

真菌及昆虫在储藏小麦中生长产生 CO₂ 气体的特点

郭立辉, 翟焕趁, 蔡静平

(河南工业大学生物工程学院, 河南郑州 450001)

摘要: 在各种温、湿度条件下对小麦储藏期间真菌和昆虫活动产生二氧化碳气体 (CO₂) 进行监测, 研究可用于判断小麦储藏安全性的方法。试验结果表明, 储粮温度对处于生长状态的真菌产 CO₂ 速率影响最大, 从 20 °C 升高到 25 °C, 产 CO₂ 速率可提高 10 倍。在安全水分小麦中, 昆虫是产 CO₂ 的主要类群, 对高水分小麦, 真菌是产 CO₂ 的主体。在产 CO₂ 特性方面, 昆虫密度与产 CO₂ 量具线性关系 ($r > 0.99$), 而真菌产 CO₂ 呈明显的加速现象, 在储藏初期带菌量没有显著增加 ($p > 0.05$) 时, 产气速率已提高 5.96 倍。在大型粮仓储藏中的试验也表明, 昆虫的产气量恒定, 粮堆 4 m 深度昆虫活动部位 25 d 的 CO₂ 浓度变化幅度为 13%, 而离霉变点 0.5 m 的 CO₂ 浓度变化高达 37 倍。因此, 利用检测 CO₂ 气体浓度变化的方法可以灵敏地发现小麦储藏中昆虫和真菌的危害活动。

关键词: 真菌; 昆虫; 农产品; 小麦; 二氧化碳

文章编号: 1673-9078(2015)4-157-163

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.025

Characteristics of Carbon Dioxide Production by Insect and Fungus Growth in Stored Wheat

GUO Li-hui, ZHAI Huan-chen, CAI Jing-ping

(College of Bioengineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In the present work, the characteristics of carbon dioxide (CO₂) produced by insects and fungi were studied under different wheat storage conditions with varying temperatures and moisture contents. The findings could be useful for determining the storage safety of wheat. The results showed that storage temperature had the most dramatic effects on the rate of CO₂ production by fungi during growth. When the storage temperature rose from 20 °C to 25 °C, the CO₂ production rate increased by ten-fold. Gas was mainly produced by insects in wheat with moisture in the safe range, while fungi were the main producers in high-moisture wheat. In terms of CO₂ production characteristics, there was a linear relationship between insect density and CO₂ production quantity ($r > 0.99$), and gas production by fungi appeared accelerated. The gas production rate increased by 5.96-fold when fungal counts in wheat did not change significantly ($p > 0.05$) during early storage. In large-scale wheat warehouse experiments, the gas production rate of insects was stable, and the CO₂ concentration fluctuation rate was 13% at 25 days in the 4-m-deep area of the wheat bulk, at which insects carried out their activities. In comparison, the changes in CO₂ concentrations were 37-fold at locations 0.5 m from mold spots. Therefore, the harmful activities of insects and fungi in stored wheat could be sensitively monitored by CO₂ detection.

Key words: fungi; insect; agricultural products; wheat; carbon dioxide

小麦是面制品加工的主要原料, 在良好的管理条件下品质非常稳定, 可以经数年、甚至数十年储藏而维持正常品质^[1], 是我国粮食储备的主要品种。但小麦在不良储藏环境中易出现霉变和虫蚀。小麦皮层较薄, 霉菌适生性好, 在相同高温高湿条件下往往比稻谷等粮食更易发生霉变^[2]。真菌在小麦中生长、繁殖不仅破坏小麦的营养和加工品质, 而且使小麦污染真

收稿日期: 2014-10-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31271948); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) (2013CB127804); 河南省教育厅自然科学基金项目 (14A180004)

作者简介: 郭立辉 (1989-), 男, 研究生, 研究方向: 粮油、食品微生物

通讯作者: 蔡静平 (1957-), 男, 教授, 研究方向: 粮油、食品微生物

菌毒素, 造成对食品安全性的威胁^[3]。昆虫的活动也影响小麦的重量、品质, 其代谢分泌物可对人畜产生毒害作用^[4]。因此, 在小麦储藏期间应该利用灵敏的方法监测虫霉的活动, 在虫霉活动的早期采取有效控制措施, 保障小麦的安全储藏^[3]。

粮食储藏的虫霉监测技术一直受到国内外的关注, 在理论研究和实际应用方面不断有新的突破。在我国的大型粮库中, 基于电子传感器的粮温检测技术已经普遍被应用于监测粮堆中的虫霉活动^[5]。近年来, 研究者重点关注各种虫霉快速检测方法的研发, 利用现代的检测手段快速分析虫霉代谢产物, 判断粮食中虫霉的活动, 其中利用虫霉代谢产生 CO₂ 气体监测粮

情变化已展示其良好的应用前景。Maier^[6]等研究证实了CO₂含量与粮仓内的粮食的霉变程度和害虫的密度成正相关的关系，Gonzales^[7]研究了在大型粮仓中用CO₂监测粮食霉变的情况，认为CO₂监测对于储粮管理是一种便捷的方法，国内的许多研究者也对粮堆CO₂含量与粮食真菌活动的关系、不同害虫产生CO₂的特点进行了探讨^[8-9]。但现有这方面的研究只在适合昆虫和真菌活动的条件下分别进行CO₂检测试验，这些从不同试验中获得产生CO₂气体的结果难以进行系统性比较，更无法考察昆虫和真菌共生时种群间相互作用对产气的影响。在实际粮食储藏期间，真菌和昆虫常处于伴生的状态，要将CO₂监测方法用于储粮实践中，能否区分昆虫或真菌的危害是技术关键。因此，本试验将昆虫和真菌置于相同的小麦储藏条件下，针对性地研究和比较它们产生CO₂气体的特征。通过对虫霉产生CO₂检测参数的系统分析，阐明其规律性，可对粮堆CO₂监测信息进行准确解读，为建立新的小麦储藏安全监测方法奠定基础。

1 材料和方法

1.1 小麦

郑州当年产二等白麦，试验前对其经行筛选，使不完善粒和杂质率控制在1%以下。在60℃下处理2h，杀死小麦中可能隐藏的昆虫和虫卵。

1.2 试虫

试验用玉米象采自中储粮商丘直属库，然后在河南工业大学储藏物昆虫研究室和本实验室培养3代后作为试验昆虫。本试验的试虫在28℃，RH75%的环境中培养，取羽化两周的健康成虫玉米象作为试验用虫。

1.3 试验设备

本试验所用的CO₂浓度检测仪由市售元件组装，显示屏为液晶屏，由百特工控制造；气泵为成都新为诚产品，流量为500 mL/min；传感器为GE公司产品，灵敏度为0.01%，有效量程为0~5.00%。试验容器为1500 mL的密封塑料瓶。使用前对塑料瓶进行气密性测试，要求500 Pa压力半衰期大于90s。

1.4 试验药品

本试验所用试剂均为分析纯。

1.5 试验方法

1.5.1 小麦水分调节

参照文献5并按本试验要求做调整，用经虫卵处理的小麦，先测定原始水分，然后按1:1.1的加水量，用喷雾器将无菌水均匀加到小麦中，保鲜膜密封，在4℃的层析柜中平衡24h~48h。

1.5.2 无菌小麦粉制备

将小麦用台式粉碎机处理1min，取30目筛的筛下物，置于带塞广口瓶中，在121℃的高压蒸汽灭菌锅中处理30min，制得无菌小麦粉。

1.5.3 玉米象的处理

将健康的羽化两周的玉米象成虫投放到装有小麦的瓶中，按照试验需要分别选2头/瓶、5头/瓶和10头/瓶三个密度进行试验。

1.5.4 水分检测

参照国标GB/T 5479里面规定的105℃恒重法测定粮食水分。

1.5.5 粮食带菌量的检测

参照GB 4789.15霉菌和酵母计数方法，在无菌操作下取25g小麦样品到225mL无菌的三角瓶中，振荡30min，用10倍梯度稀释制成不同稀释度的菌悬液，然后将1mL菌悬液加入到无菌的培养皿内，与适量改良察式培养基混合，28℃培养7d。

1.5.6 CO₂检测

参照文献5，根据本试验要求做了修正。将每个瓶塞中含有三通阀门的测气软管与测气装置的进气、出气端口相连，打开阀门，用微型气泵将含有CO₂的气体从瓶子中一端抽出，经过检测器的检测后再从另一端送回瓶子。每次测量在打开塞子3min后在检测仪的显示屏上直接读出数据并记录。每隔24h测量一个瓶子中的CO₂气体浓度。

1.5.7 温度影响试验

取水分13%不同带菌量小麦及15%水分小麦各300g放入到1.5L容器中，每种9个平行，分别放到20℃、25℃、30℃的恒温恒湿培养箱中培养，每天检测容器中的CO₂。

取30g的无菌小麦放置到1.5L容器中，放10头玉米象，做9个平行，分别在20℃、25℃、30℃的恒温恒湿培养箱中培养，每天检测容器中CO₂的变化。

1.5.8 小麦水分影响试验

25℃下，把13%、15%、17%三种水分的小麦各300g分别放到1.5L塑料容器中，每个水分做三个平行，放置在恒温恒湿箱中培养，检测容器中真菌活动产生的CO₂。

在25℃下，用13%、15%、17%水分的无菌小麦粉作为玉米象的食物，取30g小麦粉放到塑料瓶中，

然后投入 2、5、10 头/瓶的玉米象，做成不同的实验组，每组做三个平行，放置在恒温恒湿箱中培养，检测容器中玉米象活动产生的 CO_2 。

1.5.9 昆虫和真菌单独试验和共生试验

自然带菌小麦进行保温储藏作为真菌单独生活试验组，用无菌小麦饲养玉米象作为昆虫单独生活试验组，将玉米象置于自然含菌小麦中饲养作为虫、霉共生试验组，分别进行 CO_2 气体产生的监测试验。

1.5.10 平房仓储藏小麦的虫霉活动 CO_2 检测试验

在粮堆深度为 6 m、小麦储藏量为 4800 吨的平房仓中进行试验，昆虫活动试验是在不同昆虫密度的部位埋设硅胶管，在粮堆表面检测 CO_2 浓度。真菌活动试验是在粮堆中预埋 10 kg 含水量为 20% 的小麦，通过硅胶管将距离不同部位的气体吸出，在粮面进行气体检测。

1.6 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 处理，并用 SAS 软件进行多重比较分析。

2 结果与讨论

2.1 温度对真菌和昆虫产生 CO_2 的影响

温度是影响真菌和昆虫新陈代谢的重要指标， CO_2 气体在不同温度下的扩散特性也会发生改变^[10]。将各种小麦样品在不同温度下储藏 30 d，比较昆虫和真菌活动产生 CO_2 气体平均速率，可得到图 1 的数据，可以看出，不同的温度条件对虫霉产生 CO_2 的影响有较大差异。粮食的水活度是真菌生长的限制因素，当小麦水活度不适合真菌生长时（13% 水分），温度对小麦中真菌产生 CO_2 的影响不显著（ $p > 0.05$ ），无论小麦真菌含量在 10^2 cfu/g 或 10^4 cfu/g 数量级，其产气速率均小于 $0.5 \text{ mg}/100 \text{ g d}$ 。在小麦水分含量适合真菌生长的条件下，温度对产生 CO_2 的影响非常显著，25 °C 下的平均产气速率可比 20 °C 下提高 10 倍。但温度继续从 25 °C 升高到 30 °C 时，其产气速率仅提高 43%，升高的幅度明显降低。导致不同温度范围真菌产生 CO_2 气体速率变化幅度不均匀的原因主要与粮食储藏生态条件下可生长真菌类群自身的特性有关^[5]，因为粮食中常见真菌适宜生长的温度一般为 25 °C~30 °C，从 20 °C 升高到适宜生长的 25 °C，呼吸代谢增强比较明显，因此产生 CO_2 的速率也显著加快；当达到真菌生长的适宜范围后，继续升高温度提高产气速率的幅度就会下降。

对昆虫而言，虽然 20 °C~30 °C 的温度区间均适合其生长，但从图 1 可发现玉米象从 20 °C 起每升高 5 °C 的产气速率升高幅度分别为 60% 和 11%，明显低于真菌生长状态的变化。对谷蠹产生 CO_2 的试验也表明，在长达 30 d 的时间内容器中 CO_2 气体浓度仅升高 3.15 倍^[9]。这种差异的原因是因为真菌生长均伴随着个体和菌丝量的增多，而昆虫在一段时间内个体数量不会变化，同一数量个体在不同温度下呼吸强度的变化幅度较小。因此，结合小麦储藏温度变化的参数，通过检测粮堆中 CO_2 气体产生速率的变化，可以判别粮堆中是昆虫或真菌在生长危害，并通过 CO_2 气体的产生量可评估储粮受到危害的程度。

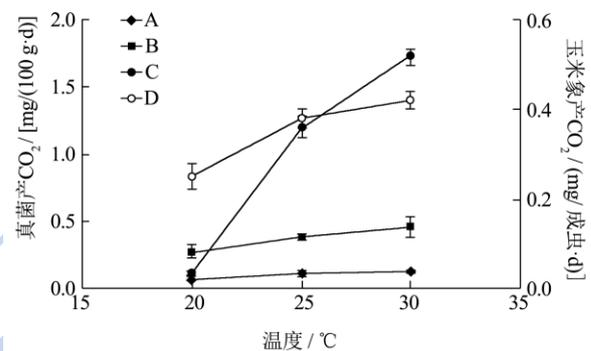


图 1 温度对真菌和玉米象产 CO_2 的影响

Fig.1 Effects of temperature on CO_2 production by fungi and *S. zeamais*

注：A-真菌带菌量 2.7×10^2 ~ 3.1×10^2 cfu/g, 小麦水分 13.0%；
B-真菌带菌量 3.8×10^4 ~ 5.8×10^4 cfu/g, 小麦水分 13.0%；
C-真菌带菌量 7.5×10^2 ~ 6.5×10^4 cfu/g, 小麦水分 15.0%；
D-玉米象成虫，无菌小麦。

2.2 小麦水分含量对真菌和玉米象产生 CO_2 的影响

小麦含水量对于真菌的生长有较大的影响，当小麦储藏的水分含量在安全水分范围时可以完全抑制真菌的生长^[2]，但小麦含水量对昆虫活动的影响相对较小。在 25 °C 的适温条件下，利用不同水分含量的小麦分别检测真菌和玉米象活动产生 CO_2 的状况，结果表明（图 2），在无虫的 13% 水分小麦中 CO_2 产生量很少，27 d 试验中检测值没有明显变化，说明小麦中所含的真菌没有生长活动。在高于安全水分的无虫小麦中， CO_2 产生速率迅速升高，表现在产生 CO_2 的量迅速增加（图 2）。在水分为 15% 的小麦中，升高 2% 的水分可以使储藏容器中 9 d 产生的 CO_2 量升高 15.6 倍。虽然小麦水分含量对昆虫产生 CO_2 也有一定的影响，但从图 3 可看出，在相同的储藏试验期间，无菌小麦

水分从 13% 分别升高到 15% 和 17% 时, 玉米象产生 CO₂ 的量分别仅升高了 1% 和 13%。对于安全水分的粮食, 如果发现粮堆中产生 CO₂ 气体速率显著升高, 可以推断是昆虫活动的结果; 在水分含量超过储藏安全临界值的粮食中, 如果发现粮堆中 CO₂ 气体产生速率异常升高, 可以推断是真菌正在危害储粮的品质。

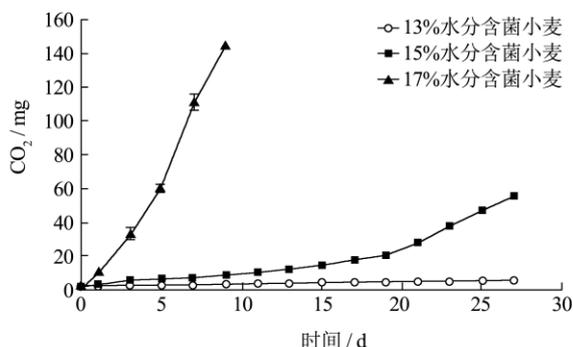


图2 不同水分小麦中真菌产 CO₂ 的特点

Fig.2 Characteristics of CO₂ production by fungi in wheat with different moisture contents

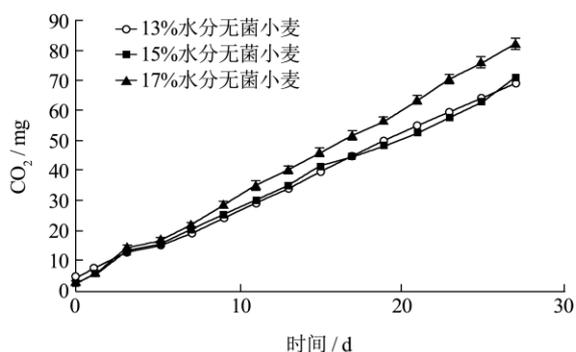


图3 玉米象在不同水分无菌小麦中产 CO₂ 的特点

Fig.3 Characteristics of CO₂ production by *S. zeamais* in wheat with different moisture contents

2.3 昆虫和真菌 CO₂ 产生量的变化特征

储粮中昆虫数量或真菌的带菌量均是储粮安全性的重要衡量指标, 但在储粮管理中要同时对粮堆中的虫霉变化进行检测的难度较大, 通常要人工入仓在粮堆中采集粮食样品进行分析, 操作过程复杂、耗时长^[5]。如果利用 CO₂ 检测能在粮仓外部了解虫霉发生的数量变化关系, 则可以大大简化储粮监测的工作量。图4 是不同密度玉米象在储粮容器中每天产生的 CO₂ 量, 可以看出玉米象的数量与 CO₂ 产生量呈线性关系, 其线性相关性系数大于 0.99。根据这种相关性, 当粮食的水分为安全水分时, 真菌的生长被抑制, 只要根据每头昆虫产生 CO₂ 气体的参数和粮堆 CO₂ 气体浓度的检测值, 即可较准确地计算粮堆中的昆虫密度, 评估粮食损耗和杀虫处理的经济阈值。虽然粮库中现有

电子测温技术也可以发现昆虫的活动, 或通过温度变化幅度了解虫害发生的程度, 但温度在粮堆中的传导速度较低, 据 Ileleji^[10]报导, CO₂ 气体在粮堆中的扩散速度比温度传导高 30~40 倍, 显然, 利用 CO₂ 检测的方法可显著提高灵敏度和准确性。

真菌在小麦储藏中的危害方式与昆虫有一定的差异。当储藏小麦水分较低, 或温度不适合真菌生长时, 小麦中的真菌可以处于休眠状态, 这些真菌不会影响小麦的品质^[5], 因此, 对小麦储藏关键的参数是处于生长态真菌数量变化与产生 CO₂ 气体的关系。从图 5 可以看出, 在 15% 水分真菌可生长的小麦中, 用经典的平板培养计数方法检测, 带菌量并不会迅速升高, 在本试验的前 20 d 中带菌量变化不明显(p>0.05), 但产生 CO₂ 气体量的变化非常显著(p<0.01), 从 0.54 mg/g.d 升高到 3.76 mg/g.d, 产气速率提高了 5.96 倍, 产气速率提高至少比带菌量显著变化提前 13 d。真菌带菌量变化与产气速率的相关性 (R²=0.53) 也显著低于昆虫。由于真菌的生长活动产生 CO₂ 表征着真菌的代谢强度, 与真菌对粮食品质的破坏作用密切相关^[10], 因此, 利用 CO₂ 气体产生量监测粮食中真菌的危害活动比用带菌量变化的检测指标更加准确、有效。

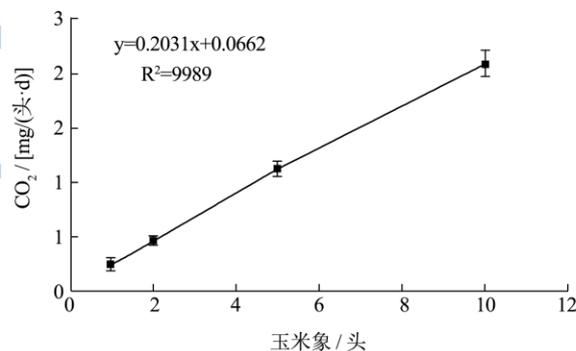


图4 玉米象数量对产生 CO₂ 的影响

Fig.4 Effects of *S. zeamais* quantity on CO₂ production

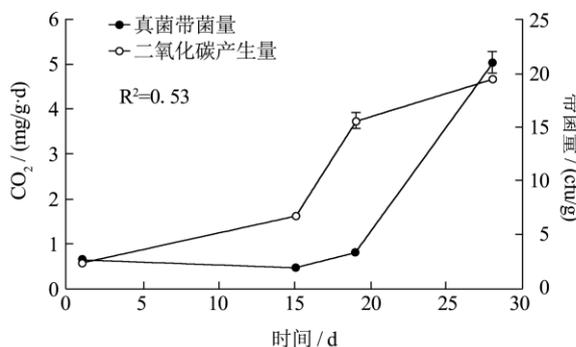


图5 真菌带菌量变化对产生 CO₂ 的影响

Fig.5 Effects of fungus quantity on CO₂ production

2.4 小麦中真菌和昆虫共同生活对产生 CO₂

的影响

粮食储藏期间遇到高温高湿等环境，虫霉可以同时生长在粮食中，这种虫霉共生的状态将导致严重的储粮事故，是储粮需要重点防范的事件^[11]。设计真菌和昆虫在小麦中单独和共生试验，结果如图6和图7所示。当小麦处于安全水分的常规储藏条件下(图6)，真菌单独存在时基本处于休眠状态，昆虫则可以正常生长，两个储藏容器中的CO₂浓度累加值基本上是昆虫活动产生的气体，其CO₂气体浓度升高的模式也呈明显的线性关系，线性相关性系数大于0.99；在含真菌的小麦中饲养玉米象，可发现其CO₂产生量明显高于真菌和玉米象独立试验的累加值，在储藏至25 d时两个试验组合的CO₂气体产生量相差达到61%。这种差异现象的本质可能与玉米象活动使小麦水分增高导致真菌生长有关^[12,13]，昆虫的活动还可传播和扩散真菌孢子^[11]，以及昆虫取食破坏了粮食的表皮和产生大量粉状物质更有利于真菌的生长等因素有关^[14]。

在偏高水分的小麦中，由于真菌本来就具有可生长的环境，虫霉单独活动与共生的差异性逐渐减小。从图7可以看出，当小麦水分略高于安全水分(15%)时，在储藏25 d时显示虫霉共生可多产生30%的CO₂；当水分继续升高至17%时，水分已经不是真菌生长的限制因素，两个试验组合产生CO₂的量已经没有差异，曲线呈重合状态。

为了进一步证明虫霉共生时昆虫活动对真菌的影响，对于各试验组进行真菌带菌量的分析，结果也证明在低水分的粮食中昆虫活动对真菌生长有显著促进作用(p<0.05)(表1)，储藏19 d时，13%水分小麦的虫霉共生试验组比无虫组的带菌量高21倍，而15%水分和17%水分的试验组则分别为增高1.5倍和降低2%，这一带菌量的变化趋势与各试验组中CO₂气体产

生量的变化规律完全一致。大型粮食储藏通常均严格限定入库粮食的水分，但安全水分的粮食无法完全控制昆虫的生长，如果昆虫的生长促进真菌的活动，必然会加剧对储粮的破坏。因此，利用本试验的结果，在实际储粮中，只要监测CO₂气体浓度变化和粮堆昆虫密度这两个较易检测的参数，即可分析储粮中是否还存在真菌的活动。

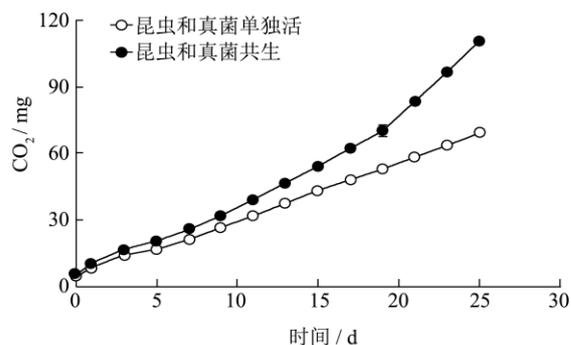


图6 常规储藏下真菌与昆虫共生对产生CO₂的影响 (小麦水分13%)

Fig.6 Effects of fungus and insect cohabitation on CO₂ production under regular storage conditions

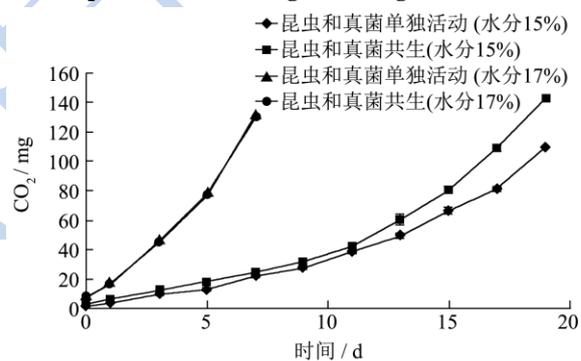


图7 偏高水分粮食中真菌与昆虫共生对产生CO₂的影响

Fig.7 Effects of fungus and insect cohabitation on CO₂ production in high-moisture grains

表1 不同小麦储藏期间带菌量的变化 (×10³cfu/g)

Table 1 Changes in fungus quantity at different wheat storage times

| 组别 | 储藏时间/d | | | |
|-------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | 0 | 10 | 19 | 30 |
| 13%水分小麦 | 0.28±0.03 ^{Aa} | 0.19±0.03 ^{Aa} | 0.40±0.06 ^{Aa} | 0.21±0.02 ^{Aa} |
| 13%水分小麦+玉米象 | 0.28±0.03 ^{Aa} | 0.25±0.06 ^{Aa} | 8.78±0.97 ^{ABb} | 69.26±1.68 ^{Bc} |
| 15%水分小麦 | 0.28±0.03 ^{Aa} | 0.06±0.03 ^{Aa} | 5.33±0.05 ^{Aa} | 3.43±0.40 ^{Ab} |
| 15%水分小麦+玉米象 | 0.28±0.031 ^{Aa} | 0.07±0.05 ^{Aa} | 13.35±0.18 ^{BCb} | 160.24±3.58 ^{Cc} |
| 17%水分小麦 | 0.28±0.03 ^{Aa} | 52.7±2.52 ^{Bb} | 550.0±43.49 ^{Dc} | 286.67±15.28 ^{Dd} |
| 17%水分小麦+玉米象 | 0.28±0.03 ^{Aa} | 58.4±3.88 ^{Bb} | 540.0±35.69 ^{Dc} | 297.00±13.8 ^{Dd} |

注：表中的数据为平均数±标准差，数据肩标上含有不同小写字母表示不同时间内差异显著(p<0.05)，含有不同大写字母表示统一时间内不同组别差异显著(p<0.05)。

2.5 虫霉在大型平房仓储藏小麦中活动时产生 CO₂ 的特点

大型平房仓敞开的粮堆与模拟试验密封的储藏容器有一定的差异,为了检验模拟试验数据与粮仓的相关性,选择了小麦储藏量 4800 吨,粮堆深度 6 m 的平房仓进行验证试验。结果表明(图 8),伴随着高水分粮包中真菌的生长,霉变点附近的 CO₂ 气体浓度迅速升高,与图 2 小型储藏容器中高水分小麦的 CO₂ 产气量增加趋势完全一致。虽然距埋设霉变点较近部位(0.5 m)的 CO₂ 气体浓度比较远部位(2.0 m)高 50% 以上,但两条曲线的相关性系数大于 0.99,表现出相同的数值变化趋势。试验后期 CO₂ 浓度迅速下降是 10 kg 试验粮不能持续提供真菌生长的条件所致,在 Ileleji^[10]持续滴加水的试验中可发现 CO₂ 浓度将保持升高。因此,只要在粮堆中设点对 CO₂ 气体浓度进行检测,即可根据变化趋势判断储藏小麦中是否存在真菌的生长危害。

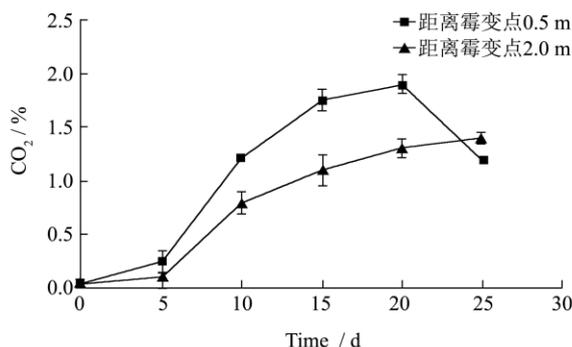


图 8 粮仓储藏小麦霉变时 CO₂ 浓度的变化

Fig.8 Changes in CO₂ concentrations during fungal development in stored wheat in a warehouse

在试验粮仓中含有不同昆虫密度的粮堆中设 CO₂ 气体检测点,结果表明(图 9),在没有昆虫活动的粮堆中,CO₂ 气体浓度较低;在昆虫活动的部位,CO₂ 浓度与昆虫密度和所处的粮堆部位有关,粮堆 4 m 深度昆虫密度为 4 头/kg 的部位与 1 m 深度昆虫密度为 20 头/kg 的部位 CO₂ 气体浓度基本相当,说明在接近粮堆表面的部位,昆虫活动产生的 CO₂ 气体有较大的比例通过与外界的气体交换而散失。比较图 8 和图 9 可发现真菌与昆虫活动的主要差异在于昆虫活动产生 CO₂ 气体的量相对恒定,在 25 d 的试验期间,1 m 和 4 m 部位的 CO₂ 浓度变化幅度为 9% 和 13%,而距离霉变点 0.5 m 和 2.0 m 的浓度变化幅度分别高达 37 倍和 27 倍,其规律与小型密闭容器的试验结果相同。

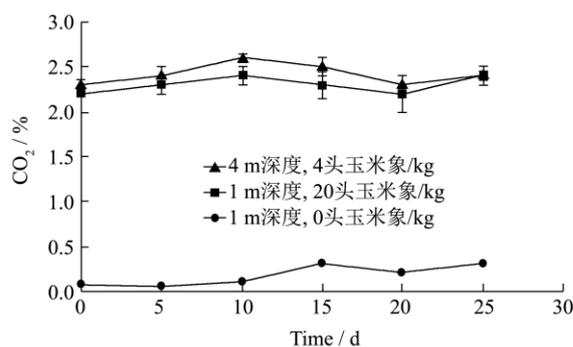


图 9 粮仓中不同昆虫密度部位 CO₂ 浓度的变化

Fig.9 Changes in CO₂ concentrations at locations of different insect densities in stored wheat in a warehouse

3 结论

昆虫和真菌是粮食储藏中主要的防控对象,只有早期发现它们的生长迹象,才能借助储粮处理设施减少或杜绝其危害活动带来的损失。由于这两类生物在生活习性、破坏粮食品质的方式及对它们的有效控制手段均存在差异性,分清危害介质的种群或性质是衡量监测方法有效性的重要指标。本试验的结果表明,粮食处于不同的储藏温度和含水量的条件下,粮食中存在的昆虫和真菌在产生 CO₂ 量和产生速率方面存在较大差异。当粮食中没有昆虫活动且温湿度条件不适合真菌生长时,即使粮食带菌量较多,对储粮而言仍是安全的,在粮堆中检测到的 CO₂ 产生速率处于较低的水平(5 mg/kg d)。当粮食水分达到真菌生长要求时,温度对真菌生长的影响非常显著,储粮可以在短时间内发生霉变,粮堆中产生的 CO₂ 量可数倍或数十倍的增高。比较在粮食中处于生长状态下的昆虫和真菌产生 CO₂ 气体的特征,昆虫的产气速率相对恒定,受外界温度和粮食水分的影响不明显,真菌则在适合生长的条件下有明显加速产生 CO₂ 气体的现象。昆虫在粮食中的活动可诱发较低水分粮食滋生真菌的现象也可以在产生 CO₂ 气体量值显著升高上显示其差异。因此,利用昆虫和真菌产生 CO₂ 气体特征的差异性,有可能建立一套有效的储粮安全监测系统,用于快速甄别储粮期间危害粮食的生物种群、类别,判断危害的程度,使粮食仓储管理者可以及时做出相应的处理对策,避免粮食储藏环节的损失。

参考文献

[1] 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

- [2] 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 Jing-ping, ZHANG Shuai-bing, ZHAI Huan-chen, et al. Comparison of anti-mould activities of wheat cultivars stored at critical moisture content [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(7): 1528-1532
- [3] 翟焕趁,张帅兵,黄淑霞,等.小麦和玉米中微生物污染和生长的快速检测[J].现代食品科技,2014,30(8):231-237
ZHAI Huan-chen, ZHANG Shuai-bing, HUANG Shu-xia, et al. Rapid detection of microbial contamination and growth in wheat and com [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(8): 231-237
- [4] 吕建华,钟建军,王洁静,等.不同温度处理对赤拟谷盗的致死作用[J].河南工业大学学报(自然科学版),2012,33(2):1-4
LV Jian-hua, ZHONG Jian-jun, WANG Jie-jing, et al. Lethal effect of different treatment temperature on *Tribolium Castaneum*(herbst) [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 33(2): 1-4
- [5] 梁微,蔡静平,高翔.CO₂检测法监测小麦储藏微生物活动的研究[J].河南工业大学学报:(自然科学版),2009,30(2):55-58
LIANG Wei, CAI Jing-ping, GAO Xiang. Study on monitoring of microbial activity of stored wheat by method of CO₂ determination [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(2): 55-58
- [6] Maier D E, Hulasare R, Qian B, et al. Monitoring carbon dioxide levels for early detection of spoilage and pests in stored grain[C]// Lisandra Lunardi:Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection. Sao Paulo: Brazil, 2006, 1174-1181
- [7] Gonzales H B, Armstrong P R, Maghirang R G. Simultaneous monitoring of stored grain with relative humidity, temperature, and carbon dioxide sensors [J]. Applied Engineering in Agriculture, 2009, 25(4): 595-604
- [8] 王殿轩,唐多,朱光有.谷蠹感染的小麦储存环境中二氧化碳浓度变化研究[J].应用昆虫学报,2012,49(2):490-495
WANG Dian-xuan, TANG Duo, ZHU Guang-you. Concentration change of carbon dioxide in stored wheat infected with *Rhyzopertha dominica* in different population and time [J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012, 49(2): 490-495
- [9] 唐多,王殿轩,姚剑锋.不同温度和水分小麦中不同谷蠹发生状态时二氧化碳变化研究[J].植物保护,2011,37(5):67-71
TANG Duo, WANG Dian-xuan, YAO Jian-feng. Concentration change of carbon dioxide in wheat plants infected with *Rhyzopertha dominica* under the conditions of different temperatures and moisture contents [J]. Plant Protection, 2011, 37(5): 67-71
- [10] Heleji K E, Maier D E, Bhat C, et al. Detection of a developing hot spot in stored com with a CO₂ sensor [J]. Applied engineering in agriculture, 2006, 22(2): 275-286
- [11] Ferreira-Castro F L, Potenza M R, Rocha L O, et al. Interaction between toxigenic fungi and weevils in com grain samples [J]. Food Control, 2012, 26(2): 594-600
- [12] Alonso-Amelot, Miguel E, Jorge Luis, et al. Comparison of seven methods for stored cereal losses to insects for their application in rural conditions [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(2): 82-87
- [13] Beckett S J. Insect and mite control by manipulating temperature and moisture before and during chemical-free storage [J]. Journal of Stored Products Research, 2011, 47(4): 284-292
- [14] Senthilkumar T, Jayas D S, White N D G, et al. Characterization of volatile organic compounds released by granivorous insects in stored wheat [J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 48: 91-96