

溴甲烷及其混剂杀灭小麦矮腥黑穗病菌的研究

黄庆林, 楼旭日, 刘永胜, 罗加凤, 高健会

(天津出入境检验检疫局, 天津 300457)

摘要: 用溴甲烷、氰、溴甲烷与二氧化碳混剂、溴甲烷与环氧乙烷混剂以及溴甲烷与氰混剂在室内不同条件下对小麦矮腥黑穗病菌 (*Tilletia controversa* Kühn, TCK) 进行了熏蒸灭菌效果的比较。结果表明: 1) 溴甲烷对 TCK 的灭菌效果随温度的升高、处理时间的延长而提高; 间隔 48 h 的 2 次 120 h 的熏蒸处理, 能显著降低溴甲烷的杀菌临界浓度值; 2) 溴甲烷与环氧乙烷混剂能完全杀灭 TCK 病菌, 且能显著降低溴甲烷和环氧乙烷的杀菌临界浓度, 其混合作用的熏蒸效果较溴甲烷与二氧化碳、氰混合剂好; 3) 在 20 °C, 50% 小麦装载量条件下, 180 g · m⁻³ 溴甲烷处理 120 h 或 90 g · m⁻³ 溴甲烷 2 次处理各 120 h, 均可以达到 100% 的杀灭效果; 4) 溴甲烷及其混剂对小麦光腥黑穗病菌冬孢子萌发率的影响可作为对 TCK 冬孢子萌发影响的指示; 5) 将溴甲烷处理小麦与国产未处理小麦以 1:2 比例混配时, 小麦中总溴含量可以降低到 50 mg · kg⁻¹ 水平以下, 符合美国小麦卫生标准。

关键词: 小麦矮腥黑穗病菌; 熏蒸; 溴甲烷; 二氧化碳; 环氧乙烷; 氰

中图分类号: S435.121.4⁺4 文献标识码: A 文章编号: 1000-2030(2008)03-0071-06

Study on fumigation with methyl bromide and its mixtures on wheat dwarf bunt

HUANG Qing-lin, LOU Xu-ri, LIU Yong-sheng, LUO Jia-feng, GAO Jian-hui

(Tianjin Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Tianjin 300457, China)

Abstract: Fumigation tests with methyl bromide (MB) and its mixtures, such as mixed with carbon dioxide (CO₂), ethylene oxide (EO), cyanogen (C₂N₂), on the sterilization of wheat dwarf bunt (*Tilletia controversa* Kühn, TCK) were conducted under different conditions. The results indicated that: 1) The fumigation effects of MB increased with the rising of temperature and exposure time, and the concentration threshold of 100% sterilized effect of MB would significantly reduce when the TCK was treated 2 times of 120 hours exposure time, with an interval of 48 hours. 2) The mixture of MB and EO could prevent teliospores of TCK from germinating, while the mixture would significantly decrease the use dosage of both MB and EO. The fumigation effect of the mixture of MB and EO was better than that of the mixture of MB and CO₂, or C₂N₂. 3) At 20 °C and 50% wheat loading conditions, MB with the concentration of 180 g · m⁻³ and 120 hours exposure time or 90 g · m⁻³ of two times of 120 hours with an interval of 48 hours, could completely kill TCK. 4) The fumigation effect of MB and its mixtures on the germination of *Tilletia foetida* would be used as indicator for the effect on TCK. 5) When dealing with domestic wheat and tested wheat mixture at 2:1 ratios, total bromine content would be reduced to a level below 50 mg · kg⁻¹, which would meet the requirements of health standards of wheat of USA.

Key words: *Tilletia controversa* Kühn (TCK); fumigation; methyl bromide; carbon dioxide; ethylene oxide; cyanogens

小麦矮腥黑穗病 (*Tilletia controversa* Kühn, TCK) 是麦类病害中危害最大、难于防治和彻底根除的一种危险性真菌病害。其病菌系统侵染使麦类植株矮化, 病穗上的籽粒被黑粉所取代。一般流行年份可使小麦减产 30% ~ 50%, 严重危害时, 减产可高达 75% 以上。病菌的休眠冬孢子抗逆性极强, 可在土壤中存活长达 7 ~ 10 年, 大多数的田间防治措施均收效甚微^[1]。国内曾有人进行过调查, 粮仓中储存达 5 年之久的 TCK 疫麦, 其病菌仍具有生物活性^[2]。TCK 病菌冬孢子和菌瘿可随小麦远距离传播^[3]。目前该病害已遍及世界五大洲的约 29 个国家, 其中北美 (如美国西部的 7 个州) 及欧洲一些主要小麦出口国的部分产区是 TCK 疫区。我国一直把 TCK 病菌列为禁止进境的检疫性有害生物。

TCK 疫麦的处理主要有热力处理法、环氧乙烷熏蒸法、辐照灭菌法。热力处理法处理后小麦品质

下降, 处理能力有限且速度较慢; 辐照处理由于受电子束辐射装置灵活性及电子束穿透能力较弱的影响, 未能广泛应用^[4]; 环氧乙烷熏蒸技术较为成熟, 但由于环氧乙烷易燃、易爆, 实际应用受到影响。溴甲烷 (methyl bromide, MB) 的扩散、渗透性能, 操作安全性及杀虫效果是其他熏蒸剂所无法比拟的^[5], 且具有广谱杀菌作用, 可以杀灭细菌芽孢、真菌和病毒等^[5-7]。国外 Goates 等^[1] 和 Smilanick 等^[8] 研究了溴甲烷对小麦种子和土壤中 TCK 的杀菌效果, 国内未见此方面的研究报道。溴甲烷与其他熏蒸剂如环氧乙烷 (ethylene oxide, EO)、二氧化碳 (carbon dioxide, CO₂)、氰 (cyanogen, C₂N₂) 等混合对 TCK 杀灭效果的研究, 国内外均未见报道。本研究利用溴甲烷及其混剂在恒温、密闭条件下处理 TCK 菌样, 研究温度、剂量、处理时间等对溴甲烷及其混剂对 TCK 杀灭效果的影响, 找出 100% 杀灭 TCK 的溴甲烷及其混合剂的临界浓度, 为疫麦的处理提供技术和方法。

1 材料与方法

1.1 供试菌样和小麦

供试病菌有小麦光腥黑穗病菌 (*Tilletia foetida* (Wallr.) Lindr) 和小麦矮腥黑穗病菌 (美国进口冬小麦上截获)。以 2 种病菌整粒菌瘿为试验材料。每一处理用 5 粒完整菌瘿, 用细铜网包好。

供试小麦为美国进境的冬小麦。

1.2 供试熏蒸剂

溴甲烷 (含量 98%) 为连云港死海溴化物有限公司产品, 环氧乙烷 (化学纯) 为天津化学试剂厂产品, 氰 (含量 98%) 由天津市美高科技有限公司生产, 二氧化碳由天津氧气厂生产。

1.3 熏蒸设施及熏蒸剂浓度检测设备

熏蒸处理在 50 L 不锈钢熏蒸桶 (自制) 内进行。使用 PHOTOVAC 10S50 型气相色谱仪 (加拿大产) 检测熏蒸剂浓度。

1.4 无载物条件下溴甲烷及其混剂对 TCK 熏蒸效果试验

根据预备试验的结果并结合相关因素, 无载物条件下溴甲烷及其混剂对 TCK 病菌萌发影响的试验设计见表 1。

表 1 试验设计

Table 1 Temperature, exposure time and dosage of treatment

熏蒸剂 Fumigant	处理温度/°C Temperature	处理时间/h Exposure time	剂量梯度/g · m ⁻³ Gradient of dosage
溴甲烷 MB	15	120	120、130、140
		2 × 120*	60、70、80、90
	25	72	130、140、150
		120	100、110、120
		168	90、100、110
		2 × 120	30、40、50、60
溴甲烷 + 环氧乙烷 MB + EO	15	120	40 + 5、40 + 6、40 + 7、40 + 8
	20	120	40 + 1、40 + 2、40 + 3、40 + 4
	25	120	40 + 0.5、40 + 1、40 + 2、40 + 3
溴甲烷 + 二氧化碳 MB + CO ₂	25	120	70 + 0、70 + 1.8、70 + 3.6、70 + 5.4、70 + 7.2
氰 C ₂ N ₂	20	120	60、90、120
氰 + 溴甲烷 C ₂ N ₂ + MB	20	120	60 + 60、60 + 90

注: 1) * 120 h 处理 2 次, 间隔 48 h。Fumigated for 120 hours two times, with an interval of 48 hours.

2) MB = Methyl bromide; EO = Ethylene oxide; C₂N₂ = Cyanogen. The same as follows.

试验方法为: 将细铜网包好的供试菌瘿放入熏蒸桶内, 按试验设计的剂量进行投药。投药后 4 h、24 h、72 h (或散气前) 进行浓度检测并记录。处理结束后进行 TCK、小麦光腥黑穗病菌萌发试验, 具体方法为: 将供试菌瘿制成冬孢子粉, 用灭菌蒸馏水制成冬孢子悬浮液, 并均匀地涂在含 3% 水琼脂培养基的培养皿内, 每份供试样品 3 次重复, 以未经处理的冬孢子悬液为对照, 3 次重复。TCK 冬孢子在 5 °C 的培养箱内培养 (光照和黑暗各 24 h 交替); 小麦光腥黑穗冬孢子在 15 °C 的培养箱内培养 (无光照条件)。TCK 冬孢子在培养 21 d 后开始每天观察, 记录其萌发率 (每次观察冬孢子 2 500 个以上, 以芽管长于冬孢子直径的 1/2 视其为萌发), 直至 90 d; 小麦光腥黑穗冬孢子在培养 7 d 后开始每天观

察，记录其萌发率，直至 30 d。试验在恒温、相对湿度 50% ~ 60% 的条件下进行。每处理设 2 个重复，同时设空白对照。

1.5 50% 装载量条件下溴甲烷对 TCK 熏蒸灭菌试验

将细铜网包好的供试菌瘿放入装有 50% (V/V) 散装小麦的熏蒸桶内进行处理。处理设置：180 g · m⁻³ 处理 120 h 1 次；90 g · m⁻³、120 g · m⁻³ 处理 2 × 120 h。试验在 20 °C、相对湿度为 60% ~ 70% 条件下进行。每一处理重复 2 次，并设置空白对照组。试验方法同 1.4。熏蒸后进行小麦、面粉、麸皮中总溴含量检测。同时将溴甲烷熏蒸处理后的小麦与国产小麦按 1:1 和 1:2 比例混合（均为质量比），抽样检测小麦中总溴含量。

1.6 数据统计与分析方法

病菌死亡率 = (对照组冬孢子萌发率 - 处理组冬孢子萌发率) / 对照组冬孢子萌发率 × 100%。
用 DPS 数理分析与统计软件进行差异显著性分析和回归计算。

2 结果与分析

2.1 溴甲烷对 TCK 熏蒸灭菌效果

由表 2 可见，15 °C 条件下较高剂量熏蒸处理 120 h 的熏蒸处理结果与 25 °C 条件下较低剂量处理 120 h 的结果差异不显著 ($F = 3.046$, $F_{0.05} = 0.112$)，可见随着温度的升高杀菌临界浓度呈下降趋势，在一定的范围内升高温度，可降低杀菌的剂量。

表 2 溴甲烷对小麦光腥黑穗病菌和矮腥黑穗病菌 (TCK) 的熏蒸效果

Table 2 Fumigation effects of MB on the teliospore germination of *T. foetida* and *T. controversa* (TCK)

温度/°C Temperature	处理 时间/h Exposure time	剂量/ g · m ⁻³ Dosage	浓度实测平均 值/g · m ⁻³ Average concentration	光腥黑穗病菌萌发率/% Teliospore germination of <i>T. foetida</i>		TCK 萌发率/% Teliospore germination of <i>T. controversa</i>		TCK 相对 死亡率/% Relative mortality of TCK	
				处理组 Treated	对照组 Control	处理组 Treated	对照组 Control		
15	120	120	114.00	0.395 ^{Aa}	45.6	1.065 ^{Aa}	50.4	97.85 ^{Bb}	
		130	118.35	0.005 ^{Aa}	45.6	0.205 ^{Aa}	50.4	99.79 ^{Aa}	
		140	129.30	0.000 ^{Aa}	45.6	0.005 ^{Aa}	50.4	99.99 ^{Aa}	
	2 × 120	60	66.10	0.005 ^{Ab}	44.8	0.100 ^{Aa}	43.7	99.79 ^{Bb}	
		70	74.35	0.000 ^{Aa}	44.8	0.005 ^{Aa}	43.7	99.99 ^{Aa}	
		80	80.40	0.000 ^{Aa}	44.8	0.000 ^{Aa}	43.7	100.00 ^{Aa}	
25	72	90	87.30	0.000 ^{Aa}	44.8	0.000 ^{Aa}	43.7	100.00 ^{Aa}	
		130	125.60	0.010 ^{Aa}	49.5	0.020 ^{Aa}	51.9	99.97 ^{Aa}	
		140	130.85	0.000 ^{Aa}	49.5	0.010 ^{Aa}	51.9	99.98 ^{Aa}	
		150	135.85	0.000 ^{Aa}	49.5	0.005 ^{Aa}	51.9	99.99 ^{Aa}	
		120	100	103.25	0.000 ^{Aa}	47.9	0.010 ^{Aa}	51.9	99.98 ^{Aa}
			110	116.35	0.000 ^{Aa}	47.9	0.005 ^{Aa}	51.9	99.99 ^{Aa}
	168	120	120	117.50	0.000 ^{Aa}	47.9	0.000 ^{Aa}	51.9	100.00 ^{Aa}
			90	85.00	0.005 ^{Aa}	49.6	1.850 ^{Aa}	56.7	96.74 ^{Aa}
			100	87.50	0.000 ^{Aa}	49.6	0.425 ^{Aa}	56.7	99.25 ^{Aa}
		2 × 120	110	94.55	0.000 ^{Aa}	49.6	0.005 ^{Aa}	56.7	99.99 ^{Aa}
			30	29.80	0.105 ^{Aa}	47.9	0.020 ^{Aa}	48.8	99.97 ^{Ab}
			40	37.60	0.005 ^{Aa}	47.9	0.005 ^{Aa}	48.8	99.99 ^{Ab}
60	48.95	0.000 ^{Aa}	47.9	0.000 ^{Aa}	48.8	100.00 ^{Aa}			
	66.45	0.000 ^{Aa}	47.9	0.000 ^{Aa}	48.8	100.00 ^{Aa}			

注：1) 在同一行中光腥黑穗冬孢子萌发率和矮腥黑穗冬孢子萌发率上标有相同大写和小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平上差异不显著。Duncan's 新复极差测验。

The columns of "teliospores germination of *T. foetida*" and "teliospores germination of *T. controversa*" in the same row followed by the same capital letter and small letter are not significantly different at 0.01 and 0.05 levels by Duncan's test.

2) TCK 相对死亡率上标有相同大写和小写字母分别表示同一处理温度中在 0.01 和 0.05 水平上差异不显著。Duncan's 新复极差测验。

Within the column of "relative mortality of TCK" followed by the same capital letter or small letter in the same treatment temperature are not significantly different at 0.01 or 0.05 levels by Duncan's test.

The same as follows.

25 ℃条件下, 72、120、168 h 处理的 TCK 相对死亡率间方差分析表明 ($F = 3.011$, $F_{0.05} = 0.079$), 只延长处理时间, 杀菌效果并无明显变化; 达到相同灭菌效果所需的溴甲烷剂量下降不明显。

15 ℃、25 ℃条件下, 不同剂量的溴甲烷处理 120 h 和间隔 48 h 的 120 h 的 2 次处理 (2×120 h) 对 TCK 杀菌结果间的方差分析表明, 高剂量的溴甲烷处理 120 h 和较低剂量溴甲烷处理 2×120 h 差异不显著 (15 ℃: $F = 3.797$, $F_{0.05} = 0.075$; 25 ℃: $F = 0.777$, $F_{0.05} = 0.396$), 说明 2×120 h 溴甲烷的处理, 也可降低杀菌剂量。

2.2 溴甲烷混剂对 TCK 的熏蒸灭菌效果

2.2.1 溴甲烷与环氧乙烷混剂对 TCK 的熏蒸灭菌效果 同一温度下, 溴甲烷与环氧乙烷混剂对 TCK 的杀菌效果随着环氧乙烷浓度的升高而提高 (表 3)。不同温度下, 溴甲烷与环氧乙烷混剂对 TCK 的杀菌效果间方差分析表明 ($F = 2.007$, $F_{0.05} = 0.165$), 随温度的升高, 可降低环氧乙烷的使用剂量。15 ℃、25 ℃条件下, 溴甲烷与环氧乙烷混剂与单独使用溴甲烷熏蒸灭菌结果间方差分析表明 (15 ℃: $F = 3.359$, $F_{0.05} = 0.092$; 25 ℃: $F = 3.068$, $F_{0.05} = 0.130$), 添加一定浓度的环氧乙烷能显著降低溴甲烷达到 100% 灭菌效果时的临界浓度。

2.2.2 溴甲烷与二氧化碳混剂对 TCK 的熏蒸灭菌效果 在 25 ℃条件下, 溴甲烷和二氧化碳混剂熏蒸 TCK 120 h 的处理中, 均未能完全杀灭 TCK 菌样。随着二氧化碳使用量的增加对 TCK 菌样萌发的抑制作用有所增强, TCK 相对死亡率上升 (表 3), TCK 死亡率 (y) 与二氧化碳浓度值 (x) 间的关系为: $y = 92.348 + 0.1185x$ ($R = 0.9234$, $F_{0.05} = 0.025$)。

2.2.3 氰以及溴甲烷与氰混合剂对 TCK 的熏蒸灭菌效果 20 ℃条件下, 单独使用氰以及溴甲烷和氰混合剂熏蒸处理 TCK 120 h, 均未能完全杀灭 TCK 病菌 (表 3)。溴甲烷与氰混合使用与氰单独使用, TCK 相对死亡率间差异不显著 ($F = 0.729$, $F_{0.05} = 0.609$)。

不同处理光腥黑穗萌发率和 TCK 萌发率间的差异显著性分析表明, 光腥黑穗萌发率与 TCK 萌发率差异不显著, 溴甲烷及其混合剂对 TCK 的熏蒸杀菌效果可以用溴甲烷对光腥黑穗的杀菌效果来表示。

表 3 溴甲烷混剂对 TCK 的熏蒸作用

Table 3 Fumigation effects of MB mixed with other fumigant on the teliospore germination of *T. foetida* and *T. controversa*

熏蒸剂 Fumigant	温度/℃ Temperature	处理 时间/h Exposure time	剂量/ $g \cdot m^{-3}$ Dosage	浓度实测平 均值/ $g \cdot m^{-3}$ Average concentration	光腥黑穗病菌萌发率/% Teliospore germination of <i>T. foetida</i>		TCK 萌发率/% Teliospore germination of <i>T. controversa</i>		TCK 相对 死亡率/% Relative mortality of TCK
					处理组 Treated	对照组 Control	处理组 Treated	对照组 Control	
					溴甲烷 + 环氧乙烷 MB + EO	15	120	40 + 5 40 + 6 40 + 7 40 + 8	
	20	120	40 + 1 40 + 2 40 + 3 40 + 4	39.45 + 0.38 40.25 + 0.88 37.90 + 1.90 41.40 + 3.40	0.895 ^{Aa} 0.215 ^{Aa} 0.000 ^{Aa} 0.000 ^{Aa}	47.9 47.9 47.9 47.9	3.645 ^{Aa} 0.580 ^{Aa} 0.145 ^{Aa} 0.000 ^{Aa}	45.6 45.6 45.6 45.6	92.74 ^{Bb} 99.84 ^{ABa} 99.71 ^{Aa} 100.00 ^{Aa}
	25	120	40 + 0.5 40 + 1 40 + 2 40 + 3	39.00 + 0.10 39.55 + 0.25 40.90 + 0.75 40.80 + 2.00	5.220 ^{Ab} 0.045 ^{Aa} 0.000 ^{Aa} 0.000 ^{Aa}	47.1 47.1 47.1 47.1	10.040 ^{Aa} 2.385 ^{Aa} 0.225 ^{Aa} 0.000 ^{Aa}	49.2 49.2 49.2 49.2	79.60 ^{Bc} 95.15 ^{Ab} 99.55 ^{Aa} 100.00 ^{Aa}
溴甲烷 + 二氧化碳 MB + CO ₂	25	120	70 + 0 70 + 1.8 70 + 3.6 70 + 5.4 70 + 7.2	73.00 69.05 63.30 68.25 68.65	3.045 ^{Aa} 2.865 ^{Aa} 1.775 ^{Ab} 1.680 ^{Aa} 1.195 ^{Aa}	50.1 50.1 50.1 50.1 50.1	3.595 ^{Aa} 4.035 ^{Aa} 2.775 ^{Aa} 1.915 ^{Aa} 1.550 ^{Aa}	52.3 52.3 52.3 52.3 52.3	93.17 ^{BCcd} 92.43 ^{cd} 94.73 ^{ABCbc} 96.34 ^{ABb} 97.07 ^{Aa}
氰 C ₂ N ₂	20	120	60 90 120	57.25 86.95 114.15	19.000 ^{Aa} 6.300 ^{Aa} 4.200 ^{Aa}	43.2 43.2 43.2	25.600 ^{Aa} 8.700 ^{Aa} 11.900 ^{Aa}	42.1 42.1 42.1	39.53 ^{Aa} 77.23 ^{Aa} 68.86 ^{Aa}
氰 + 溴甲烷 C ₂ N ₂ + MB	20	120	60 + 60 60 + 90	72.70 + 67.65 70.55 + 93.00	1.150 ^{Aa} 0.300 ^{Aa}	44.5 44.5	9.750 ^{Aa} 11.150 ^{Aa}	40.2 40.2	74.48 ^{Aa} 70.82 ^{Aa}

2.3 50% 装载量条件下溴甲烷对 TCK 的灭菌效果

从表 4 可以看出，在 50% 装载量情况下大剂量的溴甲烷可以完全杀灭 TCK；延长处理时间可降低溴甲烷的使用量。

表 4 50% 装载量条件下溴甲烷对 TCK 的灭菌效果

Table 4 Fumigation effects of MB on the teliospores germination of *T. foetida* and *T. controversa* under the condition of 50% loading of wheat

温度/℃ Temperature	处理时间/h Exposure time	剂量/ g · m ⁻³ Dosage	浓度实测平 均值/g · m ⁻³ Average concentration	光腥黑穗病菌萌发率/% Teliospore germination of <i>T. foetida</i>		TCK 萌发率/% Teliospore germination of <i>T. controversa</i>		TCK 相对 死亡率/% Relative mortality of TCK
				处理组 Treated	对照组 Control	处理组 Treated	对照组 Control	
				20	120 2 × 120	180 90 120	139.95 92.05 112.00	

2.4 溴甲烷处理对小麦溴残留量的影响

经溴甲烷处理后，小麦中总溴含量升高了很多，且随溴甲烷浓度的升高和熏蒸处理时间的延长而升高（表 5），不同处理的小麦中总溴含量差异显著（90 g · m⁻³ 溴甲烷熏蒸 120 h 2 次与 120 g · m⁻³ 溴甲烷熏蒸 120 h 2 次处理后 10 d 总溴含量的显著性分析： $F = 32.000$ ， $F_{0.05} = 0.029$ ）。

处理后 180 d 小麦溴含量检测结果表明，放置 180 d 以后小麦中的总溴含量仍达到 143 mg · kg⁻¹，处理后小麦磨成的面粉和麦麸中的含量也都在 100 mg · kg⁻¹ 以上。通过和未熏蒸处理的国产小麦进行不同比例的混配后总溴含量显著下降，处理小麦与国产小麦以 1:2（质量比）混配后总溴含量可以降低至 50 mg · kg⁻¹ 以下（表 6）。

表 5 溴甲烷处理后不同时间小麦中总溴含量检测结果

Table 5 The total bromide content of wheat in different time after MB treatment

处理 Treatment	总溴含量/mg · kg ⁻¹ Total bromide content					
	10 d	20 d	30 d	40 d	60 d	≥70 d
CK	3.5 ± 0.42	3.5 ± 0.53	3.3 ± 1.11	4.5 ± 0.94	4.0 ± 0.68	4.0 ± 1.12
90 g · m ⁻³ (2 × 120 h)	115.0 ± 7.07	116.0 ± 8.48	114.5 ± 4.95	115.5 ± 9.19	117.0 ± 0.00	144.0 ± 1.41
120 g · m ⁻³ (2 × 120 h)	155.0 ± 7.07	157.5 ± 10.61	160.0 ± 14.14	180.5 ± 28.99	162.5 ± 17.68	
180 g · m ⁻³ (120 h)	137.5 ± 3.54	140.0 ± 7.07	146.0 ± 5.66	141.5 ± 3.54	150.0 ± 0.00	

表 6 降低总溴含量的处理检测结果

Table 6 The total bromide content in the treated wheat mixed with different proportion of untreated wheat

处理 Treatment	总溴含量/mg · kg ⁻¹ Total bromide content				
	处理小麦初始值 Initial value of treated wheat	面粉 Flour	麦麸 Bran	1:1 的小麦混配 1 (treated) : 1 (untreated)	1:2 的小麦混配 1 (treated) : 2 (untreated)
	CK	6.0 ± 1.02	—	—	—
180 g · m ⁻³ (120 h)	144.0 ± 1.41	134.5 ± 20.51	191.0 ± 15.56	78.5 ± 10.61	48.0 ± 4.24

3 讨论

Smilanick 等^[8] 研究表明，240 mg · m⁻³ 溴甲烷熏蒸处理小麦种子 24 h，对 TCK 冬孢子萌发有明显的抑制作用，但该剂量的溴甲烷熏蒸处理显著降低了小麦种子的萌发率。本试验结果表明，溴甲烷对 TCK 病菌具有杀灭作用，其作用随温度升高而加强。通过延长溴甲烷的处理时间，来降低溴甲烷的使用剂量，可以降低其对小麦品质的影响。

由于溴甲烷具有较强的渗透能力，以及二氧化碳气体能提高昆虫对熏蒸剂的敏感性等特点，溴甲烷与二氧化碳混合剂常用于昆虫的熏蒸处理。在溴甲烷中混有一定比例的二氧化碳能 100% 杀灭害虫，并显著降低溴甲烷的使用剂量^[5]。由于二氧化碳的强氧化作用以及能增强溴甲烷在粮食中的扩散和渗透作用^[5]，因此，提高二氧化碳浓度能够提高溴甲烷与二氧化碳混合剂对 TCK 的杀灭效果。

环氧乙烷是 TCK 疫麦处理最常用的熏蒸剂。环氧乙烷熏蒸小麦后的残留对人体健康的影响问题尚有争议，2000 年 2 月，联合国粮农组织和环境规划署 PIC 公约的国际化学品临时评审委员会（ICRC）

开会限定了环氧乙烷的使用范围^[4]。我们的研究表明, 溴甲烷与环氧乙烷混合剂能 100% 杀灭 TCK 病菌, 同时能够显著降低环氧乙烷和溴甲烷的用量, 明显低于张承光^[9]对环氧乙烷熏蒸处理 TCK 疫麦的指标。

熏蒸剂氰单用以及和 $60 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 溴甲烷混合使用, 不能完全杀灭试验菌样中的 TCK 病菌孢子, 其杀菌作用还需进一步试验验证。

溴甲烷的残留主要以无机溴离子的形式存在, 许多国家对溴甲烷熏蒸处理货物后, 对无机溴的含量都有最大的容许量。Jessup 等^[10]研究表明, 在 $17 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, $40 \sim 45 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 溴甲烷处理新鲜水果 2 h, 水果中无机溴的含量均低于 $20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 符合相关的要求。Banks 等^[11]研究表明, 小麦中无机溴含量与熏蒸剂中溴甲烷的使用量呈线性关系。本试验研究由于用了较高剂量的溴甲烷 (90 、 120 、 $180 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$), 而且熏蒸密闭的时间较长, 使得熏蒸处理 TCK 后小麦溴含量较高, 超过相关卫生指标。经过与国产小麦混配等处理之后, 小麦中无机溴含量可以降低到安全卫生标准之下。

由于 TCK 冬孢子的萌发在低温条件下需要较长时间, 本研究同时比较了溴甲烷及其混剂对小麦光腥黑穗病菌冬孢子萌发的影响, 结果表明, 用小麦光腥黑穗病菌作为指示菌, 能够缩短整个试验周期。

参考文献:

- [1] Goates B J, Peterson G L. Relationship between soilborne and seedborne inoculum density and the incidence of dwarf bunt of wheat [J]. *Plant Disease*, 1999, 83(9): 819-824
- [2] 楼旭日, 黄庆林, 李鸣, 等. 仓储条件下小麦矮化腥黑穗病菌冬孢子活性检测试验 [J]. *植物检疫*, 2001, 15 (增刊): 10-11
- [3] Edward J. Trione dwarf bunt of wheat and its importance in international wheat trade [J]. *Plant Disease*, 1982, 66: 1083-1088
- [4] 王海光, 祝慧云, 马占鸿, 等. 小麦矮腥黑穗病研究进展与展望 [J]. *中国农业科技导报*, 2005, 7(4): 21-27
- [5] Calderon M, Carmi Y. Fumigation trials with a mixture of methyl bromide and carbon dioxide in vertical bins [J]. *J Stored Prod Res*, 1973, 8: 315-321
- [6] 徐国淦. 病虫鼠害熏蒸及其他处理实用技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 72-75, 158-200, 226-230
- [7] 薛广波. 实用消毒学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 1986: 272-299, 309-310
- [8] Smilanick J L, Hartsell P L, Denis-Arrue R, et al. Survival of common and dwarf bunt teliospores and intact sori after fumigation of high and low moisture content winter wheat [J]. *Plant Disease*, 1992, 76(3): 293-296
- [9] 张承光. 环氧乙烷熏杀小麦矮腥黑穗病方法析 [J]. *粮食储藏*, 1991, 20(5): 45-47
- [10] Jessup A J, Sloggett R F, Quinn N M. Residues of methyl bromide and inorganic bromide in fumigated produce [J]. *J Agric Food Chem*, 1994, 42: 108-111
- [11] Banks H J, Pinkerton A. Bromine-containing residues resulting from fumigation of grain with methyl bromide-carbon dioxide mixtures [J]. *J Stored Prod Res*, 1987, 23(2): 105-113

责任编辑: 夏爱红