不同加工方式对面筋蛋白的影响

王　立，　周若昕，　李　言，　钱海峰，　张　晖，　齐希光，　吴港城
（江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122）

摘要： 面制品是食品中重要的组成部分，面筋蛋白是其中的最重要的组分。在加工过程中，面筋蛋白发生复杂的物理化学变化，赋予面制品良好的质构和风味。面制品加工中常用的冷冻、油炸、发酵和挤压等 4 种加工技术，显著影响着面筋蛋白的物理化学性质，如蛋白质表面疏水性、巯基与二硫键的相互转化、变性和降解，进而影响面制品的品质。作者主要综述了加工技术对面筋蛋白性质的影响及作用机理，对其中存在的问题进行了展望并提出了研究思路。

关键词： 冷冻；油炸；发酵；挤压；面筋网络；蛋白质变性
中图分类号：TS 21　**文章编号：**1673-1689(2019)09-0001-10　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2019.09.001

Effects of Different Processing Methods on Gluten Protein Properties

WANG Li，　*ZHOU Ruoxin*，　*LI Yan*，　*QIAN Haifeng*，　*ZHANG Hui*，　*QI Xiguang*，　*WU Gangcheng*
（School of Food Science and Technology，Jiangnan University，Wuxi214122，China）

Abstract： Gluten is the most important components of flour，and affects the final wheat based products. The physicochemical properties of gluten would be modified during the dough mixing process，which significantly improve the texture and flavor of final products. Freezing，frying，fermentation and extrusion are the four common processing methods for producing wheat based foods，and they modified the physicochemical properties of gluten，such as hydrophobicity，sulphydryl/disulphide interchanges，decomposition and denaturation，which affect the qualities of foods. The effects of four processing methods on gluten properties were summarized in this paper，and the corresponding mechanisms were also discussed. Finally，we made the expectation about the research of gluten for the further application of gluten.

Keywords： freezing，frying，fermentation，extrusion，gluten network，protein denaturation

中国是世界上最大的小麦生产国，产量约占全球总产量的 17%，2012—2013 年度小麦总产量突破 1.2 亿吨，其后一直保持该水平[1]。小麦作为重要的粮食作物，一般加工成各种面制品食用，如馒头、面条、面包、饼干等。小麦粉中蛋白质质量分数约为 12%~15%，其中大部分蛋白质在加工过程中可形成独特的面筋网络结构，其品质与小麦制品品质密切相关[2]。面制品加工过程中，常用到发酵、挤压、油炸、冷冻等加工技术，不同的加工方法制备的产品具有不同的口感与风味。冷冻加工中一般是将面制

收稿日期： 2018-02-09
基金项目： 国家自然科学基金项目(31471617，31471679)。
作者简介： 王　立(1978—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事功能因子及健康食品研究。E-mail：wl0519@163.com
引用本文： 王立，周若昕，李言，等. 不同加工方式对面筋蛋白的影响[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(09)：01-10.

品制成成品(大多为冷冻面团),采用冷冻技术延长其保质期,解冻后进一步熟化食用[3-4],如冷冻饺子、馒头、馄饨、包子以及生产面包所用的冷冻面团等,约占冷冻食品总量的30%以上[5]。油炸加工是用油脂作为热交换介质,使面制品发生一系列物化反应,如淀粉糊化,蛋白质变性,水分以蒸汽形式逸出,最终产品具有酥脆的特殊口感[6],同时高温也具有杀灭细菌、延长货架期、提高营养成分消化率等作用[7],如油条、麻花、沙琪玛、方便面等。发酵加工是利用微生物使一些高分子物质,如淀粉、蛋白质、纤维素等,降解为低分子糖、氨基酸、醇类等易被人体消化和吸收的物质,从而提高最终产品的营养价值[8],主要包括蒸制和焙烤两类产品,如馒头、花卷、蒸糕、面包、披萨等产品[9]。挤压加工通过高压、高温和机械剪切,食品原料迅速润湿、膨胀、熟化,使得食品成分的功能特性改变[10-11],时间短,生产率高,能有效保留或改善面团的感官和营养特性[12]。

在冷冻、油炸、发酵、挤压这4种加工方法在实际生产过程中,均能显著影响面筋蛋白的理化性质,但缺乏对其机理的研究,有待更为深入的探索。作者主要综述了冷冻、油炸、发酵、挤压在面制品中的应用,分析了在加工过程中面筋蛋白所受到的作用及其机理,以期为面制品的深入开发提供一定的参考。

1 冷冻加工对面筋蛋白的影响

冷冻技术是食品加工和保存中最重要的单元操作之一,几乎所有的食品,包括半成品和预制品都可以通过冷冻来保存[13]。面制品常温保质期较短,且易发生一些化学和物理变化,甚至发霉、变质[14]。而冷冻面制品具有便于冷藏、运输、能够标准化生产等优点,越来越受到青睐[5]。但冷冻面制品也存在蒸煮质量差、抗冻裂能力弱、微生物超标等质量问题[15]。大量研究表明,冷冻对面筋蛋白以及最终产品品质有重要影响,因此,研究冷冻对面筋蛋白的影响对于冷冻面团技术和最终产品质量有重要意义。

1.1 面筋蛋白结构的变化

研究发现冷冻面制品质量下降主要是由于冷冻过程破坏面筋蛋白网络结构[16]。从能量的角度来看,蛋白质总是处于最低能量状态,以保持在新环境中的相对稳定。一旦暴露于冷冻环境,蛋白质就会自行折叠或展开导致构象变化进而变性。Zhao等人[17]发现冷冻面团在储存过程中面筋蛋白的相对分子质量和回转半径减小,说明面筋蛋白在此期间发生了解聚变性,他们发现谷朊粉贮藏120 d后高相对分子质量的麦谷蛋白质量分数下降了40.83%,表明冷冻面团的面筋已经降解从而破坏了面筋网络。面团中的面筋蛋白网络结构是一个多孔基质,在水合之后,孔隙被水填充,冷冻后则被冰晶填充。在低温收缩过程中,分离相邻冰晶的蛋白质间质区域变小,导致面筋蛋白微观结构受到机械损伤[18]。蛋白质和水分子在冰晶积压作用下产生位移,彼此接近后产生凝聚沉淀反应[19]。Berglund等人[20]认为在面团冻融过程中,面团的结构性变化导致了面筋网络的破坏,而面筋结构的破坏主要体现在二级结构的变化上,涉及二硫键、氢键和疏水性相互作用的复杂相互变化[21]。有研究表明[22]α-螺旋结构会部分转变为β-转折和β-折叠结构,使得面筋网络结构变得不稳定。王世新等人[23]发现面团经冷冻以后,淀粉和蛋白质的线性分子重新排列并通过氢键使面筋网络结构发生改变。

冷冻加工会破坏面筋蛋白网络结构,进而导致面团的持气能力下降、营养物质和酵母代谢产物的扩散受到限制[24]。刘亚楠等人[25]实验发现在小麦粉中添加质量分数2%的面筋蛋白,能使冷冻面团形成更多更强的面筋网络结构,以此提高冷冻过程中抗重结晶破坏能力。Kontogiorgos等人[26]报道零度以下的高水分含量蛋白质体系(包括肌红蛋白、血红蛋白、溶菌酶、麦谷蛋白),在冷却过程中玻璃化,对面筋蛋白网络结构伤害小,他们将这一现象归因于水与蛋白质的相互作用,认为这些相互作用增加了水合结构中原子-原子间相互作用。

1.2 面筋蛋白表面疏水性的变化

赵雷[27]发现面团在冻融过程中,可以在较短时间内发生重结晶,同时氧气与面团接触也会通过破坏分子间二硫键而造成麦谷蛋白分子的解聚。二硫键断裂会破坏面筋蛋白的结构,使面筋蛋白分子构象发生改变,导致分子内部一些疏水基团暴露,显著提高面筋蛋白的表面疏水性[28]。Schofield等人[29]观察到麦谷蛋白亚基部分紧密折叠,并通过芳香族和脂肪族侧链的疏水基团相互作用而结合,导致蛋白质疏水性增大。冷冻加工处理后面筋蛋白疏水基团暴露,导致蛋白质热稳定性变差、无序结构减少。Wang等人[30]认为在冷冻储存期间,小麦蛋白质更多

的疏水性结合位点暴露,导致蛋白质基质和水之间的关联减弱。冻藏诱导 α-螺旋结构向无规则卷曲结构转变,使分子链柔性变差,并降低蛋白表面疏水性,使蛋白质在气液界面吸附能力变差。而 Wang 等人[31]发现冻藏后麦谷蛋白和麦醇溶蛋白的 α-螺旋结构含量分别下降了 17.57%和 23.44%,同时,麦谷蛋白和麦醇溶蛋白的 β-折叠结构含量增加了 8.89%和 10.49%,麦谷蛋白和麦醇溶蛋白的 β-转折结构含量增加了 10.27%和 11.60%，表明冷冻保存不利于 α-折叠结构，同时 β 结构的增多也意味着蛋白质成为了疏水性更强的刚性结构。小麦面筋蛋白更多的疏水部分暴露，导致其吸水能力较低,面团中水流动性较高,使得蛋白质变性温度升高。

冷冻工艺是影响冷冻面制品品质的关键因素,目前相关的研究主要集中在冷冻对面筋蛋白二级结构以及面筋网络结构的影响,但是面团是个复杂体系,除面筋外的其他成分(如木聚糖)都在面团中发挥重要的作用,有待深入研究。

2 油炸加工对面筋蛋白的影响

油炸是以高温油脂为介质,使物料在高温下快速脱水并熟化的过程[32]。面制品油炸过程中,蛋白质和其他成分会发生物理化学变化或互相作用而产生特殊风味[33]。油炸面制品种类繁多,如沙琪玛、方便面、油条、麻花等[34]。随着人们对健康意识的加强,越来越多的研究人员关注油炸面制品中较高的含油量、可能的毒害物质以及油炸过程中营养素破坏等问题[35]。研究表明,面筋蛋白在其中起到很重要的作用,因此,研究油炸对面筋蛋白品质的影响有重要意义。

2.1 面筋网络结构增强

油炸过程中的高温,会改变蛋白质等营养素的结构,破坏蛋白质的氨基酸链,引起氨基酸之间相互作用形成凝胶网络的球形聚集体[36]。Anderson 等人[37]发现面团经油炸后,游离巯基含量的下降与二硫键含量的上升不平衡,推测高温油炸使半胱氨酸残基形成分子间 C-S 键。张媛[38]发现油炸过程中,小麦蛋白 α-螺旋的含量下降,而 β-折叠含量上升,蛋白质有序结构含量增加，无序结构含量减少,蛋白质骨架更稳定,面筋网络结构强度增强。Chen 等人[39]认为油炸过程中面筋蛋白能形成热塑性薄膜,可以有效防止食物内的水蒸发。Jamshid 等人[40]认为面筋形成过程中，在其网络结构中容纳的空气和水,能增大蛋白质薄膜的机械强度。Bouchon 等人[41]认为油炸后糊化的淀粉填充在变性的蛋白质中[36],形成强度更大、更有弹性的蛋白质网络,使面糊壳层渗透性变差，从而最终产品的油脂残留量少,这与 Gazmuri 等人[42]的研究结果一致,他们发现面筋含量较高的油炸面制品中含油量明显低于面筋含量低的。张媛[38]发现油炸之后,谷蛋白大聚体(GMP)的提取率大幅上升,推测高温油炸使蛋白质发生热变性,低相对分子质量蛋白质或单体蛋白质聚集形成蛋白质大聚体。GMP 与面筋强度关系密切,其含量越高,面筋的强度和弹性越大[43]。安红周等人[44]发现,油炸之前在面团中添加乳化剂,与淀粉形成复合物来抑制淀粉老化。而未老化的淀粉能与面筋蛋白结合,促使蛋白质聚集,从而面团网络结构更加均匀[45]。

2.2 面筋蛋白营养价值下降

油炸使蛋白质分子通过共价健形成大聚合物,使提取率下降。师俊玲[46]发现,蛋白质在高温下热变性,麦谷蛋白的提取率急剧下降。氧化的脂类分子如过氧化氢、羰基和环氧化物易与胺、硫醇族的蛋白质反应生成大分子,使油炸面制品消化率下降[47]。氨基酸、多肽、蛋白质的游离氨基与还原糖的羰基发生美拉德反应,赋予食品金黄色泽和独特香味[48],同时参与反应的氨基酸可利用性和蛋白质的消化率下降。有研究发现[49],植物蛋白油炸过程产生的多环芳烃化合物可能引起呼吸道癌症。面制品中高含量的还原糖和天冬酰胺通过美拉德反应生成了丙烯酰胺[50]。然而,Huang 等人[51]发现发酵会降低油炸面团中的丙烯酰胺含量,他们推测是由于酵母减少了面团中游离天冬酰胺含量从而限制了丙烯酰胺的形成。

目前油炸过程中面筋的变化,主要集中在利用面筋蛋白网络的成膜性开发新型油炸食品外裹层材料,以及油炸可能导致最终产品含有某些毒害物质等方面。关于油炸对面筋蛋白二级结构的影响及面筋蛋白与其他组分相互作用的研究较少,有待后续深入研究。

3 发酵加工对面筋蛋白的影响

发酵技术是利用微生物的发酵作用,运用一些技术手段控制发酵过程,大规模生产发酵产品的技

术[52]。发酵能抑制微生物腐败、增加面团体积、延缓老化、改善面制品风味、降低产品血糖指数以改善其营养质量[53]。小麦蛋白与水结合形成面筋网状结构,在发酵过程中容纳 CO_2 气体,膨胀成海绵状结构[54]。研究表明,影响面团发酵的因素不仅是蛋白质含量,更是蛋白质质量[55]。因此,研究发酵、微生物的代谢活动对面筋蛋白的影响,可以为生产高品质发酵面食提供依据。

3.1 蛋白质与其他组分相互作用

在发酵过程中,蛋白质和面团中的还原糖、脂质、维生素等组分反应生成复合物,改变了蛋白质的溶解性[56]。研究发现[55],在面团搅拌过程中,蛋白质和内源极性半乳糖脂相互作用,形成复合物。Steertegem 等人[57]认为面筋蛋白在淀粉颗粒周围相互交联,形成面筋网络屏障以减少淀粉受损。张一[58]发现发酵过程中,蛋白质和维生素 B6、还原糖发生化学反应。Nutter 等人[59]发现蜂蜜使面筋蛋白亚基之间键合更紧密,面筋网络结构强度增强。面团发酵常加入氯化钠,中和麦谷蛋白上的电荷,减少蛋白质之间的静电排斥,影响麦谷蛋白之间的氢键和疏水相互作用而使其 β 结构增多,进而形成更紧密有序的面筋网络结构[60]。研究发现[61],全麦面团中阿拉伯木聚糖与面筋蛋白通过阿魏酸与麦谷蛋白的酪氨酸-酪氨酸键合,进而阻碍面筋网络的形成。

3.2 蛋白质的分解

王香玉[62]报道面团发酵过程中,面筋蛋白发生一定程度解聚,面筋蛋白网络从粗糙、不均匀变得连续、均匀,具有良好的延展性和粘弹性。Wang 等人[63]发现,发酵初期气泡不断挤压面团,形成粗糙、不均匀的面筋网络结构,随着发酵的进行,面筋蛋白不断展开重聚,形成均匀、紧密的面筋网络。刘长虹等人[64]发现在发酵过程中,酵母产生乙醇,部分溶解麦醇溶蛋白,而麦谷蛋白也因氧化、醇和酸作用而减弱分子间的作用。Gerez 等人[65]报道,乳酸菌产酸降低酸面团的 pH,激活内源蛋白酶,使其水解麦谷蛋白、解聚 GMP、增大面筋网络的强度,进而改善面团的粘弹性。Rizzello 等人[66]发现麦谷蛋白的降解程度与发酵时间成正比。Thiele 等人[67]发现,发酵过程中 pH 下降激活天然酶类,使蛋白质水解。李永强[68]发现,GMP 提取率下降的原因可能是蛋白质链间的二硫键或氢键断裂,形成低相对分子质量蛋白质。研究发现[58],面团发酵过程中很偶然会发生斯蒂克兰降解,少数厌氧梭菌能利用蛋白质分解的氨基酸作碳源、氮源和能源。

发酵过程中,蛋白质被分解为小肽和氨基酸,改善了发酵面食的口感、风味、质构。氨基酸和小肽不仅可以影响发酵面食的风味,还通过微生物代谢或热反应转化为挥发性风味物质[69]。Thiele 等人[70]发现,酸面团发酵过程中蛋白质水解为氨基酸,改善了面包风味。Siddiqi 等人[71]发现,面团短时发酵过程中酵母产酸,酸性环境激活小麦中的酶如天冬氨酸蛋白酶和羧肽酶,水解蛋白质为多肽。Salmenkalliomarttila 等人[72]发现,黑麦酸面团发酵过程中,内源性蛋白酶特别是天冬氨酸蛋白酶会水解黑麦蛋白来产生特殊的风味前体物质——氨基酸和小肽。Thiele 等人[73]发现,微生物会影响小麦蛋白质水解产生的多肽聚合度大小。Cagno 等人[74]认为乳酸菌促进了小麦蛋白质的水解。异型发酵乳酸杆菌酸化面团并减少了面筋蛋白的二硫键含量,增加面筋蛋白的溶解度,使面筋蛋白更易被酶解[75]。无微生物作用时,蛋白质水解产物大多为多肽;乳酸杆菌存在的情况下,则主要是相对分子质量较小的二肽和氨基酸。植物乳酸菌发酵的酸面团降解蛋白质,提高人体对蛋白质的吸收利用率,改善了发酵面食的营养价值[76]。

发酵面食历史悠久,国内外已开展较多研究,主要围绕面筋蛋白与其他组分相互作用形成网络结构,以及发酵过程中降解面筋蛋白以提高发酵面食的营养价值等方面。而对新型面团发酵技术、酵母的选育等方面研究较少,有待后续深入研究。

4 挤压加工对面筋蛋白的影响

挤压是指经预处理后的物料经过高温、高压和剪切处理,最后通过模具而形成一定形状和组织状态的产品过程[77]。挤压过程中包括蛋白质在内的多种组分发生物理化学变化或相互作用,会形成特殊的组织结构[78],可用于生产富含营养、风味多样化、食用方便的新型食品[79]。这一技术目前已被广泛用于一系列食品的生产,如早餐麦片、肉类替代品、婴儿辅食、零食小吃等[80]。大量研究表明,挤压对面筋蛋白以及最终产品品质有重要影响。

4.1 蛋白质与其他组分相互作用

挤压过程中,蛋白质展开,与其他成分交联形成新的结构,如淀粉-蛋白质复合物、蛋白质-脂质

复合物[81]。Teresai 等人[82]发现,蛋白质–脂质复合物的存在减少了脂质与淀粉的结合,增加了最终产品的熔融粘度。杜双奎等人[83]发现在挤压过程中生成的脂肪复合体，脂肪受到淀粉和蛋白质的保护,能有效降低其被氧化的速度和程度,从而延长产品的货架期。Mario 等人[84]发现在挤压加工中,淀粉大颗粒被面筋蛋白与小分子淀粉颗粒结合的基质包裹,形成紧密的结构。Cabrera 等人[85]发现,在挤压过程中,蛋白质的变性加强了与淀粉、脂肪等组分的复合程度,改善了产品的质构特性。

Peighambardoust 等人[86]剪切处理小麦蛋白质和淀粉的混合物发现,淀粉颗粒均匀分布在面筋网络中。若挤压过程中有大量淀粉存在,糊化的淀粉与蛋白质结合，影响分散系数（PDI 值）的测定[83]。Fabrizio 等人[87]认为水分影响面团的面筋网络形成,同时在挤压过程中起到润滑作用。Maud 等人[88]认为在高温干燥条件下挤压面制品,可以增大蛋白质网络结构的强度,进而包裹淀粉不被酶分解。

4.2 蛋白质聚合与交联变性

挤压过程中,蛋白质发生了许多变化,其中最重要的是变性[89]。蛋白质受到挤压机腔内高温高压及强机械剪切作用,其表面电荷重新分布且趋于均一化,二硫键被部分还原为巯基,蛋白质分子间键重排使蛋白质聚集、组织化和变性。Rebello 等人[90]发现在挤压面粉中蛋白质的降解和交联是以氮和硫为中心的自由基作为重要介质。李诚等人[91]发现小麦蛋白在挤压过程中发生了变性和分子间重排,形成了具有类似肉质特性的纤维化结构。剪切速率低,蛋白质分子随机排列,剪切速率高,蛋白质在剪切方向上排列,进而降低面团的粘度[92]。挤压过程中,面筋蛋白在热剪切、摩擦等作用下,维持网络结构的交联键被破坏,蛋白质呈线性、活性基团暴露的状态,高压作用下,蛋白质重新交联,形成具有各向异性的纤维结构和分层结构[93]。Osen 等人[94]认为蛋白质由于压力和温度的共同作用,在挤出方向上重新排列形成各向异性的面筋蛋白网络。张丙虎等人[95]发现,麦谷蛋白含量越高,挤压的最终产品黏聚性越高,硬度越高,但组织化程度变低。

杜双奎等人[83]发现蛋白质经挤压加工变性后,原先在分子内部的疏水性氨基酸残基暴露,使挤压蛋白在水合体系中的溶解性降低,蛋白质的分散指数(PDI 值)下降。Mei 等[93]发现,挤压最终产品中蛋白质溶解度的降低,可能是蛋白质分子间二硫键和疏水相互作用导致小麦蛋白质聚集、相对分子质量增加而造成的。Ke 等人[96]发现,在挤出过程中,蛋白质通过加热筒和剪切螺丝而受到热应力和机械应力,其天然结构发生改变,形成可溶性/不溶性聚集体。Maud 等人[88]发现,挤压过程中的高温能促进蛋白质通过肽间交联或美拉德反应,生成稳定的不可逆蛋白质聚集体。Pietsch 等人[97]认为不同挤压螺杆断面得到的产品中小麦面筋聚合度不同,进而影响最终产品品质。

4.3 蛋白质营养价值提高

挤压产品的蛋白质消化率高于非挤压产品,可能是因为蛋白质变性和阻碍消化的抗营养因子的失活[98]。Maurya 等人[99]发现,在挤压过程中蛋白质的变性提高了其消化率,并使面粉中的抗营养因子失活。Rathod 等人[100]认为挤压破坏酶、抗营养因子,特别是抑制蛋白质消化率的抗营养因子,如胰蛋白酶抑制剂,血凝素,单宁酸和肌醇六磷酸盐,提高蛋白质的营养价值。Shivendra 等人[98]发现,提高挤出温度能增大面粉中蛋白酶抑制剂的失活程度,进而提高蛋白质的消化率。Bhattacharya 等人[101]发现增加螺杆速度以增大剪切力，能使蛋白质更易变性,并提高其消化率。

围绕挤压面制品方面的研究主要集中在调整配方、优化工艺以提高挤压面制品的营养价值和改变产品风味等方面[102],在挤压对面筋网络结构行为方面的研究,还有待深入研究。

5 展 望

冷冻、油炸、发酵、挤压作为面制品常用的加工方法均对面筋蛋白的理化性质产生影响,所以了解不同加工方法对面筋蛋白的物化性质产生的影响及加工过程中面筋蛋白与面粉中其他组分之间的相互作用,深入研究其作用机理并优化调控加工方法,对于改善和控制面制品产品品质及对其进行进一步开发具有深远的意义。

虽然目前已经有较多关于面筋蛋白的相关研究,但仍存在一些问题:(1)目前关于加工技术方面的研究主要集中在其对面筋蛋白性质的影响,而面筋蛋白性质发生的变化对后续产品品质的影响还有待进一步的研究。(2)部分加工手段使面筋蛋白消化率下降、发生的副反应可能产生有害副产物,

缺乏如何改进加工工艺对其进行有效控制方面的研究。(3)在加工过程中,主要研究关于淀粉-面筋蛋白的相互作用,食品体系中其他食品组分与面筋蛋白的相互作用的相关研究较少。

针对上述存在的问题,建议今后可以围绕以下方面开展研究:(1) 结合面筋蛋白对食品品质的影响,深入研究加工手段、面筋蛋白性质、产品品质三者之间的关系。(2)围绕实际体系中的各种组分,模拟实际加工过程,研究其相互作用,并探究这些变化对产品品质的影响。(3)不同加工手段对面筋蛋白营养品质会有不同的影响,分别对其进行研究以明确其调控机制。

参考文献:

[1] SUN Hui,OUYANG Shuhong,DUAN Xiaoliang. Wheat quality in China - status and challenge [J]. **Science and Technology of Cereals,Oils and Foods**,2017,25(2):1-4. (in Chinese)

[2] ZHANG Guozeng,ZHENG Xuelin,ZHONG Kui,et al. Study on the relationship between protein character and processing quality of wheat flour[J]. **Journal of Nuclear Agricultural Sciences**,2012,26(7):1012-1017. (in Chinese)

[3] WANG Chongchong,MA Sen,WANG Xiaoxi. Study on the fermentation characteristics of frozen dough [J]. **Cereals & Oils**,2017,30(6):27-31. (in Chinese)

[4] KONDAKCI T,ZHANG J W,ZHOU W. Impact of flour protein content and freezing conditions on the quality of frozen dough and corresponding steamed bread[J]. **Food & Bioprocess Technology**,2015,8(9):1877-1889.

[5] WANG Xingxing,YU Xiaolin,HU Zhuoyan,et al. Research status and improvement advance on the frozen flour product[J]. **Food & Bioprocess Technology**,2015,28(7):5-8. (in Chinese)

[6] MIRBEL J,ORIA R,SALVADOR M L. Influence of temperature on heat transfer coefficient during moderate vacuum deep-fat frying[J]. **Journal of Food Engineering**,2012,113(2):167-176.

[7] JIN Huali,GU Keren. Safety Analysis of fried food and its harm prevention [J]. **China Oils and Fats**,2010,35 (9):74-77. (in Chinese)

[8] ZHANG wei,LIU Changhong,MA Zhigang. The changes of protein and Vitamin B6 during dough fermentation [J]. **Grain Processing**,2004,29(2):41-44. (in Chinese)

[9] CHU Yanpei. Innovation and development of fermented flour products[J]. **Modern Flour Milling Industry**,2016,30(6):19-22. (in Chinese)

[10] 张明. 麦麸挤压改性及其在面制品中的应用研究[D]. 泰安:山东农业大学,2011.

[11] CASTELLS M,MARIN S,SANCHIS V,et al. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking:A review [J]. **Food Additives & Contaminants**,2005,22(2):150-157.

[12] RAYASDUARTE P,MAJEWSKA K,DOETKOTT C. Effect of extrusion process parameters on the quality of buckwheat flour mixes[J]. **Cereal Chemistry**,2007,75(3):338-345.

[13] MARELLA C,MUTHUKUMARAPPAN K. Chapter 13-food freezing technology [J]. **Handbook of Farm Dairy & Food Machinery Engineering**,2013:355-378.

[14] ZAMBELLI R,GALVAO A M T,LUAN I F P,et al. Effect of vegetable powders on the bread quality made from frozen dough [J]. **International Journal of Food Sciences & Nutrition**,2017,6(1):1.

[15] YE Xiaofeng,HE Na,JIANG Feixiang,et al. Research progress in quality improvement of frozen non-fermented flour products [J]. **Food Science**,2013,34(11):369-374. (in Chinese)

[16] WANG R,ZHOU W,YU H H,et al. Effects of green tea extract on the quality of bread made from unfrozen and frozen dough processes[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**,2010,86(6):857-864.

[17] ZHAO L,LI L,LIU G Q,et al. Effect of frozen storage on molecular weight,size distribution and conformation of gluten by SAXS and SEC-MALLS[J]. **Molecules**,2012,17(6):7169-7182.

[18] KIEFFER R,SCHURER F,KOHLER P,et al. Effect of hydrostatic pressure and temperature on the chemical and functional properties of wheat gluten:Studies on gluten,gliadin and glutenin[J]. **Journal of Cereal Science**,2007,45(3):285-292.

[19] HUANG Na,DU Shuangquan. Explore the frozen pasta fermentation technology[J]. **Grain Distribution Technology**,2016(10):100-101. (in Chinese)

[20] BERGLUND P T,SHELTON D R,FREEMAN T P. Frozen bread dough ultrastructure as affected by duration of frozen storage and freeze-thaw cycles[J]. **Cereal Chemistry**,1991,68(1):105-107.
[21] KOH B K,LEE G C,LIM S T. Effect of amino acids and peptides on mixing and frozen dough properties of wheat flour[J]. **Journal of Food Science**,2010,70(6):s359-s364.
[22] WANG P,JIN Z,XU X. Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage – A review from gluten,glutenin and gliadin perspectives[J]. **Trends in Food Science & Technology**,2015,46(2):189-198.
[23] WANG Shixin,YANG Qiang,LI Xinhua. Effect of moisture on texture and gluten protein secondary structure in frozen wheat dough[J]. **Food Science**,2017,38(9):149-155. (in Chinese)
[24] YI J,KERR W L. Combined effects of freezing rate,storage temperature and time on bread dough and baking properties[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2009,42(9):1474-1483.
[25] LIU Yanan,WANG Xiaoxi,DONG Qiucheng. Effects of gluten protein on microstructure on frozen dough and the quality of steamed bread[J]. **Cereal & Feed Industry**,2012(10):6-9. (in Chinese)
[26] KONTOGIORGOS V,GOFF H D. Calorimetric and microstructural investigation of frozen hydrated gluten[J]. **Food Biophysics**,2006,1(4):202-215.
[27] ZHAO Lei,HU Zhuoyan,LIU Guoqin,et al. Effects of frozen-thaw cyclic storage on the molecular structure of hydrated gluten and farinograph properties of the dough[J]. **Journal of South China Normal University(Natural Science Edition)**,2016(3). (in Chinese)
[28] LIU Guoqin,LIU Xiaojun,LI Lin,et al. Effects of frozen storage time on structure and thermal properties of wet wheat gluten[J]. **Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition)**,2011,32(5):1-5. (in Chinese)
[29] JD Schofield,IC Baianu. Solid-state,cross-polarization magic-angle spinning carbon-13 nuclear magnetic resonance and biochemical characterization of wheat proteins[J]. **Cereal Chemistry**,1982,59(4):240-245.
[30] WANG P,CHEN H,MOHANAD B,et al. Effect of frozen storage on physico-chemistry of wheat gluten proteins:Studies on gluten-,glutenin- and gliadin-rich fractions[J]. **Food Hydrocolloids**,2014,39(8):187-194.
[31] WANG P,XU L,NIKOO M,et al. Effect of frozen storage on the conformational,thermal and microscopic properties of gluten: comparative studies on gluten-,glutenin- and gliadin-rich fractions[J]. **Food Hydrocolloids**,2014,35(3):238-246.
[32] MORENO M C,BROWN C A,BOUCHON P. Effect of food surface roughness on oil uptake by deep-fat fried products[J]. **Journal of Food Engineering**,2010,101(2):179-186.
[33] 林俊虹,李汴生. 油炸食品控油机理及方法综述[C]//“食品工业新技术与新进展”学术研讨会暨2014年广东省食品学会年会论文集. 2014:220-224.
[34] HE Hongwei,CHEN Jie,WANG Chun,et al. Study on oil's quality change in deep-frying process and its effects on the shelf life of fried noodle[J]. **Food Science and Technology**,2008,33(6):47-49. (in Chinese)
[35] MYERS A S. Exploring the Synergistic Effect of corn and oat fiber on egg albumin-induced reduction in oil absorption during frying[J]. 2011.
[36] BORDIN K,KUNITAKE M T,ARACAVA K K,et al. Changes in food caused by deep fat frying--a review [J]. **Archivos Latinoamericanos De Nutrición**,2013,63(1):5-13.
[37] ANDERSONnderson A K,PKW N. Changes in disulfide and sulfhydryl contents and electrophoretic patterns of extruded wheat flour proteins[J]. **Cereal Chemistry**,2000,77(3):354-359.
[38] 张媛. 小麦蛋白和淀粉加工性质变化及其对油条品质的影响[D]. 合肥:合肥工业大学,2016.
[39] CHEN L,REDDY N,WU X,et al. Thermoplastic films from wheat proteins [J]. **Industrial Crops & Products**,2012,35(1):70-76.
[40] RAHIMI J,NGADI M O. Surface ruptures of fried batters as influenced by batter formulations [J]. **Journal of Food Engineering**,2015,152:50-56.
[41] BOUCHON P,PYLE D L. Studying oil absorption in restructured potato chips [J]. **Journal of Food Science**,2010,69(3):FEP115-FEP122.
[42] GAZMURI A M,BOUCHON P. Analysis of wheat gluten and starch matrices during deep-fat frying [J]. **Food Chemistry**,2009,115(3):999-1005.

[43] WANG P,LEE T C,XU X,et al. The contribution of gluten in macro polymer depolymerization to the deterioration of frozen steamed bread dough quality[J]. **Food Chemistry**,2016,211:27-33.
[44] AN Hongzhou,XUE Wentong,LI Panxin,et al. Effects of different wheat flours on quality of youtiao[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**,2008,23(6):51-55. (in Chinese)
[45] DING S,YANG J. The influence of emulsifiers on the rheological properties of wheat flour dough and quality of fried instant noodles[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2013,53(1):61-69.
[46] 师俊玲. 蛋白质和淀粉对挂面及方便面品质影响机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2001.
[47] 何东平. 油脂化学[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
[48] LI Chaowen,GUO Xiaona,ZHU Kexue. Analysis of flavor composition of fried bread stick and study of the effect of wheat bran on aroma profile[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**,2015,30(5):6. (in Chinese)
[49] WANG Juan,XU Guihua. Analysis of frying food safety and countermeasures [J]. **Food and Nutrition in China**,2006(4):58-60. (in Chinese)
[50] MOTTRAM D S,WEDZICHA B L,DODSON A T. Food chemistry:acryl amide is formed in the Millard reaction [J]. **Nature**,2002,419(419):448-449.
[51] HUANG W,YU S,ZOU Q,et al. Effects of frying conditions and yeast fermentation on the acrylamide content in you-tiao,a traditional Chinese,fried,twisted dough-roll [J]. **Food Research International**,2008,41(9):918-923.
[52] 黄晓梅,周桃英,何敏. 发酵技术[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
[53] GANZLE M G,VOGEL R F. Contribution of reutericyclin production to the stable persistence of Lactobacillus reuteri in an industrial sourdough fermentation[J]. **International Journal of Food Microbiology**,2003,80(1):31-45.
[54] TOYOSAKI T,SAKANE Y. Effects of salt on wheat flour dough fermentation [J]. **Advance Journal of Food Science & Technology**,2013,5(2):84-89.
[55] PENG Yifeng,LIU Yanjun. Discussion on the fermentation factors of steamed bread [J]. **Food Processing**,2015 (1):50-51. (in Chinese)
[56] 孝英达. 冷藏发酵面团及其面包品质变化及提升[D]. 无锡:江南大学,2016.
[57] STEERTEGEM B V,PAREYT B,SLADE L,et al. Impact of heat treatment on wheat flour solvent retention capacity (SRC) profiles[J]. **Cereal Chemistry**,2013,90(6):608-610.
[58] 张一. 面团发酵过程控制对馒头品质的影响研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
[59] NUTTER J,FRITZ R,SAIZ A I,et al. Effect of honey supplementation on sourdough:Lactic acid bacterial performance and gluten microstructure[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2017,77:119-125.
[60] TUHUMURY H C D,SMALL D M,DAY L. The effect of sodium chloride on gluten network formation and rheology [J]. **Journal of Cereal Science**,2014,60(1):229-237.
[61] SIVAM A S,SUNWATERHOUSE D,QUEK S,et al. Properties of bread dough with added fiber polysaccharides and phenolic antioxidants:a review[J]. **Journal of Food Science**,2010,75(8):163-74.
[62] 王香玉. 馒头制作过程中蛋白交联行为及其对品质的影响[D]. 无锡:江南大学,2016.
[63] WANG X Y,GUO X N,ZHU K X. Polymerization of wheat gluten and the changes of glutenin macropolymer (GMP) during the production of Chinese steamed bread[J]. **Food Chemistry**,2016,201:275-283.
[64] LIU Changhong,GONG Shanshan,HAN Dandan,et al. Changes of dough gluten in the depth of the fermentation process [J]. **Food Science and Technology**,2015(2):204-207. (in Chinese)
[65] GEREZ C L,DALLAGNOL A,ROLLAN G,et al. A combination of two lactic acid bacteria improves the hydrolysis of gliadin during wheat dough fermentation[J]. **Food Microbiology**,2012,32(2):427-30.
[66] RIZZELLO C G,CURIEL J A,NIONELLI L,et al. Use of fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria for making wheat bread with an intermediate content of gluten[J]. **Food Microbiology**,2014,37(2):59-68.
[67] THIELE C,GRASSL S,GANZLE M. Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation [J]. **J Agric Food Chem**,2004,52(5):1307-131.
[68] 李永强. 小麦蛋白质和淀粉对面团流变学特性及加工品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2007.
[69] SABOVICS M,STRAUMITE E,GALOBURDA R. Detection of volatile compounds during wheat dough fermentation [C]//

Research for Rural Development. International Scientific Conference Proceedings (Latvia). 2011.
[70] THIELE C,GANZLE M G,VOGEL R F. Contribution of sourdough lactobacilli,yeast,and cereal enzymes to the generation of amino acids in dough relevant for bread flavor.[J]. **Cereal Chemistry**,2007,79(1):45-51.
[71] SIDDIQI R A,SOGI D S,SEHAJPAL P K. Effect of short-term sourdough fermentation on wheat protein [J]. **Cogent Food & Agriculture**,2016,2(1):1132983.
[72] SALMENKALLIOMARTTILA M,KATINA K,AUTIO K. Effects of bran fermentation on quality and microstructure of high-fiber wheat bread.[J]. **Cereal Chemistry**,2001,78(4):429-435.
[73] THIELE C,GANZLE M G,VOGEL R F. Fluorescence labeling of wheat proteins for determination of gluten hydrolysis and depolymerization during dough processing and sourdough fermentation [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**,2003,51(9):2745.
[74] CAGNO R D,ANGELIS M D,LAVERMICOCCA P,et al. Proteolysis by sourdough Lactic Acid bacteria:effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance[J]. **Appl Environ Microbiol**,2002,68(2):623-633.
[75] LIU Tiantian,WANG Jinshui,FENG Jingli,et al. Research progress of protein degradation in sourdough fermentation[J]. **Journal of Food Safety and Quality**,2016,7(1):220-224.(in Chinese)
[76] WANG Jinshui,YANG Sen,JIA Zheng,et al. Patterns of protein degradation and peptide formation during sourdough fermentation[J]. **Modern Food Science and Technology**,2015(10):69-73.(in Chinese)
[77] LIU Xingxin. Application of extrusion technology in grain processing [J]. **Cereal and Food Industry**,2011,19 (2):5-10.(in Chinese)
[78] GOMEZ M H,AGUILERA J M. Changes in the starch fraction during extrusion - cooking of corn[J]. **Journal of Food Science**,2010,48(2):378-381.
[79] ZHANG Zheqing. Food extrusion processing[J]. **Food Processing**,2008,33(2):13-18.(in Chinese)
[80] WANG K,LI C,WANG B,et al. Formation of macromolecules in wheat gluten/starch mixtures during twin-screw extrusion:effect of different additives[J]. **Journal of the Science of Food & Agriculture**,2017.
[81] PILLI T D,JOUPPILA K,IKONEN J,et al. Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour[J]. **Journal of Food Engineering**,2008,87(4):495-504.
[82] DE PILLI T,LEGRAND J,DEROSSI A,et al. Effect of proteins on the formation of starch–lipid complexes during extrusion cooking of wheat flour with the addition of oleic acid[J]. **International Journal of Food Science & Technology**,2015,50(2):515-521.
[83] DU Shuangkui,WEI Yimin,ZHANG Bo. Changes of material components during extrusion[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**,2005,20(3):39-43.(in Chinese)
[84] MARTINEZ M,OLIETE B,GOMEZ M. Effect of the addition of extruded wheat flours on dough rheology and bread quality[J]. **Journal of Cereal Science**,2013,57(3):424-429.
[85] CABRERA-CHAVEZ F,BARCA A M C D L,ISLAS-RUBIO A R,et al. Molecular rearrangements in extrusion processes for the production of amaranth-enriched,gluten-free rice pasta[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2012,47(2):421-426.
[86] PEIGHAMBARDOUST S H,AJ V D G,HAMER R J,et al. A new method to study siimple shear processing of wheat gluten-starch mixtures[J]. **Cereal Chemistry**,2004,81(6):714-721.
[87] SARGHINI F,ROMANO A,MASI P. Experimental analysis and numerical simulation of pasta dough extrusion process [J]. **Journal of Food Engineering**,2016,176:56-70.
[88] MAUD P,JOEL A,VALERIE M. Structuring of pasta components during processing:impact on starch and protein digestibility and allergenicity[J]. **Trends in Food Science & Technology**,2009,20(11):521-532.
[89] WOLZ M,KASTENHUBER S,KULOZIK U. High moisture extrusion for microparticulation of whey proteins – Influence of process parameters[J]. **Journal of Food Engineering**,2016,185:56-61.
[90] REBELLO C A,SCHAICH K M. Extrusion chemistry of wheat flour proteins. II. Sulfhydryl-disulfide content and protein structural changes[J]. **Cereal Chemistry**,1999,76(5):756-763.
[91] LI Cheng,ZHENG Zhi,LUO Shuizhong,et al. Effect of extrusion parameters on rehydration characteristics of texturized wheat gluten[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**,2016,31(6):35-40.(in Chinese)

[92] CHILLO S,CIVICA V,IANNETTI M,et al. Influence of repeated extrusions on some properties of non-conventional spaghetti [J]. **Journal of Food Engineering**,2010,100(2):329-335.
[93] OSEN R,TOELSTEDE S,EISNER P,et al. Effect of high moisture extrusion cooking on protein-protein interactions of pea (Pisumsativum L.) protein isolates[J]. **International Journal of Food Science & Technology**,2015,50(6):1390-1396.
[94] OSEN R,TOELSTEDE S,WILD F,et al. High moisture extrusion cooking of pea protein isolates:Raw material characteristics, extruder responses,and texture properties[J]. **Journal of Food Engineering**,2014,127(4):67-74.
[95] ZHANG Binhu,ZHANG Bo,WEI Yimin,et al. Relationship between properties of vital wheat gluten and characteristics of extrusion texturization[J]. **Journal of Integrative Agriculture**,2010,43(11):2334-2339. (in Chinese)
[96] KE S L,HSIEH F H. Protein-protein interactions in high moisture-extruded meat analogs and heat-induced soy protein gels[J]. **Journal of the American Oil Chemists Society**,2007,84(8):741-748.
[97] PIETSCH V L,EMIN M A,SCHUCHMANN H P. Process conditions influencing wheat gluten polymerization during high moisture extrusion of meat analog products[J]. **Journal of Food Engineering**,2016:198.
[98] SHIVENDRA S,SHIRANI G,LARA W. Nutritional aspects of food extrusion:a review [J]. **International Journal of Food Science & Technology**,2010,42(8):916-929.
[99] MAURYA A K,SAID P P. Extrusion processing on physical and chemical properties of protein rich products-An overview[J]. **Cancer Causes & Control**,2014,12(5):461-475.
[100] RATHOD R P,ANNAPURE U S. Physicochemical properties,protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing[J]. **LWT – Food Science and Technology**,2017,80:121-130.
[101] BHATTACHARYA M,HANNA M A. Extrusion processing of wet corn gluten meal [J]. **Journal of Food Science**,2010,50 (5):1508-1509.
[102] FISCHER T. Effect of extrusion cooking on protein modification in wheat flour [J]. **European Food Research & Technology**, 2004,218(2):128-132.

会　议　消　息

会议名称:第九届纳米材料国际研讨会

大会时间:2019 年 12 月 13–15 日

大会地点:曼谷阿诺玛酒店

大会官网:http://www.janconf.org/conference/CN–BT2019/

会议简介:第九届纳米材料国际研讨会(The 9th Conference on Nanomaterials)定于 2019 年 12 月 13–15 日在泰国曼谷隆重举行。会议旨在为从事纳米材料研究的专家学者、工程技术人员、技术研发人员提供一个共享科研成果和前沿技术,了解学术发展趋势,拓宽研究思路,加强学术研究和探讨的平台。大会诚邀国内外高校、科研机构专家、学者,企业界人士及其他相关人员参会交流。

联系人:杨老师

邮箱咨询:vickykongwy@126.com

手机:+86 150 7134 3477

微信:3025797047

QQ: 1349406763