

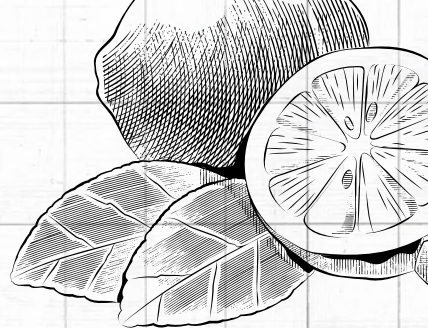
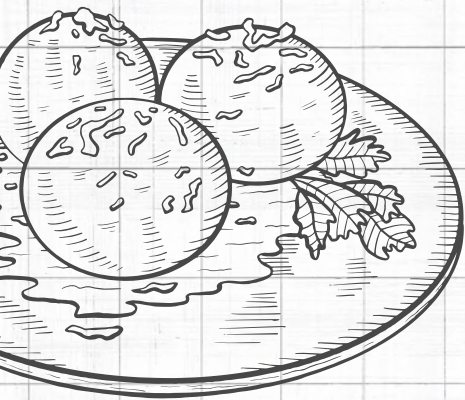
2024年可持续膳食系列报告

菜谱碳足迹

(中文版)



龙吟研究室 著



作者团队

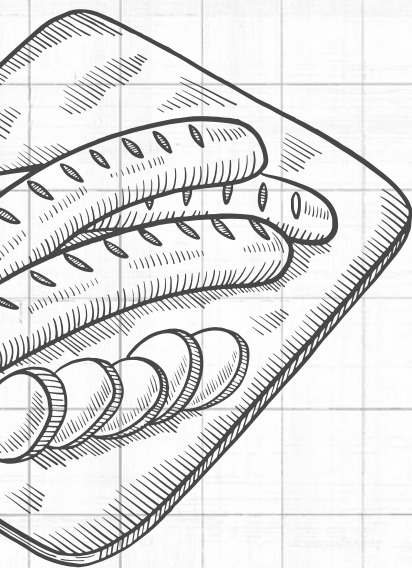
领衔作者：龙吟

章节作者：黄立乔，谭诗麒，许晓妍，陈智恒，程南，李逸凡，黄雨嫣，郭姜裔

报告顾问：吉田好邦，关大博

手绘设计：马振宇，魏蔓

美工排版：黄雨嫣



东京大学龙吟研究室，东京大学吉田研究室，
中国碳核算数据库（CEADs）

联合制作





前言

在这个时代，餐桌上的每一份食物不仅满足我们的味蕾，
更是地球环境和健康的缩影。

THE SUSTAINABLE DIET

在这份报告中，我们将带领您探索“可持续餐桌”的概念，深入了解我们的饮食选择如何影响着我们的未来。通过细致地核算不同菜谱的碳排放和环境影响，我们不仅提供了一道道营养丰富的食谱，还展示了它们如何助力一个更绿色、更健康的世界。

目录 / Contents

第一章 “餐桌”上的可持续发展：面向“星球健康”的膳食结构

1.1 粮食系统可持续与气候变化	1
1.2 全球膳食模式的推行现状及其影响	3
1.3 消费者的膳食结构及其营养健康与环境足迹	6

第二章 维稳菜谱的“天平”：碳足迹与营养价值核算方法

2.1 菜谱数据的收集	10
2.2 数据的预处理	11
2.3 营养成分与价格估算	13
2.4 碳足迹估算	15

第三章 碳足迹与营养价值数据分析实践

3.1 菜谱全生命周期各阶段碳足迹分布	24
3.2 菜谱营养价值分析和营养元素的碳足迹分布	25
3.3 菜谱原料价格波动：碳足迹评估的不确定性	30

第四章 践行“大食物观”：居民的可持续膳食选择

4.1 促进膳食可持续性	33
4.2 优选低碳足迹膳食	33
4.3 技术手段提质增效	34
4.4 采用绿色烹饪方法	35

第五章 膳食与气候变化：健康膳食，健康地球

5.1 建立健康膳食评估方法	37
5.2 搭建可信未来研究框架	37
5.3 促进可持续的膳食转型	37
5.4 助推全球气候目标实现	38

01.

“餐桌”上的可持续发展：

面向“星球健康”
的膳食结构



1.1 粮食系统可持续与气候变化

近年来，气候变化已经且将持续对全球人口健康造成显著的直接和间接影响。在这一背景下，积极应对气候变化是保障全人类健康的重要机会，“星球健康”的倡议应运而生。“星球健康”是一个以解决方案为导向的跨学科社会运动，旨在分析和解决地球自然系统受到的人为破坏对人类健康和地球上所有生命的影响（Castañeda et al., 2023）。为保护人类健康、实现“星球健康”，当今社会必须通过促进可持续和公平的消费模式、控制人口增长、利用能够应对变化的技术力量来调控环境变化的各种驱动因素（Myers, 2017）。其中，粮食系统是助推实现“星球健康”的关键子系统（Ambikapathi et al., 2022）。

全球人口不断增长、预计将在 2050 年以前达到 97 亿（UN, 2022），随之而来的是粮食和食品需求大幅提升（FAO, 2019）以及粮食浪费剧增（Zhu et al., 2023）。同时，**极端气候事件、人类健康疾病爆发和地缘政治不稳定**等因素将对全球食物供应链安全与可持续性构成严重威胁（Davis et al., 2021）。在联合国粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）主持的 2021 年粮食系统峰会上，国际社会广泛讨论了全球粮食系统的未来，旨在推动粮食系统向可持续、公正和健康的方向发展。可持续粮食系统是一个综合性的概念，强调通过采用生态环保、社会公正和经济可行的方法来实现粮食生产、分配和消费的均衡，既关注农业生产效率的提高，同时尽力减少对生态系统的负面影响。“餐桌”上的可持续直接关系到全球贫困的减少、粮食安全的保障、气候变化的应对以及社会经济的增长。

知识卡片：“星球健康”

“星球健康”（Planetary Health）是一个跨学科概念，它强调人类健康与自然环境之间的密切联系。地球生态系统的健康状况直接影响到人类健康，包括空气质量、水资源清洁与健康、以及粮食安全。“星球健康”不仅关注环境保护，更加重视其如何提高人类生活质量。只有当我们维护地球环境健康时，人类才能实现可持续发展，并且保持良好的健康水平。



图 1.1 “人类-粮食”耦合及 SDGs 关联示意图

2019年，政府间气候变化专门委员会（IPCC，2019）《气候变化与土地特别报告》强调了粮食系统对减缓气候变化的贡献，并认为转向健康和可持续的膳食以及减少食物损失和浪费等做法有助于减少二氧化碳等温室气体的排放，同时还能改善人类的健康状况。除此之外，气候变化也为粮食系统带来了严峻的挑战，其影响涵盖了整个粮食供应链。极端气候事件如**干旱、洪涝和高温**等，直接影响了农作物的生长和产量（Rezaei et al., 2023）；气温升高也导致了一系列疾病和病虫害的扩散，威胁农业生产（Wu et al., 2016）；降水不均、水资源减少也对灌溉和农业用水造成了压力，诸如此类的气候变化加剧了粮食系统的脆弱性（Hasegawa et al., 2021）。建立可持续的粮食系统不仅有助于减缓气候变化，而且能够增强适应气候变化的能力。粮食系统可持续是实现**联合国可持续发展目标（SDGs）**的关键，直接关系到SDG 2“零饥饿”，并与SDG 1“无贫困”、SDG 3“良好健康与福祉”、SDG 8“经济增长”、SDG 12“负责任消费和生产”、SDG 13“气候行动”、SDG 15“陆地生物”等其余可持续发展目标紧密相关（图 1.1）。粮食系统可持续发展可直接促成多个可持续发展目标的实现，通过推动经济、社会和环境协同发展，为全球可持续未来奠定基础。

知识卡片：联合国可持续发展目标（SDGs）

联合国可持续发展目标（Sustainable Development Goals，简称 SDGs）是一系列的全球目标，旨在解决一系列严重的社会、经济和环境问题。这些目标于 2015 年由联合国制定，作为 2030 年可持续发展议程的核心部分，旨在到 2030 年实现。SDGs 包括 17 个目标，涵盖了从消除贫困、改善健康和教育、减少不平等，到促进经济增长、应对气候变化、保护海洋和森林等多个方面。这些目标相互联系，共同推动更公平、更可持续的世界发展。

全球食物供应链安全与可持续性威胁

极端气候事件

极端气候事件是在特定气候背景下极为罕见的气候现象，包括但不限于极端高温、严重干旱、大规模洪涝、强烈风暴、以及极端寒冷等。当前，全球升温导致天气模式剧烈变革，增加了极端气候事件发生的频率和强度。比如，2021 年全球大气中甲烷含量增加了 17ppb，是自 1983 年系统测量以来记录的最大年增幅；2022 年澳大利亚 Onslow 经历了 50.7°C (123.3°F) 的高温；2023 年加拿大和夏威夷不断燃烧的野火，以及利比亚的灾难性洪水。极端气候事件对社会、经济和生态系统产生了深远的影响，包括损害基础设施、威胁粮食安全、影响公共卫生和加剧社会不平等。因此，理解和适应这些极端气候事件是当前气候变化研究和政策制定的重要组成部分。

人类健康疾病爆发

气候变化可通过多种途径影响人类健康和疾病的爆发：

1. 增加传染病风险：气候变化可能扩大某些疾病载体（如蚊子）的栖息地，增加疾病如疟疾和登革热的传播范围；
2. 空气质量恶化：气候变化导致的空气污染加剧，如细颗粒物（PM2.5）增加，可引发呼吸系统疾病和心脑血管疾病；
3. 粮食安全和营养：气候变化影响农作物生产，可能导致粮食供应不稳定和人类营养不良；
4. 心理健康影响：极端气候事件和气候变化带来的不确定性可增加人类心理压力和心理健康问题，造成“气候焦虑”等心理健康影响。

地缘政治不稳定

地缘政治不稳定通常由多种因素引发，其中包括但不限于国家间冲突、政治分歧、经济危机、社会不平等、资源争夺和环境压力。气候变化加剧了许多地区的资源短缺（如水和食物），可能导致国家间和区域间紧张关系升级。此外，环境恶化（如土地退化和极端天气事件）可能迫使人口迁移，引发人口流动，进而增加地区和国际的政治压力。

干旱、洪涝和高温

2022 年，美国约 42.5% 的陆地经历了持续 40 周或更长时间的干旱。特别是在加州中部和北部、俄勒冈南部、爱达荷中部和德克萨斯州南部地区，降水量比正常水平低 20 英寸。

2022 年 2 月巴西经历了严重的洪水。根据国际灾害数据库 EM-DAT 的数据，这些洪水导致 272 人死亡，197 人受伤，超过 16,000 人受到影响。8 月，巴基斯坦发生了大规模洪水，造成 1,739 人死亡，导致 180 万座房屋和近 400 座桥梁被毁。

2023 年预计成为有记录以来最热的一年。截至 2023 年 10 月底，全球平均温度比 1850-1900 年的前工业水平高出大约 1.40°C ($\pm 0.12^\circ\text{C}$)。南欧和北非在 7 月下半月发生的严重和异常持续的高温。意大利温度达到 48.2°C，突尼斯、摩洛哥和阿尔及利亚均报告了创纪录的高温。

1.2 全球膳食模式的推行现状及其影响

EAT-Lancet 全球膳食计划是一项由 EAT 基金会和《柳叶刀》医学杂志共同启动的全球性倡议。该计划于 2019 年发布，旨在提供人类和地球健康之间平衡的膳食模式，为实现健康、公平和可持续的全球食品系统提供了具体的行动框架，强调膳食选择与全球可持续发展之间的紧密关系。当前，全球部分国家和地区已经颁布具有国家 / 地区特色、适用于本土居民的膳食模式政策或指南（见表 1.1）。

基于联合国各国膳食指南中的推荐和说明部分提取的文本数据，对全球不同地区的膳食习惯和健康关注点进行了分析（如图 1.2 所示）。通过比较亚洲和太平洋（Asia and the Pacific）、拉丁美洲和加勒比（Latin America and the Caribbean）、北美（North America）、欧洲（Europe）、非洲（Africa）和近东（Near East）地区的数据，我们发现了膳食指南在全球共性和地区特色方面的一些关键差异。

知识卡片：EAT-Lancet 全球膳食计划

EAT-Lancet 全球饮食计划是由 EAT 与《柳叶刀》杂志合作的一项研究项目，旨在开发出一种健康和可持续的全球饮食模式。该计划强调以植物为基础的食物，并限制动物源性食品的摄入，以改善个人健康并减少对环境的影响。这一饮食模式建议增加水果、蔬菜、全谷物和坚果的摄入量，同时减少红肉、糖和精制谷物的摄入。该计划目标是到 2050 年，能够在保护地球环境的同时，满足全球人口的营养需求。

表 1.1 主要国家或地区关于膳食模式的现行政策或指南

国家/地区	年份	政策或指南题目	膳食建议	膳食指南图形
中国 ¹	2022	《中国居民膳食指南（2022）》	<ul style="list-style-type: none"> 健康膳食方式的建议：规律进餐、会烹会选、会看标签、公筷分餐等内容 针对高龄老年人的膳食指南（高龄老人指大于 80 岁的老年人） 东方健康膳食模式：挖掘和传承中国健康膳食文化 	
美国 ²	2020	《2020-2025 年膳食指南》	<ul style="list-style-type: none"> 居民在生命全周期每一个阶段都应遵循健康的膳食模式 在考虑个人膳食喜好、文化传统和成本基础上优选高营养密度的食物和饮料 减少添加糖、饱和脂肪酸和钠含量较高的食品和饮料 	
加拿大 ³	2019	《加拿大食物指南》	<ul style="list-style-type: none"> 以健康脂肪食物替代饱和脂肪 食用几乎不添加钠、糖的食物和饮料 多吃蔬菜和水果、全麦食品和蛋白质食品 	
英国 ⁴	2016	《英国膳食指南》	<ul style="list-style-type: none"> 每天吃 5 份各种各样的水果和蔬菜 每天喝 6-8 杯水，可包括不含糖饮料和茶 选择食用少量的不饱和油 	
澳大利亚 ⁵	2013	《澳大利亚膳食指南》	<ul style="list-style-type: none"> 早餐加入一些水果、全麦谷物和低脂牛奶和/或酸奶 供应新鲜的蔬菜沙拉和意大利肉酱面等意大利面食 在素食炒菜中加入一把腰果并搭配米饭或面条 	
日本 ⁶	2000	《日本膳食指南》	<ul style="list-style-type: none"> 在饮食中加入蔬菜、水果、奶制品、豆类和鱼类，避免过多的盐和脂肪 通过适当的烹饪和储存方法减少剩菜和浪费 跟踪每日食物摄入量以监测饮食 	

1. 来源：http://dg.cnsoc.org/newslist_0501_1.htm

2. 来源：<https://www.dietaryguidelines.gov/>

3. 来源：<https://food-guide.canada.ca/sites/default/files/artifact-pdf/DG-EN-2018.pdf>

4. 来源：<https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/eatwell-guide-master-digital.pdf>

5. 来源：<https://www.health.gov.au/sites/default/files/australian-dietary-guidelines.pdf>

6. 来源：<https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/eiyoku-syokujij.html>



图 1.2 不同地区膳食指南词云分析

总体而言，“健康”和“营养”均被频繁强调，显示出全球对健康膳食的普遍关注。然而，各地区的特色也十分明显。例如，亚洲和太平洋地区的指南中经常提及“蔬菜”，反映出该地区膳食中蔬菜的重要性；欧洲的指南则常提到“肉类”，明确指向肉类在欧洲膳食中的普遍性和重要性；非洲则重点关注“农业”和“发展”，突出了对本地农产品和发展问题的关注；拉丁美洲和加勒比地区对特色食品（如玉米、豆类和热带水果）尤其关注；北美地区十分重视对婴幼儿的膳食建议。

综合数据显示，“人口”这一词汇高频出现，这反映了对不同群体膳食建议的重视。除此之外，各国和地区膳食指南不仅关注健康，还强调膳食的多样性和可持续性。例如，非洲地区的指南强调本地农产品的重要性，而欧洲和北美更多地探讨肉类消费与环境影响的关系。

通过分析联合国各国的膳食指南文本，我们不仅能够观察到健康膳食在全球范围内引起的关注，还能发现不同地区在膳食习惯、特色食品以及膳食建议上的多样性和特色。这些发现对于理解全球不同地区的膳食文化和健康挑战、制定和推广膳食指南具有重要的参考价值。

全球粮食系统占据了大约50%的可居住土地、70%的可用淡水资源和23%-34%的全球温室气体排放量(Crippa et al., 2021; Halpern et al., 2022; Vermeulen et al., 2012)。此外,食品消费也会对公共健康产生重要影响。由于全球粮食供应不平衡和人口迅速增长,许多人面临着营养不良的问题。营养不良最常见的形式是缺乏某些关键营养素,如维生素、矿物质和蛋白质,以及每日卡路里摄入不足等。这类营养不良可能导致各种营养缺乏症,如能量摄入不足而导致的饥饿、维生素缺乏引起的坏血病、维生素A缺乏引起的夜盲症,以及蛋白质缺乏引起的营养不良性水肿等。另一种形式的营养不良是营养素摄入失衡,即某些营养素摄入过多而其他营养素摄入不足,这可能导致**肥胖、心血管疾病和糖尿病**等慢性疾病的发生。营养不良还可能由消化系统失调引起,如消化道疾病、吸收不良综合征和食物过敏等,这些问题都可能导致身体无法充分吸收和利用所需的营养素。营养不良会对人体健康产生一系列负面影响,包括免疫力下降、生长发育受限、易感染疾病、营养性贫血、神经系统问题以及心血管疾病等。面对全球不断增长的人口和不断退化的环境,确保膳食均衡、多样化和营养充足是保证人类健康的重要因素,因而以低碳、健康为导向的膳食模式可持续转型至关重要。

可持续的膳食结构还能够创造经济、社会和人类健康等多个方面的机遇。生产和消费碳足迹较低的食物，能够降低生产过程中的资源成本，促进更加可持续的农业实践（Horlings & Marsden, 2011）。在一些国家和地区，畜牧业占据了过多的水资源和可利用的土地（Karlsson & Rööf, 2019），且过度的肉类消费可能会导致环境破坏和社会不平等（Hase Ueta et al., 2023）。推广碳足迹更小的膳食结构，可以促进资源分配的公平和社会可持续性。采用植物性膳食为主的膳食结构通常可以降低慢性病风险（例如心血管疾病和糖尿病）（Magkos et al., 2020），有利于人类健康。综上所述，全球膳食模式的可持续转变对于人类和环境有着重大的积极影响（图 1.3），有助于解决当前全球食品系统所面临的两大挑战：提供营养充足的食物，同时减少对地球的不可持续影响。

肥胖、心血管疾病和糖尿病

营养不良与肥胖、心血管疾病和糖尿病等慢性疾病之间存在着复杂的联系。这种联系通常体现在两个方面：一是营养过剩，尤其是高能量密度食品的过量消费；二是营养不平衡，缺乏必要的维生素和矿物质。

1. 肥胖：过量的能量摄入和不足的消耗导致的，它与许多慢性疾病有关，包括 2 型糖尿病、心血管疾病、某些癌症和骨关节炎。
2. 心血管疾病：不健康的饮食习惯，特别是过量摄入饱和脂肪、反式脂肪和钠，以及缺乏水果、蔬菜和全谷物，会增加心血管疾病的风险。高血压、高胆固醇和糖尿病等因素也与心血管疾病密切相关。
3. 糖尿病：不健康的饮食和肥胖是 2 型糖尿病的主要风险因素。这种类型的糖尿病与身体无法有效使用胰岛素有关。

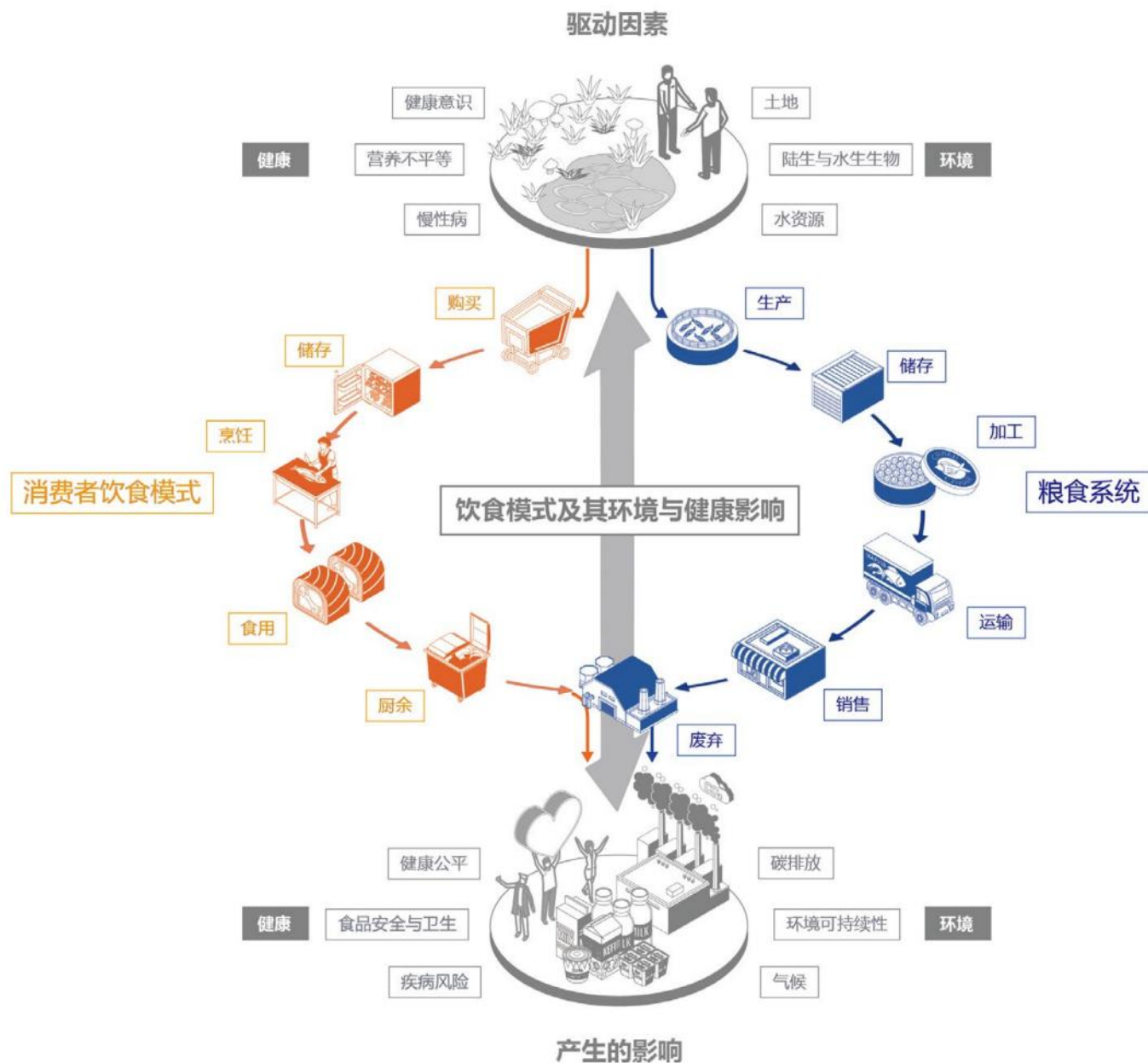


图 1.3 膳食模式及其环境与健康影响

1.3 消费者的膳食结构及其营养健康与环境足迹

当前，全球范围内消费者的膳食结构可以划分为“发达国家模式”、“发展中国家模式”、“日本模式”和“地中海模式”（南开，2006）。发达国家模式的膳食组成以动物食品为主，常见于欧美等经济发达的国家和地区，其营养素组成特征为“三高一低”：高能量、高蛋白、高脂肪、低纤维；发展中国家模式的膳食组成以植物性食品为主、动物性食品为辅，常见于发展中或经济欠发达的国家和地区，其营养素组成特征为膳食纤维充足、铁钙和维生素等摄入量不足；日本模式的膳食组成特征为植物和动物性食品并重，其营养素组成特征为“东西互补”：蛋白质、脂肪和碳水化合物供能比均衡，强调“PFC 三大营养素膳食平衡”（P 是蛋白质、F 是脂肪、C 是碳水化合物）；地中海模式的膳食组成特征为红肉摄入频次低、植物性食物丰富，其营养素组成特征为蔬菜、水果摄入量较高。

具体到日常生活中，消费者的膳食选择包括外出就餐和居家烹饪两种场景，又可以细分为餐厅用餐、学校和工作单位用餐及家庭自主烹饪等。外出在餐厅就餐时，消费者通常追求选择的多样性和国际化，享受来自不同文化的美食；学校餐厅可以为不同年龄段的学生群体提供平衡的膳食、促进学生的健康发展，并通过饮食教育活动增强他们的营养意识；在工作场所，消费者会更注重便利性，选择快捷、方便的饮食，例如快餐或自动售货机提供的食物；家庭自主烹饪通常受到传统文化和家庭口味的影响，人们更倾向于自制食物、注重家庭传统的味道，并注重使用新鲜、天然的食材，关注膳食平衡和烹饪方法的健康性。

个性化膳食结构已经成为当前居民膳食选择的重要变化趋势。在这种趋势下，人们越来越注重根据个人的健康需求和偏好来选择膳食，比如：“素食主义（Vegetarianism）”和“严格素食主义（Veganism）”，分别强调对于肉类食品的不同摄入比例；“生酮饮食（Ketogenic Diet）”，强调高脂、适量蛋白和低碳水化合物的摄入，诱导身体进入生酮状态，以促进脂肪代谢和减重；“无麸质饮食（Gluten-Free Diet）”，强调避免麸质（对于患有乳糜泻等麸质相关疾病的人十分必要），有助于减轻胃肠不适或提高能量水平；“无乳制品饮食（Dairy-Free Diet）”，强调避免牛奶和乳制品，适用于乳糖不耐症、乳蛋白过敏或纯素食者。

知识卡片：素食主义

素食主义者通常不吃肉类、家禽和鱼类，但可能会消费其他动物产品，而严格素食者避免所有动物源性食品和副产品，不食用肉类、家禽、鱼类、乳制品、蛋类和蜂蜜，且许多严格素食者还避免使用动物制品，如皮革、羊毛和丝绸。

知识卡片：生酮饮食

生酮饮食（Ketogenic Diet）是一种高脂、低碳水化合物、适量蛋白质的膳食模式。其目的是使身体进入一种名为“生酮状态”的代谢状态，这时身体主要通过燃烧脂肪而非碳水化合物来获取能量。

知识卡片：无麸质饮食

无麸质饮食（Gluten-Free Diet）是一种避免摄入麸质的饮食方式。麸质是一种存在于小麦、大麦、黑麦和跨品种小麦（如小黑麦）中的蛋白质。该膳食模式主要用于治疗乳糜泻（Celiac Disease），这是一种自身免疫性疾病，其患者对麸质过敏。无麸质饮食也适用于对麸质敏感的非乳糜泻患者以及麦麸过敏患者。无麸质饮食避免所有包含小麦、黑麦和大麦的食物。这包括许多面包、蛋糕、饼干、意面、比萨饼、啤酒和大多数谷类产品。典型的无麸质食物包括玉米、玉米面、米和米产品、薯类、豆类、坚果、鲜果和蔬菜。

地中海膳食模式

地中海膳食模式是一种以地中海地区传统饮食为基础的膳食方式，以其健康益处而闻名。该膳食模式的主要特征包括：
丰富的植物性食品：地中海饮食重点强调新鲜的水果、蔬菜、全谷物、豆类和坚果。这些食品富含纤维、维生素和矿物质。
橄榄油为主要脂肪来源：橄榄油是地中海饮食的核心，用于烹饪、调味和沙拉酱。橄榄油富含单不饱和脂肪酸和抗氧化剂。
适量的鱼类和海鲜：地中海膳食包含较多的鱼类和海鲜，这些食品是优质蛋白质和 ω -3 脂肪酸的良好来源。
适量的奶制品和蛋类：奶制品（如奶酪和酸奶）和蛋类以适量形式出现在地中海膳食中。

1. 限制红肉摄入：红肉在地中海饮食中较少出现，推荐以鸡肉和火鸡肉等禽肉替代。
2. 适量饮酒：尤其是红酒，通常在餐饮中适量饮用，但需注意控制摄入量。
3. 草药和香料：地中海饮食中广泛使用各种草药和香料来调味，减少了对盐的依赖。

“民以食为天”，消费者作为粮食消费的最终环节，是推动可持续膳食结构转型的关键力量。基于**成菜水平**的消费者膳食结构与营养健康水平分析不仅可以提供单一食材的营养数据，而且能综合从烹饪到处理的全生命周期成菜水平的环境影响。成菜水平的环境和健康影响评估有助于消费者获取更全面的食品整体营养价值 and 环境影响的信息，从而做出更健康、更环保的膳食选择。随着消费者对膳食健康与环境影响的关注日益聚焦，具体到成菜水平的营养水平分析显得尤为重要，主要体现在以下四个方面：

第一，个性化营养需求满足。通过分析成菜水平的营养结构，可以保障不同年龄、性别、健康状况的人群的差异化营养需求得到保障。了解菜肴营养含量有助于消费者根据个人需要做出更为健康的膳食选择、提高膳食的个性化和针对性。

第二，健康膳食习惯助推。清晰的成菜水平营养信息有助于鼓励消费者形成更健康的膳食习惯、做出更明智的食物选择，选择更富含营养素的食物，从而维护健康和防止慢性病。

第三，环境可持续性保障。基于微观和更为准确的数据分析成菜水平的环境影响有助于消费者在选择膳食结构时考虑可持续性、了解粮食生产和供应链对环境的影响（例如温室气体排放、土地使用和水资源消耗等），有助于消费者选择环境足迹较小的食物，促进可持续的食物消费行为。

第四，膳食供应透明度提升。为消费者提供关于成菜水平的营养和环境影响的足够清晰的信息，能够让消费者更容易了解所选择食物的真实价值。食材与菜肴质量分析对餐饮业者同样至关重要，以帮助他们全方位理解和改进所提供菜品的环境和营养影响。同时有助于建立消费者对食品产业的信任，从而促使其优化供应链、提供更符合可持续发展标准的菜品，吸引越来越多寻求健康膳食选择的顾客。

基于成菜水平的消费者膳食结构与营养健康水平分析不仅有助于提升消费者对膳食模式健康影响的认知，还能够促进整个食品供应链向更可持续、低环境足迹的方向发展。调整饮食和减少食物浪费等策略有助于减少膳食结构的环境足迹，如水足迹（Hess et al., 2015; Goldstein et al., 2016）、土地足迹（Baroni et al., 2007; Notarnicola et al., 2017）、碳足迹（Geyik et al., 2023; Grummon et al., 2023）等。当前全球粮食系统目前占全球人为温室气体（GHG）排放量的三分之一（Crippa et al., 2021; Poore & Nemecek, 2018），因此碳足迹常被用作衡量系统环境影响的有效指标。膳食结构的碳足迹是指消费者或社会在生产、分配、处理和浪费食物的过程中所排放的温室气体总量（González-García et al., 2018），能够反映食物生产和供应链对环境的影响。肉类（特别是牛肉和羊肉）的生产通常伴随着大量的温室气体排放，而植物性食物通常具有较低的碳足迹（Xu & Lan, 2016）。因此，合理的膳食结构调整（例如减少红肉消费、倡导膳食多样性）可以有效降低碳排放，缓解气候变化。

本章主要作者：谭诗麒 李逸凡

知识卡片：“成菜水平”

“成菜水平”一词通常用于餐饮和烹饪领域，指的是一道菜或食品准备和烹饪的完成程度或最终品质，涵盖了多个方面：

- 烹饪技巧：成菜水平反映了烹饪者的技术水平，包括食材的处理、烹饪方法的选择和掌握，以及调味技巧。
- 食材质量：优质的原材料是高成菜水平的基础。新鲜、优质的食材能显著提升最终成品的口感和外观。
- 口感和风味：成菜的口感、风味和香气是评判其水平的关键因素。这包括食物的嫩度、酥脆度、香味以及调味料的平衡。
- 营养均衡：营养价值和均衡也是评价一道菜水平的重要标准。



本章主要参考文献

南开. (2006). 中国人的膳食结构. 中国食物与营养, 6, 55–57.

- Ambikapathi, R., Schneider, K. R., Davis, B., Herrero, M., Winters, P., & Fanzo, J. C. (2022). Global food systems transitions have enabled affordable diets but had less favourable outcomes for nutrition, environmental health, inclusion and equity. *Nature Food*, 3(9), Article 9. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00588-7>
- Baroni, L., Cenci, L., Tettamanti, M., & Berati, M. (2007). Evaluating the environmental impact of various dietary patterns combined with different food production systems. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602522>
- Castañeda, R. R. de, Villers, J., Guzmán, C. A. F., Eslanloo, T., Paula, N. de, Machalaba, C., Zinsstag, J., Utzinger, J., Flahault, A., & Bolon, I. (2023). One Health and planetary health research: Leveraging differences to grow together. *The Lancet Planetary Health*, 7(2), e109–e111. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00002-5)
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., Monforti-Ferrario, F., Tubiello, F. N., & Leip, A. (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00225-9>
- Davis, K. F., Downs, S., & Gephart, J. A. (2021). Towards food supply chain resilience to environmental shocks. *Nature Food*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-00196-3>
- FAO. (2019). How to Feed the World in 2050.
- Geyik, Ö., Hadjikakou, M., & Bryan, B. A. (2023). Climate-friendly and nutrition-sensitive interventions can close the global dietary nutrient gap while reducing GHG emissions. *Nature Food*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00648-y>
- Goldstein, B., Hansen, S. F., Gjerris, M., Laurent, A., & Birkved, M. (2016). Ethical aspects of life cycle assessments of diets. *Food Policy*, 59, 139–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.01.006>
- González-García, S., Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *Science of The Total Environment*, 644, 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.339>
- Grummon, A. H., Lee, C. J. Y., Robinson, T. N., Rimm, E. B., & Rose, D. (2023). Simple dietary substitutions can reduce carbon footprints and improve dietary quality across diverse segments of the US population. *Nature Food*, 4(11), Article 11. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00864-0>
- Halpern, B. S., Frazier, M., Verstaen, J., Rayner, P.-E., Clawson, G., Blanchard, J. L., Cottrell, R. S., Froehlich, H. E., Gephart, J. A., Jacobsen, N. S., Kuempel, C. D., McIntyre, P. B., Metian, M., Moran, D., Nash, K. L., Többen, J., & Williams, D. R. (2022). The environmental footprint of global food production. *Nature Sustainability*, 5(12), Article 12. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00965-x>
- Hase Ueta, M., Tanaka, J., Marchioni, D. M. L., Jr, E. V., & Carvalho, A. M. de. (2023). Food sustainability in a context of inequalities: Meat consumption changes in Brazil (2008–2017). *Environment, Development and Sustainability*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-023-02967-x>
- Hasegawa, T., Sakurai, G., Fujimori, S., Takahashi, K., Hijioka, Y., & Masui, T. (2021). Extreme climate events increase risk of global food insecurity and adaptation needs. *Nature Food*, 2(8), Article 8. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00335-4>
- Hess, T., Andersson, U., Mena, C., & Williams, A. (2015). The impact of healthier dietary scenarios on the global blue water scarcity footprint of food consumption in the UK. *Food Policy*, 50, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.10.013>
- Horlings, L. G., & Marsden, T. K. (2011). Towards the real green revolution? Exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could ‘feed the world.’ *Global Environmental Change*, 21(2), 441–452. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.004>
- IPCC. (2019). Climate Change and Land.
- Karlsson, J. O., & Rööfs, E. (2019). Resource-efficient use of land and animals—Environmental impacts of food systems based on organic cropping and avoided food-feed competition. *Land Use Policy*, 85, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.03.035>
- Magkos, F., Tetens, I., Bügel, S. G., Felby, C., Schacht, S. R., Hill, J. O., Ravussin, E., & Astrup, A. (2020). A Perspective on the Transition to Plant-Based Diets: A Diet Change May Attenuate Climate Change, but Can It Also Attenuate Obesity and Chronic Disease Risk? *Advances in Nutrition*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz090>
- Myers, S. S. (2017). Planetary health: Protecting human health on a rapidly changing planet. *The Lancet*, 390(10114), 2860–2868. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32846-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32846-5)
- Notarnicola, B., Tassielli, G., Renzulli, P. A., Castellani, V., & Sala, S. (2017). Environmental impacts of food consumption in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 140, 753–765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.080>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Rezaei, E. E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., Martre, P., & MacCarthy, D. S. (2023). Climate change impacts on crop yields. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1–16. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00491-0>
- UN (United Nations). (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results.
- Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(195). <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Wu, X., Lu, Y., Zhou, S., Chen, L., & Xu, B. (2016). Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation. *Environment International*, 86, 14–23. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.09.007>
- Xu, X., & Lan, Y. (2016). A comparative study on carbon footprints between plant- and animal-based foods in China. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2581–2592. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.059>
- Zhu, J., Luo, Z., Sun, T., Li, W., Zhou, W., Wang, X., Fei, X., Tong, H., & Yin, K. (2023). Cradle-to-grave emissions from food loss and waste represent half of total greenhouse gas emissions from food systems. *Nature Food*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/s43016-023-00710-3>

02.

维稳菜谱的“天平”：

碳足迹与营养价值核算方法



2.1 菜谱数据的收集

味之素集团是日本最大的食品公司之一，它运营的“菜谱百科”¹网站包含了丰富的菜谱信息，是搭建菜谱数据库的重要数据来源。首先，我们利用表 2.1 中所示的食材关键字段在该网站内进行检索，然后将搜索得到的菜谱按照时间顺序添加到候选列表中，并剔除非常相似的菜谱，得到共计 10,337 个不同的菜谱数据，约占网站上总菜谱数目的 86.5%（截至菜谱收集完成的当天，即 2022 年 5 月 9 日，“菜谱百科”中记录的总菜谱数为 11,956 个）。

收集到的菜谱经过数据预处理、营养成分与价格估算、碳足迹估算三个环节，最终完成菜谱级数据库的构建。其中，数据预处理环节包括菜谱的筛选、食材名称标准化、食材匹配、单位换算以及菜谱分类等步骤。第二环节由营养成分估算和价格估算两个部分组成。在碳足迹计算环节，我们分别估算了食材的生产和售卖过程、菜肴制作过程、废弃食材处理过程的碳排放量。需要注意，这里的碳排放量为二氧化碳当量，是将其他温室气体的测量结果按照全球增温潜势值转化为等量的二氧化碳计算得出的。

1 来源：AJINOMOTO CO., I.AJINOMOTO PARK Recipe, <<https://park.ajinomoto.co.jp/recipe>>

表 2.1 菜谱检索关键词

Animal-Derived Products	Meat	Beef
		Pork
		Pork Belly
		Chicken
		Chicken Thigh
		Chicken Wing Tip
		Ground Meat
		Mixed Ground Meat
		Wiener/Sausage
		Ham
	Fish & Seafood	Tuna
		Canned Tuna
		Mackerel
		Canned Mackerel
		Salmon
		Cod
		Squid
		Shrimp
		Octopus
		Sardine
Others	Horse Mackerel	
	Eggs	
Plant-Derived Products	Vegetables	Cabbage
		Onion
		Carrot
		Bean Sprouts
		Potato
		Bell Pepper
		Broccoli
		Shimeji Mushrooms
		Shiitake Mushrooms
		Eryngii (King Oyster Mushroom)
		Pumpkin
		Cucumber
		Radish
		Eggplant
		Chinese Cabbage
		Bamboo Shoots
	Grains & Grain Products	Udon Noodles
		Soba Noodles
		Somen Noodles
		Pasta
	Legumes & Legume Products	Tofu
		Fried Tofu
	Others	Hiziki (a type of seaweed)
		Wakame (a type of seaweed)
		Soymilk

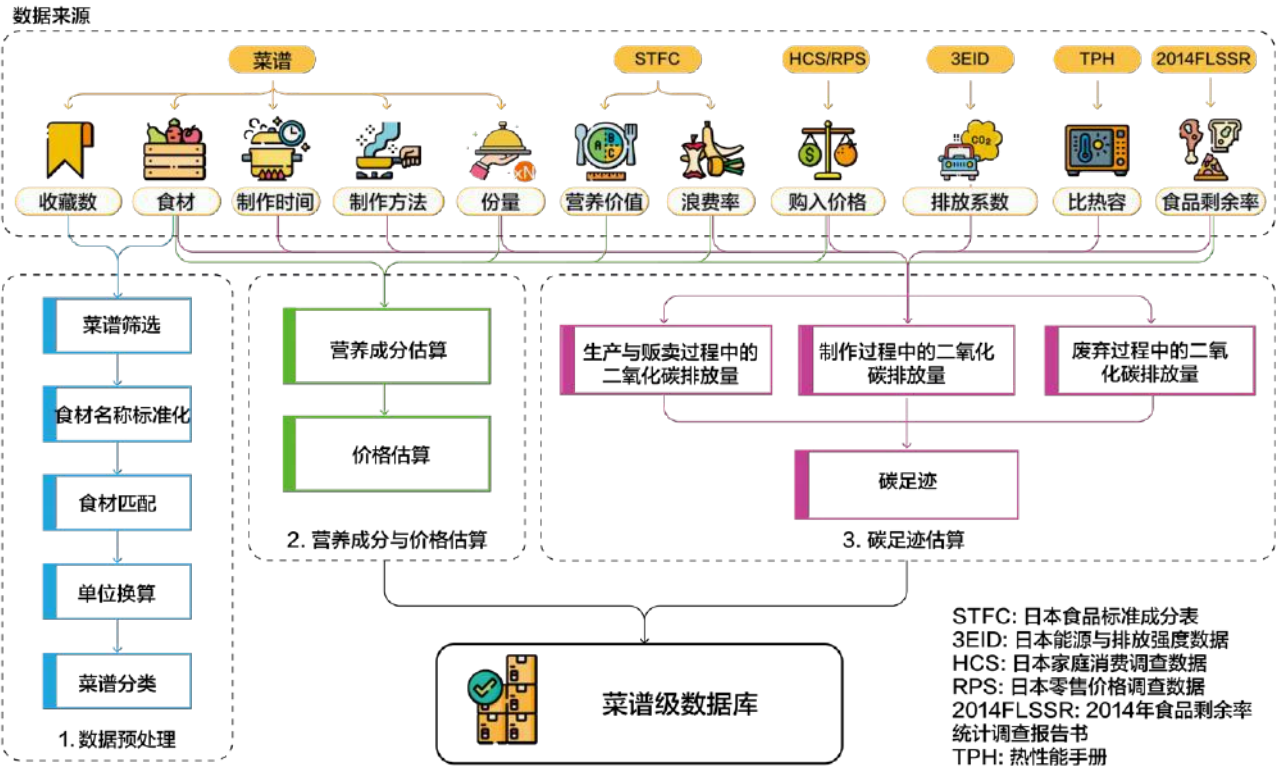


图 2.1 菜谱级数据库的构建流程

2.2 数据的预处理

2.2.1 菜谱的筛选

在收集到的菜谱中，我们重点筛选了常见的菜肴作为核算的对象（截至 2022 年 5 月 9 日，在“菜谱百科”中保存超过 1000 次的菜谱），最终得到共计 388 道菜谱。每道菜谱所包含的信息如表 2.2 中所示。

2.2.2 食材名称的标准化

为了使菜谱中各类食材的名称在格式和表达上更为一致，方便后续数据处理，我们剔除了食材名称中与其本身品类无关的标记，比如某些英文首字母或者“AJNOMOTO”。同时，我们还删除了食材列表中的重复部分，最终得到共计 349 个不同的食材。

表 2.2 从配方百科全书为选定的食谱信息存档

Information obtained from each recipe	Description
Recipe ID	A unique 6-digit number for each recipe for identification purposes
Recipe Name	Name of the recipe (used exactly as expressed on the "Recipe Encyclopedia")
Published Datetime	Time when the recipe was posted
Modified Datetime	Time when the recipe was last updated/modified
Servings	Number of servings for the recipe
Cook Time	Preparation and cooking time for the recipe (excluding marination and similar steps)
Ingredients	Ingredients used in the recipe and their quantities
Directions	Cooking instructions, preparation steps
Cuisine Style	Type of cuisine (Japanese, Western, Chinese, Ethnic, etc.)
Cuisine Type	Classification of the dish (main dish, side dish, soup, etc.)
Number Saved	Number of times the recipe was saved

2.2.3 食材匹配

接下来，我们将 349 个食材匹配到《日本标准食品成分表》中最相近的食品类别。这里，我们综合考量了食物中的各类营养成分，主要涉及宏量**营养素**，包括能量 (kcal)、碳水化合物 (g)、蛋白质 (g) 和脂肪 (g)。其次是维生素，主要包括维生素 A (μg)、维生素 C (mg) 和维生素 E (mg)。对于食物所含矿物质，我们重点评估了锌 (mg)、钙 (mg)、铁 (mg)、钾 (mg)、镁 (mg)、叶酸 (μg) 和膳食纤维 (mg) 的含量。此外，我们也分析了食物中的饱和脂肪 (g)、胆固醇 (mg) 和盐当量 (g)。

2.2.4 单位换算

此外，我们还需要统一食材的量纲。比如水和调味料，通常以毫升来表示，需要转化为克。对于某些定性的描述性词汇，例如“适量”、“一点”、“一撮”等，我们都将其视为 0 g。此外，针对类似“1 个胡萝卜”、“2 个鸡蛋”这类更为模糊的数量表达，我们使用味之素网站上的食材估量表将其转化为克重。

2.2.5 菜谱分类

食物的环境影响和其本身的生产方法密不可分。为系统分析食材的环境影响，我们需要基于菜谱中的食材类别，对其进行分类处理。主要的分类原则如下：（1）肉类食品通常会产生更大的环境影响，因此可以根据菜谱是否使用到牛肉、猪肉、鸡肉、肉糜、新鲜肉类以及加工肉制品，对菜谱进行分类。（2）此外，还需要根据菜肴的主要植物成分进行分类，包括谷物、鸡蛋、蔬菜、蘑菇和豆类。

知识卡片：《日本标准食品成分表》

《日本标准食品成分表》（2015 年第七次修订版）将 2191 个食品划分为不同的类别，包括谷物、蔬菜、肉类等。与此同时，该表还包含了日本传统料理，考虑了食品生、熟以及加工后的不同状态。此外，它还分析了每个食物包括蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素和矿物质在内的营养成分，量化了食物的能量以及每 100g 食物可食用部分的各类营养含量，可以作为饮食评估的重要参考。

知识卡片：营养素 (nutrient)

营养素 (nutrient) 是指对于人体生长、发育、生殖和维持身体健康必不可少的物质。传统上认为主要分为蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、矿物质、水六大类，后来把膳食纤维也被归为必需营养素范畴，因此现在一般说到的人体所需的营养素是七类。这个概念源于美国农业部在 20 世纪 40 年代提出的“七大营养素”概念。其中，蛋白质是生命的基础，构成细胞和组织，参与生命活动的调控；脂肪是生命的燃料，提供能量、保护内脏、促进脂溶性营养素吸收；碳水化合物是生命的驱动，为人体提供主要能量来源；维生素是生命的催化剂，以微量存在但对生长发育和生理功能至关重要；矿物质是生命的构造，构成骨骼、酶的重要成分，维持渗透压、酸碱平衡以及神经肌肉功能；膳食纤维是生命的补充，对维持消化系统健康、降低心血管疾病风险、控制血糖和维持体重具有重要作用。总之，这些营养素在人体内协同作用，共同维持生命的正常运行。



食物的环境影响

食物需要经过种植、加工、运输、分销、制备、进食，有时还会被处理掉。每一个步骤都会产生温室气体，这些气体会吸收太阳的热量，从而导致气候变化。在所有人为导致的温室气体排放中，超过三分之一与食物有关。

与食物相关的温室气体中，最大的一部分来自农业和土地使用。这些气体包括牛消化过程中产生的甲烷，用于作物生产的肥料产生的一氧化二氮，为了扩大农田而砍伐森林所产生的二氧化碳，粪肥管理、水稻种植、作物残茬焚烧和农场燃料使用产生的其他农业排放。一小部分的食物相关温室气体排放量是在以下过程中产生的：食物冷藏和运输，工业过程，如生产用于包装的纸和铝，食物残渣处理。（source: united nations: <https://www.un.org/zh/climatechange/science/climate-issues/food/>）

动物性食物，尤其是红肉、奶制品和养殖虾，通常其温室气体排放量是最高的。这是因为：

- 肉类生产往往需要广阔的草地，而这通常是通过砍伐树木、释放储存在森林中的二氧化碳来创造的。
- 牛羊在消化草和植物时会释放出甲烷。
- 牛在牧场上的排泄物和用于牛饲料作物的化肥会排放一氧化二氮，这是另一种强烈的温室气体。
- 养虾场经常占据沿海土地，这些土地以前被红树林覆盖，吸收了大量的碳。虾或对虾的大量碳足迹主要是由于在砍伐红树林以建立养虾场时释放到大气中的储存碳。（source: united nations: <https://www.un.org/zh/climatechange/science/climate-issues/food/>）

2.3 营养成分与价格估算

基于菜谱中记录的所需食材重量以及每单位食材的营养组成，可以实现对于菜谱营养成分的估计。考虑到食材前处理过程中，果皮、骨头、虾壳、鸡蛋壳以及果核等会被丢弃，需要根据《日本标准食品成分表》中的废弃率计算可被食用部分的食物重量，并估算其中包含的营养元素。此外，在营养成分的计算中，我们不考虑不可食用部分以外的粮食损失。同时，我们也忽略了食物烹饪加热过程中营养的流失或转化。每份菜谱能够提供的营养摄入可由公式 1 计算：

$$N_j = \frac{\sum_i Q_i \times (1 - D_i) \times N_{ij}}{S} \quad (1)$$

其中 N_j 代表每人每食用一道菜能够摄取营养成分 j 的量； Q_i 代表菜谱中记录的制作该道菜所需食材的重量(g)； D_i 是食材的废弃率， N_{ij} 是每 1g 可食用食材中营养成分 j 的含量（微量营养素记为 0）。 S 为该菜谱可供食用的人数。

这里，我们主要根据购买食材的成本来计算每道菜人均的价格。需要注意的是，这里的菜肴价格不包含食材的储存、烹饪和处理相关成本。此外，我们主要基于日本统计局的公布的“家庭收支调查”结果来获取家庭消费数据。这些家庭消费数据详细记录了日本家庭采购各种食品的平均月支出以及它们的单价，有助于我们确定食材的价格，进而对菜谱的碳足迹进行评估。图 2.2 中具体展示了该计算的过程。然而，由于家庭调查不针对独居者，所以在计算每种食品的购买者价格时，我们使用了包含两个及以上家庭成员的家庭的消费数据。此外，由于数据中各种食品的计量单位并不相同，我们将所有的数据都转化为了每 100g 食品的购买者价格。同时，1 单位毫升的调味品和饮料近似为 1g。需要注意，家庭调查数据不区分国内和进口商品，因此食品价格既包含本地生产商品的价格，也包含进口商品的价格。

200 种食品的单价计算过程如图 2.2 中所示。对于未在家庭消费数据中记录购买者价格的食物，我们使用 2015 年零售价格统计调查中的数据补充，涉及 53 种食品。考虑到数据的代表性，我们主要选取省会城市或者人口超过 15 万城市的零售价格统计调查结果。基于这些城市调查结果中记录的食品年平均零售价格和相应重量，我们计算了每 100g 食品的价格作为食品单价。

知识卡片：零售价格统计调查

日本统计局每月都会进行家庭收支调查 (FIES)。其目的在于了解家庭收入和支出情况，为社会和经济政策提供参考。该调查覆盖了除单身学生等在内的家庭。根据 2015 年人口普查，该调查覆盖家庭总数为 5157 万户，占有所有家庭的 96.5%。该调查结果能够反映家庭在哪些商品和服务上花费了多少收入，以及家庭支出模式如何受到家庭特征的影响，例如年收入水平、家庭成员人数、职业等，有助于捕捉当前的消费动向。(source: Japan Ministry of Internal Affairs and Communications, Family Income and Expenditure Survey. (ed Statistics Bureau of Japan))

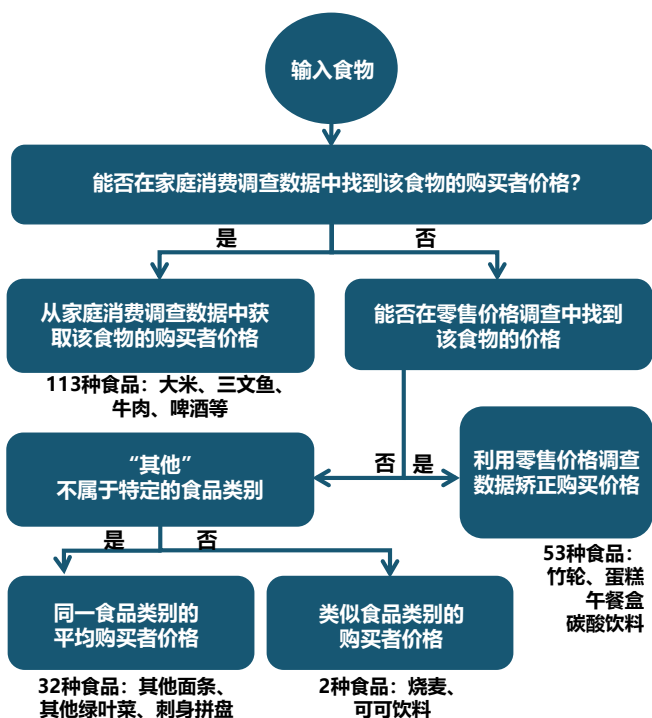


图 2.2 食物单价计算的流程图

然而，零售价格统计调查旨在跟踪食物商品的价格变动，与家庭消费调查数据中的购买者价格可能会有差异。因此，我们综合考虑了市场价格和购买者价格之间的差异，通过校正系数（家庭消费数据中的购买者价格和零售价格统计调查中的食品价格之比的平均值）对零售价格进行修正，将其调整为购买者价格。

针对“其他面条”以及“其他蔬菜”等类似的 32 种食品，主要代表某一类食品的集合（除特定食品外），家庭消费数据和零售价格统计调查数据均未提供相应的价格信息。对于该类食品，我们使用了同一类别中其他食品的平均购买价格进行填补。比如，“其他加工肉类”的购买者价格由“火腿”、“香肠”、“培根”的平均购买价格进行替代。另外，对于“烧卖”、“可可饮料”等部分食物，家庭消费调查和零售价格调查也未提供相关价格信息。对此，我们使用类似食品的购买价格进行填补。比如，“烧卖”的购买价格用“饺子”的购买价格进行填补，“可可饮料”的购买价格用“咖啡饮料”的购买价格进行填补。最后，我们将每个食品的每年的人均支出除以 100g 该食品的价格，得到每种食品每年的人均购买量（单位：100g）。

之后，我们尽量将每种食材对应到上述 200 个食物品类中，并将对应食物品类的价格作为该食材的价格。如果食材能够对应到多个食物品类，则取这些食物品类价格的平均值作为结果。每道菜的价格由其制作时需要的每种食材的重量与其价格乘积之和确定。需要注意，这里与营养成分的计算不同，食材的重量包括不能食用部分的重量。最终，每道菜的人均价格 P 可由以下公式计算得到：

$$P = \frac{\sum_i Q_i \times P_i}{S} \quad (2)$$

其中， P_i 代表单位重量食材的平均购买价格（JPY/100 g）。



2.4 碳足迹估算

为了确定每道菜谱隐含的温室气体排放，我们分别计算了食物的生产和销售、烹饪以及垃圾处理三个环节的碳足迹。为保证不同菜肴之间的可比性，我们将总碳足迹除以每道菜谱的份量，计算每道菜的人均碳足迹，该值 E (g) 可以由下式计算得到：

$$E = \frac{(E_p + E_c + E_d)}{S} \quad (3)$$

式中， E_p 是生产和销售过程的碳足迹 (g)， E_c 是烹饪过程的碳足迹 (g)， E_d 是废弃食物处理过程的碳足迹， S 为该菜谱可供食用的人数。首先，为了计算食物供应链的碳足迹，我们使用了基于日本投入产出表计算的隐含能源和排放强度数据（源于 EEIO 方法）。

2.4.1 生产和贩卖过程中的碳排放量估计

每道菜的生产和销售过程的碳足迹 E_p (g) 可由下式计算：

$$E_p = \sum_i Q_i \times P_i \times I_i \quad (4)$$

式中， Q_i 是菜肴中食材的重量 (g)， P_i 是单位重量食材的平均购买者价格 (JPY/g)， I_i 是食材的温室气体单位价格排放 (g/JPY)。

需要注意：考虑到每道菜不一定能全部被吃完，剩菜和食物预处理过程中的损失部分的碳足迹应被单独计算。但是，这里的 E_p 是指制作一道菜时需要的所有食材的生产和销售过程的碳足迹 (g)，包含了食物浪费和损失部分的碳足迹。有关食物浪费部分的生产和销售过程的碳足迹计算，我们将在废弃食物处置环节的碳足迹核算部分进行详细的阐述。

投入产出表 (Input-Output Table)

投入产出表 (Input-Output Table)，简称 I-O 表，是一种用于描述一个经济体系内各个产业之间相互关系的统计工具。它显示了不同产业之间的投入和产出关系，即各个产业之间的生产与消耗的相互作用。I-O 表通常以矩阵形式呈现，横向和纵向分别表示各个产业的投入和产出。利用投入产出表，我们可以追溯产品或服务生命周期，了解与之相关的各个产业的投入和产出，进一步估算与该产业相关的能源使用和碳排放量。(source: Nansai, K., Moriguchi, Y. & Tohno, S. Embodied energy and emission intensity data for Japan using input-output tables (3EID)—inventory data for LCA. National Institute for Environmental Studies, Japan 32 (2002).)



2.4.2 菜肴制作过程的碳排放量估计

这里，我们主要使用 **Inaba 等人提出的家庭烹饪碳核算方法**，并结合食物的烹饪方法，估算食材烹饪过程产生的碳足迹。首先，在做饭时，我们需要使用到不同的烹饪厨具，它们大致可以分为电力和燃气两类（燃气包括城市燃气和液化石油气，计算时均假设为城市燃气）。在计算碳排放量时，我们只需知道每种烹饪厨具的耗电或用气量，将其乘以二氧化碳的单位排放，即可得到最终的结果。

一、不同烹饪电器

常见的烹饪电器主要包括：微波炉、烤箱和电饭煲。通常，菜谱都会明确说明需要的功率以及烹饪时间，比如“在 500 瓦微波炉中加热 5 分钟”或者“在 180℃的烤箱中烘烤 10 分钟”。通过将二者相乘，我们可以直接计算得到烹饪时的耗电量。

（1）微波炉

在使用微波炉加热食物时，可以根据它的输出功率和加热时间估算耗电量。由于电能转化为热能的过程中存在一定损耗，实际耗电量应高于微波炉的输出，需要利用转换效率来估算实际耗电量。因此，我们参考松下功能炉（NEFL222）的最大输出和能耗设定转化效率，微波炉的耗电量可由下式计算而得：

$$\text{Microwave power consumption (J)} = (P_m \times \Delta T_m) / \eta_m \quad (5)$$

式中， P_m 是微波炉的高频输出（W）， ΔT_m 是微波炉的烹饪时间（sec）， η_m 是微波炉的转换效率（0.71）。

（2）烤箱

同理，烤箱的耗电量估计也可以使用微波炉的耗电量计算方法。不过，需要注意的是，这里我们并未考虑转换效率，而是直接参考松下烤箱炉（NE-UBS5A（烤箱功能））的功率，并将其乘以烹饪时间进行估算。

（3）电饭煲

米饭不仅能够直接作为主食，也可以作为食材，制成炒饭或者盖饭等其他食物。无论哪一种，一般都需要使用电饭煲来进行烹饪。在计算时，我们假设烹饪过程中，电饭煲的耗电量为恒定值，与烹煮米饭的多少无关。这里，我们也参考了实际产品（松下电饭煲 SR-VSX101）提供的数据，将每煮一次米饭的耗电量计为 156 Wh，米饭保温时的功率计为 13.9 Wh/h，并假定米饭需要保温 2 小时。因此，最终耗电量为烹煮一次米饭和保温 2 小时的耗电量之和，大约为 183.8 Wh。

家庭烹饪碳核算方法

目前，已经有部分研究对食物烹饪过程的碳排放进行了核算，主要方法是测量烹饪过程中消耗的天然气或者电量，并将其乘以单位能源的碳排放，进而得到碳排放量。然而，这种计算方法需要在每次烹饪时都进行测量，且只能计算二氧化碳的排放。相与之不同的是，Inaba 等人提出的家庭烹饪碳足迹的估算方法，重点考虑了烹饪厨具的热效率和食材的升温幅度，相对简化了估算的流程，降低了计算的成本。（source：Nansai, K., Moriguchi, Y. & Tohno, S. Embodied energy and emission intensity data for Japan using input-output tables (3EID)—inventory data for LCA. National Institute for Environmental Studies, Japan 32 (2002).)

二、燃气类烹饪器具的不同烹饪方法

在使用燃气灶等燃气类烹饪厨具制作食物时，部分菜谱会清楚地说明烹饪要求，比如“用大火煮沸 5 分钟”。但是，有些菜谱只有比较模糊的说明，比如“将蔬菜煮热”或“炸至金黄色”。针对前一种情况，我们可以通过实验调查高、中、低火时的燃气流量，并结合烹饪时间，近似估算燃气的消耗。然而，针对后者，我们无法确定燃气输出的大小和烹饪时长，同样的方法并不适用。因此，我们仍主要基于烹饪厨具的热效率，估算不同烹饪方法（如煮沸、烧烤和油炸等）传递给食材、水或者油的能量大小。该方法只要求知道使用的食材重量和烹饪方法，即使不知道燃气输出的大小和烹饪时间，也能近似计算烹饪所需的能量大小。

(1) 炖

炖的过程可以近似为两个阶段，一是水烧开的阶段，二是水烧开后，食材的持续加热阶段。因此，炖煮过程的能量消耗主要由三个部分组成：将水烧开所需要的能量，水烧开后保持水温所需的能量，以及加热食材所需要的能量。这三部分能量分别可由以下三个公式计算：

$$\text{Energy consumption until water boils (J)} = \frac{m_w \times c_w \times \Delta K_b}{\eta h} \quad (6)$$

$$\text{Energy consumption for maintaining the temperature of the water after boiling (J)} = \frac{v \times S_p \times H_w \times \Delta T}{\eta b} \quad (7)$$

$$\text{Energy consumption for heating ingredients (J)} = \frac{\sum_i Q_i \times c_i \times \Delta K_b}{\eta b} \quad (8)$$

式中， m_w 是炖时加入的水量（g）， c_w 是水的比热容（J/(g·K)）， ΔK_b 是从室温（20℃）到沸点（100℃）的温差（K）， ηh 是加热过程中的热效率， v 是单位锅底面积的蒸发量（g/(min·cm²））， S_p 是锅底面积（cm²）， H_w 是水的蒸发潜热（J/g）， ΔT 是沸腾后的加热时间（min）， ηb 是沸腾后的热效率， Q_i 是加入的食材的重量（g）， c_i 是食材的比热容（J/(g·K)）。其中， m_w 直接根据菜谱中注明的水量设定，但是对于水沸腾后需要的加热时间 ΔT ，菜谱中通常没有说明。为简化计算，我们将其设定为菜谱规定的总炖煮时间的三分之二。

(2) 煮

煮的过程类似于“炖”，耗能主要来自于以下三个部分：将水烧开所需的能量，水烧开后保持水温所需的能量，以及加热食材所需要的能量。计算方法与上述“炖”的公式相同。需要注意的是，菜谱中通常不会说明煮沸需要加入的水量，但根据生活常识，水至少需要漫过食材。因此，我们参考了Kagome's site中的数据，将加入水量 m_w 设定为食材重量的5倍。与此同时，菜谱中通常也没有规定沸腾后需要的加热时间 ΔT ，为了简化计算，我们统一设置为10分钟。

(3) 蒸

蒸食物时所需能量也可分为三个部分：将水烧开所需的能量，水烧开后保持水温所需的能量，以及加热食材所需要的能量。计算方法也与“炖”相同。然而，菜谱中一般也不会规定蒸时需要的加入的水量，我们于是假设水量为锅体积的60%（锅深度为15 cm，水量可进一步根据锅底面积求得）。同时，菜谱中也未规定水沸腾后的加热时间 ΔT ，为简化计算，我们将其设定为菜谱要求的总烹饪时间的三分之二。

(4) 炒

在用煎锅翻炒或者煎食物时（假设煤气灶与锅底热平衡），锅表面的一些区域没有覆盖食物、水或者油，热量会从这些区域直接释放到大气中，并没有传递给食物。因此，为了考虑这些流失的热量，需要利用修正因子，其计算如下所示：

$$\text{Correction factor for frying pan } (\alpha) = \frac{S_s}{S_f} \quad (9)$$

式中， S_s 代表食物覆盖区域的面积（ cm^2 ）， S_f 是锅底面积（ cm^2 ）。

基于此，“炒”的实际耗能可用下式计算而得：

$$\text{Energy consumption for heating the food (J)} = \frac{\sum_i Q_i \times c_i \times \Delta K_f}{\eta h \times \alpha} \quad (10)$$

式中， ΔK_f 代表翻炒前后食物的温差。

(5) 炸

油炸时消耗的能量可以大致分为两部分：将油加热到必要温度所需的能量以及加热食材所需的能量。其计算方法与“蒸”和“煮沸”中部分计算相同，具体如下：

$$\text{Energy consumption required for raising oil temperature (J)} = \frac{m_o \times c_o \times \Delta K_o}{\eta h} \quad (11)$$

$$\text{Energy consumption for heating the food (J)} = \frac{\sum_i Q_i \times c_i \times \Delta K_d}{\eta h} \quad (12)$$

式中， m_o 是加入油的重量（g）， c_o 是油的比热容（ $\text{J}/(\text{g} \cdot \text{K})$ ）， ΔK_o 为从室温（ 20°C ）到油炸温度（ 180°C ）的差（K）， ΔK_d 代表食物在炸之前和之后的温差（K）。

食材比热容的估计

在计算每道菜肴烹饪过程的碳足迹之前，我们需要知道每种食材的比热容。其中，62种食材的比热容可以在《热物理性质手册》中找到，而剩下食材的比热容需要通过估算获得。通常，我们可以根据食材中的水、蛋白质、碳水化合物和脂肪含量对食物的比热容进行估算。其中，蛋白质和碳水化合物的比热容差异较小，我们将他们统一作为“固体”来看待。对于脂肪含量较低的低脂食物，可以用下式计算比热容，其中 $M_W + M_S = 1.0$ ：

$$c = (1.0M_W + 0.2M_S) \times 4187 \quad (13)$$

这里，低脂食物是指所含脂肪的质量分数小于等于1%的食物。式中， c 是食材的比热容（ $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ）， M_W 是水的质量分数， M_S 是蛋白质和碳水化合物的质量分数。

通常，不同组成和结晶度的脂肪拥有不同的相变温度。高脂食物中的脂肪具有较高的相变温度，其比热容还涵盖相变的潜热，所以高脂食物的比热容比低脂食物更高，需要单独估算。其计算公式如下，其中， $M_W + M_F + M_S = 1.0$ ：

$$c = (1.0M_W + 0.5M_F + 0.33M_S) \times 4187 \quad (14)$$

式中， M_F 是脂肪的质量分数。

需要注意，以上的计算公式适用于食物中水分、蛋白质、碳水化合物和脂肪的质量分数之和为1的情况。对于灰分含量比较高的食材，比如调味料，可能无法利用上面的公式准确估算。因此，对于灰分质量分数为0.1或者更高的食材，比热容可以使用Heldman and Singh提出的公式计算，其中 $M_W + M_C + M_P + M_F + M_M = 1.0$ ：

$$c = 4187M_W + 1424M_C + 1549M_P + 1675M_F + 837M_M \quad (15)$$

式中， M_C 是碳水化合物的质量分数， M_P 是蛋白质的质量分数， M_M 是灰分的质量分数。

三、烹饪过程的碳足迹核算

根据不同烹饪方法的能耗，我们可以进一步计算烹饪菜肴时产生的碳足迹。首先需要明确，菜肴的制作通常涉及多道烹饪工序。以奶油蘑菇意面的制作过程为例（图 2.3），食物需要经过煮、炖、油煎、翻炒以及烘烤等多道工序才能制作完成。对于这类菜肴，我们无法使用单一的计算公式来估算烹饪的碳足迹。因此，我们针对每一烹饪方法都进行了相应的计算调整，并将不同制作工序的平均碳足迹作为结果。



图 2.3 奶油蘑菇意面的制作方法

此外，我们也可能会同时使用到电器和燃气类厨具。考虑到电器通常用于初步的食材准备和最后的食物处理环节，我们将使用燃气类器具烹饪的平均碳足迹和使用电器进行烹饪的碳足迹之和作为总的烹饪碳足迹。

其中，使用电器烹饪的碳足迹是通过将耗电量乘以单位千瓦时的碳排放系数（ $441\text{g-CO}_2/\text{kWh}$ ，东京电力 Energy Partner, 2020）。同理，将估算能耗乘以每兆焦耳的碳排放系数（ $49.9\text{g-CO}_2/\text{MJ}$ ，东京瓦斯），可获得燃气类厨具烹饪的碳足迹。

基于上述数据，烹饪过程的碳足迹 $E_c(g)$ 的计算如下所示：

$$E_c = W_e \times 441 + \frac{\sum_i^n W_{g,i}}{n} \times 49.9 \quad (16)$$

式中， W_e 是烹饪电器的总能耗（ kWh ）， $W_{g,i}$ 是使用燃气类烹饪设备进行第 i 种烹饪方法时的能耗（ MJ ）， n 是使用燃气类烹饪设备时的烹饪方法数。表 2.3 中展示了每种烹饪方法的能耗计算时所需的常数。

表 2.3 每种烹饪方法的能耗计算所需的常数

Constant Name	Details	Value
η_m	Conversion efficiency of microwave	0.71
η_h	Heat efficiency during heating	0.37
η_b	Heat efficiency after boiling	0.42
c_w	Specific heat capacity of water [J/(g·K)]	4.20
H_w	Latent heat of vaporization of water [J/g]	2250
c_o	Specific heat capacity of oil [J/(g·K)]	1.96
ΔK_b	Temperature difference from room (20°C) to boiling temperature (100°C) [K]	80
ΔK_f	Temperature difference of food before and after baking [K]	100
ΔK_o	Temperature difference from room (20°C) to frying temperature (180°C) [K]	160
ΔK_d	Temperature difference of food before and after frying [K]	130
v	Evaporation of water per unit area of pot [g/(min·cm²)]	0.06
S_p	Bottom area of the pot [cm²]	314
α	Correction factor of the frying pan	0.75

2.4.3 废弃过程的碳排放量

当下，厨余垃圾的处理问题已经成为了社会的难题。2019 年，仅家庭产生的厨余垃圾就高达 261 万吨。在日本，大部分的厨余垃圾都被焚烧或者填埋，这样的处理过程会释放大量的二氧化碳。此外，食物浪费贯穿生产、加工、运输、储存、消费等各个环节，进一步加剧了能源消耗和碳排放。首先，在生产过程中，有瑕疵的产品会被丢弃，无法到达消费者手中。在分销和售卖的过程中，由于运输或存储不当所造成的产品毁损以及未售出的商品最终都会被废弃。而食物被卖给消费者后，其不可食用的部分，如骨头、蛋壳、果核等，都可能会在烹饪前被去除或者丢弃。同时，食品的可食用部分也会产生以下三种类型的废弃：

- (1) 直接丢弃：由于过期等原因而未经烹饪就被直接丢弃的食材。
- (2) 连带去除：在去除不可食用的部分时被连带去除的可食用部分。
- (3) 残羹剩菜：没吃完而被丢弃的成品菜。

因此，废弃食品的碳足迹至关重要，需要纳入到核算中。这里，我们主要将菜肴中使用到的食材重量乘以其各自的损失率，求和后得到每道菜的总损失量。之后，进一步计算处理这些粮食损失时排放的二氧化碳，作为食物废弃过程的碳足迹。

2014 年日本粮食损失统计调查报告记录 26 种食物最终食用量、直接丢弃量、连带去除量以及剩菜量，利用该数据可以计算得到粮食损失率。其计算结果如附录表 S1 中所示。为了满足后续的计算需求，我们基于食品的相似性、消费模式和废弃习惯，将 349 个食材分成 26 个类别，并据此计算了每种食物的损失率：

$$\text{Foodlosswasterate}(W) = \frac{W_{\text{left}} + W_{\text{direct}} + W_{\text{excessive}}}{U_{\text{food}}} \times 100\% \quad (17)$$

其中， W_{left} 是被丢弃的剩菜重量 (g)， W_{direct} 是直接丢弃食物量 (g)， $W_{\text{excessive}}$ 是被连带外去除的食物重量 (g)， U_{food} 是最终被食用的食物重量 (g)。

来源：Ministry of Agriculture, F. a. F. 2014 Food Loss Statistics Survey Report. (2014). <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003201404>

我们只关注食物到达消费者后所产生的废弃，主要包括不可食用的部分、残羹剩菜、直接丢弃和连带去除的部分。需要强调的是，这部分的食物废弃物被统称为“粮食损失”，不包括不可食用部分（不可食用部分的重量通过将食材重量与《日本标准食品成分表》中食材的废弃率相乘来计算）。

每道菜最终的总废弃量是不可食用部分和食物损失部分（残羹剩菜、直接丢弃物、连带去除）的重量之和。在废弃食物的处理方面，我们参考了日本农林水产省的“食物系统循环研究”公布的调查结果，计算了每单位废弃食物的碳排放量。通常，食品废弃物可以通过多种技术来处理，例如填埋、焚烧、堆肥、发酵等。在日本，考虑到大多数家庭产生的厨余垃圾最终都会被焚烧或者填埋处理，我们主要计算了焚烧（不发电）处理厨余垃圾所产生的碳排放。此外，食物废弃物收集、运输、焚烧、焚烧残渣填埋环节的碳排放也都被纳入了核算，各个阶段每 1000 kg 厨余垃圾（raw garbage）产生的碳排放量如表 2.4 中所示。

表 2.4 焚烧处理不同阶段下每 1000 kg 的厨余垃圾（raw garbage）产生的碳排放量

Stages	CO ₂ Emissions (kg)
Collection	24
Incineration	73
Waste Transportation	3.7
Landfill	5.7
Total	106.4

每道菜的废弃处理过程的碳足迹 E_d 可利用下式计算：

$$E_d = \sum_i (Q_i \times D_i + Q_i \times (1 - D_i) \times W_i) \times 0.1064 \quad (18)$$

其中， Q_i 是第*i*种食材的重量（g）， D_i 是第*i*种食材不可食用部分的废弃率， W_i 是第*i*种食材对应食物类别的粮食损失率。

需要明确的是，食物损失与不可食用部分导致的食物废弃具有不同的政策意义。前者可以通过人为努力尽可能减少，而后者较难避免。归根结底，食物损失是不合理的生产和分配所导致的资源浪费导致的，所以如果能够尽可能减少这种浪费，生产或销售这些过剩食品的碳足迹也会随之降低。因此，为进一步区分，我们估计了每道菜食物损失部分生产和销售过程的碳足迹：

$$E_{p,foodloss} = \sum_i Q_i \times (1 - D_i) \times W_i \times P_i \times I_i \quad (19)$$

其中， $E_{p,foodloss}$ 是每道菜的食物损失部分的生产和销售的碳足迹， P_i 是第*i*种食材的单位重量的平均购买价格（JPY/g）， I_i 是第*i*种食材的单位价格排放（g/JPY）。最终，被真正利用了的食材的生产和销售过程碳足迹，是食材生产和销售过程碳足迹减去食物损失部分生产和销售过程的碳足迹，等同于 $E_p - E_{p,foodloss}$ 。

本章主要作者：许晓妍

本章主要参考文献

- AJINOMOTO CO., I. *AJINOMOTO PARK Recipe*, <<https://park.ajinomoto.co.jp/recipe>>
- Ministry of Education, C., Sports, Science and Technology (MEXT). Standard tables of food composition in Japan - 2015 - (Seventh Revised Version) <https://www.mext.go.jp/en/policy/science_technology/policy/title01/detail01/1374030.htm> (2016).
- Japan Ministry of Internal Affairs and Communications. Family Income and Expenditure Survey. (ed Statistics Bureau of Japan) <<http://www.stat.go.jp/english/index.html>>(2023).
- Statistics Bureau of Japan. 2015 retail price statistics survey. (2016).
- Nansai, K., Moriguchi, Y. & Tohno, S. Embodied energy and emission intensity data for Japan using input-output tables (3EID)–inventory data for LCA. *National Institute for Environmental Studies, Japan* **32** (2002).
- Long, Y., Jiang, Y., Chen, P., Yoshida, Y., Sharifi, A., Gasparatos, A., Wu, Y., Kanemoto, K., Shigetomi, Y., Guan, D.. Monthly direct and indirect greenhouse gases emissions from household consumption in the major Japanese cities. *Scientific Data* **8**, 301 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01086-4>
- INABA, A., KAZAMA, R., TAMARI, Y. & MORIMOTO, R. The Estimation Method for the CO₂ Emission of Cooking in the Household. *Journal of Life Cycle Assessment, Japan* **10**, 155-164 (2014).
- Chie Mizuno , M. Y., Hideko Kitayama , Katsuko Yamada , Masako Ogino , Yumi Yamamoto , Mariko Uchida , Taketoshi Kajita , Takao Ando , Yohoko Shono , Akie Akuta , Hideyo Yamashita , Sumiko Yamano , Yumi Kawauchi , Nobuko Okuda. Establishment of Consistent Gas Heating Conditions for Boiling. *Journal of Cookery Science of Japan* **35**, 275-280 (2002).
- KAGOME CO., L. [how to boil spinach and potatoes & remove bitterness] the trick is water and temperature, <<https://www.kagome.co.jp/vegaday/eat/201807/9167/>> (2018).
- Tetsuya, B. The New Edition of Thermophysical Properties Handbook. *Japan journal of thermophysical properties* **22**, 32-33 (2008).
- Singh, R. P. & Heldman, D. R. *Introduction to food engineering*. (Gulf Professional Publishing, 2001).
- Ministry of Environment, J. Greenhouse Gas emission intensity, Ministry of Environment, Japan. in <https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc> (2023).
- Group, T. G. *Calculation method for CO₂ emissions associated with city gas energy use.*, <https://support.tokyo-gas.co.jp/faq/show/8954?category_id=839&site_domain=eee#:~:text=%E9%83%BD%E5%B8%82%E3%82%AC%E3%82%B9%E3%81%AE%E4%BD%BF%E7%94%A8%E3%81%AB,12%E3%81%A7%E8%A8%88%E7%AE%97%E3%81%95%E3%82%8C%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82> (2018).
- Consumer Affairs Agency, G. o. J. Publication of food loss (estimated value for 2019). (2021). https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00500231&tstat=000001015650&cycle=8&tclass1=000001032628&tclass2=000001076670&stat_infid=000031329882&tclass3val=0
- Ministry of Agriculture, F. a. F. 2014 Food Loss Statistics Survey Report. (2014). <https://www.e-stat.go.jp/dbview?sid=0003201404>

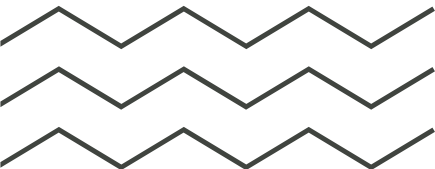


03.

碳足迹与营养价值数据分析实践



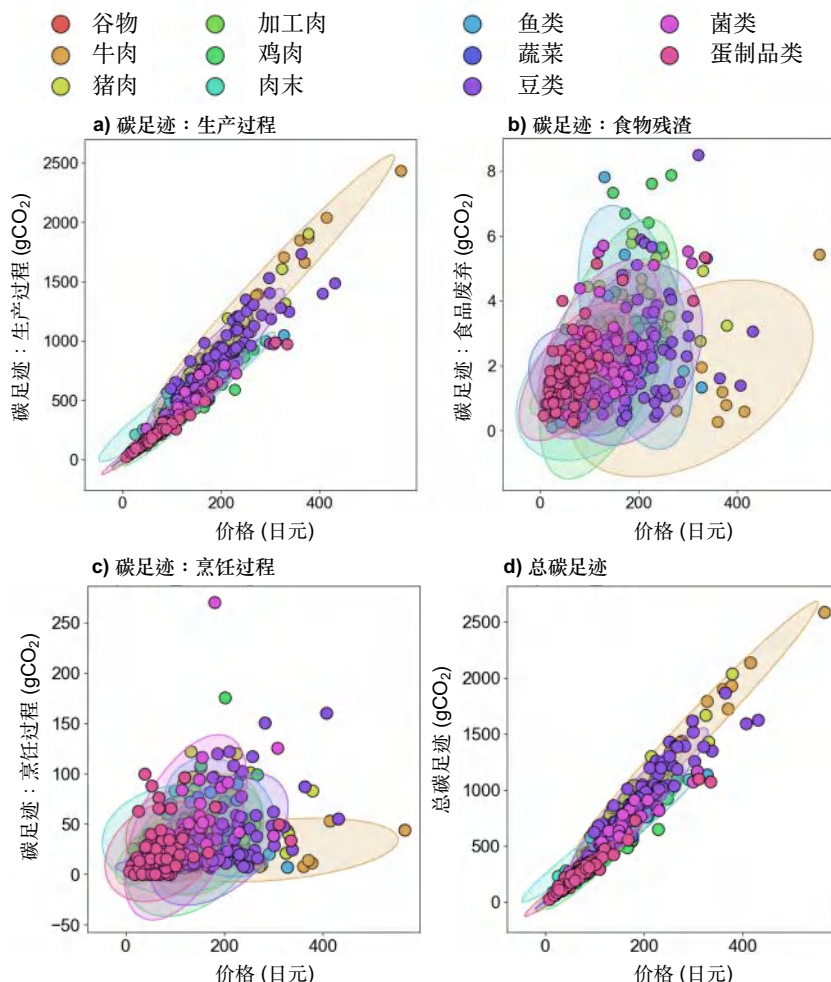
FOOTPRINT



基于上述菜谱碳足迹的核算流程，本报告综合分析了全球各国共计 388 道菜谱，提供了每道菜谱的碳足迹与营养价值数据，同时涵盖了菜谱价格与碳足迹的精细化信息。为了保证数据信息更加科学可靠，我们首先按照两大标准对所有菜谱进行分类：（1）按其制作原料及主要成分，进行食材分类；（2）结合国家、区域、地方特色菜品划分，进行菜系分类。基于上述分类原则，我们逐步展开菜谱全生命周期碳足迹分布研究、菜谱营养价值研究、菜谱营养元素级别的碳排放分布研究以及菜谱原料价格波动的不确定性影响分析。

3.1 菜谱全生命周期各阶段碳足迹分布

3.1.1 基于食材分类的菜谱碳足迹分布



知识卡片

根据制作原料及主要成分对菜谱进行食材级别的分类如下：谷物、加工肉、鱼类、菌类、牛肉、鸡肉、蔬菜、蛋制品类、猪肉、肉末和豆类（共 11 类）。

知识卡片

一道菜肴的全生命周期有哪些阶段？
生产、烹饪、厨余或食物残渣的处理

菜肴生产过程的碳排放量在各阶段中“拔得头筹”，相当于烹饪过程碳排放量的 9 倍，或者食物残渣处理产生二氧化碳的 286 倍。这也解释了为什么总碳排放量与生产过程碳排放量分布模式和变化趋势高度一致。菜谱价格每增加 1 日元，菜肴生产过程的碳排放量将增加约 3.93 克，而主食材总碳排放量将增加约 4.39 克。

牛肉、猪肉和加工肉类的烹饪过程碳排放波动范围较广。同时，牛肉、鱼肉和肉末残渣处理过程的碳排放同样具有较大置信区间。尤其值得关注的是，肉末残渣处理过程的碳排放量与价格呈现反比关系，即肉类原料价格上涨时，其废弃处理过程产生的碳排放量会随之减少。

3.1.2 基于菜系分类的菜谱碳足迹分布

各菜系的菜谱在文化、烹饪方法和技巧、食材选择以及能源消耗等方面存在显著差异，且均影响其碳排放。例如，肉食为主的菜系与以蔬菜或海鲜为主的菜系由于能源使用和烹饪技巧的差异，所产生的碳足迹也有所不同。我们将菜谱分类为中餐、日料、韩餐、西餐及其他菜系五大类，旨在探究不同的烹饪风格和文化传统对碳排放的具体影响，以支持可持续膳食的发展。

在比较不同菜系价格与碳排放的研究中，我们发现中餐和日料的排放量相对较高。具体而言，菜谱价格每增加 1 日元，中餐和日料的平均总碳足迹分别增加约 4.46 克和 4.41 克。这一趋势在原材料生产阶段尤为显著，平均导致碳足迹增加 3.99 克。在烹饪过程中，日本、中国和韩餐的碳排放峰值接近 100 克。相比之下，残渣处理阶段的碳排放通常不超过 10 克，规模较小。

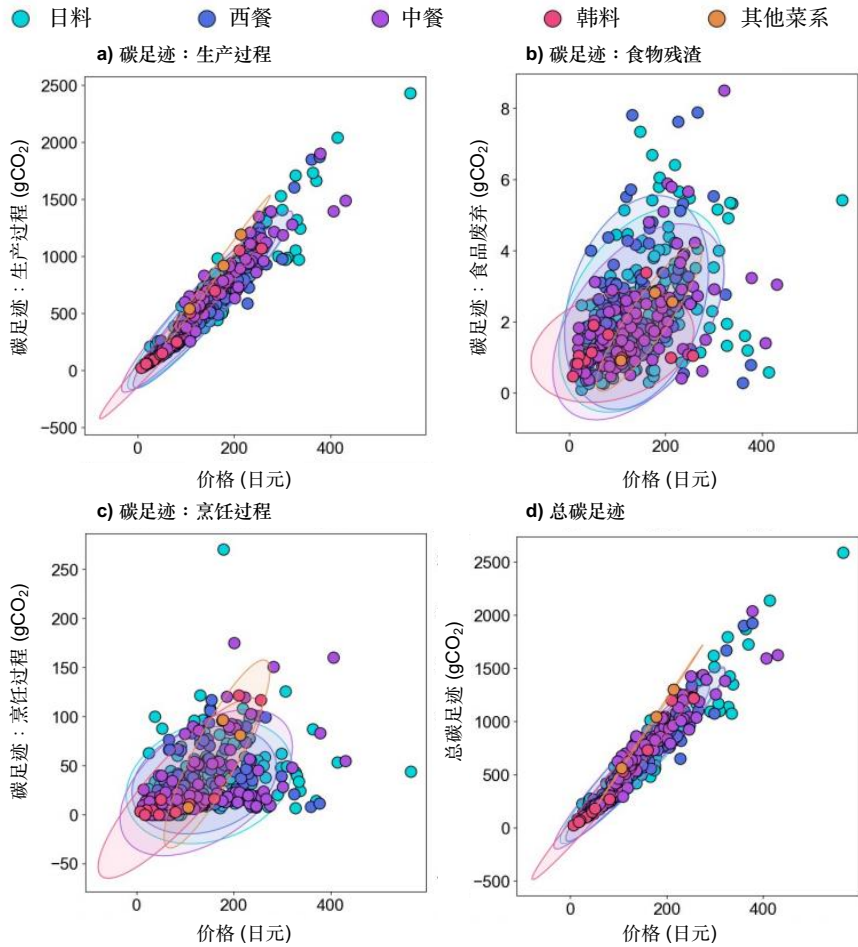


图 3.2 各烹饪过程中基于菜系分类的菜谱碳足迹分布

3.2 菜谱营养价值分析和营养元素的碳足迹分布

本报告进一步分析了菜谱营养成分与碳排放的关系，从而探究菜谱对环境与营养健康的综合影响。我们不仅关注菜谱制作各环节的排放，还考察了不同营养元素在食物中的含量及其对总排放量的影响。

3.2.1 基于食材分类的菜谱碳足迹分布

通过分析不同食材成分和碳排放的关系，我们可以得到营养成分含量变化导致的碳排放差异，其中主要包含对蛋白质、脂质和碳水化合物的分析。

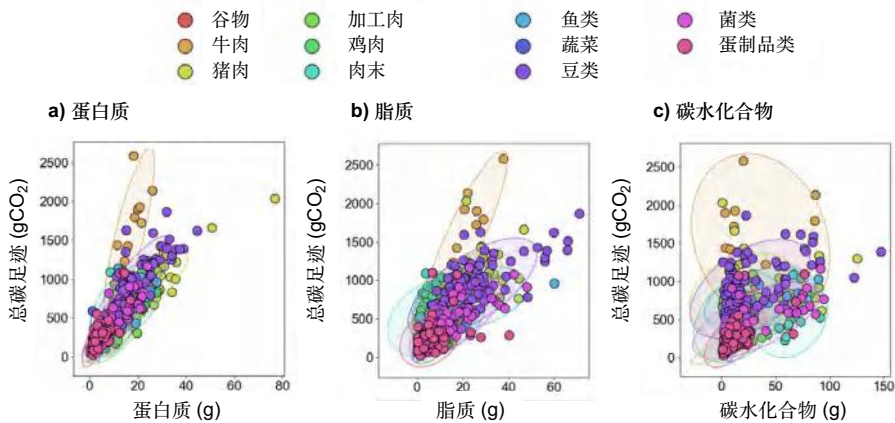


图 3.3 基于食材分类的菜谱三大营养素含量及碳足迹分布

基于食材分类的菜谱蛋白质含量的分析显示，豆类菜谱的蛋白质含量与碳足迹高度正相关，即其碳足迹随蛋白质含量增加而升高。与此同时，鱼类和谷物菜谱的蛋白质含量与碳足迹也存在显著的正相关关系。而牛肉、鸡肉和蛋制品类菜谱的蛋白质含量与碳足迹的相关性较低。

基于脂质含量的分析显示，脂质含量与碳足迹的相关性与蛋白质有所不同。首先，蛋制品和加工肉类的脂质含量与碳足迹之间显著正相关，表明这些食品脂肪含量高且可能伴随高碳排放。其次，鱼类也呈现类似趋势，但其碳足迹相对较低。相比之下，豆类和蔬菜的脂质含量与碳足迹相关性较低，反映了其低脂肪且富含纤维和维生素的特性。

基于碳水化合物含量的分析显示，豆类菜谱的碳水化合物含量与碳足迹存在负相关关系，即碳水化合物含量增加时，碳足迹有所减少。鸡肉的碳足迹与碳水化合物含量相关性较低。牛肉和蛋制品的碳足迹可能随碳水化合物含量增加而略有增加，但并不显著。鱼类在碳水化合物含量较高时可能具有较高的碳足迹。

除了对蛋白质、脂质和碳水化合物这三大营养素的分析，我们还重点关注了维生素和矿物质含量与碳足迹之间的关系。结果表明，低维生素含量通常对应着较低的碳足迹与不健康的饮食。然而，值得注意的是，某些牛肉菜谱的维生素含量并不丰富，却伴随着较高的碳排放。相比之下，其他一些食材可以在保证足够维生素含量的同时减少碳排放，可以作为更加环保的膳食选择。

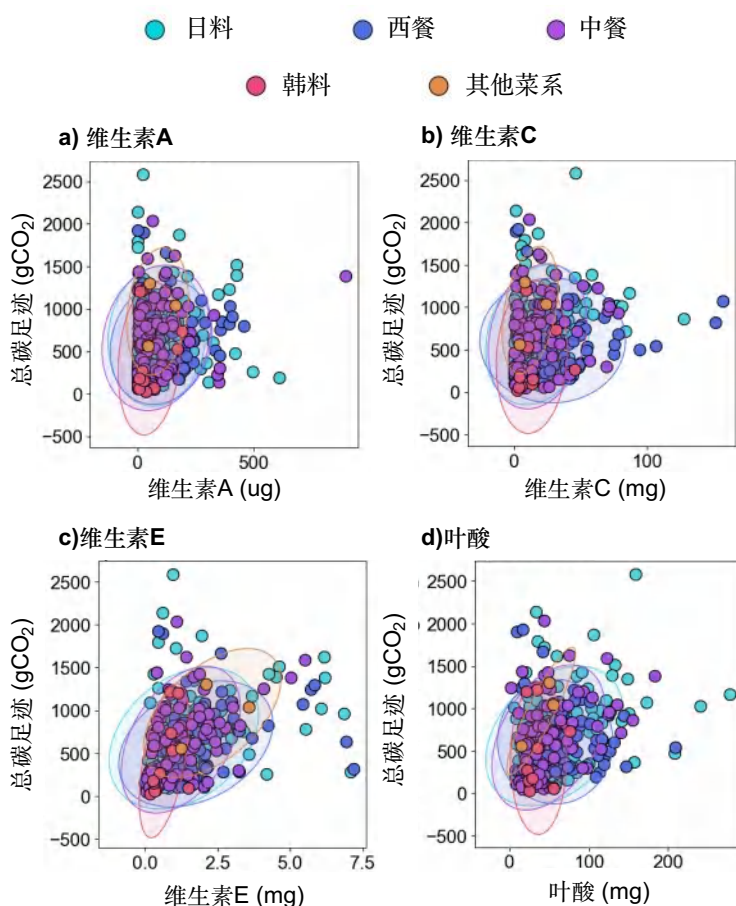


图 3.4 基于食材分类的菜谱维生素含量及碳足迹分布

此外，我们还提供了矿物质含量与碳足迹关系的分析结果。某些矿物质含量高的食材（如豆类和蛋制品）伴随着较低的碳足迹。相比之下，牛肉及猪肉则呈现出相反的结果。尽管这些食材具有较高的矿物质营养价值，但其生产过程会给环境造成较大压力。

我们还进一步分析了膳食纤维、饱和脂肪和胆固醇含量与碳足迹间的关系。结果表明，具有较高膳食纤维、饱和脂肪和胆固醇含量的食材往往伴随着更高的碳足迹。这为平衡营养摄入与环保目标提供了可视化依据。

综上所述, 在我们研究的 16 种营养成分中, 牛肉所含各种营养成分含量与碳足迹分布关系差异显著。其中, 13 种营养素呈现正相关; 3 种 (碳水化合物、总纤维和维生素 A) 呈负相关。这表明, 当牛肉中碳水化合物、总纤维和维生素 A 含量越多, 碳排放总量就会越少。特别地, 相较于相同含量的其他成分, 鱼类所含锌元素的碳足迹最低, 而谷物中的钙和镁碳足迹最低。相同含量的脂肪、蛋白质、维生素 E、锌和盐等营养成分之下, 牛肉的碳足迹最高, 其次是猪肉, 而鸡肉最低。

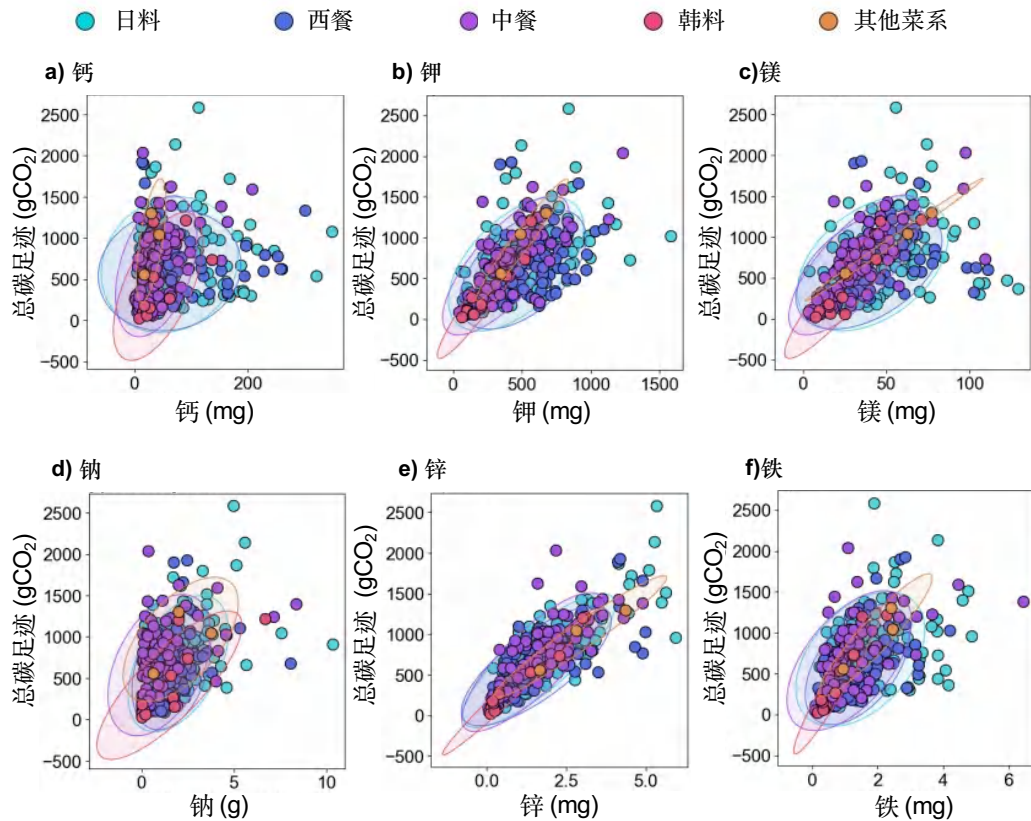


图 3.5 基于食材分类的菜谱微量元素含量及碳足迹分布

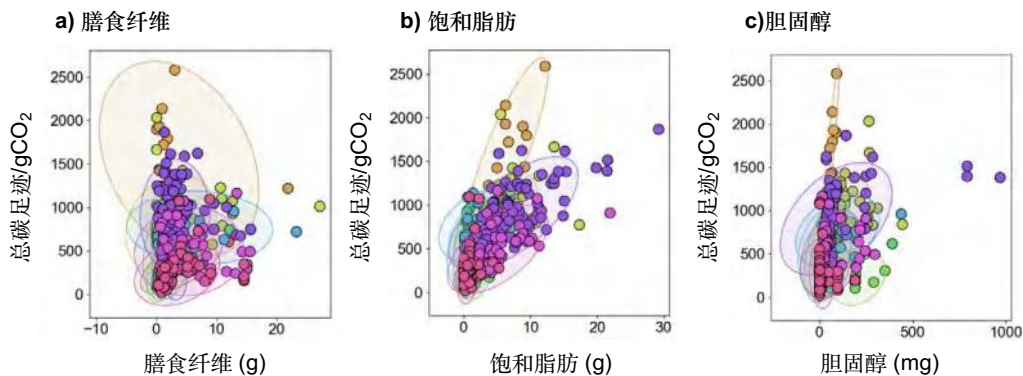


图 3.6 基于食材分类的菜谱其他营养含量及碳足迹分布

3.2.2 基于菜系分类的菜谱碳足迹分布

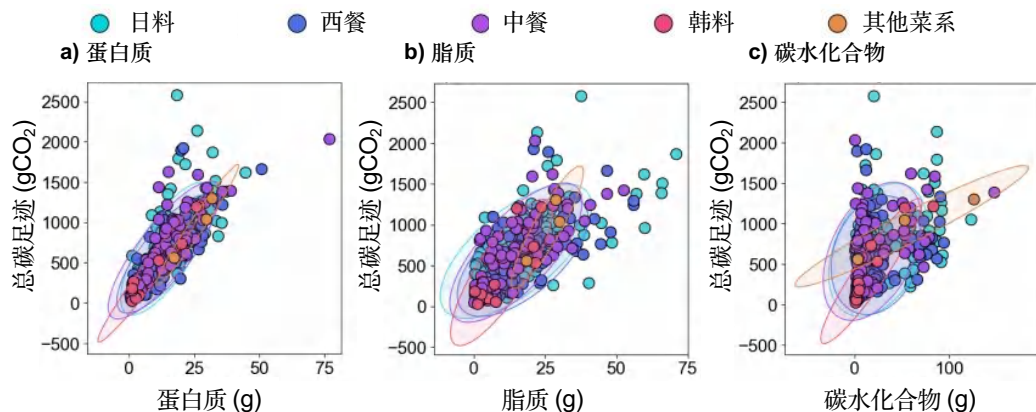


图 3.7 基于菜系分类的菜谱三大营养素含量及碳足迹分布

知识卡片

图中不同颜色的点代表不同菜系, 如日料 (蓝色)、西餐 (青色)、中餐 (紫色) 和韩料 (粉色) 以及其他菜系 (橙色)。通过散点图和配套的置信椭圆, 可以观察到每种营养成分与总温室气体排放量之间的相关性和分布趋势。

- | | | | |
|------|-------|------|--------|
| ● 谷物 | ● 加工肉 | ● 鱼类 | ● 菌类 |
| ● 牛肉 | ● 鸡肉 | ● 蔬菜 | ● 蛋制品类 |
| ● 猪肉 | ● 肉末 | ● 豆类 | |

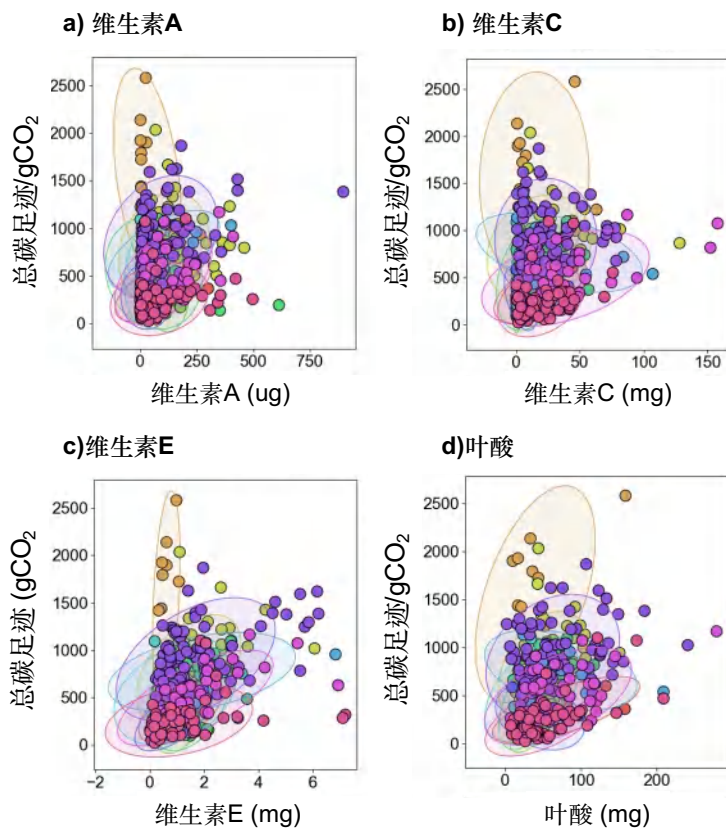


图 3.8 基于菜系分类的菜谱维生素含量及碳足迹分布

- | | | | |
|------|-------|------|--------|
| ● 谷物 | ● 加工肉 | ● 鱼类 | ● 菌类 |
| ● 牛肉 | ● 鸡肉 | ● 蔬菜 | ● 蛋制品类 |
| ● 猪肉 | ● 肉末 | ● 豆类 | |

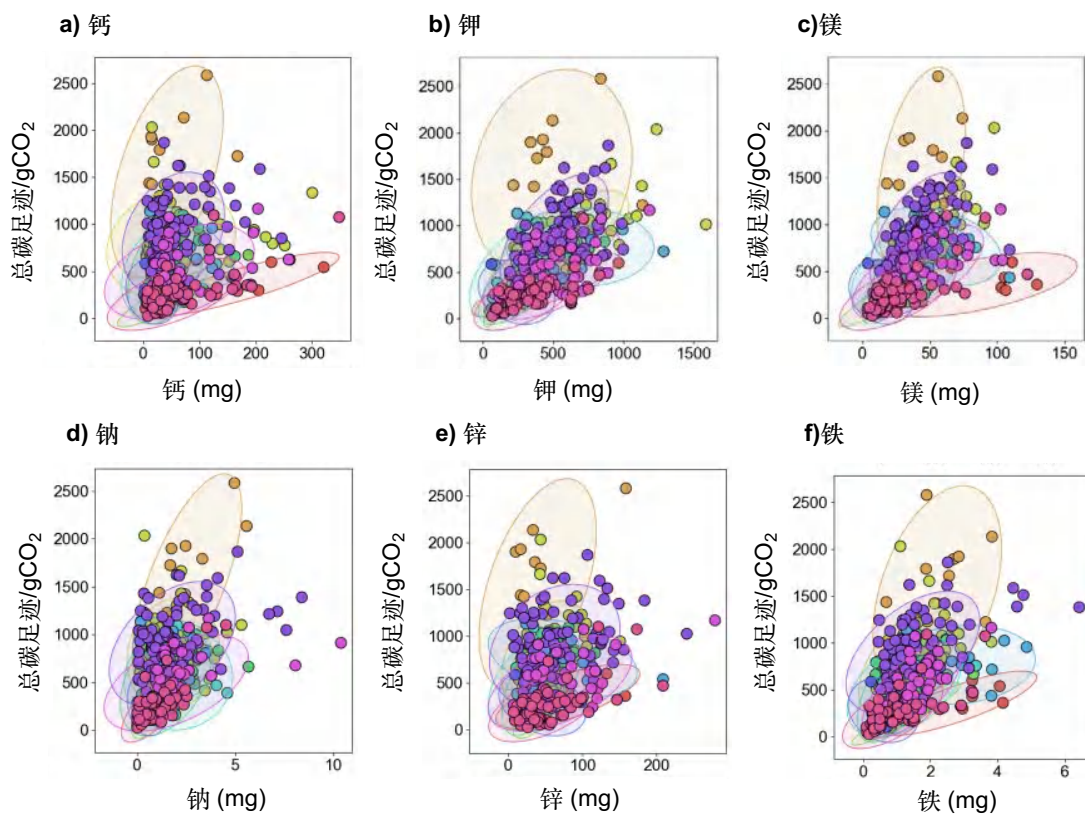


图 3.9 基于菜系分类的菜谱微量元素含量及碳足迹分布

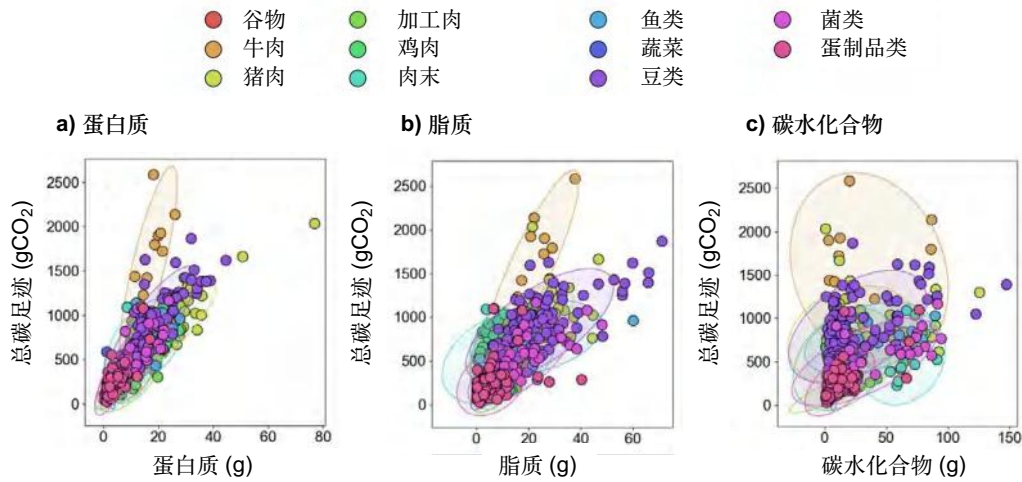


图 3.10 基于菜系分类的菜谱其他营养成分含量及碳足迹分布

基于菜系分类的菜谱碳足迹分布结果有助于人们了解不同文化和烹饪传统对于环境影响的差异，以及它们促进健康膳食和环境低碳的潜力。尽管不同菜系在不同营养成分的含量上有所差异，但却在总碳足迹上表现出相似的模式。特别是在蛋白质和脂质含量较高的情况下，菜谱碳足迹集中分布于高排放区域。碳水化合物含量高的菜谱碳足迹分布则更加分散，这意味着菜谱碳水化合物含量增加并不一定导致碳足迹增加。

菜谱维生素含量与总碳足迹之间关系的分析结果表明，尽管高维生素含量的菜谱营养价值较高，但通常伴随更高的碳足迹（特别是维生素 C 和 E）。中餐和日料因菜品种类繁多而展现出更广泛的营养成分含量分布，这表明基于高维生素含量菜谱的食物生产可能导致较高的环境成本。

通过分析不同菜系菜谱六种矿物质（钙、钾、镁、钠、锌和铁）含量的碳足迹结果，我们发现日料所含矿物质含量较高、营养价值丰富。西餐的矿物质含量和碳足迹处于中等水平，其营养价值与环境影响紧密关联，特别是在肉类和乳制品较多的情况下。中餐在多种矿物质含量上分布广泛，体现了中餐营养成分的多样性。韩餐在某些矿物质上含量较低，且碳足迹也相应较低，这表明其营养价值较低、但环境影响小。对于其他菜系，由于样本量有限，结果并未呈现出显著特征。

最后，不同菜系菜谱的膳食纤维、饱和脂肪和胆固醇含量与碳足迹的关联结果表明，日料、西餐、中餐和韩餐的营养成分和环境影响各具特点。除个别菜谱外，日料在膳食纤维含量较高的同时可以保持较低的碳足迹，这符合日本居民高纤维植物性食物和普遍食用海产品的膳食习惯。

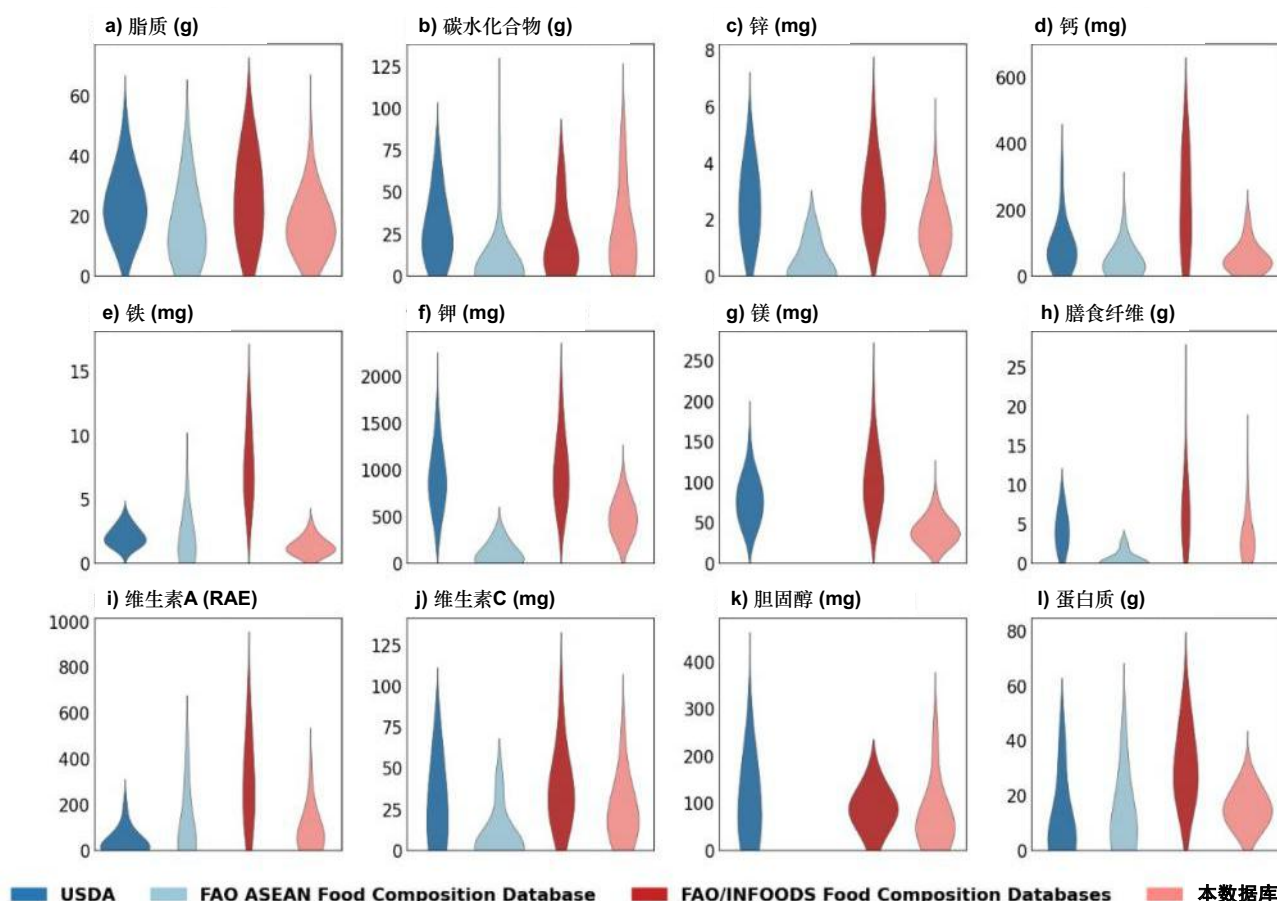
3.3 菜谱原料价格波动：碳足迹评估的不确定性

为确保所构建数据集的准确性，我们对不同菜谱的营养内容进行了精细化分析，并与美国农业部（USDA）、联合国粮食及农业组织 / 国际食物数据系统（FAO/INFOODS）和联合国粮食及农业组织东盟食物成分数据库（FAO ASEAN）等权威数据源进行了对比验证。验证过程中，我们精确匹配了数据库中每道菜谱的营养信息，涵盖了营养成分、数量和调味品，实现了三个数据集间营养价值的映射比较。具体而言，我们从 388 道菜谱中提取了 97 种成分，并计算了这些成分中 12 种主要营养素的总含量。

通过对比 388 道菜谱中 12 种营养成分的分布情况，我们验证了菜谱碳足迹核算的结果。由于 FAO ASEAN 数据库未提供镁和胆固醇的数据，其相关部分未进行显示。该比对结果证实了本数据库营养信息的可靠性。

在量化菜谱碳足迹时，我们使用的是食物原材料的平均单价（克 / 日元），但这种方法未能充分考虑不同收入群体的消费差异。因此，我们进行了价格波动分析，基于日本家计调查中不同收入家庭购买 347 种食品的最低和最高单价数据，对菜谱中使用的食材成本进行不确定性分析。这有助于估计生产阶段碳足迹的不确定性。结果显示，菜谱碳足迹的平均不确定性为 41.47 克二氧化碳，生产过程中碳排放的平均相对不确定性为 9.24%，总碳排放的平均相对不确定性为 8.41%。

我们的数据集中提供了关于这一不确定性分析更为详细的信息，强调了原料价格波动对碳足迹评估的重要影响。



注：此数据库中计算的菜谱营养含量不包括负值。小提琴图朝负值方向汇聚是由核密度估计的平滑效应造成的。

图 3.11 不同数据源中 388 道菜谱的比较营养分布分析

知识卡片

小提琴图的水平轴指示了数据源：USDA（深蓝色）、FAO ASEAN 食物成分数据库（浅蓝色）、FAO/INFOODS 食物成分数据库（深红色）和当前数据库（浅红色）。

本章主要作者：黄立乔



04.

践行“大食物观”：

居民的可持续膳食选择



从农田到餐桌，食物经历生产、加工、运输、储存及烹饪等多个环节，其对环境的影响因食物种类而异（Meltzer et al., 2019）。特别是动物性食品，如牛肉和羊肉等反刍动物的肉类，其环境影响远超植物性食品（Godfray et al., 2019）。实现更可持续膳食模式是一项重大挑战，不仅需提高食物的营养品质（特别是维生素和矿物质含量），同时也需降低食品生产的环境代价。在社会结构层面，实施政策和法规至关重要。

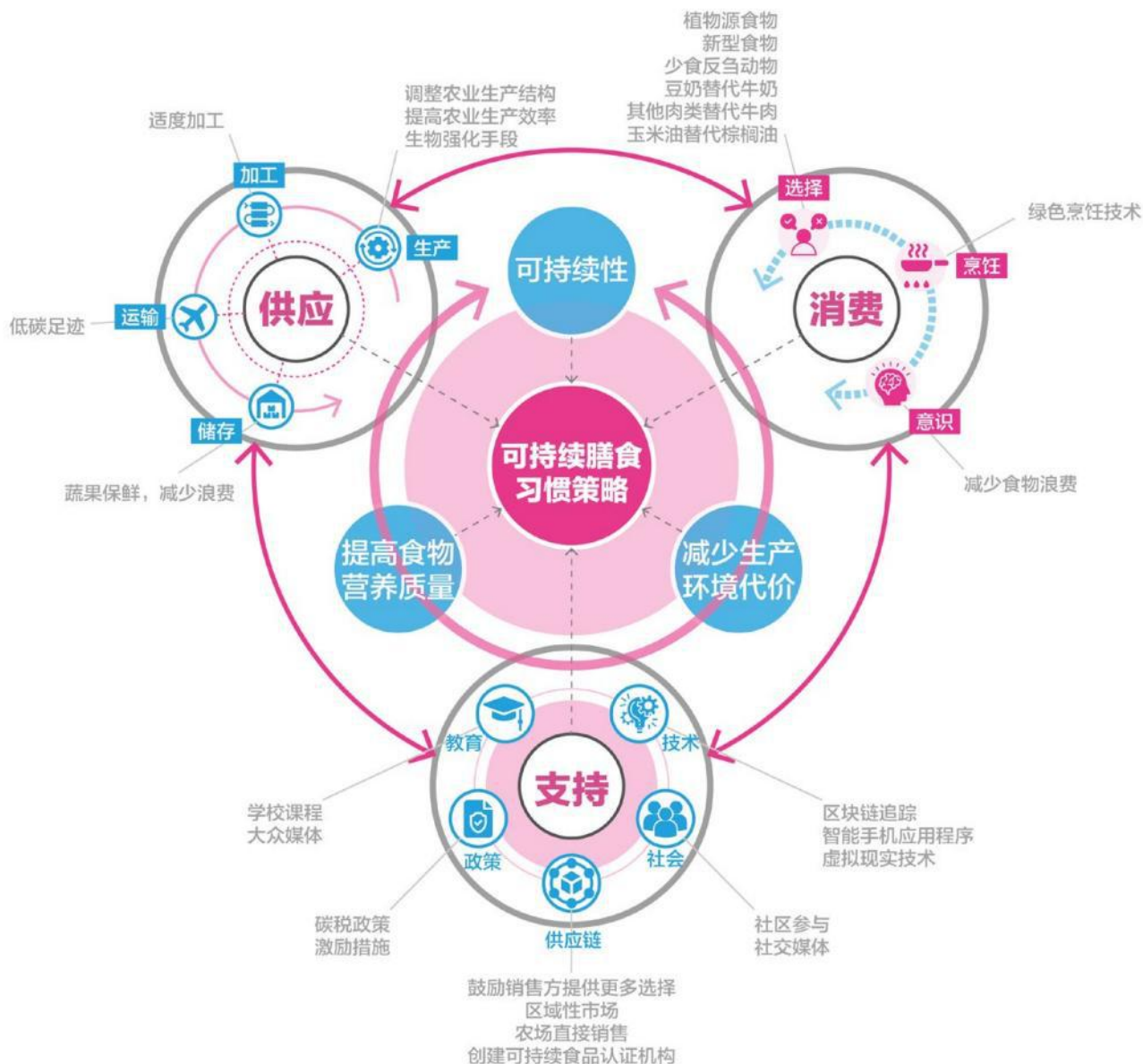


图 4.1 可持续膳食习惯策略

从农田到餐桌

“农田到餐桌”强调了食品供应链中从生产者农田到最终消费者餐桌之间的所有环节。其关注食品的生产、处理、分配和消费的各个环节，旨在强调食品的可追溯性、质量、安全和可持续性。

- 农田：食品供应链的起点，指食品的生产地，通常是农田、农场或渔场。在这里，农民、养殖户或渔民种植、养殖或捕捞各种食材。
- 生产和加工：食品从农田出产后，需要进行各种加工和处理，以确保食品的质量、安全和耐久性，包括洗涤、切割、烹饪、包装等过程。
- 分配和运输：食品需要从生产地点分配到不同的地方，包括批发市场、超市、餐馆和其他零售地点，通常需要运输、储存和分销等环节。
- 消费者：最终消费者是食品供应链的终点，购买、准备和食用食品。
- 可追溯性：消费者可以追踪食品的来源，有助于确保食品的质量和安全性。
- 可持续性：“农田到餐桌”也涉及到可持续性，包括减少食品供应链的环境影响、减少食物浪费以及支持社会和经济可持续性的方法。

4.1 促进膳食可持续性

我们采用“GHG/NR9”指数来定义食品可持续性(Strid et al., 2021; Saarinen et al., 2017)。肉类的GHG/NR9高于甚至远高于果蔬(Natalie et al., 2015)。目前居民膳食结构中红肉及水产品的高消费伴随着较高的碳排放,且动物源食物存在维生素类含量低的缺口。相反,植物源食物的可持续性更高。因此,膳食结构向植物源食物转型有利于建立更加可持续的粮食系统(Green et al., 2021)。以**多植物性食物、少胃肠发酵等动物性食物为特征**的可持续健康膳食结构,其优势主要在于以下三个方面:

第一,温室气体减排。膳食结构优化在温室气体减排方面潜力突出(Wang et al., 2022)。已有研究表明,到2030年,在全球范围内采用可持续健康膳食,可将与之相关温室气体排放所产生的社会成本降低41%-47%(Zhang et al., 2022);到2050年,食物系统的温室气体排放量可进一步减少29%-70%(Mazac et al., 2015)。

第二,水土资源节约。居民膳食习惯变化对水土使用需求的影响甚至大于人口增长(Steffen et al., 2015)。动物性食物减少、采用可持续膳食可减少70%-80%的土地使用和50%的用水量(Zhang et al., 2022);将新型食物或植物性蛋白**替代动物性蛋白**,也能有效节约膳食水土资源使用(Mazac et al., 2015)。

第三,氮磷排放降低。转向可持续健康膳食,将有效降低磷的消耗量以及水体中的氮磷排放量(Thale et al., 2015)。减少畜牧业生产将有效改善由氮和磷所引发的环境问题(Steffen et al., 2015)。研究表明,将欧盟的肉类、乳制品、鸡蛋消费量减半,氮排放量将减少40%(Westhoek et al., 2015)。

除了实行消费端的膳食结构转型,可持续膳食教育普及也尤为重要。提高公众对环境和社会问题的认识水平,有助于推动可持续膳食发展。学校和媒体在可持续膳食教育中扮演着重要的角色,可以采取的具体措施包括但不限于:(1)开发**可持续膳食教育的大中小学课程**,并为学生提供实践机会(如参与粮食种植和烹饪项目);(2)利用大众媒体制作宣传可持续膳食的广告和宣传片,并拓宽媒体传播渠道,推广可持续膳食的环境影响、营养价值和社会责任等信息,从而提高公众意识。

4.2 优选低碳足迹膳食

在食品碳足迹方面,肉类显著高于植物类。牛肉和羊肉的碳足迹最高,其次是虾、猪肉、鸡肉和鱼类。其中牛肉碳足迹尤其显著,比鸡肉高出10倍。

知识卡片: GHG/NR9

食品的可可持续性可由温室气体排放/营养素指数定义(GHG/NR9),该方法将食物营养质量与温室气体排放科学地联系在一起,反映了食物营养与环境代价的权衡,实现了可持续性的定量评价。

知识卡片: 动物性食物特征

植物性食物包括谷类、豆类、蔬菜、水果、薯类、菌藻类等。胃肠发酵动物主要有四类:前肠发酵动物-反刍动物(举例牛、羊),前肠发酵动物-非反刍动物(举例袋鼠、河马),后肠发酵动物-盲肠发酵(兔子),后肠发酵动物-结肠发酵(举例猪、马)。

知识卡片: 替代动物性蛋白

随着人们对植物基饮食和健康生活理念的崇尚,该趋势细分下的替代蛋白市场在不断增长且未来有颠覆传统动物蛋白的可能性。植物蛋白在各种替代蛋白(微生物、酵母、空气等)品类中的市场热度最高,像大豆蛋白、豌豆蛋白、大米蛋白等都是商业化应用比较成熟的原料。

可持续膳食教育的大中小学课程

“饮食有节,身体健康。”饮食习惯是养成良好生活方式的基石,随着现代生活节奏的加快和生活方式的改变,越来越多的家长意识到健康饮食教育的重要性。目前市面上比较成功的儿童可持续膳食教育课程有《七彩膳食,健康成长》《小小厨师,陶冶口味》《健康美食探索之旅》等课程。

同为**反刍动物**，羊肉在所有食物中碳足迹位列第二。牛奶和羊奶制成的奶酪同样有较高的碳足迹，每千克碳足迹可达 21kg 二氧化碳当量。在非肉类食品中，巧克力和咖啡的碳足迹相对较高，仅次于牛羊肉和奶制品。在植物油中，每千克棕榈油和橄榄油的碳足迹分别为 8kg 二氧化碳当量和 6kg 二氧化碳当量，高于玉米油、菜籽油等。每千克牛奶的碳足迹为 3kg 二氧化碳当量，是豆奶的三倍多。在谷物中，每千克水稻的碳足迹（4kg 二氧化碳当量）显著高于小麦（1.4kg 二氧化碳当量）。西红柿的碳足迹与小麦相当。在常见水果中，每千克香蕉、苹果和柑橘的碳足迹分别为 0.7kg、0.4kg 和 0.3kg 二氧化碳当量。

为推广低碳足迹膳食，可以通过**社区园艺**、**食品合作社**和社交媒体运动或挑战等社会活动提升公众对低碳足迹膳食的兴趣。社交影响也深刻影响着个体膳食选择。因此，社交传播策略也不失为一种有效的途径，如通过社交网络和社群活动传播可持续膳食理念，以及组织家人和朋友开展家庭烹饪和可持续餐桌活动等。

4.3 技术手段提质增效

首先，“双管齐下”提升农业生产效率，关键在于两点：一方面，提高畜禽渔养殖及乳制品生产的效率，以增强维生素 A 和钙的供应；另一方面，通过生物强化手段增强农产品的营养含量，如维生素 A 和铁。

知识卡片：反刍动物

反刍是指进食经过一段时间以后将在胃中半消化的食物返回嘴里再次咀嚼，反刍动物就是有反刍这种消化方式的动物，通常是一些食草动物。

知识卡片：社区园艺

社区园艺是指由社区居民集体自种、自管的园艺模式。社区园艺为人们提供了接近自然、种植/消耗/分享食物、户外活动的机会，邻里之间通过分享种植乐趣，还能收获有意义的认知刺激并培养相关经验。部分专家认为，社区园艺作为一种多组分干预措施，或能通过情绪、社会、环境等方面减少癌症以及其他慢性疾病的风险因素，提高健康水平。

知识卡片：食品合作社

食品合作社 (Co-op Food) 在英国共有 3819 家门店。其中，在伦敦 (166 家)、格拉斯哥 (61 家) 和莱斯特 (52 家) 分布最广。食品合作社 (Co-op Food) 主要位于城乡结合部等偏远地区。在食品合作社 (Co-op Food) 门店能发现大量的本地优质食品，因为他们对当地农民和家庭作坊业主了如指掌。门店销售的产品较为高端；如果成为道德合作社成员，顾客可以与门店一起为当地慈善事业捐款捐物。

食品产业链碳足迹分布
(kg CO₂-equivalents per kg products)

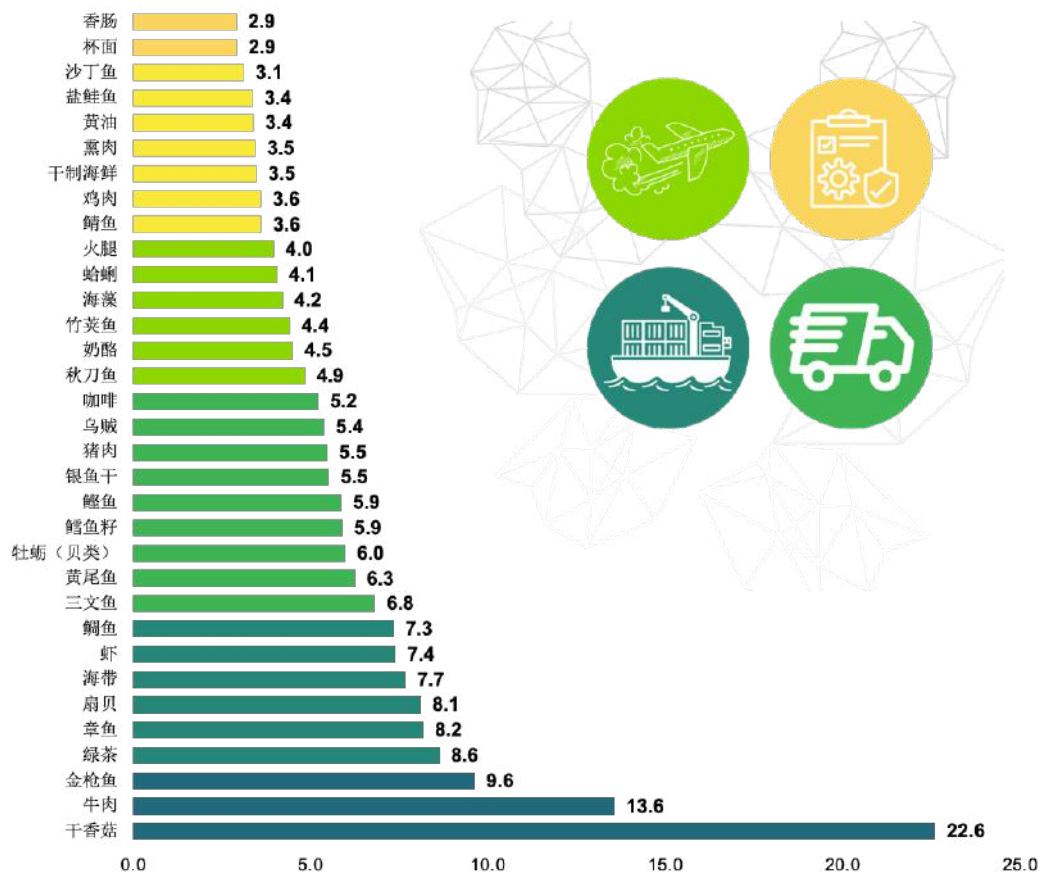


图 4.2 不同食品产业链的碳足迹



此外，食物系统中约 23.2% 的食品生产总量因损失和浪费而流失（Gustavsson et al., 2011）。为减少食物供应链中的损失与浪费，需提升食物链技术水平，并增强可持续膳食的技术推广。可以采用的技术包括：（1）利用**区块链技术追踪**食品生产和运输，以提供全过程的透明公开信息；（2）开发虚拟食品评估工具，帮助消费者了解其膳食选择的环境影响；（3）开发智能手机应用程序等数字化工具，为客户提供个性化可持续膳食建议；（4）运用虚拟现实技术，创建沉浸式体验以展示可持续食品生产和供应链，从而提高公众对食物浪费问题的认识。

4.4 采用绿色烹饪方法

采用**绿色烹饪方法**（如蒸煮、低温烤制、煮熟、烧煮等）代替传统高温烹饪技术，可以有效减少营养流失，在保留食物原味的同时减少油烟污染。低温烹饪是指使用约 45 至 82° C（113 至 180° F）温度长时间烹饪食物，包括真空低温烹饪、慢炖锅慢煮、在 70° C（158° F）左右的普通烤箱中烹饪，以及使用精确温控的蒸烤设备，与高温快煮、炒、蒸、炸等强调熟度和口味的传统烹饪方式有别。

随着社会经济发展和生活水平提高，低温烹饪逐渐普及，并逐渐适应了人们对高品质、营养健康食品的需求。低温烹饪一般少油少盐，有助于减少油烟，保护身体健康。此外，低温烹饪成本较低，使用恒温水浴设备和真空包装机即可制作美味食物，有助于节能，推动社会可持续发展（王丰等，2019）。

本章主要作者：郭姜裔 黄雨嫣

本章主要参考文献

- 王丰.(2019). 低温烹饪的特点及绿色烹饪与食品安全问题研究. 现代食品 (18),140-142.doi:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2019.18.042.
- Godfray H C J, Aveyard P, Garnett T, et al. Meat consumption, health, and the environment[J]. Science, 2018, 361(6399): eaam5324.
- Green A, Nemecek T, Smetana S, et al. Reconciling regionally-explicit nutritional needs with environmental protection by means of nutritional life cycle assessment[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 312:127696.
- Mazac R, Meinila J, Korkalo L, et al. Incorporation of novel foods in European diets can reduce global warming potential, water use and land use by over 80% [J]. Nature Food, 2022, 3(4): 286–293.
- Meltzer H M, Brantsaeter A L, Trolle E, et al. Environmental sustainability perspectives of the nordic diet[J]. Nutrients, 2019, 11(9):2248
- Natalie A, Doran B R J, Eckard R B. Nutrient density as a metric for comparing greenhouse gas emissions from food production[J]. Climatic Change, 2015, 129:1-2.
- Saarinne M, Fogelholm M, Tahvonen R, et al. Taking nutrition into account within the life cycle assessment of food products[J]. Journal of Cleaner Production, 2017. 828-844.
- Steffen W, Richardson K, Rockstrom J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet[J]. Science, 2015, 347(6223): 1259855.
- Strid A, Hallström E, U Sonesson, et al. Sustainability Indicators for Foods Benefiting Climate and Health[J]. Sustainability, 2021, 13(7):3621.
- Thaler S, Zessner M, Weigl M, et al. Possible implications of dietary changes on nutrient fluxes, environment and land use in Austria[J]. Agricultural Systems, 2015, 136: 14–29.
- Wang J, Sun S, Yin Y, et al. Water-food-carbon nexus related to the producer-consumer link: A review[J]. Advances in Nutrition, 2022, 13(3): 938–952.
- Westhoek H, Lesschen J P, Rood T, et al. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake[J]. Global Environmental Change, 2014, 26(1): 196–205.
- Zhang M, Feng J C, Sun L, et al. Individual dietary structure changes promote greenhouse gas emission reduction[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 366: 132787.

知识卡片：区块链技术追踪

基于区块链的应用将食物的来源细节、批号、工厂和加工数据、到期日、存储温度以及运输细节等各种产品信息，以及每一个流程产生的数据都记载在安全的区块链数据库上，实现全流程的数字化管理，以全面提升食物供应链管理的效率和水平。

知识卡片：绿色烹饪方法

绿色烹饪是指通过选用绿色、有机、低碳、环保的食物，采用一些环保的烹饪方式来制作美味佳肴，例如使用蒸气、烤和煮等，这些方式比传统的油炸和煎炒更加环保。



05.

膳食与气候变化：
健康饮食，健康地球

人类与地球紧密相连、共同“呼吸”。维护星球健康不仅是人类个体的责任，更需要生态系统各部分耦合联动、协同共治。面对气候变化这一全球性挑战，我们必须深刻洞察其对人类福祉的多维影响，统筹解决污染、粮食安全到极端气候等诸多复杂问题，积极展开跨领域的多元合作。作为星球健康研究的重要里程碑，报告以创新的角度揭示了膳食与环境保护之间的深刻联系，巧妙地将人类健康与星球健康结合起来，为促进健康的膳食和生活方式、实现地球的可持续发展提供了实用的信息和具有洞察力的建议。

5.1 建立健康膳食评估方法

通过对 388 道食谱进行营养和环境影响分析，我们构建了一套综合评估方法，覆盖了食材生产到消费的全过程，将对膳食营养价值和环境成本的关注推向了新的高度，为营养学与环境科学的融合提供了可靠的实证基础。我们的方法搭建了“食品健康”与“气候变化”两大议题之间的桥梁，使得消费者在选择食物时能够全面考虑其对个人健康和地球未来的影响，引领公众朝着实现星球健康的目标迈进，为构建在日常饮食中平衡健康与环境责任的未来蓝图迈出了坚实而有力的一步。

5.2 搭建可信未来研究框架

报告以全球健康膳食框架¹为基础，超越了信息单一的传统菜单或膳食指南，采用全新的探索路径。相较于已有的审视食品环境足迹的研究，我们独辟蹊径，聚焦于烹饪过程的环境影响，全面评估了食品从食材产生到消费的整个生命周期的环境影响，为更具突破性的深入研究揭开了序幕。报告所构建的研究框架在定量评估食品消费对环境影响的研究中具有里程碑式的意义，通过深入分析和挖掘社会真实消费数据，量化了膳食选择对环境和个人的具体影响，为消费者提供了一个全新的决策工具。该工具在综合分析环境指标和营养价值成分后，能为消费者提供营养均衡、基于菜肴级别的具体建议，而非减少红肉摄入等宽泛而单一的建议。

未来，我们将逐步拓展研究范围，纳入更多食品种类和烹饪方法，引入更多的环境影响指标（如污染、土地使用变化和生物多样性损失等），从而更为全面地评估食品的环境足迹，深化对不同文化和地理环境中食品生产和消费复杂多样性的理解。我们相信，这种方法可以帮助消费者做出更具环境和健康责任的膳食选择，在保证人类营养健康的同时，有效减轻膳食习惯对气候变化的影响，推广可持续发展理念，实现环境保护与健康生活的共赢。

5.3 促进可持续的膳食转型

减少食物系统排放对于缓解气候变化至关重要。与此同时，营养不良是全球健康的主要威胁之一。目前，超过 30 亿人（约占世界人口的 40%）无法负担营养充足的膳食。解决全球营养挑战的关键在于让人们负担得起健康膳食，引导消费者做出更为健康的选择。

本报告在推动可持续食品系统转型方面具有重要意义，为消费者提供了优化膳食习惯的路径，并为政策制定者提供了关键的决策工具。对于消费者而言，报告以简洁易懂的形式揭示了食品的经济性、营养性和环境友好性之间的关系，能够帮助消费者做出更全面、更精细的膳食选择。在研究的指导下，消费者将更倾向于选择富含营养、经济实惠且对环境影响较小的膳食，实现健康、经济和环保的均衡。同时，政策制定者可以参考研究建议，借助构建的数据库和计算工具，积极引导相关食品产业的发展，加强环保与膳食相关的教育宣传工作，制定更有利于环境保护和食品健康的政策。

我们期待所有利益相关者，包括政策制定者、食品产业的各个环节（生产、加工、分销、服务等）、各

1 来源：<https://www.unnnutrition.org/healthy-diets-sustainable-food-systems>

领域专家、非政府组织、公益机构以及媒体和公众能够共同合作，构建公开透明的食品环境数据。同时，我们鼓励科研机构致力于成菜水平的膳食营养与环境数据披露与公开，努力促进可持续的膳食系统转型。

5.4 助推全球气候目标实现

在致力于实现《巴黎协定》下的 1.5°C 温控目标的征途中，每项减排行动均根植于科学有效的理论引导和社会各界的不懈努力。基于现有研究，我们期待社会逐步将“可持续餐桌”研究付诸实践，使每个家庭的餐桌成为低碳可持续生活变革的起点。

我们将深入研究食品生产和消费对社会经济的广泛影响，包括食品的公正定价、就业机会的创造、食品安全的确保以及公平贸易的推动。我们坚持跨学科合作，与营养学、农业科学、环境科学、经济学、管理学、政策制定等领域的专家和相关方携手，共同推动食品系统的可持续发展，确保其符合气候和环境保护、全球营养健康的长远目标。我们致力于研究成果的广泛传播，期望通过教育和宣传引导消费者理解其食品选择对环境和健康的影响，并鼓励他们做出更有益于缓解气候变化和碳减排的选择。在此，我们特别呼吁媒体和社会各界携手合作，共同宣传和推广这些重要发现。我们鼓励媒体机构和公众人物积极参与讨论，广泛传播可持续膳食理念，并在各自的平台上推动这一议题。

我们坚信，每个人在日常生活中选择低碳消费的努力，将如涓涓细流汇聚成江海，共同铸就一个更美好、可持续的未来。



图 5.1 可持续餐桌历史时间线与气候目标

引用本报告

LONG, Y., HUANG, L., FUJIE, R., HE, P., CHEN, Z., XU, X., & YOSHIDA, Y. (2023). CARBON FOOTPRINT AND EMBODIED NUTRITION EVALUATION OF 388 RECIPES. SCIENTIFIC DATA, 10(1), 794.



示例菜谱



(本章节示例菜品由AI生成)



日式炸猪排



料理时长
25分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	986.06
烹饪过程	37.90
食品残渣	4.05
总碳足迹	1028.01

所需原材料

• 猪里脊肉	2块 (300克)
• 鸡蛋	1个 (60克)
• 卷心菜	3块 (150克)
• 胡萝卜段	4厘米 (40克)
• 柠檬	½个 (60克)
• 味精	少许
• 海盐	少许
• 胡椒粉	少许
• 低筋面粉	适量
• 面包糠	适量
• 食用油	适量
• 猪排酱	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	712.82
脂肪 (g)	56.85
碳水化合物 (g)	23.56
锌 (mg)	3.33
叶酸 (µg)	84.46
蛋白质 (g)	37.37
纤维素 (g)	4.17
维生素A (µg)	213.49
维生素C (mg)	57.90
维生素E (mg)	6.19
钙 (mg)	85.21
铁 (mg)	1.58
钾 (mg)	767.07
镁 (mg)	57.146
饱和脂肪酸 (g)	14.19
胆固醇 (g)	185.46
盐分 (g)	0.57

烹饪方法

- 把卷心菜切成两半后重叠，再切成细丝。将两根胡萝卜竖切成薄片，重叠几片一起切成细丝。把切好的卷心菜和胡萝卜放入装满水的碗中，浸泡大约5分钟后捞出，沥干水分。
- 在猪肉的肉与脂肪交界处轻轻划几刀，断开筋脉。
- 在猪肉两面均匀撒上盐和胡椒，以增强肉的风味。
- 在一个平盘中打散鸡蛋。将猪肉均匀裹上一层薄面粉，然后轻轻拍掉多余的面粉。
- 依次将猪肉先裹上打散的鸡蛋，再裹上面包糠。
- 在温度控制在170到180度的油中，放入裹好的猪肉，用筷子翻动，炸大约3分钟。随后提高火力，再炸约1分钟，取出沥干油分。
- 将猪肉切成适口大小，摆放在盘中，淋上猪排酱。边上摆上切好的卷心菜和胡萝卜，再配一片柠檬作为点缀。





鸡肉寿喜烧



料理时长
25分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	695.56
烹饪过程	32.77
食品残渣	4.22
总碳足迹	732.55

所需原材料

• 鸡肉	1块 (200克)
• 洋葱	½个 (100克)
• 香菇	½包 (50克)
• 水菜	1把 (200克)
• 水	300克
• 酱油	少许 (27克)
• 料酒	少许 (15克)
• 砂糖	少许 (9克)
• 海鲜酱油	适量
• 姜末	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	268.4
脂肪 (g)	14.45
碳水化合物 (g)	15.59
锌 (mg)	2.36
叶酸 (μg)	150.27
蛋白质 (g)	20.97
纤维素 (g)	4.09
维生素A (μg)	133.51
维生素C (mg)	53.05
维生素E (mg)	2.23
钙 (mg)	196.65
铁 (mg)	2.89
钾 (mg)	909.93
镁 (mg)	63.45
饱和脂肪酸 (g)	4.39
胆固醇 (g)	89.82
盐分 (g)	3.02

烹饪方法

- 将鸡肉切成两半。将洋葱切成薄片，把香菇分成小朵。将水菜切成5厘米长的段。
- 加热平底锅，放入切好的鸡肉，皮朝下。然后加入切好的洋葱和香菇，以及调料煮制。
- 当鸡肉煮熟后，加入姜和切好的水菜，快速煮一下即可。





亲子丼



料理时长
20分钟



分量
四人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	677
烹饪过程	48.67
食品残渣	2.88
总碳足迹	728.54

所需原材料

• 鸡腿肉	1块 (300克)
• 洋葱	1个 (200克)
• 日本香菜	1把 (50克)
• 鸡蛋	4个 (240克)
• 水	200克
• 酱油	少许 (54克)
• 料酒	少许 (54克)
• 海鲜酱油	适量
• 米饭	880克
• 鸡腿肉	1块 (300克)
• 洋葱	1个 (200克)
• 日本香菜	1把 (50克)

营养成分

含量

热量 (kcal)	619.33
脂肪 (g)	16.87
碳水化合物 (g)	89.31
锌 (mg)	3.4
叶酸 (μg)	64.11
蛋白质 (g)	26.64
纤维素 (g)	1.52
维生素A (μg)	145.99
维生素C (mg)	6.54
维生素E (mg)	1.38
钙 (mg)	48
铁 (mg)	2.44
钾 (mg)	578.58
镁 (mg)	59.41
饱和脂肪酸 (g)	5.18
胆固醇 (g)	258.26
盐分 (g)	2.52

烹饪方法

- 将鸡肉切成一口大小的片状。洋葱切成薄片，日本香菜切成3厘米长的段。
- 在锅中加入适量的水、酱油和其他调味料，煮沸后加入鸡肉和洋葱，煮至熟透。
- 在每个单人用的小锅中放入一部分煮好的鸡肉和洋葱，再次加热至沸腾，然后慢慢倒入一颗打散的鸡蛋，撒上切好的日本香菜，待鸡蛋半熟时关火。
- 将米饭盛放在碗中，然后小心地将煮好的鸡肉和蛋混合物铺在米饭上，注意保持其形状。按此方法为每位食客准备一份。





木须肉



料理时长
15分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	553.97
烹饪过程	16.85
食品残渣	2.51
总碳足迹	573.33

所需原材料

• 猪肉	1块 (150克)
• 豆芽	1把 (200克)
• 鸡蛋	2个 (120克)
• 蚝油	少许 (36克)
• 蛋黄酱	少许 (15克)
• 食用油	少许 (6克)
• 葱	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	347.52
脂肪 (g)	26.41
碳水化合物 (g)	6.13
锌 (mg)	3.28
叶酸 (μg)	110.08
蛋白质 (g)	25.21
纤维素 (g)	2.24
维生素A (μg)	113.91
维生素C (mg)	6.3
维生素E (mg)	2.76
钙 (mg)	53.92
铁 (mg)	1.87
钾 (mg)	508.46
镁 (mg)	54.48
饱和脂肪酸 (g)	6.53
胆固醇 (g)	244.22
盐分 (g)	2.48

烹饪方法

- 在碗中打散鸡蛋。
- 在平底锅中加热油，倒入打散的鸡蛋快速搅拌，制成半熟的炒蛋，然后暂时取出。
- 在同一个平底锅中加入适量的蛋黄酱，加热后加入猪肉翻炒。当猪肉表面开始变色时，加入豆芽继续炒，然后加入蚝油，最后把之前做好的炒蛋放回锅中，一起翻炒均匀。
- 把炒好的食物盛放在盘子里，撒上切碎的小葱作为装饰。





麻婆茄子



料理时长
25分钟



分量
四人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	386.01
烹饪过程	16.53
食品残渣	2.71
总碳足迹	405.24

所需原材料

• 猪肉末	1块 (100克)
• 茄子	5个 (400克)
• 胡萝卜	¼根 (40克)
• 彩椒	少许 (70克)
• 甜面酱	少许 (15克)
• 蒜末	少许 (6克)
• 姜末	适量
• 食用油	少许 (45克)
• 豆瓣酱	少许 (10克)
• 水	200克+一勺勾芡
• 料酒	少许 (30克)
• 酱油	少许 (12克)
• 鸡精	少许 (5克)
• 糖	适量 (3克)
• 马铃薯淀粉	适量

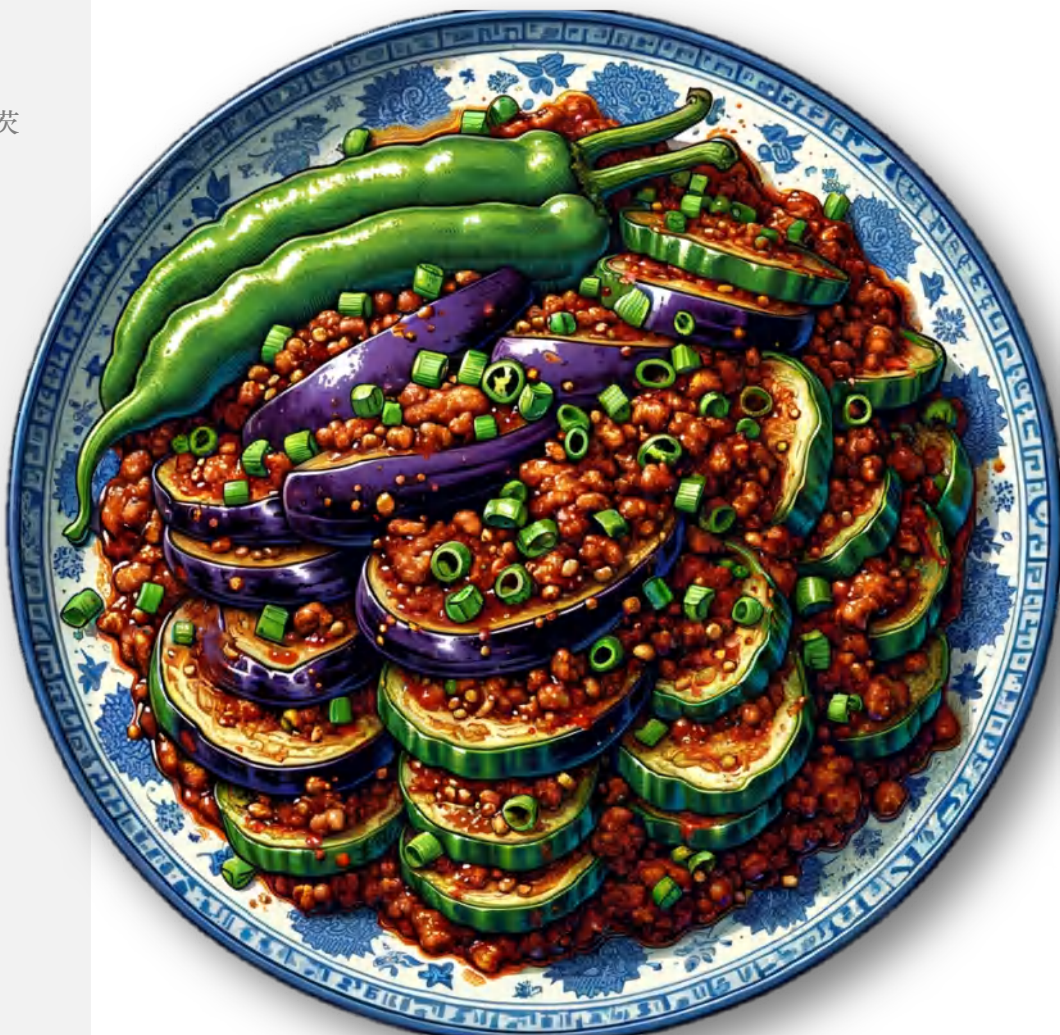
营养成分

含量

热量 (kcal)	215.27
脂肪 (g)	16.81
碳水化合物 (g)	12.07
锌 (mg)	1.02
叶酸 (μg)	37.42
蛋白质 (g)	6.35
纤维素 (g)	2.94
维生素A (μg)	93.77
维生素C (mg)	15.88
维生素E (mg)	2.47
钙 (mg)	26.97
铁 (mg)	0.81
钾 (mg)	375.89
镁 (mg)	29.35
饱和脂肪酸 (g)	2.45
胆固醇 (g)	19.73
盐分 (g)	1.43

烹饪方法

- 将茄子纵向切成8至10等分，胡萝卜切成条状，彩椒纵向切成6至8等分。
- 在平底锅中加热3大勺油，中火翻炒茄子，待茄子表面上色后，加入胡萝卜和彩椒，转小火翻炒至熟透，然后暂时取出。
- 在锅中加热剩余的油，中火翻炒猪肉末，炒至熟透后加入甜面酱、蒜末、姜末、豆瓣酱翻炒均匀。随后加入料酒、酱油、鸡精、糖继续翻炒，香味散发后，加水煮沸。
- 将步骤2中的茄子、胡萝卜和彩椒放回锅中，翻炒均匀。最后，将马铃薯淀粉和水混合后倒入锅中，炒至汤汁变稠。





麻婆豆腐



料理时长
20分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	494.78
烹饪过程	34.58
食品残渣	0.93
总碳足迹	530.3

所需原材料

• 豆腐	1块 (300克)
• 猪肉末	100克
• 葱花	少许 (20克)
• 姜末	适量
• 蒜末	适量
• 食用油	少许
• 豆瓣酱	少许 (5克)
• 料酒	少许 (15克)
• 酱油	少许 (18克)
• 糖	少许 (6克)
• 甜面酱	少许 (10克)
• 鸡精	适量
• 水	150克
• 马铃薯淀粉	适量
• 芝麻油	适量
• 香菜	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	390.6
脂肪 (g)	29.21
碳水化合物 (g)	14.2
锌 (mg)	2.5
叶酸 (μg)	32.13
蛋白质 (g)	20.97
纤维素 (g)	2.45
维生素A (μg)	7.93
维生素C (mg)	2.06
维生素E (mg)	2.27
钙 (mg)	152.15
铁 (mg)	3.15
钾 (mg)	418.5
镁 (mg)	109.05
饱和脂肪酸 (g)	5.76
胆固醇 (g)	37.45
盐分 (g)	2.33

烹饪方法

- 将豆腐切成2厘米大小的块。将切好的豆腐平铺在盘子上，浇上热水后倒掉水分。然后用流动的冷水冲洗豆腐，直到水变清澈，再沥干水分。
- 在平底锅中加入调味料，用小火加热，翻炒使调味料和其它材料混合均匀。然后加入猪肉末，用中火炒至肉色变化。
- 加入适量的调味液，煮沸后加入水，再次煮沸。
- 加入步骤1处理过的豆腐，充分混合，用大火煮2至3分钟。然后加入用水调和的马铃薯淀粉制成的浓汁，煮至汤汁变稠。最后淋上一些芝麻油，盛入碗中，撒上香菜作为装饰。





烤通心粉



料理时长
25分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	478.24
烹饪过程	105.78
食品残渣	1.06
总碳足迹	585.08

所需原材料

• 通心粉	200克
• 鸡腿肉	½块 (100克)
• 洋葱	½个 (100克)
• 蘑菇	5个 (50克)
• 面粉	少许 (36克)
• 牛奶	630克
• 水	400克
• 鸡精	适量
• 盐	少许 (5克)
• 糖	适量
• 胡椒	适量
• 月桂叶	适量
• 鲜奶油	100克
• 奶酪	适量
• 食用油	少许 (28克)
• 黄油	少许 (24克)

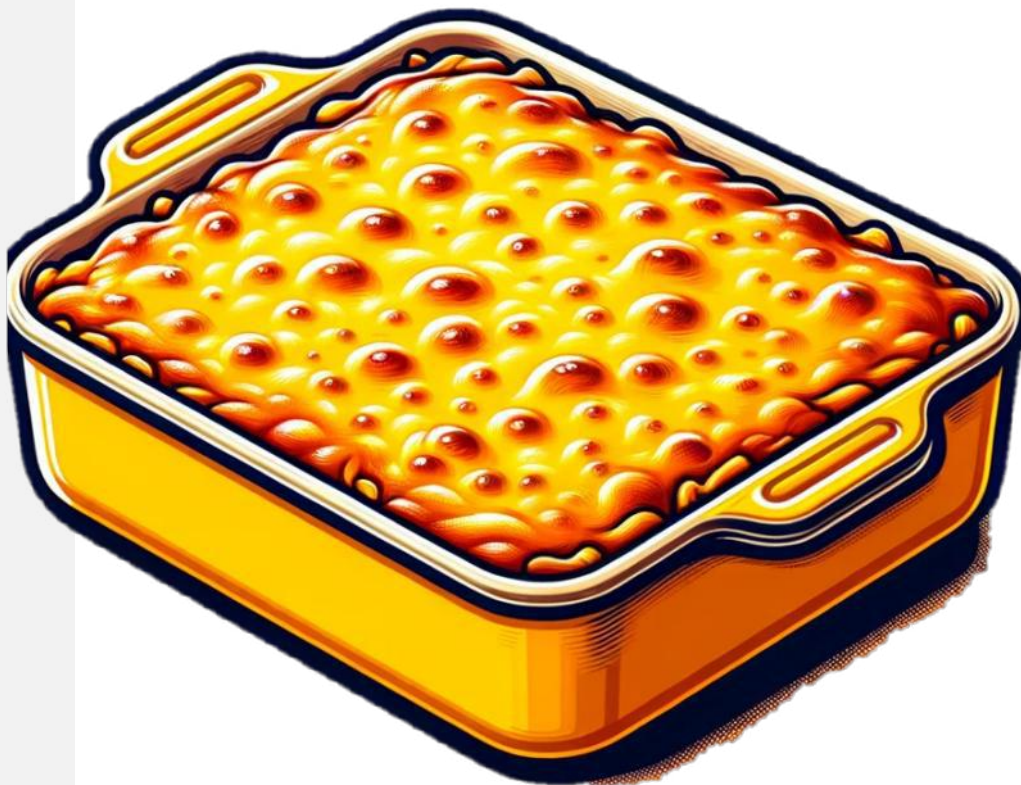
营养成分

含量

热量 (kcal)	600.54
脂肪 (g)	36.16
碳水化合物 (g)	55.27
锌 (mg)	2.04
叶酸 (μg)	22.88
蛋白质 (g)	19.48
纤维素 (g)	3.52
维生素A (μg)	167.18
维生素C (mg)	4.12
维生素E (mg)	1.64
钙 (mg)	251.22
铁 (mg)	1.23
钾 (mg)	518.35
镁 (mg)	60.55
饱和脂肪酸 (g)	17.36
胆固醇 (g)	82.5
盐分 (g)	1.97

烹饪方法

- 蘑菇切成薄片。按照包装说明用盐水煮意面。
- 鸡肉切成3厘米大小的块。在平底锅中加热1/3大勺油，中火翻炒。炒至鸡肉熟透后，取出放入盘中。
- 用厨纸快速擦拭平底锅，加入等量的油和黄油，中火加热。黄油融化一半时，加入洋葱，炒至软化。
- 转小火，撒入面粉，小心翻炒以防止烧焦，然后加入调味料。保持微沸的状态下搅拌，煮约30分钟直到汤汁变稠。加入切好的蘑菇、之前炒好的鸡肉和鲜奶油，快速煮一下，制成酱汁。
- 将一半的酱汁和意面混合，放入耐热容器中，然后淋上剩余的酱汁，撒上奶酪。放入预热至200° C的烤箱中，烤至表面呈金黄色。





奶油蘑菇炖鸡



料理时长
40分钟



分量
四人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	426.58
烹饪过程	27.46
食品残渣	1.46
总碳足迹	455.48

所需原材料

• 鸡腿肉	250克
• 松茸	1块 (100克)
• 平菇	½包 (50克)
• 杏鲍菇	1根 (40克)
• 洋葱碎	少许 (6克)
• 低筋面粉	18克
• 牛奶	420克
• 鸡精	少许 (5克)
• 盐	适量
• 糖	适量
• 水	200克
• 食用油	少许 (36克)
• 欧芹	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	310.41
脂肪 (g)	23.67
碳水化合物 (g)	11.54
锌 (mg)	1.69
叶酸 (μg)	30.7
蛋白质 (g)	16.05
纤维素 (g)	1.64
维生素A (μg)	80.65
维生素C (mg)	3.02
维生素E (mg)	1.74
钙 (mg)	151.97
铁 (mg)	0.68
钾 (mg)	479.68
镁 (mg)	32.53
饱和脂肪酸 (g)	7.42
胆固醇 (g)	73.67
盐分 (g)	1.42

烹饪方法

- 将鸡肉切成薄片。松茸和平菇去掉根部后撕成小块。杏鲍菇切成两半后也撕成小块。
- 将平菇放入微波炉中（600瓦），不需要覆盖保鲜膜，加热20秒（以防变色）。
- 制作白酱。在锅中加热2大勺油，炒洋葱。撒上面粉，搅拌均匀，然后关火加入调味料，充分混合。再次开小火，用木铲搅拌，煮15分钟直到酱汁变稠。
- 在平底锅中加热1大勺油，煎鸡肉直至两面金黄。
- 将煎好的鸡肉、松茸、杏鲍菇和微波炉中加热过的平菇加入第3步的锅中，轻轻煮制，尽量不要过多搅拌。
- 将煮好的菜肴盛入碗中，撒上些许欧芹作为装饰。





西班牙海鲜饭



料理时长
30分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	829.28
烹饪过程	46.44
食品残渣	7.62
总碳足迹	883.34

所需原材料

• 米饭	170克
• 虾	2大只 (70克)
• 蛤蜊	120克
• 洋葱	¼个 (50克)
• 蒜	1瓣
• 青椒	1个 (35克)
• 西红柿	1个切块罐头 (80克)
• 鸡精	适量
• 咖喱粉	适量
• 盐	适量
• 水	300克
• 橄榄油	少许 (18克)

营养成分

含量

热量 (kcal)	429.49
脂肪 (g)	10.24
碳水化合物 (g)	72.73
锌 (mg)	1.94
叶酸 (μg)	43.99
蛋白质 (g)	13.33
纤维素 (g)	2.11
维生素A (μg)	26.18
维生素C (mg)	18.03
维生素E (mg)	1.97
钙 (mg)	52.37
铁 (mg)	2.47
钾 (mg)	380.1
镁 (mg)	65.72
饱和脂肪酸 (g)	1.51
胆固醇 (g)	54.77
盐分 (g)	2.6

烹饪方法

- 将大米洗净并放入滤网中沥干水分。
- 将洋葱和大蒜切成细末。青椒切成1厘米左右的小块。蛤蜊进行去沙处理，去掉虾背部的黑线。
- 在煎锅中加入橄榄油和切碎的大蒜，用小火加热，待香味散发出来后，加入虾迅速翻炒，然后取出备用。
- 在煎锅中加入橄榄油，加热后加入洋葱和青椒翻炒，炒至变软后加入番茄，煮约1至2分钟收汁。
- 加水煮沸，加入米，用小火煮约3分钟，然后加入虾和蛤蜊，盖上锅盖，用小火煮约15分钟。取掉锅盖，继续用小火煮至水分蒸发。





冷面



料理时长
25分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	744.62
烹饪过程	115.84
食品残渣	1.04
总碳足迹	862.49

所需原材料

• 面条	200克
• 猪肉	1块 (160克)
• 黄瓜	1根 (100克)
• 水	100克
• 醋	少许 (15克)
• 芝麻油	9克
• 砂糖	9克
• 辣椒酱	少许 (30克)
• 鸡精	少许 (10克)
• 海鲜酱油	少许 (12克)
• 白芝麻	少许 (6克)

营养成分

含量

热量 (kcal)	639.3
脂肪 (g)	23.48
碳水化合物 (g)	83.12
锌 (mg)	3.08
叶酸 (μg)	34.73
蛋白质 (g)	26.76
纤维素 (g)	4.03
维生素A (μg)	18.6
维生素C (mg)	8.46
维生素E (mg)	0.86
钙 (mg)	90.43
铁 (mg)	2.28
钾 (mg)	563
镁 (mg)	70.58
饱和脂肪酸 (g)	7.1
胆固醇 (g)	55.25
盐分 (g)	6.71

烹饪方法

- 将猪肉快速在热水中焯一下，然后放入冷水中冷却并沥干。黄瓜切成细丝。在碗中混合酱油、醋、糖、香油等调味料，制作成酱汁。
- 在锅中煮沸水，煮细面条，然后放入冷水中揉洗。把面条捞出，沥干水分。
- 在碗中将煮好的细面条、焯水的猪肉、黄瓜丝和酱汁混合均匀，装盘后撒上芝麻。





泡菜饼



料理时长
15分钟



分量
两人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	345.02
烹饪过程	10.55
食品残渣	0.99
总碳足迹	356.56

所需原材料

• 猪肉末	80克
• 韭菜	1把 (50克)
• 胡萝卜	1段 (30克)
• 水	70克
• 低筋面粉	50克
• 鸡精	适量
• 酱油	少许 (30克)
• 辣椒酱	少许 (10克)
• 醋	适量
• 芝麻油	少许 (12克)
• 猪肉末	80克
• 韭菜	1把 (50克)

营养成分

含量

热量 (kcal)	326.71
脂肪 (g)	21.61
碳水化合物 (g)	23.46
锌 (mg)	1.37
叶酸 (μg)	34.9
蛋白质 (g)	11.15
纤维素 (g)	1.9
维生素A (μg)	172.89
维生素C (mg)	9.76
维生素E (mg)	0.95
钙 (mg)	32.22
铁 (mg)	0.86
钾 (mg)	383.81
镁 (mg)	26.05
饱和脂肪酸 (g)	4.5
胆固醇 (g)	26.01
盐分 (g)	1.58

烹饪方法

- 将韭菜切成3厘米长的段，胡萝卜切成细丝。
- 在碗中依次加入面粉、水、鸡蛋等调味料混合均匀，然后加入猪肉、切好的韭菜和胡萝卜，轻松搅拌，制作成生面糊。
- 在另一个碗中混合酱油、醋、糖等调料，制作成蘸酱。
- 在平底锅中加热芝麻油，倒入第2步的面糊，平铺至厚度均匀，两面煎至金黄酥脆。
- 将煎好的食物切成适口大小，盛入碗中，并搭配第3步制作的蘸酱。





辣白菜烤肉盖饭



料理时长
10分钟



分量
一人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	820.5
烹饪过程	121.62
食品残渣	1
总碳足迹	943.12

所需原材料

• 猪肉	100克
• 泡菜	50克
• 鸡精	适量
• 酱油	适量
• 米饭	100克
• 食用油	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	439.07
脂肪 (g)	14.83
碳水化合物 (g)	52.52
锌 (mg)	3.02
叶酸 (μg)	21.65
蛋白质 (g)	25.77
纤维素 (g)	1.42
维生素A (μg)	11.51
维生素C (mg)	8.5
维生素E (mg)	1.13
钙 (mg)	33.06
铁 (mg)	1.51
钾 (mg)	564.09
镁 (mg)	46.1
饱和脂肪酸 (g)	4.21
胆固醇 (g)	65.09
盐分 (g)	1.99

烹饪方法

- 将猪肉切成4厘米宽的条状，泡菜切成3厘米宽的条状。在碗中将猪肉、泡菜和鸡精混合。
- 在平底锅中加热油，加入步骤1中的猪肉和泡菜，快速翻炒，用中火炒至熟透。炒熟后，撒上一些酱油，再快速翻炒一下。
- 在碗中盛上米饭，将步骤2炒好的猪肉和泡菜放在米饭上即可。





坦都里烤鸡



料理时长
30分钟



分量
四人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	401.66
烹饪过程	7.01
食品残渣	0.92
总碳足迹	409.59

所需原材料

• 鸡肉	400克
• 鸡精	适量
• 番茄酱	30克
• 酸奶	15克
• 橄榄油	适量
• 食用油	适量
• 咖喱粉	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	239.66
脂肪 (g)	18.45
碳水化合物 (g)	2.99
锌 (mg)	1.66
叶酸 (μg)	15.03
蛋白质 (g)	17.02
纤维素 (g)	0.5
维生素A (μg)	45.23
维生素C (mg)	3.66
维生素E (mg)	1.25
钙 (mg)	16.2
铁 (mg)	0.93
钾 (mg)	342.57
镁 (mg)	25.11
饱和脂肪酸 (g)	4.96
胆固醇 (g)	89.57
盐分 (g)	0.62

烹饪方法

- 去除鸡肉上的多余脂肪，切成一口大小的块。撒上一些鸡精，放入食品袋，加入番茄酱，搅拌均匀后腌制约15分钟。
- 在平底锅中加热油，放入腌制好的鸡肉，用稍弱于中火的温度煎7至8分钟，直到鸡肉表面呈现金黄色。





泰式肉末炒饭



料理时长
15分钟



分量
一人份

碳足迹类型

排放量 (gCO₂)

生产过程	696.71
烹饪过程	2.83
食品残渣	96.96
总碳足迹	796.5

所需原材料

• 猪肉末	100克
• 青椒	1个 (35克)
• 米饭	140克
• 食用油	少许 (20克)
• 鸡蛋	1个 (60克)
• 红辣椒	适量
• 蒜泥	适量
• 鱼露	适量
• 蚝油	适量

营养成分

含量

热量 (kcal)	587.47
脂肪 (g)	29.99
碳水化合物 (g)	52.82
锌 (mg)	2.81
叶酸 (μg)	54.47
蛋白质 (g)	29.57
纤维素 (g)	1.25
维生素A (μg)	162.68
维生素C (mg)	23.62
维生素E (mg)	3.59
钙 (mg)	42.46
铁 (mg)	2.45
钾 (mg)	487.44
镁 (mg)	62.6
饱和脂肪酸 (g)	6.41
胆固醇 (g)	271.28
盐分 (g)	3.74

烹饪方法

- 将青椒切成细丝。
- 在平底锅中加入少量油加热，放入碎猪肉、切碎的大蒜和辣椒，用强火翻炒。当肉的颜色变化后，加入鱼露和蚝油，再加入切好的青椒继续炒。
- 在另一个平底锅中加热少许油，打入鸡蛋，煎至理想的熟度，做成荷包蛋。
- 在碗里盛上米饭，将炒好的猪肉和青椒倒在米饭上，最后放上荷包蛋。





本年度报告 组员介绍





谭诗麒

四川大学
博士研究生



黄立乔

东京大学
博士研究生



黄雨嫣

同济大学
硕士研究生



陈智恒

东京大学
博士研究生



程南

东京大学
硕士研究生



许晓妍

东京大学
硕士研究生



郭姜裔

中国农业大学
(已保研至北京大学)



李逸凡

无锡研之岛
科技有限公司



马振宇

武藏野美术大学
博士研究生



魏蔓

四川美术学院
讲师

研究室网站



2023年12月25日 发布

关于本报告如有疑问或者建议，请联系：

龙吟 (longyinutokyo@gmail.com)

李逸凡 (邮箱: sparkisland@163.com, 电话: 18861716168)



START YOUR FINANCE



起点财经，网罗天下报告