

近 60 年来敦煌绿洲耕地动态变化与预测研究^①

刘普幸, 程 英

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 基于敦煌绿洲 1949—2004 年耕地变化特征、现状及存在问题, 选取影响耕地的 7 个社会经济指标, 利用因子分析方法 (FA) 分析敦煌绿洲耕地变化的驱动力。结果表明农业现代化水平、人口数量和受教育程度是影响绿洲耕地变化的 3 个主要驱动因子, 最后通过 GM (1, 1) 模型对未来 25 年的耕地和人口进行了预测, 以期对敦煌绿洲耕地资源的保护和人地和谐发展提供科学依据。

关键词: 敦煌绿洲; 主因子; 驱动力; 农业现代化; GM(1,1)模型

中图分类号: F301.24

农业是我国西北绿洲国民经济发展的主导产业, 作为农业生产资料并承担粮食生产的耕地对绿洲居民的自身再生产作用不可替代, 对绿洲农业高效发展及农业现代化步伐的加快举足轻重。耕地是绿洲居民获取生物资源的重要基地, 绿洲人口持续增长和生活水平的提高, 必然引起未来粮食需求的增长。增加的粮食需求会对粮食生产带来新要求, 除了水资源及其约束下的灌溉面积及灌溉用水效率主要制约粮食生产外, 保持一定数量和质量的耕地资源就显得尤为重要。耕地问题实质就是粮食问题, 耕地变化影响粮食安全。伴随绿洲规模的迅速扩大和长期的社会经济发展、人口急剧增长以及不合理的灌溉方式造成的耕地次生盐渍化、沙漠化等土地退化现象等致使绿洲有限的耕地资源不断受到负面影响, 人均耕地资源呈逐年减少趋势。面对绿洲人口与耕地的矛盾日益突出, 稳定一定数量的耕地, 利用和保护好有限的耕地资源, 维护耕地质量, 重视区域耕地的动态变化研究, 及时了解和掌握耕地的数量、空间变化动态, 分析其驱动机制^[1-5], 对于提高绿洲粮食综合生产能力, 实现农业现代化目标, 促进绿洲持续稳定发展意义深远。本文通过对敦煌市近 60 年来耕地变化驱动因子与预测的分析研究, 以期对该市未来耕地资源的保护和人地协调发展提供科学依据。

1 研究区概况

敦煌市位于甘肃省最西端, 东经 92°13′~95°30′, 北纬 39°35′~41°35′, 地处甘肃、青海、新疆三省(区)

交汇处。总土地面积 $3.12 \times 10^4 \text{ km}^2$, 绿洲面积占 4.49%。平均海拔 1138.7 m, 东西长 60~240 km, 南北宽 90~190 km。气候干旱, 属典型暖温带干旱性气候。多年平均气温 10.1℃, 多年平均降水 38.1 mm, 年平均蒸发量 2581.7 mm, 日照时数 3339 h。源于祁连山的党河, 年均径流量 $2.88 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是敦煌生产、生活用水的主要来源。此外, 莫高窟绿地的东、西水沟泉水年径流量为 $5.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和南湖泉水年径流量 $0.62 \times 10^8 \text{ m}^3$, 是南湖绿洲形成的源泉。敦煌绿洲地下水资源丰富, 每年约开采地下水 $3.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[6-7]。2004 年全市总人口约 13.60 万人 (不含青海石油管理局敦煌后勤基地 4 万多人), 其中农业人口约 9.78 万人, 占总人口的 71.95%, 2004 年 GDP 为 18.24 亿元, 农业总产值 6.51 亿元, 占全市社会生产总值的 35.7%, 因此, 发展农业对敦煌市国民经济增长十分重要。

2 敦煌绿洲耕地现状、变化特征及存在问题

统计资料表明, 2004 年敦煌市总人口约 13.60 万人, 耕地总面积约 1.71 万 hm^2 。人口与耕地变化趋势 (图 1) 基本相似, 总体为从建国初至 2004 年人口呈不断增长的变化趋势。除特殊时期外, 其它年份变化率保持在 1.6%~1.8% 之间; 1949 年人口约为 3.70 万人, 到 2004 年增加为 13.60 万人; 而人均耕地面积的变化则表现为在波动中下降趋势, 1949 年人均耕地 0.24 hm^2 , 2004 年下降至 0.13 hm^2 。

目前, 绿洲水资源利用不合理、土壤盐渍化及农业污染严重影响耕地质量。敦煌绿洲现有水资源总量

^①基金项目: 甘肃省自然科学基金项目 (0803RJZA094)、甘肃省教育厅导师项目 (0801-11) 和甘肃省级重点学科自然地理学项目资助。

作者简介: 刘普幸 (1964—), 女, 山西平遥人, 博士, 教授, 主要从事干旱区域环境与绿洲、树轮水文学等的研究工作。E-mail: fmlpx@nwnu.edu.cn

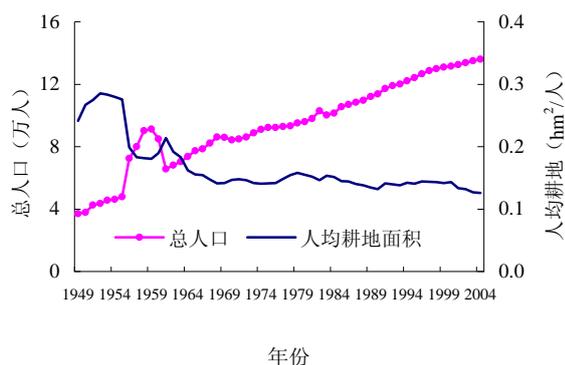


图1 敦煌市1949—2004年耕地面积和总人口变化图

Fig. 1 Changes of cultivated land area and total population in Dunhuang from 1949 to 2004

为 $4.47 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中用于农业灌溉的水资源量占总水量的 89.34%^[8], 而绿洲内农业灌溉方式仍以大水漫灌、深浇漫灌为主, 大量水资源得不到充分利用。地下水位普遍下降, 仅在 1991 年至 2001 年 10 年间地下水位下降了 4.33 m。著名的月牙泉水深从 20 世纪 60 年代的 7~8 m 已经下降到目前的 1 m 左右。除此之外, 水污染也很严重, 2004 年污水排放量已达到 $587 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[7]。

由于疏勒河的断流, 造成断流流域植被大面积萎缩, 干旱沙生土壤得不到地面植被的保护, 绿洲边缘的防沙屏障逐段开口, 使原本固定的沙丘, 部分重新移动。2000 年敦煌市沙化面积已达 $83.06 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占总土地面积的 26.62%, 比 1980 年增长 $32.01 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 增幅达 10.26%。与此同时, 敦煌自然保护区, 水土流失面积近 $79.77 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 占保护区面积的 22.15%^[10]。

近年来, 伴随敦煌绿洲经济发展迅速, 农业污染问题也日趋严重。据统计资料表明, 2004 年化肥施用量达到 9914 t, 塑料薄膜使用量达 1602.3 t。造成水体、土壤严重污染^[9], 影响敦煌绿洲耕地质量的提高。

3 耕地动态变化驱动力分析

敦煌绿洲耕地动态变化的驱动因子是自然因素和人类社会经济因素综合作用的结果, 而且人类活动在耕地动态变化过程中所起的作用日益显著, 已经成为不可忽视的驱动力。本文采用因子分析法 (factor analysis, FA) 对这些驱动因素其进行量化分析。

3.1 自然因素

敦煌市属于暖温带大陆性气候, 气候干旱, 降水稀少, 水资源短缺, 耕地受自然条件影响较大。农业主要依靠灌溉, 水资源的多少是影响耕地利用的关键因子。耕地灌溉补给充足, 可以弥补天然降水量稀少的缺点, 有效抵制干旱的发生; 反之, 耕地灌溉补给

不足, 加之天然降水少, 很容易形成旱灾, 使耕地面积和利用程度减小。据统计资料表明, 1995 年敦煌市受灾面积 1141.2 hm^2 , 2004 年增加到 3975.29 hm^2 。敦煌市水资源极其有限, 决定其耕地面积增加的后劲不足; 地处河西走廊最西端, 经常遭受风沙灾害, 温差大和降水时间分布不均容易产生低温和冻害, 这些灾害对耕地剥蚀作用很大, 极易形成耕地养分的流失, 加之人为不合理灌溉及传统的农业耕作方式导致新增耕地面积填补了被自然因素及人为因素破坏掉的已有耕地面积, 耕地总体变化不显著。

3.2 社会经济因素

3.2.1 资料与方法 本文基于 1949—2004 年《敦煌统计年鉴》和《甘肃省统计年鉴》的资料, 应用 SPSS 软件, 采用因子分析法分析影响敦煌市耕地变化的社会经济驱动因子。它是基于主成分为初始因子, 通过对载荷阵作方差最大旋转实现的。主成分分析 (principal component analysis, PCA) 不能作为一个模型来描述, 只能作通常的变量变换, 而因子分析需要构建因子模型, 是主成分分析的发展和延伸。运用因子分析, 可以将原来多个因子化为少数几个起支配作用的主因子, 达到既能满足尽量多地反映原来较多因子的信息, 彼此之间又相互独立。通过原始数据的构造和处理、计算各因子相关系数矩阵、特征值和累积贡献率以及其载荷矩阵, 并按照因子载荷矩阵的绝对值大小, 来判断因子主要对哪些变量有潜在支配作用, 从而可找出影响敦煌绿洲耕地动态变化的支配因子。

3.2.2 耕地动态变化的社会经济驱动因子分析

影响敦煌市耕地变化的社会经济因子复杂多样, 根据敦煌市耕地变化的实际状况、因子分析方法的原理及现有统计资料的有效性, 选取 1970—2004 年 35 年的统计数据^[3]作为应用因子分析法的原始数据, 从中选出 7 个影响因素: 总人口 (X_1), 中小学在校人数 (X_2), 耕地面积 (X_3), 粮食总产量 (X_4), 农业机械总动力 (X_5), 农用化肥施用量 (X_6), 农村用电量 (万度) (X_7), 运用 DPS 软件包对这 7 组数据进行分析运算, 得出因子相关矩阵、特征根、方差贡献率、累计贡献率、主因子数和因子载荷矩阵 (表 1、2、3)。

从表 1 中可以看出, 影响耕地变化的 7 个变量存在不同程度的相关。 X_1 与 X_5 、 X_7 和 X_3 之间具有较高的相关性, 相关系数分别约为 0.955、0.947、0.944; X_1 与 X_6 、 X_3 与 X_5 和 X_7 、 X_5 与 X_7 和 X_6 以及 X_6 和 X_7 之间相关性也很大, 这说明它们之间具有因果的必然联系性, 有必要进行主因子分析。从表 3 可知, 主因子分析提取变量有 3 个最大特征根, 即 4.817、1.389 和 0.557, 与之相对应的第一、第二和第三主因子的累

表 1 耕地变化驱动力变量相关系数矩阵

Table 1 Correlation coefficient matrix of driving-force variables of cultivated land change

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	1.000						
X_2	0.302	1.000					
X_3	0.944	0.353	1.000				
X_4	-0.010	-0.441	0.132	1.000			
X_5	0.955	0.417	0.915	-0.172	1.000		
X_6	0.870	0.497	0.776	-0.388	0.876	1.000	
X_7	0.947	0.391	0.851	-0.189	0.929	0.871	1.000

表 2 耕地主因子分析的特征值及其贡献

Table 2 Latent root and cumulative contribution of FCA of cultivated land

因子	特征值	方差贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
1	4.817	68.809	68.809
2	1.389	19.848	88.657
3	0.557	7.958	96.615
4	0.109	1.553	98.168
5	0.090	1.288	99.456
6	0.029	0.409	99.865
7	0.010	0.135	100.000

表 3 因子载荷矩阵

Table 3 Component matrix

	因子 1	因子 2	因子 3	共同度	特殊方差
X_1	0.962	0.246	-0.070	0.992	0.008
X_2	0.512	-0.610	0.603	0.999	0.001
X_3	0.916	0.324	0.147	0.965	0.035
X_4	-0.216	0.902	0.361	0.990	0.010
X_5	0.974	0.077	-0.055	0.958	0.042
X_6	0.937	-0.170	-0.141	0.926	0.074
X_7	0.957	0.060	-0.117	0.934	0.066

计贡献率已达 96.615%，这说明前 3 个主因子提供了原始数据的足够信息，完全符合分析的要求，能够代表影响耕地变化的主要因子。

由表 3 可知，第一主因子与 X_5 农业机械总动力、 X_1 总人口、 X_7 农村用电量、 X_6 农用化肥施用量、 X_3 耕地面积（耕地自身数量变化不太大）的相关程度很高，它们代表了敦煌市农业现代化水平及人口总量对耕地的最直接影响；第二主因子与 X_4 粮食总产量相关程度很高，它代表了敦煌市农业生产水平，间接反映农业现代化程度；第三主因子与 X_2 中小学在校人数的相关程度很高，说明总人口受教育的程度和综合素质对耕地变化的影响很重要。总之，通过以上分析可以得出，敦煌市耕地变化在社会因素方面主要受农业现代化水平、总人口及教育科技 3 方面的影响。

3.3 敦煌绿洲耕地变化的驱动机制分析

从表 2 各因子的特征值及其贡献率组合形式中可以看出，第一主因子的贡献率达到 68.809%，是主控因子，最大程度地反映了耕地变化的驱动因子；第二主因子约占 19.848% 的变化率，突出表现在粮食总产量，其相关系数最高达 0.902；第三主因子约占 7.958% 的变化率，以中小学受教育程度的相关系数最高。在空间上表明在敦煌市社会经济发展过程中，农业现代化水平及总人口数量对耕地的影响强度最大，其次为农业生产水平，第三为总人口的素质。

敦煌绿洲为灌溉农业，农业机械总动力在某种程度上决定有效灌溉面积的大小，而有效灌溉面积是确保耕地质量的重要保障。尽管自改革开放以来，特别是近 10 年来，敦煌市农业发展较快，GDP 年均增长 33.38%，人均 GDP 从 1995 年的 3383 元增加到 2004 年的 13415 元，扩大了 7.93 倍。敦煌绿洲社会经济得到了长足发展，农业投入逐年增加，农业机械总动力不断增加，仅近 10 年从 1995 年的 129883.9 马力增加到 2004 年的 205000 马力，但年平均增加 5.78%，速度缓慢。表明农业机械化水平还有待提高，绿洲喷灌、滴灌等高新节水技术需要大面积推广使用。因此，今后，加大农业机械化的投入，提高农业机械化水平，是敦煌绿洲保护耕地，走现代农业的重要发展举措。

人口作为一种持续的外界压力，对耕地变化起决定性作用。近 60 年来，虽然耕地的面积总体略有增加，但受水资源和绿洲水土资源平衡发展制约，敦煌绿洲耕地面积的扩大是极其有限。敦煌市人口从 1949 年的 3.70 万人增加到 2004 年的 13.60 万人，增加了 3.68 倍，人均耕地呈显著下降趋势；1949 年到 2004 年粮食总产量与人均粮食占有量分别从 0.91 万 t、245.42 kg 减少到 0.50 万 t 和 36.80 kg。显然，随着敦煌市人口的进一步增长，人口对耕地产生的压力将越来越大。因此，严格控制人口数量仍然是敦煌市一项长抓不懈的工作。未来不仅要加大农业投入，大力发展现代农业，

提高农业生产水平,严格控制总人口数量,而且迫切需要加大发展科技与教育的力度,提高人口素质,特别是培养大批农业技术人员,使劳动者普遍拥有文化和劳动技能,它既可以促进人口基本国策的有效实施,也利于敦煌绿洲耕地资源的保护和利用,加快农业现代化步伐。

4 敦煌绿洲耕地与人口的动态变化预测

本文以1949—2004年敦煌市的耕地数据作为原始数据,运用灰色系统的理论与方法,利用DPS软件,分别建立GM(1,1)预测模型,对2010年、2015年和2020年敦煌市人口与耕地进行初步预测,得出耕地预测值。同时,为检验此模型的精度,根据后验比 C 和小误差概率 P 对模型进行诊断。

通过预测,敦煌市2010年、2015年、2020年总人口将分别达到15.747、17.081和18.529万人,分别增长1.334万人和1.448万人,显然,未来15年本市人口仍然呈较快增长趋势;而相应的耕地由2010年的1.873万 hm^2 增长到2015年的1.944万 hm^2 及2020年的2.018万 hm^2 ,分别增长0.071 hm^2 和0.074 hm^2 ,增幅不大。两个预测模型的精度检验值分别为耕地模型的 $C = 0.5782$ 一般, $P = 0.8545$ 好,人口模型的 $C = 0.3056$ 很好, $P = 0.9455$ 好,表明通过模型得出的预测值均达到了各精度要求,预测模型可信。

5 结论

(1) 自1949年以来,敦煌绿洲耕地面积呈幅度不大的增加趋势,但人均耕地面积呈较显著的下降趋势,显然人口与耕地矛盾日益突出。

(2) 主因子分析结果表明,影响敦煌绿洲耕地变化的7个因子最后归纳为农业现代化水平、总人口及其

受教育程度等3类因素。从单个因子分析来看,农业机械总动力、总人口、农村用电量、农用化肥施用量,耕地面积是影响耕地变化的重要驱动因子。

(3) 根据预测,未来15年,敦煌市耕地面积增长幅度不大,人均耕地将仍然呈显著减少趋势。因此,提高农业机械化水平,严格控制人口数量,提高人口质量,保护现有耕地就成为今后敦煌市耕地发展的重要举措。

参考文献:

- [1] 陈佑启, Verburg PH. 中国土地利用/土地覆盖的多尺度空间分布特征分析. 地理科学, 2000, 20(3): 197-202
- [2] 龙花楼, 李秀彬. 长江沿线样带土地利用格局及其影响因子分析. 地理学报, 2001, 56(4): 417-425
- [3] 金雄兵, 濮励杰, 罗昀, 彭补拙. 县级尺度土地利用与土地覆盖变化初步研究—以江苏昆山市为例. 土壤, 2003, 35(3): 204-210
- [4] 刘普幸, 张红侠. 甘肃张掖市耕地变化及驱动力研究. 土壤, 2003, 35(6): 485-489
- [5] 赵小汎, 代力民, 王庆礼. 基于RS和GIS的县域土地利用变化特征分析. 土壤, 2007, 39(3): 415-420
- [6] 杨力扬. 敦煌市水资源现状及可持续利用对策. 甘肃水利水电技术, 2003, 39(1): 32-33
- [7] 桑学锋, 豆林, 刘琴. 敦煌市水资源及节水型城市建设探讨. 干旱区资源与环境, 2004, 18(8): 168-171
- [8] 《敦煌市志》编纂委员会. 敦煌市志. 北京: 新华出版社, 1994
- [9] 张明泉, 赵转军, 曾正中. 敦煌盆地水环境特征与水资源可持续利用. 干旱区资源与环境, 2003, 17(4): 71-76
- [10] 刘普幸, 孙小舟. 干旱区生态农业与人地关系协调—以酒泉地区为例. 干旱区资源与环境, 2004, 18(1): 7-10

On Dynamic Change and Forecast of Cultivated Land in Dunhuang Oasis, Hexi Corridor

LIU Pu-xing, CHENG Ying

(College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730030, China)

Abstract: Based on the analyses of the dynamic change of the cultivated land area from 1949 to 2004 in Dunhuang Oasis, this paper explored the factors which could affect cultivated land area with the method of Factor Analysis. The result showed that the agricultural modernization level, general population and their quality were three primary factors in the studied area. By establishing multiple linear regression model, the cultivated land area and general population of Dunhuang Oasis in 2010, 2015 and 2020 were predicated respectively, which could provide scientific bases for the sustainable utilization of cultivated land and sustainable agricultural development in the region.

Key words: Dunhuang Oasis, Principal factor, Driving factors, Agricultural modernization, GM(1, 1)