

# 模拟中国母乳配制的婴儿配方奶粉 对幼龄动物生长影响的实验研究

陆翔, 李静, 王强, 邓泽元\*

(南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 高等研究院, 江西南昌 330047)

**摘要:** 基于我国母乳营养调查的结果, 模拟研制了适宜中国婴儿生长发育营养需要的配方奶粉, 用市场品牌配方奶粉和基础饲料为对照, 通过 SD 大鼠 28d 的生长实验和昆明小鼠的耐力实验, 研究了该配方奶粉对动物生长发育、蛋白质利用率和耐力的影响。生长实验结束时, 配方组大鼠的体重增加了 184.88g, 比基础组和品牌组分别高了 179.58g 和 80.24g; 身长增加了 11.88cm, 比基础组和配方组长了 11.00cm 和 4.31cm; 左股骨的重量和骨径也显著优于其它两组; 蛋白质的功效比值为 3.24, 显著优于另外两组; 配方组大鼠左股骨中的 Ca、Fe、Mg、P 含量显著高于基础组, Mg 的含量高于品牌组, 并且 Ca/P 接近于 2。在耐力实验中, 配方组小鼠血清中肝糖原和尿素氮含量分别为 3664.02mg/100g 肝重和 8.28mmol/L, 与品牌配方奶粉无显著差异, 但显著优于基础组。结果表明, 研制的婴儿配方奶粉能够有效地促进大鼠的生长, 提高蛋白质利用率, 动物各项生理生化指标良好。

**关键词:** 婴儿配方奶粉, 矿物质, 蛋白质功效比, 耐力实验

## Influence of a new infant formula simulated Chinese breast milk on the growth of young animals

LU Xiang, LI Jing, WANG Qiang, DENG Ze-yuan\*

(State Key Lab. of Food Science and Technology, Institute for Advanced Study,  
Nanchang University, Nanchang 330047, China)

**Abstract:** A new kind of infant formula was designed on the basis of nutrition analysis of breast milk from different regions of China, and subjected to animal experiments. In the development experiment, SD rats of new formula (NF) group grew 11.88cm in body length, 11.00cm and 4.31cm longer than famous brand (FB) group and basic diet (BD) group respectively; and body weight of NF group increased 184.88g. The protein efficiency ratio of formula group was 3.24, comparing to 2.81 of BD group and 2.35 of FB group. The concentration of Ca, Fe, Mg, P in left fumer of NF group was significantly higher than BD group, ratio of Ca and P was 2:1. In the endurance test, the concentration of glycogen and urea nitrogen in serum of the mice receiving new infant milk powder was 3664.02mg/100g liver and 8.28mmol/L respectively. It demonstrated that the growth rate, physiology and biochemical features of rats had been greatly improved by this new infant formula.

**Key words:** infant formula; mineral elements; protein efficiency ratio; endurance test

中图分类号: TS252.51

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2010)10-0352-04

婴儿是一类特殊的群体, 他们自身的代谢系统尚不完善, 需要摄入全面的营养。健康的母乳是他们最好的食物。但是由于各种原因, 还有大量的母亲母乳不足或者没有母乳, 而且如今一些年轻的妈妈也不愿意母乳喂养; 即使接受母乳喂养的婴儿, 随着他们的生长发育, 母乳中的某些营养成分也不能完全满足其营养的需要, 而且母乳的营养成分受到

乳母膳食营养、饮食习惯、地域等因素的影响。婴儿配方奶粉, 是以牛乳或其他动物乳或其他动植物成分为基本成分, 适当添加营养素, 可供婴儿生长与发育所需营养的一种人工食品, 用作母乳的替代品<sup>[1]</sup>。随着科学的进步, 人们对营养和生长发育的认知越来越多, 对奶粉的成分和功能要求越来越高, 需要开发营养更加全面, 功能更加完备的产品。为了达到营养均衡, 婴儿配方奶粉应在蛋白质、碳水化合物、维生素、矿物质、脂肪和功能成分等方面做详尽的比较研究, 尽可能使其成分与母乳成分一致, 复原后即成为“仿生母乳”<sup>[2]</sup>。本研究是基于目前我国母乳营养调查的基础上, 参照婴儿生长和国内外母乳配方奶粉的营养和功能成分研究结果, 模拟研制的

收稿日期: 2009-09-22 \* 通讯联系人

作者简介: 陆翔(1986-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物的提取与分离。

基金项目: 国家支撑计划(2006BAD27B04); 江西省学术带头人计划(2008DD00900)。

适应我国婴儿生长需要的配方奶粉,通过测定大鼠食用该配方奶粉后的各项生理指标,观测配方奶粉对其生长的影响,为研制更好适应我国婴儿生长发育需要的配方奶粉提供科学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

浓盐酸、高氯酸 优级纯;硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、硼酸、浓硝酸、氢氧化钠、钼酸铵、偏钒酸铵 均为分析纯;钼酸铵-偏钒酸铵显色剂等。

KXL-1010 数控消化炉 常州诺基仪器有限公司;KDY-9820 凯氏定氮仪 厦门精艺兴业科技有限公司;T6 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司;SpectrAA-10 原子吸收分光光度计 Varian;电热板。

### 1.2 动物实验

1.2.1 动物生长实验 清洁级断乳 15d 的 SD 大鼠 24 只,雄性,购自江西医学院动物中心(江西医动字第 02196-02)。随机分三组,每组 8 只,第一组喂养自配的基础饲料,第二组喂养某知名婴儿配方奶粉,第三组喂养本研究开发的配方奶粉。每日投放给大鼠的饲料量为大鼠体重的 15%,自由饮水,单笼喂养 28d,室温在 20℃ 左右,12~12h 的光照和黑夜循环。记录开始实验第 0、7、14、21、28d 的身长和体重。在实验结束后,断头处死老鼠,取其左股骨,除净附着的软组织,经 80℃ 烘干至恒重,制成骨标本待测。检测大鼠生长发育、蛋白质功效比等指标以及矿物质在骨骼中的沉积。

1.2.2 耐力实验 清洁级断乳 15d 昆明小鼠 24 只,雄性,购自江西医学院动物中心(江西医动字第 02196-02)。随机分三组,每组 8 只(一笼),喂养 28d,第一组喂养自配的基础饲料,第二组喂养国内某知名婴儿配方奶粉,第三组喂养本研究开发的配方奶粉。每日投放给大鼠的饲料量为大鼠体重的 15%,自由饮水,室温在 20℃ 左右,12~12h 的光照和黑夜循环。实验结束时,小鼠游泳实验,并测定血清尿素氮和肝糖原。

### 1.3 饲料基本配方

饲料配方见表 1。表 2 为配方组婴儿奶粉的基本成分,每 100g 饲料提供 2199kJ 的能量,其中碳水化合物占总重量的 55%(占总能量的 42%),蛋白质占总重量 15%(占总能量的 11%),脂肪占总重量 28%(占总能量的 47%)。

### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 配方奶粉利用率和蛋白质功效比值(Protein Efficiency Ratio PER)的测定<sup>[3]</sup> 本实验采用凯氏定氮法测定粗蛋白质含量<sup>[4]</sup>,食物利用率和蛋白质功效比用下式计算:

$$\text{食物利用率} = \frac{\text{体重增量}}{\text{同期内的进食量}} \times 100\%$$

$$\text{蛋白质功效比} = \frac{\text{动物体重增加(g)}}{\text{摄入食物蛋白质(g)}}$$

1.4.2 骨干重、骨长度和骨径的测量 用千分之一天平称量股骨重量,游标卡尺测量股骨长度和股骨中点宽度。

1.4.3 骨中钙、镁、锌、铁、磷含量的测定<sup>[5]</sup>

1.4.3.1 样品消化 将股骨在混合酸(硝酸:高氯酸=4:1)中浸泡过夜后,置电热板消化,直到消化液变成无色或淡黄色,且冒出白烟,在消化液剩下 3~5mL 取下,冷却后转至 100mL 容量瓶用 1% 硝酸溶液定容。

1.4.3.2 元素测定 采用火焰原子吸收法测定钙、镁、锌、铁的含量。测定前,用钙、镁、锌、铁标准贮备液绘制标准曲线。磷的测定采用钼黄比色法<sup>[6]</sup>,1mL 消化液于 50mL 容量瓶中,分别加入 1:1 的硝酸 4mL,钼酸铵-偏钒酸铵显色剂 10mL,用水稀释至刻度,摇匀后静置 30min,以样品空白液做对照,用 1cm 比色皿在 420nm 处测定吸光度。测定前,用磷标准贮备液绘制标准曲线。

1.4.4 小鼠耐力指标的测定

1.4.4.1 血清尿素氮测定 末次喂养小鼠 30min 后开始实验,在 30℃ 水中不负重游 90min 后采血。以尿素氮试剂盒测尿素氮含量。

1.4.4.2 肝糖原测定 末次喂养小鼠 30min 后,在 30℃ 水中不负重游 90min,立即处死动物。取肝脏经生理盐水漂洗后用滤纸吸干,再用肝糖原试剂盒测糖原含量。

### 1.5 统计分析

采用 SPSS10.0 的 One way ANOVA 程序分析数据,对数据进行显著性差异的分析,P < 0.05 代表显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同配方奶粉对 SD 大鼠身长和体重的影响

结果见表 3。

实验开始阶段,各组大鼠的身长和体重均无显著性差异。经过实验期的饲养,3 组大鼠的身长和体重均有不同程度的增长,在实验结束时,基础组的大

表 1 动物饲料配方表

	碳水化合物	脂肪	蛋白质	矿物质	维生素
基本组	玉米淀粉	复配油	酪蛋白	复配	复配
品牌组	某知名品牌婴儿奶粉,购自南昌沃尔玛				
配方组	糊精和乳糖	复配油	乳清粉和乳清蛋白	复配	复配

表 2 配方组婴儿奶粉的基本成分

营养素	热量 (kJ)	蛋白质 (g)	乳清蛋白	脂肪 (g)	LA (g)	碳水化合物(g)	低聚半乳糖(mg)	低聚果糖 (mg)	灰分 (g)	水分 (g)	牛磺酸 (mg)	核苷酸 (mg)
/100g 配方奶粉含量	2199	13	>60%	27	3100	55	400	350	4	4	35	22

表3 实验开始和结束时受试SD大鼠的平均身长和体重

组别	第0d		第28d	
	身长(cm)	体重(g)	身长(cm)	体重(g)
基础组 n=8	21.5 ± 1.22a	58.34 ± 5.97a	22.38 ± 1.32a	63.64 ± 6.27a
品牌组 n=8	22.57 ± 0.49a	58.86 ± 4.98a	30.14 ± 2.10b	163.50 ± 26.07b
配方组 n=8	22.00 ± 1.12a	58.51 ± 5.42a	33.88 ± 1.69c	243.39 ± 24.54c

注:同一列中,不同字母表示存在显著性差异(P<0.05);表4、表5、表7同。

表5 实验结束后大鼠左股骨的指标

组别	重量(g)	骨重/体重 (×10 <sup>-3</sup> )	长度(cm)	骨长/身长 (×10 <sup>-3</sup> )	骨径(cm)
基础组 n=8	0.1691 ± 0.0592a	2.339a	1.824 ± 0.342a	81.50a	0.224 ± 0.021a
品牌组 n=8	0.3998 ± 0.0460b	2.445b	2.504 ± 0.132b	83.08b	0.263 ± 0.005b
配方组 n=8	0.5692 ± 0.1246c	2.657c	2.826 ± 0.158b	83.41b	0.295 ± 0.007c

表6 不同大鼠左股骨中的矿物质含量

元素	品牌组奶粉中矿物质 (mg/100g)	基础组和配方组奶粉中 矿物质(mg/100g)	基础组 n=8 (mg/g)	品牌组 n=8 (mg/g)	配方组 n=8 (mg/g)
Ca	450	300	35.9964 ± 8.80a	55.7782 ± 4.05b	59.1526 ± 3.24b
Fe	9.0	11.0	0.2132 ± 0.017a	0.2579 ± 0.021b	0.2841 ± 0.024b
Zn	4.5	5.0	0.2157 ± 0.015a	0.2173 ± 0.029a	0.2198 ± 0.046a
Mg	30	30	0.1816 ± 0.047a	0.2217 ± 0.025b	0.3442 ± 0.094c
P	360	220	14.2941 ± 2.81a	28.9163 ± 2.94b	29.2677 ± 2.71b
Ca:P	1.25:1	1.36:1	2.52:1	1.93:1	2.02:1

注:同一行中,不同字母表示存在显著性差异(P<0.05)。

鼠体重增加了5.3g,已经显著落后于食用品牌组和配方组的大鼠,两组大鼠分别增重104.64g和184.88g;另外,基础组中大鼠身长增长缓慢,实验期间仅增长0.88cm,与另外两组大鼠的身长有显著性的差异,品牌组和配方组的大鼠体长分别增长7.57cm和11.88cm。

## 2.2 不同组别大鼠的食物利用率和蛋白质功效比值

表4 不同组别大鼠的食物利用率和蛋白质功效比值

组别	食物利用率 (%)	饲料蛋白质 平均含量	蛋白质功效 比值
基础组 n=8	2.99	14.85	2.35 ± 0.21a
品牌组 n=8	49.73	11.89	2.81 ± 0.16b
配方组 n=8	51.80	14.85	3.24 ± 0.13c

三组大鼠对食物的利用率存在着极大的差异,基础组大鼠的食物利用率远远低于其它两组,而品牌组略低于配方组;基础组和配方组食物蛋白质含量相同(高于品牌组),但基础组中的蛋白质功效比值最低,配方组大鼠的蛋白质功效比值比品牌组略高。

## 2.3 不同配方奶粉对SD大鼠股骨长度,骨径和重量的影响

结果见表5。

采用三组不同配方奶粉喂养的大鼠,在股骨重量和骨径上均存在显著性的差异。食用基础组配方的大鼠,骨径和重量都处于最低水平,显著低于其余两组配方奶粉喂养的大鼠;而食用配方奶粉的大鼠,在重量和骨径上已经显著优于品牌组中的大鼠。从股骨长度分析,配方组中的大鼠和品牌组中大鼠在同一水平,二者并无显著性差异,而基础组的大鼠骨长显著低于其余两组。

## 2.4 不同配方奶粉对大鼠股骨中矿物质的影响

结果见表6。

从表6可以看出,食用三种不同配方奶粉的大鼠左股骨中的Zn含量处于同一水平,并未出现显著性差异;而在其它研究的各项元素中,基本组大鼠的指标要显著低于品牌组和配方组的大鼠指标;除了Mg的含量显著低于配方组指标外,其他矿物质含量品牌组与配方组无显著差异。

## 2.5 不同配方奶粉对小鼠耐力的影响

结果见表7。

表7 小鼠中肝糖原和血清尿素氮含量

组别	肝糖原含量 (mg/100g肝重)	血清尿素氮含量 (mmol/L)
对照组	1500.63 ± 1110.12a	11.24 ± 4.3a
品牌组	4792.11 ± 1415.13b	7.40 ± 1.73b
配方组	3664.02 ± 1035.67b	8.28 ± 0.95b

品牌组和配方组小鼠血清中肝糖原浓度比对照组高,且有显著性差异;虽然品牌组比配方组小鼠血清中肝糖原浓度高,但无显著性差异;品牌组和配方组小鼠血清尿素氮均比对照组的低,且有显著性差异,品牌组比配方组小鼠血清尿素水平低,但差异不显著。

## 3 讨论

蛋白质在婴儿奶粉中,是一个关键营养因子,经过28d的喂养,三组饲料中的蛋白质功效比有显著性的差异,配方组中蛋白质功效比最高,而基础组最低。其原因在于基础组中采用的蛋白质源是酪蛋白,配方组的蛋白质来源是一定比例的乳清蛋白和酪蛋白。人乳的主要蛋白质是乳清蛋白,牛乳主要蛋白质为酪蛋白,而乳清蛋白仅4%。酪蛋白分子量较之乳清蛋白更大,而幼鼠的肠胃消化及肾脏排泄

功能发育尚不完全,影响其对蛋白质的利用。配方组奶粉是在脱脂乳粉中添加了乳清蛋白和乳清粉,使得酪蛋白与乳清蛋白的比例接近4:6,类似于母乳中的含量,能更好地促进大鼠对蛋白质的吸收。

大量的研究表明,运动导致的体力衰竭总是和肌糖原的耗竭同时发生的,随着肌糖原消耗的不断增长,机体为维持血糖水平,将动用肝糖原而导致肝糖原减少。因此,肝糖原和肌糖原含量是反映疲劳程度的敏感指标。尿素氮是蛋白质代谢产物,生理条件下尿素氮维持稳定,体力消耗则导致蛋白质分解代谢增强、尿素氮值升高。机体对负荷适应能力越差,值增加就越明显,故尿素氮也作为评价运动性疲劳强度的重要指标。小鼠耐力的实验结果表明,品牌组和配方组的小鼠在运动后肝糖原水平比对照组的高,血清尿素氮水平平均比对照组的低,说明品牌组和配方组的小鼠耐力比对照组的好。另外,品牌组小鼠运动后肝糖原比配方组的略高,血清尿素氮则略低,说明品牌组小鼠耐力略好,这可能是品牌组配方奶粉增加了小鼠肝糖原储备。

配方奶粉中矿物元素影响婴儿的健康成长。动物实验结果说明,基础组中的大鼠在食物利用率低的情况下,对矿物质的吸收也显著低于其余两组,而配方组和品牌组,食物利用率相当的情况下,骨骼中的矿物质水平也处于同一水平。配方组的Ca/P比值符合营养推荐的2:1,品牌组配方奶粉Ca和P含

量高于配方组,但配方组大鼠骨骼中所沉淀的Ca、P和Mg均比品牌组的高。这些可能说明:在能满足动物Ca和P的需要量时,没有必要提高Ca和P的摄入量;Ca和P的比例和全价蛋白质将显著影响Ca、P和Mg的利用率;高Ca和P可能影响Mg元素的吸收利用和沉积,它们之间存在拮抗作用。因此提供吸收率高、元素比例合理是提高配方奶粉质量的重要一环。

综上所述,本研究模拟中国母乳营养研制的婴儿配方奶粉,能够有效地促进大鼠的生长发育,提高蛋白质的利用率,可以为今后研究适宜中国婴儿生长发育营养需要的配方奶粉提供科学依据。

参考文献

[1] 吴坤.营养与食品卫生学[M].第5版.北京:人民卫生出版社,2003:164.  
 [2] 何平.AA和DHA在婴儿配方奶粉中的应用研究[J].食品工业科技,2004(1):126-127.  
 [3] 易菲,雷毅雄,孔慧杰,等.鸡渣蛋白质营养液的动物实验研究[J].广东卫生防疫,1998(2):1-3.  
 [4] 翟鹏,孔晓朵.蛋白质测定的研究进展[J].商丘师范学院学报,2002,18(2):107-110.  
 [5] GB/T 5413.21-1997[S].  
 [6] 严翠霞,崔海鸥.食品中磷的测定方法研究[J].广东卫生防疫,1997(1):5-6.

(上接第339页)

以看出,空白组百合中可滴定酸的含量随贮藏时间的增长呈上升趋势,贮藏1、2、3个月后可滴定酸含量分别上升了27%、84%、116%,而各处理组均能有效地降低可滴定酸的上升,但各处理组间无显著差异。

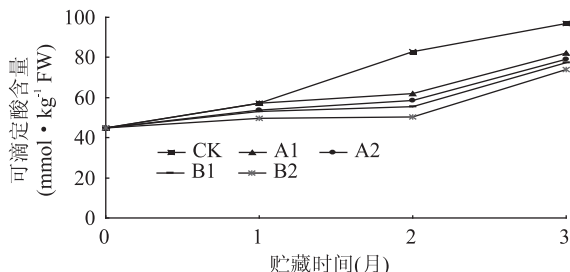


图4 不同处理对百合贮藏期间可滴定酸含量的影响

3 讨论

本实验中,1-MCP、ClO<sub>2</sub>熏蒸处理均提高了百合的贮藏保鲜效果,降低了腐烂率,但1-MCP的效果不如ClO<sub>2</sub>,可能是因为1-MCP的作用机理是作为乙烯受体的抑制剂,阻断由乙烯诱导的与果蔬后熟有关的生理生化反应,因此1-MCP对呼吸跃变性果蔬有较好的贮藏效果<sup>[10]</sup>,而百合是非呼吸跃变性果蔬,因而影响了1-MCP保鲜效果的发挥,若在百合贮藏后期即休眠期过后再使用1-MCP处理可能具有较好的保鲜效果。此外,本实验中ClO<sub>2</sub>熏蒸处理对提高百合的贮藏保鲜效果是十分明显的,但实验中所采用的是ClO<sub>2</sub>粉剂溶解后释放的ClO<sub>2</sub>气体熏蒸处理百合,其浓度在本实验中未测定,因此,今后还需对ClO<sub>2</sub>用

于兰州百合保鲜的适宜浓度作进一步探讨。

参考文献

[1] 曲伟红,周日宝.百合的化学成分研究概况[J].湖南中医药导报,2004,10(3):75-76,88.  
 [2] 马君义,赵小亮,张继,等.兰州百合的研究进展[J].塔里木大学学报,2005,17(4):53-56.  
 [3] 陈金印,刘康.1-甲基环丙烯(1-MCP)在果蔬贮藏保鲜上的应用研究进展[J].江西农业大学学报,2008,30(4):216-219.  
 [4] 傅茂润,杜金华,李苗苗,等.二氧化氯(ClO<sub>2</sub>)对青椒采后生理的影响[J].食品与发酵工业,2005,31(10):155-157.  
 [5] 李里特,王颖,丹阳,等.我国果品蔬菜贮藏保鲜的现状和新技术[J].无锡轻工大学学报,2003,22(3):106-109.  
 [6] 李富军,杨洪强,翟衡,等.1-甲基环丙烯延缓果实衰老作用机制研究综述[J].园艺学报,2003,30(3):361-365.  
 [7] Wilson S C, Wu C, Andriyuk L A, et al.Effect of chlorine dioxide gas on fungi and mycotoxins associated with sick building syndrome[J].Applied and Environment Microbiology, 2005, 71: 5399-5403.  
 [8] 傅茂润,杜金华.二氧化氯在食品保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2004,30(8):113-116.  
 [9] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.  
 [10] 陈金印,付永琦,刘康.1-MCP处理对美味猕猴桃果实采后生理生化变化的影响[J].江西农业大学学报,2007,29(6):940-946.