

УДК 597.587.1 : 597—1.05(261.1)

**ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ
ФРАКЦИОННОГО И ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ЛИПИДОВ
ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ СТАВРИДЫ TRACHURUS TRACHURUS L.
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКИ**

М. С. Добрусин

Важная роль липидов в обеспечении нормальной жизнедеятельности организма рыб установлена многими исследователями (Шатуновский, 1972, 1975; Кривобок, 1964; Белянина, 1966; Сторожук, 1976; Лапин, 1973 и др.).

Для лучшего понимания особенностей жирового обмена рыб в последнее время, помимо определения общего содержания липидов, исследуют изменение их качественного состава в различных органах и тканях в течение годового цикла (Щепкин, 1971, 1971а; Кларо и Лапин, 1973; Toyuzi, Nakamura, Shono, 1975; Kondo, 1974 и др.).

В данной работе приведены результаты исследований фракционного и жирнокислотного состава липидов и их динамики в процессе нагула, зимовки, нереста ставриды — *Trachurus trachurus* L. Северо-Восточной Атлантики. Материал для исследования собран в 1975—1976 гг. на научно-поисковых и промысловых судах. Пробы полостного жира, белых скелетных и красных латеральных мышц фиксировали хлороформ-метанолом (2:1) и хранили в холодильнике; в лабораторных условиях липиды экстрагировали по методу Фолча, затем анализировали их фракционный и жирнокислотный состав. Массовый анализ материалов по фракционному составу липидов произведен на тонкослойных пластинках «Silufol». Экспериментальным путем была подобрана система растворителей, с помощью которой добились наилучшего деления на фракции: гексан-диэтиловый эфир — уксусная кислота в соотношении 90:20:1. Количественное определение фракций с пластинок «Silufol» обработанных 5%-ным раствором фосфорно-молибденовой кислоты, проводили с помощью автоматического интегрирующего денситометра, разработанного на кафедре автоматизации пищевых производств МТИП. Для изучения состава жирных кислот липидов ставриды использовали газо-жидкостный хроматограф модели «Цвет-101». Процентный состав жирных кислот в липидах определяли, используя произведение высоты пика на время удерживания по формуле:

$$S_i = \frac{h_i \cdot V_i}{\sum h_i \cdot V_i} \cdot 100\%$$

где S_i — процентное содержание отдельной жирной кислоты от суммы всех определяемых кислот;

h_i — высота пика;

V_i — время удерживания.

Фракционный и жирнокислотный состав определяли на одних и тех же пробах. Анализировали только половозрелых особей ставриды мальных размеров 32—36 см.

В течение годового цикла соотношение липидных фракций значительно изменяется. Во второй половине октября — начале ноября ставрида прекращает активное питание и образует плотные зимовальные скопления. В это время у ставриды наблюдается самый высокий коэффициент упитанности и высокое содержание полостного жира. В это же время отмечается и самая высокая жирность мышц. Половые железы ставриды находятся в этот период на третьей стадии зрелости. В зимовальный период ставрида практически не питается. Организм рыб в период зимовки вынужден перейти на эндогенное питание с использованием накопленных липидных резервов, важнейшим из которых является полостной жир. По нашим данным, основной фракцией липидов полостного жира являются триглицериды, содержание фосфолипидов, диглицеридов, НЭЖК, стериннов и эфиров стериннов в полостном жире рыб незначительно.

Фракционный состав липидов полостного жира ставриды (в %)

Фосфолипиды	4,9
	6,1
Моно-, диглицериды	0,7
	0,9
Стерины	2,6
	2,1
Жирные кислоты	0,6
	0,5
Триглицериды	87,7
	86,2
Эфиры стериннов	3,5
	4,2

Примечание. В дробях: числитель — самцы, знаменатель — самки.

Исследования полостного жира ряпушки (Лизенко, 1975) и мезентериального жира *Lutianus synagris* L. (Лапин, 1971) показали, что основной фракцией этой ткани являются триглицериды.

Жирнокислотный состав липидов полостного жира ставриды представлен следующими жирными кислотами: миристиновой ($C_{14:0}$), пальмитиновой ($C_{16:0}$), олеиновой ($C_{18:0}$), козеновой ($C_{20:1}$), эруковой ($C_{22:1}$), докозагексаеновой ($C_{22:6}$). Преобладают в этой ткани пальмитиновая, олеиновая и докозагексаеновая кислоты; содержание эйкозапентаеновой кислоты ($C_{20:5}$) в полостных липидах выше, чем в мышечной ткани. Значительный процент от суммы всех жирных кислот приходится на долю полиненасыщенных и мононенасыщенных жирных кислот (таблица). Такой фракционный и жирнокислотный состав липидов полостного жира объясняется функциональными особенностями этой ткани в организме ставриды. Жиры этой ткани обладают большой лабильностью и представлены такими энергоемкими соединениями, как триглицериды. Качественный состав липидов этой ткани указывает на то, что они образуются непосредственно из липидов пищи. Ставрида питается зоопланктоном и мелкой рыбой. По данным К. Масера (Масер, 1976), в период нагула основу питания ставриды составляют

эвфаузииды (*Nyctiphanes couchi* (Bell)), копеподы (*Calanus* и *Centropages*) и личинки декапод. По сведениям Д. Ловерна (Lovern, 1953), основными жирными кислотами липидов *Calanus finmarchicus* являются кислоты с 20 и 22 атомами углерода; по сведениям Р. А. Кржечекковского (Krzeczkowski, 1970), липиды мяса креветки также содержат большой процент эйкозопентаеновой и докозгексаеновой кислот. Таким образом, жирнокислотный состав липидов полостного жира сходен с жирнокислотным составом объектов питания ставриды. Полостной жир расходуется в процессе всего зимовального периода, но наиболее резко его содержание уменьшается в момент перехода ооцитов к трофоплазматическому росту, а затем продолжает снижаться до начала активного питания. С момента завершения нереста и начала нагульного периода количество полостного жира начинает увеличиваться.

Состав жирных кислот липидов полостного жира ставриды
(в % от суммы всех кислот)

Кислота	% от суммы всех кислот	Кислота	% от суммы всех кислот	Кислота	% от суммы всех кислот
C _{12:0}	0,10	C _{18:1}	15,53	C _{20:5}	9,58
C _{14:0}	7,05	C _{18:2}	2,06	C _{22:3}	1,44
C _{15:0}	0,47	C _{20:0}	0,12	C _{22:4}	0,46
C _{16:0}	16,42	C _{20:1}	7,20	C _{22:5}	1,67
C _{16:1}	4,38	C _{18:4}	3,92	C _{22:6}	16,78
C _{17:0}	0,42	C _{22:0}	0,07	Σ _{n=0}	27,19
C _{16:2}	0,32	C _{22:1}	8,50	Σ _{n=1}	35,61
C _{18:0}	2,54	C _{20:4}	0,97	Σ _{n=2-6}	37,20

Помимо полостного жира, значительная часть липидов депонируется у ставриды в красной латеральной и белой скелетной мускулатуре. Основной фракцией жиров мышц ставриды являются триглицериды, составляющие в различные сезоны года от 45 до 85% от общей суммы липидов. Значительную часть липидов мышц составляют фосфолипиды и стерины, отмечено также высокое содержание неэстерифицированных жирных кислот и эфиров стериннов. Относительное содержание фракций, перечисленных выше, в красной латеральной и белой скелетной мускулатуре очень сходно, и изменения в их годичном цикле ставриды носят синхронный характер (рис. 1). Жирнокислотный состав липидов мускулатуры ставриды представлен следующими основными кислотами: пальмитиновой (C_{16:0}), стеариновой (C_{18:0}), олеиновой (C_{18:1}), козеиновой (C_{20:1}), эруновой (C_{22:1}), эйкозопентаеновой (C_{20:5}) и докозгексаеновой (C_{22:6}).

Японскими исследователями (Toyomizu et al., 1976) показана зависимость между содержанием нейтральных липидов, свободных жирных кислот и фосфолипидов мышц японской ставриды — *Trachurus japonicus* и содержанием общих липидов, а также проанализирован состав жирных кислот названных липидных фракций мышц японской ставриды различной жирности. Ими установлено, что при увеличении общей жирности мышц увеличивается доля нейтральных липидов в основном за счет триглицеридов и уменьшается доля фосфолипидов, более высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот характеризуются фосфолипиды, в основном здесь преобладает докозопентаеновая кислота (C_{22:6}). Наши данные в основном совпадают с данными японских исследователей, но, поскольку мы не изучали жирнокислотный состав отдельных фракций липидов, то анализировали изменения не отдельных жирных кислот, а содержание насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот вместе.

Качественный состав липидов мышц ставриды изменяется в течение годового цикла следующим образом. В ноябре — декабре в мышцах ставриды накапливается наибольшее количество липидов, основной фракцией которых являются запасные липиды — триглицериды (см. рис. 1). Сумма полиненасыщенных жирных кислот достигает своего ми-

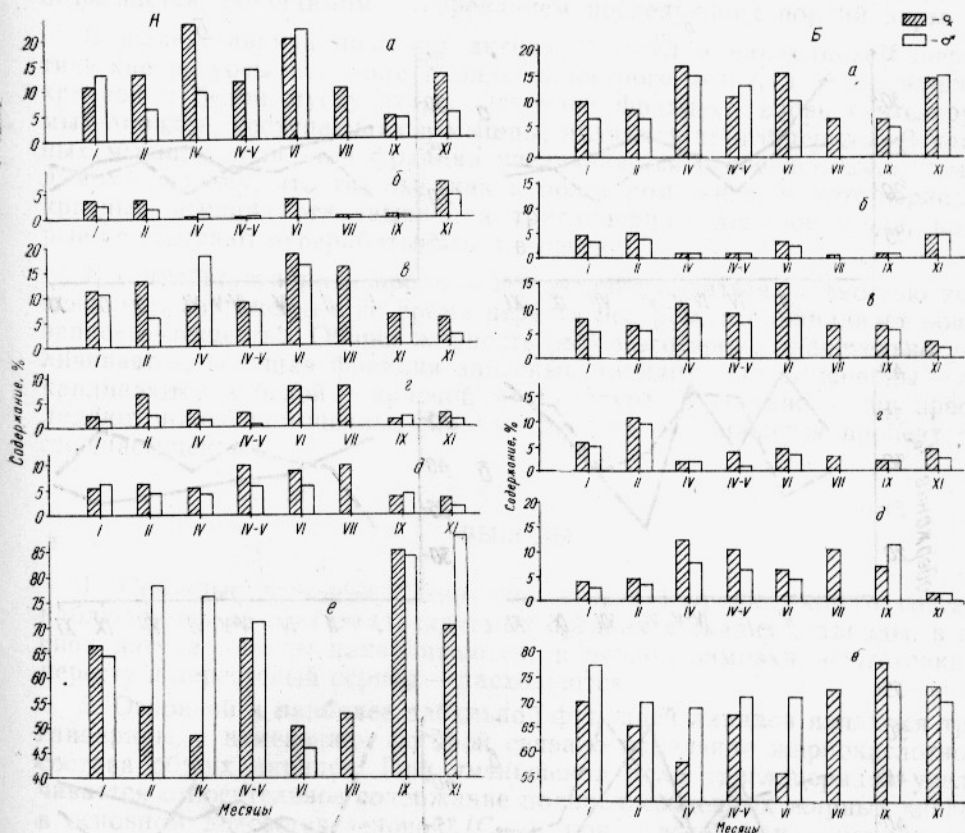


Рис. 1. Сезонная динамика относительного содержания отдельных фракций липидов (А) в белых скелетных мышцах и (Б) в красных латеральных мышцах ставриды: а — фосфолипидов. б — диглицеридов, в — НЭЖК, д — эфиров стерина, е — триглицеридов.

нимума, а насыщенных — максимума (рис. 2). В дальнейшем расходуется триглицериды, так как ставрида прекращает питание и траты на пластический и энергетический обмен покрываются за счет эндогенных источников. В апреле при наибольшей трате запасов липидов мышц резко возрастают масштабы синтетических процессов в гонадах, что еще более снижает долю триглицеридов в липидах мышц. При этом повышается относительное, но не абсолютное содержание фосфолипидов в мышцах. Эти изменения в большей степени касаются самок ставриды, так как именно в их мышцах так резко снижается доля триглицеридов; у самцов этот процесс несколько сдвинут по времени и минимум содержания триглицеридов у них приходится на разгар нереста (июнь). По нашему мнению, разница в расходовании запасных энергетических веществ у самцов и самок объясняется тем, что на построение икринок требуется гораздо больше ресурсов, чем на построение семенников, в то же время в период нереста энергетические затраты самцов гораздо выше, так как они участвуют в нересте более продолжительно и многократно (Шатуновский и др., 1972).

Жирнокислотный состав липидов мышц в описываемый период изменяется в соответствии с отмеченной выше закономерностью. При уменьшении доли триглицеридов и снижении общего содержания липидов возрастает сумма полиненасыщенных жирных кислот в основном за счет увеличения доли докозагексаеновой кислоты ($C_{22:6}$.)

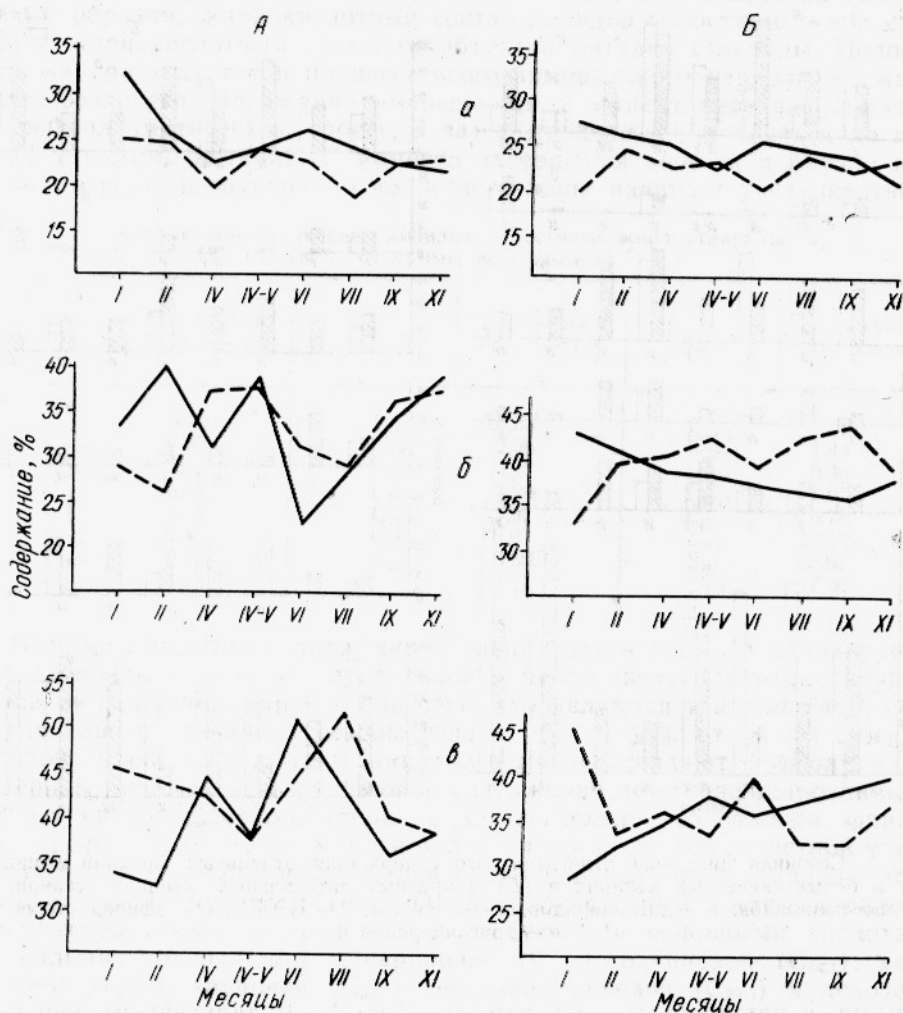


Рис. 2. Сезонная динамика относительного содержания суммы насыщенных (а), мононенасыщенных (б) и полиненасыщенных (в) жирных кислот общих липидов красных (Б) и белых (А) мышц ставриды (— — — — самки; — — — — самцы).

В середине весны в созревающие половые продукты из красных и белых мышц ставриды в больших количествах мобилизуются фосфолипиды (см. рис. 1); соотношение «фосфолипиды — триглицериды» сдвинуто в сторону триглицеридов. Это хорошо иллюстрируется и уменьшением содержания докозагексаеновой кислоты ($C_{22:6}$), которая доминирует в составе фосфолипидов. Относительно большее количество фосфолипидов расходуется из белой скелетной мускулатуры.

Разгар нереста у ставриды приходится на июнь. Во время нерестовой миграции и нереста ставрида питается, но с малой интенсивностью. Поступающей экзогенной энергии не хватает на покрытие энергоемких процессов в организме ставриды, поэтому энергетические вещества не накапливаются. Более того, в белых мышцах продолжается расход три-

глицеридов, на что указывает увеличение доли полиненасыщенных жирных кислот и уменьшение доли моноеновых жирных кислот. В липидах мышц ставриды увеличивается относительное содержание стерина, что продолжается и в апреле, в период трофоплазматического роста ооцитов первой порции; в июне и июле увеличение содержания стерина объясняется, по-видимому, созреванием последующих порций икры.

В июле ставрида начинает активный нагул и накапливает энергетические ресурсы в начале в виде полостного жира, а затем жира в красной и белой мускулатуре. Основной фракцией вновь синтезируемых липидов, поступающих в мышцы, являются триглицериды. В красных мышцах доля этой фракции увеличивается особенно резко, по-видимому, потому, что так же, как в полостном жире, в этот период в красных мышцах откладываются триглицериды липидов пищи, которые не успевают перерабатываться в печени.

В сентябре ставрида продолжает активно питаться, полностью компенсирует затраченные во время нереста ресурсы, и накапливает новые запасные вещества. Общая жирность рыб в это время значительно увеличивается, ведущая фракция запасных липидов — триглицериды — накапливаются в белой и красной мускулатуре. В составе мышц преобладают мононенасыщенные жирные кислоты и снижается процент полиненасыщенных.

ВЫВОДЫ

1. Сезонные изменения жирнокислотного и фракционного состава наблюдаются во всех анализируемых органах и тканях ставриды: в период нагула липиды накапливаются; в период зимовки, подготовки к нересту и нерестовый период — расходуются.

2. Основной и наиболее лабильной фракцией липидов являются триглицериды, с изменением которой связано изменение жирнокислотного состава общих липидов. При уменьшении доли триглицеридов увеличивается относительное содержание полиненасыщенных жирных кислот, в основном докозогоксаеновой ($C_{22:6}$), при увеличении — уменьшается содержание полиненасыщенных кислот и увеличивается содержание мононенасыщенных, в основном пальмитиновой ($C_{16:1}$) и олеиновой ($C_{18:1}$).

3. Изменения фракционного и жирнокислотного состава липидов связано с созреванием половых продуктов ставриды, большое значение для которого имеет фракция фосфолипидов.

4. Жирнокислотный состав липидов полостного жира и объектов питания ставриды сходны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Белянина Т. Н. Сезонные изменения жирности беломорской корюшки в связи с созреванием гонад. В сб.: «Закономерности динамики численности рыб Белого моря». М., «Наука», 1966, с. 156—180.

Кларо Р., Лапин В. И. Изменение некоторых биохимических показателей органов и тканей *Lutianus synagris* (L.) залива Батабано во время созревания половых продуктов. «Вопросы ихтиологии», 1973, т. II, вып. 5 (70), с. 877—891.

Кривобок М. Н. О роли печени в процессе созревания яичников салаки. «Вопросы ихтиологии», 1964, т. 4, вып. 3 (32), с. 483—494.

Лапин В. И. Сезонные изменения биохимического состава органов и тканей речной камбалы *Platichthys flesus* (L.) Белого моря. «Вопросы ихтиологии», 1973, т. 10, вып. 4 (63), с. 312—327.

Лизенко Е. И., Сидоров В. С., Потапова О. И. Сезонные изменения липидного состава органов и тканей крупной ряпушки *Coregonus albula* L. озер Карелии. «Вопросы ихтиологии», 1975, т. 15, вып. 3 (92), с. 519—525.

Сторожук А. Я., Шатуновский М. И. Исследование сезонной динамики фракционного состава липидов органов и тканей Североморской сайды. Труды ВНИРО, 1975, т. 96, с. 121—126.

Шатуновский М. И., Богоявленская М. П., Вельтищева И. Ф., Кривобок М. И., Масленникова Н. В., Токарева Т. И. Динамика физиолого-биохимического состояния промысловых рыб Северо-Восточной Атлантики в течение жизненного и годового цикла. Научный отчет. ОНТИ ВНИРО, 1972, с. 3—67.

Шатуновский М. И., Козлов А. И. Некоторые особенности качественного состава жиров мраморной нототении *Notothenia gossii marmorata* (Fisher). «Биологическая наука», № 4, 1973, с. 59—63.

Щепкин В. Я. Динамика липидного состава скорпены в связи с созреванием и нерестом. «Вопросы ихтиологии», 1971, т. II, вып. 2 (67), с. 332—337.

Щепкин В. Я. Динамика липидного состава черноморской ставриды в связи с созреванием гонад и нерестом. «Вопросы ихтиологии», 1971а, т. II, вып. 4 (69), с. 697—701.

Kondo, H. Studies on the lipids of herring. I. The lipids of the North-Eastern Kamchatka. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 1974, v. 25, N 1, pp. 68—77.

Lovern, J. A. Some causes of variation in the composition of fish oils. J. Soc. Leath. Trades Chem. 1950, 34, pp. 7—21.

Macer, C. T. Some aspects of the biology of the horse mackerel (*Trachurus trachurus* L.) in waters around Britain. J. Fish. Biol., 1977, v. 10, N 1, pp. 51—62.

Тоумизу, М., Nakamura T., Shono, T. Fatty acid composition of lipid from horse mackerel muscle. Discussion of fatty acid composition of fish lipids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 1976, v. 42, N 1, pp. 101—108.

*Investigations of seasonal dynamics of the fractional
and fatty acid composition of lipids in the organs
and tissues of horse mackerel from
the Northeast Atlantic*

Dobrusin M. S.

SUMMARY

Changes in the fractional and fatty acid composition of lipids from the skeleton and red lateral muscles of horse mackerel from the Northeast Atlantic as well as of the dynamics of the characteristics obtained in the feeding, wintering and spawning seasons are analysed. The lipid components are accumulated in the feeding season and spent in the wintering, pre-spawning and spawning seasons. The principle and most labile fraction in the lipids is triglycerides. Changes in the fatty acid composition of lipids are associated with variations in triglycerides.

The fractional and fatty acid composition of lipids changes in the course of maturation of sexual products and the fraction of phospholipids is most responsible for these changes.