

环境温度与钉螺耗氧量关系的研究

杭德荣¹, 周晓农², 洪青标¹, 颜维安¹, 吴荷珍¹, 杨 坤¹

[摘要] 目的 探索环境温度与钉螺耗氧量关系及钉螺“冬眠”或“夏蛰”现象与耗氧量关系。方法 在实验室模拟自然环境, 逐步改变温度, 分别测定 0~40 ℃ 环境温度条件下钉螺耗氧量的值, 判断环境温度与钉螺耗氧量关系, 同时观察钉螺“冬眠”和“夏蛰”情况, 分析钉螺耗氧量与“冬眠”率和“夏蛰”率的相关关系。结果 环境温度在 1~36 ℃ 之间钉螺耗氧量随温度升高而增加, 钉螺耗氧量随环境温度的变化趋势与曲线方程 $y = 6.6 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-6}x + 4.4 \times 10^{-6}x^2 - 8 \times 10^{-8}x^3$ 高度拟合 ($R^2 = 0.998, F = 2775, P < 0.01$)。环境温度降至 3 ℃ 以下, 钉螺耗氧量趋向平稳。3~29 ℃ 之间每一温度梯度钉螺耗氧量平均增加 1.184×10^{-4} mg/snail · h (95% 可信区间为 $8.65 \times 10^{-5} \sim 1.503 \times 10^{-4}$ mg/snail · h), 29~36 ℃ 平均增加 2.92×10^{-5} mg/snail · h (95% 可信区间为 $1.71 \times 10^{-5} \sim 4.13 \times 10^{-5}$ mg/snail · h), 后者升幅显著低于前者。37 ℃ 开始出现钉螺死亡; “冬眠”率与耗氧量之间呈直线回归关系 ($R^2 = 0.928, F = 102.28, P < 0.01$); 随着温度的升高, 钉螺耗氧量升幅明显下降, 但当温度升高至 35 ℃ 左右才开始出现“夏蛰”现象, 至 40 ℃ 时仅有 27.78% 钉螺表现出“夏蛰”状态。结论 钉螺耗氧量随温度的升高而增加, 但过冷或过热均明显抑制钉螺的氧代谢。温度下降, 钉螺“冬眠”率增加, 耗氧量降低。高温时钉螺耗氧量明显受抑制, “夏蛰”率虽有提高, 但并不明显。

[关键词] 环境温度; 钉螺; 耗氧量; 冬眠; 夏蛰

[中图分类号] R383.24 [文献标识码] A

STUDY ON RELATIONSHIP BETWEEN ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND OXYGEN DEMAND OF *ONCOMELANIA* SNAILS Hang Derong¹, Zhou Xiaonong², Hong Qingbiao¹, Yan Weian¹, Wu Hezhen¹, Yang Kun¹ (1 Jiangsu Institute of Parasitic Diseases, Wuxi 214064, China; 2 Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention, China)

[Abstract] Objective To explore the relationship between the environmental temperature and the oxygen demand of *Oncomelania* snails, and the relationship between the hibernation or aestivation and the oxygen demand of snails. Methods The oxygen demand of *Oncomelania* snails between 0 ℃ and 40 ℃ was determined by increasing the temperature gradually in lab, the relationship between the environmental temperature and the oxygen demand, and the correlative relationship between the oxygen demand and the percentage of snails in hibernation or aestivation were analysed. Results The oxygen demand increased as the temperature rose between 1 ℃ and 36 ℃, and the regression equation between the oxygen demand and the variation of environmental temperature was $y = 6.6 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-6}x + 4.4 \times 10^{-6}x^2 - 8 \times 10^{-8}x^3$ ($R^2 = 0.998, F = 2775, P < 0.01$). When the environmental temperature decreased under 3 ℃, the oxygen demand trended low and stable, and the average oxygen demand of increased one degree centigrade was 1.184×10^{-4} mg/snail · h between 3 ℃ and 29 ℃ (95% of confidence interval: $8.65 \times 10^{-5} \sim 1.503 \times 10^{-4}$ mg/snail · h) and 2.92×10^{-5} mg/snail · h between 29 ℃ and 36 ℃ (95% of confidence interval: $1.71 \times 10^{-5} \sim 4.13 \times 10^{-5}$ mg/snail · h). Some of the snails died at 37 ℃. There was a linear regression relationship between the oxygen demand and the percentage of snails in hibernation ($R^2 = 0.928, F = 102.28, P < 0.01$). As the temperature rose, the amplitude of the oxygen demand declined obviously, and the snails had the aestivation phenomenon when the temperature was over 35 ℃ and 27.78% snails in aestivation state at 40 ℃. Conclusion The oxygen demand increases as the temperature rises.

However, either excessive coldness or excessive hotness significantly inhibits the oxygen metabolism. As the temperature decreases, the percentage of snails in hibernation increases and the oxygen demand decreases. When the temperature is high, the oxygen demand is inhibited significantly, and the percentage of snails in aestivation increases but is not statistically significant.

[Key words] Environmental temperature; *Oncomelania* snail; Oxygen demand; Hibernation; Aestivation

[Foundation item] This investigation received financial support from Chinese National Science Foundation (No. 300070684)

钉螺作为血吸虫的唯一中间宿主,其生存繁殖与分布在血吸虫病流行与传播中起着重要的作用。在研究全球气候变暖对钉螺和血吸虫病流行影响的研究中,研究环境温度与钉螺耗氧量之间的关系,是建立气候-血吸虫传播模型的重要参数^[1,2]。在钉螺的生活史中,环境温度是十分重要的生态因子之一,适合钉螺生活和繁殖的温度为 20~25℃,过冷或过热均不利于钉螺的活动和繁殖,曾有学者在现场观察到,钉螺在冬季或夏季有“冬眠”或“夏蛰”现象,但未提出钉螺在此状态时有何特征性客观指标^[3]。为此,本研究在实验室进行了环境温度与钉螺耗氧量关系及钉螺“冬眠”或“夏蛰”现象与耗氧量关系的探索。

内容与方法

1 钉螺

湖北钉螺指名亚种(*Oncomelania hupensis hupensis*),采自江苏省扬州市邗江区长江江滩,以群体逸幼法剔除阳性钉螺,选择活动力强、7~8 旋的成螺备用。

2 实验分组与钉螺饲养

将备用的钉螺随机分成 28 个组,每组分 7 份,每份 30 只钉螺共 196 份样本。将其中 11 个组 77 份样本和 17 个组 119 份样本分别置于 2 只生化培养箱内饲养。钉螺饲养环境采用粗草纸法^[4],在直径 9 cm 的培养皿的底部衬一层湿海绵,上覆一层粗草纸,每天加水保持湿度(控制含水量,以草纸面不积水为宜),每只培养皿放 1 份 30 只钉螺。

3 耗氧量测定

2 只培养箱起始温度为 13℃,以后分别按 1℃/24 h 的速率降低或升高温度,降温培养至 0℃,升温培养至 40℃,每个温度梯度饲养 24 h 后取 1 组 7 盘培养皿的钉螺(每盘 30 只钉螺),以盘为单位,清洁湖水为测定环境水体,分别测定其在该温度条件下 6 h 耗氧量(7~33℃每 2 个温度测定 1

组)。并计算平均每螺每小时耗氧量(mg/snail·h)。钉螺耗氧量测定方法按参考文献[5]进行。在钉螺耗氧量测定过程中,每份钉螺从溶解瓶中取出后,采用敲碎法观察钉螺死亡情况,计算每一温度梯度的钉螺死亡率。实验在 3~4 月份进行。

4 钉螺“冬眠”和“夏蛰”情况观察

参照钉螺“冬眠”和“夏蛰”现象判断方法^[6,7]。“冬眠”观察起始温度为 13℃,“夏蛰”观察起始温度为 30℃,以 1℃/24 h 速率降温或升温,每一温度梯度均观察 30 只钉螺。实验重复 2 次。

5 数据分析

运用 Excel 数据库,SPSS 10.0 软件包进行相关的统计分析。

结 果

1 钉螺耗氧量变化

采用 1℃/24 h 速率降温,随着温度降低,钉螺耗氧量逐渐下降,13℃时为 0.000 614 2 mg/snail·h,6℃时为 0.000 201 7 mg/snail·h,3℃时降为 0.000 075 9 mg/snail·h,2℃0.000 057 4 mg/snail·h,1℃时为 0.000 058 5 mg/snail·h(0℃时水已结冰未取得结果),3℃以下钉螺耗氧量差异无显著性($t=0.099, P>0.05$),采用 1℃/24 h 速率升温,在 13℃以上随着温度升高,钉螺耗氧量逐渐升高,15℃时为 0.000 727 7 mg/snail·h,25℃时 0.001 500 2 mg/snail·h,29℃时为 0.001 851 6 mg/snail·h,36℃时为 0.001 997 6 mg/snail·h,3~29℃之间每一温度梯度钉螺耗氧量平均增加 1.184×10^{-4} mg/snail·h(95%可信区间为 $8.65 \times 10^{-5} \sim 1.503 \times 10^{-4}$ mg/snail·h),29~36℃平均增加 2.92×10^{-5} mg/snail·h(95%可信区间为 $1.71 \times 10^{-5} \sim 4.13 \times 10^{-5}$ mg/snail·h)。后者升幅显著低于前者。1~36℃无钉螺死亡,37℃开始出现钉螺死亡,37、38、39、40℃时钉螺死亡率分别为 9.2%、15.5%、20.8%、30.8%(表 1)。

表 1 不同温度条件下钉螺耗氧量测定结果($\times 10^{-4}$ mg/snail · h)

Table 1 Oxygen demand of snails at different temperature($\times 10^{-4}$ mg/snail · h)

温度 Temperature (℃)	观察螺数 (只) No. of snails observed	耗氧量值 Amount of oxygen consumed		温度 Temperature (℃)	观察螺数 (只) No. of snails observed	耗氧量值 Amount of oxygen consumed	
		$\bar{x} \pm s$	95% CI			$\bar{x} \pm s$	95% CI
1	7×30	0.585±0.065	0.537~0.633	23	7×30	13.384±0.196	13.239~13.529
2	7×30	0.574±0.069	0.523~0.625	25	7×30	15.002±0.196	14.857~15.147
3	7×30	0.759±0.089	0.693~0.825	27	7×30	17.084±1.170	16.217~17.951
4	7×30	1.092±0.069	1.041~1.143	29	7×30	18.516±0.493	18.151~18.881
5	7×30	1.661±0.268	1.462~1.860	31	7×30	18.819±0.206	18.666~18.972
6	7×30	2.017±0.069	1.966~2.068	33	7×30	19.342±0.281	19.134~19.550
7	7×30	2.868±0.217	2.707~3.029	34	7×30	19.504±0.448	19.172~19.836
9	7×30	3.574±0.107	3.495~3.653	35	7×30	19.742±0.168	19.618~19.866
11	7×30	4.718±0.165	4.596~4.840	36	7×30	19.976±0.416	19.668~20.284
13	7×30	6.142±0.102	6.066~6.218	37	7×30	17.888±1.339	16.896~18.880
15	7×30	7.277±0.187	7.138~7.416	38	7×30	15.981±0.211	15.825~16.137
17	7×30	8.456±0.178	8.324~8.588	39	7×30	13.846±0.300	13.624~14.068
19	7×30	10.763±0.716	10.233~11.293	40	7×30	11.597±1.395	10.564~12.630
21	7×30	11.356±0.207	11.203~11.509	—	—	—	—

2 环境温度与钉螺耗氧量的关系

环境温度从 1~36℃ 钉螺耗氧量随温度升高而升高。以温度作自变量(X), 钉螺耗氧量作应变量(Y), 钉螺耗氧量随环境温度的变化趋势与曲线方程 $\hat{y} = 6.6 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-6}x + 4.4 \times 10^{-6}x^2 - 8 \times 10^{-8}x^3$ 高度拟合($R^2 = 0.998, F = 2.775, P < 0.01$)。当环境温度上升至 30℃ 左右后, 曲线趋向平坦, 上升不明显(图 1)。

3 耗氧量与“冬眠”的关系

采用 1℃/24 h 速率降温诱导钉螺“冬眠”, 温度降至 11℃ 左右, 钉螺开始出现“冬眠”现象, 降至 6℃ 时, 其“冬眠”率上升为 56.7%, 闭厣率为 83.3%, 耗氧量为 0.000 201 7 mg/snail · h, 降至 3℃ 时“冬眠”率达 91.7%, 闭厣率达 100.0%, 降至 1℃ 时“冬眠”率达 100.0%, 3℃ 以下耗氧量趋向平

稳, 在 0.000 058 0 mg/snail · h 左右。随着温度的降低, 钉螺的活动逐渐减小, 耗氧量也减少, “冬眠”率升高。“冬眠”率与耗氧量之间呈直线回归关系($R^2 = 0.928, F = 102.28, P < 0.01$)(表 2)。

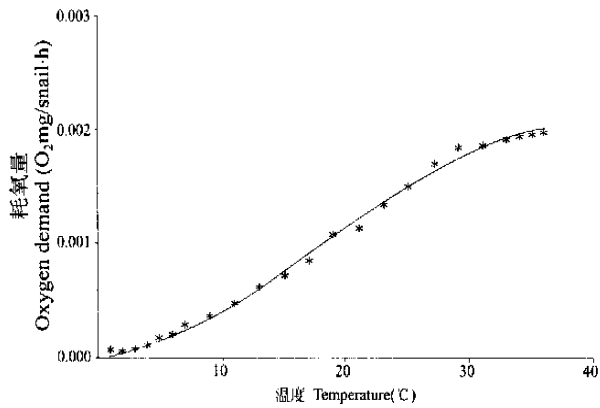
4 耗氧量与“夏蛰”的关系

采用 1℃/24 h 速率升温诱导钉螺“夏蛰”, 29℃ 左右开始钉螺活动力受抑制, 耗氧量升幅明显减小, 当温度升高至 35℃ 左右开始出现“夏蛰”现象, 至 38℃ 时, 有 86.5% 呈闭厣状, 有 6.7% 钉螺表现为“夏蛰”状态, 至 40℃ 时闭厣率达 100.0%, 有 27.8% 钉螺表现出“夏蛰”状态, 但温度进一步升高时钉螺则迅速死亡。30℃ 以上, 随着温度的升高, 钉螺活动力逐渐减小, 耗氧量升幅明显下降, 但钉螺表现为“夏蛰”的状态不十分明显(表 2)。

表 2 钉螺“冬眠”与“夏蛰”情况(n=60)

Table 2 Hibernation and aestivation status of *Oncomelania* snails (n=60)

温度 Temperature (℃)	“冬眠”情况 Hibernation status		温度 Temperature (℃)	“夏蛰”情况 Aestivation status	
	闭厣率 Percentage of snails with closed opercula (%)	“冬眠”率 Percentage of snails under hibernation (%)		闭厣率 Percentage of snails with closed opercula (%)	“夏蛰”率 Percentage of snails under aestivation (%)
13	8.3	0.0	30	—	—
12	10.0	1.7	31	1.1	0.0
11	21.7	10.0	32	3.3	0.0
10	30.0	11.7	33	7.8	0.0
9	55.0	20.0	34	23.3	0.0
8	65.0	30.0	35	25.6	1.1
7	73.3	35.0	36	36.7	3.3
6	83.3	56.7	37	63.3	5.6
5	93.3	66.7	38	86.5	6.7
4	93.3	70.0	39	100.0	14.9
3	100.0	91.7	40	100.0	27.8
2	100.0	98.3	41	—	—
1	100.0	100.0	42	—	—



温度 Temperature(°C)

图1 钉螺耗氧量与环境温度的关系

Fig 1 Relationship between environmental temperature and oxygen demand of *Oncomelania* snails

讨 论

1999年周晓农等^[2]提出了研究全球气候变暖对钉螺和血吸虫病流行影响的必要性,其中环境温度对钉螺的影响是其研究的核心。本研究通过对环境温度与钉螺耗氧量关系的研究,为建立血吸虫病流行的预测模型、研究气候变暖与血吸虫病传播之间的关系提供了重要参数,并将进一步丰富钉螺的生物学理论。

钉螺是一种狭温性两栖类软体动物,环境温度是钉螺十分重要的生态因子,直接影响着钉螺的生长、发育、繁殖与分布。钉螺的氧代谢水平反映了其活动能力^[1,8]。本研究显示在钉螺生存温度范围内,钉螺耗氧量随环境温度的升高而升高,也提示钉螺的活动能力随环境温度的升高而升高,但温度过高或过低对钉螺耗氧量具有抑制作用,在3℃以下耗氧量较为恒定,高于30℃时耗氧量升幅显著减小,在此阶段温度变化对钉螺耗氧量的作用明显减弱,但温度升至37℃时开始出现钉螺死亡。钉螺耗氧量随环境温度的变化趋势与曲线方程 $y = 6.6 \times 10^{-5} - 3 \times 10^{-6}x + 4.4 \times 10^{-6}x^2 - 8 \times 10^{-8}x^3$ 高度拟合。

“冬眠”现象是动物对环境温度的一种适应性方式,“冬眠”时其机体代谢水平极低。本研究显示钉螺作为一种无脊椎软体动物,同样有这样的生态特性。钉螺“冬眠”率与耗氧量之间有非常显著的直线回归关系。研究还显示,钉螺闭厝率、“冬眠”率接近或达到100.0%时,氧代谢也将维持在一定水平。

“夏蛰”现象一般多见于无脊椎动物^[9]。曾有学者在现场观察到钉螺有“夏蛰”现象^[1]。本次研究发现钉螺表现为“夏蛰”状态不明显,当环境温度升高至40℃时仅有27.78%的钉螺表现出“夏蛰”状态。但本研究显示,高温对钉螺耗氧量有明显的抑制作用,对钉螺活动能力的抑制也较明显。本研究在观察“夏蛰”现象时,仅考虑了温度因素,而未考虑湿度等其它因素,本结果是否与此有关尚需进一步观察。

我国大陆钉螺的亚种或地理株较多,各自在生态上的差异也较大^[1],本研究仅进行了江苏江滩地区的湖北钉螺指名亚种的耗氧量与温度、耗氧量与“冬眠”、耗氧量与“夏蛰”关系的观察,而其它亚种或地理株钉螺的关系情况尚需进一步研究。

[参考文献]

- [1] 周晓农,胡晓抒,孙宁生,等.地理信息系统应用于血吸虫病的监测Ⅱ.流行程度的预测[J].中国血吸虫病防治杂志,1999,11(2):66-70.
- [2] 周晓农,杨国静,孙乐平,等.全球气候变暖对钉螺传播血吸虫病的潜在影响[J].中华流行病学杂志,2002,23(2):83-86.
- [3] 毛守白.血吸虫生物学与血吸虫病的防治[M].北京:人民卫生出版社,1991.286-321.
- [4] 姜玉骧,奚伟萍,孙庆祺.泥土混合饲料饲养钉螺的实验观察[J].中国血吸虫病防治杂志,1997,9(1):46-47.
- [5] 杭德荣,周晓农,洪青标,等.水体中钉螺耗氧量测定方法研究[J].中国血吸虫病防治杂志,2004,16(4):274-276.
- [6] 洪青标,周晓农,孙乐平,等.全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究Ⅰ.钉螺冬眠温度与越冬致死温度的测定[J].中国血吸虫病防治杂志,2002,14(3):192-195.
- [7] 洪青标,周晓农,孙乐平,等.全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究Ⅱ.钉螺越冬致死高温与夏蛰的研究[J].中国血吸虫病防治杂志,2003,15(1):24-26.
- [8] 刘月英.医学贝类学[M].北京:海洋出版社,1993.43-46.
- [9] 华东师范大学.动物生态学(上册)[M].北京:高等教育出版社,1984.14-29.

[收稿日期] 2004-07-07 [编辑] 沈怡平