

温度对中华大蟾蜍和中华鳖冬眠前离体红细胞免疫功能及其大小的影响

董晓敏 周显青* 王迎

(首都医科大学基础医学院实验动物学系 北京 100069)

摘要:为了探讨温度变化对中华大蟾蜍 (*Bufo gargarizans*) 和中华鳖 (*Trionyx sinensis*) 离体红细胞免疫功能及细胞大小的影响,我们设计了 10、20、30、37 4 个温度组,通过红细胞 C₃b 受体花环试验和红细胞免疫复合物花环试验检测红细胞免疫活性,同时测量其红细胞大小。结果表明,温度对中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率影响显著,随着温度的升高,中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率逐渐降低,在 30 和 37 时,其红细胞 C₃b 受体花环率明显比 10 时低;而温度对其离体红细胞免疫复合物花环率和红细胞大小却没有显著影响。温度对中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率、免疫复合物花环率及其大小亦没有显著影响。除了 10 时中华鳖离体红细胞免疫复合物花环率与中华大蟾蜍没有明显差别外,其余各温度下中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率和免疫复合物花环率均明显比中华大蟾蜍的高,而其红细胞的长径和短径却明显比中华大蟾蜍红细胞的小。这说明,温度能明显影响中华大蟾蜍离体红细胞免疫功能,而对中华鳖离体红细胞的免疫活性影响不明显,随着动物进化程度的提高,中华鳖红细胞对温度变化的适应能力和免疫活性比中华大蟾蜍明显增强。

关键词: 温度;中华大蟾蜍;中华鳖;红细胞大小;免疫功能

中图分类号: Q955 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2009)03-101-07

Immune Functions and Sizes of Erythrocytes from Pre-hibernal *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis*: in vitro Effects of Temperature

DONG Xiao-Min ZHOU Xian-Qing* WANG Ying

(Department of Laboratory Animal Science, School of Basic Medical Sciences, Capital Medical University, Beijing 100069, China)

Abstract: This study investigated the effects of different temperatures (10, 20, 30, 37) on the immune functions and sizes of *in vitro* erythrocytes from the pre-hibernal Chinese Big Toad (*Bufo gargarizans*) and the Soft-shelled Turtle (*Trionyx sinensis*). The erythrocytic immunocompetence was observed by the tests of erythrocyte-C₃b receptor rosette (E-C₃bR) and erythrocyte immune complex rosette (E-ICR), and the long-diameter and short-diameter of erythrocyte were measured. The results showed that, in Chinese Big Toad, the rate of E-C₃bR rosette was reduced with temperature increasing from 10 to 37, significantly lower at 30 and 37 than at 10, indicating that the temperature plays an important role in formation of E-C₃bR rosette. However, the rates of E-ICR rosette and erythrocyte sizes had no significant change at different temperatures. Besides, in the Soft-shelled Turtle, the rates of E-C₃bR rosette, E-ICR rosette and the erythrocyte size had no significant difference among different temperature groups.

*通讯作者, E-mail: xianqingzhou@yahoo.com.cn;

第一作者介绍 董晓敏,女,硕士研究生;研究方向:环境生理学;E-mail: dxm.1983@yahoo.com.cn。

收稿日期:2009-02-05, 修回日期:2009-03-26

The results also demonstrated that the rates of E-C₃bR rosette and E-ICR rosette in the Soft-shelled Turtle were higher than those of the Chinese Big Toads at different temperatures, except the rate of E-ICR rosette at 10 °C, while the long-diameter and short-diameter of erythrocyte in Soft-shelled Turtle were obviously smaller than those of toads. The results above demonstrate that the temperature significantly affects the immune functions of erythrocyte in Chinese Big Toad, but not in Soft-shelled Turtle. Therefore, with animal evolution, the endurance to the temperature changes and the erythrocyte immunocompetence in Soft-shelled Turtle is higher than that in Chinese Big Toad.

Key words: Temperature; Chinese Big Toad (*Bufo gargarizans*); Soft-shelled Turtle (*Trionyx sinensis*); Erythrocyte size; Immune function

Nelson^[1]于1953年发现哺乳动物红细胞具有清除循环免疫复合物的功能,打破了红细胞只具有运输O₂和CO₂功能的传统认识。1981年,Siegel^[2]等证实了红细胞具有免疫黏附的重要功能,并提出了“红细胞免疫系统(red-cell immune system, RCIS)”的概念。现已证明,红细胞膜表面补体受体分子,特别是补体受体1型(complement receptor type 1, CR1)介导的红细胞免疫黏附机制是红细胞发挥免疫功能的基本手段^[3]。而CR1的活性通常可由红细胞C₃b受体花环结合率和红细胞免疫复合物(immune complex, IC)花环结合率的高低来体现^[4]。程树军等^[5]研究表明,食蟹猴(*Macaca fascicularis*)红细胞C₃b受体花环率和免疫复合物花环率成年组均高于老年组,但恒河猴(*M. mulatta*)不同年龄组红细胞C₃b受体花环率和免疫复合物花环率无明显差异;少数年龄段的食蟹猴红细胞C₃b受体花环率较恒河猴高,而多数年龄段的食蟹猴免疫复合物花环率较恒河猴高。缺锌和高锌均使鹅(*Anser domestica*)的红细胞C₃b受体花环率及红细胞免疫复合物花环率降低^[6]。对不同种鱼类的红细胞C₃b受体花环率的比较研究表明,其红细胞免疫功能在种间、杂交种与其亲本之间以及种内不同群体间都存在差异^[7]。虹鳉鱼(*Oncorhynchus mykiss*)红细胞能够结合自身或人类血清调理的免疫复合物,而鲇鱼(*Ictalurus punctatus*)红细胞却不能结合^[8]。黄芪多糖通过影响红细胞膜补体受体的活性和数量从而增强鸡(*Gallus domesticus*)红细胞免疫黏附功能^[9]。长时间剧烈运动明显抑制大鼠(*Rattus norvegicus*)红细胞免疫黏附力,而中药

红景天可明显改善其对大鼠红细胞的抑制作用^[10]。这些研究结果表明,红细胞的免疫功能是很复杂的,受多种因素影响。在爬行动物红细胞免疫功能研究中表明,中华鳖(*Trionyx sinensis*)的5个品种黄河鳖、淮河鳖、洞庭湖鳖、鄱阳湖鳖、太湖鳖,其红细胞均能黏附致敏酵母和肿瘤细胞形成花环,且5个品种的红细胞黏附肿瘤细胞的能力无显著差异^[11];进一步的研究发现,亚硒酸钠、硒酵母、果糖和-葡聚糖4种免疫增强剂能不同程度地增加中华鳖血液中红细胞数量及其红细胞免疫功能^[12]。

纵观国内外的研究报道,目前关于红细胞免疫的研究大多集中在哺乳动物和人(*Homo sapiens*)^[2-5,7,10,13,14],禽类和鱼也有少量报道^[6-8]。中华大蟾蜍(*Bufo gargarizans*)是我国特产动物,分布广泛,能消灭多种农作物害虫,是动物药蟾酥的药源,已用于医学和生物学实验研究。中华鳖是我国重要的特种经济动物。鉴于此,本研究观察了温度对中华大蟾蜍和中华鳖红细胞免疫功能的影响,以期揭示温度与其红细胞免疫活性之间的关系以及两种动物红细胞免疫功能的异同,同时为中华大蟾蜍和中华鳖红细胞免疫功能的研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验动物

中华大蟾蜍(10月底)购自北京阎村新生蟾蜍养殖中心,均为健康的个体,体重范围在100~200g,共10只,每只单养在25cm×20cm×10cm的塑料盒中,温度控制在(10±0.1)°C。中华鳖(10月底)购自北京顺原养殖场,10只体重在80~150g的健康中华鳖饲养在75cm×25cm×25cm玻璃缸中,每缸5

只,水温控制在 (10 ± 0.1) 。蟾蜍和中华鳖的光照周期均为 12 hL:12 hD。在此条件下驯化 21 d,使其适应环境条件。驯化结束后,将蟾蜍乙醚麻醉 3~5 min,然后心脏取血,中华鳖颈部静脉取血,血液用 ACD(0.48% 柠檬酸,1.32% 柠檬酸钠,1.47% 葡萄糖)抗凝剂抗凝,备用。

1.2 方法

1.2.1 红细胞悬液制备 取上述中华大蟾蜍和中华鳖血液各 0.1 ml,加入 pH = 7.1 的 PBS 液,用低速自动平衡离心机(LDZ5-2) 3 000 r/min 离心 3~4 min,洗涤,弃上清液;反复 3 次,高倍显微镜下镜检没有白细胞;配成 1.25×10^7 个/ml 的红细胞悬液。

1.2.2 C₃b 致敏酵母的制备 将新鲜酵母(购自河北马利食品有限公司)用生理盐水洗涤 3 次,配成 1% 的酵母菌悬液,置水浴锅内煮沸 30 min;过滤,在显微镜下呈单个酵母菌细胞分散状态,酵母细胞悬液中加入等量小鼠血清(购自北京莱博生物实验材料研究所)混合,37℃ 作用 15 min,生理盐水洗涤一次,2 500 r/min 离心 10 min,去除上清,用生理盐水重新混匀,计数后酵母菌浓度配成 1.0×10^8 个/ml,即为致敏酵母菌悬液。

1.2.3 红细胞 C₃b 受体花环试验 按照郭峰等^[7]的方法测定红细胞 C₃b 受体花环率。取 C₃b 致敏的酵母悬液及红细胞悬液各 50 μl 加入细胞培养板孔混匀,每个样品做 2 个平行,分别在 10、20、30、37℃ 4 个不同温度下孵育 30 min;然后每孔加生理盐水 100 μl 混匀;再加 0.25% 戊二醛 25 μl;每孔涂 2 张平行片,自然干燥,甲醇固定 1 min,用瑞氏染液染色 5 min,用 pH = 6.5 的 PBS 液冲洗 5 min;自来水洗 3~5 min;自然晾干,高倍镜检。以 1 个红细胞黏附 1 个或 1 个以上酵母菌者为 1 个花环,计数 200 个红细胞,依照下列公式计算红细胞 C₃b 受体花环率:红细胞 C₃b 受体花环率 = $n_1/200 \times 100\%$,其中, n_1 表示黏附 1 个或 1 个以上酵母菌的红细胞个数。

1.2.4 红细胞免疫复合物花环试验 按照郭

峰等^[7]的方法测定红细胞免疫复合物花环率,除酵母菌(1×10^8 个/ml)不加小鼠血清致敏外,其余步骤均与红细胞 C₃b 受体花环试验相同。红细胞免疫复合物花环率的计算公式为:红细胞免疫复合物花环率 = $n_2/200 \times 100\%$,其中, n_2 表示黏附 1 个或 1 个以上未致敏酵母的红细胞个数。

1.2.5 红细胞长径与短径长度的测定 在显微镜下,用 Motic Images Advanced 3.2 (北京麦克奥迪仪器仪表有限公司)测量红细胞长、短径。每只中华大蟾蜍和中华鳖各取 5 个红细胞进行测量,求其平均值为每只动物红细胞的长、短径。

1.2.6 统计分析 实验所得数据采用 SPSS 10.0 统计软件包进行统计分析。用两组独立样本的 *t* 检验(Independent-Sample *t*-test)比较同一温度下两种动物间的差异;单因素方差分析(One-way ANOVA)检验同一动物不同温度组间的差异,而后用 LSD(Least-Significant-Difference)多重比较,分析不同组间的差异。结果均以平均值 ± 标准误表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 不同温度下中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环的变化 单因素方差分析表明,温度对中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率影响显著($F = 4.363, P = 0.010$),随着温度的升高,中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率逐渐降低,在 30 和 37℃ 时,其红细胞 C₃b 受体花环率明显比 10℃ 时低(其 P 值分别为 $P = 0.021, P = 0.001$,图 1)。温度对中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率没有显著影响($F = 1.021, P = 0.395$),虽然随着温度升高其红细胞 C₃b 受体花环率有升高趋势,但不同温度下无显著差异。独立样本 *t* 检验表明,在相同温度下,中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率均明显比中华鳖低(图 1)。红细胞与酵母菌形成花环见图 2。

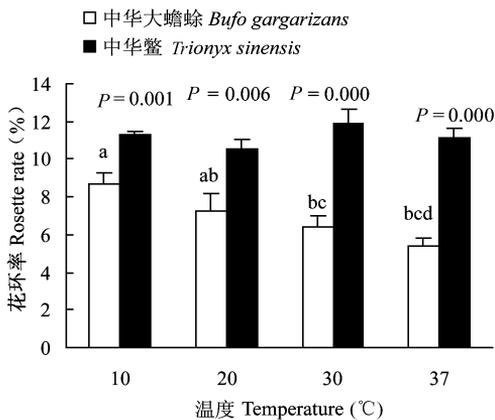


图1 温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率的影响 (平均值 ±标准误)

Fig.1 Effects of temperature on the rates of erythrocyte C₃b receptor rosette in

Bufo gargarizans and *Trionyx sinensis* (Mean ±SE) P 值表示每个温度下中华大蟾蜍与中华鳖比较的结果 (t 检验);LSD 多重比较,上标字母完全不同表示不同温度组间差异显著 (P<0.05)。

P values were the comparative results between *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* in each temperature group (t-test); LSD multiple range test, the values with different superscripts are significantly different among different groups. Differences were considered significant at P<0.05.

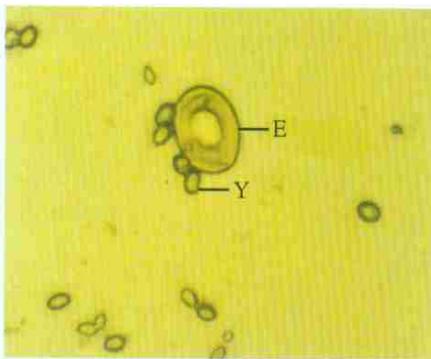


图2 红细胞与酵母菌形成的花环

Fig.2 The rosette made by erythrocytes binding yeast

E. 红细胞; Y. 酵母菌。(瑞氏染色, 10 ×40)

E. Erythrocyte; Y. Yeast. (Wright's dye, 10 ×40)

2.2 不同温度下中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞免疫复合物花环的变化 单因素方差分析表明,温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞

免疫复合物花环率没有显著影响(其 F 值和 P 值分别为 F = 0.526, P = 0.667; F = 1.115, P = 0.356),虽然随着温度升高,中华大蟾蜍红细胞免疫复合物花环率有降低趋势,而中华鳖红细胞免疫复合物花环率有升高趋势,但不同温度下都无显著差异。独立样本 t 检验表明,在 20、30、37 3 个温度下,中华大蟾蜍红细胞免疫复合物花环率明显比中华鳖红细胞的低(其 P 分别为 0.001,0.000,0.000),而在 10 时二者没有显著差异 (P = 0.163) (图 3)。

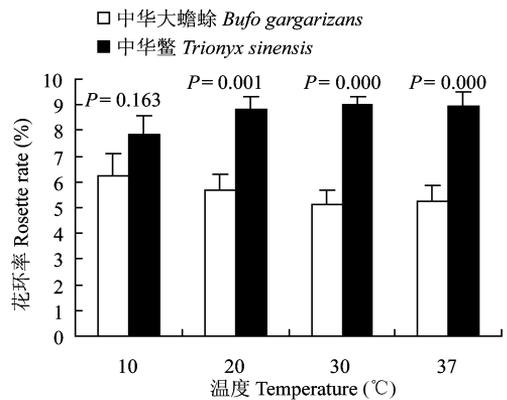


图3 温度对中华大蟾蜍和中华鳖红细胞免疫复合物花环率的影响 (平均值 ±标准误)

Fig.3 Effects of temperature on the rates of erythrocyte immune complex rosette in *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* (Mean ±SE)

P 值表示每个温度下中华大蟾蜍与中华鳖比较的结果 (t 检验)。

P values were the comparative results between *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* in each temperature group (t-test). Differences were considered significant at P<0.05.

2.3 不同温度下中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞长径与短径的变化 单因素方差分析表明,温度对中华大蟾蜍和中华鳖红细胞大小没有显著影响。中华大蟾蜍红细胞的长、短径范围分别是 22.80 ~ 25.68 μm、15.69 ~ 17.60 μm,其均值分别为 22.24 μm、16.64 μm;中华鳖红细胞的长、短径范围分别是 17.84 ~ 18.75 μm、10.55 ~ 11.0 μm,其均值分别为 18.30 μm、10.77 μm。独立样本 t 检验表明,在相同温度下,中华

大蟾蜍红细胞的长、短径均明显比中华鳖红细胞的大(图 4、5)。

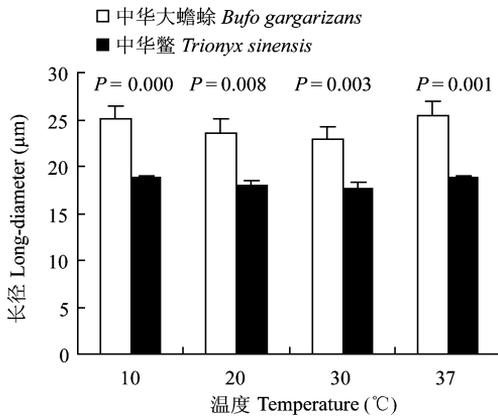


图 4 温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞长径的影响(平均值 ±标准误)

Fig. 4 Effects of temperature on the long diameters of erythrocyte in *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* (Mean ±SE)

P 值表示每个温度下中华大蟾蜍与中华鳖比较的结果(t -检验); $P < 0.05$ 表示组间差异显著。

P values were the comparative results between *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* in each temperature group (t -test). Differences were considered significant at $P < 0.05$.

3 讨论

3.1 温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞免疫功能的影响 在无脊椎动物进化到脊椎动物过程中,补体调控蛋白家族(complement control proteins, CCPs)激活补体及其他级联反应、识别非自身组织的功能被保留下来。在脊椎动物进化过程中,补体调控蛋白家族 CCPs 扩大了,如从脊椎动物到人类出现了许多补体调控蛋白簇集^[15],补体受体 1 型(CR1)是补体调控蛋白家族中的一员^[16]。红细胞的免疫黏附作用主要由 CR1 介导^[17]。红细胞免疫黏附属于非特异性免疫黏附范围。非特异性免疫也称天然免疫,是机体预防病原体的天然屏障。它是物种进化过程中,长期与自然界各种病原体抗争中逐步形成的。目前的研究表明,鱼类的牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[18]和虹鳟^[8]、鸟类的

鸡^[9]以及哺乳类动物中很多动物的红细胞都具有免疫黏附作用。不同种属动物,其红细胞 CR1(C₃b 受体)的数量明显不同,动物进化程度越高,其红细胞膜上 C₃b 受体含量越高^[7]。

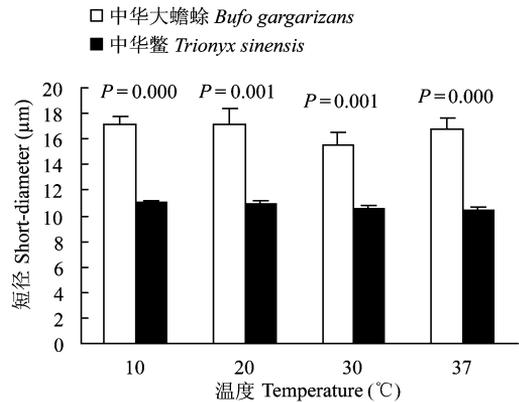


图 5 温度对中华大蟾蜍和中华鳖红细胞短径的影响(平均值 ±标准误)

Fig. 5 Effects of temperature on short diameters of erythrocyte in *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* (Mean ±SE)

P 值表示每个温度下中华大蟾蜍与中华鳖比较的结果(t -检验), $P < 0.05$ 表示组间差异显著。

P values were the comparative results between *Bufo gargarizans* and *Trionyx sinensis* in each temperature group (t -test). Differences were considered significant at $P < 0.05$.

本实验结果显示,温度对中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率有明显影响,随着温度的升高,中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率逐渐降低,在 30 和 37 温度时,其红细胞 C₃b 受体花环率明显低于 10 时;而温度对其离体红细胞免疫复合物花环率没有显著影响,虽然随着温度升高,其免疫复合物花环率出现了降低趋势,但不同温度下没有显著差异。这说明,中华大蟾蜍红细胞具有黏附异物的能力,表明其红细胞表面存在 1 型补体受体 CR1(C₃b 受体)。表明 Siegel 等^[2]提出的“红细胞免疫系统”的概念也适用于两栖类动物;同时也表明,中华大蟾蜍在其生活温度 10 时红细胞免疫功能最高,高于此温度,其红细胞免疫能力下降;中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率比免疫复合

物花环率对温度的变化更敏感。孟跃华等^[19]研究发现,温度对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)血液中离体吞噬细胞活性有影响,20~30 时细胞的吞噬活力几乎比4~10 时高一倍,但是温度过高却不利于细胞的吞噬反应。关于温度对两栖和爬行动物离体红细胞免疫功能影响,迄今未见报道,没有数据可供比较。中华大蟾蜍离体红细胞 C₃b 受体花环率在30 和37 时明显降低,可能是由于实验所用的冬眠前蟾蜍(其生活温度为10) ,其体内细胞的生理及免疫功能已适于低温状态,高孵育温度的应激刺激,抑制了其红细胞的免疫功能,因而导致了30 和37 孵育温度下,其红细胞 C₃b 受体花环率明显低于10 时的现象。温度对红细胞整体功能状态有一定的影响,红细胞免疫黏附作用由CRI 介导,CRI 的活性可能在动物的生活温度下最高,因而出现了中华大蟾蜍离体红细胞的免疫活性最高时的温度与其机体生存温度相一致的现象。

不同孵育温度对中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率和红细胞免疫复合物花环率没有明显影响。关于中华鳖红细胞免疫功能的研究报道极少,刘至治等^[11,12]先后报道了不同类群的中华鳖免疫功能的差异,以及免疫促进剂对其免疫功能的影响。不同孵育温度对中华鳖离体红细胞免疫功能没有显著影响,可能是由于其红细胞体外孵育的时间还没有达到其改变的时间所致,同时也说明中华鳖离体红细胞对温度的变化有一定的耐受性。中华鳖在冬眠期,其体温、呼吸频率、耗氧量和心率均显著低于活动期,而红细胞数、血红蛋白含量及血糖浓度等却高于活动期^[20]。

本研究表明,中华鳖离体红细胞 C₃b 受体花环率和免疫复合物花环率均明显高于中华大蟾蜍。这说明中华鳖红细胞的免疫功能明显高于中华大蟾蜍。虽然中华大蟾蜍和中华鳖都属于变温动物,其体温随着外界温度变化而变化,但从进化地位上讲,属于爬行动物的中华鳖比属于两栖类的中华大蟾蜍进化程度要高,这说明随着进化程度的升高,不仅红细胞的免疫功

能在增强,而且其对温度变化的耐受性也在增强。

3.2 温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体细胞大小的影响

本研究表明,不同孵育温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞的长径及短径均没有明显影响。这说明,温度对中华大蟾蜍和中华鳖离体红细胞的大小没有影响。杨严鸥等^[21]报道,生活在不同温度下的黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*),其红细胞的长径及长径/短径有明显变化,10 时长径数值最大,而短径无显著变化。生活在不同温度下的人,其红细胞的形态、大小以及表面电荷密度都有明显变化,随着环境温度的升高,人红细胞逐渐减小,说明人的红细胞形态大小与环境温度密切相关^[22]。两栖和爬行类动物均为变温动物,其体温随外界温度而改变,对其内环境造成影响。本研究仅探讨了温度对蟾蜍和中华鳖离体红细胞长、短径的影响,而温度对其体内红细胞大小的影响,有待于进一步观察。

一般而言,脊椎动物进化程度越高,其红细胞体积越小,数量越多^[23]。本研究表明,中华大蟾蜍红细胞的长径和短径分别为22.24 μm、16.64 μm,均明显比中华鳖的长径(18.30 μm)及短径(10.77 μm)长。这表明,中华鳖的红细胞明显比中华大蟾蜍的红细胞小,符合随着进化程度的提高红细胞变小的规律。

综上所述,中华大蟾蜍红细胞具有免疫黏附功能,而且温度对其离体红细胞免疫功能影响显著,但对中华鳖离体红细胞免疫活性没有明显影响。说明中华大蟾蜍红细胞对温度的变化较敏感,而且其红细胞 C₃b 受体花环率是其较为敏感的指标。中华鳖红细胞的免疫功能明显高于中华大蟾蜍,但其红细胞却明显比中华大蟾蜍的小。这说明,随着进化程度的提高,中华鳖红细胞对温度的变化适应能力和免疫活性比中华大蟾蜍明显增强。

参 考 文 献

- [1] Nelson R A. The immune adherence phenomenon. *Science*, 1953, 118: 733 ~ 737.

- [2] Siegel I, Liu T L, Geicher N. The red-cell immune system. *Lancet*, 1981, **2**(8246): 556.
- [3] 刘险峰. 红细胞膜表面分子与红细胞免疫. 国外医学 免疫学分册, 2004, **27**(4): 221 ~ 224.
- [4] Birmingham D J, Hebert L A. CR1 and CR1-like: the primate immune adherence receptors. *Immunological Reviews*, 2001, **180**: 100 ~ 111.
- [5] 程树军, 黄韧, 秦瑶. 恒河猴和食蟹猴红细胞免疫黏附功能的比较. 中国兽医科技, 2003, **33**(3): 59 ~ 61.
- [6] 钟映梅, 孙刚, 张俊峰等. 锌对鹅红细胞免疫功能的影响. 畜牧兽医科技信息, 2007, (2): 34 ~ 35.
- [7] 郭峰, 钱宝华, 张乐之. 现代红细胞免疫学. 上海: 第二军医大学出版社, 2002, 273 ~ 275.
- [8] Schraml B, Baker M A, Reilly B D. A complement receptor for opsonized immune complexes on erythrocytes from *Oncorhynchus mykiss* but not *Ictalurus punctatus*. *Molecular Immunology*, 2006, **43**: 1 595 ~ 1 603.
- [9] Li H Q, Lloyd R J, Wang J D. Effect of *Astragalus polysaccharides* on erythrocyte immune Chickens inoculated with infectious bursal disease virus. *Agricultural Sciences in China*, 2007, **6**(11): 1 402 ~ 1 408.
- [10] Soong P, Hu Q C, Karch R, et al. Effects of high intensity training and herbs on immune function of red cell in rats. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2002, **34**(5): S115.
- [11] 刘至治, 蔡完其, 付立霞等. 中华鳖非特异性免疫功能的群体差异研究. 水生生物学报, 2004, **28**(4): 349 ~ 355.
- [12] 刘至治, 蔡完其, 季高华等. 几种免疫增强剂对中华鳖红细胞数量及免疫功能的影响. 上海水产大学学报, 2006, **15**(1): 1 ~ 6.
- [13] Edberg J C, Kimberly R P, Taylor R P. Functional characterization of non-human primate erythrocyte immune adherence receptors: implications for the uptake of immune complexes by the cells of the mononuclear phagocytic system. *European Journal of Immunology*, 1992, **22**(6): 1 333 ~ 1 339.
- [14] Taylor R P, Ferguson P J, Martin E N, et al. Immune complexes bound to the primate erythrocyte complement receptor (CR1) via anti-CR1 mAbs are cleared simultaneously with loss of CR1 in a concerted reaction in a rhesus monkey model. *Clinical Immunology and Immunopathology*, 1997, **82**(1): 49 ~ 59.
- [15] Craig A M, Roger L D, Joseph F W, et al. Amino acid patterns within short consensus repeats define conserved duplicons shared by genes of the RCA complex. *Molecular Evolution*, 2004, **59**: 143 ~ 157.
- [16] Krych G, Goldber M, Atkinson J P. Structure function of complement receptor type 1. *Immunological Reviews*, 2001, **180**: 112 ~ 122.
- [17] Lindorfer M A, Hahn C S, Foley P L, et al. Heteropolymer-mediated clearance of immune complexes via erythrocyte CR1: mechanisms and applications. *Immunological Reviews*, 2001, **183**: 10 ~ 24.
- [18] 张振冬, 张培军, 莫照兰. 牙鲆红细胞免疫功能的初步研究. 高科技通讯, 2006, **16**(12): 1 312 ~ 1 315.
- [19] 孟跃华, 纪国良, 刘卫红. 温度对草鱼血液吞噬细胞吞噬作用的影响. 华中农业大学学报, 1990, **99**(3): 302 ~ 305.
- [20] 刘云, 杨小林, 王朝莉. 中华鳖冬眠期与活动期部分生理生化性质的比较研究. 四川大学学报(自然科学版), 2002, **39**(增刊): 82 ~ 84.
- [21] 杨严鸥, 姚峰, 吴继鹏等. 温度对黄颡鱼血细胞数量、大小及血清生化成分的影响. 长江大学学报(自然科学版), 2005, **2**(11): 58 ~ 59.
- [22] 姚成灿, 姚平, 黄耀熊. 环境温度对人红细胞膜形态和表面电荷的即时影响. 暨南大学学报(自然科学版), 2005, **26**(5): 689 ~ 693.
- [23] 马克勤, 郑光美. 脊椎动物比较解剖学. 北京: 高等教育出版社, 1984, 308 ~ 310.