

基于生态足迹的中国可持续食物消费模式

林永钦, 齐维孩, 祝 琴

(南昌大学管理学院, 南昌 330031)

摘要: 随着人们饮食需求的不断多样化, 可持续食物消费已成为一个全球关注的重要议题。为了探寻可持续的食物消费模式, 重点分析了中国食物消费结构演变趋势及特征, 运用生态足迹模型量化中国食物消费结构的环境压力动态变化; 基于可持续食物消费的内涵, 结合中国均衡膳食和环境的可持续性指标, 构建食物生态承载级别衡量标准, 并据此建立了符合中国食物消费习惯、满足营养摄入需求、环境压力小的可持续食物消费模式。结果显示: 中国食物消费生态环境压力不断增大, 1978-2013 年中国食物消费人均生态足迹增长了 154.49%, 2008 年出现生态赤字, 2013 年赤字值为 0.0705 ghm²; 食物生态承载级别持续恶化, 2008 年生态承载级别由“较高”下降到“中等”; 可持续食物消费模式的构建使得人均生态足迹下降了 12.92%, 表明转变食物消费模式是解决食物消费生态环境压力这一矛盾问题的最有效途径。

关键词: 可持续食物消费模式; 生态承载级别; 生态足迹; 环境压力

食物是人们生活中最基本的物质需求, 直接影响人们对营养的获取, 是人们索取土地资源、水资源和温室气体排放的载体。随着全球经济、人口以及家庭收入水平的不断增长, 不仅增加了食物供给压力, 还增加人口生存对食物消费的需求, 而日益增加的粮食需求将是全球范围内资源环境变化的主要决定因素^[1-2]。农业系统生产用地占全球陆地面积的 38%^[3], 用水占全球用水量的 70%^[4], 排放的温室气体占全球的 19%~29%^[5], 显然食物消费已成为气候变化、生物多样性损失、土地退化、淡水资源缺乏等环境资源问题的最主要驱动力。为此, 需要科学评估中国食物消费的生态影响程度, 并探索兼顾食物消费习惯、满足营养摄入需求、环境压力小的食物消费模式, 提高食物消费的可持续性。

在食物消费的可持续性评估方面, 国内外学者基于食物系统与环境资源的内在联系进行了一系列的理论和探索。Heller 等^[6]采用生命周期评价方法评估美国食物供给和消费系统, 指出食品过度消费和浪费对资源环境产生潜在影响。MÓZNER^[7]通过聚类分析把匈牙利的食物消费模式分成六类, 并以生态足迹为指标对各模式的可持续性进行了比较。Aboussaleh 等^[8]基于生态足迹将地中海与北欧与美洲的食物消费模式进行比较, 指出地中海食物消费模式环境影响小。Galli 等^[9]基于生态足迹对地中海地区食物消费模式生态压力的分析中指出通过转移食物热量足够的食物或改变饮食模式, 可以使生态赤字减少 8%~10%。Tilman 等^[10]揭示了通过调整饮食结构可潜在减少全球农业 30%~60% 的温室气体排放量。Green 等^[11]研究发现, 减少肉类食物的消费是最佳的膳食结构。王晓等^[12]

收稿日期: 2018-08-23; 修订日期: 2018-12-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71563028)

作者简介: 林永钦 (1975-), 男, 福建三明人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为资源与环境管理。

E-mail: yongqin_lin@163.com

通讯作者: 祝琴 (1978-), 女, 江西临川人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为决策科学与管理信息系统。

E-mail: zhuqin@ncu.edu.cn

基于四种情景分析中国饮食结构变化对农业温室气体排放的影响,并指出中国食物消费呈现出动物性食物替代粮食消费的趋势,动物性食物的温室气体排放系数是植物性食物的7倍以上。Lu等^[13]通过情景分析法得出改变饮食模式可以减缓中国食品供应链上的温室气体排放。李明净^[14]基于碳足迹不确定条件下以膳食营养素需求为约束条件对中国18~50岁居民不同情景膳食进行优化。

上述研究促进了食物消费可持续性评估核算方法的完善和应用。但是国外研究主要集中在可持续食物消费模式情景设计和食物消费结构内部调整对环境的影响,而国内研究更多的关注食物消费结构调整与碳排放的关系,少有涉及可持续食物消费模式设计方法的研究。为此,本文结合中国食物消费演变情况,运用生态足迹方法评估中国食物消费模式的生态影响,实现食物消费模式“量”的评估,从方法上提高评估结果的可靠性;然后构建可持续食物消费评价系统,实现食物消费模式“质”的评估,最终构建出兼顾食物消费习惯、满足营养摄入、环境压力小的可持续食物消费模式。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 生态足迹计算模型

生态足迹概念是在可持续发展背景下,最先由加拿大经济学家Rees和Wackernagel提出的。随后被国内外学者广泛应用到全球^[15-17]、国家^[9,18-20]和地区^[21]等多个尺度。生态足迹指能够持续地提供资源和消纳废物的具有生物生产力的地域空间,从具体的生物物理量角度研究自然资本消费的地域空间^[22]即生物生产性土地面积。生物生产性土地(即农田、牧场、森林、建成土地、渔业和化石能源土地)是最为集中的足迹类别,构成给定系统的总生态足迹(TEF,单位:ghm²)^[23]。生态足迹量化了资源消耗与生产所占的土地面积^[24]。生态足迹回答了特定人口或人类活动需要和消耗多少生物承载力的问题^[25]。食物消费生态足迹包括直接的食物消费和通过消费产品与服务所引起的间接能源消耗。食物消费量可以通过能源密度折算为制造、加工、运输过程所消耗的化石能源量,再折算成吸收碳所需的林地面积。结合相关学者的研究成果^[9,19-20,26],参照国家生态足迹账户计算方法(2010版)、《地球生命力报告·中国2015》,食物消费生态足迹计算公式为:

$$EF_{FC} = EF_B + EF_{NC} \quad (1)$$

$$EF_B = \sum_i C_{k,j} \times EFI_{i,j} = \sum_i \frac{C_{k,j}}{Y_{k,j}} \times y_i \times r_i = r_i \sum_i \frac{C_{k,j}}{Y_{k,j}} \quad (2)$$

$$EFI_{i,j} = \sum_i \frac{1}{Y_{k,j}} \times r_i \quad (3)$$

$$EF_{NC} = \frac{C_{k,j} R_j}{R_i} \quad (4)$$

$$ef = \frac{EF_{FC}}{N} \quad (5)$$

$$EC = 0.88 \sum_i a_i y_i r_i \quad (6)$$

$$ED(ES) = EF_{FC} - EC \quad (7)$$

式中: EF_{FC} 为全国食物消费总生态足迹(ghm²); EF_B 为全国食物可更新生态足迹(包括耕地、草地、水域)(ghm²); EF_{NC} 为全国食物能源总足迹(ghm²); i 为第 i 种土地资源类

型（如耕地、草地、水域、林地）； $C_{k,j}$ 为第 k 年第 j 种食物消费量（kg）； EFL_{ij} 为第 i 种土地类型第 j 种食物的足迹系数（ $\text{ghm}^2 \cdot \text{t}^{-1}$ ）； $Y_{k,j}$ 为全国第 k 年第 j 种生物产品的平均产量； $Y_{K,j}$ 为第 K 年第 j 种生物产品的全球平均生产力（ $\text{kg} \cdot \text{ghm}^{-2}$ ）； y_i 为第 i 类土地资源的产量因子； r_i 为第 i 种土地资源的均衡因子； R_j 为第 j 种食物综合折碳系数； R_i 为第 i 种生产性土地的全球平均碳吸收力； a_i 为第 i 种生产性土地面积； ef 为人均食物消费生态足迹； EC 为生态承载力； ED 为生态赤字； ES 为生态盈余。

1.2 数据来源与参数确定

食物消费的生态足迹账户分为食物足迹账户和能源足迹账户，每个账户的详细指标如表1所示，包括农业、林业、畜牧业、渔业等77种食物种类。食物消费数据从FAO统计数据库获得，然后根据1978-2013年的各种生物性资源的全球产量和全球种植面积计算出每年的全球平均产量。其中，食油植物油的全球平均产量均按照油料作物的全球平均产量求得，水产品和肉类食物的生态足迹按照足迹系数来计算。

表1 生态足迹核算指标
Table 1 Indicators for calculating ecological footprint

生态足迹账户	核算指标	土地利用类型
食物足迹	谷物类：小麦、大米、大麦、玉米、黑麦、燕麦、小米、高粱、其他谷物	耕地
	植物油类：大豆油、花生油、葵花油、菜子油、棉籽油、棕仁油、棕油、椰子油、芝麻油、米糠油、玉米胚芽油、橄榄油、其他油料作物油	耕地
	肉禽奶类：牛肉、羊肉、猪肉、禽肉、其他肉类、鸡蛋、牛奶	耕地、草地
	水果类：橘子、柠檬、柚子、柑橘、香蕉、枣子、葡萄、苹果、菠萝、其他水果	耕地、林地
	蔬菜类：蔬菜、西红柿、洋葱、辣椒、西班牙甜椒、大豆、蚕豆、豌豆、其他蔬菜、其他豆类、调味料	耕地
	水产品：淡水鱼、底层鱼类、海鱼、海洋鱼、甲壳类、头足类、软体类、水产动物、水产植物	水域
	薯类：土豆、木薯、红薯、根茎	
	其他食物类：葡萄酒、啤酒、发酵饮料、含酒饮料、咖啡、可可豆、茶、甘蔗、食糖、蜂蜜、椰子、黑芝麻、橄榄、花生、瓜子、坚果、其他油料作物	耕地、草地
能源足迹	各核算指标折算碳排放量	林地

食物消费的能源包括食物生产过程中化肥农药的消费所产生的碳排放和食物生产加工、运输和消费过程中能源消费所产生的碳排放^[27]。为此，本文通过综合碳折算系数法计算食物消费的碳排放量^[28]，进而测算食物消费的能源足迹。各指标数据来源见表2。

1.3 可持续食物消费评价系统

按照FAO的定义，可持续食物消费模式在保证人类食物、营养安全以及健康生活的同时具有低环境压力的特性。食物消费的生态足迹反映的是人类维持一定的消费水平对自然资本的占用和对自然环境产生的影响和压力，若将与其相同的区域范围所提供的生物生产面积或生态环境空间进行比较，可作为判断该区域的食物消费是否处于可承载范围的依据。为了客观合理评价中国食物生产资源利用的可持续性，参考曹淑艳等^[26]的DEC系统，将食物消费的生态需求合理性和食物消费影响的生态可承载力作为评价准则（表3），当生态承载级别为较高时，认为对应的食物消费模式具有可持续性。其中，食物消费生态合理性选用中国膳食协会推荐的均衡膳食图谱^[29]确定，根据膳食图谱推荐

表2 数据来源

Table 2 Data source

项目	数据来源
食物消费量	FAO统计数据库、《中国渔业统计年鉴》
全球平均产量	http://www.factfish.com/zh
均衡因子及产量因子	WWF发布《地球生命力报告 2008 (Living Planet Report 2008) 》
食物足迹系数	《中国主要农产品生产的生态足迹研究》(曹淑艳等 ^[20]) 《城镇居民食物消费的生态足迹及生态文明程度评价》(曹淑艳等 ^[20]) 《近30年来中国农村居民食物消费的生态足迹分析》(陈冬冬等 ^[30])
综合碳折算系数	《居民食品消费碳排放测算及其因素分解研究》(安玉发等 ^[28])

表3 食物消费生态可承载的五级衡量表

Table 3 Ecologically affordable food consumption at five-level scale

生态承载级别	高	较高	中等	较低	低
属性	理性生态可承载	非理性生态可承载	非理性可承载的超载	非理性较严重超载	非理性严重超载
判断准则	$EF_b \leq RF$ 且 $EF_b \leq EC_b$	$RF \leq EF_{cf} \leq EC$	$EC \leq EF_{cf} \leq 1.1EC$ 或 $EF_{cf} \leq B$	$B \leq EF_{cf} \leq 1.1B$	$1.25B \leq EF_{cf}$

注： EF_{fc} 是食物消费的生态足迹； EF_b 是食物消费的可更新生态足迹； RF 是均衡膳食的生态承载力； EC 为食物消费的生态承载力； EC_b 是人均可更新生态承载力； B 为全国人均生态用地生物承载力。生态承载级别“高”作为可持续食物消费的优化的终极目标，“较高”作为可持续食物消费优化的近期目标。

量，理性膳食的人均生态足迹（合理生态需求）为0.3418~0.5401 ghm²。以均衡膳食生态需求的上限作为理性生态可承载基准，将食物消费的生态可承载力分为食物生产性空间承载力和全国人均生态用地承载力，全国人均生态用地承载力为0.83~0.88 ghm²。

2 结果分析

2.1 中国食物消费生态压力分析

2.1.1 中国食物消费特征及演变趋势

以植物性食物和谷类为主，高膳食纤维、低脂肪饮食是中国膳食模式的特点。从食物能量供应形态上，1978-2013年居民人均食物消费不断增加，由1978年的2080 Kcal/天增加到2013年的3108 Kcal/天，年增长率为1.37%。其中（图1），谷物类食物消费先增加后缓慢减少，2013年与1978年相差不大，但所占比例由1978年的66.73%下降到2013年的45.56%；植物油、蔬菜、水果、肉类、鸡蛋、牛奶、水产品类食物消费逐年增加，2013年所占比例分别为5.79%、7.43%、3.35%、17.12%、4.31%、1.9%和1.93%。

由图1a植物产品和动物产品消费变化趋势，可将中国食物消费分为三个阶段：第一阶段是1978-1986年，动植物食物能量供应分别占8.24%和91.75%；第二阶段是1987-2003年，动植物食物能量供应分别占15.32%和84.68%；第三阶段是2004-2013年，动植物食物能量供应分别占21.93%和78.04%。因此，尽管总体上中国居民食物消费模式仍以植物性和谷物消费为主，但食物消费结构不断向营养均衡和食物多样化方向优化演变。

2.1.2 基于食物消费结构的生态足迹分析

根据FAO统计数据库的中国食物消费项目，将中国食物消费分为八大类（表1），各

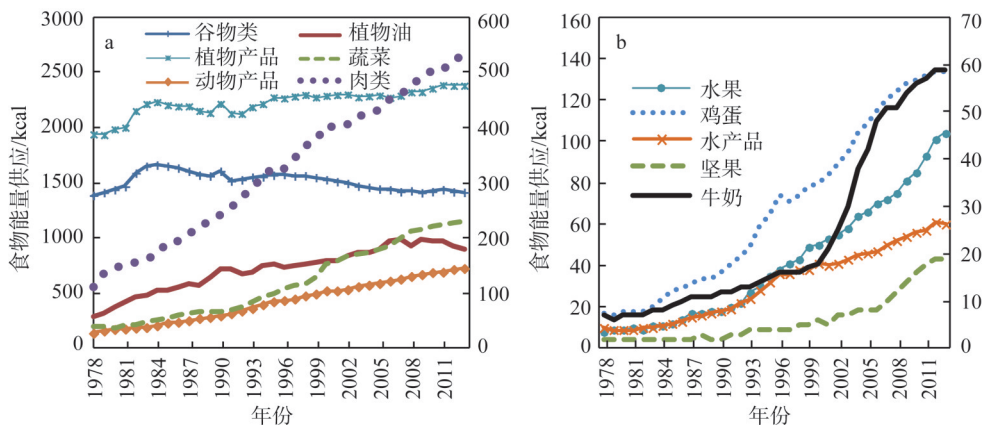


图1 中国食物消费演变趋势

Fig. 1 Evolution of food consumption in China

年食物消费人均生态足迹模型测算结果如表4所示，可以看出，中国食物消费生态足迹表现出逐年增加的趋势，年均增长率达14.35%。从食物消费结构对生态足迹的贡献率看，贡献率最大的是肉禽蛋奶类消费，达38.84%，其次是谷物类食物达19.67%；植物油、水果类、蔬菜类、水产品 and 薯类分别占6.23%、4.84%、10.53%、9.71%和2.61%。

从食物消费生态足迹结构的变化趋势看：（1）肉禽蛋奶类食物的消费，人均生态足迹由1978年的0.0359 ghm²增加到2013年的0.2416 ghm²，增幅达573.73%；（2）谷物类食物生态足迹波动相对平稳，2013年与1978年相比增加了0.66%；（3）虽然水果、水产品类对生态足迹贡献率小，但与1978年比较，增幅分别达1236.16%和547.08%；（4）薯类的生态足迹与1978年相比下降了38.34%。

2.1.3 基于生态承载力的食物消费生态压力分析

通过生态足迹和生态承载力模型的测算（图2），1978-2013年，中国居民食物消费人均生态足迹增长了154.49%，2013年达0.6221 ghm²。其中，耕地生态足迹的比例总体呈下降趋势，2013年为60.51%，林地生态足迹基本保持20%左右变动，草地和水域足迹比例逐年增加，2013年分别达13.10%和5.77%。

中国居民食物消费2008年开始出现生态赤字（图2b），2013年人均生态赤字值为

表4 食物消费人均生态足迹变化趋势

Table 4 Trend of ecological footprint of food consumption (ghm²/cap)

年份	谷物类	植物油	肉禽蛋奶类	水果类	蔬菜类	水产品类	薯类	其他类	合计
1978	0.1216	0.0127	0.0359	0.0023	0.0254	0.0093	0.0263	0.0111	0.2445
1983	0.1457	0.0205	0.0506	0.0030	0.0256	0.0096	0.0200	0.0160	0.2909
1988	0.1393	0.0245	0.0747	0.0047	0.0291	0.0157	0.0142	0.0228	0.3252
1993	0.1393	0.0300	0.1049	0.0077	0.0322	0.0246	0.0159	0.0232	0.3779
1998	0.1372	0.0329	0.1502	0.0123	0.0403	0.0380	0.0170	0.0294	0.4573
2003	0.1269	0.0375	0.1814	0.0166	0.0526	0.0440	0.0183	0.0296	0.5069
2008	0.1227	0.0400	0.2147	0.0220	0.0596	0.0516	0.0163	0.0393	0.5662
2013	0.1224	0.0387	0.2416	0.0301	0.0655	0.0604	0.0162	0.0471	0.6221

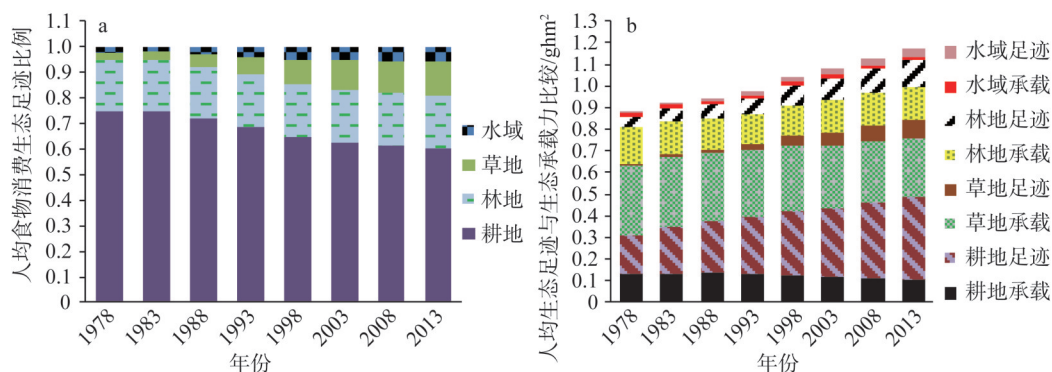


图2 1978-2013年不同土地类型生态足迹比例与生态承载力变化趋势

Fig. 2 Trends of the ecological footprint per capita and ecological deficit per capita in different types of land during 1978-2013

0.0705 ghm^2 。其中,耕地自1978年起就处于生态赤字状况,且生态赤字逐步增加,2013年人均生态赤字达0.2664 ghm^2 ;水域在1993年出现生态赤字,2013年人均生态赤字为0.0213 ghm^2 ;草地和林地的食物消费生态压力也逐年加剧,虽处于生态盈余状态,但却由1978年的0.3168 ghm^2 和0.1193 ghm^2 减少到2013年的0.194 ghm^2 和0.0232 ghm^2 。中国目前食物消费对食物生产性资源的占用已远远大于食物生产性资源所能提供的承载力,食物消费的生态环境压力越来越大,中国食物生产性资源可持续利用面临巨大的挑战。

2.2 中国可持续食物消费模式设计

根据测算结果,就食物消费承载级别而言,1978-2003年中国居民食物消费生态影响的演变趋势具有理性与生态可承载的特征,生态承载级别为“高”;2003年人均可更新生态足迹为0.4027 ghm^2 ,小于均衡膳食的人均生态承载力0.5401 ghm^2 ,且小于人均可更新生态承载力0.4261 ghm^2 ;2004-2007年中国居民食物消费生态影响的演变趋势具有非理性与生态可承载的特征,生态承载级别为“较高”,2007年人均食物消费生态足迹为0.5638 ghm^2 ,大于均衡膳食的生态承载力,小于2007年的人均食物生态承载力0.5641 ghm^2 ;2008-2013年中国居民食物消费生态影响的演变趋势具有非理性与可承载超载的特征,生态承载级别为“中等”,2008年后人均食物生态足迹小于全国人均生态用地承载力。总体来说,中国居民食物消费生态环境影响的演化趋势是由理性的可承载向非理性的超载方向演变,中国居民食物消费对环境的压力越来越大。

基于以上食物消费结构的生态足迹、生态压力和生态可承载的分析,并围绕现有食物消费模式的食物链进行调整、设计,使新的食物链的生态影响向“高”或“较高”的生态承载级别发展,调整后的食物消费总量与原食物消费总量贴进度不低于95%,从而使消费模式更具有可持续性的同时符合居民消费习惯。食物链的调整原则是:(1)新的食物消费模式的生态承载级别至少是“较高”;(2)为了符合现有消费习惯,以2010-2013年的食物消费作为现状测算生态足迹,食物消费生态足迹的下限以现状的50%测算,同时主食如谷物类下调不高于20%,并保证营养摄入达到膳食指南推荐量;(3)生态足迹上限主要根据现有食物摄入量的比例与膳食指南推荐食物量比例进行确定;(4)对于其他类食物,保证总生态足迹不变下,根据膳食指南要求少盐少油,控糖限酒的原则就具体情况而调整;(5)肉类食物中,因猪肉消费比例高达60%以上、生态足迹系数

为 2.44 ghm²/t, 牛肉羊肉生态足迹系数为 8.19~8.35 ghm²/t, 禽肉生态足迹系数为 1.9 ghm²/t, 故调整方向为减少猪肉和牛羊肉消费量、增加禽肉消费量。由此, 得到调整后中国可持续食物消费模式的人均生态足迹范围 (表 5)。

表 5 调整后食物消费模式的人均生态足迹范围

Table 5 Per capita ecological footprint of optimized food consumption patterns									(ghm ² /cap)
食物	谷物类	植物油类	肉蛋奶	水果类	蔬菜	水产品	薯类	其他类	人均生态足迹
上限	0.1003	0.0421	0.2062	0.0465	0.0439	0.0439	0.0115	0.0471	0.5417
下限	0.0611	0.0204	0.1156	0.0139	0.0271	0.0290	0.0080	0.0232	0.2984
					耕地	林地	草地	水域	合计
调整后土地类型人均生态足迹					0.3105	0.1076	0.0919	0.0260	0.5417
2013 年土地类型人均生态足迹					0.3764	0.1283	0.0815	0.0359	0.6221
2013 年人均生态承载力					0.1100	0.1515	0.2755	0.0146	0.5516

注: 调整后土地类型人均生态足迹合计是 0.536 ghm², 但其他类食物生态足迹保持不变, 而坚果、饮料、酒类 and 糖类调整后人均生态足迹为 0.0414 ghm², 故合计数应为 0.536 + (0.0471 - 0.0414)=0.5417 ghm²。

调整后的食物消费模式更具有可持续性, 食物消费生态承载级别由“中等”上升到“较高”。食物消费的人均生态足迹最大值与 2013 年人均生态足迹相比下降了 12.92%, 人均生态承载力盈余值为 0.0099 ghm²; 耕地、林地和水域的生态足迹较之前分别下降了 17.53%、16.13%和 27.51%, 草地上调了 12.83%。各类食物对生态足迹的贡献最大的仍是肉禽蛋奶类为 21.34%~38.06%, 其次是谷物类为 11.28%~18.52%, 植物油、水果、蔬菜、水产品贡献率最大值均小于 8.5%。

调整后食物消费总量与调整前的食物消费总量的贴近度是 95.8% (图 3)。谷物类食物下调了 16.92%; 牛肉下调了 28.22%, 猪肉下调了 46.69%, 禽肉上调了 61.77%, 奶类消费低于膳食指南推荐摄入量, 奶类上调 151.06%; 蔬菜类食物中, 蔬菜和薯类分别下调了 19.03%和 27.33%; 水果上调了 66.88%, 水产品下调 24.22%。

食物消费能量来源分布是评价食物消费模式结构合理性的基本指标, 中国居民膳食指南建议的三大能量来源: 碳水化合物占 50%~66%, 脂肪占 20%~30%, 蛋白质 5%~30%。本文以 100 g 可食部食品中的营养素含量为基数计算得调整后的食物消费模式碳水化合物占 60.36%~63.25%, 脂肪占 15.63%~17.77%, 蛋白质占 21.12%~21.87%。此外食物能量供应在 2014.36~2347.87 kcal 之间。这满足了消费者的能量供应和营养需求, 同时与中国高膳食纤维、低脂肪的饮食模式是相符的。

通过对各类食物消费调整的可持续食物消费模式, 植物性食物量占总量的 70% 以上, 体现了植物性食物为主, 动物性食物为辅的食物消费模式。一方面符合中国以麦稻为主食的饮食习惯和营养需求, 同时还符合食物多样、谷物为主的可持续的平衡膳食模式; 另一方面保证了中国农业可持续发展, 从而降低食物消费引致的环境压力, 促进食物消费和环境之间的协调。

3 结论与讨论

可持续食物消费模式的构建是将环境科学、食品消费领域与营养学相融合而产生的, 是食物消费环境影响评价向更全面和更综合的方向发展的体现, 而生态足迹则是评

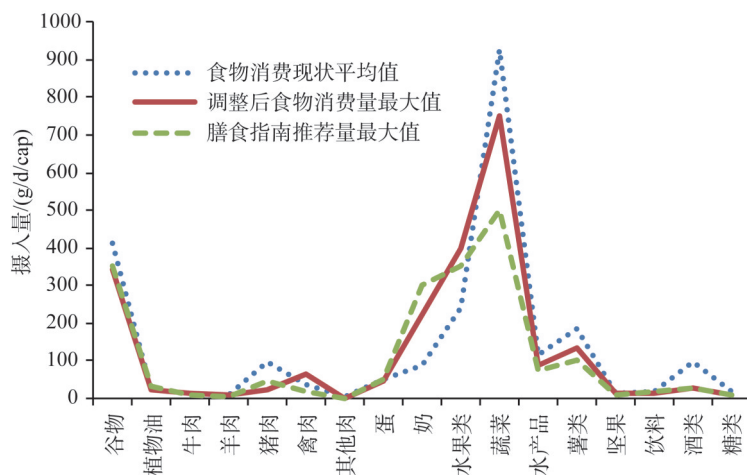


图3 调整前后食物消费模式与膳食指南推荐摄入量比较

Fig. 3 Comparison of food consumption patterns and diet intake recommended in guidelines

价特定人口指定消费模式生态影响及其可持续性的有效指标^[31]。近年来,对可持续食物消费模式方面的研究更多集中在通过食物消费模式情景设计和单纯的食物内部消费调整来分析食物消费的生态影响,少有将三者相结合的研究。对此,基于食物消费的特殊性,本文从食物能量供应角度出发探讨中国食物消费结构历史变化特征,确立了食物消费模式的设计要符合中国食物消费习惯和满足营养摄入需求的原则;而生态足迹方法运用与可持续评价系统的构建则实现食物消费模式“量”与“质”的评估,较好地考虑了可持续食物消费模式构建对自然生态系统服务功能的“硬需求”与“硬约束”。并将生态承载级别“高”作为可持续食物消费的优化终极目标,“较高”作为可持续食物消费优化的近期目标。本文的目的就是尽可能地使食物消费模式向“高”级别优化,具有较强的理论和实践意义。

1978-2013年中国食物消费人均生态足迹增长迅速,年均增长率达14.35%,2008年出现生态赤字,并不断加大,同时林地与草地也加剧了生态赤字步伐,并且在未来一段时间,食物消费生态足迹会持续增加。1978-2013年中国食物生态承载级别持续恶化,2008年生态承载级别由“较高”下降到“中等”。食物消费结构变化是食物生态影响变动的主要驱动力,可持续食物消费模式的设计要充分考虑食物消费习惯和营养供应。本文尝试设计了符合食物消费习惯、满足营养摄入要求,并在生态可承载范围的可持续食物消费模式。同时表明,转变食物消费模式是解决食物消费生态环境压力这一矛盾问题的最有效途径。

参考文献(References):

- [1] FAO. The State of Food Insecurity in the World. State of Food Insecurity in the World, 2015, 316(7142): 3-8.
- [2] FAO, WFP. The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: Taking stock of uneven progress. American Journal of Hospice & Palliative Care, 2015, 17(4): 4-6.
- [3] FOLEY J A, RAMANKUTTY N, BRAUMAN K A, et al. Solutions for a cultivated planet. Nature, 2011, 478(7369): 337.
- [4] FRENKEN K, KIERSCH B. Monitoring Agricultural Water Use at Country Level: Experiences of a Pilot Project in Benin and Ethiopia. FAO, 2011: 1-2.

- [5] SAYER J, CASSMAN K G. Agricultural innovation to protect the environment. *PANS*, 2013, 110(21): 8345-8348.
- [6] HELLER M C, KEOLEIAN G A. Assessing the sustainability of the US food system: A life cycle perspective. *Agricultural Systems*, 2003, 76(3): 1007-1041.
- [7] MÓZNER Z V. Sustainability and consumption structure: Environmental impacts of food consumption clusters: A case study for Hungary. *International Journal of Consumer Studies*, 2014, 38(5): 529-539.
- [8] ABOUSSALEH Y, CAPONE R, BILALI H E. Mediterranean food consumption patterns: Low environmental impacts and significant health-nutrition benefits//International Conference: Investing in Nutrition for Development in the Middle East and North Africa. 2017: 1-6.
- [9] GALLI A, IHA K, HALLE M, et al. Mediterranean countries' food consumption and sourcing patterns: An ecological footprint viewpoint. *Science of the Total Environment*, 2017, 578: 383.
- [10] TILMAN D, CLARK M. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 2014, 515(7528): 518-522.
- [11] GREEN R, MILNER J, DANGOUR A D, et al. The potential to reduce greenhouse gas emissions in the UK through healthy and realistic dietary change. *Climatic Change*, 2015, 129(1-2): 253-265.
- [12] 王晓, 齐晔. 中国饮食结构变化对农业温室气体排放的影响. *中国环境科学*, 2013, 33(10): 1876-1883. [WANG X, QI H. Impact of diet structure change on agricultural greenhouse gas emissions in China. *China Environmental Science*, 2013, 33(10): 1876-1883.]
- [13] LU Y L, JENKINS A, FERRIER R C, et al. Addressing China's grand challenge of achieving food security while ensuring environmental sustainability. *Science Advances*, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1400039.
- [14] 李明净. 中国家庭食物消费的碳—水—生态足迹及气候变化减缓策略优化研究. 大连: 大连理工大学, 2016. [LI M J. Study on carbon-water-ecological footprint of Chinese household food consumption and diet optimization for climate change mitigation. Dalian: Dalian University of Technology, 2016.]
- [15] UDDIN G A, SALAHUDDIN M, ALAM K, et al. Ecological footprint and real income: Panel data evidence from the 27 highest emitting countries. *Ecological Indicators*, 2017, 77: 166-175.
- [16] TEIXIDÓ-FIGUERAS J, DURO J A. The building blocks of international ecological footprint inequality: A regression-based decomposition. *Ecological Economics*, 2015, 118: 30-39.
- [17] NICCOLUCCI V, TIEZZI E, PULSELLI F M, et al. Biocapacity vs. ecological footprint of world regions: A geopolitical interpretation. *Ecological Indicators*, 2012, 16(5): 23-30.
- [18] SALVO G, SIMAS M S, PACCA S A, et al. Estimating the human appropriation of land in Brazil by means of an input-output economic model and ecological footprint analysis. *Ecological Indicators*, 2015, 53: 78-94.
- [19] 黄宝荣, 崔书红, 李颖明. 中国 2000-2010 年生态足迹变化特征及影响因素. *环境科学*, 2016, 37(2): 420-426. [HUANG B R, CUI S H, LI Y M. Ecological footprint evolution characteristics and its influencing factors in China from 2000 to 2010. *Environmental Science*, 2016, 37(2): 420-426.]
- [20] 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. *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. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(8): 1336-1344.]
- [21] 郭华, 蔡建明, 杨振山. 城市食物生态足迹的测算模型及实证分析. *自然资源学报*, 2013, 28(3): 417-425. [GUO H, CAI J M, YANG Z S. Modeling for measuring city food footprint with applied empirical analysis. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(3): 417-425.]
- [22] SIMMONS C, LEWIS K, BARRETT J. Two feet-two approaches: A component-based model of ecological footprinting. *Ecological Economics*, 2000, 32(3): 375-380.
- [23] LU Y, CHEN B. Urban ecological footprint prediction based on the Markov chain. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 163: 146-153.
- [24] MANCINI M S, GALLI A, NICCOLUCCI V, et al. Ecological footprint: Refining the carbon footprint calculation. *Ecological Indicators*, 2015, 61: 390-403.
- [25] KITZES J, WACKERNAGEL M. Answers to common questions in ecological footprint accounting. *Ecological Indicators*, 2009, 9(4): 812-817.
- [26] 曹淑艳, 谢高地. 城镇居民食物消费的生态足迹及生态文明程度评价. *自然资源学报*, 2016, 31(7): 1073-1085. [CAO S Y, XIE G D. Footprint and degree of ecological civilization assessment of Chinese urban food consumption.

- Journal of Natural Resources, 2016, 31(7): 1073-1085.]
- [27] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹. 生态学报, 2012, 32(5): 1570-1577. [WU Y, WANG X K, LU F. The carbon footprint of food consumption in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1570-1577.]
- [28] 安玉发, 彭科, 包娟. 居民食品消费碳排放测算及其因素分解研究. 农业技术经济, 2014, (3): 74-82. [AN Y F, PENG K, BAO J. Study on estimation of resident's carbon consumption in food and its factors decomposition. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014, (3): 74-82.]
- [29] 中国营养学会. 中国居民膳食指南. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 280-283. [Chinese Nutrition Society. *Chinese Residents Dietary Guidelines*. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016: 280-283.]
- [30] 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. 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. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(8): 1738-1747.]
- [31] EWING B, REED A, GALLI A, et al. *Calculation Methodology for the National Footprint Accounts*. Oakland: Global Footprint Network, 2010.

Chinese sustainable food consumption pattern based on ecological footprint model

LIN Yong-qin, QI Wei-hai, ZHU Qin

(School of Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: With the continuous diversification of people's dietary demand, sustainable food consumption has become a global concern. In order to explore sustainable food consumption patterns, this study first analyzed the evolutionary trend and characteristics of Chinese food consumption structure. The environmental stress tendency of Chinese food consumption was assessed by using the ecological footprint model. A measurement standard for dietary ecological carrying level was introduced based on the connotation of sustainable food consumption, Chinese balanced diet and environmental sustainability indicators. Then the study established a sustainable food consumption pattern that conforms to Chinese food consumption habits, meets the nutritional intake demand, and reduces sufficiently the environmental stress. The results show that the dietary environmental stress continued to increase in China. Per capita ecological footprint of Chinese food consumption increased by 154.49% from 1978 to 2013. Ecological deficit appeared in 2008 and it was 0.0705 ghm² in 2013. Dietary ecological carrying level continued to deteriorate. Annual ecological carrying level dropped from "higher" to "medium" in 2008. The established sustainable food consumption pattern reduces per capita ecological footprint by 12.92%, which indicates that transforming food consumption pattern is the most effective way to solve the contradictory problem of dietary environmental stress.

Keywords: sustainable food consumption pattern; ecological carrying level; ecological footprint; environmental stress