

文章编号: 1000-7423(2020)-01-0123-05

DOI: 10.12140/j.issn.1000-7423.2020.01.019

【综述】

我国蜱媒传染病与气象因素的相关性及其防治措施的研究进展

姚清媚¹, 周素芳^{1*}, 张仪², 夏尚², 薛靖波²

【摘要】 蜱虫在吸食动物血液的同时可携带病原体传播多种人兽共患病。经蜱传播的疾病统称为蜱媒传染病。蜱媒传染病与气象因素,尤其是温度、相对湿度、降雨量、相对大气压和风速等存在一定的相关性。本文对蜱媒传染病与气象因素相关性研究及其防治措施的研究进展进行综述,以期建立蜱媒传染病的气象模型和早期的气象预报预警系统,用于预测疾病的发生和监测疾病的发展。

【关键词】 蜱; 蜱媒传染病; 气象因素; 预报预警系统

中图分类号: R384.41

文献标识码: A

Research progress on the correlations of tick-borne diseases with meteorological factors and their prevention measures in China

YAO Qing-mei¹, ZHOU Su-fang^{1*}, ZHANG Yi², XIA Shang², XUE Jing-bo²

(1 School of Basic Medical Sciences, Guangxi Medical University, Nanning, 530021 China; 2 National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention; Chinese Center for Tropical Diseases Research; WHO Collaborating Centre for Tropical Diseases; National Center for International Research on Tropical Diseases, Ministry of Science and Technology; Key Laboratory of Parasite and Vector Biology, Ministry of Health, Shanghai 200025, China)

【Abstract】 Ticks can carry pathogens that may transmit a variety of zoonotic diseases while feeding on the blood of animals. The tick-transmitted diseases, collectively referred to as tick-borne diseases, are correlated with meteorological factors, particularly temperature, relative humidity, rainfall, relative atmospheric pressure and wind speed. This paper gives an overview on the progress in research on the correlations of tick-borne diseases with meteorological factors and their prevention measures in China, in order to set up a meteorological model for tick-borne diseases, and establish meteorological early warning and forecasting systems for predicting the occurrence and monitoring the development of the diseases.

【Key words】 Tick; Tick-borne diseases; Meteorological factors; Forecasting and warning system

Supported by the National Science and Technology Basic Resources Investigation Project of China (No. 2017FY101203) and the National Natural Science Foundation of China (No. 81572994)

* Corresponding author, E-mail: zsf200000@163.com

蜱虫是一类暂时寄宿在人、畜和禽类体表的寄生虫,是蜱媒传染病的贮存宿主和传播媒介。蜱传病原体几乎包括所有病原体,传播数十种疾病,这些疾病统称为蜱媒传染病。我国目前记录的蜱类有 125 种,其中硬蜱 111 种,软蜱 14 种^[1],在医学上

有研究意义的约 30 种。随着全球气候变暖,蜱媒传染病发生率高且范围逐渐扩大,引起多种人兽共患病,能直接或间接引起人、畜死亡,危害公共卫生,影响社会经济发展。蜱媒传染病与蜱的季节消长活动相关。气象因素如月平均温度、相对湿度、

基金项目: 国家科技基础资源调查专项 (No. 2017FY101203); 国家自然科学基金 (No. 81572994)

作者单位: 1 广西医科大学基础医学院, 南宁 530021; 2 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 国家热带病研究中心, 世界卫生组织热带病合作中心, 科技部国家级热带病国际联合研究中心, 卫生部寄生虫病原与媒介生物学重点实验室, 上海 200025

作者简介: 姚清媚 (1993-), 女, 硕士研究生, 从事虫媒传染病研究。E-mail: 743850078@qq.com

* 通讯作者, 周素芳, E-mail: zsf200000@163.com

网络出版时间: 2020-02-11 16:38

网络出版路径: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1248.R.20200211.1003.004.html>

月平均气压和风速等影响蜱虫的活动^[2-3]。德国等蜱传莱姆病高发的国家,对蜱虫的季节消长进行了研究和监测,并采取相关的综合防控策略^[4]。我国虽已在病媒生物监测中增加了蜱媒监测项目,但监测工作刚起步^[5],尚未形成完善的气候变化与蜱媒传染病的相关性研究,尚未利用气象数据来预报和监测蜱媒传染病。本文从不同方面综述我国蜱媒传染病,分析影响蜱媒传染病的关键气象因素,以期建立蜱媒传染病的气象预报预警系统并采取相应的防治措施。

1 我国的蜱虫种类及其地区分布

蜱虫遍布世界各地,主要分布在森林、草原、灌木丛等,其中硬蜱类最具有医学重要性。我国幅员辽阔,生态系统和气候带多种多样,地区环境差异大,蜱虫种类丰富但分布不均匀,地区分布上主要呈现点状和带状分布的特点:例如拟日锐缘蜱(*Argas assilmilis*)只在广西有发现,是当地的特有种属。全沟硬蜱(*Ixodes persulcatus*)、长角血蜱(*Haemaphysalis longicornis*)和血红扇头蜱(*Rhipicephalus sanguines*)等常见种在全国广泛分布。不同地理分区的蜱类各有其分布特点,优势种群和季节消长情况^[6-9]。我国的蜱类分布情况研究可为蜱媒疾病的预防和蜱类的防控提供支持。

2 常见的蜱媒传染病

蜱是专性吸血的寄生虫,其生命力顽强、生存时间长于蚊、蚤、白蛉等病媒生物。当蜱吸食患者血液后,病原体在蜱虫体内能存活多年。蜱吸取宿主血液后,叮咬处容易出现发痒、红肿和发炎等症状。目前已知蜱虫可传播和携带约 83 种病毒、32 种原虫、17 种回归热螺旋体、14 种细菌,可引起莱姆病、蜱传脑炎(也称森林脑炎^[10])、斑疹伤寒和巴贝虫病等数十种疾病。我国常见的 4 种蜱媒传染病主要有发热伴血小板减少征^[11]、人粒细胞无形体病^[12]、莱姆病和蜱传脑炎^[13],这 4 种蜱媒传染病的发病时间、好发区域、多发年龄组,主要症状和

传播途径等见表 1。

3 蜱媒传染病与气象因素的相关性研究

蜱媒传染病的流行需同时具备病原体、宿主和环境等 3 个因素。气象因素是关键的环境因素。温度、相对湿度、降水量、气压和风速等气象因素显著影响蜱虫的季节消长、地理分布和相关疾病的发生发展。

温度是最显著的气象影响因素,研究表明年、月平均温度对活动蜱的数量影响最大^[14-15]。蜱是冷血节肢动物,它们的体温随外界环境温度改变而变化。环境温度影响蜱的各期发育时间,温度越低,蜱的发育时期越长,生活史越长,繁殖前蜱的死亡率越大,因此在适宜温度范围内,温度与发热伴血小板减少征、莱姆病、人粒细胞无形体病和蜱传脑炎等蜱媒传染病的发病率呈正相关,发病率随温度的升高而增加^[16-17]。温暖的冬季会减少蜱的死亡率,延长蜱活跃的时段,年均温度上升还会影响蜱虫的地理分布。俄罗斯年均温度和蜱虫活动季温度升高,使以前从未出现蜱虫的寒冷北部也发现了全沟硬蜱,从而增加了蜱传脑炎的发病率^[18]。同时,相对湿度和降雨量也会影响蜱虫的发育周期和数量,湿度低于 73% 时,蜱的产卵期会延长^[19],蜱数量会减少;相反,降雨量和相对湿度增加时,尤其是降雨累计达 28 d 以上,蜱的数量显著增加^[2]。翟羽佳等^[3]研究相对湿度大于 74.5% 时,发热伴血小板减少征的发病率会增加。相对湿度、降雨量与发热伴血小板减少征的发病率呈正相关关系^[3]。

与传染性相关的气象因素除温度、湿度和降雨量外,还有气压、风速和日照时数等^[20]。当月平均气压高于 1 014.2 hPa 时,发热伴血小板减少征的发病率降低;月平均气压的升高,发热伴血小板减少征的发病风险下降^[3]。风速较大时,蜱虫减少外出活动,月平均风速与蜱媒数量呈负相关^[21]。Cat 等^[2]和 Sun 等^[16]的研究表明,日照时数与蜱传脑炎的发病率呈正相关关系,与翟羽佳等^[3]的无明显相关关系的结果不一致,日照时数与蜱传疾病发

表 1 我国发热伴血小板减少征、人粒细胞无形体病、莱姆病和蜱传脑炎等常见蜱媒传染病特征

蜱媒传染病	发病时间	好发区域	多发年龄组	主要症状	传播途径
发热伴血小板减少征	4~10 月, 5~7 月高峰	丘陵、山地地区	50~74 岁	急性发热、血小板和白细胞减少伴有消化道症状	主要经硬蜱叮咬、也经血液和体液
人粒细胞无形体病	5~10 月, 6~8 月高峰	森林、草原、草地、树林	50~59 岁	发热、全身不适、乏力、头痛、肌痛, 常伴多脏器损害	主要经硬蜱叮咬、也可经血液及胎盘
莱姆病	3~11 月, 6~10 月高峰	东北、西北、内蒙古林区	30~50 岁	皮肤、神经系统和关节损害等多脏器、系统受损	主要经全沟硬蜱叮咬, 也可经血液及胎盘
蜱传脑炎	4~11 月, 5~6 月高峰	东北及西北原始森林	30~59 岁	脑膜刺激征最常见, 多有头痛、发热、食欲减退及周身酸痛	主要经全沟硬蜱叮咬

病率的关系尚存在争议。

4 蜱媒传染病与气象因素之间关系的研究方法

国内外一些研究者利用不同的方法来探索蜱媒传染病发病和气象因素的关系,如应用时空扫描聚集性分析方法分析发热伴血小板减少综合征在我国的高发区域和高发时间,趋势卡方检验表明发病率随着年龄的升高而增多。采用 Pearson 相关分析和回归分析评价温度、湿度、降水量和风速等对蜱传脑炎发生率的影响^[18]。还有利用生态学研究的方法探索气象因素与发热伴血小板减少综合征的关系^[3]。各研究方法均有其优缺点,可借鉴其他虫媒疾病与气象因素的方法进行改良后综合运用,争取达到最全面和贴近实际的效果。

5 蜱媒传染病的预测预警研究进展

我国的一些疾病的预测预报工作已开展了多年,气象流行病学为科学预测预报和控制各种气候性疾病提供依据^[22]。运用气象流行病学探索和解释气象因素与疾病之间的因果联系,如洪涝引起高湿会增加感染性腹泻的患病率^[23],高温对蚊媒和鼠媒疾病的影响等。研究表明,蜱虫种群与其他的病媒介生物不同,蜱虫传播疾病的风险变化是以长期变化为特征,年际变化较小^[24]。如果特定地理区域内气候变化不大,建立的预警预报模型可在 5~10 年或今后一段时期内均可适用,具有研究意义。

气候变化和蜱媒传染病的发病、传播机制等都存在较多的不确定性,传统的对数字和变量的要求苛刻的经典回归假设不适用于存在明显的季节差异的蜱媒传染病。可以采用时间序列分析、灰色预测模型等方法对一维的发病率的时间序列进行分析,也可结合影响因素采用人工神经网络、多元回归等方法进行分析^[22]。预警模型构建时,对季节性、周期性波动疾病预警具有指导意义的自回归求和滑动平均模型^[25]也应加以运用。在构建蜱媒传染病模型时,不能只考虑各模型的预测精度,也要基于数据的特点选择合适的模型。

6 蜱媒传染病的预防和治疗措施

6.1 环境预防

当前,对自然环境中蜱的预防方法主要包括化学药物防治、免疫防治、遗传防治和生物防治等。传统上用拟除虫菊酯类化合物和抗生素类药物对蜱感染进行化学药物防治。免疫防治主要通过免疫方法提高动物的抗蜱能力。而改良和选育耐受畜群来

降低蜱感染是主要的遗传防治方法。生物防治是利用竞争和抑制的原理杀蜱或降低蜱对病原体的敏感性^[26]。根据各地地理分区蜱类的季节消长情况,在蜱季节密度高峰积极灭蜱,减少蜱媒传染病的发生。

在大面积草原、牧区和林地地区,应采取特殊的灭蜱方法,如可用牧场轮换和隔离办法,间断在不同区域放牧,让牧区的蜱虫因无血吸食而死亡。在一些灌木杂草丛生的地方,积极开荒耕种,减少蜱的栖息地。

6.2 个人防护

做好个人防护降低感染的首要条件是避免被蜱的叮咬^[27]。到草地、树林等蜱类栖息地时,最好不要裸露出太多皮肤,穿好光滑紧口的长袖衣服,不宜穿短裤短裙、凉鞋等,尽量不要长时间坐卧,避免给予蜱虫叮咬的机会。选择颜色尽量浅的衣物以便第一时间发现附着在衣物上的蜱虫。可在皮肤上涂抹罗浮山百草油以驱避蜱虫的侵袭。离开有蜱区时注意检查头发、腰、腋窝、腹股沟和脚踝等处是否有蜱附着,尽量从各方面防护避免蜱的叮咬。

6.3 治疗措施

目前,蜱媒传染病一般采取抗炎、抗病毒,输注新鲜血浆等治疗措施。如人粒细胞无形体病的患者宜卧床休息,选用四环素类抗生素药物抗炎;对粒细胞严重低下者,可用粒细胞集落刺激因子进行治疗^[12]。虽然蜱传脑炎可注射疫苗进行预防,但与发热伴血小板减少征一样,均无特异性治疗方法,目前主要使用对症治疗和支持性疗法^[28-29]。总之,应普及人们对蜱和蜱媒传染病知识,增强个人的自我保护意识,提高基层医疗机构对蜱媒传染病的诊断和治疗能力。

7 结 语

蜱虫是我国常见的气象敏感性寄生虫之一,蜱媒传染病的发生和流行具有明显的季节性趋势。文献研究表明,蜱媒传染病与一些常见的气象因素显著相关,呈负相关的有月平均大气压、风速等,正相关的有月平均气温、相对湿度、月平均降雨量等。研究人员应该继续开展气象因素与蜱媒传染病的相关性研究,争取早日形成我国的蜱媒传染病的气象模型,联合气象部门提供瞬时、短期及中长期的气象数据相关数据,利用实时科学的气象预报来做好疾病的预测预警,能结合相关疫情数据,进行疾病风险预报预测,为相关部门提前投入人力、物力、财力来控制疫情的暴发以及预防控制宣传提供帮助。

伦理批准和患者知情同意 本研究不涉及伦理批准和患者知情同意。

出版授权 作者同意以纸质版和网络版的形式同时出版。

数据和材料的可及性 本研究中的相关文献, 如有需要, 可与姚清媚联系。

利益冲突 作者声明无利益冲突。

作者贡献 姚清媚、夏尚、薛靖波负责文献收集和整理、论文撰写, 周素芳负责论文修改, 张仪负责论文策划与审核。

参 考 文 献

- [1] Zhang YK, Zhang XY, Liu JZ. Ticks (Acari: Ixodidae) in China: geographical distribution, host diversity, and specificity [J]. Arch Insect Biochem Physiol, 2019, 102(3): e21544.
- [2] Cat J, Beugnet F, Hoch T, et al. Influence of the spatial heterogeneity in tick abundance in the modeling of the seasonal activity of *Ixodes ricinus* nymphs in Western Europe [J]. Exp Appl Acarol, 2017, 71(2): 115-130.
- [3] Zhai YJ, Li FD, Shang XP, et al. A study on the association between meteorological factors and severe fever with thrombocytopenia syndrome [J]. Zhejiang J Prev Med, 2016, 28(2): 117-120. (in Chinese)
(翟羽佳, 李傅冬, 尚晓鹏, 等. 气象因素与发热伴血小板减少综合征关联研究 [J]. 浙江预防医学, 2016, 28 (2): 117-120.)
- [4] Wilking H, Stark K. Trends in surveillance data of human Lyme borreliosis from six federal states in eastern Germany, 2009–2012 [J]. Ticks Tick Borne Dis. 2014, 5(3): 219-224.
- [5] Li LH, Zhang Y. Epidemic status and control of tick-borne parasitic diseases in China [J]. Chin J Schisto Control, 2019, 31(1): 58-62. (in Chinese)
(李兰花, 张仪. 我国蜱传寄生虫病流行现状及防控 [J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2019, 31(1): 58-62.)
- [6] Lv XH, Liu HX, Guo XQ, et al. Investigation and analysis on species and distribution of ticks in Songjiang district of Shanghai [J]. Chin J Hyg Insectic Equipments, 2015, 21(4): 378-380. (in Chinese)
(吕锡宏, 刘洪霞, 郭晓芹, 等. 上海市松江区蜱虫种类及分布的调查分析 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2015, 21 (4): 378-380.)
- [7] Xin Z, Wang D, Yang GL, et al. Status of tick distribution and tick-borne pathogens in Jinan City [J]. Chin J Vector Biol Control, 2015, 26(2): 179-181. (in Chinese)
(辛正, 王东, 杨国樑, 等. 济南市蜱分布及带病毒状况调查 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015, 26(2): 179-181.)
- [8] Zhao Q, Gao LJ, Tang ZQ, et al. Investigation of species, temporal and spatial distribution of ticks in Henan Province, China [J]. Chin J Vector Biol Control, 2015, 26(1): 75-77. (in Chinese)
(赵奇, 高丽君, 唐振强, 等. 河南省蜱种类和地理分布及季节消长调查 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2015, 26(1): 75-77.)
- [9] Chen LH, Ayiken, Zhao M. Distribution and population composition of ticks in Changji State [J]. Chin J Hyg Insectic Equipments, 2017, 23(4): 376-377. (in Chinese)
(陈联宏, 阿依肯, 赵明. 昌吉州蜱类群落组成和分布 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2017, 23(4): 376-377.)
- [10] Yang Y, Du YD. Progress in research of tick-borne encephalitis [J]. Chin J Epidemiol, 2016, 37 (10): 1435-1438. (in Chinese)
(杨艳, 杜彦丹. 蜱传脑炎研究进展 [J]. 中华流行病学杂志, 2016, 37(10): 1435-1438.)
- [11] Li Y, Yang M, Mou D, et al. Epidemiological analysis of severe fever with thrombocytopenia syndrome from 2010 to 2017, China [J]. China J Emerg Resusc Disaster Med, 2018, 13(11): 1076-1079. (in Chinese)
(李昱, 杨明, 牟笛, 等. 2010–2017 年全国发热伴血小板减少综合征流行特征分析 [J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2018, 13(11): 1076-1079.)
- [12] Liu ZJ, Zheng L, Zhang AQ, et al. Research progress of clinical epidemiology, prevention and treatment on human granulocytic anaplasmosis [J]. Chin J Hyg Insectic Equipments, 2018, 24(5): 417-422. (in Chinese)
(刘增加, 郑龙, 张爱勤, 等. 人粒细胞无形体病临床流行病学与防治研究现状 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2018, 24(5): 417-422.)
- [13] Liang SY, Zhou MH. Research progress in tick-borne diseases [J]. Chin J Hyg Insectic Equipments, 2014, 20 (1): 77-81. (in Chinese)
(梁姝怡, 周明浩. 蜱媒传染病研究进展 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2014, 20(1): 77-81.)
- [14] Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, et al. Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe [J]. Interdiscip Perspect Infect Dis, 2009, 2009: 593232.
- [15] Stephenson N, Wong J, Foley J. Host, habitat and climate preferences of *Ixodes angustus* (Acari: ixodidae) and infection with *Borrelia burgdorferi* and *Anaplasma phagocytophilum* in California, USA [J]. Exp Appl Acarol, 2016, 70(2): 239-252.
- [16] Sun RX, Lai SJ, Yang Y, et al. Mapping the distribution of tick-borne encephalitis in mainland China [J]. Ticks Tick Borne Dis, 2017, 8(4): 631-639.
- [17] Torina A, Blanda V, Blanda M, et al. A geographical information system based approach for integrated strategies of tick surveillance and control in the Peri-Urban natural reserve of Monte Pellegrino (Palermo, Southern Italy) [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(3): E404.
- [18] Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, et al. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia [J]. Glob Health Action, 2011, 4: 8448.
- [19] Liu QY. The impacts of climate change on vector-borne diseases [J]. Chin J Hyg Insectic Equipments, 2013, 19(1): 1-7, 12. (in Chinese)
(刘起勇. 气候变化对媒介生物性传染病的影响 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2013, 19(1): 1-7, 12.)
- [20] He Y. Progress in the correlation between weather factors and the infectious diseases [J]. Occup Heal, 2015, 31(22): 3192-3194. (in Chinese)
(何燕. 气象因素与传染性疾病的相关性研究进展 [J]. 职业与健康, 2015, 31(22): 3192-3194)
- [21] Li S, Heyman P, Cochez C, et al. A multi-level analysis of the relationship between environmental factors and questing *Ixodes ricinus* dynamics in Belgium [J]. Parasit Vectors, 2012, 5(1): 149.
- [22] Li JX, Li L, Guo LP. Study on Relationships between infectious diseases and meteorological factors [J]. J Med Pest Control, 2014, 30(4): 402-408. (in Chinese)
(李俊霞, 李磊, 果丽平. 传染病与气象因素的关系研究 [J]. 医学动物防制, 2014, 30(4): 402-408.)
- [23] Wu F, Li ZQ, Tan JJ, et al. Outbreak of diarrhea during flood rescue in Asopo Province in 2018 [J]. Mil Med Sci, 2019, 43(2): 150-154. (in Chinese)
(吴凡, 李志强, 谭俊杰, 等. 2018 年阿速坡省洪涝灾害中腹

- 泻疾病的调查分析[J]. 军事医学, 2019, 43(2): 150-154.)
- [24] Ogden NH, Lindsay LR. Effects of climate and climate change on vectors and vector-borne diseases: ticks are different[J]. Trends Parasitol, 2016, 32(8): 646-656.
- [25] Zhou SY, Zhang Y, Guo YB, *et al.* Application of autoregressive integrated moving average model in predicting food-borne diseases in Ningbo [J]. Chin J Heal Lab Technol, 2019, 29(17): 2169-2171, 2174. (in Chinese)
(周绍英, 张琰, 郭延波, 等. 自回归求和滑动平均模型在宁波市食源性疾病发病人数预测中的应用 [J]. 中国卫生检验杂志, 2019, 29(17): 2169-2171, 2174.)
- [26] Gall CA, Reif KE, Scoles GA, *et al.* The bacterial microbiome of *Dermacentor andersoni* ticks influences pathogen susceptibility[J]. ISME J, 2016, 10(8): 1846-1855.
- [27] Raši T, Majláth I, Bogdziewicz M, *et al.* Tick distribution along animal tracks: implication for preventative medicine [J]. Ann Agric Environ Med, 2018, 25(2): 360-363.
- [28] Man SQ, Fu YF, Pan XZ. Overview of several tick-borne diseases in China [J]. Infect Dis Inf, 2015, 28 (3): 137-140, 144. (in Chinese)
(满素琴, 付永锋, 潘孝彰. 我国若干蜱媒疾病概况[J]. 传染病信息, 2015, 28(3): 137-140, 144.)
- [29] Song Y, Zhan JB. Progress on research for fever with thrombocytopenia syndrome associated with a novel disease [J]. J Public Heal Prev Med, 2016, 27(3): 28-31. (in Chinese)
(宋毅, 占建波. 新发传染病发热伴血小板减少综合征研究[J]. 公共卫生与预防医学, 2016, 27(3): 28-31.)

(收稿日期: 2019-09-09 编辑: 陈勤)

(上接第 122 页)

- 611-618.
- [15] Sajid M, Mckerrow JH. Cysteine proteases of parasitic organisms [J]. Mol Biochem Parasitol, 2002, 120(1): 1-21.
- [16] Kang JM, Bahk YY, Cho PY, *et al.* A family of cathepsin F cysteine proteases of *Clonorchis sinensis* is the major secreted proteins that are expressed in the intestine of the parasite [J]. Mol Biochem Parasitol, 2010, 170(1): 7-16.
- [17] Alfieri SC, Correia CE, Motegi SA, *et al.* Proteinase activities in total extracts and in medium conditioned by *Acanthamoeba polyphaga* trophozoites [J]. J Parasitol, 2000, 86(2): 220-227.
- [18] Hong Y, Kang JM, Joo SY, *et al.* Molecular and biochemical properties of a cysteine protease of *Acanthamoeba castellanii* [J]. Korean J Parasitol, 2018, 56(5): 409-418.
- [19] Ho CY, Kwang YK, Seong YP, *et al.* Cloning of a cysteine proteinase gene from *Acanthamoeba culbertsoni* [J]. Mol Cells, 1999, 9(5): 491-496.
- [20] Hirukawa Y, Nakato H, Izumi S, *et al.* Structure and expression of a cyst specific protein of *Acanthamoeba castellanii* [J]. Biochim Biophys Acta, 1998, 1398(1): 47-56.
- [21] Moon EK, Chung DI, Hong YC, *et al.* Autophagy protein 8 mediating autophagosome in encysting *Acanthamoeba* [J]. Mol Biochem Parasitol, 2009, 168(1): 43-48.
- [22] Siddiqui R, Khan NA. *Acanthamoeba* is an evolutionary ancestor of macrophages: a myth or reality? [J]. Exp Parasitol, 2012, 130(2): 95-97.
- [23] Lemasters JJ. Selective mitochondrial autophagy, or mitophagy, as a targeted defense against oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and aging [J]. Rejuvenation Res, 2005, 8(1): 3-5.
- [24] Moon EK, Hong Y, Chung DI, *et al.* Cysteine protease involving in autophagosomal degradation of mitochondria during encystation of *Acanthamoeba* [J]. Mol Biochem Parasitol, 2012, 185(2): 121-126.
- [25] Lee JY, Song SM, Moon EK, *et al.* Cysteine protease inhibitor (AcStefin) is required for complete cyst formation of *Acanthamoeba* [J]. Eukaryot Cell, 2013, 12(4): 567-574.

(收稿日期: 2019-08-14 编辑: 衣凤芸)