

# 影响婴幼儿面条中维生素 A 稳定性的因素

李清清<sup>1</sup> 刘淑一<sup>2</sup> 李秋雨<sup>1</sup> 戴志勇<sup>1</sup>

(1. 湖南英氏营养食品有限公司, 湖南 长沙 410000; 2. 江苏大学食品学院, 江苏 镇江 212000)

**摘要:** [目的]明确婴幼儿面条加工及贮藏过程中维生素 A 损失的主要原因。[方法]选取含不同蛋白质含量的小麦粉, 添加二价铁与三价铁来制备线面、彩蝶面、挤压面, 同时进行不同形式的包装, 研究蛋白质含量、铁元素、加工工艺及包装对维生素 A 的影响。[结果]小麦粉中蛋白质含量的降低, 增加了维生素 A 的加工损失率与衰减速率, 而且维生素 A 在前 10 d 内衰减速率最快。相比于线面、挤压面, 彩蝶面加工中维生素 A 的损失最少; 真空和面可以显著降低维生素 A 的损失率, 维生素 A 在焦磷酸铁中更稳定。此外, 包装内充氮可以有效减缓面条中维生素 A 的损失速率。[结论]采用三价铁, 真空和面技术及充氮包装可有效保证婴幼儿面条中维生素 A 的稳定性。

**关键词:** 婴幼儿面条; 维生素 A; 稳定性; 加工工艺; 蛋白质含量; 包装形式

## Factors influencing the stability of vitamin A in infant noodles

LI Qingqing<sup>1</sup> LIU Shuyi<sup>2</sup> LI Qiuyu<sup>1</sup> DAI Zhiyong<sup>1</sup>

(1. Engnice Holding Group Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China; 2. College of Food Science, Jiangsu Agricultural University, Shenyang, Jiangsu 212000, China)

**Abstract:** [Objective] To clarify the main causes of vitamin A loss during the processing and storage of infant noodles. [Methods] Wheat flour with different protein contents was selected, and iron elements of different price ranges were added to prepare the straight strip-shaped noodles, butterflies-shaped noodles and extruded noodles. The effects of protein content, iron element, processing technology and packaging on vitamin A were studied. [Results] The results showed that as the protein content in wheat flour decreased, the loss rate and attenuation rate of vitamin A in noodles gradually increased. Vitamin A had the fastest rate of attenuation rate in the first 10 days. Compared with the straight strip-shaped noodles and extruded noodles, the loss of vitamin A in the processing process of butterflies-shaped noodles was the least. Mixing dough with vacuum can significantly reduce the rate of vitamin A loss. Compared to ferrous fumarate, vitamin A was more stable in iron pyrophosphate. In addition, nitrogen filling in the packaging could effectively reduce the loss of vitamin A in infant noodles. [Conclusion] The use of trivalent iron, mixing dough with vacuum, and nitrogen filled packaging in infant noodles can effectively ensure the stability of vitamin A in the noodles.

**Keywords:** infant and toddler noodles; vitamin A; stability; processing technology; protein content; packaging type

婴幼儿正处于发育的关键时期, 维生素是促进婴幼儿发育的重要小分子有机物; 多数维生素无法在人体内合成, 只能从食物中获取, 如果摄入不足, 会影响婴幼儿生长发育, 甚至导致疾病<sup>[1-3]</sup>。2020 年中国卫生健康委员会发布的《婴幼儿辅食添加营养指南》推荐, 6 月龄可以开始添加辅食<sup>[4]</sup>; 婴幼儿面条是目前谷类辅助食品中的主要类别<sup>[5]</sup>。维生素 A 为脂溶性维生素, 在光照、氧气和高温的环境下, 其结构会不稳定, 容易被氧化破坏<sup>[6]</sup>。婴幼儿面条在加工及贮藏过程中, 会受

到温度、光照、金属离子、水分等因素的影响。《食品安全国家标准 婴幼儿谷类辅助食品》(GB 10769—2010) 中规定婴幼儿面条中维生素 A 的添加量为 14~43 μg RE/100 kJ。因此, 研究婴幼儿面条在加工和贮藏过程中维生素 A 的稳定性对于最大限度地保留维生素 A 具有重要意义。

婴幼儿面条具有多种加工方式, 主要为压延成型与挤压成型, 其面条主要有线面、彩蝶面、挤压面。不同的生产工艺, 其加工温度、时间有所差异, 导致维生素 A 发

基金项目: 湖南省科技创新计划资助(编号: 2023ZJ1070)

通信作者: 戴志勇(1987—), 男, 湖南英氏营养食品有限公司中级工程师, 学士。E-mail: daizhiyong@engnice.com

收稿日期: 2023-12-09 改回日期: 2024-11-04

生不同程度的损失。目前,针对不同加工工艺中婴幼儿面条维生素A损失的相关研究较少,国外有少量关于意大利面制备过程营养素损失的报道。Borrelli等<sup>[7]</sup>研究发现,意大利面制作过程中类胡萝卜素损失50%~89%;Fratianni等<sup>[8]</sup>研究发现,意大利面制作过程中类胡萝卜素损失近50%,维生素A发生顺反异构;Sharma等<sup>[9]</sup>研究发现,意大利面制作及贮藏过程中维生素A的总损失率为34%~38%。

面粉为婴幼儿面条生产的主要原料,对产品的品质至关重要。传统线面制作过程中,为防止烘干过程中掉条,采用中高筋粉进行制作;挤压面主要依靠螺杆进行物料的挤压输送,然后通过模具成型,其质地紧密,口感较硬,因此生产时可添加少量的低筋粉进行口感的改善。不同麦粉中蛋白质含量有所不同,是否会对面条中维生素A的稳定性造成影响,国内尚未见相关研究报道。

铁是人体必需的重要营养素,缺铁性贫血在婴幼儿期发病率较高,2岁前轻度贫血发生率高达85%<sup>[10]</sup>。为预防缺铁性贫血,GB 10769—2010中对《婴幼儿生制类谷物辅助食品》中铁的含量作出了强制规定,为0.25~0.50 mg/100 kJ。目前关于婴幼儿面条中的铁元素的研究主要是对比不同价态铁元素对人体消化吸收的影响<sup>[11-12]</sup>,而关于不同价态铁元素对维生素A稳定性影响的研究较少。

研究拟选用不同蛋白质含量的小麦粉,分别添加焦磷酸铁(三价铁)与富马酸亚铁(二价铁),采用不同的加工工艺制作婴幼儿线面、彩蝶面及挤压面,研究蛋白质含量、不同价态铁元素及加工工艺对维生素A损失率的影响;同时,采用不同材质及充氮技术进行婴幼儿面条的包装,对比不同包装形式下维生素A的损失率,以期对婴幼儿面条的生产加工和贮藏提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料与试剂

小麦粉(1#、2#、3#、4#):东海粮油工业(张家港)有限公司;

复配营养强化剂:上海励成营养科技有限公司;

无水乙醇:色谱纯,天津光复试剂有限公司;

抗坏血酸、氢氧化钾、石油醚(30~60℃)、无水硫酸钠、2,6-二叔丁基对甲酚:分析纯,上海沪试实验室器材股份有限公司;

甲醇:色谱纯,霍尼韦尔试剂公司;

视黄醇:美国Panphy公司;

淀粉酶:4万U/g,北京索莱宝科技有限公司。

包装材料:流延聚丙烯/聚酯复合薄膜(PET/PP)、真空镀铝流延聚丙烯薄膜(VMCPP)、镀铝聚酯薄膜(VMPET),湖南怡永丰新材料科技有限公司。

#### 1.1.2 仪器与设备

电子分析天平:ME204E型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电热恒温干燥箱:JB202-1型,上海金恒科学仪器有限公司;

恒温水浴箱:HH-420型,上海一科仪器有限公司;

螺杆挤压机:TF100型,帕玛特自动化科技(山东)有限公司;

彩蝶面机:350型,邢台天方机械制造有限公司;

电子分析天平:ME204E型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

顶空分析仪:CLASSIC 650型,济南兰光机电技术有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20AT型,日本岛津公司;

自动凯氏定氮仪:K9840型,海能未来技术集团股份有限公司;

圆形水浴氮吹仪:BA-DCY12Y型,长沙巴跃仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1780型,岛津仪器(苏州)有限公司。

### 1.2 婴幼儿面条制备

1.2.1 线面、彩蝶面 将小麦粉和复配营养强化剂(添加量为1%,含钙、铁、锌、维生素A、维生素B<sub>1</sub>、维生素D)混匀,加水(加水量30%)和面10 min,经2次复合压延和6次连续压延制得厚0.8 mm的面带。面带经切丝(1.0 mm宽)、干燥(温度35℃,湿度75%,时间8 h)即得线面;面带经彩蝶面机器成型、干燥(温度55℃,湿度40%~50%,时间2 h)即得彩蝶面。干燥后产品水分含量为10%~12%。

1.2.2 挤压面条 采用螺杆挤压机制备挤压面,复合营养素添加量1%(含钙、铁、锌、维生素A、维生素B<sub>1</sub>、维生素D);挤压温度40~60℃,螺杆转速45 r/min,物料含水量31%,烘干温度40℃,湿度75%,干燥时间4 h,成品水分含量9.5%~12.0%。

### 1.3 试验设计

#### 1.3.1 小麦粉中蛋白质含量对维生素A稳定性的影响

采用蛋白质含量不同的小麦粉制作线面,根据营养包中维生素A的初始含量及添加比例,计算成品中营养素的理论含量,并按式(1)计算面条加工过程中维生素A的损失率。同时将生产好的产品,采用对苯二甲酸乙二醇酯(PET)/聚丙烯酸酯(CPP)复合材料包装,常温避光贮藏,贮藏1,5,10,15,30 d时取样检测其维生素A含量,明确蛋白质含量对维生素A稳定性的影响。

$$l = \frac{a - d}{a} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

$l$ ——加工损失率, %;

$a$ ——添加的营养素含量,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ;

$d$ ——实际检测的营养素含量,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ 。

1.3.2 铁价态对维生素 A 稳定性的影响 分别采用富马酸亚铁—维生素 A 复配营养强化剂和焦磷酸铁—维生素 A 复配营养强化剂制备挤压造型面、彩蝶面、线面, 面条制作方法同 1.2。明确不同态位铁元素对面条维生素 A 加工与贮藏过程中稳定性的影响, 其中加工稳定性以维生素 A 加工损失率表示, 贮藏稳定性以产品常温贮藏 12 个月(保质期末)维生素 A 的损失率表示。

### 1.3.3 加工工艺对维生素 A 稳定性的影响

(1) 不同加工工艺下面条维生素 A 损失对比: 测试 3 种加工工艺下所制备的线面、彩蝶面、挤压面中维生素 A 的加工损失率, 明确不同种类面条加工中维生素 A 的损失。

(2) 加工过程中各工序上维生素 A 损失: 测试线面各加工工序中维生素 A 的损失率, 明确线面加工过程中维生素 A 损失的主要工序。测试工序包括和面、干燥两个工序; 同时分别采用真空 ( $-0.06\text{ kPa}$ ) 与非真空进行和面, 探究真空度对和面过程中维生素 A 的影响。按式(2)计算各工序维生素 A 的损失率。

$$l_p = \frac{b_A - a_A}{b_A} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

$l_p$ ——各工序维生素 A 损失率, %;

$b_A$ ——各工序加工前维生素 A 的含量,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ;

$a_A$ ——各工序加工后维生素 A 的含量,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ 。

1.3.4 包装形式对维生素 A 稳定性的影响 分别采用 VMCPP、VMPET 和 PET/ CPP 复合材料对粒粒面、彩蝶面、线面进行包装, 包装后的产品置于温度为  $45\text{ }^\circ\text{C}$ 、湿度为 75% 的恒温恒湿箱中进行加速贮藏试验; 分别于贮藏 0, 4, 8, 12 周时取样, 测定婴幼儿面条中维生素 A 的含量, 明确包装材质对维生素 A 的影响。同时将彩蝶面采用

PET/ CPP 复合材料分别进行充氮与非充氮包装, 常温放置, 在贮藏 0, 7, 15, 30, 60 d 时取样, 测定婴幼儿面中维生素 A 含量, 研究氮气对维生素损失率的影响。

1.3.5 婴幼儿面条维生素 A 含量测定 按 GB 5009.82—2016 中的第一法(反相高效色谱法)执行。

1.3.6 小麦粉中蛋白质含量测定 按 GB 5009.5—2016 中的第一法(凯氏定氮法)执行。

## 1.4 数据统计与分析

采用 Excel 2010 软件进行数据统计, 结果以平均值 ± 标准差表示; 采用 SPSS 22.0 统计分析数据之间的显著性,  $P < 0.05$  说明存在显著性差异,  $P < 0.01$  说明存在极显著差异; 采用 Origin 2021 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦粉中蛋白质含量对维生素 A 稳定性的影响

由表 1 可知, 随蛋白质含量由 11.45% 下降至 8.31%, 维生素 A 的加工损失率由 16.6% 增加至 49.7%, 原料中蛋白质含量的降低增加了维生素 A 加工过程中的损失。面条中蛋白质在加水和面过程中形成三维网状结构, 淀粉、营养素则被包裹、填充于内部; 较高的蛋白质含量可形成更均匀且致密的面筋网络结构, 减少了维生素 A 加工过程中受外界光照和氧气的影响, 从而提高其稳定性。因此, 随小麦粉中蛋白质含量增加, 维生素 A 的加工损失率逐渐降低。对比不同蛋白质含量下, 产品常温贮藏过程中维生素 A 的变化(图 1), 发现蛋白质含量高的产品, 其维生素 A 衰减慢, 且蛋白质含量高的面条其维生素 A 在 1 个月内的损失率约为 10%, 显著小于蛋白质含量低的面条(40%~50%), 这也与蛋白质形成包裹的三维网络结构有关。产品中维生素 A 的大幅度衰减主要发生在前 10 d, 后期随着时间的推移其衰减速率降低, 最终趋近于零。由于维生素 A 检测偏差较大, 因此维生素 A 衰减率呈现负数, 表明该产品在这个贮藏时间段内, 维生素 A 的衰减较小。在婴幼儿面条加工生产中需注意小麦粉中蛋白质含量的变化, 防止蛋白质含量过低导致成品中维生素不符合现象的发生。

表 1 小麦粉中蛋白质含量对维生素 A 稳定性的影响<sup>†</sup>

Table 1 Effects of protein content in wheat flour on the processing loss of vitamins

小麦粉	蛋白质含量	加工损失率	贮藏期衰变率				累积衰变率
			1~5 d	5~10 d	10~15 d	15~30 d	
小麦粉 1#	11.45 ± 0.07 <sup>a</sup>	16.60 ± 1.75 <sup>cd</sup>	1.1 ± 0.4 <sup>d</sup>	2.2 ± 1.3 <sup>c</sup>	3.6 ± 0.1 <sup>ab</sup>	4.2 ± 1.5 <sup>a</sup>	11.1
小麦粉 2#	10.70 ± 0.14 <sup>b</sup>	21.50 ± 3.63 <sup>c</sup>	4.5 ± 2.8 <sup>c</sup>	-0.2 ± 0.0 <sup>d</sup>	0.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	3.3 ± 0.2 <sup>ab</sup>	7.9
小麦粉 3#	9.98 ± 0.14 <sup>c</sup>	30.10 ± 2.92 <sup>b</sup>	12.4 ± 3.6 <sup>b</sup>	25.9 ± 0.5 <sup>a</sup>	7.9 ± 5.5 <sup>a</sup>	4.9 ± 2.5 <sup>a</sup>	51.1
小麦粉 4#	8.31 ± 0.16 <sup>d</sup>	49.70 ± 5.01 <sup>a</sup>	24.6 ± 3.2 <sup>a</sup>	17.9 ± 1.8 <sup>b</sup>	3.0 ± 1.2 <sup>ab</sup>	-1.2 ± 1.0 <sup>c</sup>	44.2

<sup>†</sup> 同列字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )。

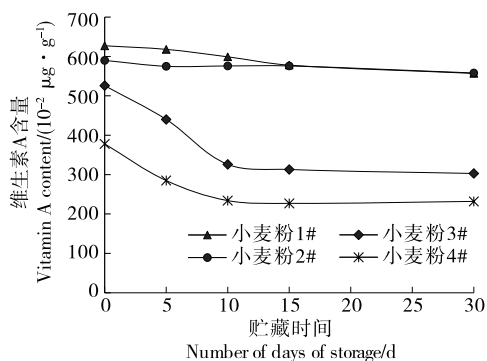


图1 不同小麦粉制作的面条中维生素A随贮藏时间的变化  
Figure 1 Curves of vitamin A content in noodles made from wheat flour with different protein contents

## 2.2 加工工艺对维生素A稳定性的影响

由表2可知,对于添加焦磷酸铁(三价铁)—维生素A复合营养包的婴幼儿面条,其线面、彩蝶面、挤压面维生素A的损失范围分别为20.1%~45.8%,13.9%~33.9%,27.5%~42.5%,均值分别为31.0%,25.1%,32.4%;即加工工艺对维生素A损失率的影响从大到小为挤压面>线面>彩蝶面。添加富马酸亚铁—维生素A复合营养包的各类面条,也具有与之相同的结论。维生素A对高温、湿度及氧气较敏感<sup>[13]</sup>,不同加工工艺的面条维生素A损失率不同,主要与其加工过程中的温度相关。挤压面生产过程中维生素A的损失主要发生在挤出成型阶段,生产过程中物料随着螺杆的旋转向前输送,物料—螺杆—腔体三者不断地摩擦导致腔内温度上升<sup>[14]</sup>,腔内最高温度可达到60℃左右,明显高于线面与彩蝶面生产过程中的加工温度,因此其维生素A损失率最高。线面与彩蝶面加工过程中维生素A损失的差异主要来源于烘干工艺的不同,相比于线面,彩蝶面采用热风干燥,干燥过程中的湿度(40%~50%)低于线面(75%~90%),同时烘干时间短;梁秋元等<sup>[15]</sup>研究表明,水分的降低减少了维生素A的损失率,因此彩蝶面中维生素A的损失率最低。

表2 加工工艺及铁价态对维生素A损失率对比

Table 2 Comparison of vitamin A loss rates under different processing techniques and iron elements %

产品名称	铁价态	加工损失率			货架期损失率		
		最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值
线面	焦磷酸铁	45.8	20.1	31.0	39.0	23.9	33.4
	富马酸亚铁	47.4	25.5	28.3	58.6	24.5	44.2
彩蝶面	焦磷酸铁	33.9	13.9	25.1	37.1	20.4	28.9
	富马酸亚铁	32.1	15.8	26.6	39.8	16.9	29.4
挤压面	焦磷酸铁	42.5	27.5	32.4	30.3	5.3	17.1
	富马酸亚铁	47.9	27.4	37.4	35.6	9.5	20.3

分别采用真空与非真空和面,对比和面真空度对维生素A的影响,同时明确各生产工序下维生素A的损失率,结果如表3所示。真空和面显著降低了维生素A的损失率,其损失率只有非真空和面的50%。和面过程中,水分的加入,促进了小麦粉中脂肪氧合酶(LOX)的活性,该酶在水分和氧气的作用下能特异性地催化含有顺1,4-戊二烯结构的多不饱和脂肪酸的加氧反应,生成具有共轭双键的多元不饱和酸的氢过氧化物中间体,该中间体能分解胡萝卜素、维生素等营养素<sup>[16]</sup>。真空和面条件下,隔绝了氧气的进入,可以有效阻止催化氧化的发生,提高维生素A的保留率,与刘晓平等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。挂面干燥过程中维生素A的损失与真空和面下维生素A的损失相比差异不大。

表3 线面加工过程中各工序维生素A损失率对比<sup>†</sup>

Table 3 Comparison of vitamin A loss rate under different processes in noodle processing

生产工序	维生素A损失率/%
真空和面	11.6±0.7 <sup>b</sup>
非真空和面	21.1±1.4 <sup>a</sup>
干燥	9.4±1.3 <sup>b</sup>

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )。

## 2.3 铁价态对维生素A稳定性的影响

由表2可知,添加焦磷酸铁的面条中维生素A的加工损失率要低于添加富马酸亚铁的,但两者相差不大。对比富马酸亚铁(二价铁)与焦磷酸铁(三价铁)对产品货架期内维生素A的影响,可以看出,添加二价铁的产品其货架期末的维生素A损失率要高于添加三价铁的,其中线面尤为明显。从金属离子催化氧化的作用来分析,二价铁的催化作用要强于三价铁,因此加速了产品在贮藏过程中维生素A的损失;线面相比于挤压面其内部结构疏松,贮藏过程中氧气更容易与内部维生素A接触,促进了维生素A的降解。

## 2.4 包装材料对维生素A稳定性的影响

产品的贮藏稳定性与包装材料密切相关,并随包装方式的不同而变化<sup>[18-19]</sup>。由图2可知,第4周时,3种包装材料中的维生素A含量显著下降,后续贮藏中维生素A的含量无显著性变化,表明婴幼儿面条中维生素A的衰减主要发生在加速贮藏的前1个月内,这与不同蛋白质含量下产品维生素A的衰减结果一致。对比在不同贮藏时期,3种包装材料中产品维生素A的含量可以发现,相同贮藏时间下,不同卷膜材质包装的产品维生素A含量无显著差异,这主要由于3种卷膜包装材质的样品均置于彩盒中,避光贮藏所致,而维生素A的稳定性受光照的影响较大<sup>[20]</sup>。综上,对于采用内袋卷膜外加不透明彩盒这种包装方式的婴幼儿面条来说,内袋卷膜材质的差异对于产品中营养素的衰减无显著影响。

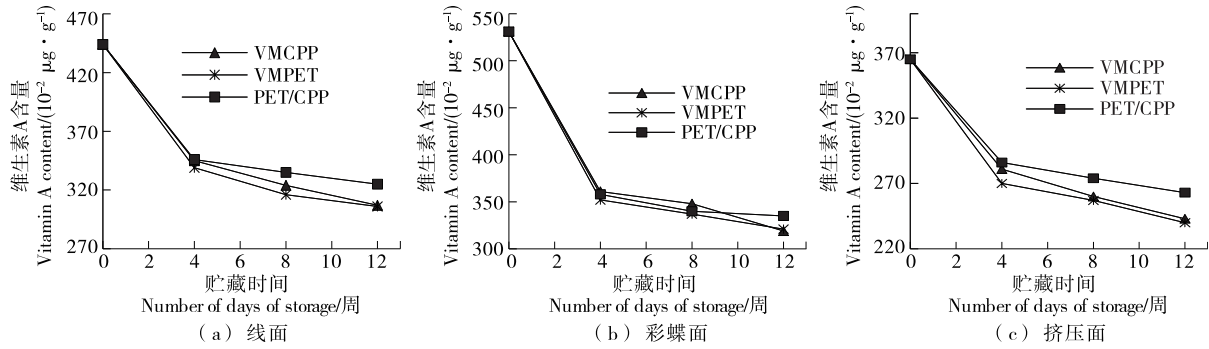


图2 不同材料包装的婴幼儿面条在贮藏过程中维生素A含量的变化

Figure 2 The vitamin A content in the infant and toddler noodles packaged with different materials during storage

2.5 充氮包装对维生素A稳定性的影响

由图3可知,不同贮藏时间下,充氮样品中的维生素A含量均高于未充氮样品的,且随着时间的延长,两者的差异逐渐增大。与充氮包装的样品相比,未充氮产品内部氧气含量较高,维生素在有氧环境中不稳定,易发生氧化而衰减,因而充氮包装的面条中维生素A含量高于未充氮的<sup>[21]</sup>。由此可见,包装内充氮可有效减缓婴幼儿面条中维生素A的损失。

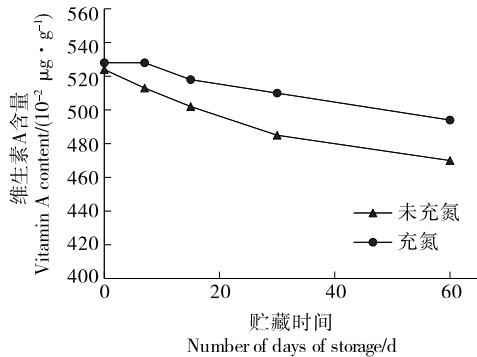


图3 充氮与未充氮包装下产品中维生素A含量的变化

Figure 3 Changes in vitamin A content of noodles in nitrogen-filled and non-nitrogen-filled packaging

3 结论

原料和加工工艺是影响婴幼儿面条加工稳定性的重要因素,高蛋白质含量的小麦粉,真空和面可提高维生素A的加工稳定性与贮藏稳定性;婴幼儿面条中添加焦磷酸铁(三价铁)更有利于维生素A的稳定,同时光照对维生素A的影响要大于包装材料。该研究明确了婴幼儿面条加工和贮藏过程中影响维生素A稳定性的因素,但对于蛋白质网络结构、不同价态铁如何与维生素A发生作用的更深层次的机理还有待进一步研究。

参考文献

[1] 孟金凤, 陈静茹, 范美婧, 等. 以“健康中国2030”视角展望中

国婴幼儿面条的发展[J]. 现代食品, 2021(22): 151-156.

MENG J F, CHEN J R, FAN M J, et al. Perspectives of infant noodle developments in China, a review from the plan of "healthy China 2030"[J]. Nutrition and Health, 2021(22): 151-156.

[2] 卢重雪, 刘锐, 张波, 等. 小麦加工及面条制造链中的安全质量营养特性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(11): 161-168.

HU C X, LIU R, ZHANG B, et al. Research progress on safety, quality and nutritional characteristics of food in wheat processing and noodle manufacturing chain[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(11): 161-168.

[3] SHARMA S, SHARMA N, SINGH A, et al. Stability of iron and vitamin A in pasta enriched with variable plant sources during processing and storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021(5): 45-53.

[4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 婴幼儿辅食添加营养指南: WS/T 678—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.

National Health Commission of the People's Republic of China. Guidelines for adding nutrients to infant and young children's complementary foods: WS/T 678—2020[S]. Beijing, China Standard Press, 2020.

[5] 任雪梅, 田洪芸, 王健, 等. 我国婴幼儿谷类辅助食品质量状况及监管要求[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(16): 5 255-5 259.

REN X M, TIAN H Y, WANG J, et al. Quality status and supervision suggestions of cereal auxiliary food for infants in China[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(16): 5 255-5 259.

[6] WEST K P, LECLERQ S C, SHRESTHA S R, et al. Effects of vitamin A on growth of vitamin A-deficient children: field studies in Nepal[J]. The Journal of Nutrition, 1997, 127(10): 1 957-1 965.

[7] BORRELLI G M, DE LEONARDIS A M, FARES C, et al. Effects of modified processing conditions on oxidative

- properties of semolina dough and pasta[J]. *Cereal Chemistry*, 2003, 80(2): 225-231.
- [8] FRATIANNI A, CRISCIO T D, MIGNOGNA R, et al. Carotenoids, tocopherols and retinols evolution during egg pasta-making processes[J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(2): 590-595.
- [9] SHARMA N, SHARMA S, SINGH B, et al. Stability evaluation of iron and vitamin A during processing and storage of fortified pasta[J]. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2020, 12(2): 50-60.
- [10] 李芬田, 袁丽华, 董小珍. 不同喂养方式和辅食添加时机对婴幼儿缺铁性贫血的影响研究[J]. *中国实用医药*, 2020, 15(20): 112-113.
- LI F T, YUAN L H, TONG X Z. Study on the effects of different feeding methods and timing of complementary foods on iron deficiency anemia in infants and young children[J]. *China Practical Medicine*, 2020, 15(20): 112-113.
- [11] 黄艺文, 吴琼, 张延峰. 儿童缺铁性贫血的原因危害及临床检测综述[J]. *中国妇幼保健*, 2021, 36(2): 484-486.
- HUANG Y W, WU Q, ZHANG Y F. A review of the causes, hazards, and clinical testing of iron deficiency anemia in children[J]. *Maternal and Child Health Care of China*, 2021, 36(2): 484-486.
- [12] 陈春梅, 葛品, 郭翀. 人体铁代谢及其调控因素[J]. *基础医学与临床*, 2022, 42(5): 818-823.
- CHEN C M, GE P, GUO C. Iron metabolism in human body and its regulatory factors[J]. *Basic and Clinical Medicine*, 2022, 42(5): 818-823.
- [13] 颜景超, 任国谱, 赖鸣宇, 等. 维生素A酯类的稳定性及热降解动力学研究[J]. *食品工业科技*, 2010(9): 51-54.
- YAN J C, REN G P, LAI M Y, et al. Study on stabilities of retinol esters and their thermal degradation kinetics[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010(9): 51-54.
- [14] 高嫒, 贾健辉, 张楚佳, 等. 挤压技术在淀粉及淀粉基食品中的应用[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(14): 474-481.
- GAO M, JIA J H, ZHANG C J, et al. Application of extrusion technology in starch and starch-based food[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(14): 474-481.
- [15] 梁秋元, 严飞, 张小丽, 等. 维生素A, D软胶囊稳定性影响因素[J]. *食品工业*, 2023, 43(2): 179-183.
- LIANG Q Y, YAN F, ZHANG X L, et al. Factors affecting the stability of vitamin A and D soft capsules[J]. *Food Industry*, 2023, 43(2): 179-183.
- [16] 李兴军. 谷物脂氧合酶的生理生化特性[J]. *粮食科技与经济*, 2011, 36(3): 34-37.
- LI X J. Physiological and biochemical characteristics of grain lipoxygenase[J]. *Grain and Oil Economy and Technology*, 2011, 36(3): 34-37.
- [17] 刘晓平, 曹斌, 李琳瑶, 等. 婴幼儿面条关键加工工艺及营养素损失研究[J]. *食品安全导刊*, 2023(21): 136-139.
- LIU X P, CAO B, LI L Y, et al. Research on key processing techniques and nutrient loss of infant noodles[J]. *China Food Safety*, 2023(21): 136-139.
- [18] SAHA D, NANDA S K, YADAV D N. Shelf-life study of spray-dried groundnut milk powder[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2020, 43(3): 32-38.
- [19] AZAD N, MOHAMMADI M. An empirical survey on factors influencing on packaging dairy products[J]. *Management Science Letters*, 2013, 3(7): 1 901-1 906.
- [20] 柳阳阳, 贾有青, 李哲, 等. 强化乳制品中维生素A稳定性的研究[J]. *食品工程*, 2016(3): 32-34.
- LIU Y Y, JIA Y Q, LI Z, et al. Study on stability of vitamin A in fortified dairy products[J]. *Food Engineering*, 2016(3): 32-34.
- [21] FAILLOUX N, BONNET I, PERRIER E, et al. Effects of light, oxygen and concentration on vitamin A<sub>1</sub>[J]. *Journal of Raman Spectroscopy*, 2004, 35(2): 140-147.