加速试验期内不同乳基幼儿配方奶粉的质量研究

段小芳[1, 2]，陈立韬[1]，何湘丽[1, 2]，刘　洋[1]，尹亚军[1, 2]

1 蓝河营养品有限公司，湖南长沙 410000
2 国际羊乳营养研究中心，湖南长沙 410000

摘　要：[目的]探究不同乳基幼儿配方奶粉在加速试验期内营养成分和感官变化情况。[方法]分析牛乳基幼儿配方奶粉、山羊乳基幼儿配方奶粉与绵羊乳基幼儿配方奶粉在加速试验期内的营养成分变化情况，并根据《RHB 204—2004 婴儿配方乳粉感官评鉴细则》进行感官评价。[结果]加速试验期间，牛乳基幼儿配方奶粉、山羊乳基幼儿配方奶粉与绵羊乳基幼儿配方奶粉的营养成分几乎无衰减，具有良好的稳定性，仅维生素C在牛乳基幼儿配方奶粉和绵羊乳基幼儿配方奶粉中的衰减率显著大于在山羊乳基幼儿配方奶粉中的衰减率（15.65%、14.28% vs 3.98%）；3 种乳基幼儿配方奶粉都具有较好的冲调性，在加速6 个月时，牛乳基幼儿配方奶粉出现明显的腥味，山羊乳基幼儿配方奶粉与绵羊乳基幼儿配方奶粉则出现明显的羊奶典型风味。[结论]在加速试验期内，不同乳基幼儿配方奶粉营养成分均具有良好的稳定性，但不同乳中脂肪酸含量的差异对产品的风味、冲调性产生一定影响。为保证幼儿配方奶粉在货架期内的良好感官，需采取措施来减少和控制脂肪酸氧化并优化幼儿配方奶粉表面组成，提高其颗粒稳定性。

关键词：牛乳；山羊乳；绵羊乳；配方奶粉；稳定性；冲调性；风味

文章编号：1671–4393（2025）10–0116–08　　DOI:10.12377/1671–4393.25.10.18

0 引言

婴幼儿配方食品是以乳类及乳蛋白制品或大豆及大豆蛋白制品为主要蛋白来源，加入适量维生素、矿物质和（或）其他原料，仅用物理方法生产加工制成的产品[1]。目前市售婴幼儿配方奶粉以牛乳基为主，也有部分以山羊乳、绵羊乳等特种乳为

作者简介：段小芳（1990–），女，河南新乡人，硕士，中级工程师，研究方向为乳品开发；
陈立韬（1986–），男，湖南邵阳人，硕士，研究方向为乳品开发；
何湘丽（1992–），女，湖北钟祥人，硕士，中级工程师，研究方向为乳品科学；
刘　洋（1983–），男，内蒙古包头人，本科，研究方向为质量管理；
尹亚军（1990–），女，湖南衡阳人，硕士，中级工程师，研究方向为乳品开发。

中国乳业线上阅读

乳基制成。牛乳、山羊乳及绵羊乳在基本营养成分（如蛋白质、脂肪、乳糖及总固形物等）上存在差异，其中绵羊乳的脂肪、总固形物含量显著高于牛乳和山羊乳，且绵羊乳的蛋白质与脂质组成与牛乳和山羊乳存在差异[2]。牛乳基婴幼儿配方奶粉在全世界范围内具有较长食用历史，而山羊乳基和绵羊乳基婴幼儿配方奶粉的食用历史相对较短，产品在货架期内的质量稳定性（如营养成分衰减情况及产品感官等）对比研究相对较少。

本研究依照《婴幼儿配方乳粉产品稳定性研究指南（试行）（2021修订版）》的相关规定，对牛乳基幼儿配方奶粉（简称“牛奶粉”）、山羊乳基幼儿配方奶粉（简称“山羊奶粉”）与绵羊乳基幼儿配方奶粉（简称“绵羊奶粉”）开展加速试验，研究相同生产工艺条件下生产的牛奶粉、山羊奶粉与绵羊奶粉在货架期内的产品稳定性及产品感官。通过加速试验探究牛奶粉、山羊奶粉与绵羊奶粉产品货架期内营养成分衰减及感官变化情况，旨在为羊乳基幼儿配方奶粉的配方设计、保质期评估等提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

牛奶粉、山羊奶粉、绵羊奶粉，蓝河乳业有限合伙公司；镀锡马口铁罐充氮包装，罐内残氧量＜3%，NCI；牛奶粉、山羊奶粉、绵羊奶粉均采用干法工艺，生产自同一工厂，除乳原料外，其他辅料均使用同一供应商产品。

恒温恒湿培养箱，Binder；电子天平，梅特勒；旋转蒸发仪，德国海道夫；气相色谱仪[具有氢火焰离子检测器（FID）]，高效液相色谱仪（带荧光检测器），安捷伦。

1.2 试验方法

1.2.1 加速试验

将原罐未拆封的各3 批次牛奶粉、山羊奶粉与绵羊奶粉样品存放于恒湿恒温培养箱中，温度（37±2）℃、湿度（75±5）%，分别对存放0 个和6 个月的样品进行取样分析。

1.2.2 营养指标检测方法

按照《GB 10767—2021 食品安全国家标准 幼儿配方食品》[1]中规定的营养成分检测方法进行检测。

1.2.3 衰减率计算

$$\text{衰减率（\%）}=\frac{\text{初始检测值}-\text{试验结束检测值}}{\text{初始检测值}}\times 100\%$$

衰减率为正值表示营养成分发生衰减，衰减率为0或负值表示营养成分未发生衰减。判定原则为若衰减率小于检测方法精密度时，则认为该营养指标在加速试验期内基本无衰减。

1.2.4 感官评价

根据《RHB 204—2004 婴儿配方乳粉感官评鉴细则》进行感官评价。感官评价小组由10 人组成，在评价前均通过测试及培训。对样品的组织状态、冲调性及风味评分标准见表1。

2 结果与分析

2.1 不同乳基幼儿配方奶粉加速试验衰减率

幼儿配方奶粉的货架期通常为2年，营养成分在货架期内质量稳定尤为重要。牛奶粉、山羊奶粉和绵羊奶粉在加速6 个月时，各营养成分的衰减情况见表2～4。

加速试验期内蛋白质、脂肪、碳水化合物和脂肪酸含量相对稳定，衰减率在5%以内，可认为没有衰减。亚油酸和α－亚麻酸通过混合植物调和油的形式添加到奶粉中，DHA和ARA则是以复配营养强化剂的形式添加，以调节动物乳中的脂肪酸组成，使之更接近母乳；并补充有助于婴幼儿大脑和视力发育的物质[3]，从而形成科学的母乳化配方。亚油酸是必需脂肪酸，在人体内参与磷脂的合成，也是ARA的前体。α－亚麻酸的衍生物DHA是大脑的重要物质，对脑神经元、神经胶质细胞及神经传导突触的

中国乳业线上阅读

表 1 幼儿配方奶粉感官评价标准

项目	特征		得分（分）
色泽（10 分）	色泽明显不均一、发暗；无光泽		4 ~ 5
	色泽基本均一，呈乳黄色、浅黄色、浅乳黄色、深黄色等颜色；基本无光泽		6 ~ 7
	色泽均一，呈乳黄色、浅黄色、浅乳黄色、深黄色等颜色；略有光泽		8 ~ 9
	色泽均一，呈乳黄色、浅黄色、浅乳黄色、深黄色等颜色；有光泽		10
组织状态（20 分）	粉质粘连，流动性非常差，有较多肉眼可见的焦粉粒		8 ~ 11
	颗粒细小或稍小，有较多结块，流动性较差；有少量肉眼可见的焦粉粒		12 ~ 15
	颗粒较大或稍大、不松散，有结块或少量结块，流动性较差		16 ~ 19
	颗粒均匀、适中、松散、流动性好		20
冲调性（30 分）	下沉时间（10 分）	≥ 30 s	4 ~ 5
		21~30 s（含 21）	6 ~ 7
		11~20 s（含 20）	8 ~ 9
		≤ 10 s	10
	挂壁和小白点（10 分）	有大量小白点和絮片，中间和四周无明显区别；杯壁有大量小白点和絮片	4 ~ 5
		有少量小白点，周边较多，颗粒细小；杯壁有少量小白点和絮片	6 ~ 7
		有少量小白点，颗粒细小；杯壁上的小白点和絮片≤ 10 个	8 ~ 9
		小白点≤ 10 个，颗粒细小；杯壁无小白点和絮片	10
	团块（10 分）	团块＞ 10	4 ~ 5
		5 ＜团块≤ 10	6 ~ 7
		1 ≤团块≤ 5	8 ~ 9
		0	10
滋味及气味*（40 分）	乳香味（20 分）	婴儿配方奶粉特有的香味，气味自然	0~20
	腥味（10 分）	稍有植物油脂气味，或鱼腥味	0 ~ 10
	膻味 / 异味（10 分）	有明显的膻味（羊奶风味），或其他异味	0 ~ 10

注：*滋味及气味项目根据评价者个人喜好进行打分，无明确判定依据；腥味和膻味/异味两项，评分越高代表腥味、膻味/异味越低，评价者对奶粉的喜爱度越高

表2 三大营养成分及脂肪酸加速6 个月衰减率（n=3）

营养成分	牛奶粉（%）	山羊奶粉（%）	绵羊奶粉（%）	检测方法偏差（%）
蛋白质	0.78 ± 2.45	−0.44 ± 1.46	0.41 ± 0.71	10
脂肪	−1.22 ± 0.53	0.00 ± 0.90	0.91 ± 0.91	10
碳水化合物	2.56 ± 2.22	1.28 ± 2.22	0.00 ± 0.00	–
亚油酸	−3.55 ± 5.13	−1.06 ± 2.93	−0.50 ± 2.24	10
α – 亚麻酸	−2.79 ± 4.36	3.32 ± 0.87	2.41 ± 1.69	10
二十二碳六烯酸（DHA）	−3.14 ± 5.15	0.23 ± 2.00	1.18 ± 2.41	–
花生四烯酸（ARA）	−2.85 ± 4.75	−0.62 ± 0.76	−0.45 ± 1.27	–

注：“–”表示没有要求

形成、生长、繁殖、分化和成熟有重要作用[4]。牛奶粉、山羊奶粉及绵羊奶粉中使用的均是经酪蛋白包埋的藻油DHA和ARA，基于酪蛋白制备的油脂微胶囊具有显著的抗氧化特性，可有效增强藻油DHA和ARA的储藏稳定性[5]，在加速试验期内几乎不发生衰减。这与姜艳喜等[6]的研究结果一致，但过高含量的DHA和ARA在货架期仍会发生显著衰减[7]。

牛奶粉、山羊奶粉和绵羊奶粉中维生素，除维生素C外，在加速试验期内均表现良好的稳定性，衰减在5%以内，可认为没有衰减（表3）。维生素C在牛奶粉和绵羊奶粉中发生约15%衰减，在山羊奶粉中

中国乳业线上阅读

表 3 维生素加速 6 个月衰减率（n=3）

维生素	牛奶粉（%）	山羊奶粉（%）	绵羊奶粉（%）	检测精密度（%）
维生素 A	0.64 ± 1.79	−0.06 ± 2.36	0.81 ± 1.51	10
维生素 D	0.35 ± 2.32	1.89 ± 2.18	2.27 ± 2.81	15
维生素 E	0.40 ± 0.60	−2.06 ± 5.80	2.03 ± 1.48	10
维生素 K_1	1.58 ± 0.72	−5.18 ± 3.23	0.99 ± 1.92	10
维生素 B_1	1.29 ± 0.18	0.27 ± 0.01	0.20 ± 1.08	10
维生素 B_2	1.33 ± 0.98	0.32 ± 0.57	0.43 ± 0.41	10
维生素 B_6	1.62 ± 0.68	1.16 ± 0.39	1.89 ± 0.49	15
维生素 B_{12}	4.24 ± 1.37	−0.52 ± 11.09	4.76 ± 4.12	15
烟酸	1.05 ± 1.87	0.27 ± 0.63	1.23 ± 1.19	10
叶酸	3.59 ± 3.95	4.53 ± 11.37	3.66 ± 3.55	10
泛酸	0.06 ± 4.79	1.66 ± 6.90	2.32 ± 2.02	10
维生素 C	15.65 ± 0.12	3.98 ± 15.63	14.28 ± 0.51	10
生物素	0.11 ± 9.16	0.01 ± 0.47	5.50 ± 3.08	20

表 4 矿物质加速 6 个月衰减率（n=3）

矿物质	牛奶粉（%）	山羊奶粉（%）	绵羊奶粉（%）	检测精密度（%）
钠	0.51 ± 1.10	−3.88 ± 1.35	−1.80 ± 0.47	10
钾	1.52 ± 2.69	−3.60 ± 0.60	−0.57 ± 0.71	10
铜	−3.68 ± 1.29	1.14 ± 2.82	−4.43 ± 0.87	10
镁	−1.09 ± 1.43	−3.88 ± 2.00	1.18 ± 0.74	10
铁	−1.23 ± 1.33	−0.42 ± 5.13	−1.49 ± 0.78	10
锌	−3.59 ± 1.22	3.78 ± 4.11	0.91 ± 4.47	10
钙	1.22 ± 1.80	−1.72 ± 3.98	2.72 ± 0.88	10
磷	0.17 ± 2.44	−3.84 ± 3.72	−0.71 ± 0.31	10
碘	4.46 ± 4.01	0.47 ± 0.76	−0.66 ± 0.93	10
氯	−0.07 ± 4.65	1.23 ± 2.14	2.78 ± 2.41	5
硒	0.35 ± 0.40	−1.29 ± 0.53	−0.08 ± 0.84	15
锰	−1.54 ± 1.35	−0.50 ± 6.68	−3.27 ± 2.13	15

则没有发生衰减，这与其他研究结果存在一定差异[8~10]。维生素不稳定，容易受环境温度、光、氧气含量等因素影响而发生衰减。在早期婴幼儿配方奶粉稳定性研究中，维生素的衰减通常在20%以上，近年来包埋、微胶囊等技术的应用，不仅提高了维生素的稳定性[11~13]，还能改善水溶性，控制递送、释放进程，从而提高其生物利用度。常用的包埋材料有乳清蛋白、酪蛋白、变性淀粉、麦芽糊精等，不同壁材对维生素稳定性的影响及乳源组成成分对壁材分解及释放的影响均有待进一步研究。乳中存在的一些天然抗氧化物质（如谷胱甘肽、多酚类物质）可能具有潜在抗氧化调节作用。

矿物质在加速试验期内较稳定，衰减率在5%以内，可认为没有衰减（表4），与以往研究结果一致[14~16]。奶粉中的矿物质（如钙、镁、铁、锌等）是婴幼儿生长发育必需的营养成分，在货架期还能影响脂肪、维生素的氧化过程，使过氧化值升高，影响奶粉的感官特性和营养价值。乳源中的一些成分有助于提高产品质量的稳定性，如酪蛋白可与B族维生素（如B_1、B_2、B_3和B_6）通过氢键和范德华力形成复合物[17]、乳清蛋白与乳脂球膜相互作用在脂肪球界面形成致敏的保护层[18]、奶粉颗粒表面较高的酪蛋白覆盖[19]等，均有助于提高产品稳定性。

不同乳基幼儿配方奶粉在加速试验期内的营养成分含量稳定，但牛奶粉、绵羊奶粉在加速试验期内的氧化反应大于山羊奶粉，在配方设计时需关注氧化反应带来的不良影响，避免造成营养成分损失。

2.2 不同乳基幼儿配方奶粉感官分析

婴幼儿配方奶粉在货架期的感官及冲调性是消费者关注的主要指标之一。配方奶粉呈乳黄色或乳白色，具有乳香味，颗粒均匀，流动性好。研究表明，消费者更喜欢香气浓郁、具有香甜味和蒸煮风味的奶粉，有脂肪味、后味、涩味、腥味、咸味、酸味等对消费者偏向都有负向贡献[20]。牛奶粉、山羊奶粉和绵羊奶粉在加速试验期内，营养成分含量均未表现出明显衰减，但其在加速试验期内产品感官及风味的变化仍需探究。

奶粉冲调是奶粉颗粒经充分润湿，可溶性成分溶解，胶体颗粒（脂肪球和酪蛋白胶束）分散在溶液中形成均一奶液的过程，受奶粉颗粒表面性质、颗粒形状与分布、冲调方法等因素影响[21]。高湿度、较小的颗粒粒径会降低奶粉的流动性，使奶粉颗粒聚团、吸附在一起，冲调时更容易形成不溶性团块。根据RHB 204—2004对牛奶粉、山羊奶粉及绵羊奶粉进行感官评价，结果见表5。

中国乳业杂志网站

表 5 加速 6 个月牛奶粉、山羊奶粉及绵羊奶粉感官评价结果

评价指标	牛奶粉	山羊奶粉	绵羊奶粉
色泽（10 分）	9	9	9
组织状态（20 分）	17	15	15
下沉时间（10 分）	8	9	10
冲调性（30分） 挂壁和小白点（10 分）	9	8	8
团块（10 分）	8	9	9
乳香味（20 分）	18	17	16
腥味（10 分）	3	7	7
膻味 / 异味（10 分）	8	6	5

注：腥味和膻味/异味的评分越低表示产品中腥味和膻味越明显

牛奶粉、山羊奶粉和绵羊奶粉在加速6 个月时，组织状态仍较好，颗粒均匀、适中，有少量“假性结块”；经冲调后，瓶壁无白点，瓶底有少量絮片，三者的组织状态及冲调性评分略有差异。粉末的流动性受颗粒形状和表面粗糙度、粒径分布和粉末间的相互作用力等多种因素的影响。对于含脂肪的粉末，粉末的表面成分对其流动性的影响更为明显。婴幼儿配方奶粉的原料（如全脂奶粉、脱脂奶粉、浓缩乳清蛋白粉等）均具有较高的表面脂肪覆盖[22]，脱脂奶粉因其表面由蛋白质和乳糖组成，脂肪含量较少，流动性较好；用石油醚短暂洗涤去除全脂奶粉、浓缩乳清蛋白粉表面存在的脂肪，则可大大改善流动性[23]。

奶粉中大部分脂肪被脂肪球膜和蛋白质膜包裹，部分以游离态分散在奶粉颗粒内部或者表面[24]。当脂肪以游离形式存在于颗粒表面时，会形成一层疏水膜，阻碍水分子进入颗粒内部，降低溶解性；这部分游离脂肪暴露在空气中，容易发生分解和氧化变质。内部的游离脂肪可能来源于脂肪球破裂、脂肪酶的作用，主要包括饱和脂肪酸、短链和中链甘油三酯以及少量的磷脂和鞘磷脂。奶粉表面游离脂肪通常作为黏合剂存在于奶粉颗粒边缘，一旦遇到其他粒径较小的颗粒，表面游离脂肪将以“脂肪桥”的形式将二者黏合。激光共聚焦图像显示绵羊全脂粉颗粒含有较多游离脂肪，在颗粒连接处有“脂肪桥”，而牛奶粉中则未观察到这一现象[25]。奶粉表面游离脂肪的增加，还会促进乳糖结晶、美拉德反应等不良影响，进一步降低奶粉的冲调性[26]。中链甘油三酯的熔点较低（通常在20～30 ℃），奶粉颗粒内部的空隙为中链甘油三酯的迁移提供了通道。在高温下，奶粉内部的游离脂肪逐步向表面迁移[27]，加速“脂肪桥”形成，使奶粉结块。山羊奶粉和绵羊奶粉在加速试验期内的组织状态劣于牛奶粉，可能由于山羊乳和绵羊乳含有较高比例的中链甘油三酯，货架期间低熔点中链甘油三酯从奶粉颗粒内部迁移至表面，造成奶粉颗粒粘连形成大的团块，影响奶粉的冲调性[28]。

奶粉风味主要受原料乳中蛋白质、脂肪、乳糖等物质及其分解产物的影响。在加速6 个月时，牛奶粉腥味明显，无膻味；山羊奶粉膻味明显，无腥味；绵羊奶粉膻味明显，无异味。牛奶粉的不良风味主要来自DHA氧化带来的腥味，而山羊奶粉和绵羊奶粉的不良风味来自挥发性支链脂肪酸及其氧化产物。新鲜的婴幼儿配方奶粉以奶油风味和水果风味为主，货架期由于脂肪和蛋白质氧化生成较多的醛类物质，容易出现金属味、鱼腥味和其他异味[29]。羊乳中支链脂肪酸（如4-乙基辛烷酸、4-甲基辛酸和4-甲基壬酸）氧化时，会产生低阈值挥发性化合物（如酮类和醛类），这些物质是膻味的主要来源[30]。DHA氧化会生成多种挥发性化合物，包括醛类（如己醛）、醇类（如1-辛烯-3-醇）和芳香族化合物，这些物质通常带有鱼腥味或土腥味[31]。薛海燕等[32]分析全脂牛奶粉、全脂羊奶粉的挥发性风味物质，推测在相同储存条件下羊乳粉比牛乳粉更易氧化。因此，山羊奶粉和绵羊奶粉在加速试验期间可能发生DHA氧化，但挥发性支链脂肪酸氧化产物有更低的气味阈值，能掩盖腥味。

不同乳基幼儿配方奶粉在加速试验期内的冲调性及风味存在差异，牛奶粉有明显腥味，而绵羊奶粉和山羊奶粉则容易出现膻味，在配方设计时需关注乳源脂肪酸组成差异对奶粉感官影响。

中国乳业杂志上阅读

3 讨论与结论

本试验以牛奶粉、山羊奶粉与绵羊奶粉为研究对象，探究在加速试验期内3 种奶粉营养成分稳定性及产品感官的变化。结果发现，牛奶粉、山羊奶粉与绵羊奶粉的营养成分，除维生素C外，均保持良好的稳定性；冲调性方面，奶粉的组织状态仍较好，颗粒均匀、适中，牛奶粉出现明显腥味，而山羊奶粉和绵羊奶粉则有明显羊奶风味。由于山羊奶粉和绵羊奶粉中的中链甘油三酯含量更高，导致羊奶粉表面脂肪持续迁移，使山羊奶粉及绵羊奶粉在常规储存条件下即可引发显著的颗粒粘连；奶粉的脂肪层更易暴露于空气中，从而增加氧化风险，影响奶粉的风味和营养价值。因此，在生产全脂山羊奶粉和全脂绵羊奶粉时可优化脂肪酸组成，去除一部分短链和中链甘油三酯；或提高全脂羊奶粉中蛋白质含量，尤其是酪蛋白含量，形成蛋白包裹脂肪的奶粉颗粒；喷雾干燥环节添加卵磷脂等均有助于提高全脂羊乳粉的质量稳定性。

综上所述，不同乳基的幼儿配方奶粉在加速试验期内的表现与产品的蛋白质和脂肪及脂肪酸的组成密切相关。因此在进行婴幼儿配方奶粉设计时，除关注营养成分的变化外，还需持续优化产品的蛋白质和脂肪组成，保证产品在货架期内营养成分及感官性状良好。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局.GB 10767—2021 食品安全国家标准 幼儿配方食品[S].

[2] 赵丽丽，葛武鹏，宋宇轩，等.绵羊奶组成和营养特性[J].中国食品学报，2022，22（1）：413–423.

[3] 戴逸，戴智勇，张岩春，等.基于母乳脂肪酸组成的植物油复配研究[J].中国油脂，2020，45（5）：88–92.

[4] 蒋瑜，熊文珂，卓永财，等.婴儿配方奶粉中亚油酸和α–亚麻酸添加量的研究进展[J].粮食与油脂，2015，28（6）：12–15.

[5] 陈柏慧，田方，蔡路昀.藻油DHA微胶囊制备及稳态化递送技术研究进展[J].中国食品学报，2024（7）：414–424.

[6] 姜艳喜，马雯，华家才，等.DHA和ARA微胶囊应用稳定性分析[J].中国乳品工业，2017，45（8）：18–21.

[7] Jia H Xin，Qu Y Z，Chen W L，et al.Effect of high DHA and ARA fortification on lipid oxidation of infant formula powder[J].CyTA – Journal of Food，2024，22（1）：2300812.

[8] An D S，Lee J H，Lee D S.Shelf life model of powdered infant formula as function of temperature and oxygen concentration[J].Food Packaging and Shelf Life，2018，15：130–133.

[9] Sharabi S，Okun Z，Shpigelman A.Changes in the shelf life stability of riboflavin，vitamin C and antioxidant properties of milk after（ultra） high pressure homogenization：Direct and indirect effects[J].Innovative Food Science & Emerging Technologies，2018，47：161–169.

[10] 贾宏信.婴幼儿配方乳粉中脂溶性维生素的稳定性探究[J].中国乳品工业，2018，46（3）：16–18.

[11] Fallahasghari E Z，Højgaard L M，Espholin G E，et al.Carbohydrate Core–Shell Electrosprayed Microcapsules for enhanced oxidative stability of Vitamin A Palmitate[J].Pharmaceutics，2023，15（11）：2633.

[12] Budinčić J M，Petrović L，Đekić L，et al.Study of vitamin E microencapsulation and controlled release from chitosan/sodium lauryl ether sulfate microcapsules[J].Carbohydrate polymers，2021，251：116988.

[13] Wen J，Zhang Z，Liu C，et al.Research progress on Vitamin E embedded in Food Delivery System[J].Shipin gongye ke–ji，2023，44（14）：28–35.

[14] 姜艳喜，华家才，张建友，等.婴幼儿配方奶粉货架期内营养成分变化规律[J].中国乳品工业，2018，46（2）：29–32.

[15] 戴智勇，樊垚，汪家琦，等.婴配奶粉气调工艺惰性气体组成对产品货架期稳定性影响的研究[J].中国乳品工业，2020，48（8）：24–28.

[16] 揭良，苏米亚.干湿混合工艺婴幼儿配方奶粉质量分析[J].中国乳品工业，2022，50（7）：61–64.

[17] Guo Y，Wang F，Yang， T，et al.Enhancement of vitamin B stability with the protection of whey protein and their interaction mechanisms[J].Food Chemistry，2024，460（Pt 2）：140521.

[18] Zhao Y，Liu L， Ma Q，et al .Milk fat globule membrane（MFGM） phospholipid – Whey protein interaction characterization and its effect on physicochemical，interfacial properties and evaluation of in vitro digestion of emulsions – Inspired by the MFGM[J].Food Hydrocolloids，2024，155：110173.

[19] Chen Q，Yin Q，Xie Q，et al.Elucidating the physico–chemical properties and surface composition of goat milk–based infant formula powders[J].Food Chemistry，2022，

中国乳业线上阅读

377：131936.

[20] Xi Y，Zhao T，Liu R，et al.Assessing sensory attributes and properties of infant formula milk powder driving consumers' preference[J].Foods，2023，12（5）：997.

[21] 何湘丽，湛艳红，彭喜洋，等.婴幼儿配方乳粉溶解性的影响因素探讨[J].中国乳业，2019（2）：74-76.

[22] Kim E H J，Chen X D，Pearce D.Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition，structure and wetting property[J].Colloids and Surfaces B Biointerfaces，2002，26（3）：197-212.

[23] Kim H J，Chen X D，Pearce D.Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders[J].Colloids and Surfaces B Biointerfaces，2005，46（3）：182-187.

[24] Vignolles M L，Jeantet R，Lopez C，et al.Free fat，surface fat and dairy powders：Interactions between process and product.A review[J].Lait，2007（87）：187-236.

[25] 腾飞.绵羊乳三酰基甘油组成和结构及其体外消化特性研究[D].哈尔滨：哈尔滨工业大学，2020.

[26] Phosanam B Z B.Effect of storage conditions on physicochemical and microstructural properties of skim and whole milk powders[J].Powder Technology，2020，372（1）：394-403.

[27] Zhou S，Zhang X，Fan R，et al.Proteomics and surface free fatty acid analysis of milk fat globule in the spray- and freeze-dried bovine，goat and horse milk powders[J].Journal of Dairy Science，2025，108（3）：2303-2314

[28] J. Kim E H，Chen X D，Pearce D.Melting characteristics of fat present on the surface of industrial spray-dried dairy powders[J].Colloids and Surfaces B Biointerfaces，2005，42（1）：1-8.

[29] Li Y，Wang H，Li R，et al.Monitoring volatile changes in infant formula during long-term storage at room temperature[J].Current Research in Food Science，2023（7）：100645.

[30] 杨东松，高爽，袁红，等.羊肉中呈膻物质的形成机制及降膻方式的研究进展[J].食品科学，2024，45（8）：331-341.

[31] 李金林，万亮，陈春艳，等.ω-3 LCPUFAs模拟热加工鱼肉脂肪氧化形成风味物质的研究[J].中国食品学报，2020，20（6）：95-105.

[32] 薛海燕，李欣雨，孟毅，等.基于顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法分析加速氧化过程中全脂牛羊乳粉挥发性化合物[J].食品科学，2024，45（10）：272-280.

Quality of Different Milk-based Young Children Formula during Accelerated Test Period

DUAN Xiaofang[1, 2]，CHEN Litao[1]，HE Xiangli[1, 2]，LIU Yang[1, 2]，YIN Yajun[1, 2]

[1]Blue River Nutrition Co.，Ltd.，Changsha Hunan 410000

[2]International Sheep & Goat Milk Nutrition Research Center，Changsha Hunan 410000

Abstract：[Objective]To investigate the changes in nutrientional components and sensory perception of different milk-based young children formula during the accelerated test period.[Method]Analyze the changes in nutritional components of young children formula based on cow's milk，goat's milk and sheep's milk under accelerated test conditions，and conduc sensory evaluation in accordance with the RHB 204-2004 Sensory Evaluation Details for Infant Formula Milk Powder.[Result]During the accelerated test period，the nutrientional components of young children formula based on cow's milk，goat's milk and sheep's milk showed almost no attenuation and had good stability. The attenuation rate of vitamin C only in cow's milk-based and sheep's milk-based young children formula was significantly greater than that in goat's milk-based young children formula（15.65%，14.28% vs 3.98%）.All three types of young children formula exhibited good dispersibility. After 6 months of accelerated test，the cow's milk-based young children formula developed a distinct fishy odor，while the goat's milk-based and sheep's milk-

下转130页

中国乳业线上阅读

epithelial cells and naturally present in milk.Due to their special structure formed in synthetic secretion and low immunogenicity and high biocompatibility，milk exosomes have shown great potential and prospects in physiological regulation，diagnosis and treatment，and as drug delivery carriers as transporters of various molecules（such as proteins，lipids，mRNA and RNA）.This paper introduced the formation mechanism，separation method，modification and application value of exosomes in biological regulation，and introduced the application in cancer treatment and physiological regulation，in order to provide new ideas for the functional development and product development of exosomes.

Keywords：milk；exosome；separation；modification；application

▲上接115页

of equipment data collection in smart laboratories for milk and dairy products，and elaborated in detail on the construction process of the data collection system，including the selection of sensors，the establishment of a data transmission network. At the same time，this study focused on the management and analysis of data collection，as well as how to apply the data to actual production and quality control. Through the analysis of relevant technologies and cases，this paper aimed to provide a reference for the construction of smart laboratories in the milk and dairy products industry，and to promote the digital transformation and upgrading of the entire industry.

Keywords：milk and dairy products；smart laboratory；equipment data collection；data management and application

▲上接122页

based young children formula showed distinct typical flavors of goat/sheep milk.[Conclusion]During the accelerated test period，the nutrientional components in different milk-based young children formula powders were stable. However，the differences in fatty acid content in different have certain impacts on the flavor and solubility of the products. To ensure the good sensory experience of young children formula during its shelf life，measures should be taken to reduce and control fatty acid oxidation and optimize the surface composition of young children formula，thereby enhancing the stability of the particles.

Keywords：cow's milk；goat's milk；sheep's milk；young children formula；stability；dispersibility；flavor

中国乳业线上阅读