

杨 琴,王香蓉,陆 猛,等.低氧对几种主要储粮害虫虫态的致死效果[J].江苏农业科学,2022,50(2):161-165.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.02.027

低氧对几种主要储粮害虫虫态的致死效果

杨 琴,王香蓉,陆 猛,蒙广绪,田玉乔,鲁玉杰

(江苏科技大学粮食学院,江苏镇江 212000)

摘要:低氧储藏技术是近几年发展起来的一种绿色储藏技术,研究不同低氧条件对几种储粮害虫的致死效果,对于指导充氮低氧的储藏技术具有重要理论参考价值。在 30 ℃、70% RH 的温湿度条件下,采用 700、900、1 100、1 300、1 500 Pa 真空度处理几种主要储粮害虫[米象(*Sitophilus oryzae* Linnaeus)、玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)、赤拟谷盗(*Tribolium castaneum* Herbst)、杂拟谷盗(*Tribolium confusum* Jacquelin du Val)]的成虫、蛹、幼虫、卵,处理时间为 2~3 d。结果表明,不同储粮害虫及不同虫态对低氧的耐受性不同,赤拟谷盗、杂拟谷盗的耐受性较强,完全致死时间分别为 111、107 h;米象、玉米象对低氧的耐受性较差,完全致死时间分别为 85、83 h;不同虫态对低氧的耐受性也有差异,卵、蛹对低氧条件的耐受性较强,但两者间的差异不显著,幼虫、成虫对低氧的耐受程度较弱。各害虫及虫态对真空低氧的耐受情况表现为赤拟谷盗>杂拟谷盗>米象>玉米象,卵>蛹>成虫>幼虫。

关键词:真空低氧;储粮害虫;虫态;致死效果;真空度

中图分类号: S433 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)02-0161-04

粮食是当今人类赖以生存和发展的物质基础^[1],粮食安全问题一直是我国的国家战略问题,习近平总书记强调:手中有粮、心中不慌,要确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中。新型冠状病毒肺炎疫情发生以来,部分国家对大米和小麦等出口采取了限制或管制措施^[2],粮食安全的重要性进一步凸显。然而,根据联合国粮食及农业组织的数据,全球粮食损失和浪费率很可能超过 20%。国家粮食和物资储备局的数据显示,我国粮食在储藏、运输和加工等产后环节,每年的损失量达 350 亿 kg 以上,粮食产后损失量惊人。其中,每年因储粮害虫危害造成的粮食产量损失便高达 30%^[3]。气调储藏技术是近年来发展起来的一种绿色储粮技术,其原理是利用密闭储存设施隔绝氧气或者通过人工干预充入氮气或者二氧化碳以改变粮仓内的气体组分,干扰昆虫呼吸代谢,引起昆虫发育停滞甚至死亡^[4]。

米象[*Sitophilus oryzae* (L.)]是世界性的重要储粮害虫,对小麦、稻谷和玉米等粮食的危害可引起储粮数量和质量的严重损失^[5]。米象和玉米象(*Sitophilus zeamais* Motschulsky)、赤拟谷盗

(*Tribolium castaneum* Herbst)、杂拟谷盗(*Tribolium confusum* Jacquelin du Val)一同构成粮食污染的主要害虫。劳传忠等研究了 28 ℃贮藏条件下 2%、5%的低氧条件对米象种群的抑制作用,发现经过 90 d 的低氧作用,2%、5%低氧条件对米象种群的抑制率分别为 99.26%、99.94%^[6]。将锈赤扁谷盗卵暴露在低氧环境中观察发现,低氧条件对锈赤扁谷盗卵的孵化有显著抑制作用,且氧气浓度越低,其抑制作用越强^[7]。然而目前还未见不同低氧条件对不同储粮害虫半数致死时间和完全致死时间影响的研究。研究低氧条件对主要储粮害虫致死时间的影响可以明确低氧处理的时间,对于低氧储粮技术具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 仪器与设备

真空干燥器(Pc-250 mm 双阀),购自重庆市荣昌县金玻璃制品有限公司;真空抽气泵(FUJ-PCV),购自日本藤原富集公司;恒温恒湿培养箱(HPX-250BSSH-Ⅲ型),购自上海新苗医疗器械制造有限公司;手持式数字压差计,购自深圳宏志达五金有限公司。

1.2 供试虫源

不同虫态的米象、玉米象、赤拟谷盗、杂拟谷盗,由河南工业大学储粮昆虫生态研究室提供。

收稿日期:2021-04-15

作者简介:杨 琴(1998—),女,贵州贵阳人,研究方向为食品质量与安全。E-mail:2198328297@qq.com。

通信作者:鲁玉杰,博士,教授,主要从事储粮害虫与昆虫防治方面的研究。E-mail:luyjlyj71@just.edu.cn。

1.3 试料的配制

赤拟谷盗、杂拟谷盗均使用麦粉作为饲料。将小麦洗净后置于 80 ℃干燥箱中消毒、烘干,在干燥过程中每隔 0.5 h 对小麦进行翻动以保证小麦中的水分均匀;烘干后调节小麦的水分含量至(14 ± 1)%^[7]。用锤式旋风磨打碎小麦,再用细网筛筛出麸皮,将筛下物与酵母粉按 19∶1 的质量比混匀。将颗粒饱满的完整小麦清洗、烘干后作为米象、玉米象的饲料。

1.4 试验方法

1.4.1 试验准备 试验于 2020 年在江苏科技大学粮食学院实验室进行。用 75% 乙醇对试验器材进行消毒,在试验台四周涂上聚四氟乙烯以防止试虫逃逸。在直径为 7 cm 的塑料培养皿顶部扎些孔洞(防止试虫因试验之外的氧气不足致死)。

赤拟谷盗、杂拟谷盗虫卵的获取:把成虫放入盛有新饲料的培养瓶中,1~2 d 后用细网筛将培养瓶中的卵挑选出来,50 粒卵为 1 组,加入饲料中进行试验。米象、玉米象虫卵的获取方法同上。赤拟谷盗、杂拟谷盗幼虫及蛹的获取:挑出部分卵放入饲料中,分别发育不同时间,成为蛹和幼虫,用毛笔挑选出试虫的幼虫及蛹(可以解剖粮粒),以 50 头为 1 组加入饲料中进行试验,玉米象、米象的幼虫及蛹的获取方法同上。

1.4.2 试验方法 选取不同害虫的卵、蛹、幼虫、羽化 1~2 周成虫各 50 头,转移到不同培养皿中。以

3 盒试虫为 1 组试验,将虫子放入真空干燥器中,用真空抽气泵抽出空气,各设置 1 个对照组。将真空干燥器密闭放置在 30 ℃、相对湿度(RH)为 70%的环境中,每隔 12 h 观察 1 次,处理 2~3 d。取出试虫放置 0.5~1.0 h(看试虫是否复苏),同时记录试虫的死亡数。成虫或幼虫可用毛笔碰其头和腹部来确认是否死亡,若试虫没有反应,则认为试虫已死亡。

1.4.3 数据统计与分析 用 Excel、SPSS 20.0 对数据进行处理,并采用 Duncan’s 多重比较法检测不同处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 真空低氧对赤拟谷盗的致死效果

从表 1、表 2 可以看出,不同低氧条件对赤拟谷盗不同的虫态均有一定的致死所用,其中卵、蛹对低氧的耐受性最强,两者的半数致死时间(LT₅₀)、全数致死时间(LT₉₉)均与幼虫和成虫间的差异显著($P<0.05$)。在 700 Pa 的真空度下,26 h 内幼虫能全部被杀死,且不同虫态的半数致死时间和完全致死时间在不同真空度间差异显著,不同虫态对低氧的耐受性具有显著差异($df=1, F=14.22, P<0.05$),卵在 1 500 Pa 真空度下处理 111 h 才能全部死亡,且幼虫、成虫的致死时间最短。

2.2 真空低氧对杂拟谷盗的致死效果

从表 3、表 4 可以看出,不同真空度对杂拟谷盗的半数致死时间和完全致死时间均有显著影响。不

表 1 赤拟谷盗在不同真空度下的 LT₅₀

真空度 (Pa)	LT ₅₀ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	54.67 ± 0.57bA	12.53 ± 0.68cB	50.67 ± 1.15dA	17.08 ± 0.11cB
900	55.00 ± 2.00bA	15.06 ± 0.29bB	52.40 ± 0.53dA	18.07 ± 0.12bB
1 100	55.07 ± 1.90bA	16.97 ± 0.24abB	55.73 ± 0.64cA	18.70 ± 0.82bB
1 300	56.87 ± 1.21abA	17.27 ± 1.83aB	57.70 ± 0.70bA	18.39 ± 0.34bB
1 500	59.33 ± 0.58aA	18.17 ± 0.29aB	60.33 ± 1.53aA	20.36 ± 0.53aB

注:数值为平均值 ± 标准差;同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),同行数据后标有不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。

表 2 赤拟谷盗在不同真空度下的 LT₉₉

真空度 (Pa)	LT ₉₉ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	102.33 ± 0.58cA	25.67 ± 0.58dB	97.67 ± 0.58dA	34.33 ± 0.58cB
900	103.00 ± 2.00bcA	29.00 ± 1.00cB	100.33 ± 0.58cA	35.00 ± 0.00cB
1 100	105.00 ± 1.00bcA	30.67 ± 0.58bB	101.67 ± 0.58bA	37.33 ± 0.58bB
1 300	105.67 ± 0.58bA	32.67 ± 0.58aB	102.67 ± 0.58bA	38.00 ± 1.00bB
1 500	110.67 ± 2.08aA	33.33 ± 0.58aB	106.67 ± 0.58aA	39.33 ± 0.58aB

同虫态对低氧的耐受性显著不同($df = 1, F = 9, P < 0.05$),卵、蛹对低氧耐受性较强且两者差异不显著。在 1 500 Pa 的真空度下,杂拟谷盗的卵、蛹在 107 h 才能全部死亡,幼虫、成虫的致死时间较短。由此看出,当真空度为 1 500 Pa 时,最低需要保持 4.5 d 才能全部杀死杂拟谷盗的全部虫态。

表 3 杂拟谷盗在不同真空度下的 LT₅₀

真空度 (Pa)	LT ₅₀ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	51.83 ± 0.70dA	13.25 ± 0.66cdB	48.27 ± 0.69dA	15.56 ± 0.51cB
900	54.57 ± 0.47cA	14.08 ± 0.52cB	51.20 ± 0.42cA	15.93 ± 0.61cB
1 100	54.76 ± 1.63cA	15.43 ± 0.68bcB	52.47 ± 0.64bA	16.25 ± 0.75bcB
1 300	56.51 ± 0.43bA	17.22 ± 2.42bcB	56.36 ± 0.60aA	18.33 ± 2.52bB
1 500	58.79 ± 0.93aA	18.44 ± 1.52aB	56.32 ± 0.67aA	19.62 ± 1.10aB

表 4 杂拟谷盗在不同真空度下的 LT₉₉

真空度 (Pa)	LT ₉₉ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	96.00 ± 1.00eA	25.67 ± 0.61bB	96.99 ± 1.32cA	30.94 ± 0.91dC
900	98.00 ± 1.00dA	26.04 ± 0.07bB	102.00 ± 1.00bA	33.09 ± 1.14cC
1 100	99.67 ± 0.58cA	27.33 ± 0.58bB	103.33 ± 0.58bA	33.67 ± 0.58bcC
1 300	102.67 ± 0.58bA	27.67 ± 1.53abB	107.33 ± 1.53aA	35.00 ± 1.00bC
1 500	107.00 ± 1.00aA	29.33 ± 1.53aB	107.00 ± 1.00aA	37.67 ± 0.58aC

2.3 真空低氧对米象的致死效果

由表 5、表 6 可以看出,不同虫态的米象在低氧条件下的耐受性具有显著差异($df = 1, F = 9, P < 0.05$),卵和蛹对低氧的耐受性较强,在 1 500 Pa 真空度下半数致死时间、完全致死时间可分别达到 43.8、41.4 h 及 85.1、80.4 h;幼虫和成虫对低氧的耐受性较差,在 700 Pa 真空度下,处理 23.27 h 可使幼虫全部死亡。真空度对米象的致死作用具有一

定影响,但不同真空度间的杀虫效果差异不显著,不同真空度和不同虫态间的交互作用对米象的致死作用没有显著影响。

2.4 真空低氧对玉米象的致死效果

由表 7、表 8 可以看出,各虫态玉米象对低氧的耐受性差异显著,其中不同虫态间 LT₅₀($df = 1, F = 14, P < 0.05$)与 LT₉₉($df = 1, F = 7, P < 0.05$)均存在显著差异。卵和蛹对低氧的耐受性较强,幼虫和成

表 5 米象在不同真空度下的 LT₅₀

真空度 (Pa)	LT ₅₀ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	37.17 ± 0.29dA	10.82 ± 0.28cB	35.55 ± 0.58dA	13.14 ± 0.23cB
900	39.04 ± 0.44cA	13.33 ± 0.58bB	36.13 ± 0.09dA	14.42 ± 0.51bB
1 100	41.00 ± 1.73bA	15.18 ± 0.28aB	38.24 ± 0.32cA	16.30 ± 0.35aB
1 300	42.33 ± 0.58abA	15.99 ± 0.50aB	39.28 ± 0.29bA	16.74 ± 0.42aB
1 500	43.83 ± 0.29aA	15.93 ± 0.41aB	41.38 ± 0.61aA	16.63 ± 0.24aB

表 6 米象在不同真空度下的 LT₉₉

真空度 (Pa)	LT ₉₉ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	77.72 ± 0.60eA	23.27 ± 0.28dB	73.43 ± 0.49eA	28.21 ± 0.26dB
900	80.43 ± 0.51dA	25.05 ± 0.93cB	74.72 ± 0.26dA	29.38 ± 0.54cB
1 100	81.16 ± 0.14cA	26.16 ± 0.57bB	76.71 ± 0.62cA	30.94 ± 0.41abB
1 300	83.45 ± 0.21bA	26.87 ± 0.20bB	77.66 ± 0.30bA	31.14 ± 0.14aB
1 500	85.12 ± 0.14aA	28.83 ± 0.28aB	80.40 ± 0.53aA	30.45 ± 0.31bB

表 7 玉米象在不同真空度状态下的 LT₅₀

真空度 (Pa)	LT ₅₀ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	39.00 ± 1.00dA	10.24 ± 1.08cB	36.00 ± 1.00cA	11.08 ± 0.14dB
900	40.50 ± 0.50cA	11.08 ± 0.25cB	36.93 ± 0.12cA	13.73 ± 1.10cB
1 100	41.27 ± 0.64bcA	13.28 ± 0.30bB	37.27 ± 1.10bcA	14.43 ± 0.40bcB
1 300	42.00 ± 1.00abA	14.48 ± 0.50aB	38.67 ± 0.58bA	15.01 ± 0.51bB
1 500	42.77 ± 0.25aA	15.33 ± 0.58aB	40.67 ± 1.15aA	16.50 ± 0.50aB

表 8 玉米象在氧气不同真空度下的 LT₉₉

真空度 (Pa)	LT ₉₉ (h)			
	卵	幼虫	蛹	成虫
700	75.86 ± 0.79bA	21.25 ± 0.25cB	68.04 ± 0.07dA	17.17 ± 0.76dB
900	81.21 ± 0.26aA	22.10 ± 0.36cB	69.38 ± 0.34cA	25.87 ± 1.03cB
1 100	81.00 ± 2.00aA	26.44 ± 0.42bB	70.43 ± 0.52bcA	27.50 ± 0.50bB
1 300	83.17 ± 1.61aA	27.40 ± 0.91abB	71.45 ± 0.51bA	29.93 ± 1.10aB
1 500	83.00 ± 1.00aA	28.14 ± 1.03aB	76.17 ± 1.04aA	31.17 ± 0.76aB

虫对低氧的耐受性较差。不同真空度对同一虫态致死作用的差异显著 ($df = 2, F = 0.28$)。由此说明,虫态对真空度比较敏感,在低氧杀虫时主要参考虫态来决定低氧的压力和浓度。

3 结论

本研究结果表明,在 30 ℃、70% RH 的条件下,700 Pa 的真空度处理对赤拟谷盗、杂拟谷盗、米象、玉米象等 4 种储粮害虫的致死效果最好。随着真空度的下降,各虫态的 LT₅₀、LT₉₉ 均逐渐上升,但这 5 种不同真空度对储粮害虫的致死作用差异显著;不同虫态间对真空低氧的耐受性具有显著差异,其中卵和蛹对低氧的耐受性较强,幼虫和成虫对低氧的耐受性较差,耐受性排序表现为卵 > 蛹 > 成虫 > 幼虫。不同储粮害虫对低氧的耐受性也有差异,赤拟谷盗、杂拟谷盗对低氧的耐受程度大致相同,米象与玉米象对低氧的耐受性差不多,耐受性排序表现为赤拟谷盗 > 杂拟谷盗 > 米象 > 玉米象。

4 讨论

本研究结果表明,赤拟谷盗和杂拟谷盗对低氧的耐受性不同,米象和玉米象也是如此。陈锐等发现,98% 氮气对常见储粮害虫成虫的效果均较好,储粮害虫对氮气耐受情况的排序为赤拟谷盗 > 玉米象、杂拟谷盗,对玉米象和杂拟谷盗的致死效果最好,且这两者之间没有显著差异,对赤拟谷盗的效果较差^[8],本研究结果与其类似。综合各因素可

知,在本研究中,杀死储粮害虫所用条件为真空低氧,与富氮低氧有一定区别,可能由于氮气在造成低氧致死的同时,本身能给害虫造成一定伤害,也可能是由于不同储粮害虫对氮气的耐受性不同,因此本研究得到的结论是赤拟谷盗、杂拟谷盗的耐受性较好,米象和玉米象的耐受性较差。

低氧防治储粮害虫历来受到国内外科学家的高度关注。国外有研究表明,在氧气含量低于 1% 的条件下,使赤拟谷盗和杂拟谷盗致死均需要 7 d 以上^[9]。本研究结果表明,在最低真空度 1 500 Pa 条件下,对赤拟谷盗成虫的致死时间均为 39 h,不到 2 d,但在本研究中,低氧条件设置的是真空度,代表不同的稀薄气体,不是单一的降低氧气浓度,以致赤拟谷盗和杂拟谷盗完全致死时间与之前的研究有所不同。有研究表明,在密闭储藏系统中,O₂ 浓度控制在 4% 左右即可致未成熟幼虫阶段的米象死亡,如果维持这一水平则使种群逐渐消亡^[10]。在本研究中,米象幼虫在 700 Pa 的真空度下处理 28.83 h,便能使其全部死亡,由于氧气浓度与真空度大小之间的换算存在一定误差,结果是否相同还待研究。

气调储粮包括低氧储粮、二氧化碳气调储粮、氮气的调储粮,无论是哪种储粮方式,都需保证仓房的气密性较好,害虫防治效果才会达到最佳。低氧储粮技术对环境友好,符合国务院国有资产监督管理委员会推进中央企业节能减排工作的要求,社会、经济、环境效益显著^[11],由此可见,低氧储粮对我国储粮技术的发展可能起到一定的推动作用。

安飞飞,薛晶晶,韦卓文,等. α -甘露糖苷酶与木薯块根采后生理变质的关系[J]. 江苏农业科学,2022,50(2):165-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.02.028

α -甘露糖苷酶与木薯块根采后生理变质的关系

安飞飞,薛晶晶,韦卓文,陈松笔

(中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所/农业农村部木薯种质资源保护与利用重点实验室,海南海口 571101)

摘要:分析 α -甘露糖苷酶与木薯块根采后生理变质(PPD)发生的关系,为有效控制木薯 PPD 发生提供新思路。采用 RT-PCR 分析 α -甘露糖苷酶基因在块根 PPD 发生过程中的表达模式,ELISA 检测 α -甘露糖苷酶活性变化。SC9 完整薯块储存 5 d 后开始出现 PPD 现象,20 $\mu\text{mol/L}$ 几夫碱喷施木薯块根切片可显著延缓 PPD 的发生。随着 PPD 程度的加重, α -甘露糖苷酶活性显著增高,在储存 9 d 时达到最大值 326.24 U/L。*MeMNS1*、*MeMNS4*、*MeGMII* 的表达随着 PPD 过程而逐步增强,且 *MeGMII* 表达最显著,采后 9 d SC9 块根中 *MeGMII* 的表达量达到对照的 28.05 倍,而 *MeMNS3-1*、*MeMNS3-2*、*MeMNS5* 表达的变化与木薯块根 PPD 程度间无明显规律。 α -甘露糖苷酶参与木薯块根 PPD 发生的过程,且 α -甘露糖苷酶活性与 PPD 程度呈正相关,其中 *MeGMII* 可能是参与此过程的关键基因。

关键词:木薯;块根; α -甘露糖苷酶;采后生理变质

中图分类号:S533.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)02-0165-05

木薯(*Manihot esculenta* Crantz)是世界亚热带和热带地区近 10 亿人的主要粮食作物,在我国南方主要作为淀粉工业和生物质能源的重要原料。与其他薯类作物(马铃薯、甘薯)相比,木薯的块根保质期非常短,通常在采后 1~3 d 就开始发生变质,这

种木薯特有的现象称之为“采后生理变质(postharvest physiological deterioration, PPD)”^[1]。PPD 使木薯淀粉透明度下降,严重影响淀粉及燃料乙醇加工。据统计,每年亚洲、拉丁美洲、加勒比海地区及非洲因木薯 PPD 而造成的经济损失分别为 8%、10%、29%^[2],直接经济损失超过 2 亿美元^[1-3]。木薯 PPD 已成为产业发展亟需解决的重要问题之一,而至今尚未有一种行之有效的方法能抑制块根 PPD 发生^[2,4]。因此,解析延缓木薯块根 PPD 产生的分子机理、选育耐 PPD 木薯品种是全球木薯育种家面临的挑战。

收稿日期:2021-05-17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFD1000501);海南省自然科学基金(编号:320MS100)。

作者简介:安飞飞(1983—),女,河北保定人,硕士,副研究员,主要从事木薯抗性育种研究。E-mail:aff85110@163.com。

通信作者:陈松笔,博士,研究员,主要从事木薯遗传育种研究工作。
E-mail:songbichen@catas.cn。

参考文献:

- [1] 李丹丹,李浩杰,张志雄,等. 我国氮气的调储粮研发和推广应用进展[J]. 粮油仓储科技通讯,2015,31(5):37-41.
- [2] 黄季焜. 对近期与中长期中国粮食安全的再认识[J]. 农业经济问题,2021(1):19-26.
- [3] 白美清. 中国粮食储备体系建立、发展的历史进程与新的使命——在中国粮食行业协会粮食储备分会和中国粮油学会储藏分会理事会、常务理事会议上的讲话[J]. 粮食储藏,2011,40(6):3-6.
- [4] Navarro S. The use of modified and controlled atmospheres for the disinfestation of stored products[J]. Journal of Pest Science,2012,85(3):301-322.
- [5] 王殿轩,姜碧若,白旭光,等. 中国 10 省 75 地市米象和玉米象的分布调查研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版),2017,38(3):110-114.

- [6] 劳传忠,曾 伶,郭 超,等. 低氧条件对米象种群控制作用的初步研究[J]. 安徽农学通报,2012,18(13):181-183.
- [7] 劳传忠,曾 伶,郭 超,等. 低氧条件对锈赤扁谷盗卵孵化的抑制作用[J]. 广东农业科学,2012,39(15):65-67.
- [8] 陈 锐,陈二虎,唐培安,等. 氮气气调对五种储粮害虫防治效果评估及与磷化氢交互抗性的研究[J]. 粮食科技与经济,2019,44(8):45-48.
- [9] Banks H J,Fields P. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems[M]//Stored-Grain Ecosystems,New York:Marcel Dekker,1995,39:353-407.
- [10] Bailey S W. Air-tight storage of grain;its effect on insect pests-IV *Rhyzopertha dominica* (F.) and some other Coleoptera that infest stored grain[J]. Journal of Stored Products Research,1965,1(1):25-33.
- [11] 高素芬. 氮气气调储粮技术应用进展[J]. 粮食储藏,2009,38(4):25-28.