

С. Н. МАЦКО и А. Т. ЖМЕИДО

**ВЛИЯНИЕ, ОКАЗЫВАЕМОЕ НЕКОТОРЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ
НА ПРОЦЕСС ЗАМЕРЗАНИЯ И НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ
ЖИЗНЕННЫХ ФУНКЦИЙ У ПОДВЕРГНУТЫХ
ЗАМОРАЖИВАНИЮ ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ**

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 11 X 1949)

Внимание исследователей, изучавших холодоустойчивость растительных объектов, издавна привлекал вопрос о влиянии, оказываемом на холодоустойчивость различными веществами (сахарами, спиртами, солями и др.). Аналогичный вопрос исследовался на инфузориях (1). Погружение в растворы солей (2), глюкозы (3) применялось как предварительная операция перед помещением в жидкий воздух клеток высших животных. Что касается более высокоорганизованных и, в частности, позвоночных животных, то, насколько нам известно, не имеется исследований, посвященных этому вопросу, проведенных с целыми организмами и при температурах, вызывающих замерзание. В настоящей статье мы приводим данные о действии растворов спирта, а также, дополнительно к ранее опубликованному (4), материалы исследований, проведенных на подсушенных животных.

Экспериментальная часть

Все опыты были поставлены на лягушках *Rana temporaria*, ♂. Температура тела измерялась в rectum, термо-электрическим путем (4). Спирт (этиловый) вводился в спинно-головной лимфатический мешок.

1. Начальная температура замерзания и восстановление жизненных функций после замораживания. Опыты проводились летом на лягушках, пойманных в летнее время, и весной на лягушках, пойманных в конце зимы — начале весны. Лягушки фиксировались (4) на спине. Замораживание животных проводилось на воздухе в камере, температура которой снижалась в течение опыта в пределах $-4 - 6^{\circ}$, а отогревание — в воде при 20° . Некоторым животным вводился 40% спирт в количестве 2 см^3 * за $1\frac{1}{2} - 1\frac{3}{4}$ часа до помещения их в холодильную камеру, а другим (контрольным) не вводился. Указанная выше крепость раствора спирта и интервал между введением спирта и охлаждением животных были выбраны на основании предварительных экспериментов, показавших, что менее крепкий раствор спирта (20%) слабее тормозит замерзание лягушек, а более крепкий (60%) увеличивает смертность до 40% (40% спирт вызывал гибель только у 20%, а именно у 7 из 30 лягушек, в то время как остальные оправлялись после введения спирта). Удлинение интервала времени между введением спирта и по-

* Только в опытах 1, 2, 15 и 4 (табл. 1), в которых вес лягушек был мал, количество вводимого раствора спирта было меньше ($1\frac{3}{4} - 1\frac{1}{2} \text{ см}^3$).

Таблица 1

№ опыта	Началь- ный рес- лягушек в г	Время пробеде- ния опы- тов	началь- ная t за- мерзания (e)	конечная t (б)	б — а	Длитель- ность за- мерзания в часах **	Степень восстано- вления жиз- ненных функций	Началь- ный рес- лягушек в г	Время пробеде- ния опы- тов	началь- ная t за- мерзания (a)	конечная t (б)	б — а	Длитель- ность за- мерзания в часах **	Степень восстано- вления жиз- ненных функций
За 1 1/2 — 1 3/4 часа до опыта введен 10% спирт*														
Конечная температура тела — 1,2°														
1	28	Весна	-1,04	-1,05	0,01	0,6	5	38	Лето	-1,17	-2,13	0,96	4,0	1
2	28	»	-1,02	-1,05	0,03	0,7	6	39	»	-1,0	-2,10	1,10	5,5	0
3	38	Лето	-1,10	-1,15	0,05	2,6	4	40	»	-1,05	-2,17	1,12	5,1	1
4	32	»	-1,05	-1,12	0,07	1,1	6	41	»	-0,84	-2,12	1,28	5,2	1
5	35	»	-0,97	-1,05	0,08	1,7	5	37	»	-1,41	-2,11	0,70	4,6	0
6	38	»	-0,97	-1,09	0,12	1,2	4	35	»	-1,31	-2,14	0,83	4,2	1
7	35	»	-0,97	-1,00	0,21	4,5	6	44	»	-1,27	-2,11	0,84	4,0	0
8	40	»	-0,85	-1,10	0,25	2,1	4	45	»	-1,27	-2,11	0,84	5,0	0
9	34	»	-0,96	-1,20	0,24	2,7	6	46	»	-1,18	-2,11	0,93	5,1	1
10	36	»	-0,84	-1,14	0,30	2,5	4	47	»	-1,18	-2,11	0,93	4,3	1
11	43	»	-0,90	-1,20	0,30	3,0	4							
12	41	»	-0,88	-1,20	0,32	2,5	3							
13	33	»	-0,78	-1,20	0,42	4,5	1							
14	32	»	-0,71	-1,18	0,46	1,2	5							
Конечная температура тела ниже — 1,2° и выше — 1,4°														
15	33	Лето	-1,15	-1,23	0,08	1,1	5	48	Лето	-0,54	-1,00	0,46	4,5	1
16	33	»	-1,16	-1,26	0,10	1,6	5-6	49	»	-0,44	-0,92	0,48	6,1	1
17	34	»	-1,12	-1,24	0,12	1,2	6	50	»	-0,47	-0,90	0,43	4,0	1
18	37	»	-1,17	-1,30	0,13	1,4	6	51	»	-0,52	-0,90	0,38	6,0	1
19	30	»	-1,2	-1,33	0,13	1,7	6	52	»	-0,43	-0,90	0,47	4,9	1
20	34	»	-1,22	-1,35	0,14	0,4	6	53	»	-0,41	-0,90	0,49	4,4	1
21	38	»	-1,19	-1,34	0,15	2,0	1	54	»	-0,55	-0,90	0,34	4,1	1
22	35	»	-1,01	-1,36	0,35	4,2	1	55	»	-0,42	-0,89	0,47	4,5	1
Конечная температура тела ниже — 1,4° до — 1,6°														
23	30	Лето	-1,43	-1,54	0,11	1,7	4	56	»	-0,55	-0,84	0,29	3,6	1
24	35	»	-1,19	-1,47	0,28	1,6	4	57	»	-0,46	-0,88	0,42	4,0	1
25	34	»	-1,23	-1,54	0,31	2,0	1	58	»	-0,48	-0,81	0,33	2,7	1
26	37	»	-1,15	-1,48	0,33	3,0	4	59	»	-0,54	-0,80	0,26	3,6	1
27	30	»	-1,14	-1,50	0,36	1,5	6	60	»	-0,50	-0,80	0,30	3,6	0
28	36	»	-1,24	-1,61	0,37	4,1	1	61	»	-0,57	-0,77	0,20	3,7	1
								62	»	-0,57	-0,77	0,20	3,4	1
								63	»	-0,51	-0,83	0,32	3,3	1
								64	»	-0,55	-0,86	0,31	4,0	2
								65	»	-0,51	-0,88	0,37	4,5	1
								66	»	-0,57	-0,82	0,25	4,2	1
								67	»	-0,55	-0,88	0,33	2,4	2
								68	»	-0,40	-0,82	0,42	2,2	2
													> 3,6	2
													< 3,6	2
													> 3,8	2

29	39	Лето	-1,14	-1,60	0,46	3,2	1	69	30	Лето	-0,54	-0,82	0,28	4,2	0
30	41	«	-1,03	-1,50	0,47	4,4	1	70	35	Весна	-0,55	-0,86	0,31	3,5	1
31	36	«	-1,03	-1,51	0,48	3,0	1	71	43	»	-0,50	-0,85	0,35	5,0	1
32	37	«	-1,08	-1,64	0,56	3,7	1	72	33	»	-0,49	-0,86	0,37	5,2	1
33	37	«	-0,90	-1,50	0,60	3,2	4	73	40	»	-0,60	-0,68	0,08	2,4	4
34	34	«	-0,91	-1,51	0,60	4,0	1	74	35	»	-0,59	-0,64	0,05	2,0	4
35	37	«	-0,84	-1,61	0,77	4,8	1	75	35	»	-0,49	-0,58	0,09	2,5	3
								76	33	»	-0,51	-0,58	0,07	1,1	6
								77	37	»	-0,55	-0,57	0,02	1,6	6
36	37	Лето	-1,07	-1,95	0,88	3,9	1	78	34	»	-0,49	-0,57	0,08	1,4	6
37	38	»	-1,11	-2,07	0,96	5,2	1	79	34	»	-0,49	-0,57	0,08	1,7	6

Конечная температура тела около -2°

Обозначения: 0 — признаки жизни отсутствовали; 1 — восстановилась только сердечная деятельность; 2 — наряду с сердечной деятельностью имелась двигательная реакция при механическом раздражении; 3 — кратковременное и 4 — стойкое восстановление основных жизненных функций; 5 и 6 — внешние признаки отклонений от нормы практически отсутствовали по крайней мере в течение 2 суток по окончании опыта.

* Вес лягушек указан до введения раствора спирта.

** Считая от первого появления в теле льда.

мещением лягушек в охлаждающую камеру также лишено было преимуществ (не повышало холодоустойчивости).

Приведенные в табл. 1 данные указывают, что:

1) Спирт (40%) тормозил образование в теле животных льда, снижая начальную температуру замерзания до $-1,0$ — $-1,4^{\circ}$ (только у 17% лягушек она была выше $-0,9^{\circ}$). Вводя спирт, нам удалось добиться более сильного снижения начальной температуры замерзания, чем это мы наблюдали у подсушенных лягушек (4).

2) Соответственно снижалась и температура тела при переохлаждении, доходя до -3 — -5° .

3) Полное и стойкое восстановление основных жизненных функций имелось после падения температуры тела ниже -1° , в то время как у нормальных оно отсутствовало после снижения температуры тела уже до $-0,8$ — $-0,9^{\circ}$. При этом стойкое и полное восстановление основных жизненных функций отмечалось при снижении температуры тела до -1 — $-1,2^{\circ}$ у 10 из 14 животных; ниже $-1,2$ до $-1,4^{\circ}$ у 6 из 8; ниже $-1,4$ до $-1,6^{\circ}$ у 4 из 13; до -2° не отмечалось ни в одном случае.

Следовательно, $-1,5^{\circ}$ надо рассматривать как температуру тела, близкую к минимальной, которую «спиртовые» лягушки могут переносить (если падение начальной температуры замерзания было до $-0,9^{\circ}$ и ниже).

Далее, мы решили выяснить количественную сторону тормозящего льдообразование действия спирта, применяя dilatометрический способ учета замерзающей воды.

2. Dilatomетрические эксперименты. Мы пользовались сосудами, близкими по своей конструкции к тем, с которыми оперировал Н. Л. Сахаров (5) в экспериментах на насекомых, но вместо бензина в сосуды помещалось вазелиновое масло по тем же причинам, по которым использовал масло в своих опытах с мускулами Моран (6).

Лягушки иммобилизовались введением иглы в спинной мозг; из пищеварительного тракта и из легких воздух удалялся, и эти полости заполнялись вазелиновым маслом; пузырьки воздуха с поверхности животных удалялись под вакуумом. Дилатометры охлаждались в криогидратном растворе K_2SO_4 при $-1,5^\circ$. Вначале отмечался уровень масла в измерительной трубке * при переохлаждении (при $-1,5^\circ$), а затем, при той же температуре, после замерзания лягушек. Замерзание вызывалось не встряхиванием (что оказалось безрезультатным), а ускорением темпа охлаждения. Шарик термометра вводился в пищевод.

Условия предварительного содержания лягушек были одинаковыми во всех опытах. Все опыты были поставлены в конце зимы — начале весны на животных, пойманных в то же время. Каждое определение занимало от 1 до 2 суток.

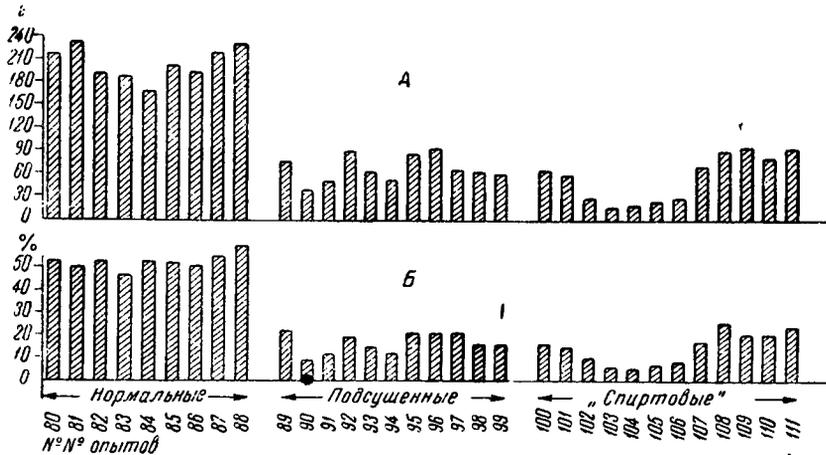


Рис. 1. Количество замерзающей при $-1,5^\circ$ воды. А — количество замерзающей воды (в г), приходящееся на 100 г сухого веса лягушек; Б — в процентах по отношению к начальному содержанию воды в теле лягушек (до их подсушивания или до введения спирта)

Приведенные на рис. 1 данные указывают на то, что 40% спирт уменьшал количество замерзающей в теле лягушки при $-1,5^\circ$ воды в $2\frac{1}{2}$ —8 раз по сравнению с нормальными экземплярами. Для сравнения приведены дилатометрические определения, проведенные на лягушках, подсушенных** до потери 31—38% веса (что должно было соответствовать потере 39—47% воды). У «спиртовых» лягушек в ряде случаев торможение льдообразования было более резко выражено, чем у подсушенных животных.

Институт экспериментальной
физиологии и терапии
Министерства здравоохранения СССР

Поступило
30 VII 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. К. Лозина-Лозинский, Журн. общ. биол., 9, 441 (1948). ² В. J. Lu-let and E. L. Hodapp. Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 39, 433 (1938). ³ Woodcock, Canad. Journ. Res., Sect. D, 19, 206 (1941). ⁴ С. Н. Мацко и А. Т. Жмейдо, ДАН, 59, № 2 (1948). ⁵ Н. Л. Сахаров, Журн. опытно-агрон. Юго-востока, 6, 35 (1928). ⁶ Т. Морган, Proc. Roy. Soc. (London), 107, 182 (1930). ⁷ С. Н. Мацко и В. М. Селиванова, ДАН, 69, № 3 (1949).

* Диаметр мерительных трубок дилатометров от 3 до 3,5 мм. Ошибка при дилатометрических определениях (отклонение при калибровках от среднего арифметического в обе стороны) не превышала 1%. При калибровке дилатометров бралось от 5 до 9 г воды.

** Способ подсушивания был тот же, что и в прежних исследованиях (⁴)