

居民膳食结构变迁对耕地资源需求响应与情景模拟

赵素霞 李珍珍 肖东洋

(河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 焦作 454000)

摘要: 对中国居民膳食结构变迁和耕地资源需求规模关系研究, 可为保障居民多元健康的膳食营养需求、维护国家粮食安全以及推动耕地资源可持续利用提供科学依据与决策参考。本文采用膳食耕地足迹、LMDI分解法、情景分析等方法对2013—2023年中国居民膳食结构变迁对耕地需求的影响进行了分析, 并通过设置4种情景为未来居民膳食结构变迁方向提供参考。结果表明: 中国居民食品消费总量明显增加。居民膳食结构正处于“植物性主导型”向“动植物平衡型”膳食结构转变, 城乡居民膳食结构差异逐渐缩小。中国居民总膳食耕地足迹与人均膳食耕地足迹均呈波动式增加态势, 城乡居民总膳食耕地足迹差异明显。膳食结构因素成为促进耕地资源需求增加的核心驱动力。基于4种情景的综合分析, 当前中国耕地资源整体处于紧缺状态, 而通过膳食结构调整, 如向情景D(生态营养双优膳食结构)转化, 可有效缓解耕地资源的紧张压力。

关键词: 膳食结构升级; 膳食耕地足迹; LMDI分解法; 耕地需求

中图分类号: F323.211

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2026)06-0187-10

OSID:



Response of Arable Land Resources Demand to Changes in Residents' Dietary Structure and Scenario Simulation

ZHAO Suxia LI Zhenzhen XIAO Dongyang

(College of Surveying and Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The research on the relationship between the changes in dietary structure of Chinese residents and the scale of demand for arable land resources can provide scientific basis and decision-making reference for ensuring the diverse and healthy dietary and nutritional needs of residents, maintaining national food security, and promoting the sustainable use of arable land resources. Methods such as dietary farmland footprint, LMDI decomposition, and scenario analysis were used to analyze the impact of changes in Chinese residents' dietary structure on farmland demand from 2013 to 2023. Four scenarios were set up to provide reference for the direction of future changes in residents' dietary structure. The results indicated that the total food consumption of Chinese residents was significantly increased. The dietary structure of residents was transitioning from a “plant-based dominant” to an “animal plant balanced” dietary structure, and the differences in dietary structure between urban and rural residents were gradually narrowing. The total dietary land footprint of Chinese residents and the per capita dietary land footprint both showed a fluctuating increase trend, with significant differences in the total dietary land footprint between urban and rural residents. Dietary structure factors became the core driving force for increasing demand for arable land resources. Based on a comprehensive analysis of four scenarios, China's arable land resources were currently in a state of overall scarcity. By adjusting the dietary structure, such as transitioning to Scenario D (ecological and nutritional double excellent dietary structure), the pressure on arable land resources can be effectively alleviated.

Key words: dietary structure upgrading; dietary cultivated land footprint; LMDI decomposition method; cultivated land demand

收稿日期: 2025-09-13 修回日期: 2025-10-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(42271283)、河南省哲学社会科学规划年度项目(2424BZZ011)和河南省高校基本科研业务费专项资金项目(SKJZD2024-05)

作者简介: 赵素霞(1980—),女,副教授,博士,主要从事土地利用变化和国土空间规划研究,E-mail: zhaosuxiahpu@163.com

0 引言

耕地是人类生存和发展的基础,是粮食生产的重要载体之一,对保障国家粮食安全至关重要^[1-2]。随着社会经济的不断发展,居民消费结构在不断升级,具体表现为粮食消耗量在逐渐下降^[3-4],而畜禽肉、蛋、奶消费量不断增加,这一变动不仅要消耗更多的耕地资源,更会危害国家粮食安全,同时也伴随着大量耕地被撂荒、耕地非粮化、破碎化、边际化以及耕地生态系统退化等问题^[3-5]。居民膳食结构改变是导致食物供需结构失衡和耕地资源紧缺的重要原因之一^[6]。在此背景下,如何保障食物系统安全与稳定、保证耕地资源可持续利用是亟需解决的复杂问题。因此,基于大食物观视角,研究居民膳食结构变化对耕地需求响应及情景模拟,对筑牢国家粮食安全底线、保障各类食物有效供给、高质量满足居民多元化食物消费与营养健康需求,以及推动耕地绿色可持续发展具有重要学术与实践价值。

膳食结构与耕地资源相互关系的研究兴起于21世纪初。2002年,GERBENS-LEENES等^[7]基于统计数据与家庭调查资料,对荷兰1990年100余种食物在生产过程中所占用的耕地面积进行了系统核算,标志着该领域实证研究的开端。在GERBENS-LEENE等^[7]研究的基础上,KASTNER等^[8]创新性地提出了“等效农作物”概念,通过简化计算模型与流程,并整合FAO食物平衡表数据,系统分析了菲律宾1919—2003年长达84年的耕地需求演变趋势。此后,这一方法因其科学性和可操作性,被全球学者采纳应用^[9-12]。国内外学者普遍采用耕地足迹法量化膳食结构升级的资源代价并聚焦长时序演进规律及驱动机制解析^[13-15]。早期研究(如GERBENS-LEENES等^[7])基于微观农户数据建立食物-耕地关联模型,揭示动物性食品消费增长与耕地赤字扩大的同步性^[7,13]。后续研究进一步拓展至国家尺度动态分析,例如KASTNER等^[8]对菲律宾耕地需求的核算表明,膳食转型中动物蛋白占比每提升1%,耕地需求平均增加2.3%。近年来,研究焦点转向营养均衡与耕地协同优化,AIEKSANDROWICZ等^[16]验证印度控制动物蛋白占比12%的方案能维持生态盈余,凸显区域资源禀赋差异下的差异化路径。但上述研究多针对单一的膳食结构进行分析,在多情景假设方面的研究还较为欠缺。

中国人均耕地占有量少,耕地质量总体不高,加上建设用地对耕地资源的侵占以及居民膳食结构的变迁,使得中国耕地短缺问题更加严峻。鉴于此,本

文通过对中国2013—2023年城乡人均食品消费量进行分析,探究我国居民膳食结构和耕地资源需求变化,并采用LMDI分解法,分析膳食结构因素对耕地资源需求的影响,通过情景分析法,系统评估不同膳食结构演变对耕地资源需求的影响程度,并基于多情景模拟对中国未来膳食变迁可能引发的耕地资源消耗进行分析,为优化耕地资源配置、保障国家粮食安全及促进居民膳食健康提供科学决策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

将居民食物消费种类划分为粮食、植物油、蔬菜、猪肉、牛肉、羊肉、禽类、水产品、蛋类、奶类、鲜瓜果和食糖12类,其中粮食为原粮,因调味品等成分占比很小,所以未考虑在内。中国居民食品消费量数据来自国家统计局网站公布的年度数据^[17],人口数、耕地面积、农作物播种面积、产量数据来自《中国统计年鉴2022—2024》和《中国环境统计年鉴2020》。其中,根据国家统计局现行统计口径,所公布的人均食品消费量数据未涵盖在外就餐及其他来源2类消费情形。

1.2 研究思路

立足2013—2023年中国居民膳食结构快速转型背景,遵循“现象刻画—机理剖析—路径模拟”研究脉络。通过膳食耕地足迹模型,定量揭示城乡居民膳食结构转变方向、膳食耕地足迹总量与人均量的变化态势,并分析城乡差异;运用LMDI分解法精准辨识驱动耕地资源需求增长的核心。在此基础上,为探寻缓解耕地压力的优化路径,构建从基准情景、过渡情景、达标情景到生态营养双优的优化情景4种递进情景,通过多情景对比模拟,推动膳食结构向能有效缓解耕地资源紧张压力的方向转变。

1.3 研究方法

1.3.1 膳食耕地足迹

为分析中国居民膳食结构变化对耕地需求的影响,基于KASTNER等^[8]提出的耕地需求计算模型,构建膳食耕地足迹分析框架,量化评估中国居民膳食结构转型对耕地资源需求的影响。计算式为

$$L_i = LP \quad (1)$$

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{M} \quad (2)$$

其中

$$A_i = \frac{P_i}{Y_i} \quad (3)$$

$$P_i = F_i I_i \quad (4)$$

式中 P_i ——人均膳食等效农作物需求量, kg/人
 F_i ——人均膳食量
 Y_i ——食物种类 i 对应等效农作物单位面积产量, kg/m²
 A_i ——人均膳食等效农作物播种面积, m²/人
 L ——人均膳食耕地足迹, m²/人
 M ——复种指数^[18-19]
 P ——人口数量
 L_i ——总膳食耕地足迹, m²

其中 L_i 为食物种类与对应等效作物品种之间的转换系数, 粮食、蔬菜及鲜瓜果作为初级农产品, 其转换系数统一设定为 1; 植物油与食糖转换系数基于加工效率逆向推导, 分别采用大豆和油菜籽综合出油率倒数、甘蔗出糖率倒数进行量化; 动物性产品(畜禽肉、蛋奶、养殖水产品)转换系数依据其饲料粮消耗特性, 采用文献[20-21]建立的折粮系数体系进行动态折算。参照文献[21-22]研究结果, 采用的猪肉、牛肉、羊肉、家禽、蛋类、奶类、水产品转换系数分别为 5、3.6、2.3、5、2、0.3、2。

1.3.2 LDMI 分解法

采用对数平均迪氏分解法(LMDI)构建耕地资源需求驱动因素分析框架, 系统量化人口规模变动、膳食结构转型与农业技术进步对耕地资源需求的贡献度。此方法具有无残差、全分解、易使用等优点, 主要应用于对碳排放的影响因素分析^[14,23]。计算式为

$$\Delta L = L_i^T - L_i^0 = \sum_i S_i^T R_i^T P^T - \sum_i S_i^0 R_i^0 P^0 = \Delta S + \Delta T + \Delta P \quad (5)$$

其中

$$\Delta S = \sum_{i=1}^i \frac{L_i^T - L_i^0}{\ln L_i^T - \ln L_i^0} \ln \frac{S_i^T}{S_i^0} \quad (6)$$

$$\Delta T = \sum_{i=1}^i \frac{L_i^T - L_i^0}{\ln L_i^T - \ln L_i^0} \ln \frac{R_i^T}{R_i^0} \quad (7)$$

$$\Delta P = \sum_{i=1}^i \frac{L_i^T - L_i^0}{\ln L_i^T - \ln L_i^0} \ln \frac{P^T}{P^0} \quad (8)$$

式中 ΔL ——耕地需求总变化量
 L_i^T ——报告期第 i 类食物消费的土地需求量
 L_i^0 ——基期第 i 类食物消费的土地需求量
 ΔS ——膳食结构变化对耕地资源总需求的贡献量
 ΔT ——科技进步对耕地资源总需求的贡献量
 ΔP ——人口规模对耕地资源总需求的贡献量
 S_i^T ——目标研究期食物种类 i 消费量
 S_i^0 ——基准对比期食物种类 i 消费量
 R_i^T ——报告期食物种类 i 单位重量所需耕地面积
 R_i^0 ——基期食物种类 i 单位重量所需耕地面积
 P^T ——报告期总人口数量
 P^0 ——基期总人口数量

1.3.3 情景分析法

为系统评估中国居民膳食结构优化对耕地资源需求的潜在影响, 并探索兼顾营养健康与生态可持续发展路径, 设置当前模式、膳食指南推荐、过渡型、生态营养双优 4 类情景(表 1)。首先, 设定“中国当前膳食结构”(情景 A)作为分析的基准线, 以准确反映实际消费现状及其资源环境代价。在此基础上, 引入“膳食宝塔推荐量”(情景 C)作为国家定义的营养健康目标^[24], 用以评估完全达到理想膳食结构时的理论资源需求。考虑到膳食习惯改变的渐进性, 设置“近期可行目标”(情景 B), 在现状与理想目标之间取一个过渡值, 为制定分阶段、可操作的膳食改善政策提供量化依据。最后, 为探索健康与可持续的双赢极限, 设计“生态营养双优”(情景 D), 在满足膳食宝塔营养要求的前提下, 通过优化蛋白质来源结构, 实现耕地资源需求最小化。

表 1 4 种情景下人均每天食物消费量

Tab.1 Daily per capita food consumption under four scenarios

g/(人·d)

情景	粮食	蔬菜	水果	植物油	畜禽肉	水产品	蛋类	奶类
情景 A-中国当前膳食结构(基准情景)	368.0	311.2	166.6	25.8	130.7	41.6	41.1	36.2
情景 B-近期可行的过渡膳食结构(过渡情景)	321.0	305.6	183.3	25.4	102.8	58.3	45.6	167.6
情景 C-膳食指南推荐的膳食结构(达标情景)	374.0	300.0	200.0	25.0	75.0	75.0	50.0	299.0
情景 D-生态营养双优膳食结构(优化情景)	374.0	300.0	200.0	25.0	61.0	77.0	50.0	299.0

注:情景 C 是根据中国居民平衡膳食宝塔给出的各类食物推荐摄入量, 且在一个成年人每人每天各类食物摄入量的建议范围内, 遵循平衡膳食原则, 在营养方面, 是比较理想的基本食物构成; 情景 D 是在情景 C 的基础上, 适当降低高耕地足迹的红肉比例, 增加白肉比例, 调整后的红肉与白肉比例为 1:2, 在生态方面, 可以适当减少对耕地的消耗, 以实现生态可持续性, 在营养方面, 白肉脂肪含量低, 蛋白质更优质, 红肉富含铁和锌, 但饱和脂肪较高, 过量可能增加慢性病风险, 适当降低红肉比例不会减少蛋白质摄入, 保证人体足够营养。

1.3.4 耕地资源供需状况测算

基于绿色可持续发展理念, 聚焦食物消费与耕

地资源间的动态平衡关系, 通过构建耕地资源承载力评估框架, 量化分析不同膳食结构情景下中国耕

地资源的供需平衡状况^[25],计算式为

$$L_q = L_j - L_T \quad (9)$$

式中 L_q ——中国耕地资源盈亏量,亿 m^2

L_j ——中国 2023 年耕地面积,亿 m^2

L_T ——总膳食耕地足迹面积,亿 m^2

计算得到 4 种膳食结构情景下膳食耕地足迹,当 L_q 为正值时,表明该情景下耕地资源供给量超过需求,形成资源盈余;负值则反映耕地资源需求超出供给能力,出现资源赤字。

2 结果与分析

2.1 中国居民膳食结构变化趋势与特征

2.1.1 人均食物消费量变化趋势

中国居民食物总消费量在 2013—2023 年期间增长明显,由 4.87975×10^{11} kg 增长到 5.7867×10^{11} kg,10 年间增加 9.0695×10^{10} kg,增幅为 18.6%。其中,植物性食物总消费量由 2013 年的 4.0635×10^{11} kg 增加到 2023 年的 4.50249×10^{11} kg,增加 10.8%;2023 年全国动物性食物总消费量达 1.28421×10^{11} kg,较 2013 年增长 57.3%,年均增长率达 4.6%。这一增长趋势主要源于城乡居民收入水平提升、冷链物流体系完善以及食品加工技术进步。中国居民人均食物消费量从 356.9 kg/a 增至 410.5 kg/a(图 1),增长 15%。其中动物性食物占比从 28% 提升至 34%,植物性食物占比相应从 72% 降至 66%,优质蛋白摄入量增长尤为显著。当前中国正处于“植物性主导型”向“动植物平衡型”膳食结构转型的关键期。粮食消费量从 148.7 kg/a 下降到 134.4 kg/a,但同期肉类、水产品、鲜瓜果等却显著增长。这种此消彼长的关系非常典型地反映了“膳食结构变迁”现象。特别值得注意的是,2020 年粮食消费异常反弹到 141.2 kg/a,这与新冠疫情初期居民囤粮行为有关。具体来看,植物性食物人

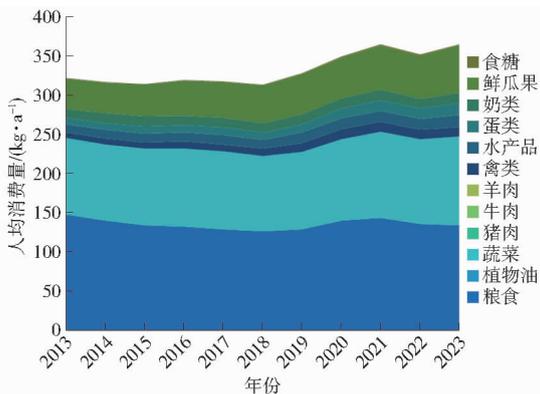


图 1 中国居民主要食物人均消费量变化
Fig. 1 Changes in per capita consumption of major foods by Chinese residents

均消费总量在 2013—2018 年缓慢减少,疫情原因,在 2019—2023 年又呈波动式增加,但增加幅度较小,总体保持稳定。其中,人均粮食消费量从 148.7 kg/a 减少到 134.4 kg/a,在膳食结构中占比从 42% 下降到 32%;水果和蔬菜人均消费量增幅较大,分别为 60.8% 和 16.5%;植物油人均消费量略有下降,从 12 kg/a 下降到 9.4 kg/a,呈现持续但温和的下降态势;食糖人均消费量较少且几乎没有变化,保持在 1.3 kg/a 左右。动物性食物人均消费量呈现不断增长趋势,消费占比从 16.7% 上升到 22.2%。其中,牛肉消费呈爆发式增长,人均年消费量从 1.5 kg/a 跃升至 3.1 kg/a,增幅 107%,为所有畜产品中增长最快品类。其他主要动物性食物消费也呈显著增长态势,猪肉、羊肉、禽类、水产品、蛋类以及奶类增幅分别为 54%、89%、72%、46%、83%、13%。反映中国居民膳食结构正在发生深刻变化,高蛋白、高品质的肉类消费需求持续增强。

城镇居民食物总消费量在 2013—2023 年增长显著,由 2.6642×10^{11} kg 增长到 3.7531×10^{11} kg,增幅为 40.8%。其中,植物性食物消费总量由 2.1218×10^{11} kg 增长到 2.8642×10^{11} kg,增幅为 35%;动物性食物总消费量由 5.424×10^{10} kg 增长到 8.888×10^{10} kg,增幅为 63.9%(图 2)。植物性食物中,粮食人均消费量略有下降,10 年间减少 5.7 kg/a;植物油人均消费量减少 1.9 kg/a;食糖人均消费量较少,基本稳定在 1.2 kg/a;蔬菜、水果人均消费量 10 年间呈增长趋势,增幅分别为 9.8% 和 42%。动物性食物中,奶类人均消费量基本保持稳定;猪肉、牛肉、羊肉、禽类、水产品 and 蛋类人均消费量均呈增加趋势,增幅分别为 38%、77.2%、50%、55.5%、24.2%、55.3%。

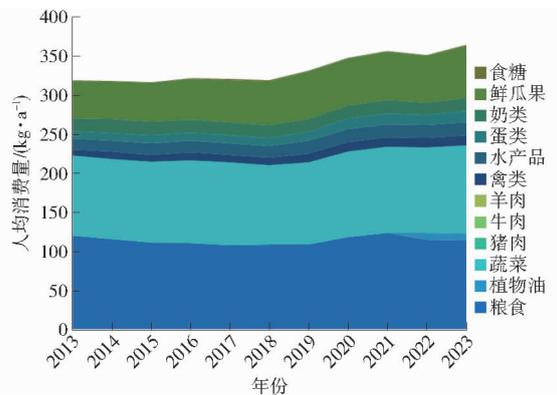


图 2 城镇居民主要食物人均消费量变化

Fig. 2 Changes in per capita consumption of major foods by urban residents

农村居民食物总消费量呈下降趋势,从 2013 年的 2.2208×10^{11} kg 下降到 2023 年的 $2.0096 \times$

10^{11} kg,但人均食物总消费量在2013—2023年不断上升,由356.9 kg/a上升到421.3 kg/a,这是由于在2013—2023年期间,农村人口向城市人口大量转移。其中,植物性食物消费总量由 1.9339×10^{11} kg减少到 1.6032×10^{11} kg;动物性食物消费总量由 2.868×10^{10} kg增加到 4.064×10^{10} kg,增幅为41.7%(图3)。在植物性食物中,粮食人均消费量呈下降趋势,由178.5 kg/a下降到159.8 kg/a,下降10.5%;植物油人均消费量也由2013年的13.4 kg/a减少到2023年的10.2 kg/a;水果、蔬菜、食糖人均消费量则呈增加趋势,增幅分别为90.8%、24.7%、16.7%。

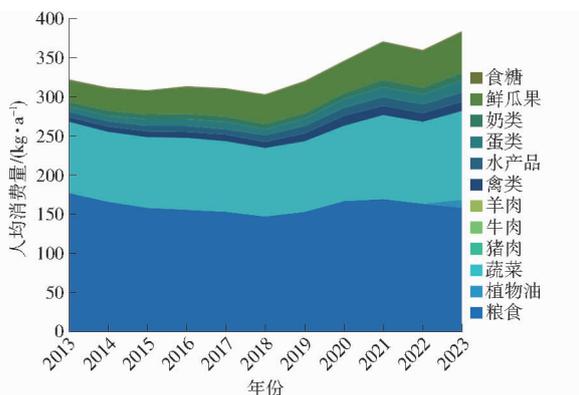


图3 农村居民主要食物人均消费量变化

Fig.3 Changes in per capita consumption of major foods by rural residents

2013—2023年,全国粮食总消费量增加 9.0695×10^{10} kg,主要由于农村人均消费大幅上升及农村人口减少1.45亿,农村粮食消费减少 2.112×10^{10} kg。城镇因人口增长及人均消费增幅较小,消费总量反增 1.0889×10^{11} kg。这折射出在城镇化进程中饮食结构转型出现差异,除居民减少主粮消费转向动物蛋白外,人口也是主要影响因素。

2.1.2 城乡居民膳食结构变迁特征

中国食品消费总量变化呈“城镇主导增量,农村驱动转型”的二元特征。2013—2023年期间,我国城乡居民膳食结构呈现以下演变特征(图4、5),在消费结构差异上,城镇居民动物性食物消费占比持续高于农村居民,但城乡差距呈收敛趋势。城镇居民植物性食物消费占比下降3.3个百分点,动物性食物消费占比相应上升;农村居民动物性食物消费占比增长7.3个百分点,增速快于城镇。尽管农村人口减少1.45亿,但随着农村居民收入水平提升,其人均动物蛋白消费爆发式增长,成为耕地压力重要变量。

中国城乡膳食结构呈现“农村追城镇、总量近而结构异”的特征。农村动物蛋白的补偿性增长正

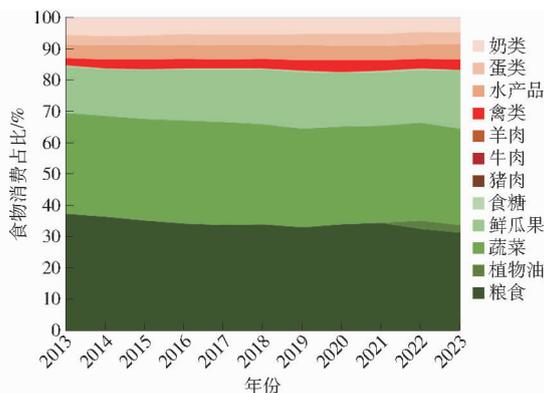


图4 城镇居民人均食物结构变迁

Fig.4 Changes in per capita food structure of urban residents

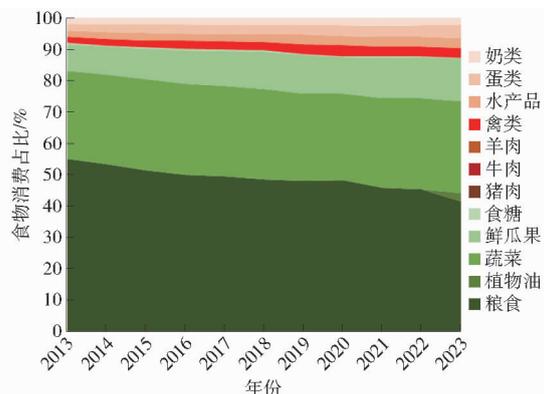


图5 农村居民人均食物结构变迁

Fig.5 Changes in per capita food structure of rural residents

成为耕地压力重要变量,需通过城镇消费精致化、农村供给韧性化的差异化策略,实现膳食升级与耕地可持续协同。

2.2 中国居民膳食足迹变化趋势及特征

2013—2023年,全国膳食总耕地足迹从 1.109×10^6 km²增长至 1.228×10^6 km²,增幅达10.7%,呈波动上升态势。动物性食物耕地足迹与植物性食物耕地足迹变化差异较大。动物性食物耕地足迹显著增长,畜禽肉消费的耕地需求增幅最为突出,10年间增长43.7%,反映出居民膳食结构中动物蛋白消费的快速提升。植物性食物耕地足迹持续下降,总体减少17.1%,其中植物油和粮食消费的耕地需求降幅最为显著,分别下降27.4%和13.3%。动物性食物与植物性食物耕地需求呈“此消彼长”态势,表明我国居民膳食结构正在经历从传统植物性主导向动植物平衡型的深刻转变。人均膳食耕地足迹整体上也呈波动式增加趋势,从811.2 m²/人增加到871.1 m²/人。动物性食物人均耕地足迹增加明显,由417.8 m²/人增加到581.6 m²/人。蛋类耕地足迹增加最为显著,其次为畜禽肉类,增幅分别为60.5%、39.4%。植物性食物人均耕地足迹则呈减少趋势,由430.2 m²/人减少到345.9 m²/人。除鲜瓜果类人均膳食耕地足迹增加70.4%外,粮食、植

物油、食糖人均膳食耕地足迹均呈下降趋势,降幅分别为 15.9%、29.5% 和 12.1%。

2013—2023 年城镇居民总膳食耕地足迹整体上呈增加趋势,由 $6.62 \times 10^5 \text{ km}^2$ 上升到 $8.37 \times 10^5 \text{ km}^2$,增幅为 26.5%。植物性食物总膳食耕地足迹呈波动式减少趋势,降幅为 4.6%;其中,植物油和食糖总膳食耕地足迹分别下降 15.8%、23.2%;粮食总膳食耕地足迹略微上升;鲜瓜果和蔬菜总膳食耕地足迹表现出增加趋势,增幅分别为 71% 和 15.6%。城镇居民人均膳食耕地足迹上升幅度较小,基本保持稳定状态。植物性食物人均膳食耕地足迹与动物性食物人均膳食耕地足迹变化差异明显。植物性食物人均膳食耕地足迹表现出明显下降趋势,降幅为 23.8%;除鲜瓜果人均膳食耕地足迹增加 36.6% 外,粮食、植物油、蔬菜、食糖人均膳食耕地足迹均呈下降趋势,降幅分别为 19.5%、32.7%、7.7% 和 38.7%。动物性食物人均膳食耕地足迹则呈显著增加趋势,增幅为 22.8%;除奶类人均膳食耕地足迹略微减少外,蛋类、畜禽肉以及水产品人均膳食耕地足迹均呈增加趋势,增幅分别为 36.2%、25.2% 和 9%。

农村居民总膳食耕地足迹总体上呈减少趋势,由 $5.62 \times 10^5 \text{ km}^2$ 减少到 $4.62 \times 10^5 \text{ km}^2$,降幅为 17.9%。主要体现在植物性食物总膳食耕地足迹显著减少,除鲜瓜果膳食耕地足迹增长 41% 外,粮食、植物油、蔬菜、食糖总膳食耕地足迹均呈下降趋势,降幅分别为 42%、52%、20%、29%。动物性食物总

膳食耕地足迹呈增长趋势,增幅为 22.5%;其中,蛋类总膳食耕地足迹增长最为显著,增幅为 48%;水产品、畜禽肉、奶类总膳食耕地足迹增幅分别为 24%、20%、5%。农村居民人均膳食耕地足迹呈波动式增加态势,但增幅较小,为 7.2%。植物性食物人均膳食耕地足迹呈较为显著的下降趋势,降幅为 28.2%;其中,粮食和食物油人均膳食耕地足迹下降趋势最为明显,分别下降 24.4% 和 37.9%;而鲜瓜果和蔬菜人均膳食耕地足迹呈增加趋势,增幅分别为 83.5% 和 4.8%。动物性食物人均膳食耕地足迹显著增加,增幅为 59.8%;蛋类、水产品、畜禽肉以及奶类人均膳食耕地足迹均呈显著增加趋势,增幅分别为 93%、62.2%、56% 和 37%。农村居民人均膳食耕地足迹增加但总膳食耕地足迹减少,是因为城镇化率的提高,大量农村人口向城市迁移。

2.3 膳食结构变化对耕地需求的贡献

采用 LMDI 分解法,系统量化 2013—2023 年中国耕地资源需求变化的驱动因素。分析结果显示(表 2),中国耕地资源需求量 10 年间增加 $1.13492 \times 10^{11} \text{ m}^2$,其中,膳食结构因素对耕地需求增加的促进作用最大,贡献度为 177.25%,人口规模因素对耕地需求增加的贡献度为 30.9%,科技进步因素的贡献度为 -108.15%。表明科技进步的负向影响未能完全抵消人口增长和膳食结构变化的叠加效应,导致耕地需求呈净增长态势。这一结果凸显了在人口持续增长和膳食结构转型背景下,单纯依靠科技进步难以实现耕地资源的可持续利用。

表 2 2013—2023 年膳食结构变化对耕地需求影响效应贡献值和贡献度

Tab. 2 Contribution values and degrees of dietary structure changes' impact on cropland demand from 2013 to 2023

影响因素		2013—2016 年	2016—2019 年	2019—2023 年	2013—2023 年
人口规模	贡献值/ m^2	1.973×10^{10}	1.3381×10^{10}	-3.28×10^8	3.5072×10^{10}
	贡献度/%	-52.97	-51.32	-0.19	30.90
膳食结构	贡献值/ m^2	-3.7793×10^{10}	2.0599×10^{10}	2.15532×10^{11}	2011.62
	贡献度/%	101.47	-78.99	121.90	177.25
科技进步	贡献值/ m^2	-1.9183×10^{10}	-6.0056×10^{10}	-3.839×10^{10}	-1.22742×10^{11}
	贡献度/%	51.50	230.31	-21.71	-108.15
总效应	贡献值/ m^2	-3.7246×10^{10}	-2.6076×10^{10}	1.76814×10^{11}	1.13492×10^{11}

不同时期 3 个因素所起的作用差异较大,人口规模因素在耕地资源需求增长方面发挥正向作用,对耕地资源的累计贡献较为稳定;对耕地资源需求增长累计贡献度变化最大的是膳食结构因素;科技进步因素在耕地资源增长上的反向作用先减小后变大(图 6)。

具体来说,人口规模因素对耕地资源需求增长的贡献值在 2013—2021 年持续增长,2022—2023 年小幅下降。2013—2021 年持续增长是由于在此

期间人口总量净增 5 000 万且城镇化率从 53.7% 提升到 66.2% (城市居民人均食物碳足迹高于农村^[26]);而人口总量减少 293 万以及老龄化率突破 14% 是 2022—2023 年回落的关键。2013—2019 期间,由于“光盘行动”政策的实施以及 2016 年《中国居民膳食指南》推广谷物为主、肉类消费减少,人均口粮消费下降,间接降低耕地需求;2020 年,动物性食品需求激增,饲料粮耕地需求飙升,2020—2023 年,由于疫情家庭粮食储备增加,短期内推高了需

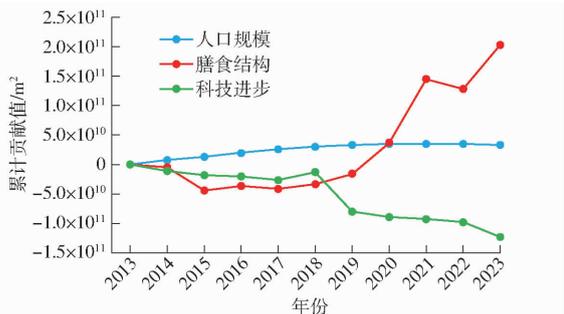


图 6 2013—2023 年各因素对耕地资源的累计贡献值
Fig. 6 Cumulative contribution values of various factors to arable land resources from 2013 to 2023

求。科技进步因素对抑制耕地资源需求增加的贡献呈波动式上升态势,主粮单产提升、技术渗透加速以及盐碱地利用是出现此结果的主要原因。但由于受自然条件约束和农业技术发展阶段性限制,主要农作物单产已进入平台期,短期内难以实现突破性增长。这种单产稳定态势使得科技进步对耕地需求的抑制作用存在明显上限,无法完全抵消膳食结构变化与人口规模导致的耕地资源需求的增加效应。

2.4 基于膳食结构优化的耕地资源需求

2.4.1 多情景下膳食耕地足迹

为寻求合理的膳食结构,通过设置 4 种情境的居民食物消费情况对比耕地资源需求量,以保证耕地合理且可持续利用以及国家粮食安全。从整体看,4 种情境的每日人均膳食耕地足迹相差较小,最高为中国当前膳食结构(情景 A),每日人均膳食耕地足迹为 2.50 m²;其次为近期可行的过渡膳食结构(情景 B),每日人均膳食耕地足迹为 2.33 m²;之后为膳食指南推荐的膳食结构(情景 C),每日人均膳食耕地足迹为 2.29 m²;最后为生态双优的膳食结构(情景 D),每日人均膳食耕地足迹为 2.14 m²。具体来说,中国膳食消费呈明显的“动物性主导”耕地占用格局,动物性食物耕地足迹占比显著高于植物性食物,且内部差异显著(图 7)。植物性食物中,粮食和植物油占据植物性食物耕地足迹的绝对主体,水果消费的耕地资源需求最低;动物性食物中,则是畜禽肉类消费占据动物性食物耕地足迹的绝大部

分,奶类产品耕地需求最低。这种耕地占用结构反映了中国居民膳食消费的典型特征:以谷物和植物油为基础,畜禽肉类为主导,奶类消费相对不足的营养结构现状。

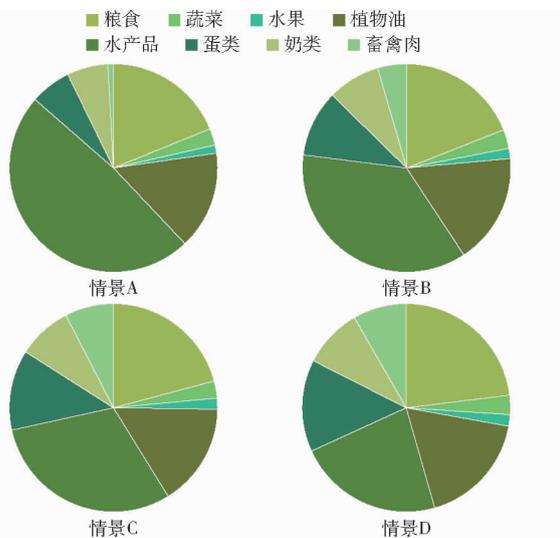


图 7 4 种情境下各类食物每日人均膳食耕地足迹占比
Fig. 7 Proportional share of daily per capita dietary cropland footprint for various food categories under four scenarios

假设中国当前膳食结构转变为情景 B,则人均每日少消耗耕地面积 0.17 m²;若按照《中国居民膳食指南(2022)》推荐的膳食模式,通过优化动物性食物结构(特别是减少畜禽肉类消费)和增加植物性食物多样性,每日人均耕地消耗可减少 0.21 m²;采用情景 D 的膳食结构可使每日人均耕地消耗减少 0.36 m²,主要是由于在保持摄入营养不变的基础上,降低了高消耗耕地红肉比例。

2.4.2 多膳食结构情景下耕地资源供需状况

从整体来看,中国现有耕地面积为 1.286 088 × 10¹² m²,这一规模对于当前膳食结构下食物消耗所需的耕地资源在理论上是满足的,情景 B、情景 C、情景 D 在此基础上节约了更多的耕地(表 3)。这表明从数量维度而言,中国现有耕地资源总量完全具备满足居民食物需求的基础条件。这一结论是基于耕地资源的纯数量分析得出的,尚未纳入耕地质量这一关键变量的考量。

表 3 4 种情景下耕地资源供需情况

Tab. 3 Supply and demand of arable land resources under four scenarios

情景模拟类型	人均膳食耕地足迹/(m ² ·人 ⁻¹ ·d ⁻¹)	总膳食耕地足迹/m ²	L _q /m ²
情景 A(基准情景)	2.50	1.228 761 × 10 ¹²	5.732 7 × 10 ¹⁰
情景 B(过渡情景)	2.33	1.198 666 × 10 ¹²	8.742 2 × 10 ¹⁰
情景 C(达标情景)	2.29	1.176 899 × 10 ¹²	1.091 89 × 10 ¹¹
情景 D(优化情景)	2.14	1.103 212 × 10 ¹²	1.828 76 × 10 ¹¹

实际上,中国作为幅员辽阔的农业大国,耕地资源禀赋存在显著的空间异质性。从地理分布来看,

西北地区(包括新疆、甘肃、宁夏等地)虽然耕地面积广阔,约占全国耕地总量的 23%,但由于自然条

件限制,这些区域普遍面临水资源匮乏、土壤有机质含量低和生态环境脆弱等问题,耕地质量等级总体偏低。具体表现为:粮食单产水平较全国平均值低30%~40%,其中黄土高原区旱作农田单产仅为东部平原区的1/3;单位食物生产的实际耕地消耗量比优质耕地区高50%以上。

与之形成鲜明对比的是,东北黑土区、长江中下游平原等优质耕地集中区,虽然仅占全国耕地面积的35%,却贡献了全国50%以上的粮食产量。这种“南粮北运”“东粮西调”格局,不仅反映了耕地质量的空间不均衡,更揭示了单纯以耕地总量评估粮食安全潜力的局限性。若考虑耕地质量折算系数,中国有效耕地资源的实际供给能力将显著低于统计数据,部分生态脆弱区耕地甚至需要实施“退耕还林还草”以保障可持续发展。

2.4.3 基于膳食结构优化的耕地可持续利用优化建议

(1) 拓宽食物来源,开发耕地后备资源

2023年,中国稻谷和小麦库存消费比分别高达135%和120%,年损耗超 7×10^6 t,而饲料粮自给率仅为68%,口粮过剩和饲料粮短缺矛盾突出^[27]。并且随着居民膳食结构升级,植物性食物消费减少,动物性食物消费持续增加,推动饲料粮需求年均增长3.2%,进一步加剧耕地资源压力^[28-29]。因此,须构建大食物观导向的多元化食物生产体系,主要包括2方面:①拓宽食物渠道保证食物资源多样性,对于五大食物生产系统,应秉持“宜粮则粮、宜经则经、宜牧则牧、宜渔则渔、宜林则林”原则,对食物资源展开全方位、多途径开发^[30]。②开发后备资源以确保食物生产的稳定性,据统计中国理论上约有 1×10^8 hm²盐渍地,可开发的耕地后备资源约有 3.33×10^7 hm²^[31],约占中国国土面积的0.76%,开发、治理以及利用好盐碱地对于突破耕地资源约束、保障国家粮食安全意义重大^[32]。

(2) 推动膳食结构升级以优化食物生产结构

随着经济发展和收入提高,居民食物消费结构从传统高碳水、高纤维、低脂肪膳食转向更多元化模式,动物性食品消费比例显著增加。然而,与膳食指南推荐量相比,当前粮食、蔬菜、植物油、畜禽肉、水产品及蛋类摄入过多,水果和奶类摄入则明显不足。这种不合理的膳食结构不仅危害国民健康,带来肥胖、微量元素缺乏等问题,还会引发资源短缺、环境污染、碳排放过量等挑战^[33]。通过优化膳食结构,可有效缓解资源环境压力,促进国民健康与食物供给的可持续性。因此,在保证粮食安全的基础上,对现行膳食结构按照情景D的标准进行调整,按调整

后标准,可节约耕地 1.82876×10^{11} m²,在一定程度上可缓解耕地资源紧张问题,增强食物供应稳定性。

3 讨论

本文利用膳食耕地足迹法以及LDMI分解法,基于长时间序列居民人均食物消费量揭示了居民膳食结构的变化趋势及特征,探索人口数量、膳食结构以及科技进步3个因素对耕地资源需求的影响,为保证耕地可持续利用提供了新思路。通过研究发现,2013—2023年中国居民食物消费总量明显增长,总膳食耕地足迹与人均膳食耕地足迹均呈波动式增加态势,居民膳食结构正在经历从传统植物性主导向动植物平衡型转变。城乡居民总膳食耕地足迹差异明显,但城乡居民膳食结构差异逐渐缩小。从LDMI分解结果来看,人口数量、膳食结构以及科技进步3个因素中,膳食结构因素对耕地资源需求的影响贡献最大。因此,要保证耕地可持续利用需更多地考虑膳食结构因素。

通过对中国居民食物消费量进行分析,测算中国当前膳食结构所需耕地资源,得出中国当前耕地资源可以满足当前膳食结构所需,但因为数据缺失,研究尺度为单一国家尺度,未考虑到各个省份耕地质量、面积的差异性,无法关注到各个地区的膳食结构变化与实际耕地资源需求的关系,不能使耕地资源利用最优。且本文采用的人均食物消费量数据未纳入餐饮服务业消费数据,导致人均消费量测算值较实际水平偏低。此外,在计算耕地膳食足迹时未考虑粮食、油料、饲料等国际食物进出口贸易的影响,未来将针对这些不足进一步改进研究。

4 结论

(1) 2013—2023年中国居民食物消费总量增长明显,居民膳食结构正在从传统植物性主导向动植物平衡型转变。

(2) 2013—2023年中国居民总膳食耕地足迹与人均膳食耕地足迹均呈波动式增多态势。总膳食耕地足迹由 8×10^5 km²增加到 8.4×10^5 km²,增幅为5%。动物性食物耕地足迹与植物性食物耕地足迹变化差异较大,主要体现畜禽肉耕地足迹显著增加以及粮食耕地足迹减少。人均膳食耕地足迹增幅为1.2%。其中,动物性食物人均耕地足迹增加明显,增幅为59.5%。植物性食物人均耕地足迹则呈减少趋势,降幅为26.4%。

(3) 2013—2023年城乡居民总膳食耕地足迹差异明显,但城乡居民膳食结构差异逐渐缩小。城镇居民总膳食耕地足迹呈明显增加态势,增幅为

27%;人均膳食耕地足迹略微上升且保持稳定状态。农村居民总膳食耕地足迹总体呈减少趋势,降幅为21%;人均膳食耕地足迹呈波动式增加趋势,增幅为4%,总体上比较稳定。

(4)膳食结构因素成为耕地资源需求增加的核心驱动力。通过LDMI分解法分析膳食结构、人口规模以及科技进步因素对耕地需求的影响,结果表明不同时期3个因素所起的作用差异较大。科技进步因素由于受到自然条件以及技术方面的

限制对于耕地资源需求增加的抑制作用有限,在未来一段时间,耕地资源需求量会受到膳食结构因素的影响较大。

(5)情景模拟结果表明,中国现有耕地资源可以满足当前需求,即目前中国在理论上完全可以做到自给自足,但没有考虑耕地质量以及工业用粮方面,中国耕地资源仍然比较紧缺,因此,可以通过调整膳食结构,推动中国膳食结构向情景D转化,应当能在一定程度上缓解耕地资源紧缺情况。

参 考 文 献

- [1] 于法稳,代明慧,林珊. 基于粮食安全底线思维的耕地保护:现状、困境及对策[J]. 经济纵横, 2022(12):9-16.
YU Fawen, DAI Minghui, LIN Shan. Cultivated land protection based on bottom line thinking of food security: current situation, difficulties and countermeasures[J]. Economic Review, 2022(12):9-16. (in Chinese)
- [2] 盖兆雪,詹汶羲,王洪彦,等. 耕地利用转型碳排放时空分异特征与形成机理研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(7):187-196.
GAI Zhaoxue, ZHAN Wenxi, WANG Hongyan, et al. Spatio-temporal differentiation characteristics and formation mechanism of carbon emission from cultivated land use transformation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(7):187-196. (in Chinese)
- [3] 王波. 大食物观下保障食物供给安全[J]. 中国社会科学文摘, 2023(8):159.
- [4] 周晓时,李谷成. 对农村居民“食物消费之谜”的一个解释——基于农业机械化进程的研究视角[J]. 农业技术经济, 2017(6):10.
- [5] 金一诺,王枫. 珠三角耕地利用转型的时空演化特征及其影响因素分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4):352-361.
JIN Yinuo, WANG Feng. Spatiotemporal evolution characteristics of cultivated land use transition and its influence factors in the Pearl River delta[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4):352-361. (in Chinese)
- [6] 周德,赵鑫,周应恒. 大食物观下基于营养平衡的食物自给率测算与食物安全保障策略[J]. 农业经济问题, 2024(10):83-95.
ZHOU De, ZHAO Xin, ZHOU Yingheng. Food self-sufficiency rate and food security strategy based on balanced diet under a greater food approach in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2024(10):83-95. (in Chinese)
- [7] GERBENS-LEENES P W, NONHEBEL S, IVENS W P M F. A method to determine land requirements relating to food consumption patterns[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 90(1):47-58.
- [8] KASTNER T, NONHEBEL S. Changes in land requirements for food in the philippines: a historical analysis[J]. Land Use Policy, 2010(3):853-863.
- [9] DAS K, NONHEBEL S. A comparative study of the land required for food and cooking fuel in rural India[J/OL]. Agricultural Systems, 2019, 176. DOI:10.1016/j.agsy.2019.102682.
- [10] KASTNER T, RIVAS M J I, KOCH W, et al. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(18):6868-6872.
- [11] IBARROLA-RIVAS M J, GRANADOS-RAMIREZ R. Diversity of mexican diets and agricultural systems and their impact on the land requirements for food[J]. Land Use Policy, 2017, 66:235-240.
- [12] YAWSON D O. Estimating virtual land use under future conditions: application of a food balance approach using the UK[J/OL]. Land Use Policy, 2021. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.105132.
- [13] 余慧容,杜鹏飞. 城乡居民膳食结构变迁对耕地资源的影响——基于1981—2019年中国城乡居民食物消费数据[J]. 中国土地科学, 2022, 36(8):98-108.
YU Huirong, DU Pengfei. Impact of urban and rural dietary pattern changes on cultivated land based on food consumption data of urban and rural residents in China from 1981 to 2019[J]. China Land Science, 2022, 36(8):98-108. (in Chinese)
- [14] 刘春霞,王芳. 基于居民食物消费模式的中国耕地需求动态变化分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(8):1227-1235.
LIU Chunxia, WANG Fang. Dynamic changes in arable land requirements for food consumption in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(8):1227-1235. (in Chinese)
- [15] 张琨玥,陶明儒,张金懿,等. 基于食物安全的耕地需求分析与预测[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(11):14-28.
ZHANG Kunyue, TAO Mingru, ZHANG Jinyi, et al. Analysis and forecast of cultivated land demand based on food security[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(11):14-28. (in Chinese)
- [16] AIEKSANDROWICZ L, GREEN R, JOY E J M, et al. The impacts of dietary change on greenhouse gas emissions, land use, water use, and health: a systematic review[J]. Plos One, 2016, 11(11):e165797.
- [17] 国家统计局. 年度数据[EB/OL]. [2025-07-15] <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [18] XIE Hualin, LIU Guiying. Spatiotemporal differences and influencing factors of multiple cropping index in China during 1998—2012[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(11):1283-1297.

- [19] 张永勋,李先德. 水土资源匹配视角下中国省域农产品供需平衡分析及其政策启示[J]. 自然资源学报, 2021,36(6): 1573-1587.
ZHANG Yongxun, LI Xiande. Analyses of supply-demand balance of agricultural products in China and its policy implication [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(6):1573-1587. (in Chinese)
- [20] 钞贺森,田旭,于晓华. 肉类消费结构、饲料安全和粮食安全——农业“供给侧改革”的一个参照系[J]. 农业现代化研究, 2017,38(5):737-745.
CHAO Hesen, TIAN Xu, YU Xiaohua. Meat consumption structure, feed security, and grain security: implication for the “supply-side reform” in agriculture[J]. Research of Agricultural Modernization, 2017,38(5):737-745. (in Chinese)
- [21] 谢鸿宇,陈贤生,杨木壮,等. 中国单位畜牧产品生态足迹分析[J]. 生态学报, 2009,29(6):3264-3270.
XIE Hongyu, CHEN Xiansheng, YANG Muzhuang, et al. The ecological footprint analysis of 1 kg livestock product of China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(6):3264-3270. (in Chinese)
- [22] 陈冬冬,高旺盛. 近30年来中国农村居民食物消费的生态足迹分析[J]. 中国农业科学, 2010,43(8):1738-1747.
CHEN Dongdong, GAO Wangsheng. Ecological footprint analysis of food consumption of Chinese rural households in the latest 30 years[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010,43(8):1738-1747. (in Chinese)
- [23] 刘波涛,曲睿婷,乔林,等. 基于LMDI模型的辽宁省农业碳排放影响因素研究[J]. 农业工程, 2024,14(10):58-63.
LIU Botao, QU Ruiting, QIAO Lin, et al. Influencing factors of agricultural carbon emission in Liaoning Province based on LMDI model[J]. Agricultural Engineering, 2024,14(10):58-63. (in Chinese)
- [24] 程广燕,唐振闯,王瑞港. 平衡膳食模式下我国粮食需求预测与保障措施研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2025,25(3):120-131.
CHENG Guangyan, TANG Zhenchuang, WANG Ruigang. Research on the prediction of China's grain demand and guarantee measures under the balanced dietary pattern[J]. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition), 2025, 25(3):120-131. (in Chinese)
- [25] 郑伟伟,周瑞彤,吴一帆,等. 多元膳食结构对耕地资源需求的影响差异及优化策略[J]. 干旱区资源与环境, 2024, 38(9):165-176.
ZHENG Weiwei, ZHOU Ruitong, WU Yifan, et al. Differential impacts of diversified dietary structures on arable land requirements and the optimization strategies in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024,38(9): 165-176. (in Chinese)
- [26] 陈萱,李绍亭,任彦军. 2000—2020年中国城乡食物消费碳-水足迹及其驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2024, 40(5):287-296.
CHEN Xuan, LI Shaoting, REN Yanjun. Analysis of the carbon-water footprint of food consumption and its driving effect in urban and rural areas of China from 2000 to 2020[J]. Transactions of the CSAE, 2024,40(5):287-296. (in Chinese)
- [27] 李惠敏,陈子文,张亦弛,等. 大食物观视域下耕地“非粮化”治理:逻辑、挑战与策略[J]. 自然资源学报, 2025, 40(5):1194-1211.
LI Huimin, CHEN Ziwen, ZHANG Yichi, et al. The governance of “Non-grain Conversion” of cultivated land from the perspective of the greater food approach: logic, challenges and strategies[J]. Journal of Natural Resources, 2025,40(5): 1194-1211. (in Chinese)
- [28] 辛良杰. 中国居民膳食结构升级、国际贸易与粮食安全[J]. 自然资源学报, 2021,36(6):1469-1480.
XIN Liangjie. Dietary structure upgrade of China's residents, international trade and food security [J]. Journal of Natural Resources, 2021,36(6):1469-1480. (in Chinese)
- [29] 刘彦随,吴传钧. 中国水土资源态势与可持续食物安全[J]. 自然资源学报, 2002,17(3):270-275.
LIU Yansui, WU Chuanjun. Situation of land-water resources and analysis of sustainable food security in China[J]. Journal of Natural Resources, 2002,17(3):270-275. (in Chinese)
- [30] 张丽娟,林文声. 面向“十五五”:大食物观理念下的耕地用途管制政策优化[J]. 中州学刊, 2025(4):66-74.
ZHANG Lijuan, LIN Wensheng. Optimization of farmland use regulation under the concept of big food during the 15th Five-Year Plan Period [J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2025(4):66-74. (in Chinese)
- [31] 林红梅,郁琼源,魏玉坤. 多方探索发展甜高粱产业发展盐碱地[EB/OL]. (2024-04-15)[2025-07-15]. http://fgw.shandong.gov.cn/art/2024/4/15/art_91540_10434043.html.
- [32] 闫妍,史海滨,苗庆丰,等. 基于旱排控盐模型的沿黄灌溉区不同地类间水盐运移与平衡分析[J]. 农业机械学报, 2024, 55(10):346-359.
YAN Yan, SHI Haibin, MIAO Qingfeng, et al. Water and salt transpore pattern and balance analysis among different land classes in Yellow River Irrigation Area based on dry drainage salt control model [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024,55(10):346-359. (in Chinese)
- [33] 夏佳钰,樊胜根,丁心悦,等. 中国可持续健康膳食发展思考[J]. 中国工程科学, 2023,25(4):120-127.
XIA Jiayu, FAN Shenggen, DING Xinyue, et al. Development of sustainable healthy diets in China [J]. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 2023,25(4):120-127. (in Chinese)