

小麦气调储藏环境中氮气传递规律的研究

王若兰, 肖蕾, 李换, 郭蒙磊

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

摘要: 本实验在长9 m, 宽6 m, 高9 m的模拟中试仓, 设计装粮线6.0 m, 实储小麦高度5.7 m, N₂流量为30 L/m³, 恒定通入仓内。粮情测控智能终端测定18 min/次, 当各点N₂浓度最高且持续稳定, 停止向仓内通入N₂。结果表明: 通过从送气口的对称点位测得N₂在仓内传递速度均匀, 因此可以均匀布点进行。水平方向距离送气口越远, N₂传递速度越慢。垂直方向距离越远, N₂浓度上升的越慢; 离送气口越近, 点之间N₂浓度差越大; 离送气口越远, 检测点之间浓度变化越相似。各点时间-N₂浓度均成显著正相关($p < 0.01$), 且检测点越接近, 相关性越强, 随着检测点之间距离的增加, 相关性系数越来越小, 说明N₂逐层传递, 相邻检测点之间影响较大。通过对距离相同的水平与垂直检测点N₂浓度变化的分析, 由显著性 $p = 0.02$ ($p < 0.05$)得到垂直方向N₂浓度变化显著快于水平方向N₂浓度变化。

关键词: 小麦; 氮气; 气调储粮

文章编号: 1673-9078(2017)4-154-159

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.4.024

Pattern of Nitrogen Migration in a Modified Atmosphere Environment for Wheat Storage

WANG Ruo-lan, XIAO Lei, LI Huan, GUO Meng-lei

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The experiment was carried out in a simulated pilot warehouse (length 9 m, width 6 m, height 9 m). The designed grain-piling line was 6 m, and the actual height of the wheat was 5.7 m. Nitrogen was constantly purged into the warehouse at a flow rate of 30 m³/h. The storage conditions were monitored every 18 min by an intelligent terminal system, and nitrogen purging was stopped when the concentration at each point reached the highest level and was stable. The results showed that the nitrogen migration speeds in the warehouse measured at points symmetrical to the air supply inlet were almost the same, so the nitrogen migration speeds in different directions were compared by setting points evenly. In the horizontal direction, the further the measurement point was from the air supply inlet, the slower the nitrogen migration speed became. In the vertical direction, the further the measurement point was from the air supply inlet, the slower the increase in nitrogen concentration; the closer the points were to the air supply inlet, the more significant the difference in nitrogen concentration between points, and the further the points were, the more similar the changes in nitrogen concentration between points. The time and nitrogen concentration at each point showed a significant positive correlation ($p < 0.01$). The closer two measurement points were, the stronger the correlation. With increasing distance between the measurement points, the correlation coefficient became smaller, indicating that nitrogen migration proceeded in layers, and neighboring points had a relatively greater impact. Analysis of the change in nitrogen concentration at vertical and horizontal points at the same distance showed that changes in the vertical direction were faster than those in the horizontal direction at a significance level of $p = 0.02$.

Key words: wheat; nitrogen; modified atmosphere storage of wheat

气调储粮技术是利用粮堆中生物成分的呼吸作用或通过人工改变密封粮堆中的气体成分的比例, 以抑制霉菌繁殖, 杀死害虫, 并减弱粮食的呼吸作用, 从而达到保持粮食原有新鲜品质的目的^[1]。富氮低氧储粮系统, 是在仓房满足气密条件下, 运用先进的膜分离技术, 把氮气从空气组分中分离出来, 通过管道等

送入粮堆, 采用循环方式逐步用N₂置换出粮堆中的氧气, 利用粮库普遍敷设的粮情测控系统线路资源, 实现共网监控^[2]。富氮低氧“充环”气调储粮技术不同于传统的药物熏蒸杀虫方式, 具有技术先进、操作简单、费用低和寿命长等优点, 符合节能减排的主题; 具有绿色、环保、经济及有效等优点, 是实现节能减排绿色储粮的一项有效的实用技术。是今后绿色生态储粮技术的主要手段和发展方向^[3]。

N₂气调储粮作为气调储粮的一种方式, 国内外专

收稿日期: 2016-07-15

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA101705-2)

作者简介: 王若兰(1960-), 女, 教授, 研究方向: 粮油储藏

家学者对 N_2 控制储粮害虫的机理和应用都作了相关的研究^[4-8]。小麦的呼吸速率随着氧气浓度的降低而降低,在 5% 时呼吸作用明显受到抑制,平均呼吸速率比正常环境下的呼吸速率降低 230%^[9]。在高温条件下,充 N_2 能在一定程度上减缓小麦的品质劣变速度。因此,在实际储粮过程中,可尽量使用低温储粮技术,而无法较好控制粮温的地区可用充氮气调技术,以更好地保持小麦储藏品质^[10]。2008 年新沙港直属库通过维持仓内 N_2 浓度,玉米脂肪酸值几乎没有改变,谷蠹虫卵也得到了有效防治^[11]。Neil M, Dixon 等通过改变储粮环境内的气体成分有效控制了真菌和霉菌毒素生长^[12]。 N_2 在实仓中传递规律的研究非常少,在使用 N_2 进行气调时存在很大的盲目性,不仅增加成本消耗和工作量,还可能在仓内留下死角,降低气调效果。因此,通过对 N_2 在中试仓内传递规律研究,以丰富 N_2 气调储粮技术理论,并为气调储粮技术提供更经济、更有效的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

小麦为在河南省购买的冬季混储小麦,含杂质 0.5% 以内,容重为 750 kg/m^3 ,水分含量为 13.5%,2014 年 7 月收纳入模拟中试仓 3 号仓。

1.2 主要实验仪器与设备

KB800011 粮仓仓储环境及粮情测控智能终端: 郑州贝博电子股份有限公司定制; Y13021 空气储罐: 上海市奉贤设备容器厂; LU 15E-8 螺杆式空气压缩机: 广西柳州市阳和工业园; HAD-2HTF 冷却式压缩空气干燥机: 广州市汉粤净化科技有限公司; HFT-002PL 除油装置: 广州市汉粤净化科技有限公司; FDA-30 PFN 变压吸附制氮装置: 北京市飞达捷能气体分离技术有限公司; LZB-40 转子流量计: 北京四联银环流量仪表有限公司; FY13034-1 氮气缓冲罐: 北京市丰台区锅炉辅机厂; Y13017-319 氮气储罐: 上海市奉贤设备容器厂。

1.3 中试仓基本情况

河南工业大学粮食储运中心模拟中试仓 3 号平房仓,单仓仓房长 9 m,宽 6 m,高 9 m;设计装粮线 6.0 m,实储小麦高度 5.7 m,如图 1。

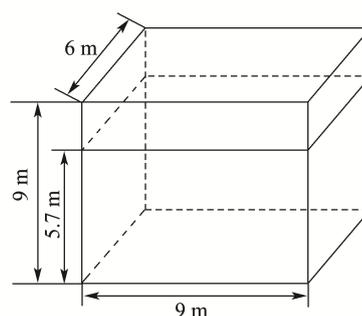


图 1 模拟中试仓基本情况

Fig.1 Basic information of the simulated pilot warehouse

1.4 仓房气密性处理及 N_2 浓度测定

为提高模拟仓的气密性,在小麦入仓前在模拟仓壁及仓底粘贴两层塑料薄膜。粮食入仓前,将通风管道(地上笼)布置好,小麦入仓后,将粮食表面,以及门窗都用塑料薄膜密封起来,再将仓门锁好。打开粮仓仓储环境及粮情测控智能终端。等到所测仓内气体成分稳定后,打开氮气阀门, N_2 流量计设定为 $30 \text{ m}^3/\text{h}$,氮气以恒定的流速进入仓内。粮仓仓储环境及粮情测控智能终端每隔 18 min 记录一次数据,当各点 O_2 浓度达到低报(12%)即 N_2 浓度最高(88%)时,并持续稳定一段时间后,停止向仓内通入 N_2 。

1.5 氮气传感器布置

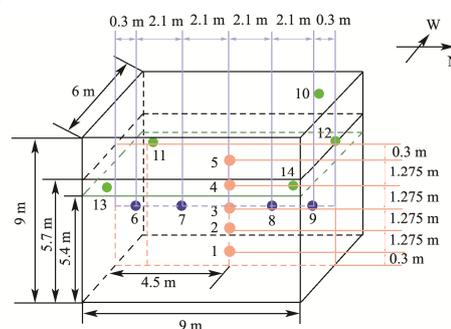


图 2 氮气传感器布点

Fig.2 Locations of nitrogen gas sensors

如图 2 所示,1#~5#置于粮堆中心垂直面上,1#距粮堆底部 0.3 m,5#距粮面 0.3 m 处,2#、3#和 4#点是在 1#和 5#之间平均分布的;6#、7#、3#、8#和 9#在中心水平面上,距粮面 2.85 m 处(粮层中间位置),且距离粮仓东西两侧均 3 m。6#和 9#距南北墙面 0.3 m,7#、8#分别为 6#与 3#、9#与 3#的中点;11#、12#、13#和 14#测定点插入粮堆距粮面 0.3 m 处,11#距离西南两侧仓墙各 0.3 m,12#距离西北两侧仓墙各 0.3 m,13#距离

东南两侧仓墙各 0.3 m, 14[#]距离东北两侧仓墙各 0.3 m; 10[#]在粮面上空放置, 用于测仓内气体成分组成。

在氮气充入仓内之前, 先测一次仓内各点气体成分含量, 作为初始的气体成分含量数据。之后, 开始向仓内通入流量为 30 m³/h 的氮气。粮仓仓储环境及粮情测控智能终端, 每隔 18 min 检测一次气体成分。

1.6 测气流程

1.6.1 氮气制取流程

采取分子筛变压吸附制氮工艺, 流程如图 3。

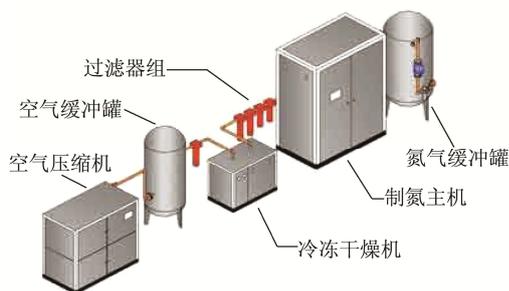


图 3 氮气制取流程

Fig.3 Process of nitrogen production

1.6.2 氮气测量工艺流程

氮气的浓度检测是采用氧气传感器检测氧气浓度, 然后换算成氮气浓度, 工艺流程如图 4。

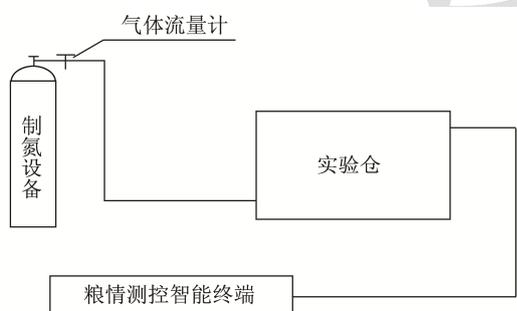


图 4 氮气测量工艺流程图

Fig.4 Process flow diagram of nitrogen measurement

1.7 操作方法

为提高模拟仓的气密性, 小麦入仓前在模拟仓壁及仓底粘贴两层塑料薄膜, 将通风管道(地上笼)布置好。小麦入仓后, 将粮食表面, 以及门窗均采用塑料薄膜密封, 关闭仓门。打开粮仓仓储环境及粮情测控智能终端。测量仓中气体初始浓度后, 打开制氮设备, 当储氮罐中 N₂ 浓度达到 98%, 打开氮气阀门, 气体流量计设定为 30 L/m³, N₂ 以恒定的流速进入仓内。粮仓仓储环境及粮情测控智能终端每隔 18 min 记录一次数据, 当各点 O₂ 浓度达到低报 (12%) 即 N₂ 浓度最高 (88%) 时, 并持续稳定一段时间后, 关闭制

氮机。

1.8 数据分析

采用 SPSS 软件和 Excel 对实验的数据进行分析, 做出散点图, 对粮仓内的氮气的变化规律和传递速率进行拟合, 找出对应拟合方程式及 R² 值。

2 结果与分析

2.1 仓内对称位点 N₂ 浓度变化

根据 LS/T 1203-2002 传感器布置方法规定, 平房仓内每个廪间内设传感器五个其中 11[#]与 13[#]、12[#]与 14[#]关于送气口对称。通过对称位点的氮气浓度测定, 可以探究仓内同一水平面不同方向上氮气浓度传递规律, 后续试验取点可以此为依据。

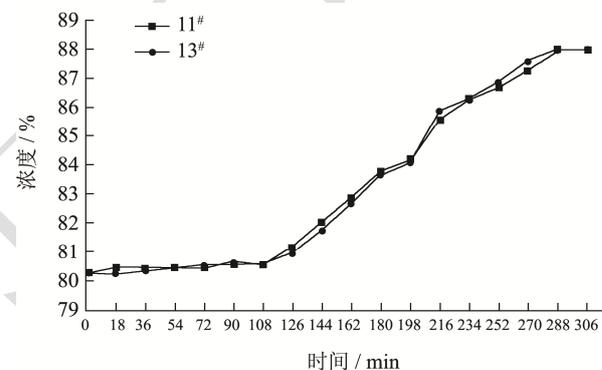


图 5 11[#]点与 13[#]点时间-N₂ 浓度变化关系

Fig.5 Changes in the relationship between time and nitrogen concentration at points 11[#] and 13[#]

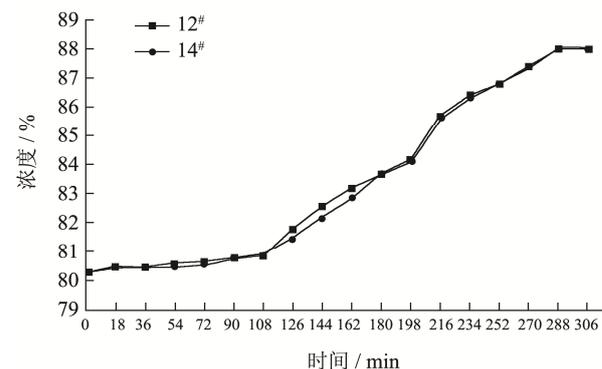


图 6 12[#]与 14[#]两点时间-N₂ 浓度变化关系

Fig.6 Changes in the relationship between time and nitrogen concentration at points 12[#] and 14[#]

如图 5 和图 6, 11[#]和 13[#]检测点位于同一水平面上, 且关于送气口对称, 即与送气口距离相等, 皆为 6.045 m。随时间的变化, 两点的 N₂ 浓度变化值均为 7.7%; 12[#]与 14[#]两个 N₂ 感应位点位于同一水平面上, 且关于送气口对称, 即与送气口距离相等, 皆为 10.590 m, 随时间的变化, 两点的 N₂ 浓度变化趋势基本相同,

其浓度差值均为 7.7%。因此可知, N₂ 在与送气口距离相等的区域, 同一时间 N₂ 浓度基本一致, N₂ 浓度在仓内对称分布。

2.2 仓内 N₂ 浓度在水平方向的变化规律

开机后仓内水平方向各传感器点 N₂ 浓度变化如表 1 和图 7。

表 1 水平方向的距离、时间和浓度

Table 1 Horizontal distance, time, and concentration

传感器号	6 [#]	7 [#]	3 [#]	8 [#]	9 [#]
与送气口距离/m	2.87	3.73	5.33	7.19	9.15
N ₂ 浓度达到最高	54	144	162	180	216
所用时间/min					
126 min 时 N ₂ 浓度/%	88.0	87.1	86.3	85.6	81.8

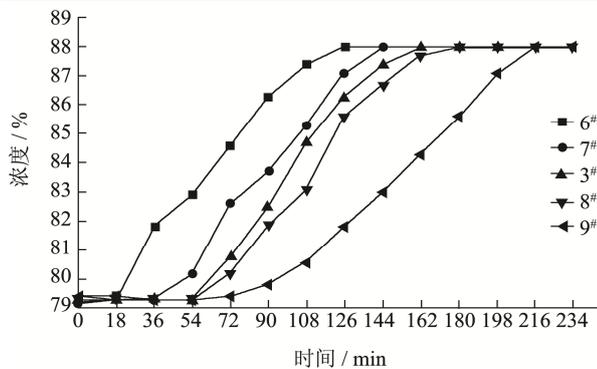


图 7 水平方向 N₂ 浓度的变化

Fig.7 Changes in horizontal nitrogen concentration

从图 7 可知, 随氮气持续充入仓内, 6[#]、7[#]、3[#]、8[#]和 9[#]的 N₂ 浓度由近及远依次升高, 距离送气口最近的 6[#]点在充气 126 min 时 N₂ 浓度达到最高, 7[#]在 144 min 时 N₂ 浓度达到最高, 随后 3[#]在充气 162 min 时 N₂ 浓度达到最高、8[#]在充气 180 min 时 N₂ 浓度达到最高, 最后是离送气口最远的 9[#]在充 N₂ 216 min 后达到最高浓度。水平方向各点 N₂ 浓度变化由表 1 可知: 距离送气口越近, 氮气浓度上升越快, 即仓内水平方向各点 N₂ 浓度上升速度与到送气口距离成反比例关系。

表 2 水平方向各层氮气浓度变化模型

Table 2 Models of the changes in nitrogen concentration in horizontal layers

时间 (min) 与 N ₂ (%) 浓度的数学模型	R ²
6 [#] $y=-0.00009x^2+0.08846x+78.604$	0.9811
7 [#] $y=0.00032x^2+0.02126x+78.859$	0.97376
3 [#] $y=0.00032x^2+0.01121x+78.865$	0.95756
8 [#] $y=0.00025x^2+0.01252x+78.82$	0.9551
9 [#] $y=0.00026x^2-0.01356x+79.29$	0.99205

利用软件分析各点 N₂ 浓度随时间变化的关系, 对距离-N₂ 浓度、时间-N₂ 浓度关系进行拟合。选择充气

阶段第 126 min 时, 得到送气口的距离与 N₂ 浓度的关系式为: $y=-0.07088x^3+1.148x^2-6.4072x+98.633$ (y =浓度, x =与送气口距离), $R^2=0.99952$ (如图 8)。由所得的方程可知, 距离越远, N₂ 浓度上升的越慢, 由检测数据计算得 7[#]和 3[#]之间的浓度差为 0.5%/m, 3[#]和 8[#]之间浓度差为 0.4%/m, 即 7[#]和 3[#]与 3[#]和 8[#]之间的 N₂ 传递速度基本相同; 6[#]和 7[#]之间浓度差为 1.0%/m, 即变化速度略小于 7[#]和 3[#]、3[#]和 8[#]; 8[#]和 9[#]之间浓度差为 1.9%/m, 在此方向上传递速度最慢。因此在水平方向上距离送气口越远, N₂ 传递速度越慢。

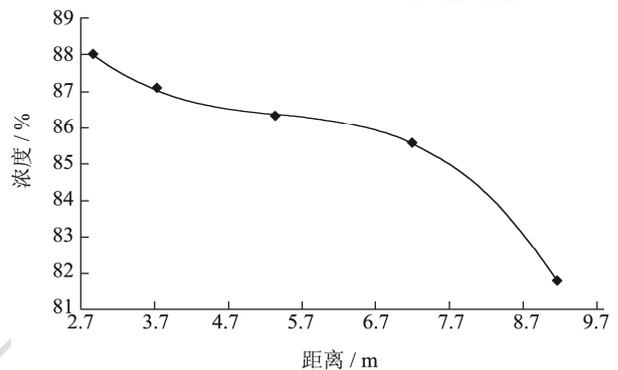


图 8 充气 126 min 时距离-N₂ 浓度关系

Fig.8 Relationship between distance and nitrogen concentration after purging for 126 min

2.3 仓内 N₂ 浓度在垂直方向的变化规律

开机后仓内垂直方向各个传感器点 N₂ 浓度变化如表 3 和图 9。

表 3 垂直方向距离、时间和浓度

Table 3 Vertical distance, time, and concentration

传感器号	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
与送气口距离/m	4.51	4.77	5.33	6.10	7.03
N ₂ 浓度达到最高	144	162	162	180	198
所用时间/min					
144 min 时 N ₂ 浓度/%	88.0	86.7	85.1	83.3	80.4

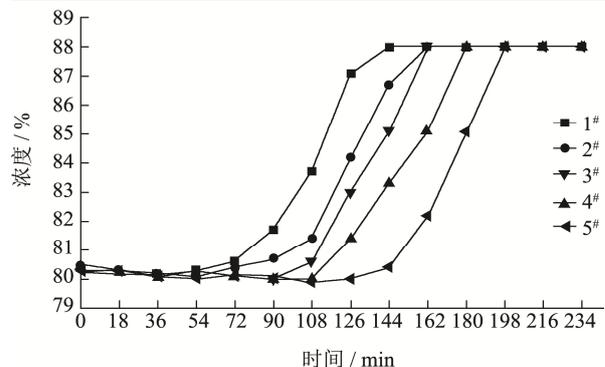


图 9 垂直方向 N₂ 浓度随时间变化

Fig.9 Changes in nitrogen concentration in the vertical direction

从图 9 可知, 随氮气持续充入仓内, 1[#]~5[#]的 N₂ 浓度由近及远依次升高, 距离送气口最近的 1[#]点在充气 144 min 时浓度达到低报, 随后是 2[#]、3[#]、4[#]和 5[#]N₂ 浓度依次达到低报, 最后是离气源最远的 5[#]在充 N₂ 气 198 min 后达到低报。垂直方向各点 N₂ 浓度变化由表 2 可知: 距离送气口越近, 氮气浓度上升越快, 即仓内垂直方向各点 N₂ 浓度上升速度与到送气口的距离成反比例关系。

表 4 垂直方向各层氮气浓度变化模型

Table 4 Models of the changes in nitrogen concentration in the vertical direction

时间/min 与 N ₂ %浓度的数学模型	R ²
1 [#] y=0.00069x ² -0.04458x+80.568	0.97177
2 [#] y=0.00059x ² -0.04908x+80.754	0.97036
3 [#] y=0.00064x ² -0.06258x+80.915	0.95841
4 [#] y=0.00052x ² -0.0596x+81.169	0.95762
5 [#] y=0.00004x ³ -0.00085x ² +0.03875x+79.974	0.98801

表 5 各点时间-氮气浓度变化的相关系数

Table 5 Correlation coefficient of time and nitrogen concentration

	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	时间
1 [#]	1.000	0.965	0.926	0.841	0.677	0.922
2 [#]	0.965	1.000	0.990	0.937	0.790	0.926
3 [#]	0.926	0.990	1.000	0.967	0.841	0.913
4 [#]	0.841	0.937	0.967	1.000	0.938	0.893
5 [#]	0.677	0.790	0.841	0.938	1.000	0.828
时间	0.922	0.926	0.913	0.893	0.828	1.000

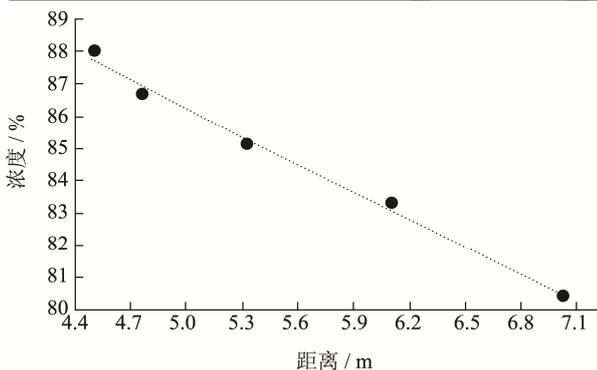


图 10 充气 144 min 时距离-N₂浓度关系

Fig.10 Relationship between distance and nitrogen concentration after purging for 144 min

垂直方向上 N₂ 浓度变化的相关性分析如表 5 所示, 各点 N₂ 浓度均成显著正相关 ($p < 0.01$), 且检测点越接近, 相关性越强, 随着检测点距离的增加, 相关性系数越来越小, 说明 N₂ 逐层传递, 相邻感应位点间影响较大。

利用软件分析各点 N₂ 浓度随时间变化的关系, 对

距离-N₂ 浓度和时间-N₂ 浓度关系进行拟合。选择充气阶段第 144 min 时, 得到送气口的距离与 N₂ 浓度的关系式为: $y=0.08282x^2-3.8379x+103.37$ (y =浓度, x =与送气口距离), $R^2=0.99318$ (如图 10)。说明垂直方向上距离越远, N₂ 浓度上升的越慢, 根据监测数据得到 2[#]和 3[#]之间的浓度差为 2.8%/m, 3[#]和 4[#]之间浓度差为 2.4%/m, 即 3[#]和 4[#]与 4[#]和 5[#]之间的 N₂ 传递速度相差不多; 1[#]和 2[#]之间浓度差为 12.7%/m, 比 2[#]和 3[#]、3[#]和 4[#]之间的传递速度慢得多; 而 4[#]和 5[#]之间浓度差为 3.1%/m, 在此方向上传递速度为最慢。因此在垂直方向上距离送气口越远, N₂ 传递速度越慢; 离送气口越近, 点与点之间的浓度差越大, 离送气口越远, 点与点之间浓度变化越相似。

2.4 N₂ 浓度水平方向变化与垂直方向变化比

较

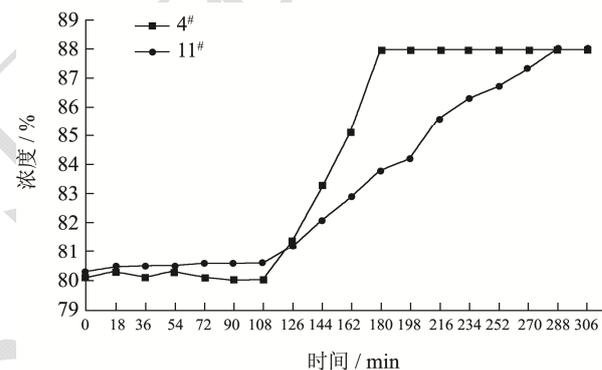


图 11 距离气源 6 m

Fig.11 Nitrogen concentration at a distance of 6 m from the air supply

表 6 4[#]与 11[#]N₂ 浓度差异性分析

Table 6 Analysis of nitrogen concentration differences between points 4[#] and 11[#]

	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	4	57.96375	14.49094	5.61703	0.02397
Error	7	18.05875	2.57982		
Total	11	76.0225			

4[#]为垂直方向的点, 11[#]为水平方向与送气口相同距离的点。充 N₂ 162 min 后, 垂直方向上的 N₂ 浓度上升了 9.9%, 对应水平方向上的 11[#]点 N₂ 浓度只上升 4.3%, 垂直方向 N₂ 浓度变化幅度显著高于水平方向 N₂ 浓度变化 ($p < 0.05$); 垂直方向 N₂ 浓度变化显著高于水平方向 N₂ 浓度变化 ($p < 0.05$), 其原因是 N₂ 的相对分子质量为 28, 空气相对分子质量为 29, $M_{N_2} < M_{空气}$, 同温同压下, 气体的密度与其相对分子质量成正比,

所以 $\rho_{N_2} < \rho_{\text{空气}}$, N_2 向上传递速度 > 水平方向传递速度。

3 结论

3.1 充气过程中, 送气口对称点位 N_2 传递速度相等, 因此可以均匀布点检测仓内 N_2 浓度。水平方向上距离送气口越远, N_2 传递速度越慢。随距离的增加, 其传递速度依次为 2.87 m: 0.070%/min、3.73 m: 0.061%/min、5.33 m: 0.055%/min、7.19 m: 0.049%/min、9.15 m: 0.020%/min。

3.2 垂直方向上距离送气口越远, N_2 传递速度越慢; 离送气口越近, 检测点之间的浓度差越大; 离送气口越远, 检测点之间浓度变化越相似。各点 N_2 浓度均成显著正相关 ($p < 0.01$), 且检测点之间的距离越接近, 相关性越强, 随着检测点之间的距离增加, 相关性系数越来越小, 说明 N_2 逐层传递, 相邻检测点间影响较大。

3.3 采用 SPSS 软件对 N_2 浓度随时间变化进行分析, 利用 Excel 对距离-浓度关系进行拟合。选择垂直方向上浓度变化明显的第 126 min, N_2 浓度与送气口距离的关系为: $y = 0.08282x^2 - 3.8379x + 103.37$, $R^2 = 0.99318$ 。选择水平方向上浓度变化明显的第 144 min, N_2 浓度与送气口距离的关系式为: $y = -0.07088x^3 + 1.148x^2 - 6.4072x + 98.633$, $R^2 = 0.99952$ 。

3.4 通过对与送气口距离相同的垂直方向点 4[#] 和水平方向点 11[#] 的 N_2 浓度变化的显著性分析得到 $p = 0.02$ ($p < 0.05$), 即垂直方向 N_2 浓度变化显著快于水平方向 N_2 浓度变化。因此在实际氮气储粮操作中, N_2 通过地上笼散播到粮食中, 检测下层粮堆 N_2 浓度, 因为垂直方向 N_2 传播快于水平方向, 所以若达到要求浓度值, 可以停止通入氮气, 使得仓内气体循环达到平衡, 如此可以适当降低成本, 操作简单化。

参考文献

- [1] 马艳. 现代粮仓与“绿色储粮”[J]. 农业科技与装备, 2014, 1: 75-76
MA Yan. Modern granary and "green grain storage"[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2014, 1: 75-76
- [2] 李森. 富氮低氧储粮系统的研发及应用[J]. 粮食加工, 2011, 36(6): 69-72
LI Sen. Rich research and development and application of low nitrogen oxygen storage system [J]. Grain Processing, 2011, 36(6): 69-72
- [3] 李涛, 俞旭龙, 吴献民, 等. 富氮低氧“充环”气调储粮工艺的研发及应用试验[J]. 河南工业大学学报, 2013, 34(6): 91-95
LI Tao, YU Xu-long, WU Xian-min, et al. Nitrogen-rich hypoxic "ring" the development and application of controlled atmosphere storage technology test [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 34(6): 91-95
- [4] 张建军, 曲贵强, 李燕羽, 等. 高纯氮气对储粮害虫致死效果研究[J]. 粮食储藏, 2007, 36(5): 11-14
ZHANG Jian-jun, QU Gui-qiang, LI Yan-yu, et al. High purity nitrogen effect on pests in death [J]. Food Storage, 2007, 36(5): 11-14
- [5] Conyers S T, C H Bell. The effect of modified atmospheres on the juvenile stages of six grain beetles [J]. CAF, 1996, 73-81
- [6] Krishnamurthy T S, Spratt E C, Bell C H. The toxicity of carbon dioxide to adult beetles in low oxygen atmospheres [J]. Stored Prod. Res., 1986, 22(3): 145-151
- [7] Burton R H (Jack). Sealing permanent storages for fumigation using [J]. Australian Postharvest Technical Conference, 1998: 126-132
- [8] 许德存. 一机两版氮气防治储粮害虫技术在高大平房仓中的应用[J]. 粮油仓储科技通讯, 2006, 21(4): 9-12
XU De-cun. One two Ao nitrogen gas prevention and control of pests in technology in the application of antibacterial activity [J]. Liangyou Cangchu Keji Tongxun, 2006, 21(4): 9-12
- [9] 王若兰, 严佳, 李燕羽, 等. 不同条件下小麦呼吸速率变化的研究[J]. 河南工业大学学报, 2009, 30(4): 12-16
WANG Ruo-lan, YAN Jia, LI Yan-yu, et al. Researches on the change of the respiratory rate of wheat under different conditions [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(4): 12-16
- [10] 焦义文, 李庆光, 陈娟, 等. 充氮气调对小麦储藏品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报, 2014, 35(5): 97-100
JIAO Yi-wen, LI Qing-guang, CHEN Juan, et al. Nitrogen filling the research on the influence of the storage quality of wheat [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2014, 35(5): 97-100
- [11] 饶如勇, 杨健, 庄泽敏, 等. 华南地区浅圆仓玉米氮气气调储藏试验研究[J]. 粮食储藏, 2009, 38(5): 25-27
RAO Ru-yong, YANG Jian, ZHUANG Ze-min, et al. Shallow silos in south China (corn nitrogen gas storage test research [J]. Food Storage, 2009, 38(5): 25-27
- [12] Neil M, Dixon, Douglas B Kell. The inhibition by CO_2 of the growth and metabolism of micro-organisms [J]. Applied Bacterior, 1989, 67(2): 109-136

现代食品科技