



基于多样性、匹配度和平衡度的常见蔬菜营养价值评价

刘彦君^{1,2}, 刘哲³, 孟祥红², 陆柏益¹

(¹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安全风险评估实验室, 杭州 310058; ²中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266000; ³西南大学园林园艺学院, 重庆 400716)

摘要:【目的】蔬菜作为人们日常饮食中重要的组成成分, 包含人体所需的多种营养素, 根据蔬菜所含营养素的种类、含量及比例等指标对常见蔬菜进行综合营养评价, 为人们选择蔬菜提供科学指导。【方法】选取常见的 38 种蔬菜, 根据《中国食物成分表 第 2 版》中蔬菜及其制品中的分类方法将其分为叶菜类、茎菜类、花菜类等 10 类。该方法以 42 种人体必需的营养素为评价指标, 包括 7 大营养素以及被公认为对人体有益的两种多不饱和脂肪酸(亚油酸和亚麻酸)和膳食纤维。分别计算 10 大类 38 种常见蔬菜中 42 种营养素的“多样性”(Degree of diversity, DD 值)、“匹配度”(Degree of match, DM 值)和“平衡度”(Degree of balance, DB 值)指标, 根据各指标分值及排名进行营养评价。最后计算 3 个指标的综合评价指标——“偏离指数”, 根据偏离指数对蔬菜进行综合排名分析。【结果】根据“多样性”得出各种蔬菜所含营养素种类大致相同; 根据“匹配度”得出茎菜类、叶菜类和花菜类营养素含量较高, 排名前 3 位的蔬菜依次为芥菜、香菜、菠菜; 根据“平衡度”得出花菜类和葱蒜类营养素比例更符合人体需要, 排名前 3 位的蔬菜依次为大葱、韭菜、黄瓜; 最后根据“偏离指数”得出蔬菜营养价值的综合排名, 茎菜类、叶菜类和花菜类蔬菜偏离指数较小, 排名前 3 位的蔬菜依次为芥菜、香菜、菠菜。【结论】该评价方法能较综合地评价蔬菜营养价值, 与营养质量指数、营养素度量法等以往蔬菜评价模型相比, 增加了各营养素之间的比例, 对蔬菜营养价值的评价更加全面。

关键词: 蔬菜; 营养价值评价; 多样性; 匹配度; 平衡度

Evaluation of the Vegetables Nutritive Values Based on 'Three Degree' Method

LIU YanJun^{1,2}, LIU Zhe³, MENG XiangHong², LU BaiYi¹

(¹College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University/Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Agro-products on Storage and Preservation, Hangzhou 310058; ²College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266000, Shandong; ³College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716)

Abstract: 【Objective】 As the important components of our daily diet, the vegetables contain various nutrients people need. The objective of this study was to evaluate vegetables by the categories, contents and proportion of nutrients in vegetables to provide scientific guides for people to choose vegetables. 【Method】 38 common vegetables were selected as test materials and divided into ten kinds, including leaf vegetables, stem vegetables, flower vegetables, allium species, solanaceous vegetables, melon vegetables, root vegetables, tuber vegetables, fresh bean vegetables, and wild vegetables, according to China Food Composition 2nd. 42 essential nutrients were defined as evaluation indexes, including water, protein, fat, carbohydrates, minerals, vitamins, amino acids and 2 unsaturated fatty acids (linoleic acid (ω -6) and α -linolenic acid (ω -3)) and dietary fiber, which were considered as good for health.

收稿日期: 2019-02-03; 接受日期: 2019-05-07

基金项目: 农业农村部典型农产品品质指标体系构建与特征性指标筛选验证专项 (GJFP2019043)、中国农业科学院科技创新工程协同任务

联系方式: 刘彦君, E-mail: liuyanjun_1012@163.com. 通信作者孟祥红, E-mail: mengxh@ouc.edu.cn. 通信作者陆柏益, E-mail: bylu@zju.edu.cn

And then the contents of the nutrients of the vegetables were listed in terms of *China Food Composition 2nd*. Three degree (Degree of Diversity (DD), Degree of Match (DM) and Degree of Balance(DB)) of 42 kinds of nutrients' in 38 common vegetables were calculated respectively. Finally, the Deviation Index as the overall nutrient evaluation of the three indexes was culculated, and then an overall nutrient evaluation of the vegetables based on Deviation Index was analyzed. 【Result】 DD indices showed that the common vegetables had the similar kinds of nutrients. DM indices indicated the contents of nutrients of the stem, leaf and flower vegetables were high and the top three vegetables were shepherd's purse, coriander and spinach. DB indices showed the proportion of nutrients of the flower vegetables and allium vegetables were more suitable for people's needs and that the top three vegetables were onions (young green), leek and cucumber. Finally, based on 'Deviation Index' giving an overall nutrient evaluation ranking for vegetables, it showed that the deviation index of the stem, leaf and flower vegetables were small and that the top three vegetables were shepherd's purse, coriander and spinach. 【Conclusion】 Compared with previous vegetable profiling models, such as index of nutrition quality and nutrient profiling, this method considered the proportion of the nutrients in vegetables so that it ensured the nutrition profiling of vegetables more comprehensive. As the deepening of the scientific research, we could certify the contribution of the nutrients to people and then multiplied by the corresponding weights so that this nutrient evaluation was more suitable for people's needs.

Key words: vegetables; nutrient profiling; degree of diversity; degree of match; degree of balance

0 引言

【研究意义】随着当前人们生活习惯的改变,“多肉、多油脂、少蔬菜”的饮食模式诱发了多种慢性疾病,ZHANG 等^[1]呼吁人们改变膳食结构。食物营养评价模型为人们选择健康的食物提供了科学依据,目前食物营养评价模型很多,如营养质量指数(index of nutrition quality, INQ)^[2]、营养素度量法(nutrient profiling, NP)^[3-4]、营养素平衡概念(nutrient balance concept, NBC)^[5]等。在这些营养评价体系中,蔬菜一般都位于前列^[5-8],中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所研究表明蔬菜是健康饮食的重要组成部分^[9]。这就要求我们对蔬菜的营养价值有更深入的了解,建立适合蔬菜的营养评价模型,从而合理地选择蔬菜种类,充分化发挥其营养价值。【前人研究进展】目前对蔬菜的营养评价一般为模糊的等级分类^[10],其中“平均营养值估算法”和“营养评分分类估算法”^[11]是目前应用较多的两种方法,但是这两种方法只考虑了营养素的含量,未考虑营养素的均衡性及其与人体所需营养的匹配程度。此外,食品营养均衡指数(index of nutrient balance, INB)是一种用来评价农产品均衡性的营养评价方法,其在营养素密度评分(nutrient density score, NDS)和营养质量指数(index of nutritional quality, NQ)的基础上,结合营养素度量法(NP),给出了一种新型的农产品营养评价方法,但该方法涵盖的营养素种类不够全面,未考虑氨基酸等营养素^[12]。“三度法”是笔者研究团队前期提出的一种果品营养价值评价方法^[13],该方法从营养素的种

类、含量以及各营养素之间的比例等方面评价了果品的营养价值,是一种全面、系统的营养评价体系。“三度”即“多样性”(degree of diversity, DD)、“匹配度”(degree of match, DM)、“平衡度”(degree of balance, DB)。【本研究切入点】蔬菜与水果在营养价值上存在很大的相似性^[9],目前营养评价体系存在很多不足,如指标营养素涵盖种类较少,评价内容单一,一般都偏向于评价营养素与能量之间的关系,或“推荐性”营养素和“限制性”营养之间的关系,蔬菜作为一种低能量、高维生素和膳食纤维的食物,用上述方法对蔬菜种类进行营养价值分析具有一定的局限性。【拟解决的关键问题】本研究通过计算 10 大类 38 种常见蔬菜中 42 种营养素的“多样性”、“匹配度”和“平衡度”指标,从蔬菜所含营养素的种类、含量和比例等角度对蔬菜进行营养评价,探究适合蔬菜营养评价的新模型。

1 材料与方法

参考《中国食物成分表》中蔬菜类及其制品的分类^[14],将常见的 38 种蔬菜分为 10 类(表 1),分别计算各类蔬菜的“三度”指标。

1.1 指标营养素的选择

指标营养素是指食物中作为评价对象的营养素。目前营养分析模型大多是基于推荐性营养素或限量营养素,或两者的结合^[15]。本研究认为任何一种营养素对人体均有特定的功效,只是在摄入量不足或过多时才会对人体产生不良影响,而且蔬菜本身就属于一种富含推荐性营养素的食物,因此,本研究不进行推荐

表 1 常见蔬菜种类

Table 1 The common vegetable species

| 蔬菜种类 Vegetable category | 蔬菜名称 Name of vegetable |
|---------------------------|--|
| 叶菜类 Leaf vegetable | 大白菜、菠菜、香菜、芥菜、油菜、油麦菜、生菜（叶用莴苣）、茴香、荠菜、芹菜、茼蒿 Chinese cabbage, spinach, coriander (cilantro) leaves, mustard, rape, lactuca, leaf lettuce, capsella bursa-pastoris, celery, crowndaisy chrysanthemum |
| 茎菜类 Stem vegetable | 芦笋、莴笋 Asparagus, asparagus lettuce |
| 花菜类 Flower vegetable | 甘蓝、菜花（花椰菜） Cabbage, broccoli |
| 葱蒜类 Allium species | 大葱、大蒜、洋葱、韭菜 Onions (young green), garlic, onion, Chinese chive |
| 茄果类 Solanaceous vegetable | 茄子、番茄、辣椒、甜椒 Eggplant, Tomato, hot pepper, peppers(sweet) |
| 瓜菜类 Melon vegetable | 黄瓜、西葫芦、苦瓜 Cucumber, cucurbita pepo, balsam-pear |
| 根菜类 Root vegetable | 白萝卜、胡萝卜、水萝卜 White carrot, carrot, radish |
| 薯芋类 Tuber vegetable | 马铃薯、芋头、姜 Potatoes (russet) , taro, ginger |
| 鲜豆类 Fresh bean vegetables | 芸豆、豇豆 Kidney bean, cowpeas (leafy tips) |
| 野生蔬菜类 Wild vegetable | 鱼腥草、槐花、香椿、马齿苋 Houttuynia cordata, flos sophorae, toona sinensis, herba portulacae |

性营养素和限量营养素的区分，但计算结果可以反映蔬菜中营养素的含量多少，即任何一种营养素含量过多或过少都会影响“三度”指标中的 DM 值，从而使其排名降低。

本研究选定了目前认为是人体必需的营养素，包括 7 大营养素中的蛋白质、脂类、碳水化合物、矿物质、维生素、氨基酸和水，以及被公认为对人体有益的两种多不饱和脂肪酸（亚油酸和亚麻酸）和膳食纤维，一共 42 种营养素^[12]（表 2）。

1.2 摄入标准的制定

摄入标准是以指标营养素最符合人体需要的量为标准。在食物营养评价体系中，多种指标营养素都具有相应的摄入标准，由权威机构或国家发布^[7]。美国食品药品监督管理局（U.S. Food and Drug Administration, FDA）建立了 RDIs——包含维生素和矿物质等营养素的摄入标准，为食品营养标签制定时的每日参考摄入量提供了依据^[16]。在我国，居民膳食营养素推荐摄入量（recommended nutrient Intakes, RNI）和适宜摄入量（adequate intake, AI）是制作营养标签和建立膳食指导所依据的标准^[17]。因此，本研究选取 RNI 或 AI 作为营养评价的摄入标准，在没有 RNI 和 AI 时，采用平均需要量（estimated average requirement, EAR）（表 2）。

1.3 计算标准的选择

常见的计算标准一般是 100 g（100 mL）、100 kcal

（418.4 确良 kJ）或 1 份(RACC)^[1]。“1 份”是美国 FDA 根据各种食物通常摄入的量来确定的，不同食物的“1 份”所代表的量不同，与食物本身含有的能量密度有关。在美国，FDA 对各种食物的“1 份”进行了规定，但是因国家和地区的不同，“1 份”的量也不同，我国对“1 份”并没有具体的规定，因此“1 份”不适用于本研究。

“100 kcal”和“100 g”在我国比较常用。蔬菜是一种低能量的食物，多以质量来计算，并且现有的食品营养标签和营养声称多以“g”标注，用“100 g”与工业生产保持一致，便于厂商和消费者进行商品间的对比^[18-19]。《中国食物成分表 第 2 版》中食物各营养素的相对含量^[14]也是基于“100 g”来计算的。因此在蔬菜的营养价值分析中，100 g 比 100 kcal 更适合。

1.4 “三度法”计算方法

“三度”评价法是对蔬菜的 DD 值、DM 值、DB 值进行分别计算，然后根据各指标得分对蔬菜营养价值进行分析，具体计算方法如下：

1.4.1 多样性——DD 值 多样性（DD）是指蔬菜中含有的人体必需营养素的种类。通过分别对 42 种营养素进行打分，存在记为“1”，缺乏记为“0”，计算公式如下（公式 1）：

$$DD = \frac{\text{蔬菜中人体必需营养素种类}}{\text{人体必需营养素种类}} \tag{1}$$

表 2 42 种营养素种类及 RNI

Table 2 The species and RNI values of 42 nutrients

| 类别 Category | 营养素 Essential nutrient | 人均每日推荐摄入量 RNI | 单位 Unit |
|--|----------------------------|-------------------|---------|
| 水 Water | 水 Water | 1700 | g |
| 能量物质 (3 种) Energy material | 蛋白质 Protein | 65 | g |
| | 脂肪 Fat | 25 | g |
| | 碳水化合物 Carbohydrates | 120 ^① | g |
| 不饱和脂肪酸 (2 种) Unsaturated fatty acid | 亚油酸 Linoleic acid (ω-6) | 4 ^② | %E |
| | 亚麻酸 α-linolenic acid (ω-3) | 0.6 ^② | %E |
| 矿质元素 (13 种) Mineral | 钙 Calcium | 800 | mg |
| | 磷 Phosphorus | 720 | mg |
| | 钾 Potassium | 2000 ^② | mg |
| | 钠 Sodium | 1500 ^② | mg |
| | 镁 Magnesium | 330 | mg |
| | 铁 Iron | 12 | mg |
| | 锌 Zinc | 12.5 | mg |
| | 硒 Selenium | 60 | mg |
| | 铜 Copper | 0.8 | mg |
| | 锰 Manganese | 4.5 ^② | mg |
| | 碘 Iodine | 120 | μg |
| | 氯 Chloride | 2200 ^② | μg |
| | 钼 Molybdenum | 100 | μg |
| 维生素 (13 种) Vitamin | 维生素 A 原 Provitamin A | 800 | mg |
| | 维生素 B1/硫胺素 Thiamin | 1.4 | μg RAE |
| | 维生素 B2/核黄素 Riboflavin | 1.4 | μg |
| | 维生素 B3/烟酸 Niacin | 15 | mg α-TE |
| | 维生素 C/抗坏血酸 Ascorbic acid | 100 | μg |
| | 维生素 E Vitamin E | 14 | mg |
| | 维生素 D Vitamin D | 10 | mg |
| | 维生素 K Vitamin K | 80 ^② | mg NE |
| | 维生素 B5/泛酸 Pantothenic acid | 5 ^② | mg |
| | 维生素 B6 Vitamin B6 | 1.4 | mg |
| | 维生素/B7 生物素 Biotin | 40 ^② | μg |
| | 叶酸 Folate | 400 | μg DFE |
| | 维生素 B12 Vitamin B12 | 2 | μg |
| 必需氨基酸 (9 种) Essential amino acid | 组氨酸 Histidine | 600 | mg |
| | 异亮氨酸 Isoleucine | 1200 | mg |
| | 亮氨酸 Leucine | 2340 | mg |
| | 赖氨酸 Lysine | 1800 | mg |
| | 甲硫氨酸/蛋氨酸 Methionine | 1020 | mg |
| | 苯丙氨酸 Phenylalanine | 1140 | mg |
| | 苏氨酸 Threonine | 900 | mg |
| | 色氨酸 Tryptophan | 240 | mg |
| | 缬氨酸 Valine | 1560 | mg |
| 膳食纤维 Dietary Fiber (1 种) | 膳食纤维 Dietary Fiber | 25 | g |

^① 平均需要量 Estimated average requirement, EAR (中国营养学会, 2013); ^② 适宜摄入量 Adequate intake, AI (中国营养学会, 2013)

其中，“人体必需营养素种类”为 42 种。

DD 值越大，表明蔬菜含有的营养素种类越多，DD 值最大为 1，“DD 值=1”表示蔬菜含有 42 种营养素。

1.4.2 匹配度——DM 值 匹配度 (DM) 是指蔬菜中所含有的各种营养素的含量与人体每日需求量间的匹配程度。它评价的是蔬菜中各种营养素含量的多少。通过 DD 值可以比较各种蔬菜含有营养素种类的多少，DM 值可以进一步比较各种营养素含量的多少。38 种蔬菜中的 42 种营养素的含量通过《中国食物成分表 第 2 版》^[14]及相关文献获得。DM 值计算公式如下 (公式 2)：

$$DM = \frac{1}{k} \sum \frac{100 \text{ g 蔬菜中某营养素的含量}}{\text{该营养素的每日推荐摄入量}} \quad (2)$$

式中， k ：蔬菜中的营养素种类。

“DM 值 < 1”表示蔬菜中的平均营养素含量少于人体每日所需的各种营养素的平均推荐摄入量，“DM 值 > 1”表示蔬菜中的平均营养素含量多于人体每日所需的各种营养素的平均推荐摄入量，DM 值越接近 1，表明蔬菜营养素含量越接近人体所需营养素的推荐摄入量，蔬菜的营养价值相对较高。

1.4.3 平衡度——DB 值 平衡度 (DB) 是指蔬菜中任意两种营养素含量的比值与其 RNI 间比值的接近度，它评价的是蔬菜中各种人体必需营养素之间的平衡程度。某些营养素之间存在竞争或拮抗作用，过量摄入会影响其他营养素的吸收利用^[12]；对于存在协同作用的营养素，当增加一种营养素的摄入时，会促进另一种营养素的吸收利用^[5]。因此，人体所需的营养素之间存在一定的比例（即平衡度），当比例适宜时，其吸收利用率最大。该公式根据氨基酸营养评价的“模糊识别法”中“兰氏距离法”计算样品与标准蛋白中各氨基酸的贴近程度^[20-21]改进而来^[12]，计算公式如下 (公式 3)。为简化计算，这里“ k ”所指代的为一大类营养素，分别对能量物质 (3 种)、维生素 (13 种)、矿物质 (13 种)、氨基酸 (9 种) 进行计算，即 k 分别取“3”、“13”、“13”、“9”，最后取其平均值代表该种蔬菜的总 DB 值。

$$DB = 1 - \frac{1}{c_k^2} \sum_{i=1}^k \frac{|a_{ij} - u_{ij}|}{a_{ij} + u_{ij}} \quad (3)$$

其中， k ：蔬菜中参与计算的营养素种类； a_{ij} ：蔬菜中参与计算的任意两种营养素含量的比值； u_{ij} ：与

a_{ij} 对应的两种营养素 RNI 的比值。其中 a_{ij} 和 u_{ij} 的比值统一按照“低推荐量元素/高推荐量元素”的原则。

一般情况下，DB 值小于 1。DB 值越接近于 1 则表示蔬菜中所含营养素间的比例越符合人体生长需要，营养价值越高。DB 值最大为 1，“DB 值=1”表示蔬菜中各种营养素之间的比例完全符合人体需要，即与每日推荐摄入营养素之间的比值相同。

1.4.4 DD 值、DM 值和 DB 值的偏离度 为了直观地表示“三度”指数之间的关系，将 3 个指数进行偏离度计算，3 个指数的最理想值均为“1”，因此，将“偏离指数”定义为各指数偏离 1 的程度，如公式 4 所示：

$$\text{偏离指数} = |1 - DD| + |1 - DM| + |1 - DB| \quad (4)$$

当蔬菜完全符合“三度”定义的营养价值时，偏离指数为 0，值越大，偏离程度越大，最大偏离值为 3。

2 结果

2.1 多样性

计算结果显示，大白菜、菠菜、香菜、芥菜、芦笋、油菜、甘蓝、油麦菜、菜花（花椰菜）、芹菜、荠菜、生菜（叶用莴苣）、茼蒿、茴香、莴笋、大葱、洋葱、韭菜、黄瓜、番茄、西葫芦、苦瓜、辣椒、甜椒、白萝卜、胡萝卜、马铃薯、芸豆、豇豆、鱼腥草、马齿苋的 DD 值均为 0.929，营养素种类含量相同，而大蒜、茄子、水萝卜、芋头、姜、槐花、香椿的 DD 值为 0.905。根据以上数据，可以看出这些蔬菜种类的 DD 值相差不大，茎叶类、花菜类、瓜果类和鲜豆类蔬菜 DD 值相对较高，薯芋类和野生蔬菜类 DD 值相对较低，对于 DD 值相同的蔬菜可进一步比较其 DM 值和 DB 值，通过比较其营养素含量和各营养素之间的比例来进行排名。

2.2 匹配度

以大白菜、菠菜、香菜 3 种蔬菜为例，进行 DM 值的计算，见表 3。

按照此方法，计算所有蔬菜的 DM 值，再进行排序，见图 1。

按照排名，前 10 位的蔬菜 DM 值由大到小是：荠菜 > 香菜 > 菠菜 > 豇豆 > 茴香，甜椒 > 菜花（花椰菜），油菜，鱼腥草 > 茼蒿，茎（叶）菜、花菜类蔬菜 DM 值较高，茄果、根菜、薯芋类蔬菜 DM 值较低。

表 3 大白菜、菠菜和香菜的 DM 值计算

Table 3 The DM values of cabbage, spinach and coriander leaves

| 类别 Category | 营养素 Essential nutrient | 人均每日推 荐摄入量 RNI | 单位 Unit | 大白菜 Cabbage | | 菠菜 Spinach | | 香菜 Coriander leaves | |
|---------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | | | | 含量 Content (/100 g) | 百分比 Percentage (%) | 含量 Content (/100 g) | 百分比 Percentage (%) | 含量 Content (/100 g) | 百分比 Percentage (%) |
| 水 Water | 水 Water | 1700 | g | 94.6 | 5.56 | 91.2 | 5.36 | 90.5 | 5.32 |
| 能量物质 (3 种) Energy material | 蛋白质 Protein | 65 | g | 1.5 | 2.31 | 2.6 | 4.00 | 1.8 | 2.77 |
| | 脂肪 Fat | 25 | g | 0.1 | 0.40 | 0.3 | 1.20 | 0.4 | 1.60 |
| | 碳水化合物 Carbohydrate | 120 | g | 3.2 | 2.67 | 4.5 | 3.75 | 6.2 | 5.17 |
| 不饱和脂肪酸(2 种) Unsaturated fatty acid | 亚油酸 Linoleic acid (ω-6) | 4 | %E | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| | 亚麻酸 α-linolenic acid (ω-3) | 0.6 | %E | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| 矿物质元素 (13 种) Mineral | 钙 Calcium | 800 | mg | 50 | 6.25 | 66 | 8.25 | 101 | 12.63 |
| | 磷 Phosphorus | 720 | mg | 31 | 4.31 | 47 | 6.53 | 49 | 6.81 |
| | 钾 Potassium | 2000 | mg | 252 | 12.60 | 311 | 15.55 | 272 | 13.60 |
| | 钠 Sodium | 1500 | mg | 57.5 | 3.83 | 85.2 | 5.68 | 48.5 | 3.23 |
| | 镁 Magnesium | 330 | mg | 11 | 3.33 | 58 | 17.58 | 33 | 10.00 |
| | 铁 Iron | 12 | mg | 0.7 | 5.83 | 2.9 | 24.17 | 2.9 | 24.17 |
| | 锌 Zinc | 12.5 | mg | 0.38 | 3.04 | 0.85 | 6.80 | 0.45 | 3.60 |
| | 硒 Selenium | 60 | μg | 0.49 | 0.82 | 0.97 | 1.62 | 0.53 | 0.88 |
| | 铜 Copper | 0.8 | mg | 0.05 | 6.25 | 0.1 | 12.50 | 0.21 | 26.25 |
| | 锰 Manganese | 4.5 | mg | 0.15 | 3.33 | 0.66 | 14.67 | 0.28 | 6.22 |
| | 碘 Iodine | 120 | μg | NA | 0.00 | 10.23 ^[22] | 8.53 | 1.5 | 1.25 |
| | 氯 Chloride | 2200 | mg | 538 ^[23] | 24.45 | 315 ^[23] | 14.32 | NF ^[23] | — |
| | 钼 Molybdenum | 100 | μg | 9.57 ^[24] | 9.57 | 6.61 ^[24] | 6.61 | NF ^[24] | — |
| 维生素 (13 种) Vitamin | 维生素 A 原 Vitamin A | 800 | μg RAE | 20 | 2.50 | 487 | 60.88 | 193 | 24.13 |
| | 维生素 B1/硫胺素 Thiamin | 1.4 | mg | 0.04 | 2.86 | 0.02 | 1.43 | 0.04 | 2.86 |
| | 维生素 B2/核黄素 Riboflavin | 1.4 | mg | 0.05 | 3.57 | 0.09 | 6.43 | 0.14 | 10.00 |
| | 维生素 B3/烟酸 Niacin | 15 | mg NE | 0.6 | 4.00 | 0.6 | 4.00 | 2.2 | 14.67 |
| | 维生素 C/抗坏血酸 Ascorbic acid | 100 | mg | 31 | 31.00 | 32 | 32.00 | 48 | 48.00 |
| | 维生素 E Vitamin E | 14 | mg α-TE | 0.76 | 5.43 | 1.74 | 12.43 | 0.8 | 5.71 |
| | 维生素 D Vitamin D | 10 | μg | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 | 0 | 0.00 |
| | 维生素 K Vitamin K | 80 | μg | 80.82 ^[25] | 101.03 | 223.23 ^[25] | 279.04 | 348.27 ^[25] | 435.34 |
| | 维生素 B5/泛酸 Pantothenic acid | 5 | mg | NF | 0.00 | 0.345 ^[26] | 6.90 | NF | 0.00 |
| | 维生素 B6 Vitamin B6 | 1.4 | mg | 0.194 ^[27] | 13.86 | 0.008 ^[26] | 0.57 | 0.149 ^[27] | 10.64 |
| | 维生素 B7/生物素 Biotin | 40 | μg | NF | 0.00 | NF | 0.00 | NF | 0.00 |
| | 叶酸 Folate | 400 | μg DFE | 66 ^[27] | 16.50 | 194 ^[27] | 48.50 | 62 ^[27] | 15.50 |
| | 维生素 B12 Vitamin B12 | 2 | μg | 0 ^[27] | 0.00 | 0 ^[27] | 0.00 | 0 ^[27] | 0.00 |

续表 3 Continued table 3

| 类别 Category | 营养素 Essential nutrient | 人均每日推 荐摄入量 RNI | 单位 Unit | 大白菜 Cabbage | | 菠菜 Spinach | | 香菜 Coriander leaves | |
|------------------------------------|---------------------------|----------------------|------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | | | | 含量 | 百分比 | 含量 | 百分比 | 含量 | 百分比 |
| | | | | Content (/100 g) | Percentage (%) | Content (/100 g) | Percentage (%) | Content (/100 g) | Percentage (%) |
| 必需氨基酸（9 种） Essential amino acid | 组氨酸 Histidine | 600 | mg | 21 | 3.50 | 56 | 9.33 | 40 | 6.67 |
| | 异亮氨酸 Isoleucine | 1200 | mg | 37 | 3.08 | 100 | 8.33 | 82 | 6.83 |
| | 亮氨酸 Leucine | 2340 | mg | 55 | 2.35 | 182 | 7.78 | 132 | 5.64 |
| | 赖氨酸 Lysine | 1800 | mg | 55 | 3.06 | 147 | 8.17 | 104 | 5.78 |
| | 甲硫氨酸/蛋氨酸 Methionine | 1020 | mg | 13 | 1.27 | 18 | 1.76 | NA | — |
| | 苯丙氨酸 Phenylalanine | 1140 | mg | 49 | 4.30 | 108 | 9.47 | 66 | 5.79 |
| | 苏氨酸 Threonine | 900 | mg | 41 | 4.56 | 114 | 12.67 | 85 | 9.44 |
| | 色氨酸 Tryptophan | 240 | mg | 12 | 5.00 | 36 | 15.00 | 24 | 10.00 |
| | 缬氨酸 Valine | 1560 | mg | 53 | 3.40 | 120 | 7.69 | 105 | 6.73 |
| 膳食纤维 Dietary Fiber | 膳食纤维 Dietary Fiber | 25 | g | 0.8 | 3.20 | 1.7 | 6.80 | 1.2 | 4.80 |
| K 值 | | | | 39 | | 39 | | 39 | |
| DM 值 | | | | 0.078 | | 0.177 | | 0.192 | |

“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
“NA” means that the substance is present, but no specific data is found; “NF” means that the substance is not found; the recommended amount of amino acid is 60kg body weight for adults

此排名可以看出各蔬菜营养素含量的高低，但是这里需要注意的是，DM 值只是各蔬菜营养素含量的平均值，如果有需要，可以将蔬菜中各营养素的含量与 RNI 的比值进行比较，得出各营养素含量的排名，便于有特殊需求的人群选择适宜的蔬菜。以维生素 A 为例，图 2 为各蔬菜中维生素 A 含量的排名。相同地，还可以列出其他 12 种维生素含量的排名，医院可根据病人的临床需要进行合理的膳食搭配，通过食疗辅助治疗。

2.3 平衡度

以菠菜为例，计算 3 种能量物质的平衡度。

将 a_{ij} 和 u_{ij} 代入公式 3 即可求出菠菜能量物质的 DB 值，为 0.879。按照同样的方法，可求出菠菜 13 种矿物质和 9 种氨基酸的 DB 值分别为 0.668、0.744。由于未查到菠菜中生物素的含量，所以这里只计算了 12 种维生素的 DB 值为 0.049。最后取平均值，得到菠菜的总 DB 值为 0.670。

由于部分蔬菜中缺乏氯、钼、硒、生物素、泛酸等的数据，所以这部分蔬菜在计算时以已知含量数据的营养素为主，但是根据结果显示，个别营养素的数值对整

表 4 菠菜中 3 种能量物质的含量及其 RNI
Table 4 The contents and RNI values of three kinds of energy materials in spinach

| | 单位 Unit | 能量物质 Energy material | | |
|----------------|------------|-----------------------|----------------|-----------|
| | | 碳水化合物 Carbohydrate | 蛋白质 Protein | 脂肪 Fat |
| | | | | |
| 推荐摄入量 (RNI) | g/day | 120 | 65 | 25 |
| 菠菜 Spinach | g/100 g | 4.5 | 2.6 | 0.3 |

表 5 菠菜中 3 种能量物质的 a_{ij} 和 u_{ij} 值
Table 5 The a_{ij} and u_{ij} values of three kinds of energy materials in spinach

| a_{ij} | u_{ij} | 碳水化合物 Carbohydrate | 蛋白质 Protein | 脂肪 Fat |
|-----------------------|----------|-----------------------|----------------|-----------|
| | | | | |
| 碳水化合物 Carbohydrate | — | 0.542 | 0.208 | |
| 蛋白质 Protein | 0.578 | — | 0.385 | |
| 脂肪 Fat | 0.067 | 0.115 | — | |

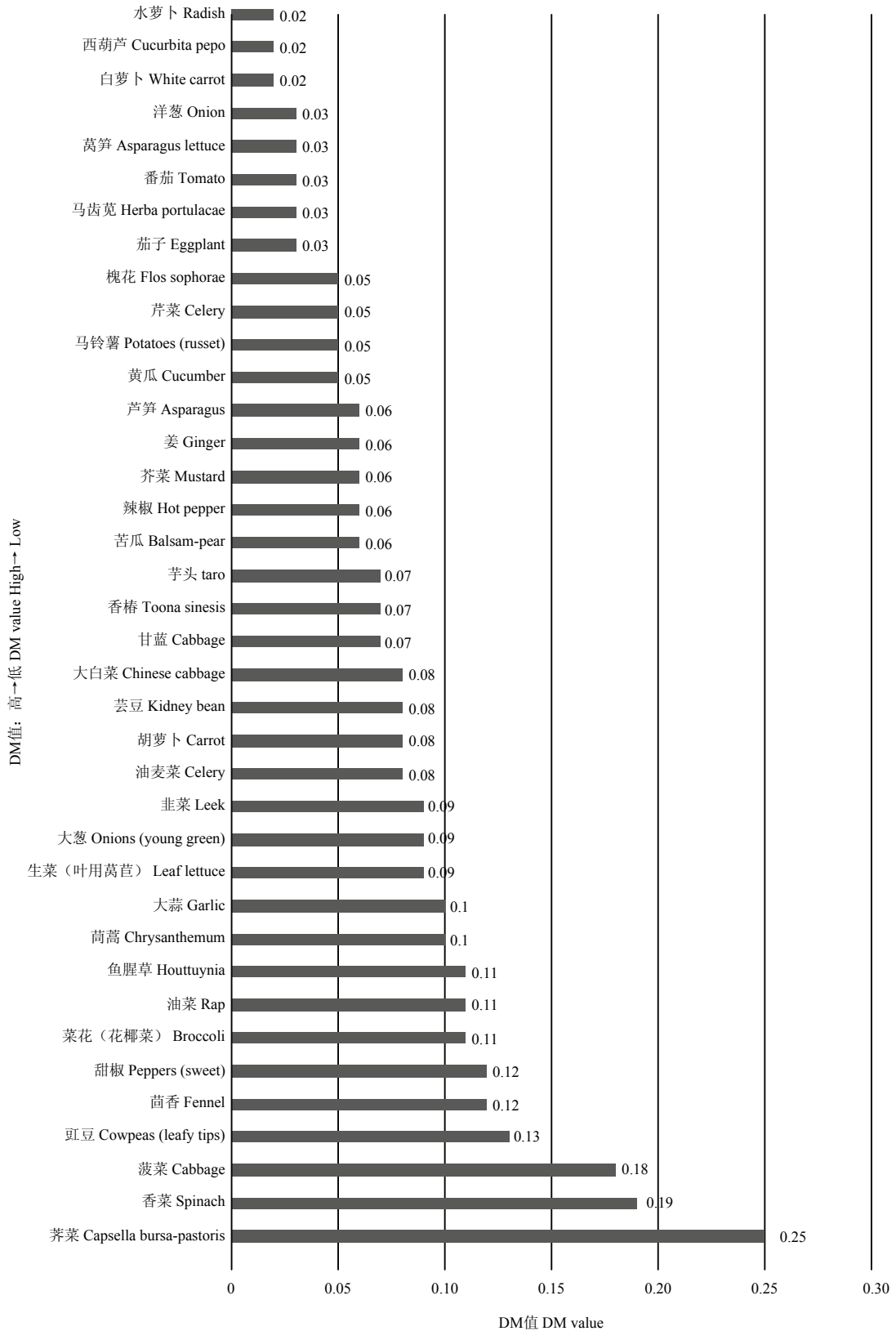


图 1 蔬菜 DM 值及排名
Fig. 1 The DM values and ranking of vegetables

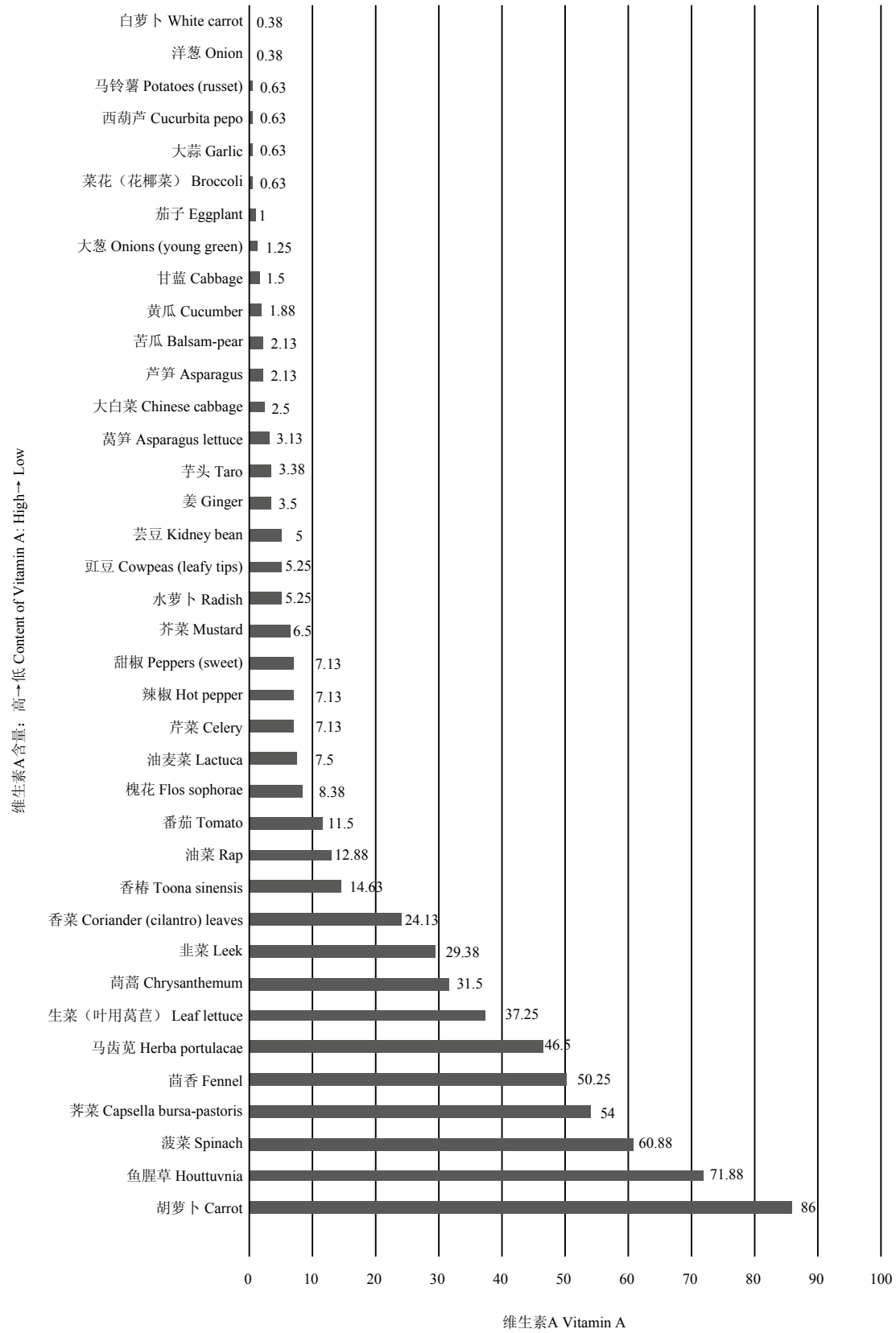


图 2 维生素 A 含量排名

Fig. 2 The contents ranking of Vitamin A

体 DB 值影响不大。由于油麦菜、西葫芦、水萝卜、芸豆、槐花、鱼腥草、马齿苋、蒲公英叶缺乏较多数据，所以没有进行排名，其他蔬菜的 DB 值与排名见图 3。

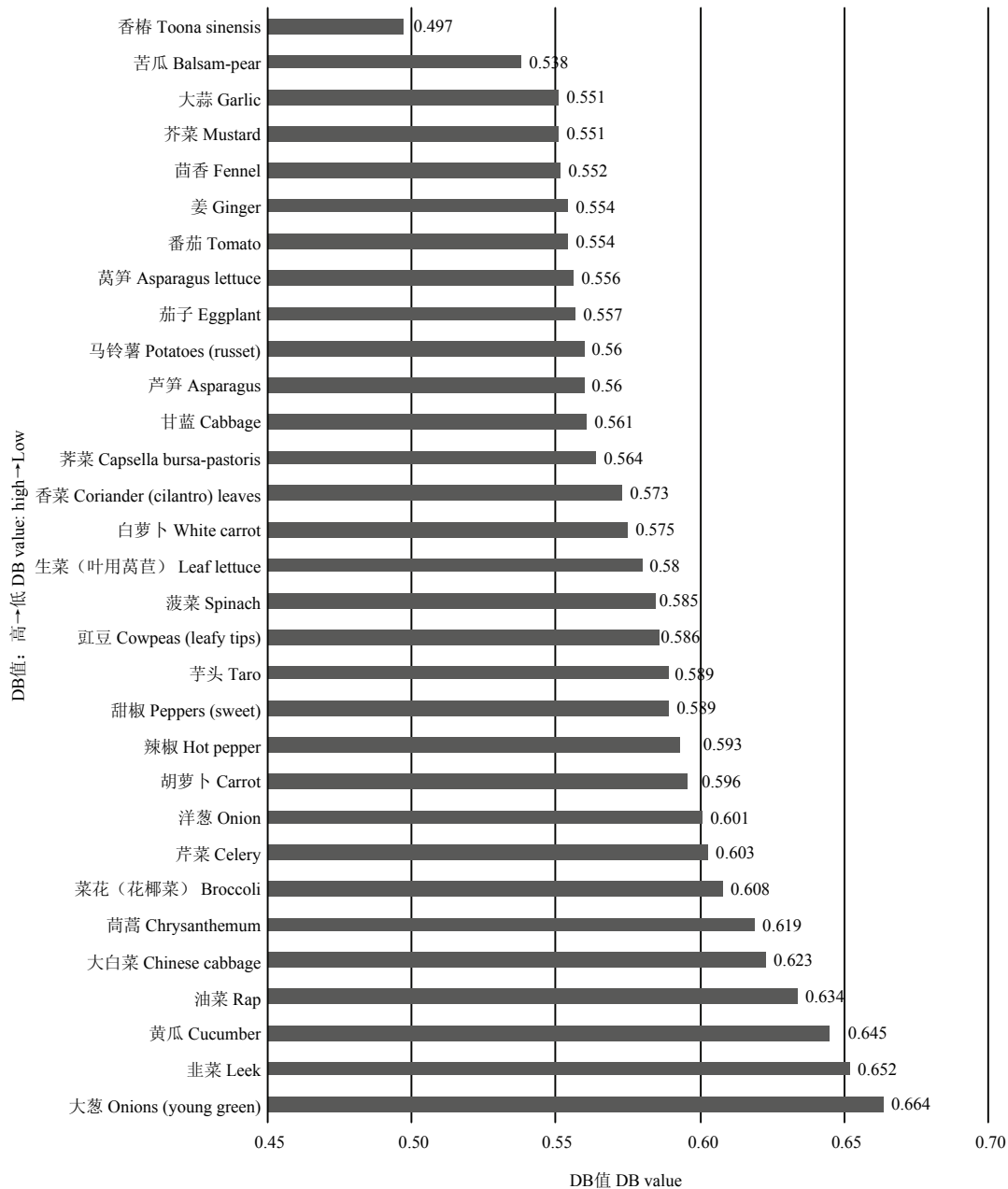


图 3 蔬菜 DB 值及其排名
Fig. 3 The DB values and ranking of vegetables

按照排名，前 10 位的蔬菜 DB 值由大到小是：大葱>韭菜>黄瓜>油菜>大白菜>茼蒿>菜花（花椰菜）>芹菜>洋葱>胡萝卜，花菜类和葱蒜类蔬菜 DM 值相对较高；茎、叶类蔬菜 DM 值大小不一，其中大白菜、油菜、芹菜、茼蒿 DM

值较高，芥菜、莴苣、莴笋、茴香 DM 值较低；薯芋类 DM 值较低。
根据 DM 值和 DB 值的蔬菜排名比较可以得出，DM 值高的蔬菜，其 DB 值不一定高，表明这些蔬菜只是部分营养素含量较高，而一些营养素含量较低，

例如芥菜、茴香；相同地，DB 值高的蔬菜，其 DM 值不一定高，表明这些蔬菜营养素之间的比例较接近人体需要，但营养素含量普遍较低，例如黄瓜、芹菜、洋葱。DM 值和 DB 值均较高，表明该种蔬菜营养素含量较高，比例适合，例如油菜和菜花（花椰菜）；

相反，DM 值和 DB 值均较低，表明该种蔬菜营养素含量低，比例不适合。

2.4 DD 值、DM 值和 DB 值的偏离度

根据定义，其计算结果及排名（偏离指数由小到大）如图 4 所示。

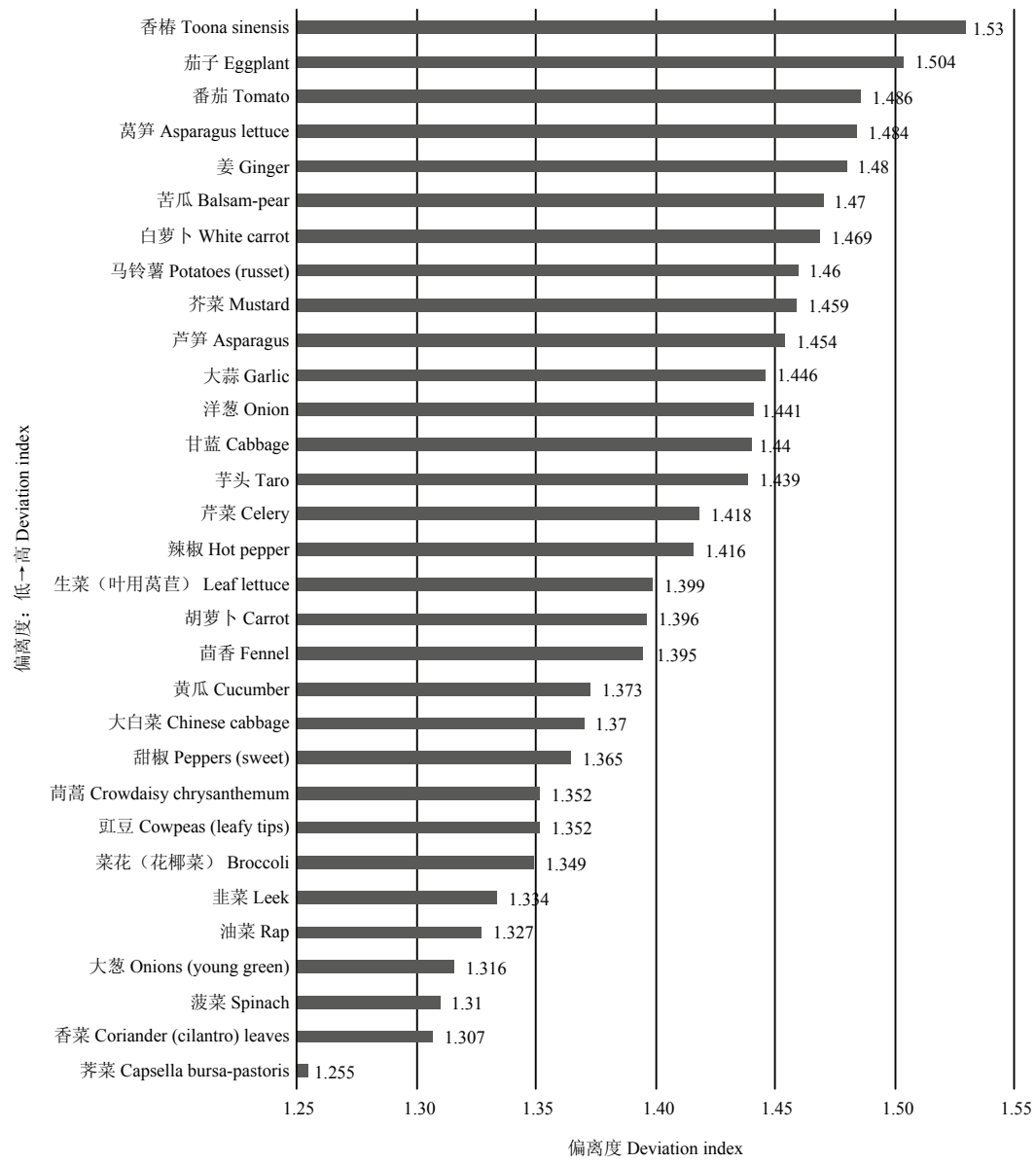


图 4 蔬菜“三度”偏离度及排名

Fig. 4 The variation degree of “Three Degree” and ranking of vegetables

结果显示，茎菜类、叶菜类、花菜类偏离指数最小，但是茎（叶）类蔬菜中芥菜、芦笋、莴苣的偏离指数较大，而芦笋在国际上被称为“蔬菜之王”，在此排名中却只处于中间，根据原始数据分析原因，一

是其部分营养素的含量偏低，例如芦笋中钙、钠、维生素 A 原的含量分别为 10 mg/100 g，3.1 mg/100 g，17 mg/100 g，仅分别为芥菜含量的 1/3、1/10、1/4，导致 DB 值不高；二是虽然芦笋氨基酸种类丰富，但

是含量普遍较低,从而导致氨基酸的 DM 值不高,最终导致芦笋排名不突出。此排名中少数葱蒜类、鲜豆类蔬菜偏离指数偏小;瓜菜类蔬菜中,苦瓜等蔬菜偏离指数偏大、黄瓜等蔬菜偏小;茄子等少数茄果类和野生蔬菜类偏离指数偏大;茄果类的辣椒,根菜类、薯芋类蔬菜的偏离指数最大。根菜类的胡萝卜营养价值排名与实际观念不符,是因为其钠、维生素 A 含量显著高于普通蔬菜,分别为 741.4 mg/100 g, 688 mg/100 g,而其他营养素含量相差不大,导致 DB 值偏低,最终导致偏离指数较大。芥菜营养价值最高,香椿营养价值最低。通过偏离指数排名,可以直观地反映“三度”指数的总体情况,不需要进行每一个指数的对比,更直观方便。对于没有时间做长期饮食规划又想保证营养素摄入充足的人群,可以根据偏离指数直接选择排名靠前的蔬菜。目前认为“三度”指数的每一个指数的重要性都一样,“偏离度”是综合评价 3 个指数的指标,根据“偏离度”可得到蔬菜的综合营养评价排名。

3 讨论

“三度法”是评价蔬菜营养价值的一种新方法,它综合考虑了蔬菜中营养素的种类、含量和比例,给出了不同评价指标的排名。DD 值是对蔬菜营养素种类的一个简单评估,需要结合 DM 值和 DB 值进一步分析。需要注意的是,这里计算的 DM 值是现有的所有营养素的平均值,这是定量分析,而不是定性分析,因为部分含量过多的营养素可能会使 DM 值偏高,这时就需要引入“平衡度”的概念——即 DB 值。DB 值是定性分析,无论营养素偏高或者偏低都会拉低 DB 值,大部分情况下,需要将两者结合使用。最后引入一个“偏离度”的概念,将“三度”的 3 个指标结合到一起,通过一个数值对蔬菜的营养价值进行综合排名,简化了营养评价模型。各指标的代表意义各不相同,“偏离度”是 3 个指标的综合评价。

在朱丽等^[28]对深圳市主食蔬菜的营养价值评价中,除野生蔬菜类外,茎菜类、叶菜类和花菜类的营养价值最高,鲜豆类和葱蒜类的营养价值比较高,茄果、瓜菜类营养价值因品种相差较大,根菜和薯芋类营养价值最低,与本研究结果一致。但是,在朱丽的评价结果中,野生蔬菜的营养价值最高,而本研究中的野生蔬菜营养价值却偏低。分析原因如下,以香椿为例,虽然其 DD 值和 DM 值较高,但是其 DB 值很

低,表明香椿所含营养素之间的比例不符合人体需要,从而导致其综合排名较低。本研究的评价方法将营养素的均衡性纳入考虑,避免了单一营养素含量过高影响最终营养评分。

该方法的应用还存在一定的局限性,部分蔬菜的营养价值排名可能与传统意识上的高营养价值蔬菜不符,是因为该评价方法的标准是营养素含量和比例的综合值,任何一种营养素的含量偏低,或者过高,都会影响其综合排名,因此为了更科学地评价各种蔬菜的营养价值,后期还需考虑有特殊贡献率的蔬菜,增加相应的权重。其次,因为蔬菜中营养素的吸收还受蔬菜的烹饪方式和人体消化吸收利用率的影响,要想计算人体吸收利用的营养素含量,还需要更多的科学数据。有关试验证明,蔬菜在蒸制 1 min 时或在 150—180℃下炒制 1—2 min 时,其营养品质较好。可以较好地保留蔬菜中的营养成分^[29]。但是关于蔬菜中营养素的吸收利用率还有待研究,基于细胞模型^[30]和代谢组学方法在食物营养价值评价中的应用将为营养评价提供更可靠的依据^[31]。此外,人们平时饮食大多都是混合模式,该方法目前只是对生蔬菜、水果进行验证,如果想要应用到人们的日常饮食中,还需要对其他种类的食物以及烹饪后的食物进行验证。

蔬菜作为健康饮食的重要组成部分,利用“三度”指标对各蔬菜所含营养素进行分析,有利于消费者更好地掌握各种蔬菜的营养信息。本研究选取 38 种常见蔬菜,计算得出各蔬菜的“三度”指标和营养排名,消费者可以直接选择营养价值较高的蔬菜,也可通过对比和相关营养建议合理地搭配蔬菜,重新构建营养素含量高、营养均衡的膳食组合。“三度法”在实际应用中有很强的扩展性,在计算“匹配度”(DM 值)时,包含每种蔬菜的每一种营养素符合其 RNI 的情况,可根据不同营养素对 RNI 的满足情况进行排名,得出蔬菜各营养素含量的排名。因此,人们可根据不同的需要,选择某种营养素含量较高的蔬菜,或者将几种不同营养素含量的蔬菜进行合理搭配,形成不同的配餐方案。此外,医护人员也可根据蔬菜营养素含量的排名,为有临床需要的病人选择合适的蔬菜。蔬菜的综合营养价值排名还有利于农业育种中营养蔬菜品种的选择,增加营养全能型蔬菜的选育。

饮食均衡不可能单靠某一种食物维持,要想达到身体健康必须多种食物合理搭配食用,FERN 等^[5]在研究营养平衡概念(NBC)的试验中表示,单一食物的平均营养素平衡度(NB 值)为(59±22)%,混合

食物为 $(87\pm 7)\%$, 而一天摄入食物的平均 NB 值为 $(92\pm 3)\%$ 。该研究结果表明, 混合膳食更易达到营养素均衡。当前已有较多的模型应用于日常营养配餐^[32-34], 基于相似的原理, 该计算方法也有望应用于评价现有的混合膳食模式。随着现代研究的不断深入, 对各营养素的推荐摄入量标准会不断精确, 对蔬菜中各种营养素的测量方法也会不断完善, 使“三度”排名更有说服力。同时, 未来发现的任何一种有效营养素也可直接加入到本方法中。对于认为某种与人体慢性病有关的营养素^[35], 或存在特殊作用关系的营养素^[36], 可以在计算 DB 值时乘以相应的权重系数, 使评价方法更贴合人体的需求。在该方法逐渐成熟之后, 也可应用于营养点餐系统的设计与实现^[37]。各地方政府可建立当地相应的蔬菜营养素数据库, 结合当地情况, 给出相应的膳食指南。在解决营养健康问题上, 不可以偏概全, 要结合不同人群的身体健康状况“精准饮食”, 对于老人、小孩、孕妇、素食主义者等不同人群, 应使用相应的膳食营养素推荐量进行计算; 对于临床病人, 可根据相关医护人员的推荐合理地选择膳食。

4 结论

根据“多样性”得出, 各种蔬菜所含营养素种类相差不大, 茎菜类、叶菜类、花菜类、瓜果类和鲜豆类蔬菜所含营养素种类多于薯芋类和野生蔬菜类; 根据“匹配度”得出茎菜、叶菜、花菜类蔬菜营养素含量较高, 茄果、根菜、薯芋类蔬菜营养素含量较低; 根据“平衡度”得出花菜类和葱蒜类蔬菜营养素比例更符合人体需要, 茎叶类蔬菜 DM 值大小不一, 各营养素之间的比例不一, 其中大白菜、油菜、芹菜、茼蒿 DM 值较高, 芥菜、茼蒿、莴笋、茴香 DM 值较低, 薯芋类各营养素之间的比例与人体相差较大; 最后根据“偏离指数”得出蔬菜营养价值的综合排名, 茎叶类、花菜类偏离指数最小, 少数葱蒜类、鲜豆类蔬菜偏离指数较小, 瓜菜类蔬菜中, 苦瓜等偏离指数偏大, 黄瓜等偏小, 茄子等少数茄果类和野生蔬菜类偏离指数较大, 根菜类、薯芋类蔬菜的偏离指数最大, 就一般人群的营养需求而言, 芥菜营养价值最高, 香椿营养价值最低。该评价方法的评价指标比以往蔬菜营养分析模型更全面, 增加了各营养素之间的比例, 避免了单一营养素含量影响总体评分的现象, 为企业和消费者提供了新的蔬菜营养价值分析方法。

References

- [1] ZHANG N, DU S M, MA G S. Current lifestyle factors that increase risk of T2DM in China. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2017, 71(7): 832. doi: 10.1038/ejcn.2017.41.
- [2] 朱圣陶, 于守洋. 食物的营养质量指数评价. *食品科学*, 1987(9): 1-4.
ZHU S T, YU S Y. The evaluation of nutritional quality index of food. *Food Science*, 1987(9): 1-4. (in Chinese)
- [3] 张坚, 赵文华, 陈君石. 营养素质量表——一个新的食物营养评价指标. *营养学报*, 2009, 31(1): 1-5. doi: 10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2009.01.003
ZHANG J, ZHAO W H, CHEN J S. Nutrient profiling—A new food nutrition evaluation index. *Journal of Nutrition*, 2009, 31(1): 1-5. doi: 10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2009.01.003. (in Chinese)
- [4] 张立实. 营养素质量表——一种食物营养评价的新方法//四川省营养学会//四川省营养学会第六届会员代表大会暨四川省中青年专家学术大会营养与食品安全分会场学术会资料汇编. 四川省营养学会, 2009: 9.
ZHANG L S, WU T, YANG Y X. Nutrient Profiling—A new method of food nutrition evaluation//Sichuan Nutrition Society. Sichuan Nutrition Society 6th Member Representative Conference and Sichuan Young and Middle-aged experts Conference on Nutrition and Food Safety. Sichuan Nutrition Society, 2009: 9. (in Chinese)
- [5] FERN E B, WATZKE H, BARCLAY D V, ROULIN A, DREWNOWSKI A. The nutrient balance concept: A new quality metric for composite meals and diets. *PLoS ONE*, 2015, 10(7). doi: 10.1371/journal.pone.0130491.
- [6] DARMON N, DARMON M, MAILLOT M, DREWNOWSKI A. A nutrient density standard for vegetables and fruits: Nutrients per calorie and nutrients per unit cost. *Journal of the American Dietetic Association*, 2005, 105(12): 1881-1887.
- [7] DREWNOWSKI A. Defining nutrient density: Development and validation of the nutrient rich foods index. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(4): 421S-426S. doi: 10.1080/07315724.2009.10718106.
- [8] AZAÏSBRAESCO V, GOFFI C, LABOUZE E. Nutrient profiling: comparison and critical analysis of existing systems. *Public Health Nutrition*, 2006, 9(5): 613.
- [9] 李艳平, 马冠生. 蔬菜、水果的营养与健康. *中国食物与营养*, 2002(2): 43-45.
LI Y P, MA G S. The nutrition and health of vegetables and fruit. *Food and Nutrition in China*, 2002(2): 43-45. (in Chinese)
- [10] 廖显珍. 常见蔬菜的营养成分及营养质量指数评价. *中国食物与*

- 营养, 1997(1): 23-25.
- LIAO X Z. The nutrient component and nutritional quality index of common vegetables. *China Food and Nutrition*, 1997(1): 23-25. (in Chinese)
- [11] 庄建平. 综合评估蔬菜营养价值的两种方法. *上海蔬菜*, 1992(4): 33.
- ZHANG J P. Two comprehensive methods to evaluate the nutritional value of vegetables. *Shanghai vegetables*, 1992(4): 33. (in Chinese)
- [12] 张爱霞, 刘晓东, 王桂荣, 李珊珊, 王慧军. 一种新型农产品营养评价方法技术的构建. *食品科学*, 2013, 34(19): 356-359.
- ZHANG A X, LIU X D, WANG J R, LI S S, WANG H J. A new nutritional evaluation method for agricultural products. *Food Science*, 2013, 34(19): 356-359. (in Chinese)
- [13] 刘哲, 何莎莎, 陆柏益, 周志钦. 果品营养价值“三度”评价法. *园艺学报*, 2018, 45(4): 795-804. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0648.
- LIU Z, HE S S, LU B Y, ZHOU Z Q. On ‘Three Degree’ method for the evaluation of the fruit nutritive values. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45(4): 795-804. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2017-0648. (in Chinese)
- [14] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表. 第2版. 北京: 北京大学医学出版社, 2009: 91-101.
- YANG Y X, WANG G Y, PAN X C. *China Food Composition*. 2nd. Beijing: Peking University Medical Press, 2009: 91-101. (in Chinese)
- [15] NICKLAS T A. Nutrient profiling: The new environment. *Journal of the American College of Nutrition*, 2009, 28(4): 416S. doi: 10.1080/07315724.2009.10718105.
- [16] DREWNOWSKI A, FULGONI V. Nutrient profiling of foods: Creating a nutrient-rich food index. *Nutrition Reviews*, 2008, 66(1): 23-39.
- [17] 周昇昇, 李磊, 张丁, 张书芳. 一种新的食物营养评价指数的初步建立和应用. *营养学报*, 2014, 36(1): 63-68. doi: 10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2014.01.016.
- ZHOU S S, LI L, ZHANG D, ZHANG S F. Development and application of a new food nutrition evaluation index. *ACTA Nutrimenta SINICA*, 2014, 36(1): 63-68. doi: 10.13325/j.cnki.acta.nutr.sin.2014.01.016. (in Chinese)
- [18] DREWNOWSKI A, MAILLOT M, DARMON N. Should nutrient profiles be based on 100 g, 100 kcal or serving size?. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 63(7): 898-904.
- [19] TETENS I, OBERDÖRFER R, MADSEN C, DEVRIES J. Nutritional characterisation of foods: Science-based approach to nutrient profiling. *European Journal of Nutrition*, 2007, 46: 4-14. (in Chinese)
- [20] 李跃森, 吴水金, 赖正锋, 张少平. 8 种原生蔬菜氨基酸组成及营养评价. *福建农业报*, 2013, 28(10): 1007-1011. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2013.10.015.
- LI Y S, WU S J, LAI Z F, ZHANG S P. Amino acid composition and nutrition evaluation for eight original ecology grown vegetable species. *Fujian Journal of Agriculture Sciences*, 2013, 28(10): 1007-1011. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2013.10.015. (in Chinese)
- [21] 钱爱萍, 林虬, 余亚白, 颜孙安, 林香信, 姚莘. 闽产柑橘果肉中的氨基酸组成及营养评价. *中国农学通报*, 2008, 24(6): 86-90.
- QIAN A P, LIN Q, YU Y B, YAN S A, LIN X X, YAO X. The content of amino acid in the flesh of oranges produced in Fujian province and its nutritive evaluation. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(6): 86-90. (in Chinese)
- [22] 张攀. 不同水碘地区食物碘含量调查[D]. 天津: 天津医科大学, 2015.
- ZHANG P. Investigation on food iodine content in different water iodine areas [D]. Tianjin: Tianjin Medical University, 2015. (in Chinese)
- [23] 潘如圭, 宋佩扬, 管建国, 潘秀琴. 南京市 20 种蔬菜氟、硫、氯元素含量研究. *农村生态环境*, 1995(3): 26-30.
- PAN R G, SONG P, JIN J G, PAN X Q. Study on the contents of fluoride, sulfur and chlorine in 20 kinds of vegetables in Nanjing. *Rural Ecological Environment*, 1995(3): 26-30. (in Chinese)
- [24] 陈辉, 金铃和, 胡雪艳, 彭涛, 常巧英, 范春林. 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*, 2016, 37(19): 276-283.
- CHEN H, JIN L H, HU X Y, PENG T, CHANG Q Y, FAN C L. Determination of 40 elements in main fruits and vegetables in Beijing by ICP-MS. *Food Industry Technology*, 2016, 37(19): 276-283. (in Chinese)
- [25] 王晓红, 周波, 肖金. 沈阳市市售蔬菜中维生素 K1 的含量. *营养学报*, 2008(5): 528-529.
- WANG X H, ZHOU B, XIAO J. Content of vitamin K1 in vegetables marketed in Shenyang city. *Journal of Nutrition*, 2008(5): 528-529. (in Chinese)
- [26] 刘莉, 张斌, 余德琴. 蔬菜营养学. 天津: 天津大学出版社, 2014.
- LIU L, ZHANG B, YU D Q. *Vegetable Nutrition*. Tianjin: Tianjin University Press, 2014. (in Chinese)
- [27] United States Department of Agriculture's National Nutrient Database for Standard Reference Release 28;2016
- [28] 朱丽, 彭祖茂, 张协光, 赖晓芳, 杨国武. 深圳市主食蔬菜种类调查及其营养价值评价. *广东农业科学*, 2016, 43(1): 34-39. doi: 10.16768/j.issn.1004-874x.2016.01.007.
- ZHU L, PENG Z M, ZHANG X G, LAI X F, YANG G W.

- Investigation and nutritional assessment of staple vegetables in Shenzhen. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2016, 43(1): 34-39. doi: 10.16768/j.issn.1004-874x.2016.01.007. (in Chinese)
- [29] 戚浩或. 烹饪对蔬菜中功能成分及其营养评价的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- QI H Y. Effects of cooking on functional component and nutrition assessment. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [30] 黄璐瑶, 梁鹏. 基于 Caco-2 细胞模型评价食品营养物质的研究进展. *农产品加工*, 2018(6): 63-68. doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X). 2018.03.044
- HUANG L Y, LIANG P. Review on evaluation of food nutrients based on Caco-2 cell mode. *Farm Products Processing*, 2018(6): 63-68. doi: 10.16693/j.cnki.1671-9646(X).2018.03.044. (in Chinese)
- [31] 陈斌. 代谢组学方法在食品营养价值评价中的应用//中国研究型医院学会营养医学专业委员会、中国营养学会营养转化医学分会、中国人民解放军营养医学专业委员会. 2017 中国营养医学发展论坛暨全军营养医学大会论文汇编. 中国营养学会, 2017:1.
- CHEN B. Application of metabolic method in the food nutrition evaluation//Society for Nutrition and Medicine, Chinese Research Hospital Association/Nutrition Transformation Medicine Branch of Chinese Nutrition Society, Society for Nutrition and Medicine of the Chinese People's Liberation Army. Compilation of Chinese Nutrition Medical Development Forum and Military Conference on Nutrition Medicine. China Nutrition Society, 2017: 1. (in Chinese)
- [32] 姜鹏宇, 张敬普. 基于营养评价算法配餐系统的研究. 科技风, 2010(18): 214. doi: 10.19392/j.cnki.1671-7341.2010.18.194.
- LOU P Y, ZHANG J P. The study of diet recommendation system based on nutrition evaluation algorithm. *Technology Wind*, 2010(18): 214. doi: 10.19392/j.cnki.1671-7341.2010.18.194. (in Chinese)
- [33] 丁冰. 基于模糊数学模型的食物营养评价系统设计. *饮食科学*, 2017(8): 42.
- DING B. Food nutrition evaluation system design based on fuzzy mathematical model. *Diet Science*, 2017(8): 42. (in Chinese)
- [34] 陈素羨, 刘辉, 程治国. 基于 JSP 的营养评价专家系统的设计与实现. *科学大众*, 2008(2): 107. doi: 10.16728/j.cnki.kxdz.2008.02.010.
- CHEN S X, LIU H, CHENG Z G. Design and implementation of nutrition evaluation expert system. *Scientific public*, 2008(2): 107. doi: 10.16728/j.cnki.kxdz.2008.02.010. (in Chinese)
- [35] PAN A, LIN X, HEMLER E, HU F B. Diet and cardiovascular disease: Advances and challenges in population-based studies. *Cell Metabolism*, 2018, 27(3): 489-496. doi: 10.1016/j.cmet.2018.02.017.
- [36] 林漓. 食物中矿物质的相互作用. *国外医学情报*, 1984(21): 373-375.
- LIN L. The interaction of minerals in food. *Foreign Medical Information*, 1984(21): 373-375. (in Chinese)
- [37] 姜鹏宇. 基于健康饮食的点餐系统的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- LOU P Y. The design and accomplishment of ordering system based on healthy diet [D]. Xi'an: Xidian University, 2009. (in Chinese)

(责任编辑 赵伶俐)