

婴儿配方乳粉中氨基酸的组成分析

李琳瑶¹, 储小军¹, 华家才¹, 苏笑芳¹, 康巧娟¹, 高 超²

(1.贝因美(杭州)食品研究院有限公司, 浙江 杭州 311106; 2.黑龙江贝因美乳业有限公司, 黑龙江 哈尔滨 151400)

摘 要: 研究我国市售婴儿配方乳粉的氨基酸组成和含量与呈动态变化的母乳成分的差异。采用氨基酸分析仪检测市售婴儿配方乳粉的游离氨基酸和水解氨基酸含量, 并计算总氨基酸含量和各单体氨基酸占总氨基酸的比例, 同时与系统综述的中国母乳数据进行对比。结果表明: 12 份市售婴儿配方乳粉中仅部分乳粉样品检出游离氨基酸, 全部乳粉样品均检出水解氨基酸; 大部分氨基酸的质量浓度平均值与1~60 d母乳平均值接近, 高于61~180 d母乳平均值; 必需氨基酸占总氨基酸的质量分数平均值为46.43%, 与母乳接近; 各单体氨基酸中蛋氨酸和色氨酸占总氨基酸的比例高于母乳, 精氨酸和胱氨酸占总氨基酸的比例低于母乳, 其他氨基酸占总氨基酸的比例和母乳接近。目前市售婴儿配方乳粉的氨基酸含量与呈动态变化的母乳之间存在差异。

关键词: 婴儿; 乳粉; 母乳; 氨基酸

Analysis of Amino Acid Composition in Infant Formula

LI Linyao¹, CHU Xiaojun¹, HUA Jiakai¹, SU Xiaofang¹, KANG Qiaojuan¹, GAO Chao²

(1.Beingmate (Hangzhou) Food Research Institute Co. Ltd., Hangzhou 311106, China;

2.Heilongjiang Beingmate Dairy Co. Ltd., Harbin 151400, China)

Abstract: The composition and content of amino acids in infant formula sold in China were investigated in comparison with human milk at different lactation stages. An amino acid analyzer was used to detect the contents of free and hydrolyzed amino acids in commercial infant formula, and total amino acid content and the proportion of individual amino acids were calculated. The results showed that free amino acids were detected in some of the 12 samples, while hydrolyzed amino acids were detected in all these samples. The average concentration of most amino acids was close to that of human milk at 1 to 60 d of lactation, and higher than that of human milk at 61 to 180 d. The average ratio of essential to total amino acids was 46.43%, which was close to that of human milk. The proportions of methionine and tryptophan to total amino acids were higher than those of human milk, the proportions of arginine and cystine to total amino acids were lower than those of human milk, and the proportion of other amino acids to total amino acids was close to that of human milk. This study reveals the difference in amino acid content between commercial infant formula and human milk.

Keywords: infant; milk powder; human milk; amino acid

DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230331-014

中图分类号: TS252.51

文献标志码: A

文章编号: 1671-5187 (2023) 03-0001-06

引文格式:

李琳瑶, 储小军, 华家才, 等. 婴儿配方乳粉中氨基酸的组成分析[J]. 乳业科学与技术, 2023, 46(3): 1-6. DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230331-014. <http://www.dairyst.net.cn>

LI Linyao, CHU Xiaojun, HUA Jiakai, et al. Analysis of amino acid composition in infant formula[J]. Journal of Dairy Science and Technology, 2023, 46(3): 1-6. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/rykxyjs1671-5187-20230331-014. <http://www.dairyst.net.cn>

生命前6个月的特点是生长异常迅速, 不同器官系统的分化和功能活动达到顶峰。蛋白质在婴儿生长发育中起到非常重要的作用。蛋白质分为乳清蛋白和酪蛋白

两类, 乳清蛋白中的苏氨酸、色氨酸、赖氨酸和含硫氨基酸(蛋氨酸和半胱氨酸)含量高于酪蛋白, 而酪蛋白的芳香氨基酸(苯丙氨酸和酪氨酸)含量相对较高,

收稿日期: 2023-03-31

基金项目: 杭州市科技项目(202203A11)

第一作者简介: 李琳瑶(1990—)(ORCID: 0009-0003-1208-7684), 女, 工程师, 硕士, 主要从事乳品研究与开发。

E-mail: lilinyao@beingmate.com

半胱氨酸含量非常低^[1]。大多数新生儿的氨基酸需要由母乳或婴儿配方乳粉中的蛋白质来提供,氨基酸的充足供应和代谢对婴儿的生长发育、身体细胞组织的结构完整性以及酶、运输分子和激素的正常功能至关重要。蛋白质的质量主要取决于它的氨基酸组成和消化率,高质量蛋白质含有所有的必需氨基酸,并且高于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 of the United Nations/World Health Organization/United Nations University, FAO/WHO/UNU)参考水平^[2]。婴儿配方乳粉的氨基酸模式与母乳参考模式越接近,越有利于婴儿各项身体指标的发育。

婴儿配方乳粉是指适用于0~6月龄婴儿食用的配方食品,GB 10765—2021《食品安全国家标准 婴儿配方食品》^[3]中明确了营养素的具体组成和含量。虽然制定标准的依据是以母乳为黄金标准,然而由于受多种因素(母体差异、环境差异等)的影响,母乳中的营养成分不断变化。搜索国内外母乳研究文献^[4-12],结果表明,母乳中的氨基酸含量在泌乳期(1~180 d)呈动态变化,在泌乳前期氨基酸含量最高,随后呈下降趋势。而市售婴儿配方乳粉对于0~6月龄的婴儿无论在哪个月龄,其通过喂养配方乳粉接受的营养素都是相同的含量。因此,本研究对市售婴儿配方乳粉的游离氨基酸、水解氨基酸和总氨基酸组成和含量进行分析,并与系统综述的中国母乳数据进行对比,研究市售婴儿配方乳粉中的氨基酸含量与呈动态变化的中国母乳之间的差异,为婴儿配方乳粉的开发和改进提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

从商超和官方旗舰店等正规渠道购买12份适用于0~6月龄婴儿食用的婴儿配方乳粉,涉及7个品牌,包括国内品牌和国外品牌,这些品牌在中国的市场份额占比较高。所购买乳粉的奶源地包括国内和国外,主要是中国、爱尔兰、荷兰等地。所购买乳粉的价格水平不同,可供不同收入的家庭使用。

1.2 仪器与设备

L-8900氨基酸分析仪 日本日立公司;FD115电热鼓风恒温箱 德国Binder GmbH公司;XS105分析天平 瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司。

1.3 方法

乳粉样品中游离氨基酸和水解氨基酸质量浓度为送第三方检测实验室(SGS通标标准技术服务有限公司)检测所得数据,检测方法参照GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》^[13]。总氨基酸质量浓度为游离氨基酸质量浓度和水解氨基酸质量浓度之和。

乳清蛋白占蛋白质比值计算参照Jacobs等^[14]建立的乳基婴儿配方食品中乳清蛋白含量的计算模型。首先计算

特征氨基酸的比值(Q),然后根据 Q 和乳清蛋白和酪蛋白中特征氨基酸的含量值计算乳清蛋白占蛋白质比值。按照式(1)~(2)计算。

$$Q = \frac{\rho_{\text{Asp}} + \rho_{\text{Ala}}}{\rho_{\text{Phe}} + \rho_{\text{Pro}}} \quad (1)$$

$$\text{乳清蛋白占蛋白质比值}/\% = \frac{9.596 - 15.720Q}{-6.111Q - 7.037} \times 100 \quad (2)$$

式中: ρ_{Asp} 表示天冬氨酸质量浓度/(mg/100 mL); ρ_{Ala} 表示丙氨酸质量浓度/(mg/100 mL); ρ_{Phe} 表示苯丙氨酸质量浓度/(mg/100 mL); ρ_{Pro} 表示脯氨酸质量浓度/(mg/100 mL)。

2 结果与分析

2.1 婴儿配方乳粉中游离氨基酸分析

游离氨基酸是指以游离态形式存在的、可被人体直接吸收利用的单个氨基酸分子。由表1可知,苏氨酸、组氨酸、色氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、甘氨酸、脯氨酸、胱氨酸8种游离氨基酸在12份市售婴儿配方乳粉中均未检出,缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、谷氨酸、丙氨酸、酪氨酸、精氨酸10种游离氨基酸在部分市售婴儿配方乳粉中有检出,但其质量浓度均较低。12份市售婴儿配方乳粉的总游离氨基酸质量浓度平均值为6.76 mg/100 mL,范围为1.32~24.30 mg/100 mL。

表1 婴儿配方乳粉中游离氨基酸组成($n=12$)

Table 1 Composition of free amino acids in infant formula ($n=12$)

mg/100 mL		
氨基酸	质量浓度范围	质量浓度平均值
苏氨酸	ND	ND
缬氨酸	0~2.70	0.44±0.86
蛋氨酸	0~1.35	0.11±0.39
异亮氨酸	0~4.05	0.65±1.32
亮氨酸	0~9.45	1.31±2.85
苯丙氨酸	0~1.35	0.11±0.39
赖氨酸	0~1.35	0.32±0.58
组氨酸	ND	ND
色氨酸	ND	ND
天冬氨酸	ND	ND
丝氨酸	ND	ND
谷氨酸	0~2.62	1.31±0.78
甘氨酸	ND	ND
丙氨酸	0~1.35	0.22±0.51
酪氨酸	0~13.20	2.18±5.08
精氨酸	0~1.35	0.11±0.39
脯氨酸	ND	ND
胱氨酸	ND	ND
总游离氨基酸	1.32~24.30	6.76±7.33

注:ND.未检出。

游离必需氨基酸中,质量浓度平均值最高的是亮氨酸,为1.31 mg/100 mL。其他检出的游离必需氨基酸是缬

氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸。在12份市售婴儿配方乳粉中仅有3份样品检出了亮氨酸、缬氨酸、异亮氨酸和赖氨酸,仅有1份样品(3份样品中的其中1份样品)检出了蛋氨酸和苯丙氨酸。分析原因可能是这3份样品配料中添加了生牛乳或脱脂牛乳,有研究^[15]表明,牛常乳中缬氨酸、赖氨酸、亮氨酸和蛋氨酸是质量浓度相对较高的游离必需氨基酸。

游离非必需氨基酸中,质量浓度平均值最高的是酪氨酸,为2.18 mg/100 mL。酪氨酸具有促进黑色素细胞合成黑色素的功能,也能用于甲状腺功能亢进的治疗,是人体不可缺少的一种氨基酸。其他检出的游离非必需氨基酸为谷氨酸、丙氨酸和精氨酸。

婴儿肠道中消化酶发育不成熟,消化蛋白质的能力有限,和蛋白质相比,游离氨基酸更容易被多种细胞的受体识别,因此可以更好地被婴儿消化吸收,是生长、发育和免疫所必需的关键途径的重要调节因子。母乳含有丰富的游离氨基酸,游离氨基酸质量浓度受母亲蛋白质的摄入量和妊娠期的长短等因素影响。有研究^[15]显示,母乳初乳中游离氨基酸质量浓度约为63 mg/100 mL,成熟乳中游离氨基酸质量浓度约为37 mg/100 mL。且随着泌乳期的延长,游离必需氨基酸的质量浓度逐渐下降,游离非必需氨基酸的质量浓度逐渐增加^[16]。市售婴儿配方乳粉的游离氨基酸质量浓度整体较低,低于母乳水平,其他研究报告^[17-18]也显示,目前婴儿配方乳粉的游离氨基酸质量浓度仅为母乳水平的20%~50%。此外,母乳中游离氨基酸质量浓度最高的为谷氨酸,质量浓度约为14.8 mg/100 mL^[17],婴儿配方乳粉的谷氨酸质量浓度远低于母乳水平。婴儿配方乳粉和母乳之间游离氨基酸的差异,可能导致配方乳粉喂养婴儿肠黏膜保护、神经递质和氮供应的差异。

2.2 婴儿配方乳粉中水解氨基酸分析

水解氨基酸是指将检测样品中的蛋白质、多肽等氨基酸链通过酸解的方式水解成单个氨基酸,反映的是产品中所有氨基酸单位(单个或多个)的组成。由表2可知,12份市售婴儿配方乳粉均检出18种水解氨基酸,总水解氨基酸质量浓度平均值为1 450.63 mg/100 mL,范围为1 323.81~1 780.65 mg/100 mL。

水解必需氨基酸中,质量浓度平均值最高的是亮氨酸,为148.08 mg/100 mL。亮氨酸参与多细胞生理过程,包括合成代谢抵抗、肌肉蛋白合成、胰岛素分泌和自噬;此外,亮氨酸可作为信号分子通过磷脂酰肌醇3-激酶/蛋白激酶B-雷帕霉素靶蛋白通路促进细胞过程^[19]。

水解非必需氨基酸中,质量浓度平均值最高的是谷氨酸,为261.92 mg/100 mL。谷氨酸在新生儿健康中起到重要作用,它作为组织间的氮和胺载体,是主要的能量来源,也是快速增殖的肠细胞中核酸和蛋白质的前体^[20]。

水解必需氨基酸中色氨酸的质量浓度平均值较低,

色氨酸的测定采用碱水解法,碱水解的低效率可能是导致色氨酸质量浓度偏低的原因。水解非必需氨基酸中胱氨酸的质量浓度平均值最低,胱氨酸在采用水解方法测定时,含硫的胱氨酸和半胱氨酸会被部分破坏或完全破坏,这可能导致胱氨酸质量浓度偏低^[21]。

表2 婴儿配方乳粉中水解氨基酸组成 (n=12)

Table 2 Composition of hydrolyzed amino acids in infant formula (n = 12)
mg/100 mL

氨基酸	质量浓度范围	质量浓度平均值
苏氨酸	68.64~88.44	78.28±6.04
缬氨酸	77.87~101.25	84.32±6.96
蛋氨酸	33.00~52.65	40.26±5.08
异亮氨酸	73.53~97.20	81.35±7.38
亮氨酸	132.87~191.70	148.08±15.74
苯丙氨酸	48.98~70.20	56.32±5.39
赖氨酸	106.76~149.85	116.74±11.23
组氨酸	28.89~39.15	32.29±2.88
色氨酸	31.40~47.25	36.34±4.51
天冬氨酸	115.55~153.90	127.51±10.17
丝氨酸	65.31~85.05	72.33±5.50
谷氨酸	232.20~321.30	261.92±25.38
甘氨酸	23.86~32.40	27.83±2.98
丙氨酸	47.73~71.55	58.04±6.44
酪氨酸	47.73~68.85	55.87±6.70
精氨酸	37.68~54.00	43.24±4.61
脯氨酸	95.04~128.25	108.09±9.70
胱氨酸	18.84~29.70	21.83±2.86
总水解氨基酸	1 323.81~1 780.65	1 450.63±121.99

2.3 婴儿配方乳粉和母乳中总氨基酸对比分析

由表3可知,12份市售婴儿配方乳粉的总氨基酸质量浓度平均值为1 457.39 mg/100 mL,与黄远丽等^[21]对婴儿配方乳粉氨基酸总量的研究结果接近,1段乳粉氨基酸总量为100~120 mg/g(换算后为1 350~1 620 mg/100 mL)。也与1~60 d母乳和1~180 d母乳氨基酸质量浓度平均值接近,但远高于61~180 d母乳氨基酸质量浓度平均值。

不同泌乳期母乳的氨基酸质量浓度不断变化,1~60 d母乳和1~180 d母乳的氨基酸质量浓度平均值高于61~180 d母乳平均值。将市售婴儿配方乳粉中各氨基酸质量浓度与母乳进行对比,大部分氨基酸的质量浓度平均值与1~60 d母乳平均值和1~180 d母乳平均值接近,高于61~180 d母乳平均值。氨基酸摄入过量或补充不足都会对婴儿生长发育造成影响。婴儿配方乳粉中蛋氨酸和色氨酸的质量浓度平均值高于各泌乳期母乳水平,蛋氨酸质量浓度平均值为母乳的2~3倍,色氨酸质量浓度平均值为母乳的1~2倍。苏氨酸的质量浓度平均值略高于母乳水平,与Sarwar^[22]所报道的一致,以乳清蛋白为主要蛋白质组分的配方乳粉的苏氨酸质量浓度高于母乳。有研究^[23-24]表明,和母乳喂养的婴儿相比,配方乳粉喂养婴儿的血浆苏氨酸质量浓度明显增高。精氨

酸的质量浓度平均值与61~180 d母乳平均值接近, 低于1~60 d母乳平均值和1~180 d母乳平均值。精氨酸参与蛋白质、胸腺素、人防御素等肽的合成, 在机体内以左旋精氨酸的形式发挥功能作用。胚胎期和婴幼儿时期生长发育迅速, 内源性合成的精氨酸通常不能满足机体的需求, 需要通过膳食来补充^[25]。胱氨酸的质量浓度平均值低于各泌乳期母乳水平, 胱氨酸有促进机体细胞氧化和还原机能、增加白血球和阻止病原菌发育等作用。

表3 婴儿配方乳粉和母乳中总氨基酸组成

氨基酸	母乳			乳粉样品	
	1~60 d 平均值 ^[9]	61~180 d 平均值 ^[9]	1~180 d 平均值 ^[9]	范围	平均值 (n=12)
苏氨酸	77.95	43.56	68.01	68.64~88.44	78.28±6.04
缬氨酸	85.87	51.63	75.97	77.88~103.95	84.76±7.44
蛋氨酸	21.50	14.53	19.13	33.00~54.00	40.37±5.38
异亮氨酸	80.69	46.56	70.82	73.53~101.25	82.00±8.09
亮氨酸	160.67	96.66	142.16	132.87~201.15	149.39±17.86
苯丙氨酸	61.12	36.43	53.98	48.98~71.55	56.43±5.71
赖氨酸	104.85	66.72	93.83	108.02~151.20	117.07±11.44
组氨酸	40.47	24.69	35.91	28.89~39.15	32.29±2.88
色氨酸	29.57	17.34	24.32	31.40~47.25	36.34±4.51
天冬氨酸	146.00	85.51	128.51	115.55~153.90	127.51±10.17
丝氨酸	78.84	44.01	68.77	65.31~85.05	72.33±5.50
谷氨酸	253.49	174.63	230.69	232.20~322.65	263.23±25.80
甘氨酸	42.14	22.10	36.34	23.86~32.40	27.83±2.98
丙氨酸	62.59	36.94	55.17	47.73~72.90	58.26±6.66
酪氨酸	64.36	39.56	57.19	47.73~77.88	58.04±10.58
精氨酸	71.50	37.36	61.63	37.68~55.35	43.35±4.91
脯氨酸	131.24	89.08	119.05	95.04~128.25	108.09±9.70
胱氨酸	31.60	24.76	29.62	18.84~29.70	21.83±2.86
总氨基酸	1 570.86	952.06	1 360.88	1 335.13~1 804.95	1 457.39±125.54
必需氨基酸	658.25	414.49	575.54	626.75~855.90	676.93±62.94
非必需氨基酸	882.92	570.38	792.55	708.38~949.05	780.47±63.38
必需氨基酸/总氨基酸%	42.54	41.76	42.27	45.56~47.42	46.43±0.53
必需氨基酸/非必需氨基酸	0.75	0.73	0.73	0.84~0.90	0.87±0.02
乳清蛋白占蛋白质的比例%				53.50~62.90	58.55±2.89

婴儿配方乳粉中必需氨基酸占总氨基酸质量分数平均值为46.43%, 与母乳中必需氨基酸占总氨基酸质量分数接近。12份市售婴儿配方乳粉必需氨基酸占总氨基酸的质量分数为45.56%~47.42%, 大于WHO和FAO推荐标准(36%)^[26], 在蛋白质组成上属于优质蛋白质。蛋白质在合成过程中, 必需氨基酸和非必需氨基酸需同时存在且比例合理, 这样在酶的作用下才能合成机体所需要的蛋白质, 婴儿配方乳粉和母乳中必需氨基酸与非必需氨基酸的比值分布在0.7~0.9。

GB 10765—2021^[3]中规定乳基婴儿配方食品中乳清蛋白占蛋白质应≥60%。参照JACOBS模型计算市售婴儿配方乳粉乳清蛋白占蛋白质比值, 11份样品乳清蛋白占蛋白质比值大于54%(按照回收率90%折算, 数据大于

54%即认为符合国家标准的要求)。其中1份样品的乳清蛋白占蛋白质比值为53.50%, 低于54%, 此样品在配方设计时需重点关注提供乳清蛋白的配料组成和含量。氨基酸折算法基本适用于乳基婴幼儿配方食品, 但不适用于母乳。

由表4可知, 不同泌乳期母乳的各氨基酸占总氨基酸的比例是相对稳定的。将市售婴儿配方乳粉中各单体氨基酸占总氨基酸的比例和母乳进行对比, 婴儿配方乳粉中蛋氨酸和色氨酸占总氨基酸的比例高于母乳, 精氨酸和胱氨酸占总氨基酸的比例低于母乳, 其他氨基酸占总氨基酸的比例和母乳接近。在必需氨基酸中, 亮氨酸占总氨基酸的比例最高, 平均值为10.23%, 组氨酸占总氨基酸的比例最低, 平均值为2.22%。在非必需氨基酸中, 谷氨酸占总氨基酸的比例最高, 平均值为18.06%, 胱氨酸占总氨基酸的比例最低, 平均值为1.50%。这与任琦琦等^[4]的研究结果基本一致。

表4 婴儿配方乳粉和母乳中各氨基酸占总氨基酸比例

氨基酸	母乳			乳粉样品	
	1~60 d 平均值 ^[9]	61~180 d 平均值 ^[9]	1~180 d 平均值 ^[9]	范围	平均值 (n=12)
苏氨酸	4.96	4.58	5.00	4.79~5.76	5.38±0.29
缬氨酸	5.47	5.42	5.58	5.64~5.93	5.82±0.11
蛋氨酸	1.37	1.53	1.41	2.35~2.99	2.76±0.19
异亮氨酸	5.14	4.89	5.20	5.23~5.93	5.63±0.25
亮氨酸	10.23	10.15	10.45	9.52~11.14	10.23±0.42
苯丙氨酸	3.89	3.83	3.97	3.67~4.14	3.87±0.16
赖氨酸	6.67	7.01	6.89	7.65~8.38	8.03±0.23
组氨酸	2.58	2.59	2.64	2.12~2.50	2.22±0.13
色氨酸	1.88	1.82	1.79	2.14~2.96	2.49±0.23
天冬氨酸	9.29	8.98	9.44	8.50~9.42	8.76±0.30
丝氨酸	5.02	4.62	5.05	4.71~5.27	4.97±0.17
谷氨酸	16.14	18.34	16.95	16.64~19.01	18.06±0.71
甘氨酸	2.68	2.32	2.67	1.77~2.23	1.91±0.19
丙氨酸	3.98	3.88	4.05	3.42~4.23	3.99±0.26
酪氨酸	4.10	4.16	4.20	3.57~5.56	3.99±0.74
精氨酸	4.55	3.92	4.53	2.78~3.45	2.97±0.19
脯氨酸	8.35	9.36	8.75	6.78~7.84	7.42±0.31
胱氨酸	2.01	2.60	2.18	1.37~1.69	1.50±0.13

2.4 婴儿配方乳粉中必需氨基酸组成模式

根据营养平衡原则, 食物中氨基酸的含量是影响机体对蛋白质吸收利用的因素之一。蛋白质营养价值的一种评价方法是将食物中各氨基酸的组成和含量与参考模式对应各氨基酸的组成和含量进行对比评价^[27]。如果蛋白质含有所有的必需氨基酸, 并且必需氨基酸的含量(或比例)使人体具有最佳的生长速度或最佳的保持健康的能力, 那么此蛋白质具有理想的营养质量^[2]。将市售婴儿配方乳粉的必需氨基酸含量与GB 10765—2021^[3]、

WHO^[28]、国际食品法典委员会 (Codex Alimentarius Commission, CAC)^[29]推荐的婴儿配方食品的必需氨基酸含量进行对比, 对氨基酸模式进行分析。

由表5可知, WHO和CAC数据中苯丙氨酸推荐值较GB 10765—2021高, 市售婴儿配方乳粉的苯丙氨酸含量和WHO、CAC推荐值接近, 比GB 10765—2021推荐值高。人体摄入食物中苯丙氨酸后, 部分苯丙氨酸用于蛋白质合成, 部分苯丙氨酸在肝脏苯丙氨酸羟化酶的作用下转化为酪氨酸。但如果人体染色体基因突变导致肝脏中的苯丙氨酸羟化酶缺乏, 会引起苯丙氨酸代谢障碍, 使其在体内累积而引起一系列病变^[30], 婴儿配方乳粉中的苯丙氨酸含量应进行合理的控制。婴儿配方乳粉的蛋氨酸含量比GB 10765—2021、WHO、CAC推荐值高, 且达到了GB 10765—2021推荐值的2~3倍, 从表3~4分析也可以看出, 婴儿配方乳粉的蛋氨酸质量浓度和蛋氨酸占总氨基酸的比例也高于母乳水平, 婴儿配方乳粉在氨基酸配方设计时, 建议适当调整蛋氨酸含量, 使其与母乳水平更接近。其他氨基酸含量和GB 10765—2021、WHO、CAC推荐值接近。

**表5 婴儿配方乳粉和GB 10765—2021、WHO、CAC推荐
婴儿配方食品中必需氨基酸组成模式**

**Table 5 Essential amino acid composition patterns in infant formula
and infant formula foods recommended by GB 10765—2021,
WHO and CAC**

氨基酸	GB 10765—2021 ^[3]	WHO ^[28]	CAC ^[29]	mg/g prot	
				乳粉样品	
				范围	平均值 (n=12)
苏氨酸	40	44	43	50~63	55.8±3.3
缬氨酸	50	55	50	57~65	60.2±2.6
蛋氨酸	10	16	14	25~34	28.8±2.3
异亮氨酸	48	55	51	53~64	58.4±3.4
亮氨酸	86	96	94	100~126	106.2±7.0
苯丙氨酸	29	42	45	37~45	40.3±2.6
赖氨酸	56	69	63	79~95	83.3±4.1
组氨酸	19	21	23	21~27	23.2±1.9
色氨酸	18	17	18	22~32	25.9±3.1

3 讨论

氨基酸的质量与婴儿的营养需求密切相关, 婴儿配方乳粉在氨基酸设计时, 应按照食品安全国家标准要求, 以母乳中氨基酸的组成和含量为基础, 同时结合婴儿的营养需求, 保证其合理性。母乳中氨基酸含量随着泌乳期 (1~180 d) 的延长呈动态变化, 在泌乳前期氨基酸含量最高, 随后呈下降趋势。通过对市售婴儿配方乳粉的氨基酸含量与动态变化的母乳进行对比分析, 可以看出市售婴儿配方乳粉中大部分氨基酸质量浓度平均值与1~60 d母乳平均值接近, 高于61~180 d母乳平均值,

这说明对于月龄61~180 d的婴儿, 目前市售婴儿配方乳粉中大部分氨基酸含量水平略高。本研究结果提示, 对于0~6月龄婴儿食用的婴儿配方乳粉的阶段划分可以更加精细化, 以更精准地满足婴儿对于氨基酸的动态营养需求; 同时个别氨基酸 (如蛋氨酸、色氨酸、精氨酸、胱氨酸等) 的含量设计也应与母乳水平更加接近。因此, 建议建立我国母乳氨基酸数据库, 对不同地区不同泌乳期母乳中氨基酸的组成和含量进行统计分析, 依托此数据库研制出更适合中国宝宝生长发育的配方乳粉。

参考文献:

- [1] VIADEL B, ALEGRIÁ A, FARRÉ R, et al. Amino acid profile of milk-based infant formulas[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2000, 51(5): 367-372. DOI:10.1080/096374800426957.
- [2] 王璋, 许时婴, 汤坚. 食品化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2019: 173-177.
- [3] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准 婴儿配方食品: GB 10765—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 1-9.
- [4] 任琦琦, 蒋士龙, 鄂志强, 等. 中国市售婴儿乳粉氨基酸与中国母乳成分动态变化差异研究[J]. 中国乳品工业, 2020, 48(5): 20-24; 64. DOI:10.19827/j.issn1001-2230.2020.05.004.
- [5] LÖNNERDAL B, ERDMANN P, THAKKAR S K, et al. Longitudinal evolution of true protein, amino acids, and bioactive proteins in breast milk: a developmental perspective[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2016, 41: 1-11. DOI:10.1016/j.jnutbio.2016.06.001.
- [6] GIDREWICZ D A, FENTON T R. A systematic review and meta-analysis of the nutrient content of preterm and term breast milk[J]. BMC Pediatrics, 2014, 14(1): 216-229. DOI:10.1186/1471-2431-14-216.
- [7] ZHANG Zhiying, 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.
- [8] REN Qiqi, SUN Han, ZHAO Mengya, et al. Longitudinal changes in crude protein and amino acids in human milk in Chinese population: a systematic review[J]. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 2020, 70(5): 555-561. DOI:10.1097/MPG.0000000000002612.
- [9] FENG Ping, GAO Ming, BURGHER A, et al. A nine-country study of the protein content and amino acid composition of mature human milk[J]. Food and Nutrition Research, 2016, 60(1): 31042. DOI:10.3402/fnr.v60.31042.
- [10] FORSUM E, LÖNNERDAL B. Effect of protein intake on protein and nitrogen composition of breast milk[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1980, 33(8): 1809-1813. DOI:10.1093/ajcn/33.8.1809.
- [11] LARNKJAER A, BRUUN S, PEDERSEN D, et al. Free amino acids in human milk and associations with maternal anthropometry and infant growth[J]. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 2016, 63(3): 374-378. DOI:10.1097/MPG.0000000000001195.
- [12] 李娜, 田芳, 钱昌丽, 等. 中国不同哺乳阶段母乳中氨基酸含量研究[J]. 营养学报, 2020, 42(5): 435-441. DOI:10.3969/j.issn.0512-7955.2020.05.006.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 1-6.

- [14] JACOBS W, JOHNS P, HASELBERGER P, et al. Calculation of whey protein fraction in milk-based infant formula: first action 2012.07[J]. Journal of AOAC International, 2013, 96(3): 502-507. DOI:10.5740/jaoacint.13-033.
- [15] 吴尚仪, 吴尚, 韩宏娇, 等. 不同泌乳期人乳与牛乳中游离氨基酸的对比[J]. 食品科学, 2018, 39(8): 129-134. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201808021.
- [16] 翁梅倩, 田小琳. 母乳氨基酸与婴儿营养[J]. 临床儿科杂志, 1999, 17(5): 308-309.
- [17] KLEIN K, BANCHER-TODESCA D, GRAF T, et al. Concentration of free amino acids in human milk of women with gestational diabetes mellitus and healthy women[J]. Breastfeeding Medicine, 2013, 8(1): 111-115. DOI:10.1089/bfm.2011.0155.
- [18] AGOSTONI C, CARRATÙ B, BONIGLIA C, et al. Free amino acid content in standard infant formulas: comparison with human milk[J]. Journal of the American College of Nutrition, 2000, 19(4): 434-438. DOI:10.1080/07315724.2000.10718943.
- [19] QIU Youwen, QU Bo, ZHEN Zhen, et al. Leucine promotes milk synthesis in bovine mammary epithelial cells via the PI3K-DDX59 signaling[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(32): 8884-8895. DOI:10.1021/acs.jafc.9b03574.
- [20] PYLES M B, HAYES S, CRUM A, et al. PSIV-2 changes in free glutamine and glutamate in mare milk during early lactation[J]. Journal of Animal Science, 2020, 98: 276. DOI:10.1093/jas/skaa278.498.
- [21] 黄远丽, 孙思, 温文娟, 等. 基于氨基酸模式对乳基乳粉的营养状况调查[J]. 现代食品, 2019, 55(3): 185-192. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2019.03.055.
- [22] SARWAR G. Amino acid ratings of different forms of infant formulas based on varying degrees of processing[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1991, 289: 389-402. DOI:10.1007/978-1-4899-2626-5_28.
- [23] RIGO J, SALLE B L, CAVERO E, et al. Plasma amino acid and protein concentrations in infants fed human milk or a whey protein hydrolysate formula during the first month of life[J]. Acta Paediatrica, 1994, 83(2): 127-131. DOI:10.1111/j.1651-2227.1994.tb13033.x.
- [24] POLBERGER S K T, AXELSSON I E, RÄIHÄ N C. Amino acid concentrations in plasma and urine in very low birth weight infants fed protein-unenriched or human milk protein-enriched human milk[J]. Pediatrics, 1990, 86(6): 909-915. DOI:10.1203/00006450-199012000-00025.
- [25] 李宜静. 孕妇血和脐血L-精氨酸水平与婴儿体格发育关系的前瞻性研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2019: 3-5.
- [26] 曲栗, 古淑青, 张嘉麒, 等. 柱前衍生-超高效液相色谱法测定3种乳粉中18种氨基酸[J]. 色谱, 2021, 39(5): 472-477. DOI:10.3724/SP.J.1123.2020.07008.
- [27] 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.
- [28] World Health Organization. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation[R]. Geneva: WHO, 1985.
- [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) [2023-02-06]. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/zh/>.
- [30] 杨检林. 牛乳中必需氨基酸含量及其变化的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2008: 43-44.