

## 卫生健康事业发展 70 年巡礼

## 中国总膳食研究三十年之演变

吴永宁

(国家食品安全风险评估中心 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室  
中国医学科学院食品安全创新单元,北京 100022)

**摘要:**总膳食研究是世界卫生组织极力推荐成员国评估某个国家和地区在不同人群组对于膳食中化学危害物暴露量和营养素摄入量的最经济、有效、可靠的方法。中共中央和国务院于 2019 年 5 月 9 日发布《关于深化改革加强食品安全工作的意见》将开展总膳食研究作为实施风险评估和标准制定专项行动的基础性工作,来完善风险评估基础数据库。本文从中国总膳食研究的意义、启动、发展与定型的历史演变过程解读这 30 年的发展历程,并对其在食品安全暴露科学中的作用进行述评。

**关键词:**总膳食研究;中国;演变;暴露评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2019)05-0403-04

DOI:10.13590/j.cjfh.2019.05.001

### The 30 years' evolution of China total diet study

WU Yongning

(NHC Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment and Food Safety Research Unit of Chinese Academy of Medical Science, China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

**Abstract:** Total diet study (TDS) is designed to collect concentration data of chemicals in foods analysed as consumed by the population living in a country and, if possible and where relevant, population subgroups. The WHO strongly recommends the member countries to carry out TDS and the TDS data are used to assess the chronic dietary exposure as the most economic, reliable and effective tool. China has put TDS as groundwork for the risk assessment and standard setup action plan. The comment briefly introduces the TDS background, evolution from start, development and maturity in the past 30 years. And also, it comments TDS in the position of exposure science in food safety.

**Key words:** Total diet study; China; evolution; exposure assessment

## 1 总膳食研究的意义与定义

中共中央和国务院于 2019 年 5 月 9 日发布《关于深化改革加强食品安全工作的意见》提出到 2035 年的总体目标为“基本实现食品安全领域国家治理体系和治理能力现代化”<sup>[1]</sup>,并将实施风险评估和标准制定专项行动列为开展食品安全放心工程建设攻坚行动之首,作为习近平总书记对食品安全工作“四个最严”(最严谨的标准、最严格的监管、最严厉的处罚、最严肃的问责)指示之首来落实,以确保广大人民群众“舌尖上的安全”。

实施风险评估和标准制定专项行动的具体内容为“系统开展食物消费量调查、总膳食研究、毒理学研究等基础性工作,完善风险评估基础数据库。加强食源性疾病、食品中有害物质、环境污染物、食

品相关产品等风险监测,系统开展食品中主要危害因素的风险评估,建立更加适用于我国居民的健康指导值。按照最严谨要求和现阶段实际,制定实施计划,加快推进内外销食品标准互补和协调,促进国民健康公平”<sup>[1]</sup>。为此,总膳食研究(total diet study, TDS)成为食品安全的重要基础性工作,列为各级党和政府在食品安全放心工程建设攻坚行动的重要工作内容。

TDS 是国际公认的最经济、有效、可靠的方法,用以评估某个国家和地区在不同人群组对于膳食中化学危害物暴露量和营养素摄入量,以及这些物质的摄入可能对健康造成的风险,世界卫生组织(WHO)一直致力于推荐各成员国开展,并与欧盟食品安全局(EFSA)和联合国粮食与农业组织(FAO)联合发布了如何开展总膳食研究的指导文件<sup>[2]</sup>。

## 2 中国 TDS 的起步

中国 TDS 是在 WHO 的推荐和鼓励下开展

的<sup>[3-6]</sup>。首先是在 WHO 食品污染监测合作中心(陈君石为时任合作中心主任)框架下,由 WHO 选派国际上最早开展 TDS 的美国食品药品监督管理局(FDA)的 Jones 博士于 1987 年来华进行 TDS 的学术演讲,并且由吴永宁将其整理翻译进行学习消化。1988 年,陈君石在卫生部科研基金项目的资助下,由中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所首先通过在北京(原北京市卫生防疫站、现北京市疾病预防控制中心)进行试点后,于 1990 年开始经过近 3 年的时间,通过组织全国 12 个省、市、自治区首次成功地开展了中国 TDS<sup>[7-8]</sup>。第一次中国 TDS 将我国分成 4 个大区或“菜篮子”,每个大区 3 个省,覆盖我国总人口的 47.2%。采用最简单的混合食物样品(compositing samples)法,将食物分成 12 类,共计 48 份混合食物样品。根据膳食调查数据在全国 36 个调查点的 144 个采样点采集食物样品,然后将各调查点采集的食物样品按类取样,按比例混合成 162 种食物分别进行烹调制备。第一次中国 TDS 只针对成年男子标准人这一个模式膳食组。实验室测定项目共 11 类大项 96 小项,包括热量、蛋白质(含氨基酸)、脂肪(含脂肪酸)、胆固醇、膳食纤维、营养元素(包括常量、微量元素和维生素)、重金属(铅、镉、汞)、有机氯和有机磷农药、黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 和黄曲霉毒素 M<sub>1</sub> 以及放射性核素等<sup>[7-10]</sup>。从营养与食品卫生两个方面全面地评价当时中国膳食的安全性和营养价值。结果表明,我国居民代表性的膳食是安全的和合乎营养要求的,即所有化学污染物暴露量均低于 WHO 提出的暂定每周耐受摄入量(PTWI),主要营养素的摄入量均已接近或达到我国的推荐每日营养素供给量(RDA)。同时也发现一些问题:如儿童膳食中铅暴露量已达警戒水平;在谷类、蔬菜和水果中检出了禁止使用的高毒甲胺磷等五种有机磷农药,首次揭示禁用农药的安全问题;尽管膳食中脂肪的平均摄入量为 51.2 g/d(占能量摄入的 21.2% 较为适宜),但胆固醇存在明显的地区差异;膳食中钙、锌、钾的摄入量明显不足;硒、镁、碘摄入量偏低,维生素(特别是维生素 A 和核黄素)也存在摄入量偏低的问题<sup>[6-10]</sup>。

### 3 中国 TDS 实现性别-年龄组混合食品样品方法的模式定型

第二次中国 TDS 于 1992—1993 年在相同地区开展,并增加了不同年龄组和不同季节的研究。按照第一次 TDS 调查方法和步骤,在原调查点取样,按照各省的膳食组成分别烹调制备成 12 类膳食样品,按照 4 个大区获得成年男子每人每日化学污染

物暴露量。4 个大区各选择 1 个省份(河北省、陕西省、湖北省和上海市)开展了 4 个不同年龄组(2~7、8~12、20~50 岁男性和 20~50 岁女性)的研究,并在河北省和陕西省开展春秋两季(4 和 9 月)的对比研究。所测定的化学污染物包括重金属和其他有害元素 5 项(首次测定铝和唯一一次测定氟)以及农药残留 17 项。结果表明,所测定化学污染物暴露量均低于健康指导值。值得关注的是南方一区和二区居民膳食中铅暴露量增加,同时检出了第一次 TDS 没有检出的 3 种有机磷农药,建议加强农药管理及开展定期监测。膳食中铝暴露量也需要关注,低年龄组已经超过 ADI 值的 8% 左右,两个成年组也接近 ADI 值,且尤以秋季为甚。膳食中氟摄入量在儿童和青少年组偏低,成人组比较适宜。唯一一次开展了 4 个年龄组膳食中 6 种放射性核素暴露量的 TDS 研究,均未超过年允许摄入量(ALI)的 36%。在河北省、陕西省进行的有限的春秋两季比较表明,秋季的总体食物供应比较充足,化学污染物摄入量秋季高于春季,因此尤其对于北方地区,秋季开展化学污染物摄入量评估更为适宜。通过前两次 TDS,基本建立了适合中国的 TDS 方法,探索出适合开展 TDS 的季节以及分组特征<sup>[4-6,9-10]</sup>。

### 4 中国 TDS 食物样品由混合样品向结合单个样品方式转变

第三次中国 TDS 于 2000 年开展。其最大的变化是在采用了大区混合食物样品法的同时,保留了混合前的单个食物样品,尝试开展单个食物样品法得到更具体的性别-年龄组,获得个别有问题省份的精细的膳食暴露评估数据,并开展污染样品溯源技术的尝试。单个食物样品法,即在将食物样品按类别混合的同时,分别保留所有 12 个省、市、自治区的单个食物样品,共计 662 份。这样既可用混合食物样品的结果与前两次的结果进行比较,又可在必要时检测个别样品。实践证明保留单个样品是十分有用的,可以用于污染溯源,即在任何混合样品中发现某种污染物处于较高水平时,通过溯源可找到特定省份的特定样品<sup>[11]</sup>;同时,根据需要对某种成分在这 662 份单个样品全部进行测定,可以得到 12 个省份的分布结果。第三次 TDS 所进行的实验室检测项目在原来的基础上还扩展至一些新兴的和近来关注比较高的有机污染物,如多氯联苯、丙烯酰胺、有机锡、氯丙醇等<sup>[11]</sup>。

与前两次所得结果比较,发现学龄前儿童平均铅暴露量仍然是突出问题,需要对当时的食品卫生标准中铅限量进行系统修订。中国自 1985 年禁用

六六六和滴滴涕以来,其在食品中含量有了大幅下降,膳食暴露量也明显降低,但仍高于澳大利亚、日本和美国。特别欣喜地发现,在所有检测的有机磷农药中,蔬菜和水果混合样品中的含量均低于检出限。当在混合样品中发现高水平的化学物质时,第三次 TDS 方法可以有效地识别污染源。如,在北方一区的水产混合样品中发现了高浓度的镉( $149 \mu\text{g}/\text{kg}$ ),通过分析其所包括的 3 个省份留存的水产混合样品,发现辽宁省水产样品中镉含量最高( $594.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ ),明显高于黑龙江省( $29.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ )和河北省( $259.7 \mu\text{g}/\text{kg}$ )。对辽宁省所有 7 份单个水产样品中的镉含量进行了进一步溯源分析,结果表明海蟹(镉含量  $1498 \mu\text{g}/\text{kg}$ )是高镉污染的主要来源<sup>[9]</sup>。2000 年正值中国开始建立国家层面的食品安全污染物监测体系,此时已经完成了三次的中国 TDS 成为这一体系的重要组成部分。由此,中国 TDS 的方法建立了主要以混合样品法为主,并向单个样品法过渡,所得到的结果为化学污染物趋势分析,为确定污染物的优先监测指标和 GB 2762—2005《食品安全国家标准 食品中污染物限量》加入世界贸易组织履行标准清理整顿承诺提供科学依据。

## 5 中国 TDS 进入以省为单元的时代

第四次中国 TDS 于 2007 年开展,与前三次比较最大的进步就是取消了大区混合食物样品,将按 4 个大区混合食物样品得到的“菜篮子”样品改变为仅混合到省级水平,混合样品由原来的 48 份扩大到按省混合的 144 份,而且仍然保留了单个样品,用以溯源或者留备单独测定时使用。这一进步一方面可以得到全国水平的污染物含量以及暴露量数据,同时也可以得到每一个参加省份的省级数据,有利于进一步调动省级的工作积极性,另一方面也可以结合已开展的国家污染物监测网的工作,进一步提升食品安全的监测能力和水平。同时在检测技术飞速提高的过程中,中国 TDS 的检测项目也得到了进一步的扩展:加入了多种真菌毒素、全氟化合物、溴代阻燃剂、碘等项目,并且逐步深化开展了单个样品法,首先在重金属和营养元素的测定中使用了单个样品法,单个样品法的开展可以进一步精细的评估关注化学污染物的人群暴露分布以及高端暴露,对于评估重点污染物的膳食暴露情况、评价公共卫生政策的施行都将起到更积极的作用,使得中国 TDS 的方法日趋完善。同时第四次中国 TDS 也第一次将所有数据以中英文双语公开发表,结集出版了《第四次中国总膳食研究》<sup>[12]</sup>一书。为更好地推广 TDS 与数据

利用以及分享共享国家科研成果,起到了不可替代的作用。同时,为国家食品安全风险评估和 GB 2762—2012《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的清理整顿提供了科学数据。

## 6 中国 TDS 进入相对稳定的定型模式

随着国力的不断增强以及人民对于食品安全不断提升的关注下,第五次 TDS 在保留中国特色的混合食物样品法和单个食物样品法的基础上,又有了进一步的飞跃发展。首先,第五次 TDS 参加的省份从原先的 12 个扩展到 20 个,现在正在开展的第六次 TDS 已扩展到 24 个省;时间跨度确定为每五年完成一次;样品采样点在原来每个省份 3 个采样点的基础上,发展为 5 000 万人口以下的省份,每个省份 3 个采样点,5 000 万人口以上的省份,每个省份 6 个采样点。20 个省份跨年度分别开展,样品完成后汇总到国家级的实验室统一完成样品的检测和分析,数据汇总以及出版等工作。检测项目在第四次中国 TDS 的基础上增加反式脂肪酸,同时真菌毒素扩展到 38 种,成为全世界 TDS 检测项目最多、最全面的国家。目前第五次 TDS 于 2009—2015 年开展了现场工作,2016 年完成了实验室检测和分析数据汇总,《第五次中国总膳食研究》书稿也已经出版<sup>[13]</sup>。

## 7 中国 TDS 的作用与膳食暴露评估关系

TDS 已经成为所在国家人群的实际入口的即食食品中化学物质浓度水平数据采集的重要手段,也是性别-年龄组人群的食物消费量和慢性膳食暴露量精准评估的经济有效手段<sup>[2,6,14]</sup>。尽管传统上的 TDS 用于农药残留和污染物的膳食暴露评估,但不断增加多元素或多组分分析技术使得其对于某些营养素和食品添加剂也成为一种趋势<sup>[3-6,9-11,14]</sup>。TDS 并不是要进行产品合格率调查,而是去获得对于人群膳食暴露评估均数的经济有效手段,是对更加传统的污染物监测或营养监测计划的有效补充,并且更加反映即食状态,也就更加精准。最简单的方法就是基于制备即食状态的加工烹调食品样品,分析测定其浓度获得普通人群的膳食暴露水平,开展慢性暴露评估。某些国家采用改进的确定性评估技术,就是食物消费量数据为个体水平,而 TDS 食物或者混合食物组提供的是化学物质的浓度平均值。这样可以利用 TDS 报告高端食物消费量人群膳食暴露,但结果的不确定度取决于采样设计与食物样品的混合方式。

TDS 不同于其他的化学污染与有害物质的风险

监测计划,其用于慢性膳食暴露评估时,采用即食状态的加工烹调食品样品所产生的化学物质的浓度数据。样品为即食状态,加工烹调会对污染物和营养素产生影响,如丙烯酰胺是在油炸土豆过程中产生的,而维生素C可以在洗切与加热烹调中损失,所以直接测定即食状态的加工烹调食品样品会更加精准。由于食品污染不均匀,制备混合食物样品会产生样品的稀释效应,对于检验方法灵敏度的要求就会比风险监测计划方法灵敏度的要求高,甚至提高10倍。如果连续定期开展TDS就会提供膳食暴露的连续均数,就可以确定食品安全控制措施的有效性,并确定膳食暴露的变化趋势。如铅的暴露水平从TDS在中国开展以来,由于含铅汽油的停止使用和GB 2762—2005、GB 2762—2012和GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的执行,已经降低了近80%;但镉的膳食暴露,由于前期工业发展牺牲了环境,不仅没有降低反而在不断增加。

为节省经费和人力资源,所测定的食品有限,且常用的手段为混合食物样品方法,所分析的食品样品是对于相近的消费量小的食品聚类到消费量大的食品上,所用消费量关联(mapped food)会增加结果的不确定度。某些情况下,TDS可以针对某些化学物质展开,由此可以仅分析含有化学物质的食物,而不是所有膳食类型(如二噁英和兽药残留重点测定动物性食品)<sup>[11-13]</sup>。TDS由于样品的混合造成稀释程度太高,不适合急性暴露的膳食暴露评估工作。TDS是实施风险评估和标准制定专项行动的基础性工作,可以完善风险评估基础数据库,并且研究污染的变化趋势,为优先控制污染物的提出和国家标准等控制措施实施有效性评估提供科学基础<sup>[15-17]</sup>。

## 参考文献

[1] 中共中央 国务院. 中共中央 国务院关于深化改革加强食品安全工作的意见[Z]. 2019.

- [2] EFSA, FAO and WHO. Towards a harmonised total diet study approach: a guidance document[J]. *EFSA Journal*, 2011, 9(11): 2450-2516.
- [3] 国家食品安全风险评估中心. 中国总膳食研究[EB/OL]. 2013[2019-09-01]. <https://www.cfsa.net.cn/Article/News.aspx?id=443677A84AB03002F3B6167BD940844B39237010EFA0D8F9>.
- [4] 李筱薇,高俊全,陈君石. 总膳食研究:一种使食品更安全的方法[J]. *中国食品卫生杂志*, 2006, 18(3): 254-255.
- [5] 李筱薇,吴永宁,陈君石. 中国总膳食研究二十年的发展演变[J]. *中华流行病学杂志*, 2011, 32(5): 456-459.
- [6] 李筱薇,吴永宁. 第五章 中国总膳食研究的历史演变[M]//吴永宁,刘沛,孙金芳,等. 膳食暴露评估技术与中国总膳食研究. 北京:化学工业出版社, 2019: 64-69.
- [7] CHEN J S, GAO J Q. The Chinese total diet study in 1990. Part I. Chemical contaminants[J]. *J AOAC International*, 1993; 76(6): 1193-1205.
- [8] CHEN J S, GAO J Q. The Chinese total diet study in 1990. Part II. Nutrients [J]. *J AOAC International*, 1993, 76(6): 1206-1213.
- [9] CHEN J S. The Chinese experience in total diet studies[M]//MOY G G, VANNOORT R W. *Total diet studies*. New York: Springer, 2013.
- [10] CHEN J S. Linking nutrition surveys with total diet studies[M]//MOY G G, VANNOORT R W. *Total diet studies*. New York: Springer, 2013.
- [11] WU Y N, LI J G, ZHANG G, et al. Emerging chemical contaminants in total diet studies in China[M]//MOY G G, VANNOORT R W. *Total diet studies*. New York: Springer, 2013.
- [12] 吴永宁,李筱薇. 第四次中国总膳食研究[M]. 北京:化学工业出版社, 2015.
- [13] 吴永宁,赵云峰,李敬光. 第五次中国总膳食研究[M]. 北京:科学出版社, 2019.
- [14] MOY G G, VANNOORT R W. *Total diet studies*[M]. New York: Springer, 2013.
- [15] WU Y N, LIU P, CHEN J S. Food safety risk assessment in China: past, presentation and future [J]. *Food Control*, 2018, 90(3): 212-221.
- [16] WU Y N, CHEN J S. Food safety risk monitoring and surveillance in China: past, presentation and future [J]. *Food Control*, 2018, 90(3): 429-439.
- [17] 蒋琦,黄琼,张永惠. 总膳食研究在人群膳食暴露评估中的研究和应用进展[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(3): 289-292.