

脂肪酶对油脂体外降解及消化的研究

张珍珍, 郑达文, 宁冬, 刘文秀, 黄小桃, 陈冰菲

(东莞泛亚太生物科技有限公司, 广东 东莞 523808)

摘要:以大豆油、菜籽油、棕榈油、鸭油和猪油的乳化油脂为原料,测定添加脂肪酶后油脂的水解效果,并进行体外模拟猪胃肠道消化试验,观察乳仔猪料添加脂肪酶后消化率的变化。结果表明:乳化油脂中添加脂肪酶反应4 h即可达到降解峰值,当脂肪酶酶活剂量达到200 U/mL(以原始油脂体积计)时,不同油脂产生的脂肪酸量均可达到饱和;在添加不同剂量脂肪酶阶段,棕榈油和猪油乳化油脂产生的脂肪酸量始终大于大豆油和鸭油乳化油脂的,菜籽油乳化油脂的最低,组间差异显著($P < 0.05$);与空白不加酶组相比,所有乳化油脂加酶(酶活剂量为260 U/mL)后产生的脂肪酸总增加量均超过1.50 mmol/L,总增加率均超过300%,其中以菜籽油的提升最高,达到了810.5%。模拟乳仔猪消化过程也发现,当脂肪酶(酶活80 000 U/g)添加量为125 g/t(以饲料质量计)时,饲料干物质消化率和能量消化率可提高0.86个百分点和0.83个百分点,鉴于饲料中其他组成原料也含有一定的脂肪,故脂肪酶添加量略高于125 g/t或与其他酶进行搭配使用效果可能更佳。

关键词:油脂;脂肪酶;脂肪酸;体外降解;消化

中图分类号:Q814.9;TS225

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2020)03-0140-05

Effect of lipase on degradation and digestibility of oil and fat in vitro

ZHANG Zhenzhen, ZHENG Dawen, NING Dong, LIU Wenxiu,

HUANG Xiaotao, CHEN Bingfei

(Asiapac Bio-technology Company Limited, Dongguan 523808, Guangdong, China)

Abstract: Using emulsified soyabean oil, rapeseed oil, palm oil, duck fat and lard as raw materials, the hydrolysis effect on the oil and fat added with lipase was determined, the in vitro simulated pig gastrointestinal digestion test was conducted to survey changes of digestibility of piglets added with lipase. The results showed that the emulsified oil and fat reached their degradation peak when reacted for 4 h. The fatty acid produced by different oils and fats reached saturated when added with 200 U/mL lipase (on the basis of oil volume), and fatty acid contents produced by palm oil and lard were higher ($P < 0.05$) than those of soybean oil and duck fat, while rapeseed oil was the lowest. The total amount of increased fatty acid in different emulsified oil and fat groups added with lipase were more than 1.50 mmol/L, as well as total growth rate all exceeded 300%. Even rapeseed oil increased by 810.5%, which was the highest. Moreover, the dry matter digestibility and energy digestibility of piglet added with a 125 g/t lipase (enzyme activity 80 000 U/g) were respectively improved by 0.86 percentage points and 0.83 percentage points during the simulated gastrointestinal digestion of pig. But in consideration of lipid contained in other ingredients, the dosage of lipase slightly above 125 g/t or together with other enzyme were preferred.

Key words: oil and fat; lipase; fatty acid; in vitro degradation; digestion

油脂是人和动物生存和生活所必需的重要成

分。油脂不仅是一种食物资源,也是医药、化工、农业等行业的一种基本原料^[1]。油脂的降解大部分会依托于生物体自身的脂肪代谢过程,对人和单胃动物而言,油脂的消化主要集中在十二指肠下部和空肠上部,经过肠道胆汁的乳化作用使得其表面积

收稿日期:2019-05-21;修回日期:2019-09-18

作者简介:张珍珍(1985),女,工程师,硕士,研究方向为酶制剂应用与开发(E-mail)doica@163.com。

增加,然后在胰脂肪酶的作用下将游离脂肪酸从三酰甘油分子中水解^[2-5]。

除了人体和动物体自身分泌的内源脂肪酶外,外源脂肪酶也在食品烘焙、奶酪制备、动物饲料方面^[6-8]作为添加剂被广泛使用,以提高产品品质。近年研究发现,脂肪酶在人造奶和废油脂降解等方面也同样具有很好的开发前景。Qin等^[9]利用脂肪酶催化酸解猪板油与油茶籽油脂脂肪酸的反应从而制备富含OPO的婴幼儿人乳替代品;赵璞^[10]通过对9种植物油添加脂肪酶进行酯交换反应模拟母乳化脂肪脂质的制备;彭元怀等^[11]尝试通过添加脂肪酶优化水解地沟油工艺,提高其利用附加值等。

目前脂肪酶降解油脂的研究大多集中在对原始动物油脂和少部分植物油脂上,而脂肪酶的主要作用阶段是在小肠阶段,此时油脂经过口腔、胃和小肠前端的蠕动早已进入到乳化状态^[12-13],其更有利于脂肪酶的后续作用。本文对猪油、鸭油、菜籽油、大豆油等油脂进行初步乳化,再测定添加脂肪酶后生成的脂肪酸含量。由于动物的饮食相对固定并更有规律,且猪的消化道结构及消化生理与人的非常接近^[14],本文采用与人消化道结构接近的猪模型,模拟猪的胃肠道消化过程,研究经过胃液处理阶段的脂肪酶是否仍有降解油脂的功效。这对于进一步了解脂肪酶在不同动植物油脂中的作用效果及在食品和饲料中的合适添加剂量都具有一定的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

菜籽油、大豆油,购于农产品市场;猪油、鸭油、棕榈油,由东莞兴业饲料有限公司提供;脂肪酶,来源于东莞泛亚太生物科技有限公司,初始酶活为80 000 U/g。

聚乙烯醇(PVA),酚酞,胃蛋白酶(Sigma-7000), α -淀粉酶(Sigma A3306),胰蛋白酶(Amresco 0785),糜蛋白酶(Amresco 0164),氯霉素,磺基水杨酸。

分光光度计,高速匀浆机,电磁搅拌器,恒温振荡培养箱,抽滤装置,Whatman无氮滤纸,IKA200量热仪。

1.2 试验方法

1.2.1 乳化油脂的制备

乳化方法参考GB/T 23535—2009。称取聚乙烯醇(PVA)40 g,加水800 mL,在沸水浴中加热、搅拌直至全部溶解,冷却后定容至1 000 mL,用干净的双层纱布过滤,取滤液150 mL,加入50 mL待测油脂样品,用高速匀浆机处理6 min,得到乳白色PVA

乳化油脂,现用现配。

1.2.2 乳化油脂酶解时间的确定

分别取4 mL大豆油、菜籽油、棕榈油、鸭油和猪油的乳化油脂,加入5 mL pH 7.5磷酸缓冲液,40℃、180 r/min恒温振荡箱预热5 min,加入10 U脂肪酶,充分摇匀,分别反应0、0.5、1、2、3、4、5、6 h,加入95%乙醇15 mL,终止反应。反应液中加入10 g/L酚酞指示剂2滴,用氢氧化钠标准溶液滴定,直至微红色并保持30 s不褪色为滴定终点,记录消耗氢氧化钠标准溶液的体积,计算脂肪酸含量,根据脂肪酸含量确定酶解时间。

1.2.3 乳化油脂酶解酶活剂量的确定

分别取4 mL大豆油、菜籽油、棕榈油、鸭油和猪油的乳化油脂,加入5 mL pH 7.5磷酸缓冲液,40℃、180 r/min恒温振荡箱预热5 min,分别加入0、5、10、20、40、80、170、200、230、260 U脂肪酶,充分摇匀,按照1.2.2确定的酶解时间及方法进行试验,最终确定最佳酶活剂量。

1.2.4 体外模拟胃肠道消化

1.2.4.1 试验日粮及组成

试验日粮以乳仔猪玉米、豆粕日粮为主要原料,参照NRC^[15]推荐的营养需求标准。日粮配方见表1。

表1 试验日粮组成和营养水平 %

成分	含量	成分	含量
玉米	63.0	复合氨基酸粉	2.0
豆粕46	21.0	石粉	1.0
进口DDGS	1.5	磷酸氢钙	1.0
大豆油	5.0	预混料	1.9
麸皮	3.8		

注:东莞兴业饲料有限公司提供,且猪料中常用油脂为大豆油;配方中大豆油用量为5 mL/100 g。

1.2.4.2 消化样品的制备

将饲料样品粉碎,过60目筛,置于干燥器内保存待测。

1.2.4.3 干物质含量测定

饲料样品水分测定参见GB/T 6435—2014《饲料中水分的测定》。干物质含量=1-水分含量。

1.2.4.4 胃肠道消化

小肠缓冲液、模拟猪胃液和模拟猪小肠液均按照赵峰等^[16]的方法配制,因是高油脂原料,故体外消化过程参考何科林等^[17]方法,并略作改动。

模拟猪胃液:称取184.375 kU胃蛋白酶于250 mL pH 2.0的盐酸溶液中(39℃下标定pH),缓慢搅拌直至溶解,临用前配制。

小肠缓冲液:称取 8.32 g 无水磷酸氢二钠, 40.96 g 无水磷酸二氢钠, 11.55 g 氯化钠和 2.45 g 氯化钾, 氯霉素 5 g, 放入 2 000 mL 烧杯中, 加入 1 800 mL 去离子水溶解, 并用无水氢氧化钠在 39 °C 下调节溶液的 pH 至 6.44, 再用去离子水定容至 2 000 mL。

模拟猪小肠液:分别称取 60.89 kU α -淀粉酶, 19.00 kU 胰蛋白酶, 2.39 kU 糜蛋白酶, 溶解于 25 mL 去离子水中, 并缓慢搅拌至溶解, 临用前配制。

准确称取 1 g 过 60 目筛的饲料样品, 根据 1.2.3 酶活剂量的结果加入稀释后指定酶活的脂肪酶, 加入 15 mL 的模拟猪胃液和 0.5 mL 0.5% 氯霉素溶液, 小心混合均匀后, 具塞封口, 于 39 °C、120 r/min 消化 1 h。

胃消化阶段结束后, 向食糜中加入 14 mL 小肠缓冲液, 并用 1 mol/L HCl 或 1 mol/L NaOH 调整食糜 pH 至 6.44, 加入 2 mL 模拟小肠液, 39 °C、120 r/min 消化 4 h。

待消化完毕, 向消化残渣中加入 5 mL 20% 磺基

水杨酸, 室温放置 30 min, 将消化液真空抽滤, 并用 1% 磺基水杨酸对消化瓶进行完全冲洗, 随后将残渣连同已知质量的 Whatman 无氮滤纸取出, 参考 1.2.4.3 方法测定残渣干物质含量, 按下式计算样品的干物质消化率, 随后用量热仪测定干燥残渣能值, 按下式计算能量消化率。

$$\text{干物质消化率} = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100\%$$

$$\text{能量消化率} = (E_1 - E_2) / E_1 \times 100\%$$

式中: M_1 为饲料样品干物质质量, g; M_2 为残渣干物质质量, g; E_1 为饲料样品总燃烧热值, J; E_2 为残渣总燃烧热值, J。

1.2.5 数据分析

试验数据先用 Microsoft Excel 进行初步整理后, 再用 SPSS 20.0 软件进行统计分析。 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 酶解时间对乳化油脂酶解的影响

不同乳化油脂添加 10 U 脂肪酶后在不同酶解时间下生成的脂肪酸含量变化如表 2 所示。

表 2 添加 10 U 脂肪酶时不同酶解时间乳化油脂生成的脂肪酸含量变化 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

酶解时间/h	脂肪酸含量/(mmol/L)				
	大豆油	菜籽油	棕榈油	猪油	鸭油
0	0.28 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.04 ^c	0.50 ± 0.03 ^a	0.50 ± 0.01 ^a	0.25 ± 0.03 ^b
0.5	0.50 ± 0.02 ^b	0.31 ± 0.06 ^c	0.69 ± 0.06 ^a	0.71 ± 0.06 ^a	0.45 ± 0.01 ^b
1	0.63 ± 0.07 ^b	0.47 ± 0.02 ^c	0.82 ± 0.03 ^a	0.81 ± 0.02 ^a	0.67 ± 0.03 ^b
2	0.76 ± 0.07 ^b	0.63 ± 0.08 ^b	1.10 ± 0.11 ^a	0.97 ± 0.13 ^a	0.72 ± 0.06 ^b
3	0.91 ± 0.13 ^b	0.69 ± 0.14 ^c	1.21 ± 0.13 ^a	1.15 ± 0.12 ^a	0.83 ± 0.05 ^b
4	1.04 ± 0.15 ^b	0.71 ± 0.09 ^c	1.34 ± 0.07 ^a	1.29 ± 0.08 ^a	0.91 ± 0.05 ^b
5	1.07 ± 0.01 ^b	0.69 ± 0.09 ^d	1.31 ± 0.11 ^a	1.28 ± 0.15 ^a	0.90 ± 0.01 ^c
6	1.06 ± 0.05 ^b	0.70 ± 0.04 ^d	1.33 ± 0.17 ^a	1.30 ± 0.08 ^a	0.89 ± 0.03 ^c

注:同行数据不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$); 脂肪酸含量以油酸表示。下表同。

由表 2 可知, 酶解 4 h 时, 不同乳化油脂生成的脂肪酸含量已经趋于稳定, 故将脂肪酶酶解时间定为 4 h。从表 2 中也可看出: 棕榈油、猪油的乳化油脂中的初始脂肪酸含量较高, 加酶后产生的脂肪酸的增长幅度也显著大于大豆油、鸭油和菜籽油的乳化油脂 ($P < 0.05$), 这可能与大豆油、菜籽油和鸭油脂肪酸组成中中短链脂肪酸含量要远低于长链脂肪酸有关^[18-19], 且此类油脂中含量较高的不饱和脂肪酸大都分布于 Sn-2 位^[20], 不利于脂肪酶的消化分解, 所以产生的脂肪酸量相对较低; 而棕榈油和猪油中 16 碳原子的饱和棕榈酸含量较高, 分别达到了 43% 和 23%, 且多分布于 Sn-1, 3 位^[21], 说明当该脂肪酶不足时, 可能更倾向于优先结合 Sn-1, 3 位酯键发生水解反应。

2.2 酶活剂量对乳化油脂酶解的影响

添加不同酶活剂量的脂肪酶到乳化油脂中反应 4 h 后生成的脂肪酸含量变化如表 3 所示。

由表 3 可知, 随着脂肪酶酶活剂量的增加, 各乳化油脂的脂肪酸生成量也越大, 脂肪酶酶活剂量达到 200 U 时, 各乳化油脂生成的脂肪酸含量均已趋于饱和, 故将 200 U 定为随后模拟动物试验的最终酶活剂量。由表 3 也可看出: 在添加 0~260 U 脂肪酶时, 棕榈油、猪油乳化油脂产生的脂肪酸量始终大于大豆油、鸭油和菜籽油乳化油脂 ($P < 0.05$), 也更早达到其峰值 (170 U); 纵向分析加酶后产生的脂肪酸总增加量, 大豆油、菜籽油、棕榈油、猪油、鸭油乳化油脂的脂肪酸总增加量分别为 1.64、1.54、1.66、1.67、1.67 mmol/L, 脂肪酸总增加率分别为

546.7%、810.5%、325.5%、347.9%、596.4%，各組間脂肪酸總增加量差異并不大，以菜籽油的為略低，菜籽油脂肪酸組成中大于18碳原子的脂肪酸達到80%以上^[22]，這其實也與Pouton等^[23]研究的中鏈

脂肪酸比長鏈脂肪酸水溶性更好的結論一致；另外，由于菜籽油乳化油脂膏的初始脂肪酸量基準較低(0.19 mmol/L)，其脂肪酸總增加率反而達到了810.5%，遠高于其他乳化油脂的。

表3 添加不同酶活劑量脂肪酶時乳化油脂生成的脂肪酸含量變化($\bar{x} \pm s, n=3$)

酶活劑量/U	脂肪酸含量/(mmol/L)				
	大豆油	菜籽油	棕櫚油	豬油	鴨油
0	0.30 ± 0.02 ^b	0.19 ± 0.03 ^c	0.51 ± 0.06 ^a	0.48 ± 0.01 ^a	0.28 ± 0.01 ^b
5	0.68 ± 0.02 ^b	0.39 ± 0.08 ^c	0.89 ± 0.13 ^a	1.02 ± 0.05 ^a	0.67 ± 0.09 ^b
10	0.98 ± 0.13 ^b	0.67 ± 0.01 ^c	1.31 ± 0.08 ^a	1.41 ± 0.03 ^a	0.86 ± 0.22 ^{bc}
20	1.22 ± 0.04 ^{bc}	1.03 ± 0.13 ^c	1.96 ± 0.15 ^a	1.77 ± 0.17 ^a	1.37 ± 0.07 ^b
40	1.44 ± 0.02 ^b	1.37 ± 0.16 ^b	1.98 ± 0.09 ^a	1.90 ± 0.11 ^a	1.53 ± 0.01 ^b
80	1.59 ± 0.15 ^{bc}	1.50 ± 0.08 ^c	2.05 ± 0.12 ^a	1.99 ± 0.15 ^a	1.76 ± 0.09 ^b
170	1.85 ± 0.01 ^b	1.67 ± 0.12 ^b	2.15 ± 0.16 ^a	2.14 ± 0.20 ^a	1.86 ± 0.14 ^b
200	1.91 ± 0.06 ^b	1.73 ± 0.16 ^b	2.17 ± 0.12 ^a	2.16 ± 0.07 ^a	1.93 ± 0.18 ^b
230	1.93 ± 0.11 ^b	1.74 ± 0.05 ^c	2.17 ± 0.10 ^a	2.13 ± 0.08 ^a	1.94 ± 0.14 ^b
260	1.94 ± 0.04 ^b	1.73 ± 0.12 ^c	2.17 ± 0.09 ^a	2.15 ± 0.06 ^a	1.95 ± 0.10 ^b

2.3 脂肪酶對單胃動物消化吸收的影響(見表4)

表4 脂肪酶對乳仔豬干物質消化率、能量消化率的影響

脂肪酶添加量/(g/t)	干物質消化率/%	能量消化率/%
0	66.20 ± 0.12	58.53 ± 0.27
125	67.06 ± 0.31	59.36 ± 0.18
250	67.14 ± 0.07	59.46 ± 0.13
400	67.17 ± 0.07	59.45 ± 0.13

由表4可知：當脂肪酶添加量為125 g/t(以飼料質量計，下同)時，脂肪酶對大豆油的添加量等同於1 mL大豆油添加200 U脂肪酶，此時干物質消化率和能量消化率相比不加酶組分別增長0.86個百分點和0.83個百分點，這在僅添加單酶的基礎上，對動物的營養消化吸收效果可謂非常明顯，也從側面說明該脂肪酶具有一定的抗胃液特性；當脂肪酶添加量為250 g/t時，消化率相比125 g/t組的略有提升，但并不明顯，添加量繼續增加則消化率基本不再變化。由于飼料配方原料結構的多样性，飼料中其他成分也會含有少量脂肪，故脂肪酶添加量略高于125 g/t或與其他酶，如澱粉酶、脂肪酶、纖維素酶和半纖維素酶結合使用，則對飼料降解的協同效應可能會更好^[24]。

3 結論

由于油脂必須先乳化成乳糜顆粒，然後才能在腸道中進一步降解吸收，而脂肪酶又主要是在小腸階段與內源胰脂肪酶一起發揮作用的。故本文放棄採用原始油脂，而對油脂進行初步乳化後來測定脂肪酶對其降解效果。研究發現：①添加200 U脂肪酶到4 mL乳化油脂(即1 mL原始油脂)中反應4 h

後，產生的脂肪酸量即可基本達到峰值；②添加不同劑量脂肪酶時，棕櫚油和豬油乳化油脂生成的脂肪酸量始終大于大豆油和鴨油乳化油脂的，而菜籽油脂肪酸量最低，組間差異顯著($P < 0.05$)，相比不加酶組，加入260 U脂肪酶後，大豆油、菜籽油、棕櫚油、豬油和鴨油乳化油脂的脂肪酸總增加量均大于1.50 mmol/L，但各油脂組間差異不大，脂肪酸總增加率均提高300%以上(脂肪酶加入260 U時)，其中菜籽油提升率可達到810.5%，加酶後效果顯著；③乳豬料中添加脂肪酶(脂肪酶酶活80 000 U/g)可提高干物質消化率和能量消化率，添加量以略高于125 g/t為佳。

本文僅採用1種微生物來源的脂肪酶進行試驗，而不同脂肪酶的酶活、溫度特性、酸度特性、底物特性及抗胃蛋白酶特性等各有差別，故本文油脂中脂肪酶添加量僅可作為參考，不同來源脂肪酶劑量可能會有所浮動。另外，不同脂肪酶水解位點也會有不同，如母乳中胰脂酶和大部分商業脂肪酶會優先水解作用於甘油三酯的Sn-1位或Sn-3位酯鍵，而豬胰脂肪酶水解甘油三酯時卻沒有選擇性，故脂肪酶的作用機理也是下一步探索的方向。

參考文獻：

- [1] DHINRA S, JOOD S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat breads supplemented with soybean and barley - flour [J]. Food Chem, 2002, 77(4): 479-488.
- [2] 徐俊杰. 甘油三酯的体外模拟消化水解研究[D]. 江蘇無錫：江南大學，2014.
- [3] BERTON A, ROUVELLAC S, ROBERT B, et al. Effect of the size and interface composition of milk fat globules on

- their in vitro digestion by the human pancreatic lipase: native versus homogenized milk fat globules [J]. *Food Hydrocolloid*, 2012, 29(1): 123 - 134.
- [4] 袁婷兰. 非 OPO 和 OPO 型油脂对其乳液和婴儿奶粉消化的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- [5] PAFUMI Y, LAIRON D, DELAPORTE P L, et al. Mechanisms of inhibition of triacylglycerol hydrolysis by human gastric lipase[J]. *J Biol Chem*, 2002, 277(31): 28070 - 28079.
- [6] 马跃龙, 杨健, 董振浩. 焙烤食品用脂肪酶的选择[J]. *食品工业*, 2018, 39(6): 34 - 35.
- [7] KAUR A, MINHAS K S, OOOYANDEH H. Lipase in dairy industry: a review[J]. *J Food Sci Technol*, 2009, 46(3): 181 - 189.
- [8] 马卿山. 饲料添加脂肪酶对肉鸡生产性能及消化生理的影响研究[D]. 四川 雅安: 四川农业大学, 2013.
- [9] QIN X L, YANG B, HUANG H H, et al. Lipase - catalyzed incorporation of different fatty acids into tripalmitin - enriched triacylglycerols: effect of reaction parameter[J]. *J Agric Food Chem*, 2012, 60: 2377 - 2384.
- [10] 赵璞. 母乳化脂肪结构模拟脂质制备及其评价方法研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [11] 彭元怀, 卢美莹, 李海雁. 脂肪酶水解地沟油制备脂肪酸的研究[J]. *粮食与油脂*, 2017, 30(7): 69 - 72.
- [12] FAVE G, COSTE T, ARMAND M. Physicochemical properties of lipids: new strategies to manage fatty acid bioavailability[J]. *Cell Mol Biol*, 2004, 50(7): 815 - 831.
- [13] SARKAR A, YE A, SINGH H. On the role of bile salts in the digestion of emulsified lipids[J]. *Food Hydrocolloid*, 2016, 60: 77 - 84.
- [14] CHE C, PANG X, HUA X, et al. Effects of human fecal flora on intestinal morphology and mucosal immunity in human flora - associated piglet [J]. *Scand J Immunol*, 2009, 69(3): 223 - 233.
- [15] National Research Council. Nutrient requirements of swine [M]. 11th ed. Washing D C: National Academies Press, 2012.
- [16] 赵峰, 张宏福, 张子仪. 单胃动物仿生消化系统操作手册[M]. 2 版. 北京: 中国农业科学院, 2011: 48 - 49.
- [17] 何科林. 非淀粉多糖酶谱优化及对肉鸡排泄物含氮物含量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- [18] 苏继影. 提高早期断奶仔猪脂肪利用效果的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006.
- [19] PEREIRA A S, STADELMAN W J. Total fatty acid composition of duck fatty tissues[J]. *Poultry Sci*, 1976, 55(4): 1464 - 1466.
- [20] INNIS S M. Dietary triacylglycerol structure and its role in infant nutrition[J]. *Adv Nutr*, 2011, 2(3): 275 - 283.
- [21] 袁婷兰, 伍文彬, 朱雪梅, 等. 脂肪酸位置分布对婴幼儿奶粉油脂乳液体外模拟消化的影响[J]. *中国食品学报*, 2019(4): 98 - 105.
- [22] 杨昌彪, 张运依, 李占彬, 等. 菜籽油中主要脂肪酸成分的检测分析[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(11): 392 - 395.
- [23] POUTON C W, PORTER C J H. Formulation of lipid - based delivery systems for oral administration: materials, methods and strategies [J]. *Adv Drug Delivery Rev*, 2008, 60(6): 625 - 637.
- [24] 刘桂武, 周俊华, 刘谨, 等. 微生物脂肪酶在动物饲料中的应用研究[J]. *养猪*, 2011(5): 11 - 12.

(上接第 118 页)

二维码技术可对产品整个过程进行追踪管控, 目前在粮油企业应用的实例还屈指可数。随着国家“中国好粮油”战略的推广, 可实现全程可追溯的二维码技术势必会得到更加广泛的应用和推广。

参考文献:

- [1] 张波, 郑楠楠. O2O 实战二维码全渠道营销[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] 张成海, 郭卫华. QRCode 二维码: 一种新型的矩阵符号[M]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 50 - 52.
- [3] 中国物品编码中心, 中国自动识别技术协会. 条码阅读设备技术规范与应用指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 51 - 53.
- [4] 刘柯言. 中国电信手机二维码业务市场拓展研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2009.
- [5] 乔彬, 石晓斐. 物联网技术在食用油安全追溯中的应用[J]. *电子技术与软件工程*, 2015(21): 16 - 17.
- [6] 周仙. 中储粮东莞公司包装油仓库二维码管理系统的研究与分析[D]. 昆明: 云南大学, 2015.
- [7] 王卫, 梁志峰, 陈谦. 小小二维码彰显食品安全追溯大文章 北京市朝阳区植物食用油生产企业产品实现可追溯[J]. *首都食品与医药*, 2017, 24(1): 19.
- [8] 协会通讯. 四川省南充市全面部署放心粮油工程[J]. *中国粮食经济*, 2015(10): 5.
- [9] 傅志华. 大数据运营三大误区[J]. *中欧商业评论*, 2017(3): 18.
- [10] 声烦. 微信月活跃用户数破 11 亿大关[EB/OL]. (2019 - 05 - 17) [2019 - 07 - 05]. <http://hk.east-money.com/a/201905171126237273.html>.