

# CO<sub>2</sub> 对药材甲和烟草甲幼虫能源物质 利用相关指标的影响\*

曹宇<sup>1,2</sup>, 刘燕<sup>1</sup>, 王丽娟<sup>1</sup>, 冉光梅<sup>1</sup>, 尚宝珍<sup>1</sup>, 李灿<sup>1</sup>

(1. 贵阳学院生物与环境工程学院//有害生物控制与资源利用贵州省普通高校特色重点实验室, 贵州 贵阳 550005;

2. 贵州大学昆虫研究所//贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵州 贵阳 550025)

**摘要:** 昆虫的能源物质在其抵御不良环境时发挥着重要作用, 为探明药材甲 *Stegobium paniceum* 和烟草甲 *Lasioderma serricorne* 幼虫在 CO<sub>2</sub> 处理下对能源物质的利用差异, 本研究采用不同  $\varphi(\text{CO}_2)$  (10%、30%、50%、70% 和 90%) 对其分别胁迫 2、4、6、8 h 后, 测定其体内多糖、可溶性蛋白质及脂肪等能源物质的含量变化, 比较了两种昆虫幼虫对不同能源物质的利用率。结果表明, 同一  $\varphi(\text{CO}_2)$  胁迫下随着时间的延长, 或者相同胁迫时间下随着  $\varphi(\text{CO}_2)$  的升高, 两种昆虫幼虫的能源物质含量均逐渐降低。在  $\varphi(\text{CO}_2) = 90\%$  条件下, 两种昆虫幼虫的各能源物质含量均最低, 药材甲幼虫的多糖、可溶性蛋白质及脂肪含量分别为 13.75、165.42 和 37.25  $\mu\text{g}/\text{头}$ ; 烟草甲幼虫分别为 14.87、176.14 和 38.49  $\mu\text{g}/\text{头}$ 。不同  $\varphi(\text{CO}_2)$  条件下, 两种昆虫幼虫对不同能源物质具有相似的利用规律, 均为多糖 > 脂肪 > 可溶性蛋白质, 且随着  $\varphi(\text{CO}_2)$  的升高, 其利用率显著降低。相同  $\varphi(\text{CO}_2)$  条件下, 两种昆虫幼虫对可溶性蛋白质的利用率无显著差异, 但药材甲对多糖和脂肪的利用率均显著低于烟草甲。因此,  $\varphi(\text{CO}_2)$  显著影响药材甲和烟草甲幼虫体内的多糖、可溶性蛋白质及脂肪等能源物质, CO<sub>2</sub> 气调保存中药产品过程中可通过影响这些昆虫生理指标达到控制害虫的目的。

**关键词:** 药材甲; 烟草甲;  $\varphi(\text{CO}_2)$ ; 多糖; 可溶性蛋白质; 脂肪; 甘蔗

中图分类号: Q965 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579 (2016) 04-0123-07

## The influence of CO<sub>2</sub> on relevant indexes of energy substance utilization in the larvae of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne*

CAO Yu<sup>1,2</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>, WANG Lijuan<sup>1</sup>, RAN Guangmei<sup>1</sup>, SHANG Baozhen<sup>1</sup>, LI Can<sup>1</sup>

(1. College of Biology and Engineering of Environment, Key & Special Laboratory of Guizhou High College for Pest Control and Resource Utilization, Guiyang University, Guiyang 550005, China;

2. The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Region, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** Energy substances played an important role in adversity resistance of insects. In order to clarify the difference of energy substances utilization rates in the larvae of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* under CO<sub>2</sub> exposure, the contents of polysaccharide, soluble protein and lipid in larvae of these

\* 收稿日期: 2015-12-24

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (31460476); 国家大学生创新创业资助项目 (201510976005); 贵州省省级特色重点学科资助项目 (ZDXK [2015] 11 号); 贵州省重点学科资助项目 (ZDXK-201308); 贵州省高层次创新人才培养资助项目 (黔科合人才 (4020) 号); 贵州省科技厅重点资助项目 (黔科合 JZ 字 [2014] 2002 号)

**作者简介:** 曹宇 (1984 年生), 男; 研究方向: 昆虫生态与综合治理; 通讯作者: 李灿; E-mail: lican790108@163.com

two species were determined after their exposure to CO<sub>2</sub> for 2, 4, 6, 8 h under different CO<sub>2</sub> concentrations (10%、30%、50%、70% and 90%). In addition, the utilization rates of the energy substances in insects were also determined after they were exposed to the different CO<sub>2</sub> concentrations until dead. The results showed that the content of energy substances decreased with increasing CO<sub>2</sub> concentration under the same exposure time or extension of exposure time under the same CO<sub>2</sub> concentration. The content of energy substances were the lowest in both of the two species after these insects were exposed to 90% CO<sub>2</sub> for 8 h, and the content of polysaccharide, soluble protein and lipid in *S. paniceum* were 13.75, 165.42 and 37.25 μg/insect, respectively, which were 14.87, 176.14 and 38.49 μg/insect in *L. serricorne*. Both of the two species performed a similar utilization to the three kinds of energy substances after each CO<sub>2</sub> exposure until dead, with the order of polysaccharide > lipid > soluble protein, and the utilization rates decreased significantly with the CO<sub>2</sub> concentration increase. Furthermore, there was no significant difference in the soluble protein utilization between the two species, but the utilization rates of polysaccharide and lipid in *S. paniceum* was significantly higher than that of *L. serricorne*. The results showed that the CO<sub>2</sub> concentration had significant influences on the energy substances of polysaccharide, soluble protein and lipid in *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* larvae, thus we could use CO<sub>2</sub> treatments to affect the physiological index of insects for pest control in the Chinese medicinal materials protection.

**Key words:** *Stegobium paniceum*; *Lasioderma serricorne*; CO<sub>2</sub> concentration; polysaccharide; soluble protein; lipid; *Euphorbia kansui*

药材甲 *Stegobium paniceum* (Linnaeus) 和烟草甲 *Lasioderma serricorne* (Fabricius) 均属于鞘翅目窃蠹科, 形态、发生为害及生活史等极为相似, 是世界性分布的储藏物害虫<sup>[1]</sup>, 其防治主要依赖化学药剂熏蒸<sup>[2]</sup>, 但熏蒸剂的残留性使得储藏物的管理面临危机<sup>[3]</sup>, 昆虫对药剂抗性的问题则使得储藏物害虫的防治形势越发严峻<sup>[4]</sup>。CO<sub>2</sub> 气调技术作为一种有效、安全、无残留的储藏物害虫防治措施, 受到广泛关注<sup>[5-6]</sup>。研究表明, 气调处理能够有效控制药材甲及烟草甲危害<sup>[7]</sup>, 但两者对气调胁迫的敏感性不同<sup>[5]</sup>, 其原因可能与昆虫相关酶的活力变化有关, 如 CO<sub>2</sub> 胁迫下药材甲羧酸酯酶的活力强于烟草甲<sup>[6,8]</sup>, 磷酸酯酶则是烟草甲强于药材甲<sup>[8]</sup>, 而两者的乙酰胆碱酯酶在应对胁迫中具有相似性<sup>[9]</sup>。

另有研究指出, 昆虫的能源物质在其应对气调胁迫是也起着重要作用<sup>[10]</sup>, 目前鲜有 CO<sub>2</sub> 气调胁迫下, 药材甲和烟草甲能源物质变化的相关研究。笔者前期研究发现, φ(CO<sub>2</sub>) 胁迫下, 两种甲虫成虫对能源物质具有相似的利用规律, 但药材甲对多糖及可溶性蛋白质的利用率均低于烟草甲<sup>[11-12]</sup>, 为进一步研究两者对相关能源物质的利用差异及形成机制, 也为探究其对 CO<sub>2</sub> 不同敏感性的原因、探明 CO<sub>2</sub> 气调的控害机制及害虫抗气性的形成机理提供基础数据, 本文进一步研究了短时气调胁迫

下, 两种害虫幼虫多糖、可溶性蛋白质及脂肪等能源物质含量的变化, 及气调致死下两者对不同能源物质的利用率。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试虫源: 药材甲和烟草甲采自贵阳市药材公司药材上, 在人工气候实验室内饲养, 温度 (25 ± 1) °C、相对湿度 (75 ± 5)%、光照 14 L : 10 D, 以中药材甘遂 *Euphorbia kansui* (购自贵阳市药材公司) 为食料饲养 10 余代。以同批孵化的幼虫作为供试虫源。

试剂与设备: 气体 CO<sub>2</sub> (纯度高于 99%) 购于贵阳化工三桥气体供应站; 萘酮, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 考马斯亮蓝 G - 250, 美国 Sigma 公司; 牛血清白蛋白 (albumin bovine serum, ABS), 美国 Sigma 公司; 气调混配仪 (QT-MIX, 长沙长锦科技有限公司); Allegra X - 30 高速冷冻离心机, 美国 Beckman Coulter 公司; 754PC 紫外 - 可见分光光度计, 上海菁华科技仪器有限公司; KL - RO - 20 自动双纯水系统, 唐氏康宁科技发展有限公司; BSA124S 电子天平, 赛多利斯科学仪器 (北京) 有限公司。

### 1.2 方法

1.2.1 CO<sub>2</sub> 气调处理 通过气调混配仪, 用导管

通入设定体积分数的 CO<sub>2</sub> 气体, 待气体体积分数配比达到要求后, 停止通气<sup>[6]</sup>。将装有试验昆虫的培养盒的进出气口导管对接, 放入人工气候箱培养观察, 设定试验相对湿度 (70 ± 5)%, 温度 (25 ± 1)°C。CO<sub>2</sub> 气调组配分别设置为 10% + 90% air、30% + 70% air、50% + 50% air、70% + 30% air 和 90% + 10% air。各体积分数下处理时间分别为 2、4、6、8 h, 取出试虫进行相关的能源物质测定, 包括: 体内多糖、可溶性蛋白质及脂肪。昆虫死亡标准: 将试虫移出处理环境 5 h 后, 以小毛笔刺激, 不动视为死亡。能源物质利用率 = (对照含量 - 气调致死下含量) / 对照含量 × 100%<sup>[10]</sup>, 对照含量为自然生长条件昆虫的能源物质含量。

1.2.2 昆虫能源物质含量测定 多糖含量测定。收集气调处理后的药材甲 (烟草甲) 幼虫 30 头,

参照程伟霞等<sup>[13]</sup>、曹宇等<sup>[11]</sup>的萘酚比色法, 测定昆虫的多糖含量。试验重复 3 次, 利用葡萄糖制作标准曲线。

可溶性蛋白质含量测定。收集气调处理后的药材甲 (烟草甲) 幼虫 30 头, 参照 Bradford<sup>[14]</sup>、曹宇等<sup>[11]</sup>的考马斯亮蓝 G-250 法, 测定昆虫的可溶性蛋白质含量。试验重复 3 次, 利用牛血清白蛋白制作标准曲线。

脂肪含量测定。收集气调处理后的药材甲 (烟草甲) 幼虫 50 头, 参照 Colinet 等<sup>[15]</sup>的方法, 测定昆虫脂肪含量。试验重复 3 次。

### 1.3 数据分析

利用 SPSS 18.0 软件处理所测数据, 采用 Tukey's 多重比较检验和独立样本 *t* 检验, 比较不同处理之间的差异显著性 ( $P < 0.05$ )。

表1 CO<sub>2</sub> 处理对药材甲幼虫能源物质含量的影响<sup>1)</sup>

Table 1 Content of energy source in the larva of *S. paniceum* under the CO<sub>2</sub> treatment

φ(CO <sub>2</sub> ) /%	处理时间/h	能源物质/(g·头 <sup>-1</sup> )		
		多糖	可溶性蛋白质	脂肪
10	CK	16.67 ± 1.17 a	196.65 ± 6.03 a	40.56 ± 2.61 a
	2	16.15 ± 1.24 bA	190.61 ± 9.43 bA	40.22 ± 3.17 abA
	4	15.62 ± 1.92 cA	180.72 ± 7.82 cA	40.14 ± 2.35 abA
	6	15.35 ± 0.93 dA	173.47 ± 9.18 dA	39.05 ± 3.02 bA
	8	14.28 ± 1.33 eA	169.50 ± 8.49 eA	38.88 ± 2.41 bA
30	CK	16.67 ± 1.17 a	196.65 ± 6.03 a	40.56 ± 2.61 a
	2	16.05 ± 1.41 bA	188.89 ± 7.92 bA	39.87 ± 3.01 aAB
	4	15.22 ± 1.09 cB	180.08 ± 8.41 cAB	39.47 ± 2.97 abAB
	6	15.12 ± 1.17 cA	172.72 ± 7.94 dA	38.65 ± 3.11 bAB
	8	14.22 ± 0.92 dA	168.77 ± 8.47 eA	38.54 ± 2.89 bAB
50	CK	16.67 ± 1.17 a	196.65 ± 6.03 a	40.56 ± 2.61 a
	2	15.98 ± 1.32 bA	185.55 ± 8.16 bAB	39.54 ± 2.98 abAB
	4	15.17 ± 1.19 cBC	180.01 ± 9.16 cAB	39.13 ± 3.12 abAB
	6	14.79 ± 1.02 cA	170.68 ± 9.65 dB	38.31 ± 2.76 bAB
	8	14.18 ± 1.11 dA	168.44 ± 8.79 dA	38.21 ± 2.84 bAB
70	CK	16.67 ± 1.17 a	196.65 ± 6.03 a	40.56 ± 2.61 a
	2	15.65 ± 1.42 bA	182.22 ± 9.79 bB	39.21 ± 2.96 bAB
	4	15.15 ± 1.06 bcBC	178.01 ± 10.31 cB	38.30 ± 3.06 bcB
	6	14.73 ± 0.94 cA	170.35 ± 8.99 dB	37.98 ± 2.77 bcBC
	8	13.85 ± 1.18 dA	167.42 ± 7.93 dB	37.86 ± 2.18 cAB
90	CK	16.67 ± 1.17 a	196.65 ± 6.03 a	40.56 ± 2.61 a
	2	15.51 ± 1.38 bA	180.55 ± 10.12 bB	38.87 ± 3.23 bB
	4	15.08 ± 1.33 bcC	175.35 ± 9.71 cC	37.95 ± 2.94 bcB
	6	14.70 ± 1.07 cA	168.35 ± 8.92 dC	37.31 ± 2.67 bcC
	8	13.75 ± 0.89 dA	165.42 ± 9.17 eB	37.25 ± 3.11 cB

1) 数据为平均数 ± 标准误。同列中不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较检验, 同一能源物质的含量在同一 φ(CO<sub>2</sub>) 不同胁迫时间之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示相同胁迫时间下的同一能源物质的含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间差异显著 ( $P < 0.05$ )

## 2 结果与分析

### 2.1 CO<sub>2</sub> 对药材甲幼虫能源物质指标的影响

自然条件下,药材甲幼虫多糖、可溶性蛋白质及脂肪的含量分别为 16.67, 16.95 和 40.56 μg/头,在 φ(CO<sub>2</sub>) 为 10%~90% 胁迫下,随着处理时间的延长,3 种能源物质的含量均呈现不同程度的下降(表 1)。多糖在 φ(CO<sub>2</sub>) = 10% 条件下,其含量在处理 2~8 h 后差异显著 ( $F = 864.26, P < 0.01$ ),8 h 后降低到 14.28 μg/头,其在 φ(CO<sub>2</sub>) 为 30% ( $F = 20.93, P < 0.01$ )、50% ( $F = 19.92, P < 0.01$ )、70% ( $F = 38.02, P < 0.01$ ) 和 90% ( $F = 24.25, P < 0.01$ ) 条件下处理 2~8 h 之间也有不同的显著性差异,8 h 后分别降低到 14.22, 14.18, 13.85 和 13.75 μg/头。同样,在各 φ(CO<sub>2</sub>) 处理下,可溶性蛋白质的含量在不同时间处理之间,也具有不同的显著性差异,各 φ(CO<sub>2</sub>) 处理 8 h 后,含量分别降低到 169.50, 168.77, 168.44, 167.42 和 165.42 μg/头。相同 φ(CO<sub>2</sub>) 处理下,药材甲的脂肪含量在不同处理时间之间,其差异性程度不如前两者剧烈,在 φ(CO<sub>2</sub>) 为 10%~90% 下处理 8 h 后,含量分别降低到 38.88, 38.54, 38.21, 37.86 和 37.25 μg/头。

处理相同时间下,随着 φ(CO<sub>2</sub>) 的升高,3 种能源物质的含量逐渐降低,但差异显著性有所不同。在处理 2 ( $F = 2.01, P > 0.05$ ),6 ( $F = 1.05, P > 0.05$ ) 和 8 h ( $F = 1.56, P > 0.05$ ) 后,多糖含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间均无显著差异;4 h 下,φ(CO<sub>2</sub>) = 10% 条件下的多糖含量显著高于其它 φ(CO<sub>2</sub>),φ(CO<sub>2</sub>) = 30% 下的含量显著高于 φ(CO<sub>2</sub>) = 90%,与 φ(CO<sub>2</sub>) = 50% 和 φ(CO<sub>2</sub>) = 70% 无显著差异,而

φ(CO<sub>2</sub>) 为 50%,70% 和 90% 三者之间无显著差异 ( $F = 32.44, P < 0.01$ )。分别处理 2 ( $F = 5.22, P < 0.05$ ),4 ( $F = 7.67, P < 0.01$ ),6 ( $F = 14.90, P < 0.01$ ) 和 8 h ( $F = 3.08, P > 0.05$ ) 后,可溶性蛋白质的含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间有不同的差异显著性。同样,在处理 2 ( $F = 1.12, P > 0.05$ ),4 ( $F = 3.10, P > 0.05$ ),6 ( $F = 8.41, P < 0.01$ ) 和 8 h ( $F = 2.03, P > 0.05$ ),脂肪含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间也具有不同的差异显著性。

### 2.2 CO<sub>2</sub> 对烟材甲幼虫能源物质指标的影响比较

自然条件下,烟草甲多糖、可溶性蛋白质及脂肪的含量分别为 18.71, 199.51 和 45.89 μg/头,其含量均高于药材甲。在各浓度处理下,随着时间的延长,其含量变化与药材甲幼虫类似(表 2)。10%~90% 各 φ(CO<sub>2</sub>) 处理 8 h 后,多糖的含量分别降低到 15.69, 15.57, 15.17, 14.99 和 14.87 μg/头;可溶性蛋白质分别降低到 178.34, 177.67, 176.90, 176.57 和 176.14 μg/头;脂肪分别降低到 40.37, 39.40, 39.24, 38.97 和 38.49 μg/头。相同时间处理下,烟草甲能源物质随 φ(CO<sub>2</sub>) 的升高而降低,但不同时间段下,同一能源物质的含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间的差异显著性不同,而相同时间段下,不同能源物质在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间的差异显著性也不同。

### 2.3 两种昆虫幼虫对能源物质的利用率

不同 φ(CO<sub>2</sub>) 致死下,药材甲幼虫对 3 种能源物质具有不同的利用率,随着 φ(CO<sub>2</sub>) 的升高,其对能源物质的利用率显著降低(图 1)。φ(CO<sub>2</sub>) = 10% 致死条件下,药材甲对多糖、可溶性蛋白质及脂肪的利用率最高,分别为 71.53%, 46.99% 和 53.35%; φ(CO<sub>2</sub>) = 90% 条件下最低,分别为

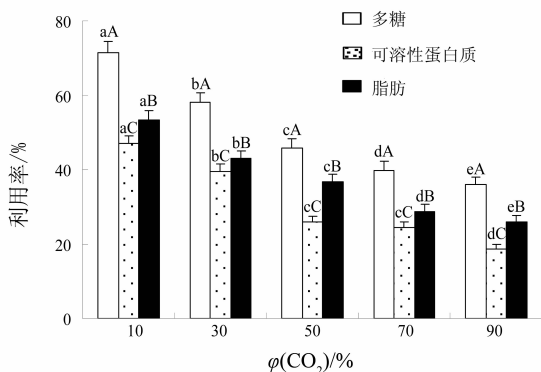


图 1 药材甲对不同能源物质的利用率

Fig. 1 The utilization rates of energy substances in *S. paniceum* larva

不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较检验,同一能源物质利用率在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 处理之间差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示相同 φ(CO<sub>2</sub>) 处理下不同能源物质的利用率差异显著 ( $P < 0.05$ );“\*”和“\*\*”分别表示经独立样本 *t* 检验 ( $P < 0.05$ ),相同处理下药材甲与烟草甲对同一能源物质的利用率差异显著及极显著

表 2 CO<sub>2</sub> 处理对烟草甲幼虫能源物质含量的影响<sup>1)</sup>

Table 2 Content of energy source in the larva of *L. serricornis* under the CO<sub>2</sub> treatment

φ(CO <sub>2</sub> ) /%	处理时间/h	能源物质/(g·头 <sup>-1</sup> )		
		多糖	可溶性蛋白质	脂肪
10	CK	18.71 ± 1.21 a	199.51 ± 5.98 a	45.89 ± 3.12 a
	2	18.16 ± 1.13 bA	191.27 ± 6.32 bA	43.60 ± 2.91 bA
	4	17.64 ± 1.23 cA	185.07 ± 7.39 cA	43.15 ± 2.16 bcA
	6	17.35 ± 1.24 dA	180.50 ± 7.48 dA	41.17 ± 2.96 cdA
	8	15.69 ± 1.06 eA	178.34 ± 6.62 dA	40.37 ± 2.64 d
30	CK	18.71 ± 1.21 a	199.51 ± 5.98 a	45.89 ± 3.12 a
	2	17.83 ± 1.31 bAB	190.25 ± 7.43 bAB	43.23 ± 2.18 bA
	4	16.97 ± 1.25 cAB	184.72 ± 6.92 cA	42.11 ± 2.33 bAB
	6	16.69 ± 1.12 cAB	179.84 ± 7.19 dA	40.05 ± 1.86 cAB
	8	15.57 ± 1.09 dA	177.67 ± 9.15 dAB	39.40 ± 1.69 cA
50	CK	18.71 ± 1.21 a	199.51 ± 5.98 a	45.89 ± 3.12 a
	2	17.47 ± 1.17 bAB	189.59 ± 8.63 bAB	43.17 ± 2.54 bA
	4	16.92 ± 0.95 bAB	184.61 ± 7.43 cA	41.79 ± 2.19 cAB
	6	16.65 ± 1.38 bAB	179.15 ± 6.49 dAB	39.68 ± 1.94 dB
	8	15.17 ± 1.46 cA	176.90 ± 6.47 dAB	39.24 ± 2.05 dA
70	CK	18.71 ± 1.21 a	199.51 ± 5.98 a	45.89 ± 3.12 a
	2	17.40 ± 1.29 bAB	188.55 ± 9.76 bBC	43.00 ± 2.95 bA
	4	16.36 ± 1.34 cBC	182.95 ± 8.58 cA	40.98 ± 3.17 cB
	6	16.29 ± 1.24 cB	177.48 ± 10.39 dBC	39.43 ± 2.21 dB
	8	14.99 ± 1.09 dA	176.57 ± 7.92 dB	38.97 ± 3.19 dA
90	CK	18.71 ± 1.21 a	199.51 ± 5.98 a	45.89 ± 3.12 a
	2	17.18 ± 1.32 bB	186.55 ± 6.72 bC	42.77 ± 3.07 bA
	4	16.03 ± 0.97 cC	182.28 ± 7.94 cA	39.13 ± 2.84 cC
	6	15.95 ± 1.05 cB	176.81 ± 7.62 dC	38.96 ± 2.75 cB
	8	14.87 ± 1.17 dA	176.14 ± 5.91 dB	38.49 ± 2.38 cA

1) 数据为平均数 ± 标准误。同列中不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较检验, 同一能源物质的含量在同一 φ(CO<sub>2</sub>) 不同胁迫时间之间差异显著 (P < 0.05), 不同大写字母表示相同胁迫时间下的同一能源物质的含量在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 之间差异显著 (P < 0.05)

35.85%, 18.60% 和 25.91%。不同 φ(CO<sub>2</sub>) 致死, 烟草甲幼虫对 3 种能源物质的利用规律与烟草甲相似 (图 2), φ(CO<sub>2</sub>) = 10% 条件下, 烟草甲对 3 者的利用率分别为 75.20%, 45.29% 和

59.35%; φ(CO<sub>2</sub>) = 90% 条件下分别为 43.91%, 20.29% 和 32.77%。另外, 相同 φ(CO<sub>2</sub>) 致死下, 两种害虫的幼虫对不同能源物质的利用率差异显著, 且均为多糖 > 脂肪 > 可溶性蛋白质。

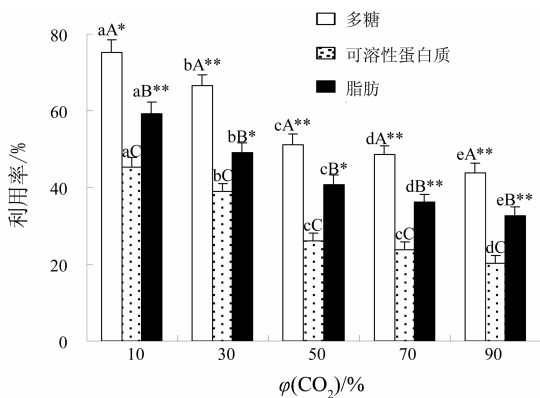


图 2 烟草甲对不同能源物质的利用率

Fig. 2 The utilization rates of energy substances in *L. serricornis* larva

不同小写字母表示经 Tukey's 多重比较检验, 同一能源物质利用率在不同 φ(CO<sub>2</sub>) 处理之间差异显著 (P < 0.05), 不同大写字母表示相同 φ(CO<sub>2</sub>) 处理下不同能源物质的利用率差异显著 (P < 0.05); “\*” 和 “\*\*” 分别表示经独立样本 t 检验 (P < 0.05), 相同处理下药材甲与烟草甲对同一能源物质的利用率差异显著及极显著

相同  $\varphi(\text{CO}_2)$  致死条件下, 药材甲与烟草甲幼虫对同一能源物质的利用率具有不同程度的差异显著性。无论何种  $\varphi(\text{CO}_2)$  致死下, 烟草甲对多糖和脂肪的利用率均显著高于药材甲。在  $\varphi(\text{CO}_2) = 10\%$  条件下, 烟草甲对多糖的利用率显著高于药材甲, 在  $\varphi(\text{CO}_2)$  为 30%, 50%, 70% 和 90% 条件下, 则达到极显著;  $\varphi(\text{CO}_2)$  为 30% 和 50% 条件下, 烟草甲对脂肪的利用率同样显著高于药材甲, 其它  $\varphi(\text{CO}_2)$  条件下则达到极显著。对于可溶性蛋白质, 虽然两种幼虫的利用率互有高低, 但均无显著性差异。

### 3 讨 论

许多研究表明,  $\varphi(\text{CO}_2)$  越高, 其对药材甲、烟草甲等储藏物害虫的控制效果越好<sup>[5, 7, 11-12]</sup>, 这可能与气调处理下害虫对能源物质的利用有关, 如本文中随着  $\text{CO}_2$  处理时间的延长, 高  $\varphi(\text{CO}_2)$  条件下药材甲、烟草甲幼虫对可溶性糖、蛋白质及脂肪的消耗更为剧烈。而  $\text{CO}_2$  气调致死, 两种幼虫对能源物质的利用率, 随着  $\varphi(\text{CO}_2)$  的升高, 其利用率则显著降低, 这可能是因为较高的  $\varphi(\text{CO}_2)$  作用下, 昆虫过早昏迷或死亡, 进而减少了其对能源物质的消耗。如相同  $\varphi(\text{CO}_2)$  处理下, 药材甲成虫的  $\text{LT}_{50}$ 、 $\text{LT}_{99}$  远低于幼虫, 因此, 其致死下药材甲成虫对可溶性糖和蛋白质的利用均低于幼虫<sup>[11]</sup>。另外, 其控害效果受温度等环境因子的影响<sup>[16]</sup>, 对于不同储藏条件下的中药材, 寻求理想的温度、相对湿度/ $\text{CO}_2$  及其它协同增效控害组合, 需要进一步的探索。

昆虫的能源物质在其抵御不良环境中起着重要作用<sup>[17-18]</sup>, 本文中短时处理下, 药材甲和烟草甲幼虫体内的多糖、可溶性蛋白质及脂肪含量, 均随着时间的延长,  $\varphi(\text{CO}_2)$  的升高, 其含量逐渐降低, 说明  $\text{CO}_2$  胁迫导致了昆虫能源物质的消耗, 可能是引起昆虫死亡的重要原因, 这在嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophilus* 和嗜虫书虱 *Liposcelis entomophila* 的气调研究中有一致的报道<sup>[10]</sup>。有研究指出脂类化合物的积累和利用与昆虫抗气性的形成密切相关, 因此, 气调胁迫下的赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*、书虱等害虫对脂肪均具有较高的利用率<sup>[10, 19]</sup>, 而本文中两种幼虫对 3 种能源物质的利用关系均为多糖 > 脂肪 > 可溶性蛋白质, 其对多糖的利用率最高, 说明昆虫的种类不同, 其对气调胁迫的生理响应也可能不同。而两种幼虫与其成虫对不同能源物质的利用规律也不同, 相同处理下,

药材甲幼虫对多糖和可溶性蛋白质的利用率均高于成虫<sup>[11]</sup>, 本文中烟草甲若虫对多糖和可溶性蛋白质的利用率均高于成虫, 但对脂肪的利用率低于成虫<sup>[12]</sup>, 这种利用差异可能与两种昆虫的不同虫态对  $\text{CO}_2$  的不同敏感性有关<sup>[5, 11-12]</sup>, 但关于能源物质的供能差异对昆虫抵抗  $\text{CO}_2$  胁迫的贡献及与其抗气性的关系, 需进一步研究。另外, 本文中除可溶性蛋白质外, 烟草甲幼虫对多糖和脂肪的利用率均显著高于药材甲, 这可能也是烟草甲较药材甲具有更强忍耐力的原因之一<sup>[5, 7]</sup>。

最后, 除了能源物质, 气调胁迫还伴随着昆虫一系列的生理生化响应, 如水分丢失、相关解毒酶、靶标酶的酶学变化等<sup>[6, 8, 20]</sup>, 都是昆虫对气调胁迫的不同响应, 都可能引起昆虫的死亡。因此, 关于烟草甲与药材甲对气调胁迫不同的响应机制及相关的抗性机制, 还有许多工作要做。

### 参考文献:

- [1] BRIAN J C. Drugstore beetle, *Stegobium paniceum* (L.) (Insecta: Coleoptera: Anobiidae) [M]. Ifas Extension of University of Florida, 2001, 8: 124.
- [2] BECKETT S J, MORTON R, DARBY J A. The mortality of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae) and *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) at moderate temperatures [J]. Journal of Stored Products Research, 1998, 34(4): 363-376.
- [3] PIMENTEL M A G, FARONI L R D A, TOTOLA M R, et al. Phosphine resistance, respiration rate and witness consequences in stored-product insects [J]. Pest Management Science, 2007, 63(9): 876-881.
- [4] RIDLEY A W, SCHLIPALIUS D I, DAGLISH G J. Reproduction of phosphine resistant *Rhyzopertha dominica* (F.) following sublethal exposure to phosphine [J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 48(1): 106-110.
- [5] GUNASEKARAN N, RAJENDRAN S. Toxicity of carbon dioxide to drugstore beetle *Stegobium paniceum* and cigarette beetle *Lasioderma serricorne* [J]. Journal of Stored Products Research, 2005, 41(3): 283-294.
- [6] LI C, LI Z Z, CAO Y, et al. Partial characterization of stress-induced carboxylesterase from adults of *Stegobium paniceum* and *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) subjected to  $\text{CO}_2$ -enriched atmosphere [J]. Journal of Pest Science, 2009, 82(1): 7-11.
- [7] 李灿. 中药材储藏期主要害虫种群生态及气调毒理研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2008.
- [8] 李灿, 李子忠, 曹宇, 等. 药材甲与烟草甲羧酸酯酶

- 和磷酸酯酶毒理学特性比较[J]. 植物保护学报, 2013, 40(1): 78-82.
- [9] 李灿, 李子忠, 周波, 等. 高浓度二氧化碳对药材甲和烟草甲乙酰胆碱酯酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2007, 34(6): 642-646.
- [10] WANG J J, ZHAO Z M. Accumulation and utilization of triacylglycerol and polysaccharides in *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera, Liposcelididae) selected for resistance to carbon dioxide[J]. Journal of Applied Entomology, 2003, 127(2): 107-111.
- [11] 曹宇, 吴先勇, 卢丽娟, 等. CO<sub>2</sub>气调对药材甲的毒力及其能源物质的代谢比较[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(1): 57-63.
- [12] 曹宇, 杨文佳, 孟永禄, 等. CO<sub>2</sub>气调对烟草甲的毒力作用及其能源物质的含量和利用率[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(11): 123-128.
- [13] 程伟霞, 王进军, 陈志永. 杀虫剂胁迫下嗜卷书虱和嗜虫书虱能源物质的代谢比较[J]. 动物学研究, 2005, 26(5): 545-550.
- [14] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dry binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72: 248-254.
- [15] COLINET H, VERNON P, HANCE T. Does thermal-related plasticity in size and fat reserves influence supercooling abilities and cold-tolerance in *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Aphidiinae) mummies[J]. Journal of Thermal Biology, 2007, 32(7): 374-382.
- [16] 李灿, 李子忠. 不同温度下药材甲对二氧化碳的敏感差异[J]. 农药, 2006, 45(11): 748-750.
- [17] DONAHAYE E. Biological differences between strains of *Tribolium castaneum* (Herbst) selected for resistance to hypoxia, and hypercarbia and the unselected strain[J]. Physiological Entomology, 1993, 18(3): 247-250.
- [18] 宋修超, 崔宁宁, 郑方强, 等. 变温贮藏僵蚜对烟蚜茧蜂耐寒能力的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2515-2520.
- [19] DONAHAYE E, NAVARRO S. Comparisons of energy reserves among strains of *Tribolium castaneum* selected for resistance to hypoxia and hypercarbia, and the unselected strain[J]. Journal of Stored Products Research, 2000, 36(3): 223-234.
- [20] ZHOU S, CRIDDLE R S, MITCHAM E J. Metabolic response of *Platynota stultana* pupae to controlled atmospheres and its relation to insect mortality response[J]. Journal of Insect Physiology, 2000, 46(10): 1375-1385.