

休闲食品加工技术研究进展

颜梦婷, 刘施琳, 朱 丰, 黄金城, 张翠平, 林向阳*

(福州大学生物科学与工程学院, 福州 350108)

摘 要: 休闲食品伴随人们生活方式和食品科技及产业的发展得到迅速发展, 已成为人们日常生活中不可缺失的部分。休闲食品行业的快速发展除了归功于政策推动, 极为重要的发展动力还源于支撑整个行业前进的食品加工技术, 其中包括膨化技术、挤压技术、油炸技术、脱水干燥技术等。这些关键的加工技术在近年来也发生了极大的变化, 呈现出复合化的趋势, 这些改变克服了很多以往加工中的缺点, 拓宽了原料选择范围, 丰富了产品种类, 优化了产品质量。本文综述了休闲食品中重要的膨化技术、挤压技术、油炸技术、脱水干燥技术的应用及其研究进展, 意在推动休闲食品创新发展的步伐。

关键词: 休闲食品; 膨化技术; 挤压技术; 油炸技术; 脱水干燥技术

Research progress of snack food processing technology

YAN Meng-Ting, LIU Shi-Lin, ZHU Feng, HUANG Jin-Cheng, ZHANG Cui-Ping, LIN Xiang-Yang*

(College of Biological Science and Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

ABSTRACT: With the rapid development of society and people's lifestyles, snack food has occupied the essential part of daily life. In addition to policies that promote the development of food industry, food processing technologies exert an important influence on the industry of snack food, including puffing technology, extrusion technology, fried technology and dehydration technology, etc. In recent years, these key processing technologies have changed greatly, which present a complex trend. These changes have overcome many shortcomings in previous processing: the scope of raw material selection is broadened, the variety of product is increased, and the quality of product is also optimized. The application and research progress of important snack food processing technologies were reviewed in this paper, which included puffing technology, extrusion technology, fried technology and dehydration technology for promoting the innovation and development of snack food.

KEY WORDS: snack food; puffing technology; extrusion technology; fried technology; dehydration technology

1 引 言

休闲食品——曾经人们口中的“零食”, 随着中国社会人们生活水平的提高, 以及对于品质的追求如今已变成老百姓一天生活中重要的“第4餐”。由于中国旅游业、食品添加剂的发展迅速以及休闲食品加工技术的不断创新, 近几年来我国休闲食品市场规模呈几何级的速度增长, 高出

食品市场平均增长率 20%。目前, 国内外学者认为休闲食品未来的发展主要有以下几种趋势: (1)休闲食品多样化; (2)休闲食品味道口感化, 路径趣味化; (3)休闲食品向健康安全方向发展; (4)休闲食品消费对象定制化: 即根据不同场合定制符合消费者希望的目标产品类型, 从清晨到深夜, 分清不同年龄组吃零食的习惯和场合, 以设计相应的产品来吸引消费者^[1,2]。那么在休闲食品行业发展迅猛的

*通讯作者: 林向阳, 博士, 教授, 主要研究方向为食物资源综合开发与利用(生物质资源化)。E-mail: xylin@fzu.edu.cn

*Corresponding author: LIN Xiang-Yang, Ph.D, Professor, College of Biological Science and Engineering, Fuzhou University, No. 2, Xueyuan Road, University Town, Fuzhou 350108, China. E-mail: xylin@fzu.edu.cn

背后支撑其不断前进的关键技术是什么呢?本文就此综述了目前休闲食品生产中的几项关键加工技术及其应用进展,旨在能为今后休闲食品的研发和改良提供理论依据。

2 膨化技术

膨化技术在膨化食品生产中应用广泛,操作简易、高效、成本低廉。其原理是运用气压变化和相变的原理,使原料内部水分闪蒸、急速膨胀形成定型的多孔状、网状的组织结构物质的过程^[3-5]。膨化技术包括:挤压膨化、微波膨化、油炸膨化等。近年来,随着休闲食品的需求量攀升,膨化技术也在不断发展进步。

2.1 挤压膨化技术

挤压膨化即使原料处于高温且高压的挤压机内,而后突然降温降压至常态,原料的性质和内部的结构因此发生改变。它目前在食品行业已被广泛应用,是目前最常用的休闲食品加工技术。它具有高效、高产、优质、产品类别多、能利用廉价原料、无废弃物等优点,但产品营养损失大、且成本高、能耗大。为克服这些缺点,范文海等^[6]运用强调质技术以提高挤压机产量,提出挤压过程的稳流剪切技术以及出料过程的稳流技术概念,通过模块化螺杆组合达到优化挤压工艺参数的目的。挤压膨化技术还能在蛋白质改性、膳食纤维改性和植物细胞壁破除上得以应用^[7]。超临界二氧化碳挤压膨化技术虽在1992年的美国专利文献早有报道,但在国内食品加工中的应用仍然处于初级阶段,并未得到广泛运用^[8]。将超临界二氧化碳应用于挤压膨化中可以大大降低膨化温度,从而减弱美拉德反应,保护食品中的热敏性成分,减少营养成分的损失,使产品色泽更加清淡,同时还可将蛋白质、钙、维生素等热敏性物质通过超临界二氧化碳加入到食品中去,提高产品的营养价值,使产品风味浓郁成为可能。通过超临界二氧化碳挤压膨化技术加工出来的食品保脆性强、多孔性好、膨化效果更佳。

2.2 微波膨化技术

微波膨化是利用微波能量导致原料内部深层水分吸收热量迅速汽化,原料内外形成压力差而整体膨化的技术。微波膨化技术在休闲食品的加工应用包括:淀粉膨化食品加工,蛋白质食品膨化和瓜果蔬菜类物料膨化^[9,10]。微波膨化与油炸膨化和挤压膨化相比,具有自洁杀菌、含油率低、产品质优和热能利用率高等优点,但也存在应用范围窄、产品少、物料内部易受热不均等缺点。

随着微波技术在食品加工中的运用逐步加深,微波膨化技术也在不断提升,与其他技术呈现“复合化”的趋势。张永茂等^[11,12]在研究苹果脆片的生产工艺时应用微波-压差膨化技术。此法有效地克服了压差技术易导致的硬芯和微波技术的产品膨化不均的问题,使物料内外均

匀膨化,膨化率提高30%~40%,水分含量不超过3%。此外,近年来许多学者还将微波与真空技术相结合推广应用,如蓝靛果脆片、浆果脆片、黑加仑果片、绿豆脆饼等^[13-17]。微波真空膨化技术复合了微波的瞬时、节能和真空的低温、快速特性,在膨化过程中除增强膨化效果之外,还起到保脆、护色、防止热敏性物质变性等作用。微波膨化技术还能与涂膜技术复合使用。杨润佳等^[18]以马铃薯作为原料,利用涂膜-微波复合膨化技术研制出类似玉米爆米花可用于微波膨化的食品。将壳聚糖涂抹于马铃薯表面制成爆米花的效果。这项新的复合膨化技术可以推广到更多具有一定含水率的淀粉质原料中,开发出更多新产品。

2.3 油炸膨化技术

油炸膨化即通过油脂进行热量传递,原料的水分在膨化过程中汽化,蛋白质、淀粉、碳水化合物等组分发生化学变化而产生酥脆的口感和诱人的风味^[19-21]。油炸膨化技术的关键是调控时间和油温,一般油温为100~230℃。其优点是产品口感酥脆可口,但油炸膨化常常由于油温过高或有的反复使用导致油脂劣变,产生有害人体的物质,且经过油炸的食品营养物质的损失大,含油率高,本身也有害人体健康,且保质期短。经改良后,人们应用真空油炸膨化技术可以显著降低油温,减少有害物质生成,但随着人们的安全、节能、环保意识增强,目前在休闲食品加工中正逐步向非油炸膨化方向发展^[22,23]。

2.4 气流膨化技术

气流膨化是将原料预处理后干燥至一定含水率,再置于压力罐内加压加热,使之内外压力平衡,再瞬间减压使物料内水分闪蒸,从而发生膨胀形成膨化效果^[24]。气流膨化具有操作方便,设备简单,营养保存好,不改变原料的外形,低脂肪、低耗能等优点。气流膨化食品具有富含营养、易于人体吸收、高复水率、贮藏期长等特点,是新一代健康膨化食品。目前气流膨化技术应用如下:(1)可以用于休闲食品。(2)因其复水迅速,可作为其他食品的馅料。如:水果沙司、水果蛋糕、水果馅饼等。(3)产品通过超微粉碎,能直接冲泡成速溶的果蔬饮料或成为果蔬固态饮品的基料。一般多应用于果蔬脆片的生产,尤以低温气流膨化技术为主。随着气流膨化技术的推广使用,逐渐又发展形成了新型气流膨化技术,如高温短时气流膨化、微波-压差膨化技术(详见2.2)等。高温短时气流膨化这项新型先进膨化技术,目前国内外应用范围较窄,仅在苋菜籽、板栗片、马铃薯块(片)、苦荞麦、薏米以及小麦休闲食品的加工上得以应用,其最大特点是可满足包括原颗粒物料和重组物料等多种形状大小的物料无油、连续膨化加工,物料受热时间短,营养保持好,是一种应用前景广阔的多功能膨化技术^[25-32]。

3 挤压技术

挤压技术指原料在预处理后经过机械作用使之通过一个对应的模具孔, 以生成一定组织状态和外形的产品。该技术广泛用于休闲食品加工生产中且发展迅速。相比于传统生产工艺, 挤压技术更加省地、省时、节能、高效^[33-36]。

挤压技术在休闲食品中的应用主要分为 2 大类: 膨化食品和糖类。(1)挤压技术生产的膨化食品分 3 种: 直接膨化型休闲食品、共挤压型休闲食品、间接膨化型休闲食品^[37]。直接膨化型休闲食品是将谷物类原料, 根据需要可加入适量的咖喱粉、可可粉等, 经挤压蒸煮后制成的膨化食品; 共挤压型休闲食品即将原料挤压而膨化成空心管状物, 将馅料填充在管中制成的夹心食品; 间接膨化型的休闲食品是一种半成品, 其加工过程的蒸煮温度不超过 100 °C, 使物料内部水分通过模板的过程中不被蒸发而膨化, 通过后续的热空气的膨化或油炸除去水分以获得最终产品。(2)在糖果的生产中挤压技术也起到了重要作用: 该技术能够对糖果的生产加工中起泡、羰氨反应、糖的转化、酶的反应、糖结晶、蛋白质分解、淀粉胶凝以及脂质同素异构的现象等进行操控, 因此, 能有效保护糖果营养的物理特性的成分等。

近年来, 属于中、低湿挤压技术的挤压膨化技术已有了有一定的发展(详见 2.1)。随着双螺挤压机的发展而发展起来的高湿挤压技术在国内的研究也逐步加深并得以推广。高湿挤压产品质地均匀一致, 富有弹性和韧性, 产品不需复水。但该技术在水产领域的研究还处于起步阶段^[38]。我国水产资源丰富, 但目前深加工程度低, 因此, 努力将挤压技术应用到水产品中, 最终开发出更多休闲食品类别也是一条重要新思路。

4 新型油炸技术

油炸以食用油为传热介质, 是能够使得被油炸食品中的碳水化合物、脂肪、蛋白质以及一些微量组分发生化学变化产生特殊风味的一种技术。如今, 油炸已成为食品加工中的一项重要技术, 国内外对于油炸技术的应用也较为广泛。油炸技术包括常压油炸、减压油炸、高压油炸^[39]。常压油炸即油炸过程压力等于环境大气压, 适用广泛, 但色素营养损失严重, 一般适用于粮食类的食品的油炸。减压油炸即真空油炸, 其油炸温度低, 口感好, 色泽、营养成分损失较少, 但成本较高^[40]。高压油炸, 油炸过程压力大于常压, 产品营养保留率高, 且水分和油的挥发损失率低, 口感好, 最适用于油炸肉制品: 炸鸡翅等。

近年来, 学者们不断尝试将油炸技术与其他技术相结合, 并提出了一些新的加工技术, 以期能解决油炸食品含油率高的问题。(1)真空低温油炸技术, 该技术是产品在负压低温下油炸并脱水, 能较好地保护营养成分, 口感和

形状都好, 但由于吸湿性较强, 保质期短, 并且油耗高, 成本高。(2)增加添加剂^[41]。例如在油炸土豆的过程中用棉籽油、液体六油酸山梨糖醇酐酯和固体八硬脂酸蔗糖酯作为油炸介质油炸的土豆片总的含脂量为 44%, 当中可消化的甘油脂的含量少于 20%, 并与完全用食用油油炸的土豆片口感相同。(3)涂膜技术, 即在食物表面涂上一层胶质, 使之在油炸中形成一层防止油脂渗透的保护层, 以降低食物的含油率。赵勇^[42]研究了海藻酸钠、羧甲基纤维素(CMC)与果胶涂膜对油炸红薯片含油量的控制效果。结果显示随着涂抹的海藻酸钠的浓度的上升, 油炸红薯的含油率呈先减小后增大的趋势; 随着 CMC 的浓度上升, 其含油率渐渐降低; 随果胶的浓度增加, 含油率呈先增大再减小之后又增大的趋势。但是(2)、(3)这 2 种方法存在使用人工合成化学物质的安全隐患。(4)微波油炸技术, 即将微波与常压油炸或真空油炸相结合, 生产高效、产品低油, 但为防止产品受热不均, 对食物形状要求较高, 因加热时长较短, 其口感风味不及传统工艺^[43]。(5)红外预处理技术, 即采用红外辐射预干燥食物, 以降低其油炸前的含水率, 增加原料固形物的含量, 进而减小产品的含油率, 同时能够减缓油劣变的速率。

5 脱水干燥技术

脱水干燥是休闲食品加工生产中至关重要的工艺环节之一, 会直接影响到食品的色泽、风味、形态以及加工过程中的能量损耗等。脱水干燥由最早的床式、箱式干燥器开始, 经历了滚筒干燥、喷雾干燥、冻干和渗透脱水技术, 最终发展到如今的无线电射频(RF)干燥、或者微波、组合干燥^[44-47]。可见其发展之快, 变化之大。现今用于休闲食品的干燥方式多种多样, 主要包括以下几种。

5.1 低温真空油炸干燥

在低温真空中油炸食品, 使物料中水分蒸发。该油炸过程中油脂不易劣变, 可反复使用。此技术常用于果蔬脆片的干燥, 具有良好的灭菌效果、膨化效果、产品口感脆、复水性好、成本低、品质稳定、储存期长。

5.2 吸附式低温干燥技术

该方法实质上是冷风干燥, 干燥气流温度低于 50 °C, 相对湿度约 15%^[48]。该法针对热敏性物料有很好的保护作用, 且杀菌性能高、节能环保, 制品原色原味, 营养损失小。

5.3 微波-冷冻干燥

冷冻干燥是将物料中的冰直接升华的工艺过程, 将其与微波技术相结合使用可以提升干燥热传导率, 由内而外的升温, 大大加速干燥速度^[49]。此法适合较厚的物料干燥。这样的组合干燥比起直接冻干的产品质量相差不大,

但成本较低。

5.4 过热蒸汽干燥

过热蒸汽干燥是以过热蒸汽直接与湿物料接触以去除水分的干燥方法^[50]。干燥机排出的废气全部是蒸汽,可以回收再利用,降低能耗。虽然干燥后的品质不如冻干的品质,但相比于热风干燥、微波干燥等,该技术干燥过程受热均匀,营养损失较低,风味色泽保存较好,且成本低、效率高,属于性价比较高的一种干燥方式。

5.5 冲击干燥

冲击干燥是应用蒸汽喷嘴将过热蒸汽和干空气作为干燥的介质向原料的表面进行垂直地喷射,使部分水蒸汽迅速蒸发。此方法干燥快,可用于烹饪和焙烤中,产品有面包、比萨饼、蛋糕、饼干和土豆等。同时此法还能改善产品口感,增加脆度。

5.6 渗透干燥

渗透干燥即将含水的物料浸没在含有可食用溶质的高渗水溶液中(盐水或果汁),从而实现物料部分脱水的工艺。该法脱水程度不高,不能达到较低的含水率,一般经过渗透处理的产品还需做进一步处理,所以渗透干燥可作为其他干燥方法的预处理,这样能加以改善产品品质。

在食品加工生产中,由于物料的多样性和复杂性,若用1种干燥方式常常不能达到预期的效果,而组合干燥恰好可以解决这个问题,并且节能环保,因此,组合干燥是干燥技术未来的发展趋势之一。

6 结论与展望

综上所述,休闲食品加工技术的确有了不小的进步,并且创新技术基本呈现了明显的技术“复合化”的趋势,即根据产品特性,将不同的技术组合使用,以达到累加优势,克服缺陷、提升品质的效果。同时,技术创新的过程中更注重了产品安全、强化营养、节能环保、降低成本,使得新技术更具有可推广性和利用价值。然而就目前的情况而言,国内休闲食品的发展水平仍与国外发达国家的水平有较大的差距,我们仍需不断努力创新技术,坚持走可持续发展路线,未来国内休闲食品仍将向着美味、安全、节能、营养的方向发展。

参考文献

[1] Anonymous. Snack industry strong and vibrant, says IRI [J]. *Snack Food Amp: Wholesale Bakery*, 2014, 68(2): 155–159.

[2] Kenneth CG. Situational segmentation opportunities in the snack food market [J]. *J Food Prod Mark*, 2000, 12(2): 135–138.

[3] 沈正荣. 挤压膨化技术及其应用概况[J]. *食品与发酵工业*, 2000, 26(5): 74–78.

Shen ZR. Survey on extrusion technology and its application [J]. *Food*

Ferment Ind, 2000, 26 (5): 74–78.

[4] 孟宇竹, 陈锦屏, 卢大新. 膨化技术及其在食品工业中的应用[J]. *现代生物医学进展*, 2006, 6(10): 132–134.

Meng YZ, Chen JP, Lu DX. Expanded technology and its application in food industry [J]. *Prog Mod Biomed*, 2006, 6 (10): 132–134.

[5] 林勉, 芮汉明, 刘通讯, 等. 食品膨化技术及其应用[J]. *食品与发酵工业*, 1999, 25(3): 65.

Lin M, Rui HM, Liu TX, *et al.* Food extrusion technology and its application [J]. *Food Ferment Ind*, 1999, 25 (3): 65.

[6] 范文海, 马亮, 张贵阳, 等. 挤压膨化的新技术与应用[J]. *饲料工业*, 2009, 05: 1–3.

Fan WH, Ma L, Zhang GY, *et al.* New technologies and applications of extrusion [J]. *Feed Ind*, 2009, 05: 1–3.

[7] 叶琼娟, 杨公明, 张全凯, 等. 挤压膨化技术及其最新应用进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013, 05: 329–334.

Ye QJ, Yang GM, Zhang QK, *et al.* Extrusion technology and its latest application progress [J]. *J Food Saf Qual*, 2013, 05: 1329–1334.

[8] 王宇伟, 李济生, 阮征. 二氧化碳在食品挤压膨化中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2006, 05: 81–84, 25.

Wang YW, Li BS, Ruan Z. Carbon dioxide in food extrusion application [J]. *Food Res Dev*, 2006, 05: 81–84, 25.

[9] 孟宇竹, 陈锦屏, 卢大新. 膨化技术及其在食品工业中的应用[J]. *现代生物医学进展*, 2006, 10: 132–134.

Meng YZ, Chen JP, Lu DX. Expanded technology and its application in food industry [J]. *Prog Mod Biomed*, 2006, 10: 132–134.

[10] 张丽晶, 林向阳, 张宏, 等. 微波膨化技术在食品中的应用研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2008, 08: 26–28, 70.

Zhang LJ, Lin XY, Zhang Y, *et al.* Application of microwave puffing technology in food [J]. *Farm Prod Proc*, 2008, 08: 26–28, 70.

[11] 张永茂, 庞中存, 顾敏华, 等. 微波-压差膨化苹果脆片生产的设备与工艺研究[J]. *食品科学*, 2007, 11: 210–214.

Zhang YM, Pang ZC, Jie MH, *et al.* Microwave pressure difference of equipment and technology for the production of puffed apple chips [J]. *Food Sci*, 2007, 11: 210–214.

[12] 张永茂, 康三江, 张芳, 等. 微波-压差膨化苹果脆片工艺技术研究[J]. *农业工程技术(农产品加工业)*, 2008, 10: 31–32.

Zhang YM, Kang SJ, Zhang F, *et al.* Microwave pressure puffing in the apple chips technology [J]. *Agric Eng Technol (Agro-Ind)*, 2008, 10: 31–32.

[13] 刘成海, 霍俊伟, 郑先哲, 等. 应用微波真空方法膨化蓝靛果脆片的研究[J]. *东北农业大学学报*, 2009, 11: 116–120.

Liu CH, Huo JW, Zheng XZ, *et al.* Application of vacuum microwave puffing *Lonicera edulis* chips [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2009, 11: 116–120.

[14] 贾晔花. 基于微波真空方法的蓝靛果脆片膨化工艺研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.

Jia SH. Research *Lonicera edulis* vacuum microwave puffing technology-based method of crisps [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009.

[15] 刘海军. 微波真空膨化浆果脆片的机理研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.

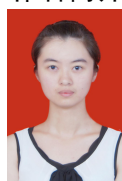
Liu HJ. Study on the mechanism of microwave vacuum puffing berries chips [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013.

- [16] 刘成海, 郑先哲. 微波与微波真空膨化黑加仑果片膨化特性对比[J]. 农业机械学报, 2011, S1: 194-198.
Liu CH, Zheng XZ. Microwave vacuum microwave puffing and puffing characteristic contrast of black currant fruit pieces [J]. T CSAM, 2011, S1: 194-198.
- [17] 王霞, 杨宏志, 刘海军. 绿豆脆饼微波真空膨化条件研究[J]. 食品与机械, 2014, 06: 191-193, 217.
Wang X, Yang HZ, Liu HJ. Mung bean shortbread vacuum microwave puffing conditions [J]. Food Mach, 2014, 06: 191-193, 217.
- [18] 杨润佳, 丁琳, 罗艳辉, 等. 马铃薯涂膜-微波复合膨化工艺的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 06: 89-92.
Yang RJ, Ding L, Luo YH, *et al.* Research on the technology of potato coating - microwave combined with microwave [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2014, 06: 89-92.
- [19] 邓放明, 尹华, 杨钦佳, 等. 营养强化油炸膨化食品的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(1): 84-86.
Deng FM, Yin H, Yang QJ, *et al.* Study on nutrition fortified fried puffed food [J]. Food Sci, 2002, 23 (1): 84-86.
- [20] 苗宇, 李珂, 沈晓萍, 等. 香酥玉米粒油炸膨化感官质量影响因素研究[J]. 四川食品与发酵, 2007, 43(2): 25-28.
Miao Y, Li K, Shen XP, *et al.* Crisp corn fried puffing sensory quality influence factors [J]. Sichuan Food Ferment, 2007, 43(2): 25-28.
- [21] 贾生平. 油炸膨化红薯食品[J]. 中国农村科技, 2002, (7): 43.
Jia SP. Fried sweet potato puffed food [J]. China Rural Sci Technol, 2002, (7): 43.
- [22] 李志雅, 李清明, 苏小军, 等. 果蔬脆片真空加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 17: 384-387.
Li ZY, Li QM, Su XI, *et al.* Research progress in vacuum processing technology of fruit and vegetable chips [J]. Food Ind Technol, 2015, 17: 384-387.
- [23] 程力, 韩葆颖. 非油炸膨化技术: 果蔬加工产业发展的新动力——访中国农业科学院农产品加工研究所毕金峰博士[J]. 农产品加工, 2013, 07: 12-13.
Cheng L, Han BY. Not fried puffing technology: the momentum of fruit and vegetable processing industry development momentum- a visit to the Chinese academy of agricultural sciences institute of agricultural products processing Dr. Bi Jin-Feng [J]. Farm Prod Proc, 2013, 07: 12-13.
- [24] 石启龙, 赵亚. 真空低温膨化技术简介[J]. 中国果蔬加工, 2002, (4): 28.
Shi QL, Zhao Y. Introduction of vacuum low-temperature extrusion technology [J]. Chin Fruit Vegetable Proc, 2002, (4): 28.
- [25] Varnalis AI, Brennan JG, MacDougall DB, *et al.* Optimisation of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology [J]. J Food Eng, 2004, 61(2): 153-163.
- [26] Zapotoczny P, Markowski M, Majewska K, *et al.* Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds [J]. J Food Eng, 2006, 76(4): 469-476.
- [27] Nath A, Chattopadhyay PK, Majumdar GC. High temperature short time air puffed ready-to-eat (RTE) potato snacks: Process parameter optimization [J]. J Food Eng, 2007, 80(3): 770-780.
- [28] Nath A, Chattopadhyay PK. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology [J]. J Food Eng, 2007, 80(4): 1282-1292.
- [29] Nath A, Chattopadhyay PK. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato-soy snack using high-temperature short time air puffing [J]. LWT, 2008, 41(4): 707-715.
- [30] Pardeshi IL, Chattopadhyay PK. Hot air puffing kinetics for soy-fortified wheat-based ready-to-eat (rte) snacks [J]. Food Bioproc Technol, 2010, 3(3): 415-426.
- [31] 龚丽, 毛新, 蒋爱民, 等. 苦荞麦高温短时气流膨化工艺初步研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(5): 282-284.
Gong L, Mao X, Jiang AM, *et al.* Preliminary study on buckwheat puffing process at high temperature for a short time [J]. Food Ind Technol, 2011, 32 (5): 282-284.
- [32] 江宁, 刘春泉, 李大婧, 等. 气流膨化甘薯片的工艺优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 361-367.
Jiang N, Liu CQ, Li DJ, *et al.* Process optimization of the air flow of sweet potato chips [J]. T CSAE, 2010, 26 (11): 361-367.
- [33] 丁继峰, 沈善奎. 挤压技术在食品加工中的应用[J]. 现代化农业, 2006, (3): 37-39.
Ding JF, Shen SK. Application of extrusion technology in food processing [J]. Mod Agric, 2006, (3): 37-39.
- [34] 张欣, 徐慧. 挤压技术在谷类食品加工中的应用[J]. 河北农业科学, 2008, 12(6): 90-91, 111.
Zhang X, Xu H. Extrusion technology in cereal food processing [J]. J Hebei Agric Sci, 2008, 12(6): 90-91.
- [35] 朱国洪, 彭超英, 尹国, 等. 食品挤压技术及最新研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(4): 59-62.
Zhu GH, Peng CY, Yin G, *et al.* Advances in technology and the latest food extrusion [J]. Food Ferment Ind, 2000, 26 (4): 59-62.
- [36] 张泽庆. 食品挤压技术[J]. 包装与食品机械, 2007, 25(6): 13-18.
Zhang ZQ. Food extrusion technology [J]. Packag Food Mach, 2007, 25(6): 13-18.
- [37] 李丽娜. 挤压技术在食品工业中的应用[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2004, 02: 183-186.
Li LN. Application of extrusion technology in the food industry [J]. J Harbin Univ Commerce (Soc Sci Ed), 2004, 02: 183-186.
- [38] 刘志东, 陈雪忠, 黄洪亮, 等. 高湿挤压技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(7): 424-426, 430.
Liu ZD, Chen XZ, Huang HL, *et al.* Development of high moisture extrusion technology [J]. Food Ind Technol, 2012, 33(7): 424-426, 430.
- [39] 张俊艳. 真空油炸技术在食品加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2013, 10: 129-132.
Zhang JY. Application of vacuum frying technology in food processing [J]. Food Res Devel, 2013, 10: 129-132.
- [40] 刘洪义, 杨旭, 吴泽全, 等. 食品油炸技术及其关键设备的研究[J]. 农机化研究, 2011, 06: 95-98.
Liu HY, Yang X, Wu ZQ, *et al.* Fried food technology research and critical equipment [J]. J Agric Res, 2011, 06: 95-98.
- [41] 王娟, 马海乐, 潘忠礼, 等. 低油马铃薯片的加工技术研究进展[J]. 食品工业, 2014, 04: 136-139.
Wang J, Ma HL, Pan ZL, *et al.* Research progress in processing low oil potato chips [J]. Food Ind, 2014, 04: 136-139.
- [42] 赵勇. 降低油炸食品含油量的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008.

- Zhao Y. Study on the oil content of fried food [D]. Chongqing: Southwestern University, 2008.
- [43] 张懋, 祝银银. 调理食品高效油炸的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 02: 113-119.
- Zhang M, Zhu YY. Research progress on prepared food of microwave efficient frying [J]. J Food Sci Biotechnol, 2014, 02: 113-119.
- [44] 周洁, 孔晓玲, 高楠. 微波与热风组合干燥对板栗干燥特性的影响[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(02):11-13, 51.
- Zhou J, Kong XL, Gao N. Effects of combination of microwave and hot-air drying on characteristics of chestnuts [J]. Packag Food Mach, 2009, 27(02): 11-13, 51.
- [45] 胡昊磊, 赵金红, 孙亚松, 等. 果蔬渗透脱水过程动力学研究[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(4): 190-195.
- Hu HL, Zhao JH, Sun YS, *et al.* Kinetics of osmotic dehydration of fruits and vegetables [J]. Dry Technol Equip, 2007, 5(4): 190-195.
- [46] 伊明, 沈卫强. 果品干燥新技术及发展前景[J]. 新疆农机化, 2006, (04): 32-33.
- Yin M, Shen WQ. Kinetics of osmotic dehydration of fruits and vegetables [J]. Xinjiang Agric Mach, 2006, (04): 32-33.
- [47] 张海红, 韩小珍, 刘贵珊. 蔬菜干燥技术与理论研究动态[J]. 宁夏工程技术, 2005, 4(01): 97-100.
- Zhang HH, Han XZ, Liu GS. Development in vegetable-drying technique and its study trends [J]. Ningxia Eng Technol, 2005, 4(01): 97-100.
- [48] 张静, 袁惠新. 几种食品干燥新技术的进展与应用[J]. 包装与食品机械, 2003, 01: 29-32.
- Zhang J, Yuan HX. Development and application of several new technologies for food drying [J]. Packag Food Mach, 2003, 01: 29-32.
- [49] 韩清华, 李树君, 马季威, 等. 微波真空干燥膨化苹果脆片的研究[J]. 农业机械学报, 2006, 37(08): 155-162.
- Han QH, Li SJ, Ma JW, *et al.* Microwave vacuum drying puffing apple chips [J]. T CSAM, 2006, 37(08): 155-162.
- [50] 冯爱国, 李国霞, 李春艳. 食品干燥技术的研究进展[J]. 农业机械, 2012, 18: 90-93.
- Feng AG, Li GX, Li CY. Research progress in food drying technology [J]. Farm Mach, 2012, 18: 90-93.

(责任编辑: 李振飞)

作者简介



颜梦婷, 硕士研究生, 主要研究方向为食品科学。

E-mail: 569188895@qq.com



林向阳, 博士, 教授, 主要研究方向为食物资源综合开发与利用(生物质资源化)。

E-mail: xylin@fzu.edu.cn