

清代中期苏皖地区耕地数据网格化处理及精度对比

袁存¹, 叶瑜^{1,2}, 方修琦¹

(1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;

2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要: 格点化区域历史土地利用数据是进行历史土地利用/土地覆被变化环境效应模拟的基础。本文基于苏皖地区耕地垦殖倾向, 分别采用清代中期苏皖地区省域及县域耕地数据进行网格化降尺度处理, 分配至 10 km×10 km 的网格中, 并将两种分配结果进行对比评估来定量探讨数据的空间范围大小对格点化数据的精度影响。得到以下结果: ①用苏皖省域耕地数据和县域耕地数据模拟的网格化结果之间存在差异, 平均差异率为 16.61%。相对差异率较小(-10%~10%)的网格有 24.55%, 较大(>70%或<-70%)的网格有 13.3%, 主要存在于洪泽湖流域及苏北北部沿江平原(黄河改道前入海口处)。②苏皖地区清代中期耕地的空间分布具有一定的地域差异。耕地垦殖率较高的地区主要集中于苏南平原地区的太仓市和昆山市北部, 苏皖西北部的砀山县、丰县和沛县, 垦殖率均在 80%以上; 而苏北北部旧黄河入海口、洪泽湖流域、太湖流域及安徽南部山区丘陵地区垦殖率较低, 多在 10%左右。③1735 年耕地主要分布于海拔高度≤100 m, 坡度≤2°的地区。到 1980s 时, 不同坡度下的垦殖率有较大增加。

关键词: 土地利用; 网格化; 精度对比; 苏皖地区; 清代中期

1 引言

历史土地利用/土地覆被变化研究在全球变化研究中受到广泛关注。定量评估模拟全球气候变化需要具有准确空间属性的土地利用/土地覆被数据(Ramankutty et al, 1999)。尽管遥感技术的应用为解决这个问题提供了研究方法, 但是遥感技术不过出现于近几十年, 而历史时期由于缺少充足可信的历史图件等资料, 历史土地利用网格化数据便无法直接获取。

国内外已经重建了面向全球变化研究的历史土地覆盖变化数据集。SAGE 数据集根据 1992 年遥感土地覆盖分类数据集将历史耕地垦殖率赋值于地图中, 获得具有地理空间属性的历史耕地数据

(Ramankutty et al, 1999)。PJ 数据集假设 1700 年以前各国人均耕地、牧草地及土地利用空间分布格局均不变, 利用历史人口数据重建了 800-1700 年的耕地和牧草地数据, 将 SAGE 数据集扩展到 800-1992 年, 空间分辨率为 0.5°×0.5°(Pongratz et al, 2008)。HYDE3.1(Goldewijk et al, 2011)提出时间依赖的空间分配算法, 该算法选取了包括城镇面积、人口密度、土壤宜耕性、河流、坡度及年平均温度等社会、自然环境六大因子进行耕地面积的空间分配(朱枫等, 2012)。这些数据集均具有明确的地理属性, 可作为基础变量输入土地利用变化及其环境效应的模型中, 目前已广泛应用于全球或区域尺度土地利用环境效应的定量评估模型(李巧萍等, 2006; Zheng et al, 2009; 尹永飞, 2009)。但 Li 等(2010)、何

收稿日期: 2014-08; 修订日期: 2014-12。

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471156); 中国科学院科技专项(XDA05080102)。

作者简介: 袁存(1989-), 女, 河北保定人, 硕士生, 主要研究方向为历史土地覆盖变化, E-mail: anguoyuancun@sohu.com。

通讯作者: 叶瑜(1979-), 女, 新疆伊犁人, 副教授, 主要从事历史土地覆盖变化、历史气候变化影响与应对研究,

E-mail: yeyuleaffish@bnu.edu.cn。

引用格式: 袁存, 叶瑜, 方修琦, 等. 2015. 清代中期苏皖地区耕地数据网格化处理及精度对比[J]. 地理科学进展, 34(1): 83-91. [Yuan C, Ye Y, Fang X Q. 2015. Rasterizing cropland data and accuracy comparison in Jiangsu and Anhui Provinces in the Mid-Qing Dynasty[J]. Progress in Geography, 34(1): 83-91.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.01.010

凡能等(2012)、Zhang等(2013)的基于中国不同区域的历史耕地重建研究表明,全球数据集在区域尺度上仍存在一定的误差。

目前国内数据重建工作已经取得了丰硕的成果,如葛全胜等(2003)研究了300余年来中国内地18省耕地资源的时空变化特点。虽然其研究成果得到了广泛应用,但是空间分辨率只到省,数据精度不够高。为此,一批学者又在提高数据空间分辨率和精度上作了大量的工作。何凡能等(2003)、赵赞(2005)、傅辉(2008)、叶瑜等(2009)分别重建了关中地区、河南省、苏皖地区、东北三省的分县耕地数据;李为等(2005)重建了1908年东三省分县的耕地面积;张青瑶(2012)重建了清代晋北部分州县耕地覆盖变化序列。这些分县数据的订正重建,使得空间分辨率大大提高。上述资料已成为历史耕地覆盖变化研究重要的参考资料。此外,数据的表现形式更加精细化,达到网格尺度。通常是根据现代耕地分布格局及其形成的驱动因素,对某一区域的历史耕地总和数据进行降尺度的格点化分配。林珊珊等(2008)选取了地形和人口作为影响耕地分布的因子,并进行了量化处理,形成一套中国传统农区历史耕地数据网格化方法。此后,该网格化方法得到了广泛的应用和改进,如何凡能等(2011)采用该方法重建了北宋中期境内耕地的空间分布格局;李柯等(2011)以地表高程和坡度为影响土地宜垦程度的主导因子,评估了MODIS土地覆盖产品中现代耕地分布区域的宜垦程度,将历史文献资料订正的云南省1671年和1827年县域耕地统计数据分配至 $90\text{ m}\times 90\text{ m}$ 的网格中;李士成等(2012)以现代耕地分布格局为基础,量化地形(海拔、坡度)、气候生产潜力(光照、温度、水分)和人口密度等因子,构建土地宜垦性算法模型,重建了清代西南地区6个时点分辨率为 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 的耕地数据。此后,Liu等(2010)采用二分迭代法重建了中国历史耕地、林地和建设用地的分布格局。颢耀文等(2013)分析了黑河流域海拔、坡度、土壤、人口等因子与耕地分布的关系,结合古遗址、遥感影像判别的结果,重建明代以前耕地的空间分布。袁存等(2014)基于现代遥感数据探讨了苏皖地区耕地分布与河流湖泊、气候、海拔高度、坡度、土壤、人口等之间的关系,认为影响苏皖地区耕地分布的关键因素为河流湖泊和坡度,以此为基础建立了耕地宜垦性模型,并用现代数据进行了检验。张丽娟等(2014)通过构建综合聚

落、地形和水系信息的垦殖倾向指数模型,将19世纪末黑龙江省耕地数据分配于 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 像元尺度上。罗静等(2014)重建了青藏高原东北部河湟谷地地区1726年分县耕地数据并进行了网格化分配。

在已有的东北地区(叶瑜等,2009)、北方农牧交错带地区(Ye et al, 2012)研究基础上,对苏皖地区进行网格化研究,为东部地区进行历史耕地覆盖变化重建整合研究提供了条件和可能性。苏皖地区是受自然因素和人文驱动因素共同影响较为活跃的热点地区:黄河在历史时期几经改道,对该区域土地覆被状况产生影响;该区域历来被称为鱼米之乡,为全国较为富足的地区,在以农耕为主的传统封建社会中,该区土地得到有效利用。同时,苏皖地区具有较为丰富的历史文献资料和研究成果,尤其是清代中期(1735年)的耕地数据(赵赞,2005),具有较高的空间分辨率,为研究历史时期耕地利用变化提供了很好的数据基础。本文拟基于苏皖地区耕地垦殖倾向,分别采用不同空间范围的耕地数据(省域耕地数据及县域耕地数据)网格化构建苏皖地区清代中期(1735年)的耕地分布格局,进行 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 的网格化降尺度处理,并对网格化结果进行对比来定量探讨数据的空间范围大小在网格化过程中对格点化数据精度的影响,为重建历史时期较高空间分辨率和精度的土地覆被数据提供参考。

2 数据来源

中国作为一个传统的农业大国,拥有悠久的农业开发历史和丰富详实的历史文献资料。国内一些学者充分利用记载详细、内容丰富的古籍重建了苏皖地区耕地数据(表1),其中,赵赞(2005)从史学的角度,在资料整理与考订、统计数字误差评估、数据一致性检验和修正等方面作了大量的工作。赵赞清代中期数据(1735年)重建主要依据了乾隆元年的《江南通志》及地方县志,《江南通志》记录了雍正十三年(1735年)苏皖地区分县土地数据,是具有统一标准的基准数据。在此基础上,将属于耕地范畴的册籍田、地和卫所屯地统计出来,同时由于册载数据是在赋役征收的基础统计的,因此是一种纳税单位,需要从折亩入手,确定折则折率,反折实际意义的耕地面积,最后将地方亩制换算为标准亩制。因此,赵赞重建的清代中期耕地数据空间分辨率更高,本文以此为数据来源进行耕地网格化分配。

表1 苏皖地区耕地重建研究成果

Tab.1 Cropland reconstruction researches in Jiangsu and Anhui Provinces

名称	空间分辨率	时间	数据来源
SAGE	0.5°	1700-1992	Ramankutty 等, 1999
HYDE	5'	1700-2005	Goldewijk et al., 2011
梁方仲	分省	1661、1685、1724、1753、1812、1851、1873、1887	梁方仲, 2008
葛全胜	分省	1661、1685、1724、1784、1820、1873、1887、1893、1913、1933	葛全胜等, 2003
章有义	分省	1812、1851、1887、1914、1929-1946、1949	章有义, 1991
许道夫	分省	1873、1893、1913、1914、1932、1934、1946、1949	许道夫, 1983
周荣①	分省	1661、1724、1753、1812、1840、1949、1952、1956、1962、1972、1985	周荣, 2001
赵赞	分县	1735、1932、1953	赵赞, 2005

注 ①周荣文 1949 年及以后的耕地数据来源于耕地问题研究组《中国耕地递减问题的数量经济分析》, 经济科学出版社 1992 年 5 月第 1 版, 是按 1985 年调查数据推算的全国耕地数量。

3 研究方法

3.1 县域耕地数据提取

虽然赵赞(2005)重建了苏皖地区的分县耕地数据,但是县界是根据满志敏利用 Mapinfo 技术复原出的 1911 年县界为标准进行调整的。为便于与现代耕地格局进行对比,减少由于县级行政区变迁而带来的误差,本文使用现代地图为底图,将赵赞所用的 1911 年历史县级行政区划单元与现代行政区划单元一一对应,并参照各县历史沿革信息,建立苏皖地区行政区域变迁数据库(表 2),主要包括县域编码、县域名称、县域面积、省份、省份代码、历史名称等项,便于数据处理。苏皖地区行政单元的变化主要体现在县域拆分和县域合并。县域单元的垦殖率,对于拆分区县,如宿迁拆分为新沂市和宿迁市,则新沂市和宿迁市的垦殖率为历史时期的宿迁垦殖率;对于合并区县,如建德和东流合并为东至,则东至县的垦殖率计算为建德与东流的耕地总数与两者县域面积之商。县域耕地数据即为转换后的垦殖率与县域面积之积。

表2 苏皖地区行政区域变迁数据库示例

Tab.2 Examples of administrative area change in Jiangsu and Anhui Provinces

县域编码	县域名称	县域面积 /km ²	省份	省份代码	历史名称	备注
320121	江宁县	964.26	江苏	32	江宁、上元	合并县域
320381	新沂市	1555.56	江苏	32	宿迁	拆分县域
321300	宿迁市	1704.35	江苏	32	宿迁	拆分县域
342921	东至县	3024.28	安徽	34	建德、东流	合并县域
.....						

3.2 网格化处理方法

在林珊珊等(2008)、李士成等(2012)的研究基础上,进行网格化模型的构建,网格大小设定为 10 km。

由于现代城市化进程逐渐加快,很多宜耕土地转变为城市建设用地。本文设定历史时期潜在耕地垦殖率为:

$$N(i) = F(i) + C(i)$$
 (1)

式中: $N(i)$ 为历史时期潜在耕地垦殖率, $F(i)$ 为现代耕地垦殖率, $C(i)$ 为现代建设用地比率。

剔除该区域中较大湖泊区域,如太湖、洪泽湖等(数据来源于 1820 年河流湖泊数据,复旦大学历史地理研究中心, http://yugong.fudan.edu.cn/views/chgis_download.php),将湖泊网格赋值为 0,得到网格 i 内陆地面积标准化值 $\varepsilon(i)$ 。

坡度和垦殖率成负相关,坡度越小的地区优先被开垦,对各县的坡度进行标准化处理:

$$S'(i) = \frac{\max(S) - S(i)}{\max(S) - \min(S)}$$
 (2)

式中: $S'(i)$ 表示网格 i 的坡度标准化值, $\max(S)$ 表示苏皖地区坡度的最大值, $\min(S)$ 表示苏皖地区坡度的最小值, $S(i)$ 表示网格 i 的坡度值。

气候对农业的影响十分复杂。该区降水量充沛,本文选取年均温进行简化处理。张家诚(1982)认为气温每变化 1℃,各季作物的熟级均可相应变化 1 级,产量变化约为 10%。据此对年均温进行量化处理:

$$T'(i) = 1 - \frac{\max(T) - T(i)}{1} \times 10\%$$
 (3)

式中: $T'(i)$ 表示网格 i 的年均温标准化值, $\max(T)$ 表示苏皖地区年均温的最大值, $T(i)$ 表示网格 i 的年均温。

耕地优先开垦强度模型为:

$$\alpha(i) = N(i) \times \varepsilon(i) \times S'(i) \times T'(i) \quad (4)$$

式中: $\alpha(i)$ 为网格 i 的耕地优先开垦强度, $N(i)$ 表示历史时期潜在耕地垦殖率, $\varepsilon(i)$ 表示网格 i 内陆地面积标准化值, $S'(i)$ 表示网格 i 坡度的标准化值, $T'(i)$ 表示网格 i 的年均温度标准化值。

分别将省域耕地面积数据和县域耕地面积数据分配至网格中。省域 j 内网格 i 的耕地面积为:

$$\delta(i,j) = \alpha(i,j) / \sum_j \alpha(i,j) \times A(j) \quad (5)$$

式中: $\alpha(i,j) / \sum_j \alpha(i,j)$ 为省域 j 内网格 i 所分配的耕地面积比例, $A(j)$ 为苏皖地区省域 j 耕地总面积。

县域 k 内网格 i 的耕地面积为:

$$\delta(i,k) = \alpha(i,k) / \sum_k \alpha(i,k) \times A(k) \quad (6)$$

式中: $\alpha(i,k) / \sum_k \alpha(i,k)$ 为县域 k 内网格 i 所分配的耕地面积比例, $A(k)$ 为苏皖地区县域 k 耕地总面积。

网格 i 的垦殖率为:

$$K(i) = \delta / \text{area}(i) \quad (7)$$

式中: $\text{area}(i)$ 为网格 i 的面积, 此处为 100 km^2 。

对于 α 值较高的网格, 可能会出现 K 值大于 1 的情况。对于清代中期的耕地分布, 由图 1 可知, 垦殖率最大为 0.9, 因此程序控制网格最大值为 0.9, 当网格值超过 0.9 时, 程序自动将超出的耕地面积按照上述模型再次重新分配, 依次循环, 直到所有网格的垦殖率均不超过 0.9 即可。

3.3 精度对比

对省域和县域数据的分配结果进行对比来探讨数据的空间范围大小对格点化数据的精度影响, 采用如下公式:

$$E_r = (X_a - X_b) / X_b \times 100\% \quad (8)$$

式中: E_r 表示相对差异率; X_a 表示用苏皖地区省域耕地数据进行的降尺度分配网格化数据; X_b 用苏皖地区县域耕地数据进行的降尺度分配网格化数据。

4 结果与分析

4.1 耕地网格化结果分析

利用赵赞分县耕地数据及垦殖率(2005), 将清代中期的垦殖率表现在现代空间地图上得到结果如图 1。该结果较能较好反映出苏皖地区当时的耕地空间分布格局。

将苏皖地区清代中期省域耕地数据进行降尺度的网格化重新分配, 得到结果如图 2, 网格大小为 10 km 。

对比图 1 和图 2 发现, 用苏皖省域耕地数据进行的网格化分配(图 2)仅仅可以反映由水域和地形导致的耕地垦殖率的变化: 如湖泊地区耕地少, 坡度大的山区垦殖率低。但是对于广大平原区, 却很难反映出地区之间的垦殖差异, 垦殖率多为 40%~60%, 最高也仅为 66.93%。但是, 基于县级行政单元的垦殖率(图 1)表现出: 1735 年, 清代中期, 位于苏皖地区西北部的沛县、丰县和砀山以及苏南平原地区的太仓市和昆山市耕地垦殖率已经高达 80% 以上。因此, 两者并不具有很好的一致性。

若将具有较高空间分辨率的分县耕地数据进行降尺度分配(图 3), 能够提高网格数据精度。

就分省而言, 江苏省的垦殖程度要高于安徽省。从分县角度看, 垦殖率较高的县位于苏皖地区西北部的砀山县、丰县和沛县, 以及苏南地区的太仓市和昆山市, 这 5 个县的垦殖率都达到了 80% 以上, 甚至达到 90%(砀山县垦殖率为 89.8%), 其中除砀山县属于安徽省(1735 年属于江苏)外, 其他 4 县都属于江苏省。其次, 位于高邮湖和射阳湖之间江中地区的淮安市—宝应县—高邮市—兴化市一带垦殖率也较高, 多在 60% 以上, 一些网格达到 80% 以上; 如东—如皋—泰兴沿线垦殖率在 60% 以上; 安徽省西北部的亳州—利辛—蒙城—凤台—阜南—阜南—临泉一带垦殖率也较高, 多在 60% 以上。

垦殖率较低的地区中, 苏北沿海地区如滨海—阜宁—建湖—射阳县垦殖率低于 20%, 主要是由于从公元 1108 年黄河夺淮入海至公元 1855 年黄河改道北迁入渤海期间, 苏北北部的滨海—阜宁一带是黄河的入海口, 该地区也是黄河在苏北海岸淮河三角洲的基础发展的废黄河三角洲(张兰生等, 2012)。

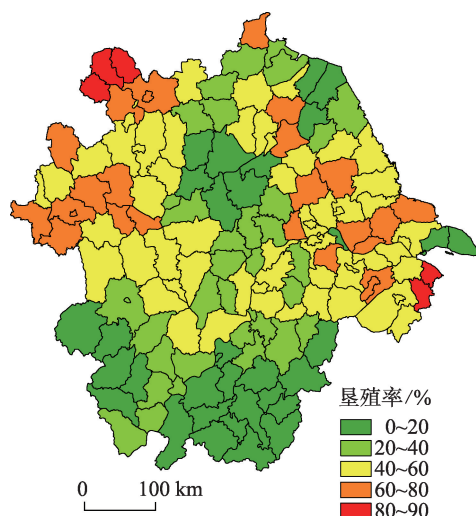


图1 清代中期苏皖地区分县垦殖率图

Fig.1 Reclamation rate by county in Jiangsu and Anhui Provinces in the Mid-Qing Dynasty

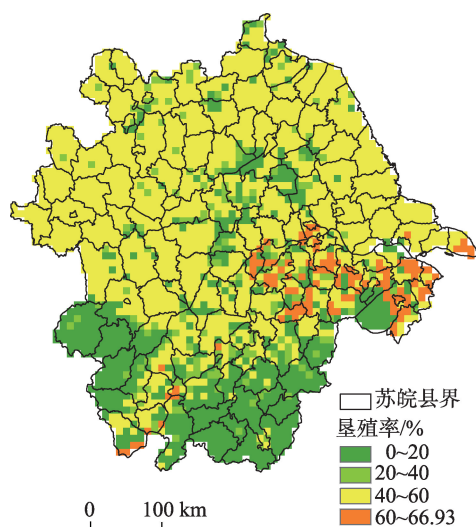


图2 基于清代中期苏皖地区省域耕地数据的网格化处理结果

Fig.2 Rasterizing/downscaling cropland gridding data in Jiangsu and Anhui Provinces in the Mid-Qing Dynasty based on the provincial-level data

洪泽湖一带垦殖率也很低,主要由于洪泽湖位于旧黄河夺淮的路线,是因人工筑堰拦截淮河下游河谷而成的大型人工湖,但黄河、淮河汛期不同步,黄河水量、含沙量远高于淮河,因此经常发生黄河倒灌洪泽湖(王庆等, 1999);从17世纪末靳辅治河时起不断抬高高家堰堤顶和泄水坝槛的高度,使洪泽湖水位不断抬高(中国科学院《中国自然地理》编辑委员会, 1982),周围地带易受水涝灾害影响,甚至会

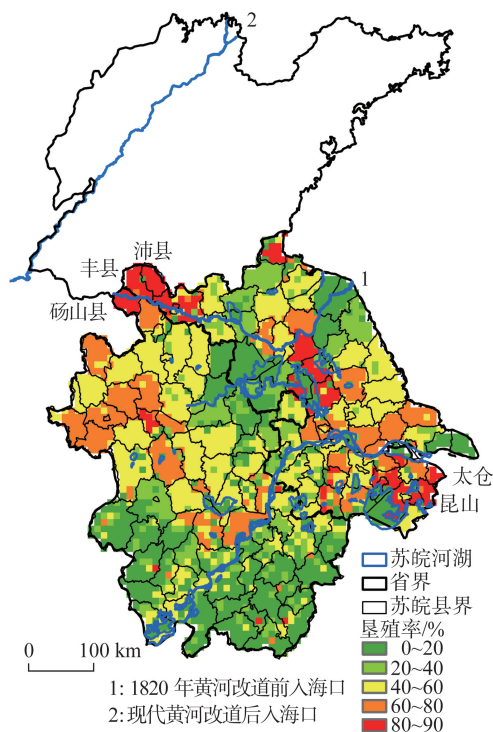


图3 基于清代中期苏皖地区县域耕地数据的网格化处理结果

Fig.3 Rasterizing/downscaling cropland gridding data in Jiangsu and Anhui Provinces in the mid-Qing Dynasty based on the county-level data

造成县城被淹没。太湖流域的垦殖率较低的主要原因是太湖设定为耕地的剔除区域,是技术层面原因所致。海门、启东位于长江的入海口,由于大量泥沙沉积形成,常有土地坍没,海门县虽在958年已经建县,但是县境涨坍无常,直到1701年涨出40余个新沙,到1768年才建海门直隶厅,1928年设启东县,因此,1735年海门启东垦殖率极低。安徽南部地区主要分布有山地丘陵,由于地形限制,垦殖率很低,多在10%左右。用县域耕地数据进行的网格化重建结果能够近似反映苏皖地区耕地分布情况。

4.2 数据的空间范围大小对格点化数据的精度影响

计算使用不同空间范围下耕地数据分配的苏皖地区清代中期垦殖率的相对差异,结果如图4,并对相对差异进行统计(表3),发现用苏皖省域耕地数据和县域耕地数据分配的结果之间存在一定的差异,两者相对差异率的平均值为16.61%,即用分县数据进行耕地分配可以提高16.61%的网格化数据精度。其中相对差异率超过70%(<-70%或>70%)的网格占13.30%,尤其是相对差异率>70%的网格数远远多于<-70%的网格数,比例高达11.21%,且平

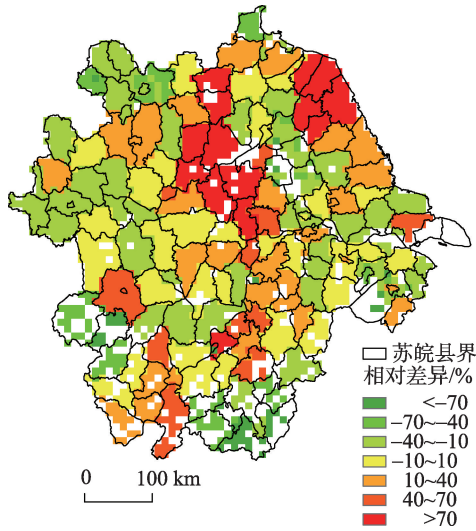


图4 苏皖地区省域耕地数据与县域耕地数据
网格分配的相对差异
Fig.4 Difference between the rasterized images based on
the provincial-level and county-level cropland data
in Jiangsu and Anhui Provinces

均差异率为171.84%;相对差异率在40%以内(-40%~40%)的网格相对比例较高,达73.36%;相对差异率在10%以内(-10%~10%)的网格有24.55%。相对差异率较高的地方主要位于洪泽湖一带及苏北北部沿江平原一带。因此,用省域数据进行的网格化与用县域数据进行的网格化之间的差异不容忽视,为缩小网格化差异,提高格点精度,有必要进行分县耕地的历史数据重建,用分县数据进行网格化。

4.3 地形对耕地分布的影响

4.3.1 不同海拔高度下耕地分布特征

苏皖地区最大海拔为1313 m,虽然并未达到气

候影响下限制耕地垦殖的最大高度(袁存等, 2014),但是耕地开垦过程是先优后劣(李柯等, 2011),模型基于耕地优先分布于坡度较小区域的原则,而坡度与海拔具有明显的正相关,相关系数高达0.869(袁存等, 2014),这意味着海拔低的地方优先分配耕地。苏皖地区主要为平原,海拔的限制主要反映在安徽南部的山地丘陵区。统计不同海拔高度下的平均垦殖率及所占耕地总量的比例(表4),耕地主要分布于海拔≤100 m的地方,比例约为96.41%,而海拔>1000 m的地方几乎没有耕地分布。

4.3.2 不同坡度下耕地分布特征

坡度是影响苏皖地区耕地分布的关键因子(袁存等, 2014)。本文按照中国科学院自然资源综合考察委员会调查资料分级方法(孙颌等, 2003),将耕地分为5类,对不同坡度下的耕地分布情况作了统计(表5)。其中,平耕地分布耕地最多,比例高达95.48%,平均垦殖率为45.44%。

对照 1980s 耕地在不同坡度下分布(袁存等, 2014),可以发现:由于人口增加,对粮食需求的增长,一方面导致耕地的分布范围更广,1980s在>25°的坡度下耕地平均垦殖率达到3.07%;另一方面,增加各个坡度下的垦殖率,尤以平耕地最为显著,由1735年的45.29%提高到1980s的74.21%。

5 结论

本文以苏皖地区为例,分别用清代中期(1735年)省域和县域耕地数据进行网格化分配,并将结果进行对比分析,得到以下结论:

表3 网格单元相对差异率统计表
Tab.3 Percentage of grid cells with various levels of
differences between distributed provincial-level
and county-level cropland data

相对差异率/%	<-70	-70~-40	-40~-10	-10~10	10~40	40~70	>70
所占比例/%	2.09	5.97	28.43	24.55	20.38	7.37	11.21
平均差异率/%	-79.94	-53.30	-20.86	-0.49	21.38	52.81	171.84

表4 清代中期苏皖地区不同海拔高度下的耕地分布情况
Tab.4 Cropland distribution at different altitudes in
Jiangsu and Anhui Provinces in the mid-Qing Dynasty

海拔高度分级/m	≤100	100~250	250~500	500~1000	>1000
占耕地面积的百分比/%	96.41	2.42	0.89	0.28	0.00
平均垦殖率/%	44.22	14.53	5.65	3.31	0.03

表5 1735年与1980 s 苏皖地区不同坡度下的耕地分布情况
Tab.5 Cropland distribution on different slopes in Jiangsu and Anhui Provinces in 1735 and the 1980 s

坡度分级/(°)	平耕地(≤2°)		缓坡耕地(2°~6°)		坡耕地(6°~15°)		陡坡耕地(15°~25°)		很陡坡耕地(>25°)	
	1735	1980 s	1735	1980 s	1735	1980 s	1735	1980 s	1735	1980 s
占耕地面积的百分比/%	95.48	95.00	2.05	2.11	2.05	2.31	0.41	0.55	0.01	0.03
平均垦殖率/%	45.29	74.21	19.17	32.68	10.15	18.90	2.53	5.48	0.47	3.07

(1) 基于不同空间范围大小的数据进行网格化处理,其结果具有一定的差异。用苏皖地区省域耕地数据和县域耕地数据构建的网格化数据之间有24.55%的网格相对差异较小($-10\%\sim 10\%$),有13.3%的网格差异很大($<-70\%$ 或 $>70\%$),主要分布于洪泽湖一带苏北北部沿江平原一带(黄河改道前入海口)。用县域耕地数据分配得到的网格化数据较省域数据能够提高约16.61%的格点数据精度。

(2) 苏皖地区清代中期耕地的空间分布具有一定的地域差异。耕地垦殖率较高的地方主要集中于苏南平原地区的太仓市和昆山市北部,苏皖西北部的砀山县、丰县和沛县,垦殖率均在80%以上,砀山县高达89.8%;而苏北北部旧黄河入海口、洪泽湖流域及安徽南部山区丘陵地区垦殖率较低,多在10%左右。

(3) 1735年耕地主要分布于海拔高度 ≤ 100 m,坡度 $\leq 2^\circ$ 的地方。到1980s时,不同坡度下的垦殖率大有增加,如平耕地的垦殖率由1735年的45.29%增加到1980s的74.21%。

参考文献(References)

- 傅辉. 2008. 明以来河南土地利用变化与人文机制研究[D]. 上海: 复旦大学. [Fu H. Study on land use change and anthropogenic mechanism in Henan Province, 1368-1953 [D]. Shanghai, China: Fudan University.]
- 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 等. 2003. 过去300年中国部分省区耕地资源数量变化及驱动因素分析[J]. 自然科学进展, 13(8): 825-832. [Ge Q S, Dai J H, He F N, et al. 2003. Cultivated land amount change and driving forces analysis of some provinces of China in past 300 years[J]. Progress in Natural Science, 13(8): 825-832.]
- 何凡能, 李士成, 张学珍, 等. 2012. 中国传统农区过去300年耕地重建结果的对比分析[J]. 地理学报, 67(9): 1190-1200. [He F N, Li S C, Zhang X Z, et al. 2012. Comparisons of reconstructed cropland area from multiple datasets for the traditional cultivated region of China in the last 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 67(9): 1190-1200.]
- 何凡能, 李士成, 张学珍. 2011. 北宋中期耕地面积及其空间分布格局重建[J]. 地理学报, 66(11): 1531-1539. [He F N, Li S C, Zhang X Z. 2011. The reconstruction of cropland area and its spatial distribution pattern in the mid-Northern Song Dynasty[J]. Acta Geographica Sinica, 66(11): 1531-1539.]
- 何凡能, 田砚宇, 葛全胜. 2003. 清代关中地区土地垦殖时空

- 特征分析[J]. 地理研究, 22(6): 687-697. [He F N, Tian Y Y, Ge Q S. 2003. Spatial-temporal characteristics of land reclamation in Guanzhong region in the Qing Dynasty[J]. Geographical Research, 22(6): 687-697.]
- 颀耀文, 王学强, 汪桂生, 等. 2013. 基于网格化模型的黑河流域中游历史时期耕地分布模拟[J]. 地球科学进展, 28(1): 71-78. [Jie Y W, Wang X Q, Wang G S, et al. 2013. Cultivated land distribution simulation based on grid in middle reaches of Heihe River Basin in the historical periods[J]. Advances in Earth Science, 28(1): 71-78.]
- 李柯, 何凡能, 张学珍. 2011. 基于MODIS数据网格化重建历史耕地空间分布的方法: 以清代云南省为例[J]. 地理研究, 30(12): 2281-2288. [Li K, He F N, Zhang X Z. 2011. An approach to reconstructing spatial distribution of historical cropland with grid-boxes by utilizing MODIS land cover dataset: a case study of Yunnan Province in the Qing Dynasty[J]. Geographical Research, 30(12): 2281-2288.]
- 李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 2006. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟[J]. 气象学报, 64(3): 257-270. [Li Q P, Ding Y H, Dong W J. 2006. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700[J]. Acta Meteorologica Sinica, 64(3): 257-270.]
- 李士成, 何凡能, 陈屹松. 2012. 清代西南地区耕地空间格局网格化重建[J]. 地理科学进展, 31(9): 1196-1203. [Li S C, He F N, Chen Y S. 2012. Gridding reconstruction of cropland spatial patterns in southwest China in the Qing Dynasty[J]. Progress in Geography, 31(9): 1196-1203.]
- 李为, 张平宇, 宋玉祥. 2005. 清代东北地区土地开发及其动因分析[J]. 地理科学, 25(1): 7-16. [Li W, Zhang P Y, Song Y X. 2005. Analysis on land development and causes in northeast China during Qing Dynasty[J]. Scientia Geographica Sinica, 25(1): 7-16.]
- 梁方仲. 2008. 中国历代户口、田地、田赋统计. 北京: 中华书局[M]. [Liang F Z. 2008. Zhongguo lidai hukou, tian di, tian fu tongji[M]. Beijing, China: Zhonghua Book Company.]
- 林珊珊, 郑景云, 何凡能. 2008. 中国传统农区历史耕地数据网格化方法[J]. 地理学报, 63(1): 83-92. [Lin S S, Zheng J Y, He F N. 2008. The approach for gridding data derived from historical cropland records of the traditional cultivated region in China[J]. Acta Geographica Sinica, 63(1): 83-92.]
- 罗静, 张德铨, 刘峰贵, 等. 2014. 青藏高原东北部河湟谷地1726年耕地格局重建[J]. 地理研究, 33(7): 1285-1296. [Luo J, Zhang Y L, Liu F G, et al. 2014. Reconstruction

- of cropland spatial patterns for 1726 on Yellow River-Huangshui River Valley in northeast Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geographical Research*, 33(7): 1285-1296.]
- 孙颖, 石玉林. 2003. 中国农业土地利用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社. [Sun H, Shi Y L. 2003. *Zhongguo nongye tudi liyong*[M]. Nanjing, China: Phoenix Science Press.]
- 王庆, 陈吉余. 1999. 洪泽湖和淮河入洪泽湖河口的形成与演化[J]. *湖泊科学*, 11(3): 237-244. [Wang Q, Chen J Y. 1999. Formation and evolution of Hongze Lake and the Huaihe River mouth along the lake[J]. *Journal of Lake Sciences*, 11(3): 237-244.]
- 许道夫. 1983. 中国近代农业生产及贸易统计资料[M]. 上海: 上海人民出版社. [Xu D F. 1983. *Zhongguo jindai nongye shengchan ji maoyi tongji ziliao*[M]. Shanghai, China: Shanghai People's Publishing House.]
- 叶瑜, 方修琦, 任玉玉, 等. 2009. 东北地区过去300年耕地覆盖变化[J]. *中国科学: 地球科学*, 39(3): 340-350. [Ye Y, Fang X Q, Ren Y Y, et al. 2009. Cropland changes in northeast region of China in the past 300 years[J]. *Science in China: Earth Sciences*, 39(3): 340-350.]
- 尹永飞, 陈星, 张洁, 等. 2009. 中国过去300年土地利用变化及其气候效应[J]. *第四纪研究*, 29(6): 1162-1169. [Yin Y F, Chen X, Zhang J, et al. 2009. Land use change of the past 300 years in China and its climate effects[J]. *Quaternary Sciences*, 29(6): 1162-1169.]
- 袁存, 叶瑜, 李蓓蓓, 等. 2014. 面向历史土地利用研究的苏皖地区耕地分布的影响因子分析及宜垦性模型构建[J]. *地理科学研究*, 3(2): 18-29. [Yuan C, Ye Y, Li B B, et al. 2014. Analysis of the impact factors of cropland distribution and model building in Jiangsu and Anhui for historical land use research[J]. *Geographical Science Research*, 3(2): 18-29.]
- 张家诚. 1982. 气候变化对中国农业生产的影响初探[J]. *地理研究*, 1(2): 8-15. [Zhang J C. 1982. Possible impacts of climatic variation on agriculture in China[J]. *Geographical Research*, 1(2): 8-15.]
- 张兰生, 方修琦. 2012. 中国古地理: 中国自然环境的形成[M]. 北京: 科学出版社. [Zhang L S, Fang X Q. 2012. *Zhongguo gudili: zhongguo ziran huanjing de xingcheng*[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 张丽娟, 姜蓝齐, 张学珍, 等. 2014. 19世纪末黑龙江省的耕地覆盖重建[J]. *地理学报*, 69(4): 448-458. [Zhang L J, Jiang L Q, Zhang X Z, et al. 2014. Reconstruction of cropland over Heilongjiang Province in the late 19th century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 69(4): 448-458.]
- 张青瑶. 2012. 清代晋北地区土地利用及驱动因素研究[D]. 西安: 陕西师范大学. [Zhang Q Y. Study on land use and its driving factors in northern Shanxi Province in Qing Dynasty[D]. Xi'an, China: Shaanxi Normal University.]
- 章有义. 1991. 近代中国人口和耕地的再估计[J]. *中国经济史研究*, (1): 20-30. [Zhang Y Y. 1991. Jindai zhongguo renkou he gengdi de zai guji[J]. *Researches in Chinese Economic History*, (1), 20-30.]
- 赵赞. 2005. 苏皖地区土地利用及其驱动力机制(1500-1937)[D]. 上海: 复旦大学. [Zhao Y. 2005. *Suwan diqu tudi liyong jiqi qudongli jizhi (1500-1937)*[D]. Shanghai, China: Fudan University.]
- 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 1982. 中国自然地理: 历史自然地理[M]. 北京: 科学出版社. [Editorial Committee of Chinese Academy of Sciences, "Physical Geography of China". 1982. *Zhongguo ziran dili: lishi ziran dili*[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 周荣. 2001. 清代前期耕地面积的综合考察和重新估算[J]. *江汉论坛*, (9): 57-61. [Zhou R. 2001. Qingdai qianqi gengdi mianji de zonghe kaocha he chongxin gusuan[J]. *Jiangnan Tribune*, (9): 57-61.]
- 朱枫, 崔雪锋, 缪丽娟. 2012. 中国历史时期土地利用数据集的重建方法述评[J]. *地理科学进展*, 31(12): 1563-1573. [Zhu F, Cui X F, Miao L J. 2012. China's spatially-explicit historical land-use data and its reconstruction methodology[J]. *Progress in Geography*, 31(12): 1563-1573.]
- Goldewijk K K, Beusen A, Van D G, et al. 2011. The HYDE 3.1 spatially explicit database of human-induced global land-use change over the past 12000 years[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 20(1): 73-86.
- Li B B, Fang X Q, Ye Y, et al. 2010. Accuracy assessment of global historical cropland datasets based on regional reconstructed historical data: a case study in northeast China[J]. *Science China: Earth Sciences*, 53(11): 1689-1699.
- Liu M L, Tian H Q. 2010. China's land cover and land use change from 1700 to 2005: estimations from high-resolution satellite data and historical archives[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, GB3003, doi: 10. 1029/2009GB003687.
- Pongratz J, Reick C, Raddatz T, et al. 2008. A reconstruction of global agricultural areas and land cover for the last millennium[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 22, GB3018, doi: 10. 1029/2007GB003153.
- Ramankutty N, Foley J A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(4): 997-1027.
- Ye Y, Fang X Q. 2012. Expansion of cropland area and formation of the eastern farming-pastoral ecotone in northern

- China during the twentieth century[J]. *Regional Environment Change*, 12(4): 923-934.
- 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 [J]. *Regional Environmental Change*, 13(5): 969-977.
- Zheng J Y, Lin S S, He F N. 2009. Recent progress in studies on land cover change and its regional climatic effects over China during historical times[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26(4): 793-802.

Rasterizing cropland data and accuracy comparison in Jiangsu and Anhui Provinces in the Mid-Qing Dynasty

YUAN Cun¹, YE Yu^{1,2}, FANG Xiuqi¹

(1. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Historical grid data of land use are the basis for environmental effect simulation of land use/land cover change. This study distributed the cropland data for the mid-Qing Dynasty in Jiangsu and Anhui Provinces into grid cells with a spatial resolution of 10 km×10 km by using the provincial-level and county-level cropland data. It also compared and assessed the two distribution results to examine the accuracy of the downscaling and rasterization of statistical data at different spatial scales. The results are as follows: (1) The distribution result that used the county-level data has higher precision. (2) There exist differences between the provincial and county statistical data downscaling results, and the average difference is 16.61%. For 24.55% of the grid cells the difference is between -10% to 10%; 13.3% of the grid cells have a difference of above 70% or below -70% and these cells are mainly in the Hongze Lake basin and the northern plain of Jiangsu Province (the estuary before the Yellow River diversion). To reduce the distribution error and improve the downscaling precision, it is necessary to reconstruct historical cropland distribution using county data. (3) The reconstructed cropland distribution in the mid-Qing Dynasty in Jiangsu and Anhui Provinces reveals some regional differences. The highly farmed area was mainly concentrated in Taicang and Kunshan in the central eastern coastal plain region, and in Dangshan, Feng, and Pei Counties the reclamation rates were above 80%, with the highest in Dangshan at 89.8%. But the reclamation rate in the estuary of the old Yellow River course in the north of Jiangsu, the Hongze Lake basin, the Tai Lake basin, and the southern Anhui mountainous and hilly region was very low, at around 10%. (4) In terms of altitude and slope, in 1735, the cropland was mainly distributed in places where the altitude is lower than 100 m and slope lower than 2°. In the 1980s, however, the reclamation rate had greatly increased in areas with various slopes—for example, the reclamation rate under 2° slope increased from 45.29% in 1735 to 74.21% in the 1980s.

Key words: Land use; rasterization; accuracy comparison; Jiangsu and Anhui Provinces; the Mid-Qing Dynasty