

婴幼儿配方谷粉中多组分反式脂肪酸的同步测定

Synchronous detection of multicomponent trans-fatty acids and investigation of content in infant formula farina

黄 丽^{1,2} 李金林^{1,2} 王楚芳¹ 万 亮^{1,2}

HUANG Li^{1,2} LI Jin-lin^{1,2} WANG Chu-fang¹ WAN Liang^{1,2}

(1. 南昌市食品药品检验所, 江西 南昌 330038; 2. 南昌市食品安全检测与控制重点实验室, 江西 南昌 330038)

(1. Nanchang Institute for Control of Food and Drug, Nanchang, Jiangxi 330038, China;

2. Nanchang Key Laboratory of Food Safety Detection and Controlling, Nanchang, Jiangxi 330038, China)

摘要:建立多组分反式脂肪酸同步测定方法,并对 38 批市售婴幼儿配方谷粉中各组分反式脂肪酸(TFAs)的含量进行测定。结果显示:婴幼儿配方谷粉样品中 TFAs 平均含量为 0.749 3 mg/g,总体含量较低,约 76.3% 的样品中 TFAs 总含量在 0.04 ~ 1.0 mg/g,主要组分为 C_{18:1-11T}, C_{19:1-7T}, C_{18:3-9T,12T,15T}, C_{18:1-9T} 和 C_{18:2-9,12TT},经分析配料配方与加工工艺是影响婴幼儿配方谷粉中 TFAs 含量的 2 个主要因素。

关键词:反式脂肪酸;婴幼儿配方谷粉;气相色谱-质谱法

Abstract: In this study, we established multicomponent trans-fatty acids(TFAs) synchronous detection method, and on this basis the content of various components of TFAs from 38 batches of commercial infant formula farina was investigated. The results showed the average content of TFAs in infant formula farina was 0.749 3 mg/g, and the overall content was low. The TFAs total content was within a range of 0.04~1.0 mg/g in approximately 76.3% of samples. The main component was C_{18:1-11T}, C_{19:1-7T}, C_{18:3-9T/12T/15T}, C_{18:1-9T} and C_{18:2-9,12TT}. Moreover, we found that the ingredient formula and processing technology were two main factors that could fluctuate the TFAs content in infant formula farina.

Keywords: trans-fatty acids; infant formula farina; Gas Chromatography/Mass Spectrometry(GC-MS)

婴幼儿配方谷粉是婴幼儿重要的辅助食品,与婴幼儿的健康息息相关。反式脂肪酸(TFAs)是指分子中含有一个或多个反式双键的非共轭不饱和脂肪酸的总称^[1]。研究^[2-4]

表明,TFAs 会对婴幼儿中枢神经的发育产生不良影响,还能引起婴幼儿向心性肥胖和高血脂症,并对学习认知和记忆造成损害。2010 年中国卫生部发布的《婴幼儿主辅食类的食品安全国家标准》中明确规定了原料“不应使用氢化油脂”^[5-7]。

目前反式脂肪酸检测分析方法主要有气相色谱法^[8-9]、基于银离子的色谱分析法^[10-12]、红外光谱吸收法^[13-14]以及毛细管电泳法^[15-16]等,其中气相色谱法因分离准确、稳定性好被广泛应用,但目前未见对婴幼儿配方谷粉中 TFAs 组分的研究报道。GB 5413.36—2010 测定婴幼儿配方食品中 TFAs 总量仅包括 C_{18:1T} 和 C_{18:2T} 2 种 TFAs 之和,但实际样品中 TFAs 组分复杂多样。本研究通过对气相色谱-质谱条件的优化,建立了多组分 TFAs 的同步测定方法;应用该方法对婴幼儿配方谷粉中的 TFAs 进行组分鉴定和含量测定,为婴幼儿配方谷粉中 TFAs 的风险评估提供基础数据,也为婴幼儿配方谷粉企业科学生产、工艺改进提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

α -亚麻酸 8 种同分异构体混标(C_{18:3-9T,12T,15T}、C_{18:3-9C,12T,15T}、C_{18:3-9T,12C,15T}、C_{18:3-9T,12T,15C}、C_{18:3-9C,12C,15T}、C_{18:3-9C,12T,15C}、C_{18:3-9T,12C,15C}、C_{18:3-9C,12C,15C})、13 组分 TFAs 甲酯混标[C_{14:1(9T)}、C_{15:1(10T)}、C_{16:1(9T)}、C_{17:1(10T)}、C_{18:1(6T)}、C_{18:1(9T)}、C_{18:1(11T)}、C_{18:2(9T,12T)}、C_{19:1(10T)}、C_{19:1(7T)}、C_{20:1(11T)}、C_{22:1(13T)}、C_{18:1-12羟基(9T)}];上海安谱科学仪器有限公司;

其他试剂按 GB 5413.36—2010 准备;

样品采集:市场抽取 16 个不同生产商、不同配方的共 38 批婴幼儿配方谷粉;为便于分析,本研究根据产品配料表将样品分为粗粮型、DHA 型、奶粉型、棕榈酸酯型、大豆蛋白型、螺旋藻型、混合蛋白型、复合营养素型等 8 组。

基金项目:江西省质量技术监督局科技项目(编号:GZJK[2014]05 号)

作者简介:黄丽,女,南昌市食品药品检验所高级工程师,硕士。

通信作者:李金林(1983—),男,南昌市食品药品检验所高级工程师,博士。E-mail:lijinlin405@126.com

收稿日期:2017-09-23

1.1.2 主要仪器设备

气相色谱-质谱联用仪:Agilent 7890A/5975C型,配 FID 检测器、HP-88 毛细管石英柱(100 m×0.25 mm×0.20 μm),安捷伦科技有限公司;

电子天平:AL204 型,梅特勒-托利多仪器有限公司;

超声波清洗器:UP5200H 型,南京全君达超声电子设备有限公司;

旋转蒸发仪:N-1001 型,上海爱朗仪器有限公司;

氮吹仪:QSC-12T 型,上海泉岛公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的制备 试样的前处理、脂肪酸的提取、脂肪酸甲酯的制备按 GB 5413.36—2010 执行。

1.2.2 多组分 TFAs 同步测定方法的建立 采用气相色谱-质谱联用法。

(1) 气相色谱条件优化:在 GB 5413.36—2010 方法基础上,以 8 种 α-亚麻酸同分异构体混标和 13 组分 TFAs 甲酯混标为分离对象,在探索被分离对象大致沸点(180~240℃)基础上选择较高柱温的程序升温且保持时间更长,使得多种反式脂肪酸及其同分异构体充分分离,建立同步测定多组分 TFAs 的方法,详细参数设置见表 1。其中色谱条件 A 为本研究优化的色谱条件,分离条件 B 为 GB 5413.36—2010 方法的色谱条件。

表 1 色谱条件的优化

Table 1 Optimization of chromatographic condition

色谱条件	升温速率/ (℃·min ⁻¹)	温度/ ℃	保持时间/ min	运行时间/ min
升温程序 A		125	0.5	0.5
	10	145	0.0	2.5
	5	180	15.0	24.5
升温程序 B	5	240	15.0	51.5
		120	0.0	0.0
	10	175	10.0	15.5
	5	210	5.0	27.5
	5	230	5.0	36.5

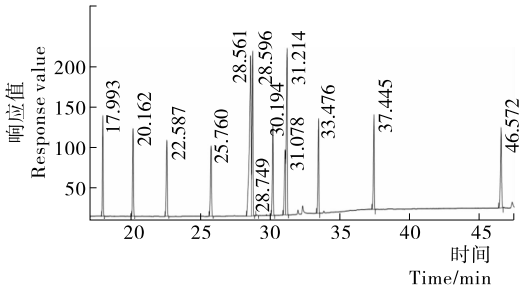
(2) 质谱条件:接口温度 280℃;EI 离子源;离子源温度 23℃;四级杆温度 150℃;电子能量 70 eV;电子倍增电压 1 100 V;溶剂延时 14 min;扫描范围 35~550 μm。定量离子:饱和脂肪酸 74;不饱和脂肪酸 55。

1.2.3 婴幼儿配方谷粉中 TFAs 的测定和组分鉴定 按照 1.2.2 建立的方法,以 C_{13:0} 为内标(浓度 5.70 mg/mL),对 16 个不同生产厂家不同配方的共 38 批婴幼儿配方谷粉样品中 TFAs 进行组分鉴定和含量测定,并对其来源进行分析。

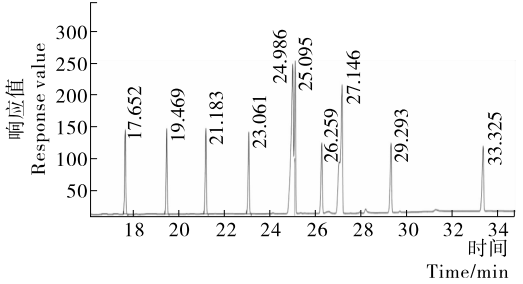
2 结果与讨论

2.1 色谱分离结果

色谱条件 A 和 B 对 13 组分 TFAs 甲酯混标、α-亚麻酸 8 种同分异构体混标分离色谱图见图 1、2。



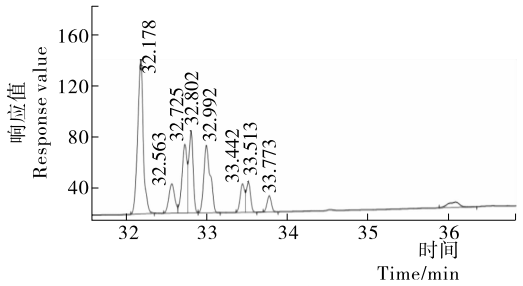
(a) 色谱条件A



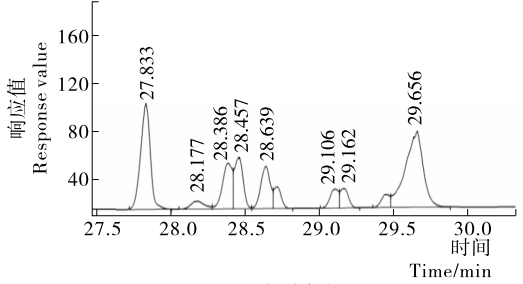
(b) 色谱条件B

图 1 色谱条件 A 和 B 对 13 组分 TFAs 甲酯标准品分离色谱图

Figure 1 Methyl standard substance chromatogram separation of 13 components of TFAs with chromatographic conditions A and B applied



(a) 色谱条件A



(b) 色谱条件B

图 2 色谱条件 A 和 B 对 α-亚麻酸 8 种同分异构体分离色谱图

Figure 2 The separation chromatogram of 8 kinds of α linolenic acid isomers with chromatographic conditions A and B applied

由图 1 可知,在色谱条件 A 下,13 组分 TFAs 甲酯混标中除 C_{18:1(6T)} 和 C_{18:1(9T)} 组分未完全分离外,其余组分完全分离,基线和峰形较好,峰尖清晰可辨。而在色谱条件 B 下,C_{18:1(6T)} 与 C_{18:1(9T)} 及 C_{19:1(10T)} 与 C_{19:1(7T)} 不能实现分离,形成拖尾峰。

由图 2 可见,2 种色谱条件都能将 8 种 α -亚麻酸同分异构体分离,但采用色谱条件 A 分离的峰形和峰尖明显优于色谱条件 B,分离效果更好。因此,本研究优化的色谱条件 A 对脂肪酸混标及同分异构体混标的分离效果要明显优于色谱条件 B 的。

色谱条件 B 测定 TFAs 总量仅包括 $C_{18:1T}$ 和 $C_{18:1T}$ 2 种 TFAs 之和,用于 TFAs 甲酯分离程度及定性鉴定的脂肪酸甲酯混标仅包括 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1-T}$ 、 $C_{18:1-C}$ 、 $C_{18:2-T,T}$ 、 $C_{18:2-C,C}$ 5 种。试验结果表明,在色谱条件 B 下,多组分的 TFAs 不能很好地分离。故本研究对升温程序进行了优化,选择较高柱温的程序升温,且保持时间更长,使各组分在近似沸点附近进行活跃洗脱吸附,能将多组分的 TFAs 基本分离,达到预期分离效果。

色谱条件 A 下,以相邻两峰的保留时间之差与平均峰宽的比值计算分离度 R , $C_{14:1(9T)}$ 、 $C_{15:1(10T)}$ 、 $C_{16:1(9T)}$ 、 $C_{17:1(10T)}$ 、 $C_{18:1(6T)}$ 、 $C_{18:1(9T)}$ 、 $C_{18:1(11T)}$ 、 $C_{18:2(9T,12T)}$ 、 $C_{19:1(10T)}$ 、 $C_{19:1(7T)}$ 、 $C_{20:1(11T)}$ 、 $C_{22:1(13T)}$ 和 $C_{18:1-12\text{羟基-}(9T)}$ 之间分离度计算结果依次为 33.73,32.66,38.53,33.97,0.50,2.31,20.53,10.46,1.59,33.34,60.56,121.00; $C_{18:3-9T,12T,15T}$ 、 $C_{18:3-9C,12T,15T}$ 、 $C_{18:3-9T,12C,15T}$ 、 $C_{18:3-9T,12T,15C}$ 、 $C_{18:3-9C,12C,15T}$ 、 $C_{18:3-9C,12T,15C}$ 、 $C_{18:3-9T,12C,15C}$ 、 $C_{18:3-9C,12C,15C}$ 之间分离度计算结果依次为 5.03,2.16,1.22,2.75,6.60,1.25,4.46。由结果可知,对于 13 组分的 TFAs 混标, $C_{18:1-T}$ 与 $C_{18:1-T}$ 两峰分离度为 $0.5<1.0$,两峰几乎重叠,仅峰尖可辨;其他组分之间分离度均 >1.5 ,能完全分离。对于 α -亚麻酸 8 种同分异构体混标, $C_{18:3-9T,12C,15T}$ 与 $C_{18:3-9T,12T,15C}$ 以及 $C_{18:3-9C,12T,15C}$ 与 $C_{18:3-9T,12C,15C}$ 分离度分别为 1.22 和 1.25,均介于 1.0 与 1.5 之间,分离不完全,但两峰峰尖可辨别,属于基本分离,其余组分之间分离度较好,能完全分离。

2.2 质谱分析结果

根据质谱库检索,参照林麒等^[17]研究结果,推测 α -亚麻酸 8 种同分异构体甲酯的出峰顺序见表 2。故本研究建立的气相色谱法可作为调查婴幼儿配方谷粉中 TFAs 的方法。

2.3 婴幼儿配方谷粉中 TFAs 的检测结果

应用本研究建立的方法检测来自 16 个生产厂家不同配方的共 38 批婴幼儿配方谷粉,得出婴幼儿配方谷粉中

表 2 α -亚麻酸 8 种同分异构体的出峰顺序表

Table 2 Peak appearance sequence of 8 kinds of α linolenic acid isomers

TFAs 种类	顺式双键数	顺式双键位置	顺式双键位置之和	峰顺序
$C_{18:3-9T,12T,15T}$	0	0,0,0	0	1
$C_{18:3-9C,12T,15T}$	1	9,0,0	9	2
$C_{18:3-9T,12C,15T}$	1	0,12,0	12	3
$C_{18:3-9T,12T,15C}$	1	0,0,15	15	4
$C_{18:3-9C,12C,15T}$	2	9,12,0	21	5
$C_{18:3-9C,12T,15C}$	2	9,15,0	24	6
$C_{18:3-9T,12C,15C}$	2	12,15,0	27	7
$C_{18:3-9C,12C,15C}$	3	9,12,15	36	8

TFAs 平均总含量为 0.749 3 mg/g。由图 3 可知,52.6% 的婴幼儿配方谷粉 TFAs 总含量为 0.04~0.5 mg/g,76.3% 的婴幼儿配方谷粉 TFAs 总含量为 0.04~1.0 mg/g,92.1% 的婴幼儿配方谷粉 TFAs 总含量为 0.04~2.0 mg/g,仅有 8% 的婴幼儿配方谷粉 TFAs 总含量 ≥ 2.0 mg/g,婴幼儿配方谷粉中 TFAs 总体含量较低。

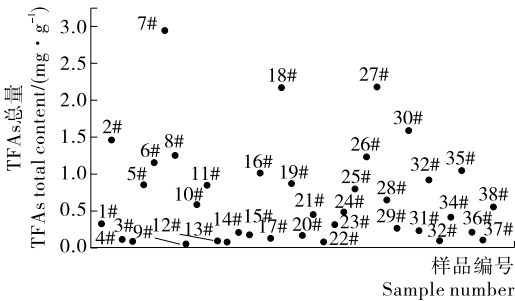


图 3 38 批婴幼儿配方谷粉 TFAs 含量分布

Figure 3 Distribution of TFAs content in 38 batches of infant formula farina

不同配方婴幼儿谷粉中 TFAs 含量分析结果见表 3,由表 3 可知,平均含量最高的组分依次为 $C_{18:1-11T}$ 、 $C_{19:1-7T}$ 、 $C_{18:3-9T,12T,15T}$ 、 $C_{18:1-9T}$ 和 $C_{18:2-9,12TT}$ 。 $C_{18:3-9T,12C,15T}$ 、 $C_{18:3-9T,12C,15C}$ 和 $C_{18:1-12\text{羟基-}9T}$ 3 种 TFAs 在所测样品中均未检出,其他 TFAs 组分含量较低且差异不明显。

从表 3 还可以看出,粗粮型的谷粉含有的 TFAs 组分种类单一且含量最低,主要组分为 $C_{19:1-7T}$ 。当配料中添加含有脂肪酸的配料时,TFAs 的含量和组分均增加。当添加 DHA、ARA 配料时,TFAs 主要组分为 $C_{18:1-9T}$ 、 $C_{19:1-10T}$ 和 $C_{19:1-7T}$;当添加奶粉、棕榈酸酯、大豆蛋白、螺旋藻、混合蛋白等配料时,TFAs 主要组分为 $C_{18:1-11T}$ 、 $C_{19:1-7T}$ 和 $C_{18:1-9T}$;配料中添加复合营养素的谷粉中 TFAs 主要组分为 $C_{18:2-9,12TT}$ 和 $C_{18:3-9T,12T,15T}$ 。所测的 TFAs 含量最高的 3 个谷粉样品配方中分别添加了螺旋藻、全脂奶粉+大豆分离蛋白+乳清蛋白和复合营养素。螺旋藻型配方谷粉 TFAs 含量高可能是由于配料螺旋藻中含有大量不饱和脂肪酸^[18]所致;奶粉型配方谷粉中 TFAs 组分测定结果与宋立华等^[19]报道牛乳中的天然 TFAs 的组分也基本一致,因此推断婴幼儿配方谷粉的配料可能对最终产品中反式脂肪酸种类及含量存在影响。婴幼儿配方谷粉中的配方配料对 TFAs 组分和含量的影响规律尚不清楚,有待进一步研究。

2.4 来源分析

由表 3 可知,配方配料的带入是婴幼儿配方谷粉中的 TFAs 来源之一。据文献^[20~21]报道婴幼儿配方谷粉中的 TFAs 大部分是生产过程中高温条件下脂肪酸分解和发生异构化反应产生的。

3 结论

本研究建立的气相色谱-质谱联用法可用于同步测定多组分 TFAs,该方法对分析多组分 TFAs 及其同分异构体具有较好的分离效果。应用该方法测定 38 批市售婴幼儿配方

表 3 不同配方婴幼儿配方谷粉的 TFAs 含量[†]

Table 3 TFAs content in different formulas of infant formula farina mg/g

TFAs 组分	粗粮型 (n=7)	DHA 型 (n=12)	奶粉型 (n=9)	棕榈酸酯型 (n=7)	大豆蛋白型 (n=12)	螺旋藻型 (n=1)	混合蛋白型 (n=1)	复合营养素型 (n=1)	平均含量 (n=38)
C _{14:1-9T}	ND	0.005 6	0.002 5	0.005 1	0.005 4	0.03 20	0.012 7	0.187 3	0.012 2
C _{15:1-10T}	ND	ND	0.001 0	0.004 0	0.002 2	0.023 5	0.008 8	0.014 5	0.002 5
C _{16:1-9T}	ND	0.032 0	0.001 3	0.030 2	0.015 5	0.011 7	0.012 1	ND	0.007 1
C _{17:1-10T}	ND	0.017 7	ND	0.010 3	0.002 2	ND	ND	ND	0.000 8
C _{18:1-6T}	ND	0.025 1	0.008 0	ND	0.001 5	ND	ND	ND	0.005 6
C _{18:1-9T}	ND	0.261 3	0.010 2	0.212 7	0.131 6	0.310 4	0.089 6	ND	0.072 3
C _{18:1-11T}	0.101 0	0.142 9	0.344 1	0.117 4	0.223 2	1.847 2	1.272 1	0.052 8	0.238 3
C _{18:2-9,12TT}	ND	0.133 7	0.021 1	0.019 7	0.021 3	0.017 7	0.007 9	0.926 0	0.065 6
C _{19:1-10T}	ND	0.240 9	0.002 2	0.008 9	0.004 5	0.052 0	0.019 8	ND	0.013 0
C _{19:1-7T}	0.168 2	0.210 3	0.249 4	0.236 7	0.237 0	0.533 6	0.675 7	ND	0.234 8
C _{18:3-9T,12T,15T}	ND	0.168 2	0.016 5	0.022 6	0.018 3	ND	ND	0.991 2	0.073 9
C _{18:3-9C,12T,15T}	ND	0.008 9	ND	0.008 9	0.000 7	ND	ND	ND	0.000 3
C _{18:3-9T,12C,15T}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.000 0
C _{18:3-9T,12T,15C}	ND	0.009 3	0.003 4	0.006 3	0.003 9	0.017 9	0.016 4	ND	0.003 3
C _{18:3-9C,12C,15T}	ND	0.013 3	ND	ND	0.001 1	ND	ND	ND	0.000 4
C _{18:3-9C,12T,15C}	ND	0.024 5	0.005 2	ND	0.003 6	ND	ND	ND	0.003 0
C _{18:3-9T,12C,15C}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.000 0
C _{20:1-11T}	ND	0.009 5	0.005 5	0.013 0	0.014 7	0.085 3	0.049 8	ND	0.008 0
C _{18:3-9C,12C,15C}	ND	0.020 3	0.010 4	0.031 7	0.011 8	0.111 7	0.040 7	0.079 3	0.018 1
C _{22:1-13T}	ND	ND	0.000 8	ND	0.001 3	0.010 6	0.007 4	0.014 3	0.008 9
C _{18:1-12羟基-9T}	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.000 0
TFA 总量	0.171 6	0.444 7	0.666 1	0.434 7	0.684 7	2.941 9	2.172 4	2.186 1	0.749 3

[†] 除大米外,粗粮型指配料中添加了粗粮、维生素、矿物质;DHA 型指配料中添加了 DHA、ARA;奶粉型指配料中添加了乳粉;大豆蛋白型指配料中添加了大豆蛋白;棕榈酸酯型指配料中添加了棕榈酸酯;螺旋藻型指配料中添加了螺旋藻粉;混合蛋白型指配料中添加了全脂奶粉、大豆分离蛋白、乳清蛋白;复合营养素型指配料中添加了复合营养素包。

谷粉中的反式脂肪酸,测得平均含量为 0.749 3 mg/g,总体含量较低,主要组分为 C_{18:1-11T}、C_{19:1-7T}、C_{18:3-9T,12T,15T}、C_{18:1-9T}和 C_{18:2-9,12TT}。婴幼儿配方谷粉中的 TFAs 与配方配料及生产加工工艺条件相关,故生产过程中应严格控制工艺条件,避免生产过程中饱和和脂肪酸转化为 TFAs。婴幼儿配方谷粉中的配方配料对 TFAs 组分和含量的影响规律以及生产加工过程条件对 TFAs 组分和含量的影响有待进一步研究。

参考文献

[1] Food and Drug Administration. Food Labeling: Trans fatty acids in nutrition labeling, nutrient content claims, and health claims [J]. Federal Register, 2003, 63(133): 41 434-41 506.

[2] KAVANAGHA K, SAJADIANA S, JENKINS K A, et al. Neonatal and fetal exposure to trans-fatty acids retards early growth and adiposity while adversely affecting glucose in mice [J]. Nutrition Research, 2010, 30: 418-426.

[3] CHAVARRO J E, MÍNGUEZ-ALARCÓN L, MENDIOLA J, et al. Trans Fatty Acid Intake is Inversely Related to Total Sperm Count in Young Healthy Men[J]. Hum Reprod, 2014, 9(3):

429-440.

[4] COLLISON K S, MAKOUL N J, INGLIS A, et al. Dietary trans-fat combined with monosodium glutamate induces dyslipid-mia and impairs spatial memory [J]. Physiology&. Behavior, 2010, 99: 334-342.

[5] 中华人民共和国卫生部. GB 10765—2010 食品安全国家标准 婴儿配方食品[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2010: 1.

[6] 中华人民共和国卫生部. GB 10767—2010 食品安全国家标准 较大婴儿和幼儿配方食品[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2010: 1.

[7] 中华人民共和国卫生部. GB 10769—2010 食品安全国家标准 婴幼儿谷类辅助食品[S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2010: 1.

[8] RATOAYAKE W M N, PLOUFFE L J, PASQUIER E, et al. Temperature-sensitive resolution of cis-and trans-fatty acid isomers of partially hydrogenated vegetable oils on SP-2560 and CP-Sil 88 capillary columns [J]. Journal of AOAC International, 2002, 85: 1 112-1 118.

[9] 娄峰阁, 陈晓婷, 陈哲, 等. 齐齐哈尔市售乳制品中反式脂肪酸的测定[J]. 卫生研究, 2015, 44(5): 860-862.

(下转第 137 页)

- 机械, 2012(4): 133-135.
- [4] 杜传来, 许天亮. 不同贮藏条件和包装方式对几种叶菜保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2009(2): 30-34.
- [5] 李方, 卢立新. 菠菜微孔膜气调保鲜包装的试验研究[J]. 包装工程, 2009, 30(8): 22-24.
- [6] 韩春阳, 王建清. 菠菜常温气调包装研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 49-52.
- [7] 侯建设, 李中华, 莫文贵, 等. 菠菜的薄膜包装冷藏效果研究[J]. 食品科技, 2003(5): 94-96.
- [8] 潘燕, 陈义伦, 张培正, 等. ClO_2 杀菌剂在菠菜保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(12): 123-125.
- [9] 孙树杰, 韩晓洁, 李文香, 等. 甘草、高良姜及其复合提取液对菠菜保鲜效果的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(5): 537-542.
- [10] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 新鲜菠菜的纳米活性气调包装研究[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 167-170.
- [11] JACXSENS L, DEVLIEGHERE F, DEBEVERE J. Predictive modelling for packaging design: Equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain[J]. International Journal of Food Microbiology, 2002, 73(2/3): 331.
- [12] 郭玉花, 滕立军, 张志玲, 等. PE 保鲜膜的研制及其对菠菜保鲜的研究[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 22-24.
- [13] 郭玉花, 滕立军, 黄震, 等. PE/ CaCO_3 功能性保鲜膜研制及其在菠菜保鲜中的应用[J]. 食品科技, 2007(8): 245-247.
- [14] LABET M, THIELEMANS W. Synthesis of polycaprolactone: A review[J]. Chemical Society Reviews, 2009, 38(12): 3 484.
- [15] TOKIWA Y, CALABIA B P, UGWU C U, et al. Biodegradability of plastics[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2009, 10(9): 3 722-3 742.
- [16] LI Li, RUAN Wen-hong, ZHANG Ming-qiu, et al. Studies on the selective localization of multi-walled carbon nanotubes in blends of poly(vinylidene fluoride) and polycaprolactone[J]. Express Polymer Letters, 2015, 9(1): 77-83.
- [17] SHAO Zhen-xing, ZHANG Xin, PI Yan-bin, et al. Surface modification on polycaprolactone electrospun mesh and human decalcified bone scaffold with synovium-derived mesenchymal stem cells-affinity peptide for tissue engineering[J]. Journal of Biomedical Materials Research Part A, 2015, 103(1): 318-329.
- [18] YUN Xue-yan, WANG Yu, LI Meng-ting, et al. Application of permselective poly(ϵ -caprolactone) film for equilibrium-modified atmosphere packaging of strawberry in cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41: 13 247-13 258.
- [19] INSKEEP W P, BLOOM P R. Influence of the degree of solvent impurity on the spectrophotometric determination of chlorophylls in 80% aqueous acetone and dimethyl formamide: Application to non-abrasive extraction of leaves of citrus aurantium[J]. Photosynthetica, 1998, 35(4): 545-550.
- [20] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 154-155.
- [21] KOIDE S, SHI J. Microbial and quality evaluation of green peppers stored in biodegradable film packaging[J]. Food Control, 2007, 18(7): 1 121-1 125.
- [22] 范新光, 肖璐, 张振富, 等. 减压冷藏和气调冷藏对鲜切西兰花保鲜效果的比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 277-281.
- [23] 李娟, 陶乐仁, 董小亮, 等. 菠菜贮藏过程中水分蒸发损失[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 285-288.
- [24] GARRIDO Y, TUDELA J A, HERNÁNDEZ J A, et al. Modified atmosphere generated during storage under light conditions is the main factor responsible for the quality changes of baby spinach[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 114: 45-53.
- [25] EVA A, HAYATI S, RAFAEL A, et al. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package[J]. Food Chemistry, 2008, 110(1): 120-127.
- [26] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 691-696.
- [27] 贾夏, 李栋, 魏阿宝. 温度和水分对存储菠菜叶绿素 a, b 含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(13): 106-109.
- [28] 黄新红, 李喜宏, 冯建华, 等. 油菜不同保鲜膜保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 315-318.

(上接第 57 页)

- [10] ADLOF R O, COPES L C, EMKEN E A. Analysis of monoenoic fatty acid distribution in Hydrogenated vegetable oils by silver-ion high performance liquid chromatography[J]. J. Am. Oil Chem. Soc., 1995, 72(5): 571-574.
- [11] 李蕊, 徐小民, 李亚利, 等. 银离子固相萃取-气相色谱法检测乳脂肪中的反式脂肪酸[J]. 色谱, 2010, 28(12): 1 168-1 172.
- [12] RATNAYAKE W M. Overview of methods for the determination of trans fatty acids by GC, Silver-ion TLC, silver-ion LC, and GC/MS[J]. J AAC Int, 2004, 87: 523-529.
- [13] 袁慧君, 傅红, 饶平凡, 等. 反脂肪酸红光谱和气相色谱分析[J]. 粮食与油脂, 2007(2): 40-42.
- [14] 张琳, 杨圣崇, 吴海成, 等. 反式脂肪酸的危害及其检测方法的研究现状[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(20): 10 612-10 614.
- [15] 祝伟霞, 杨冀州, 王彩娟, 等. 毛细管气相色谱法测定食用油中 15 种反式脂肪酸的含量[J]. 理化检验: 化学分册, 2015, 51(3): 375-380.
- [16] OLIVERIRA M A, SOLIS V E, GIOLELLI L A, et al. Method development for the analysis of trans-fatty acids in hydrogenated oils by capillary electrophoresis[J]. Electrophoresis, 2003, 24: 1 641-1 647.
- [17] 林麒, 李国波, 葛品, 等. 气相色谱-质谱联用法检测母乳脂肪中反式脂肪酸[J]. 色谱, 2016, 34(5): 520-527.
- [18] 郑爱榕, 郑雪红, 李文权, 等. 螺旋藻脂肪酸随培养时间、温度和营养盐变化的研究[J]. 海洋学报, 2003, 25(2): 106-115.
- [19] 宋立华, 李云飞, 汤楠. 食品中反式脂肪酸的分析方法研究进展[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2007, 25(1): 81-84.
- [20] 林旭彬. 谈一谈“婴幼儿谷类辅助食品”风险监测项目“反式脂肪酸/总脂肪酸比值”的参考值[J]. 科技视界, 2015(36): 326.
- [21] 王邱. 国内外对膳食反式脂肪酸的研究概况[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(9): 217-221.