

小麦霉变过程中品质变化与微生物之间关系的研究进展

尚玉婷¹, 杨薇^{2*}, 毛金蓉¹, 梁筱妍¹, 张民¹

(1. 天津农学院食品科学与生物工程学院, 天津 300384; 2. 天津农学院基础科学学院, 天津 300384)

摘要 小麦霉变是食品仓储中常见现象, 对小麦霉变过程中品质演变与微生物间的关系进行了介绍, 研究在小麦储藏过程中小麦霉变时期的组成和结构、导致霉变的主要微生物种类以及霉变过程中营养成分变化。通过研究小麦霉变各个时期的颜色、气味、硬度、营养成分以及毒素含量变化情况, 对淀粉酶、蛋白酶、脂氧合酶、挥发性物质等含量的变化进行论述, 确定霉变对小麦品质变化的影响与微生物生长之间的关联规律, 为实际生活中安全储存生产小麦提供理论依据和实际指导。

关键词 小麦; 仓储; 霉变; 微生物关联; 营养物质

中图分类号 TS201.3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)09-0001-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.09.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on the Relationship between Quality Change and Microorganism during Wheat Mildew

SHANG Yu-ting¹, YANG Wei², MAO Jin-rong¹ et al (1. College of Food Science and Bioengineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 2. College of Basic Science, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

Abstract Wheat mildew is a common phenomenon in food storage. The relationship between quality evolution and microorganism during wheat mildew was introduced in this paper. During the storage of wheat, the composition and structure of the mildew period, the main microorganism species causing the mildew and the change of nutrient composition during the mildew period were studied. By studying color, smell, hardness, change of the content of nutrients and toxins in various periods of wheat mildew, the change of amylase, protease, lipoxigenase, volatile substances content was elaborated, the correlation between the influence of mildew on wheat quality and microbial growth was determined to provide theoretical basis and practical guidance for safe storage and production of wheat in practical life.

Key words Wheat; Warehousing; Mildew; Microbial association; Nutrients

小麦是我国重要的粮食作物,产量高、耐储藏,因此被作为我国的储备粮。小麦籽粒富含淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质,满足了微生物生长的基本营养需求,且小麦收获时正处于高温高湿环境,为霉变提供了良好生长环境。我国仓储的粮食温湿度与微生物变化复杂,粮食储存周期长、粮堆体积大^[1],加之现阶段由于我国农户缺乏专业的储粮知识和技术,每年因储存不当造成小麦发霉变质的损耗率非常高,约占总储量的6.62%^[2]。同时,霉变除了造成小麦色泽、气味、食用和加工品质发生变化,还在霉变过程中产生霉菌毒素,并无法用理化方法进行消除,从而导致小麦的营养价值和经济效益明显降低^[3-4]。因此,越来越多的学者开始关注导致小麦储存过程霉变的原因和给小麦品质带来的危害,并致力于减少或避免小麦在储存过程的霉变。

该研究从小麦的结构、组成以及导致小麦霉变的微生物的种类、代谢特点等方面来探讨储存过程中可能引起小麦霉变的微生物与小麦品质变化之间的关系,以期研究监控小麦储存过程的品质变化和霉变情况提供研究思路。

1 小麦组成和结构

小麦籽粒一般由80%胚乳、15%麸皮和5%胚芽组成,胚乳占小麦籽粒总质量的85%左右,胚乳中含淀粉65%左右。因此,淀粉是小麦重要组成成分^[5];蛋白质含量约15%,是良好的蛋白质补充来源;脂肪约占3%~5%,小麦籽粒中脂肪的

含量低,但对小麦品质的影响明显。淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质为微生物的生长代谢提供充足的碳源、氮源,是微生物天然培养基,为微生物生长代谢提供了充足的能量。研究表明,霉变后,淀粉酶和蛋白酶活性增加,导致淀粉和蛋白质降解,营养成分下降, Mares等^[6]研究表明,小麦成熟后期 α -淀粉酶含量高,会导致小麦品质和价格大大降低。脂氧合酶与不饱和脂肪酸发生氧化反应,产生的气味较臭,严重影响食品品质。因此,研究小麦的组成成分变化是探究小麦霉变的重要途径之一。

2 导致小麦霉变的主要微生物种类

天然发霉小麦中常见的微生物有毛霉、犁头霉、青霉和曲霉这几大类^[7]。细分为链格孢霉、镰孢霉、枝孢霉、绿曲霉、白曲霉、黄曲霉、青霉等。根据小麦储存时间来分,新收获小麦中优势菌种是链格孢霉,储存1~2年后主要为曲霉和青霉。链格孢霉可导致食物中毒,还可致畸、致癌、致突变。镰孢霉又称镰刀菌霉,呕吐毒素是其典型的毒素,其中含有的脱氧雪腐烯醇(DON)在发霉的小麦中含量较高,是小麦主要污染物,可导致小麦发生赤霉病^[8-9],有很强毒性,可以导致动物肠功能紊乱,从而引起呕吐、腹泻等症状^[10]。此外链格孢霉、镰孢霉和枝孢霉易生长于高温高水分下,其他条件生长稳定。

曲霉包括绿曲霉、白曲霉、黄曲霉,以黄曲霉为主,其中绿曲霉与白曲霉生长条件为低水分活度13%条件以下,属于干性微生物。黄曲霉在常温中等水分下生长,在小麦中产生剧毒性和致癌性的黄曲霉毒素危害人体健康;青霉在水分含量15%以上就可以达到生长条件,是储粮危害之一,属于湿性微生物^[11]。霉变后霉菌在作物中产生的大量代系产物,

基金项目 国家重点研发计划子课题(2019YFC1605305-03);天津市农业科技成果转化与推广项目(202101080)。

作者简介 尚玉婷(1998—),女,内蒙古包头人,硕士研究生,研究方向:食品安全。*通信作者,博士研究生,研究方向:食品安全研究。

收稿日期 2021-09-04; **修回日期** 2021-09-28

如链格孢霉毒素、黄曲霉毒素、青霉毒素等,对健康的小麦籽粒具有侵染性,因此,快速预测储粮是否开始霉变是今后粮食储藏的重要研究方向与趋势^[12]。

3 霉变对小麦品质的影响

由于霉变过程中微生物代谢旺盛,在各种酶的作用下,淀粉、蛋白质、脂肪等营养物质被迅速降解,小麦质量等级逐渐下降,营养成分破坏,品质也明显下降。

3.1 霉变对小麦中淀粉的影响 小麦仓储期间,淀粉酶将淀粉水解为还原糖,造成淀粉含量下降。刘露露^[13]对小麦籽粒胚乳研究发现,霉变前期对淀粉和蛋白质基质的结合影响程度较小。霉变后,小粒淀粉开始脱落,蛋白质基质受损较严重,蛋白质基质与淀粉不再紧密结合^[14]。霉变影响了淀粉的含量,霉变后小麦的胚乳结构变化明显,蛋白质基质部分缺失或全部缺失,淀粉粒结合疏松表面蛋白质基质覆盖少,淀粉粒出现降解或者脱落留坑现象,小粒淀粉受损,导致支链淀粉的减少,严重情况下胚乳完全消失^[15]。

3.2 霉变对小麦中蛋白质的影响 谷物蛋白含量是小麦最重要的品质形状之一,定义了营养和最终用途特性^[16]。王肖肖^[17]在小麦霉变中通过 SDS-PAGE 电泳灰度表现强弱证实了以下结论:随着蛋白酶增加,蛋白质被水解成氨基酸,使蛋白质含量减少。霉变后的小麦中水溶蛋白变化大,稳定性差,易降解导致含量明显减少;与水溶蛋白相比,盐溶蛋白变化较小,含量减少较低;醇溶蛋白相对水溶蛋白与盐溶蛋白含量较低,几乎不受霉变影响,含量并未减少。

3.3 霉变对小麦中脂肪的影响 小麦中脂肪可分为难分离的淀粉脂和易分解的非淀粉脂,非淀粉脂就是人们常说的油脂,虽然含量低,但影响小麦的安全储存^[18]。霉变后,小麦中的微生物生长代谢分泌出大量脂肪酶,脂肪酶会将脂肪水解为易氧化的甘油,因此极易酸败,脂肪含量减少后,小麦的储存稳定性下降,为了提高小麦保存期限,必须通过一定手段使酶失活^[19]。宋永令等^[20]研究发现,小麦籽粒脂肪含量和组成变化都会对小麦的储藏产生影响,脂肪在脂肪酶和脂氧合酶的催化下形成脂肪酸,并进一步发生过氧化分解产生酮、醛等小分子物质,进而使脂肪含量降低,并产生不良气味。

4 小麦霉变过程的监测

我国粮食储存周期长、堆量体积大、粮堆的温湿度与微生物变化复杂^[1]。小麦性质稳定,耐储存,据相关文献记载,贮藏 30 年以上的小麦,基本的食品加工特性没有改变^[21-22]。但粮食在储存初期易受微生物污染产生霉变,通过理化方法无法消除小麦霉变而产生的真菌毒素,导致小麦的营养价值和经济效益明显降低^[3]。因此,对粮仓进行早期预警和监测各项指标,是保障小麦粮仓储存安全的必要手段^[23]。

5 小麦霉变过程中的相关理化指标及检测方法

5.1 淀粉酶 小麦籽粒在储藏过程中发生霉变会使淀粉酶活性增加从而导致淀粉被降解而减少。此时,淀粉酶是一个重要指标。小麦种子中的淀粉酶包括 β -淀粉酶和 α -淀粉酶, β -淀粉酶是小麦麦粒在种子形成时已经存在的酶, α -淀粉酶是在种子萌发和生长时所合成的酶。郭秀璞等^[24]研究

发现,小麦麦粒霉变速率与 α -淀粉酶活性呈正相关。

淀粉酶测定有酸水解法和酶水解法两种方法,其原理是 α -淀粉酶可以将分子链中的 α -1,4 葡萄糖苷键水解,生成还原糖^[25]。通过测定小麦霉变过程中还原糖含量变化可以反映淀粉酶的变化,即可得出小麦霉变过程中品质的变化情况。

蓝慎善等^[26]研究表明,为防止小麦霉变,可用适宜浓度的臭氧对小麦进行处理,有抑制淀粉酶活性的作用^[27],从而可减缓淀粉降解速率,提升小麦营养价值,对小麦储藏具有指导意义。

5.2 蛋白酶 韩小贤等^[28-29]研究发现,小麦霉变后,蛋白酶活性增加,引起蛋白质分解、品质下降,从而改变面筋的品质。面筋筋力持续下降,导致面团的黏性降低不易成团,直至变形塌陷,严重影响了加工品质。滕晓焕等^[30]研究表明,面粉的流变学特性与小麦籽粒中蛋白质含量呈正相关。因此,蛋白质是评价小麦的重要指标,常见检测方法有凯式定氮法、双缩脲法、酚试剂法和紫外吸收法。

5.3 脂肪酶、脂氧合酶、脂肪酸 脂肪相关酶是影响小麦脂肪的重要因素,脂肪相关酶有脂肪酶和脂氧合酶。脂氧合酶又称脂肪氧化酶,谷物贮藏的时间受脂氧合酶影响很大。脂肪在脂肪酶和脂氧合酶的催化下形成脂肪酸,脂肪酸值可以灵敏地反映粮食储藏品质,是评判小麦储藏品质劣变的重要指标^[31]。张玉荣等^[32]研究表明,脂肪酸值与小麦的含水量呈正相关,脂肪酶活性增强是由微生物繁殖引起的,脂肪酶使脂肪水解加快。

霉变初期,在氧气充足时,如在短时间内脂肪酸值增加过多,则可以判定储藏小麦品质发生劣变。霉变后期,微生物利用脂肪酸,为自身生长代谢提供能量。由于微生物的消耗,脂肪酸含量不会过多增加。因此脂肪酸值作为小麦霉变的判定指标,可比较准确地反映小麦品质变化情况,常见的脂肪测定方法有索氏提取法。

5.4 挥发性成分 小麦霉变后,会产生一些小分子的挥发性物质,大多是由霉菌生长代谢所产生的,如霉菌毒素、霉变挥发有机物等^[33]。随着光谱、色谱、电子鼻等发展,储藏期小麦的品质情况可以用挥发性组分来评价。对小麦霉变的鉴别转向霉变后霉菌本身所含物质和代谢后所产生物质,如霉菌毒素、霉变挥发有机物等。

刘远方等^[34]通过电子鼻综合的气味分析技术,对传感器型电子鼻进行优化处理,区分谷物霉变程度及储藏时间等。郑豪男等^[35]通过采用电子鼻技术,将不同霉变程度的小麦区分出来,优化了电子鼻传感器阵列。该方法可较好地检验小麦的品质,对霉变小麦的区分度较高。赵天霞等^[36]研究表明,利用电子鼻技术快速识别小麦籽粒霉菌侵染程度是可行的。Sinha 等^[37]用气相色谱仪检测出小麦被霉菌严重侵染后,3 种气味化合物明显上升。综上所述,在小麦仓储过程中,通过检测不同区域小麦产生的挥发性物质,就可以帮助判断小麦是否霉变或霉变的趋势,进而有效控制储粮的品质。

6 环境条件与微生物的协同作用对小麦霉变过程的影响

温度湿度是影响小麦储存的主要因素,在粮食储存中当出现局部温度变高和水分积累时,易发生霉变从而影响小麦品质。

我国对于小麦仓储的要求为:常用低温或常温、水分低于安全水分。主要是由于小麦收获初期,由于微生物呼吸作用旺盛会产生热量,从而导致粮堆中产生发热点,且刚收获的小麦含水量较高,这种高温高湿的环境会促进霉菌孢子的萌发,加速小麦的霉变。因此,入库储存前小麦籽粒必须严格控制含水量在 13% 以下,才能保证小麦的安全性。入库后还要随时关注粮仓内温湿度变化,对于新粮的储藏,要做到及时通风。

研究表明,小麦籽粒中微生物数量越多,越容易导致小麦霉变。将小麦籽粒中的水分控制在 10% 以下,会明显减少微生物的生长^[38]。许化琰^[39]研究表明,小麦霉变主要由微生物引起,微生物生长繁殖导致小麦发热,造成局部高温,粮食通过局部向整体进行传热,此时易出现粮堆霉变的情况。

7 展望

粮食是国民生存和国家发展的主要资源,在国民经济发展中占据着十分重要的位置。粮油储藏是关系国计民生的大事,是国家发展和社会稳定的基本条件。小麦作为我国重要的储备粮之一,必须要保证其储藏的安全性。目前,我国小麦的仓储条件已得到极大改善,相应的控制手段也能比较有效地降低小麦霉变的概率。但由于外界环境的变化或不可控恶劣气候的原因,小麦的霉变仍然无法杜绝,这就需要进一步研究小麦霉变的发生机理、了解微生物代谢与小麦霉变之间的关联和造成小麦品质变化的规律,从而能够更早更快地发现、发觉霉变的趋势,更及时地采取控制手段,更好地保障我国储粮的安全。

参考文献

- 王小萌,吴文福,尹君,等. 基于温湿度场云图的小麦粮堆霉变与温湿度耦合分析[J]. 农业工程学报,2018,34(10):260-266.
- 郑婷婷,郑静华. 小麦贮藏期害虫及其综合防治[J]. 农民致富之友,2017(11):78.
- 悦燕飞,王若兰,渠琛玲. 小麦储藏过程中发热霉变研究进展[J]. 粮食与油脂,2018,31(7):18-20.
- ZHANG Y Y, PEI F, FANG Y, et al. Interactions among fungal community, *Fusarium* mycotoxins, and components of harvested wheat under simulated storage conditions[J]. J Agric Food Chem, 2019, 67(30): 8411-8418.
- LIU Y C, HOU J, WANG X L, et al. The NAC transcription factor NAC019-A1 is a negative regulator of starch synthesis in wheat developing endosperm[J]. J Exp Bot, 2020, 71(19): 5794-5807.
- MARES D J, MRVA K. Wheat grain preharvest sprouting and late maturity alpha-amylase[J]. Planta, 2014, 240(6): 1167-1178.
- VASATKOVA A, KRIZOVA S, KRYSSTOFOVA O, et al. Effect of naturally mouldy wheat or fungi administration on metallothioneins level in brain tissues of rats[J]. Neuro Endocrinol Lett, 2009, 30(S1): 163-168.
- BERGAMINI E, CATELLANI D, DALL'ASTA C, et al. Fate of *Fusarium* mycotoxins in the cereal product supply chain: The deoxynivalenol (DON) case within industrial bread-making technology[J]. Food Addit Contam: Part A, 2010, 27(5): 677-687.
- YUEN G Y, SCHONEWEIS S D. Strategies for managing *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat[J]. Int J Food Microbiol, 2007, 119(1/2): 126-130.
- 王希春,何成华,刘海明,等. 真菌毒素的污染、危害及其检测技术[J]. 畜牧与兽医,2009,41(8):104-107.
- 魏鑫. 不同品种小麦储藏过程中霉菌活动特性研究[D]. 郑州:河南工业大学,2012.
- 单晓雪,胡建蓉,熊升伟. 我国粮食作物中的黄曲霉毒素的研究进展[J]. 食品安全导刊,2015(18):47-48.
- 刘露露. 储藏小麦发热、霉变的临界点判定及对品质影响[D]. 郑州:河南工业大学,2019.
- 郭亚鹏,王若兰,刘露露,等. 储藏小麦发热霉变前后微观结构的变化[J]. 食品科技,2019,44(11):157-162.
- JACKOWIAK H, PACKA D, WIWART M, et al. Scanning electron microscopy of *Fusarium* damaged kernels of spring wheat[J]. Int J Food Microbiol, 2005, 98(2): 113-123.
- NIGRO D, GADALETA A, MANGINI G, et al. Candidate genes and genome-wide association study of grain protein content and protein deviation in durum wheat[J]. Planta, 2019, 249(4): 1157-1175.
- 王肖肖. 小麦与发芽小麦储藏生理特性变质特性研究[D]. 郑州:河南工业大学,2014.
- 赵丹. 小麦储藏过程中挥发性物质与品质变化关系研究[D]. 郑州:河南工业大学,2012.
- MERILES S P, STEFFOLANI M E, LEÓN A E, et al. Physico-chemical characterization of protein fraction from stabilized wheat germ[J]. Food Sci Biotechnol, 2019, 28(5): 1327-1335.
- 宋永令,穆彦,王若兰,等. 小麦脂肪及相关酶应用研究进展[J]. 粮食与油脂,2014,27(3):1-3.
- ROSE D J, OGDEN L V, DUNN M L, et al. Quality and sensory characteristics of hard red wheat after residential storage for up to 32 y[J]. J Food Sci, 2011, 76(1): S8-S13.
- 李云霄,张帅兵,翟焕珍,等. 不同硬度红皮小麦的储藏霉变差异研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2016,37(2):6-10.
- 白静静. 粮仓储藏真菌的远程监测与预警[D]. 郑州:河南工业大学,2019.
- 郭秀璞,高书颖,王淑芳,等. 小麦种子萌发和幼苗生长与 α -淀粉酶活性关系的研究[J]. 洛阳农专学报,1995(2):28-30.
- VISVANATHAN R, QADER M, JAYATHILAKE C, et al. Critical review on conventional spectroscopic α -amylase activity detection methods: Merits, demerits, and future prospects[J]. J Sci Food Agric, 2020, 100(7): 2836-2847.
- 蓝慎善,张有林,王若瑛. 臭氧处理对小麦储藏品质影响的研究[J]. 食品工业科技,2008,29(3):257-259.
- 秦先魁,胡家勇,郑革. 臭氧处理对新收获小麦糊化特性的影响研究[J]. 粮食与饲料工业,2015(3):15-19.
- 韩小贤,赵亚娟,郭卫,等. 霉变小麦品质评价数学模型的建立[J]. 中国粮油学报,2013,28(6):10-14,35.
- 王丽娜. 发芽小麦蛋白特性研究及其利用[D]. 郑州:河南工业大学,2011.
- 滕晓焕,章银良. 面粉理化性质与流变学特性的相关性分析[J]. 郑州轻工业学院学报(自然科学版),2010,25(1):32-35.
- 李兴军. 谷物脂肪氧合酶的生理生化特性[J]. 粮食科技与经济,2011,36(3):34-37,41.
- 张玉荣,陈红. 不同发芽程度小麦品质变化及应用研究进展[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2017,38(4):113-118.
- GU S, WANG Z H, CHEN W, et al. Targeted versus nontargeted green strategies based on headspace-gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with chemometrics for rapid detection of fungal contamination on wheat kernels[J]. J Agric Food Chem, 2020, 68(45): 12719-12728.
- 刘远方,赵爱娟. 传感器型电子鼻技术在谷物品质研究中的应用进展[J]. 教育教学论坛,2016(47):84-85.
- 郑豪男,周志鑫,施佩影,等. 霉变小麦的电子鼻区分及其传感器阵列选择优化[J]. 传感技术学报,2019,32(5):688-692,710.
- 赵天霞,沈飞,周日春,等. 小麦霉菌感染程度电子鼻快速检测方法的初步研究[J]. 中国粮油学报,2019,34(6):135-140,146.
- SINHA R N, TUMA D, ABRAMSON D, et al. Fungal volatiles associated with moldy grain in ventilated and non-ventilated bin-stored wheat[J]. Mycopathologia, 1988, 101(1): 53-60.
- ABDULLAH N, NAWAWI A, OTHMAN I. Fungal spoilage of starch-based foods in relation to its water activity (aw)[J]. J Stored Prod Res, 2000, 36(1):47-54.
- 许化琰. 变温状态对小麦安全水分和微生物活动的影响[D]. 郑州:河南工业大学,2013.