

杨书林高工主持“小麦加工及其制品品质提升”专栏文章之一

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.06.001

杨书林, 惠滢, 张晓双, 等. 润麦技术对小麦粉品质影响的研究进展[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 1-8.

YANG S L, HUI Y, ZHANG X S, et al. Research progress on effects of wheat tempering technology on flour quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 1-8.

润麦技术对小麦粉品质影响的研究进展

杨书林¹, 惠滢², 张晓双³, 蒋荣霞⁴, 刘婧⁴, 韩艳芳⁴✉

(1. 中粮粮谷控股有限公司, 北京 100020;

2. 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;

3. 中粮(郑州)粮油工业有限公司, 河南 郑州 450016;

4. 中粮利金(天津)粮油股份有限公司, 天津 300122)

摘要: 润麦是小麦制粉工艺中的重要步骤。合适的润麦方式有利于缩短润麦时间, 降低微生物含量, 提高小麦粉及副产物的品质, 还可以降低能耗, 节约生产成本。然而, 润麦过程往往受到原粮品种、水质、加水量、时间、温度、季节和气候等多重因素影响。目前, 小麦粉加工企业在润麦工艺中面临着润麦不均匀、容易滋生微生物等技术难题。详细介绍了小麦润麦的基本原理以及原粮、加水量、不同温湿度、时间等因素对小麦润麦的影响, 重点阐述了热处理、振动、超声、真空、压裂破损、生物酶制剂、盐水、酸性水和其他减菌处理等不同润麦方式对小麦加工过程及产品品质的影响, 总结了不同润麦方式的优缺点及其在当前国内实际生产应用情况, 以期小麦加工制粉企业提供借鉴, 最后提出应针对不同小麦品种在润麦水分精准计算与调控、不同润麦方式结合及其对小麦粉应用品质影响方面继续开展深入研究。

关键词: 润麦; 水分; 润麦时间; 微生物; 品质

中图分类号: TS211.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)06-0001-08

网络首发时间: 2022-11-07 16:46:18

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20221107.1413.004.html>

Research Progress on Effects of Wheat Tempering Technology on Flour Quality

YANG Shu-lin¹, HUI Ying², ZHANG Xiao-shuang³, JIANG Rong-xia⁴, LIU Jing⁴, HAN Yan-fang⁴✉

(1. COFCO Grains Holdings Limited, Beijing 100020, China;

2. 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;

3. COFCO (Zhengzhou) Grain and Oil Industry Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450016, China;

收稿日期: 2022-09-02

基金项目: 国家重点研发计划课题(2021YFD2100901)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2021YFD2100901)

作者简介: 杨书林, 男, 1972年出生, 本科, 高级工程师, 研究方向为小麦加工及工程技术与转化。E-mail: yangshul@cofco.com.

通讯作者: 韩艳芳, 女, 1972年出生, 本科, 高级工程师, 研究方向为面粉加工及面粉研究与开发。E-mail: 0335hyf@163.com.

4. COFCO Lijin (Tianjin) Grain and Oil Co., Ltd., Tianjin 300122, China)

Abstract: Wheat tempering is an important step in wheat milling process. Appropriate tempering method is beneficial to shorten tempering time, reduce microbial content, improve the quality of flour and by-products, reduce energy consumption and save production cost. However, tempering process is often affected by multiple factors such as raw grain varieties, water quality, water addition, time, temperature, season and climate. At present, wheat flour processing enterprises are facing technical problems such as uneven tempering and easy breeding of microorganisms in the tempering process. In this paper, the basic principle of wheat tempering and the effects of raw grain, water addition, different temperature and humidity, time and other factors on wheat tempering were introduced in detail. The effects of different tempering methods such as heat treatment, vibration, ultrasound, vacuum, fracturing damage, biological enzyme preparation, salt water, acid water and other sterilization treatment on wheat processing and product quality were emphatically expounded. The advantages and disadvantages of different tempering methods and their application in current domestic production were also summarized in order to provide reference for wheat milling enterprises. Finally, it is pointed out that further research should be carried out on the accurate calculation and regulation of water content and the combination of different tempering methods and its effects on flour application quality for different wheat varieties.

Key words: wheat tempering; water content; tempering time; microorganism; quality

小麦水分调节又称调质, 俗称润麦, 是小麦制粉过程中重要的加工工序, 其对小麦出粉率、微生物含量、产品品质稳定、企业生产成本等均有重要影响。润麦的本质是通过控制小麦籽粒内部水分的迁移分布使得胚乳和皮层易于分离, 从而达到制粉目的。合适的润麦时间可以促使不同麦粒之间的水分均匀一致, 麦粒皮层和胚乳的水分合理分配, 从而提高小麦的制粉加工性能。不同原粮品种、水质、加水量、温度、时间、季节和气候等均会影响润麦过程中水分含量和分布均匀程度, 从而对后续研磨加工和产品品质产生影响。

目前小麦粉加工企业在润麦工艺中普遍面临着润麦时间长、润麦不均匀、容易滋生微生物等技术难题。随着工业化水平不断提高和新加工技术出现, 润麦处理方式也形式多样, 其归纳起来主要有两类: 一是以缩短润麦时间为目的, 主要有热处理润麦、振动润麦、超声润麦、真空润麦、压裂破损润麦、生物酶制剂润麦等; 二是以降低产品中微生物含量为目的, 主要有盐水润麦、酸性水润麦、臭氧润麦等。通过选择合适的润麦方式或将不同润麦方式相结合, 有利于实现节约润麦时间, 降低微生物含量, 提高出粉率和产品稳

定性的目的, 同时还可以降低生产成本。

本文详细介绍了小麦润麦的基本原理以及原粮、加水量、不同温湿度、时间等因素对小麦润麦的影响, 重点阐述了热处理、振动、超声、真空、压裂破损、生物酶制剂、盐水、酸性水和其他减菌处理等不同润麦方式对小麦加工过程及产品品质的影响, 总结了不同润麦方式的优缺点及其在当前国内实际生产应用情况, 并对未来我国小麦润麦技术的发展进行展望, 以期为我国小麦加工制粉企业提供借鉴和参考。

1 小麦润麦的原理及其影响因素

1.1 小麦润麦的原理

小麦籽粒各部分结构与组成不同, 决定其吸水性能的差异。小麦籽粒由外至内分别由麦皮(4.6%~6.4%)、珠心层(1.5%~2.5%)、糊粉层(6%~8.9%)、胚(1.4%~3.8%)和胚乳(77%~85%)五部分组成^[1]。其中, 由管状细胞组成的麦皮和胚结构疏松多孔, 吸水能力较强。珠心层很薄, 在温度低于 50 °C 时不易透水; 糊粉层厚约 40~70 μm, 其吸水快且易于膨胀。胚乳主要由淀粉和蛋白质基组成, 其组织结构紧密, 吸水性较差。Song 等^[2]

利用三维核磁共振成像技术研究发现, 在小麦内部平均水分含量为 12% (湿基) 时, 胚乳水分含量在 7.3%~16.4% 之间变化, 水分相差高达 9.1%。

小麦加水后需要一定时间来重新分配水分, 以满足碾磨工艺要求。小麦润湿前期, 水分经过胚进入糊粉层和胚乳中, 到了小麦润麦后期和润麦完成时, 胚的水分仍然远高于其他组织^[3]。小麦润麦过程水分转移有两种主途径和一种辅助途径^[4]: 一是水分通过珠心层进入胚, 并向内茸毛端扩散; 二是水通过糊粉层细胞壁由外向内渗透。辅助途径则是将水分由茸毛端逐步向胚乳中心迁移。在润麦完成后, 胚乳中心的水分梯度一直很高, 从胚到茸毛端, 水分含量不断降低, 进一步证明了胚是主要水分传递的路径之一^[5]。

1.2 影响小麦润麦的主要因素

1.2.1 原粮对小麦润麦的影响

原粮质量尤其是小麦品种均匀性与水分均匀性对润麦工艺有很大影响。相同水分的条件下, 不同质地小麦润麦过程中水分从小麦的表面渗透到小麦中心的时间不同。软质小麦胚乳结构疏松, 水分容易进入胚乳内部, 所需润麦时间较短。与软质小麦相比, 硬质小麦蛋白含量高, 组织结构更为致密, 水分渗透进入胚乳内部速度较慢, 因此需要更多的水和较长润麦时间才能软化被皮层包裹着的胚乳。通常, 对硬质小麦可进行二次着水润麦, 第一次润麦水分为 15%~17%, 第二次润麦水分为 18%~18.5%, 每次着水后都应保持润麦时间不少于 12 h; 软质小麦润麦水分为 14.5%~15.5%, 持续时间为 16 h。实际生产中往往需要将两种小麦进行净麦搭配使用, 此时应先清理完硬质小麦后再清理软质小麦, 使硬质小麦提前进入润麦仓, 利用时间差调整两种小麦的润麦效果, 可有效地保持入磨麦水分平衡和小麦籽粒软硬相统一。

1.2.2 加水量对润麦影响

小麦润麦水分关系着出粉率、生产效率和比能耗的高低。Warechowska 等^[6]研究润麦水分(12%~18%)对硬质和中硬质小麦影响表明, 随着润麦水分含量增加, 比研磨能量和研磨效率指数增加, 出粉率降低, 蛋白质和面筋含量减少, 面团形成时间缩短。润麦水分增加强化面筋网络和吸附能

力, 有利于面包制作过程中面团的吸水和保持稳定。Cappelli 等^[7]研究润麦水分(11%~17%)对弱筋小麦的影响发现, 小麦水分能显著影响面团流变性(面团的稳定性、韧性和延展性)和面包特性。随着水分增加, 面团延展性增加, 韧性降低。面团稳定性在 13% 水分时最大。面包比容在较高润麦水分(13%和 15%)条件下得到显著改善。此外, 润麦时应根据原粮品种及水分含量来控制加水量。若含水量太低, 小麦表皮和胚乳无法更好地分离, 会导致小麦粉中麸星较多、粉色较差。如果含水量较高, 尽管麸皮与胚乳更易于分离, 但由于物料较潮湿, 流散性不好, 给筛理分级带来很大困难^[8]。

1.2.3 不同温湿度对小麦润麦的影响

环境温湿度对润麦的影响也不容忽视。刘涛^[9]和李林轩^[10]认为在实际加工过程中应考虑车间内温度和湿度对制粉效果的影响。当温度上升, 小麦籽粒酶活动增加, 分子运动和水分热传导增强, 从而促进了小麦籽粒水分迁移, 提高渗透速率, 缩短了水分达到平衡所需时间。而在北方冬季气温低, 润麦过程中易出现加不进去水导致润麦效果较差的现象。当室内空气的相对湿度过大, 小麦水分不易蒸发, 应少着水; 当室内空气相对湿度小而气温较高, 则应多着水^[11]。因此, 在高温多雨季节要少加水或缩短润麦时间, 而在低温干燥条件下应适量多加水或增加润麦时间。

1.2.4 时间对小麦润麦的影响

润麦时间改变小麦籽粒内部的水分分布状况, 最终影响小麦加工性能和小麦粉品质。王伟^[12]研究不同润麦条件下小麦籽粒中结合水、束缚水、自由水分布的变化, 发现不同润麦时间及润麦加水量对软、硬麦籽粒中水分分布有一定的影响。理想状况下, 经润麦 8~12 h 后, 小麦内部基本完成体积膨胀和水分平衡。但实际制粉加工过程中, 由于受到较多因素影响, 润麦时间往往超过 12 h, 一般弱筋或软质小麦润麦需 16~24 h, 而强筋或硬质小麦润麦时间为 24~32 h。王绍文等^[13]研究表明, 在润麦 0~18 h 内, 随着时间延长, 中筋小麦的胚乳与麸皮越容易分离, 出粉率增加且灰分降低。陈倩等^[14]研究结果表明, 不同润麦

时间 (8~40 h) 对中筋和强筋小麦粉 4 种溶剂保持力 (Solvent Retention Capacity, SRC) 均有影响, 且适当延长润麦时间有利于降低破损淀粉含量。

2 润麦技术研究进展

常规润麦虽然操作简便, 但原粮在 15%~16% 的润麦水分下密闭润麦 20 h 左右, 极易滋生微生物^[15-16]。国内外学者主要从缩短润麦时间和降低小麦粉菌落总数角度研究新型润麦技术及其对小麦粉品质的影响。

2.1 热处理润麦

润麦温度会影响水分渗透速度, 热水润麦、蒸汽润麦等均是通过对调整温度来实现改善润麦的目的。热水润麦是用加热到一定温度的水进行润麦, 在 20~43 °C 时, 温度每增加 12 °C, 水分渗透速度可以提高 4 倍; 当水温高于 43 °C, 水分渗透增速变小^[17]。适当的润麦温度可以缩短润麦时间, 杀灭小麦中不耐高温的微生物和虫卵, 降低小麦粉中微生物含量, 同时在研磨小麦时保留麸皮完整、减少小麦粉灰分含量, 同时还可在一定程度上改善小麦粉的理化特性和烘焙特性^[18-20]。在一定温度范围内, 随着润麦温度升高, 小麦粉总淀粉和支链淀粉含量增加, 蛋白数量下降^[21], 但蛋白质量提高, 面筋指数变大^[1], 面筋筋力增强, 从而改善了面团的流变学特性。这主要是由于加热使高分子面筋蛋白受热聚集增大了蛋白质网络结构。由于加热润麦温度过高会引起小麦籽粒中蛋白质变性和淀粉糊化, 降低小麦粉的使用效果, 所以润麦的水分温度以 42~46 °C 为宜, 高寒地区则应保持在 46~52 °C 之间。

蒸汽润麦是利用蒸汽对小麦直接进行加热处理, 该方法对酶活影响较大。一方面, 蒸汽的高温降低脂肪氧化酶活性^[22], 使其对类胡萝卜素的氧化能力下降, 对小麦粉及面条制品色泽产生不利影响。另一方面, 蒸汽处理降低多酚氧化酶活性, 从而抑制生鲜面制品返色。此外, 蒸汽处理能显著降低小麦粉中微生物和灰分含量^[23], 显著增加峰值黏度^[24], 同时促使淀粉部分糊化, 蛋白质与蛋白质或淀粉之间凝聚形成较大聚合体, 延长面团稳定时间, 增加小麦粉稳定性^[19,25]。

2.2 振动润麦

振动着水润麦法是小麦着水后先进行预混搅拌, 然后经过高频振动送入润麦仓润麦^[26]。与常规润麦水分迁移原理不同, 振动润麦可以消除水分子表面张力, 使被堵塞的小麦毛细管打开, 而且能够产生虹吸效应, 缩短最佳润麦时间并提高出粉率^[27]。振动润麦能够使中筋小麦润麦时间缩短至 10~14 h, 高筋小麦润麦时间缩短至 12~16 h^[28]。国内已经有学者对新型振动润麦着水机开展相关设计和研发^[29], 这为振动润麦广泛应用奠定了基础。

2.3 超声润麦

超声处理已经在食品工业中得到广泛应用, 但在小麦粉生产中应用研究较少。Yüksel 等^[30]研究超声对硬质小麦的润湿效果发现, 超声能增加水分吸收和扩散到小麦中心的速度。与传统润麦相比, 超声润麦生产的小麦粉颗粒更细、灰分低、面筋指数高, 粉质拉伸性能提高, 在面包制作中应用也更好。

2.4 真空润麦

真空润麦是在真空环境中进行加水润麦的润麦方式。真空润麦能够大大缩短润麦时间, 50 min 就达到常规润麦 24~36 h 的效果。与常规润麦相比, 真空润麦后小麦粉整体粒径较大, 醇溶蛋白和破损淀粉含量较低, 麦谷蛋白和支链淀粉含量较高^[21]。随着润麦真空度的增加, 粗蛋白和面筋含量增加, 小麦粉的降落数值与真空度呈一定正相关^[31]。真空润麦还能降低小麦中的微生物数量, 在一定润麦温度 (25 °C) 和润麦水分 (15%) 条件下, 随着真空度 (40%~80%) 的增加, 小麦表面菌落总数、霉菌、酵母菌数和蜡芽孢杆菌数均呈减少趋势, 而大肠杆菌变化不明显^[32]。由于该方法对设备密封性要求较高且能源消耗大, 目前仅在实验室中进行应用研究。仲丽兰等^[33]基于专利分析后认为, 真空调质是目前主要的小麦调质技术专利申请方向。

2.5 压裂破损润麦

压裂破损润麦是通过压裂、研磨或碾皮处理破坏小麦表皮后再进行润麦, 该方式能加速水分渗透, 大大缩短润麦时间。研究表明, 采用压裂

润麦法可节约一半润麦时间^[34]；若采用轻微研磨润麦，只需约 30 min 即可完成润麦，且对小麦加工性能和品质没有影响^[35-36]。陈成^[5]研究剥皮率对润麦时间的影响发现，当剥皮率在 6% 以下时，每增加 3% 剥皮率可节省润麦时间 1 h，但当剥皮率超过 6% 时则对润麦时间没有显著影响。破损润麦虽然可以缩短润麦时间，但会加大麸皮和胚乳分离难度，增加小麦粉麸星含量，从而影响加工性能和产品品质。目前压裂破损润麦技术尚不成熟，距离实际生产应用还有待进一步深入研究。

2.6 生物酶制剂润麦

酶制剂润麦是利用酶制剂弱化小麦皮层结构，加速润麦过程中水分迁移，使胚乳和皮层易于分离，既可以缩短润麦时间又防止润麦过程中微生物滋生。李利民等^[37]发现添加 0.15 g/kg 纤维素酶或戊聚糖酶润麦 5 h 的出粉率均可达 75% 以上，明显高于常规润麦条件（清水，24 h）下的小麦粉出粉率（70.98%）。酶制剂润麦操作简便、高效专一，且对小麦粉品质影响不大，具有较好的发展前景。

2.7 盐水润麦

盐水润麦是指以一定浓度的盐水进行润麦，主要有以下几个方面的作用^[1,38-40]：一是能显著降低润麦时小麦的微生物活性；二是盐水中的氯化钠可以强化面筋网状结构，提高小麦面筋指数，增强面团延展性和弹性；三是灰分含量增加，原因在于盐水使麦皮表面脆性增大，增加了麦皮和胚乳分离难度，导致研磨时麸星更易混入小麦粉中；四是对小麦粉粒度分布有一定的影响，含盐量 5% 能使皮磨粉粒度集中在 11 xx 筛网上，含盐量 5% 和 15% 均能降低心磨 14 xx 筛网下的粒度含量。王大一^[38]发现小麦粉表面微生物数量与盐水浓度成反比，与盐水润麦时间成正比。尽管提高盐水浓度能降低微生物含量，但是同时也增加了小麦粉中的灰分，降低了小麦粉白度，因此必须控制盐水的浓度在合理范围内。

2.8 酸性水润麦

润麦水的酸碱度会对酶活、微生物数量、小麦粉品质产生一定影响。Sabillón 等^[41]使用含有

机酸（乙酸或乳酸）和 NaCl 溶液润麦发现，无论润麦温度如何变化，所有溶液较空白对照组均能显著降低软硬小麦中病原微生物数量（ $P < 0.05$ ），其中乳酸（5.0%）和 NaCl 组合能够有效灭活沙门氏菌、大肠杆菌等微生物，且对灭活硬质小麦中微生物效果更好。CHEN 等^[42]采用含不同量活性氯的微酸性电解水（SAEW）润麦，随着 SAEW 浓度的增加，面制品中的菌落总数、酵母和霉菌数量以及次粉和麸皮中总多酚、脂肪酶活性、多酚氧化酶活性显著降低，且对小麦次粉粉质特性有一定改善。Suo 等^[43]研究低温等离子体活化水（PAW）润麦结果表明，PAW 能显著降低麸皮、小麦粉中的菌落总数和低等级小麦粉中多酚氧化酶、脂肪酶、脂氧合酶活性，同时小麦粉中游离巯基含量和糊化黏度值下降。

2.9 其他减菌处理润麦

为更好解决润麦引起的微生物问题，臭氧和二氧化氯被用于研究生产低菌化小麦粉的润麦工艺，同时其安全性也得到证实^[44]。国外大量研究表明，臭氧和二氧化氯对润麦过程小麦籽粒、小麦粉及副产物具有显著杀菌作用，且杀菌效果与臭氧水浓度有关^[45-47]。谭静^[48]研究不同浓度臭氧水（0~10.5 mg/L）和二氧化氯水（0~100 mg/L）润麦发现，8 mg/L 和 10.5 mg/L 的臭氧水、浓度大于 50 mg/L 的二氧化氯水均能显著降低小麦表面、麦麸、次粉和小麦粉中的细菌总数、霉菌/酵母菌和芽孢菌总数（ $P < 0.05$ ），且对出粉率、感官指标、理化品质指标均无显著影响（ $P > 0.05$ ）。周建新^[49]的研究认为，20 °C 润麦时，浓度 5.5 mg/L 臭氧水就能显著降低小麦粉中微生物数量（ $P < 0.05$ ），且对小麦粉脂肪酸值、色差值等品质指标无负面影响。此外，臭氧润麦具有加速降解呕吐毒素（DON）的效果，在臭氧浓度水浓度为 58.32 mg/L、润麦水温为 30 °C 时，DON 降解效率可达 19.99%^[50]。

3 总结与展望

润麦工艺对提高生产效率、经济效益和改善产品质量作用至关重要。国外对各种润麦方式的研究开展较早，对润麦机理及其对小麦加工性能和小麦粉品质的影响进行了深入研究。近年来，

越来越多的国内小麦粉加工企业和研究学者也在进行润麦技术的研究。研究表明,小麦润麦过程的水分迁移与分布规律已基本明确,一是水分通过珠心层进入胚乳,向内茸毛端扩散,二是水通过糊粉层细胞壁自外向里渗入,三是通过辅助路径将水分由茸毛端逐步向胚乳中心扩散,进入胚乳内部的水分一般 24 h 后分布趋向平稳。小麦润麦调质效果与小麦均匀性、软硬质、水温、环境温湿度、着水设备、润麦方式以及润麦时间等因素有关。软质小麦胚乳结构疏松,水分容易进入胚乳内部,所需润麦时间较短;硬质小麦蛋白含量高,组织结构更为致密,水分渗透进入胚乳内部速度较慢,可使用二次润麦的方式来保证润麦效果;在一定温度范围内,温度增加可以提高水分渗透速度,一般在夏季小麦的润麦时间较冬季时要短,蒸汽润麦、热水润麦都是通过提高温度来缩短润麦时间;合理的润麦时间可以保证小麦胚乳水分分布均匀,时间过短水分未完全进入胚乳内部,时间过长会导致小麦表皮干燥,影响小麦粉质量;振动润麦技术通过高频振动消除水分子表面张力,最佳润麦时间缩短至 8~16 h,该润麦方式得到国内大型小麦粉企业的认可与应用;压裂破碎同样可大幅缩短润麦时间,但会增加小麦粉麸星含量,降低小麦粉品质,故企业较少使用该方式润麦;盐水润麦可有效降低微生物含量,但增加了麦皮表面脆性,增加小麦粉麸星含量,在企业中使用较少。

综上所述,通过选择合适的润麦方式并控制合理的润麦条件,有利于节约润麦时间,提升小麦籽粒水分均匀性,稳定产品质量,降低微生物数量,应加大相关技术的推广应用力度。但部分润麦方式也会影响小麦粉品质,不符合国内蒸煮类食品对高精度小麦粉的要求,而且我国小麦品种多而复杂,笔者认为可进一步针对不同小麦品种,在小麦润麦水分精准计算与控制调节、不同润麦方式结合对小麦润麦效果以及小麦粉应用品质的影响等方面开展更加深入的研究。

参考文献:

[1] 王绍文. 润麦条件对中筋小麦品质特性与微生物活性的影响[D]. 河南工业大学, 2011.

WANG S W. Influence of tempering on quality characteristics of medium wheat and microbe activity[D]. Henan University of Technology, 2011.

[2] SONG H P, DELWICHE S R, LINE M J. Moisture distribution in a mature soft wheat grain by three-dimensional magnetic resonance imaging[J]. Journal of Cereal Science, 1998, 27(2): 191-197.

[3] SAULNIER L, GUILLON F, CHATEIGNER-BOUTIN A. Cell wall deposition and metabolism in wheat grain[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(1): 91-108.

[4] 陈成. 调质过程小麦水分变化及迁移的研究[J]. 粮油食品科技, 2018, 26(4): 6-12.

CHEN C. Study on moisture change and migration of wheat during conditioning[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2018, 26(4): 6-12.

[5] 陈成. 剥皮调质小麦水分变化及迁移的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2018(3): 1-6.

CHEN C. Study on water variation and migration of peeling tempering wheat[J]. Cereal & Feed Industry, 2018(3): 1-6.

[6] WARECHOWSKA M, MARKOWSKA A, WARECHOWSKI J, et al. Effect of tempering moisture of wheat on grinding energy, middlings and flour size distribution, and gluten and dough mixing properties[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 306-312.

[7] CAPPELLI A, GUERRINI L, PARENTI A, et al. Effects of wheat tempering and stone rotational speed on particle size, dough rheology and bread characteristics for a stone-milled weak flour[J]. Journal of cereal science, 2020, 91: 102879.

[8] 刘光辉. 小麦籽粒理化特性及面粉生产方法概述[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(5): 56-61.

LIU G H. Overview of wheat grain physicochemical properties and flour production methods[J]. Barley and Cereal Sciences, 2017, 34(5): 56-61.

[9] 刘涛. 温度湿度对制粉效果的影响[J]. 现代面粉工业, 2017, 31(3): 11-13.

LIU T. Effect of temperature and humidity on milling effect[J]. Modern Flour Milling Industry, 2017, 31(3): 11-13.

[10] 李林轩, 王晓芳, 黄鹏. 保证小麦粉生产质量稳定的技术措施探讨[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(1): 10-14.

LI L X, WANG X F, HUANG P. Discussion on technical measures to ensure stable quality of wheat flour production[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(1): 10-14.

[11] 高洪志, 高红. 北方地区提高润麦效果的方法[J]. 粮食加工, 2011, 36(2): 12-14.

GAO H Z, GAO H. Methods of improving wheat-wetting effect in north area[J]. Grain Processing, 2011, 36(2): 12-14.

[12] 王伟. 小麦调质过程水分分布的变化及其对制粉品质的影响[D]. 河南工业大学, 2016.

WANG W. The change of moisture distribution and its effect on flour quality in wheat tempering[D]. Henan University of

- Technology, 2016.
- [13] 王绍文, 王晓曦, 贾爱霞. 调质时间对中筋小麦品质特性的影响[J]. 现代面粉工业, 2011, 25(3): 10-15.
WANG S W, WANG X X, JIA A X. Effect of tempering time on quality characteristics of medium gluten wheat[J]. Modern Flour Milling Industry, 2011, 25(3): 10-15.
- [14] 陈倩, 颀晖晖, 王兴昊, 等. 不同润麦时间对小麦面粉 SRC 的影响[J]. 农业科技与信息, 2020(20): 59-61.
CHEN Q, JIE H H, WANG X H, et al. Effect of different tempering time on SRC of wheat flour[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2020(20): 59-61.
- [15] 万慕麟. 面粉中微生物污染源的研究[J]. 粮食储藏, 1995(3): 17-22.
WANG M L. Study of microorganism contamination sources in flour[J]. Grain Storage, 1995(3): 17-22.
- [16] 赵亚娟, 韩小贤, 张杰, 等. 面粉生产过程中微生物含量变化规律研究[J]. 农产品加工(学刊), 2012(11): 85-87.
ZHAO Y J, HAN X X, ZHANG J, et al. The change rule of microorganism content in wheat flour processing[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012(11): 85-87.
- [17] CAMPBELL J D, JONES C. The effect of temperature on the rate of penetration of moisture within damped wheat grain[J]. Cereal Chem, 1955, 32: 132-139.
- [18] 王晓芳, 李林轩, 李硕, 等. 关于小麦制粉工艺中水分调节技术的探讨[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(6): 1-4.
WANG X F, LI L X, LI S, et al. Discussion on water regulation technology in wheat milling process[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(6): 1-4.
- [19] 陈云霞, 郭晓娜, 朱科学, 等. 蒸汽润麦对小麦粉微生物指标和理化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10): 1-6.
CHEN Y X, GUO X N, ZHU K X, et al. Effect of wheat tempering with steam on microorganisms and physicochemical property of wheat flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(10): 1-6.
- [20] 李成森, 薛蔚, 邢茂杰. 面粉加工过程中温水润麦效果的研究[J]. 现代面粉工业, 2019, 33(4): 5-8.
LI C S, XUE W, XING M J. Study on the effect of warm water on wheat during flour processing[J]. Modern Flour Milling Industry, 2019, 33(4): 5-8.
- [21] 林江涛, 程梦丽, 谷玉娟, 等. 调质对小麦粉粒度及组分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(9): 25-29.
LIN J T, CHENG M L, GU Y J, et al. Effect of tempering on granule size distribution and main components of wheat flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(9): 25-29.
- [22] KATHURIA D H, SIDHU J H. Indian Durum Wheats I. Effect of conditioning treatments on the milling quality and composition of semolina[J]. Cereal Chem, 1984, 61(5): 460-462.
- [23] KATHURIA D H, SIDHU J H. Indian Durum Wheats II. Effect of conditioning treatments on the quality of spaghettis[J]. Cereal Chem, 1984, 61(5): 463-465.
- [24] NEILL G, AL-MUHTASEB A H, T M. Optimisation of time/temperature treatment, for heat treated soft wheat flour[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(3): 422-426.
- [25] CHEN Y, GUO X, XING J, et al. Effects of tempering with steam on the water distribution of wheat grains and quality properties of wheat flour[J]. Food Chemistry, 2020, 323: 126842.
- [26] POSNER E S. Wheat temper time reduced by fissuring[J]. Cereal Foods World, 1987.
- [27] 陈秋良, 敖梦. 振动润麦新技术——润麦技术的革命[J]. 现代面粉工业, 2014, 28(3): 12-14.
CHEN Q L, AO M. New technology of vibration tempering - revolution of tempering technology[J]. Modern Flour Milling Industry, 2014, 28(3): 12-14.
- [28] 朱海兰. 振动润麦机对出粉率及润麦时间的影响[J]. 现代食品, 2022, 28(2): 96-98.
ZHU H L. Effect of vibration wheat moistening machine on flour yield and wheat moistening time[J]. Modern Food, 2022, 28(2): 96-98.
- [29] 刘建华, 赵峰, 邹恩坤, 等. 新型振动润麦着水机的创新设计和应用[J]. 粮食与食品工业, 2020, 27(1): 48-50.
LIU J H, ZHAO F, ZOU E K, et al. The innovative design and application of a new type of vibrating wet wheat machine[J]. Cereal & Food Industry, 2020, 27(1): 48-50.
- [30] YÜKSEL Y, ELGÜN A. Determination of the effect of high energy ultrasound application in tempering on flour quality of wheat[J]. Ultrasonics sonochemistry, 2020, 67: 105129.
- [31] 王华东, 温纪平, 王大一, 等. 真空润麦对小麦制粉特性的影响[J]. 食品科技, 2015, 40(1): 178-182.
WANG H D, WEN J P, WANG D Y, et al. Influence of vacuum tempering on milling properties of wheat[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(1): 178-182.
- [32] 温纪平, 王华东, 郭林桦, 等. 真空调质对小麦表面微生物变化的影响[J]. 现代面粉工业, 2015, 29(1): 1-3.
WEN J P, WANG H D, GUO L H, et al. Effect of vacuum conditioning on microbial changes on wheat surface[J]. Modern Flour Milling Industry, 2015, 29(1): 1-3.
- [33] 仲丽兰, 吴洁, 姚潇, 等. 基于专利分析的小麦调质技术发展态势研究[J]. 现代面粉工业, 2022, 36(4): 5-9.
ZHONG L L, WU J, YAO X, et al. Study on development trend of wheat tempering technology based on patent analysis[J]. Modern Flour Milling Industry, 2022, 36(4): 5-9.
- [34] ES P. wheat temper time reduced by fissuring[J]. Cereal Foods World, 1987, 32(12): 886-891.
- [35] FINNEYKF, BOLTEL C. Experiment micromilling: Reduction of tempering time of wheat from 18-24 hours to 30 minutes[J]. 1985, 62(6): 454-458.
- [36] FINNEYKF, ANDREWSLA. 30 minutes conditioning method for micro-Intermediate and large-scale experiment micromilling of soft red winter wheat[J]. Cereal Chem, 1986, 63(1): 18-21.

- [37] 李利民, 郑学玲, 韩小贤, 等. 一种酶法小麦调质方法: CN102441451A[P]. 2012-05-09.
LI L M, ZHENG X L, HAN X X, et al. An enzymatic wheat conditioning method: CN102441451A[P]. 2012-05-09.
- [38] 王大一, 温纪平, 郭林桦, 等. 盐水润麦对小麦制粉特性及微生物的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2014, 35(6): 9-14.
WANG D Y, WEN J P, GUO L H, et al. Effect of salt water tempering on milling properties and microorganisms of wheat[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(6): 9-14.
- [39] 郭林桦. 调质方法对小麦制粉特性及微生物变化的影响[D]. 河南工业大学, 2014.
GUO L H. Conditioning method for characteristics of wheat flour and the change of microorganism[D]. Henan University of Technology, 2014.
- [40] 刘强, 田建珍, 高杨, 等. 润麦条件对面粉粒度分布的影响[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(5): 13-16.
LIU Q, TIAN J Z, GAO Y, et al. Study on influence of particle size distribution by tempering condition[J]. Packaging and Food Machinery, 2011, 29(5): 13-16.
- [41] SABILLÓN L, STRATTON J, ROSE D, et al. Reduction in pathogenic load of wheat by tempering with saline organic acid solutions at different seasonal temperatures[J]. International Journal of Food Microbiology, 2020, 313: 108381.
- [42] CHEN Y, GUO X, XING J, et al. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams[J]. LWT, 2020.
- [43] SUO T, GUO X, ZHU K. Effects of tempering with plasma-activated water on total plate count and quality properties of wheat flour[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 105: 103468.
- [44] GAOU I, DUBOIS M, PFOHL-LESZKOWIC A, et al. Safety of oxygen, an ozone treatment on wheat grains. Part 1. A four-week toxicity study in rats by dietary administration of treated wheat[J]. Food Additives and Contaminants, 2005, 22(11): 1113-1119.
- [45] DUBOIS M, COSTE C, DESPRES, et al. Safety of oxygreen an ozone treatment on wheat grains. Part 2. is there a substantial equivalence between oxygreen-treated wheat grains and untreated wheat grains[J]. Food Additives and Contaminants, 2006, 23(1): 1-15.
- [46] BANOĞLU. Influence of tempering with ozonated water on the selected properties of wheat flour[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(4): 345-350.
- [47] DESVIGNES C, CHAURAND M, DUBOIS M, et al. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 47(2): 245-251.
- [48] 谭静. 二氧化氯和臭氧润麦对麦麸和次粉中微生物和品质指标的作用研究[D]. 西北农林科技大学, 2009.
TAN J. Study on the effect of chlorine dioxide and ozonated water tempering on the microorganism and quality properties of wheat bran and wheat-middling[D]. Northwest A & F University, 2009.
- [49] 周建新, 黄永军, 张杜鹃, 等. 臭氧水润麦生产低菌化小麦粉的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(5): 1863-1868.
ZHOU J X, HUANG Y J, ZHANG D J, et al. Study on producing flour of less bacterium with wheat tempered by ozone water[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(5): 1863-1868.
- [50] 杨龙, 李萌萌, 关二旗, 等. 臭氧水对赤霉病小麦中 DON 的降解效果研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(2): 25-29.
YANG L, LI M M, GUAN E Q, et al. Effect of ozone water on DON degradation in scabbed wheat[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2018, 39(2): 25-29. 完