

引用格式: 许菲, 张彩萍, 白军飞. 收入增长与老龄化对城镇居民食物消费水足迹的影响[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 104-116.  
[Xu F, Zhang C P, Bai J F. Impact of income growth and aging on the water footprint of food consumption in urban China[J].  
Resources Science, 2018, 40(1): 104-116.] DOI: 10.18402/resci.2018.01.10

# 收入增长与老龄化对城镇居民食物消费水足迹的影响

许菲<sup>1</sup>, 张彩萍<sup>2</sup>, 白军飞<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 中央财经大学经济学院, 北京 100081)

**摘要:** 本文通过食物消费在收入增长、老龄化和水足迹之间建立了有机联系, 从收入增长与人口老龄化角度考察了中国居民食物消费水足迹现状, 并对其未来趋势进行预测, 回答了社会经济因素的变化是如何影响食物消费水资源需求的问题。基于10个城市2023个城市居民家庭7天记账式调研数据的研究结果表明, 居民食物消费水足迹随收入上升呈现递减式上升的发展趋势, 这意味着, 随着城镇居民收入的持续增长, 由食物消费所带来的水资源供需压力将会进一步加大, 在2027年左右逐渐缓解并达到水资源需求的最高点。与收入增长作用相反, 中国人口老龄化对食物消费水足迹有显著负影响, 因此, 认识并利用这一自然趋势, 将十分有助于更加科学动态地应对水资源压力。此外, 研究结果还表明, 被忽视的居民在外饮食消费在城市居民食物消费水足迹估计中占有显著地位, 忽略在外消费量及其与在家食物消费结构上的差异都会造成对食物消费水需求的显著低估。

**关键词:** 食物消费; 水足迹; 收入增长; 老龄化

DOI: 10.18402/resci.2018.01.10

## 1 引言

“水足迹”是从“虚拟水”的概念中发展延伸而来, 由Hoekstra于2002年提出<sup>[1]</sup>。水足迹是一种衡量水资源占用情况的综合评价指标, 消费水足迹的概念根植于人类对水生态系统的影响与其消费模式密切相关的理念之中。国家(地区)以及个人消费水足迹, 分别指一个国家(地区)、一个人在一定时间内消费的所有商品以及服务所需的水资源量。食物消费水足迹指在一定时期内人类维持一定的食物消费水平所必需的淡水资源, 用以衡量人类食物消费对水资源的影响。较之传统的“取水”指标, 水足迹更为系统全面, 它不仅可以作为水资源消耗量的指标, 还能够反映所消耗水资源的水源类型, 除此之外也提供了水污染的评价指标<sup>[2]</sup>, 因此, 水足迹能够更真实地评价一个国家或地区水资源的占用

情况。该概念的提出, 为从生产、消费、贸易以及产品供应链角度评价人类对于水资源的消耗提供了崭新的视角, 引发了科学界对水资源利用的重新思考, 并逐步影响着水资源评价和管理的思维方式<sup>[3-11]</sup>。

对于中国这样人口众多、资源相对稀缺的国家而言, 研究食物消费水足迹的意义更是不言而喻。这主要有两个重要原因, 一是, 从供给角度而言, 中国水资源(特别是可再生的淡水资源)十分有限; 二是, 与食物供给密切相关的农业仍是中国水资源使用最大的部门, 2015年农业用水占总用水量的63.1%, 因此, 食物消费水足迹直接关系到中国淡水资源的供需安全。改革开放以来, 中国用占世界7%~8%的土地创造了养活世界22%人口的奇迹。然而, 成绩的背后是巨大的物质投入和被忽视的资源环境代价。如何在满足人类食物需求上升与结

收稿日期: 2017-06-05; 修订日期: 2017-11-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(71273009; 71673316); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(15YJA90080)。

作者简介: 许菲, 女, 安徽宿州人, 博士生, 主要研究领域为食物消费与可持续发展经济学。E-mail: xfdjdjy@163.com

通讯作者: 张彩萍, E-mail: caipingzhang@gmail.com

2018年1月

构升级的同时,有效保护农业自然资源、实现经济社会可持续发展,已经成为了学术界和政府必须共同面对的问题,这在当前推进农业供给侧改革的历史背景下更加重要。然而,供给侧改革应该怎么改?在当前农产品市场从全面供不应求的矛盾逐渐向结构性矛盾转移的大环境下<sup>[12]</sup>,需要对食物消费的水足迹及其背后的影响因素进行充分的研究。

收入增长通常带来的不只是食物消费总量的上升,还导致显著的饮食结构变化,表现为谷物类食物消费占比逐渐下降,而动物性食品消费占比逐渐上升,这种变化在发展中国家经济高速增长时期尤为显著,也包括中国(图1)。与改革开放初期相比,2012年<sup>1)</sup>中国城乡居民实际可支配收入(纯收入)分别增长了约9.0倍和8.5倍,以1980年不变价格计算,32年间年均实际增长率分别达到7.1%与6.9%,与此同时,城市居民人均每年谷物消费量从1981年的145.4kg下降到2014年的106.5kg,鲜肉消费则从20.5kg上升到33.3kg。相似的变化同样也发生在农村。与收入增长同时发生的是中国人口结构的快速老龄化。国家统计局发布的《2016年国民经济和社会发展统计公报》<sup>[14]</sup>显示,2016年中国60岁及以上人口占比达到16.7%,联合国《世界人口展望

2015年修订版》(World Population Prospects: The 2015 Revision<sup>[15]</sup>)预测2050年,该比重将进一步达到36.5%。与收入效应不同的是,很多研究表明,人口老龄化会对动物性食物的需求形成负面影响<sup>[16,17]</sup>。那么,在中国,收入增长与老龄化将如何共同影响居民的饮食消费及其水足迹呢?

在食物消费与水足迹相关研究中,不同的学科显然有不同的侧重。在资源环境与生态相关领域,研究人员更关注食物消费对农业资源和生态环境的影响<sup>[18,19]</sup>,通常采用加总的宏观时序数据进行分析,强调历史趋势与影响后果<sup>[20-23]</sup>。在推断未来趋势时,基本上采用外推法,即,假定某种食物消费方案的前提下,通过食物消费与生态足迹之间的转换,推断未来食物消费对资源环境的影响<sup>[24-27]</sup>。这种做法一方面把食物消费看作一种外生驱动因素,忽略了食物消费本身受到社会经济(如收入、价格)和消费者个体特征等外在因素的影响;另一方面,基于加总时序数据很难对长期趋势(特别是当存在非线性趋势时)做出可靠的判断。在经济学领域,研究人员则更加关注各种社会经济与个体家庭特征因素对食物消费的影响,研究所用的数据既有微观个体或家庭层面的,也有区域层面加总时序的<sup>[28-33]</sup>。

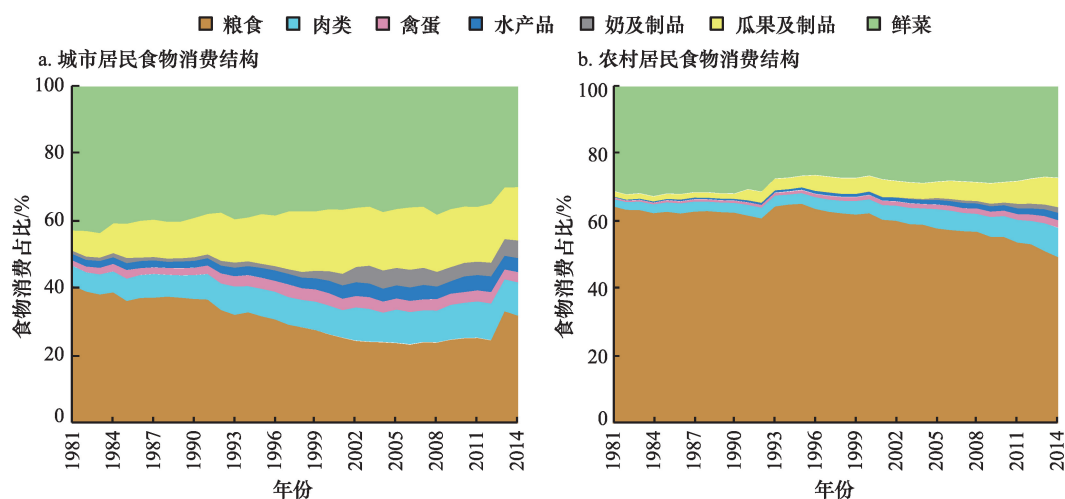


图1 中国城乡居民食物消费结构变化趋势

Figure 1 Trends of residents' food consumption structure in China

注:数据来源于《中国统计年鉴》各年<sup>[13]</sup>。

1) 由于2013年及之后的数据来源于国家统计局开展的城乡一体化住户收支与生活状况调查,该调查与2013年之前的分城镇和农村住户调查的范围、方法以及指标口径均有所不同。因此,为了保证历史数据可比性,此处给出的是1980年到2012年间中国城乡居民实际可支配收入的增长情况。

然而,这些研究鲜有进一步探索食物消费背后的资源环境压力,研究结论因此无法在可持续消费与可持续发展方面提出有效建议。

此外,以往研究中对居民在外食物消费部分关注不足。大量的研究表明,居民在外消费已经成为家庭食物消费不可或缺的部分<sup>[30,34,35]</sup>,而且,随着收入水平的提高和时间机会成本的快速上升,居民在外消费需求仍在快速增长,特别是在城市。对于部分食物,如,肉类在外消费部分甚至达到个人肉类消费量的约30%<sup>[35]</sup>。然而,已有的关于食物消费以及相关的水足迹研究鲜有涵盖在外消费,这严重制约了人们对食物消费水足迹系统的研究和认知,甚至可能得出完全不同结论。把在外消费与在家消费结合起来,有助于更完整地分析食物消费对水资源的影响及其变化趋势。

本研究从收入增长与人口老龄化角度考察中国居民食物消费水足迹现状及其未来趋势,数据来自一个城市微观居民家庭调查,该调查覆盖了全国10个具有区域代表性的城市,共包括了2023个样本家庭,调查采用连续一周的记账方式,内容包括样本家庭成员详细的食物消费信息、社会经济和人口统计信息,文章所用数据的另外一个重要价值在于包括了详尽的在外消费信息。这为实现本研究的目标提供了重要的数据基础。本文通过食物消费在收入增长、老龄化和水足迹之间建立了有机联系,回答了社会经济因素的变化是如何影响食物消费水资源需求的问题。

## 2 研究方法与数据

### 2.1 水足迹核算方法

在研究水足迹的时候,研究人员通常将水资源分为三种类型:蓝水、绿水和灰水,蓝水指农业灌溉用水中所使用的地表水和地下水,即河流、湖泊以及地壳中能被利用的地下水;绿水指储存在非饱和土壤层中并通过植被蒸散发形成的雨水;灰水指用来稀释农作物生长所使用的肥料和农药等化学药剂,避免造成环境污染而使用的水资源<sup>[2]</sup>。

基于已知的食物消费结构,水足迹可以通过如下公式获得:

$$\begin{aligned} FCWF_k &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m Q_{ij} \times CWF_i \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m Q_{ij} \times (CWF_{ibblue} + CWF_{igreen} + CWF_{igrey}) \end{aligned} \quad (1)$$

式中 $FCWF_k$ 表示第 $k$ 个家庭食物消费水足迹; $Q_{ij}$ 为该家庭中第 $j$ 个成员消费的第 $i$ 种食物的重量; $m$ 为家庭成员数; $n$ 为食物种类数; $CWF_i$ 表示第 $i$ 种食物的消费水足迹转换系数; $CWF_{ibblue}$ 、 $CWF_{igreen}$ 、 $CWF_{igrey}$ 分别表示第 $i$ 种食物的蓝水、绿水和灰水足迹转换系数,单位为 $m^3/t$ 或 $L/kg$ 。

本研究所用水足迹转换系数主要来自Mekonnen等<sup>[7,8]</sup>对中国农产品水足迹估计成果,见附表。文中各类食物消费水足迹由附表中第二层分组食物水足迹系数(单位重量水足迹值)与各类食物消费量乘积所得,由于一些类别产品(如肉类)的第二层分组中的各类食物单位重量水足迹以及居民消费结构差异较大,为更准确地核算中国城市居民食物消费水足迹,对二层分组中除禽肉以外的肉类、鲜果、其他乳制品、豆汁(奶)对应的水足迹系数,由第三层食物分组水足迹系数按照样本家庭的各种食物消费构成加权平均调整所得,具体见附表。

### 2.2 水足迹需求模型

为了实证分析收入增长和人口老龄化对食物消费水足迹的影响,设定了以下模型:

$$\ln(Y_i) = \alpha_0 + \beta_1 \ln(pinc_i) + \beta_2 [\ln(pinc_i)]^2 + \sum_{u=1}^{n_1} \gamma_{iu} demo_{iu} + \sum_{v=1}^{n_2} \delta_{iv} Z_{iv} + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中被解释变量 $Y_i$ 为第 $i$ 户居民家庭人均食物消费水足迹; $pinc_i$ 为人均可支配收入; $\ln$ 表示取自然对数; $[\ln(pinc_i)]^2$ 为人均可支配收入对数的二次项,用来捕捉收入对人均水足迹可能的非线性影响; $demo_{iu}$ 为一组家庭人口结构变量,分别表示样本家庭中各年龄段人数,用以考察人口老龄化对食物消费水足迹的影响; $Z_{iv}$ 代表一组控制变量,在本研究中包括户主性别、户主受教育程度以及地区控制变量; $\varepsilon_i$ 为误差项,假定服从正态分布; $\alpha_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\gamma_{iu}$ 、 $\delta_{iv}$ 为待估参数; $n_1$ 、 $n_2$ 分别为人口特征变量与控制变量个数。关于这些变量的样本统计描述见表1。

实证分析中,本文除对家庭人均消费水足迹进行回归分析之外,另将在家与在外人均消费水足迹分别作单独回归。一方面,在外食物消费占比持续上升,在居民食物消费中占据越来越重要的地位,有必要对该部分食物消费做单独分析并与在家消费进行比较;另一方面,在家与在外食物消费结构



2018年1月

表1 变量定义与基本统计量

Table 1 Variable definitions and basic statistics

|       | 变量        | 变量说明   | 单位                    | 均值       | 方差       | 最小值    | 最大值       |
|-------|-----------|--|-----------------------|----------|----------|--------|-----------|
| 被解释变量 | 人均消费水足迹   | 家庭每人每年食物消费水足迹  | m <sup>3</sup> /(人·年) | 1 007.09 | 339.79   | 177.00 | 3 050.93  |
|       | 人均在家消费水足迹 | 家庭每人每年在家食物消费水足迹  | m <sup>3</sup> /(人·年) | 791.06   | 328.31   | 0.00   | 2 518.00  |
|       | 人均在外消费水足迹 | 家庭每人每年在外食物消费水足迹  | m <sup>3</sup> /(人·年) | 216.03   | 246.27   | 0.00   | 2 124.94  |
|       | 每千克食物消费水  | 家庭每千克食物消费水足迹   | m <sup>3</sup> /kg    | 1.81     | 0.38     | 0.88   | 4.09      |
| 解释变量  | 家庭人均可支配收入 | 以2010年为基础  | 元/月                   | 1 804.52 | 1 142.98 | 118.04 | 16 977.93 |
|       | 家庭规模      | 家庭总人口  | 人                     | 2.85     | 0.89     | 1.00   | 7.00      |
|       | 儿童比重      | 家庭14岁以下人口比重  | %                     | 9.86     | 0.15     | 0.00   | 66.67     |
|       | 青年人口比重    | 家庭15到39岁人口比重   | %                     | 28.00    | 0.26     | 0.00   | 100.00    |
|       | 中年人口比重    | 家庭40到59岁人口比重   | %                     | 41.73    | 0.34     | 0.00   | 100.00    |
|       | 老年人口比重    | 家庭60岁以上人口比重  | %                     | 20.40    | 0.34     | 0.00   | 100.00    |
|       | 户主性别      | 1=男性;0=女性  | -                     | 0.26     | 0.44     | 0.00   | 1.00      |
|       | 户主受教育程度   | 1=学前教育水平;2=小学水平;3=初中水平;4=高中水平;5=职业学校水平;6=大学水平;7=大学以上水平 |                       | 4.21     | 1.22     | 1.00   | 7.00      |
|       |           |  |                       |          |          |        |           |
|       |           |  |                       |          |          |        |           |

差异不容忽视,在外消费的水足迹构成中单位质量水足迹较高的肉类占据更高的比重。此外,为更好地说明收入增长与老龄化对食物消费水足迹的影响,引入每千克食物消费水作为被解释变量,这能有效地展现各种因素对居民食物消费结构的作用,从而更好地刻画经济、社会、人口特征因素变化下的食物消费水足迹构成的变化轨迹。这样,本文模型分析实际上包含了4个模型,对应的被解释变量分别为:家庭人均食物消费水足迹、家庭人均在家食物消费水足迹、家庭人均在外食物消费水足迹和每千克食物消费水足迹。在这些模型方程右边的解释变量均相同。

本研究主要数据来源于2009—2012年对中国10个城市的共2023户居民家庭的饮食消费调查。这些城市包括南京、成都、西安、沈阳、厦门、哈尔滨、太原、台州、南宁以及兰州,具有较广泛的区域覆盖面。样本家庭为国家统计局在各城市开展的“城市住户收入与支出调查”的样本家庭子集,采用分层随机抽样法和整群抽样法获取,其中,分层指标有区县和街道两级,在每个抽取的街道内,随机抽取样本社区,并对社区内统计的样本家庭进行整群调查(通常每个社区有10~25户样本家庭)。表2给出了该调查的样本区域分布。

为测算食物消费的水足迹,本文把所有食物消费按原始食材划分为八大类,包括谷物、肉类、奶

类、禽蛋、水产、水果、蔬菜和豆及制品类(酒水饮料类不计入核算)。

### 3 食物消费与水足迹统计分析

#### 3.1 食物消费与水足迹结构比较

居民食物消费水足迹的差异是食物消费量与消费结构共同作用的结果。一方面,容易推断,对于相同的饮食结构来说消费量越大对应的水足迹越高;另一方面,不同饮食结构所带来的水足迹差异不容忽视。饮食结构与水足迹结构之间差异显著,图2a显示了当前中国城市居民食物消费结构及水足迹构成对比情况,谷物与肉类消费占据了食物消费水足迹的60%以上。需要指出的是占总体食物消费量仅为12%的肉类,其食物消费水足迹占比却高达42%,肉类消费占比差异对单位重量的食物消费水足迹影响巨大。

图2b显示了在家与在外食物消费结构差异明显,居民在外每千克食物消费水足迹远高于在家部分。在不考虑技术变化与地区生产自然资源禀赋差异的情况下,每千克食物消费水足迹主要由家庭食物消费结构决定。居民在家消费量占比位居前三的食物为蔬菜29%、水果22%、谷物22%,在外部分为谷物31%、蔬菜24%及肉类20%。本研究样本人均食物消费水足迹为983.8m<sup>3</sup>/年,其中在家消费部分为769.3m<sup>3</sup>/年,占比78.2%。人均在外食物消费量占比为15.7%,但在外人均消费水足迹为214.4m<sup>3</sup>/年,

表2 样本分布与样本城市基本描述

Table 2 Sample distribution and basic description

| 样本城市 | 调查时间      | 样本家庭/户 | 常住人口/万 | 人均可支配收入(以2010年为基础/元) |
|------|-----------|--------|--------|----------------------|
| 南京   | 2009年6—9月 | 245    | 821    | 2 210                |
| 成都   | 2010年6—9月 | 206    | 1 417  | 1 707                |
| 西安   | 2011年6—9月 | 212    | 846    | 1 678                |
| 沈阳   | 2011年6—9月 | 206    | 825    | 1 715                |
| 厦门   | 2011年6—9月 | 149    | 381    | 2 164                |
| 哈尔滨  | 2012年6—9月 | 212    | 1 000  | 1 491                |
| 太原   | 2012年6—9月 | 202    | 429    | 1 491                |
| 台州   | 2012年6—9月 | 190    | 603    | 2 475                |
| 南宁   | 2012年6—9月 | 197    | 786    | 1 730                |
| 兰州   | 2012年6—9月 | 201    | 368    | 1 451                |

注:受项目立项时间先后的影响,在各城市的调查未能在同年完成,而是分布在2009—2012年前后4年间,这在一定程度上影响了城市之间的横向比较。尽管如此,为了避免调查季节差异带来的影响,所有城市的调查均安排在当年的6—9月份进行。

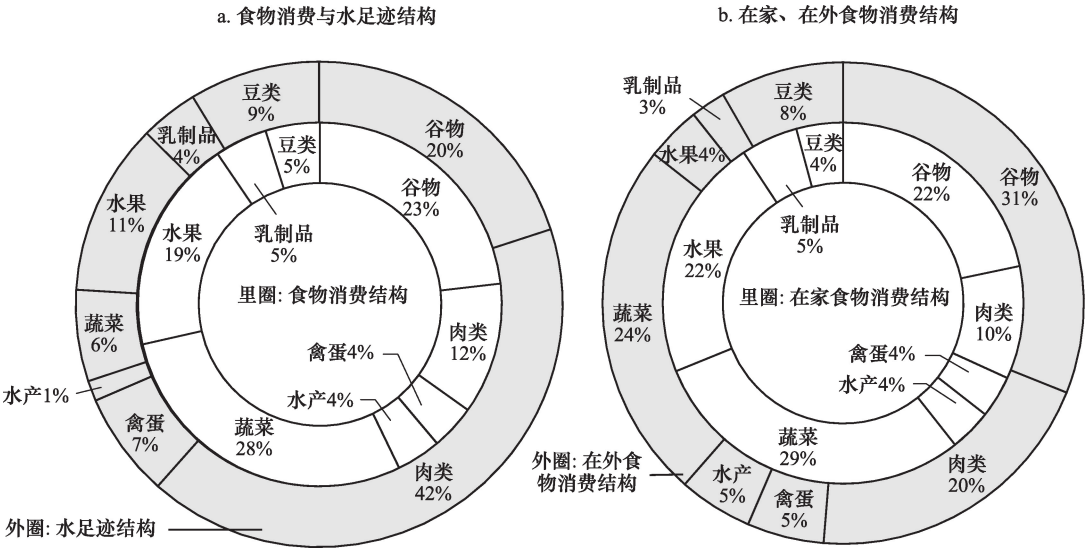


图2 水足迹及食物消费构成

Figure 2 The structure of water footprint and food consumption

占总的人均水足迹比重为21.8%。城市居民在家在外每千克食物消费水足迹分别为1.66 m<sup>3</sup>/kg与2.48m<sup>3</sup>/kg,在外消费部分每千克食物消费水足迹高出在家消费部分50个百分点。

为更好地将在家消费数据与在外消费部分的数据作比较,在假定在家与在外饮食结构相同的条件下,计算了补偿在外消费量后的人均水足迹值为912.6m<sup>3</sup>/年,这与实际上总的家庭人均食物消费水足迹值相差71.2m<sup>3</sup>/年,这一差值正是在家与在外食物消费结构不同的表现。综上,为了对整体的水足迹消费变化趋势进行准确地判断,应该充分考虑在

外的消费量与消费结构信息。

### 3.2 收入对食物消费水足迹的影响

数据分析显示,食物消费水足迹与收入之间存在明显正相关关系。将所有样本家庭按照人均可支配收入五等分,人均在家食物消费水足迹呈现先增后减的趋势(表3),且在中高等收入组出现拐点,而人均在外食物消费水足迹随收入的增加呈现明显的上升趋势;人均水足迹受在外消费拉动的影响下,同样随收入的增加而上升,但增速减缓且在高收入组有下降趋势。

收入与水足迹之间的正效应来自收入增长带

2018年1月

表3 不同收入水平及家庭规模组间人均食物消费量与水足迹对比

Table 3 Food consumption and water footprint changes along with household income and size

| 收入/家庭规模 | 年人均食物消费量/kg |        |        | 年人均食物消费水足迹/m <sup>3</sup> |        |          | 每公斤食物消费水足迹/m <sup>3</sup> |
|---------|-------------|--------|--------|---------------------------|--------|----------|---------------------------|
|         | 在家          | 在外     | 总计     | 在家                        | 在外     | 总计       |                           |
| 低收入组    | 462.19      | 65.09  | 527.28 | 744.29                    | 165.73 | 910.02   | 1.74                      |
| 中低收入组   | 479.28      | 75.34  | 554.62 | 797.55                    | 184.31 | 981.85   | 1.80                      |
| 中等收入组   | 492.40      | 78.94  | 571.34 | 819.79                    | 202.62 | 1 022.41 | 1.83                      |
| 中高收入组   | 494.81      | 94.52  | 589.34 | 823.44                    | 237.46 | 1 060.90 | 1.83                      |
| 高收入组    | 464.75      | 120.82 | 585.57 | 770.23                    | 289.82 | 1 060.04 | 1.85                      |
| 1人      | 520.54      | 90.79  | 611.32 | 866.13                    | 233.73 | 1 099.86 | 1.83                      |
| 2人      | 558.43      | 69.61  | 628.03 | 909.17                    | 174.28 | 1 083.45 | 1.76                      |
| 3人      | 447.99      | 104.06 | 552.06 | 744.84                    | 257.4  | 1 002.24 | 1.84                      |
| 4人      | 420.52      | 70.24  | 490.76 | 702.35                    | 171.74 | 874.09   | 1.80                      |
| 5人及以上   | 412.77      | 49.73  | 462.50 | 695.93                    | 125.99 | 821.92   | 1.79                      |
| 全部样本    | 464.20      | 86.45  | 550.65 | 769.31                    | 214.44 | 983.75   | 1.79                      |

来的食物需求总量上升与消费结构变化的共同作用。表3最后一列人均每千克食物消费水足迹随收入提高而上升,这意味着,收入增长除了带来的食物需求总量的上升外,还显著影响食物结构的变化,进而增加对水足迹需求,耗水量较大的畜禽肉类产品占比随收入上升同向变化,是每千克食物消费水足迹随之增长的主要原因。

### 3.3 家庭人口结构对食物消费水足迹的影响

家庭人均食物消费水足迹及消费量随家庭规模的增大呈现下降趋势。只有一个人的家庭人均食物消费水足迹均值为1099.86m<sup>3</sup>/年,而5口(及以上)之家人均仅为821.92m<sup>3</sup>/年(表3)。这可能有两方面原因:一是存在规模经济,即在假定个体食物摄入量不变的情况下,人口规模较大的家庭更容易减少人均食物浪费量,从而降低人均食物消耗水平;二是人口规模较大的家庭更容易出现食物消费量较小的小孩和老人,从而拉低了家庭的人均食物消费量和水足迹,这可以从表4按是否有儿童和老人分组考察人均食物消费水足迹的结果得到支撑。此外,从表3还可以看出,人均每千克食物的水足迹在不同规模家庭之间基本相同,意味着家庭规模对食物消费结构的影响可能并不显著。

## 4 回归结果分析与预测

本部分将对居民家庭食物消费水足迹各影响因素进行实证分析。分为两个部分:①收入与老龄化对食物消费水足迹的影响分析;②基于模型估计结果,

表4 有无老人、儿童家庭间人均食物消费水足迹比较

Table 4 The comparison of per capita food consumption

water footprint (m<sup>3</sup>/(人·年))

|    | 是否有14岁以下儿童? |          |      | 是否有60岁以上老人? |          |      |
|----|-------------|----------|------|-------------|----------|------|
|    | 有           | 没有       | p-值  | 有           | 没有       | p-值  |
| 在家 | 719.08      | 824.75   | 0.00 | 839.65      | 767.80   | 0.00 |
| 在外 | 233.93      | 207.65   | 0.03 | 116.58      | 263.64   | 0.00 |
| 加总 | 953.01      | 1 032.40 | 0.00 | 956.23      | 1 031.44 | 0.00 |

对中国未来食物消费水足迹的变化趋势进行预测。

### 4.1 收入与老龄化对食物消费水足迹的影响

为了实证分析收入与人口老龄化对居民食物消费水足迹的影响,根据2.2章节中公式(2)的设定,首先对人均食物消费水足迹进行模型估计(模型1),采用的估计方法为最小二乘法回归(OLS),其中人口老龄化由一组代表家庭各年龄段人口占比的变量组成(见表1)。进一步,为了深入探讨收入变化与老龄化对食物消费水足迹的影响路径,分别用在家和在外食物消费水足迹替换模型一中的被解释变量重新估计模型(模型2,模型3)。此外,本文还用每千克食物消费水足迹作为被解释变量进行了回归(模型4),这样做的原因是,在技术不变的前提下,每千克食物消费水足迹的差异主要由食物消费结构决定,因此模型4能够更清楚的告诉读者由收入增长与老龄化引至的食物消费结构变化对水足迹的影响。表5汇报了四个模型的回归结果。

模型1和模型2结果显示,收入以及家庭结构

都对人均食物消费水足迹有显著非线性影响。从模型1的回归结果看,人均可支配收入的一次项参数估计显著为正,二次项参数显著为负,这表明,随着收入水平的上升,人均食物消费水足迹将呈现显著的递减式上升趋势,并最终会在收入达到一定水平时达到最高点,之后,随着收入的继续提高转而开始下降。简单的计算可知,人均食物消费水足迹在人均可支配收入达到3669元/月(以2010年计价)时达到最高点。与人均食物消费总水足迹相似,在家食物消费水足迹也随收入上升呈先增后降的变化趋势,但其峰值出现时点大大提前,在其他因素不变的前提下人均在家食物消费水足迹最高点出现在1322元/月。与此不同的是,在外食物消费水足迹随收入增长呈线性增长,这一方面由于收入增长会使家庭在外消费占比增加<sup>[30,34]</sup>,另一方面则与在外消费与在家消费的结构不同有关,其中在水足

迹核算中权重较高的畜禽产品在在外消费中的占比远高于在家消费是主要原因。这一结果进一步表明,在评估中国食物消费水足迹以及整个农业水资源供需压力时,忽视在外消费会导致显著误判。此外,收入对每千克食物消费水足迹的影响(模型4)也呈现先升后降的趋势,这更加清晰地反映出居民饮食结构随收入增长的变化特征,即收入增长前期,水足迹核算中权重较高的畜禽产品需求会显著上升,但在到达一定水平后会趋于平稳,并缓慢下降。据世界卫生组织(2003年)报告<sup>[36]</sup>,从膳食热量来源于植物和动物产品的占比可以看出,这种变化特征在很多发达国家和地区都曾发生。

食物消费水足迹显著受到家庭人口规模和构成的影响。首先,家庭人口规模与人均食物消费总水足迹之间存在显著负相关关系,这可以用规模经济来解释,即随着家庭人口规模增大,人均食物消

表5 OLS模型回归结果

Table 5 The results of OLS regression

|                     | 人均食物消费水足迹           |                     |                     | 每千克食物水足迹            |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                     | 总量(模型1)             | 在家(模型2)             | 在外(模型3)             | 模型4                 |
| 人均收入对数值             | 0.143***<br>(0.02)  | 0.072**<br>(0.03)   | 0.683***<br>(0.12)  | 0.047***<br>(0.01)  |
| 人均收入对数值平方           | -0.055***<br>(0.01) | -0.129***<br>(0.03) | -0.100<br>(0.09)    | -0.017**<br>(0.01)  |
| 家庭人口数               | -0.081<br>(0.01)    | -0.017<br>(0.02)    | 0.081<br>(0.06)     | -0.007<br>(0.01)    |
| 老年人比重               | -0.060*<br>(0.03)   | 0.492***<br>(0.06)  | -2.904***<br>(0.20) | -0.142***<br>(0.02) |
| 中年人口比重              | -0.049<br>(0.03)    | 0.411***<br>(0.06)  | -1.138***<br>(0.20) | -0.076***<br>(0.02) |
| 青年人口比重 <sup>a</sup> | -                   | -                   | -                   | -                   |
| 儿童比重                | -0.060<br>(0.06)    | 0.399***<br>(0.12)  | -0.175<br>(0.40)    | -0.001<br>(0.04)    |
| 户主性别                | 0.011<br>(0.02)     | -0.010<br>(0.03)    | 0.009<br>(0.11)     | 0.017*<br>(0.01)    |
| 户主受教育水平             | 0.015**<br>(0.01)   | -0.002<br>(0.01)    | 0.156***<br>(0.04)  | 0.007*<br>(0.00)    |
| 省份变量 <sup>b</sup>   | 略                   | 略                   | 略                   | 略                   |
| 常数项                 | 6.865***<br>(0.06)  | 6.266***<br>(0.10)  | 3.993***<br>(0.35)  | 0.652***<br>(0.03)  |
| 样本量                 | 2 023               | 2 023               | 2 023               | 2 023               |
| R <sup>2</sup>      | 0.133               | 0.085               | 0.215               | 0.195               |

注: \* $p < 0.10$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ ; a表示中青年人口比重变量在回归过程被删去; b表示四个模型均已控制省份变量,此处未做相应汇报。



2018年1月

耗会显著下降,这并不是因为大家庭中人们吃的更少,而是因为家庭式食物共享消费方式可以有效地降低人均食物浪费量。其次,人口结构对水足迹的影响与预期一致,家庭60岁以上老年人占比越高的家庭人均食物消费水足迹越低,这在90%的置信水平上显著。但值得注意的是,老年人占比对在家和在外食物消费水足迹的影响完全相反,对在家有显著正影响,对在外有显著负影响,这可能与老年人多的家庭在家做饭的时间机会成本较低有关,因此,更倾向于在家消费,而相应减少在外消费。除老年人群体外,回归结果并没有发现家庭人均总水足迹受到其他年龄组人口占比的显著影响。另外,儿童比重对每千克食物消费水足迹无显著影响,40~59岁中年人口与60岁以上老龄人口比重均与每千克食物消费水足迹呈显著负向相关关系,且与中年人口相比老年人口比重变化对每千克食物消费水足迹作用更大,这意味着,老龄化的发展将会加速城市居民由水需求较高的食物消费结构向较低水需求的消费结构转变。

#### 4.2 食物消费水足迹预测

本部分内容在中国居民收入水平持续提高、老龄化发展不断加剧的经济社会发展背景下,对未来

食物消费水足迹进行预测分析,本文暂不考虑收入增长与人口结构变化之外的因素对城镇居民食物消费的影响。设定6个预测方案:方案1-方案3只考虑城镇居民实际收入在不同增长速度下对食物消费水足迹的影响,分别设定年均实际增长率为4%、5%与6%;方案4-方案6是在方案1-方案3的基础上同时考虑了老龄化发展的影响,根据国务院2016年公开发布的《国家人口发展规划(2016—2030年)》<sup>[37]</sup>以及联合国《世界人口展望:2015年修订版》<sup>[15]</sup>预测中国60岁以上老年人口占比将在2030年达25%,2040年增长到28%,设定城镇人口老龄化按此预测同步增长,得到各年老龄人口占比。

表6汇报了各方案下的中国城镇居民家庭人均食物消费水足迹预测值。比较方案1到方案3可知,收入增长越快人均食物消费水足迹拐点出现的更早且峰值更低,在年均实际收入增长率为4%、5%与6%三种方案下,城市居民人均食物消费水足迹分别在2026年、2024年以及2023年达到峰值并开始下降,对应人均食物消费水足迹分别为1478m<sup>3</sup>/年、1410m<sup>3</sup>/年和1366m<sup>3</sup>/年;另外,同时考虑家庭人口老龄化因素的人均水足迹预测值要低于只考虑收入增长的水足迹预测值。

表6 城镇居民家庭人均食物消费水足迹预测

Table 6 Forecast of per capita food consumption water footprint of urban households

(m<sup>3</sup>/年)

| 年份   | 不考虑老龄化方案 |          |          | 考虑老龄化方案  |          |          |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|      | 方案1(4%)* | 方案2(5%)* | 方案3(6%)* | 方案4(4%)* | 方案5(5%)* | 方案6(6%)* |
| 2017 | 1 238    | 1 236    | 1 235    | 1 236    | 1 235    | 1 234    |
| 2018 | 1 284    | 1 280    | 1 276    | 1 282    | 1 278    | 1 274    |
| 2019 | 1 326    | 1 318    | 1 310    | 1 324    | 1 316    | 1 308    |
| 2020 | 1 364    | 1 350    | 1 336    | 1 361    | 1 348    | 1 334    |
| 2021 | 1 397    | 1 375    | 1 355    | 1 394    | 1 373    | 1 352    |
| 2022 | 1 424    | 1 394    | 1 365    | 1 421    | 1 391    | 1 362    |
| 2023 | 1 447    | 1 406    | 1 366    | 1 443    | 1 403    | 1 363    |
| 2024 | 1 463    | 1 410    | 1 359    | 1 459    | 1 406    | 1 355    |
| 2025 | 1 473    | 1 407    | 1 343    | 1 469    | 1 403    | 1 339    |
| 2026 | 1 478    | 1 396    | 1 319    | 1 473    | 1 392    | 1 315    |
| 2027 | 1 475    | 1 378    | 1 287    | 1 470    | 1 373    | 1 282    |
| 2028 | 1 467    | 1 352    | 1 247    | 1 462    | 1 348    | 1 242    |
| 2029 | 1 452    | 1 320    | 1 201    | 1 446    | 1 315    | 1 196    |
| 2030 | 1 431    | 1 282    | 1 148    | 1 425    | 1 277    | 1 143    |
| 2035 | 1 246    | 1 018    | 831      | 1 240    | 1 013    | 826      |

注:\*( )中数字表示设定对应方案中城市居民家庭人均收入的实际年均增长速度。



收入增长的越快就越能通过对食物消费的影响抵消人口增长带来的水资源压力,老龄化的发展同样对水资源需求有负向影响。表7左侧汇报了基于中国人口及城镇化发展现状的城镇居民食物消费水足迹总量预测值,由于城镇人口增长,中国城镇食物消费水足迹峰值的出现要略晚于人均食物消费水足迹,方案1到方案3三种增长方案下的水足迹总量峰值分别出现在2030年、2027年和2025年,对应水足迹为1.418万亿 $\text{m}^3$ /年、1.299万亿 $\text{m}^3$ /年和1.225万亿 $\text{m}^3$ /年,且收入增速越高水足迹拐点出现越早峰值越低;表7右侧汇报了考虑老龄化因素后带来的城市居民食物消费水足迹总量预测值的变化情况,可见方案4到方案6得出的各年份水足迹变化值均为负,这意味着老龄化将会抵消一部分城镇居民食物消费水需求,因此不考虑人口结构变化的现实情况将会导致对未来食物消费水需求量的高估。

5 结论与讨论

本文基于中国10个城市2023户城市居民家庭7天记账式调研数据,实证分析了中国城市居民家庭的食物消费水足迹构成及其影响因素,重点考察

了收入增长与人口老龄化的影响。在此基础上,对中国未来城市居民食物消费水足迹进行了预测。

5.1 主要结论

研究结果表明:

(1)居民食物消费水足迹及在家食物消费水足迹随着收入水平的提高呈现先升后降的发展趋势,但在外消费水足迹在未来一段时间内仍然表现出较强的增长态势。因此,忽略在外消费(包括消费量及其与在家消费结构上的差异)将造成对食物消费水需求的低估以及对未来食物消费水足迹变化趋势的误判。

(2)40~59岁中年人口比重与60岁以上老龄人口比重均与每千克食物消费水足迹呈反向相关关系,且比较系数可知60岁以上老年人口比重变化对每千克食物消费水足迹作用更大,老龄化的发展将会加速当前食物消费结构发展路径的转变。

(3)对未来消费水足迹的预测显示,人均收入增长速度越高食物消费水足迹越早的开始下降,且预测的水足迹峰值越低。

(4)老龄化将抵消部分由收入增长带来的食物消费水需求,不考虑人口老龄化因素会导致对食物

表7 中国城镇居民食物消费水足迹总量预测

Table 7 Forecast of food consumption water footprint in urban China

| 年份   | 收入增长方案下中国城镇居民食物消费水<br>足迹总量预测值/(万亿 $\text{m}^3$ /年) |       |       | 同时考虑老龄化后居民食物消费水<br>足迹总量预测值变化/(亿 $\text{m}^3$ /年) |       |       |
|------|--|-------|-------|--|-------|-------|
|      | 方案1  | 方案2   | 方案3   | 方案4  | 方案5   | 方案6   |
| 2017 | 0.988  | 0.987 | 0.986 | -9.7   | -9.7  | -9.7  |
| 2018 | 1.042  | 1.039 | 1.035 | -12.4  | -12.4 | -12.4 |
| 2019 | 1.094  | 1.087 | 1.081 | -15.4  | -15.3 | -15.3 |
| 2020 | 1.144  | 1.132 | 1.121 | -18.6  | -18.5 | -18.3 |
| 2021 | 1.191  | 1.173 | 1.156 | -22.1  | -21.8 | -21.5 |
| 2022 | 1.236  | 1.209 | 1.184 | -25.7  | -25.2 | -24.8 |
| 2023 | 1.276  | 1.240 | 1.205 | -29.6  | -28.8 | -28.1 |
| 2024 | 1.312  | 1.264 | 1.219 | -33.5  | -32.4 | -31.4 |
| 2025 | 1.344  | 1.283 | 1.225 | -37.6  | -36.1 | -34.6 |
| 2026 | 1.370  | 1.294 | 1.223 | -41.8  | -39.7 | -37.6 |
| 2027 | 1.391  | 1.299 | 1.213 | -46.0  | -43.2 | -40.5 |
| 2028 | 1.406  | 1.296 | 1.195 | -50.2  | -46.5 | -43.2 |
| 2029 | 1.415  | 1.287 | 1.170 | -54.3  | -49.7 | -45.5 |
| 2030 | 1.418  | 1.270 | 1.138 | -58.3  | -52.6 | -47.4 |
| 2035 | 1.261  | 1.030 | 0.841 | -63.2  | -52.1 | -42.9 |

注:表中数据由文献[15]、文献[38]相关数据推算得出。

2018年1月

消费水足迹的高估。

## 5.2 讨论

水足迹能有效帮助人们理解人类活动与自然资源之间的复杂关系,但客观上,水足迹评价对水资源的管理作用存在一定的局限性。一方面,由于水足迹主要关注有限供给情境下的淡水资源使用问题,它并不能为与淡水资源短缺无关的水资源问题(洪水问题、海水利用等)提供政策支持;另一方面,运用水足迹评价作相关权衡时,需要同其他分析工具配合使用,必须综合考虑相关的环境、社会、

经济、文化以及政治制度,否则在决策时存在太过简化的风险。认识到这些有助于研究者更好地理解与运用水足迹进行相关评价,并制定出更为合理的政策响应方案。

本研究通过食物消费在收入增长、老龄化和水足迹之间建立了有机联系。综合考虑了收入增长以及家庭结构变化对食物消费水足迹的影响,并充分利用详尽的家庭在家及在外消费数据,论证了在家与在外消费之间的差异所导致的水资源需求的不同变化趋势,以及忽略在外消费将带来对未来食

附表 食物分类与水足迹

Attached table Food classification and water footprint

| 第一层分组 | 第二层分组                   | 在所属第一层分组中的<br>消费比重/% | 绿水<br>/(m <sup>3</sup> /t) | 蓝水<br>/(m <sup>3</sup> /t) | 灰水<br>/(m <sup>3</sup> /t) | 说明   |
|-------|-------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--|
| 谷物    | 大米                      | -                    | 792                        | 355                        | 310                        |  |
|       | 小麦粉                     | -                    | 830                        | 471                        | 315                        |  |
|       | 其他谷物                    | -                    | 1 297                      | 19                         | 182                        |  |
| 肉类    | 猪肉                      | 58.3                 | 5 225                      | 414                        | 671                        | 由带骨、不带骨鲜肉及其他肉制品系数按消费量加权平均求得                              |
|       | 牛肉                      | 10.9                 | 12 743                     | 493                        | 396                        | 同上   |
|       | 羊肉                      | 2.4                  | 5 228                      | 441                        | 13                         | 同上   |
|       | 禽肉                      | 20.9                 | 2 836                      | 281                        | 854                        | 同上   |
|       | 内脏                      | 6.8                  | 2 219                      | 152                        | 305                        | 由猪、牛、羊、禽内脏系数按照各类消费比重加权平均求得                               |
|       | 其他肉类                    | 0.7                  | 5 338                      | 378                        | 638                        |  |
| 禽蛋    | 鲜蛋                      | -                    | 2 211                      | 217                        | 666                        |  |
|       | 禽蛋制品                    | -                    | 2 457                      | 247                        | 739                        |  |
| 水产    |                         | -                    |                            | 608                        |                            | 水产系数由0.55的料肉比以及当前72%的养殖占比推算得出                            |
| 蔬菜    | 新鲜蔬菜                    | -                    | 218                        | 4                          | 143                        |  |
|       | 脱水/腌制蔬菜                 | -                    | 624                        | 13                         | 409                        |  |
|       | 其他蔬菜                    | -                    | 218                        | 4                          | 143                        |  |
| 水果    | 鲜果                      | -                    | 755                        | 29                         | 287                        | 由各种鲜果系数按消费量加权平均得到  |
|       | 干果/腌制水果                 | -                    | 898                        | 23                         | 300                        |  |
|       | 其他水果                    | -                    | 797                        | 24                         | 287                        | 鲜果与干果各取50%权重进行调整   |
| 乳制品   | 鲜奶                      | -                    | 927                        | 145                        | 210                        |  |
|       | 酸奶                      | -                    | 1 077                      | 169                        | 244                        |  |
|       | 其他奶制品                   | -                    | 4 603                      | 720                        | 1 041                      | 由奶粉及黄油系数按照消费比重求得   |
| 豆类及制品 | 豆腐                      | -                    | 2 999                      | 293                        | 257                        |  |
|       | 豆浆/豆汁/豆奶                | -                    | 2 576                      | 252                        | 221                        | 样本数据并没有对豆浆与豆奶作区分无法获得居民实际的消费权重,又因二者水足迹系数相差较大,故各取50%权重进行调整 |
|       | 非蔬菜豆类                   | -                    | 1 471                      |                            | 617                        |  |
|       | 豆干/豆皮/腐竹/香干/干丝/素鸡/干张/豆粉 | -                    | 4 472                      | 437                        | 383                        |  |
|       | 豆奶                      | 0.5                  | 4 472                      | 437                        | 383                        |  |
|       |                         |                      |                            |                            |                            |  |

注:水产数据608m<sup>3</sup>/t不分绿水、蓝水、灰水为总量。

物消费水需求预测的偏误。通过本文对食物消费水足迹的讨论可以很确切的得出:在收入增长与老龄化的发展下,中国居民食物消费水足迹将呈现递减式上升的发展路径,食物消费水资源需求在持续一段时期的上升之后将出现转向;另外,收入的快速增长对于居民食物消费结构升级转型意义重大,由此引发的农业供给侧结构调整对资源环境需求的变化更是具有不可忽视的意义。

文章的不足之处:

(1)一个国家或地区水资源供给不仅取决于消费端的数量和结构,也取决于其水资源的供给禀赋、科技水平、农业生产结构等因素。本文仅从消费端考察食物消费水足迹问题,没有联合当地水资源禀赋、农业生产效率和生产结构以及地区间农产品贸易格局作出相应分析,因此,研究的结论对于政策制定,特别是区域性政策制定的参考意义具有局限性。未来如果能在区域尺度上开展相似的研究,并能把食物消费端与供给端统筹考虑,则可以有效克服这一局限。

(2)本文的水足迹计算全部采用 Mekonnen 等估计的各类食物单位质量水足迹全国平均值进行水足迹核算,这种做法存在尺度过大的问题,但考虑到本研究的主要目标是考察收入增长与老龄化对食物消费水足迹的影响,而不是食物消费水足迹的区域差异,因而从国家尺度上进行估计更有利于准确地分析收入与老龄化的影响,使用国家层面的水足迹核算参数具有尺度太大的不足也同时有其合理性。

(3)讨论水足迹的构成对于水资源的优化管理有着重要意义,本文虽然在进行水足迹核算时,对除水产外的每种食物消费水足迹都区分了蓝水、绿水、灰水三种属性相异的水足迹(附表),但由于本研究着重于对总量水足迹的考察,并没有对这部分内容进行更为细致的研究。

## 参考文献(References):

[1] Hoekstra A Y. Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No.12 [C]. Netherlands: UNESCO-IHE, 2002.

[2] Hoekstra A Y, Chapagain A K, Aldaya M M, *et al.* The Water Footprint Assessment Manual[M]. London: Earthscan, 2011.

[3] Chapagain A K, Hoekstra A Y, Savenije H H G, *et al.* The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries[J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(1): 186-203.

[4] Garrido A, Llamas M R, Varela-Ortega C, *et al.* Water Footprint and Virtual Water Trade in Spain[M]. New York: Springer, 2010.

[5] Chapagain A K, Hoekstra A Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(4): 749-758.

[6] Hoekstra A Y, Chapagain A K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities[J]. *Ecological Economics*, 2007, 64(1): 143-151.

[7] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products, Value of Water Research Report Series No. 47[C]. Netherlands: UNESCO-IHE, 2010.

[8] Mekonnen M M, Hoekstra A Y. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Farm Animals and Animal Products, Value of Water Research Report Series No. 48[C]. Netherlands: UNESCO-IHE, 2010.

[9] Hoekstra A Y, Chapagain A K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern[J]. *Water Resources Management*, 2006, 21(1): 35-48.

[10] Schyns J F, Hoekstra A Y. The added value of water footprint assessment for national water policy: a case study for Morocco[J]. *Plos One*, 2014, 9(6): e99705.

[11] Hoekstra A Y, Wiedmann T O. Humanity's unsustainable environmental footprint[J]. *Science*, 2014, 344(6188): 1114-1117.

[12] 陈锡文. 论农业供给侧结构性改革[J]. 中国农业大学学报: 社会科学版, 2017, 34(2): 5-13. [Chen X W. Structural reform of agricultural supply side[J]. *Journal of China Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017, 34(2): 5-13. ]

[13] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2000-2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000-2016. [ National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook 2000-2015[M]. Beijing: China Statistics Press, 2000-2013. ]

[14] 国家统计局. 2016 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2017-02-28) [2017-06-05]. [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb./201702/t20170228\\_1467424.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb./201702/t20170228_1467424.html). [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistical Communique on National Economic and Social Development in 2016[EB/OL]. (2017-02-28) [2017-06-05]. [http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb./201702/t20170228\\_1467424.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb./201702/t20170228_1467424.html). ]

[15] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2015 Revision,



2018年1月

- Key Findings and Advance Tables[R]. New York: UNDESA, 2015.
- [16] 白军飞, 闵师, 仇焕广, 等. 人口老龄化对我国肉类消费的影响[J]. 中国软科学, 2014, (11): 17-26. [Bai J F, Min S, Qiu H G, et al. Impact of population aging on China's meat consumption[J]. *China Soft Science*, 2014, (11): 17-26.]
- [17] 黄季焜. 社会发展、城市化和食物消费[J]. 中国社会科学, 1999, (4): 102-116. [Huang J K. Social development, urbanization and food consumption[J]. *Social Sciences in China*, 1999, (4): 102-116.]
- [18] 张丹, 成升魁, 高利伟, 等. 城市餐饮业食物浪费的生态足迹—以北京市为例[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 10-18. [Zhang D, Cheng S K, Gao L W, et al. Ecological footprint of catering industry food waste in Beijing[J]. *Resources Science*, 2016, 38(1): 10-18.]
- [19] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消耗生态足迹和水足迹[J]. 资源科学, 2011, 33(6): 1145-1152. [Wu Y, Wang X K, Lu F. Ecological footprint and water footprint of food consumption in Beijing[J]. *Resources Science*, 2011, 33(6): 1145-1152.]
- [20] Du B, Zhang K, Song G, et al. Methodology for an urban ecological footprint to evaluate sustainable development in China[J]. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2006, 13(4): 245-254.
- [21] Feng K, Siu Y L, Guan D, et al. Assessing regional virtual water flows and water footprints in the Yellow River Basin, China: a consumption based approach[J]. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 691-701.
- [22] Marlow H J, Hayes W K, Soret S, et al. Diet and the environment: does what you eat matter?[J]. *Am J Clin Nutr*, 2009, 89(5): 1699S-1703S.
- [23] Reynolds C J, Piantadosi J, Buckley J D, et al. Evaluation of the environmental impact of weekly food consumption in different socio-economic households in Australia using environmentally extended input-output analysis[J]. *Ecological Economics*, 2015, 111: 58-64.
- [24] Gerbens-Leenes P W, Nonhebel S. Consumption patterns and their effects on land required for food[J]. *Ecological Economics*, 2002, 42(1-2): 185-199.
- [25] Jiang L, Seto K C, Bai J. Urban economic development, changes in food consumption patterns and land requirements for food production in China[J]. *China Agricultural Economic Review*, 2015, 7(2): 240-261.
- [26] Liu J, Hhg S. Food consumption patterns and their effect on water requirement in China[J]. *Hydrology & Earth System Sciences*, 2008, 5(1): 27-50.
- [27] White T. Diet and the distribution of environmental impact[J]. *Ecological Economics*, 2000, 34(1): 145-153.
- [28] Fan S, Wailes E J, Cramer G L. Household demand in rural China: a two-stage LES-AIDS model[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1995, 77(1): 54-62.
- [29] 谭涛, 张燕媛, 唐若迪, 等. 中国农村居民家庭消费结构分析: 基于QUAIDS模型的两阶段一致估计[J]. 中国农村经济, 2014, (9): 17-31. [Tan T, Zhang Y Y, Tang R D, et al. Analysis of China's rural household consumption structure: based on consistent estimates of two-steps QUAIDS model[J]. *Chinese Rural Economy*, 2014, (9): 17-31.]
- [30] 郑志浩, 高颖, 赵殷钰. 收入增长对城镇居民食物消费模式的影响[J]. 经济学: 季刊, 2015, (4): 263-288. [Zheng Z H, Gao Y, Zhao Y Y. Impact if income growth on food consumption patterns in urban China[J]. *China Economic Quarterly*, 2015, (4): 263-288.]
- [31] Jiang B, Davis J. Household food demand in rural China[J]. *Applied Economics*, 2007, 39(3): 373-380.
- [32] Wu Y, Wu H X. Household grain consumption in China: effects of income, price and urbanization[J]. *Asian Economic Journal*, 1997, 11(3): 325-342.
- [33] Zhou D, Yu X, Herzfeld T. Dynamic food demand in urban China[J]. *China Agricultural Economic Review*, 2015, 7(1): 27-44.
- [34] Bai J, Zhang C, Wahl T, et al. Dining out, the missing food consumption in China[J]. *Applied Economics Letters*, 2016, (15): 1-4.
- [35] 闵师, 白军飞, 仇焕广, 等. 城市家庭在外肉类消费研究—基于全国六城市的家庭饮食消费调查[J]. 农业经济问题, 2014, 35(3): 90-95. [Min S, Bai J F, Qiu H G, et al. Meat consumption away-from-home of urban household and determines[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 35(3): 90-95.]
- [36] World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations. WHO Technical Report Series 916: Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases [M]. Switzerland: World Health Organization, 2003.
- [37] 中华人民共和国国务院. 国家人口发展规划(2016-2030年) [EB/OL]. (2017-01-25)[2017-06-05]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content\\_5163309.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content_5163309.htm). [The State Council of the People's Republic of China. The National Population Development Planning(2016-2030) [EB/OL]. (2017-01-25)[2017-06-05]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content\\_5163309.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/25/content_5163309.htm).]
- [38] 联合国开发计划署(著). 中国对外翻译出版有限公司(译). 中国人类发展报告2013[M]. 北京: 中国对外翻译出版有限公司, 2013. [The United Nations Development Program (Write). China Translation & Publishing Corporation (Translate). China Human Development Report 2013[M]. Beijing: China Translation & Publishing Corporation, 2013.]

## Impact of income growth and aging on the water footprint of food consumption in urban China

XU Fei<sup>1</sup>, ZHANG Caiping<sup>2</sup>, BAI Junfei<sup>1</sup>

(1. College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Economics, Central University of Finance and Economics, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Scientifically using the concept of water footprint will help people understand the complex relationship between human activities and natural resources. Water footprint affects the evaluation and management of water resources. Here, we attempt to establish a relationship between socioeconomic factors and water footprint through food consumption. We point out how socioeconomic factors affect the water demand of food consumption. Based on a week-long diary survey of 2, 023 households from 10 cities in China, we aimed to empirically analyze water footprints behind food consumption and identify influencing factors, with specific attention to the impact of income growth and population aging. We forecast future trends in the water footprint of food consumption in urban China based on different circumstances for income growth and population aging. The results show that the water footprint behind food consumption increases with a decreasing rate as income rises, suggesting a continually growing pressure on water supply until the water footprint reaches a turning point around the year 2027. In contrast to the income effect, China's aging population has a significant negative effect on the water footprint of food consumption. Understanding this nature and making full use of population aging effects will help to find more scientific and dynamic methods to coordinate pressures on water resource. Our results show that food consumed away from home plays a significant role in understanding the water footprint of food consumption, suggesting a potential downward bias without considering this part.

**Key words:** food consumption; water footprint; income growth; aging