

油炸方式对油炸藕片吸油率与微观结构的影响*

朱瑶迪 邹小波 赵杰文 石吉勇 郭亚宁

(江苏大学食品与生物工程学院, 镇江 212013)

摘要: 以油炸藕片为研究对象,使用荧光探针-尼罗红将油染色,然后应用激光共聚焦显微镜比较真空和常压2种不同油炸方式对藕片微观结构的影响,并比较在相同预处理条件下2种油炸方式的吸油率。结果表明,在 $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ 时,真空吸油率比常压油炸降低了约30%。在微观结构方面,真空油炸能够很好地保存细胞的完整性,破碎细胞较少,阻碍油脂的进入,而常压油炸后细胞破碎严重,吸油率相对较高。在样本表面,真空油炸仅有1/3的细胞被油覆盖,而常压油炸约有2/3的区域被覆盖,尤其是油炸焦皮内部第一层细胞的油分布情况更能反映不同油炸方式微观结构的差异性。在样本内部,真空油炸的油分布在细胞间隙,完整细胞中少油或无油存在,而常压油炸,由于油炸温度高,使得细胞失水快,细胞破碎,油炸后细胞间隙和细胞中充满了油。综上所述,真空油炸能够减少油吸收,并保持油炸样本细胞的完整性,为深入研究油炸食品微观结构的变化,减少油吸收提供理论依据和有效手段。

关键词: 藕片 真空油炸 激光共聚焦显微镜 油分布 吸油率

中图分类号: TS255.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2015)06-0207-05

Research of Oil Uptake and Distribution of Fried Lotus Root Slices Based on Confocal Laser Scanning Microscopy

Zhu Yaodi Zou Xiaobo Zhao Jiewen Shi Jiyong Guo Yaning

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract: Recent consumer trends towards healthier and low fat products have had a significant impact on the snack industry. Vacuum and atmospheric frying of lotus root slices were compared, in terms of oil uptake under same pretreatment conditions. The objective of this study was to examine the most important quality parameters of vacuum frying and atmospheric frying lotus root slices in order to identify the specific advantages of vacuum technology and to understand the relationship between key microstructural changes and oil absorption. Confocal laser scanning microscopy is a new technology that can be used to observe the microstructure of fried lotus root slices after vacuum frying and atmospheric frying. Vacuum frying was shown to be a promising technique that can be used to reduce oil content. when using a driving force of $\Delta T = 60^\circ\text{C}$, vacuum frying slices absorbed less than 30% of the oil absorbed by atmospheric frying ones. In addition, the results showed that after frying, the cellular structures were well conserved in terms of shape and size. Oil was shown to be mainly located in the surface of the crust occupying. Oil remained in the cut cells emptied during the washing or the frying operation or in the damaged cells partially filled with starch. Cell detachment, because of starch swelling and dehydration, seemed to be the preferential connection between cell layers. The positive effect of vacuum frying toward oil uptake reduction could be the restriction of these connections. Overall, this study has an important significance

收稿日期: 2014-07-08 修回日期: 2014-08-18

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011AA100807)、国家自然科学基金资助项目(61301239)、全国优秀博士学位论文作者专项基金资助项目(200968)、新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-11-00986)、国家杰出青年科学基金资助项目(BK20130010)和江苏省研究生创新基金资助项目(KYLX_1070)

作者简介: 朱瑶迪, 博士生, 主要从事食品品质无损检测研究, E-mail: yaodi.19870110@163.com

for decreasing oil uptake in terms of microstructural changes. Besides, it provides reliable data and effective study means for the future.

Key words: Lotus root slices Vacuum frying Confocal laser scanning microscopy Oil distribution Oil absorption

引言

近年来,油炸藕片正成为受欢迎的休闲食品,其色泽以及酥脆的特殊口感深受国内外消费者的喜爱^[1]。随着人们生活水平提高,如何降低油炸食品的吸油率是目前油炸行业亟需解决的问题之一^[2]。常压油炸(Atmospheric frying, AF)由于油温过高,样品细胞不断失水,细胞壁破坏^[3],使得吸油率很高^[4],常食会导致心、脑血管疾病以及肥胖等疾病^[5]。目前,真空油炸(Vacuum frying, VF)是将油炸和脱水作用有机结合在一起的高新技术^[6],在VF过程中,藕片在一个密闭的负压系统中被加热,这种系统降低了物料中水的沸点和油的沸点,因此,当油的温度达到水的沸点时,藕片中的自由水很快移出。在油炸过程中,藕片表面水分快速蒸发,产生了水分分布梯度,同时,内部水分也逐渐蒸发,形成了压力梯度,使藕片表面逐渐干燥,组织失去亲水性,由于其保证了细胞的完整性,所以相对于AF细胞空隙较小,吸油率低,使得终产品具有良好的风味、色泽和口感。另外,为了获得低油脂食品,关键还要知道油炸后微观结构的变化以及油在细胞中的分布^[7]。激光扫描共聚焦显微镜(Confocal laser scanning microscopy, CLSM)是20世纪80年代发展起来的高科技产品,它是在荧光显微镜成像基础上加装了激光扫描装置,利用计算机进行图像处理,使用紫外或可见光激发荧光探针,从而得到细胞或组织内部微细结构的荧光图像^[8-9]。近年来,国内外仅从预处理技术^[10]、真空油炸技术^[11-12]、控制吸油率^[5]以及油炸后微观结构变化^[13-14]等单方面进行研究,而对不同油炸方法比较吸油率,并同时利用激光共聚焦显微镜观察2种油炸方法对微观结构的变化和油的分布情况的研究较少。

本文使用真空和常压油炸2种不同方法,比较油炸后藕片的吸油情况,同时利用CLSM观察2种油炸方法对藕片微观结构的影响,以及观察油炸后油的分布情况,为深入研究油炸食品微观结构的变化,减少油吸收提供理论依据和有效手段。

1 材料和方法

1.1 试验材料和仪器

鲜藕,购自镇江市京口区菜市场。将鲜藕清洗,

削皮后置于清水中待用;金龙鱼葵花籽油,5 L/桶,市售;尼罗红,0.025 mg/mL,美国Sigma-Aldrich公司。

真空油炸锅(无锡南丰轻工业设备有限公司),ZKJ-1型真空泵(上海机械科技有限公司),旋转切片机,索氏抽提器,干燥箱(上海跃进医疗器械厂),Leica TCS SP2型激光扫描共聚焦显微镜(CLSM)(德国Leica公司)。

1.2 工艺流程

挑选新鲜莲藕—清洗—去皮—漂洗—切片—护色—漂烫与硬化—冷冻12 h—热风干燥—油炸—成品。

1.3 油炸藕片预处理

(1)使用旋转切片机将鲜藕切成大小、厚度相同的片状,其中厚度均设置为1.5 mm,然后将切好的藕片放入1% NaCl、0.5%柠檬酸和0.1%维生素C混合护色溶液^[15]中浸泡1 h。

(2)漂烫过程是真空油炸预处理工艺中的重要环节,不仅改善了原料的风味,也改变了藕片的质感同时减少漂烫过程中营养物质的损耗^[16]。本研究在90℃条件下,配制0.3%柠檬酸和1% CaCl₂混合液,将藕片放入溶液中漂烫和硬化10 min。

(3)在-18℃条件下,将藕片冷冻12 h。这是对藕片进行预脱水和灭酶处理,主要是为了防止藕片褐变,并加大藕片的体积收缩率,使油炸藕片组织和质地更加严密,从而减小破碎力,并降低油炸前藕片的含水率,有固形、缩短油炸时间的作用。

(4)将冷冻后的藕片取出放置在干燥器内,常温解冻30 min,然后将解冻后的藕片放入40℃干燥箱内2 h,以降低藕片含水率并有效减少油吸收。

1.4 油炸参数

真空油炸真空度为0.09 MPa。本研究使用等效热驱力来定义在工作压力下油温和水沸点之间的换算(也就是,常压下100℃的水,在真空条件下沸点为55℃)。常压油炸设置温度为140、150、160℃,真空油炸设置温度为95、105、115℃,则 ΔT 为40、50、60℃(其中 ΔT 是等效热驱温度)。常压油炸与真空油炸时间均设定为2、4、6、8、10 min,以比较相同设定时间的吸油率。油炸过程应严格按照试验条件进行操作,保证试验条件的一致性。

1.5 油染色

尼罗红是一类苯吩噻嗪酮类化合物,能够与脂类物质结合发出很强荧光,不溶于水且易溶于有机溶剂^[17-18]。由于尼罗红在水中很快发生荧光淬灭,多余的染料无需清除,与苏丹黑、尼罗蓝-A等染料比较,尼罗红能够准确地将细胞内脂类物质与其他贮藏物区分开来,因此经常被用于检测细胞内油脂情况^[19]。本研究利用尼罗红与油脂成分结合后在紫外光照射下发出荧光特性,借助丙酮作为溶剂,将质量浓度为0.025 mg/L尼罗红避光加入到真空油炸锅的葵花籽油中,避光染色30 min。

1.6 脱油

脱油是将油炸后藕片表面附着的多余油脂去除,目前工业生产主要采用离心过滤式脱油^[20]。本研究采用的是在油锅内直接脱油的方式,即在油炸结束以后,将锅内的炸油放回储油箱内,通过机械传统装置旋转油炸框,脱油时锅内真空度和温度较高,将油甩出。

1.7 油脂含量的测定

采用索氏抽提法^[21]测定。将样品固态物质放在(105±2)℃干燥箱中干燥2 h,取出放入干燥器中,冷却至室温。称其质量,称量时室内相对湿度必须低于70%。然后将样品放入抽提筒中,注入一次虹吸量1.67倍的无水乙醚,使样品完全浸没在乙醚中。连接好抽提部分,接通冷凝水流,在恒温水浴中进行抽提,调节水温在70~80℃之间,使冷凝下滴的乙醚呈连珠状,抽提至抽取筒内的乙醚用滤纸点滴检查至无油迹为止。抽提完毕后,取出样品,在通风处使乙醚挥发,然后将样品放置于(105±2)℃干燥箱中干燥2 h,放入干燥器冷却至质量恒定为止^[11]。计算油脂含量。

1.8 激光共聚焦显微镜参数的设置

在避光条件下,将鲜藕片和油炸后的藕片使用冷冻切片机进行切片,然后将其放置在载玻片上,激光共聚焦显微镜对样品进行观察,具体参数如下:扫描模式像素1024×1024;扫描速度400 Hz;尼罗红激发波长543 nm;发射波长638~768 nm^[22]。

2 结果分析

2.1 不同油炸方法对藕片吸油率的影响

图1表示不同热驱温度($\Delta T = 40、50、60^\circ\text{C}$)条件下随着油炸时间的延长,不同油炸方法藕片的吸油情况。

图1a, $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ 条件下,随着油炸时间的延长,VF藕片的吸油率是先增加后逐渐平稳的过程。经统计分析,在油炸10 min时,VF的吸油率比AF减

小了6.9%。

图1b, $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ 条件下,在油炸10 min时,AF和VF吸油情况相差较大,VF的含油质量比是0.1287 g/g,AF的含油质量比是0.17599 g/g,随着油炸时间的延长,AF的含油质量比呈不断增加趋势,VF是先增加后趋于稳定。

图1c, $\Delta T = 60^\circ\text{C}$ 时,VF和AF油含量相差较明显,在油炸10 min时,VF含油质量比是0.092 g/g,而AF是0.149 g/g,两者的油含量相差0.057 g/g,是所有油炸条件两者相差最大的情况。由此知,在 $\Delta T = 60^\circ\text{C}$,时间为10 min时,VF比AF油含量降低了约30%。

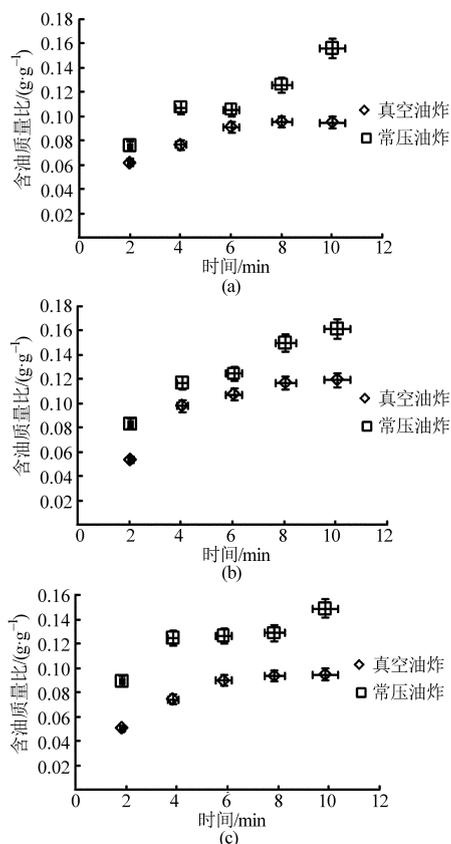


图1 不同热驱力条件下不同油炸方法对油含量的影响

Fig. 1 Effect of frying methods on oil content under different thermal driving forces

(a) $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ (b) $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ (c) $\Delta T = 60^\circ\text{C}$

2.2 油炸后藕片微观结构

2.2.1 油炸后藕片微观结构的变化分析

藕片油炸并脱油后,置干燥箱内冷却一段时间,然后利用 CLSM 观察油渗透程度和油分布的情况。图2是在不同放大倍数下油炸后油分布情况。图2a是鲜藕片的细胞,细胞呈六边形,规则的排列在一起,在细胞内部和边缘有明显的淀粉颗粒。图2b是油炸以后的藕片细胞,油炸以后细胞由于失水呈梯形或者不规则形状,另外由于细胞的破碎,使得整个细胞充满了油脂(图2c、2d),究其原因主要是细

胞壁的水分是保证细胞正常的架构,当失水过多时,水的张力不足以承受细胞的压差,所以会破裂。从油炸藕片的微观结构可知,低温油炸可以使藕片细胞变得坚韧,可稳定细胞壁结构,从而减少细胞破碎程度因而阻碍了吸油量。油一般分布在油炸藕片表面和破碎的细胞内,由图 2c 可明显看出,细胞壁破裂,使得细胞有缝隙让油进入,充满整个细胞。

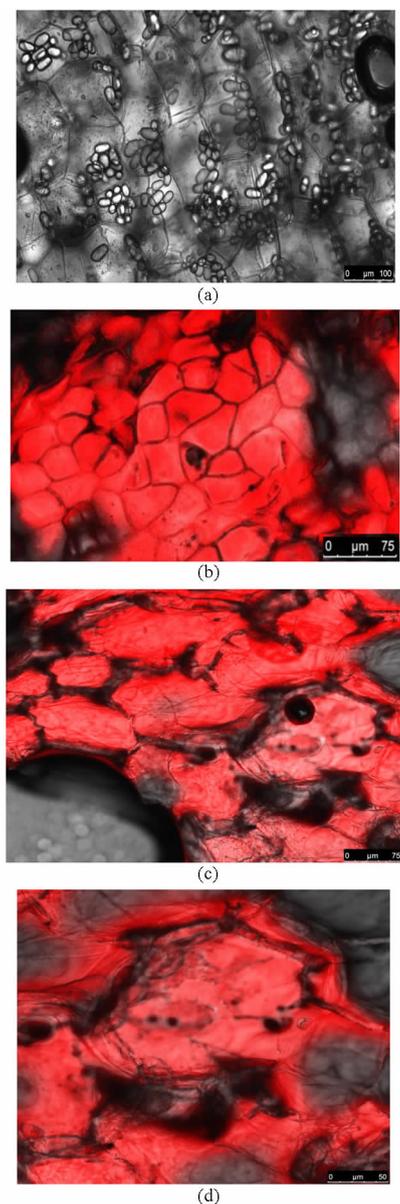


图 2 鲜藕片的细胞和油炸以后细胞及其油分布情况

Fig. 2 Cell size of fresh lotus root slices and fried samples and oil distribution

- (a) 鲜藕片的细胞 (b) 油炸以后的藕片细胞
(c) 充满油脂细胞 (d) 放大后的油炸细胞

2.2.2 真空和常压油炸藕片表面的油分布

油炸后在藕片表面易产生一个焦壳,这个外壳的微观结构(平均气孔大小、通透性)对吸油率有很大的影响。在图 3 中可以看出油炸以后,油主要分布在藕片表面和破碎细胞内,图 3a、3b 表示的是真

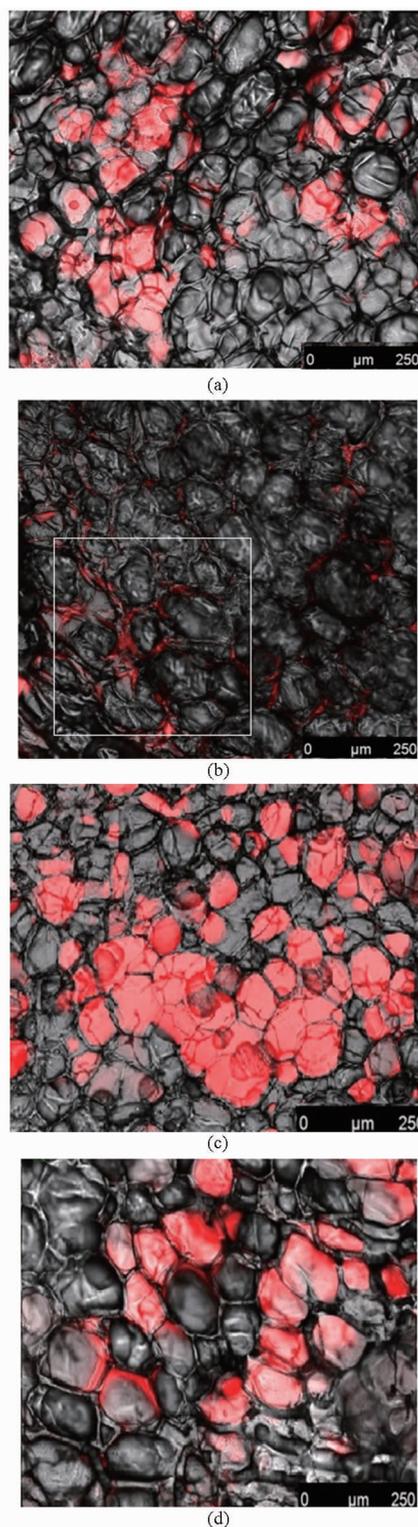


图 3 共聚焦显微镜观察真空和常压油炸以后藕片细胞油分布

Fig. 3 Confocal laser scanning microscopy observed oil distribution of fried lotus root slices tissue after

vacuum and atmospheric frying

- (a) 真空油炸藕片表面油分布微观图
(b) 真空油炸后第一层细胞油分布图
(c) 常压油炸藕片表面油分布微观图
(d) 常压油炸后第一层细胞油分布图

空油炸条件下,藕片表面的油分布情况(伪彩色红

色为油,灰色为细胞)。在图3a中,可以看出,真空油炸以后,仅有1/3的细胞表面被油覆盖,有少量破碎细胞里充满了油,图3b表示的是油炸藕片焦皮内部的第一层细胞,油炸以后油脂主要分布在细胞间隙,究其原因由于在真空条件下,油温相对较低,使得水分急剧气化膨胀,具有良好的膨化效果,使得油很少地进入,并保存了细胞的完整性。

图3c和图3d是常压油炸时藕片表面油的分布,在图3c中,由于油炸时油温过高使得细胞壁破坏,细胞中的淀粉颗粒散开,使得油不断进入破碎细胞。在藕片表面有2/3的区域被油覆盖,且破碎细胞较多充满了油脂。图3d可以明显看出油炸焦壳内部第一层细胞,在间隙和一些细胞内均充满了油炸油。总之,从油炸以后油的分布来看,真空油炸的藕片比常压油炸的油吸收明显减少,并保存了细胞的完整性。

3 讨论

由结果分析可知,在不同油温、不同油炸时间条件下,藕片的吸油率有很大差异,一般是依据藕片的含水

率、颜色或藕片表面无气泡冒出判断油炸是否完成,即当含水率约2%或藕片油炸至金黄色时来判定藕片油炸完成,这种依据有一定的误差和人为影响。

4 结束语

利用激光共聚焦显微镜可以清晰地辨别真空油炸和常压油炸后藕片细胞的变化和油分布情况,可以从微观上说明这两种油炸方式在吸油方面的差异。同时在相同的预处理条件下,在 $\Delta T = 60^\circ\text{C}$,时间为10 min时,真空油炸比常压油炸吸油率减少了约30%。在油炸藕片微观结构方面发现,常压油炸,藕片表面有2/3的区域被油覆盖,且内部破碎细胞较多充满了油脂。真空低温油炸可以很好地保存细胞的完整性,在内部细胞仅在间隙有油脂分布,从而吸油率较低。研究表明,运用所筛选的最佳油炸工艺条件,将真空技术应用于藕片的加工是可行的,产品感官品质明显优于常压油炸。综上所述,本研究为下一步从微观方面改善样品来降低吸油率,并改善油炸藕片的质量及口感奠定了基础,同时也为油炸食品行业提供了有效的理论数据和手段。

参 考 文 献

- 1 Sobukola O P, Dueik V, Munoz L, et al. Comparison of vacuum and atmospheric deep-fat frying of wheat starch and gluten based snacks[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2013, 22(Supp. 1): 177 - 182.
- 2 Pedreschi F, Moyano P. Oil uptake and texture development in fried potato slices[J]. *Journal of Food Engineering*, 2005, 70(4): 557 - 563.
- 3 邓云,吴颖,杨铭铎,等. 煎炸油中产生的极性成分对食品微观结构和质构的影响[J]. *农业工程学报*, 2004,20(6): 160 - 164. Deng Yun, Wu Ying, Yang Mingduo, et al. Effects of polar components in frying oil on microstructure and texture of fried food[J]. *Transactions of the CSAE*, 2004,20(6): 160 - 164. (in Chinese)
- 4 Crosa M J, Skerl V, Cadenazzi M, et al. Changes produced in oils during vacuum and traditional frying of potato chips[J]. *Food Chemistry*, 2014, 146(2): 603 - 607.
- 5 张翠华. 降低油炸食品吸油率的有效方法[J]. *粮食流通技术*, 2009(2): 34 - 36. Zhang Cuihua. Effective method of reduction oil absorption of food [J]. *Journal of Grain Circulation Technology*, 2009(2): 34 - 36. (in Chinese)
- 6 Shyu S L, Hsu L B, Hwang L S. Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(11): 1903 - 1908.
- 7 Bouchon P, Hollins P, Pearson M, et al. Oil distribution in fried potatoes monitored by infrared microspectroscopy[J]. *Journal of Food Science*, 2001, 66(7): 918 - 923.
- 8 李楠,王黎明,杨军. 激光共聚焦显微镜的原理和应用[J]. *军医进修学院学报*, 1996,17(3): 79 - 81.
- 9 朱建华,杨晓泉. 激光共聚焦显微镜分析技术在食品体系微观结构领域应用研究进展[J]. *粮油加工*, 2009(5): 134 - 136.
- 10 李洁,王清章,谭正林,等. 前处理改善油炸藕片质量的研究[J]. *食品科学*, 2007,28(6): 138 - 141. Li Jie, Wang Qingzhang, Tan Zhenglin, et al. Study on effects of pretreatment on fried lotus root chips[J]. *Food Science*, 2007, 28(6): 138 - 141. (in Chinese)
- 11 Dueik V, Robert P, Bouchon P. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(3): 1143 - 1149.
- 12 Fan L P, Zhang M, Mujumdar A S. Vacuum frying of carrot chips [J]. *Drying Technology*, 2005, 23(3): 645 - 656.
- 13 Bouchon P, Aguilera J M, Pyle D L. Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(9): 2711 - 2716.

- 14 Prajapati V D, Jani G K, Zala B S, et al. An insight into the emerging exopolysaccharide gellan gum as a novel polymer[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 93(2): 670 – 678.
- 15 Kang K S, Veeder G T, Cottrell I W. Some novel bacterial polysaccharides of recent development[J]. *Progress in Industrial Microbiology*, 1983, 18: 231 – 253.
- 16 罗登林,刘娟,许威,等. 菊粉在酸性条件下的凝胶特性[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(5): 185 – 190.
Luo Denglin, Liu Juan, Xu Wei, et al. Gelatin properties of inulin in acidic solution[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(5): 185 – 190. (in Chinese)
- 17 de Jong S, Klok H J, van de Velde F. The mechanism behind microstructure formation in mixed whey protein-polysaccharide cold-set gels[J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(3): 755 – 764.
- 18 Tang J, Tung M A, Zeng Y. Compression strength and deformation of gellan gels formed with mono-and divalent cations[J]. *Carbohydrate Polymers*, 1996, 29(1): 11 – 16.
- 19 王伟,徐德时,李素清,等. 聚电解质-壳聚糖浓溶液流变学性质研究[J]. *高分子学报*, 1994(3): 328 – 333.
Wang Wei, Xu Deshi, Li Suqing, et al. Polyelectrolyte-rheological properties for concentrated solution of chitosan[J]. *Acta Polymerica Sinica*, 1994(3): 328 – 333. (in Chinese)
- 20 Morris E R, Nishinari K, Rinaudo M. Gelation of gellan—a review[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 28(2): 373 – 411.
- 21 Mao R, Tang J, Swanson B G. Water holding capacity and microstructure of gellan gels[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2001, 46(4): 365 – 371.
- 22 Huang Y, Tang J, Swanson B G, et al. Effect of calcium concentration on textural properties of high and low acyl mixed gellan gels[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2003, 54(4): 517 – 522.
- 23 Nono M, Nicolai T, Durand D. Gel formation of mixtures of κ -carrageenan and sodium caseinate[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(4): 750 – 757.

~~~~~  
(上接第 211 页)

- 14 Aguilera J M, Cadoche L, Lopez C, et al. Microstructural changes of potato cells and starch granules heated in oil[J]. *Food Research International*, 2001, 34(10): 939 – 947.
- 15 计红芳,张令文,杨铭铎,等. 藕片水焯工艺优化[J]. *食品科学*, 2011, 32(18): 108 – 111.  
Ji Hongfang, Zhang Lingwen, Yang Mingduo, et al. Optimization of quick-boiling process for lotus root slices[J]. *Food Science*, 2011, 32(18): 108 – 111. (in Chinese)
- 16 肖功年,杜卫华,周乐群,等. 不同烫漂时间对真空油炸毛豆仁品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2005(7): 147 – 149.
- 17 Lambert M A, Moss C W. Comparison of the effects of acid and base hydrolyses on hydroxy and cyclopropane fatty acids in bacteria[J]. *Journal of Clinical Microbiology*, 1983, 18(6): 1370 – 1377.
- 18 Diaz G, Melis M, Batetta B, et al. Hydrophobic characterization of intracellular lipids in situ by Nile Red red/yellow emission ratio[J]. *Micron*, 2008, 39(7): 819 – 824.
- 19 林义,钟添华,骆祝华,等. 尼罗红染色法筛选产油酵母及定量检测胞内油脂含量的研究[J]. *微生物学通报*, 2012, 39(1): 125 – 137.  
Lin Yi, Zhong Tianhua, Luo Zhuhua, et al. Study on screening of oleaginous yeast and determination of intracellular lipid content by Nile red dyeing [J]. *Microbiology*, 2012, 39(1): 125 – 137. (in Chinese)
- 20 阎晓倩,朱武. 真空油炸技术[J]. *真空*, 2007, 44(1): 35 – 38.  
Yan Xiaoqian, Zhu Wu. On the frying in vacuum[J]. *Vacuum*, 2007, 44(1): 35 – 38. (in Chinese)
- 21 Mariscal M, Bouchon P. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(4): 1561 – 1569.
- 22 Achir N, Vitrac O, Trystram G. Direct observation of the surface structure of French fries by UV – VIS confocal laser scanning microscopy[J]. *Food Research International*, 2010, 43(1): 307 – 314.