Цитология 45 **(3): 284-289**

ГЕНЕРАЦИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА НАРУЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ.

[1]А.В. Гордеева, [2]Ю.А. Лабас

[1]*Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН и* [2]*Институт проблем экологии и эволюции им. А.С. Северцова РАН, Москва;* [2]*электронный адрес: labass@iitp.ru*

Показано, что водные организмы разных уровней филогенеза – от низших грибов и губок до рыб – генерируют активные формы кислорода (АФК) без участия каких-либо внешних стимулов. Полученные данные позволяют предполагать, что образование АФК открытыми участками наружных поверхностей водных организмов – спонтанный физиологический процесс, зависящий от активности протеинкиназы С, мембранного потенциала, внутри- и внеклеточной концентрации Ca^{2+}. Функции этого явления остаются невыясненными.

К л ю ч е в ы е с л о в а: активные формы кислорода, водные организмы, филогенез, протеикиназа С, кальций.

П р и н я т ы е с о к р а щ е н и я: АФК – активные формы кислорода, ДМСО – диметилсульфоксид, НСТ – нитросиний тетразолий, ФМА – форбол-12-миристат-13-ацетат, ЭГТА - этиленгликоль-бис-(β-аминоэтил этер)-N,N,N',N'-тетрауксусная кислота.

Известно, что животные (Гамалей и др., 1999) и растительные (Тарчевский, 2002) клетки отвечают образованием АФК на различные внешние стимулы. Однако водные организмы в этом отношении изучены сравнительно мало. Показано, что двустворчатые моллюски отвечают импульсной секрецией АФК на стимуляцию ФМА (Nakayama, Maruyama, 1998). Но ни у кого, кроме динофлагеллят (Shimada et al., 1993) и рыб (Wilhelm-Filho et al., 1994), до последних лет не была описана спонтанная (не требующая внешних стимулов) секреция АФК.

В 1998 году с помощью электронного парамагнитного резонанса спонтанная генерация супероксид-аниона ($O_2^{\bullet-}$) была выявлена у морских губок Sycon sp. (Peskin et al., 1998), а в 1999 году – с помощью гистохимического индикатора нитросинего тетразолия (НСТ) у тех же губок, гребневиков Bolinopsis infundibulum и Beroe cucumis и многих других животных (Лабас и др., 1999). В связи с этим нас заинтересовало, насколько распространена среди водных организмов спонтанная генерация АФК.

Цель данной работы – исследование образования АФК гидробионтами различных систематических групп. Опираясь на известный механизм генерации АФК профессиональными фагоцитами (Henderson, Chappell, 1996; Nagaji, 1999), выясняли роль мембранного потенциала, Ca^{2+} и протеинкиназы С в образовании АФК морскими беспозвоночными.

Материал и методика

Объектами исследований служили морские и пресноводные организмы разных уровней филогенеза: от низших грибов и водорослей до высших растений и от губок до позвоночных. Морские животные: губки Sycon sp.; гребневики - Bolinopsis infundibulum и Beroe cucumis; кишечнополостные - сцифомедузы Aurelia aurita, актинии Aiptasia pulchella и Metridium senile; многощетинковые черви - Eurithoe sp. и Chaetopterus variopedatus; брюхоногие моллюски Diodora sp.; членистоногие - жаброногие раки Artemia salina; иглокожие - офиуры Amphipholis squamata. Пресноводные: кишечнополостное - гидра Hydra attenuata; плоские черви - Mesostoma ehrenbergii и Dugesia tigrina; двустворчатые моллюски Anodonta sp.; членистоногие - бокоплавы Gammarus pulex и личинки комара коретры Chaoborus crystallinus; позвоночные - личинки и мальки плотвы Rutilus rutilus, икра и личинки вьюна Misgurnus fossilis, развивающиеся эмбрионы и головастики африканской шпорцевой лягушки Xenopus laevis. Кроме того, мы исследовали водные растения: морскую водоросль Caulerpa sp., пресноводного представителя высших растений Elodea canadensis и одного из представителей пресноводных низших грибов Saprolegnia sp.

Гистохимическим индикатором образования АФК служил НСТ в рабочей концентрации 0.01 %. Исследуемые организмы помещали на час в раствор НСТ, приготовленный, в зависимости от вида, на морской или пресной воде. О генерации АФК судили по выпадению на наружных поверхностях организмов восстановленного НСТ - нерастворимого осадка диформазана.

Окрашенные и контрольные экземпляры фотографировали с помощью фотонасадки к бинокулярному стереоскопическому микроскопу Wild M-420 или фотоаппарата Зенит-122. Для съемок использовали пленку Kodachrome 64T или Agfa STprecise 100.

Секрецию АФК исследовали также хемилюминесцентным методом. Для усиления хемилюминесценции использовали люминол (5-амино-2,3-дигидро-1,4-фталазиндион), усиливающий хемилюминесценцию ряда АФК (H_2O_2, $O_2^{\bullet-}$, $OH^{\bullet}$, $OCl^{\bullet-}$, $NO^{\bullet}$), в конечной концентрации 50 мкМ или люцигенин (10,10'-диметил-9,9'-биакридиндинитрат), который считается относительно селективным индикатором $O_2^{\bullet-}$ (Allen, 1986), в конечной концентрации 0.1 мМ. Маточный раствор люминола (25 мМ) приготавливали на ДМСО, а люцигенина (0.01 М) – на 0.9 % растворе NaCl. Измерения интенсивности хемилюминесценции проводили на жидкостном сцинтилляционном счетчике фотонов MARK-2 с фотоэлектронным умножителем EMI 9750 QB/1 по методике, описанной ранее для суспензий нейтрофилов (Воейков, Баскаков, 1994; Voeikov et al., 1999). Животных помещали в стандартные боросиликатные флаконы для жидкостной сцинтилляции, содержащие определенное количество искусственной морской воды, которые затем устанавливали в счетную камеру прибора.

Искусственную морскую воду получали, растворяя необходимое количество морской соли фирмы Tropical Marine (Германия) в дистиллированной воде. Изучали влияние калиевой деполяризации, изменений внутри- и внеклеточной концентрации Ca^{2+}, стимулятора протеинкиназы С ФМА (1-100 нМ), ингибитора гемсодержащих ферментов NaN_3 (1 мМ), антиоксидантов глутатиона (1 мМ) и аскорбата (2.5 мМ) на хемилюминесценцию морских беспозвоночных - губок Sycon sp. и актиний Aiptasia pulchella. Деполяризующий раствор получали, разбавляя морскую воду изотоничным раствором KCl (0.55 M) в соотношении 1:1; таким образом, внешнюю концентрацию K^+ повышали с 10 мМ, что характерно для морской воды, до 0.28 М. В некоторых экспериментах в качестве деполяризующего раствора использовали непосредственно изотонический раствор KCl. Внутриклеточную концентрацию Ca^{2+} повышали с помощью Ca^{2+}-ионофора иономицина (0.3–0.56 мкМ). Внеклеточную концентрацию Ca^{2+} понижали с помощью хелатора внешнего кальция ЭГТА (4.5 мМ), а повышали, разбавляя морскую воду изотоничным раствором $CaCl_2$ (0.37 M) в соотношении 1:1.

Эксперименты на пресноводных двустворчатых моллюсках Anodonta sp., а также личинках и мальках плотвы Rutilus rutilus сводились к регистрации хемилюминесценции, усиленной люцигенином или люминолом. В опытах с двустворчатыми моллюсками во флакон с родниковой водой помещали изолированные мантийные складки. Хемилюминесценцию других водных организмов не исследовали.

Результаты и обсуждение

После часового пребывания в 0.01 % растворе НСТ водные организмы разных уровней филогенеза покрывались нерастворимым осадком восстановленного продукта взаимодействия НСТ с АФК - диформазана. Это грибок Saprolegnia sp. (не показан), морские губки Sycon sp., гребневики Bolinopsis infundibulum и Beroe cucumis, сцифомедузы Aurelia aurita, актинии

Aiptasia pulchella и Metridium senile, пресноводная гидра Hydra attenuata, брюхоногие моллюски Diodora sp. и офиуры Amphipholis squamata. Распределение диформазана показано на рис.1. Прочие водные организмы – плоские и многощетинковые черви, ракообразные, личинки насекомых, рыбы, амфибии, растения не окрашивались НСТ.

При исследовании продукции АФК хемилюминесцентным методом обращал на себя внимание следующий факт. Хемилюминесценция морских животных – губок Sycon sp. и актиний Aiptasia pulchella – часто, хотя и не всегда, была столь сильной, что ее можно было наблюдать в отсутствие индикаторов АФК. Это дало нам возможность сравнить действие различных агентов в присутствии и в отсутствие люминола. Столь сильную собственную хемилюминесценцию у пресноводных организмов, как правило, не наблюдали.

Как усиленная, так и не усиленная люминолом хемилюминесценция актиний Aiptasia pulchella и губок Sycon sp. стимулировалась калиевой деполяризацией. Только на губках мы показали, что усиленная люминолом хемилюминесценция взрывообразно усиливается Ca^{2+}-ионофором иономицином (рис. 2). Повышение концентрации внешнего Ca^{2+} также стимулировало хемилюминесценцию – как в присутствии, так и в отсутствие люминола. Рис. 3 демонстрирует подавление усиленной люминолом хемилюминесценции актинии хелатором внешнего Ca^{2+} ЭГТА (4.5 мМ). На рис. 4 показано, что усиленная люминолом хемилюминесценция подавляется также NaN_3 (1 мМ).

Стимулятор протеинкиназы С ФМА в концентрации 0.1 мкМ для губок и 1-10 нМ для актиний (рис. 5) взрывообразно усиливал хемилюминесценцию этих животных в присутствии люминола. В отсутствие люминола этот эффект не наблюдали. Интересно, что в наших экспериментах на действие ФМА отвечали все актинии - как имеющие, так и не имеющие фотосимбионтов. По данным японских авторов (Nakayama, Maruyama, 1998) импульсной секрецией АФК в ответ на действие ФМА отвечают только не имеющие фотосимбионтов двустворчатые моллюски.

Антиоксидант аскорбат (2.5 мМ) гасил как усиленную, так и не усиленную люминолом хемилюминесценцию. Антиоксидант глутатион (0.1 мМ), известный также как специфический пищевой стимулятор для кишечнополостных (Cobb et al., 1982), после незначительного снижения интенсивности стимулировал усиленную люминолом хемилюминесценцию актиний (рис. 6). В отсутствие люминола усиление хемилюминесценции под влиянием глутатиона не наблюдали. У губок глутатион снижал интенсивность как усиленной, так и не усиленной люминолом хемилюминесценции.

Несмотря на то что секреция $O_2^{\bullet -}$ губками Sycon sp. была показана ранее методом ЭПР (Peskin et al., 1998), мы не зарегистрировали усиления хемилюминесценции губок у Sycon sp. и актиний Aiptasia pulchella в присутствии люцигенина, который считается относительно селективным индикатором $O_2^{\bullet -}$ (Allen, 1986). Усиление хемилюминесценции изученных нами морских животных в присутствии люминола ставит вопрос о химической природе их свечения.

Личинки и мальки плотвы Rutilus rutilus спонтанно генерируют во внешнюю среду АФК, судя по интенсивной хемилюминесценции в присутствии люминола и люцигенина. У личинок плотвы интенсивность хемилюминесценции намного выше, чем у мальков – возможно, это связано с работой наружных жабр. Усиливаемая люцигенином хемилюминесценция позволяет полагать, что рыбы секретируют не только H_2O_2, как показано ранее (Wilhelm-Filho et al., 1994), но и $O_2^{\bullet -}$.

Двустворчатые моллюски Anodonta sp. (рис. 7) также спонтанно секретируют АФК, судя по интенсивной хемилюминесценции в присутствии люминола и люцигенина. Интересно, что у морских моллюсков до сих пор была выявлена только индуцированная генерация АФК (Nakayama, Maruyama, 1998). Наши данные позволяют полагать, что в непосредственно граничащих с внешней водной средой клетках организмов разных уровней филогенеза, от низших грибов и губок до рыб, функционирует механизм секреции АФК, зависимый от мембранного потенциала, активности протеинкиназы С, внутри- и внеклеточной концентрации Ca^{2+}. Обнаруженная необходимость Ca^{2+} для образования АФК подтверждается нашими экспериментами с деполяризацией, поскольку известно, что последняя обычно сопровождается повышением внутриклеточной концентрации Ca^{2+} (Mason et al., 2000; Yermolaieva et al., 2000; Thomas et al., 2001).

Таким образом, не исключено, что обнаружен биохимический механизм секреции АФК, близкий к таковому профессиональных фагоцитов высших животных и человека. Возможно, за эту секрецию ответственны гомологи НАДФН - оксидазы, известного генератора АФК у животных и растительных клеток. Гомологи НАДФН-оксидазы широко распространены в органическом мире (Гамалей и др., 1999; Kim et al., 2000) и найдены у высших организмов не только в клетках, имеющих отношение к иммунной системе (Гамалей, Клюбин, 1996; Гамалей и др., 1999). В онтогенезе этот фермент появляется уже на стадии бластоцисты (Matsubara, Sato, 2001). Мы предполагаем, что одной из вероятных функций секреции АФК могла бы быть защита живых организмов от разлагающей трупы гнилостной микрофлоры, хотя не исключены и иные функции – например, морфогенетические: перестройка цитоскелета (Valen et al., 1999) или внеклеточного матрикса (Siwik et al., 2001).

Авторы благодарны сотрудникам кафедры биоорганической химии биологического факультета МГУ за предоставление экспериментальной базы, сотрудникам морской аквариальной Московского зоопарка за предоставление живого материала, Белорусцевой С.А. за помощь в подготовке фотографий, а также Гамалей И.А. за ценные рекомендации по ходу работы и участие в обсуждении результатов.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 02-04-49717).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воейков В.Л., Баскаков И.В. 1994. Использование жидкостного сцинтилляционного счетчика для анализа люминесценции клеточных суспензий. Дыхательный взрыв нейтрофилов как коллективный процесс. Доклады РАН. 334 (2): 234-236

Гамалей И.А., Клюбин И.В. 1999. Перекись водорода как сигнальная молекула. Цитология. 38 (12): 1233-1247.

Гамалей И.А., Клюбин И.В., Арнаутова И.П., Кирпичникова К.М. 1999. Пострецепторное образование активных форм кислорода в клетках, не являющихся профессиональными фагоцитами. Цитология. 41 (5): 394-399.

Лабас Ю.А., Пескин А.В., Клебанов Г.И., Крайнова М., Попонов С.Ю. 1999. Защитный слой активных форм кислорода на наружной поверхности водных организмов. II съезд биофизиков России. Тезисы докладов. М. 3: 1046-1047.

Тарчевский И.А. 2002. Сигнальные системы клеток растений. М., Наука. 294с.

Allen R.C. 1986. Phagocytic leucocyte oxygenation activities and chemiluminescence: A kinetic approach to analysis. Methods in Enzymology, Bioluminescence and Chemiluminescence. 133: 449 - 493.

Cobb M.H., Heagy W., Danner J., Lenhoff H.M., Marshall G.R. 1982. Structural and conformational properties of peptides interacting with the glutathione receptor of hydra. Mol. Pharmacol. 21: 629-636.

Henderson L.M., Chappell J.M. 1996. NADPH oxidase of neutrophils. Biochim. biophys. acta. 1273: 87-107.

Kim D., Nakamura A., Okamoto T., Komatsu N., Oda T., Iida T., Ishimatsu A., Muramatsu T. 2000. Mechanism of superoxide anion generation in the toxic red tide phytoplankton *Chattonella marina*: possible involvement of NAD(P)H oxidase. Biochim. biophys. acta. 1524: 220-227.

Mason M.J., Hussain J.F., Mahaut-Smith M.P. 2000. A novel role for membrane potential in the modulation of intracellular Ca^{2+} oscillations in rat megakaryocytes. J. Physiol. 524: 437-446.

Matsubara S., Sato I. 2001. NAD(P)H oxidase in human fetal membrane chorion laeve trophoblasts with or without chorioamnionitis: ultrastuctural enzyme histochemical study. Mol. Hum. Reprod. 7: 779-785.

Nagaji J. 1999. The role of protein kinase C and $[Ca^{2+}]_i$ in superoxide anion synthesis and myeloperoxidase degranulation of human neutrophils. Kurume Med. J. 46: 157-162.

Nakayama K., Maruyama T. 1998. Differential production of active oxygen species in photo-symbiotic and non-symbiotic bivalves. Dev. Comp. Immunol. 22: 151-159.

Peskin A.V., Labas Y.A., Tikhonov A.N. 1998. Superoxide radical production by sponges *Sycon sp*. FEBS Lett. 434: 201-204.

Shimada M., *Kawamoto S., Nakatsuka Y., Watanabe M. 1993.* Localization of superoxide anion in the red tide alga *Chattonella antiqua*. J. Histochem. Cytochem. 41: 507-511.

Siwik D.A., Pagano P.J., Colucci W.S. 2001. Oxidative stress regulates collagen synthesis and matrix metalloproteinase activity in cardiac fibroblasts. Am. J. Physiol. Cell. Physiol. 280: 53-60.

Thomas D., *Mason M.J., Mahaut-Smith M.P. 2001.* Depolarisation-evoked Ca^{2+} waves in the non-excitable rat megakaryocyte. 537: 371-378.

Valen G., Sonden A., Vaage J., Malm E., Kjellström B.T. 1999. Hydrogen peroxide induces endothelial cell atypia and cytoskeleton depolimerization. Free Rad. Biol. Med. 26: 1480-1488.

Voeikov V.L., Novikov C.N., Vilenskaya N.D. 1999. Low-level chemiluminescent analysis of nondiluted human blood reveals its dynamic system properties. J. Biomed. Optics. 4: 54-60.

Yermolaieva O., Brot N., Weissbach H., Heinemann S.H., Hoshi T. 2000. Reactive oxygen species and nitric oxide mediate plasticity of neuronal calcium signalling. Neurobiol. 97: 448☒453

Wilhelm-Filho D., Gonzalez-Flecha B., Boveris A. 1994. Gill diffusion as a physiological mechanism for hydrogen peroxide elimination by fish. Braz. J. Med. Biol. Res. 27: 2879-2882.

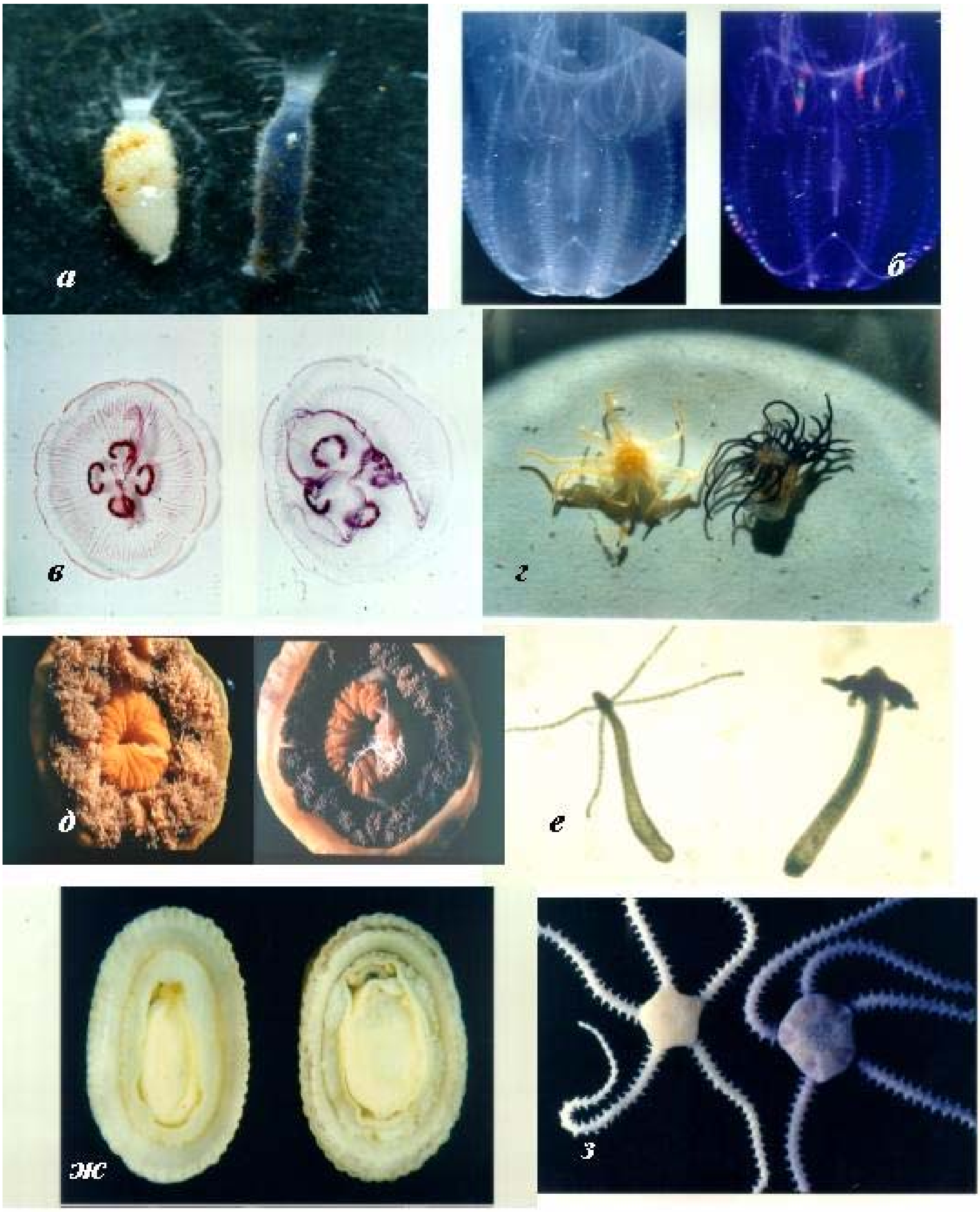


Рис.1.

Рис. 1. Образование диформазана – восстановленного продукта взаимодействия АФК с НСТ – на поверхности морских и пресноводных беспозвоночных.

а – морская губка Sycon sp., *б* – гребневик Bolinopsis infundibulum, *в* – сцифомедуза Aurelia aurita, *г* – актиния Aiptasia pulchella, *д* – актиния Metridium senile, *е* – пресноводная гидра Hydra attenuata, *ж* – морской брюхоногий моллюск Diodora sp., *з* – офиура Amphipholis squamata. На всех рисунках *слева* – интактные животные, *справа* – животные после часового пребывания в 0.01 % растворе НСТ. На рисунке, *а* видно, что у губки Sycon sp. окрашивается вся поверхность тела. У других животных окрашиваются преимущественно следующие структуры: у гребневика – меридиональные ряды гребных пластинок (*б*), у кишечнополостных – щупальца и ротовой аппарат (*в–е*), у брюхоногого моллюска Diodora sp. – мантийный край и область рта (*ж*), у иглокожей офиуры – межщитковая поверхность (*з*). Пресноводная гидра в растворе НСТ набухает (*е*). Об.: 7× (губки, актинии Aiptasia pulchella, пресноводные гидры, моллюски), 16× (офиуры), 1× (гребневики, сцифомедузы, актинии Metridium senile). Примечательно, что полностью окрашиваются только животные, не имеющие наружного скелета или кутикулы.

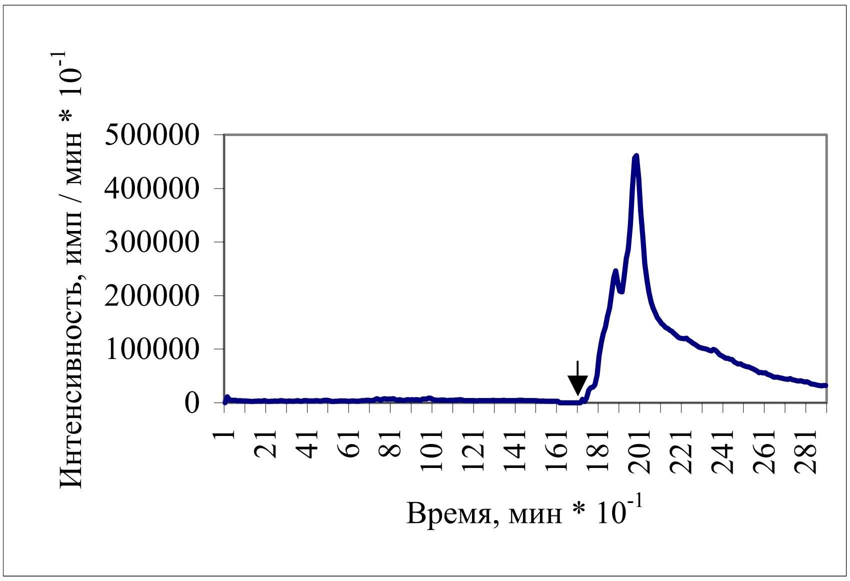


Рис. 2. Влияние Ca^{2+}-ионофора иономицина (0,3 мкМ) на усиленную люминолом хемилюминесценцию губки Sycon sp.

Здесь и на рис. 3-6 *стрелка* показывает добавление агента.

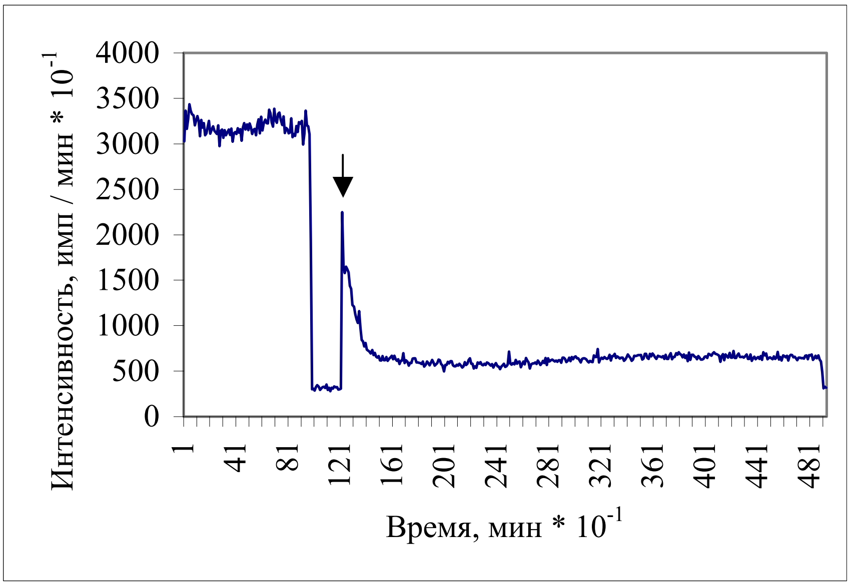


Рис. 3. Влияние хелатора внешнего кальция ЭГТА (4,5 мМ) на усиленную люминолом хемилюминесценцию актинии Aiptasia pulchella.

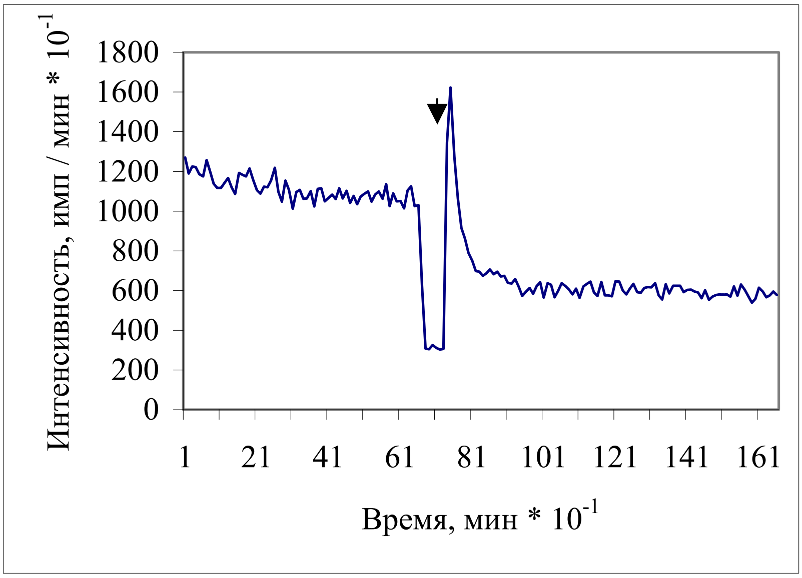


Рис. 4. Влияние NaN_3 (1 мМ) на усиленную люминолом хемилюминесценцию актинии Aiptasia pulchella..

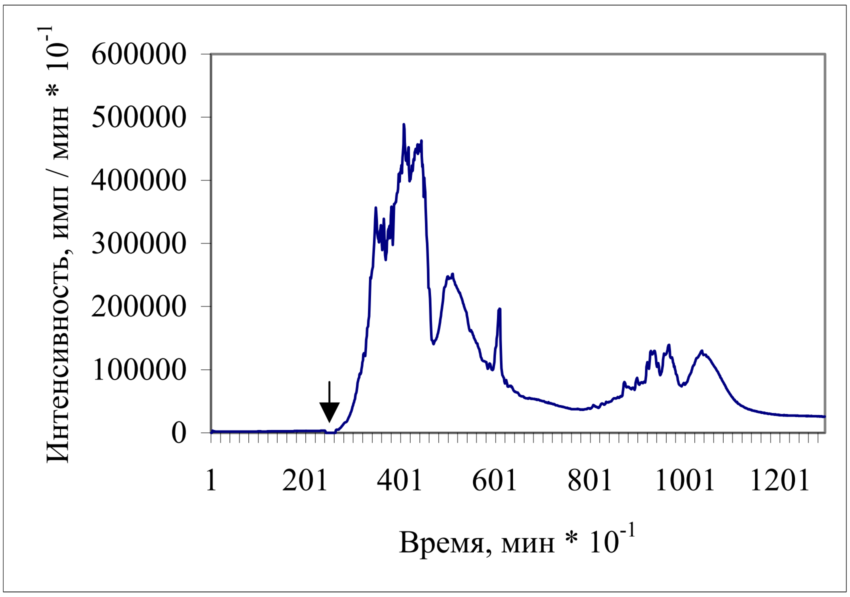


Рис. 5. Влияние ФМА (10 нМ) на усиленную люминолом хемилюминесценцию актинии Aiptasia pulchella.

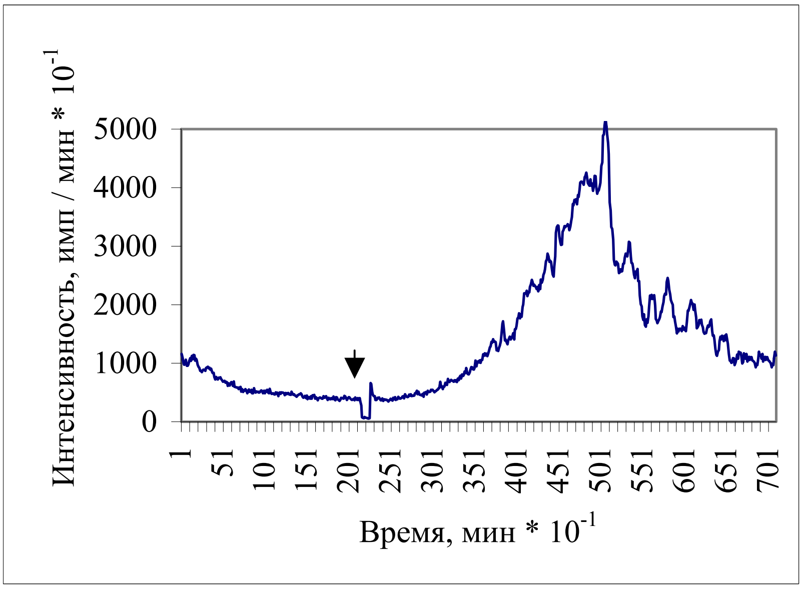
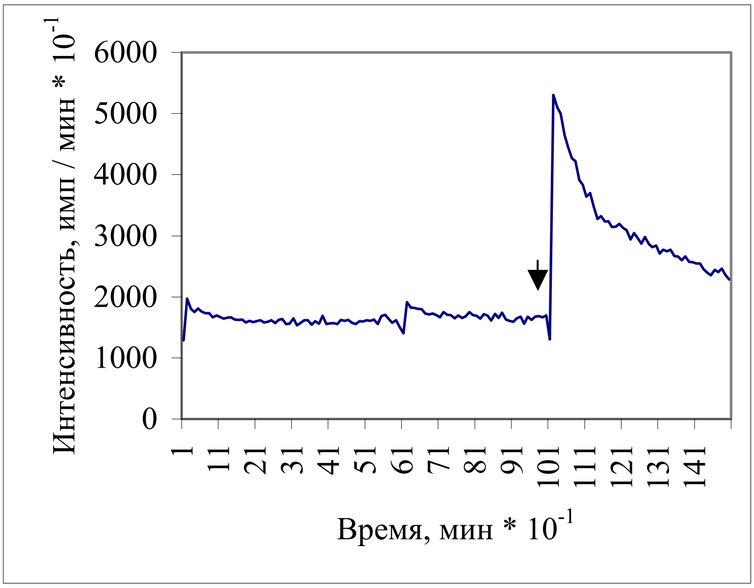
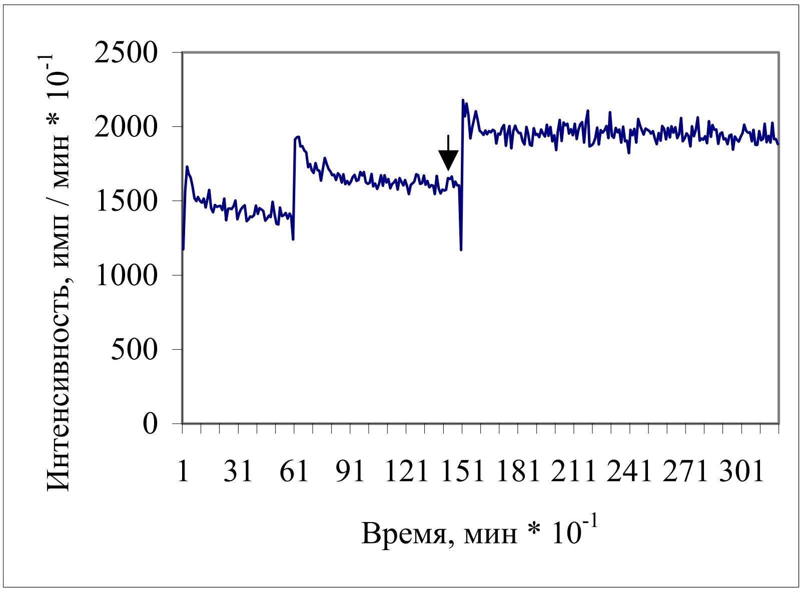


Рис. 6. Влияние глутатиона (0.1 мМ) на усиленную люминолом хемилюминесценцию актинии Aiptasia pulchella.



а)



б)

Рис. 7. Хемилюминесценция изолированных мантийных складок двустворчатого моллюска Anodonta sp.

Стрелка показывает добавление индикаторов АФК – люминола (*а*) или люцигенина (*б*). Временные точки 1-61 – хемилюминесценция пресной воды, 62-151 (*а*) и 62 - 321 (*б*) – изолированных мантийных складок в пресной воде.

Legends to figures

Fig. 1. The formation of insoluble nitro blue diformazan – product of interaction between reactive oxygen species and nitro blue tetrazolium (NBT) - on the marine and freshwater invertebrates' surfaces: *a* - marine *Sycon* sponges (superficial surfaces completely), *б* – ctenophore *Bolinopsis infundibulum* (meridian lines of comb plates especially), *в* - *Aurelia aurita* jellyfish, *г* - *Aiptasia pulchella* and *д* - *Metridium senile* sea anemones, *е* - freshwater *Hydra antennuata* hydroid polyp (tentacles especially), *ж*– marine *Diodora* molluscs (leg and mouth area only), *з* – ophiuroidea *Amphipholis squamata* (body surface between mudguards). There are intact animals on the left and experimental animals after one-hour sojourning in the 0.01 % NBT solution on the right parts of figures. Freshwater *Hydra attenuata* hydroid polyp (*e*) swells in NBT solution. Objective: sponges, *Aiptasia pulchella* sea anemones, freshwater hydroid polyps, molluscs - 7×, ophiuroidea – 16×, ctenophores, jellyfishes, *Metridium senile* sea anemones – 1×.

Fig. 2. Effect of Ca^{2+} - ionophore ionomycin (0.3 mkM) on luminol-enhanced chemiluminescence of *Sycon* sponge.

Fig.2-7 are graphs of *X versus Y*. *OX* and *OY* represent time ($min \cdot 10^{-1}$) and chemiluminescence intensity ($cpm/min \cdot 10^{-1}$), respectively. Fig. 2-6: a*rrow* shows application of the agent.

Fig. 3. Effect of extracellular calcium chelator ethylene EGTA (4.5 mM) on luminol-enhanced chemiluminescence of *Aiptasia pulchella* sea anemone.

Fig. 4. Effect of NaN_3 (1 mM) on luminol-enhanced chemiluminescence of *Aiptasia pulchella* sea anemone.

Fig. 5. Effect of phorbol-12-myristate-13-acetate (PMA, 10 nM) on luminol-enhanced chemiluminescence of *Aiptasia pulchella* sea anemone.

Fig. 6. Effect of glutathione (0.1 mM) on luminol-enhanced chemiluminescence of *Aiptasia pulchella* sea anemone.

Fig. 7. Chemiluminescence of isolated *Anodonta* bivalve mollusc's mantle folds.

Time points 1-61 – chemiluminescence of fresh water, 62-151 (*a*) and 62-321 (*б*) – chemiluminescence of isolated mantle folds in fresh water. *Arrow* shows application of luminol (*a*) or lucigenin (*б*).

GENERATION OF REACTIVE OXYGEN SPECIES BY EXTERNAL SURFACES OF WATER ORGANISMS

[1]*A.V. Gordeeva,* [2]*Y. A. Labas*

[1]A.N. Bach Institute of Biochemistry RAS, and [2]A.N. Severtzov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia; [2]e-mail: labass@iitp.ru

We demonstrated that water organisms of various phylogenetic levels – lower fungi, sponges, coelenterates, molluscs, and fishes - produced reactive oxygen species (ROS) into the aquatic environment without any stimuli added. Our experimental data support the idea that ROS' production of marine invertebrates is calcium- and proteinkinase C – dependent process, which functions still unknown.

ГЕНЕРАЦИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА НАРУЖНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ВОДНЫХ ОРГАНИЗМОВ.

[1]А.В. Гордеева, [2]Ю.А. Лабас

[1]Институт биохимии им. А.Н. Баха РАН и [2]Институт проблем экологии и эволюции им. А.С. Северцова РАН, Москва, Россия; [2]электронный адрес: labass@iitp.ru

Мы показали, что водные организмы разных уровней филогенеза – низшие грибы, губки, кишечнополостные, моллюски, рыбы – продуцируют в окружающую их водную среду активные формы кислорода (АФК) без каких-либо внешних стимулов. Наши экспериментальные данные поддерживают идею о том, что продукция АФК морскими беспозвоночными – кальций- и протеинкиназа С – зависимый процесс, функции которого остаются неизвестными.