

苹果和柑桔损耗与浪费的综合足迹评估

李泰, 程广燕, 黄家章, 范协裕, 卢士军

引用本文:

李泰, 程广燕, 黄家章, 等. 苹果和柑桔损耗与浪费的综合足迹评估[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(4): 683–690.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200767>

(向下翻页, 阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

有机农业能否养活中国?——氮肥供应获得的启示

Can organic agriculture feed China? Implications from the nitrogen supply

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(3): 431–439 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200584>

1992–2017年中亚五国农作物水足迹变化特征

Characteristics of crop water footprint changes in five Central Asian countries from 1992 to 2017

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(2): 269–279 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200404>

中国奶业全产业链绿色发展指标的时空变化特征

Spatiotemporal characteristics of green development indicators in the whole dairy industry chain in China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1181–1199 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200471>

海南岛农业绿色发展指标时空变化特征

Spatial and temporal characteristics of agricultural green development indicators in Hainan Island

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

华北平原春绿豆-夏玉米种植模式经济效益和碳足迹评价

Economic benefits and carbon footprint of a spring mung bean–summer maize cropping system in the North China Plain

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(6): 910–919 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190916>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200767

李泰, 程广燕, 黄家章, 范协裕, 卢士军. 苹果和柑桔损耗与浪费的综合足迹评估[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(4): 683-690

LI T, CHENG G Y, HUANG J Z, FAN X Y, LU S J. Comprehensive footprint assessment of apple and citrus loss and waste[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(4): 683-690

苹果和柑桔损耗与浪费的综合足迹评估*

李泰¹, 程广燕², 黄家章², 范协裕¹, 卢士军^{2**}

(1. 福建农林大学资源与环境学院 福州 350002; 2. 农业农村部食物与营养发展研究所 北京 100081)

摘要: 水果全产业链损耗不仅浪费了食物, 还意味着生产、收获后处理、贮藏、流转消费等各环节中水、耕地、能源等各种资源的浪费。本研究采用问卷调查和“一对一”访谈的方法, 在苹果和柑桔主产区 and 主销区进行实地调研, 调查分析水果全产业链(生产、收获后处理、贮藏、流转和消费)损耗现状, 主产区累计调研全产业链从业者 209 人, 主销区调研消费者 271 人。通过生态足迹、碳足迹和水足迹等模型对损耗浪费产生环境和资源影响进行定量评估。结果显示, 苹果和柑桔损耗浪费率分别为 18.56% 和 17.15%, 其中流转环节占比最高, 约为总损耗的 1/3。损耗量分别为 719.86×10^4 t 和 733.99×10^4 t, 损耗总量为 1453.85×10^4 t。苹果和柑桔损耗浪费的生态足迹分别为 13.33×10^4 hm² 和 13.76×10^4 hm², 总生态足迹为 26.09×10^4 hm²; 碳足迹分别为 92.37×10^4 t (CO₂ eq) 和 102.98×10^4 t (CO₂ eq), 碳足迹总量为 195.35×10^4 t (CO₂ eq); 水足迹分别为 57.65×10^8 m³ 和 41.10×10^8 m³, 水足迹总量为 98.75×10^8 m³。其中生产环节碳排放占比最高, 占总排放的 9 成以上。综上, 水果损耗和浪费也产生了巨大环境影响, 需要尽快采取相关措施, 减损降耗, 从而减轻环境资源压力, 提高水果供给水平。

关键词: 水果; 食物损耗浪费; 全产业链; 生态足迹; 碳足迹; 水足迹

中图分类号: X22

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Comprehensive footprint assessment of apple and citrus loss and waste*

LI Tai¹, CHENG Guangyan², HUANG Jiazhang², FAN Xieyu¹, LU Shijun^{2**}

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Food and Nutrition Development, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China)

Abstract: In recent years, food waste has become a global research topic, and fruit loss and waste is an important component of food waste. From the place of origin to the table, fruit waste occurs during picking, post-harvest processing, storage, circulation, consumption, and other stages with varying degrees of loss. Therefore, it is necessary to study the loss and waste of the whole fruit industry in China and to analyze the impact of its resources on the environment. The purpose of this study is to provide data to reduce the loss and waste of fruit and improve the utilization efficiency of ecological resources. Using apples and citrus as examples, this study investigated all of the links in the whole fruit industry chain via questionnaires and field visits. The total amount of loss and waste was estimated, including the ecological, carbon, and water footprints using key parameters, such as greenhouse gas emissions and water waste. A field survey was conducted in the main fruit marketing area to investigate and analyze the loss and waste of fruit during production, post-harvest treatment, storage, circulation, and consumption. This included 209 workers in the entire industrial chain in the main producing area and 271 consumers in the main

* 国家重点研发计划项目(2016YFE0113100)资助

** 通信作者: 卢士军, 主要研究方向为食物营养、食物损耗和浪费。E-mail: lushijun01@caas.cn

李泰, 研究方向为食物损耗及其环境影响。E-mail: 851958807@qq.com

收稿日期: 2020-09-23 接受日期: 2021-01-15

* This work was funded by the National Key R&D Program of China (2016YFE0113100).

** Corresponding author, E-mail: lushijun01@caas.cn

Received Sep. 23, 2020; accepted Jan. 15, 2021

selling area. The results showed that the wastage rates of apples and citrus were 18.56% and 17.15%, respectively, among which the wastage rate of the circulation link was the highest, accounting for approximately one-third of the total wastage. The wastage for apples and citrus were 719.86×10^4 t and 733.99×10^4 t, respectively, for a total loss of 1453.85×10^4 t. The ecological footprint of apple and citrus wastage was 13.33×10^4 hm^2 and 13.76×10^4 hm^2 , respectively, and the total ecological footprint was 26.09×10^4 hm^2 . The carbon footprint was 92.37×10^4 t (CO_2 eq) and 102.98×10^4 t (CO_2 eq), respectively, and the total carbon footprint was 195.35×10^4 t (CO_2 eq). The water footprint was 57.65×10^8 m^3 and 41.10×10^8 m^3 , respectively, and the total water footprint was 98.75×10^8 m^3 . During circulation, jolting, bumping, and squeezing could damage the fruit, resulting in loss; the highest in the entire supply chain. Bumps and squeezes during transportation were the main reasons for loss. Improper selection and temperature control by consumers during sales also caused fruit spoilage. The highest carbon emissions from production accounted for more than 90% of the carbon footprint, mainly due to the application of pesticides and fertilizers. To reduce fruit loss and waste and to improve the utilization efficiency of resources, some measures could be taken, such as improving the mechanization and standardization of fruit production levels and reducing the use of chemical fertilizers and pesticides. In the circulation process, operators must keep the environment clean and tidy. Moreover, an entirely cold-chain process should be advocated, and waste should be opposed during consumption.

Keywords: Fruits; Food loss and waste; Whole supply chain; Ecological footprint; Carbon footprint; Water footprint

近年来,食物损耗浪费已经成为全球研究热点^[1-3]。据联合国粮食与农业组织(Food and Agriculture Organization, FAO)估算,全球每年损耗浪费的食物约 13 亿 t, 占全球每年食物总产量的 1/3, 发达国家 40%的损耗和浪费发生在零售和消费阶段, 发展中国家 40%的损耗和浪费发生在农业生产、产后处理和贮藏环节^[4]。水果是食物浪费中重要的组成部分之一^[5], 果实从产地到餐桌需要经历的采摘、收获后处理、贮藏、流转、消费等多个环节都会产生不同程度的损失。农产品产业链损耗不仅浪费了食物, 还意味着生产、处理、消费等各环节中水、耕地、能源等资源的浪费。据统计, 每年投入到农业生产的 14 亿 hm^2 耕地和 2500 亿 m^3 的地表水和地下水被白白地浪费, 分别占全球耕地面积的 23%~30%, 全球作物生产用水的 24%, 由此产生释放的温室气体约为 33 亿 t (CO_2 eq), 并且还造成了全球 23%的肥料浪费^[6]。

我国人口众多, 随着经济、社会的稳步发展, 国民消费水平的不断提升, 水果已成为日常饮食中不可缺少的部分。2019 年我国水果总产量为 27 400.84 万 t, 进口量为 720.48 万 t^[7-8], 水果已成为继粮食和蔬菜后第三大农产品。为保证水果的充足供给, 一方面需要通过科技手段提高产量, 另一方面还需要挖掘现有产能, 提高资源利用率。在整个农产品产业链中, 各环节均会涉及资源的投入和温室气体的排放, 为衡量损耗浪费现状并分析其产生的综合影响, 对食物全产业链损耗和浪费进行准确量化尤为重要。

损耗指食物在生产环节、收获后处理、贮藏、加工、流转等环节中由于人为、技术、设备等因素造成的水果可食用部分的损失, 浪费指在消费阶段由于人为因素(例如: 未食用完的食物丢弃、原料贮

藏变质等)造成的水果可食用部分的损失^[6], 损耗和浪费均造成了食物可食部的无效消耗、浪费。在损耗研究方面, 我国还没有官方的食物损耗数据, 与欧洲和美国相比, 我国损耗数据上还存在很大差距^[9]。当前我国损耗浪费的研究主要集中在主粮类农作物。高利伟^[10]重点分析了我国三大粮食作物产后损失特征及其减损潜力。卢士军等^[11]对水稻(*Oryza sativa*)全产业链损耗及浪费情况进行定量评估, 分析产生损耗和浪费的主要原因。对于水果损耗浪费研究较少, 陈军等^[12]研究显示, 我国水果蔬菜采摘后的平均损失率达 25%~30%。水果的损耗研究仍集中理论探讨和文献推算上, 缺少水果全产业链的实调数据和损耗浪费的实证研究^[13-15]。

对于损耗浪费的环境影响评价, 国际上普遍采用足迹指标来评估人类资源消耗和废弃物排放等活动的环境影响, 国内外相继提出了生态足迹(ecological footprint, EF)、碳足迹(carbon footprint, CF)、水足迹(water footprint, WF)等一系列的相关足迹概念^[16-21]。FAO 通过碳足迹、水足迹、生态足迹对全球食物损耗和浪费产生的环境影响进行评估^[6]。欧盟 27 国在 2010 年对境内各国的食物损耗浪费进行统计, 并分析了造成的碳排放影响^[22]。Blas 等^[23]评估了 2014—2015 年西班牙家庭饮食和相关食物废物的水足迹。国内张丹等^[24-25]对北京市餐饮业食物浪费的生态足迹、碳足迹等进行了核算。郭华等^[26]计算了 1993—2010 年北京食物消费的生态足迹, 结果表明北京居民食物消费模式的改变增加了对土地的需求量。

综合来看, 目前我国针对水果损耗浪费研究较少, 对于损耗浪费的环境影响更是少见, 而且鲜有相关的生态足迹、碳足迹和水足迹的研究报道^[27-31],

究其原因是缺少全产业链上的一手调研数据^[32-34]。因此为了研究我国水果全产业链损耗浪费现状并分析其资源环境影响, 本文以苹果(*Malus domestica*)、柑桔(*Citrus reticulata*)为例, 通过发放问卷和实地走访调研的方法对水果全产业链各环节进行调查; 以调研的损耗浪费数据为基础, 估算损耗浪费总量, 利用关键参数计算生态足迹、碳足迹和水足迹, 评估其造成的土地成本、温室气体排放和水资源浪费情况, 为水果减损降耗、提高生态资源利用效率等

方面提供必要的的数据支撑。

1 研究方法和数据来源

1.1 研究对象与边界

本研究以鲜食苹果(红富士)和柑桔(砂糖桔、夏橙、金桔和温州蜜桔等)为调查对象, 不包括加工产品。涉及的水果全产业链主要包括: 农业生产(收获采摘)、收获后处理(分级、包装)、贮藏、流转和消费等5个环节^[4](图1)。

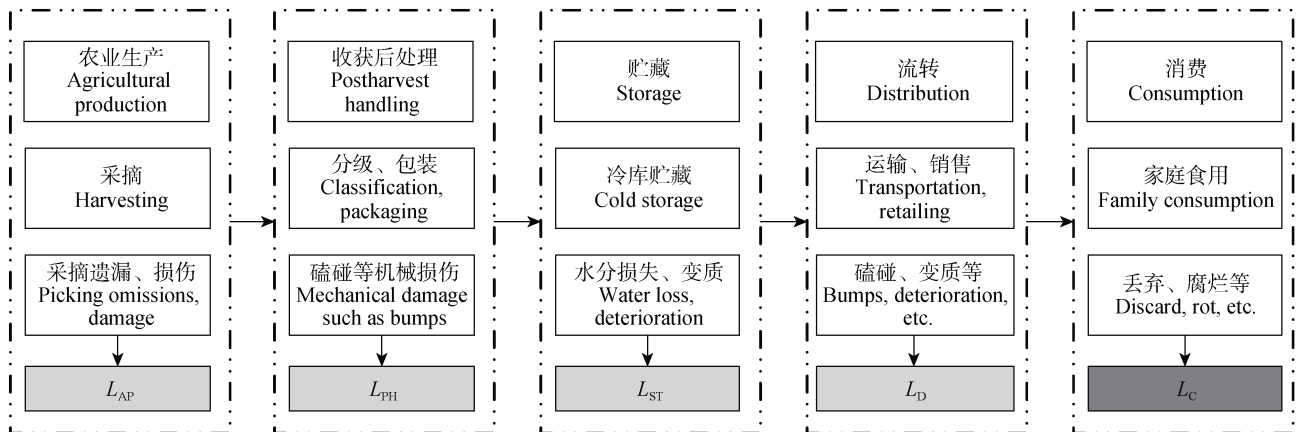


图1 水果全产业链损耗和浪费示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the loss and waste of the whole supply chain of fruits

L_{AP} : 生产环节损耗率; L_{PH} : 收获后处理环节损耗率; L_{ST} : 贮藏环节损耗率; L_D : 流转环节损耗率; L_C : 消费环节浪费率。 L_{AP} : loss rate of agricultural production; L_{PH} : loss rate of post-harvest handling; L_{ST} : loss rate of storage; L_D : loss rate of distribution; L_C : loss rate of consumption.

1.2 抽样方法

根据中国果品流通协会提供的行业产销现况, 选取苹果、柑桔的生产、流通、消费等环节为调查点。调研的苹果主产区包括山东栖霞市和蓬莱市、山西临猗县和万荣县、陕西白水县和洛川县, 柑桔主产区包括广西阳朔县和荔浦县、湖南慈利县和石门县; 水果主销区包括北京、广州、郑州和上海。在每个水果主产区中, 根据种植规模随机抽取生产者 10~15 人, 根据从业者数量随机抽取农产品经纪人 2~5 人、从事农产品运输的货运商或者经销商 1~2 人。产区周围的冷库抽样不少于 3 所(柑桔部分主产区无冷库)。消费者调查时, 在主销区选择大型超市各 2 家, 每家超市随机调查消费者不少于 30 人。

调研方式主要采取问卷调查和“一对一”的访谈形式。在主产区对农户发放问卷, 问卷内容包括各环节单位面积损耗量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、单位面积产量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、种植面积(hm^2)和损耗原因等, 并由调查员对生产环节损耗率进行折算, 对相关问题进行描述、解释, 确保调研数据真实可信。在对主产区其他从业者调研时, 由调查员先行整理调研问题, 提前下发, 内容包括收获后处理、贮藏和流转环节的

损耗率和损耗原因, 并由负责人对数据和存在问题进行解答。消费者调研时, 在主销区超市周围随机进行消费者问卷调查, 问卷内容包括: 浪费比例和浪费原因。现场调研于 2019 年 7—8 月期间开展, 历时 2 个月, 累计调研主产区 10 个, 主产区农户 142 人, 水果经纪人和操作工人 27 人, 17 家冷库, 货运商和经销商 23 人, 消费者 271 人(表 1)。

1.3 食物损耗和浪费率计算方法

食物损耗和浪费率指从生产到消费各个环节产生的实际损耗和浪费占本环节总产量之比。各环节损耗和浪费率计算公式:

$$L_i = W_i / C_i \quad (1)$$

式中: L_i 为 i 环节损耗或浪费率, W_i 为 i 环节的损失量, C_i 为 i 环节的总产量。

1.4 食物损耗和浪费的环境足迹核算

1.4.1 生态足迹

生态足迹可直接测算水果损耗和浪费消耗的土地资源^[35], 具体方法参照张丹等^[24]对北京市生态足迹研究方法, 将水果损耗和浪费折算成生物生产性土地面积。计算公式如下:

$$S = C / Y \quad (2)$$

表 1 苹果和柑桔的全产业链调研概况
Table 1 Survey of the whole supply chain of apple and citrus

环节 Stage	调研对象 Stakeholder	调研对象概况 An overview of the stakeholders	调查人数 People number	
			苹果 Apple	柑桔 Citrus
农业生产 Agricultural production	农户 Farmer households	从事农业生产、对水果进行收割、采摘等 Engage in production, harvesting and picking of fruits, etc.	82	60
收获后处理 Post-harvest handling	水果经纪人 Agricultural product brokers	收购水果、对水果商业化处理、销售等 Purchase fruits, commercialize fruits, sales, etc.	12	15
	一线操作工人 Workers at the production line	收获后从事分级、清洗、干燥等 Engage in classification, cleaning, drying, etc. after harvest		
贮藏 Storage	冷库负责人 Responsible persons of cold storages	水果存放过程中管理人员、负责人员 Managers in the process of fruit storage	14	3
流转 Distribution	货运商 Transport operators	水果长距离运输从业人员 Long-distance fruit transportation practitioners	17	6
	经销商 Retailers	水果在商超、农贸市场销售人员 Fruit sales staffs in supermarkets and farmers' markets		
消费 Consumption	消费者 Consumer	水果消费主体 Fruit consumer	271	271

式中: S 为水果损耗和浪费所需的土地面积(hm^2); C 为损耗和浪费量($\text{kg}\cdot\text{a}^{-1}$); Y 为平均生产力($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), 由主产地平均产量折算。水果全产业链食物损耗和浪费的生态足迹为:

$$EF = S \times R \quad (3)$$

式中: EF 为食物浪费生态足迹(hm^2); S 为水果损耗和浪费所需的土地面积(hm^2); R 为水果生产性土地的均衡因子, 土地类型为林地, 均衡因子为 0.74^[24]。

1.4.2 碳足迹

碳足迹是对某一产品或活动在生命周期内直接及间接引起的温室气体排放量的度量, 以 CO_2 质量为单位, 参考张丹等^[25]和京都议定书及其后继议定书^[36-37]中列明的各类温室气体定义与计量方法。基于过程分析法(PA-LCA)的碳足迹计算公式为:

$$CF = \sum Q_i \times EF_i \quad (4)$$

式中: CF 为碳足迹, Q_i 为物质或活动的数量或强度数据(质量/体积/长度/功率), EF_i 为单位物质或活动的碳排放因子(CO_2 当量, $\text{CO}_2 \text{ eq}$)。

本研究中苹果和柑桔全产业链损耗和浪费的碳排放主要包括两个阶段: 生产阶段和运输阶段。生产阶段主要是农药、化肥施用和农机使用产生排放的 $\text{CO}_2 \text{ eq}$ 。该部分计算利用美国橡树岭国家实验室的碳折算系数, 及我国各类农药化肥比例计算得到的农药、化肥、农机使用折算系数分别为 $18.01 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $2.50 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $2.17 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{kg}^{-1}$, 单位农田作业的平均耗柴油为 $169.89 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 食物的化肥和农药消费量利用单位质量食物化肥和农药使用量计算得到^[25,38]。运输阶段主要是货运过程中交通工具产生的排放 $\text{CO}_2 \text{ eq}$ 。该部分计算从主产区到主销区的平均路程, 乘以每公里油耗或电耗指标(表 2)^[25,39]。根据交通运输部数据显示, 我国有 78% 的货物运输为公路运输, 其余为铁路运输、民运航空运输和管道运输^[40], 文章假设水果运输除公路运输外, 其余均为铁路运输。

表 2 铁路公路运输的主要能耗指标
Table 2 Main technical and economic indicators of highway and railway transportation

项目 Item	货车耗汽油 Petroleum consumption of trucks	货车耗柴油 Diesel consumption of trucks	内燃机耗柴油 Diesel consumption of internal-combustion engine	电力机车耗电 Electricity consumption of electric power engine
能耗 Energy consumption	$7.76 \text{ L}\cdot(100 \text{ t}\cdot\text{km})^{-1}$	$4.72 \text{ L}\cdot(100 \text{ t}\cdot\text{km})^{-1}$	$25.00 \text{ L}\cdot(10^4 \text{ t}\cdot\text{km})^{-1}$	$93.40 \text{ kWh}\cdot(10^4 \text{ t}\cdot\text{km})^{-1}$
排放系数 Emission factor	$3.15 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{L}^{-1}$	$2.17 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{L}^{-1}$	$2.17 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{L}^{-1}$	$0.85 \text{ kg}(\text{CO}_2 \text{ eq})\cdot\text{kWh}^{-1}$

1.4.3 水足迹

水足迹具体是指某一区域范围内(一个国家、一个地区或一个人), 在一定时间内消费的所有产品和服务所需要的水资源数量。作物生产水足迹据此分为绿水、蓝水和灰色水足迹。绿水足迹为农作物生

长过程所蒸发的储存在土壤中雨水的水资源量。蓝水足迹为消耗使用淡水水体的水资源量, 主要包括农田灌溉用水的蒸发。灰水足迹指以现有水环境质量标准为基准, 消纳产品生产过程中产生的污染物负荷所需要的淡水水量^[41-42]。食物消费的水足迹等

于食物的消费量乘以食物生产过程的水足迹。苹果和柑桔的水足迹计算方法参照雷飞^[20]对厦门市水足迹研究和 Mekonnen 等^[43]的《水足迹评价手册》。计算公式如下:

$$WF_p = C_p \times WF_{p,green} + C_p \times WF_{p,blue} + C_p \times WF_{p,grey} \quad (5)$$

式中: WF_p 为食物 p 消费的总水足迹(m^3), C_p 为食物 p 的浪费量(kg), $WF_{p,green}$ 为生产食物 p 的平均绿水足迹($m^3 \cdot t^{-1}$), $WF_{p,blue}$ 为生产食物 p 的平均蓝水足迹, $WF_{p,grey}$ 为生产食物 p 的平均灰水水足迹。根据《水足迹评价手册》, 苹果平均绿水足迹为 $561 m^3 \cdot t^{-1}$, 蓝水足迹为 $113 m^3 \cdot t^{-1}$, 灰水足迹为 $127 m^3 \cdot t^{-1}$; 柑桔平均绿水足迹为 $401 m^3 \cdot t^{-1}$, 蓝水足迹为 $110 m^3 \cdot t^{-1}$, 灰水足迹为 $49 m^3 \cdot t^{-1}$ ^[43]。

2 结果与分析

2.1 苹果和柑桔全产业链损耗和浪费情况

调研结果(图 2)表明, 苹果和柑桔的全产业链损耗率分别为 18.56%、17.15%。苹果生产、贮藏、流转和消费环节的损耗率分别为 5.55%、3.00%、6.00%和 4.01%。苹果产后处理阶段损耗极其轻微, 可以忽略; 损耗最高的为流转环节, 占总损耗的 32.33%。柑桔生产、收获后处理、贮藏、流转和消费各环节损耗率为 3.32%、1.22%、1.30%、7.00%和 4.31%, 其中流转环节损耗占比最高为 40.82%(图 2)。

基于我国 2019 年生产、进出口数据推算, 苹果和柑桔损耗浪费总量为 1453.85 万 t。其中苹果损耗和浪费量约为 719.86 万 t, 占我国苹果当年总产量的 16.97%。生产、贮藏、流通、消费等环节损耗和浪

费用分别为 235.46 万 t、120.21 万 t、220.56 万 t 和 143.63 万 t。柑桔损耗和浪费量约为 733.99 万 t, 占我国当年柑桔产量的 16.01%。

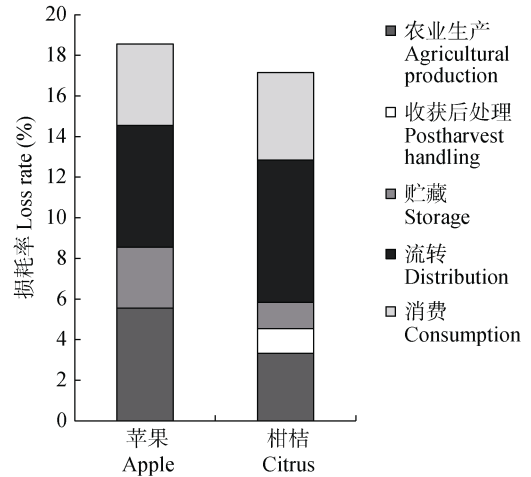


图 2 苹果和柑桔全产业链各环节损耗率

Fig. 2 Loss rates in each stage of the whole supply chains of apple and citrus

2.2 苹果和柑桔损耗浪费的环境足迹

2.2.1 生态足迹

苹果主产区平均产量为 $39.94 t \cdot hm^{-2}$, 柑桔主产区平均产量为 $42.58 t \cdot hm^{-2}$ 。生态足迹反映了苹果和柑桔损耗和浪费的土地代价。我国苹果和柑桔全产业链损耗和浪费生态足迹合计高达 $26.09 \times 10^4 hm^2$, 浪费的土地类型均为林地。土地总面积分别占全国苹果、柑桔种植总面积的 6.89% 和 5.13%(表 3)。

表 3 苹果和柑桔全产业链损耗和浪费的生态足迹

Table 3 Ecological footprints (EF) of fruit supply chain loss and waste of apple and citrus

项目 Item	平均产量 Average yield ($t \cdot hm^{-2}$)	土地类型 Land type	均衡因子 ^[21] Balance factor ^[21]	损耗(浪费)量 Total loss (waste) ($\times 10^4 t$)	土地需求面积 Land demand area ($\times 10^4 hm^2$)	生态足迹 EF ($\times 10^4 hm^2$)
苹果 Apple	39.94	林地 Forest land	0.74	719.86	18.02	13.33
柑桔 Citrus	42.58	林地 Forest land	0.74	733.99	17.24	12.76
合计 Total	—	—	—	1453.85	35.26	26.09

2.2.2 碳足迹

苹果和柑桔全产业链的碳足迹分别为 $92.37 \times 10^4 t(CO_2 eq)$ 和 $102.98 \times 10^4 t(CO_2 eq)$, 总碳足迹是 $195.35 \times 10^4 t(CO_2 eq)$ 。生产环节的碳排放主要由化肥

农药施用和农机作业产生, 占总碳足迹的 97.10%。生产环节中, 化肥施用碳排放占比最高, 占生产环节碳足迹的 70.87%, 其中苹果化肥施用碳排放占生产环节碳足迹的 78.34%, 高于柑桔的 64.17%(表 4)。

表 4 苹果和柑桔全产业链损耗和浪费的碳足迹

Table 4 Carbon footprints (CF) of fruit supply chain loss and waste of apple and citrus

项目 Item	化肥施用碳足迹 CF of fertilization application	农药施用碳足迹 CF pesticide application	农机作业碳足迹 CF of agricultural machinery operation	运输碳足迹 CF of transportation	总碳足迹 Total CF
苹果 Apple	70.21	9.33	10.08	2.75	92.37
柑桔 Citrus	64.22	17.18	18.67	2.91	102.98
合计 Total	134.43	26.51	28.75	5.66	195.35

2.2.3 水足迹

在得到损耗和浪费总量后,通过计算得到苹果损耗和浪费水足迹为 $57.65 \times 10^8 \text{ m}^3$,柑桔损耗和浪费水足迹为 $41.10 \times 10^8 \text{ m}^3$,总损耗和浪费的水足迹为 $98.75 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中绿水足迹为 $69.81 \times 10^8 \text{ m}^3$,蓝水足迹为 $16.20 \times 10^8 \text{ m}^3$,灰水足迹为 $12.74 \times 10^8 \text{ m}^3$ (表 5)。

表 5 苹果和柑桔全产业链损耗和浪费的水足迹

Table 5 Water footprints (WF) of fruit supply chain loss and waste of apple and citrus $\times 10^8 \text{ m}^3$

项目 Item	绿水足迹 Green WF	蓝水足迹 Blue WF	灰水足迹 Grey WF	总水足迹 Total WF
苹果 Apple	40.38	8.13	9.14	57.65
柑桔 Citrus	29.43	8.07	3.60	41.10
合计 Total	69.81	16.20	12.74	98.75

3 结论与讨论

结果显示,我国苹果和柑桔从生产到消费过程的损耗率分别为 18.56%和 17.15%,损耗浪费量为 719.86 万 t 和 733.99 万 t,损耗浪费总量为 1453.85 万 t。苹果和柑桔损耗与浪费所产生的生态足迹为 $26.09 \times 10^4 \text{ hm}^2$,碳足迹为 $195.35 \times 10^4 \text{ t}(\text{CO}_2 \text{ eq})$,水足迹为 $98.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从结果可以看出苹果和柑桔产生的损耗浪费总量巨大,所造成的环境影响也不容忽视。就损耗的环节而言,我国水果全产业链流转环节损耗占比最高,约占到总损耗 1/3。流转过程中损耗产生的原因很多,运输中的颠簸、磕碰、挤压都会对水果造成损伤从而产生损耗,销售时消费者对水果的挑拣和温度控制不当引起的水果腐烂变质也会造成损耗。全产业链上,生产环节碳排放最高,主要原因是农药和化肥施用产生的碳排放,其产生的碳排放占碳足迹的 90%以上。

本文得到的损耗率低于 FAO 对欧盟地区(56%)和亚洲地区(43%)的研究结果^[4]。FAO 的研究中将水果和蔬菜综合统计,且研究种类较多,导致损耗率较高。就损耗的环节而言,我国水果全产业链流转环节损耗占比最高,约占总损耗 1/3,而欧美等国流转环节损耗较低,约为 2%^[4],主要原因是我国水果销售包装较为简陋,且售卖过程中对卫生和温度重视程度不高,与发达国家相比我国还有很大降损空间。从损耗浪费总量来看,苹果和柑桔的损耗总量约为欧盟水果总损耗的 51.71%^[5]。在环境影响方面,损耗浪费的生态足迹约折合果园面积 26.09 万 hm^2 ,水足迹是宁夏主要农作物总水足迹的 2.23 倍^[44],与山东全年果蔬生产总用水量相当^[45]。从碳排放产生的环节来看,最主要的是生产环节的

排放,仅这一项所占比例就超过 9 成,生产过程中碳排放主要来源于农药和化肥的施用,与张丹等^[25]的研究结果一致。

随着居民生活水平的提高,一方面水果占居民日常膳食消费的比重逐年升高,另一方面增加水果供给需要消耗越来越多的资源。对于水果产业而言,应当重点从以下几方面来促进水果产业与资源环节可持续发展。一是在生产环节,支持农户参加或创建合作社,提高水果生产的机械化和标准化水平,减少化肥和农药施用量,并加强果园基础设施和气象预警系统建设,减少生产中不必要的损耗。二是流通过程中,保证流转环境清洁,倡导全程冷链化,根据水果特性,调控温湿度,合理分装,以减少消费者挑拣和环境对水果影响。三是倡导绿色文明消费方式,应加强绿色消费引导,厉行节约,反对浪费。

我国水果的损耗浪费研究多为文献综述和引用 FAO 的研究结果,缺少水果全产业链损耗浪费的一手数据。本文在水果主产地和主销地采用问卷调查和实地走访的方式,对水果全产业链上各环节损耗和浪费情况进行调研,对苹果和柑桔产生损耗浪费量进行估算,并分析其造成的环境影响,为我国水果损耗研究提供了数据支撑,也为其他农产品损耗浪费研究提供了可行的参考方案,对日后挖掘减损潜力和制定减损政策都有十分重要的理论和现实意义。本研究还有一定局限性,有待进一步研究。首先主产区与水果相关的产业技术水平较为先进,对全国整体状况可能存在低估。其次,由于调研品种较少,不能完全覆盖所有水果种类,对水果整体损耗率评估有一定偏差。最后,消费环节调研主要为家庭食用部分,缺少对户外食用,如食堂、餐饮部分的调研,浪费数据有所低估。在未来的研究中,应继续开展食物损耗和浪费方面研究,覆盖更多的农产品种类,量化损耗浪费对社会、经济和环境的影响,从而制定更为有效的减损政策。

参考文献 References

- [1] CORRADO S, SALA S. Food waste accounting along global and European food supply chains: State of the art and outlook[J]. Waste Management, 2018, 79: 120–131
- [2] MUNESUE Y, MASUI T, FUSHIMA T. The effects of reducing food losses and food waste on global food insecurity, natural resources, and greenhouse gas emissions[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 2015, 17(1): 43–77
- [3] KUMMU M, DE MOEL H, PORKKA M, et al. Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use[J]. Science

- of the Total Environment, 2012, 438: 477-489
- [4] GUSTAFSSON J, CEDERBERG C, SONESSON U, et al. Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention[R]. Rome: FAO, 2011
- [5] BRÄUTIGAM K R, JÖRISSEN J, PRIEFER C. The extent of food waste generation across EU-27: Different calculation methods and the reliability of their results[J]. Waste Management & Research: the Journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA, 2014, 32(8): 683-694
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food wastage footprint: Impacts on natural resources: Summary report[R]. Rome: FAO, 2013.
- [7] 国家统计局. 主要农作物产品产量[EB/OL]. (2020-08-20). <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>
National Bureau of Statistics of China. Output of major crop products[EB/OL]. (2020-08-20). <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>
- [8] 张放. 2019 年我国进出口干鲜水果情况简析[J]. 中国果业信息, 2020, 37(3): 27-36
ZHANG F. A brief analysis of import and export of dried and fresh fruits in 2019 in China[J]. China Fruit News, 2020, 37(3): 27-36
- [9] LI Y Y, WANG L E, LIU G, et al. Rural household food waste characteristics and driving factors in China[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2021, 164: 105209
- [10] 高利伟. 中国主要粮食作物供应链损失和浪费特征及其减损潜力研究[D]. 北京: 中国农业科学信息研究所(北京), 2019
GAO L W. Characteristics and reduction potentials of losses and waste of major grains of the food supply chain in China[D]. Beijing: Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Science (Beijing), 2019
- [11] 卢士军, 刘晓洁, 薛莉, 等. 我国水稻全产业链损耗和浪费量的估算及对应策略[J]. 中国农业科学, 2019, 52(18): 3134-3144
LU S J, LIU X J, XUE L, et al. Addressing the losses and waste of Chinese rice supply chain: Sources, drivers and mitigation strategies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(18): 3134-3144
- [12] 陈军, 但斌. 基于实体损耗控制的生鲜农产品供应链协调[J]. 系统工程理论与实践, 2009, 29(3): 54-62
CHEN J, DAN B. Fresh agricultural product supply chain coordination under the physical loss-controlling[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2009, 29(3): 54-62
- [13] 沈兆敏. 我国柑橘产业的损耗及其减损对策[J]. 果农之友, 2013, (6): 3-4
SHEN Z M. The loss of my country's citrus industry and its countermeasures[J]. Fruit Growers' Friend, 2013, (6): 3-4
- [14] 徐嬖文. 考虑损耗的鲜果供应链运作优化分析[J]. 现代商贸工业, 2015, 36(5): 65-67
XU B W. Operation optimization analysis of fresh fruit supply chain considering loss[J]. Modern Business Trade Industry, 2015, 36(5): 65-67
- [15] 刘颖. 考虑损耗的鲜果供应链运作优化[D]. 成都: 西南交通大学, 2013
LIU Y. Optimization of fresh fruit supply chain operation under the consideration of losses[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2013
- [16] VANHAM D, BOURAOUI F, LEIP A, et al. Lost water and nitrogen resources due to EU consumer food waste[J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(8): 084008
- [17] RIVERA-MÉNDEZ Y D, RODRÍGUEZ D T, ROMERO H M. Carbon footprint of the production of oil palm (*Elaeis guineensis*) fresh fruit bunches in Colombia[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 149: 743-750
- [18] 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[D]. 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[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2016
- [19] 丁珊. 家庭食物浪费及其生态足迹、碳足迹、水足迹和甲烷释放的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2015
DING S. Study on the household food waste and its ecological footprint, carbon footprint, water footprint and methane emission[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015
- [20] 雷飞. 厦门市居民食物消费多足迹研究[D]. 厦门: 集美大学, 2019
LEI F. Study on multi-footprint of residents' food consumption in Xiamen city[D]. Xiamen: Jimei University, 2019
- [21] 齐维核. 基于综合足迹的食物消费模式优化研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2019
QI W H. Research on optimization of food consumption patterns based on comprehensive footprint[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019
- [22] European Commission. Preparatory Study on Food Waste Across EU 27[R]. Technical Report-2010-054, Brussels, Belgium: European Commission, 2010
- [23] BLAS A, GARRIDO A, WILLAARTS B. Food consumption and waste in Spanish households: Water implications within and beyond national borders[J]. Ecological Indicators, 2018, 89: 290-300
- [24] 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
- [25] 张丹, 成升魁, 高利伟, 等. 城市餐饮业食物浪费碳足迹——以北京市为例[J]. 生态学报, 2016, 36(18): 5937-5948
ZHANG D, CHENG S K, GAO L W, et al. The carbon footprint of catering industry food waste: A Beijing case study[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): 5937-5948
- [26] 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[J]. 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[J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(3): 417-425
- [27] 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
- [28] 徐鑫. 重庆市食物生态足迹的动态分析[D]. 重庆: 西南大学, 2014
- XU X. The dynamic analysis of food ecological footprint of Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2014
- [29] 张丹, 张卫峰. 低碳农业与农作物碳足迹核算研究述评[J]. *资源科学*, 2016, 38(7): 1395–1405
- ZHANG D, ZHANG W F. Low carbon agriculture and a review of calculation methods for crop production carbon footprint accounting[J]. *Resources Science*, 2016, 38(7): 1395–1405
- [30] 孙世坤, 王玉宝, 刘静, 等. 中国主要粮食作物的生产水足迹量化及评价[J]. *水利学报*, 2016, 47(9): 1115–1124
- SUN S K, WANG Y B, LIU J, et al. Quantification and evaluation of water footprint of major grain crops in China[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2016, 47(9): 1115–1124
- [31] 张瑀桐. 华北地区主要粮食作物生长水足迹及适水种植研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院(北京), 2019
- ZHANG Y T. The growth water footprint of main food crops in North China and suitable water planting research[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research (Beijing), 2019
- [32] LIU G. Food losses and food waste in China: A first estimate[R]. Paris, France: OECD Publishing, 2014
- [33] XUE L, LIU G, PARFITT J, et al. Missing food, missing data? a critical review of global food losses and food waste data[J]. *Environmental Science & Technology*, 2017, 51(12): 6618–6633
- [34] LIU J G, LUNDQVIST J, WEINBERG J, et al. Food losses and waste in China and their implication for water and land[J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(18): 10137–10144
- [35] WACKERNAGEL M, REES W E. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996
- [36] Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change[J]. *Review of European Community & International Environmental Law*, 1998, 7(2): 214–217
- [37] 计军平, 马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. *生态经济*, 2011, (4): 76–80
- JI J P, MA X M. Review of carbon footprint: Definitions and accounting methods[J]. *Ecological Economy*, 2011, (4): 76–80
- [38] 高晶, 唐增, 李重阳. 中国城乡居民食物消费碳排放的对比分析[J]. *草业科学*, 2018, 35(8): 2022–2030
- GAO J, TANG Z, LI C Y. Comparative analysis of food consumption carbon emission of urban and rural residents in China[J]. *Pratacultural Science*, 2018, 35(8): 2022–2030
- [39] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹[J]. *生态学报*, 2012, 32(5): 1570–1577
- WU Y, WANG X K, LU F. The carbon footprint of food consumption in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1570–1577
- [40] 中华人民共和国交通运输部. 政府信息公开专栏[EB/OL]. (2018-07-02)[2018-07-02]. http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/zcyjs/201807/t20180726_3050606.html
- Ministry of Transport of the People's Republic of China. Population of China government information disclosure column[EB/OL]. (2018-07-02)[2018-07-02]. http://xxgk.mot.gov.cn/jigou/zcyjs/201807/t20180726_3050606.html
- [41] 盖力强, 谢高地, 李士美, 等. 华北平原小麦、玉米作物生产水足迹的研究[J]. *资源科学*, 2010, 32(11): 2066–2071
- GAI L Q, XIE G D, LI S M, et al. A study on production water footprint of winter-wheat and maize in the North China Plain[J]. *Resources Science*, 2010, 32(11): 2066–2071
- [42] 卞慧娟, 傅梦然. 1990年~2016年山东省冬小麦和夏玉米生产水足迹时空变化特征[J]. *内蒙古科技与经济*, 2018, (12): 76–77
- BIAN H J, FU M R. Spatial and temporal variations of water footprint of winter wheat and summer corn production in Shandong Province from 1990 to 2016[J]. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2018, (12): 76–77
- [43] MEKONNEN M M, HOEKSTRA A Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15(5): 1577–1600
- [44] 高海燕, 李王成, 李晨, 等. 宁夏主要农作物生产水足迹及其变化趋势研究[J]. *灌溉排水学报*, 2020, 39(3): 110–118
- GAO H Y, LI W C, LI C, et al. Water footprints of main crops and their change in Ningxia[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, 39(3): 110–118
- [45] 余灏哲, 韩美. 基于水足迹的山东省水资源可持续利用时空分析[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(3): 474–483
- YU H Z, HAN M. Spatial-temporal analysis of sustainable water resources utilization in Shandong province based on water footprint[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 474–483