

谷蠹感染的小麦储存环境中二氧化碳浓度变化研究^{*}

王殿轩^{1**} 唐 多¹ 朱广有²

(1. 河南工业大学粮油食品学院 粮食储藏与安全教育工程研究中心 郑州 450001;

2. 河南工业大学生物工程学院 郑州 450001)

摘 要 在 25℃ 和密闭条件下测定了谷蠹 *Rhyzopertha dominica* (F.) 密度分别为 0、2、5、10 和 20 头/kg 的小麦储存环境中二氧化碳浓度的变化情况。主要结果为:含水量为 12% 的小麦,未感染谷蠹成虫时,在 180 d 内二氧化碳浓度从 0.048% 增加到 1.157%;以 2 头/kg 密度感染后,同样时间内二氧化碳浓度从 0.048% 上升到 9.910%。害虫密度增加,产生的二氧化碳浓度都相应地增高,但二氧化碳的浓度与害虫密度不是相应地成比例升高。感染不同害虫密度的粮食,二氧化碳浓度随时间的延长呈“S”型曲线增长。这些结果表明,小麦感染谷蠹后在很短时间后即可检测到储存环境中二氧化碳浓度显著增加,二氧化碳浓度的变化与虫口密度相关。同样害虫密度时,储存时间延长,二氧化碳浓度呈“S”型曲线增加。一定条件下可通过检测二氧化碳浓度反映粮情和虫情变化。

关键词 谷蠹, 感染, 小麦, 二氧化碳, 浓度

Concentration change of carbon dioxide in stored wheat infected with *Rhyzopertha dominica* in different population and time

WANG Dian-Xuan^{1**} TANG Duo¹ ZHU Guang-You²

(1. School of Food Science and Technology, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China;

2. School of Bioengineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract The carbon dioxide concentration of sealed wheat bulk experimentally infected with *Rhyzopertha dominica* (F.) at densities of 0, 2, 5, 10 and 20 adults per kilogram of grain was monitored at 25℃ and 12% moisture content over a period of 180 days. The carbon dioxide concentration of wheat without insects changed from 0.048% to 1.157%. The carbon dioxide concentration of grain infected with two insects changed from 0.048% to 9.910%. The carbon dioxide concentration generally went up with increasing insect density but not in a linear fashion. In fact, the relationship between carbon dioxide and time for the same density of the insects was an “S” shaped curve. The results indicate that change in carbon dioxide concentration was directly related to the number of insects and time. Monitoring carbon dioxide could be a way of monitoring insect abundance in stored grain.

Key words *Rhyzopertha dominica*, insect density, wheat, carbon dioxide, concentration

储粮生态环境内的主要生物因素包括粮食、微生物和经常发生的害虫,这三者的生命活动中都会有二氧化碳的产生(詹继悟, 1998; Emekci *et al.*, 2002; 梁微等, 2009)。在难以密闭或密闭不太好的仓房内,这些生物呼吸代谢产生的二氧化碳会很容易扩散到仓外而不易检测到。近些年

来,中国粮食仓储条件得到很大程度的完善,储粮仓房具备了一定的密封性能,粮堆中生物代谢产生二氧化碳会有一定程度的积累或滞留,从而为通过仓内气体变化了解和检测储粮粮情提供了契机。通过二氧化碳浓度变化监测粮情,可在一定程度上弥补有时测温滞后性的不足(Ileleji *et al.*,

^{*} 资助项目:“十二五”国家科技支撑计划“储粮粮情关键因子调控及害虫生物防治技术的研究与示范”(2011BAD03B02)。

^{**} E-mail: wangdianxuan62@126.com

收稿日期:2010-12-03,接受日期:2010-12-30

2006)。Maier 等(2006)报道二氧化碳浓度可以表征储藏期间粮食变质与否;Bartosik 等(2008)报道随着粮食变质时间的延长,二氧化碳浓度会逐渐升高并达到较高水平;梁薇等(2009)报道安全水分以下小麦在储藏期间呼吸强度较低,微生物也无法大量发生,代谢微弱,只能产生少量的二氧化碳。储粮害虫的呼吸代谢受水分影响较小,且呼吸速率处于较高水平(Emekci *et al.*, 2004)。了解一定密闭条件下害虫在不同发生状态下所产生二氧化碳的情况,对于通过气体检测粮情和虫情具有较强的指导意义,但目前关于储粮中害虫处于不同发生状态所对应二氧化碳浓度变化关系尚缺乏研究。本文研究储存小麦感染不同密度谷蠹后在不同时间的二氧化碳浓度变化动态,以期为通过气体检测粮情和虫情提供参考。

1 材料与方 法

1.1 小麦

试验小麦采用二等白色硬质冬小麦,试验前将其杂质清除,使不完善粒小于 1%,在 60℃ 下处理 2 h 后将小麦含水量调节到 12%。

1.2 试虫

试验用谷蠹 *Rhyzopertha dominica* (F.) 采自中央储备粮建阳直属库,后在河南工业大学储藏物昆虫研究室以完整和破碎小麦混合饲料培养数代,以羽化后 2 周的成虫为试虫。

1.3 试验环境

试验样品处置环境为 24 cm × 16 cm × 18 cm 的塑料箱,其长边侧壁距底面 5 cm 处设直径 5 mm 可密封取样口,箱顶采用厚度 0.2 mm 的 PE 薄膜密封。箱体上部两侧设气体取样接口,通过导气管连接二氧化碳检测仪和循环气体取样泵,兼用于气体循环和浓度检测。箱中小麦占其容积的 70%,重量 3 000 g。箱体密封性采用 500 Pa 正压测试其半衰期在 65 ~ 70 s。试验环境温度采用 120 L 生化培养箱控制,控温精度为 ±1℃。

1.4 二氧化碳浓度检测

二氧化碳浓度检测装置包括传感器、电路、浓度显示器、取样微型气泵等组成。传感器为非色散红外线型,检测量程 0 ~ 0.5%,响应时间 35 s,检测精度 ±5% FS(满量程)。超出检测量程时采用按比例稀释的方法处理后测得。

1.5 样品与条件设置

将处理好的小麦分别置入塑料箱中,按 0、2、5、10 和 20 头/kg 的密度随机接入培养的谷蠹成虫(经多次检查谷蠹的随机种群性比接近 1:1),密闭后置于设定温度下定时检测二氧化碳浓度。每个条件的试验设 3 个重复。

1.6 数据处理

数据采用 Microsoft EXCEL 处理,并用 DPS 软件进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 无害虫感染的小麦储存环境中二氧化碳浓度变化

从表 1 可以看出,无虫小麦在 180 d 内,环境中二氧化碳浓度从开始的 0.048% 增长到 1.157%,二氧化碳浓度随时间增长的回归方程为 $y = 0.0063x - 0.016$ ($R^2 = 0.999$),这里 x 为检测时间, y 为二氧化碳浓度(下同)。从回归方程可以看出,二氧化碳浓度随时间延长呈直线增长,但增长速率缓慢。此时导致二氧化碳浓度增长的主要原因应为小麦呼吸和微生物代谢,在试验温度和粮食水分条件下,粮食上的微生物难以活动,也难以产生出二氧化碳。此时粮食自身的生理呼吸水平也很低,产生二氧化碳的量更小。

2.2 谷蠹感染对小麦储存环境中二氧化碳浓度的影响

从表 1 可以看出,试验小麦以 2 头/kg 密度感染谷蠹后,在储藏期的前 55 d 内,按照 $y = 0.0161x - 0.0326$ ($R^2 = 0.9736$) 的线性增长,最高浓度达到 0.909%,虽然二氧化碳浓度增长速率仍然较小,但与同一时间内无虫样品对比,浓度值已有了显著的升高(约高 2.55 倍)。在此期间,二氧化碳浓度升高的主要原因为置入的成虫及其产生的卵、幼虫等的生理活动所致。由试验结果也可以看出,在子代成虫未出现前,环境中二氧化碳浓度随时间约为一元线性增长关系,说明小麦中害虫密度较低时,未成熟态谷蠹的呼吸对二氧化碳浓度积累的贡献较小。

以 5 头/kg 的谷蠹成虫感染小麦后,在前期的 55 d 内,实验环境内二氧化碳浓度随时间增长呈一元线性增长,回归方程为 $y = 0.0382x - 0.104$ ($R^2 = 0.9775$),在此时间内最高二氧化碳浓度出

表 1 25℃环境中小麦感染不同密度谷蠹后二氧化碳的浓度(%)

Table 1 The carbon dioxide concentration in container that stored wheat infected with lesser grain borer in different density of adults at 25℃ (%)

时间(d) Time(d)	0 头/kg 0 adult/kg	2 头/kg 2 adult/kg	5 头/kg 5 adult/kg	10 头/kg 10 adult/kg	20 头/kg 50 adult/kg
0	0.048 ± 0.001 a	0.048 ± 0.002 b	0.048 ± 0.001 c	0.048 ± 0.001 d	0.048 ± 0.001 e
5	0.066 ± 0.006 a	0.092 ± 0.004 b	0.165 ± 0.009 c	0.252 ± 0.011 d	0.483 ± 0.024 e
10	0.093 ± 0.004 a	0.122 ± 0.006 b	0.290 ± 0.006 c	0.462 ± 0.013 d	0.899 ± 0.032 e
15	0.116 ± 0.006 a	0.168 ± 0.007 b	0.436 ± 0.013 c	0.737 ± 0.020 d	1.433 ± 0.056 e
20	0.135 ± 0.008 a	0.261 ± 0.015 b	0.585 ± 0.012 c	1.043 ± 0.033 d	2.060 ± 0.077 e
25	0.172 ± 0.007 a	0.306 ± 0.010 b	0.754 ± 0.016 c	1.372 ± 0.040 d	2.743 ± 0.095 e
30	0.203 ± 0.009 a	0.390 ± 0.012 b	0.924 ± 0.019 c	1.803 ± 0.052 d	3.371 ± 0.126 e
35	0.235 ± 0.011 a	0.504 ± 0.020 b	1.117 ± 0.038 c	2.174 ± 0.045 d	4.146 ± 0.152 e
40	0.267 ± 0.013 a	0.591 ± 0.016 b	1.358 ± 0.028 c	2.518 ± 0.075 d	4.928 ± 0.154 e
45	0.304 ± 0.017 a	0.698 ± 0.020 b	1.599 ± 0.053 c	2.934 ± 0.071 d	5.843 ± 0.142 e
50	0.326 ± 0.011 a	0.818 ± 0.034 b	1.902 ± 0.054 c	3.476 ± 0.120 d	6.720 ± 0.193 e
55	0.356 ± 0.010 a	0.909 ± 0.038 b	2.179 ± 0.087 c	3.949 ± 0.101 d	7.754 ± 0.212 e
60	0.385 ± 0.014 a	1.053 ± 0.030 b	2.522 ± 0.074 c	4.627 ± 0.138 d	9.082 ± 0.190 e
65	0.411 ± 0.016 a	1.160 ± 0.039 b	2.907 ± 0.115 c	5.262 ± 0.119 d	10.444 ± 0.285 e
70	0.446 ± 0.015 a	1.300 ± 0.052 b	3.225 ± 0.098 c	5.892 ± 0.146 d	11.687 ± 0.315 e
75	0.478 ± 0.016 a	1.493 ± 0.041 b	3.614 ± 0.142 c	6.675 ± 0.169 d	13.153 ± 0.308 e
80	0.513 ± 0.019 a	1.703 ± 0.062 b	4.071 ± 0.154 c	7.538 ± 0.232 d	14.547 ± 0.383 e
85	0.541 ± 0.015 a	1.940 ± 0.054 b	4.423 ± 0.174 c	8.357 ± 0.307 d	16.094 ± 0.436 e
90	0.572 ± 0.025 a	2.207 ± 0.064 b	4.745 ± 0.134 c	9.331 ± 0.386 d	17.739 ± 0.435 e
95	0.605 ± 0.020 a	2.525 ± 0.078 b	5.351 ± 0.152 c	10.529 ± 0.425 d	18.634 ± 0.493 e
100	0.633 ± 0.024 a	2.766 ± 0.084 b	5.810 ± 0.177 c	11.511 ± 0.375 d	19.253 ± 0.405 e
105	0.657 ± 0.025 a	3.045 ± 0.113 b	6.496 ± 0.187 c	12.750 ± 0.351 d	19.521 ± 0.362 e
110	0.693 ± 0.018 a	3.298 ± 0.105 b	6.871 ± 0.225 c	13.840 ± 0.437 d	19.830 ± 0.493 e
115	0.728 ± 0.025 a	3.680 ± 0.111 b	7.601 ± 0.273 c	15.206 ± 0.432 d	20.065 ± 0.487 e
120	0.772 ± 0.035 a	4.074 ± 0.128 b	8.333 ± 0.311 c	16.643 ± 0.499 d	20.208 ± 0.495 e
125	0.795 ± 0.027 a	4.502 ± 0.137 b	9.048 ± 0.310 c	18.197 ± 0.537 d	20.506 ± 0.435 e
130	0.825 ± 0.028 a	4.843 ± 0.157 b	9.918 ± 0.324 c	18.837 ± 0.482 d	20.456 ± 0.430 e
135	0.858 ± 0.024 a	5.309 ± 0.178 b	10.694 ± 0.439 c	19.237 ± 0.419 d	20.781 ± 0.433 e
140	0.902 ± 0.028 a	5.651 ± 0.214 b	11.461 ± 0.429 c	19.581 ± 0.440 d	20.892 ± 0.397 e
145	0.936 ± 0.033 a	6.014 ± 0.242 b	12.452 ± 0.401 c	19.870 ± 0.463 d	21.260 ± 0.440 e
150	0.970 ± 0.041 a	6.539 ± 0.263 b	13.544 ± 0.437 c	20.120 ± 0.395 d	21.586 ± 0.376 e
155	1.005 ± 0.048 a	6.939 ± 0.285 b	14.434 ± 0.422 c	20.448 ± 0.534 d	21.630 ± 0.507 d
160	1.029 ± 0.048 a	7.461 ± 0.275 b	15.538 ± 0.535 c	20.545 ± 0.435 d	21.905 ± 0.408 e
165	1.056 ± 0.053 a	8.042 ± 0.344 b	16.741 ± 0.433 c	20.953 ± 0.442 d	21.874 ± 0.376 d
170	1.084 ± 0.050 a	8.568 ± 0.386 b	17.968 ± 0.427 c	20.879 ± 0.462 d	22.063 ± 0.439 e
175	1.132 ± 0.051 a	9.191 ± 0.302 b	18.578 ± 0.467 c	20.916 ± 0.384 d	22.099 ± 0.453 e
180	1.157 ± 0.050 a	9.910 ± 0.435 b	19.021 ± 0.463 c	20.894 ± 0.582 d	22.278 ± 0.408 e

注:表中数据为平均值 ± 标准差。同行数字后标不同字母表示同一时间不同害虫密度时差异显著($P < 0.05$)。

The data in the table are mean ± SD, and followed by different letters in the same row indicate significantly different between different density of adults in the grain at same time at 0.05 level.

现在第 55 天,达到了 2.179%,为无虫的粮食样品同期的 6.12 倍,也比 2 头/kg 的样品在同样情况

下升高显著。相应地,害虫密度为 10 头/kg 的样品中二氧化碳浓度最高达到 3.949%,浓度随时间

增长的回归方程为 $y = 0.0713x - 0.2301$ ($R^2 = 0.9849$)。20 头/kg 的样品中最高限价二氧化碳浓度达 7.754%, 浓度随时间增长的回归方程为 $y = 0.1398x - 0.4745$ ($R^2 = 0.9847$)。从图 1 可以明显看出,害虫密度增大,二氧化碳浓度增加受

害虫密度影响显著。结果显示,谷蠹的存在对样品中二氧化碳浓度增加影响显著,在子代成虫出现之前,二氧化碳浓度大小与感染成虫的数量直接相关,且害虫密度增大,相应地达到某一二氧化碳浓度值的时间也相应提前。

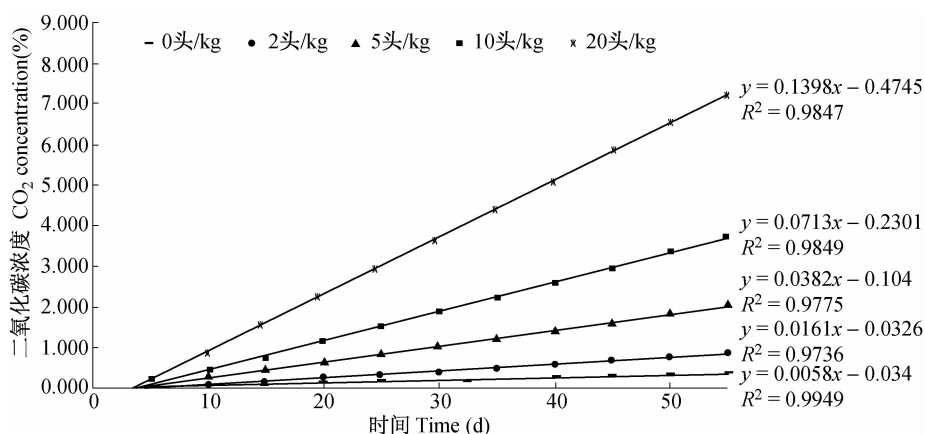


图 1 不同谷蠹密度的小麦中二氧化碳浓度随时间的变化趋势

Fig.1 The change of carbon dioxide in different adult density and time in wheat container

2.3 谷蠹繁殖对储存环境中二氧化碳浓度的影响

在试验条件下,在感染谷蠹成虫 55 d 后粮食中应有子代成虫羽化。从结果也可以看出,在此时间后呈现出环境中二氧化碳浓度较快增长,浓度增长曲线也呈现出二元函数特征,其主要原因除了与原有成虫及其产生的卵、发育的幼虫和蛹的存在有关外,更与增加的活动虫态的子代成虫呼吸代谢有关。谷蠹密度为 2 头/kg 的样品中,因种群基数小,种群增长相对较慢,到 180 d 时二氧化碳浓度才增长到 9.910%, 浓度随时间增长的回归方程为 $y = 0.0004x^2 - 0.0171x + 0.7004$ ($R^2 = 0.999$)。在 5 头/kg 的样品中,谷蠹种群繁殖能力有所增强,在 145 d 时,二氧化碳浓度增长幅度显著加大,达到了 12.452%,说明谷蠹繁殖对二氧化碳浓度增加影响显著。当样品中二氧化碳浓度增加超过 18% 时,其增长速率变小,这可能与密闭环境中二氧化碳过多累积对昆虫呼吸有所抑制,害虫整体产生二氧化碳的量相应减少。且在第 180 天时,二氧化碳浓度增长也只达到 19.021%。该密度下二氧化碳随时间增长的回归曲线为 $y = 0.0008x^2 - 0.041x + 2.3022$ ($R^2 = 0.998$)。

在感染谷蠹成虫 10 头/kg 的样品中,害虫种

群增长力更强,二氧化碳浓度增长迅速,在 95 d 时浓度即出现快速增长,到 125 d 时浓度达到 18.564%,增长曲线符合二次回归方程 $y = 0.0014x^2 - 0.0557x + 2.8515$ ($R^2 = 0.999$)。随后浓度增长趋于平稳,最终升高到 21.873%,浓度增长回归方程为 $y = -0.0009x^2 + 0.3172x - 7.4646$ ($R^2 = 0.990$),更大程度上表现出了种群增加对呼吸的相对抑制。

感染成虫 20 头/kg 的样品中,第 55 天后,即在子代成虫羽化后的时间,二氧化碳浓度升高速率更加迅速,在 95 d 时即超过 18%,比 10 头/kg 样品中到达同样浓度提前了 30 d,比 5 头/kg 的样品中提前了 80 d,二氧化碳浓度随时间增长曲线为 $y = 0.00008x^2 + 0.2677x - 7.3458$ ($R^2 = 0.998$)。但随后二氧化碳浓度增长缓慢,浓度随时间的变化呈 $y = -0.0002x^2 + 0.0839x + 12.514$ ($R^2 = 0.990$) 的关系,最终只达到 22.278%。这种情况说明,当小环境中害虫密度过大时,种群呼吸受到抑制变大,总体产生二氧化碳的量反而降低。

以感染谷蠹成虫 10 头/kg 的样品为例,检测过程中二氧化碳浓度随时间的变化见图 2。从图 2 可以看出,对于达到严重虫粮密度的环境中,二

氧化碳浓度的呈“S”型增长,即开始阶段,浓度平缓增长,随着子代成虫的不断羽化,二氧化碳浓度

出现快速增长,当浓度达到一定水平后开始趋于平稳,并维持在一定水平。

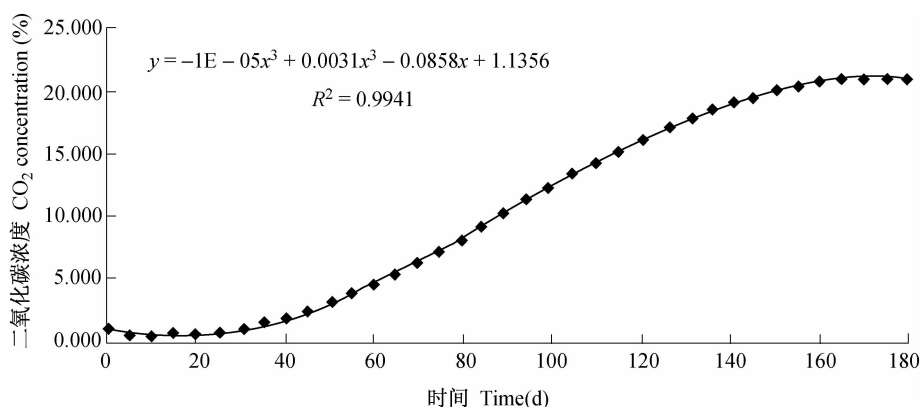


图2 谷蠹成虫为10头/kg的小麦中二氧化碳浓度随时间的变化趋势

Fig. 2 The change of carbon dioxide in container infected 10 adults per kilogram of wheat in different time

3 讨论

25℃时谷蠹完成一个世代需要约55~60 d (权跃等, 2006),在此时间内,尽管成虫配对后不久即交配产卵,卵孵化成幼虫并不断生长发育,化蛹,子代从卵期到蛹期都有进行呼吸,但谷蠹的其他虫态呼吸速率均显著低于成虫的呼吸速率 (Emekci *et al.*, 2004),这也与本研究的结果相吻合。害虫防治的早期预警比综合治理具有更加重要的经济意义,可以大大减少储粮成本和粮食的产后损失,故对子代成虫羽化前储藏环境中的二氧化碳浓度变化规律进行总结和预测,将更有针对性。而当二氧化碳浓度达到较高水平时,粮食的损害情况已较为严重,需尽快进行杀虫处理,否则有可能导致粮食失去食用价值。

安全水分的粮食在无虫时,小麦自身携带的微生物活动微弱,粮情稳定,二者自身产生二氧化碳的量较少 (梁微等, 2009)。只是高水分粮中微生物活动会造成二氧化碳浓度显著升高,并呈现出“S”型增长趋势 (耿旭等, 2010),如当水分为16%或更高时,7.5%的二氧化碳浓度即可判断为粮食发生变质 (Maier *et al.*, 2010),此时微生物大量发生,二氧化碳浓度增速较快,经过长时间储藏的玉米仓中,由于粮食的变质,导致仓内的二氧化碳浓度最高可达25%左右 (Maier *et al.*, 2006)。当粮食水分低于13%时,可以基本排除微生物的大量滋生,如果二氧化碳浓度异常升高,其原因主

要应为储粮害虫的代谢活动引起。

谷蠹在粮油储藏技术规范中属于主要害虫,当其密度≤2头/kg属于基本无虫粮,3~10头/kg为一般虫粮,≥10头/kg为严重虫粮 (陶诚等, 2008)。储粮属于基本无虫粮时,在谷蠹为2头/kg的状态下,产生的二氧化碳浓度水平很低,这一方面说明此虫口密度下害虫危害很小,另一方面也说明,即使在此很小的害虫密度下,也可通过检测二氧化碳浓度检测到害虫发生。

当前对于储备粮仓的熏蒸气密性要求要符合磷化氢环流熏蒸技术规程的要求,即对于高大平房500 Pa的正压半衰期在40 s以上 (王殿轩等, 2002),这与本研究中的同比密封水平接近。实际正常储粮过程中,粮仓通风、人员进仓等原因,会降低二氧化碳在仓内的积累。但通常粮仓是处于关闭状态下,粮堆的生物呼吸会在一定程度上使环境中二氧化碳浓度升高,尤其是害虫发生时二氧化碳会特别地升高,由此为通过二氧化碳浓度变化监测粮情和虫情带来可行性。

参考文献 (References)

- Bartosik R, Cardoso L, Rodríguez J, 2008. Early detection of spoiled grain stored in hermetic plastic bags (Silobags) using CO₂ monitoring. Proceedings of the 8th International Conference on Controlled Atmospheres and Fumigation in Stored Products. Chengdu, China, Sichuan Publishing House of Science and Technology. 550—554.

- Emekci M, Navarro S, Donahaye E, Rindnerb M, Azrieli A, 2002. Respiration of *Tribolium castaneum* (Herbst) at reduced oxygen concentrations. *J. Stored Prod. Res.*, 38 (5):413—425.
- Emekci M, Navarro S, Donahaye E, Rindnerb M, Azrieli A, 2004. Respiration of *Rhizopertha dominica* (F.) at reduced oxygen concentrations. *J. Stored Prod. Res.*, 40(1):27—38.
- Ileleji KE, Maier DE, Woloshuk CP, 2006. Detection of a developing hot spot in stored maize with a CO₂ sensor. *Appl. Eng. Agric.*, 22(2):275—289.
- Maier DE, Channaiah LH, Martinez-Kawas A, Lawrence JS, Chaves EV, Coradi PC, Fromme GAl. 2010. Monitoring carbon dioxide concentration for early detection of spoilage in stored grain. Proceedings of the 10th International Working Conference on Stored Product, Estoril, Portugal Protection. Julius-Kühn-Archiv. 512—516.
- Maier DE, Hulasare R, Qian B, Armstrong P, 2006. Monitoring carbon dioxide levels for early detection of spoilage and pests in stored grain. Proceedings of the Ninth International Working Conference on Stored Product Protection. Campinas, Brazil, Brazilian Post-harvest Association. 1174—1181.
- 耿旭,黄淑霞,蔡静平,2010. 储粮中霉菌活动的生理状态与粮堆 CO₂ 浓度变化的相关性. 河南工业大学学报(自然科学版),31(3):12—15.
- 梁微,蔡静平,高翔,2009. CO₂ 检测法监测小麦储藏微生物活动的研究. 河南工业大学学报(自然科学版),30(2):55—58.
- 权跃,邓永学,王进军,崔晋波,2006. 温度对谷蠹未成熟期生长发育的影响. 西南农业大学学报(自然科学版),28(6):971—974.
- 陶诚,唐柏飞,吴子丹,郭道林,靳祖训,兰盛斌,曹阳,宋伟,严晓平,王殿轩,王亚南,杨龙德,杨浩然,李火金,杨健,熊鹤鸣,江欣,高兴志,周天智,2008. LS/T1211 粮油储藏技术规范. 北京:中国标准出版社. 7—8
- 王殿轩,宋伟,覃章贵,白旭光,曹阳,徐永安,王佩祥,邓会超,2002. LS/T1201 磷化氢环流熏蒸技术规程. 北京:中国标准出版社. 7
- 詹继悟,1998. 粮食和油料种子在储藏期间的呼吸作用. 粮食科技与经济, (4):29—31.