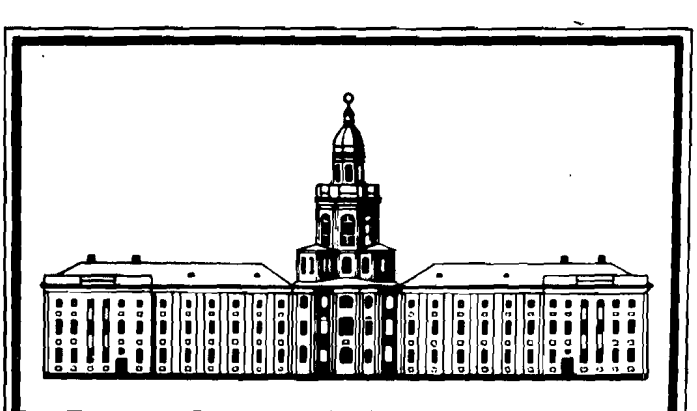
ISSN 0002-3264

ДОКЛАДЫ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1984

ТОМ 274 № 2



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·

Доклады Академии наук СССР
1984. Том 274, № 2

УДК 577.3.591.5

ЭКОЛОГИЯ

Член-корреспондент АН СССР В.Н. БОЛЬШАКОВ, Л.А. КОВАЛЬЧУК

АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТАБОЛИЗМА ТКАНЕЙ И СИСТЕМЫ КРОВИ СИБИРСКОГО ЛЕММИНГА (LEMMUS SIBIRICUS KERR, 1792)

Существует мнение [1, 3] об определенных аналогиях в приспособлениях животных к условиям Крайнего Севера и верхних поясов гор. При этом необходимо отметить разный тип приспособлений у широкораспространенных и специализированных видов. Для решения экологических проблем адаптации особое значение приобретает изучение энергетического гомеостаза животных, выступающего как реакция организма на специфику среды обитания.

В основе причин, вызывающих периодические изменения в численности видов мелких млекопитающих, исследователи считают решающим действие отдельных и целого комплекса факторов среды обитания [2–4]. Несомненно, что процесс динамики численности грызунов сопровождается не только количественными изменениями на популяционном уровне, но и качественными перестройками морфофизиологических, биохимических и эндокринных систем [5–7].

Для исследования адаптационных возможностей животных, специализированных к условиям Крайнего Севера, были использованы трехмесячные самцы и самки сибирского лемминга (Lemmus sibiricus). Животные были доставлены из районов Полярного Урала и низовьев р. Лены. Гипоксию создавали помещением животных в барокамеру с проточно-вытяжной вентиляцией на 1 ч (высота 7500 м – острая гипоксия) и на 15 дней (высота 6000 м – хроническая гипоксия). Регистрацию дыхания митохондрий исследуемых тканей и оценку скорости отдачи кислорода кровью проводили полярографическим методом. При обработке экспериментальных данных использованы стандартные методы математической статистики и полный факторный эксперимент типа 2^2 [8, 9]. Полученные данные обработаны на ЭВМ типа БСМ-6.

При сравнении состояния энергетических процессов в митохондриях печени и миокарда у животных отмечается достоверная разница исходного уровня эндогенного метаболизма исследуемых тканей в зависимости от сезона и их половой принадлежности (рис. 1). Интенсификация окислительных процессов у самок летом и зимой идет за счет высокого энергетического потенциала сукцинатоксидазной системы ($V_c V_{III} V_\phi$). Количество аденозиндифосфата на единицу потребленного кислорода достоверно не изменяется в исследуемые месяцы года (b_1, b_2, b_{12} для $P/O \leqslant t_{095} S_{bi}$). Окислительные процессы печени на субстрате сукцинат отличаются у самок сибирского лемминга постоянством и отсутствием достоверных различий между летним и зимним периодами (рис. 1). Высокий и достаточно стабильный уровень обмена печени и миокарда у самок в течение всего года, по-видимому, отражает физиологически важную сущность особей, ответственных за продолжение развития популяции и поддержания ее численности в условиях тундровой зоны, где репродуктивный период самок столь непродолжителен. У самцов используются два пути приобретения энергии: сукцинатзависимая и НАД-зависимая энергетика митохондрий печени. Зимой у самцов отмечается ускорение окислительных процессов печени как на сукцинате, так и на глутамате, в сравнении с летним периодом.

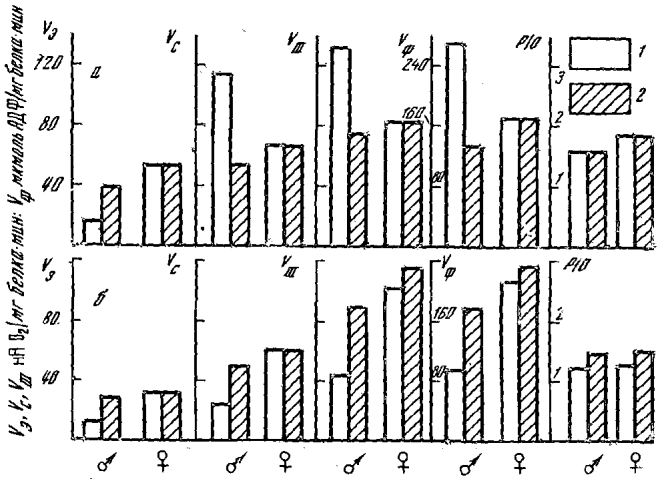


Рис. 1. Сезонные изменения окислительного метаболизма митохондрий миокарда (*а*) и печени (*б*) сибирского лемминга в условиях физиологической нормы. *1* – июнь, *2* – декабрь

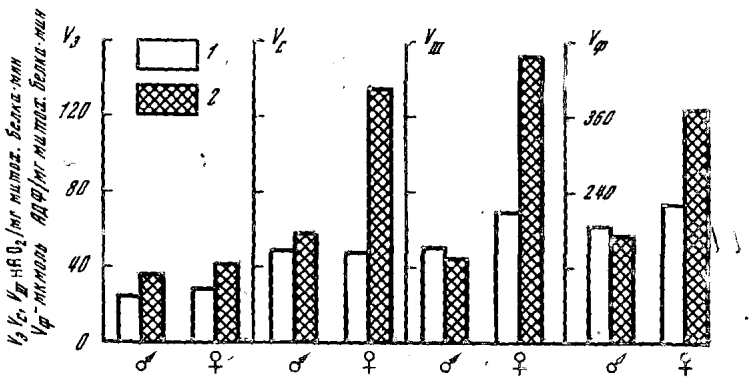


Рис. 2. Параметры показателей энергетических процессов в митохондриях печени сибирского лемминга при действии острой гипоксии (2) и в условиях физиологической нормы (*1*)

В летний же период времени – сезон повышенных физических нагрузок (миграции), когда от организма требуется усиление энергетического метаболизма, – у самцов сибирского лемминга наблюдается активация дыхательной цепи митохондрий миокарда в 2 раза на янтарной кислоте, обладающей, благодаря особенностям ее окисления, мощным энергизирующим действием (рис. 1).

Анализ уравнений и расчетных данных показывают, что самки реагируют на острую гипоксию достоверными изменениями в интенсивности эндогенного дыхания печени, свободного окисления сукцината и в присутствии АДФ, в скорости фосфорилирования в сторону возрастания этих показателей (b_1, b_2 для $V_э$, $V_с$, V_{III}, $V_ф > t_{095}S_{bi}$) (рис. 2). У самцов сибирского лемминга существенных изменений, связанных с окислением энергетического субстрата – сукцината, при действии острой гипоксии не наблюдается (b_1, b_2 для $V_с$, V_{III}, $V_ф \leqslant t_{095}S_{bi}$) (рис. 2). Показатели окислительного метаболизма миокарда у самок в условиях острой гипоксии достоверно снижаются: окисление сукцината падает на 30% ($V_с$), интенсивность фосфорилирующего окисления на сукцинате – на 5% (V_{III}). При этом скорость окислительного фосфорилирования в митохондриях сердечной мышцы возрастает на 20%. У самцов же наблюдается тенденция к разобщению окислений

Таблица 1

Изменение показателей периферической крови и костного мозга сибирского лемминга при воздействии гипоксии

Характер воздействия	Периферическая кровь			Костный мозг		
	эритроциты, $n \times 10^3$ (1/мм^3)	Hb, г/100 мл	лейкоциты, $n \times 10^2$ (1/мм^3)	эритроидный ряд, %	лимфоидный ряд, %	миелоидный ряд, %
Контроль	5810	17,2	24,4	21,2	9,4	69,2
Острая гипоксия	5970	17,4	25,5	19,0	12,6	68,4
Хроническая гипоксия	6824	18,6	33,8	23,2	16,6	60,2
$p \leq 0,05$						

с фосфорилированием: Р/О падает с 2,0 до 1,8 при активации окисления энергетического субстрата – сукцината (V_c). Свободное окисление сукцината в миокарде самцов увеличивается в 2 раза, окисление субстрата на фоне АДФ возрастает в 2,2 раза, скорость окислительного фосфорилирования увеличивается в 2,5 раза. Результаты эксперимента по действию острой гипоксии показали, что энергетика миокарда самцов идет по пути активизации сукцинатоксидазной системы на фоне снижения коэффициента Р/О, в то время как самки, имея в норме высокие показатели окислительного метаболизма на янтарной кислоте, снижая интенсивность окисления субстрата, выходят из критической ситуации, повышая эффективность фосфорилирующего дыхания – Р/О, что, по-видимому, говорит о возросшей их способности к аккумуляции энергии.

При исследовании показателей периферической крови и костного мозга у сибирского лемминга в условиях физиологической нормы обращает на себя внимание достаточно высокая степень насыщения эритроцитов гемоглобином (цветной показатель равен 0,88) и значительный процент миелоидных элементов в костном мозге – 69,2. При воздействии острой гипоксии существенных изменений в показателях крови и костного мозга не наблюдали, что свидетельствует о формировании в процессе обитания в условиях Севера механизмов, обеспечивающих резистентность системы крови к действию неблагоприятных факторов. В условиях действия хронической гипоксии кроветворная система животных отвечает адекватными изменениями, имеющими адаптивный характер по отношению к действующему фактору. Последнее проявляется в увеличении числа эритроцитов и концентрации гемоглобина, а также содержания эритроидных и лимфоидных элементов в костном мозге (табл. 1).

Характеризуя функциональную активность гемоглобина по величине скорости отдачи кислорода, следует отметить однонаправленность данного показателя в сторону возрастания в условиях гипоксии острой и хронической. Однако более существенное увеличение скорости отдачи кислорода кровью отмечали при воздействии хронической гипоксии – на 40% ($p < 0,005$). Поскольку величина скорости отдачи кислорода кровью существенно зависит от особенностей клеточного метаболизма, можно считать, что отмеченные процессы в клетках крови сибирского лемминга отличаются значительной пластичностью. Последнее связано, вероятно, с воздействием температурного фактора на внутриклеточные ферменты [10]. Общее время митотического цикла лимфоцитов тимуса существенно ниже лимфоцитов селезенки. При этом время синтетического и постсинтетического периодов лимфоцитов тимуса и селезенки различается более чем в 2 раза. При воздействии острой

Таблица 2

Изменение временных параметров митотического цикла лимфоцитов тимуса и селезенки сибирского лемминга при воздействии острой гипоксии (ч)

Параметры митотического цикла	Тимус		Селезенка	
	контроль	гипоксия	контроль	гипоксия
T	28,06 ± 0,3	80,0 ± 0,9	47,0 ± 0,4	100,0 ± 0,8
tq_1	21,8 ± 0,4	70,0 ± 1,0	32,0 ± 0,6	80,0 ± 1,2
tS	5,8 ± 0,4	5,1 ± 1,1	12,0 ± 0,6	12,00 ± 1,2
tq_2	1,2 ± 0,4	4,9 ± 0,2	3,0 ± 0,1	8 ± 0,1
$p \leqslant 0,05$				

гипоксии общее время митотического цикла лимфоцитов увеличилось, причем как в тимусе, так и в селезенке это увеличение было связано с изменением просинтетического и постсинтетического периодов (табл. 2).

Исследование общего содержания миелокариоцитов в бедренной кости сибирского лемминга свидетельствует о значительном плацдарме кроветворения у этого вида. При этом содержание миелоидных клеток на 60% превосходит их содержание у лабораторных мышей, а лимфоидных – на 263% ($p \leqslant 0,05$). Анализ включения меченого тимидина на миллион миелокариоцитов свидетельствует о более высокой синтетической активности клеток костного мозга лабораторных мышей (3,62 ± 0,2) по сравнению с сибирским леммингом (2,42 ± 0,3). Однако общий объем включенного ^{3}H-тимидина в клетки костного мозга практически одинаков (51,4 ± 5,1 – у лабораторных мышей и 51,6 ± 7,2 – у леммингов). В условиях хронической гипоксии содержание нейтральных мукополисахаридов возросло в 3 раза в селезенке сибирского лемминга. Поскольку последнее является важным фактором в регуляции эритроидной дифференцировки, можно заключить, что участие нейтральных мукополисахаридов в индукции эритропоэзообразующих свойств кроветворной ткани сибирского лемминга значительно, а их количественное изменение коррелирует со степенью стимуляции эритропоэза.

Таким образом, в комплексе адаптаций, развивающихся у сибирского лемминга – обитателя Крайнего Севера, значительная роль принадлежит окислительному метаболизму тканей животных и системе крови, при участии которой и осуществляется в значительной мере регуляция кислородного гомеостаза организма.

Институт экологии растений и животных
Уральского научного центра
Академии наук СССР, Свердловск

Поступило
12 VII 1983

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.Н.* Пути приспособления мелких млекопитающих к горным условиям. М.: Наука, 1972, с. 200. 2. *Башенина Н.В.* Пути адаптации мышевидных грызунов. М.: Наука, 1977, с. 352. 3. *Шварц С.С.* Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980, с. 278. 4. *Fuller W.A.* – Ferre vie, 1967, vol. 114, p. 97–115. 5. *Chitty D.* – Proc. Ecol. Cos. Austral., 1967, vol. 2, p. 51–78. 6. *Cristian J.J.* – Biol. Reprod., 1971, vol. 4, p. 248–294. 7. *Krebs C.L., Meyers J.U.* – Adv. Econ. Res., 1977, vol. 8, p. 267–399. 8. *Налимов В.В., Чернова Н.А.* Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965, с. 338. 9. *Рокицкий П.Ф.* Биологическая статистика. Минск, 1973, с. 65. 10. *Сорокина Н.Л.* В кн.: Адаптации организмов к природным условиям. VI Всесоюзн. конф. по эвол. физиол. Сыктывкар, 1981, с. 55.