

# 果品营养价值“三度”评价法

刘哲<sup>1</sup>, 何莎莎<sup>1,\*</sup>, 陆柏益<sup>2,\*\*</sup>, 周志钦<sup>1,3,4,\*\*</sup>

(<sup>1</sup>西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; <sup>2</sup>浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 农业部农产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室, 杭州 310058; <sup>3</sup>农业部柑橘产品质量安全风险评估实验室(重庆), 重庆 400712; <sup>4</sup>南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘要:** 针对目前果品营养价值评价中存在的概念不清、参照不明、指标与方法不统一等问题, 提出果品营养价值的“三度”评价法。“三度”指的是果品中营养素的多样性、匹配度和平衡度。多样性表明其营养素种类的多少, 匹配度检测各营养素含量的高低, 平衡度评价各营养素间的比例关系。“三度”指数的计算基于人体每日对必需营养素的需求。因此, “三度”评价法揭示的是果品中含有的人体必需营养素及其与人体需求的关系。“三度”评价法是果品营养价值全面、系统和规范化评价的首次尝试, 它为不同果品营养价值的比较, 营养品质的分类、定级和质量监管提供了可能的途径。

**关键词:** 果品; 营养价值; 评价方法; 指标系统

**中图分类号:** S 66

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2018) 04-0795-10

## On ‘Three Degree’ Method for the Evaluation of the Fruit Nutritive Values

LIU Zhe<sup>1</sup>, HE Shasha<sup>1,\*</sup>, LU Baiyi<sup>2,\*\*</sup>, and ZHOU Zhiqin<sup>1,3,4,\*\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China; <sup>2</sup>College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation, Hangzhou 310058, China; <sup>3</sup>Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Citrus Products (Chongqing), Ministry of Agriculture, Chongqing 400712, China; <sup>4</sup>Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** In an attempt to solve the problems, such as concept confusion, no specified reference, no recognized method and standard, which were encountered in current studies of fruit nutrition values, we proposed a new ‘Three Degree’ (3D) method for future evaluation of fruit nutrition quality in this paper. By saying 3D, we mean the degree of diversity (DD), degree of match (DM) and degree of balance (DB) of the human essential nutrients contained in a fruit or its derived products. DD indicates the ‘presence’ or ‘absence’ of the different nutrients in a fruit, DM shows their percentages in meeting the daily needs of human body, and DB evaluates the ‘ratio-relationships’ among the nutrients. All 3D indices were calculated based on the daily human needs of the essential nutrients. Therefore, 3D method revealed the relationship between the essential nutrients of a fruit or fruit product and their daily human needs. To our knowledge, this study was the first report on a comprehensive, systematic and normalized evaluation

**收稿日期:** 2018-01-27; **修回日期:** 2018-03-21

**基金项目:** 农业部农产品质量安全监管专项项目 (GJFP201801502); 重庆市现代特色效益农业技术体系项目 (2018-01-4)

\* 并列第一作者

\*\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: bylu@zju.edu.cn; zhouzhiqin@swu.edu.cn)

of fruit nutritive values. Our 3D index provided a potential new approach for the categorization, grading and control of fruit nutrition quality, and made it possible for a direct comparison of the nutritive values of different fruits and their derived products.

**Keywords:** fruit and product; nutritive value; evaluation method; index system

## 1 问题的提出

营养学者将水分、矿物质、糖类、维生素、蛋白质、脂类和膳食纤维合称为七大营养素（姚汉亭，1995）。不同食物中营养素的种类和含量不同，其营养价值也不同。水果因其丰富的维生素、矿物质和膳食纤维含量，同时低能量、低脂肪、低钠离子含量而被认为是最完美的天然食物（Elson, 2006）。然而，如何科学地评价不同果品的营养价值是迄今没有解决的问题。

中国 2 000 多年前的《黄帝内经》中就有“五谷为养、五果为助……”的果品营养价值的记载。但遗憾的是，过去几十年对果品营养价值的评价研究没有给予应有的重视。在许多重要的果树专著，如《中国柑橘产业》（中国柑橘学会，2008）、《梨学》（张绍铃，2013）等，有关果品营养价值的研究内容都未被列入其中。人类社会进入 21 世纪，癌症、糖尿病和心脑血管疾病等慢性病已经成为威胁人类“健康安全”的重大问题。果蔬产品的营养和保健价值已经成为国内外研究与消费者共同关心的热点问题（芦琰和周志钦，2011；Ash et al., 2012；周志钦，2012；Margot & Denise, 2013）。加强果品营养价值的研究是园艺学发展的趋势，也是社会的现实需要（芦琰和周志钦，2011；周志钦，2012）。

但是，在现有文献中“果品营养价值”的概念模糊不清。在中国，以柑橘为例，无论是在专著、科普还是教科书中，有关果品营养价值的介绍基本上是简单的定性描述，再加上各种不完整的营养成分含量的数据（周开隆和叶荫民，2010；王仁才，2013；马兆成和朱春华，2015）。同样，在美国农业部官方数据库中，对橙汁营养价值的介绍也是营养成分种类和含量列表再加上一些定性描述（<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2289?manu=&fgcd=&ds=>）。相同情况也出现在国际营养学杂志——《NUTRITION》中（Kavita et al., 2017）。

从这些文献中不难发现一些问题。例如，果品营养价值评价应当考虑哪些营养成分？某些营养成分含量很高，如维生素 C，就是营养价值高的体现吗？是否应当把果品的生物活性成分包括在营养价值评价中？再加上评价方法和标准不统一，对这些问题迄今没有统一的答案。正如美国明尼苏达大学（University of Minnesota）Judith（2011）教授在其编著的《现代营养》（国际版）一书中指出——现在看到的有关营养的不准确甚至错误信息太多了，只有科学研究能够解决问题。

为了加强果品营养价值评价研究，西南大学果品营养与质量安全课题组于 2011 年在《果树学报》上正式论述了“果品营养学”的概念（靖丽和周志钦，2011）。2012 年出版了《柑橘果品营养学》一书，提出了果品营养学研究的核心思想和内容框架（周志钦，2012）。在过去几年的研究实践中发现，由于人体所需营养复杂多样，加之某些营养成分不仅具有重要的营养功能和医药保健功能，同时其含量对水果的风味品质也可能有影响。这些都使得果品营养价值概念的内涵和外延难以界定。

为此，作者特撰写此文，强调应当严格区分果品的商品价值、营养价值、保健价值和药用价值等基本概念，并提出果品营养价值的“三度”评价法，供学界同仁商榷。

## 2 概念的界定

众所周知, 果品营养价值并不是一个新概念, 但这个概念在现有文献中的使用却存在混乱现象 (Judith, 2011; 王仁才, 2013; 马兆成和朱春华, 2015)。其问题就在于“果品营养价值”概念的内涵和外延的准确界定上, 即果品营养价值的准确内涵是什么, 果品中哪些营养素属于果品营养价值评价的范畴。

首先, 需要界定果品营养价值的内涵。从根本上来讲, 果品的营养价值取决于其营养素的种类和含量。但果品中营养素的种类和含量并不等于果品营养价值全部准确的内涵。因为, 人体需要的营养素分为必需营养素 (Essential nutrients) 和非必需营养素 (Nonessential nutrients)。必需营养素是指维持人体正常生理功能所必需的营养物质, 在人体中不能合成或合成量不足, 必须从食物中获取 (Martha, 2006; 蔡威和邵玉芬, 2011)。而非必需营养素也是人体需要的营养物质, 它们在人体中是可以合成的, 如丙氨酸、精氨酸、胱氨酸和脯氨酸等 (丁晓波 等, 2012)。不仅如此, 营养学中还有一个非常重要的概念, 营养不良 (malnutrition) 也必需考虑。在营养学中, 无论是营养低下 (under-nutrition) 还是营养过剩 (over-nutrition) 都是营养不良 (蔡威和邵玉芬, 2011)。根据这个概念应当注意到, 人体必需的营养素之间有一个比例关系, 而且人体营养素需求与供应之间必须保持平衡。必需与非必需的区别, 必需营养素间的比例关系以及它们与人体供求的平衡, 这些都是目前果品营养价值评价中没有考虑或被忽略的问题。因此, 作者认为, 一种果品的营养价值不在于它含有多少营养素和某些营养素含量的高低, 更重要的是, 它含有多少种人体必需的营养素, 这些营养素含量的高低以及它们间的比例关系是否符合人体需求。这才是果品营养价值的全部准确的内涵。

其次, 关于果品营养价值外延的准确界定问题, 即果品营养价值评价究竟应包括哪些人体必需的营养素。营养素可以简单地分为有机营养素和无机营养素, 其中有机营养素主要包括蛋白质、脂类、维生素、碳水化合物 (糖和淀粉) 和膳食纤维, 无机营养素主要包括水和矿质元素 (Martha, 2006)。以上 7 种通常被统称为七大类营养素 (姚汉亨, 1995)。在这七大类营养素中有 13 种矿质元素 (钙、磷、镁、铁、钠、钾、氯、锌、铜、锰、碘、硒、钼); 13 种维生素 (抗坏血酸或维生素 C、维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K、硫胺素、烟酸、维生素 B<sub>6</sub>、核黄素或维生素 B<sub>2</sub>、泛酸、叶酸、生物素和维生素 B<sub>12</sub>); 9 种氨基酸 (组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、甲硫氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸); 2 种多不饱和脂肪酸 (亚油酸和亚麻酸); 另外能量物质碳水化合物可算作 1 种必需营养素; 膳食纤维是由多种复杂有机物组成的混合物, 但因其对人体的基本功能相同, 也算作 1 种必需营养素; 水作为人体最需要的营养素算作 1 种——总共是 40 种人体必需营养素 (姚汉亨, 1995; Martha, 2006; 蔡威和邵玉芬, 2011)。基于上述讨论, 建议将人体必需营养素作为果品营养价值评价的指标系统, 即人体必需营养素的范围就是果品营养价值概念的外延。需要指出的是, 这是一个相对指标系统, 同时, 不同国家对居民膳食营养素有着相应的推荐摄入量, 因此随着营养学的发展将根据学者们的共识对该评价系统进行确定和修订 (蔡威和邵玉芬, 2011; Judith, 2011; 中国营养学会, 2015)。使用由必需营养素构成的评价指标系统及其相应的每日膳食推荐量, 清晰准确地界定果品营养价值的内涵和外延, 再以统一标准的方法进行评价, 那么各持己见的营养价值评价问题自然就解决了。

综合上述, 作者认为果品的营养价值是指果品作为一种人体必需营养素提供者而产生的价值, 它取决于果品中含有的必需营养素的种类及含量、相互间的比例关系以及对人体每日需求的满

足程度。根据这个定义，把果品中人体必需营养素的种类和数量叫“多样性”，它们的含量及其满足人体每日需求的程度叫“匹配度”，它们相互间比例关系叫“平衡度”，这就是果品营养价值的“三度”。“三度”值愈高，营养价值愈大。

### 3 “三度”的计算方法

#### 3.1 多样性

多样性 (Degree of Diversity, DD) 是指果品中含有的各类人体必需营养素的种类数。多样性指数愈高，表示果品中含有的的人体必需的营养素种类就愈多，具有更高的营养价值。根据上面的讨论，本文将人体必需的营养素暂定为 40 种 (姚汉亭, 1995; Martha, 2006)。样品中必需营养素的种类总数与人体必需营养素种类总数 40 的比值即为该样品的多样性，即：多样性 (DD) = 样品中人体必需营养种数/人体所必需营养素种数。

表 1 显示的是以苹果、葡萄及两种柑橘类果实 (橙和柠檬) 为例，根据《中国食物成分表》第 2 版 (杨月欣 等, 2009) 中信息计算得到的 DD 值。可以看出，同类果品中，柑橘类的橙和柠檬的 DD 值完全相同；不同类果品中，柑橘与苹果 DD 值相同，但与葡萄相比结果则存在差异，原因是在葡萄中多了维生素 D 和维生素 K 两类。理论上，同类果品 DD 值应当相同、但也可能不同，而不同类果品其 DD 值应当不同、但也可能相同。因此，DD 值是潜在的果品营养评价的参数。

表 1 基于文献数据计算出的苹果、葡萄、橙和柠檬果实的多样性 (DD 值)

Table 1 The degree of diversity (DD) values of apple, grape, orange and lemon fruits based on data from literature

类别 Category	营养素 Essential nutrient	苹果 Apple	葡萄 Grape	橙 Orange	柠檬 Lemon
水 Water		1	1	1	1
碳水化合物 Carbohydrate		1	1	1	1
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid	亚油酸 Linoleic acid (omega 6, ω-6)	0	0	0	0
	亚麻酸 α-linolenic acid (omega 3, ω-3)	0	0	0	0
矿物质元素 Mineral	钙 Calcium	1	1	1	1
	磷 Phosphorus	1	1	1	1
	镁 Magnesium	1	1	1	1
	钠 Sodium	1	1	1	1
	钾 Potassium	1	1	1	1
	氯 Chloride	1	1	1	1
	铁 Iron	1	1	1	1
	锌 Zinc	1	1	1	1
	铜 Copper	1	1	1	1
	锰 Manganese	1	1	1	1
	碘 Iodine	1	1	1	1
	硒 Selenium	1	1	1	1
	钼 Molybdenum	1	1	1	1
维生素 Vitamin	维生素 C/抗坏血酸 Vitamin C/Ascorbic acid	1	1	1	1
	维生素 A Vitamin A	1	1	1	1
	维生素 D Vitamin D	0	1*	0	0
	维生素 E Vitamin E	1	1	1	1
	维生素 K Vitamin K	0	1*	0	0
	维生素 B <sub>1</sub> /硫胺素 Vitamin B <sub>1</sub> /Thiamin	1	1	1	1
	维生素 B <sub>2</sub> /核黄素 Vitamin B <sub>2</sub> /Riboflavin	1	1	1	1
	维生素 B <sub>3</sub> /烟酸 Vitamin B <sub>3</sub> /Niacin	1	1	1	1
	维生素 B <sub>5</sub> /泛酸 Vitamin B <sub>5</sub> /Pantothenic acid	1	1	1	1
	维生素 B <sub>6</sub> Vitamin B <sub>6</sub>	1	1	1	1
	维生素 B <sub>7</sub> /生物素 Vitamin B <sub>7</sub> /Biotin	1	1	1	1
	叶酸 Folate	1	1	1	1
	维生素 B <sub>12</sub> Vitamin B <sub>12</sub>	1	1	1	1

续表 1

类别 Category	营养素 Essential nutrient	苹果 Apple	葡萄 Grape	橙 Orange	柠檬 Lemon
必需氨基酸 Essential amino acid	组氨酸 Histidine (婴儿必需)	1	1	1	1
	异亮氨酸 Isoleucine	1	1	1	1
	亮氨酸 Leucine	1	1	1	1
	赖氨酸 Lysine	1	1	1	1
	甲硫氨酸/蛋氨酸 Methionine	1	1	1	1
	苯丙氨酸 Phenylalanine	1	1	1	1
	苏氨酸 Threonine	1	1	1	1
	色氨酸 Tryptophan	1	1	1	1
	缬氨酸 Valine	1	1	1	1
膳食纤维 Dietary fiber		1	1	1	1
总数 Total		36	38	36	36
多样性 Degree of diversity		0.900	0.950	0.900	0.900

\* 出自王晨 (2009)。

\* From Wang (2009) .

### 3.2 匹配度

匹配度 (Degree of Match, DM) 是指果品中所含有的各种人体必需营养素的含量及其与人体每日需求量间的匹配程度, 它评价的是果品中各种营养素含量的多少。根据《中国居民膳食营养素参考摄入量》2013 版 (中国营养学会, 2015) 中一名正常成年男性 (18 ~ 50 岁) 每日的膳食营养素参考摄入量 (Dietary Reference Intakes, DRIs), 即推荐摄入量 (Recommended Nutrient Intake, RNI)、适宜摄入量 (Adequate Intake, AI) 或平均需要量 (Estimated Average Requirement, EAR), 参考《中国食物成分表》第 2 版 (杨月欣 等, 2009) 及其他相关文献 (赵玉功, 2012; 陈辉 等, 2016) 所提供的单位质量苹果、葡萄和柑橘可食部相应营养素含量, 计算样品 (果实) 的匹配度 (DM), 匹配度 (DM) =  $1/k \sum_{i=1}^k 350 \text{ g 果品中某类营养素含量}/\text{该营养素的每日推荐摄入量}$ 。其中 k 表示营养素的种类总数, 350 g 的确定则是基于《中国居民膳食指南》2016 版 (中国营养学会, 2016) 中推荐的“保证每人每日摄入 200 ~ 350 g 新鲜水果”。对任何一种营养素, 在未超过人体可耐受范围最高摄入量的情况下, 匹配度指数愈高, 表明果品中含有人体必需的营养素含量就愈高, 营养价值就愈大。

结果 (表 2) 显示, 单位质量 (每 350 g 可食部) 的苹果、葡萄和柑橘, 其 DM 值分别为: 0.097、0.109 和 0.144。因此, 可以简单地利用匹配度数值区分不同果品的营养价值, 如柑橘 > 葡萄 > 苹果。从表 2 还可以看出, 350 g 柑橘和葡萄可大部分满足人体每日的维生素 C 所需。不同类果品中, 苹果具有更多的碳水化合物、维生素 E、色氨酸及膳食纤维 (不溶性纤维) 等营养素; 葡萄在铜和维生素 C 的满足情况上表现良好; 而柑橘相较另两类果品, 则有更高的钙、磷、镁、及维生素 (尤其是维生素 C) 含量。

表 2 基于文献数据的苹果、葡萄和柑橘果实匹配度 (DM 值)

Table 2 The degree of match (DM) values of apple, grape and citrus fruits based on literature data

类别 Category	营养素 Essential nutrient	人均日推荐摄入量 RNI	每 350 g 鲜果中的含量 (匹配度) Content (DM) of 350 g fruit		
			苹果 Apple	葡萄 Grape	柑橘 Citrus
水/g Water		1 700	300.65 (0.1768)	310.45 (0.1826)	304.15 (0.1789)
碳水化合物/g Carbohydrate		120 <sup>①</sup>	47.25 (0.3938)	36.05 (0.3004)	41.65 (0.3471)
不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid	亚油酸*%E Linoleic acid (omega 6, ω-6)	4 <sup>②</sup>	NF	NF	NF
	亚麻酸*%E α-linolenic acid (omega 3, ω-3)	0.6 <sup>②</sup>	NF	NF	NF
矿质元素 Mineral	钙/mg Calcium	800	14.00 (0.0175)	17.50 (0.0219)	122.5 (0.1532)
	磷/mg Phosphorus	720	42.00 (0.0583)	45.50 (0.0632)	63.0 (0.0875)

续表 2

类别 Category	营养素 Essential nutrients	人均日推 荐摄入量 RNI	每 350 g 鲜果中的含量 (匹配度) Content (DM) of 350 g fruit		
			苹果 Apple	葡萄 Grape	柑橘 Citrus
	镁/mg Magnesium	330	14.00 (0.0424)	28.00 (0.0848)	38.5 (0.1167)
	钠/mg Sodium	1 500 <sup>②</sup>	5.60 (0.0037)	4.55 (0.0030)	4.9 (0.0033)
	钾/mg Potassium	2 000 <sup>②</sup>	416.50 (0.2083)	364.00 (0.1820)	539.00 (0.2695)
	氯/mg Chloride	2 300 <sup>②</sup>	NA <sup>⑥</sup>	NA <sup>⑥</sup>	NA <sup>⑥</sup>
	铁/mg Iron	12.0	2.10 (0.1750)	1.40 (0.1167)	0.70 (0.0583)
	锌/mg Zinc	12.5	0.67 (0.0532)	0.63 (0.0504)	0.28 (0.0224)
	铜/mg Copper	0.8	0.21 (0.2625)	0.32 (0.3938)	0.14 (0.1750)
	锰/mg Manganese	4.5 <sup>②</sup>	0.11 (0.0233)	0.21 (0.0467)	0.49 (0.1089)
	碘/ $\mu$ g Iodine	120	1.19 (0.0099) <sup>④</sup>	1.72 (0.0143) <sup>④</sup>	3.22 (0.0268)
	硒/ $\mu$ g Selenium	60	0.42 (0.0070)	0.70 (0.0117)	1.05 (0.0175)
	钼/ $\mu$ g Molybdenum	100	3.14 (0.0314) <sup>⑤</sup>	4.81 (0.0481) <sup>⑤</sup>	2.01 <sup>⑤</sup> (0.0201)
维生素 Vitamin	维生素 C/抗坏血酸/mg Vitamin C/Ascorbic acid	100	14.00 (0.1400)	87.50 (0.8750)	98.00 (0.9800)
	维生素 A/ $\mu$ gRAE Vitamin A	800	10.50 (0.0132)	28.00 (0.0350)	518.00 (0.6475)
	维生素 D/ $\mu$ g Vitamin D	10	NF	NA <sup>⑥</sup>	NF
	维生素 E/mg $\alpha$ -TE Vitamin E	14 <sup>②</sup>	7.42 (0.5300)	2.45 (0.1750)	3.22 (0.2300)
	维生素 K/ $\mu$ g Vitamin K	80 <sup>②</sup>	NF	NA <sup>⑥</sup>	NF
	维生素 B <sub>1</sub> /硫胺/mg Vitamin B <sub>1</sub> /Thiamin	1.4	0.21 (0.1500)	0.14 (0.1000)	0.28 (0.2000)
	维生素 B <sub>2</sub> /核黄素 Vitamin B <sub>2</sub> /Riboflavin	1.4	0.07 (0.0500)	0.07 (0.0500)	0.14 (0.1000)
	维生素 B <sub>3</sub> /烟酸/mgNE Vitamin B <sub>3</sub> /Niacin	15	0.70 (0.04667)	0.70 (0.0467)	1.40 (0.0933)
	维生素 B <sub>5</sub> /泛酸/mg Vitamin B <sub>5</sub> /Pantothenic acid	5 <sup>②</sup>	NF	NF	NF
	维生素 B <sub>6</sub> /mg Vitamin B <sub>6</sub>	1.4	NF	NF	NF
	维生素 B <sub>7</sub> /生物素/ $\mu$ g Vitamin B <sub>7</sub> /Biotin	40 <sup>②</sup>	NF	NF	NF
	叶酸/ $\mu$ gDFE Folate	400	NF	NF	NF
	维生素 B <sub>12</sub> / $\mu$ g Vitamin B <sub>12</sub>	2	NF	NF	NF
必需氨基酸 Essential amino acid	组氨酸/mg Histidine (婴儿必需)	600	10.50 (0.0175)	28.00 (0.0467)	28.00 (0.0467)
	异亮氨酸/mg Isoleucine	1 200	31.50 (0.0263)	28.00 (0.0233)	52.50 (0.0438)
	亮氨酸/mg Leucine	2 340	42.00 (0.0179)	38.50 (0.0165)	80.50 (0.0344)
	赖氨酸/mg Lysine	1 800	35.00 (0.0195)	45.50 (0.0253)	84.00 (0.0467)
	甲硫氨酸/蛋氨酸/mg Methionine	1 020	38.50 (0.0377)	52.50 (0.0515)	42.00 (0.0412)
	苯丙氨酸/mg Phenylalanine	1 140	73.50 (0.0645)	84.00 (0.0737)	94.50 (0.0829)
	苏氨酸/mg Threonine	900	24.50 (0.0272)	45.50 (0.0505)	45.50 (0.0505)
	色氨酸/mg Tryptophan	240	24.50 (0.1021)	21.00 (0.0875)	7.00 (0.0292)
	缬氨酸/mg Valine	1 560	49.00 (0.0314)	45.50 (0.0292)	63.00 (0.0404)
膳食纤维/g Dietary fiber		25	4.20 (0.168)	1.40 (0.0560)	1.40 (0.0560)
匹配度 Degree of match			0.097	0.109	0.144

注：“NA”代表存在该种物质，但未查到具体数据；“NF”代表未查到该种物质；氨基酸推荐量以 60 kg 体重成年人需要量为标准；\* %E 为占能量的百分比；① 平均需要量 (中国营养学会, 2013)；② 适宜摄入量 (中国营养学会, 2013)；③ 周志钦 (2012)；④ 赵玉功 (2012)；⑤ 陈辉 等 (2016)；⑥ 王晨 (2009)。

Note: ‘NA’ means there is the substance, but no data is available from the literature reviewed; ‘NF’ means the substance might be absent from the fruit; The RNI of amino acids are standards for an adult of 60 kg body weight; \* %E is the percentage of energy; ① Estimated average requirement, EAR (Chinese Nutrition Society, 2013); ② Adequate intake, AI (Chinese Nutrition Society, 2013); ③ Zhou (2012); ④ Zhao (2012); ⑤ Chen et al. (2016); ⑥ Wang (2009).

### 3.3 平衡度

人体每日对不同营养素的需求量之间存在相对固定的比例。平衡度 (Degree of Balance, DB) 是指果品中所含的各种营养素之间的比例与人体需求的各营养素间的比例的接近度, 它评价的是果品中各种人体必需营养素之间的平衡程度, 即是否符合人体必需营养素间的平衡。以此人体需求比

较作参照, 理论上讲, 接近程度越高的果品更有利于人体的健康。

为了解果品中不同类型的人体必需营养素的平衡度 (DB), 借鉴氨基酸营养评价中的“模糊识别法”(钱爱萍 等, 2008; Yu et al., 2014; 郑少杰 等, 2016; 杨永涛 等, 2017), 根据“兰氏距离法定义对象  $u$  和标准蛋白  $a$  的贴进度”概念, 以常数  $1/C_k^2$  替换原公式  $U(a, u_i) = 1 - 0.09 \sum_{k=1}^j [ |a_k - u_{ik}| / (a_k + u_{ik}) ]$  中的常数 0.09, 以各营养素两两间含量之比替换氨基酸含量。由此, 得到一个可用于比较“果品中营养素含量间比例与人体每日参考摄入量间比例贴进度”的计算公式, 即某类营养素平衡度 (DB) =  $1 - \frac{1}{C_k^2} \sum_{k=1}^k [ |a_{ij} - u_{ij}| / (a_{ij} + u_{ij}) ]$ 。其中,  $k$  代表一类营养素中所含元素的个数 (如人体必需氨基酸为 9 种, 则  $k$  取 9);  $C_k^2$  代表数学中  $k$  个数的两两组合数 (如  $C_9^2$  等于 36);  $a_{ij}$  为果实中某类营养素任意两元素  $i$  和  $j$  间的含量之比;  $u_{ij}$  代表元素  $i$  和  $j$  在《中国居民膳食营养素参考摄入量》中的参考摄入量之比。用该法分别计算果品中不同类型营养素 (如矿物质、氨基酸和维生素) 的 DB 值, 结果相加后平均, 即得到该果品的 DB 值。可知, 理想状态下某类营养素的 DB 最大值应为 1。DB 值越大, 表明果品中各营养素间比例与人体必需营养推荐比例的接近度越高, 平衡度越好。

为更清楚地说明 DB 的计算过程, 以柑橘矿质元素为例进行说明。

第一步, 收集数据, 按推荐量由高至低排列。由于未查到柑橘中氯元素含量, 因此只列出 12 种大量元素进行比较 (表 3)。

第二步, 根据第一步中所列出推荐量排序, 按“低推荐量元素/高推荐量元素”分别计算出各营养素的参考摄入量两两间比值及果品中实际含量的两两间比值。表 4 中分别列出了矿质元素的推荐摄入量两两比值和在柑橘中实际含量间的两两比值。

表 3 矿质元素的推荐摄入量及其在柑橘中的含量

Table 3 The Recommended Nutrient Intake (RNI) of mineral elements and their contents in citrus

元素 Element	推荐摄入量/ RNI (mg · d <sup>-1</sup> )	柑橘 (mg/350 g) Citrus
K	2 000	539
Na	1 500	4.9
Ca	800	122.50
P	720	63
Mg	330	38.5
Fe	12	0.7
Zn	12.5	0.28
Mn	4.5	0.49
Cu	0.8	0.14
I	0.12	0.00322
Mo	0.1	0.00201
Se	0.06	0.00105

表 4 12 种矿质元素推荐摄入量两两间比值和柑橘果实中实际含量的两两间比值

Table 4 The ratios between each other among mineral elements in RNI and the ratios of every two contents in citrus.

元素 Element	K	Na	Ca	P	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	I	Mo	Se
K		0.750	0.400	0.360	0.165	0.006	0.006	0.002	0.400 <sup>①</sup>	0.060 <sup>①</sup>	0.050 <sup>①</sup>	0.030 <sup>①</sup>
Na	0.009		0.533	0.480	0.220	0.008	0.008	0.003	0.533 <sup>①</sup>	0.080 <sup>①</sup>	0.067 <sup>①</sup>	0.040 <sup>①</sup>
Ca	0.227	25.000		0.900	0.413	0.015	0.016	0.006	1.000 <sup>①</sup>	0.150 <sup>①</sup>	0.125 <sup>①</sup>	0.075 <sup>①</sup>
P	0.117	12.857	0.514		0.458	0.017	0.017	0.006	1.111 <sup>①</sup>	0.167 <sup>①</sup>	0.139 <sup>①</sup>	0.083 <sup>①</sup>
Mg	0.071	7.857	0.314	0.611		0.036	0.038	0.014	2.424 <sup>①</sup>	0.364 <sup>①</sup>	0.303 <sup>①</sup>	0.182 <sup>①</sup>
Fe	1.299 <sup>①</sup>	0.143	5.714 <sup>①</sup>	0.011	0.018		1.042	0.375	0.067	0.010	8.333 <sup>①</sup>	0.005
Zn	0.520 <sup>①</sup>	0.057	0.002	0.004	0.007	0.400		0.360	0.064	9.600 <sup>①</sup>	0.008	4.800 <sup>①</sup>
Mn	0.909 <sup>①</sup>	0.100	0.004	7.778 <sup>①</sup>	0.013	0.700	1.7500		0.178	0.027	0.022	0.013
Cu	0.260 <sup>①</sup>	0.029	1.143 <sup>①</sup>	0.002	3.636 <sup>①</sup>	0.200	0.5000	0.286		0.150	0.125	0.075
I	0.006 <sup>①</sup>	0.657 <sup>①</sup>	0.026 <sup>①</sup>	0.051 <sup>①</sup>	0.084 <sup>①</sup>	4.600 <sup>①</sup>	0.012	6.571 <sup>①</sup>	0.023		0.833	0.500
Mo	0.002 <sup>①</sup>	0.214 <sup>①</sup>	0.009 <sup>①</sup>	0.017 <sup>①</sup>	0.027 <sup>①</sup>	1.500 <sup>①</sup>	3.750 <sup>①</sup>	0.002	7.500	0.326		0.600
Se	0.004 <sup>①</sup>	0.410 <sup>①</sup>	0.016 <sup>①</sup>	0.032 <sup>①</sup>	0.052 <sup>①</sup>	2.870 <sup>①</sup>	0.007	0.004	0.014	0.624	1.913	

注: ①代表  $\times 10^{-3}$ ; 表中右上三角区域为矿质元素推荐摄入量两两比例 ( $u_{ij}$ ), 左下三角区域为柑橘中矿质元素含量两两间比例 ( $a_{ij}$ )。

Note: ①means  $\times 10^{-3}$ ; The ratios between each other among mineral elements by RNI are in the upper right triangular region of the table ( $u_{ij}$ ), and in citrus are in the lower left triangular region ( $a_{ij}$ ).

第三步, 因共有 12 种矿质元素, 故  $k = 12$ ,  $C_{12}^2 = 66$ 。已知表 4 中左下角区域数据为  $a$ , 右上角区域数据为  $u$ , 分别将每两种元素对应的  $a$  和  $u$  值代入 DB 计算公式, 得到柑橘中矿质元素 DB 计算结果, 即平衡度 (DB) =  $1 - \frac{1}{66} \sum_{i=1}^{66} [|a_{ij} - u_{ij}| / (a_{ij} + u_{ij})] = 0.455$ 。

第四步, 按照上述过程, 计算其他营养素类型的 DB 结果, 相加后再平均即可得到最终的柑橘 DB 值。

表 5 显示的是柑橘、苹果、葡萄果实矿质元素、氨基酸和维生素与人体需要间的平衡度。其中, 由于未查询到全部维生素的推荐摄入量或其果品中的含量信息 (表 2), 暂时只以 6 种维生素 (维生素 A、维生素 B1、维生素 B2、维生素 B3、维生素 C、维生素 E) 进行计算。DB 由高到低依次为: 柑橘、葡萄、苹果。

### 3.4 偏离指数

偏离指数 (Deviation Index, DI) 是指果品营养价值多样度 (DD)、匹配度 (DM) 和平衡度 (DB) 偏离标准值 “1” 的程度, 即偏离指数 (DI) =  $(1 - DD) + (1 - DM) + (1 - DB)$ 。样品中必需营养素偏离标准值的程度越低, 其营养价值越高。

根据苹果、葡萄及柑橘的多样度 (DD)、匹配度 (DM) 和平衡度 (DB) 计算 3 种不同类型水果的偏离指数, 由表 6 可知, 偏离指数由低到高依次为: 柑橘、葡萄、苹果。综上所述, 由目前可查阅的 3 种水果相关数据可知, 柑橘的营养价值最高。

表 5 苹果、葡萄和柑橘果实平衡度 (DB)  
 Table 5 The degree of balance values (DB) of apple,  
 grape and citrus fruits

种类 Kind	矿质元素 Mineral	必需氨基酸 Essential amino acid	维生素 Vitamin	平均 Average
苹果 Apple	0.409	0.700	0.323	0.483
葡萄 Grape	0.428	0.701	0.457	0.534
柑橘 Citrus	0.455	0.874	0.440	0.591

表 6 苹果、葡萄和柑橘果实偏离指数 (DI)  
 Table 6 The DI values of apple,  
 grape and citrus fruits

种类 Kind	多样度 DD	匹配度 DM	平衡度 DB	偏离指数 DI
苹果 Apple	0.900	0.097	0.483	1.520
葡萄 Grape	0.950	0.109	0.534	1.407
柑橘 Citrus	0.900	0.144	0.591	1.365

## 4 结束语

不同果品营养价值的高低是研究者和消费者共同关心的问题。在本文中, 介绍了果品营养价值的 “三度” 评价法, 并明确建议了评价的指标体系及其参照的标准。“三度” 指数准确地揭示了果品营养价值的内涵 (满足人体营养需求), 明确地界定了它的外延 (人体必需营养素), 并可数值化地表示不同果品的营养价值。“三度” 评价法不仅考虑了果品中营养素的种类和含量, 而且还考虑了营养素间的平衡问题, 以及它们满足人体每日需求的程度。这是果品营养价值较完整的体现, 也是之前的研究未曾考虑到的。我们的工作使果品营养价值规范化、标准化和数值化评价成为可能, 并为不同果品营养价值的分类 (DD 值)、定级 (DM 值)、评优 (DB 值) 和果品营养品质质量监管 (DI) 奠定了理论和方法基础。同时, 也为未来其他园艺产品营养价值的评价研究提供了新的方法和思路。

然而, 目前仍有许多问题需要回答。首先, 对人体必需营养素的种类和数量仍然需要达成一致。比如, 人体必需的矿质元素是 13 种还是 15 种、甚至更多 (Martha, 2006; 周志钦, 2012)。其次, 人体必需营养素每日需求量究竟是多少, 不同国家、民族、年龄和性别都有差异, 如何选择依然是个问题 (Judith, 2011; 蔡威和邵玉芬, 2011; 中国营养学会, 2015)。第三, 现在还无法计算不同

类型营养素之间（如维生素和矿质元素）的平衡度，因为二者之间没有比例关系可以参照。现有的平衡度只是“同类不同种”营养素间的平衡度，而对不同类型的营养素还需先分别计算各自的平衡度再进行平均比较。第四，次生代谢物是否应当属于营养素，即使将其考虑在内，但目前在不同果品中有较好生理作用的生物活性物质其种类和数量都无法准确界定，且没有统一规范检测方法，因此所获得的结果间不具可比性。但所幸的是，上述问题影响不到“三度”评价法的基本思想和原则。因为“三度”评价法不受指标多少和参照标准的变化影响，只要它的指标系统是大家公认或接受的即可。至于不同类型营养素之间的平衡度，只要他们间的比例关系清楚，则可用同样思维和方法计算。相信随着“营养价值”的概念的发展，今后仍可对上述问题进一步研究。

最后需要强调的是，在“三度”评价法的基础上，未来果品营养价值评价研究最重要的工作就是统一果品营养素的分析检测方法，建立相应的技术标准，为“三度”指数计算提供可靠的原始数据。同时，利用现代计算机建模技术也许可以解决不同类型营养素间的平衡度问题。希望能把“三度”评价法应用到不同园艺产品的营养价值评价中，建立不同产品营养价值“三度”指数排行榜，供消费者参考。

## References

- Ash C, Kiberstis P, Marshall E, Travis J. 2012. It takes more than an apple a day. *Science*, 337 (6101): 1466 - 1467.
- Cai Wei, Shao Yu-fen. 2011. *Modern nutrition sciences*. Shanghai: Fudan University Press. (in Chinese)
- 蔡 威, 邵玉芬. 2011. *现代营养学*. 上海: 复旦大学出版社.
- Chen Hui, Jin Ling-he, Hu Xue-yan, Peng Tao, Chang Qiao-ying, Fan Chun-lin. 2016. Simultaneous determination of 40 elements in fruits and vegetables of Beijing market by inductively coupled plasma mass spectrometry. *Science and Technology of Food Industry*, 37 (19): 276 - 238. (in Chinese)
- 陈 辉, 金铃和, 胡雪艳, 彭 涛, 常巧英, 范春林. 2016. ICP-MS 测定北京地区主要水果和蔬菜中 40 种元素. *食品工业科技*, 37 (19): 276 - 283.
- Chinese Nutrition Society. 2015. *Chinese dietary reference intakes*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 中国营养学会. 2015. *中国居民膳食营养素参考摄入量*. 北京: 科学出版社.
- Chinese Nutrition Society. 2016. *Chinese dietary guide*. Beijing: People's Medical Publishing House. (in Chinese)
- 中国营养学会. 2016. *中国居民膳食指南*. 北京: 人民卫生出版社.
- Citrus Industry in China. 2008. *The Chinese society of citriculture*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 中国柑橘学会. 2008. *中国柑橘产业*. 北京: 中国农业出版社.
- Ding Xiao-bo, Zhang Hua, Liu Shi-rao, Liao Yi-jun, Zhou Zhi-qin. 2012. Current status of the study in citrus nutriology. *Acta Horticulturae Sinica*, 39 (9): 1687 - 1702. (in Chinese)
- 丁晓波, 张 华, 刘世尧, 廖益均, 周志钦. 2012. 柑橘果品营养学研究现状. *园艺学报*, 39 (9): 1687 - 1702.
- Elson M H. 2006. *Staying healthy with nutrition (21st-century edition): the complete guide to diet and nutritional medicine*. Berkeley: Celestial Arts.
- <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2289?manu=&fgcd=&ds=>.
- Jing Li, Zhou Zhi-qin. 2011. On fruit nutriology. *Journal of Fruit Science*, 28 (1): 114 - 123. (in Chinese)
- 靖 丽, 周志钦. 2011. 论果品营养学. *果树学报*, 28 (1): 114 - 123.
- Judith E B. 2011. *Nutrition now*. 6nd ed. Wadsworth: Cengage Learning.
- Kavita S, Neelima M, Moo H C, Yong R L. 2017. Converting citrus wastes into value-added products: economic and enviromental friendly approaches. *Nutrition*, 34: 29 - 46.
- Lu Yan, Zhou Zhi-qin. 2011. Advances in nutriology of fruits and vegetables products: a review of the abstracts of the 28<sup>th</sup> International Horticultural Congress. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (9): 1807 - 1816. (in Chinese)

- 芦 琰, 周志钦. 2011. 从 28 届国际园艺学大会看果蔬园艺产品营养学研究现状. *园艺学报*, 38 (9): 1807 - 1816.
- Ma Zhao-cheng, Zhu Chun-hua. 2015. *Lemon and life*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 马兆成, 朱春华. 2015. 柠檬与生活. 北京: 中国农业出版社.
- Margot S, Denise H. 2013. *Bioactives in fruits: Health benefits and functional foods*. West Sussex John: Wiley & Sons, Ltd. (Wiley Blackwell) .
- Martha H S. 2006. *Biochemical, Physiological, molecular aspects of human nutrition*. 2nd ed. St. Louis: Saunders Elsevier.
- Qian Ai-ping, Lin Qiu, Yu Ya-bai, Yan Sun-an, Lin Xiang-xin, Yao Xin. 2008. The content of amino acids in the flesh of oranges produced in Fujian Province and its nutritive evaluation. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 24 (6): 86 - 90. (in Chinese)
- 钱爱萍, 林 虬, 余亚白, 颜孙安, 林香信, 姚 莘. 2008. 闽产柑橘果肉中的氨基酸组成及营养评价. *中国农学通报*, 24 (6): 86 - 90.
- Wang Chen. 2009. The nutrition of grapes and wine. *Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology*, 36 (4): 38 - 40. (in Chinese)
- 王 晨. 2009. 葡萄与葡萄酒的营养成分. *江苏林业科技*, 36 (4): 38 - 40.
- Wang Ren-cai. 2013. *Nutrition and health of fruits and vegetables*. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 王仁才. 2013. 果蔬营养与健康. 北京: 化学工业出版社.
- Yang Yong-tao, Pan Si-yuan, Jin Xin-xin, Gao Fang, Tian Ying-zi, Ding Xiao-li. 2017. Amino acid composition and nutritional evaluation of different varieties of walnut. *Food Science*, 38 (13): 207 - 212. (in Chinese)
- 杨永涛, 潘思源, 靳欣欣, 高 仿, 田英姿, 丁晓丽. 2017. 不同品种核桃的氨基酸营养价值评价. *食品科学*, 38 (13): 207 - 212.
- Yang Yue-xin, Wang Guang-ya, Pan Xing-chang. 2009. *China food composition*. 2nd ed. Beijing: Peking University Medical Press. (in Chinese)
- 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 2009. 中国食物成分表. 2 版. 北京: 北京大学医学出版社.
- Yao Han-ting. 1995. *Food nutriology*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 姚汉亭. 1995. 食品营养学. 北京: 中国农业出版社.
- Yu H H, Li R F, Liu S, Xing R E, Chen X L, Li P C. 2014. Amino acid composition and nutritional quality of gonad from jellyfish (*Rhopilema esculentum*). *Biomedicine & Preventive Nutrition*, 4: 399 - 402.
- Zhou Kai-long, Ye Yin-min. 2010. *China fruit-pilant monograph · Citrus flore*. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- 周开隆, 叶荫民. 2010. 中国果树志 · 柑橘卷. 北京: 中国林业出版社.
- Zhao Yu-gong. 2012. The analysis of iodine content in common foods and the study of iodine indietary evaluationin residents of Fujian [M. D. Dissertation]. Fuzhou: Fujian Medical University. (in Chinese)
- 赵玉功. 2012. 福建省居民常用食物中碘含量的分析及居民膳食碘摄入量的研究 [硕士论文]. 福州: 福建医科大学.
- Zhang Shao-ling. 2013. *A study on pear*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 张绍铃. 2013. 梨学. 北京: 中国农业出版社.
- Zheng Shao-jie, Ren Wang, Zhang Xiao-li, Ming Jian. 2016. Amino acid dynamic change of mung bean and its nutritional evaluation in germinating process. *Food and Fermentation Industries*, 42 (10): 81 - 86. (in Chinese)
- 郑少杰, 任 旺, 张小利, 明 建. 2016. 绿豆芽萌发过程中氨基酸动态变化及营养评价. *食品与发酵工业*, 42 (10): 81 - 86.
- Zhou Zhi-qin. 2012. *Citrus fruit nutriology*. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 周志钦. 2012. 柑橘果品营养学. 北京: 科学出版社.