

食物蛋白质中氨基酸平衡质量的灰色综合评价

郭爱明 江西樟树农校食品研究室 331200

摘 要 在综述食物蛋白质营养评价问题的基础上,提出氨基酸平衡质量的灰色综合评价方法,并加以探讨;运用灰色关联分析原理,对全部必需氨基酸(EAA)的影响作了全面的考察综合,克服了过去对“过量”氨基酸造成的“不平衡”未予考虑的弊端。实例应用的结果表明,本文的课题值得深入研究。

关键词 食物蛋白质 EAA 平衡质量 灰色综合评价

Abstract On the basis of summarizing the problems of protein nutritional evaluation in foods, the method of grey comprehensive evaluation of the amino acid equilibrium quality has been advanced, and has an exploration. Applying the principle of grey incidence degree analysis to consider and sum up the effects of all essential amino acids, and having overcome the malpractice for leaving the nonequilibrium due to over-content amino acids out of consideration in the past. It has been made known by an application example that the problem in this paper is worth going deep into research.

Key words Food protein EAA equilibrium quality Grey comprehensive evaluation

1 综述

蛋白质(protein)一词源自希腊语,意思是“具有头等重要的意义”。众所周知,食物蛋白质的营养质量取决于其中所含的EAA(必需氨基酸)的种类、含量、可利用性等^[1,2],优质蛋白质要求含有人体所必需的8种或9种EAA,并且各含量比例要恰当^[1,2],此所谓“氨基酸平衡”原则。不同食物蛋白质在营养价值上存在差别,对之评价是营养学和食品科学中的一项重要内容,旨在为指导膳食营养、食品组合加工、分级管理、预示互补规律、比较选优等提供参考依据。

蛋白质营养评价是个不断发展的课题,目前所用的方法与指标很多,但任何一种方法都是从某一种现象或侧面作为观察评价的指标^[2],缺乏系统综合性,带有相当的局限性,因而所表示的营养价值也是相对的。这些方法各有优劣,这里着重谈谈其缺陷:例如,生物检验

性方法要求试验条件的一致而实际上难以做到,影响因素众多,昂贵、费时,动物试验结果外推至人存在不可靠性^[3];原生动物四膜虫法^[4],只适用于已知其中不含能影响此微生物生长组分的食物^[2],至少是暂时实用性差;化学方法最大缺点是没考虑到蛋白质食品中过量氨基酸的负效应^[3],虽然其中的EAA指数法^[5]具有一定的系统综合性质,反映各个EAA比数的几何平均值,但不足以科学地体现平衡原则,简单地例子是假如某个EAA含量极高或极低为零的情形。

2 问题的提出及研究思路

综上所述,任何一种方法都有自身的优缺点,视不同需要不同观察面而选用。但实际上,“所有生物检验方法只能得到一个限制氨基酸为基础的结果”^[3],大多数化学方法虽然“以比较蛋白质中某个EAA和人体需求为基础”^[3]得到不同EAA的不同分值,“但通常也是指受试

蛋白质中第一限制氨基酸的得分”^[2]。为此有必要探求全面系统综合性的评价方法。

综合评价是指全面、系统地衡量某事物属性的评估过程和方法。本文提出氨基酸平衡质量的灰色综合评价,是运用灰色系统理论中常用的灰色关联分析法^[6]原理而设计的,按性质亦属化学方法。但与以往化学方法较突出地有两点不同:一是兼顾了8种或9种EAA的影响而体现平衡综合性;二是考虑了食物蛋白质中相对人体需求而言的“过量氨基酸”在客观上存在的“不平衡”性对营养质量的影响。旨在得出一个更客观地反映EAA平衡质量的标准尺度,这里定义为“平衡度”,以便于人们全面、客观、快速、简明、直观地评价蛋白质的营养质量。

3 方法的原理和步骤探讨

灰色关联分析的基本原理,是通过设立一标准的参考数据列曲线,将各个参评的比较数据列曲线与之就几何形状的相似性进行比较计算,用关联度表示相似度;曲线形状越相似,关联度越大,相应比较数据列与标准数据列的比例关系就越接近。应用在食物蛋白质的营养评价上,就可认为各氨基酸的比例越接近平衡状态,即用关联度表示的氨基酸平衡度就越大。为使分析结果具有客观统一性,灰色关联分析应用于食物蛋白质营养质量的核心内容即EAA平衡的综合评价时,具体条件要求和参数取定等规范性探讨如下:

3.1 参考数据列 X_0 由 FAO/WHO 修正的理想蛋白质 EAA 模式为基数^[2,3]经换算成8种EAA总数为1000mg的数据构成,第9种EAA即组氨酸按比例换算,以体现EAA之间比例关系在评价时的统一性(也可换成其它值总数,结果不受影响)。 $X_0 = \{X_{0j}\}$, $j=1, 2, \dots, 8$ 或 9, X_{0j} 表示参考模式的第j种EAA的“1000mg制”数据。

3.2 比较数据列 X_i 由不同来源食物蛋白质中EAA含量为基数,换成8种EAA的1000mg制数据构成,组氨酸按比例换算。 $X_i = \{X_{ij}\}$, $i=1, 2, \dots, m$, m 为参评食物的个数, X_{ij} 表示第i个

食物的第j种EAA的数据。

3.3 无量纲化处理采用[0,1]区间化

$$X'_{ij} = \begin{cases} 1 & X_{ij} = X_{0j} \\ \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{0j}} & X_{0j} < X_{ij} < X_{\max} \\ \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{0j} - X_{\min}} & X_{\min} < X_{ij} < X_{0j} \\ 0 & X_{ij} \leq X_{\min} \text{ 或 } X_{ij} \geq X_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 为一般食物蛋白质中第j种EAA含量围绕模式值 X_{0j} 变化的上下限,可根据不同要求由常见食物中EAA的实际值估计确定。

设 $X_{\max} = ax_{0j}$, $X_{\min} = bx_{0j}$, 显然有 $a > 1$, $0 \leq b < 1$, 那么由(1)式可知:

$$X'_{ij} = \begin{cases} 1 & X_{ij} = X_{0j} \\ \frac{a - X_{ij}/X_{0j}}{a - 1} & X_{0j} < X_{ij} < aX_{0j}, a > 1 \\ \frac{b - X_{ij}/X_{0j}}{b - 1} & X_{0j} > X_{ij} > bX_{0j}, 0 \leq b < 1 \\ 0 & X_{ij} \geq aX_{0j} \text{ 或 } X_{ij} \leq bX_{0j} \end{cases} \quad (2)$$

3.4 关联系数 ξ_{ij} 公式推导。由(2)式可知绝对差:

$$\Delta_{ij} = |X'_{ij} - X'_{0j}| = \begin{cases} 0 & \\ \left| \frac{1 - X_{ij}/X_{0j}}{a - 1} \right| & \text{条件同(2)式} \\ \left| \frac{1 - X_{ij}/X_{0j}}{b - 1} \right| & \\ 1 & \end{cases} \quad (3)$$

明显有 $\max \Delta_{ij} = \max_i \max_j \Delta_{ij} = 1$, $\min \Delta_{ij} = 0$ 。由于取值上下限已予规定,取 $\rho = 1$, 那么(参见文献[6]):

$$\xi_{ij} = \frac{\min \Delta_{ij} + \rho \max \Delta_{ij}}{\Delta_{ij} + \rho \max \Delta_{ij}} = \frac{0 + 1 \times 1}{\Delta_{ij} + 1 \times 1} = \frac{1}{\Delta_{ij} + 1} \quad (4)$$

将(3)式代入(4),得到关联系数 ξ_{ij} 的统一公式:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1 & \\ \frac{1}{\left| \frac{1 - X_{ij}/X_{0j}}{1 - a} \right| + 1} & \text{条件同(2)式} \\ \frac{1}{\left| \frac{1 - X_{ij}/X_{0j}}{1 - b} \right| + 1} & \\ 0.5 & \end{cases} \quad (5)$$

本文实例应用时的具体做法是取 $a = 2$, b

=0, 则(5)式变为:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} 1 & X_{ij} = X_{oj} \\ \frac{1}{|1 - X_{ij}/X_{oj}| + 1} & X_{oj} < X_{ij} < 2X_{oj} \\ \frac{1}{|1 - X_{ij}/X_{oj}| + 1} & 0 < X_{ij} < X_{oj} \\ 0.5 & X_{ij} \geq 2X_{oj} \text{ 或 } X_{ij} = 0 \end{cases}$$

$$= \begin{cases} 1 & |1 - X_{ij}/X_{oj}| = 0 \\ \frac{1}{|1 - X_{ij}/X_{oj}| + 1} & 0 < |1 - X_{ij}/X_{oj}| < 1 \\ 0.5 & |1 - X_{ij}/X_{oj}| \geq 1 \end{cases} \quad (6)$$

3.5 求关联度 r_i 。先要根据各 EAA_j 在不同食物 i 蛋白质中对 EAA 平衡质量的影响程度大小来确定出指标权重 W_{ij} 。参照 EAA 理想模式和具体食物中 EAA 组成特点, 宜对“过量性氨基酸”和“限制性氨基酸”^[(2)] 确定以较大的权重。显然, 不同的参考模式, 或不同来源食物中的蛋白质, 同一指标 EAA 的权重不大相同。这种考虑无疑是某种程度创新的思想。因此具体食物各 EAA 针对某类人群的权重分配的合理性有必要探究, 以更客观地反映出平衡度(本文实例篇幅简便以等权计算)。

$$r_i = \sum_{j=1}^{8 \text{ 或 } 9} (W_{ij} \xi_{ij}), i=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

以不同人群为对象, 同一食物可得出不同

的平衡度, 多食物多人群的关联度矩阵表示为:

$$r = [r_i^{(k)}]_{m \times p}$$

其中 $r_i^{(k)}$ 表示第 i 种食物蛋白质对于第 K 类人群的 EAA 平衡度, m 为食物种数, p 为人群数。

3.6 综上所述, 一般的应用步骤简化如下:

3.6.1 针对问题, 收集原始资料数据。

3.6.2 构造参考、比较数据列 $\{X_{oj}\}$ 、 $\{X_{ij}\}$ 。

3.6.3 依公式(5)特点, 计算出 $|1 - X_{ij}/X_{oj}|$ 。

3.6.4 研究规定 a、b 值, 按公式(5)计算出 ξ_{ij} ; 统盘确定出权重 W_{ij} , 依(7)式求出平衡度 r_i 。

3.6.5 结果评价分析。

4 实例应用

4.1 原始数据。取自文献[3]中表 5~12 FAO/WHO 暂定理想蛋白质的 EAA 模式和表 5~13 中 8 种不同来源食物蛋白质的 EAA 含量。

4.2 构造数据列。将 3 类理想 EAA 模式(mg/g 蛋白质)和 8 种待评食物蛋白质 EAA 含量, 换成体现 EAA 平衡统一基础的数据(mg/1000mg EAA), 分别构成参考数据列和比较数据列, 详见表 1。

表 1 参考数据列 X_o 、比较数据列 X_i 及其 1000mg 制 EAA 数据

j	EAA	参考 $X_o^{(K)}$			比较 X_i							
	mg/1000mg	婴儿 $X_o^{(1)}$	儿童 $X_o^{(2)}$	成人 $X_o^{(3)}$	人乳 X_1	牛乳 X_2	鸡蛋 X_3	牛肉 X_4	鱼 X_5	小麦 X_6	大米 X_7	大豆 X_8
1	异亮氨酸	98	114	119	106	99	110	108	107	100	99	116
2	亮氨酸	223	172	165	214	199	176	182	171	205	212	198
3	赖氨酸	145	230	145	152	164	143	200	202	88	99	163
4	蛋氨酸	81	104	158	97	69	116	90	89	123	89	65
5	苯丙氨酸	176	104	165	166	214	190	180	169	228	225	205
6	苏氨酸	123	135	86	99	92	96	103	102	88	101	98
7	色氨酸	24	14	43	39	29	35	25	24	34	32	33
8	缬氨酸	131	126	119	127	134	135	112	136	134	143	123
9	组氨酸	39	0	0	60	57	45	76	78	71	64	65
合计		1001	999	1000	1000	1000	1001	1000	1000	1000	1000	1001
(除组氨酸)												

* 因计算中四舍五入, 故合计值 999、1000、1001 三个值不等, 对结果影响极小。

4.3 计算 $|1 - X_{ij}/X_{oj}|$ 。现以 $X_o^{(1)}$ (婴儿类 0~6 月) 为例计算, 并简略表列式为矩阵形式, 得到:

$$[1-X_{ij}/X_{oj}]_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.082 & 0.010 & 0.122 & 0.102 & 0.092 & 0.020 & 0.010 & 0.184 \\ 0.040 & 0.108 & 0.211 & 0.184 & 0.233 & 0.081 & 0.049 & 0.112 \\ 0.048 & 0.131 & 0.014 & 0.379 & 0.393 & 0.393 & 0.317 & 0.124 \\ 0.198 & 0.148 & 0.432 & 0.111 & 0.099 & 0.519 & 0.099 & 0.198 \\ 0.057 & 0.216 & 0.080 & 0.023 & 0.040 & 0.295 & 0.278 & 0.165 \\ 0.195 & 0.252 & 0.220 & 0.163 & 0.171 & 0.285 & 0.179 & 0.203 \\ 0.625 & 0.208 & 0.458 & 0.042 & 0.000 & 0.417 & 0.333 & 0.875 \\ 0.031 & 0.023 & 0.031 & 0.145 & 0.038 & 0.023 & 0.092 & 0.061 \\ 0.538 & 0.462 & 0.154 & 0.949 & 1.000 & 0.821 & 0.641 & 0.667 \end{bmatrix}^T$$

4.4 求 ξ_{ij} 、 r_i 。本例取 $a=2, b=0$, 故依式(6)求行 $\xi_{ij}^{(1)}$ 如下:

$$\xi^{(1)} = [\xi_{ij}^{(1)}]_{8 \times 8} = \begin{bmatrix} 0.924 & 0.990 & 0.891 & 0.907 & 0.916 & 0.980 & 0.990 & 0.845 \\ 0.962 & 0.903 & 0.826 & 0.845 & 0.811 & 0.925 & 0.953 & 0.899 \\ 0.954 & 0.884 & 0.986 & 0.725 & 0.718 & 0.718 & 0.759 & 0.890 \\ 0.835 & 0.871 & 0.698 & 0.900 & 0.910 & 0.658 & 0.910 & 0.835 \\ 0.946 & 0.822 & 0.926 & 0.978 & 0.962 & 0.772 & 0.783 & 0.858 \\ 0.837 & 0.799 & 0.820 & 0.860 & 0.854 & 0.778 & 0.848 & 0.831 \\ 0.615 & 0.828 & 0.686 & 0.960 & 1 & 0.706 & 0.750 & 0.727 \\ 0.970 & 0.978 & 0.970 & 0.873 & 0.963 & 0.976 & 0.916 & 0.943 \\ 0.650 & 0.684 & 0.867 & 0.513 & 0.5 & 0.549 & 0.609 & 0.600 \end{bmatrix}^T$$

这里因篇幅简便起见, 等权考虑, 即取 $W_{ij}^{(1)} = \frac{1}{9}$, 据(7)式算出 $r_i^{(1)}$:

$$r^{(1)} = [r_i^{(1)}]_{8 \times 1} = [0.855, 0.862, 0.852, 0.840, 0.848, 0.785, 0.835, 0.825]^T$$

同理, 重复 4.3、4.4 步, 取 $W_{ij}^{(2)} = W_{ij}^{(3)} = \frac{1}{8}$, 可得 $r^{(2)} = [0.791, 0.747, 0.790, 0.813, 0.829, 0.735, 0.736, 0.766]^T$, $r^{(3)} = [0.833, 0.820, 0.814, 0.831, 0.828, 0.796, 0.781, 0.849]^T$ 。

4.5 结果评价分析。将上述 r 值依大小排序, 且以矩阵汇总如下:

$$r \text{ (排序)} = \begin{bmatrix} \text{人乳} & \text{牛乳} & \text{鸡蛋} & \text{牛肉} & \text{鱼} & \text{小麦} & \text{大米} & \text{大豆} \\ \begin{bmatrix} 0.855 & 0.862 & 0.852 & 0.840 & 0.848 & 0.785 & 0.835 & 0.825 \\ (2) & (1) & (3) & (5) & (4) & (8) & (6) & (7) \end{bmatrix} & \text{婴儿} \\ \begin{bmatrix} 0.791 & 0.747 & 0.790 & 0.813 & 0.829 & 0.735 & 0.736 & 0.766 \\ (3) & (6) & (4) & (2) & (1) & (8) & (7) & (5) \end{bmatrix} & \text{儿童} \\ \begin{bmatrix} 0.833 & 0.820 & 0.814 & 0.831 & 0.828 & 0.796 & 0.781 & 0.849 \\ (2) & (5) & (6) & (3) & (4) & (7) & (8) & (1) \end{bmatrix} & \text{成人} \end{bmatrix}$$

从 r (排序) 可知, 不同的参考理想模式, 各食物蛋白质 EAA 平衡质量排序不同。对婴儿 (0~6 月) 而言, 平衡度大小 (优劣序) 为: 牛乳 > 人乳 > 鸡蛋 > 鱼 > 牛肉 > 大米 > 小麦; 总体上, 动物蛋白质优于植物蛋白质, 符合实际; 但牛乳 > 人乳 无疑是不可能的, 原因也许来自: 权重、模式及方法本身的缺陷; 关于模式问题, 文献[2]提出母乳模式, 这是合理化的建议。对儿童 (10~12 岁) 而言, 平衡度排序为: 鱼 > 牛肉 > 人乳 > 鸡蛋 > 大豆 > 牛乳 > 大米 > 小麦; 总

体上, 基本是动物蛋白质优于植物蛋白质, 且高蛋白的鱼、牛肉、大豆位置有所前移; 文献[1]表 8-4NPU 结果: 人乳 > 鸡蛋 > 牛乳 > 大米 > 小麦 (缺其它三种未列出), 与之相吻合, 侧面说明本例应用的准确性。对成人而言, 平衡度排序为: 大豆 > 人乳 > 牛肉 > 鱼 > 牛乳 > 鸡蛋 > 小麦 > 大米; 总体上看似乎无规律可循, 个别处与过去方法评价的结果相“矛盾”; 原因可能来自: 模式、方法的缺陷, 客观上主要是成人对蛋白质 EAA 需求量大为降低^[2], 是对蛋白质品质要求

不高、适应性强的表现,这一点符合实际,由此推测成人对蛋白质的要求上“量”较“质”具更加重要的意义。

5 问题讨论

从上述方法原理及实例应用中看出,本文研究课题还存在这样一些问题:

5.1 参考模式的合理选定。可供选用的模式往往有多个,模式不同,结果各异;本文采用FAO/WHO理想模式,它是由氨基酸需要量的估计值(mg/日·kg)除以人体的蛋白质需要量2、0.8、0.55(g/日·kg,依次为婴儿、儿童、成人值)而得到的(mg/g)。随着营养科学的发展,理想模式将更趋理想化。

5.2 EAA平衡质量评价基准的确定。正如评价食物营养时以100g食物为基准,评定全部氨基酸组成以1g蛋白质为基准,我们评价蛋白质中EAA平衡度宜以EAA mg总数一定为基准,例如100 mg EAA。笔者验证,若以1g蛋白质为基准,结果合理性较差。评价基准的合理性有待探讨。

5.3 权重测定。这是值得研究的课题^[8],这里推荐一种改进的适于本文课题的客观指数权重计算式:

$$W_{ij} = \frac{\max(X_{ij}, X_{oj}) / \min(X_{ij}, X_{oj})}{\sum_{j=1}^n [\max(X_{ij}, X_{oj}) / \min(X_{ij}, X_{oj})]}, i=1, 2, \dots, m$$

显然有 $\sum_{j=1}^n W_{ij} = 1$, W_{ij} 表示第*i*种食物蛋白质的第*j*个指标EAA的权重,其它意义同前。由上式可推出,当 X_{ij} 偏离 X_{oj} “越远”(如过量、限制性氨基酸的数据), W_{ij} 越大,但由(5)、(6)式可知此指标“点”上 ξ_{ij} 越小;当 X_{ij} 离 X_{oj} “越近”,情况恰反。故同一食物蛋白质的加权综合性结果 r_i 将较之等权结果 r'_i 要变小(已计算验证);但对“不平衡”蛋白质, r_i 变大幅度大,而“平衡”蛋白质变大幅度小。因而平衡度数值不同幅度地“位移”,相对拉开了取值距离,突出了过量、限制性氨基酸的影响,与前述衡权思想相一致,提高了评价的分辨率、可靠性、合理性。

5.4 $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 亦即a、b值的规定。除可依实际含量、要求考查规定外,科学的办法是通过生物检验,提出标准上下限。

5.5 评价尺度的统一。一般地平衡度 $r_i \in [0, 5.1]$,可作为衡量食物蛋白质EAA平衡的标准尺度,它是站在蛋白质营养的核心处看问题,具有全面综合、客观统一的优点,但不便反映具体食物的生理效应。完善办法有: $r_i \times (\text{EAA mg数} / 1\text{g蛋白质}) \times (\text{蛋白质 g数} / 100\text{g食物}) \times \text{消化吸收系数} \times 1000 = R_i$,以 R_i 作为实用的表观性标准尺度。

5.6 灰色综合评价广泛应用时可与计算机联立,以快速运算出大量的结果。本例方法亦可用于以矿物质为营养特征的食物进行盐类平衡质量的综合评价。

6 结论

灰色综合评价用于食物蛋白质氨基酸平衡质量评价是可行的,它较好地全面系统地综合了全部必需氨基酸(EAA)对营养质量的影响,针对传统方法上对“过量”EAA所造成的“不平衡”不予考虑的弊端,提出了“上限”要求,得出了客观而统一的结果,方法简明、原理严谨、概念清晰、步骤简单,有待进一步研究应用。

参考文献

- 1 天津、无锡轻院合编. 食品生物化学. 轻工业出版社, 1981, 332~359.
- 2 刘志皋. 食品营养学. 北京: 轻工业出版社, 1991, 98~142.
- 3 王璋等译. 食品化学. 中国轻工业出版社, 1991, 255~259.
- 4 赵虎山. 以上海四膜虫无小核株为评价蛋白质营养价值指示物的研究. 食品科学, 1994, (5): 5~8.
- 5 李玉振等译. 食品科学手册. 北京: 轻工业出版社, 1989, 148~149.
- 6 郭爱明. 灰色系统理论和方法在食品科学中的应用. 食品科学, 1994, (4): 3~6.
- 7 扈文盛. 食品常用数据手册. 中国食品出版社, 1987, 462~463.
- 8 郭爱明. 食品营养平衡质量灰色综合评价方法的探讨和实践. 食品科学, 1994, 10, 12~16.