

基于粮食安全的乌鲁木齐市人口–粮食–耕地系统态势分析及预测^①

孔静静¹, 魏建新^{2,3*}

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2 新疆大学地理学博士后流动站, 乌鲁木齐 830046;

3 新疆国土资源信息中心, 乌鲁木齐 830002)

摘要: 基于统计数据在分析了乌鲁木齐市近 16 年人口、粮食和耕地动态变化的基础上, 运用耕地压力指数模型和耕地资源人口承载指数模型, 揭示了乌鲁木齐市耕地压力和粮食供给状况; 同时集成曲线估计模型和时间序列平滑法对 2014—2020 年人口–粮食–耕地系统进行了预测。结果表明: 1996—2011 年, 乌鲁木齐市人口–粮食–耕地系统整体逐渐呈不平衡态势; 16 年来乌鲁木齐市人口超载、耕地压力明显, 其中, 2003 年耕地压力最大、耕地资源承载力最小, 1996 年与之相反; 未来 7 年乌鲁木齐市人口将持续增长, 粮食产量波动式减少, 耕地面积和人均耕地缓慢减少, 耕地压力指数和耕地资源承载指数继续变大, 乌鲁木齐市人、地、粮矛盾将更加尖锐。据此提出应对措施: 控制人口数量并提高人口素质; 完善耕地保护制度的同时重视现代生态农业发展; 重视基本农田保护的基础上优化都市圈内部耕地资源。

关键词: 粮食安全; 系统分析; 指数; 预测; 乌鲁木齐

中图分类号: F301.21; K909

粮食安全事关国民经济和社会发展全局, 是保障国家安全的重要基石^[1]。目前, 有许多因素制约着我国粮食生产能力的提高, 耕地资源是影响粮食安全的重要因素之一。据统计, 我国每年耕地减少 1 万 hm^2 ^[2], 加之全球粮食储备减少及粮价高涨的严峻形势, 揭示区域耕地资源安全和粮食生产的变化成因对于耕地保护和粮食安全显得尤为重要。目前, 我国学者基于不同视角和时空尺度对粮食供需关系、耕地总量和人均面积的变化做了不同程度的分析。其中, 在省域尺度上运用耕地压力指数模型对耕地资源变化的研究较多, 如陕西、四川、宁夏、江西省等^[3–6], 在市级或县域尺度从粮食安全及耕地保护双重层面的研究较少。本研究基于耕地压力指数模型、耕地资源承载指数模型, 并集成预测模型, 运用 SPSS 软件对乌鲁木齐市人口、粮食和耕地态势进行了深入分析和预测, 并提出了相应对策, 旨在为乌鲁木齐市耕地保护、农业可持续发展提供科学依据。

1 研究区概况

乌鲁木齐市(86°37'33" ~ 88°58'24" E, 42°45'32" ~ 44°08'00" N)深处欧亚大陆腹地, 位于天山北坡, 准格尔盆地南缘, 东、南、西三面环山, 海拔 680 ~ 920 m, 总体由南向北倾斜, 属中温带半干旱大陆性气候, 年均气温 7.4℃, 年降水量 23.9 mm, 日照时数 238.7 h, 地表水资源约 10^9m^3 , 是我国西北干旱区绿洲城市, 生态环境脆弱。该市辖 7 区 1 县, 截至 2011 年末, 全市常住人口达 249.35 万人, GDP 总量为 1 690.03 亿元, 土地总面积 1 378 310.16 hm^2 , 全年粮食播种面积 26 350 hm^2 , 粮食总产量 172 769 t。

2 研究方法和数据来源

研究所用数据来源于《乌鲁木齐市统计年鉴》(1997—2012 年)^[7]和新疆国土资源厅提供的 1996—2011 年乌鲁木齐市土地利用变更调查数据。国际上对于粮食安全的测度方法众多, 本研究从实际情况出

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAB11B00)资助。

* 通讯作者(wjxlr@126.com)

作者简介: 孔静静(1989—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事土地利用、国土规划和土地信息技术方面的研究。E-mail: kongjingjing1989@126.com

发,参照已有研究成果,采用较为科学合理并易操作的耕地压力指数模型和土地资源承载指数模型,对乌鲁木齐市人口-粮食-耕地系统进行分析,并运用 SPSS19.0 创建时间序列和回归曲线估计模型,预测 2014—2020 年系统的变化趋势,进而提出减轻耕地压力,保证粮食安全的措施。

1) 耕地压力指数模型。耕地压力指数是最小人均耕地面积与实际人均耕地面积之比,计算公式为^[8]:

$$K = S_{\min} / S_a = [\beta \cdot G_r / (p \cdot q \cdot k)] / S_a \quad (1)$$

式中: K 为耕地压力指数; S_{\min} 为最小人均耕地面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$); S_a 为实际人均耕地面积 ($\text{hm}^2/\text{人}$); β 为粮食自给率(%); G_r 为人均粮食需求量 ($\text{kg}/\text{人}$); p 为粮食单产 (kg/hm^2); q 为粮食播种面积与农作物播种总面积的比值(%); k 为复种指数(%). S_{\min} 是计算 K 的关键,是指在一定区域范围内一定食物自给水平和耕地生产力条件下,为满足人口正常生活的食物消费所需的耕地面积。耕地压力指数给出了耕地保护的阈值,可衡量一个地区耕地资源的紧张程度并作为耕地保护的调控指标。当 $K < 1$ 时,表明耕地生产力的供给水平高于食物消费水平,耕地无明显压力;当 $K = 1$ 时,表明应加强保护耕地,防止耕地流失,以保证人们正常生活需求;当 $K > 1$ 时,表明耕地压力明显,导致粮食危机,应采取紧急措施。同时, K 值与 1 的偏离程度代表最小人均耕地面积值和实际值的离合程度,偏离越大,安全或压力的程度越强^[9]。

2) 耕地资源承载指数模型。为揭示区域现实人口数量与耕地资源承载力之间的关系,本研究采用耕地资源承载指数 ($LCCI$) 描述乌鲁木齐市的人粮关系。其计算公式为^[10-11]:

$$LCCI = P_a / LCC = P_a / (G / G_{pc}) \quad (2)$$

式中: $LCCI$ 为耕地资源承载指数; LCC 为耕地资源承载力(人); P_a 为现实人口数(人); G 为粮食总产量 (kg); G_{pc} 为人均粮食消费标准 ($\text{kg}/\text{人}$)。我国学者封志明等^[10]提出了人粮关系的分级标准,当 $LCCI < 0.875$ 时,该区为粮食盈余区;当 $LCCI$ 介于 $0.875 \sim 1.125$ 时,人粮关系基本平衡;当 $LCCI > 1.125$ 时,该区粮食缺口较大且人口超载, >1.5 时,该区人口严重超载。

3) 三点滑动平均法。在回归模型中,为消除偶然因素对变量的影响,一般采用平滑预测法,滑动平均法的计算结果优于移动平均法,其中三点滑动平均法的计算结果和原始数据间的误差最小^[12]。其计算公式为:

$$\hat{y}_t = \frac{1}{3}(y_{t-1} + y_t + y_{t+1}) \quad (3)$$

式中: \hat{y}_t 为 t 点的滑动平均值, y_t 为 t 点的实际值。

3 乌鲁木齐市人口-粮食-耕地系统动态分析

3.1 人口变化时序特征

人口增长是乌鲁木齐市耕地面积减少的重要驱动因素。1996—2011 年,乌鲁木齐市人口年均以 3.43% 速率持续增加,自然增长率波动式下降(图 1)。据统计,16 年来净增 84.74 万人,年均新增 5.65 万人,自然增长率和年变化率平均值为 5.52% 和 2.81%。期间,在 2007 年、2005 年和 2002 年增长较快,2010 年人口变化最小。总体上,乌鲁木齐市人口以快-慢-快-慢的交替速率增长。

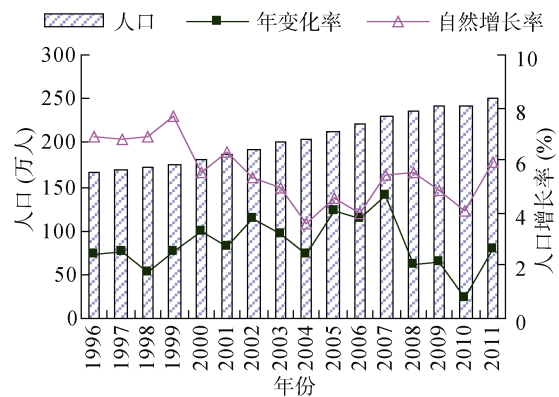


图 1 人口变化和变化率
Fig. 1 Changes and change rates of population

3.2 粮食产量时序特征

1996—2011 年乌鲁木齐市人均粮食占有量和粮食总产量变化趋势基本一致(图 2),大致经历了如下几个阶段: 1996—2003 年,粮食总产量和人均粮食产量呈持续减少态势,粮食总产量减少 47.48%,人均粮食占有量减少 56.72%。通过相关分析,粮食总产量和人均粮食占有量的减少与粮食播种面积减少和人口的持续快速增长相关; 2003—2006 年,

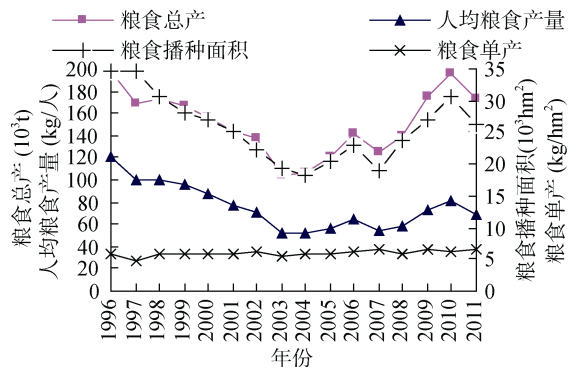


图 2 粮食产量和粮食播种面积变化
Fig. 2 Changes of grain yield and sown area

由于粮食播种面积增加和人口增长减缓,粮食总产量和人均占有量数量上均回升,年均增长率分别为 12.14% 和 7.78%; 2006—2007 年,粮食总产量和人均粮食产量均减少; 2007—2010 年,粮食总产量出现了快速增长的现象,人均粮食产量也随之增加,两者的平均年增长率分别为 19.03% 和 16.50%。通过相关分析,这和粮食播种面积的增加、人口的平缓增加及粮食单产的提高有直接的关系; 2010—2011 年,粮食总产量和人均粮食产量呈回落态势。

3.3 耕地数量时序特征

1996—2011 年,乌鲁木齐市耕地面积(不含兵团耕地)变化经历了以下 3 个阶段(图 3): 1996—2007 年,耕地面积从 63 052.87 hm^2 减少到 57 595.95 hm^2 ,人均占有量从 0.038 3 $\text{hm}^2/\text{人}$ 减少到 0.024 9 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。两者呈不同程度持续减少,耕地面积和人均耕地面积年均减少 0.79% 和 3.18%; 2007—2009 年,耕地面积快速增加,人均耕地面积同步增加,两者年平均增加率分别为 8.02% 和 5.64%; 自 2010 年起,乌鲁木齐市耕地面积呈逐渐减少趋势,人均占有量从 0.027 5 $\text{hm}^2/\text{人}$ 减少到 0.026 3 $\text{hm}^2/\text{人}$ 。耕地面积和人均耕地面积年均减少率为 1.77% 和 4.26%。由于政策导向和人口的急剧增长,在 2002 年、2003 年、2008 年和 2009 年耕地总面积和人均占有量变化速率较大。1996—2011 年,由于人口与耕地变化趋势的相逆性,耕地人口密度从 2 611 $\text{人}/\text{km}^2$ 增长到 3 640 $\text{人}/\text{km}^2$,总体呈指数增长 缓慢减少 逐渐变大的趋势(图 3)。

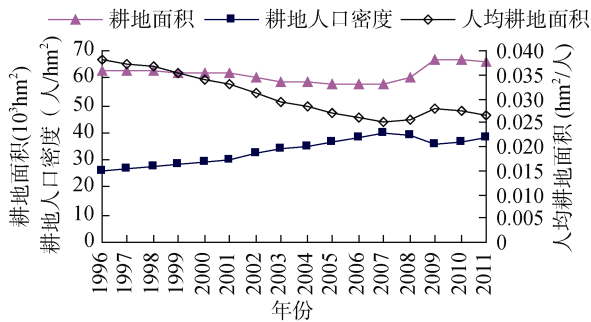


图 3 耕地面积、人均耕地面积和人口密度变化
Fig. 3 Changes of arable land area, arable acreage per capita and population density

3.4 耕地压力指数和耕地资源承载指数时序特征

中国政府曾向国际粮农组织(FAO)承诺我国粮食自给率维持在 95% 以上,因此,本研究将粮食自给率设定为粮食自给底线 95%; 国内众多专家计算出中国人均粮食消费 400 kg 即可达到营养安全的要求^[13-14],根据现阶段人民生活水平,本研究把人均粮食需求量和消费量设为 400 kg/人。根据耕地压力

指数和耕地资源承载指数模型计算出乌鲁木齐市 1996—2011 年 S_{\min} 、 K 、 LCC 、 $LCCI$ 值,结果见图 4。耕地资源人口承载力在 1996—2003 年,呈下降趋势; 2003—2011 年,有所回升,且在 1996 年、2010 年较大。最小人均耕地面积 1996—2003 年呈增长趋势,2003—2011 年呈减少走势。期间,耕地压力指数和耕地承载指数波动变化,两者变化趋势相同,耕地压力指数 K 均大于 1,即耕地压力明显;耕地资源承载指数 $LCCI$ 均大于 1.5,即乌鲁木齐人口严重超过耕地资源承载能力;在 2003 年和 2007 年两者呈现峰值,主要是粮食总产量的急速减少和人口的持续增长,人地粮矛盾随之明显。

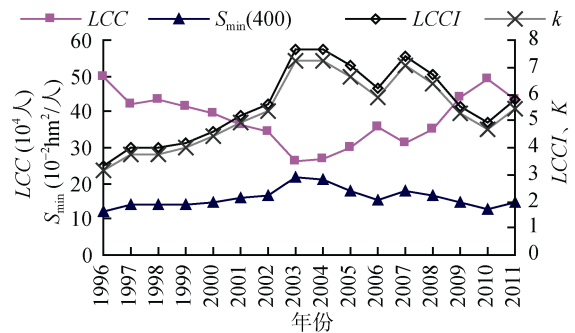


图 4 S_{\min} 、 LCC 、 K 和 $LCCI$ 变化
Fig. 4 Changes of S_{\min} , LCC , K and $LCCI$ value

通过人口-粮食-耕地系统的动态分析可知,人口的持续增长使得粮食需求量增加,而城市的扩张则引起耕地的减少,最终导致耕地压力和粮食生产压力的增大。理论上,一旦这种压力达到生态阈值,农业生态将面临崩溃。

4 乌鲁木齐市人口-粮食-耕地系统态势预测

4.1 模型的建立和预测结果分析

根据对乌鲁木齐市 1996—2011 年总人口的态势分析,初步选择线性回归模型($R^2 = 0.993$)进行预测,但经过对比分析,乘幂曲线拟合效果更好($R^2 = 0.994$),最终运用 SPSS19.0 构建人口预测模型,并将两模型模拟的平均值作为乌鲁木齐市的预测值(表 1)。

通过对粮食产量和耕地面积的变化分析,两者均呈现出波动随机变化的态势,最初选择灰色模型 GM(1,1)进行拟合,但方差比和小误差概率显示模拟结果并不可靠,且考虑到该方法仅适合短期(5~6 年)外推预测^[15]; 根据实际情况,最终选用三点滑动平均法对乌鲁木齐市 2014—2020 年的粮食产量和耕地面积进行预测。耕地压力指数、耕地资源承载指数可通过公式及两者的联系(当粮食自给率 β 取 100% 时, $LCCI = K$)计算(表 1)。

表 1 乌鲁木齐市人口-粮食-耕地系统预测模型和结果
Table 1 Predictive models and results of population-grain-cropland in Urumqi

变量	预测模型	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
总人口(万人)	$Y=(3.99E-189X^{58.97}+60\ 878.882X-1.199E8)/2$	273.99	281.15	288.43	295.83	303.36	311.02	318.81
粮食产量(万 t)	$\hat{y}_t = \frac{1}{3}(y_{t-1} + y_t + y_{t+1})$	16.04	15.03	13.41	16.03	15.01	13.39	16.01
耕地面积(hm ²)	$\hat{y}_t = \frac{1}{3}(y_{t-1} + y_t + y_{t+1})$	63 131.76	62 133.18	61 685.83	60 687.24	59 688.66	59 241.31	58 242.72
LCCI	$LCCI = P_a/(G/G_{pc})$	6.83	7.48	8.60	7.38	8.08	9.29	7.96
K	$K = LCCI \times 95\%$	6.48	7.11	8.17	7.01	7.68	8.82	7.56

由预测结果可知,2014—2020年,乌鲁木齐市总人口以每年 2.73% 速率增长;耕地面积以年均 1.29% 速率缓慢减少,人均耕地面积从 0.023 hm²/人减少到 0.018 hm²/人,年均减少率为 3.41%;粮食产量呈波动式减少,耕地压力指数和耕地资源承载指数将进一步增大,并将在 2019 年达到最大。

4.2 政策建议

为缓解乌鲁木齐市耕地压力和因耕地减少而出现的粮食安全问题,提出以下对策:

1) 重视乌鲁木齐市基本农田保护,进一步完善耕地保护制度并制定和落实各项农业支持措施,提高粮食生产者的积极性。本市已建立了耕地占补平衡制度和基本农田保护制度,在此背景下,应探索使建设占地和耕地保护矛盾有效解决的新途径。

2) 重视现代生态农业的发展。人口-粮食-耕地系统是相互耦合的系统,和生态环境等诸多因素相互关联,因此建立恰当的生态补偿机制,摒弃传统农业“高投入-高产出-高污染”的发展模式,可增强乌鲁木齐市抵御耕地压力的能力。应采取必要措施提高粮食单产、复种指数和粮食播种面积占作物播种面积的比例。

3) 控制人口数量,减轻人口对耕地、粮食的压力。人口的快速增长是造成人口、耕地、粮食矛盾的直接原因。因此在实行人口政策的同时,需进一步提高人口素质。

4) 对绿洲的利用要遵循自然规律,提高耕地质量,树立耕地可持续利用观;合理优化配置乌鲁木齐市都市圈内部的耕地资源,实现经济效益、社会效益和生态效益并行发展。

5 结论

1) 时间序列上,乌鲁木齐市人口-粮食-耕地系统整体上处于不平衡状态。近 16 年来,乌鲁木齐市人口以年均 3.43% 速率持续增加。人均粮食占有量变化趋势和粮食总产量变化趋势基本一致,两者的

变化和粮食播种面积、人口和粮食单产的变化密切相关;人均粮食占有量年均减少 2.84%。期间,耕地面积呈持续减少-快速回升-逐渐减少的过程,耕地人口密度呈相逆方向发展,人均占有量总体呈减少趋势。

2) 根据指数模型,1996—2011 年 K 均大于 1, $LCCI$ 均大于 1.5,即乌鲁木齐市耕地压力明显、人口严重超载。期间,耕地资源承载力和最小人均耕地面积变化趋势相反,2003 年是两者变化的重要拐点;2003 耕地压力最大、耕地资源承载力最小,1996 年耕地压力最小、耕地资源承载力最大。

3) 通过预测,2014—2020 年,人口继续增长,但速率趋于缓慢;粮食产量波动减少;耕地面积在 2011 年基础上呈逐年缓慢减少,人均占有量同步减少;耕地压力指数和承载指数将继续增加,耕地压力明显,人地粮矛盾更加尖锐。对策建议的提出为缓解乌鲁木齐市耕地压力和粮食安全工作的有效落实提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 宋小青,欧阳竹.1999—2007 年中国粮食安全的关键影响因素[J]. 地理学报,2012,67(6): 793-803
- [2] 王枫,汤惠君.中国耕地资源安全研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(3): 471-475
- [3] 赵永华,刘晓静,奥勇.陕西省耕地资源变化及耕地压力指数分析与预测[J]. 农业工程学报,2013,29(11): 217-223
- [4] 赵永敢,李玉义,逢焕成,王龙昌,任天志.四川省耕地压力时空变化特征分析[J]. 中国农业资源与区划,2012,33(3): 28-32,38
- [5] 张素娟,赵先贵,任桂镇,董林林,耿海波.江西省耕地压力时空差异分析及预测[J]. 土壤,2009,41(1): 142-146
- [6] 赵亚峰,贾科利,文琦.宁夏耕地压力动态变化规律分析[J]. 干旱区资源与环境,2014,28(1): 62-65
- [7] 新疆维吾尔自治区统计局.乌鲁木齐市统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,1997—2012
- [8] 蔡运龙,傅泽强,戴尔阜.区域最小人均耕地面积与耕

- 地资源调控[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 127-134
- [9] 谭术魁, 张路, 齐睿. 基于系统动力学的区域耕地压力指数研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(5): 757-765
- [10] 封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分县到全国[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 865-875
- [11] 刘东, 封志明, 杨艳昭, 游珍. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 1-6
- [12] 杨丽霞. 基于耕地压力指数的杭州市粮食安全评价[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(1): 93-96
- [13] 龙方, 曾福生. 中国粮食安全的战略目标与模式选择[J]. 农业经济问题, 2008(7): 32-38
- [14] 梅方权. 21 世纪前期中国粮食发展分析[J]. 中国软科学, 1995(11): 99-101
- [15] 方建卫, 王文娟, 楚霖. 基于最小二乘法的 GM(1,1)模型在人口预测中的应用[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2007, 24(4): 345-349

Analysis and Forecast of Population-Grain-Cropland System Dynamic Change in Urumqi Based on Food Security

KONG Jing-jing¹, WEI Jian-xin^{2,3*}

(1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2 Geography Postdoctoral Station, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3 Information Center of Xinjiang Land Resources Department, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on statistical data, this paper analyzed the dynamic changes of population quantity, grain yield, cropland area, cropland pressure index and land carrying index in Urumqi from 1996—2011 and forecasted their changes from 2014 to 2020. The results showed that from 1996 to 2011 population-grain-cropland system as a whole became gradually unbalanced, with overloaded population and significant cropland pressure. The cropland pressure was highest, with the cropland bearing capacity being lowest in 2003, but it was on the contrary in 1996. The forecast results showed that from 2014 to 2020 the population would continue to increase, and the grain yield fluctuation would decrease, with the cropland area and cropland per capita being going to decrease, and the cropland pressure index being going to increase, which showed the contradiction of human-grain-land would become more and more serious. The measures should be put forward to strengthen cropland protection and food security, such as, control population quantity, improve population quality, protect cropland, develop modern ecological agriculture, optimize cropland resources within the metropolitan area.

Key words: Food security; System analysis; Index; Forecast; Urumqi