

引用格式:王灵恩,卢艺茹,李云云.农牧交错区食物供给特征及其生态足迹:以内蒙古呼伦贝尔市为例[J].资源科学,2026,48(3):654-665.[Wang L E, Lu Y R, Li Y Y. Food supply characteristics and ecological footprint in agro-pastoral ecotone: A case study of Hulunbuir City, Inner Mongolia[J]. Resources Science, 2026, 48(3): 654-665.] DOI: 10.18402/resci.2026.03.11

农牧交错区食物供给特征及其生态足迹 ——以内蒙古呼伦贝尔市为例

王灵恩¹, 卢艺茹^{1,2}, 李云云¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:【目的】农牧交错区生态环境敏感,食物供给多元复杂,厘清其食物供给格局及资源环境效应,对保障区域食品安全具有重要意义。【方法】以内蒙古呼伦贝尔市海拉尔区、满洲里市与额尔古纳市为案例地,基于2023年实地调研获取的上年度食物来源数据,结合统计资料与文献数据,定量核算该区域食物供给量及调入调出量,解析食物供给空间格局,并运用生态足迹指标评估食物双向流动所引致的资源环境代价。【结果】①案例地2022年食物供给总量为49.48万t,以植物性食物为主(82.45%),整体呈现“粮奶自给有余、果蔬自给不足”的结构特征。②食物供给呈现内外双向流动格局,本地食物供给占比仅15.21%,高度依赖黑龙江、山东、辽宁三省。③案例地食物供给生态足迹总量达31.60万hm²,相当于三地耕地面积的1.55倍,动物性食物占比67.95%,其贡献的耕地足迹达59.39%,揭示了“以粮换肉”的资源转化特征。④生态足迹以本地为主(56.50%),调出转移特征显著,调出足迹是调入的4.79倍,案例地是生态足迹“净输出区”,用地类型与半农半牧生产特征相符。【结论】农牧交错区食物供给存在明显的结构性错配与资源环境成本空间转移特征,建议提升本地果蔬供给能力、拓展多元化供给渠道、推动供应链绿色化转型,以保障区域食物系统的可持续与稳定供给。

关键词:食物供给;生态足迹;定量核算;农牧交错区;内蒙古呼伦贝尔市

DOI: 10.18402/resci.2026.03.11

1 引言

农牧交错区作为农业和牧业的过渡地带,是农牧系统交错互动的最前沿,食物供需关系复杂且环境敏感性突出^[1]。自20世纪末以来,该区域持续推进退耕还林还草等生态建设工程,显著提升了区域生态系统服务功能,也改变了土地利用结构与农业生产方式^[2,3]。在此背景下,叠加城镇化与农业现代化的驱动,农牧交错区食物供给格局发生深刻变化,逐渐由传统的区域自给模式转向内外双向流动模式。一方面,作为重要的农牧业生产基地,本地粮食、畜产品需外调以满足全国市场需求^[4];另一方面,伴随居民消费结构升级,多样化的食物消费需求促使外地生鲜果蔬、加工食品持续流入本区域^[5]。

这种生产与消费的空间分离,使得食物供给的资源环境成本难以准确归因,也给区域可持续发展带来新的挑战。因此,系统揭示农牧交错区食物供给的空间格局及其资源环境代价,对明确区域功能定位、提升供给系统可持续性具有重要现实意义。

目前,食物供给相关研究多从农业生产视角展开,主要关注生产潜力和能力^[6,7]、时空格局演变^[8,9]、供需平衡关系^[10,11]及其影响因素^[12,13],以及粮食安全保障^[14,15]等方面。近年来,学者逐渐关注食物资源的跨区域供给,并探讨其对土地资源^[16]、水资源^[17]等要素投入的影响,以及碳排放^[18]、氮循环^[19]等环境效应。然而,上述研究多基于大尺度的宏观统计数据,难以揭示特定区域内食物供给的空

收稿日期:2024-09-27;修订日期:2026-02-28

基金项目:国家自然科学基金项目(42301343;42171288);中组部万人计划青年拔尖人才项目

作者简介:王灵恩,男,山东沂南人,博士,研究员,博士生导师,研究方向为可持续消费。E-mail: wangle@igsrr.ac.cn

通讯作者:李云云,女,安徽芜湖人,博士,副研究员,硕士生导师,研究方向为食物浪费与可持续消费。E-mail: liyun@igsrr.ac.cn

2026年3月

间依赖格局及其资源环境代价。生态足迹由 William^[20]于20世纪90年代提出,用于核算维持资源消费和消纳废弃物所需的生物生产性土地面积,可将不同资源消费统一折算为可比土地面积,为评估人类活动环境压力提供了量化工具。在食物供给研究中,该指标被广泛应用于核算跨区域食物流动所引致的土地资源需求^[21,22],其优势在于能追踪本地消费对外部土地的占用,以及本地生产供应外部消费的资源代价。

聚焦农牧交错区,现有研究多集中于粮食安全评估^[15,23]和农业生产的资源环境效应^[24,25];近年来,也有学者开始从消费端切入,探讨农牧民食物消费结构及其变化特征^[5]。然而,既有研究多聚焦于生产端或消费端的单一环节,鲜有从食物供给系统视角出发,将生产、流动与消费纳入统一分析框架,系统解析农牧交错区的食物流动格局及其环境影响。此外,现有研究多依赖宏观统计数据与模型模拟^[26],缺乏基于微观实证的细致刻画,难以精准揭示食物供给特征及跨区域的环境影响。农牧交错区的食物供给呈现何种特征?形成了怎样的空间依赖格局?食物调入与调出分别承载了怎样的资源环境代价?准确回答这些问题,是理解和优化区域食物系统可持续性的关键,也是当前资源科学研究亟待深入的重要方向。

鉴于此,本文以内蒙古呼伦贝尔市海拉尔区、满洲里市(含扎赉诺尔区)与额尔古纳市为案例地,三地分别承担批发集散、区域流通与农牧生产功能,能够系统反映农牧交错区食物供给的多元特征。通过对5个代表性农贸市场的实地调研,获取2022年不同种类食物的来源地信息及供给比例等一手数据。综合考虑游客和居民两大消费群体,从食物供给量与结构、调入调出量及供应地空间分布等方面,系统剖析案例地2022年的食物供给特征。在此基础上,运用生态足迹方法定量评估其资源环境影响,并解析生态足迹的构成与空间特征。本文从供应链视角,依托实地调查数据揭示农牧交错区食物供给模式,重点阐明区域农产品生产与实际食物供给的结构错位,以期弥补当前微观实证研究的不足,并为理解食物资源跨区域流动的环境效应提供案例证据。研究结果可为农牧交错区资源合理利用、区域食物安全保障提供科学参考,并为构建

多元化、可持续的食物供给体系提供现实依据。

2 案例区概况

呼伦贝尔市地处内蒙古自治区东北部,东邻黑龙江省,西、北分别与蒙古国、俄罗斯接壤(图1)。大兴安岭以东北-西南走向贯穿全境,形成“岭西以草原畜牧业为主、岭东以种植业为主”的农牧经济格局^[27],草原与森林的过渡地带则属于典型的农牧交错区。2022年,全市常住人口219.07万人,地区生产总值(1536.02亿元)占全国GDP的0.13%^[28]。全市土地总面积约25.3万km²,涵盖森林、草原、湿地、湖泊与河流等多种生态类型,构成了我国规模最大、最为完整的生态系统之一,是重要的自然生态屏障。全市草原面积671.67万hm²,耕地面积211.64万hm²,形成农牧并存的土地利用与农业生产格局。种植业以小麦、大豆、玉米等粮食作物为主,主要分布于岭东及山麓地带;畜牧业以牛、羊为主,依托岭西天然草场发展草原畜牧业。由于地处高纬度地区,冬季漫长寒冷,无霜期短,本地蔬菜、水果等农产品的生产季节性强,冬春季节自给能力有限,对区外食物供给存在较强的结构性依赖。作为重要的商品粮基地和畜产品生产基地,农牧业不仅是呼伦贝尔的经济支柱,也深刻影响着居民的食物消费结构,整体呈现口味偏油偏咸、肉类消费较

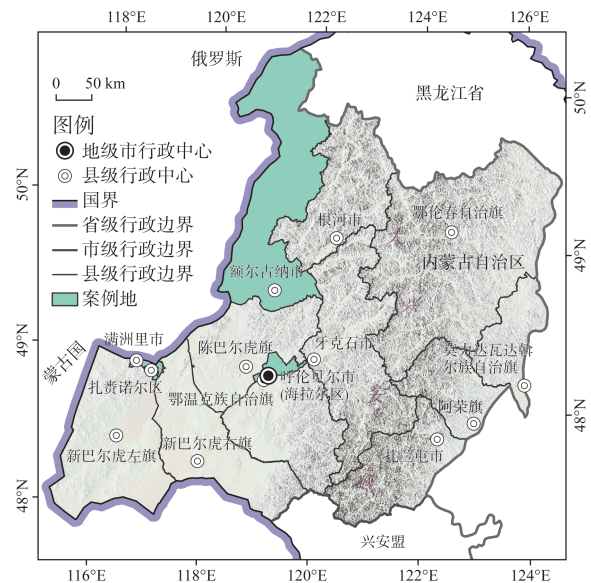


图1 案例地理位置图

Figure 1 Location map of case sites

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1823号标准地图制作,底图边界无修改。

高且以牛羊肉为主的特点^[29]。

3 研究设计、数据收集与研究方法

3.1 研究设计与界定

本文基于统计年鉴中的城乡居民食物消费数据、农产品生产数据,以及农产品流通销售环节的实地调研数据,系统刻画案例地的食物供给特征,并运用生态足迹指标评估其资源环境代价,解析调入与调出双向流动所形成的生态足迹缺口。具体研究设计如下:①食物供给量核算与分析:基于居民人均食物消费量、在外就餐比例、游客量及供应链食物损耗率等数据,核算案例地食物供给总量;结合农产品生产数据与食物来源信息,分别核算本地调出量和外地调入量,从数量结构与空间分布解析食物流动特征。②生态足迹核算与分析:依据文献参数和食物供给量,核算生态足迹总量,并进一步区分调入部分生态足迹(即本地消费对外部土地资源的占用)和调出部分生态足迹(即本地生产为外部消费所付出的土地资源代价),据此识别区域食物供给的生态足迹缺口,分析生态足迹的构成与空间分布特征(图2)。

在研究对象界定上,本文将食物消费群体分为居民与游客两类。其中,居民进一步区分为城镇居民和农村居民,以反映城乡消费差异。居民食物消费包括家庭消费与在外就餐两部分,本文假设二者消费水平一致,并依据在外就餐比例将家庭食物消费量折算为包含家庭与在外就餐的总消费量。研究涵盖粮食、蔬菜、水果、食用油、肉类(猪肉、牛羊肉和禽肉)、蛋类、奶类和水产品共8类食物;其中,粮食、蔬菜、水果和食用油归为植物性食物,其余为动物性食物。

3.2 调研与数据收集

本文通过实地调研案例地农贸市场,采用半结构化问卷访谈方法,收集各类食物的主要供应地及其比例数据。调研工作于2023年3月10日至13日开展,涵盖海拉尔区万家惠农贸市场和华鸿农贸市场、满洲里市宇豪农贸批发市场(原广达农贸市场)、扎赉诺尔区扎区批发市场和额尔古纳市哈撒尔农贸市场,共5个农贸市场。通过对各市场内主要食物批发商户进行深入访谈,获取其主营品种的进货地、进货量及相应比例信息。所选市场均为当地规模最大、交易最集中的批发枢纽,能够反映区

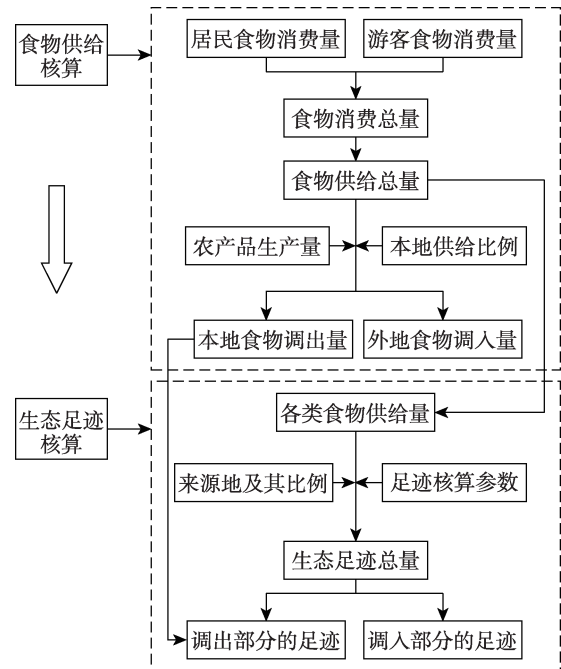


图2 研究设计示意图

Figure 2 Schematic diagram of research design

域食物供给的整体空间格局。其中,万家惠农贸市场作为呼伦贝尔岭西地区规模最大的农贸批发集散地,承担中心城区及周边旗县的果蔬中转功能,区域代表性较强。在数据折算方面,本文以各类食物进货量为权重,对不同市场和商铺的访谈数据进行加权计算,得到案例地8类食物的供应地及其比例(表1)。

核算食物供给量所需的数据来源如下:各类食物损耗率取自已有研究成果^[30];人口与农产品生产数据来源于《呼伦贝尔统计年鉴2023》;游客量数据来自案例地国民经济和社会发展统计公报;主要客源地及其游客比例来源于《呼伦贝尔市草原旅游发展规划(2020—2030年)》;人均食物消费量数据来源于《内蒙古统计年鉴2023》《内蒙古调查年鉴2023》及客源地各省统计年鉴;居民在外就餐比例数据来源于中国健康与营养调查(China Health and Nutrition Survey)^[31]和中国居民营养与健康状况监测^[32];各类食物的本地供给比例则通过实地调研获取。生态足迹核算所需参数来源如下:农产品生产力基于各省统计年鉴数据计算,均衡因子采用省级尺度参数^[33];农产品折算系数^[34]、耗粮系数^[35]、折草地系数^[36]等生态足迹核算参数取自文献;综合碳折算系数基于中国产品全生命周期温室气体排放系

表1 各类食物供应地及其比例

Table 1 Food supply sources and their proportions

食物种类	主要供应地(比例/%)	用地类型
粮食	黑龙江(56.05)、山东(28.45)、河北(8.84)、本地(6.66)	耕地、能源用地
蔬菜	山东(43.24)、辽宁(41.18)、黑龙江(10.58)、本地(5.00)	耕地、能源用地
水果	辽宁(44.04)、北京(25.92)、山东(13.35)、河北(10.68)、广西(6.01)	林地、能源用地
食用油	吉林(37.64)、黑龙江(35.86)、山东(17.41)、本地(6.57)、河北(2.52)	耕地、能源用地
猪肉	黑龙江(50.30)、本地(39.71)、辽宁(9.99)	耕地、能源用地
牛羊肉	本地(100.00)	草地、耕地、能源用地
禽肉	黑龙江(60.68)、本地(39.32)	耕地、能源用地
蛋类	本地(51.02)、黑龙江(48.98)	耕地、能源用地
奶类	本地(100.00)	草地、耕地、能源用地
水产品	辽宁(57.83)、黑龙江(31.89)、本地(7.12)、山东(3.16)	水域、耕地、能源用地

注:表中“本地”指呼伦贝尔。下同。表中“能源用地”指为吸收化石能源消费产生的二氧化碳所需生物生产性土地面积。

数库^[37]及已有研究整理^[38](表2)。

3.3 研究方法

3.3.1 食物供给量核算

基于物质流分析理论,考虑食物在供应链中的损耗,由案例地食物消费总量折算食物供给总量。鉴于游客在目的地停留时间足够长时其食物消费会回归日常模式^[39],且呼伦贝尔游客平均停留时间较长^[40],故本文假设游客食物消费结构与客源地家庭一致。具体计算公式如下:

$$FS = FC / (1 - L) \quad (1)$$

$$FC = \sum_{i=1}^8 PFC_i^R \times N^R / (1 - P^R) + \sum_{i=1}^8 PFC_i^T \times D \times N^T \quad (2)$$

式中:FS为食物供给总量(t);FC为消费总量(t);L

为供应链(包括农业生产、产后处理、贮藏、加工和运输)各环节食物总损耗率(%). i 为不同的食物种类($i=1, 2, 3, \dots, 8$,分别代表粮食、蔬菜、水果、食用油、肉类、蛋类、奶类、水产品); PFC_i^R 为居民(包括城镇居民和农村居民)人均每年第*i*种食物消费量(kg); N^R 为居民人口数(人); P^R 为居民在外就餐比例(%). PFC_i^T 为游客人均每日第*i*种食物消费量(kg),取自主要客源地居民人均消费量的加权平均值; D 为游客平均停留天数(天); N^T 为案例地总游客量(人次)。

食物调出量为本地生产量与本地供给量的差值,调入量则为供给总量中来源于外地的部分。具体计算公式如下:

$$FE = \sum_{i=1}^8 FP_i - FS_i \times W_i \quad (3)$$

表2 各类食物的生态足迹核算参数

Table 2 Ecological footprint accounting parameters for various food categories

食物种类	农产品	农产品折算系数/(kg/kg)	耗粮系数/(kg/kg)	折草地系数/(kg/hm ²)	来自放牧系统的比例/%	综合碳折算系数/(kg/kg)
粮食	原粮	1.51	—	—	—	1.20
蔬菜	蔬菜	1.50	—	—	—	0.10
水果	水果	1.20	—	—	—	0.18
食用油	油料作物	3.33	—	—	—	4.25
猪肉	出栏肉猪	1.63	2.76	—	—	4.36
牛肉	出栏肉牛	2.11	3.60	128.60	14.00	5.01
羊肉	出栏肉羊	2.25	2.30	69.40	35.00	5.01
禽肉	出栏肉禽	1.49	2.18	—	—	3.69
蛋类	鲜蛋	1.18	2.00	—	—	3.31
奶类	原奶	1.05	0.30	830.80	26.00	1.56
水产品	水产品	1.28	2.00	—	—	2.68

$$FI = \sum_{i=1}^8 FS_i \times (1 - W_i) \quad (4)$$

式中: FE 为食物调出总量(t); FP_i 为第 i 种食物生产量(t); FS_i 为第 i 种食物的供给量; W_i 为第 i 种食物由本地供应的比例(%); FI 为食物调入总量(t)。

3.3.2 生态足迹核算

生态足迹由直接生态足迹与间接生态足迹两部分构成。直接生态足迹指将各类食物供给量折算为所需的生产性土地面积(包括耕地、草地、林地和水域),间接生态足迹(能源用地)则采用碳折算系数法,计算吸收食物供应过程中消耗能源而排放的二氧化碳所需的生产性土地面积。具体计算公式如下^[41]:

$$EF = EF^{\text{dir}} + EF^{\text{ind}} \quad (5)$$

$$EF^{\text{dir}} = \sum_{i=1}^8 \sum_{m=1}^8 r_{im} \times FS_{im} \times f_i \times \left[\alpha_i \times (1 - \beta_i) / P_{im} + \beta_i / \delta_i \right] \quad (6)$$

$$EF^{\text{ind}} = \sum_{i=1}^8 \sum_{m=1}^8 r_{im} \times FS_{im} \times TC_i / C \quad (7)$$

式中: EF 为生态足迹总量(hm^2); EF^{dir} 与 EF^{ind} 分别为直接与间接生态足迹(hm^2)。 r_{im} 代表第 i 种食物在 m 供应地对应生产性土地的均衡因子; f_i 为农产品折算系数(kg/kg); α_i 为动物性食物的耗粮系数(kg/kg); β_i 为牛羊肉和奶类来自放牧系统的比例(%); P_{im} 为农产品平均生产力(kg/hm^2)。其中,植物性食物的平均生产力为对应农产品的单位面积产量;动物性食物的平均生产力,通过耗粮系数将

其供给量折算为对应粮食量,再除以粮食播种面积获得。除粮食消耗外,牛羊放牧还需消耗牧草。因此,牛羊肉与奶类的生态足迹还包含放牧所需的草地部分,该部分基于折草地系数 δ_i (kg/hm^2) 计算得到。水产品的直接生态足迹包括饲料粮种植所需的耕地和养殖占用的水域两部分。此外, TC_i 为综合碳折算系数(kg/kg); C 为每公顷生产性土地的年均碳吸收能力(kg/hm^2)。

4 结果与分析

4.1 食物供给特征

4.1.1 食物供给总量与结构

案例地食物供给结构呈现植物性食物主导、粮食占比最高的特征。2022年,案例地食物供给总量为49.48万t,其中植物性食物占比高达82.45%,约为动物性食物的4.70倍;各类食物中,粮食供给量最高(21.06万t,42.56%),其次是蔬菜(12.10万t,24.46%)和水果(6.99万t,14.12%)(表3、图3a)。动物性食物占比17.55%,以肉类和奶类为主,二者合计占动物性食物供给总量的69.07%,反映出案例地居民肉、奶消费较高的饮食特征,与呼伦贝尔作为重要畜牧业基地的生产优势密切相关。

进一步对比生产结构发现,案例地存在明显的生产与供给错位。案例地食物总产量为78.31万t,粮食(37.51万t)和奶类(28.90万t)产量最高,分别占比47.90%和36.90%,均明显高于其供给量;而蔬菜、水果的生产量相对有限,需依赖外地调入(图3a)。案例地牛羊肉产量较低,主要因其并非呼伦贝

表3 各类食物供给量及生态足迹

Table 3 Food supply quantities and ecological footprints of various food categories

食物大类	食物种类	供给量/万t	供给量占比/%	生态足迹/万 hm^2	生态足迹占比/%
植物性食物	粮食	21.06	42.56	7.30	23.10
	蔬菜	12.10	24.46	0.73	2.32
	水果	6.99	14.12	0.59	1.88
	食用油	0.65	1.31	1.50	4.75
	总计	40.80	82.45	10.12	32.05
动物性食物	奶类	2.40	4.85	2.28	7.21
	猪肉	2.09	4.22	5.05	15.97
	蛋类	1.79	3.62	3.02	9.57
	牛羊肉	1.11	2.25	9.16	28.97
	水产品	0.90	1.81	1.22	3.87
	禽肉	0.39	0.79	0.75	2.36
	总计	8.68	17.55	21.48	67.95

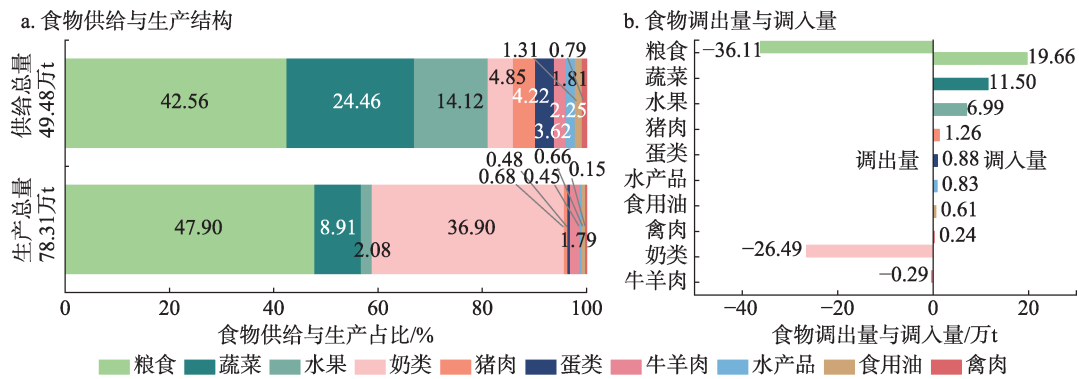


图3 食物供给与生产结构、调出量与调入量

Figure 3 Structure of food supply and production, and quantities of outflows and inflows

尔传统牧业旗县,且行政面积较小、农牧业生产空间有限,使得牛羊肉生产仅能支撑本地消费需求。这种“粮奶自给有余、果蔬自给不足”的结构特征,是农牧交错区专业化生产与多样化消费需求之间矛盾的典型体现。

从食物流动格局来看,案例地食物供给呈现“粮奶外输、果蔬内调”的双向流动格局。粮食和奶类是主要的输出种类,调出量分别达36.11万t和26.49万t,与呼伦贝尔作为国家重要商品粮基地和畜产品生产基地的功能定位相吻合(图3b)。值得注意的是,粮食虽在总量上呈现净调出,但本地供给的粮食中仍有相当部分(19.66万t)来自外地调入。这一现象并非源于本地供给不足,而是反映了消费者对特定品种、口感及品牌偏好的选择,说明即便本地粮食生产能够自给自足,消费需求的多样化仍促使特定品类发生跨区域流动。此外,蔬菜、水

果的调入量最为突出,分别达11.50万t和6.99万t,主要受制于高寒地区冬春季节漫长的自然条件,本地农业生产难以实现全年稳定供给;食用油、猪肉、禽肉、蛋类、水产品也存在不同程度的调入。

4.1.2 食物供应地空间分布

案例地食物供给呈现对黑龙江、山东和辽宁三省的高度依赖格局,本地供给比例仅为15.21%。黑龙江(15.77万t,31.87%)、山东(12.30万t,24.85%)和辽宁(8.79万t,17.76%)三省共同贡献了案例地74.48%的食物供给量,构成其主要的外部供给来源(图4a)。这种高度集中的供给格局,是地理邻近与市场选择共同作用的结果,反映了案例地与邻近农业大省之间长期形成的区域分工与稳定的物流通道。

各省供给角色具有明显差异,中转枢纽在食物供应链中发挥重要作用。各供应地的供给品类与

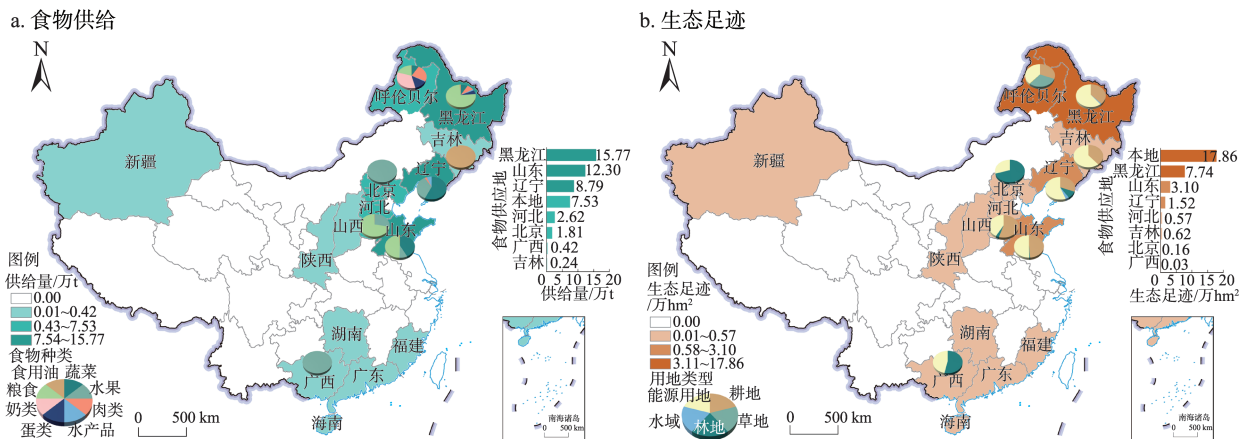


图4 食物供给及生态足迹空间分布

Figure 4 Spatial distribution of food supply and ecological footprints

注:该图基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1823号标准地图制作,底图边界无修改。

当地农业生产优势和市场枢纽地位紧密相关。作为产粮大省,黑龙江是粮食、猪肉、禽肉和蛋类的核心供应地。实地访谈显示,来自该省的食物绝大多数经由齐齐哈尔中转后流入本地,齐齐哈尔在供应链中承担着区域集散枢纽的功能。山东主要供给蔬菜、粮食和水果,其中蔬菜供应多集中于全国性集散中心的寿光市(“中国蔬菜之乡”),体现了集散地在全国供应链中的核心作用。辽宁主要提供蔬菜、水果和水产品,沈阳和大连是区域内重要的果蔬中转批发地;同时辽宁也是重要的渔业生产基地。此外,案例地部分水果直接来自原产地,其来源地较其他食物更为多元和分散,包括广西、海南、新疆、陕西等省(区)。由此可见,案例地食物供给呈现原产地和集散地相结合的模式,区域集散枢纽在保障食物稳定供给中发挥着关键作用。

4.2 食物供给生态足迹

4.2.1 生态足迹总量与构成

从规模与构成看,案例地食物供给生态足迹总量为 31.60 万 hm^2 ,相当于三地耕地面积(20.38 万 hm^2)的 1.55 倍^[42],呈现明显的动物性主导特征(表 3)。剔除游客消费后,案例地居民人均食物供给生态足迹为 0.47 hm^2 。足迹结构上,动物性食物占比 67.95%,其生态足迹总量(21.48 万 hm^2)是植物性食物(10.13 万 hm^2)的 2.12 倍。其中,肉类贡献了 14.95 万 hm^2 ,与奶类合计占足迹总量的 54.51%。这一方面反映了案例地居民以肉、奶为主的饮食结构对资源的高强度占用,另一方面也揭示了动物性食物供应在资源消耗上的显著影响。肉类中,牛羊肉生态足迹最高(9.16 万 hm^2 , 28.97%),其次为猪肉(5.05 万 hm^2 , 15.97%)。植物性食物生态足迹中,粮食占主导地位(7.30 万 hm^2),水果和蔬菜足迹最低。

从用地类型看,能源用地与耕地是生态足迹的主要类型,动物性供给通过饲料粮转化对耕地形成显著压力。间接生态足迹(能源用地)为 14.67 万 hm^2 ,占总量的 46.41%(图 5),主要来源于食品加工、包装、运输、冷藏等供应链环节的能源消耗,揭示了农牧交错区食物供给在“生产与消费空间分离”格局下的隐性资源成本。直接生态足迹中,耕地(11.09 万 hm^2)占比高达 65.47%,是草地足迹的 2.08 倍,表明耕地资源仍是支撑区域食物供给的核心要素。值得关注的是,耕地足迹中 59.39%来源于动物

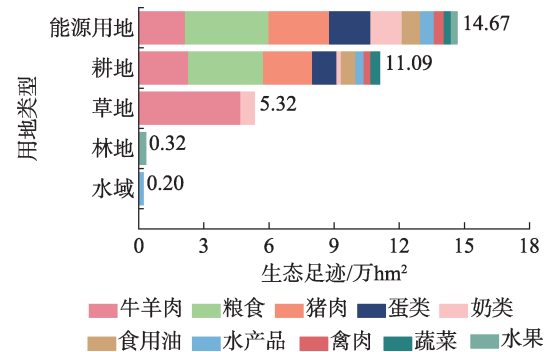


图5 不同用地类型生态足迹及各类食物贡献

Figure 5 Ecological footprints of different land use types and contributions of various food categories

性食物,其中猪肉(20.36%)和牛羊肉(20.75%)合计贡献 41.11%,这主要源于动物养殖对饲料粮的需求,反映了居民肉类消费通过饲料转化间接占用耕地资源,揭示了动物性食物供给“以粮换肉”的资源转化特征。草地生态足迹为 5.32 万 hm^2 ,占总量的 16.85%,主要用于支撑牛羊肉和奶类的生产;林地(0.32 万 hm^2)和水域(0.20 万 hm^2)生态足迹较低,分别占总量的 1.02%和 0.64%。

4.2.2 生态足迹空间分布

从空间分布来看,案例地生态足迹呈现本地贡献主导、调出远大于调入的特征。2022年,本地生态足迹(17.86 万 hm^2)占总量的 56.50%(图 4b),本地食物生产活动是生态足迹的主要来源。外地调入足迹高度集中于黑龙江、山东、辽宁三省,合计占外地调入生态足迹的 89.93%,其中仅黑龙江就贡献 56.30%,反映出消费端对少数关键供应地土地资源的高度依赖。本地调出足迹高达 65.90 万 hm^2 ,是调入足迹的 4.79 倍,表明本地生产的粮食、奶类等优势产品在满足本地需求后大量输出至外地市场,承担着服务区域外消费的功能。这一格局揭示了案例地在区域食物供给中的功能定位——既是重要的农牧产品生产基地,也是生态足迹“净输出区”。

从足迹构成来看,不同来源地的生态足迹用地类型与其供给功能高度吻合。本地贡献的生态足迹中,能源用地(38.67%)、耕地(31.21%)和草地(29.82%)占比较为均衡(图 4b),这一结构反映了农牧交错区“半农半牧、农牧互补”的生产特征:耕地承载粮食种植与饲料粮生产,草地支撑牛羊肉和奶类供给。来自黑龙江的生态足迹为外地中最高

2026年3月

(7.74万 hm^2),用地类型以耕地和能源用地为主,与其作为粮食核心供应地的功能定位相符。山东生态足迹次之(3.10万 hm^2),同样以耕地和能源用地为主,体现了其作为全国性蔬菜、粮食生产基地的功能。辽宁和河北足迹贡献较低,构成以耕地和能源用地为主,在供给角色上更多体现为对邻近区域粮食、蔬菜市场的补充。此外,两地因供给水果,林地亦占有一定比例。北京、广西等地的足迹也较低,且以林地、能源用地为主,与其作为水果来源地的定位一致。整体上,生态足迹的用地类型构成反映了不同来源地的核心供给功能,说明食物跨区域流动背后伴随着相应土地资源的隐性转移。

5 讨论

案例地植物性食物供给量为动物性食物的4.7倍,低于呼伦贝尔牧区居民家庭食物消费(2.3倍)^[29]。这一差异主要源于两方面:一是呼伦贝尔牧区居民家庭肉类消费比例显著高于当地非牧区居民;二是植物性食物(尤其是蔬菜和水果)在供应链中损耗率较高,导致其实际消费量低于供给量。相比之下,山东省农村家庭植物性食物消费量超过动物性食物7倍^[43],案例地植物性食物的供给占比明显偏低,反映了呼伦贝尔作为重要畜产品生产基地,其饮食结构与传统农区存在明显差异。案例地居民人均生态足迹(0.47 hm^2)高于西部居民整体水平(2021年,0.43 hm^2)^[44],但低于青藏高原“一江两河”农区居民(2018年,0.53 hm^2)^[35]和长江经济带居民(2022年,0.83 hm^2)^[41]。尽管各研究在系统边界、数据来源、核算方法及参数选取等方面存在差异,但本文结果在量级上与既有研究一致,支撑了核算结果的合理性与可靠性。

案例地食物供给呈现显著的季节性波动特征,主要体现在供给来源的季节性转换与需求波动的季节性叠加两个方面。从供给端看,受高寒气候制约,本土蔬菜、水果生产品种相对单一,且产出集中在夏秋季节,难以实现全年稳定供给。调研显示,额尔古纳市冬春季的蔬菜主要从海拉尔区调入,而夏秋季节本地大棚蔬菜供给占比可超过60%,反映出本地供给能力在季节间的显著差异。从需求端看,呼伦贝尔作为典型旅游目的地,旅游活动集中于第三季度,该季度旅游接待人数约占全年一半以上^[45],由此带来的食物需求亦呈现显著的季节

波动。

为揭示变化趋势,本文在假设食物供应链损耗率与生态足迹核算参数保持不变的条件下,核算案例地2000—2022年食物供给量与生态足迹。结果表明,在此期间,案例地食物供给与生态足迹均呈现“总量与动物性食物比重双增”的特征。食物供给总量增长77.06%,其中动物性食物占比由11.31%增至17.55%;生态足迹总量增长68.27%,动物性食物增长1.41倍,其占比反超植物性食物。旅游活动已成为影响案例地食物供给系统及其资源环境效应的重要因素。2000—2022年,游客食物供给总量及其生态足迹均呈现先快速上升、后回落的变化趋势。截至2019年,案例地游客食物供给量较2000年增长29.42倍,占食物供给总量的比例由0.57%上升至8.63%;游客食物供给带来的额外生态足迹最高可达案例地总量的11.06%,较2000年增长27.44倍。随着旅游业快速复苏与持续发展,游客食物供给的生态足迹预计将进一步增加。

本文仍存在以下局限,有待后续研究完善。一是食物来源地信息尚未完全追溯至原产地。实地调研发现,部分食物经由中转批发市场供应,未能获取其最初生产地信息,这可能使生态足迹的空间分配产生一定偏差。未来研究需加强对中转环节的追踪,通过对重点批发市场的深入调研来提高研究溯源精度。二是消费端数据获取方式仍存在细化空间。本文在核算食物消费量时,主要依据统计年鉴数据和家庭消费调研结果,未能充分考虑不同消费场景下可能发生的消费量及结构变化。后续研究可通过分场景的消费行为跟踪调研,更精确地刻画不同消费模式的需求特征,从而更准确地评估区域食物供给系统的资源环境效应。

6 结论与建议

6.1 结论

保障重要农产品稳定安全供给事关国计民生。本文以呼伦贝尔海拉尔区、满洲里市和额尔古纳市为案例地,基于实地调研与统计数据,系统剖析了2022年农牧交错区食物供给特征,定量核算了食物供给的生态足迹,分析了其构成与空间分布。主要结论如下:

(1)食物供给以植物性食物为主,本地生产与实际供给之间存在“粮奶自给有余、果蔬自给不足”

的结构性错位。2022年,案例地食物供给总量为49.48万t,其中植物性食物占据主导(82.45%),粮食供给量最高;动物性食物则以肉类和奶类为主。本地粮食和奶类的生产量显著高于供给量,而蔬菜、水果的生产量则明显不足,难以满足区域需求。

(2)食物供给呈现内外双向流动格局,空间上高度依赖少数关键供应地。本地食物供给占比仅15.21%,食物来源高度集中于黑龙江、山东和辽宁三省,合计贡献74.48%的食物供给量,其中粮食、蔬菜和水果调入量最为突出。案例地食物调出量合计达62.89万t,主要输出的品类是粮食和奶类,体现出其作为重要农牧业生产基地的区域功能。

(3)生态足迹以动物性食物贡献为主,能源用地与耕地足迹最高,呈现“以粮换肉”的资源转化特征。2022年,案例地食物供给生态足迹总量为31.60万hm²,相当于三地耕地面积的1.55倍,动物性食物占比67.95%。能源用地占比最高(46.41%),反映出食物供给的隐性资源成本;耕地足迹次之(20.36%),其中59.39%来源于动物性食物,揭示了动物性食物供给通过饲料粮转化对耕地形成的间接压力。

(4)生态足迹以本地为主,调出转移特征显著,用地类型与不同来源地的供给功能高度吻合。本地生态足迹占总量的56.50%,耕地、草地、能源用地均衡分布,与半农半牧特征相符。调出足迹(65.90万hm²)是调入足迹的4.79倍,表明案例地是生态足迹“净输出区”。外地调入足迹高度集中于黑龙江、山东、辽宁三省(合计占89.93%),以耕地和能源用地为主,与粮食、蔬菜核心产区定位一致。

6.2 建议

针对农牧交错区食物供给“粮奶自给有余、果蔬依赖外补”的供给特征与内外双向的流动格局,建议从提升本地果蔬供给能力、拓展多元化供给渠道、推动供应链绿色化转型3个方面协同发力,提升区域食物供给的稳定性与可持续性。

(1)优化本地生产结构,稳定果蔬供给能力。针对蔬菜、水果供给高度依赖外调的结构特征,应在保护生态的前提下,因地制宜发展设施农业,延长本地蔬菜、水果的供应周期;同时加强产地仓储保鲜能力建设,减少季节性波动对供给稳定性的影响,提升果蔬的自给保障水平。

(2)拓展多元化供给渠道,构建备用供应网络。针对调入食物高度集中于黑龙江、山东、辽宁三省的空间格局,应适度拓展备用来源,与华北、华东等主要农业产区建立稳定的产销合作关系,形成多源互补的供应格局;同时加强本地生鲜仓储与冷链物流能力建设,提升应对单一来源地因气候异常、物流中断等突发状况时的应急保障水平。

(3)降低食物供给的环境代价,推动供应链绿色化转型。针对动物性食物生态足迹高、间接足迹占比大的特征,应优化畜牧业养殖方式,提高饲料转化效率,减少饲料粮对耕地资源的间接压力;同时加强食品加工、包装、运输等环节的节能降耗,降低供应链能源消耗,减轻食物供给对生态环境的总体负担。

参考文献(References):

- [1] 程序. 中国北方农牧交错带生态系统的独特性及其治理开发的生态学原则[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1503-1506. [Cheng X. Unique ecosystem characters and ecological principles for development in the ecotones between agriculture and pasture in north China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(11): 1503-1506.]
- [2] 陶泽涪, 王世清, 孙丕苓, 等. 中国北方农牧交错带耕地时空分异及驱动因素[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 153-163. [Tao Z F, Wang S Q, Sun P L, et al. Spatio-temporal differentiation and driving factors of cropland in the agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 153-163.]
- [3] 孙丕苓, 曲琳, 刘庆果, 等. 中国北方农牧交错带生态退耕时空分异及驱动因素[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 943-954. [Sun P L, Qu L, Liu Q G, et al. Spatiotemporal differentiation characteristics and driving factors of ecological restoration in the agro-pastoral ecotone of northern China[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 943-954.]
- [4] 郝军, 吴晓光, 刘佳雨, 等. 生态文明背景下内蒙古耕地发展对策研究[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(12): 49-56. [Hao J, Wu X G, Liu J Y, et al. Countermeasures for cultivated land development in Inner Mongolia under the background of ecological civilization[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022, 36(12): 49-56.]
- [5] 刘业轩, 甄霖, 胡云锋. 北方农牧交错带农村居民食物消费特征[J]. 生态学报, 2023, 43(15): 6117-6130. [Liu Y X, Zhen L, Hu Y F. Food consumption characteristics of rural residents in the farming-pastoral ecotone in northern China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(15): 6117-6130.]
- [6] 董梁, 许铁敏, 徐广才. 全球谷物供需格局和增产潜力及我国粮食安全策略研究[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(10): 80-

2026年3月

85. [Dong L, Xu T M, Xu G C. Research on global grain supply and demand pattern and potential of increasing grain production and China's food security strategy[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2024, 45(10): 80-85.]
- [7] 王蕴璐, 王萍, 翟腾腾, 等. “两藏”战略下中国粮食主产区粮食综合生产潜力评估[J]. 资源科学, 2024, 46(12): 2367-2383. [Wang Y L, Wang P, Zhai T T, et al. Comprehensive grain production capacity in major grain producing areas of China under the “Grain Storage in Land and Technology” strategy[J]. Resources Science, 2024, 46(12): 2367-2383.]
- [8] 李欣宇, 方斌, 李怡, 等. 中国粮耕价值比与种植结构时空耦合演化及分区调控[J]. 地理学报, 2022, 77(11): 2721-2737. [Li X Y, Fang B, Li Y, et al. Spatio-temporal coupling evolution and zoning regulation of grain-to-arable value ratio and cropping structures in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(11): 2721-2737.]
- [9] 常晓东, 王士君, 孟欣杰, 等. 城镇化与气候变化背景下中国粮食生产的空间格局演变及其驱动因素[J]. 地理科学, 2025, 45(11): 2441-2453. [Chang X D, Wang S J, Meng X J, et al. Spatial pattern evolution of China's grain production and driving factors under background of urbanization and climate change[J]. Geographical Science, 2025, 45(11): 2441-2453.]
- [10] 金万富, 张国俊, 高军波. 中国粮食产量、供需关系时空格局及影响因素[J]. 地理科学, 2025, 45(12): 2650-2661. [Jin W F, Zhang G J, Gao J B. Spatio-temporal patterns and influencing factors of grain output and supply-demand relationships in China[J]. Geographical Science, 2025, 45(12): 2650-2661.]
- [11] 刘正佳, 钟会民, 李裕瑞, 等. 近20年中国粮食生产变化特征及其对区域粮食供需格局的影响[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1413-1425. [Liu Z J, Zhong H M, Li Y R, et al. Change in grain production in China and its impacts on spatial supply and demand distributions in recent two decades[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1413-1425.]
- [12] Hou M Y, Deng Y J, Yao S B. Coordinated relationship between urbanization and grain production in China: Degree measurement, spatial differentiation and its factors detection[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129957.
- [13] 卢召艳, 黎红梅. 中国农业“水-能源-粮食”系统协同发展及其影响因素[J]. 经济地理, 2024, 44(12): 177-186, 227. [Lu Z Y, Li H M. Coordination development of “Water-Energy-Food” system in China's agriculture and its influencing factors[J]. Economic Geography, 2024, 44(12): 177-186, 227.]
- [14] Bentham J, Singh G M, Danaei G, et al. Multidimensional characterization of global food supply from 1961 to 2013[J]. Nature Food, 2020, 1(1): 70-75.
- [15] 孔德明, 郝丽莎, 夏四友, 等. 粮食单产视角下中国北方农牧交错带粮食安全研究[J]. 干旱区地理, 2023, 46(5): 782-792. [Kong D M, Hao L S, Xia S Y, et al. Food security in the argo-pastoral ecotone of northern China from the perspective of grain yield [J]. Arid Land Geography, 2023, 46(5): 782-792.]
- [16] Luo L, Xing Z C, Chu B W, et al. Virtual land trade and associated risks to food security in China[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2024, DOI: 10.1016/j.eiar.2024.107461.
- [17] 张泽琳, 周霞, 周玉玺. 黄河下游水资源承载力与粮食生产韧性时空耦合及驱动因素[J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 412-420, 431. [Zhang Z L, Zhou X, Zhou Y X. Spatiotemporal coupling and driving factors of water resources carrying capacity and grain production resilience in the lower reaches of Yellow River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 412-420, 431.]
- [18] Yang X, Fan Y X, Yao Y J, et al. Temporal and spatial variations of land carbon loss caused by animal-sourced foods consumption in China and the driving factors[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2024, DOI: 10.1016/j.eiar.2024.107644.
- [19] Wang J M, Liu Q, Hou Y, et al. Impacts of international food and feed trade on nitrogen balances and nitrogen use efficiencies of food systems[J]. Science of the Total Environment, 2022, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156151.
- [20] William R. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out?[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121-130.
- [21] 郑皓洋, 黄颖利. 基于开放三维生态足迹的中国黑土区耕地可持续利用分析与评价[J]. 资源科学, 2024, 46(5): 1018-1031. [Zheng H Y, Huang Y L. Analysis and evaluation of sustainable utilization of cultivated land in China's black soil region based on open three-dimensional ecological footprint[J]. Resources Science, 2024, 46(5): 1018-1031.]
- [22] Kong F Z, Cui W L, Bao S W. Dynamic changes and sustainability assessment of food consumption footprint in megacities: A comparative analysis from four Chinese municipalities[J]. Sustainable Cities and Society, 2025, DOI: 10.1016/j.scs.2025.106433.
- [23] 高树琴, 段瑞, 王竑晟, 等. 北方农牧交错带在保障国家大粮食安全中发挥重要作用[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(6): 643-651. [Gao S Q, Duan R, Wang H S, et al. Farming-pastoral ecotone of northern China plays important role in ensuring national food security[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(6): 643-651.]
- [24] 丁珂, 任亮. 减碳视角下北方农牧交错带农业结构调整法治体系构建[J]. 草地学报, 2025, 33(5): 1557-1566. [Ding D, Ren L. Construction of the rule of law system for the adjustment of agricultural structure in the northern farming-pastoral ecotone from the perspective of carbon reduction[J]. Acta Agrestia Sinica, 2025, 33(5): 1557-1566.]
- [25] Zhang C, Zhou L H, Li J H, et al. Impact of urbanization and planting structure on water footprint of food, cash, and feed crops in China's northern agro-pastoral ecotone[J]. Journal of Cleaner Production, 2024, DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.144183.
- [26] 曹浩然, 孟梅. 北方农牧交错带耕地压力时空演变规律及预测[J]. 水土保持通报, 2024, 44(4): 394-404. [Cao H R, Meng M.

- Spatio-temporal evolution of cultivated land pressure and its countermeasures in northern agro-pastoral ecotone in China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024, 44(4): 394-404.]
- [27] 呼伦贝尔市人民政府. 呼伦贝尔概况[EB/OL]. (2024-03-19) [2025-05-26]. <https://www.hlbe.gov.cn/News/show/176355.html>. [Hulunbuir Municipal People's Government. Overview of Hulunbuir[EB/OL]. (2024-03-19)[2025-05-26]. <https://www.hlbe.gov.cn/News/show/176355.html>.]
- [28] 呼伦贝尔市人民政府. 呼伦贝尔市2022年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2023-04-03) [2025-09-10]. <http://www.hlbe.gov.cn/News/show/1057357.html>. [Hulunbuir Municipal People's Government. Hulunbuir City National Economic and Social Development Statistical Bulletin in 2022[EB/OL]. (2023-04-03) [2025-09-10]. <http://www.hlbe.gov.cn/News/show/1057357.html>.]
- [29] 王灵恩, 倪笑雯, 徐舒静, 等. 北方牧区居民家庭食物消费结构与特征研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(7): 1-13. [Wang L E, Ni X W, Xu S J, et al. Structure and characteristics of food consumption of herdsman households in northern China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(7): 1-13.]
- [30] 梅旭荣. 2022年中国食物与营养发展报告[R]. 北京: 中国农业科学院, 2022. [Mei X R. *China Food and Nutrition Development Report 2022*[R]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2022.]
- [31] Popkin B, Gordon-Larsen P, Du S F. China Health and Nutrition Survey[DS/OL]. <https://chns.cpc.unc.edu/>.
- [32] 公共卫生科学数据中心. 中国居民营养与健康状况监测[DS/OL]. <https://www.phsciencedata.cn/Share/index.jsp>. [Public Health Sciences Data Center. Nutrition and Health Status Monitoring of Chinese Residents[DS/OL]. <https://www.phsciencedata.cn/Share/index.jsp>.]
- [33] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J]. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(5): 401-406. [Liu M C, Li W H. Calculation of equivalence factor used in ecological footprint for China and its provinces based on net primary production[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2010, 26(5): 401-406.]
- [34] 曹淑艳, 谢高地, 陈文辉, 等. 中国主要农产品生产的生态足迹研究[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(8): 1336-1344. [Cao S Y, Xie G D, Chen W H, et al. Ecological footprint of raw and derived agricultural products[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(8): 1336-1344.]
- [35] 王灵恩, 李云云, 李佳洳, 等. 青藏高原“一江两河”农区居民家庭食物消费生态足迹核算[J]. *生态学报*, 2024, 44(17): 7476-7489. [Wang L E, Li Y Y, Li J R, et al. Evaluating ecological footprint of household food consumption in the rural area of Yarlung Zangbo River and its two tributaries on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(17): 7476-7489.]
- [36] 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 D D, Gao W S. Ecological footprint analysis of food consumption of Chinese rural households in the latest 30 years[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(8): 1738-1747.]
- [37] 蔡博峰, 陈彬, 陈绍晴, 等. 中国产品全生命周期温室气体排放系数库[DS/OL]. (2023-10-26) [2025-08-27]. <https://lca.cityghg.com>. [Cai B F, Chen B, Chen S Q, et al. China Products Carbon Footprint Factors Database[DS/OL]. (2023-10-26) [2025-08-27]. <https://lca.cityghg.com>.]
- [38] Han J Y, Qu J S, Maraseni T N, et al. Spatiotemporal analysis of the food-related carbon emissions of China: Regional heterogeneity and the urban-rural divide[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.122441.
- [39] Özdemir B, Seyitoğlu F. A conceptual study of gastronomical quests of tourists: Authenticity or safety and comfort?[J]. *Tourism Management Perspectives*, 2017, 23: 1-7.
- [40] 宋星星. 基于地理标记照片的呼伦贝尔-阿尔山旅游协作区游客时空行为调查研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2020. [Song X X. *The Study on Spatial and Temporal Behavior of Hulunbuir-Aershan Tourism Collaborative Zone Based on Geo-tagged Photos*[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2020.]
- [41] 孔凡振, 陈会广. 城乡居民食物消费生态足迹时空演变及多情景模拟: 以长江经济带为例[J]. *生态学报*, 2025, 45(16): 7869-7882. [Kong F Z, Chen H G. Spatial-temporal evolution and multi-scenario simulation of food consumption ecological footprint for urban and rural residents: A case study of the Yangtze River Economic Belt[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2025, 45(16): 7869-7882.]
- [42] 呼伦贝尔市统计局. 呼伦贝尔市统计年鉴2023[EB/OL]. (2023-12-12) [2025-07-07]. <http://tjj.hlbe.gov.cn/News/show/1165268.html>. [Hulunbuir City Bureau of Statistics. *The Hulunbuir City Statistical Yearbook 2023*[EB/OL]. (2023-12-12) [2025-07-07]. <http://tjj.hlbe.gov.cn/News/show/1165268.html>.]
- [43] 李云云, 王灵恩, 刘晓洁, 等. 基于入户跟踪调研的山东省农村居民家庭食物消费结构与特征研究[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(6): 978-991. [Li Y Y, Wang L E, Liu X J, et al. Structure and characteristics of food consumption of rural households in Shandong Province based on household tracking survey[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 978-991.]
- [44] 丁一珂. 中国居民食品消费的环境效应及其影响因素研究[D]. 济南: 山东大学, 2023. [Ding Y K. *Research on the Environmental Effects of Food Consumption and Their Influencing Factors in China*[D]. Jinan: Shandong University, 2023.]
- [45] 呼伦贝尔日报新闻舆情工作室. 呼伦贝尔文旅产业提标提质增效发展深度调研报告[R]. 内蒙古, 2023. [Hulunbuir Daily News and Public Opinion Studio. *In-depth Research Report on the High-quality Development of the Cultural and Tourism Industry in Hulunbuir: Raising Standards and Improving Efficiency*[R]. Inner Mongolia, 2023.]

Food supply characteristics and ecological footprint in agro-pastoral ecotone: A case study of Hulunbuir City, Inner Mongolia

WANG Lingen¹, LU Yiru^{1,2}, LI Yunyun¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: [Objective] The agro-pastoral ecotone is ecologically sensitive with a diverse and complex food supply. Clarifying its food supply patterns and resource-environmental effects is crucial for ensuring regional food security. [Methods] Taking Hailar District, Manzhouli City, and Ergun City in Hulunbuir City, Inner Mongolia as case sites, this study quantitatively calculated the regional food supply quantities, along with the quantities of inflows and outflows, based on food source data from the previous year obtained from field surveys in 2023, combined with statistical data and literature sources. The spatial patterns of food supply were analyzed, and the ecological footprint indicator was applied to evaluate the resource and environmental costs caused by the bidirectional food flows. [Results] (1) The total food supply of the case sites in 2022 was 494800 tonnes, dominated by plant-based foods (82.45%). The overall supply structure was characterized by “self-sufficiency with surplus in grains and dairy but deficit in vegetables and fruits.” (2) Food supply exhibited a bidirectional flow pattern, both internal and external, with local foods supply accounting for only 15.21%, indicating high dependence on Heilongjiang, Shandong, and Liaoning provinces. (3) The total ecological footprint of food supply in the case sites reached 316000 hm², equivalent to 1.55 times the cultivated land area of the three areas. Animal-based food accounted for 67.95%, and its contribution to the cropland footprint reached 59.39%, revealing a “grain-for-meat” resource conversion pattern. (4) The ecological footprint was predominantly local (56.50%), with significant outward transfer characteristics. The outflow footprint was 4.79 times the inflow footprint, making the case sites a “net output area” of ecological footprint. The land use types were consistent with the semi-agro and semi-pastoral production characteristics. [Conclusion] Food supply in the agro-pastoral ecotone shows clear structural mismatches and spatial shifts in resource-environmental costs. It is recommended to improve local vegetable and fruit supply capacity, diversify supply channels, and promote green transformation of the supply chain to ensure the sustainable and stable supply of the regional food system.

Key words: food supply; ecological footprint; quantitative accounting; agro-pastoral ecotone; Hulunbuir City, Inner Mongolia