

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.02.017

宋玉, 刘超, 邵子晗, 等. 高水分小麦通风干燥过程中加工品质变化规律研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 131-136.

SONG Y, LIU C, SHAO Z H, et al. Study on the variation of processing quality of high moisture wheat during ventilation drying[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 131-136.

# 高水分小麦通风干燥过程中 加工品质变化规律研究

宋玉, 刘超✉, 邵子晗, 陶澍, 曹磊, 洪莹, 段依梦

(安徽省农业科学院 农产品加工研究所, 安徽 合肥 230001)

**摘要:** 将刚收获的高水分小麦放置就仓干燥模拟仓内进行通风干燥, 测定小麦粮堆各层水分含量变化, 及小麦粗蛋白含量、湿面筋含量、粉质特性、降落值等指标。结果表明: 含水量超过20%的小麦在模拟仓中采用纵向通风技术可以在短期内将小麦水分含量降低至安全水分, 对其加工品质没有显著不良影响。使用通风技术可有效降低小麦水分含量, 但各粮层降水存在一定不均匀性, 在实仓干燥中可辅以其他技术予以改善。

**关键词:** 就仓干燥; 高水分小麦; 加工品质

中图分类号: TS 210.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)02-0131-06

## Study on the Variation of Processing Quality of High Moisture Wheat during Ventilation Drying

SONG Yu, LIU Chao✉, SHAO Zi-han, TAO Shu, CAO Lei, HONG Ying, DUAN Yi-meng

(Agricultural Products Processing Research Institute of Anhui Academy of  
Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230001, China)

**Abstract:** In this study, fresh harvested high moisture wheat was placed in a simulated warehouse for ventilation drying experiment, and the moisture content change in each layer of the wheat grain pile, the wheat crude protein, wet gluten content, flour properties, falling value, etc. were measured. The results showed that the longitudinal ventilation technology could reduce the wheat moisture content to safe moisture content in a short time for the wheat with moisture content more than 20% in the simulated warehouse, and had no significant adverse effect on the processing quality of wheat. The use of ventilation technology not only reduced the wheat moisture content effectively, but also restrained the deterioration of high moisture wheat quality, providing a theoretical basis for the actual warehouse drying of high moisture wheat.

**Key words:** warehouse drying; high moisture wheat; processing quality

收稿日期: 2022-10-31

基金项目: 肥西县科技特派员专项项目; 安徽省农业科学院团队项目(2022YL029); 2022年安徽省重点研究与开发计划项目(202204c06020030)

Supported by: Project of Science and Technology Special Commissioner of Feixi County; Anhui Academy of Agricultural Sciences Team Project (No. 2022YL029); Key Research and Development Plan Project of Anhui Province in 2022 (No. 202204c06020030)

作者简介: 宋玉, 女, 1985年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为农产品加工。E-mail: songyu@ahaas.cn.

通讯作者: 刘超, 男, 1963年出生, 硕士, 研究员, 研究方向为农产品加工。E-mail: nkliu1963@163.com.

小麦是世界上主要的粮食作物，也是我国最重要的粮食来源之一，因此小麦质量的安全，直接关系到人们的日常健康。小麦收获期经常伴随着高温湿热天气，且新收获的小麦具有强吸湿性和高呼吸代谢能力等特点。水分含量过高，小麦容易受到害虫和霉菌的侵害，引起发热霉变。所以，需要对刚收获的高水分小麦进行降水干燥处理，将其水分含量干燥至安全储藏水分后入仓储藏，进行下一步的后熟<sup>[2]</sup>，小麦入仓安全水分一般为 13.5%<sup>[3]</sup>。

当前使用的高水分粮食降水方法主要有人工晾晒法、烘干机干燥法、就仓干燥处理法、烘干机与就仓干燥相结合的两段式干燥法等<sup>[4]</sup>。就仓机械通风降水是粮食的静态干燥。干燥时粮食始终处于静止状态，通过空气的流动与粮食进行湿热交换，达到干燥粮食的目的。所以就仓干燥也称“整仓干燥”，又叫“在储干燥”。与仅使用烘干机烘干粮食相比，就仓干燥一次性投资较少，机械利用率高；同时还减少了一些输送环节，降低了粮食破损率。就仓干燥对干燥高水分谷物是一种可行的办法，但也容易出现干燥不均匀、粮层水分差等问题<sup>[5]</sup>。而入仓粮食含水量、仓外环境、干燥工艺方法均对就仓干燥效果有着显著影响<sup>[6-7]</sup>。

刚收获的小麦水分含量高，而就仓干燥由于干燥时间较长，受环境影响大等因素，如不能很好地控制处理，将对粮食品质造成不良影响。为保证小麦干燥过程品质安全，并为小麦的后熟提供合适的温湿度以及后熟时间，研究高水分含量小麦在通风条件下的品质变化规律，探索小麦就仓干燥过程水分变化规律，可以更精准地为小麦大规模就仓干燥提供数据支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

小麦：品种国红 6 号：安徽省庐江县产；氯化钠：分析纯，天津天力化学试剂有限公司；蒸馏水：分析纯。

### 1.2 仪器与设备

模拟仓采用碳钢制作，为圆形筒仓，高度

1.3 m，直径 0.8 m，设置装粮高度 1 m，采用纵向通风模式，另配置有通风孔、电缆穿线孔和通风孔板等结构。

ML204/02 电子天平：梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；FSJ-II 锤片式粮食粉碎机：中储粮成都粮食储藏研究所；BLH-5700 粮食水分测试粉碎磨：浙江伯利恒仪器设备有限公司；JFZD 电子型粉质仪：德国 Brabeder 公司；1400XT 近红外分析仪，美国 Unity 公司；模拟仓及粮情测控分机：合肥弘恩机电科技有限公司；CZR 小型离心风机：上海高工有限公司；京奥单孔扦样器：长度为 1 m，直径为 3.2 cm。

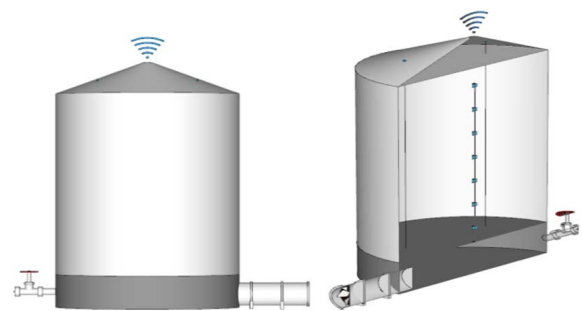


图 1 模拟仓设计图纸

Fig.1 Design drawing of simulation warehouse

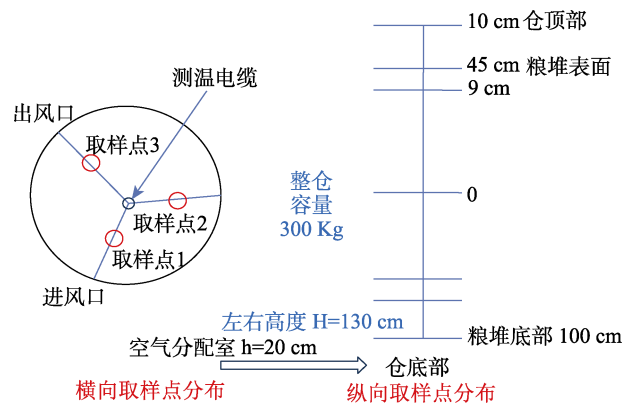


图 2 模拟仓取样点设计

Fig.2 Sampling point design of simulation warehouse

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 小麦的收获入仓

挑选新收获的小麦，初始水分含量 20% 以上，采用人工将小麦缓慢匀速倒入模拟仓内，至仓内 1 m 刻度线位置，每批小麦总重约为 300 kg，每隔 2 d 按照上述所设取样点取样，测定各取样点水分含量，直至粮堆至少有一层水分含量低至

12%。水分误差范围控制在 $\pm 0.5\%$ ，模拟仓放置环境温度 30 °C，湿度 65%的密闭房间内。

### 1.3.2 通风方式及通风量的选择

仓体采用纵向通风模式，进风口位于仓体底部，仓底部设置空气分配室，本实验所需风机型号为 CZR 小型离心风机，其基本参数如下：100 W，电压 220 V，电流 0.46 A，风压 240 Pa，转速 2 800 r/min，通风量为 2 m<sup>3</sup>/min，由风速仪测定风机最大通风量为 104 m<sup>3</sup>/h，通风时间为 24 h 不间断通风<sup>[8]</sup>。

### 1.3.3 扦样点设置

储藏期间每隔 2 d 取一次样，扦样点设置如图 2 分为 3 点，且上中下 3 层扦样，扦样时，先后下逐层扦样，而且保证各点扦样数量一致（300 g 左右）<sup>[9]</sup>，每层样品为 3 个取样点混合样。

### 1.3.4 测定方法

水分的测定：采用恒重法<sup>[10]</sup>，将称重后的物料样品放置于托盘中，置于烘箱中恒温（105 °C）加热，直到物料样品达到恒定质量。含水率计算公式为：

$$x = m_w/m_d$$

式中  $x_m$  干基含水量（% d.b）； $m_w$ —湿物料中湿分质量（kg）； $m_d$ —湿物料中绝干物料的质量（kg）。

粉质特性测定方法参照 GB/T14614—2006《小麦粉面团的物理特性吸水量和流变学特性的测定粉质仪法》。

粗蛋白、湿面筋含量测定采用近红外分析仪测定。

降落值采用 Perten Falling Number System（Perten, Hägersten, Sweden）分析。

## 1.4 数据分析

每组实验设置 3 个平行，数据采用 Excel 和 SPSS 19 处理，在  $P=0.05$  水平分析差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦就仓干燥过程中各层水分含量变化

不同层小麦含水量随着干燥天数的变化由图 3 所示，在一定风量（实测风量为 104 m<sup>3</sup>/h）通风条件下，粮堆各层水分含量下降速率存在差异，

表现为下层降水速度最快，上层次之，中间层降水最慢。但粮堆水分总体表现为与通风方向一致从下向上迁移，到干燥结束时上层含水量高于下层，各层粮食间水分存在一定差异。从本次实验中可以看到，距离粮面 90 cm 处由于与空气分配室直接接触，相比其他粮层小麦水分下降更快，于第 9 d 水分含量降至 14.07%，基本接近安全水分，且之后的水分含量继续降低，符合 GB/T 26880—2011《粮油储藏就仓干燥技术规范》要求，每次取样所测水分含量差异显著（ $P<0.05$ ）；干燥初期上层小麦（10 cm 处）水分下降速度次之，粮堆中间层（45 cm 处）水分下降速度相对最慢。原因可能是底部与空气分配室直接接触，该部分小麦中的水分可迅速被排出，水分自下向粮堆上部迁移<sup>[11-12]</sup>。同时，由于粮堆较厚，且模拟仓环境湿度较大，粮堆内部水分无法在短时间内向外迁移，导致粮堆中间层水分下降速度变慢，但随着干燥时间的增加，粮堆内部水分仍可持续自底部向表面迁移。

粮层内不同层高温湿度的变化能够间接反映相近位置的粮食温湿度变化情况，模拟仓内温湿度见表 1 所示，仓内温度在干燥期间略有波动但是变化不显著，干燥初期，仓内湿度处于较高水平，随着通风时间的延长，仓内各个取样点湿度在干燥过程中呈现下降趋势，其中最底层湿度下降幅度最大，从 82%降低至 75%，降幅达到了 8.54%，说明仓内水分逐渐向上部迁移，并随着空气流通仓内湿度逐渐降低。

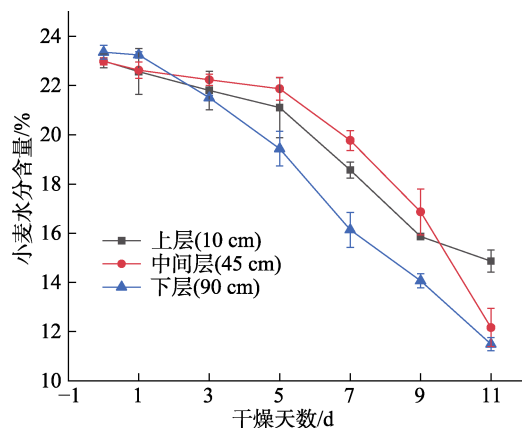


图 3 小麦就仓干燥过程中各层水分含量变化  
 Fig.3 Changes of moisture content of wheat in each layer during the warehouse drying processing

表 1 小麦就仓干燥过程中各层温湿度

Table 1 Temperature and humidity of wheat in each layer during the warehouse drying processing

	原始样	第 1 天	第 3 天	第 5 天	第 7 天	第 9 天	第 11 天
上层 (10 cm) 温度/°C	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	27.0	27.0
上层 (10 cm) 湿度/%	81.00	81.00	81.00	79.00	78.00	78.00	76.00
中间层 (45 cm) 温度/°C	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	26.0
中间层 (45 cm) 湿度/%	83.00	83.00	83.00	81.00	80.00	78.00	76.00
下层 (90 cm) 温度/°C	27.0	27.0	28.0	28.0	28.0	27.0	27.0
下层 (90 cm) 湿度/%	82.00	82.00	84.00	82.00	79.00	77.00	75.00

## 2.2 小麦就仓干燥过程中各层粉质特性变化

粉质特性表现的是面团的揉混特性。小麦就仓干燥过程中各层的粉质特性变化如表 2 所示。在 11 d 的干燥期内，粉质吸水率基本没有变化，其他粉质特征指标与吸水率趋势相似，均不能灵敏地表现小麦干燥过程中的品质变化<sup>[13]</sup>。

表 2 就仓干燥过程中各层小麦粉质特征参数

Table 2 Characteristic parameters of wheat flour in each layer during the warehouse drying processing

干燥时间/d	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU	最大稠度 FU	
0	上层 (10 cm)	53.40	2.2	3.8	79	498
	中间层 (45 cm)	53.12	2.4	3.8	80	502
	下层 (90 cm)	53.30	2.4	3.8	79	498
1	上层 (10 cm)	53.20	2.2	3.8	83	496
	中间层 (45 cm)	53.45	2.2	3.8	83	496
	下层 (90 cm)	53.40	2.3	3.8	82	501
3	上层 (10 cm)	54.10	2.3	3.8	82	499
	中间层 (45 cm)	53.50	2.4	3.8	81	498
	下层 (90 cm)	54.03	2.4	3.9	83	493
5	上层 (10 cm)	54.40	2.5	3.9	84	490
	中间层 (45 cm)	53.30	2.3	3.8	83	498
	下层 (90 cm)	54.33	2.3	4.0	85	506
7	上层 (10 cm)	54.20	2.4	4.0	81	486
	中间层 (45 cm)	54.71	2.3	3.8	83	492
	下层 (90 cm)	54.20	2.4	4.0	81	499
9	上层 (10 cm)	53.70	2.5	3.9	84	503
	中间层 (45 cm)	54.20	2.5	4.0	83	496
	下层 (90 cm)	54.14	2.7	4.1	86	501
11	上层 (10 cm)	54.40	2.7	4.0	88	497
	中间层 (45 cm)	54.20	2.8	4.0	92	506
	下层 (90 cm)	54.63	2.8	4.1	93	517

## 2.3 小麦就仓干燥过程中各层粗蛋白、湿面筋含量变化

蛋白是小麦中重要的营养物质之一，其含量对小麦食用及加工特性有着显著影响，高水分小麦在就仓干燥过程中粗蛋白含量如图 4 所示。在 11 d 的干燥期内，不同层小麦中粗蛋白含量略有

波动，但是总体变化不显著。本实验就仓干燥法采用通风技术，有效地避免了烘干机干燥时高温对小麦蛋白质的不良影响，较好的保证了小麦的加工品质。

籽粒蛋白质含量、湿面筋含量和面团稳定时间是反映小麦强、弱筋类品质特性的关键指标，其中湿面筋含量与小麦蛋白质含量呈显著正相关<sup>[14]</sup>。高水分小麦在就仓干燥期间湿面筋含量如图 5 所示，0~7 d 内，湿面筋含量基本无变化，干燥

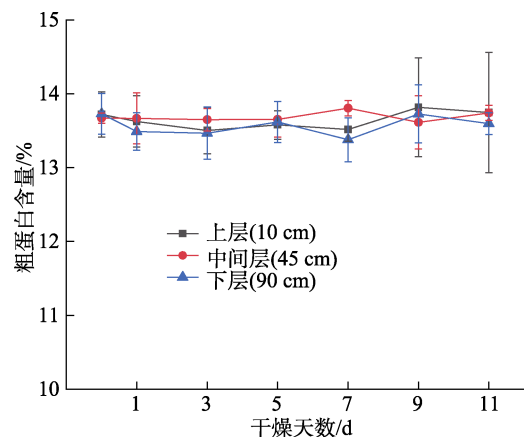


图 4 就仓干燥过程中各层小麦粗蛋白含量

Fig.4 Crude protein content of wheat in each layer during the warehouse drying processing

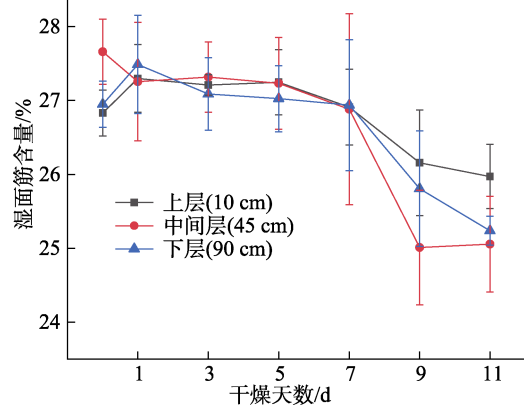


图 5 就仓干燥过程中各层小麦湿面筋含量

Fig.5 Wet gluten content of wheat in each layer during the warehouse drying processing



后期各层小麦湿面筋含量均有不同程度下降趋势,其中中间层下降速率最大,但趋势不显著,说明小麦湿面筋含量受含水量变化影响不显著,这一结果也与前人研究结果基本一致<sup>[15]</sup>。

#### 2.4 小麦就仓干燥过程中各层降落值变化

降落数值反映了小麦粉中 $\alpha$ -淀粉酶的活性,降落数值越高, $\alpha$ -淀粉酶的活性越低,过高的活性小麦粉加工品质产生不良影响<sup>[16]</sup>。一般新小麦降落值为 300~350 s,少量发芽时为 200 s 左右,严重发芽时为 60~100 s。小麦粒在不同仓中储藏、不同时间的降落数值测定结果如图 6 所示。不同层小麦的降落数值在干燥过程中呈下降趋势,且最下层小麦下降趋势较其他两层最慢,但不同层小麦在整个干燥过程中其降落值之间差异不大,在干燥过程结束后,仓内小麦的降落值最低值 362 s 在正常范围内。

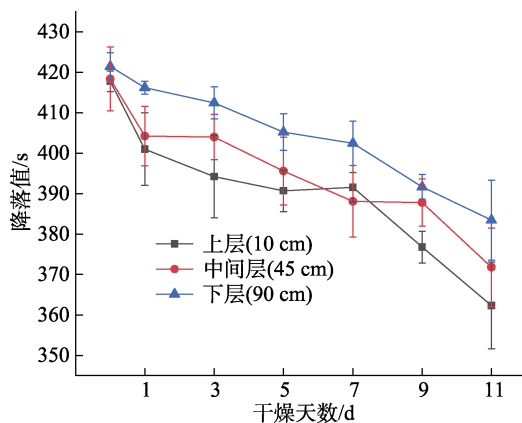


图 6 就仓干燥过程中各层小麦降落值

Fig.6 Wheat falling value in each layer during the warehouse drying processing

### 3 结论

本研究中含水量超过 20% 的高水分小麦在就仓干燥环境下储藏,随着储藏时间增加,小麦的水分含量呈现下降趋势,经过 11 d 就仓干燥后,除上层小麦水分含量略高于安全水分,其余各层小麦含水量均下降至安全水分以下,其中靠近出风口的下层小麦水分含量最低,其水分降低至 11.5%。粮堆水分总体表现为与通风方向一致从下向上迁移,在一定通风量和通风时间内,各粮层降水存在一定的不均匀性。在 11 d 的干燥期内,小麦粉质特性、蛋白质含量、湿面筋含量变化不显著、降落值逐渐降低,但尚处于正常范围内,

小麦品质未见明显不良变化。但不同层小麦含水量有差异,说明单纯采用通风干燥会出现仓内小麦水分含量不均一的问题,可能出现随着干燥时间的延长,上中部小麦水分含量降至安全水分,而底部小麦出现过度干燥、品质劣变等现象。所以在大规模实仓干燥过程中,加热辅助干燥、整仓搅拌等技术的应用能够显著改善干燥不均匀,干燥后的粮食品质不佳等问题。就仓干燥技术作为一种高效、节能的新型干燥技术,对于高水分粮食的保质储藏,具有良好的发展前景。

#### 参考文献:

- [1] 刘锐,魏益民,张影全,等.谷蛋白大聚体在小麦加工中的作用[J].中国粮油学报,2014,29(1):119-122+128.  
LIU R, WEI Y M, ZHANG Y Q, et al. The role of glutenin macromers in wheat processing[J]. Chinese Journal of Cereals and Oils, 2014, 29 (1): 119-122+128.
- [2] 岳媛媛,刘效谦,母梦羽,等.新收获小麦后熟过程中麦谷蛋白大聚体二级结构变化与面团流变学特性的关系研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2021,42(5):39-46+63.  
YUE Y Y, LIU X Q, MU M Y, et al. Study on the relationship between the secondary structure changes of glutenin macromers and the rheological properties of dough during the ripening of newly harvested wheat[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2021, 42(5): 39-46+63.
- [3] 蔡静平,张帅兵,翟焕趁,等.临界安全水分下小麦储藏过程中抗霉变特性的比较[J].现代食品科技,2013,29(7):1528-1532.  
CAI J P, ZHANG S B, ZHAI H C, et al. Comparison of anti mildew properties of wheat during storage under critical safe moisture[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29 (7): 1528-1532.
- [4] 方茜,陶诚.当前我国高水分粮处理的现状与对策[J].粮食储藏,2010,39(2):14-20.  
FANG Q, TAO C. Current situation and countermeasures of high moisture grain treatment in China[J]. Grain Storage, 2010, 39 (2): 14-20.
- [5] 沈士军,汤金来.影响高水分粮就仓干燥效果的主要因素[J].粮油仓储科技通讯,2009,(1):31-34.  
SHEN S J, TANG J L. Main factors affecting the drying effect of high moisture grain in warehouse[J]. Science and Technology Communication of Grain and Oil Storage, 2009, (1): 31-34.
- [6] 郭海霞,王建国,刘坤.粮食就仓干燥技术可有效提高粮食存储质量[J].中国食品工业,2021(24):127-128.  
GUO H X, WANG J G, LIU K. Grain in warehouse drying technology can effectively improve grain storage quality[J].

- China Food Industry, 2021 (24): 127-128.
- [7] 王柯, 王远成, 俞晓静, 等. 不同通风温度下储粮仓横向降温保水通风数值模拟研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 198-207.  
WANG K, WANG Y C, YU X J, et al. Study on numerical simulation of transverse cooling and water retaining ventilation of grain storage silos under different ventilation temperatures [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29 (3): 198-207.
- [8] 段依梦. 粳稻谷就仓干燥过程品质变化及其通风降水规律研究[D]. 安徽科技学院, 2020, 34-35.  
DUAN Y M. Study on the quality change of japonica rice and its ventilation and precipitation law during the in store drying process[D]. Anhui University of Science and Technology, 2020, 34-35.
- [9] 粮食、油料检验扦样、分样法: GB549—2009[S].  
Inspection of grain and oilseeds Methods for sampling and sample reduction: GB5491—2009[S].
- [10] 丁正耀, 朱德泉, 陶程云, 等. 高水分小麦干燥特性及其数学模型的研究[J]. 农机化研究, 2012, 34(9): 55-60.  
DING Z Y, ZHU D Q, TAO C Y, et al. Study on drying characteristics and mathematical model of high moisture wheat[J]. Research on Agricultural Mechanization, 2012, 34 (9): 55-60
- [11] 段依梦, 宋玉, 曹磊, 等. 温度对高水分稻谷储藏品质的影响及其预测模型研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41 (19): 304-308+326.  
DUAN Y M, SONG Y, CAO L, et al. Study on the influence of temperature on the storage quality of high moisture rice and its prediction model[J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41 (19): 304-308+326.
- [12] 汪紫薇, 渠琛玲, 刘畅, 等. 干湿混储小麦通风降水规律及其储藏品质变化研究[J]. 粮食储藏, 2019, 48(3): 5.  
WANG Z W, QU C L, LIU C, et al. Study on the law of ventilation and precipitation of dry wet mixed storage wheat and its storage quality change[J]. Grain Storage, 2019, 48 (3): 5.
- [13] 何鑫, 王若兰, 刘露露, 等. 发热霉变前后小麦粉品质变化研究[J]. 食品科技, 2019, 44(11): 7.  
HE X, WANG R L, LIU L L, et al. Study on the change of wheat flour quality before and after heat mildew[J]. Food Science and Technology, 2019, 44 (11): 7.
- [14] 郑文寅, 胡泽林, 程颖, 等. 安徽麦区软质小麦籽粒品质和终端制品品质评价[J/OL]. 麦类作物学报.  
ZHENG W Y, HU Z L, CHENG Y, et al. Soft Wheat in Anhui Wheat Region Evaluation of grain quality and end product quality[J/OL]. Journal of Wheat Crops.
- [15] 王金炫, 王小平. 小麦品质和储存时间对面筋吸水量的影响[J]. 现代面粉工业, 2018, 32(3): 4.  
WANG J X, WANG X P. Effect of wheat quality and storage time on water absorption of gluten[J]. Modern Flour Industry, 2018, 32 (3): 4.
- [16] EUGENIA S, RIBOTTA P D, PEREZ G T, et al. Combinations of glucose oxidase,  $\alpha$ -amylase and xylanase affect dough properties and breadquality[J]. Int J Food Sci Tech, 2012, 47 (3): 525-534. 
- 备注:** 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。