

婴儿配方乳粉中蛋白质的营养评价及氨基酸分析研究进展

宋晓青, 张天博, 贾云虹, 杨 凯, 马 蕊, 申雪然, 李朝旭*
(河北三元食品有限公司, 河北 石家庄 050071)

摘要: 本文对婴儿配方乳粉中的蛋白质从质和量两个方面进行了综合评价, 尤其对其营养评价方法进行了深入研究。以蛋白质营养评价的生物学法为参考, 分析了5种氨基酸分析评价法与生物学法的相关性, 进而得出等权灰色关联度分析法是各方法中与生物学法相关性最高的一种; 在进行食物中各种氨基酸与参考模式对应氨基酸比较时, 氨基酸比值系数较氨基酸比值更加科学。本文用等权灰色关联度分析法对配方乳粉中氨基酸组成与母乳模式进行了相似度评价, 并对配方乳粉中提供蛋白质的主要原料进行了氨基酸比较及互补性分析, 为设计开发蛋白质、量兼优的婴儿配方乳粉提供系统的分析方法。

关键词: 婴儿配方乳粉; 氨基酸比值系数; 消化率校正的氨基酸评分; 等权灰色关联度分析

Progress in Nutritional Evaluation and Amino Acid Composition Analysis of Proteins in Infant Formula Milk Power

SONG Xiaqing, ZHANG Tianbo, JIA Yunhong, YANG Kai, MA Rui, SHEN Xueran, LI Zhaoxu*
(Hebei Sanyuan Foods Co. Ltd., Shijiazhuang 050071, China)

Abstract: This paper makes a comprehensive evaluation on the quality and quantity of proteins in infant formula powder, with especial focus on an in-depth analysis of the methods used for nutritional evaluation of proteins in infant formula powder. Five evaluation methods based on amino acid analysis were examined for correlation with the biological evaluation method. It was shown that the highest correlation of each of the five chemical methods with the biological evaluation method was achieved by equally weighted gray correlation analysis. The amino acid ratio coefficient method provided more scientific evaluation of amino acids in foods in comparison with the amino acid reference pattern than the amino acid ratio method. Similarity evaluation between the amino acid composition of infant formulas and breast milk was performed using equally weighted gray correlation analysis. Comparative and complementary analysis of amino acids was also carried out on the main protein sources for infant formulas, aiming to providing a systematic analytical approach for the design and development of infant formula powder with excellent protein in quality and quantity.

Key words: infant formula powder; amino acid ratio coefficient; protein digestibility-corrected amino acid score; equally weighted grey correlation analysis

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601049

中图分类号: R151.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)01-0292-07

引文格式:

宋晓青, 张天博, 贾云虹, 等. 婴儿配方乳粉中蛋白质的营养评价及氨基酸分析研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 292-298.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601049. <http://www.spkx.net.cn>

SONG Xiaqing, ZHANG Tianbo, JIA Yunhong, et al. Progress in nutritional evaluation and amino acid composition analysis of proteins in infant formula milk power[J]. Food Science, 2016, 37(1): 292-298. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201601049. <http://www.spkx.net.cn>

母乳喂养是保证新生儿达到良好营养状况的基础, 其氨基酸模式好, 生物利用率高, 可满足新生儿出生后早期快速生长发育的需要^[1]。早期母乳蛋白质水平为10~13 g/L^[2], 蛋白质/能量比约1.8 g/100 kcal, 是婴儿合

成蛋白质及其体内生物物质的重要来源^[3], 其必需氨基酸模式适合人体生长, 可减少蛋白需求, 减轻新生儿期肾脏发育不成熟的代谢压力, 是新生儿时期最佳食物^[4]。婴儿配方乳粉是以牛乳、脱盐乳清粉、乳清蛋白粉等牛乳

收稿日期: 2015-03-25

基金项目: 北京市科学技术委员会科技计划项目(D141100004814002; D141100004814001); 石家庄市科技支撑计划项目(141171201A)

作者简介: 宋晓青(1981—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为乳粉开发与科学。E-mail: songxiaqingabc@163.com

*通信作者: 李朝旭(1968—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为乳制品开发与科学。E-mail: healthareall@126.com

分离提取物为主要蛋白原料,其蛋白质组成和含量与母乳成分尚有一定差异。

过多或过少摄入蛋白质,其生命表征不同。有研究表明婴儿的早期营养,尤其是1周岁前,乳蛋白的过多摄入会使儿童早期超重^[5],且对生命健康有长期的影响,是未来肥胖的重要风险因素。Socha等^[6]2011年从蛋白质对内分泌响应与生长发育方面进一步证明了这一观点,婴儿时期蛋白质的摄入可调节类胰岛素轴和胰岛素的释放,这与2岁幼儿的身高和体质量指数相关。动物和小范围的人群研究实验证明,饮食尤其是蛋白质的摄入可调控血液中类胰岛素生长因子(insulin-like growth factors, IGF) - I, IGF轴调节早期生长同时也影响人类体内脂肪组织的分化和脂肪的形成。胃肠道除有消化吸收功能外,还是人体最大的免疫器官和分泌器官,保持肠道功能的动态平衡对新生儿至关重要,需要适时、科学、合理的营养摄入^[7]。

蛋白质的质和量是婴儿喂养食物的关键评价指标^[8],蛋白质的营养取决于所含各种氨基酸之间的平衡情况^[9]。婴儿配方乳粉的氨基酸模式与母乳模式越接近越有利于婴儿的各项指标的生长发育。因此,对氨基酸分析方法的研究,比较分析各方法的科学性、实用性,可建立有效、系统的蛋白质评价体系。

1 婴儿配方乳粉中蛋白质的含量

蛋白与能量比是评价食物蛋白质含量的标准^[10]。婴儿的蛋白质推荐摄入量,是指适度的身体活动下形成适宜身体组织的氮平衡,加上形成健康组织增长所需蛋白质的最低摄入量。1996年, Dewey等^[11]就关于婴儿蛋白质的需求问题进行了讨论,审查了1985年婴儿和儿童蛋白质的需求报告。建议母乳喂养婴儿的需要值应比1985年低10%~25%,如对于3~6个月婴儿,1985年报道^[12]中推荐蛋白质的安全摄入水平为1.85 g/(kg·d),在2007年报道^[10]中则为1.14~1.36 g/(kg·d),2013版中国居民膳食营养素参考摄入量(dietary reference intakes, DRIs)^[13]对于0~6个月婴儿的推荐摄入量基于1.5 g/(kg·d)所得,则是2000版DRIs^[14]推荐量的下限。

近些年国外研究机构对婴儿配方乳粉中的含量进行了临床方面的科学研究。1998年, Raiten等^[15]对婴儿配方食品进行了营养评估,建议乳基配方食品的真蛋白的最小值为1.7 g/100 kcal,若产品提供的蛋白质含量等于或接近此数值需进行临床实验证明。Akeson等^[16]的研究表明蛋白含量在1.9~2.2 g/100 kcal的配方乳粉喂养6个月婴儿与母乳、配方乳粉混合喂养的婴儿蛋白代谢情况相似。在Raiha等^[17]的研究中,报道食用蛋白为1.8 g/100 kcal的乳清强化配方乳粉,4月龄婴儿的体质量和身长与母乳喂

养和2.2 g/100 kcal符合标准的配方乳粉接近。Fomon等^[18]用1.7 g/100 kcal的配方乳粉进行的喂养实验中表明其蛋白摄入量可满足正常身长需求,但疑惑的是此测试组的体质量和身长较2.2~2.5 g/100 kcal的参照组水平较高,这可能跟其蛋白质含量与能量比偏低,而增加了饮奶量的摄入有关。通过上述研究可以看出,乳基婴儿配方乳粉蛋白质与能量比值在1.85 g/100 kcal的水平(真蛋白与能量比为1.7 g/100 kcal),可基本满足婴儿需求且为安全水平^[10]。

目前市场婴儿配方乳粉中各品牌代表产品的蛋白质含量与能量比值情况,如图1所示,比值范围在1.88~2.43 g/100 kcal之间。样品中蛋白质含量与能量比值一般均为产品的标签标识值,国家标准中规定乳基婴儿配方乳粉蛋白质的含量最小值为1.88 g/100 kcal,最大值为2.93 g/100 kcal。由此可看出不同品牌、不同产品的设计理念不同,其蛋白质含量及组成则有不同程度的设计空间。

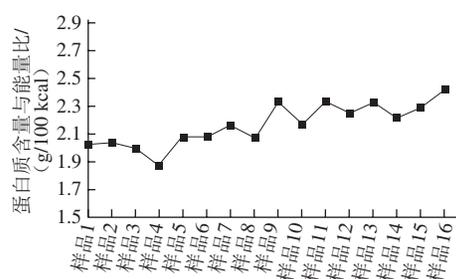


图1 婴儿配方乳粉中蛋白质含量与能量比
Fig.1 Ratio of protein and energy in infant formula powder

2 婴儿配方乳粉中蛋白质营养价值的评价方法

蛋白质营养价值的评价方法呈现了复杂性和多样性,本文将其评价方法概括为生物学法^[19]和氨基酸分析评价法(即氨基酸评分^[13]、化学评价法^[19])。生物学法主要是通过动物或人体实验测定食物蛋白质在体内的利用率;氨基酸评价法主要是对食物中的氨基酸进行分析,并与参考氨基酸模式比较评价。生物学法是评定食物蛋白质营养价值的可靠方法^[20],但是该系列方法的实验数据积累时间长,不能满足生产中对原料或成品蛋白质的快速分析评价,随着对蛋白质营养特性研究的深入,氨基酸分析评价越来越受到科学研究的关注。

2.1 蛋白质的生物学评价

生物学法主要包括蛋白质功效比值(protein efficiency ratio, PER)^[13,19]、蛋白质生物价(biological value, BV)、净蛋白利用率(net protein-utilization, NPU)^[19-21]和氮平衡指数(nitrogen balance index, NBI)等。PER=实验期内动物体质量增加量/g/实验期内蛋白

质摄入量/g,是指实验期内,动物平均每摄入1g蛋白质时所增加的体质量; $BV = \text{氮储留量}/\text{氮吸收量} \times 100$,是反映食物蛋白质消化吸收后,被机体利用程度的一项指标; $NPU = \text{生物价} \times \text{消化率} = (\text{氮储留量}/\text{食物氮含量}) \times 100$,是考虑了蛋白质消化率的食物蛋白质的利用率。

2.2 蛋白质的氨基酸分析评价

依据营养平衡法则,氨基酸的不足与过剩,均影响人体对蛋白质的吸收利用情况。食物氨基酸组成及含量与参考模式各氨基酸的综合评价则是对蛋白质的一种质的评价方法。

2.2.1 食物各氨基酸与参考氨基酸模式的比较分析

食物中各氨基酸与参考模式对应各氨基酸的比较方法有氨基酸比值^[13]与氨基酸比值系数^[22]两种。氨基酸比值是指一定量食物的各氨基酸含量,相当于模式中各氨基酸的倍数。氨基酸比值系数则是食物各氨基酸比值与各氨基酸比值的均数之比。氨基酸比值系数的意义重在修正了食物氨基酸的相对比值,使不同食物中的各氨基酸比值处在同一比较水平,即以参考模式氨基酸水平为基础。由此可见,氨基酸比值系数较氨基酸比值更有效、科学。参考模式可以是理想食物中的各氨基酸组成、也可以是不同年龄人群氨基酸需求模式的各氨基酸组成或是对比食物中的各氨基酸组成。婴儿配方乳粉可以以母乳的氨基酸组成或0~6月龄婴儿对氨基酸的需求为参考,如联合国粮食及农业组织/世界卫生组织/联合国大学(Food and Agriculture Organization/World Health Organization/United Nations University, FAO/WHO/UNU)列出的0~6月龄婴儿必需氨基酸的需求模式^[12]。

2.2.2 评价食物氨基酸与参考模式氨基酸的相似度

人体所需的必需氨基酸的数量及比例同人体的需要接近时,才能合成人体的组织蛋白,反之则会影响食物中蛋白质的利用^[23]。氨基酸分析评价法的科学性与有效性可通过氨基酸评价法与生物法的相关性证明。

目前可用于蛋白质营养评价的氨基酸分析评价法有蛋白质消化率校正的氨基酸评分(protein digestibility corrected amino acid score, PDCAAS)、氨基酸比值系数法(score of ratio coefficient, SRC)^[22]、氨基酸Person's相关系数法^[24-25]、氨基酸平衡度法(1-imbalance degree, 1-IBD)^[26]、氨基酸等权灰色关联度法^[20]、失衡度^[26]和贴适度^[27]。PDCAAS是将食物中的各氨基酸与参考模式各氨基酸之比经食物蛋白消化率校正,由第一限制氨基酸决定该食物蛋白的最终得分,校正值最低的氨基酸为第一限制氨基酸;SRC是一种经食物各氨基酸变异系数修正的一种评价方法^[22];氨基酸平衡度法是通过氨基酸数学模型的失衡度(1BD)间接作为评价的方法;氨基酸

Person's相关系数法是食物各氨基酸与参考模式氨基酸的线性关系,相关系数越高,相似度越高;氨基酸等权灰色关联度法是将参考模式各氨基酸值设立为标准参考序列曲线,将食物各氨基酸值的曲线进行几何性状的数学模型分析,得到关联度 r 值, r 值越高相似度越高;几种方法均是对蛋白质氨基酸组成的综合评价,但各方法与生物法的相关性不同。本文对常用的5种氨基酸分析评价法(PDCAAS、SRC、1-IBD、氨基酸Person's相关系数法、氨基酸等权灰色关联度法)分别与生物法进行相关性分析。依据参考文献中的计算原理及运行过程,对食物中的氨基酸与参考氨基酸进行系统分析,得出各氨基酸评价法与生物评价法之间相关性,进而得知与生物法相关性最高的氨基酸分析评价法。

2.2.3 5种氨基酸分析评价法与生物法的相关性

对蛋白质的生物学评价与化学指数评价进行横向比较,需在紧密联合的系统内进行,即食物生物评价、蛋白质消化率、氨基酸含量数据有严谨、系统、科学的研究、报道,通过对相关报道的筛选、比较分析,本文采用Mensa-Wilmot等^[21]的原始数据结合雷兴刚^[20]、孙文志^[9]等对评价方法的研究进行了分析。通常氨基酸含量检测的表示方法有:百分比、g/100g产品、mg/g pro。本文以mg/g pro为单位,对氨基酸模式进行分析比较,排除了产品中蛋白的含量对氨基酸模式的干扰(表1、2)。

表1 挤压膨化谷类/豆类混合物的氨基酸组成和FAO/WHO推荐需要量^[20]
Table 1 Amino acid profiles of extruded cereal/legume mixture and the recommended intakes of amino acid by FAO/WHO^[20]

氨基酸	参考模式 0~1岁	mg/g pro					
		谷物1	谷物2	谷物3	谷物11	谷物22	谷物33
组氨酸	26	31	27	26	29	26	29
异亮氨酸	46	36	33	32	34	31	33
亮氨酸	93	82	74	74	77	71	76
赖氨酸	66	50	51	50	52	47	48
蛋氨酸+半胱氨酸	42	21	23	23	23	22	22
苯丙氨酸+酪氨酸	72	108	98	95	106	101	107
苏氨酸	43	41	34	34	35	32	36
缬氨酸	55	46	41	40	43	39	42

表2 挤压膨化谷类/豆类混合物的PER、NPR及混合物的各氨基酸分析评价法结果

Table 2 PER, NPR of extruded cereal/legume mixture and evaluation of amino acids

评价方法	混合物1	混合物2	混合物3	混合物4	混合物5	混合物6
PER ^[21]	2.400	2.300	2.300	2.200	2.200	2.100
NPR ^[21]	94.300	91.400	94.300	88.600	85.700	85.700
PDCAAS*	0.437	0.496	0.484	0.504	0.468	0.465
灰色关联度*	0.550	0.527	0.541	0.515	0.512	0.502
SRC*	64.646	68.246	69.279	65.413	64.141	63.282
1-IBD*	0.754	0.779	0.786	0.760	0.751	0.745
Person's相关度*	0.790	0.814	0.828	0.792	0.779	0.771

注:*.数据是基于混合谷物各氨基酸含量的不同方法计算所得。

表3 5种氨基酸评价法与PER、NPR的相关性
Table 3 Correlation between 5 evaluation methods based on amino acid analysis and PER or NPR

评价方法	校正PER	相对NPR	PDCAAS	灰色关联度	SRC	1-IBD	Person's相关度
校正PER	1						
相对NPR	0.899*	1					
PDCAAS	-0.298	-0.131	1				
等权灰色关联度	0.962**	0.961**	-0.328	1			
SRC	0.480	0.676	0.522	0.525	1		
1-IBD	0.471	0.668	0.535	0.515	1.000**	1	
Person's相关度	0.567	0.761	0.439	0.625	0.991**	0.989**	1

注：*，在0.05水平（双侧）上显著相关；**，在0.01水平（双侧）上显著相关。

由表3可知，5种氨基酸评价法与生物法相关性排序依次为等权灰色关联度>Person's相关度>SRC>1-IBD>PDCAAS，其中PDCAAS与生物法成负相关性，SRC、1-IBD与生物法的相关性也较低，分别为0.480、0.676和0.471、0.668。Person's相关度与PER、NPR的相关系数 r 分别为0.567、0.761（ $P=0.079$ ）；等权灰色关联度与PER、NPR的相关系数 r 分别为0.962（ $P=0.002$ ）、0.961（ $P=0.002$ ），且其他4种氨基酸评价法与灰色关联度分析法的相关系数均<0.8，因此，对食物氨基酸与参考模式进行等权灰色关联度分析可反映出食物蛋白质的营养价值或相似度。5种方法的相关度排序在以另一种氨基酸组成为参考模式时其排序可能会发生改变，如国际食品法典委员会（Codex Alimentarius Commission, CAC）^[29]母乳氨基酸，相关度排序则为等权灰色关联度>Person's相关度>1-IBD>SRC>PDCAAS，灰色关联度法与PER、NPR的相关系数 r 分别降为0.917（ $P=0.01$ ）、0.943（ $P=0.005$ ），SRC、1-IBD与生物法的相关性降低，且顺序更改，分别为0.286、0.459和0.287、0.462。Person's相关度与PER、NPR的相关性提高分别为0.602、0.787；因此改变参考模式或其中某几种氨基酸的数值，则影响各方法与生物学特性的相关性，即参考模式对相关度起关键性影响。蛋白质的氨基酸组成不同其营养质量有所不同^[30]，食物蛋白中每种氨基酸与参考模式对应氨基酸的比值最低则为第一限制氨基酸，PDCAAS即是由第一限制氨基酸决定该食物蛋白质的最终得分^[31]，PDCAAS是目前对蛋白质评价应用较普遍、简单易行的方法^[32]。综合这5种氨基酸评价法与生物评价法的相关性得出，等权灰色关联度分析法为综合氨基酸分析评价法中有效的方法之一，其在运行以母乳氨基酸模式代替婴儿需求的氨基酸模式后，与生物法的相关性降低，这可能与母乳氨基酸转化为体内氨基酸存在一定的系数有关。

氨基酸模式是决定蛋白质质量的第一重要因素，同时蛋白质的消化率则是第二重要因素^[21]。在评价原料、配方乳粉和母乳氨基酸模式时，未考虑消化率对氨基酸模式接近度的影响。在谷物氨基酸分析评价与生物学法相关性比较中，若将各谷物氨基酸数值通过消化率校

正，相关性下降或成负相关，进而从统计学的角度说明氨基酸模式可能是影响蛋白质消化率的内在因素之一。

3 婴儿配方乳粉的氨基酸分析

氨基酸分析可用作婴幼儿配方食品的蛋白质评价^[15]。本文将市场婴儿配方乳粉中氨基酸组成与母乳模式，通过等权灰色关联度分析法进行评价。

3.1 婴儿配方乳粉氨基酸模式与母乳模式的比较分析

对婴儿配方乳粉氨基酸模式分析的主要目的是评价其与目标模式母乳或推荐模式的相关程度。推荐模式是指在一定范围内达到正常身高、体质量所需的各氨基酸组合；各种氨基酸在参与肠道代谢与炎症、免疫机制的调节发挥着不同作用，然而关于人体尤其是婴儿对于单一的氨基酸需求量并无较多的深入报道，且参与蛋白质合成与代谢的酶系统相对稳定。母乳氨基酸模式则可能包含了潜在的、具有一定功能的氨基酸模式，因此，本文选用母乳氨基酸为参考模式。

WHO和CAC中母乳氨基酸组成，相比除酪氨酸外各氨基酸数值接近，由表4可知，WHO数据中酪氨酸较CODEX明显偏高，而CAC与欧盟标准^[33]中各氨基酸数值较一致，因此采用CAC数值为参考氨基酸模式。

表4 WHO和CAC母乳中氨基酸模式
Table 4 Amino acid patterns of human milk proposed by the WHO and the CAC

氨基酸	mg/g pro	
	WHO ^[12]	CAC ^[29]
异亮氨酸	55	51
亮氨酸	94	94
赖氨酸	69	63
蛋氨酸	16	14
苯丙氨酸	42	45
苏氨酸	44	43
色氨酸	17	18
缬氨酸	55	50
组氨酸	21	23
酪氨酸	52	42

表5 CAC母乳氨基酸模式及婴儿配方乳粉中氨基酸组成
Table 5 Amino acid pattern of human milk and amino acid composition of infant milk powders proposed by the CAC

氨基酸	母乳*	mg/g pro								
		样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7	样品8	样品9
异亮氨酸	51	55	52	55	54	55	55	59	52	54
亮氨酸	94	99	99	107	100	101	94	105	88	98
赖氨酸	63	81	81	84	81	84	73	80	68	66
蛋氨酸	14	29	23	29	24	25	20	27	25	24
苯丙氨酸	45	38	40	40	40	43	36	40	34	35
苏氨酸	43	57	56	56	56	56	56	60	58	55
色氨酸	18	13	13	15	13	15	12	13	13	13
缬氨酸	50	56	52	58	55	56	52	58	53	49
组氨酸	23	27	21	24	25	21	30	29	33	30
酪氨酸	42	34	38	36	44	49	37	37	35	35

注：*，CAC数据；下同。样品1~9均为市场在售不同品牌的某一婴儿产品，其氨基酸组成数据为项目组测定数值。

由表5可知, 母乳氨基酸模式及婴儿配方乳粉中氨基酸组成, 再结合当前配方乳粉与母乳模式的接近度(表6), 可间接评价其蛋白质的品质。此外, 对配方乳粉与母乳氨基酸的比较分析重在找出限制性氨基酸, 通过计算配方乳粉与母乳氨基酸的比值系数, 可明确提高配方乳粉中蛋白质品质的方向, 判断是否考虑补充添加相应的原料。

表6 婴儿配方乳粉氨基酸组成与母乳模式的相关度

Table 6 Correlation between amino acid profile of infant formula milk powder and the human milk pattern

与母乳相关度	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7	样品8	样品9
等权灰色相关	0.56	0.64	0.59	0.62	0.61	0.62	0.53	0.59	0.62
Person's相关	0.94	0.96	0.95	0.97	0.97	0.96	0.95	0.93	0.95
SRC	67	75	69	76	76	77	72	69	73

如果食物中氨基酸组成与氨基酸模式一致, 则各比值系数都应等于1, 数值大于和小于1都表示偏离氨基酸模式, 根据比值系数可以判断限制性氨基酸, 比值系数最小即为第一限制性氨基酸。由表7可知, 在9个样品中第一限制性氨基酸均为色氨酸, 第二、第三限制性氨基酸为酪氨酸或苯丙氨酸; 蛋氨酸为相对过剩氨基酸, 其次为苏氨酸、赖氨酸。

表7 乳粉中各氨基酸的比值系数

Table 7 Amino acid ratio coefficients of milk powder

氨基酸	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5	样品6	样品7	样品8	样品9
异亮氨酸	0.939	0.947	0.921	0.940	0.933	1.012	0.982	0.929	0.984
亮氨酸	0.917	0.978	0.972	0.944	0.929	0.938	0.948	0.853	0.969
赖氨酸	1.120	1.194	1.139	1.141	1.153	1.087	1.078	0.983	0.974
蛋氨酸	1.804	1.525	1.769	1.521	1.545	1.340	1.637	1.626	1.593
苯丙氨酸	0.736	0.825	0.759	0.789	0.827	0.750	0.755	0.688	0.723
苏氨酸	1.155	1.209	1.112	1.156	1.127	1.222	1.185	1.228	1.189
色氨酸	0.629	0.671	0.712	0.641	0.721	0.625	0.613	0.658	0.671
缬氨酸	0.976	0.966	0.991	0.976	0.969	0.976	0.985	0.965	0.911
组氨酸	1.023	0.848	0.891	0.964	0.790	1.224	1.070	1.307	1.212
酪氨酸	0.705	0.840	0.732	0.930	1.009	0.826	0.748	0.759	0.774

在以人体需求氨基酸模式的氨基酸分析过程中, 可通过蛋白质的体外酶解法快速测定食物蛋白质的消化率, 用消化率对食物氨基酸模式校正计算。另有研究表明^[21], 不同食物中不同氨基酸的有效性也不同^[31], 在已知或有实验数据时, 可实时修正分析。在理想食物且蛋白质组成相近的情况下, 可忽略消化率对氨基酸模式的影响。

3.2 婴儿配方乳粉主要蛋白原料的氨基酸分析

通过原料氨基酸分析, 可看出各原料氨基酸组成的特点, 可明确提高母乳化的方向。在婴儿配方乳粉生产中提供蛋白质的主要原料有生牛乳、脱盐乳清粉、乳清浓缩蛋白、 α -乳清蛋白粉、水解乳清蛋白粉等(表8), 依据配方乳粉与母乳模式的比较、分析, 找出限制性或过剩氨基酸及其程度。

表8 母乳、配方乳粉和几种主要原料的氨基酸组成

Table 8 Amino acid composition of human milk, formula milk powder and milk protein materials

氨基酸	母乳*	配方乳粉	生牛乳	脱脂粉	脱盐乳清粉	α -乳清蛋白粉	水解乳清蛋白
异亮氨酸	51	52	48	45.70	54.70	69.50	61.50
亮氨酸	94	99	95	89.90	102.70	91.80	115.00
赖氨酸	63	81	68	72.10	79.10	89.30	92.30
蛋氨酸	14	23	35	30.90	23.60	21.70	21.80
苯丙氨酸	45	40	48	45.70	28.10	26.30	33.3
苏氨酸	43	56	43	39.60	102.70	91.80	64.00
色氨酸	18	13	12	10.40	10.40	17.30	16.60
缬氨酸	50	52	60	60.10	51.00	56.30	57.70
组氨酸	23	21	30	29.80	25.10	17.00	19.20
酪氨酸	42	38	45	44.40	33.30	28.10	29.50

注: 原料均为项目组自选原料, 符合相应国家标准, 其氨基酸含量为该项目组委托检测数据。

目前配方乳粉中第一限制性氨基酸为色氨酸, 该配方乳粉为母乳模式的67%, 第二、第三限制性氨基酸则为苯丙氨酸、酪氨酸或组氨酸, 但均大于母乳氨基酸的80%, 过剩氨基酸则为蛋氨酸, 为模式氨基酸的152%。在原料中脱脂粉、脱盐乳清粉、生牛乳的第一限制性氨基酸均为色氨酸, 且其均低于配方乳粉中色氨酸与母乳色氨酸的比值系数(表9)。与母乳相比, 现有配方乳粉中的第一限制性氨基酸色氨酸。相关研究证明, 色氨酸是人体血浆和组织中浓度较低的一种必需氨基酸, 是唯一与血清白蛋白结合的氨基酸, 而血清白蛋白在抗体免疫中起着重要作用; 同时色氨酸分解时产生的中间代谢体, 还可通过褪黑素生物合成途径生产自由基清除剂和抗氧化剂, 从而增强机体的免疫机能^[34-35], 高色氨酸配方乳喂养儿的睡眠潜伏期变短, 睡眠时间延长。本项目组所选的 α -乳清蛋白粉与水解乳清蛋白粉中色氨酸与母乳模式的接近度明显高于配方乳粉, 因此, 适当增加此两种原料的配比可提高配方乳粉氨基酸的模式水平, 但其自身的苯丙氨酸、酪氨酸或组氨酸, 即该配方乳粉的几种限制性氨基酸水平, 并未高于配方乳粉的水平。

表9 配方乳粉和几种主要原料与母乳氨基酸模式的比值系数

Table 9 Amino acid ratio coefficients of human milk, formula milk powder and milk protein materials

氨基酸	配方乳粉	生牛乳	脱脂粉	脱盐乳清粉	α -乳白蛋白粉	水解乳清蛋白
异亮氨酸	0.94	0.80	0.72	0.92	1.18	1.07
亮氨酸	0.98	0.86	0.77	0.94	0.85	1.08
赖氨酸	1.19	0.91	0.92	1.08	1.23	1.30
蛋氨酸	1.52	2.12	1.78	1.45	1.35	1.38
苯丙氨酸	0.82	0.90	0.82	0.54	0.51	0.65
苏氨酸	1.21	0.85	0.74	2.06	1.86	1.32
色氨酸	0.67	0.56	0.47	0.50	0.84	0.82
缬氨酸	0.96	1.02	0.97	0.88	0.98	1.02
组氨酸	0.85	1.11	1.04	0.94	0.64	0.74
酪氨酸	0.84	0.91	0.85	0.68	0.58	0.62

4 结 语

母乳中的蛋白质含量低于配方乳粉的含量^[36], 考虑降低婴儿配方乳粉中蛋白质含量以减轻对婴儿肾脏负担的同时, 需考虑提高其蛋白质的品质。人体可利用氮的来源除蛋白质形式外, 还包括游离氨基酸、肽以及一定比例的尿素氮^[12]。母乳中的游离氨基酸浓度比牛乳中高, 尤其是初乳中丰富的游离氨基酸有利于新生儿的吸收, 新生儿肠道中的消化酶发育不成熟, 对蛋白质的消化能力有限, 游离氨基酸可较快为脑组织摄取, 合成相应的神经介质, 并对新生儿脑部发育有重要影响^[37-38]。谷氨酸是游离氨基酸中含量最丰富的氨基酸, 其对婴儿的生长发育有更大益处, 为三羧酸循环提供酮戊二酸, 还可作为脑细胞的神经递质, 同时是肠道细胞能量的底物^[39], 婴儿体内蛋白质合成率主要与细胞内氨基酸浓度有关^[40]。目前婴儿配方乳粉中所测氨基酸均为乳粉中总的氨基酸含量, 其包括游离氨基酸、蛋白质氨基酸以及肽段氨基酸。因母乳中游离氨基酸的含量较高^[41], 婴儿配方食品中氨基酸的存在形式对婴儿的消化吸收也有较大影响^[42], 单纯的对婴儿配方乳粉中总氨基酸模式的分析或调整, 尚存在不足之处, 需紧跟母乳成分及其对婴儿健康成长功能特性的研究进展, 综合考虑婴儿配方乳粉氨基酸的组成及其存在形式。

母乳中氨基酸的组成受地区及长期饮食习惯的影响, 不同群体、不同个体间均有一定的差异性^[43], 如非洲国家母乳中的酪氨酸含量明显高于其他国家^[8], 因此母乳氨基酸模式数据的积累, 需要根据研究目的, 对统计对象进行严格的筛选。关于婴儿配方乳粉氨基酸模式水平的提高有待于进一步的科学研究和法规标准的支持。从婴儿配方乳粉及其主要原料与母乳模式的比值系数分析, 若想更加接近母乳中氨基酸的模式, 除选择添加氨基酸模式互补的原料外, 还可补充添加一定量的游离氨基酸, 但需考虑该氨基酸的功能特性。

参考文献:

- VIVATVAKIN B, MAHAYOSNOND A, THEAMBOONLERS A, et al. Effect of a whey-predominant starter formula containing LCPUFAs and oligosaccharides(FOS/GOS) on gastrointestinal comfort in infants[J]. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 2010, 19(4): 473-480.
- LÖNNERDAL B, HERNELL O. Effects of feeding ultrahigh-temperature (UHT)-treated infant formula with different protein concentrations or powdered formula, as compared with breast-feeding, on plasma amino acids, hematology, and trace element status[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1998, 68(2): 350-356.
- LAWRENCE P B. Breast milk: best source of nutrition for term and preterm infants[J]. *Pediatrics Clinical of North American*, 1994, 41(5): 925-941.
- TRUGO N M, DONANGELO C M, KOURY J C, et al. Concentration and distribution pattern of selected micronutrients in preterm and term milk from urban Brazilian mothers during early lactation[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1988, 42(6): 497-507.
- KOLETZKO B, VON KRIES R, CLOSA R, et al. Lower protein in infant formula is associated with lower weight up to age 2 y: a randomized clinical trial[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2009, 89(6): 1836-1845. DOI:10.3945/ajcn.2008.27091.
- SOCHA P, GROTE V, GRUSZFELD D, et al. Milk protein intake, the metabolic-endocrine response, and growth in infancy: data from a randomized clinical trial[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2011, 94(Suppl 6): 1776-1784.
- 刘喜红. 浅谈儿童胃肠道功能与营养管理[J]. *中国儿童保健杂志*, 2015, 23(1): 3-5. DOI:10.11852/zgetbjzz2015-23-01-02.
- ZHANG Z Y, ADELMAN A S, RAI D, et al. Amino acid profiles in term and preterm human milk through lactation: a systematic review[J]. *Nutrients*, 2013, 5(12): 4800-4821. DOI:10.3390/nu5124800.
- 孙文志. 营养学中氨基酸平衡的度量[J]. *动物营养学报*, 1995, 7(1): 42-49.
- World Health Organization. Protein and amino acid requirements in human nutrition: in report of a Joint WHO/FAO/UNU onsultation [R/OL]. Geneva: WHO, 2007. <http://www.docin.com/p-582531700.html>.
- DEWEY K G, BEATON G, FJELD C, et al. Protein requirements of infants and children[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 1996, 50(Suppl 1): 119-147.
- World Health Organization. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation[R/OL]. Geneva: WHO, 1985. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3937340>.
- 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 113-115.
- 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 62-81.
- RAITEN D J, TALBOT J M, WATERS J H. LSRO report: assessment of nutrient requirements for infant formulas[J]. *Journal of Nutrition*, 1998, 128(Suppl 11): 2059-2293.
- AKESON P M K, AXELSSON I E, RAIHA N C. Protein and amino acid metabolism in three-to twelve-month-old infants fed human milk or formulas with varying protein concentrations[J]. *Journal of pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 1998, 26(3): 297-304.
- RAIHA N C, FAZZOLARI N A C, PUCCIO G, et al. Whey predominant, whey modified infant formula with protein/energy ratio of 1.8 g/100 kcal: adequate and safe for term infants from birth to four months[J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology Nutrition*, 2002, 35(3): 275-281.
- FOMON S J, ZIEGLER E E, NELSON S E, et al. What is the safe protein-energy ratio for infant formulas?[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1995, 62(2): 358-363.
- 葛可佑. 中国营养科学全书(上册)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2004: 42-44; 594-599.
- 雷兴刚, 邓君明, 麦康森. 灰色关联度分析法评价蛋白质营养价值的可行性探讨[J]. *云南农业大学学报(自然科学版)*, 2010, 25(4): 545-550. DOI:10.3969/j.issn.1004-390X.2010.04.01821.
- 21 MENSA-WILMOT Y M, PHILLIPS R D, HARGROVE J L, et al. Protein quality evaluation of cowpea-based extrusion cooked cereal/legume weaning mixtures[J]. *Nutrition Research*, 21(6): 849-857. DOI:10.1016/S0271-5317(01)00302-5.
- 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价: 氨基酸比值系数法[J]. *营养学报*, 1988, 10(2): 187-190.

- [23] 任顺成. 食品营养与卫生[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011: 7-17.
- [24] 吴庆贺, 李晓东, 李铁红. 新型婴儿配方乳粉氨基酸配比的分析[J]. 中国乳品工业, 2008, 36(5): 23-36. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2008.05.006.
- [25] 王苏斌. SPSS统计分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 416.
- [26] 蔡健, 沈芬. 普通小麦品种主要性状的灰色关联度和相关性分析[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2012, 29(2): 34-38. DOI:10.3969/j.issn.1004-4329.2012.02.011.
- [27] 朱善良, 徐颖洁. 鸡冠花种子蛋白质氨基酸的分析研究[J]. 药物生物技术, 1998, 5(1): 43-45.
- [28] Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Report of the Joint FAO/WHO Expert consultation on protein quality evaluation[R/OL]. Bethesda: FAO/WHO, 1989. [2015-01-23]. <http://catalogue.nla.gov.au/Record/311270>.
- [29] CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION. CODEX STAN 72-1981 Standard for infant formula and formulas for special medical purposes intended for infants[EB/OL]. (2007-01-01)[2015-01-23]. <http://www.doc88.com/p-4189995451345.html>.
- [30] 闻芝梅. 现代营养学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 66-85.
- [31] 范丽芳, 张列兵. 氨基酸的有效性对于蛋白消化率校正氨基酸评分的影响[J]. 中国乳品工业, 2000, 28(3): 18-22.
- [32] 莫英杰, 张欣然, 王苏, 等. 国内外婴幼儿食品中蛋白质质量评价方法的对比研究[J]. 中国食品学报, 2011, 11(3): 168-174. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2011.03.028.
- [33] European Commission. Commission directive 2006/141/EC of 22 December 2006 on infant formulae and follow-on formulae and amending directive 1999/21/EC[EB/OL]. (2006-12-22)[2015-01-23]. http://3y.uu456.com/bp_29pug1ndbl77xpo57wxi_1.html.
- [34] 井明艳, 刘波静, 孙建义, 等. 氨基酸代谢与免疫反应[J]. 中国畜牧杂志, 2007, 43(5): 37-39. DOI:10.3969/j.issn.0258-7033.2007.05.013.
- [35] FAZZOLARI-NESCI A, DOMIANELLO D, SOTERA V, et al. Tryptophan fortification of adapted formula increases plasma tryptophan concentrations to levels not different from those found in breast-fed infants[J]. Journal of Pediatric Gastroenterology Nutrition, 1992, 14(4): 456-459.
- [36] TRABULSI J, CAPEDE R, LEBUMFACIL J. Effect of an α -lactalbumin-enriched infant formula with lower protein on growth[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2011, 65(2): 167-174. DOI:10.1038/ejcn.2010.236.
- [37] 刘家浩, 李玉珍, 叶永军, 等. 人乳游离氨基酸的含量及动态变化[J]. 营养学报, 1992, 14(1): 171-173.
- [38] VANDENPLAS Y, PLASKIE K. Safety and adequacy of an optimized formula for pediatric patients with cow's milk-sensitive enteropathy[J]. Minerva Pediatric, 2010, 62(4): 339-345.
- [39] AGOSTONI C, CARRATÙ B. Free glutamine and glutamic acid increase in human milk through a three-month lactation period[J]. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 2000, 31(5): 508-512. DOI:10.1097/00005176-200011000-00011.
- [40] JOHNSON C, METCOFF J. Relation of protein synthesis to plasma and cell amino acids in neonates[J]. Pediatric Research, 1986, 20(2): 140-146. DOI:10.1203/00006450-198602000-00009.
- [41] CHUANG C K, LIN S P, LEE H C, et al. Free amino acids in full-term and pre-term human milk and infant formula[J]. Journal of Pediatric Gastroenterology Nutrition, 2005, 40(4): 496-500. DOI:10.1097/01.MPG.0000150407.30058.47.
- [42] 翁梅倩, 田小琳, 张伟利, 等. 母乳氨基酸与婴儿营养[J]. 临床儿科杂志, 1999, 17(5): 308-309.
- [43] LÖNNERDAL B. Effects of maternal dietary intake on human milk composition [J]. Nutrition, 1986, 116(4): 499-513.