

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.09.006

脂肪酶替代双乙酰酒石酸单双甘油酯对压面面团流变学和面包烘焙特性的影响

A comparative study of lipase and diacetyl tartaric esters of mono-glycerides (DATEM) on rheological properties of dough by pressing process and baking properties of bread

王家宝 黄美凤 杨笛 苏子良

WANG Jia-bao HUANG Mei-feng YANG Di SU Zi-liang

余寒 何虹燕 何松

YU Han HE Hong-yan HE Song

(广东广益科技实业有限公司, 广东 东莞 523075)

(Guangdong Guangyi Science & Technology Industry Co., Ltd., Dongguan, Guangdong 523075, China)

摘要:将脂肪酶引入到面团体系中,与乳化剂双乙酰酒石酸单双甘油酯(DATEM)作对比,通过面包的比容和质构等评价指标,研究脂肪酶和乳化剂 DATEM 对面包烘焙品质的影响并进行比较分析。结果表明,相比于 DATEM,添加脂肪酶可降低硬度和咀嚼性,提高抗老化特性,使面包芯组织柔软,并且感官评定得分提高。

关键词:面包;面团;脂肪酶;乳化剂;双乙酰酒石酸单双甘油酯

Abstract: Lipase was added to dough system and compared with emulsifier DATEM in this study. The effects of lipase and emulsifier DATEM on the quality of bread were studied by the specific volume and texture of bread. The results showed that lipase could reduce hardness and chewiness of the bread, improve its anti-staling property, soften the bread crumb and increase its sensory evaluation score compared with DATEM.

Keywords: bread; dough; lipase; emulsifier; diacetyl tartaric esters of mono-glycerides

烘焙食品是世界上的主流食品,面包是消费率最高的烘焙产品之一^[1]。中国北方面粉蛋白质含量低造成面团搅打难成膜以及面包品质较差,因此在面包生产中常添加面团增强剂。双乙酰酒石酸单双甘油酯(DATEM)是常用的面团增强剂,可强化面团中面筋蛋白^[2],提高面

包质量^[3];改善混合耐受性、气体保留性和面团抗塌陷性;增加面包体积,并生产具有弹性质构、结构更加细腻的面包^[4]。但 DATEM 也存在容易结块且其具有不良气味的缺点。

酶制剂是具有清洁标签的生物制剂,与最终面包中残留的乳化剂和化学试剂相比,其在烘烤过程中变性灭活。小麦粉中含有 2%~3% 的脂类物质,虽然含量较低,但是影响烘焙加工过程的重要因素^[5]。脂肪酶水解面粉脂质和烘焙油脂中的甘油三酯产生的甘油二酯和甘油一酯具有乳化作用^[6]。张峦^{[7]16-23}应用基因工程获得的新型重组华根霉脂肪酶制作面包,发现能增加面团稳定时间和增强面团热稳定性,改善面包的烘焙品质。李珍妮^[8]联用脂肪酶和转谷氨酰胺酶能够改善冷冻面团的超微结构,增强面团乳化活性和稳定性。Gerits 等^[9]研究发现,脂肪酶还可以保持新鲜度、延缓老化,延长货架期。

近年市场上兴起用压面工艺将筋力较弱的面粉制成面包,但存在醒发和烘烤膨胀性不足问题。同时,烘焙工业期望应用酶制剂替代传统使用的增筋改良剂如 DATEM。虽然,关于 DATEM 应用于面包制作的研究常见诸报道,但是其报道的添加量往往高于面包烘焙工业生产实际需求,如张峦^{[7]33}在甜面团中 DATEM 添加量为 0.5%,添加量过高会造成成本压力。烘焙工业配方中面团乳化剂添加量一般低于 0.5% 甚至 0.1%。在工业合理添加量前提下,引入脂肪酶与 DATEM,尤其结合工业化压面工艺生产面包的对比研究具有实际应用价值。烘焙工业亦需要脂肪酶对 DATEM 的替代可行性研究信息。

作者简介:王家宝,男,广东广益科技实业有限公司初级工程师。
通信作者:何松(1978—),男,广东广益科技实业有限公司高级工程师,硕士。E-mail:hesong@guangyi.net
收稿日期:2020-03-23

试验拟以脂肪酶和 DATEM 作为对比改良剂添加到压面面团中,分析其面团流变学和面包烘焙特性,为深度开发安全健康的现代烘焙食品加工工业化提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;设备

1.1.1 试验原料

高筋小麦粉:中粮面业有限公司;
白砂糖:广西农垦糖业集团股份有限公司;
食盐:市售;
即发干性干酵母:乐斯福管理(上海)有限公司;
金味奶酥油:益海嘉里粮油公司;
复配防腐剂:广益科技实业有限公司;
脂肪酶:酶活 8 000 U/g,绿微康生物科技有限公司;
DATEM:巴斯夫(中国)有限公司。

1.1.2 主要设备

搅拌机:SM2-25 型,新麦机械(无锡)有限公司;
醒发箱:SPC-40FP 型,新麦机械(无锡)有限公司;
烤炉:SM2-523 型,新麦机械(无锡)有限公司;
切片机:SM-302N 型,广州新麦机械设备有限公司;
全自动连续压面机:YJ 型,阳政精机(无锡)有限公司;
包装机:LF1080B 型,浙江鼎业机械设备有限公司;
扫描仪:MX-M350U 型,夏普商贸(中国)有限公司;
粉质仪:Farinograph E 型,德国 Brabender 公司;
质构仪:EZ-SX100N 型,日本岛津公司。

1.2 试验方法

1.2.1 制作配方 面包配方如表 1 所示。其中每组的基准配料相同,分别是小麦粉 1 000 g,水 520 g,干酵母 15 g,白砂糖 180 g,盐 10 g,黄油 100 g。

1.2.2 制作工艺 将原料(除黄油和盐)投入搅拌缸,慢速混合 3 min,再快速 3 min,形成少量面筋。接着抹上黄油,放入盐,慢速混合 3 min,再快速搅拌 1 min 至面筋完全扩展。再使用压面整形机进行压面,将面团松弛 5 min 后分割成 50 g/个,揉圆。继续松弛 20 min,排气成型。放入醒发箱中发酵 2 h,烘焙(上火温度 190 ℃,下火温度 170 ℃)13 min,脱模冷却 2 h 后进行充氮气包装处理。

表 1 DATEM 和脂肪酶添加方案

Table 1 Additive contents of DATEM and lipase

组别	g	
	DATEM	脂肪酶
CK	—	—
L5	—	0.005
L10	—	0.010
DA	0.5	—

1.2.3 面粉粉质特性测定 参照童大鹏^[10]的方法,将不同添加量的脂肪酶或 DATEM 添加到面粉中并均匀混合。准确称取一定量的上述混合粉到布拉班德粉质仪面钵中,混揉 2 min 后加入适量的水使面团的最高稠度接近于 500 FE。

1.2.4 发酵流变特性分析 参照李先玉^[11]的方法,将 50 g 形状一致的球形光滑面团置于装满水的水盆中开始计时,记录面团上浮的时间。

1.2.5 比容测定 采用油菜籽替换法。取在室温下冷却 1 h 后的面包,按式(1)计算面包比容,试验均重复 3 次。

$$SV = \frac{V}{m}, \quad (1)$$

式中:

SV——面包比容,mL/g;

V——面包体积,mL;

m——面包质量,g。

1.2.6 挺立度测定 以面包中心最大高度与底部最长直径的比值为挺立度。

1.2.7 质构分析 参照张可欣等^[12]的方法修改如下:将面包用切片机切成厚度为 12 mm 薄片,取中心两片面包进行测定。使用 P/36 探头,对面包进行连续 2 次压缩测试。测前速度 1.0 mm/s,测试速度 3.0 mm/s,测后速度 1.0 mm/s,压缩程度 40%,测定面包硬度、弹性等。

1.2.8 面包截面结构分析 用扫描仪扫描面包切片,取切片中心 3.5 cm×3.5 cm 大小,用 Image J 软件对获得的扫描图进行分析。首先将真彩图转化为 256 阶灰度图(8-bit),然后通过阈值转化法将灰度图处理为二值图。对图像进行气孔表面积分率(AF)和分形维数(FD)分析^[13]。图像的分形维数使用 Image J 软件的盒维数法得出。盒维数法原理是通过对分析图像所占据的一定大小盒子数目 N_b 和相应盒子的边长 L_b 作对数—对数线性回归曲线,其负斜率则是分形维数^[14]。

1.2.9 面包感官评定 参照王家宝等^[15]的方法修改如下:采用 9 分喜好评分法对面包进行喜好度评价,挑选 10 位经过培训的、年龄介于 20~35 周岁的感官评定人员,男女比例 3:2。为了确保其准确性,每片面包都标有 3 位数字的随机数。针对面包外观、湿润度、风味、柔软度和总体可接受度进行评分。每项感官评定评分设定为 1~9 分,1 分=非常不喜好;5 分=既不喜欢也不讨厌;9 分=非常喜欢。

1.2.10 数据统计分析 采用 SPSS 16.0 数据分析软件进行显著性分析,显著差异水平取 $P < 0.05$ 。采用 Origin 8.5 和 Excel 2016 进行数据分析绘制,以及使用 Image J 进行图像处理。

2 结果与分析

2.1 脂肪酶和 DATEM 对粉质特性的影响

粉质曲线是面团稠度随搅拌时间而变化的曲线,能反映面团形成过程的流变学特性。表 2 结果表明,添加脂肪酶和 DATEM 后,面粉吸水率变化不大。形成时间、稳定时间越长,弱化度越小,则表示该改良剂越能改善面团特性。添加脂肪酶后面团形成时间和稳定时间基本接近,与张峦^{[7]16-19}研究发现脂肪酶提高形成时间和稳定时间的结果不一致。这可能是因为试验中脂肪酶添加量较低,在混揉过程中脂肪酶并未发挥最佳活性。研究^[16]认为,脂肪酶可促进极性脂质与面团水相中的可溶性表面活性蛋白一起形成薄膜,该薄膜在发酵过程中具有稳定面筋蛋白的作用,说明脂肪酶对面筋蛋白的稳定作用在醒发过程更明显。由表 2 还可以看出,添加 DATEM 使得弱化度减小,与 DATEM 和谷蛋白相互作用有关,通过氢键与谷氨酰胺结合促进面团中谷蛋白的聚集,强化面团面筋蛋白^[2]。

2.2 脂肪酶和 DATEM 对面团发酵流变特性的影响

面团在水中的上浮时间可反映持气稳定性,上浮时间越短,则表示面团持气越多,面团发酵体积越大。可见添加脂肪酶和 DATEM 后,面团的持气性能得以提高,这是因为其发挥了乳化作用,保持了酵母产气形成的气泡稳定性。Sara 等^[17]研究发现脂肪酶可促进脂肪水解成层状相,层状液晶油脂是固态油脂在与水、表面活性剂共存时形成的中间态,包含双层表面活性剂,进而产生稳定的单分子层结构。气泡的稳定性与气泡外层的油脂晶型有关^[13],稳定的油脂晶型有助于气泡保持稳定,促进后

表 2 脂肪酶和 DATEM 对面团流变特性的影响

Table 2 Effects of lipase and DATEM on rheological properties of dough

组别	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FE	上浮时间/min
CK	65.7	14.27	15.68	21	24.68
L5	65.3	13.79	15.33	21	17.05
L10	65.5	14.17	15.93	20	15.52
DA	65.1	12.83	15.13	18	11.50

续面团入炉膨胀性。

2.3 脂肪酶和 DATEM 对面包烘焙特性的影响

由表 3 可知,添加 DATEM 可使得面包比容和挺立度增大。张峦^{[7]33-37}在面包制作中添加 0.5% DATEM 使其比容显著增加。添加 DATEM 导致层状面筋网络的形成,这些相互作用产生强大的蛋白质网络^[18]。因此,添加 DATEM 的面团在烘焙后比容增大。

添加脂肪酶的 L5 组和 L10 组面包比容均比 CK 组显著增大($P < 0.05$),较 CK 组分别增加了 2.9%,6.7%,与 Keskin 等^[19]的研究相似。脂肪酶能够分解甘油三酯成甘油一酯和甘油二酯,两者均有乳化作用从而增大面包的比容^[20]。研究^[13]发现烘焙产品的比容与气泡稳定性有关。面团本质上是复杂的半固体泡沫,而气泡是分散在连续液体相中^[21]。极性脂质使气泡稳定,而非极性脂质使气泡不稳定,从而分别正面、负面影响比容和面包孔径,脂肪酶可将非极性脂质水解成更极性脂质,而极性脂质促进形成稳定的界面脂质层从而保护气泡^[9]。

气孔面积分率(AF)越大,说明体系的持气能力和稳定性越好^[13]。引入脂肪酶和 DATEM 可提高面包的 AF 值,尤其脂肪酶 L10 组更为显著。脂肪酶可能同时具有甘油三酯酶、磷脂酶以及糖脂酶的组合作用,表现为磷脂酶活性时能够作用于面粉磷脂,产生与 DATEM 结构类似的溶血磷脂,从而起到乳化作用^{[7]27}。脂肪酶的乳化作用改善了面团稳定性,面团中的气泡得以在醒发和烘焙过程中扩展,有助于组织更加蓬松,也与比容增大的结果相印证。

面包的组织和气孔结构影响口感,组织松散、气孔不均会造成结构粗糙。过去对烘焙产品粗糙度更多是凭主观感受评价,试验采用数学分形理论对气孔粗糙度进行分析^[14]。平面图像的分形维数介于 1~2,分形维数越大,则表示气孔形状越复杂,气孔变形程度越大,表征气孔的粗糙程度。表 3 结果表明,添加脂肪酶和 DATEM,面包气孔分形维数减小,说明气孔变得光滑,可能是因为热定型前的面团气泡在脂肪酶和 DATEM 的乳化作用下变得稳定,不易发生聚结。

2.4 脂肪酶和 DATEM 对面包质构的影响

面包的硬度越低说明面包口感越软。表 4 表明,添

表 3 脂肪酶和 DATEM 对面包烘焙特性的影响[†]

Table 3 Effects of lipase and DATEM on baking properties of bread

组别	比容/(mL·g ⁻¹)	挺立度	气孔面积分率/%	分形维数
CK	6.15±0.05 ^a	0.58±0.02 ^a	13.0±0.2 ^a	1.50±0.02 ^b
L5	6.33±0.04 ^{ab}	0.60±0.01 ^a	13.2±0.8 ^a	1.41±0.01 ^a
L10	6.56±0.15 ^{bc}	0.64±0.01 ^b	15.9±0.7 ^b	1.42±0.01 ^a
DA	6.85±0.31 ^c	0.63±0.01 ^b	14.3±0.6 ^{ab}	1.43±0.02 ^a

† 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 4 脂肪酶和 DATEM 对面包质构的影响[†]

Table 4 Effects of lipase and DATEM on texture of bread

组别	硬度/N	咀嚼性/N	回复性	内聚性
CK	3.45±0.41 ^b	1.12±0.10 ^c	0.21±0.01 ^a	0.58±0.03 ^a
L5	2.72±0.27 ^{ab}	0.87±0.07 ^b	0.22±0.02 ^a	0.60±0.04 ^a
L10	2.44±0.16 ^a	0.67±0.04 ^a	0.21±0.01 ^a	0.55±0.02 ^a
DA	2.71±0.11 ^{ab}	0.84±0.04 ^b	0.20±0.01 ^a	0.55±0.01 ^a

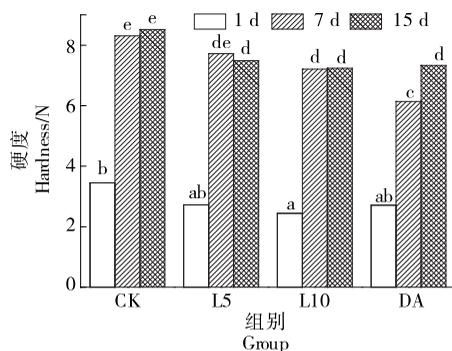
† 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

加脂肪酶和 DATEM 都可减小面包硬度。而脂肪酶添加量从 0.005 g/kg 面粉到 0.010 g/kg 面粉后,硬度进一步减小,可能是因为脂肪酶作用产生极性脂质,从而提高面团稳定性,保持面包柔软^[21]。另一原因是面包的柔软度与比容有关,良好的乳化性能增强面团气泡稳定性从而烘焙后比容增大,导致更松软的质构特性。

咀嚼性与面包品质呈负相关,添加脂肪酶可减小面包咀嚼性。而回复性、内聚性与面包品质呈正相关^[22],但各组的回复性、内聚性方面没有显著性区别。总体而言,脂肪酶和 DATEM 对面包质构品质具有改善作用,L10 组比 DA 组的硬度和咀嚼性更小,说明一定量的脂肪酶能达到比 DATEM 更佳的质构改良效果。

2.5 脂肪酶和 DATEM 对面包老化的影响

各组面包贮藏过程中硬度变化如图 1 所示。面包的硬度变化程度可以反映其老化速度。结果表明,贮藏 7 d 后,从 CK、L5、L10 组看出面包硬度随脂肪酶添加量增加而减小,原因是脂肪酶可作用于面团中的甘油三酯和磷脂,产生更多的甘油一酯和溶血磷脂等乳化剂与淀粉结合,从而阻止淀粉重结晶,延缓面包老化^[9]。添加 DATEM 也有助于延缓面包变硬,其抗老化作用在于形成乳化剂一直链淀粉络合物,延缓淀粉回生^[23]。贮藏 7 d 后添加 DATEM 组的硬度比脂肪酶组小,但贮藏 15 d 的脂肪酶组与 DATEM 组无显著差异,说明脂肪酶在稍长的贮藏期内具有与 DATEM 类似的抗老化效果。



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 1 脂肪酶和 DATEM 对面包贮藏过程硬度的影响
Figure 1 Effects of lipase and DATEM on hardness of bread during storage

2.6 面包感官评定

面包感官评定结果(图 2)表明,添加脂肪酶或 DATEM,外观、湿润度、柔软度和整体可接受度的得分均提高。整体可接受度得分最高为添加脂肪酶的 L10 组,达到 6.5 分;其次为添加 DATEM 的 DA 组。添加 DATEM 使风味评分降低,感官评定人员反映感受到不愉悦的酸味,可能与 DATEM 本身的酸类风味物质如乙酸等有关^[24]。

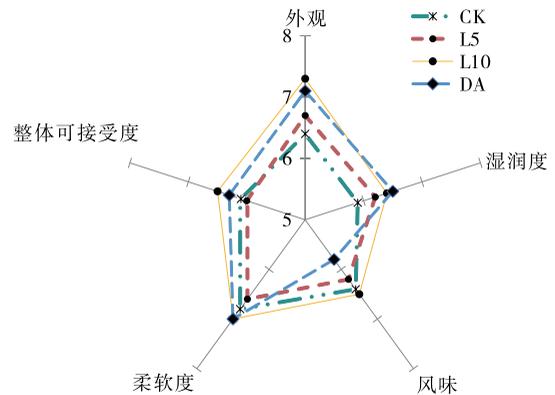


图 2 面包感官评定结果

Figure 2 Sensory evaluation of bread

3 结论

脂肪酶和双乙酰酒石酸单双甘油酯可改善面团持气稳定性,并且显著增大面包比容和挺立度。相比于空白组,脂肪酶和双乙酰酒石酸单双甘油酯组的比容分别增大了 6.7%,11.3%。引入脂肪酶和双乙酰酒石酸单双甘油酯可提高面包切面气孔的气孔表面积分率和减小分形维数。L10 组比 DA 组的硬度和咀嚼性小,即 0.01 g 脂肪酶/kg 面粉比双乙酰酒石酸单双甘油酯具有更佳的质构改良效果。面包贮藏 15 d 的硬度表明,添加 0.01 g 脂肪酶/kg 面粉与 0.5 g 双乙酰酒石酸单双甘油酯/kg 面粉的抗老化效果类似。脂肪酶可改善面包烘焙品质和感官特性,而含双乙酰酒石酸单双甘油酯的面包则有不愉悦的酸味风味。试验结果表明脂肪酶具有在面包中替代双乙酰酒石酸单双甘油酯的潜力。

致谢:感谢中粮(东莞)粮油工业有限公司提供测试仪器和指导。

参考文献

- [1] ANNALISA D B, ANTONELLA P, ROCCO R, et al. Traditions, health and environment as bread purchase drivers: A choice experiment on high-quality artisanal Italian bread[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 221: 249-261.
- [2] WERNER H, JUSSOFIE I, FELIX M. Investigations into the properties of emulsifiers in yeast-leavened dough by means of infrared spectroscopy[J]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1995, 200(4): 244-246.
- [3] AAMODT A, MAGNUS E M, HOLLUNG K, et al. Dough and hearth bread characteristics influenced by protein composition, protein content, DATEM, and their interactions[J]. *Journal of Food Science*, 2006, 70(3): C214-C221.
- [4] INOUE Y, SAPIRSTEIN H D, BUSHUK W. Studies on frozen doughs IV: Effect of shortening systems on baking and rheological properties[J]. *Cereal Chemistry*, 1995, 72(2): 221-226.
- [5] CHUNG O K. Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten, and protein fractions [J]. *Cereal Foods World*, 1986, 31(3): 242-256.
- [6] 胥奇. 面包、蛋糕抗老化剂的研制[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 9.
- [7] 张彦. 重组华根霉脂肪酶的酶学性质及在面包面团体系的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2010.
- [8] 李珍妮. 含有重组华根霉脂肪酶和转谷氨酰胺酶的冷冻面团抗冻性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 22-26.
- [9] GERITS L R, PAREYT B, DECAMPS K, et al. Lipases and their functionality in the production of wheat-based food systems[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, 13(5): 978-989.
- [10] 董大鹏. 焙烤过程对红茶面包淀粉消化特性的影响及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 10.
- [11] 李先玉. 冷冻甜面团流变发酵特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007: 10.
- [12] 张可欣, 蒋慧, 汤晓娟, 等. 复合酶制剂对甜酒酿面包发酵烘焙特性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(1): 16-21.
- [13] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 含丙二醇酯低脂蛋糕的流变学、气泡微结构和烘焙特性研究[J]. *食品与机械*, 2019, 35(5): 1-7.
- [14] LIU X, ZHANG T, XUE Y, et al. Changes of structural and physical properties of semi-gel from Alaska pollock surimi during 4 °C storage[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 87(2): 772-782.
- [15] 王家宝, 陈诚, 王凤, 等. 搅拌时间和乳化剂对海绵蛋糕表面气泡的影响[J]. *食品与机械*, 2018, 34(10): 8-13, 70.
- [16] SROAN B S, MACRITCHIE F. Mechanism of gas cell stabilization in breadmaking II: The secondary liquid lamellae[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(1): 41-46.
- [17] SARA M, WALTER R M M, JAN A D. Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products[J]. *Food Chemistry*, 2019, 298: 1-10.
- [18] ANALÍA V G, EVELINA G F, MARIA C A, et al. Changes in secondary structure of gluten proteins due to emulsifiers[J]. *Journal of Molecular Structure*, 2013, 1033: 51-58.
- [19] KESKIN S O, GÜLÜM S, SAHIN S. Usage of enzymes in a novel baking process[J]. *Die Nahrung*, 2004, 48(2): 156-160.
- [20] VALENTINA S, PAUL A. The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads[J]. *Food Chemistry*, 2008, 110(4): 865-872.
- [21] SARA M, WALTER R M M, JAN A D. Lipases in wheat flour bread making: Importance of an appropriate balance between wheat endogenous lipids and their enzymatically released hydrolysis products[J]. *Food Chemistry*, 2019, 298: 1-10.
- [22] 苏晓琴, 张可欣, 黄卫宁, 等. 高 γ -氨基丁酸绿豆酸面团面包营养与烘焙特性[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(13): 340-345.
- [23] 姜培彦, 马晓军, 余斌, 等. 乳化剂与直链淀粉相互作用及其对蛋糕品质影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2008(2): 247-250.
- [24] MOAYEDALLAIE S, MIRZAEI M, PATERSON J. Bread improvers: Comparison of a range of lipases with a traditional emulsifier [J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(3): 495-499.
-
- (上接第 37 页)
- [17] PORTER C J H, CHARMAN W N. In vitro assessment of oral lipid based formulations[J]. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2001, 50(S1): S127-147.
- [18] PORTER C J H, CHARMAN W N. Lipid-based formulations for oral administration: Opportunities for bioavailability enhancement and lipoprotein targeting of lipophilic drugs[J]. *Journal of Receptor and Signal Transduction Research*, 2001, 21(2/3): 215-257.
- [19] YANG Ying, DECKER E A, XIAO Hang, et al. Enhancing vitamin E bioaccessibility: Factors impacting solubilization and hydrolysis of α -tocopherol acetate encapsulated in emulsion-based delivery systems[J]. *Food & Function*, 2015, 6(1): 83-96.
- [20] AHERN G J, HENNESSY A A, RYAN C A, et al. Advances in infant formula science[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2019, 25(10): 75-102.