率基本稳定

在31~32%。然而,与全球草地数据的对比不难看出:1980~2010年间PJ和SAGE中国草地数据与CLOUDs较为接近,其相对差异比值介于0.76~1.01,而HYDE3.1和HYDE3.2的草地数据则与CLOUDs数据相差较大,其相对差异比值介于1.40~1.70,且呈增大趋势(表3),表明HYDE3.1和HYDE3.2明显高估了中国1980年以后的草地面积。

3.1.2 区域数量评估

为了进一步阐明全球数据集中国草地数据可能存在的不确定性,本文又选取了重建时段更长的叶氏草地数据为基准,对全球数据集过去300年中国东北地区草地数据进行定量评估。

从图2中不难看出,与近百年中国草地变化趋势的评估结果相同,全球数据集所反映的中国东北地区过去300年草地面积变化趋势也与国内学者重建的结果完全相悖。全球数据集表明过去300年东北地区草地面积总体是不断增加的,HYDE3.1、HYDE3.2、PJ和SAGE数据集草地覆盖率分别自1700年的2.85%、3.00%、0.03%和2.95%,增至2000年的27.51%、24.04%、5.52%(1992年数据)和17.92%,草地面积分别增长了9.65、8.01、184.00和6.07倍,特别是1950~1990年间增长最为显著,其年均增长率分别为2.21%、1.98%、7.01%和1.42%。而叶氏所重建的数据恰与全

表 2 全球数据集与葛氏数据集1935~1997年中国草地面积占比(*V*)和相对差异比值(*R*)

数据集名称	1935		1949		1986		1997	
	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>
葛氏数据集	43.80	1.00	40.83	1.00	31.79	1.00	26.91	1.00
HYDE3.1	19.66	0.45	21.48	0.53	49.75	1.56	53.22	1.98
HYDE3.2	26.83	0.61	26.84	0.66	49.65	1.56	52.50	1.95
PJ	23.01	0.53	24.44	0.60	30.31	0.95	N/A	N/A
SAGE	16.14	0.37	16.72	0.41	27.16	0.85	29.10	1.08

表 3 全球数据集与遥感来源CLUDs1980~2010年中国草地面积占比(*V*)和相对差异比值(*R*)

数据集名称	1980		1990		2000		2010	
	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>	<i>V</i> (%)	<i>R</i>
CLUDs	31.75	1.00	31.65	1.00	31.37	1.00	31.24	1.00
HYDE3.1	44.50	1.40	53.25	1.68	53.20	1.70	N/A	N/A
HYDE3.2	44.41	1.40	53.15	1.68	52.22	1.67	52.23	1.67
PJ	27.80	0.88	31.98	1.01	N/A	N/A	N/A	N/A
SAGE	24.27	0.76	29.09	0.92	29.11	0.93	N/A	N/A

图 2 1700~2015年中国东北地区草地覆盖率变化趋势对比

球数据集相悖，其草地覆盖率自1700年的38.87%下降至2000年的7.13%，300年间草地面积锐减了近32%，最明显的特别是1780~1950年的170年间，草地覆盖率下降了约28个百分点，其年均增长率为-0.83%；1950

年后草地覆盖率呈缓慢减少态势，1980~2000年与现代遥感数据相当，也处于缓慢下降的趋势之中。

从相对差异比值看，全球数据集中国东北地区的草地面积与叶氏数据相比依然存在较大差异(表4)。除

表 4 全球数据集与叶氏数据集1700~2000年中国东北地区草地面积占比(*I*)和相对差异比值(*R*)

数据集名称	1700		1780		1950		2000	
	<i>I</i> (%)	<i>R</i>	<i>I</i> (%)	<i>R</i>	<i>I</i> (%)	<i>R</i>	<i>I</i> (%)	<i>R</i>
叶氏数据集	38.87	1.00	37.42	1.00	9.00	1.00	7.13	1.00
HYDE3.1	2.93	0.08	7.04	0.19	11.34	1.26	27.51	3.86
HYDE3.2	2.99	0.08	8.27	0.22	11.15	1.24	24.04	3.37
PJ	0.03	0.00	0.07	0.00	0.36	0.04	N/A	N/A
SAGE	2.95	0.08	5.25	0.14	10.27	1.14	17.92	2.52

PJ数据集外, HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE的草地数量大致以1950年为分界点, 其前明显低于叶氏数据, 其后又显著高于叶氏数据. 其中, 1700年HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE的草地数量仅是叶氏的0.08, 而2000年相对差异值又分别变为3.86、3.37和2.52, 几乎是叶氏数据的3~4倍. 可见, 全球数据集中国东北地区的草地面积与叶氏数据相比, 无论是正差异还是负差异, 其绝对差异值都是巨大的.

3.2 空间格局评估

3.2.1 现代空间格局评估

全球数据集草地空间格局重建是基于遥感数据, 其中HYDE3.1和SAGE是采用2000年遥感数据, HYDE3.2是采用2010遥感数据, PJ则是基于HYDE和SAGE的空间格局, 并未直接采用现代遥感数据. 因此, 为了评估全球数据集中国草地空间格局重建的可靠性, 本文以2000年的CLUDs草地数据为基准, 通过重采样, 在10km×10km的空间分辨率下, 分别评估HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE 3个全球数据集中国现代草地空间格局的合理性.

图3是HYDE3.1、HYDE3.2、SAGE和CLUDs 2000年中国草地的空间分布图. 从图中可以看出, 4个数据集在草地空间分布的宏观格局上还是较为接近, 均反映了以内蒙古、新疆和青藏高原等西部地区为主、东部地区较为零星的特征. 但由于在草地总量上存有较大差异, 因此在空间分布上也反映出明显的不同, 例如, HYDE数据集在青藏高原、内蒙古高原、黄土高原、云贵高原以及黄河、长江中下游地区的草地分布均明显高于CLUDs, 尤其是HYDE3.1数据集; 而SAGE数据集在青藏高原西部的草地分布明显偏低, 在云贵高原的草地分布又明显偏高.

从全球数据集中国草地数据相对差异的空间分布

也可以看出(图4), HYDE3.1和HYDE3.2与CLUDs在西藏以及内蒙古自治区中部的差异较小, 但3个数据集与CLUDs总体差异较大. 3个数据集在长江以南地区和东北地区的草地分布明显偏多, HYDE3.2在柴达木盆地和祁连山脉地区草地分布也明显偏多. SAGE和HYDE3.2数据集草地偏少的分布范围也较广, 特别是SAGE在青藏高原的中东部, HYDE3.2在云贵高原、秦岭和黄土高原之间. 3个数据集的草地分布在福建省都偏少.

从3个全球数据集中国草地数据与CLUDs的相对差异率的统计数据看(图5). 3个数据集相对差异率较小(−20%~0和0~20%)的网格占比分别仅为24.9%、26.7%和16.0%; 而相对差异率大于60%(>60%和<−60%)的网格占比, 分别高达50.91%、52.83%和62.96%.

3.2.2 历史空间格局评估

由于国内目前尚无全国性的历史草地网格化重建数据集可资对比, 因此本文选取了空间分辨率可达县级、时间序列覆盖过去300年的中国东北地区历史草地数据集为基准, 对全球数据集中国草地空间格局重建的合理性进行区域评估. 同时, 鉴于PJ数据集中国东北地区草地面积估算严重偏小, 无评估的必要性; 而HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE三个数据集在东北地区历史草地面积及变化趋势上均较为接近, 因此, 文中只对HYDE3.2数据集中国东北地区过去300年草地空间格局及变化进行评估(图6).

从图6中可以看出, 叶氏数据集中国东北地区过去300年草地退化非常明显, 主要发生在松嫩平原、辽河平原和三江平原, 特别是在1780~1950年期间, 东北地区草地面积锐减了 $22.31 \times 10^4 \text{ km}^2$, 草地覆盖率急剧下降了近29个百分点. 相关研究也表明: 19世纪末至20

图3 HYDE和SAGE数据集的遥感数据与中国国家尺度土地利用/覆盖数据库(CLUDs)空间格局对比

图4 HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE数据集的中国草地数据与CLUDs相对差异率空间分布

将全球数据集和CLUDs数据集草地覆盖率为0的区域视为非草地区域

世纪中叶松嫩、辽河等平原地区的草地被大量开垦为耕地(张宏文, 2016). 而HYDE3.2数据集所揭示的过去

300年东北地区草地分布格局的变化趋势和叶氏数据截然相反, 随着东北地区人口数量的机械增长与垦殖

图 5 HYDE3.1、HYDE3.2和SAGE数据集中国草地数据与CLUDs相对差异率分区统计图

活动的日益强化, 松嫩平原、辽河平原和三江平原等地的草地面积不仅没有减少, 反而还出现了不断扩大的态势, 这表明了HYDE3.2等全球数据集过去300年中国东北地区草地空间格局重建存在较大的不确定性。

4 差异原因分析

从上述评估结果可知, 无论是草地面积变化趋势、绝对数量, 还是空间格局, 全球数据集中国草地面积数据与葛氏数据集、叶氏数据集以及CLUDs均存在较大的差异。造成这种差异的原因, 本文认为主要有如下3个方面。

4.1 草地概念内涵的差异

历史上并无明确的“草地”和“牧草地”的定义, 在历史草地变化重建中, 无论是全球尺度还是区域尺度均借鉴当代的草地概念。但当代“草地”概念在不同学科领域中其内涵是不一致的。在植物地理学中, 草地是作为一种植被类型, 被定义为“草本植物占优势的群落”, 既包括以草本植物为主的所有天然植被类型, 如草原、草甸、草本沼泽、草本冻原和(灌)草丛, 还包括除农作物外的所有以草本植物为主的栽培群落(杜占池, 1999; 斯佩丁, 1983; 谭见安, 2008)。在资源学和农学中, 草地被认为是一种土地资源类型或利用类型, 是各类放牧地的统称, 既包含天然草地和人工草地, 也包含了用于放牧用途的荒漠、灌丛和疏林等(贾慎修,

1982; 任继周和张自和, 2000; 苏大学, 2013)。而联合国粮农组织(FAO)将草地定义为“永久性草地和牧场”, 是指通过耕种或自然生长方式长期用于生长草本饲料作物的土地, 其中包括以放牧为主要功能的长有树木和灌木的草地类型和长期闲置后以放牧为主要功能的耕地(FAO, 2015)。可见, 不同学科领域对草地的定义其内涵是有较大的差异, 相较而言, 农学范畴的草地概念比地学范畴的更加广泛。

HYDE、SAGE和PJ等全球数据集中草地概念是基于FAO的草地定义, 属农学领域的牧草地(Pasture or grazing land), 不仅包括草本植物群落, 而且也包含了荒漠、灌丛和疏林等。而中国学者建立的草地数据集, 如文中涉及的葛氏数据集、叶氏数据集和CLUDs数据集等, 则是采用植物地理学中的草地(grassland)定义, 即指所有草地类型, 包括天然草地和人工草地, 但并不含盖以木本植物为主的荒漠、灌丛等群落。这种因概念内涵差异而导致研究对象的不一致, 是造成全球数据集中国草地数据与国内学者重建的数据有较大差异的主要原因之一。

正如FAO所声明的那样, 其牧草地的定义对于拥有众多草地类型的国家和地区来说是不够准确和全面的, 存在较大的不确定性(FAO, 2015)。沿用该定义的SAGE数据集的研发者也指出: 虽对FAO的数据做了修订, 但修订后的数据在区域尺度上仍然存在不确定性(Ramankutty等, 2008)。

4.2 土地利用范式的不同

一个国家或地区土地利用范式深受该国家或地区社会文化、自然条件和生产技术等因素的影响, 不同国家或地区由于社会文化、自然条件和生产技术等各不相同, 自然形成不同的土地利用范式, 因而其研究的逻辑基础与思维方式也就不同。

如上所述, 目前国际上公开发表的几个全球历史土地利用数据集(如HYDE、SAGE、PJ等)都是由欧美研究机构创建的, 其创建的逻辑基础与思维方式自然基于欧美地区的土地利用范式(Morrison, 2013)。就草地面积重建而言, 因欧美, 特别是中西欧和北美地区, 多属温带大陆性或海洋性气候, 纬度较高, 受水分、热量和光照等因素的影响, 一般不太适合种植业的发展。因此, 大部分国家牧业较为发达, 人工草地面积较大, 在农业生产中占有重要地位。从1980~2012年的统计数

图 6 叶氏和HYDE3.2数据集1700~2000年中国东北地区草地覆盖变化对比

据看,美国、加拿大等北美国家畜牧业产值占农业总产值的比重均超过40%,而英国、德国、瑞典、丹麦等欧洲国家该比值可达60~70%(图7),人工草地占全部草地面积比重也多超过50%(White等, 2000);长期以来,日渐形成了人口增长促进畜牧业发展,从而加快牧草种植的土地利用范式。而中国,尤其是东部地区,多属亚热带和温带季风气候,雨热同期,有利于“农耕文明”的发展,这也是中国以“传统农业国家”而著称的自然环境背景。因此,中国虽然草地面积广阔,但长期形成了以耕地农业为主、草地农业规模较小的发展特点。从现今中国6大牧区(西藏、内蒙古、新疆、青海、四川、甘肃)的统计资料看,草地面积约占全国草地总面积的75%,但其畜牧业产值仅占全国畜

牧业产值的15%左右,占全国农业总产值的比重不足5%(图7),全国人工草地面积仅占天然草地面积的3%(中华人民共和国农业部, 2013)。千百年来,一直沿着随人口增长,土地垦殖规模不断扩大,导致草地面积日趋减少的土地利用范式。

由此可见,欧美地区土地利用范式与中国并不相同。HYDE、SAGE和PJ等数据集从欧美地区的土地利用范式出发,全球采用同一方法,即以历史人口和人均牧草地面积为代用指标,估算历史时期草地面积,其逻辑基础和方法对中国而言可能并不适用,因而所得结果不仅不能客观反映中国草地变化的历史过程,而且还与实际情况完全相悖,这是导致全球数据集中国草地数据存在较大不确定性的关键原因之一。

图 7 1980~2012年中国畜牧业产值占农业总产值的比例与国别比较
据White等(2000)

4.3 空间重建方法的不同

格网化重建是再现历史草地空间格局的主要途径,重建方法是否有效和适用,则是空间重建可靠性的重要保障. 从全球数据集历史草地空间格局重建方法看,其思想与耕地空间重建一致,均以基于遥感的土地覆被空间格局为基础,通过量化地形、气候和人口密度等限定因子,以确定网格权重,将历史草地面积按权重进行空间分配(图8a). 而国内学者重建的思想方法则与全球数据集不尽相同,多是以重建的潜在植被或历史时期自然植被为基础,辅以历史文献所记述的草地分布特征,按土地宜垦性的高低,逆向扣减同时段的耕地、林地等地类面积,直至剩余的草地面积等于重建的草地面积为止(Ye和Fang, 2011; 吴致蕾等, 2016; 图8b). 虽然上述两种方法均为回溯重建法,但中国学者依据中国区域特点,构建了适用于中国区域的重建方法,从而降低了空间格局重建的不确定性.

5 结论与讨论

本研究以葛氏数据集、叶氏数据集和CLUDs为基准,对全球历史土地利用数据集中国草地数据的可靠性进行评估. 结果表明:

(1) HYDE3.1、HYDE3.2、SAGE以及PJ等全球数据集中国历史草地数据与本国学者所重建的数据相比,不仅变化趋势完全相悖,而且绝对数量也差异巨大,全球数据集中国历史草地数据存在较大的不确

定性.

(2) 从2000年中国草地空间格局看, HYDE3.1, HYDE3.2和SAGE数据集与CLUDs相对差异较大. 相对差异率大于60%(>60%和<-60%)的网格占比分别高达50.9%, 52.8%和63.0%, 而相对差异率较小(-20%~0和0~20%)的网格占比分别为24.9%、26.7%和16.0%. 3个数据集在长江以南地区和东北地区, HYDE3.2在柴达木盆地周边的草地分布明显偏多. SAGE在青藏高原中西部地区草地分布明显偏少.

(3) 从东北地区过去300年草地空间动态过程看, HYDE3.2数据反映了草地空间分布呈不断扩张态势,而本国学者重建的结果则反映了该地区随土地垦殖活动的增强,草地空间分布范围日渐萎缩的特征.

(4) 造成上述差异的原因除全球数据集与中国区域数据集秉承不同草地概念的内涵外,主要是源于区域性不同土地利用范式而形成的不同的逻辑基础与重建方法.

中国历史草地重建工作尚处于起步阶段,相关定量研究还较为薄弱,在全球数据集有关中国区域的历史草地数据值得质疑的情况下,需要国内学者开展更多、更深入的研究,以创建能够客观反映中国历史草地时空变化特征的数据集. 基于中国草地分布广阔、类型多样,以及当今土地利用与土地覆盖变化的分类体系,在重建历史草地面积时,应秉承地学范畴的草地定义来指导重建工作. 在空间重建方法的探索中,应充分考虑不同时空尺度下社会文化背景与自然环境

图8 历史草地面积空间重建方法
(a) HYDE等全球数据集; (b) 中国区域数据集

差异而形成的不同的土地利用范式, 采用因地制宜、分区重建、总体集成的思想, 创建中国乃至更大区域的历史草地数据集, 尽量避免因方法失当而增加重建数据的不确定性。

致谢 感谢审稿人对本文提出的宝贵意见和建议。感谢北京师范大学地理学与遥感科学学院方修琦教授、叶瑜副教授友情提供过去300年东北县域草地面积数据。感谢山东科技大学地球科学与工程学院硕士仇晓东收集整理草地概念相关资料与文献。

参考文献

- 杜占池. 1999. 关于牧地的概念及其类型划分的探讨. 四川草原, (2): 15-18
- 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 潘娜, 王梦麦. 2008. 过去300年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. 中国科学D辑: 地球科学, 38: 197-210
- 葛全胜, 赵名茶, 郑景云. 2000. 20世纪中国土地利用变化研究. 地理学报, 55: 698-706
- 何凡能, 李士成, 张学珍, 葛全胜, 戴君虎. 2012. 中国传统农区过去300年耕地重建结果的对比分析. 地理学报, 67: 1190-1200
- 华文剑, 陈海山, 李兴. 2015. 未来土地利用变化影响中国区域气候的数值模拟. 中国科学: 地球科学, 45: 1034-1042
- 贾慎修. 1982. 草地学. 北京: 中国农业出版社
- 李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 张学珍. 2010. 全球土地利用数据集精度的区域评估——以中国东北地区为例. 中国科学: 地球科学, 40: 1048-1059
- 李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 张学珍. 2014. 中国东北地区过去300年耕地开垦导致的碳收支. 中国科学: 地球科学, 44: 1987-1996

- 李美娇, 何凡能, 杨帆, 李士成. 2018. 元代前期省域耕地面积重建. 地理学报, 73: 832-842
- 李士成, 张懿铨, 何凡能. 2015. 过去百年青海和西藏耕地空间格局重建及其时空变化. 地理科学进展, 34: 197-206
- 任继周, 张自和. 2000. 草地与人类文明. 草原与草坪, (1): 5-9
- 斯佩丁. 1983. 草地生态学. 北京: 科学出版社
- 苏大学. 2013. 中国草地资源调查与地图编制. 北京: 中国农业大学出版社
- 谭见安. 2008. 地理辞典. 北京: 化学工业出版社
- 吴致蕾, 刘峰贵, 张懿铨, 陈琼, 周强, 杨登兴. 2016. 清代青藏高原东北部河湟谷地林草地覆盖变化. 地理科学进展, 35: 768-778
- 叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 张学珍, 陈莉. 2009. 东北地区过去300年耕地覆盖变化. 中国科学: 地球科学, 39: 340-350
- 张宏文. 2016. 松嫩平原过去百年农业开垦的气候效应模拟研究. 硕士学位论文. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学
- 张利, 周广胜, 汲玉河, 白永飞. 2016. 中国草地碳储量时空动态模拟研究. 中国科学: 地球科学, 46: 1392-1405
- 中华人民共和国农业部. 2013. 中国草原发展报告2011. 北京: 中国农业出版社
- Clawson M. 1979. Forests in the long sweep of American history. Science, 204: 1168-1174
- FAO. 2015. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy
- Feddema J J, Oleson K W, Bonan G B, Mearns L O, Buja L E, Meehl G A, Washington W M. 2005. The importance of land-cover change in simulating future climates. Science, 310: 1674-1678
- He F N, Li S C, Zhang X Z. 2015. A spatially explicit reconstruction of forest cover in China over 1700-2000. Glob Planet Change, 131: 73-81
- Hurt G C, Chini L P, Frolking S, Betts R A, Feddema J, Fischer G, Fisk

- J P, Hibbard K, Houghton R A, Janetos A, Jones C D, Kindermann G, Kinoshita T, Klein Goldewijk K, Riahi K, Shevliakova E, Smith S, Stehfest E, Thomson A, Thornton P, van Vuuren D P, Wang Y P. 2011. Harmonization of land-use scenarios for the period 1500–2100: 600 years of global gridded annual land-use transitions, wood harvest, and resulting secondary lands. *Clim Change*, 109: 117–161
- Jin X B, Pan Q, Yang X H, Bai Q, Zhou Y K. 2016. Reconstructing the historical spatial land use pattern for Jiangsu Province in mid-Qing Dynasty. *J Geogr Sci*, 26: 1689–1706
- Kaplan J O, Krumhardt K M, Ellis E C, Ruddiman W F, Lemmen C, Goldewijk K K. 2011. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *Holocene*, 21: 775–791
- Kaplan J O, Krumhardt K M, Gaillard M J, Sugita S, Trondman A K, Fyfe R, Marquer L, Mazier F, Nielsen A B. 2017. Constraining the deforestation history of Europe: Evaluation of historical land use scenarios with pollen-based land cover reconstructions. *Land*, 6: 91
- Kaplan J O, Krumhardt K M, Zimmermann N. 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quat Sci Rev*, 28: 3016–3034
- Goldewijk K K, Beusen A, Doelman J, Stehfest E. 2017. Anthropogenic land use estimates for the Holocene-HYDE 3.2. *Earth Syst Sci Data*, 9: 927–953
- Goldewijk K K, Beusen A, van D G, de V M. 2011. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12000 years. *Glob Ecol Biogeogr*, 20: 73–86
- Goldewijk K K, Verburg P H. 2013. Uncertainties in global-scale reconstructions of historical land use: An illustration using the HYDE data set. *Landsc Ecol*, 28: 861–877
- Leite C C, Costa M H, Soares-Filho B S, de Barros Viana Hissa L. 2012. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. *Glob Biogeochem Cycle*, 26: GB2011
- Li S C, He F N, Zhang X Z. 2016. A spatially explicit reconstruction of cropland cover in China from 1661 to 1996. *Reg Environ Change*, 16: 417–428
- Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, Xu X L, Qin Y W, Ning J, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Wu S X, Shi X Z, Jiang N, Yu D S, Pan X Z, Chi W F. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *J Geogr Sci*, 24: 195–210
- Morrison K D. 2013. Provincializing the Anthropocene. *Seminar*, 676: 75–80
- Pongratz J, Reick C, Raddatz T, Claussen M. 2008. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium. *Glob Biogeochem Cycle*, 22: GB3018
- Ramankutty N. 2012. Global Cropland and Pasture Data from 1700–2007, available at: <http://www.geog.mcgill.ca/nramankutty/Datasets/Datasets.html>
- Ramankutty N, Evan A T, Monfreda C, Foley J A. 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Glob Biogeochem Cycle*, 22: GB1003
- Ramankutty N, Foley J A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Glob Biogeochem Cycle*, 13: 997–1027
- Tian H Q, Banger K, Bo T, Dadhwal V K. 2014. History of land use in India during 1880–2010: Large-scale land transformations reconstructed from satellite data and historical archives. *Glob Planet Change*, 121: 78–88
- Vanwalleghe T, Gómez J A, Infante Amate J, González de Molina M, Vanderlinden K, Guzmán G, Laguna A, Giráldez J V. 2017. Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene*, 17: 13–29
- White R P, Murray S, Rohweder M. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Grassland Ecosystems*. Washington: World Resources Institute
- Yang Y Y, Zhang S W, Yang J C, Chang L P, Bu K, Xing X S. 2014. A review of historical reconstruction methods of land use/land cover. *J Geogr Sci*, 24: 746–766
- Ye Y, Fang X Q. 2011. Spatial pattern of land cover changes across Northeast China over the past 300 years. *J Historical Geography*, 37: 408–417
- Yu Z, Lu C. 2018. Historical cropland expansion and abandonment in the continental U.S. during 1850 to 2016. *Glob Ecol Biogeogr*, 27: 322–333
- Zhang X Z, He F N, Li S C. 2013. Reconstructed cropland in the mid-eleventh century in the traditional agricultural area of China: Implications of comparisons among datasets. *Reg Environ Change*, 13: 969–977

(责任编辑: 岳天祥)