中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture
中文核心期刊
中国科技核心期刊
中国精品科技期刊
百种中国杰出学术期刊
中国科学引文数据库源刊

基于热量的食物供给服务时空分异研究——以广西土地农产品为例

谢余初，张素欣，刘巧珍，潘新潮

引用本文:
谢余初, 张素欣, 刘巧珍, 等. 基于热量的食物供给服务时空分异研究——以广西土地农产品为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(12): 1859–1868.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200285

(向下翻页，阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

延安市退耕还林(草)工程对生境质量时空格局的影响

Impact of the ‘Grain for Green’ project on the spatial and temporal pattern of habitat quality in Yan’an City, China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(4): 575–586 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190762

中国农业绿色发展相关氮素指标的时空变化特征

Spatiotemporal variation of nitrogen indicators related to agricultural green development in China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1141–1155 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200159

全球重要农业文化遗产的粮食与生计安全评估框架

Assessment framework of food and livelihood security in Globally Important Agricultural Heritage Systems

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(9): 1330–1338 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190887

肯尼亚和中国农业资源投入与农业单产水平变化

Changes in agricultural resource input and productivity in Kenya and China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(6): 900–909 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200019

海南岛农业绿色发展指标时空变化特征

Spatial and temporal characteristics of agricultural green development indica–tors in Hainan Island

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1156–1167 https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200011

中国生态农业学报(中英文) 2020 年 12 月 第 28 卷 第 12 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Dec. 2020, 28(12): 1859−1868

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200285

谢余初, 张素欣, 刘巧珍, 潘新潮. 基于热量的食物供给服务时空分异研究——以广西土地农产品为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(12): 1859−1868
XIE Y C, ZHANG S X, LIU Q Z, PAN X C. Spatial-temporal patterns of the food provisioning service based on calories in Guangxi, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(12): 1859−1868

基于热量的食物供给服务时空分异研究*

——以广西土地农产品为例

谢余初[1,2], 张素欣[2**], 刘巧珍[2,3], 潘新潮[2]

(1. 中国科学院环江喀斯特生态系统观测研究站 环江 547100; 2. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室/广西地表过程与智能模拟重点实验室 南宁 530001; 3. 浙江师范大学地理与环境科学学院 金华 321004)

摘 要: 在当前食物安全问题日益突出、粮食生产不稳定的情况下, 从食物营养的角度分析和评价区域食物供给服务功能具有重要的意义。以广西壮族自治区为研究区, 结合食物营养成分转化率和国家营养物摄入量的要求, 将各类土地农产品折算成食物热量统一核算, 分析和估算广西土地农产品食物热量供给服务功能的时空变化特征及其供需平衡。结果表明: 1)2015 年广西农产品食物供给热量为 4.46×10^{14} kJ, 主要来源于谷物杂粮类和蔗糖(占 85.47%以上), 单位人均食物热量为 9.31×10^{6} kJ·人$^{-1}$。2)2000—2015 年间, 广西蔗糖和果蔬类供给热量增长最多, 粮食和油类则呈现波动变化趋势。广西食物热量总量上持续增长且较为富余, 按照小康生活水平的标准, 食物热量理论上可供养人口高于广西实际人口数; 但食物热量分布不均衡, 谷类食物供给热量占比逐年下降, 个别县市食物热量人口承载能力低。3)在空间上, 广西食物供给丰富的区域主要集中在水土光热条件较好、地势平坦的广西中部和南部地区的平原、盆地和缓丘台地等农业主产区, 未来应加强这些地区的耕地保护。广西应重视和加强谷物杂粮类粮食的生产和保护, 因地制宜、合理分区, 优化农业主产区种植结构, 提高生产管理水平与规模化生产能力, 加强区域间粮食流通与贸易, 以实现食物供给安全和可持续发展。

关键词: 食物供给; 食物热量; 农产品; 供需平衡; 时空格局; 广西

中图分类号: F326.11; X24 开放科学码(资源服务)标识码(OSID):

Spatial-temporal patterns of the food provisioning service based on calories in Guangxi, China*

XIE Yuchu[1,2], ZHANG Suxin[2**], LIU Qiaozhen[2,3], PAN Xinchao[2]

(1. Observation and Research Station for Karst Ecosystems, Chinese Academy of Sciences, Huanjiang 547100, China; 2. Key Laboratory of Environment Change and Resources Use in Beibu Gulf (Ministry of Education), Nanning Normal University / Key Laboratory of Earth Surface Process and Intelligent Simulation, Guangxi, Nanning 530001, China; 3. College of Geography and Environmental Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: As society and food consumption changes, more people are paying attention to the food supply chain as part of a healthier

* 国家自然科学基金项目(41761039)、广西自然科学基金项目(2016GXNSFBA380047)、广西壮族自治区八桂学者工程专项经费和广西高校中青年教师基础能力提升项目(2017KY0406)资助

** 通信作者: 张素欣, 主要研究方向为土地变化科学。E-mail: sxzhang0936@163.com
谢余初, 主要研究方向为国土资源管理、GIS 与农业地理。E-mail: xieych09@lzu.edu.cn

收稿日期: 2020-04-16 接受日期: 2020-08-30

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (41761039), the Natural Science Foundation of Guangxi (2016GXNSFBA380047), the Bagui Scholars Program of Guangxi Zhuang Autonomous Region, and the Basic Ability Improvement Project for Young and Middle-aged Teachers of Guangxi Colleges and Universities (2017KY0406).

** Corresponding author, E-mail: sxzhang0936@163.com

Received Apr. 16, 2020; accepted Aug. 30, 2020

lifestyle. Understanding the spatial-temporal characteristics of food provisioning services is important for policy decisions regarding production capacity, especially in places with unstable food availability and unbalanced nutrition. The food provisioning service of the Guangxi Zhuang Autonomous Region (GZAR) was assessed based on calories from 2000 to 2015. The nutrition consumption standards were also used to calculate food provision calories. The results showed that in 2015, the caloric output totaled 4.46×10^{14} kJ; calories from grains and cereals were the most abundant, followed by sucrose, and then oils (grains and sucrose were 85.47% of the total caloric intake). From 2000 to 2015, calories from sucrose, fruits, and vegetables increased significantly, while the calories from grains and oils fluctuated. The overall food provision increased steadily, resulting in a surplus; the calories per person increased from 7.87×10^{6} kJ (2000) to 9.31×10^{6} kJ (2015). In 2015, the total and surplus calories supported population sizes of 103.28 million and 53.03 million, respectively (with a 'well-off' quality standard), which exceeded the total GZAR population (55.18 million). However, the proportion of calories from grains decreased yearly and was only 52.2% by 2015. In 23.3% of the counties and cities, less than 50% of the calories from grains were provided, indicating that calories were unevenly distributed, and some counties had a low grain-calorie capacity. The high caloric output areas were in the plains, basins, and valleys of the central-southern GZAR, where sufficient light, heat, flat fertile land, and water resources were available (e.g., Xingbin District, Wuming and Hengxian counties, and the cities of Guigang and Qinzhou). The low caloric output areas were in the northwest mountain region and urban areas. Therefore, protecting croplands in the high-yield regions and developing unused lands for sustainable food provision are important for the GZAR. Optimizing agricultural production for the local conditions, improving the production management and large-scale production capacity levels, and strengthening the regional grain trade may contribute to the sustainable development and security of the GZAR food supply.

Keywords: Food provision; Calorie of food; Agricultural products; Supply and demand balance; Spatial-temporal pattern; Guangxi

农产品(如谷物、豆菽类、薯类、水果、蔬菜等)是人们生存生活所需食物的最主要来源，也是维系区域社会发展与粮食安全的关键[1-3]。然而，随着全球工业化的发展、人口持续增长及农业资源不合理的利用，使得全球农产品生产与贸易存在许多不确定性，食物安全问题日益突出[4-6]。食物安全(food security)是指人们在任何时候都能获得维持生存和健康所必需的食物[6-7]，不仅要求食物数量充足，而且强调食物种类丰富、安全有营养[7-9]。在中国，"食物安全"常译成"粮食安全"，并在粮食生产、产量变化、食物安全与供给服务等方面取得了良好的研究成果[10-17]。随着社会不断发展，粮食安全的概念也不断丰富，已由粮食供给数量充足性发展到数量-质量-健康-生态安全的有机统一[4-5]，延伸到强调营养、健康、粮食环境保护与生态安全[4-5,17-18]。同时，在粮食安全保障的对象和内容上，也从口粮安全转变到谷物、豆类、果品、蔬菜、肉蛋奶等各类食物的安全[4-5,19]。例如，Yue 等[8]从食物营养素角度，分析 1985—2005 年中国食物热量、蛋白质和脂肪供给的时空变化特征。Wang 等[20]基于 FAO 统计数据，将食物折算为膳食营养素，从食物贸易视角探索全球食物营养结构演化及供需平衡安全。高利伟等[14]在了解西藏粮食生产和消费基础上，分析和讨论西藏青稞(*Hordeum vulgare* Linn. var. *nudum* Hook. f.)、小麦(*Triticum aestivum* L.)和水稻(*Oryza sativa* L.)供需关系及粮食安全保障能力。目前我国食物安全研究主要以小麦、水稻和玉米(*Zea mays* L.)等大宗粮食生产和数量安全为主，且多集中粮食主产区；对非粮食主产区的研究相对较少，涉及糖类、薯类、水果和蔬菜等其他农产品的就更少。同时，目前针对区域食物生产供给服务能力的研究主要是从土地生态系统初级生产能力的机理过程[11,20-22]或者粮食生产和耕地、复种指数的关系[23-25]角度开展，很少区分食物类型、不同食物产品营养的差异性和人类饮食需求[26-27]。随着社会的发展和食物供需变化，人们对食物消费结构和营养摄入的观念也发生较大变化，不仅通过谷物、豆菽类等传统主粮来获取能量和营养，而且更注重对高品质的水果、蔬菜、食糖、奶类等产品的消费和营养成分均衡摄入[8,9,27-29]。因此，亟需充分考虑不同地理区域食物类型的差异性，从食物营养供给的角度上展开食物生产供给服务功能研究及其案例分析[27-29]。

广西壮族自治区是非传统粮食主产的少数民族地区，土地农产品结构种类相对复杂，除了水稻、玉米等传统粮食外，甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)、热带水果、蔬菜等非粮作物的生产也极其重要、且分布广泛。同时，这些谷物杂粮、油类、蔗糖、果蔬等作物播种面积占 96%左右，其农业产值约占农牧渔产值的 57%以上，是广西食物生产的最重要的来源。因此，谷物杂粮、油类、蔗糖、水果与蔬菜

等食物生产供给状况能反映广西土地农产品的食物供给能力。但不同类型的食物不能简单加和，如果没有统一量纲，采用传统粮食产量(吨)来衡量区域食物生产供给能力可能会掩盖其真实的食物营养供给能力[27-29]。因此，本文拟采用食物营养成分法，将四大类农产品(谷物杂粮、油类、蔗糖、水果与蔬菜)产量转为食物热量，基于县域单元尺度，分析和探讨广西土地农产品食物供给服务的时空分异格局及供需平衡，旨在反映区域食物生产供给服务功能和人口承载能力，为区域食物供给服务的提高和农业发展提供理论依据。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

结合广西土地农产品生产的实际情况与各县市农业调查数据，将农产品划分为 4 大类 24 小类：①谷物杂粮类(粮食类)，主要是谷物(稻米和玉米等)、豆类[大豆(*Glycine max* L.)、绿豆(*Vigna radiata* L.)、红小豆(*Phaseolus angularis* Wight)]和薯类{红薯[*Ipomoea batatas* (L.) Lam.]、马铃薯(*Solanum tuberosum*)、木薯(*Manihot esculenta* Grantz)}；②油料类，包括花生(*Arachis hypogaea* L.)、油菜籽(*Brassica napus* L.)、芝麻(*Sesamum indicum* L.)；③甘糖类；④果蔬类(水果和蔬菜类)，包括蔬菜、西瓜[*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai]、甜瓜(*Cucumis melo* L.)和蕉类(*Musa nana* Lour.)、柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)、龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)、荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)、芒果(*Mangifera indica* L.)、桃子(*Amygdalus persica* L.)、葡萄(*Vitis vinifera* L.)、柿子(*Diospyros kaki* Thunb.)等主要水果[27-29]。

各类农产品产量数据、农作物播种面积和各县市人口数据等主要来源于各市统计年鉴和广西统计年鉴；对 2015 年贺州市的各县区缺失的水果产量数据主要通过农作物生产抽样评估数据和播种面积测算。对 2000 年和 2010 年部分县区缺失产量数据参考邻近年份的数据，主要依据是广西农村统计年鉴(2000 年和 2009 年)。不同类型食物所含热量和可食部分比重数据(表 1)主要来源于《中国食物成分表 2015 年》和前人的研究成果[26-30]。

表 1　不同食物可食部分比重与热量含量

Table 1　Proportion of edible part and calorie of different foods

食物 Food	稻米 Rice	玉米 Maize	高粱 Sorghum	大豆 Soybean	绿豆 Mung bean	红小豆 Adsuki bean	红薯 Sweet potato	马铃薯 Potato
可食部分比例 Edible portion proportion (%)	100	100	100	100	100	100	90	94
热量 Calorie [kJ·(100g)$^{-1}$]	1 450.5	1 463.0	1 724.6	1 630.2	1 375.2	1 354.4	359.9	321.9
食物 Food	木薯 Cassava	花生 Peanut	油菜籽 Oilseed rape	芝麻 Sesame	甘蔗 Sugarcane	蔬菜 Vegetables	西瓜 Watermelon	甜瓜 Melon
可食部分比例 Edible portion proportion (%)	97	53	100	100	72	100	59	78
热量 Calorie [kJ·(100g)$^{-1}$]	497.4	1 308.3	2 090.0	2 340.0	268.0	96.1	108.7	112.9
食物 Food	香蕉 Banana	柑橘 Citrus	龙眼 Longan	荔枝 Litchi	芒果 Mango	桃子 Peach	葡萄 Grape	柿子 Persimmon
可食部分比例 Edible portion proportion (%)	60	77	50	73	68	89	86	90
热量 Calorie [kJ·(100g)$^{-1}$]	388.7	213.2	296.0	297.2	272.1	183.8	188.4	297.0

1.2　食物热量计算方法

将 4 大类土地农产品转化为食物热量作为统计标准，按照食物营养中的计算方法(式 1)[8-9,27]，分析各类食物热量供给状况，并利用 GIS 空间分析功能定量探讨广西食物热量供给空间分异特征。

$$\mathrm{NUTR}=\sum_{i=1}^{n}(M_i\times \mathrm{EP}_i\times A_i) \tag{1}$$

式中：NUTR 为食物热量(kJ)，M_i 为区县第 i 种食物的产量(t)，EP_i 为第 i 种食物可食部的比例(%)，A_i 为第 i 种食物每 100 g 可食部分所含热量状况，i=1, 2, 3,⋯，n 为研究区食物种类。

1.3　食物供需平衡分析

根据《中国食物与营养发展纲要(2014—2020 年)》(简称纲要)中人们日常饮食营养素摄入目标要求和不同生活水平下人类所需热量摄入量状况[30]，以食物热量为衡量指标，结合研究区人口和食物热量供给实际情况，分析人口供养能力(式 2)[8-9,28]。在此基础上，结合研究区实际人口数据，计算和分析

供需差距及其供需平衡时空分布格局[8-9,28]。

$$\mathrm{FP}=\left(\sum F_i\right)/\left(F_p\times 365\right) \tag{2}$$

$$P_{kg}=\mathrm{FP}-P_k \tag{3}$$

式中: FP 为食物生产供给能力(人); F_i 为某县区第 i 类食物的热量(kcal), i=1, 2,⋯, 24 代表研究区各县市稻谷、玉米、大豆等 24 种土地农产品食物热量; F_p 为食物消费标准热量(kcal·人$^{-1}$·d^{-1})。在保障营养充足又预防营养过剩造成的肥胖和“三高”等问题, 纲要建议人们每日摄入热量 2 300 kcal·d^{-1}(即正常标准水平), 同时谷类食物供给热量占比不低于 50%。温饱水平和小康水平标准分别是每人摄入热量 2 050 kcal·d^{-1}(3.50×10^6 kJ·a^{-1})和 2 700 kcal·d^{-1}(4.12×10^6 kJ·a^{-1})[29-30]。P_k 为第 k 个县(市)的人口数; P_{kg} 为第 k 个县(市)供需差距人口数, P_{kg}>0 则表示该县食物热量供给有余的人口数; P_{kg}<0, 则表示该县某类食物热量供给不足。

1.4 食物热量供给影响因素分析

土地农产品生产水平及其产量决定了食物热量供给能力的大小。在借鉴前人研究成果基础上[31-36], 从粮食生产的角度, 选取与农产品生产直接关联的农作物播种面积、作物种植结构、粮食单产水平、科学技术水平等因素, 采用对数均值迪氏指数分解法 (logarithmic mean Divisia index method, LMDI)[31-35]来定量剖析这些因素对广西食物供给服务的影响。农作物播种面积(A)反映区域耕地与复种指数的相互作用; 粮食单产水平(Y)是耕地利用集约化和强度的体现; 作物种植结构(R)反映着粮食生产中耕作的比例结构, 可由粮食播种面积与农作物总播种面积比值表示; 科学技术水平(S)反映对粮食生产的投入与技术, 在一定程度上可用农业机械化程度和化肥使用量来表征[32-35]。依据 LMDI 因素分析法, 广西土地农产品生产的因素分解模型如下:

$$P_k=A\times Y\times R\times S \tag{4}$$

对公式两边取对数, 则:

$$\ln P_k=\ln A+\ln Y+\ln R+\ln S \tag{5}$$

假设 t 代表目标年(研究末期), 0 代表基准年(研究初期), 对公式(4)采用加和分解, 将差分分解为:

$$\Delta P_k=P_{kt}-P_{t0} \tag{6}$$

则各分解因素贡献值表达式为:

$$\Delta A=\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\left(\ln\frac{A_{tk}}{A_{0k}}\right) \tag{7}$$

$$\Delta Y=\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{Y_{tk}}{Y_{0k}} \tag{8}$$

$$\Delta R=\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{R_{tk}}{R_{0k}} \tag{9}$$

$$\Delta S=\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{S_{tk}}{S_{0k}} \tag{10}$$

在 t 时段内, 总效应值则为:

$$\begin{aligned}\Delta P_k=&\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{A_{tk}}{A_{0k}}+\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{Y_{tk}}{Y_{0k}}+\\&\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{R_{tk}}{R_{0k}}+\frac{P_t-P_0}{\ln P_t-\ln P_0}\ln\frac{S_{tk}}{S_{0k}}\end{aligned} \tag{11}$$

式中: ΔP_k 表示第 k 个县市食物热量变化总量; P_0 和 P_t 分别是研究初期和末期某县市食物热量。A_{0k} 和 A_{tk} 分别表示第 k 个县市研究初期和末期农作物播种面积(hm^2); Y_{0k} 和 Y_{tk} 表示第 k 个县市的研究初期和末期粮食单产(t·hm^{-2}); R_{0k} 和 R_{tk} 表示第 k 个县市研究初期和末期的粮食作物面积比重(%); S_{0k} 和 S_{tk} 表示第 k 个县市研究初期和末期科学技术水平, 用农业机械化程度(kWh)和化肥施用量(t)来表示, 即农业机械化水平和化肥使用程度。

2 结果与分析

2.1 食物热量供给时空变化

由图1可知, 2000—2015年间, 广西谷物杂粮和油类供给热量呈现先减少后增长的趋势。2000—2010年谷物杂粮热量和油类热量年均减少速度分别为0.94%和1.92%, 在2010—2015年谷物杂粮热量和油类热量回升增长, 其增长量分别约为1.51×10^{13} kJ和1.09×10^{12} kJ。蔗糖和果蔬类农产品供给热量则刚好相反, 在2000—2010年蔗糖和果蔬类供给热量呈快速增长态势, 分别从2000年的7.99×10^{13} kJ和2.29×10^{13} kJ增至2010年的1.38×10^{14} kJ和3.53×10^{13} kJ, 年均净增速分别为7.3%和5.4%; 在2010—2015年蔗糖和果蔬类供给热量持续增长, 其增长量分别为6.95×10^{12} kJ 和1.74×10^{13} kJ。总体上, 广西土地农产品的食物热量呈持续增长的趋势, 至2015年达4.46×10^{14} kJ, 其中谷物杂粮和蔗糖是食物热量的主要供给者, 两者之和约占研究区食物热量的85.47%。

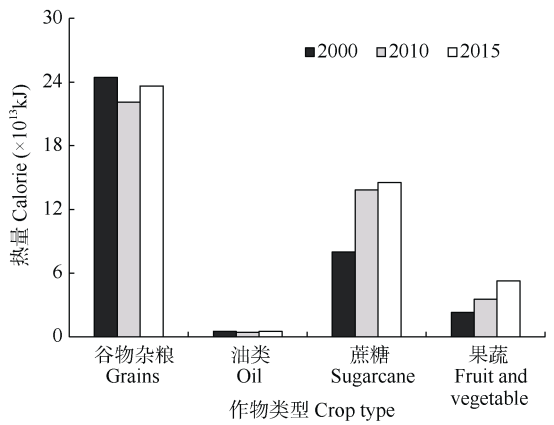

图 1 2000—2015 年广西主要农作物类型食物的供给热量

Fig. 1 Calories supplies of different crop types in Guangxi from 2000 to 2015

在空间上，食物热量供给主要分布在广西南部和中部地区，以龙州县、宁明县、右江区、扶绥县、横县、兴宾区、南宁市和贵港市辖区最为集中(图2)，但各类农作物食物热量分布格局略有差异。谷物杂粮类热量较高的区域主要分布在广西中南部和东部的缓丘盆地和平原地区，如南宁盆地、武鸣盆地、来宾-宾阳的平原区、郁江-浔江平原、玉林盆地、贺江中下游等；谷物杂粮类热量较少的区域则主要分布在山区，以广西西北部石山山区较为连片集中(图3a)。油类热量大部分来自花生，在空间分布上以桂林-宜州-武鸣-宁明一线为分界线，桂中和桂东地区油类热量相对较高，桂西北地区相对较少(图3b)。蔗糖类热量主要集中在日照充足、水热条件较好的广西中部和西南地区，而在广西北部、东北部和西北部地区相对较少(图3c)。果蔬类热量主要集中分布在广西中南部、北部丘陵山地和西部右江河谷(图3d)，这与广西水果蔬菜等农产品种植集中连片区相对应，尤其是地理标志性农产品的地区。

2.2　基于食物热量的人均供养能力时空变化

2000—2015 年间，研究区人均食物热量供给量呈现不断上升的趋势，从 2000 年的 7.87×10^6 kJ·人$^{-1}$ 增至 2010 年的 8.65×10^6 kJ·人$^{-1}$，又升至 2015 年的 9.31×10^6 kJ·人$^{-1}$。在行政区划上，人均食物热量供给量主要集中在桂中和桂西南，尤其是在蔗糖生产的大县，如扶绥县、上思县、龙州县、柳城县、兴宾区、武鸣县和宜州市等县区(图 4)。其中龙州县和扶绥县最高，人均高达 3.46×10^7 kJ·人$^{-1}$ 和 3.10×10^7 kJ·人$^{-1}$，最少的是桂林市区、柳州市区和梧州市区等，均低于 1.50×10^6 kJ·人$^{-1}$。

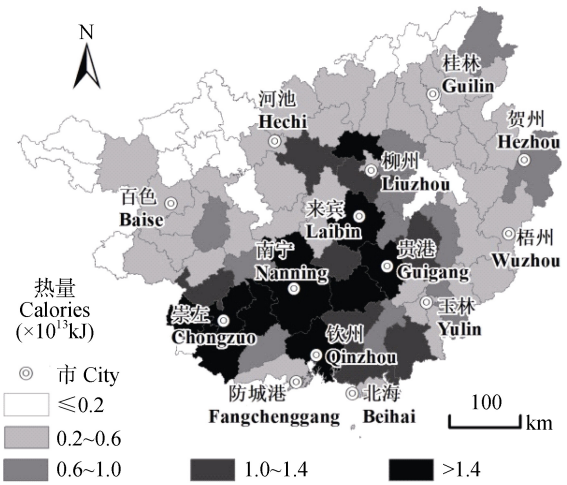

图 2　2000—2015 年广西平均食物热量供给空间分布图

Fig. 2　Spatial distribution of average calories supplies of foods in Guangxi from 2000 to 2015

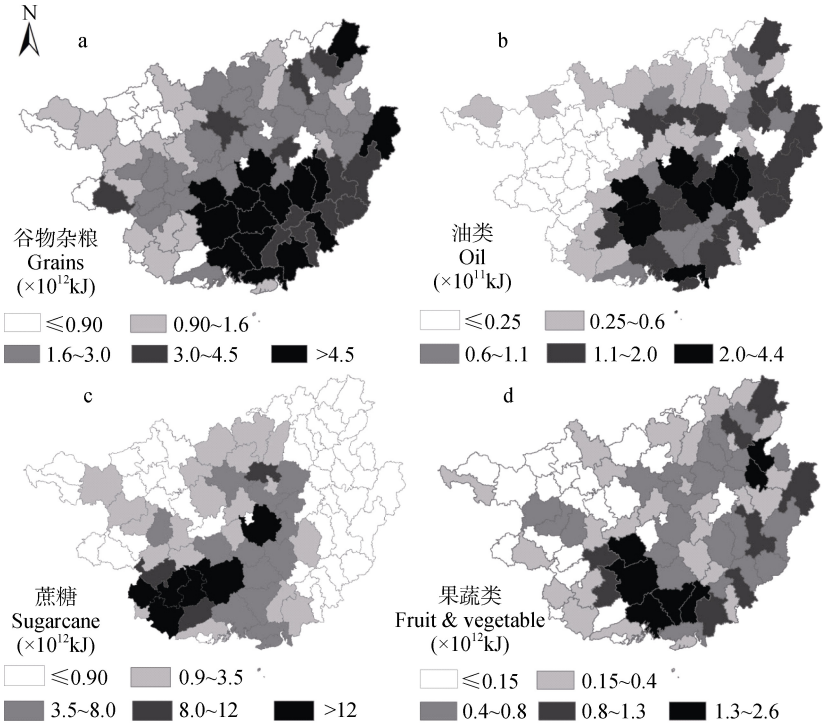

图 3　2000—2015 年广西不同类型食物供给热量平均值的空间分布

Fig. 3　Spatial distribution patterns of average calories supplies of different crop types in Guangxi from 2000 to 2015

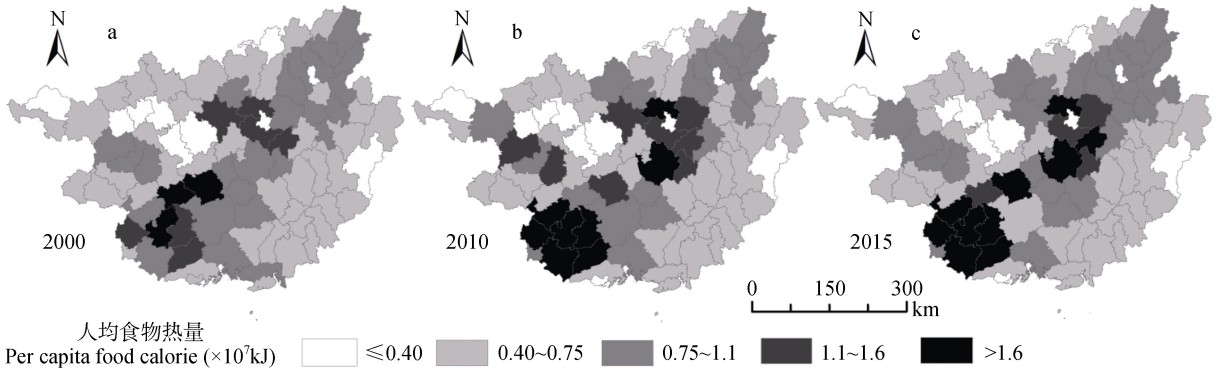

图 4 2000—2015 年广西人均食物供给热量的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution patterns of per capita food calorie in Guangxi from 2000 to 2015

从食物热量总量供需关系上看，2000年和2015年广西食物热量供给量在温饱生活水平下可供养10 592.7万人和13 457.3万人，在小康生活水平下则分别可以供养8 121.4万人和10 328.2万人，均远远高于广西壮族自治区2015年的实际人口总量(5 518.3万人)。小康生活水平条件下，2000年和2015年食物能量总量可供养盈余人口数(即多余的食物热量能供养的人口数)分别为3 718.69万人和5 303.4万人(图5)。广西各县市中，小康生活水平下食物热量供给盈余的县市是79个(占比87.8%)，表明绝大部分县市食物热量总量有盈余。从食物热量来源上看，广西谷类食物热量总体不断减少，其供给热量所占比重从2000年的69.3%降至2015年的52.9%。在各县市上，2000年广西有78个县市(占比86.67%)谷类食物供给热量占比大于50%，在2015年仅为69个县市(占比76.67%)达标。按《纲要》人均每天摄入的热量谷类食物占比的要求，当谷物杂粮类粮食占比分别为50%和70%时，2015年谷类食物供给热量可供养盈余人口数分别为5 244.5万人和2 665.79万人。总体上，研究期间食物热量总量盈余人口承载力呈不断上升的趋势，但谷物杂粮类粮食可供养盈余人口数则呈现下降趋势，尤其是蔗糖生产的核心县区，其谷类食物供给热量人口承载力相对较低。因此，综合考虑食物热量总量所能承载的人口数和粮食类能量总量所能承载的人口数(按谷物杂粮类粮食占比为50%计算)，根据短板效应原则，分析小康水平下的各县市盈余人口空间分布格局，发现广西食物热量可供给盈余人口较高的区域主要分布在广西中部和南部地区的盆地、缓丘平原区，这些区域不仅是粮食生产的主产区，而且是蔗糖和水果的生产重要区。食物可供给盈余人口较少的区域，主要集中在柳州市区、桂林市区和三江县、东兰县、凤山县、大化县、都安县等桂西北喀斯特石漠化山区，这些区域耕地资源较少，农作物多以玉米、瓜果为主，粮食总产量与单产水平均相对较低(图6)。

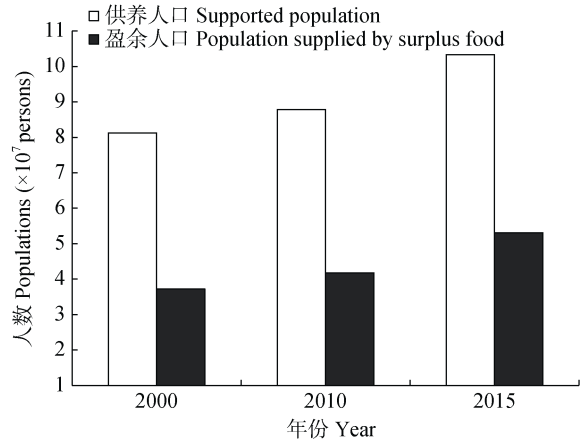

图 5 2000—2015 年广西食物热量总量可供养人口数和盈余人口数

Fig. 5 Population sizes that the total food and surplus foods can support respectively in Guangxi

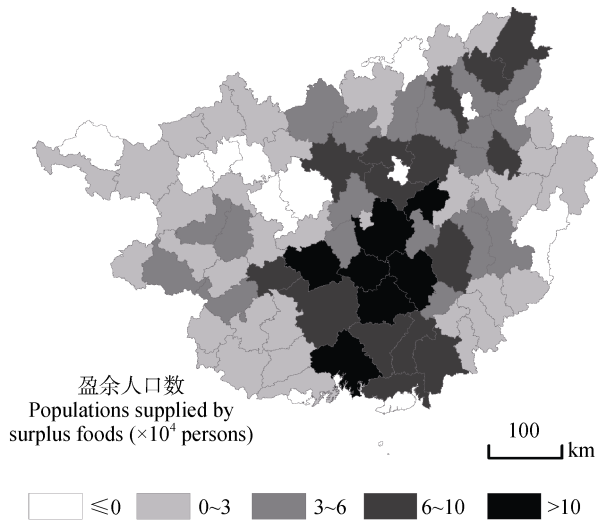

图 6 2015 年小康生活水平下广西食物热量供给盈余人口数空间格局

Fig. 6 Spatial patterns of population that surplus foods can support in Guangxi in 2015 at well-off life level

2.3　广西农产品食物热量供给的影响因素

利用 LMDI 模型计算 2000—2015 年广西各县域农作物播种面积、粮食单产、种植结构、农业机械化和化肥施用量对食物供给服务的贡献。研究表明，2000—2015 年广西粮食单产和科技水平对食物热量的贡献呈现正效应，促进了食物热量供给的增加。而农作物播种面积和种植结构变化对食物热量的贡献呈现负效应(图 7)。其中，粮食单产变化促进食物热量增长 3.51×10^{13} kJ，其对广西食物热量增长的贡献程度所占比重相对较小(约 6.53%)。近十几年来，化肥施用和农业机械化等科技水平的提高对食物供给服务能力影响越来越大，具体为化肥施用量变化促进食物热量增长 1.98×10^{14} kJ，其贡献率为 36.90%；农业机械化水平促进食物热量增长 3.75×10^{14} kJ，其贡献率为 69.69%。2000—2015 年，广西种植结构变化尤其是粮食播种面积规模(比重)不断下降，致使食物热量供给减少量约为 6.26×10^{13} kJ。农作物播种面积呈现波动变化，其对食物热量供给的影响也上下浮动，在 2000—2010 年间表现出波动减少的趋势，在 2010—2015 年间则表现为波动上升。

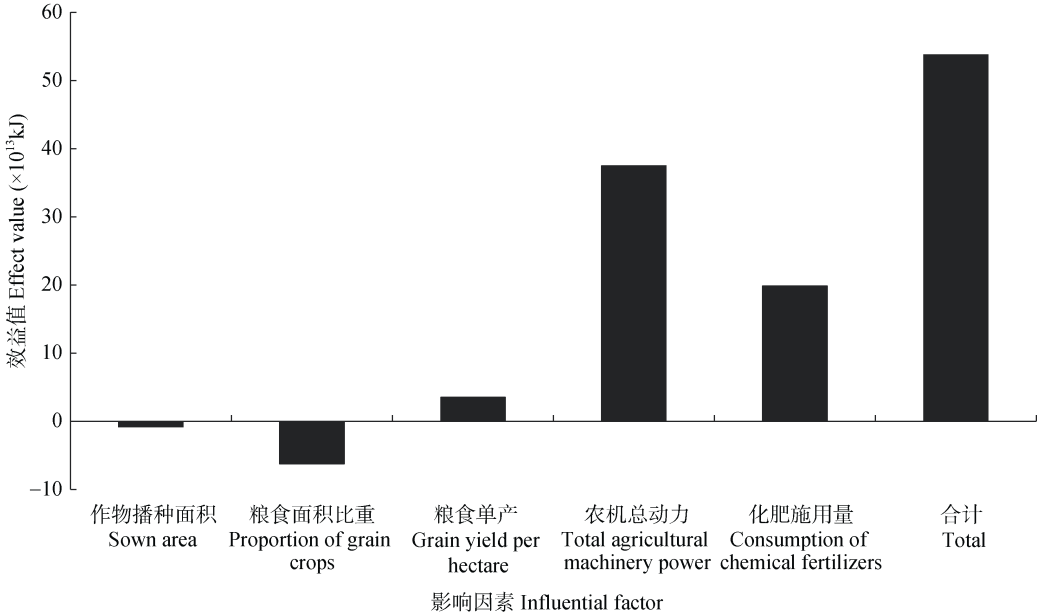

图 7　2000—2015 年广西食物热量供给影响因素

Fig. 7　Influential factors impacting calorie supplies in Guangxi from 2000 to 2015

3　讨论

2000—2015年间，广西食物生产供给能力不断增加，至2015年食物热量达4.46×10^{14} kJ，其中谷物杂粮类贡献最大、蔗糖次之。这与Yue等[8]、王莉雁等[27]在分析中国食物营养供给时指出的广西热量供给较高的结果相似。空间上，不同气候与地理环境下各类型食物(谷物杂粮、油类、蔗糖和果蔬类)生产能力具有明显的空间差异性，表现为食物热量供给较低区主要分布在大石山区和耕地少、人口多的城市辖区，食物热量供给丰富的区域则集中在地势平坦、水土光热条件较好的平原、盆地、河谷和缓丘平原地区，以蔗糖种植核心区最为集中。这可能与不同农作物适宜生长的环境和气候以及地方农业发展方向有关。例如，广西的中部和西南部地区气候温暖、光照热量充足、降水丰沛、地势平缓，甘蔗等在这些桂南和桂中地区生产能力较强、产量较高。而芒果、火龙果(*Hylocereus undatus* ‘Foo-Lon’)等在右江河谷，谷物杂粮类在桂东和来宾市、南宁市和柳州市南部地区，柑橘类在桂北，龙眼、荔枝和香蕉(*Musa nana* Lour.)等热带水果在桂南地区等生产能力较强。同时，广西一直都是蔗糖、水果和蔬菜生产重要的聚集地(尤其是亚热带水果)。为此，各地方政府也充分利用自然资源条件，一方面将蔗糖列为国家战略物资，不断加强高标准蔗田建设和提升产糖工艺，狠抓蔗糖生产；另一方面因地制宜地探索和发展地理标志性农产品，通过“公司+地标农产品+基地(或农户)”的形式构建生产—加工—销售一体化的产业链发展，促进产业集中发展或连片规模种植。截至2019年，广西已获农产品地理标志登记保护产品数达126个，涉及保护面积1.10×10^6 hm^2，在北部地区已发展形成柑橘、金桔[*Fortunella margarita* (Lour.) Swingle]、脐橙(*Citrus sinensis* Osb. var. *brasliliensis* Tanaka)等地标农产品产业带，南部

地区是荔枝龙眼种植连片密集区等[37]。因此，未来不仅要因地制宜发展壮大特色农产品，提高产量和质量，而且要重视和加强这些集中连片种植区的耕地和园地资源的保护，注重保护高质高产标准农田地，防止经济快速增长带来的耕地过度占用[38-39]。

研究期间，广西人均食物热量和可供养盈余人口数相对较高；小康生活水平下，广西食物热量可供养人口和盈余人口分别为 10 328.2 万人和 5 303.4 万人，均高于广西实际人口数，表明广西食物热量的供给能力较强，具有一定的向外省输出食物的能力，主要是蔗糖和水果蔬菜类食物。但谷类食物(包含稻类、玉米、豆菽类和薯类等谷物杂粮类)供给热量所占比重逐年减少，且谷类食物供能所占比重大于或等于 50%的县市数量也在不断减少，至 2015 年仍有约 23.3%县市未达标。可见，广西食物生产总体上虽自给有余，但谷物杂粮类食物供给热量占比不高，且食物热量供给在空间上分布不均衡。其中，柳州市区、桂林市区等市辖区和三江县、东兰县、凤山县、大化县、都安县等喀斯特石漠化区食物热量可供养承载人口数量相对较低。今后应重视合理分区、优化作物种植结构优化，在平原缓丘农耕区切实保护基本农田，保障粮食播种面积，提高粮食单产水平；在山岭区域侧重发展经济附加值较高的茶园、果园、桑园、油茶园等。同时，在减少土地压力的情景下提高农产品质量、保障国内外农产品物资流通与贸易顺畅，确保区域粮食安全[27-28]。尤其是在城市辖区和喀斯特石漠化山区，粮食生产供给安全时刻不容放松。

农产品生产状况直接关联食物热量的多少，故从直接影响土地农产品生产的角度选取和分析农作物播种面积、粮食单产、粮食种植面积比重、农业机械化水平和化肥施用量等影响因素对食物热量的影响[32-35]。发现广西近 15 年来粮食单产总体呈现增长的趋势，尽管粮食单产年际间变化幅度小，年均增速不高(仅为 0.647%)，但由于粮食基数较大，粮食单产的增加在一定程度上促进了区域粮食总产量的增加。其次，化肥施用和农业机械化水平是区域科学技术促进农产品增收的重要影响因素，2000—2015 年间广西化肥施用折纯量和农业总动力分别从 2000 年的 157.76 万 t 和 4.08×10^4 kWh 增至 2015 年的 259.86 万 t 和 1.02×10^5 kWh，其持续性的生产投入态势在一定程度上促进了作物产量的增加、单产的提高，进而影响食物热量供给服务能力的提高。第三，2000—2015 年广西农作物种植结构波动变化较为明显，农作物播种面积总体呈减少趋势。广西粮食播种面积规模(比重)不断下降，其种植面积在 2000—2017 年间共减少 6.78×10^5 hm^2，其中水稻减少 3.79×10^5 hm^2，大豆减少 1.81×10^5 hm^2，薯类减少 0.39×10^5 hm^2。蔗糖和果蔬类种植规模则呈现增大的趋势，近 10 年来水果和蔬菜面积分别由 2008 年 8.84×10^5 hm^2 和 1.15×10^6 hm^2 增至 2015 年 1.26×10^6 hm^2 和 1.44×10^6 hm^2，其增加量为 3.76×10^5 hm^2 和 2.93×10^5 hm^2，但果蔬类内部各具体种类的水果和蔬菜种植规模不稳定，年际间产量波动较大，例如西瓜、甜瓜、砂糖橘、叶菜类蔬菜、根茎类蔬菜等。甘蔗种植从 2000 年的 5.09×10^5 hm^2 增至 2015 年的 9.74×10^5 hm^2，但蔗糖种植面积在 2007 年后趋于缓慢增长，2008—2016 年间基本维持在 9.6×10^5 hm^2 至 10.5×10^5 hm^2[36-37]。与此同时，2000—2015 年间广西农作物播种面积总体呈现波动减少的趋势，2015 年农作物播种面积较 2000 年的面积减少了 1.24×10^5 hm^2。因此，尽管“压粮扩经”种植趋势(蔗糖和果蔬类面积的增加)在一定程度上促进了广西食物热量供给的增加，但由粮食种植规模的下降和农作物总播种面积趋于减少引起的食物热量供给的减少更为明显，表明种植结构和农作物播种面积变化对区域食物热量供给呈现负效应。由此可见，2000—2015 年粮食单产和科技水平的变化对广西食物供给服务能力变化表现为增长效应，种植结构和农作物播种面积的变化表现为减量效应，这也与其他学者[31]在分解中国粮食产量影响因素的结果相似。

区域食物(或粮食)供给服务驱动机制是一个复杂的过程，区域地理条件、气候变化、粮食贸易、市场价格、政策偏向以及人口、饮食消费结构、经济发展、农业龙头企业带动作用等因素[32-35]也对农产品乃至食物供给具有重要影响，且影响因素可能存在空间异质性[34-35]，未来仍需进一步收集相应的数据，深入探讨上述因素与食物供给服务间的相互关系。另外，本文只是尝试从热量角度探讨广西县域尺度土地农产品的食物供给服务，但生活食物还包括肉类、奶类、蛋类等畜牧家禽产品和鱼虾等水产品，且日常膳食营养还包括蛋白质、脂肪、碳水化合物等[27-30]，故未来在充分考虑食物生产与消费过程中的浪费损耗情景下，应增加肉类、奶类、蛋类及水产品等食物来源，全面分析和探讨食物热量、蛋白质、脂肪等营养素的供给服务时空变化，更客观地反映区域食物供给服务能力。

4 结论

2000—2015 年间，广西土地农产品食物生产能力不断增大。其中，谷物杂粮类粮食和蔗糖对食物热量贡献最大，两者约占 85.47%，但谷物杂粮类呈下降趋势，蔗糖表现为先升后趋向于缓慢增长的态势，水果蔬菜类供给热量逐年增加。

广西食物热量总量较高，按小康水平标准，2015 年广西食物热量理论上可供养人口和可承载盈余人口较高，尤其是蔗糖和果蔬类热量不断增长，未来可加强对外省输出蔗糖和果蔬类产品。但谷物杂粮类食物供给热量占比不高，且食物热量总量和谷类食物热量分布都不均衡。广西食物热量较高的区域主要集中在广西中部和南部地区的盆地、台地、缓丘平原区。今后应加强这些区域的耕地保护，同时重视谷物杂粮类粮食农产品的生产，以及区域间的粮食贸易与物流安全，加强基本农田和农业核心区耕地保护，因地制宜、合理分区、规模化生产，确保区域食物供给安全和持续发展。

参考文献 References

[1] BOMMARCO R, VICO G, HALLIN S. Exploiting ecosystem services in agriculture for increased food security[J]. Global Food Security, 2018, 17: 57–63

[2] PAN T, DU G M, DONG J W, et al. Divergent changes in cropping patterns and their effects on grain production under different agro-ecosystems over high latitudes in China[J]. Science of the Total Environment, 2019, 659: 314–325

[3] 姚成胜，滕毅，黄琳. 中国粮食安全评价指标体系构建及实证分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 1–10
YAO C S, TENG Y, HUANG L. Evaluation index system construction and empirical analysis on food security in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(4): 1–10

[4] 谢高地，成升魁，肖玉，等. 新时期中国粮食供需平衡态势及粮食安全观的重构[J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 895–903
XIE G D, CHENG S K, XIAO Y, et al. The balance between grain supply and demand and the reconstruction of China's food security strategy in the new period[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 895–903

[5] 成升魁，李云云，刘晓洁，等. 关于新时代我国粮食安全观的思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911–926
CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 33(6): 911–926

[6] BATTISTI D S, NAYLOR R L. Historical warnings of future food insecurity with unprecedented seasonal heat[J]. Science, 2009, 323(5911): 240–244

[7] MCGUIRE S. FAO, IFAD, and WFP. The state of food insecurity in the world 2015: Meeting the 2015 international hunger targets: Taking stock of uneven progress. Rome: FAO, 2015[J]. Advances in Nutrition, 2015, 6(5): 623–624

[8] YUE T X, WANG Q, LU Y M, et al. Change trends of food provisions in China[J]. Global and Planetary Change, 2010, 72(3): 118–130

[9] 王情，岳天祥，卢毅敏，等. 中国食物供给能力分析[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1229–1240
WANG Q, YUE T X, LU Y M, et al. An analysis of the capacity of China's food provision[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(10): 1229–1240

[10] 姚成胜，李政通，易行. 中国粮食产量变化的驱动效应及其空间分异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 72–81
YAO C S, LI Z T, YI X. Driving effects of grain production change and its spatial differences in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(9): 72–81

[11] 罗建美，靳根会，罗仲朋，等. 河北平原中低产区小麦与玉米生产现状及增产潜力分析[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(8): 1123–1134
LUO J M, JIN G H, LUO Z P, et al. Production state and yield potential of wheat and maize in low-medium yield farmlands in Hebei Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(8): 1123–1134

[12] 胡甜，鞠正山，周伟. 中国粮食供需的区域格局研究[J]. 地理学报, 2016, 71(8): 1372–1383
HU T, JU Z S, ZHOU W. Regional pattern of grain supply and demand in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(8): 1372–1383

[13] 张正斌，段子渊，徐萍，等. 安徽省粮食安全及现代农业发展战略[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(9): 1161–1167
ZHANG Z B, DUAN Z Y, XU P, et al. Development strategy for food security and modern agriculture in Anhui Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(9): 1161–1167

[14] 高利伟，徐增让，成升魁，等. 西藏粮食安全状况及主要粮食供需关系研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 951–960
GAO L W, XU Z R, CHENG S K, et al. Food security situation and major grain supply and demand in Tibetan region[J]. Journal of Natural Resources, 2017, 32(6): 951–960

[15] 张鹏岩，庞博，何坚坚，等. 耕地生产力与粮食安全耦合关系与趋势分析——以河南省为例[J]. 地理科学, 2017, 37(9): 1392–1402
ZHANG P Y, PANG B, HE J J, et al. Coupling relationship and trend of cultivated land productivity and food security: A case study of Henan Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(9): 1392–1402

[16] 司伟，张玉梅，樊胜根. 从全球视角分析在新冠肺炎疫情下如何保障食物和营养安全[J]. 农业经济问题, 2020, (3): 11–16
SI W, ZHANG Y M, FAN S G. How to ensure food and nutrition security under the COVID-19 Epidemic: A global perspective[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (3): 11–16

[17] 陈志钢，毕洁颖，聂凤英，等. 营养导向型的中国食物安全新愿景及政策建议[J]. 中国农业科学, 2019, 52(18): 3097–3107
CHEN Z G, BI J Y, NIE F Y, et al. New vision and policy recommendations for nutrition-oriented food security in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3097–3107

[18] 胡岳岷，刘元胜. 中国粮食安全：价值维度与战略选择[J].

经济学家, 2013, (5): 50–56
HU Y M, LIU Y S. Grain security in China: Value dimension and strategic choice[J]. Economist, 2013, (5): 50–56

[19] 仇焕广, 李登旺, 宋洪远. 新形势下我国农业发展战略的转变——重新审视我国传统的“粮食安全观”[J]. 经济社会体制比, 2015, (4): 11–19
QIU H G, LI D W, SONG H Y. The logic of China’s agricultural policy transition and suggestions for policy adjustments[J]. Comparative Economic and Social Systems, 2015, (4): 11–19

[20] WANG Q, LIU X H, YUE T X, et al. Using models and spatial analysis to analyze spatio-temporal variations of food provision and food potential across China’s agro-ecosystems[J]. Ecological Modelling, 2015, 306: 152–159

[21] ZHOU L, TURVEY C G. Climate change, adaptation and China’s grain production[J]. China Economic Review, 2014, 28: 72–89

[22] 相慧, 孔祥斌, 武兆坤, 等. 中国粮食主产区耕地生产能力空间分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 235–244
XIANG H, KONG X B, WU Z K, et al. Spatial distribution characteristics of potential productivity of arable land in main crop production area in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(24): 235–244

[23] 赵爱栋, 彭冲, 许实, 等. 生态安全约束下耕地潜在转换及其对粮食生产的影响——以东北地区为例[J]. 中国人口•资源与环境, 2017, 27(11): 124–131
ZHAO A D, PENG C, XU S, et al. Impact of farmland conversion grain output under the ecological constraint: Based in the Northeast of China[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(11): 124–131

[24] GE D Z, LONG H L, ZHANG Y N, et al. Analysis of the coupled relationship between grain yields and agricultural labor changes in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(1): 93–108

[25] JIANG M, LI X B, XIN L J, et al. Paddy rice multiple cropping index changes in southern China: Impacts on national grain production capacity and policy implications[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(11): 1773–1787

[26] 辛良杰, 李鹏辉, 范玉枝. 中国食物消费随人口结构变化分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 296–302
XIN L J, LI P H, FAN Y Z. Change of food consumption with population age structure in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(14): 296–302

[27] 王莉雁, 肖燚, 饶恩明, 等. 全国生态系统食物生产功能空间特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2015, 30(2): 188–196
WANG L Y, XIAO Y, RAO E M, et al. Spatial characteristics of food provision service and its impact factors in China[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(2): 188–196

[28] 王情, 岳天祥, 范泽孟, 等. 江西省食物供给时空格局[J]. 地理科学进展, 2011, 30(4): 479–484
WANG Q, YUE T X, FAN Z M, et al. Spatial-temporal patterns of food provision in Jiangxi Province[J]. Progress in Geography, 2011, 30(4): 479–484

[29] 辛良杰, 王佳月, 王立新. 基于居民膳食结构演变的中国粮食需求量研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1347–1356
XIN L J, WANG J Y, WANG L X. Prospect of per capita grain demand driven by dietary structure change in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1347–1356

[30] 程义勇. 《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013 修订版简介[J]. 营养学报, 2014, 36(4): 313–317
CHENG Y Y. Introduction of Chinese dietary reference intakes (2013)[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2014, 36(4): 313–317

[31] ANG B W, LIU N. Negative-value problems of the logarithmic mean divisia index decomposition approach[J]. Energy Policy, 2007, 35(1): 739–742

[32] 周志刚, 郑明亮. 基于对数均值迪氏指数法的中国粮食产量影响因素分解[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2): 1–6
ZHOU Z G, ZHENG M L. Influential factors decomposition for China’s grain yield based on logarithmic mean Divisia index method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(2): 1–6

[33] 贾琨, 杨艳昭, 封志明. “一带一路”沿线国家粮食生产的时空格局分析[J]. 自然资源学报, 2019, 34(6): 1135–1145
JIA K, YANG Y Z, FENG Z M. An evaluation of the belt and road cereals production from a view of spatial-temporal patterns[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(6): 1135–1145

[34] 刘玉, 高秉博, 潘瑜春, 等. 基于 LMDI 模型的中国粮食产量变化及作物构成分解研究[J]. 自然资源学报, 2014, 29(10): 1709–1720
LIU Y, GAO B B, PAN Y C, et al. Investigating contribution factors to China’s grain output increase based on LMDI model during the period 1980 to 2010[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(10): 1709–1720

[35] 李月, 孔祥斌, 张安录, 等. 基于 LMDI 模型的我国省域粮食生产变化影响因素分析[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(1): 129–140
LI Y, KONG X B, ZHANG A L, et al. Analysis of influence factors on crop production change in China at provincial level based on LMDI model[J]. Journal of China Agricultural University, 2016, 21(1): 129–140

[36] 李炳杨. 广西甘蔗种植现状、问题及对策[J]. 热带农业科学, 2018, 38(4): 119–127
LI B Y. The present situation, problems and countermeasures of sugarcane cultivation in Guangxi[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2018, 38(4): 119–127

[37] 陆耀邦, 梁自力, 毛蒋兴, 等. 广西农业功能区划功能定位与发展重点研究[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(2): 53–58
LU Y B, LIANG Z L, MAO J X, et al. Focus on function positioning and development of the agricultural functioning regionalization of Guangxi[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(2): 53–58

[38] TAO F L, YOKOZAWA M, LIU J Y, et al. Climate change, land use change, and China’s food security in the twenty-first century: An integrated perspective[J]. Climatic Change, 2009, 93(3/4): 433–445

[39] CHEN Y F, WANG Z G, ZHU T H, et al. Agricultural policy, climate factors and grain output: Evidence from household survey data in rural China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(1): 169–183