

杨书林高工主持“小麦加工及其制品品质提升”专栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.002

应欣, 贺伟, 郭庆彬, 等. 小麦粉组成对面团水分迁移及制品品质影响的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 9-16.

YING X, HE W, GUO Q B, et al. Effects of wheat flour composition on dough moisture migration and product quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 9-16.

# 小麦粉组成对面团水分迁移及制品品质影响的研究进展

应欣<sup>1</sup>, 贺伟<sup>2</sup>, 郭庆彬<sup>2</sup>, 张连慧<sup>1</sup>✉

- (1. 中粮营养健康研究院有限公司, 营养健康与食品安全北京市重点实验室,  
老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209;  
2. 天津科技大学 食品科学与工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 水分作为小麦粉面团中的主要组成部分, 其含量、分布、存在状态对面团的加工特性、保藏性及制品品质稳定性具有重要影响。小麦粉由蛋白质、淀粉、脂肪、戊聚糖、矿物质等多种组分构成。小麦粉与水混合形成面团, 在这一过程中面团会发生复杂的物理化学变化。面团中各种组分的成分结构和物理化学特性对这些变化产生较大影响, 间接决定了制品的品质。因此了解面团混合过程中的不同组分与水结合后的变化, 对制品的品质控制和质量提升具有重要意义。对近年来相关领域的研究成果进行了归类梳理, 系统分析了小麦粉中不同组分之间以及与水分子的相互影响机制, 讨论了小麦粉不同组分的吸水持水特性, 解析了小麦粉的不同组分对水分分布迁移的影响, 总结了决定面团水分迁移和影响制品品质的关键成分即蛋白质、淀粉、破损淀粉、戊聚糖等, 并剖析它们决定产品质量的关键因素, 以期进一步指导小麦粉制品的生产。

**关键词:** 小麦面团; 吸水率; 水分迁移; 淀粉; 蛋白; 戊聚糖; 制品品质

**中图分类号:** TS252.5   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-7561(2022)06-0009-08

**网络首发时间:** 2022-11-07 17:11:19

**网络首发地址:** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20221107.1358.002.html>

## Effects of Wheat Flour Composition on Dough Moisture Migration and Product Quality

YING Xin<sup>1</sup>, HE Wei<sup>2</sup>, GUO Qing-bin<sup>2</sup>, ZHANG Lian-hui<sup>1</sup>✉

- (1. Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing Engineering Laboratory for Geriatric Nutrition Food Research, COFCO Nutrition & Health Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China; 2. College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFD2100904)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2021YFD2100904)

作者简介: 应欣, 女, 1986年出生, 博士, 高级工程师, 研究方向为食品科学和农产品加工。E-mail: yingxin@cofco.com.

通讯作者: 张连慧, 女, 1977年出生, 博士, 正高级工程师, 研究方向为谷物及谷物制品开发。E-mail: zhanglianhui@cofco.com.

**Abstract:** Water is the main component of wheat flour dough. Its content, distribution, presence state, and state of existence moisture have an important impact on the processing characteristics, preservation and product quality stability of the flour dough. Wheat flour is composed of a variety of components such as protein, starch, fat, pentosan, minerals and etc. Wheat flour is mixed with water to form a dough, in which complex physicochemical changes occur. The composition and physico-chemical properties of the various components in the dough have an important influence. Therefore, understanding the changes of different components in the process of dough mixing with water is of great significance for the quality control and quality improvement of products. In this review, the research results in related fields in recent years were classified and summarized, the interaction mechanism between different components in wheat flour and with water molecules was systematically analyzed, the water absorption and water holding characteristics of different components of wheat flour were discussed, and the effects of different components of wheat flour on water distribution and migration were analyzed. This paper concluded the key ingredients that determine the moisture migration and product quality of dough, such as protein, starch, damaged starch and pentosan etc., in order to further guide the production of wheat flour products.

**Key words:** wheat dough; water absorption; moisture migration; starch; proteins; pentosan; product quality

小麦是世界上主要的粮食作物之一，全球年产量约为 7 亿 t，是人类最重要的粮食来源之一，为 45 亿人提供了 20% 的每日蛋白质和食物热量<sup>[1]</sup>。小麦粉由淀粉、蛋白质、脂类、无机盐和维生素等物质组成。其中淀粉和蛋白是小麦粉中的主要大分子成分，它们对小麦粉的重要功能和结构特征有很大影响。小麦粉的水合特性对工艺性能和产品品质有重要影响，被认为是影响面团及产品品质的重要因素<sup>[2]</sup>。因此，本综述总结了小麦面团中不同组分对面团水分迁移相互作用以及产品品质的影响，以期小麦制品品质控制及质量提升提供理论参考。

### 1 面团形成过程中的水分迁移

小麦粉与水均匀混合，面筋网络形成了一个粘弹性的小麦面团结构，并且气泡被截留在面团基质中<sup>[3]</sup>。小麦粉中的各个组分与水的相互作用极大地影响了面团的功能特性，并进一步影响了产品加工过程中的行为。当小麦粉与水混合，小麦粉混合物内部便开始发生复杂多维的变化，首先会形成一种粘性湿糊，当混合持续，会逐渐形成橡胶状的稠度状态<sup>[4]</sup>。在最佳搅拌条件下，面团完全水合，弹性最高。水分具有双重作用，一方面充当惰性填充剂，按比例降低面团的动态性能，一方面又充当润滑剂，增强面团样品的松弛

度，这也解释了面团的动态粘弹性行为<sup>[5]</sup>。

淀粉颗粒、蛋白质、非淀粉碳水化合物等面团中的组分通过交联形成复杂的聚合物，水分子会占据聚合物链之间的中间位置，并通过氢键与它们结合<sup>[6]</sup>。刘长虹等通过低场核磁共振技术研究了面团中水分的分布情况，小麦粉的吸水量存在最适范围，当加水量超过最佳范围时，面团中会出现较多可以自由移动的水，面团可塑性会变差。面团不同阶段水分活度变化如图 1 所示。在和面的开始阶段，水分子先与淀粉分子进行结合，此时蛋白无法与水分子充分接触，因此此阶段无法形成面筋，面团可塑性较差。随着面团水分活度降到最低，小麦粉对水分子的结合达到顶峰。

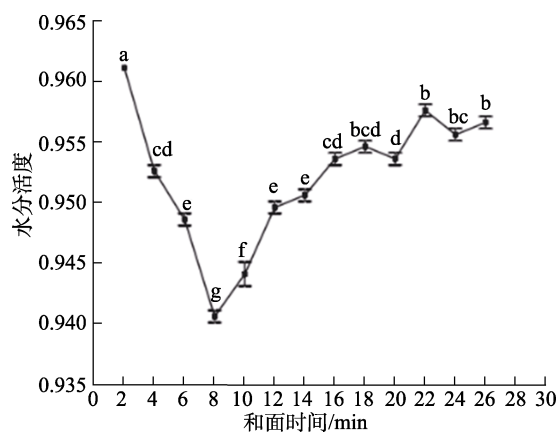


图 1 和面过程中面团水分活度变化<sup>[7]</sup>

Fig.1 Changes in dough moisture activity during the dough process<sup>[7]</sup>

之后面筋开始形成,蛋白开始结合面团中的自由水以及抢夺部分与淀粉结合的弱结合水。在此过程中,深层结合水的含量会增加,弱结合水和自由水的含量下降。淀粉颗粒吸水溶胀后会填充到面筋形成的网络结构中,二者的结合会让一部分的弱结合水释放进而转化为自由水,自由水比例随之升高。到了面筋舒展阶段,面筋蛋白与水分子的结合增多,增强了面筋的延展性并促进了面筋网络结构的扩展。蛋白与淀粉分子之间,淀粉分子彼此之间交联结合增多会对自由水含量产生影响。随着和面继续进行,面筋蛋白之间的交联断开,面筋网络开始崩塌,与面筋蛋白结合的深层结合水释放出来转变为弱结合水和自由水。在这之后,面团中仅发生部分弱结合水向自由水的转变,面团逐渐变黏,并伴随出现返水黏缸的现象<sup>[7]</sup>。此外,混合过程及其条件对于自由水和结合水的变化也很重要。混合时间较短的面团可能导致较高的自由水含量,而混合搅拌过程太强或太长,会破坏淀粉链或面筋结构<sup>[8]</sup>。

小麦粉的吸水率是小麦品质的重要特性之一,其与产品产量和质量密切相关。对于制作面包的小麦粉来说,具有高吸水率和良好面团强度的硬质小麦粉是小麦粉厂和烘焙师的首选。小麦粉的吸水率受多种因素的影响,其中蛋白质、淀粉、破损淀粉、戊聚糖的含量和组成是影响小麦粉吸水率的主要因素。小麦粉由淀粉(70%~75%)、蛋白质(8%~14%)和水(10%~15%)以及少量纤维素和无机盐组成<sup>[9]</sup>。在面团体系中,蛋白质、淀粉、破损淀粉和戊聚糖分别可以吸收约自身重量2、0.4~0.5、2~10和4倍的水<sup>[10]</sup>。

## 2 面团中不同组分影响水分分布迁移及制品品质

### 2.1 蛋白质

小麦粉中的蛋白质主要来自小麦胚乳。小麦蛋白中醇溶蛋白和麦谷蛋白为水不溶性蛋白,决定面团加工品质,清蛋白和球蛋白为水溶性蛋白,决定产品营养品质。在小麦粉与水混合的过程中,醇溶蛋白和麦谷蛋白的水合作用导致形成连续的粘弹性网络。在这个过程,面筋网络会将小麦粉

中的其它成分包裹起来,形成独特的且具有粘弹性的面团<sup>[11]</sup>。醇溶蛋白通过分子内二硫键(SS)的作用下形成球形,赋予面团气泡稳定性和粘性<sup>[12]</sup>。在面团搅拌过程中,麦醇溶蛋白通过非共价相互作用(包括氢键、疏水和离子相互作用)与麦谷蛋白结合,赋予小麦面团强度和延展性<sup>[13]</sup>。醇溶蛋白-麦谷蛋白的比例对面团比例有极为重要的影响。过高的醇溶蛋白含量会降低面团的整体强度使其变软<sup>[14]</sup>。当混合超过面团稳定的最大阈值,面团也会变弱,然后由于其成分的流动性增加而坍塌并变得粘稠。面团的形成时间和稳定时间可作为表征面团强度的两个参数,通常总面筋含量越高,面团稳定时间越长<sup>[15]</sup>。

蛋白质含量对面团以及面包品质的影响:赵新等研究发现蛋白质含量对面包体积、弹柔性、面包芯平滑度、纹理结构、面包评分起着积极的影响。蛋白质含量低的小麦粉制作的面包气室壁较厚、芯部结构差、体积小,烘焙品质较差<sup>[16]</sup>。当然,一味提高小麦粉中蛋白质含量也是不可取的。蛋白质含量过高,面包体积到达一定极限后面包瓤会变得薄且脆,面包品质也会降低。

蛋白质组成对面团以及面包品质的影响:研究发现清蛋白与球蛋白含量对面团各项流变学特性影响较小,但对面团稳定时间、形成时间、面团吸水率相关性为负相关且相关系数较大。除此之外清蛋白含量对面团筋力有消极作用。醇溶蛋白含量对面团稳定时间、形成时间和吸水率影响并不显著。与其他蛋白组分相比,仅麦谷蛋白与面团吸水率影响极为显著且为正相关,因此麦谷蛋白是蛋白质组分中的主要吸水成分,麦谷蛋白含量的提高对提高面团筋力以及提升产品品质是极为有利的。剩余蛋白含量对面团形成时间的影响极为显著且为正相关,同稳定时间的相关性达到极为显著的水平,这表明小麦粉中提高剩余蛋白含量对提高面团筋力和面包烘烤品质也是有利的<sup>[17]</sup>。

蛋白质的二级结构也会对面团以及产品造成影响。蛋白的二级结构是根据酰胺I带确定的,包括分子间 $\beta$ -折叠、 $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -转角和 $\beta$ -反平行。与 $\beta$ -折叠相比, $\alpha$ -螺旋结构更疏水、更坚硬且更

难于水合水,而面筋中更高的 $\alpha$ -螺旋含量表明水的流动性更大,导致面团稳定性降低。 $\alpha$ -螺旋含量与面团的粘弹性呈负相关,高 $\beta$ -折叠含量可以通过氢键增强分子间相互作用,促进蛋白质聚集,这与面团粘弹性呈正相关<sup>[18]</sup>。

利用低场核磁技术研究发现,蛋白质分子比淀粉具有更强的亲水能力。高蛋白质含量的面团内部水势较低,原因是蛋白质的自身结构会使得其中的水分子流动性降低。面团中面筋蛋白含量的增加使得体系形成更加复杂的网络结构,网络结构影响水分的扩散、渗透和传输,该网络结构也阻止了水分在体系内外两侧的迁移<sup>[19]</sup>。

## 2.2 淀粉

淀粉约占小麦粉的70%~75%,并且在决定面团行为方面起着至关重要的作用。淀粉内部是葡萄糖聚合体包围而形成的层状结构,外面由一层蛋白质薄膜包裹<sup>[20]</sup>。小麦淀粉主要由直链淀粉(20%~30%)和支链淀粉(70%~80%)组成。

直链淀粉和支链淀粉的含量及比例会对淀粉的性质产生影响。直链淀粉含量对小麦粉形成时间、稳定时间、沉淀值呈现极为显著的负相关作用,直链淀粉含量较低的面团容易发粘,烘焙后面包内部气泡大而不匀,结构较差,产品整体质量不佳。直链淀粉含量过高会使得面团筋力和强度降低,对面包品质造成不利影响。支链淀粉含量对面团稳定时间、沉淀值、面团形成时间表现为极显著的正相关关系。支链淀粉含量的提高可以带来面团的筋力及强度的提升,进而提高面包等制品的品质。淀粉总量对面包品质呈负相关关系,但相关性较小。总体来看,淀粉总量高会降低面筋网络的筋力和强度,对面包等制品的品质是不利的。支链淀粉与直链淀粉含量的比值与面团形成时间、稳定时间、沉淀值之间相关性均呈现极显著正相关性<sup>[21]</sup>。因此,提升淀粉中支链淀粉与直链淀粉的比例,对面团强度和面包品质产生积极的影响。

小麦淀粉根据其不同的颗粒大小和形状分为大的圆盘形A型颗粒(平均直径23~28  $\mu\text{m}$ )和小的不规则B型球型颗粒(平均直径9~11  $\mu\text{m}$ )<sup>[22]</sup>。

随着A/B淀粉比例的增加,淀粉-面筋面团的G'和G''值呈下降趋势,这表明B淀粉可以改善面团的粘弹性。可能是因为小球形颗粒的堆积能力更强,导致更紧密堆积的颗粒构象和强结合的连续相,也可能是B型淀粉颗粒比A型淀粉颗粒具有更高的比表面积,对水的结合能力和亲和力更高<sup>[23]</sup>。较高比例的B型小麦淀粉可以改善面团的弹性,并且B型小麦淀粉填充了面团中A型小麦淀粉的空隙,极大地影响了面团的流变性质和面包的质量<sup>[24]</sup>。此外,B淀粉颗粒的表面较A淀粉颗粒粗糙,因此面筋更容易通过物理吸附和氢键结合到B淀粉的表面,这样会形成更稳定的网络结构和更坚固的面团<sup>[25]</sup>。影响面制品质量的一个关键因素是小麦粉中A、B型淀粉颗粒数量及比例。从糊化特性来看,A淀粉颗粒较B淀粉颗粒淀粉更易糊化。硬质小麦的A淀粉颗粒所占比例高,B淀粉含量很少。烘焙过程中,较多地处于半糊化状态的淀粉会参与到面包瓤的持气结构中<sup>[23]</sup>,这也是硬质麦的小麦粉更适合做面包的原因之一。A型淀粉粒直径平均值较大且含量更多的小麦品系,面包品质更好。

水分迁移的量和所消耗的时间影响水分迁移的速率,水分迁移的时间也受迁移的路径长短和阻力影响。亲水羟基是淀粉的主要侧链基团,羟基有很强的吸水能力,在达到相同的水分活度时,淀粉需要比面筋蛋白吸收更多的水分。但是,未糊化淀粉为颗粒状,从外部迁移到内部可能会有更长的路径或者更大的阻力。对未糊化淀粉,在达到相同水分活度时需要更长时间。所以,小麦淀粉比面筋蛋白的吸湿速率低<sup>[26]</sup>。

## 2.3 破损淀粉

破损淀粉会受到遗传和生长条件的影响,磨粉工艺也是影响破损淀粉含量的重要环节。近年来,研究表明破损淀粉容易水合,更容易受到酶水解。在面团的混合过程中,适当水平的破损淀粉是重要的,并有助于面团的酵母菌发酵<sup>[27]</sup>。过度的淀粉损伤会加速酶的作用,也会使面团过度水合,从而导致产品烘焙后品质较差。

在小麦制粉过程中,小麦淀粉的损伤程度取决于籽粒硬度和碾磨工艺。碾磨改变了颗粒淀粉

的结构,并影响其流变和功能特性<sup>[28]</sup>。从工程角度来看,必须仔细考虑原料的差异,因为它会改变流动状态、工艺变量和最终产品质量。一些研究表明,研磨引起的机械损伤会影响淀粉颗粒的吸水性、膨胀性和热物性<sup>[29]</sup>。天然淀粉颗粒表面的微观结构限制了其水化和酶解过程。然而,在碾磨过程中产生的剪切力和压缩力引起的表面损伤会使这两个过程都得到促进。吸附和膨胀特性似乎不受研磨样品颗粒表面不同微观结构损伤水平的影响。一旦颗粒表面被水分子饱和,淀粉颗粒就会通过它们的结构将水分子吸收到内部,淀粉受损颗粒内部的水吸附过程可能与表面的受损程度无关<sup>[30]</sup>。

破损淀粉可以通过增加亲水键来改变淀粉颗粒的表面性质,从而增加小麦粉的吸水性。天然小麦淀粉在水中会吸收其重量39%~87%的水分,而破损淀粉在水中则吸收其重量200%~430%的水分,这可能与破损淀粉含量的增加导致晶区破裂,水分子更容易进入淀粉颗粒有关。小麦粉经超微粉碎机处理后,面团稳定时间显著增加,但不同强度研磨的不同样品间差异不显著。破损淀粉含量为6.54%~9.66%的小麦粉样品稳定时间无显著差异,而随着破损淀粉含量进一步增加至12.06%,稳定时间减少。这可能是由于小麦粉中破损淀粉的增加导致小麦粉吸水率增加,从而降低面团混合稳定性。破损淀粉含量对沉淀值、淀粉糊粘度和面团发酵稳定性等特性呈现负面影响,而对吸水率、淀粉糊热稳定性、淀粉糊老化程度和最佳发酵状态下的面团体积呈现积极影响。面筋的数量和质量与破损淀粉含量无显著相关性<sup>[31]</sup>。

小麦淀粉在糊化状态下内部水分的迁移与含量变化对于面制品品质有重要影响。该过程包括淀粉颗粒的吸水、膨胀和直链与支链淀粉从淀粉颗粒中的浸出。直链淀粉含量和淀粉链长分布影响决定淀粉的糊化特性<sup>[32]</sup>。与完整的淀粉颗粒不同,面团破损淀粉含量增加时,淀粉整体的糊化变得更易进行,甚至在冷水中这一过程也可发生<sup>[33]</sup>。糊化发生,则逆过程的老化也会发生,老化过程中分子链通过氢键相互吸引重新排列形成结晶,此时破损淀粉会将部分已吸收的水分排出<sup>[34]</sup>。

面筋网络结构及二硫键会受到破损淀粉的影响,面团的性质因此会被改变。破损淀粉对面团中蛋白质之间形成的交联产生作用。由于破损淀粉颗粒是正常淀粉颗粒被破损后形成的,其分子量体积小于正常的淀粉颗粒,因此破损淀粉中会有更多的化学键如二硫键、氢键、离子键和疏水键暴露出来。这些化学键对面筋蛋白形成的网络结构产生影响,致使面筋网络中的游离巯基、二硫键含量改变。随着破损淀粉含量增加,面团中的游离巯基和二硫键的含量呈先下降后上升的趋势,对于水分迁移变化呈现先上升后下降的影响<sup>[35]</sup>。

因此,破损淀粉会影响小麦粉的物理化学性质,并导致更高的吸水能力,破损淀粉含量过高也会对产品品质产生负面影响。在考虑面团吸水性和面包品质的相关性关系时,会发现其中的相互制约性,因此需要综合考虑多种因素综合作用的影响。

## 2.4 戊聚糖

戊聚糖是小麦籽粒中主要的非淀粉多糖,尽管在小麦粉中的含量很少(通常为1.5~2.1 g/100 g),但是戊聚糖在决定的面团性质方面起着重要作用。与其它成分相比,它具有更高的亲水性,最终增加了小麦粉的吸水能力,这改变了面团在处理和加工过程中的行为<sup>[36]</sup>。戊聚糖通过增加面团的水分含量,增强面团的稳定性和抗混合能力,从而对面团的特性产生积极的影响。戊聚糖显著提高了硬质小麦粉的水分利用率,其所具有的高吸水、持水特性以及氧化交联形成凝胶的特性对面团流变学特性和产品品质有着非常重要的影响<sup>[37]</sup>。

戊聚糖可以分为水溶性和不溶性两种,其中水溶性戊聚糖在吸水率(59.5%~68.8%)、面团稳定性(3.8~18.1 min)、混合容差指数(9~56 BU)和面包脆度等方面表现出更显著的效果,水不溶性戊聚糖则很大程度上影响了面包的物理和感官特性。这两个组分都能增加面团的吸水率(3%~10%),延缓面团的形成(31%~82%),提高面团的稳定性(28%~71%)和抗混和性(24%~50%),从而对面团的特性产生积极的影响<sup>[38]</sup>。戊聚糖可以改善面团的耐受性,在面团制备过程中

加入的水量并没有使结合的戊聚糖完全饱和，在蛋白质预混合后，释放的水分被这些多糖捕获。这可能是亲水胶体中羟基相互作用的结果，这也可能是戊聚糖对面团蛋白质微观结构的影响<sup>[39]</sup>。研究表明水溶性戊聚糖的积极作用是由于它对面筋形成的影响或与非极性脂类的相互作用<sup>[40]</sup>。面包硬度是衡量面包质量的重要标准之一，两种戊聚糖对面包硬度都显示出积极的影响，水溶性戊聚糖的影响比水不溶性戊聚糖的更大（约 6 倍）。戊聚糖吸水使面团中水分含量增加，因此在小麦粉中添加戊聚糖可以提升面包制品的柔软度<sup>[41]</sup>。与水不溶性戊聚糖相比，添加水溶性戊聚糖的面团稳定性提高了近 3 倍。这可能是由于水溶性戊聚糖具有木糖/阿拉伯糖比例更高、阿魏酸含量更高以及泡沫稳定性更好等特性<sup>[42]</sup>。

非淀粉类多糖能与淀粉分子及面筋蛋白表面的深层结合水发生作用；也能作用于淀粉分子及面筋蛋白网络结构中的弱结合水以及面团体系中的自由水，因此能够明显抑制面团体系中自由水含量的升高，也可抑制淀粉分子内部有序性结晶，即延缓淀粉的回生<sup>[43]</sup>。因此，添加非淀粉类多糖对产品的品质提高以及面团返水问题的解决是有利的。

### 3 总结与展望

水分与小麦粉混合过程中与不同组分发生物理化学变化，从而导致水在面团中的迁移变化。由自由水到弱结合水再到深层结合水，三种状态的水在面团形成过程中相互转化。本综述总结了小麦粉各组分对面团吸水能力和产品品质的影响（表 1）。其中，麦谷蛋白为蛋白质组分中主要的

表 1 小麦组对面团吸水性及产品品质的影响

Table 1 Effect of wheat composition on water absorption of flour dough and its product quality

影响因素	对面团吸水性的影响	结合方式	对制品的影响	参考文献	
蛋白质	蛋白含量	显著正相关	蛋白含量过高或过低都会对最终产品产生消极影响。在一定范围内，蛋白含量越高，面包品质越好。		
	清蛋白含量	负相关	对提高面团筋力不利，对面包产品品质不利。		
	球蛋白含量	负相关	对提高面团筋力不利，对面包产品品质不利。	[15] [16] [17]	
	醇溶蛋白含量	相关系数很小	蛋白质通过氨基酸侧链的极性基团结合水	通过影响其他蛋白质组分含量而对面团特性造成影响	
	麦谷蛋白含量	显著正相关		可提高面团筋力，提升面包品质	
	剩余蛋白含量	相关系数很小		可提高面团筋力，提升面包烘烤品质	
蛋白质的二级结构	$\alpha$ -螺旋结构更疏水， $\beta$ -折叠更亲水		高的 $\alpha$ -螺旋含量导致面团稳定性降低		
淀粉	直链淀粉含量	负相关	直链淀粉含量过高或过低对面包品质都是不利的		
	支链淀粉含量	显著正相关	提高面团的强度及筋力，进而提高面包的制作品质。		
	淀粉总量	负相关，但相关系数未达到显著水平	淀粉以分子链上的羟基与水结合	会降低面团的筋力和强度，对面包制作品质不利。	[16] [22]
	支链/直链淀粉	正相关		提高支链淀粉含量/直链淀粉含量的比例，对面团强度和面包品质的改良有较好效果。	
	膨胀势	极显著正相关		反映小麦粉吸水力强，面团强度大，加工强筋食品的性能好。	
淀粉颗粒大小	淀粉颗粒大小与面团吸水性呈负相关，与产品品质呈正相关。		B 型淀粉含量高会使面包品质下降	[16][22]	
破损淀粉	-	破损淀粉含量的增加导致晶区破裂，亲水键增加。	适当水平的破损淀粉对面团及产品品质是有利的。过度的淀粉损伤使面团过度水合，导致产品品质较差。	[29] [30] [31]	
戊聚糖	-	戊聚糖因其结构上有更多的亲水基团，从而使其比其他小麦粉成分更高的吸水能力	较低含量戊聚糖对面团的特性产生积极的影响。而含量较高的戊聚糖对产品造成影响是消极的。	[38] [39] [43]	

吸水成分,其含量对面团稳定时间和形成时间起积极正向作用,因此,麦谷蛋白含量的提高对提高最终产品品质有利;淀粉对水分的吸收起影响重要;支链淀粉含量的提高对面团的强度及筋力以及面制品产品品质的提升起到积极作用。此外,B型淀粉颗粒比A型淀粉颗粒淀粉的吸收更多的水分;淀粉中的破损淀粉具有更高的吸水能力,但B型淀粉和破损淀粉含量较高也会对最终产品品质产生负面影响。面筋网络崩解是面团返水影响因素之一;戊聚糖的含量与种类对面团的影响较大,面团中添加含量较少的水溶性戊聚糖对产品品质的提升是积极的。

综上,选择麦谷蛋白含量高、支链淀粉含量高、A型淀粉粒直径大、适当含量的水溶性戊聚糖、破损淀粉和B型淀粉的小麦粉能够最大化提高面团的吸水能力,以满足吸水性强的面制产品的需求,提升该类产品品质。也需合理控制小麦粉中的水溶性戊聚糖、破损淀粉和B型淀粉的含量,防止其含量过高对面团产生不良影响。同时可通过添加有机酸、盐、酶、乳化剂和亲水胶体等改良剂对面团进行改良,以此提升其吸水率和产品的品质。

#### 参考文献:

- [1] LI S, LUO J, ZHOU X, et al. Identification of characteristic proteins of wheat varieties used to commercially produce dried noodles by electrophoresis and proteomics analysis[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 96: 103685.
- [2] BARAK S, MUDGIL D, KHATKAR B S. Biochemical and functional properties of wheat gliadins: a review[J]. *Critical Review of Food Science Nutrition*, 2015, 55(3): 357-368.
- [3] PARENTI O, GUERRINI L, ZANONI B, et al. Use of the <sup>1</sup>H NMR technique to describe the kneading step of wholewheat dough: The effect of kneading time and total water content[J]. *Food Chemistry*, 2020, 338: 128120.
- [4] SCHIRALDI A, FESSAS D. The role of water in dough formation and bread quality[M]. *Breadmaking*, 2012, 352-369.
- [5] CRISTIANO M C, FROHIO F, COSTANZO N, et al. Effects of flour mean particle size, size distribution and water content on rheological properties of wheat flour doughs[J]. *European Food Research and Technology*, 2019, 245(9): 2053-2062.
- [6] LI J Y, YEH A I. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001, 50(3): 141-148.
- [7] 刘长虹,王录通,杜云豪,等. 和面过程面团水分分布变化与馒头品质的关系[J]. 2019, 44(1): 199-203.  
LIU C H, WANG L T, DU Y H, et al. The relationship between the change of dough moisture distribution and the quality of steamed buns during the dough process[J]. 2019, 44(1): 199-203.
- [8] PARENTI O, GUERRINI L, ZANONI B, et al. Use of the <sup>1</sup>H NMR technique to describe the kneading step of wholewheat dough: The effect of kneading time and total water content[J]. *Food Chemistry*, 2021, 338: 128120.
- [9] GUO P, YU J, COPELAND L, et al. Mechanisms of starch gelatinization during heating of wheat flour and its effect on invitro starch digestibility[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82: 370-378.
- [10] 卢笑雨,林倩,宁欢,等. 破损淀粉对食品品质的影响及其测定方法[J]. *粮食加工*, 2019, 44(3): 20-23.  
LU X Y, LIN Q, NING H, et al. The effect of damaged starch on food quality and its determination method[J]. *Food Processing*, 2019, 44(3): 20-23.
- [11] NUTTER J, SAIZ A I, IURLINA M O. Microstructural and conformational changes of gluten proteins in wheat-rye sourdough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 87: 91-97.
- [12] WANG P, ZOU M, GU Z, et al. Heat-induced polymerization behavior variation of frozen-stored gluten[J]. *Food Chemistry*, 2018: 242-251.
- [13] KHATKAR B S, BARAK S, MUDGIL D. Effects of gliadin addition on the rheological, microscopic and thermal characteristics of wheat gluten[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 53: 38-41.
- [14] SADOT M, CHEIO J, LE-BAIL A. Impact on dough aeration of pressure change during mixing[J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 195: 150-157.
- [15] FRAKOLAKI G, GIANNOU V, TOPAKAS E, et al. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour[J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 79: 50-56.
- [16] SAVAL E, KARADUMAN Y, NDER O, et al. Prediction of grain protein content and gluten quality of bread wheat in the early vegetation period by optical sensors[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102: 103354.
- [17] WANG J J, YANG J, WANG Y, et al. Heat and edible salts induced aggregation of the N-terminal domain of HMW 1Dx5 and its effects on the interfacial properties[J]. 2018, 82(SEP): 388-398.
- [18] GEORGET D M R, BELTON P S. Effects of temperature and water content on the secondary structure of wheat gluten studied by FTIR spectroscopy[J]. *Biomacromolecules*, 2006, 7(2): 469-475.
- [19] YANG Y, GUAN E, ZHANG T, et al. Influence of water addition methods on water mobility characterization and rheological properties of wheat flour dough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 89: 102791.



- [20] WANG Q F, LI L M, ZHENG X L. A review of milling damaged starch: Generation, measurement, functionality and its effect on starch-based food systems[J]. *Food Chemistry*, 2020, 315.
- [21] MAN A, ASB A, PV B, et al. Amylose and amylopectin functionality during storage of bread prepared from flour of wheat containing unique starches[J]. *Food Chemistry*, 320: 126609.
- [22] AO Z, JANE J L. Characterization and modeling of the A- and B-granule starches of wheat, triticale, and barley[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007, 67(1): 46-55.
- [23] ROMAN L, CAL E D L, GOMEZ M, et al. Specific ratio of A-to B-type wheat starch granules improves the quality of gluten-free breads: Optimizing dough viscosity and pickering stabilization[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 82: 510-518.
- [24] LI M F, LIU C, ZHENG X L, et al. Interaction between A-type/B-type starch granules and gluten in dough during mixing[J]. *Food Chemistry*, 2021, 358.
- [25] ZI Y, SHEN H, DAI S, et al. Comparison of starch physicochemical properties of wheat cultivars differing in bread-and noodle-making quality[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 93: 78-86.
- [26] 巩艳菲. 小麦淀粉/谷朊粉体系的水分迁移特性研究[D]. 中国农业科学院, 2020.  
GONG Y F. Study on moisture migration characteristics of wheat starch/gluten system [D]. *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, 2020.
- [27] WANG S, YU J, XIN Q, et al. Effects of starch damage and yeast fermentation on acrylamide formation in bread[J]. *Food Control*, 2017, 73: 230-236.
- [28] BARRERA G N, LEÓN A E, RIBOTTA P D. Effect of damaged starch on wheat starch thermal behavior[J]. *Starch-Stärke*, 2012, 64(10): 786-793.
- [29] TESTER R F. Properties of damaged starch granules: composition and swelling properties of maize, rice, pea and potato starch fractions in water at various temperatures[J]. *Food Hydrocolloids*, 1997, 11(3): 293-301.
- [30] BARRERA G N, BUSTOS M C, ITURRIAGA L, et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 233-239.
- [31] LIU C, LI L, HONG J, et al. Effect of mechanically damaged starch on wheat flour, noodle and steamed bread making quality[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2014, 49(1): 253-260.
- [32] LI H, DHITAL S, SLADE A J, et al. Altering starch branching enzymes in wheat generates high-amylose starch with novel molecular structure and functional properties[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 92: 51-59.
- [33] LI C L, DHITAL S, GILBERT R G, et al. High-amylose wheat starch: Structural basis for water absorption and pasting properties[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 245: 116557.
- [34] TESTER R F, PATEL T, HARDING S E. Damaged starch characterisation by ultracentrifugation[J]. *Carbohydrate Research*, 2006, 341(1): 130-137.
- [35] 付奎. 损伤淀粉对面团水分迁移及面筋网络结构影响[J]. *粮食与油脂*, 2014, 27(6): 17-22.  
FU K. Effects of damaged starch on dough moisture migration and gluten network structure[J]. *Grain and Oil*, 2014, 27(6): 17-22.
- [36] GUZMÁN C, POSADAS-ROMANO G, HERNÁNDEZ-ESPINOSA N, et al. A new standard water absorption criteria based on solvent retention capacity (SRC) to determine dough mixing properties, viscoelasticity, and bread-making quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2015, 66: 59-65.
- [37] 郑学玲, 李利民, 姚惠源, 等. 小麦粉戊聚糖的制备及组成成分分析研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2002(2): 43-45.  
ZHENG X L, LI L M, YAO H Y, et al. Preparation and composition analysis of pentosan from wheat flour[J]. *Food and Feed Industry*, 2002(2): 43-45.
- [38] ARIF S, AHMED M, CHAUDHRY Q, et al. Effects of water extractable and unextractable pentosans on dough and bread properties of hard wheat cultivars[J]. *LWT*, 2018, 97: 736-742.
- [39] DÖRING C, NUBER C, STUKENBORG F, et al. Impact of arabinoxylan addition on protein microstructure formation in wheat and rye dough[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 154: 10-16.
- [40] WANG M, HAMER R J, VLIET, et al. Interaction of water extractable pentosans with gluten protein: effect on dough properties and gluten quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2002, 36(1): 25-37.
- [41] LEBESI D M, TZIA C. Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2011, 4(5): 710-722.
- [42] MAEDA T, MORITA N. Characteristics of pentosan in polished wheat flour and its improving effects on breadmaking[J]. 2006, 53(1): 21-26.
- [43] 肖东, 周文化, 陈帅, 等. 亲水多糖对鲜湿面货架期内水分迁移及老化进程的影响[J]. 2016, 37(18): 298-303.  
XIAO D, ZHOU W H, CHENG S, et al. Effects of hydrophilic polysaccharides on moisture migration and aging process of fresh and wet noodles during shelf life[J]. 2016, 37(18): 298-303. ☞