

УДК 597—105 + (597.08:001.8) + (577.472 + 539.16)

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ МОРСКИХ РЫБ
С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОАКТИВНОГО УГЛЕРОДА**М. П. БОГОЯВЛЕНСКАЯ, И. Ф. ВЕЛЬТИЩЕВА, А. И. ЛИТЯГО,
К. Ф. СОРВАЧЕВ

Одним из методов изучения обмена веществ являются эксперименты с использованием радиоактивных соединений, в том числе меченых по углероду. Японские исследователи (Y. Tsuchiya, Nevenzel, A. Fulco, F. Mead, 1963; M. Kayama, Y. Tsuchiya, 1954; M. Kayama, Y. Tsuchiya, 1968), работавшие с морскими рыбами, изучали включение радиоактивных соединений линолевой кислоты и ацетата натрия в жирные кислоты, а также определяли место включения радиоактивного углерода в их цепи. Хохичка и Хейс (Hochachka P. W., Hayes F. R., 1962) при помощи радиоактивного углерода изучали изменение обмена глюкозы у форели при понижении температуры.

Первые опыты по изучению обмена веществ у морских рыб (трески и камбалы) были проведены с использованием пальмитиновой кислоты, метионина, бикарбоната натрия, меченых по углероду. В задачу исследований входило отработать способы введения радиоактивных веществ в организм рыбы; изучить интенсивность включения радиоактивного углерода в различные органические соединения органов и тканей у двух видов рыб (трески и камбалы), отличающихся по характеру обмена веществ; исследовать степень включения радиоактивного углерода в белые и красные мышцы, отличающиеся по своему функциональному значению.

Для опытов было использовано 24 трески весом от 30 до 540 г, в возрасте от одного до четырех лет, на стадиях *juv* и II, камбала весом от 37 до 280 г, в возрасте четырех—пяти лет, на II, VI и VI—II стадиях зрелости.

Для изучения белкового, жирового, углеводного обмена рыбам вводили метионин, пальмитиновую кислоту и бикарбонат натрия. Способы введения радиоактивных веществ были различны. Пальмитиновую кислоту замешивали в рыбный фарш и давали с кормом приблизительно по 55 *мккюри* на рыбу. Растворы бикарбоната натрия и метионина инъецировали в мышцы: бикарбоната натрия 175 *мккюри* на рыбу, метионина 100 *мккюри* на рыбу.

Треске вводили пальмитиновую кислоту и бикарбонат натрия, камбале — метионин и бикарбонат натрия. Весь материал рассматривали с учетом пола, возраста* и стадий зрелости.

* Пользуемся случаем принести глубокую благодарность Г. И. Токаревой за определение возраста трески и М. И. Шатуновскому за определение возраста камбалы.

Для изучения интенсивности включения радиоактивного углерода из различных соединений в белки, жиры, углеводы подопытных рыб брали на анализ через сутки.

Проведенные ранее опыты с другими рыбами в течение двух суток (от 1 до 48 ч) показали, что наиболее сильно активность белков, жиров и углеводов колеблется в первые 12 ч. Самое интенсивное включение радиоактивного углерода бикарбоната натрия в гликоген наблюдалось через 6 ч, что связано с включением минерального углерода в органические соединения через трикарбонный цикл. Активность белков и жиров в это время была значительно ниже. Уровень колебания радиоактивности всех элементов через 24 и 48 ч был гораздо меньше.

Подопытных рыб измеряли, взвешивали и для биохимического анализа брали печень, мышцы и гонады, в которых определяли жир, гликоген и белок (по сухому обезжиренному остатку). Просчитывали препараты на радиометре типа «Волна» со счетной трубкой БФЛ-25. Результаты измерений представлены в распадах-минуту на 100 мг вещества.

Анализ материала показывает, что при созревании самок трески от ювенильной стадии до второй значительно увеличиваются относительное количество сухого вещества, жира, гликогена (табл. 1). Неполовозрелые самцы сильно отличаются от самок более высоким содержанием сухого вещества, жира и гликогена. При сравнении трески и камбалы — рыб с различной биологией — наблюдается отличие в химическом составе тела (табл. 2—3). Содержание сухого вещества и жира в печени трески значительно выше, чем у камбалы. По содержанию гликогена печень камбалы богаче печени трески. Мышцы камбалы содержат несколько больше сухого вещества, жира и гликогена. Эти материалы подтверждают мнение Г. Е. Шульмана (1969) о том, что более подвижные рыбы (например, треска), в качестве главного энергетического источника использует жир, тогда как малоактивные рыбы (камбала) в большей мере использует гликоген.

При сравнении белых и красных мышц камбалы и трески в красных мышцах обнаруживается более высокое содержание сухого вещества и жира (табл. 1). На это же указывает В. И. Лисовская (1967, 1968). Различия между белыми и красными мышцами определяются их функциональным значением. Белые мышцы осуществляют быстрые, но кратковременные сокращения, красные — медленные, но длительные. Помимо более высокого содержания жира и гликогена, в красных мышцах происходят активные дыхательные и ферментативные процессы.

По данным Намаки (Namaki, 1934), в красных мышцах содержится больше органически связанного железа, Маршалл (Marshall, 1963) отмечает, что красные мышцы тунцов имеют такую же сложную систему кровообращения, как и печень. Некоторые авторы считают, что красные мышцы выполняют функцию печени (Braekken, 1956) или почек (Roubal, 1963).

Если содержание тех или иных веществ в организме говорит о количественном их накоплении к определенной стадии развития, то степень включения радиоактивного углерода в белки, жиры, углеводы свидетельствует об интенсивности процесса обмена этих веществ. Рассмотрена интенсивность включения радиоактивного углерода в белки, жиры, гликоген печени, мышц и в некоторых случаях гонад. В табл. 4 приведены данные по треске, которой вводились пальмитиновая кислота и бикарбонат натрия, меченые по C^{14} . Выявилось более интенсивное включение радиоактивного углерода в органические вещества у молодых, неполовозрелых самок по сравнению с самками во II стадии зрелости.

Относительное содержание (в %) влаги, сухого вещества, жира и гликогена у трески

Пол	Стадия зрелости	Печень					Мышцы					Гонады			
		число проб	влага	сухое вещество	жир	гликоген	число проб	влага	сухое вещество	жир	гликоген	число проб	влага	сухое вещество	жир
Пальмитиновая кислота, заданная с пищей															
Самки	juv.	6	59,8	40,2	29,3	0,179	5	$\frac{92,2}{84,3}$	$\frac{7,8}{15,7}$	$\frac{0,3}{4,2}$	$\frac{0,028}{-}$	1	93,8	6,2	1,1
Самки	II	6	46,3	53,7	40,2	0,570	5	$\frac{85,1}{77,3}$	$\frac{14,9}{22,7}$	$\frac{0,8}{5,5}$	$\frac{0,034}{-}$	5	90,2	9,8	1,8
Самцы	juv.	1	48,2	51,8	34,0	0,800	1	—	—	—	0,088	—	—	—	—
Инъекция радиоактивного бикарбоната натрия															
Самки	juv.	3	63,1	36,9	28,3	0,112	3	83,0	17,0	0,9	0,019	—	—	—	—
Самки	II	3	54,2	45,8	34,4	0,285	2	85,6	14,4	0,6	0,020	2	89,2	10,8	0,2
Самцы	juv.	4	46,7	53,3	31,2	0,493	3	83,2	16,8	1,4	0,079	—	—	—	—

Примечание. В дробях: числитель — белые мышцы; знаменатель — красные.

Относительное содержание (в %) влаги, сухого вещества, жира и гликогена у камбалы после инъекции радиоактивных веществ

Пол	Стадия зрелости	Печень					Мышцы				
		число проб	влага	сухое вещество	жир	гликоген	число проб	влага	сухое вещество	жир	гликоген
Бикарбонат натрия											
Самки	II	2	72,3	27,7	15,6	1,914	2	80,3	19,7	2,3	0,165
Самки	VI	1	76,8	23,2	11,5	2,111	1	—	—	—	0,218
Самцы	juv.	1	80,7	19,3	4,3	—	1	85,8	14,2	1,3	0,182
Самцы	VI	1	44,6	55,4	19,1	1,166	1	75,7	24,3	1,9	0,345
Самцы	VI—II	1	—	—	—	2,530	1	—	—	—	0,288
Самцы	II	1	—	—	—	0,300	1	—	—	—	0,025
Метноинн											
Через 1 сутки											
Самки	juv.	1	81,2	18,8	3,8	—	—	—	—	—	—
Самки	VI	2	75,5	24,4	11,7	0,737	2	$\frac{82,8}{80,3}$	$\frac{17,2}{11,7}$	$\frac{2,4}{3,2}$	0,088
Самки	VI—II	2	78,1	21,9	7,1	1,159	2	$\frac{84,2}{78,1}$	$\frac{15,8}{21,9}$	$\frac{1,0}{7,9}$	0,068
Самцы	VI—II	1	—	—	—	1,281	1	—	—	—	0,015
Самцы	II	1	—	—	—	0,021	1	—	—	—	0,015
Через 3 суток											
Самки	juv.	1	81,2	18,8	3,8	—	1	—	—	—	0,008
Самки	VI—II	4	78,1	22,3	7,1	0,145	4	—	—	—	0,087

77 Примечание. В числителе — белые мышцы; в знаменателе — красные.

Сравнение относительного содержания (в %) жира и гликогена у трески и камбалы

Стадия зрелости	Вид рыбы	Жир		Гликоген		Число проб
		печень	мышцы	печень	мышцы	
II	Треска	34,4	0,6	0,285	0,020	3
	Камбала	15,6	2,3	1,914	0,165	2
juv	Треска	31,2	1,4	0,493	0,079	4
	Камбала	4,3	1,3	—	0,182	1

Таблица 4

Интенсивность включения радиоактивного углерода (распадов/мин на 100 мг вещества печени) у трески

Пол	Стадия зрелости	Число	Печень			Мышцы			Гонады	
			жир	гликоген	белок	жир	гликоген	белок	жир	белок
175 мкюри бикарбоната натрия										
Самки	juv.	4	4466267	317242	40392	180000000	43651	—	—	—
Самки	II	3	934395	196377	25805	424242	63517	1570	16941171	5061
Самцы	juv.	4	423341	135781	18686	538180	102630	253	—	—
55 мкюри пальметиновой кислоты										
Самки	juv.	6	2238130	14696	1115	$\frac{860202}{1018078}$	фон	31	—	—
Самки	II	6	131120	2593	690	$\frac{176109}{640138}$	фон	34	442079	115
Самцы	juv.	1	115161	340	126	—	490	—	—	—

Примечание. В числителе белые мышцы; в знаменателе — красные.

Сравнение ювенильных стадий самцов и самок показало более высокое включение радиоактивного углерода у самок.

Разные возрастные группы внутри каждой стадии несколько отличаются по интенсивности включения радиоактивного углерода в белки, жиры, гликоген (табл. 5). Младшие возрастные группы (1—2 года) характеризуются более интенсивным включением радиоактивного углерода во все органические вещества. С увеличением возраста (до трех—четырёх лет) намечается тенденция к снижению обмена веществ. Наиболее четко это прослеживается в жирах, меньше в углеводах и белках. Изучение обмена веществ белых и красных мышц

трески и камбалы с помощью радиоактивного углерода показало, что красные мышцы очень сильно отличаются от белых по интенсивности включения радиоактивного углерода в белки и жиры (табл. 6).

Таблица 5

Интенсивность включения радиоактивного углерода (распадов/мин на 100 мг вещества печени) у трески разного возраста

Пол	Стадия зрелости	Возраст	Пальмитиновая кислота			Число проб	Бикарбонат натрия			Число проб
			жир	гликоген	белок		жир	гликоген	белок	
Самки	juv.	1	4199373	45900	2355	2	5761944	11664	34298	3
		2	35433	фон	232	2	579250	928399	58673	1
		3	397615	13790	140	2	—	—	—	—
Самки	II	2	217111	2120	1355	2	2012421	479250	20705	1
		3	73793	3722	374	3	395382	54940	23855	2
		4	25398	153	313	1	—	—	—	—
Самцы	juv.	1	115161	340	126	1	1009722	60840	19787	1
		2	—	—	—	—	124026	8131	18028	2
		3	—	—	—	—	435592	466020	18902	1

Таблица 6

Интенсивность включения радиоактивного углерода (распадов в минуту на 100 мг вещества) в белки и жиры белых и красных мышц

Мышцы	Треска (пальмитиновая кислота)		Камбала (метионин)		
	самка—juv	самка—II	самка—VI	самец—VI-II	самец—II
Белые	860202	176109	1499997	4565853	1828125
	фон	34	—	26071	17150
Красные	1018078	640138	2553231	11458647	4699998
	61	60	—	48222	37660

Примечание. В числителе — жир, в знаменателе — белок.

ВЫВОДЫ

Первый опыт применения радиоактивного углерода для изучения обмена веществ морских рыб позволил выявить различие в интенсивности обмена у рыб разного возраста и на разных стадиях зрелости. Треска и камбала отличались по направленности обмена веществ. У трески, использующей в качестве основного энергетического источника жир, наблюдается наиболее интенсивное включение в него радиоактивного углерода. Это прослеживается при использовании таких различных радиоактивных соединений, как пальмитиновая кислота и бикарбонат натрия. У камбалы с иным типом обмена

веществ, даже при введении метионина, наряду с высокой степенью включения радиоактивного углерода в жир отмечается повышенное включение его в гликоген.

Учитывая, кроме того, более высокое, чем у трески, содержание гликогена в печени камбалы, можно говорить о том, что у нее повышенный уровень углеводного обмена.

ЛИТЕРАТУРА

Лисовская В. И. Жировой запас и некоторые показатели жира у планктоноядных рыб северо-западной части Черного моря. Обмен веществ и биохимия рыб. М., Изд-во «Наука», 1967.

Лисовская В. И., Петкевич Т. А. Биохимический состав мышц некоторых черноморских рыб. «Рыбное хоз-во», 1968, № 9.

Шатуновский М. И. Динамика жирности и обводненности мяса и гонад балтийской речной камбалы (*Pleuronectes flesus*) и ее связь с особенностями созревания гонад. «Вопр. ихтиолог.» Т. 3. Вып. 4, (29), 1963.

Шульман Г. Е. Физиолого-биохимические особенности состояния рыб в различные периоды годового цикла. (Динамика энергетических резервов, белковый рост и их экономическое значение). Автореферат диссерт. на соискание уч. степ. д-ра биолог. наук, М., 1969.

Braekken, O. Function of the red muscle in fish. Nature, Vol. 178, 1956.

Hochachka, P. W., Hayes, F. R. The effects of temperature acclimation on pathways of glucose metabolism in the trout. Can. J. Zool., Vol. 40, 1962.

Kayama, M., Tsuchiya, Y., Nevenzel, J. C., Fulco, A., Mead, J. F. Incorporation of linolenic-1-C¹⁴ acid into eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids in fish. J. Amer. Oil Chem. Soc. Vol. 40. No 9, 1963.

Kayama, M., Tsuchiya, Y. Incorporation of C¹⁴-labeled acetate into lipid classes of liver oil by intact leopard shark. Tohoku J. Agric. Res., Vol. 15, No. 3, 1964.

Kayama, M., Tsuchiya, Y. Incorporation of acetate 1-C¹⁴ into glyceryl ethers of leopard shark liver oil. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. Vol. 34, No 7, 1968.

Marshall, N. B. Pelagic fishes. AIBS Bull., 1963.

Namaki, S. Über den Kreatin, Kreatinin Eisen und Fettgehalt der Muskulatur von Fischen. Nagoya J. Med. Sci., Vol. 7 (3), 1934.

Roubal, W. Investigations of the composition of raw and processed domestic tuna. J. Amer. Oil Chem. Soc., Vol: 40, 1963.

AN EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF RADIOACTIVE CARBON IN THE STUDIES OF METABOLISM IN MARINE FISHES

M. P. Bogoyavlenskaya, I. F. Veltishcheva,
A. I. Lityago and K. F. Sorvachev

Summary

A more intensive incorporation of C-labelled palmitic acid and sodium bicarbonate into the lipid fraction is observed in cod as compared to plaice. Along with a fairly high degree of the incorporation of the radioactive label into the lipids, the latter species is characterized by a marked C-label incorporation into the glycogen. An additional administration of methionine has not affected the label distribution pattern in the fractions of lipids and glycogen.