

黄淮流域高水分玉米就仓干燥技术优化研究

Optimization of drying technology for high moisture corn in the Huang Huai Valley

张德欣¹ 杨庆询² 刘艳芳¹

ZHANG De-xin¹ YANG Qing-xun² LIU Yan-fang¹

(1. 阜阳职业技术学院, 安徽 阜阳 236031; 2. 中储粮总公司阜阳直属库, 安徽 阜阳 236000)

(1. Fuyang Vocational Technical College, Fuyang, Anhui 236031, China;

2. China Grain Reserves Corporation Fuyang Branch, Fuyang, Anhui 236000, China)

摘要:以现行的国家储粮技术规范为基础,结合黄淮流域储粮生态和粮情,采用精准检测水分、合理布置风网、机械通风降水、倒仓平衡水分的方法,通过优化试验,解决了在具体的干燥实践过程中出现的粮食过度干燥,通风降水过程存在“瓶颈现象”造成干燥效果下降,以及粮堆各部位水分梯度较大等问题。

关键词:就仓干燥;过度干燥;水分梯度;

Abstract:According to the current national grain storage technology standard as the basis, combined with the local ecological environment of stored grain and the situation of the grain. Using the method of accurate detection of water, reasonable layout of ventilation network, mechanical ventilation, moisture balance daocang precipitation. By optimizing the experimental, solve the excessive drying of the grain in specific drying process, ventilation precipitation process and bottleneck phenomenon caused by drying effect got decreased and grain heap each part of the moisture gradient is large. For other grain ecological zones and other varieties of grain drying and provide reference.

Keywords: Warehouse drying; over drying; moisture gradient

黄淮流域是中国粮食主产区,主要粮食品种为小麦、玉米和大豆。黄淮流域属于中温干燥储粮区,四季分明,温度适中,降雨偏少,空气相对干燥,比较适合晾晒和机械通风干燥。近年来机械烘干和机械通风干燥逐渐普及^[1-2]。然而机械烘干投资大、烘干费用高,只适用于种粮大户和大粮商。适当晾晒和通风干燥相结合的方法干燥费用低,很适合黄淮流域中小储量库的粮食干燥。

基金项目:安徽省高校学科(专业)拔尖人才学术资助项目(编号:gx-bjZD54,皖教秘人[2017]28号)

作者简介:张德欣,男,阜阳职业技术学院副教授,硕士。

通信作者:刘艳芳(1980—)女,阜阳职业技术学院副教授,硕士。

E-mail:472445502@qq.com

收稿日期:2017-02-06

当前,黄淮流域中小储粮库在储存托市收购或种粮大户自行收获的高水分玉米干燥方面,主要采用烘干机械干燥等方法将玉米降到安全储藏水分以下。其基本操作方式是由粮食烘干专业人员到储粮库进行干燥作业,根据粮食水分含量不同,协议烘干价格基本在 60~80 元/t 不等,烘干费用高,仓储成本压力大。此外,张德欣等^[2]对高达平房仓储存高水分玉米进行了外加热通风干燥探索;蒋国斌等^[3]进行了偏高水分玉米就仓节能干燥试验,但也使用了外部加热的方式。以上方法不但能耗较高,而且风网和烘干设备投资较大,非专业大型粮食仓储企业设备利用率不高,还有仓内各部位水分梯度较大等问题不能得到很好的解决。本研究拟在粮油储藏就仓干燥技术规范^[4]、粮油储藏技术规范^[5]、储粮机械通风技术规程^[6]等国家粮食干燥技术规范、规程的基础上,结合当地玉米收获入储的秋冬季节气候干燥、托市收购玉米水分不太高(绝大部分在 20% 以下)的实际粮情和以中小型平房仓为主的仓储条件,通过合理布置通风网络、合理选择通风机械、多点监控储粮水分,结合其他热泵技术或冷谷方法,探索更符合当地气候特征、实际粮情和仓储条件的就仓干燥方法,获得相关的试验数据和经验参数,为选择合理的就仓干燥条件,优化就仓干燥工艺提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试粮情

本课题组自 2009~2014 年陆续对地产高水分玉米实施干燥试验,累计干燥玉米 5 万余 t,其中单体容积 500 t 的小型仓占 20% 左右;单体容积 5 000 t(实际装粮量 4 000 t 左右)的高大平房仓占 80% 左右。地产混品种玉米,入仓平均水分为 16.0%~20.0%,杂质≤1%,不完善粒 7.0%~8.0%,霉变粒≤1.7%。

玉米入仓水分在 20% 以下,托市低温干燥的气候特点,为就仓通风干燥创造了有利的条件。

1.2 方案设计

1.2.1 粮仓准备 粮仓设施完备,气密性良好。使用前充分清扫,通风干燥后备用。

1.2.2 机械通风系统 设计有方案一和方案二。方案一配备就仓干燥风机 10 台;方案二配备就仓干燥风机 16 台。相应配备风管系统。风管系统安装完毕后方可将玉米入储。

1.2.3 粮食入储 严格控制入储玉米的初始水分保证 $\leq 20\%$,对杂质、不完善粒、霉变粒也要按收储指标严格控制。尽量将每批次入储玉米分散开来,不同批次的尽量混匀。

1.2.4 通风干燥 入仓时逐组风道进粮,边进粮边平整粮面,当一组风道被粮食完全覆盖即可通风降水。通风降水宜采用压入式通风。

1.2.5 水分检测 合理分布水分检测点。扦样点的确定非常关键,扦样点选择见图 1、2。

图 1 为扦样点平面图。取通风道前端和末端的正中间为扦样点,通风道正上方和两条通风道正中间各取一个点,扦样点取双数,一机三道取 6 个点,一机四道取 8 个点。

图 2 为扦样点立面图。粮堆高度上、中、下 3 等分,取上、中、下 3 份的中间点为扦样点。

降水过程中逐点扦样检测水分:通风降水期间按图 1、2 布设扦样点逐点扦样,用快速水分仪检测水分,掌握通风降水期间水分变化情况。

接近通风结束时定点定量扦样检测水分:按图 1、2 布设扦样点逐点扦样,每个扦样点取样数量一致(用小容器或小

纸杯定量,都取 50 g 或 100 g),分层混合或整体混合检测分层综合水分或整体综合水分。

当各组通风道通风降水持续时间不一致时,逐组风道检测综合水分,达到目标水分停止该组风道通风降水。

1.3 试验设备

离心风机:L4-72-No6C 型,配备功率 7.5 kW,转速 15 000 r/min,流量 8 288 ~ 16 576 m³/h,全压 1 116 ~ 1 760 Pa,石家庄市风机厂有限责任公司;

电动吸式扦样器:GQ600-25 型,功率 1 500 W,电压 220 V/50 Hz,扦样深度 0~10 m,浙东粮检仪器厂;

水分测定仪:PM8188 型,高频电容式(50 MHz),使用温度范围 0~40 ℃,测定精度 $\pm 0.5\%$,日本 KETT 公司。

1.4 试验方法

1.4.1 玉米就仓干燥流程

通风系统改造→玉米入仓→通风干燥→检测水分→倒仓混合→降温平衡水分

1.4.2 通风系统改造 近十几年新建的仓房大多是高大平房仓,仅能满足通风降温需要,500~1 000 t 的小型房式仓通风系统基本可以满足降水通风要求。高大平房仓通风系统改造分别有方案一(见图 3)和方案二(见图 4)。

散仓储粮(图 3),干燥风道从墙外穿入粮仓。每栋仓房配 10 台 L4-72-No6C 型风机,一机三道,风道间距 2 m,风道长度 24 m,仓房一面开通风孔,堆粮高度 3~4 m。

包围储粮(图 4),在布置主风管的两侧以盛粮麻袋打围,内侧堆粮,主风道布置在打围麻袋之间。每栋仓房配 16 台 L4-72-No6C 型风机,一机三道,风道间距 2 m,风道长度 12~18 m,通风口在仓内包打围侧面,通过软连接经过两门中间通道与仓门外离心风机出风口相连,两门中间包打围,包围高度 2 m,包围宽度 1.5~1.8 m,堆粮高度 3 m,粮堆上部堆成梯形。

风机选用 L4-72-No6C 型离心风机。需要注意的是:从离心风机出风口→仓房通风口→空气分配箱→主风道→支风道有效通风截面面积不能减小,防止出现瓶颈现象。很多厂家生产的通风系统都存在瓶颈现象,严重影响通风降水效果,当通风系统某一处有效通风截面面积减小一半,风机的风量也减小将近一半。

1.4.3 通风降水操作方法 通风降水条件参照《储粮机械通风技术规程》^[6](LS/T 1202—2002),一般早晨 8~10 时至晚上 8~10 时,如果配备热泵加热装置,夜间加热空气升温 5~10 ℃可 24 h 不间断通风降水。

如果秋季降水达不到目标,玉米温度降到 5~10 ℃,不宜过低。通风降水期间加强粮情检查,发现局部发热及时通风处理,等到次年春天气温回升到 10 ℃以上继续通风降水。

1.4.4 水分监测方法 将 GQ600-25 型电动吸成扦样器插入对应的扦样点扦样,立即用 PM8188 水分测定仪测定水分含量,并记录。

1.4.5 倒仓混合、平衡水分操作 监测点水分含量达到预期含量时,进行倒仓混合,进一步平衡水分。

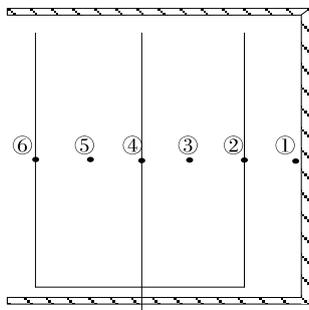


图 1 扦样点平面布置示意图

Figure 1 Schematic layout of sampling point

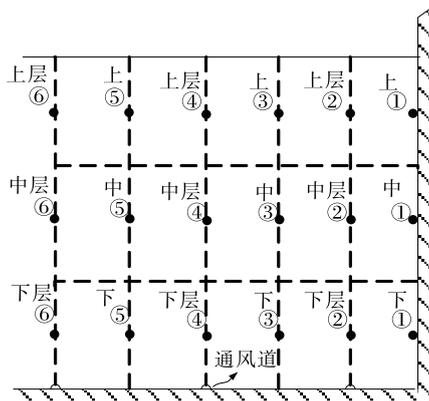


图 2 扦样点立面布置示意图

Figure 2 Sketch map of sampling point elevation

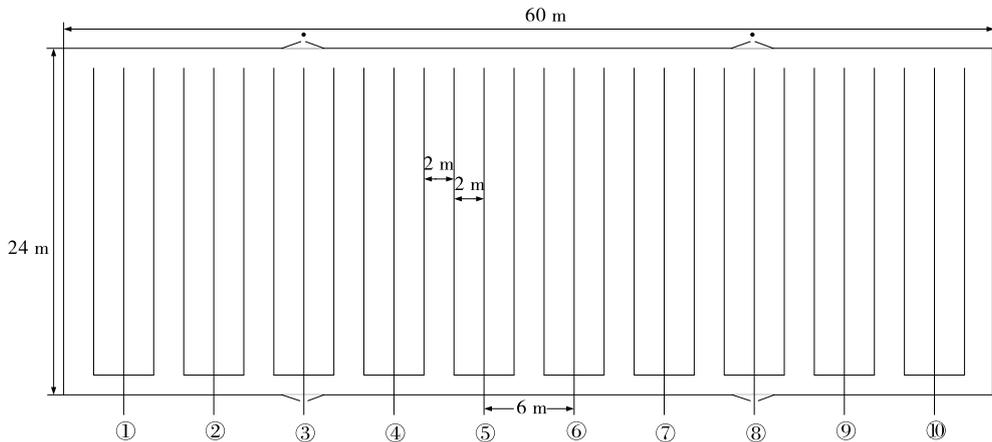


图 3 散仓通风储藏

Figure 3 Bulk bin ventilation storage

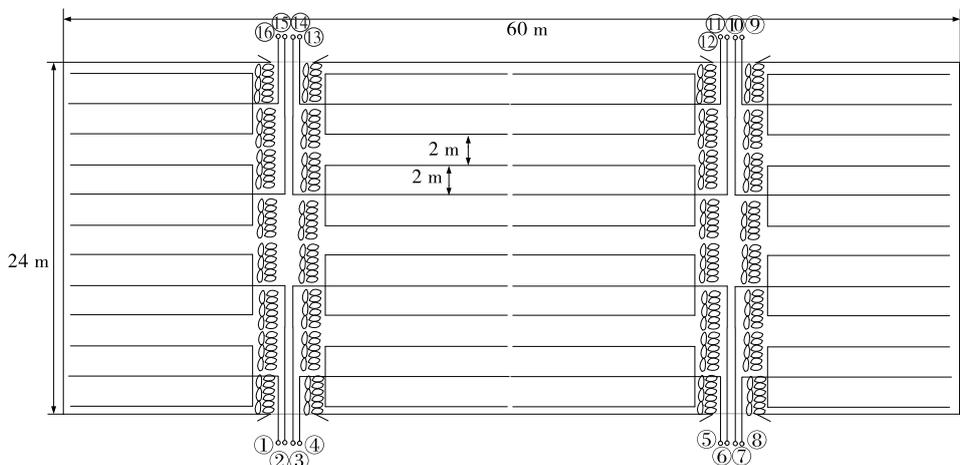


图 4 包打围通风贮藏

Figure 4 His bag ventilated storage

2 结果与讨论

2.1 通风干燥效果分析

2.1.1 干燥时间测算试验 为预演和推算干燥时间,用 L4-72-No6C 型离心风机对不同数量、不同水分含量的玉米进行了单台风机通风降水试验,不同水分、不同数量的玉米,将平均水分含量降到 14% 时,所需通风时间见表 1。

选择其它风机时,要测量风机的实际风量,计算每台风机每小时降水量,每立方米空气可以带走水分 1.2~1.8 g(经验数据仅供参考)。根据每台风机(风量参数)干燥的粮食数量和水分降幅计算需要的实际干燥天数。

根据可供选择的干燥时间段(有效降水天数)、干燥前粮食水分、每台风机每小时降水量,再根据《粮油储藏 就仓干燥技术规范》^[4]附录 B 规定的粮食安全干燥期,确定每台风机所能干燥的最多粮食数量。干燥时间段最好选择秋季入冬前降水结束,有利于后期倒仓混合、平衡水分、降温和安全储藏。

应根据每台风机干燥的粮食数量和仓房状况确定通风道布置方式和堆粮高度。

若秋季通风降水达不到预期目标,玉米温度应保持在 10℃ 左右,最低不应低于 5℃。经验表明:次年春天气温回

表 1 单台 L4-72-No6C 型离心风机通风与降水时间关系表[†]

Table 1 The table of the relationship between ventilation and precipitation time of a single L4-72-No6C centrifugal fan

干燥前玉米初 始水分/%	干燥时间/d			
	200 t	300 t	400 t	500 t
16	18	27	36	45
17	27	41	54	68
18	36	54	72	90
19	45	68	90	113
20	54	81	108	135

[†] 不同水分和数量玉米籽粒终结水分降到 14%;每天通风按 12 h 计算,经验数据仅供参考,空气温湿度、粮温变化时降水时间也随着变化。

升玉米通风降水前期,低温的玉米水分不降低反而增加 0.5% 左右,玉米温度越低增加水分越多。通风降水期间加强粮情检查,发现局部发热及时通风处理,等到次年春天气温回升到 10℃ 以上继续通风降水。

通风期间必须准确测定水分。按照现行扦样规则检测

水分误差较大,与玉米的实际水分相差1%~2%,原因是玉米干燥期间水分非常不均匀(水分梯度过大造成),现行扦样规则扦取水样品的水分不能代表实际玉米的综合水分。

通风道前端和末端降水速度相差10%~20%,通风道正上方和两条通风道正中间降水速度相差很大,粮堆上中下3层降水速度相差更大。

表1试验数据表明了用L4-72-No6C型离心风机单台风机分别对200,300,400,500t的存量封闭仓、初始水分依次为16%,17%,18%,19%,20%的玉米,干燥到终结水分14%的通风量和降水量的关系。可以看出,降水量最少的为1.220 g/m³·通风量,降水量最大的为1.235 g/m³·通风量,平均值为1.232 g/m³·通风量,且具有很好的稳定性。这说明,通风降水主要除去的是玉米籽粒中的自由水分,在14%的水分含量限值以上,水分降低的质量是随着通风量的增加而增加的。据此,可以根据干燥玉米的总质量、初始水分含量和最终水分含量来计算所需的干燥时间。经验公式为:

$$T = \frac{G \times (W_0 - W_1) \times 1.16}{Q \times 1.23} \times 10^6 = \frac{G \times (W_0 - W_1) \times 1.09}{Q} \times 10^6, \quad (1)$$

式中:

- T——干燥时间,h;
- G——储粮质量,t;
- Q——风机风量,m³/h;
- W₀——初始水分,%;
- W₁——干燥结束水分,%;
- 1.23——经验系数(每立方米通风量带走的水分克数);
- 1.16——推算值:以100g湿玉米(15%≤水分≤20%)

当水分降到14%时,水分每降低1%实际逸去水分的质量(g)。

2.1.2 倒仓混合水分平衡的效果 玉米通风降水结束水分非常不均匀,粮堆的底层和上层水分相差5%左右,必需倒仓混合平衡水分后才能安全储藏。试验数据见表2。

本试验组对玉米经通风干燥后倒仓水分平衡情况进行了跟踪测定。中储粮阜阳直属库朱寨收购点6号库4550t玉米于2014年4月24日通风干燥结束,随后从2014年4月25日起开始转运至阜阳直属库本部X2号仓进行倒仓贮存,2014年5月12日倒仓运输完毕封仓,即进入封仓水分平衡阶段。在不同的时间节点,测定各分布点水分。不同水分含量所占的比例分布情况见表3。

为进一步验证高低水分混合平衡效果,本试验分别用低水分小麦混合高水分玉米(第一组)和高水分小麦与低水分玉米(第二组)各2kg密封于塑料袋中,在不同的时间节点,分取部分样品,用Φ4.5mm分级圆筛进行筛分并用PM8188型水分测定仪快速测定水分,得到的高低水分粮食混合后水分平衡试验数据见表4。

倒仓混合时要注意最先出仓的粮食水分较高,原因是最先出仓的粮食由于漏斗效应大多是上层高水分粮食,这部分粮食单独干燥后才能倒仓混合或与后期出仓水分较低的粮食混合后倒仓。秋季干燥结束的玉米倒仓混合后利用冬季通风降温同时平衡水分。春季干燥结束的玉米倒仓混合后利用夜间低温时段通风降温同时平衡水分(最好选择连续3~5d偏北风气温降低湿度较低的时段夜间通风降温),如果后期气温较高,利用谷物冷却机通风降温同时平衡水分。

表3数据表明:通风干燥结束虽然整仓平均水分降到13.1%,但是水分14.0%以上的数量占到30%,水分12.0%~14.0%的数量占到33%,水分12.0%以下的数量占

表2 朱寨库玉米通风干燥结束水分检测表[†]

Table 2 Zhu village library corn ventilated dry end moisture testing table

检测点	No1	No2	No3	No4	No5	No6	No7	No8	No9	No10
上层	15.5	15.6	16.0	15.2	15.4	14.4	14.5	15.6	13.8	13.6
中层	13.1	12.7	15.6	13.1	12.7	12.3	12.6	13.3	11.5	11.5
下层	11.3	11.3	13.4	11.1	11.5	11.0	11.6	11.8	11.1	11.1

[†] 2014年4月24日;检测点从No1至No10依次代表6号库从东至西的第1间至第10间;每个水分数值对应分层测定的6个点的平均值,按单间储存总数量的1/3计算为该水分玉米的数量。

表3 玉米通风就仓干燥结束至倒仓水分平衡后不同水分数量比例分布表

Table 3 Corn drying warehouse ventilation until the end of the water balance after different water quantity distribution table

时间节点	%		
	水分≥14%以上	水分12%~14%	水分≤12%
通风干燥结束时不同水分含量数量比例分布(2014年4月24日,袁寨收储点6号库)	30	33	37
倒仓混合结束封仓时不同水分含量数量比例分布(2014年5月13日,阜阳直属库本部X2号库)	19	74	7
推算水分平衡结束时不同水分含量数量比例分布(2014年5月13日,袁寨收储点6号库)	4	86	10

表 4 粮食水分平衡试验[†]

Table 4 Grain moisture balance test

时间	累计时间/h	各平衡时间点水分含量/%			
		玉米	小麦	玉米	小麦
9月7日 11:00	0	16.2	10.8	11.0	16.1
9月7日 18:00	7	14.5	12.7	12.5	14.8
9月8日 10:00	23	13.8	13.3	12.9	14.2
9月10日 17:00	78	13.7	13.4	12.9	14.2
9月22日 11:00	360	13.6	13.4	13.0	14.1

† 高低水分粮食混合后 24 h 水分转移基本结束达到平衡。

到 37%，水分非常不均匀，不能安全储藏。表 2 数据表明：通风干燥结束最高水分 16.0%；倒仓混合结束最高水分含量 15.0%，2 种情况均不能达到安全储藏的要求，但是水分平衡结束后，最高水分含量点含量为 14.2%，可以满足安全储藏的要求。

表 3 数据还表明：玉米就仓干燥从通风干燥结束到平衡水分结束，水分 ≥ 14% 的数量从 30% 下降到 4%，水分 12%~14% 的数量从 33% 上升到 86%，粮堆水分的均匀度大为改善，有利于后期安全储藏。

表 4 是高低水分粮食混合非常均匀的情况下水分平衡试验数据，混合后 24 h 水分转移基本结束达到平衡，实际倒仓混合达不到这种效果，必需适当通风平衡水分。

2.1.3 粮食干燥降水损失分析 根据粮食干燥前后干物质不变的原理计算数量损失。干燥前后质量损失按式(2)计算，干燥后理论质量按式(3)计算：

$$S = A - X, \quad (2)$$

$$X = \frac{1 - W_0}{1 - W_1}, \quad (3)$$

表 5 朱寨 6[#] 库玉米通风就仓干燥成本分析表[†]Table 5 Analysis on the drying cost of corn ventilation in 6[#] reservoir

干燥玉米 总质量/t	干燥前初始平 均水分/%	通风干燥后平 均水分/%	累计通风 时间/h	风机台 数/台	单台风机 功率/kW	通风降水单位能耗/ [kW·h·(1%水分·t) ⁻¹]	能耗费用/ (元·t ⁻¹)	人工布置风网及倒仓 混合费用/(元·t ⁻¹)	能耗及人工费用 合计/(元·t ⁻¹)
4 550	16.0	11.7	1 255	5	7.5	2.41	12.77	12.0	24.77

† 电价按 1.0 元/kW·h 计；人工布置风网及倒仓混合费用为合同协议价。

2.3 高水分玉米获得良好干燥效果的相关环节操作实施要点

按照既有的粮食干燥规范、规程操作，玉米干燥结束时干燥区前沿移出粮面或移出粮堆底面，当干燥区前沿水分降到 14%~15% 时(黄淮流域玉米安全水分 14%)，整仓玉米平均水分已降到 12% 左右，远低于玉米国家标准水分 14%，造成干燥过度，玉米数量损失 2.3% 左右，每吨玉米损失 40~50 元。原因是玉米通风干燥水分非常不均匀，粮堆实际水分梯度达到 2.0% 水分/m 粮层厚度左右，远大于《储粮机械通风技术规程》^[6] 的要求(粮堆水分梯度 ≤ 0.5% 水分/m 粮层厚度)。由于水分梯度大，粮堆的底层和上层水分相差 5% 左右，当干燥区前沿水分降到 15% 左右时，整仓玉米平均水分已降到 12% 左右，造成过度干燥。

《粮油储藏 就仓干燥技术规范》^[4] 制定的组合式多管

式中：

S——干燥前后质量损失，kg；

X——干燥后质量，kg；

W₀——干燥前水分，%；

A——干燥前质量，kg；

W₁——干燥后水分，%。

玉米在通风干燥过程中实际损耗情况为：干燥前入仓数量 648 150 kg，综合水分含量 17.07%；干燥后出仓数量 620 260 kg，综合水分含量 13.26%；实际质量损失 27 890 kg，干燥前后水分含量差为 3.81%；玉米干燥每降低水分 1% 理论损耗率 1.15%，实际损耗率 1.13%，基本相符。

干燥试验表明，实际干燥过程中的质量损失与理论损失量基本相符，可以通过初始水分和干燥终结水分以及实际入仓量进行计算。

2.2 就仓干燥成本分析

L4-72-No6C 型离心风对机玉米通风降水单位能耗为 1 200 kJ/kg·水分，是粮食烘干机国家标准能耗 8 000 kJ/kg·水分的 15%。《储粮机械通风技术规程》^[6] 附录 C.2.2 降水通风的单位能耗要求：玉米降水单位能耗 ≤ 2.0 kW·h/(1%水分·t)。夏季入库小麦秋季用 L4-72-No6C 型离心风机通风降水单位能耗 ≤ 2.0 kW·h/(1%水分·t)。轴流风机通风降水单位能耗 ≤ 2.0 kW·h/(1%水分·t)，但轴流风机风量小，干燥速度慢，干燥时间长，不适宜高水分玉米通风降水。本试验通风降水能耗统计见表 5。

由表 5 可知，采用 L4-72-No6C 型离心风机对玉米进行通风降水 4.3%，电费 12.77 元/t，倒仓混合人工费 12 元/t，合计 24.77 元/t 左右，比机械烘干费用 60 元/t(当地市场通用价格)降低一半还多，节约效果明显。

通风系统就仓干燥方法也存在上述现象，当相邻 4 根立体通风管正中间水分降到 15% 左右时，整仓玉米平均水分也降到 12% 左右，造成过度干燥。

为此，要解决过度干燥问题，根据多年探索谷物就仓干燥的经验，提出以下意见：

玉米不耐高温，其最适宜降水温度为 10~20℃，25℃ 左右可以降水但玉米脂肪酸值升高较快，10℃ 以下降水速度很慢而且能耗高，降水时间为 10~12 月和次年的 3~4 月。玉米田间收获时间不宜过早，在不影响小麦播种期的前提下尽量晚些收割，通过田间晾晒使玉米水分降到 25% 左右。收获的玉米穗继续晾晒，待水分降到 20% 左右脱粒晾晒^[6]。如果玉米粒晾晒能力有限或天气不好，玉米穗不要急于脱粒且要保持良好的通风状态(脱粒后的高水分玉米不及

(下转第 144 页)

一种有效的方法,制备的玉米黄色素具有一定抗癌活性,但其确切抗胃癌机制还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 赵锦. 气候变化背景下我国玉米产量潜力及提升空间研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015: 1-8.
- [2] SITHITRAI K, KETTHAISONG D, LERTRAT K, et al. Bioactive, antioxidant and enzyme activity changes in frozen, cooked, mini, super-sweet corn (*Zea mays* L. *saccharata* 'Naultong') [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, 44(12): 1-9.
- [3] NWACHUKWU I D, UDENIGWE C C, ALUKO R E, et al. Lutein and zeaxanthin: Production technology, bioavailability, mechanisms of action, visual function, and health claim status [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 49(3): 74-84.
- [4] PRADO-CABRERO A, BEATTY S, STACK J, et al. Quantification of zeaxanthin stereoisomers and lutein in trout flesh using chiral high-performance liquid chromatography-diode array detection [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016, 50(7): 19-22.
- [5] 袁晓晴, 刘红梅, 王德静, 等. 超声波辅助乙醇提取玉米黄色素的工艺研究[J]. *中国食品添加剂*, 2015(5): 132-136.
- [6] 周芳, 郝红英. 玉米黄色素提取工艺研究进展[J]. *广东化工*, 2014, 41(21): 105-106.
- [7] 李晓玲, 王世清, 王文亮, 等. 大孔树脂纯化脂溶性玉米黄色素

- [J]. *中国食品学报*, 2014, 14(9): 164-169.
- [8] 黄新辉, 李跟深, 马淑惠, 等. 玉米黄色素的稳定性研究[J]. *化学与生物工程*, 2006, 23(6): 38-40.
- [9] 李晓玲, 王世清, 徐同成, 等. 玉米黄色素对人卵巢透明癌细胞 ES-2 侵袭、迁移、凋亡及周期的影响[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(2): 1-5.
- [10] 朱洪梅. 玉米黄色素提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(7): 15-20.
- [11] 孙震, 苏宇杰, 姚惠源. 玉米蛋白粉中黄体素、玉米黄素对乳腺癌细胞增殖的影响[J]. *食品与机械*, 2005, 21(2): 6-11.
- [12] 刘军海, 王俊宏, 代红灵. 玉米黄色素提取工艺的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(11): 109-111.
- [13] 李晓玲, 陈相艳, 王文亮, 等. 超微粉碎与微波辅助酶法提取玉米黄色素工艺优化[J]. *食品科技*, 2014, 39(2): 228-233.
- [14] 刘剑利, 刘晓, 曹向宇, 等. 稠李花色苷的纯化及体外抗氧化活性[J]. *食品科学*, 2015, 36(15): 5-10.
- [15] 刘晓, 曹向宇, 李其久, 等. 稠李花色苷酶法制备及对 H₂O₂ 诱导大鼠胰岛瘤细胞损伤的保护作用[J]. *食品科学*, 2016, 37(6): 7-12.
- [16] 李孚杰, 潘丹贞, 张丛兰, 等. 纤维素酶法提取板栗壳色素的工艺条件优化[J]. *食品科学*, 2012, 33(2): 149-153.
- [17] 陆雪莹, 李艳红, 肖向文, 等. 木犀草素抑制人胃癌 BGC-823 细胞增殖作用的研究[J]. *现代中西医结合杂志*, 2012, 21(3): 246-249.
- [18] 宋佳, 姜福佳, 田野, 等. 超声波优化酒糟中玉米黄色素的提取工艺及其抗肿瘤的研究[J]. *酿酒*, 2009, 36(2): 65-68.

(上接第 138 页)

时晾晒极易发热霉变)。10 月份气温较高脱粒玉米通过晾晒水分可以降到 15% 以下, 11 月份气温下降晾晒困难, 此时玉米穗水分已降到 20% 以下, 可以脱粒入库机械通风干燥。

通风干燥期间, 要根据当地粮情和储粮生态, 灵活调整通风干燥方案, 才能取得良好的干燥效果且节约成本。

3 结语

中国国标^[4]和行业标准^[5-6]对高水分粮食的就仓干燥提供了原则性的技术操作方法规范, 但机械套用上述规范进行操作不能很好地解决粮食过度干燥和粮堆各部分水分梯度较大的问题, 而且干燥成本较高。本试验在控制入仓粮食基本水分在合理的范围内、适时通风干燥, 准确把握各干燥点水分、精准分析干燥时间并进行倒仓平衡水分等方法, 使干燥成本控制较低的水平, 比机械干燥节约成本约 50%, 实现了水分平衡和安全储粮; 根据粮情能够推算所需通风干燥时间, 降低了过度干燥发生的概率, 是一种切实可行的粮食常规通风就仓干燥方法。后续可通过玉米入库前期降水^[7]、入仓后分析仓内粮堆温度场分布规律^[8], 优化通风路径分布, 结合其他热泵技术对此技术方法进一步完善, 预期可以获得更好的就仓干燥效果^[9-10], 在充分保障储粮质量的同时, 节能降耗, 提高干燥效率。

参考文献

- [1] 毕文雅, 张来林, 郭桂霞. 我国粮食干燥的现状与发展方向[J]. *粮食与饲料工业*, 2016, 12(7): 12-15.
- [2] 张德欣, 杨庆询, 刘艳芳, 等. 高水分地产玉米就仓干燥实验 [J]. *粮食储藏*, 2016, 45(2): 1-5.
- [3] 蒋国斌, 梅剑锋, 史东斌. 偏高水分玉米就仓干燥节能通风试验 [J]. *粮油仓储科技通讯*, 2007, 22(5): 27-29.
- [4] 全国粮油标准化技术委员会. GB/T 26880—2011 粮食储藏 就仓干燥技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1-4.
- [5] 国家粮食局. LS/T 1211—2008 粮油储藏技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 13-23.
- [6] 国家粮食局. LS/T 1202—2002 储粮机械通风技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1-15, 28-29.
- [7] 董殿文, 董梅, 高树成, 等. 农户玉米穗储藏特性及其储藏损失的研究[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(3): 74-78.
- [8] 王敏, 余跃进. 低温储粮应用中的粮堆温度场模拟分析[J]. *食品与机械*, 2013, 29(5): 194-197, 212.
- [9] 王鑫, 崔立军, 潘治, 等. 利用高温低湿空气对高水分玉米进行就仓干燥[J]. *粮油仓储科技通讯*, 2013, 29(6): 14-16.
- [10] 张静, 李占勇, 董鹏飞, 等. 玉米红外低温真空干燥试验[J]. *食品与机械*, 2012, 28(2): 187-189.