

# 计算机电磁辐射对小鼠学习记忆和大脑神经递质的影响

秦粉菊<sup>1,2</sup> 聂继华<sup>2</sup> 曹毅<sup>2</sup> 李建祥<sup>2</sup> 童建<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (苏州科技学院化学与生物工程学院 苏州 215009)

<sup>2</sup> (苏州大学放射医学与公共卫生学院 苏州 215123)

**摘要** 为研究模拟网吧环境的计算机电磁辐射(Computer radiation, CR)对小鼠学习记忆及大脑神经递质的影响,采用清洁级雄性昆明小鼠32只,随机分为对照组(Control)、短时组(CR6h/d)、中时组(CR12h/d)和长时组(CR18h/d),各辐照组小鼠放置在模拟网吧环境开机运行的计算机正前方20 cm处(电场强度0.9V/m),连续30 d辐照,对照组被安排在没有辐射区。第31天采用Y型迷宫试验测试小鼠学习记忆能力,并测定小鼠大脑三种神经递质。结果发现,计算机辐射可导致小鼠学习记忆能力下降,大脑组织乙酰胆碱(Ach)含量下降,一氧化氮(NO)含量和谷氨酸(Glu)含量升高,乙酰胆碱酯酶(AchE)和一氧化氮合酶(NOS)活性升高,谷氨酰胺合成酶(GS)活性下降。以上结果说明,计算机电磁辐射降低了小鼠的学习记忆能力,这可能与影响了小鼠脑部的神经传递递质有关。

**关键词** 计算机辐射,学习记忆,乙酰胆碱,乙酰胆碱酯酶,一氧化氮,一氧化氮合酶,谷氨酸,谷氨酰胺合成酶

**中图分类号** Q691.5, X34, Q95-33

在现代社会,计算机已经成为人们工作和生活中不可缺少的工具,中国的计算机拥有量居世界第一。个人计算机最主要的辐射设备为计算机显示器的阴极射线管(Cathod ray tube, CRT),CRT显示器工作时,会产生宽波段( $30 \times 10^{14}$ — $715 \times 10^{14}$  Hz)低强度电磁辐射<sup>[1,2]</sup>。而且,电磁辐射对环境的污染早在1969就被联合国人类环境会议列为必须严格控制的现代公害之一。脑是对电磁辐射最敏感的器官之一,各国学者就电磁辐射对脑生物功能的影响进行了大量研究,很早就发现电磁辐射对人类学习记忆功能有影响。人们通过流行病学调查发现,电磁辐射可引起精神抑郁、失眠、头痛和记忆力下降等症状<sup>[3]</sup>。但目前的研究主要集中在高强度电磁辐射的生物学效应,以及低强度电磁辐射相关的流行病学研究,而关于网吧环境计算机低强度电磁辐射的生物学效应研究则较少。

本实验以脑部神经递质乙酰胆碱(Ach)、一氧化氮(NO)和谷氨酸(Glu)为指标,探讨了模拟网吧环境的计算机电磁辐射对小鼠学习记忆功能的影响。

## 1 实验材料和方法

### 1.1 实验材料

1.1.1 实验动物 筛选<sup>[4]</sup>适于Y型迷宫试验的清洁级雄性14周龄昆明种小鼠32只(购于苏州大学实验动物中心),体重( $40.03 \pm 7.73$ )g,常规饲料喂养。

1.1.2 主要仪器和试剂 EMR300电磁分析仪(德国NarDa公司)、MG-2型Y型迷宫刺激器(张家港生物医学仪器厂),TGL-16G型飞鸽高速台式冷冻离心机(上海安亭科学仪器厂),722PC可见分光光度计(岛津仪器苏州有限公司),考马斯亮兰蛋白检测试剂盒,一氧化氮、乙酰胆碱和谷氨酸含量检测试剂盒、一氧化氮合酶和乙酰胆碱酯酶活性检测试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,方正电脑(商祺6100型,CRT显示器)14台(苏州科技学院生理机能实验室)。

### 1.2 实验方法

1.2.1 实验动物分组及处理 将32只昆明种雄性

高校省级重点实验室开放课题(KJS0828)资助

第一作者:秦粉菊,女,1976年4月出生,2002年于西北农林科技大学获硕士学位,目前为在读博士研究生,卫生毒理学专业,讲师

通讯作者:童建, E-mail: tongjian@suda.edu.cn

收稿日期:初稿2009-08-31,修回2010-03-24

小鼠随机分成4组(对照组和短时、中时、长时3组辐照组),每组8只。开机运行的两排计算机之间距离为1m,辐照组放置于计算机(含屏幕、主机、键盘、鼠标)屏幕相距为20cm处,测得计算机电磁辐射强度为0.9V/m(取鼠笼四角和中间点五点电场强度测量值的平均值)(苏州大学放射医学与公共卫生学院提供的EMR300电磁分析仪测定),持续开机运行辐射30d。辐射短时组、中时组、长时3组,每天分别置于计算机辐射场6、12和18h(计算机设置自动定时关机)。对照组安排在没有辐射区(0V/m)。

**1.2.2 小鼠学习记忆能力的测定** 计算机辐射完成后,用Y型迷宫试验测定小鼠学习记忆能力。Y型迷宫由3个相互连通的臂组成。底面为可以通电的铜栅,周壁为绝缘塑料板。每臂顶设一个可以活动的的安全板,实验测试时,三臂轮流作起步区、安全区和危险区,以灯光作为条件刺激,非条件刺激为足底电击。测试开始时,将小鼠放入起步区,适应环境60s。在安全区给予灯光信号,灯光照射5s后通电(起步区、危险区带电),直到小鼠逃到安全区,灯光继续亮15s后熄灭,结束一次训练。此时又以安全区为下次训练的起步区。依次类推进行训练。以电击后一次性跑入安全区为正确反应,否则为错误反应当小鼠连续10次训练中有9次正确时,就认为小鼠已学会走电迷宫,此时的次数就是学会走迷宫所需的次数。24h后测定记忆成绩(第一次学习次数与24h后的学习次数之差占第一次学习次数的百分率)。

**1.2.3 大脑神经递质测定** 行为学实验完成后将小鼠脱颈处死,迅速解剖出大脑,制备10%的组织匀浆,考马斯亮蓝法检测脑组织蛋白质含量,硝酸还原酶法测定NO含量,比色法测定Ach含量,精氮

酸比色法测定NOS活性, Ellman'S比色法测定AchE活性。Glu含量测定按试剂盒说明方法进行,结果以每克蛋白催化生成的 $\alpha$ -氧戊二酸的物质的量( $\mu\text{mol}$ )来表示。GS活力测定按参考文献[5]进行,检测结果以每小时每毫克组织蛋白催化生成1 $\mu\text{mol}$   $\gamma$ 谷氨酰羟胺酸为1个GS酶活力单位。

**1.2.4 统计分析** 实验数据以( $\bar{x} \pm s$ )表示,采用SPSS12.0统计软件进行分析,组间比较采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)。

## 2 结果

### 2.1 小鼠学习记忆能力的改变

由表1可以看出,计算机辐射时间越长,学习的次数越多,即学习能力越差;同时随着计算机辐射时间的增加,记忆能力也逐渐降低。其中,长时组与对照组比较,学习记忆能力显著降低( $p < 0.05$ 或 $p < 0.01$ ),而中时组和短时组差异不显著( $p > 0.05$ )。

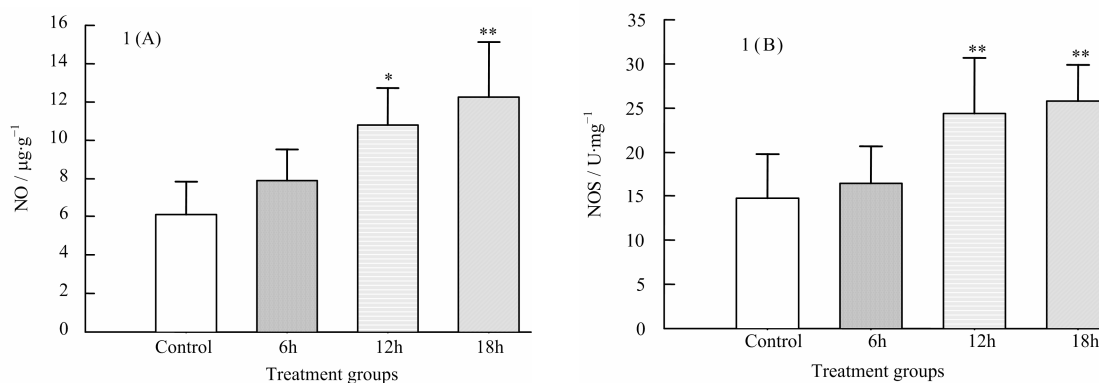
**Table 1 Results of Y-type maze test on mice after different time computer radiation(CR)** ( $\bar{x} \pm s, n=8$ )

Group	Learning ability/times	Memory ability /%
Control	22.67 $\pm$ 7.09	17.14 $\pm$ 2.10
CR6h/d	23.33 $\pm$ 6.02	15.83 $\pm$ 4.11
CR12h/d	26.62 $\pm$ 8.50	13.96 $\pm$ 3.06
CR18h/d	30.01 $\pm$ 7.55 <sup>(1)</sup>	10.08 $\pm$ 1.07 <sup>(2)</sup>

Note: Compared to the control, <sup>(1)</sup>  $p < 0.05$ , <sup>(2)</sup>  $p < 0.01$ .

### 2.2 小鼠大脑NO含量和NOS活性的改变

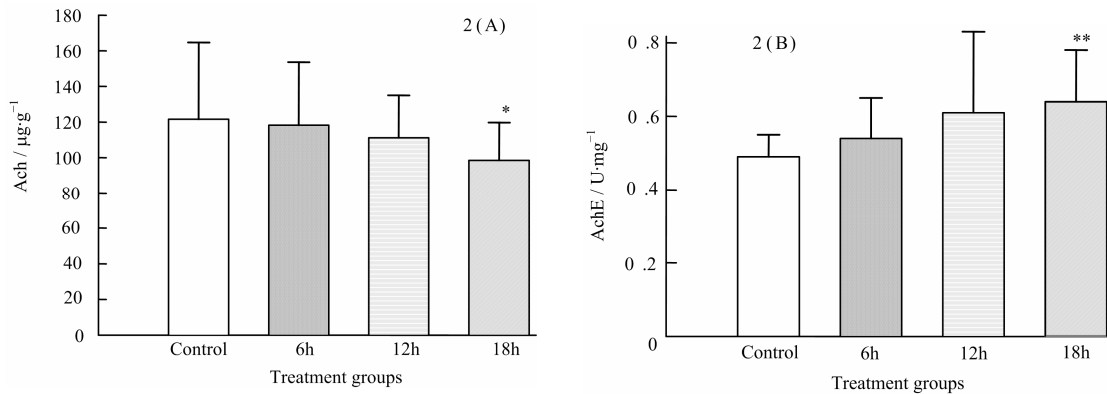
由图1可以看出,计算机辐射时间越长,NO含量越高,NOS活性升高。中时组和长时组与对照组比较,NO含量和NOS活性显著升高( $p < 0.05$ 或 $p < 0.01$ ),而短时组差异不显著( $p > 0.05$ )。



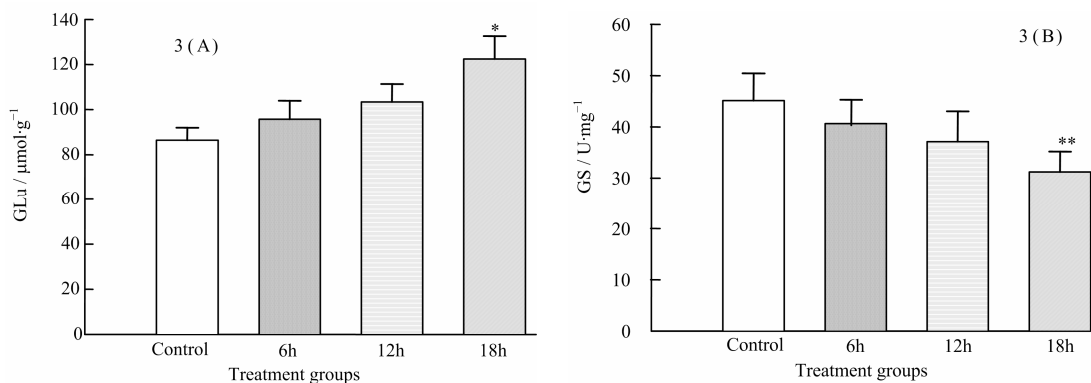
**Fig.1** The levels of NO(A) and the activities of NOS(B) were determined in cerebra of mice from control, CR6h, 12 h and 18 h groups. Values are represented as  $\bar{x} \pm s$  of 5 mice; signs in figures signify comparison to the control, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

### 2.3 小鼠大脑 Ach 含量和 AchE 活性的改变

由图 2 可以看出, 计算机辐射时间越长, Ach 含量减少, AchE 活性升高。长时辐射组较对照组 Ach 含量降低而 AchE 活性升高, 差异显著 ( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ ), 但短时辐射组和中时辐射组与对照组差异不显著 ( $p > 0.05$ )。



**Fig.2** The contents of Ach (A) and the activities of AchE (B) were determined in cerebra of mice from control, CR6h, 12h and 18h groups. Values are represented as  $\bar{x} \pm s$  of 5 mice; signs in figures signify comparison to the control, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$



**Fig.3** The contents of GLu (A) and the activities of GS (B) were determined in cerebra of mice from control, CR6h, 12h and 18h groups. Values are represented as  $\bar{x} \pm s$  of 5 mice; signs in figures signify comparison to the control, \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

## 3 讨论

人们很早就发现电磁辐射能够影响人的学习记忆功能<sup>[6,7]</sup>。动物实验结果和流行病学调查发现长期低强度电磁辐射具有明显的中枢神经损伤效应<sup>[8,9]</sup>。现在被人们普遍使用的计算机, 其电磁辐射强度很低, 但对于长期和长时接触计算机, 特别是计算机集中的网吧和计算机实验室, 电磁辐射强度较个人电脑显著增强。本试验就是模拟网吧环境, 利用计算机辐射 (电场强度 0.9 V/m, 功率密度  $0.22\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) 来处理小鼠, 检测其对小鼠学习记忆的影响。试验结果显示: 只有每天 18 h 计算机辐射组与对照组比较, 学习记忆能力显著降低, 而每天

### 2.4 小鼠大脑 GLu 含量和 GS 活性的改变

由图 3 可以看出, 计算机辐射时间越长, GLu 含量升高, GS 活性降低。长时辐射组较对照组 GLu 含量升高而 GS 活性降低, 差异显著 ( $p < 0.05$  或  $p < 0.01$ ), 但短时辐射组和中时辐射组与对照组差异不显著 ( $p > 0.05$ )。

短时计算机辐射对小鼠学习记忆无明显影响。

在中枢神经系统中, NO 作为不典型的信号分子对神经系统发挥作用, 包括脑组织发育过程中突触的发生, 与学习、记忆有关的突触可塑性及脑血流量的调节<sup>[10]</sup>。同时作为自由基, NO 在一定条件下又具有神经毒性作用, 以坏死或以凋谢方式杀死神经细胞<sup>[11]</sup>。NOS 在神经系统中有广泛分布, 是 NO 合成的关键酶, 主要有内皮型 (Endothelial NOS, eNOS)、神经元型 (Neuronal NOS, nNOS) 和诱导型 (Inducible NOS, iNOS) 3 种亚型, 前两者常合称为结构型 NOS (cNOS), 作为“生理性”酶形式在多种生物效应中发挥作用。iNOS 在基态下不起作用, 但 iNOS 被诱导后活性可持续达 20 h, 合成 nmol 水平

的 NO, 较 eNOS 合成的 NO 浓度约高 1000 倍<sup>[12]</sup>。因为高浓度 NO 对细胞有毒性作用, 因此 iNOS 可能以“病理性”酶形式起作用。此外, 用组织化学方法也证实神经元的损伤可引起大脑皮质、海马及小脑等许多脑区中 NOS 表达的增加<sup>[13,14]</sup>。在本试验结果显示, 计算机在每天长时间使用的情况下, 其低强度电磁辐射使小鼠脑内 NOS 活性增强, NO 含量增加, 可能造成了脑部神经元的受损, 进而引起小鼠学习记忆能力的降低。

学习记忆是哺乳动物的高级神经活动, 其神经基础为中枢神经系统的可塑性(神经网络、神经环路及突触连接), 其中突触连接是神经可塑性的关键部位。学习过程中, 胆碱能使突触的传递功能增强, 主要表现在突触后膜对乙酰胆碱(ACh)的敏感性增加<sup>[15]</sup>。在中枢神经系统中第一个被测定脑内含量的神经递质就是乙酰胆碱(ACh), 脑内细胞外液中 ACh 的变化与中枢神经系统功能的改变有着密切的关系<sup>[16,17]</sup>。Fadda 等<sup>[18]</sup>发现在连续 12 d 的放射状迷宫任务的学习过程中, 动物成绩的提高与脑部海马的 ACh 增加程度成正比。Casamenti 等<sup>[19]</sup>的实验表明, 选择性损毁基底核会导致大脑皮层 ACh 释放持续降低, 同时伴有被动回避反应和工作记忆的降低。由此可见, 乙酰胆碱(ACh)与学习记忆关系密切。乙酰胆碱酯酶(AChE)主要存在于神经元和神经肌肉的接头处, 其主要功能是在胆碱能突触处, 快速水解神经递质 ACh, 从而终止胆碱能神经的信号传递。AChE 活性增加会导致脑内学习记忆活动障碍, 经双侧颈总动脉永久结扎后形成的脑缺血状态可引起脑部 AChE 活性升高和学习记忆功能减退<sup>[20]</sup>。在本试验中, 在每天长时使用计算机情况下, 计算机低强度电磁辐射增加了小鼠大脑 AChE 的活性, 降低了 ACh 的含量。

谷氨酸(Glutamate)是哺乳动物中枢神经系统内最主要的兴奋性神经递质<sup>[21]</sup>。Glu 对中枢神经系统具有双重作用。正常情况下 Glu 通过谷氨酸受体介导一系列重要神经生理活动。但 Glu 过量释放可引起谷氨酸在细胞外液过量积聚, 过度激活兴奋性氨基酸受体, 产生兴奋性毒性效应。杨龙等<sup>[22]</sup>的研究用 <sup>60</sup>Co  $\gamma$  射线照射大鼠头部, 结果 12 h 后脑皮质 Glu 含量增加, 并呈照射剂量效应关系。谷氨酰胺合成酶(GS)是中枢神经系统中兴奋性神经递质谷氨酸-谷氨酰胺循环回路中的关键酶, 是谷氨酸的降解酶, 在神经系统主要存在于星形胶质细胞内。本试验的研究结果显示, 在计算机每天 18h 的电磁辐射下, 小鼠大脑 Glu 含量增加, GS 活性降低。计算机电磁辐射导致小鼠大脑神经突触间隙 Glu 含量的增

多, 可能是由于 GS 清除 Glu 能力降低, 引起 Glu 在胞外过量蓄积, 持续作用于神经元胞膜上的谷氨酸受体, 导致神经元兴奋性损伤。

综上所述, 模拟网络环境开机运行中的计算机电磁辐射每日长时作用于小鼠, 使小鼠的学习记忆能力下降, 同时影响了大脑神经递质一氧化氮、乙酰胆碱和谷氨酸含量。随着计算机的深入普及和网络的日益发展, 进一步深入研究网络环境下计算机电磁辐射对脑器官的作用机制, 具有非常重要的实际意义。

## 参考文献

- 1 HAN Fang, SHI Changsheng, LIN Deyun, *et al.* In: *Electromagnetic Compatibility. Symposium Record.* Cherry Hill, NJ, USA, 1991: 208-209
- 2 Comar Reports. *Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 1997, **16**(3): 87-92
- 3 Tetsuya Nakazawa, Yasushi Okubo, Yasushi Suwazono, *et al.* *American Journal of Industrial Medicine*, 2002, **42**(5): 421-426
- 4 王跃春. *中国行为医学科学*, 2005, **14**(1): 69-70  
WANG Yuechun. *Chinese Journal of Behavioral Medical Science*, 2005, **14**(1): 69-70
- 5 Renis M, Cardile V, Russo A, *et al.* *Brain research*, 1998, **783**: 143-150
- 6 Lai H, Horita A, Guy A W. *Bioelectro-magnetics*, 1994, **15**(15): 95-104
- 7 Mitchell C L, McRee D I, Peterson J, *et al.* *Bioelectro-magnetics*, 1988, **9**(9): 259-268
- 8 Orbach A S, Abgrall S, Bravo C A. *Pathos Boil*, 1999, **47**: 1085-1093
- 9 Kramarenko A V, Tan U. *Int J Neurosci*, 2003, **113**: 1007-1019
- 10 陈燕惠. *国外医学·生理、病理科学与临床分册*, 2000, **20**(1): 76-79  
CHEN Yanhui. *International Journal of Pathology and Clinical Medicine*, 2000, **20**(1): 76-79
- 11 Shibuki K, Okada D. *Nature*, 1991, **349**(6307): 326-328
- 12 Iadecola C, Zhang F, Casey R, *et al.* *Stroke*, 1996, **27**: 1373-1380
- 13 Regidor J, Montesdeoca J, Ramirez-Gonzalez J A, *et al.* *Brain research*, 1993, **631**(1): 171-174
- 14 Saxon D W, Beitz A J, *et al.* *NeuroReport*, 1994, **5**(7): 809-812
- 15 Winkler J, Suhr S T, Gage F H, *et al.* *Nature*, 1995, **375**: 484-487

- 16 Phillis J W. *Critical Reviews in Neurobiology*, 2005, **17**(3-4): 161-217
- 17 Sarter M, Parikh V. *Nature reviews Neuroscience*, 2005, **6**(1): 48-56
- 18 Fadda F, Cocco S, Stancampiano R. *Neuroreport*, 2000, **11**(10): 2265-2269
- 19 Casamenti F, Prosperi C, Scali C, *et al.* *Int J Dev Neurosci*, 1998, **16**(7-8): 705-714
- 20 赵玲, 刘丽, 张兰, 等. *中国比较医学杂志*, 2006, **16**(2): 81-84
- 21 ZHAO Ling, LIU Li, ZHANG Lan, *et al.* *Chinese Journal of Comparative Medicine*, 2006, **16**(2): 81-84
- 22 John A K, Ruth M M. *Nature Neuroscience Supplement*, 2002, **5**: 1039-1042
- 23 杨龙, 王奕萍, 荣曙, 等. *中国辐射卫生*, 2006, **15**(4): 402-404
- 24 YANG Long, WANG Yipping, RONG Shu, *et al.* *Chin J Radiol Health*, 2006, **15**(4): 402-404

## Influence of computer electromagnetic radiation on learning and memory ability as well as cerebra neuron transmitter of mice

QIN Fenju<sup>1,2</sup> NIE Jihua<sup>2</sup> CAO Yi<sup>2</sup> LI Jianxiang<sup>2</sup> TONG Jian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Dept. of Chemistry and Bioengineering, Suzhou Science and Technology University, Suzhou 215009, China)

<sup>2</sup>(School of Radiation Medicine and Public Health, Soochow University, Soochow University, Suzhou 215123, China)

**ABSTRACT** In order to observe the effects computer radiation(CR) on learning and memory ability as well as cerebra neuron transmitter of mice, the 32 male Kunming mice were randomly divided into four groups as one control group and three CR groups irradiated for 6 h/d, 12 h/d, and 18 h/d, respectively. The three CR groups were settled 20cm before the operating computer (0.9 V/m) for 30 days consecutively. And the control group was placed in the environment without computer radiation (0 V/m). The learning and memory ability of the mice were measured by Y-type maze test at thirty-first day, then the activity of acetylcholinesterase (AChE), nitric oxide synthase (NOS) and glutamine synthetase (GS) were measured as well as the content of acetylcholine(Ach), nitric oxide(NO) and Glutamate (Glu). The results show that the content of Ach in cerebra decreased, but the content of NO and Glu were just the opposite; the activities of AChE and NOS were enhanced, but the activity of GS was just the opposite. It is revealed that the computer radiation can reduce the learning and memory ability of mice, which may involve the changes of cerebra neuron transmitter.

**KEYWORDS** Computer radiation, Learning-memory, Acetylcholine, Acetylcholinesterase, Nitric oxide, Nitric oxide synthetase, Glutamate, Glutamine synthetase

**CLC** Q691.5, X34, Q95-33