

Application of Analytic Hierarchy Process on Nutritional Evaluation of Cooked Vegetables

Yue Han¹, Ruixin Zhu², Lu Wang², Zhihong Fan^{2*}

¹College of Biological Sciences, China Agricultural University, Beijing

²College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing

Email: hanyue@cau.edu.cn, *daisyfan@cau.edu.cn

Received: Feb. 9th, 2018; accepted: Feb. 21st, 2018; published: Feb. 28th, 2018

Abstract

The application of Analytic Hierarchy Process in nutritional profiling of domestic processed vegetables was explored. In the case of steamed and blanched spinach, based on the weight coefficient assignment developed by Delphi method and the determined retentions of nutrients, a hierarchical structure model was established for people of chronic disease prevention oriented (A1) and people of nutrient deficiency prevention oriented (A2), respectively. The result suggested that steaming was better than blanching. The spinach steamed for 3.0 min and 7.5 min was the best cooking treatment for Goal A and Goal B, respectively. The nutritional evaluation scoring system can be applied to both domestic and commercial food processing and adapted to different nutrition goals.

Keywords

Analytic Hierarchy Process, Domestic Preparation, Vegetables, Spinach, Nutrients

层次分析法在烹调蔬菜营养评价中的应用

韩悦¹, 朱瑞欣², 王璐², 范志红^{2*}

¹中国农业大学生物学院, 北京

²中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京

Email: hanyue@cau.edu.cn, *daisyfan@cau.edu.cn

收稿日期: 2018年2月9日; 录用日期: 2018年2月21日; 发布日期: 2018年2月28日

*通讯作者。

摘要

探索层次分析法用于蔬菜烹调综合营养评价的可行性。分别以预防慢性病(A1)和预防营养素不足(A2)为评价目标,以汽蒸和水焯菠菜的实测营养成分保存率为烹调实例,通过Delphi专家问询法确定权重赋值,构建层次结构。结果表明,汽蒸烹调的综合营养评分高于水焯烹调。对预防慢性病目标来说,汽蒸3.0 min为最佳烹调处理;而从预防营养不足角度讲,汽蒸7.5 min为最佳烹调处理。本研究中建立的营养价值评分模式可以应用于食物烹调加工处理的综合营养评价,且适用于不同的营养目标。

关键词

层次分析法, 家庭烹调, 蔬菜, 菠菜, 营养成分

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

绿叶蔬菜不仅可提供维生素 C、维生素 B₂、维生素 K₁、钾等营养素,还富含类胡萝卜素、类黄酮等保健成分,有利于预防多种慢性疾病[1] [2]。在我国,这类蔬菜一般在烹调之后食用,而烹调方法会对其中的营养素、植物化学物、抗营养物质和热量值产生一定影响。焯煮可能造成水溶性营养素的损失[3] [4],但有利类胡萝卜素的保存和利用[5];蒸制有利于保存水溶性营养成分,但去除草酸的效率较低[6];油炒有利于多种抗氧化成分的保存[7],但会引入较多脂肪,不利控制体重。仅考虑少数营养素和保健成分的变化,很难对营养价值整体进行综合评价。

营养学度量法(Nutrient Profiling 系统)综合评价了食物中多种营养素的分布[8],但不能反映各类人群对食物营养需求的差异性。层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是 Saaty 等[9]在 20 世纪 70 年代提出的一种将定性分析与定量分析相结合的多准则决策分析法,可以针对不同人群的营养目标构建评分指标体系,并对多项指标进行综合评价,在管理科学与工程专业的应用已相当广泛,但在营养评价方面的应用国内外只有少数报道[10] [11]。

本研究拟用层次分析法设定两类营养目标,以菠菜(*Spinacia oleracea* L.)的不同烹调工艺为例,结合实际测定结果对层次分析法在食物烹饪营养综合评价中的应用价值进行探讨。

2. 材料与方法

2.1. 材料与仪器

新鲜菠菜(*Spinacia oleracea* L./夏播王 F1-188 杂交一代)于 2015 年秋季购自北京市金五星菜市场。

维生素 K₁(纯度 > 98%)、TRO、 α -胡萝卜素(纯度 > 95%)、 β -胡萝卜素(纯度 > 97%)、叶黄素(纯度 > 99%)为分析纯, Sigma 公司; 硫脲、2,4-二硝基苯肼、三水合乙酸钠、亚硝酸钠、硝酸钾、对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺、磺基水杨酸、氯化钾、FeCl₃·6H₂O、抗坏血酸、福林-酚试剂、芦丁、香草醛、没食子酸、儿茶素为分析纯,北京化学试剂厂; 甲醇、正己烷、乙腈为色谱纯,北京化学试剂厂。

LC-20AD 高效液相色谱系统,日本岛津公司; Synergy 多功能酶标仪,美国伯腾仪器有限公司; 5200

紫外分光光度计, 上海元析仪器有限公司; SHA-B 水浴恒温振荡器, 国华公司; HD9120 电蒸锅, 荷兰飞利浦公司; 汤锅, 电磁炉等。

2.2. 试验方法

2.2.1. 蔬菜的烹调方法

将菠菜除去不可食部分并于流水下洗净后用纱布擦干多余水分, 选择大小较为均匀的菠菜, 自叶片与叶柄连接处切开。

1) 水焯处理。向汤锅中加入 500 mL 沸水, 置于电磁炉上烧至水再次沸腾。然后将称好的 50 g 菠菜放于锅中, 盖上锅盖。待水再度沸腾时, 计时, 烹调时间为 0.5、1.0、2.0 和 3.0 min。到达规定时间后, 迅速将菠菜从锅中夹出, 冷却方法同汽蒸处理。

2) 汽蒸处理。将电蒸锅的水箱加至最大刻度(1.1 L), 称取预处理后的 50 g 样品于预热完毕的电蒸锅蒸架中后计时, 烹调时间为 3.0、4.5、6.0 和 7.5 min。到达规定时间后, 迅速将样品取下, 倒在下垫冰块的纱布上吸水冷却至室温。

热处理时用温度探头测定蔬菜的中心温度, 均在 99°C~100°C。将需要冷冻干燥的样品在冷至室温后立即切碎置于-40°C冰箱速冻 24 h, 然后置于真空冷冻干燥机中 48 h 至恒重。取冻干样品研磨成粉, 密封后于-20°C冰箱中保存待用。

2.2.2. 蔬菜中营养相关成分的测定

维生素 C 的测定参考《GB/T5009.86~2003 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定(荧光法和 2,4-二硝基苯肼法)》中的 2,4-二硝基苯肼法[12]; 维生素 K₁ 的测定参考《GB/T5009.158~2003 蔬菜中维生素 K₁ 的测定》[13]; 类胡萝卜素的测定参考 Gutautis [14] 的方法; 硝酸盐和亚硝酸盐的测定参考《GB/T5009.33~2010 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》[15]; 总草酸的测定参考段丽珍等[16]的方法; 总单宁的测定采用香草醛-甲醇法[17], 质量分数以单宁酸当量表示, mg/100 g; 总多酚的测定采用福林-酚法[18], 质量分数以没食子酸当量表示, mg/100 g。

各营养相关成分均进行 3 次平行测定, 并进行 3 次重复测定。

2.2.3. 蔬菜在烹调过程中体积变化的测定

采用液体溢出法。取一烧杯放入玻璃培养皿中, 在烧杯中倒入蒸馏水至水面刚刚不溢出。每次烹调处理前后, 分别将擦干生样和烹调菠菜上的水, 将其缓慢放入盛满水的烧杯中, 然后用量筒称量皿中溢出水的体积。计算烹调菠菜与菠菜生样的体积比(V/V)。进行 3 次平行测定, 3 次重复测定。

2.2.4. 通过层次分析法建立烹蔬菜营养评价的分层结构模型

1) 构造层次分析结构

蔬菜烹调营养评价的分层结构模型自上而下分为 3 个层次: 目标层(A 层)、中间因素层(含子层 B 和 C)和方案层(D 层)。

a) 目标层(A 层)。目标层即烹调蔬菜最终的营养目标。本研究以两类典型人群为营养目标: 第一类是其消化功能正常的一般健康人群(A1), 这类人群的营养目标是通过每日摄入足量绿叶蔬菜来获得均衡全面的营养素和保健成分, 从而预防肥胖、心脑血管病、糖尿病慢性疾病的发生[19]。目前这类人群所占比例较高。第二类为消化功能较弱的人群, 包括营养不良的老年人、幼儿、胃肠疾病患者、其他病弱人群等(A2), 这类人群患心脑血管疾病的风险较低, 对抗氧化物质的需求较小, 摄入蔬菜的主要目标是预防营养素摄入不足[20]; 而蔬菜中过多的膳食纤维、草酸和单宁等妨碍营养素吸收利用的物质可能对这类人群产生一些负面影响。

b) 中间因素层(B 和 C 层)。中间因素层即基于最终营养目标的相关健康成分。其中 B 层分为“可提供基本营养的成分(B1)”、“补充增加的活性成分(B2)”和“需要控制的不利成分(B3)”三种情形。C 层为蔬菜中与心脑血管疾病预防有关的主要生物活性物质及主要的抗营养因子, 如膳食纤维(C1)、维生素 C(C2)、维生素 K₁(C3)等。

c) 方案层(D 层)。方案层为蔬菜的处理方式, 即上文中提到的水焯和汽蒸两种烹调方法。

2) 构造判断矩阵

层次分析结构模型建立后, 通过各层中因素之间进行两两比较, 构造判断矩阵。对于 n 个元素来说, 其判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$, 其中 a_{ij} 表示因素 X_i 与 X_j 比较时的重要比值。本研究中用到的判断矩阵的形式为:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

3) 各层次赋值权重

判断矩阵构造后, 需要对各层因素的权重赋值。设 A 层的权重为 1, B 和 C 层采用 Delphi 专家问询法[21]赋值, D 层采用实测营养成分结果进行赋值。

a) Delphi 专家问询法赋值

要求 12 位营养与食品相关专家采用本研究设计的 11 点(-5~5)标度法对各因素的重要性进行打分(见表 1), 根据所得结果对 B 和 C 层进行赋值。

b) 营养成分测定结果赋值

将实验所测得的绿叶蔬菜中的营养成分含量对 D 层进行赋值, 少数未测项目参考《中国食物营养成分表(2009)》[22]中的数值。

不同烹调方法不仅影响各营养相关成分含量, 同时对体积也有影响。考虑到烹调后蔬菜质地变软、体积变小, 便利人们摄入更多蔬菜, 因此假定每种烹调方式食用蔬菜的总体积一致, 再对 D 层因素进行赋值, 故需根据烹调后 C 层因素的成分保存率与烹调体积变化率的比值进行校正。

Table 1. Definition of 11 points scale

表 1. 11 点标度及含义

标度含义 Scaling meaning	标度值 Scale value
该因素极显著有利于健康: 蔬菜是其最主要来源, 且该因素受烹调影响不大	5
该因素显著有利于健康: 蔬菜是其较主要来源, 且该因素受烹调影响不大	4
该因素很有利于健康: 蔬菜是其较主要来源, 但该因素受烹调有一定影响	3
该因素比较有利于健康: 蔬菜含有该因素但不是主要来源, 但该因素受烹调影响不大	2
该因素略微有利于健康: 蔬菜含有该因素但不是主要来源, 且该因素受烹调有一定影响	1
该因素对健康没有影响	0
该因素略微不利于健康: 蔬菜含有该因素但不是主要来源, 且该因素受烹调有一定影响	-1
该因素比较不利于健康: 蔬菜含有该因素但不是主要来源, 但该因素受烹调影响不大	-2
该因素很不利于健康: 蔬菜是其较主要来源, 但该因素受烹调有一定影响	-3
该因素显著不利于健康: 蔬菜是其较主要来源, 且该因素受烹调影响不大	-4
该因素极显著不利于健康: 蔬菜是其最主要来源, 且该因素受烹调影响不大	-5

4) 烹调蔬菜营养综合评分的计算

赋值完成后, 先进行层次单排序, 即计算出某层次因素相对于上一层次中某一因素的相对重要性。然后根据公式[23]:

$$W = \sum_{i=1}^n (C_i \times P_i) \quad (n=1,2,3,\dots,n)$$

依次沿递阶层次结构由上而下逐层计算, 得出层次总排序。

烹调菠菜对于预防慢性疾病的一般健康人群营养, 总排序:

$$W_1 = \sum b_1 c_i (i=1,2,\dots,8) + \sum b_2 c_i (i=9,10,11) + \sum b_3 c_i (i=12,13,14) \quad (1-1)$$

烹调菠菜对于消化不良的特殊人群营养, 总排序:

$$W_2 = \sum b_1 c_i (i=1,2,\dots,8) + \sum b_2 c_i (i=9,10,11) + \sum b_3 c_i (i=1,12,13,14) \quad (1-2)$$

统计分析方法

蔬菜中营养成分测定结果采用 SPSS 21.0 软件进行处理, 不同烹调处理的样品间差异采用单因素方差分析(one-way ANOVA)检验差异的显著性, 以 $P < 0.05$ 差异有统计学意义。采用 yaahpV7 软件建立分层结构模型。

3. 结果与分析

3.1. 烹调蔬菜营养评价的分层结构模型

针对预防慢性病且消化功能正常的一般健康人群(A1)建立的层次分析结构见图 1。当 A 层所设的营养目标转为对于消化功能不良的人群(A2)时, C1 因素“膳食纤维”同时从属于 B1 和 B3。

3.2. 各层次判断矩阵及赋值结果

3.2.1. 判断矩阵构造结果

表 2 为经两两比较后的判断矩阵结果。用一致性指标(Consistency index, CI)检验各元素间的重要性次序是否存在逻辑混乱[23], 各矩阵偏离度 $CI < 0.1$, 一致性良好。

对于构造好的 C 层判断矩阵进行计算[23], 所得结果见表 3。

3.2.2. 赋值结果

1) Delphi 专家询问法赋值

对专家赋值权重结果进行分析, 确定“烹调蔬菜营养价值评分体系”赋值权重, 结果见表 4。可见,

A-对预防慢性病营养														
B1-提供基本营养								B2-增加活性成分				B3-控制不利成分		
C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C15	C12	C13	C14
膳 食 纤 维	维 生 素 C	维 生 素 K1	维 生 素 B2	叶 酸	钙	镁	钾	类 胡 萝 卜 素	多 酚	硝 酸 盐	硫 苷	亚 硝 酸 盐	草 酸	单 宁
汽蒸 1、汽蒸 2、汽蒸 3、汽蒸 4 水焯 1、水焯 2、水焯 3、水焯 4														

Figure 1. AHP Structure

图 1. 层次分析结构

Table 2. Judgment matrix results of A and B level factors**表 2.** A 和 B 层判断矩阵结果

因素 Factor	以预防慢性疾病为目标 To prevent chronic diseases as the goal	以预防营养素不足为目标 To prevent nutrient deficiency as the goal
A	$W = \begin{bmatrix} 0.4037 \\ 0.3761 \\ 0.2202 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3$	$W = \begin{bmatrix} 0.3981 \\ 0.3398 \\ 0.2621 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3$
B1	$W = \begin{bmatrix} 0.1388 \\ 0.1222 \\ 0.1318 \\ 0.1158 \\ 0.1158 \\ 0.1254 \\ 0.1190 \\ 0.1383 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8$	$W = \begin{bmatrix} 0.1977 \\ 0.1306 \\ 0.1377 \\ 0.1165 \\ 0.1165 \\ 0.1236 \\ 0.1032 \\ 0.0741 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8$
B2	$W = \begin{bmatrix} 0.4022 \\ 0.4239 \\ 0.1739 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3$	$W = \begin{bmatrix} 0.4595 \\ 0.4189 \\ 0.1216 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3$
B3	$W = \begin{bmatrix} 0.5000 \\ 0.3214 \\ 0.1786 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 3$	$W = \begin{bmatrix} 0.3053 \\ 0.3684 \\ 0.1053 \\ 0.2211 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 4$

Table 3. Judgment matrix results of C level factors**表 3.** C 层判断矩阵结果

因素 Factor	判断矩阵 Judgment matrix
C2	$W = \begin{bmatrix} 0.1323 \\ 0.1310 \\ 0.1310 \\ 0.1446 \\ 0.1228 \\ 0.1241 \\ 0.1228 \\ 0.0914 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$
C3	$W = \begin{bmatrix} 0.1128 \\ 0.1237 \\ 0.1274 \\ 0.1365 \\ 0.1092 \\ 0.1219 \\ 0.1347 \\ 0.1338 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$
C9	$W = \begin{bmatrix} 0.1096 \\ 0.1173 \\ 0.1284 \\ 0.1413 \\ 0.1087 \\ 0.1199 \\ 0.1370 \\ 0.1378 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$

Continued

$$C10 \quad W = \begin{bmatrix} 0.1174 \\ 0.1268 \\ 0.1305 \\ 0.1427 \\ 0.1070 \\ 0.1192 \\ 0.1399 \\ 0.1164 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$$

$$C11 \quad W = \begin{bmatrix} 0.1227 \\ 0.1288 \\ 0.1264 \\ 0.1276 \\ 0.1264 \\ 0.1349 \\ 0.1239 \\ 0.1094 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$$

$$C12 \quad W = \begin{bmatrix} 0.3393 \\ 0.2587 \\ 0.1362 \\ 0.1739 \\ 0.0299 \\ 0.0233 \\ 0.0181 \\ 0.0208 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$$

$$C13 \quad W = \begin{bmatrix} 0.1157 \\ 0.1061 \\ 0.1045 \\ 0.1037 \\ 0.1429 \\ 0.1334 \\ 0.1346 \\ 0.1591 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$$

$$C14 \quad W = \begin{bmatrix} 0.1107 \\ 0.1167 \\ 0.1311 \\ 0.1420 \\ 0.1144 \\ 0.1209 \\ 0.1291 \\ 0.1352 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8,$$

$$C1, C4, C5, C6, C7, C8 \quad W = \begin{bmatrix} 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \\ 0.1250 \end{bmatrix}, \lambda_{\max} = 8.$$

Table 4. Value assignment for intermediate level factors**表 4.** 中间层因素赋值权重

因素 Factor	赋值 Evaluation		因素 Factor	赋值 Evaluation		因素 Factor	赋值 Evaluation	
	A1	A2		A1	A2		A1	A2
B1 提供基本营养	4.4	4.1	B2 增加活性成分	4.1	3.5	B3 控制不利成分	-2.4	-2.7
C1 膳食纤维	4.3	0.8	C9 类胡萝卜素	3.7	3.4	C12 亚硝酸盐	-2.8	-2.9
C2 维生素 C	3.7	3.9	C10 多酚	3.9	3.1	C13 草酸	-1.8	-3.5
C3 维生素 K ₁	3.9	3.5	C11 硝酸盐	1.6	0.9	C14 单宁	-1.0	-1.0
C4 维生素 B ₂	4.1	4.2				C1 膳食纤维	---	-2.1
C5 叶酸	3.8	3.7						
C6 钾	4.1	3.6						
C7 钙	3.6	3.3						
C8 镁	3.6	3.3						

注: 1) A1 表示健康人群以预防慢性疾病为核心的营养目标, A2 表示消化功能不足者预防营养不足的营养目标; 2) 类胡萝卜素指 α -胡萝卜素、 β -胡萝卜素和叶黄素三项测定值之和, 草酸指总草酸。Note: 1) A1 represents the nutritional goals of healthy people at the core of prevention of chronic diseases, A2 represents the nutrition goal of preventing undernutrition by digestive insufficiency; 2) carotenoids refer to the three measured values of α -carotene, β -carotene and lutein, oxalic acid refers to the total oxalic acid.

对于不同营养目标人群, 各因素之间权重存在差异。与以预防慢性疾病目标(A1)相比, 以预防营养不足为目标(A2)时, 钾、多酚和硝酸盐的权重明显降低, 草酸的权重更低, 膳食纤维的权重则从 4.3 大幅降低至 0.8, 成为需要控制的不利因素。这反映出本研究的特色之一, 即基于研究证据, 可以针对不同的营养膳食目标进行评分权重调整, 使之同时适应各类人群的需求。

2) 实验测定结果赋值

菠菜经水焯和汽蒸烹调后各成分含量见表 5。菠菜在烹调过程中维生素 C 损失较大, 尤其是水焯烹调, 最大可损失 58.4%, 与马洪波[24]等的研究结果类似。而部分抗氧化物质, 如总多酚和总单宁的含量经某些烹调处理后反而有上升的趋势, 保存率最高为 119.1%。这可能是因为在烹调时的高温会使多酚、单宁与蛋白质、多糖的复合体, 从而导致多酚与单宁以单体的形式游离出来, 此外高温还能够钝化多酚氧化酶, 减少对多酚和单宁的破坏[4] [25] [26]。

根据表 5 中的结果计算各烹调处理下菠菜中各营养成分的保存率, 再通过烹调后蔬菜体积变化进行换算。由表 6 可以发现, 因为蔬菜烹调之后体积减少, 所以对于原本损失显著的成分(如维生素 C), 除水焯 3.0 min 以外, 不同烹调的影响差异不大, 甚至优于生样。而对于另一些原本烹调变化不大、或烹调后有升高趋势的成分, 烹调对于健康有益成分的作用更为突出, 同时对于部分不利成分的影响也变大。

3.3. 烹调蔬菜营养综合评分

图 2 表明, 菠菜汽蒸烹调的综合营养评分高于水焯烹调。对两类目标人群, 均以汽蒸 3.0 min 的处理的综合营养评分最高, 其次是汽蒸 7.5 min; 而水焯的综合营养评分随烹调时间增长变化不大。

考虑营养素保存状态, 结合两类营养目标人群在咀嚼和消化能力上差异, 认为对于消化能力正常、需要预防慢性病的人群, 以汽蒸 3 min 的菠菜营养最佳; 而对于消化能力弱、需要预防营养不足的人群, 则以汽蒸 7.5 min 的菠菜营养最佳。

4. 结论

1) 应用层次分析法, 从提供营养素、增加活性成分和控制不利成分 3 方面设定蔬菜的营养评价目标,

Table 5. Effects of cooking treatments on health-related ingredients of spinach
表 5. 烹调对菠菜中健康相关成分的影响

处理方法 Treatment	维生素 C /(mg/100 g) Vitamin C	维生素 K ₁ /(mg/100 g) Vitamin K ₁	总多酚 /(mg/100 g) Total polyphenols	类胡萝卜素 /(μg/100 g) Carotenoid	硝酸盐 /(mg/kg) Nitrate	亚硝酸盐 /(mg/kg) Nitrite	总单宁 /(mg/100 g) Total tannin
生样	34.04 ± 0.93a	207.1 ± 6.3a	92.31 ± 2.12a	14 698 ± 101c	450.4 ± 4.6a	0.90 ± 0.17b	68.86 ± 6.65a
D1 水焯 1	24.50 ± 1.14bc	199.5 ± 5.7a	83.92 ± 1.74b	14 966 ± 50c	375.6 ± 1.6b	4.99 ± 0.80a	66.31 ± 4.63a
D2 水焯 2	21.87 ± 0.56d	196.9 ± 5.1a	82.79 ± 1.42b	14 463 ± 174c	353.9 ± 4.1c	5.66 ± 1.01a	63.57 ± 5.91a
D3 水焯 3	19.26 ± 0.36e	192.2 ± 6.0b	86.27 ± 3.39b	14 622 ± 130c	287.5 ± 13.1e	6.47 ± 0.87a	63.03 ± 6.58a
D4 水焯 4	14.15 ± 0.11f	189.0 ± 6.3b	70.85 ± 3.26c	14 608 ± 119c	251.3 ± 4.5f	5.56 ± 0.69a	65.74 ± 6.76a
D5 汽蒸 1	26.36 ± 0.76b	203.4 ± 5.9a	91.50 ± 1.34a	14 813 ± 175bc	362.0 ± 3.8c	0.44 ± 0.10c	69.15 ± 3.20a
D6 汽蒸 2	23.43 ± 0.94c	202.6 ± 4.6a	89.80 ± 0.91a	14 444 ± 191c	342.4 ± 15.3cd	0.52 ± 0.11c	65.28 ± 2.07a
D7 汽蒸 3	22.59 ± 1.10cd	200.7 ± 4.8a	88.88 ± 1.95a	15 179 ± 107b	324.3 ± 11.4d	0.95 ± 0.19b	67.51 ± 3.37a
D8 汽蒸 4	23.18 ± 0.58c	200.1 ± 5.4a	90.50 ± 1.53a	15 599 ± 169a	303.7 ± 2.3e	0.69 ± 0.12bc	66.28 ± 3.35a

注: 1) 水焯 1、2、3 和 4 分别对应菠菜烹调时间 0.5、1.0、2.0 和 3.0 min; 汽蒸 1、2、3 和 4 分别对应菠菜烹调时间 3.0、4.5、6.0 和 7.5 min; 2) 上述结果通过蔬菜鲜重进行换算; 2) a、b、c 等小写字母表示对同一列各值之间的差异性, 其中不同字母表示结果间差异性显著, P < 0.05。
 Note: 1) 1, 2, 3 and 4 respectively corresponding to the water boiled spinach cooking time and 3 0.5, 1.0, 2.0 min and 4 1, 2, 3 respectively; the steam cooking time corresponding to spinach 3.0, 4.5, 6.0 and 7.5 min; 2) the results of fresh vegetable conversion; 2) a, b, c and other small letters about the difference between the values of the same column among them, different letters indicate significant difference between the results, P < 0.05.

Table 6. Ratio of components retention rate to volume retention factors
表 6. 菠菜烹调后营养成分保存率与体积变化率比值

处理方法	维生素 C	维生素 K ₁	总多酚	β-胡萝卜素	硝酸盐	亚硝酸盐	草酸	总单宁
生样	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
D1 水焯 1	0.90	1.20	1.14	1.27	1.04	6.93	0.98	1.20
D2 水焯 2	0.91	1.34	1.27	1.40	1.11	8.89	1.05	1.30
D3 水焯 3	0.90	1.48	1.49	1.60	1.02	11.46	1.04	1.46
D4 水焯 4	0.67	1.47	1.24	1.61	0.90	9.96	0.88	1.54
D5 汽蒸 1	0.97	1.24	1.25	1.28	1.01	0.61	1.21	1.26
D6 汽蒸 2	0.96	1.36	1.35	1.37	1.06	0.80	1.32	1.32
D7 汽蒸 3	0.96	1.40	1.39	1.50	1.04	1.52	1.41	1.50
D8 汽蒸 4	1.06	1.50	1.52	1.65	1.05	1.19	1.49	1.65

注: 1) 水焯 1、2、3 和 4 分别对应菠菜烹调时间 0.5、1.0、2.0 和 3.0 min; 汽蒸 1、2、3 和 4 分别对应菠菜烹调时间 3.0、4.5、6.0 和 7.5 min; 2) 上述结果通过蔬菜鲜重进行换算; 2) a、b、c 等小写字母表示对同一列各值之间的差异性, 其中不同字母表示结果间差异性显著, P < 0.05。
 Note: 1) 1, 2, 3 and 4 respectively corresponding to the water boiled spinach cooking time and 3 0.5, 1.0, 2.0 min and 4 1, 2, 3 respectively; the steam cooking time corresponding to spinach 3.0, 4.5, 6.0 and 7.5 min.

可以对多种烹调加工方法的健康效果进行综合评价。这种营养素度量模型也适合用于食品加工工艺的营养评价当中。

2) 基于 Delphi 专家问询法和实际测定结果建立的“烹调蔬菜营养价值评分体系”, 可以针对营养需求不同的各类人群建立有差异的营养目标, 用于食物烹调加工处理的综合营养评价当中。

3) 综合烹调方法对各健康相关成分保存率和蔬菜体积变化率的影响, 发现汽蒸烹调的综合营养评分

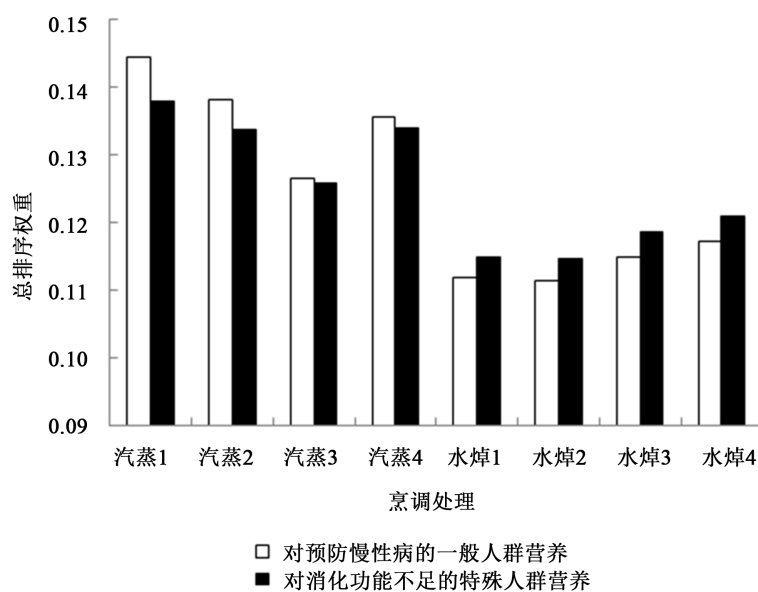


Figure 2. Nutrition profiling evaluation of cooked spinach samples
图 2. 菠菜烹调样品的综合营养评分

高于水焯烹调。对于需要预防慢性病且消化能力正常的一般健康人群，以汽蒸 3.0 min 的菠菜营养最佳，而对于消化不良的特殊人群，以汽蒸 7.5 min 的菠菜营养最佳。

基金项目

北京市科学技术委员会、首都食品质量安全保障项目(Z151100001215016)。

参考文献 (References)

- [1] Cooper, A.J., Forouhi, N.G., Ye, Z., Buijsse, B., Arriola, L., Balkau, B., Barricarte, A., Beulens, J.W.J., Boeing, H., Büchner, F.L., Dahm, C.C., de Lauzon-Guillain, B., Fagherazzi, G., Franks, P.W., Gonzalez, C., Grioni, S., Kaaks, R., Key, T.J., Masala, G., Navarro, C., Nilsson, P., Overvad, K., Panico, S., Ramón Quirós, J., Rolandsson, O., Roswall, N., Sacerdote, C., Sánchez, M.-J., Slimani, N., Sluijs, I., Spijkerman, A.M.W., Teucher, B., Tjonneland, A., Tumino, R., Sharp, S.J., Langenberg, C., Feskens, E.J.M., Riboli, E. and Wareham, N.J. (2012) Fruit and Vegetable Intake and Type 2 Diabetes: EPIC-Interact Prospective Study and Meta-Analysis. *Europe Journal of Clinical Nutrition*, **66**, 1082-1092. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2012.85>
- [2] Pollock, R.L. (2015) The Effect of Green Leafy and Cruciferous Vegetable Intake on the Incidence of Type 2 Diabetes, Cardiovascular Disease and Cancers: A Meta-Analysis. Dissertations & Theses, Trident University International, Cypress.
- [3] Nayak, B., Liu, R.H. and Tang, J. (2015) Effect of Processing on Phenolic Antioxidants of Fruits, Vegetables, and Grains—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **55**, 887-918. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.654142>
- [4] Palermo, M., Pellegrini, N. and Fogliano, V. (2014) The Effect of Cooking on the Phytochemical Content of Vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **94**, 1057-1070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6478>
- [5] Kao, F.J., Chiu, Y.S. and Chiang, W.D. (2014) Effect of Water Cooking on Antioxidant Capacity of Carotenoid-Rich Vegetables in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis*, **22**, 202-209. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.09.010>
- [6] Chai, W. and Liebman, M. (2005) Effect of Different Cooking Methods on Vegetable Oxalate Content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53**, 3027-3030. <https://doi.org/10.1021/jf048128d>
- [7] Murador, D.C., Mercadante, A.Z. and de Rosso, V.V. (2016) Cooking Techniques Improve the Levels of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity in Kale and Red Cabbage. *Food Chemistry*, **196**, 1101-1107. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.037>
- [8] Arsenault, J.E., Hersey, J.C. and Muth, M.K. (2012) A Novel Approach to Selecting and Weighting Nutrients for Nu-

- trient Profiling of Foods and Diets. *Journal of the American Academy of Nutrition & Dietetics*, **112**, 1968-1975. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.08.032>
- [9] Saaty, T.L. (1990) How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, **48**, 9-26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)
- [10] 谷华, 糜漫天, 赵永光, 邢安辉, 高宇, 庄恒忠, 顾春红. 层次分析法在中国成年人营养膳食评价中应用的初步探讨[J]. 中国卫生统计, 2009, 26(4): 391-393.
- [11] Cieřlik, E., Gręda, A. and Adamus, W. (2006) Contents of Polyphenols in Fruit and Vegetables. *Food Chemistry*, **94**, 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.015>
- [12] 中国预防医学科学院营养与食品卫生所. GB/T5009. 86-2003. 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定(荧光法和 2,4-二硝基苯肼法)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 627-628.
- [13] 中国预防医学科学院营养与食品卫生所. GB/T5009. 158-2003. 蔬菜中维生素 K₁ 的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 323-326.
- [14] Gutautis, V.J. and Pearson, K.H. (1987) Separation of Plasma Carotenoids and Quantitation of β -Carotene using HPLC. *Clinica Chemical Acta*, **166**, 195-206. [https://doi.org/10.1016/0009-8981\(87\)90422-0](https://doi.org/10.1016/0009-8981(87)90422-0)
- [15] 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所. GB5009. 33-2010. 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 4-6.
- [16] 段立珍, 汪建飞, 赵建荣. 比色法测定菠菜中草酸含量的条件研究[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3): 632-633.
- [17] Broadhurst, R.B. and Jones, W.T. (1978) Analysis of Condensed Tannins using Acidified Vanillin. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **29**, 788-794. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740290908>
- [18] Singleton, V. and Lamuela-Raventos, R. (1999) Analysis of Total Phenols and Other Oxidation Substrates and Antioxidants by Means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, **299**, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- [19] Zhang, Y.J., Gan, R.Y., Li, S., Zhou, Y., Li, A.N., Xu, D.P. and Li, H.B. (2015) Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases. *Molecules*, **20**, 21138-21156. <https://doi.org/10.3390/molecules201219753>
- [20] Sheiham, A., Steele, J.G., Marceles, W., Lowe, C., Finch, S., Bates, C.J., Prentice, A. and Walls, A.W. (2001) The Relationship among Dental Status, Nutrient Intake, and Nutritional Status in Older People. *Journal of Dental Research*, **80**, 408-413. <https://doi.org/10.1177/00220345010800020201>
- [21] Adler, M. and Ziglio, E. (1996) Gazing into the Oracle: The Delphi Method and Its Application to Social Policy and Public Health. Jessica Kingsley Publishers, London.
- [22] 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2009.
- [23] 吴蓓雯, 曹伟新. 利用层次分析法构建住院患者营养状况综合评价量表[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2010, 30(1): 20-23.
- [24] 马洪波, 张娜, 张岚. 传统烹调与微波烹调对蔬菜中维生素 C 的影响[J]. 吉林医药学院学报, 2010, 31(3): 137-140.
- [25] Mazzeo, T., Pellegrini, N., Chiavaro, E., Gardana, C., Contino, D., Gallo, M., Riso, P., Fogliano, V. and Porrini, M. (2011) Effect of Two Cooking Procedures on Phytochemical Compounds, Total Antioxidant Capacity and Colour of Selected Frozen Vegetables. *Food Chemistry*, **128**, 627-633. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.070>
- [26] Chipurura, B., Muchuweti, M. and Manditseraa, F. (2010) Effects of Thermal Treatment on the Phenolic Content and Antioxidant Activity of Some Vegetables. *Asian Journal of Clinical Nutrition*, **2**, 93-100. <https://doi.org/10.3923/ajcn.2010.93.100>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2166-613X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjfn@hanspub.org