

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИПИДОВ ГЛУБИННОГО МИЦЕЛИЯ ГРИБОВ**  
**В. Г. Бабицкая, Т.В.Черноок, В. В. Щерба, Т.А. Пучкова, Т.В. Филимонова,**  
**О.В. Осадчая**

*Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь;*

**Введение**

К настоящему времени накоплено значительное количество экспериментальных данных, свидетельствующих о том, что липидам наряду с хорошо известной структурной и энергетической ролью свойственны биоэффекторные функции. К числу метаболически активных соединений липидной природы относятся и полиненасыщенные жирные кислоты, и фосфолипиды, и пигменты, а также их производные. В организме человека и животных они принимают участие во многих жизненно важных функциях и процессах, регулируя, в частности, активность фосфолипаз, ионных каналов, АТФаз, G-белков, модулируют также фосфолипидный и сфингомиелиновый циклы, передачу гормональной информации, транскрипцию белков [1, 2]. Вместе с тем до настоящего времени имеются сведения об особенностях липогенеза и составе липидов лишь низших грибов, в то время как для высших грибов, в частности базидиомицетов, аналогичные данные практически отсутствуют. Исследования ограничиваются единичными работами по изучению липидов плодовых тел [3-9].

Ранее нами был проведен скрининг грибов, синтезирующих значительное количество липидов [10]. Цель настоящей работы - характеристика липидных соединений глубинного мицелия отобранных грибов, изучить качественный и количественный состав нейтральных и полярных липидов.

**Методы исследования**

В качестве объектов исследования использовали штаммы мицелиальных грибов - *Ganoderma lucidum*, *Laetiporus sulphureus* класса *Basidiomycetes* и *Cordyceps militaris* класса *Ascomycetes*.

Грибы выращивали в колбах на качалке с 150-200 мл подобранных производственных сред следующего состава: для *G. lucidum* - молочная сыворотка (5%) + подсолнечный шрот (0,7%); для *L. sulphureus* - ржаная мука (3%) + крахмал (1%); для *C. militaris* - молочная сыворотка 2% + меласса 3% + подсолнечное масло 0,5 об.%. Температура культивирования - 25-27<sup>0</sup>С.

Липиды из влажного мицелия экстрагировали методом Фолча в модификации Блайя и Дайэра [11, 12]. Отделение полярных липидов от нейтральных осуществляли методом осаждения холодным ацетоном [12]. Разделение нейтральных липидов на отдельные составляющие компоненты проводилось методом тонкослойной хроматографии, которую осуществляли на пластинах Silufol UV254 (Kavalier) в системе гексан : диэтиловых эфир : этанол = 70:30:1. Для обнаружения и идентификации индивидуальных липидов хроматограммы просматривали в УФ-свете (366 нм), а также проявляли в парах йода [12]. Разделение полярных липидов на отдельные составляющие проводилось методом тонкослойной хроматографии на пластинах Silicagel (Merck Kieselgel 60F 254) в системе хлороформ : метанол : вода = 65 : 25 : 4 [13]. Качественный и количественный состав жирных кислот изучали методом газожидкостной хроматографии на хроматографе «Хром-5» с пламенно-ионизационным детектором, используя колонку из нержавеющей стали длиной 2,8 м, заполненную хроматоном N-AW-HMDS (0,16-0,20 мм) с 15% полиэтиленгликольсукцинатом в качестве жидкой фазы, температура колонки - 180<sup>0</sup>С, испарителя- 210<sup>0</sup>С [14] В качестве газа носителя использовали гелий (30 мл/мин). Степень ненасыщенности липидов (СН) определяли по формуле [6].

## Результаты и обсуждение

Для разделения полярных и неполярных липидов на отдельные фракции применяются методики, основанные на различных физико-химических свойствах этих групп соединений (растворимость, способность взаимодействовать с адсорбентами, др). Как известно, не существует одинаково эффективной методики разделения для липидов, выделенных из различных природных источников [12]. Поэтому, для выбора оптимального метода фракционирования липидов исследуемых грибов нами было проведено сравнительное исследование 3-х общепринятых методов разделения липидов: осаждение холодным ацетоном, хроматография на колонке с силикагелем, противоточное разделение в системе гексан : этанол (87%). Наиболее приемлемым оказался метод осаждения холодным ацетоном, позволивший в достаточно полной мере отделить фосфолипиды от нейтральных липидов – во фракции нейтральных липидов осталось не более 7,8% фосфора (табл. 1).

Таблица 1 – Фракционирование общих липидов грибов

Показатель, %	Нейтральная фракция			Полярная фракция		
	<i>C.militaris</i>	<i>G.lucidum</i>	<i>L.sulphureus</i>	<i>C.militaris</i>	<i>G.lucidum</i>	<i>L.sulphureus</i>
Доля фракции	71,8	62,0	72,6	28,2	38,0	27,4
Распределение фосфора между фракциями	7,8	5,4	4,0	92,2	94,6	96,0
Содержание фосфолипидов во фракции	3,3	6,5	5,0	98,1	96,0	84,2

При разделении общих липидов на фракции полярных и нейтральных методом осаждения холодным ацетоном у всех изучаемых грибов количественно преобладала фракция нейтральных липидов (62,0–72,6%). В больших количествах она присутствовала у базидиомицета бурой гнили *L.sulphureus*, в меньших – у гриба белой гнили *G.lucidum*. Изучение жирнокислотного состава фракций позволило выявить общие закономерности: как в нейтральных, так и в полярных липидах ненасыщенные жирные кислоты количественно преобладают над насыщенными; во фракциях полярных липидов содержится больше ненасыщенных жирных кислот ( $\sum_1$  ненасыщенных жирных кислот: 77,96–84,19) чем во фракции нейтральных липидов ( $\sum_1$  ненасыщенных жирных кислот: 50,42–75,26) (табл. 2).

Таблица 2 – Жирнокислотный состав фракций липидов грибов

Кислота, %	Нейтральная фракция			Полярная фракция		
	<i>C.militaris</i>	<i>G.lucidum</i>	<i>L.sulphureus</i>	<i>C.militaris</i>	<i>G.lucidum</i>	<i>L.sulphureus</i>
C <sub>15:0</sub>	-	6,54	-	-	4,86	0,24
C <sub>16:0</sub>	19,62	24,93	46,15	12,56	15,60	17,62
C <sub>16:1</sub>	2,92	3,74	1,51	5,74	2,43	сл.
C <sub>17:0</sub>	3,19	1,97	1,18	-	0,89	0,84
C <sub>18:0</sub>	1,93	3,78	2,25	3,25	0,69	2,48
C <sub>18:1</sub>	23,22	11,32	18,94	25,79	4,11	15,66
C <sub>18:2</sub>	49,12	47,72	29,35	52,66	71,42	62,70
C <sub>18:3</sub>	-	-	0,62	-	-	0,46
$\sum_1$ ненасыщенных	75,26	62,78	50,42	84,19	77,96	78,82
$\sum_2$ насыщенных	24,74	37,22	49,58	15,81	22,04	21,18
$\sum_1/\sum_2$	3,04	1,69	1,02	5,33	3,54	3,72
СН	1,24	1,10	0,81	1,37	1,49	1,42

Большую степень ненасыщенности полярных липидов отмечают в своих исследованиях и другие авторы [3-5]. В составе жирных кислот полярных и нейтральных фракций липидов грибов отмечаются и специфические различия. Так, для нейтральных и полярных липидов *C. militaris* и *G. lucidum* характерно значительное преобладание диеновой C<sub>18:2</sub> кислоты. У *L. sulphureus* C<sub>18:2</sub> кислота преобладает только в полярных липидах. В нейтральных липидах гриба в наибольшем количестве представлена C<sub>16:0</sub> кислота. Помимо этого в составе обеих фракций липидов базидиальных грибов *G. lucidum* и *L. sulphureus* присутствуют кислоты, не обнаруживаемые в липидах аскомицетного гриба *C. militaris*, а именно: насыщенные миристиновая C<sub>14:0</sub> и пентадекановая C<sub>15:0</sub> кислоты. Для *L. sulphureus* характерно еще и наличие полиненасыщенной C<sub>18:3</sub> линоленовой кислоты.

Изучение фракционного состава нейтральных липидов грибов выявило широкий спектр соединений. Если качественный состав нейтральных липидов изученных грибов отличался незначительно, то в количественном отношении нейтральные липиды имели свои особенности. В липидах всех изученных грибов содержится эргостерин – биологически активное и фармакологически ценное соединение, являющееся предшественником витамина группы D (эргокальциферола). По содержанию эргостерина дереворазрушающий гриб белой гнили *G. lucidum* в 1,7 раза превосходил базидиомицет бурой гнили *L. sulphureus* и более чем в 3 раза аскомицет *C. militaris*. У грибов в составе нейтральных липидов в большом количестве присутствуют резервные липиды – триацилглицерины, которые также играют важную роль в живом организме, являясь формой хранения жирных кислот, поступающих в дальнейшие метаболические превращения. Наибольшее количество триацилглицеринов (56,8%) отмечено в составе липидов *C. militaris*. По этому показателю несколько уступал ему гриб *G. lucidum* – 42,2%. Что же касается *L. sulphureus*, то содержание триацилглицеринов в составе его липидов оказалось наименьшим и составляло лишь 25,8%.

Для базидиальных грибов характерно высокое содержание восков и эфиров стериннов (до 16,7 % у *L. sulphureus*), что практически в 2 раза превосходит содержание аналогичной фракции у аскомицета *C. militaris*.

Количество диацилглицеринов в липидах *L. sulphureus* определить не удалось, поскольку в процессе хроматографирования они не отделились от пигмента. У *C. militaris* и *G. lucidum* диацилглицерины относились к минорным соединениям и количественно составляли 9,0% и 4,6 % соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Состав нейтральных липидов глубинного мицелия грибов, %

Фракция	<i>C. militaris</i>	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>
Неидентифицированная пигментированная фракция + диацилглицерины	-	-	20,5
Диацилглицерины	9,0	4,6	-
Эргостерин	4,7	14,8	8,5
Неидентифицированная фракция липидов (Rf = 0,167)	8,2	6,9	14,9
Свободные жирные кислоты	12,6	15,4	13,6
Триацилглицерины	56,8	42,4	25,8
Воска и эфиры стериннов	8,7	16,0	16,7

В наибольшем количестве неидентифицированное соединение, флюоресцирующее в УФ свете, присутствовало в липидах *L. sulphureus* (14,9%).

Содержание свободных жирных кислот у грибов различалось незначительно и находилось в пределах от 12,6 (*C. militaris*) до 15,4 % (*G. lucidum*). Присутствие свободных жирных кислот в составе липидов грибов в последние годы активно обсуждается в

научной литературе. Значительное содержание (до 22% от нейтральных липидов) свободных жирных кислот в составе липидов плодовых тел базидиомицетов *L. edodes*, *A. bisporus* и *P. ostreatus* также отмечают Феофилова и соавторы [6].

Поскольку преобладающими фракциями нейтральных липидов оказались свободные жирные кислоты и триацилглицерины, изучен их жирнокислотный состав. Исследования показали, что в этих фракциях присутствуют практически все кислоты, обнаруживаемые в составе липидов грибов различных таксономических групп.

В пуле свободных жирных кислот всех трех грибов в наибольшем количестве представлены пальмитиновая  $C_{16:0}$ , стеариновая  $C_{18:0}$ , олеиновая  $C_{18:1}$  и линолевая  $C_{18:2}$  кислоты. У базидиальных грибов *G. lucidum* и *L. sulphureus* отмечено преобладание  $C_{16:0}$  кислоты, в то время как у *C. militaris* в наибольшем количестве присутствует диеновая  $C_{18:2}$  кислота (табл.4).

Таблица 4. Жирнокислотный состав фракции свободных жирных кислот липидов грибов

Кислота, %	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>	<i>C. militaris</i>
$C_{14:0}$	1,88	-	-
$C_{15:0}$	0,78	-	-
$C_{16:0}$	39,99	51,47	14,59
$C_{16:1}$	0,77	сл.	0,92
$C_{17:0}$	0,61	4,39	сл.
$C_{18:0}$	6,28	13,95	4,79
$C_{18:1}$	20,76	17,14	26,04
$C_{18:2}$	28,93	13,05	53,66
$\sum_1$ ненасыщенных	50,46	30,19	80,62
$\sum_2$ насыщенных	49,54	69,81	19,38
$\sum_1/\sum_2$	1,01	0,43	4,16
СН	0,79	0,43	1,34

В составе триацилглицеринов *G. lucidum* и *C. militaris*, как и в пуле свободных жирных кислот, преимущественно содержатся пальмитиновая  $C_{16:0}$ , стеариновая  $C_{18:0}$ , олеиновая  $C_{18:1}$  и линолевая  $C_{18:2}$  кислоты. При этом, если у *C. militaris*  $C_{18:2}$  кислота преобладает в обеих фракциях, то у *G. lucidum* линолевая  $C_{18:2}$  кислота преобладает только в триацилглицеринах.

В составе триацилглицеринов *L. sulphureus* в наибольшем количестве представлена пальмитиновая  $C_{16:0}$  кислота.  $C_{14:0}$  и  $C_{15:0}$  кислоты, не обнаруживаемые в пуле свободных жирных кислот, в триацилглицеринах составляют 19,82 и 18,02 % соответственно (табл.5).

Сравнительный качественный и количественный анализ жирнокислотного состава фракций свободных жирных кислот и триацилглицеринов указывает на их значительное

Таблица 5 – Жирнокислотный состав триацилглицеринов грибов

Кислота, %	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>	<i>C. militaris</i>
$C_{14:0}$	1,25	19,82	-
$C_{15:0}$	Сл	18,02	0,14
$C_{16:0}$	17,82	43,10	9,24
$C_{16:1}$	0,24	-	0,06
$C_{17:0}$	0,18	6,98	0,03
$C_{18:0}$	2,43	1,62	1,62
$C_{18:1}$	19,38	5,90	25,08
$C_{18:2}$	58,70	4,55	63,83
$\sum_1$ ненасыщенных	78,32	10,45	88,97
$\sum_2$ насыщенных	21,68	89,55	11,03

$\Sigma_1/\Sigma_2$	3,61	0,12	8,06
СН	1,37	0,15	1,53

сходство. При этом преобладание разных кислот (пальмитиновой и линолевой) в двух фракциях у *G. lucidum*, а также появление в триацилглицеринах *L. sulphureus* C<sub>14:0</sub> и C<sub>15:0</sub> кислот, не характерных для фракции свободных жирных кислот, ставят под сомнение предположение, что свободные жирные кислоты являются артефактами и образуются в процессе выделения липидов.

Полярные липиды, образованные преимущественно фосфолипидами, являются важнейшими структурными элементами клеточных мембран, которые во многом определяют их функциональные свойства. Качественный состав фосфолипидов, как правило, схож у грибов различных групп, количественное же соотношение фракций является во много видоспецифичным [3].

В составе полярных липидов *G. lucidum*, *L. sulphureus* и *C. militaris* в наибольшем количестве содержатся фосфатидилхолин (15,2–29,4%), фосфатидилэтаноламин (13,4–21,7%) и кардиолипин (13,0–13,9%). При этом у *G. lucidum* и *C. militaris* преобладающим соединением является фосфатидилхолин, а у *L. sulphureus* – фосфатидилэтаноламин (табл. 6).

Для базидиомицета *G. lucidum* помимо вышеназванных соединений характерно значительное содержание лизофосфатидилхолина (11,6%). *L. sulphureus* отличался более высоким по сравнению с другими грибами содержанием фосфатидной кислоты (12,2%) и сфингомиелина (11,3%). У аскомицетного гриба *C. militaris* в большем количестве присутствовали фосфатидилсерин (12,9) и фосфатидилглицерин (9,5%). Исследование жирнокислотного состава трех массивных фракций фосфолипидов (фосфатидилхолина, фосфатидилэтаноламина и

Таблица 6 – Состав полярных липидов глубинного мицелия грибов, %

Фракция	<i>C. militaris</i>	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>
Лизофосфатидилхолин	9,2	11,6	8,7
Сфингомиелин	9,7	5,3	11,3
Фосфатидилсерин	12,9	9,7	10,9
Фосфатидилхолин	22,4	29,4	15,2
Фосфатидилглицерин	9,5	7,4	7,0
Кардиолипин	13,7	13,9	13,0
Фосфатидилэтаноламин	13,6	13,4	21,7
Фосфатидная кислота	8,9	9,2	12,2

кардиолипина) изучаемых грибов показало, что основной кислотой в них является пальмитиновая (C<sub>16:0</sub>), присутствуют также стеариновая (C<sub>18:0</sub>), олеиновая (C<sub>18:1</sub>) и линолевая (C<sub>18:2</sub>), а в кардиолипине – еще и C<sub>16:1</sub> и C<sub>17:0</sub> кислоты (табл.7). Схожие результаты получены Терешиной и соавторами [9] для мембранных липидов гриба *Aspergillus niger*.

Для фосфатидилэтаноламинов изучаемых грибов характерно выраженное преобладание насыщенных жирных кислот (2 насыщенных 72,70–74,65%). В фосфатидилхолинах *C. militaris* и *L. sulphureus* соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот приблизительно равно с небольшим преобладанием насыщенных –  $\Sigma_2$  насыщенных 51,68% и 54,41% соответственно. В фосфатидилхолине *G. lucidum* несколько преобладают ненасыщенные жирные кислоты (58,38%).

В кардиолипинах изученных грибов соотношение насыщенных и ненасыщенных кислот приблизительно равно с небольшим преобладанием ненасыщенных кислот у базидиомицетов *L. sulphureus* и *G. lucidum* и насыщенных – у аскомицета *C. militaris*.

Рассматривая состав полярных липидов изучаемых грибов, можно отметить их высокую фармакологическую ценность: фосфатидилхолин (лецитин) является важной составной частью клеточных мембран и участвует в процессах метаболизма жиров в печени, значительно ускоряет восстановление печени при токсическом воздействии, замедляет фиброз и жировую инфильтрацию ткани печени, увеличивает синтез клетками РНК и белка, ускоряет регенерацию. В присутствии витамина В<sub>5</sub> (пантотеновой кислоты) фосфатидилхолин превращается в ацетилхолин – один из наиболее распространённых в мозге нейромедиаторов. Ацетилхолин активизирует и ускоряет интеллектуальную деятельность человека, его работоспособность, способствует формированию и сохранению памяти. Фосфатидилэтанолламин – один из фосфолипидов мозга, который играет жизненно важную роль в функционировании мембран нервных клеток. Кардиолипин является компонентом внутренней мембраны митохондрий. Известно, что, в отличие от других фосфолипидов, кардиолипин обладает выраженными иммунными свойствами [15].

Таблица 7 – Жирнокислотный состав фосфатидилхолина, фосфатидилэтанолламина и кардиолипина

Кислота, %	Фосфатидилхолин			Фосфатидилэтанолламин			Кардиолипин		
	<i>C. militaris</i>	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>	<i>C. militaris</i>	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>	<i>C. militaris</i>	<i>G. lucidum</i>	<i>L. sulphureus</i>
C <sub>16:0</sub>	48,31	38,50	46,28	68,35	66,96	72,14	50,98	41,10	44,93
C <sub>16:1</sub>	-	-	-	-	-	-	6,50	-	6,28
C <sub>17:0</sub>	-	-	-	-	-	-	2,10	5,89	1,82
C <sub>18:0</sub>	3,37	3,49	8,13	4,35	6,21	2,51	3,97	2,85	2,98
C <sub>18:1</sub>	33,74	19,88	19,60	15,98	9,98	11,56	21,36	16,17	20,23
C <sub>18:2</sub>	14,58	38,13	25,99	11,32	16,85	13,79	15,09	33,99	23,76
Σ <sub>1</sub>	48,32	58,01	45,59	28,30	26,83	25,35	42,95	50,16	50,24
Σ <sub>2</sub>	51,68	41,99	54,41	72,70	73,17	74,65	57,05	49,84	49,73
Σ <sub>1</sub> /Σ <sub>2</sub>	0,94	1,38	0,84	0,39	0,37	0,34	0,75	1,00	1,01
СН	0,63	0,97	0,72	0,39	0,44	0,39	0,58	0,84	0,74

### Выводы

Исследование состава липидов грибов *Ganoderma lucidum*, *Laetiporus sulphureus* и *Cordyceps militaris* показало, что нейтральные липиды составляют 62,0-72,6%, полярные – 27,0-38,0%. Для нейтральных липидов характерна высокая степень ненасыщенности (Σ<sub>1</sub> ненасыщенных жирных кислот 50,42–75,26), преобладание C<sub>18:2</sub> и C<sub>16:0</sub> кислот (29,35–49,12% и 19,62–46,15% соответственно). В составе нейтральных липидов количественно преобладают триацилглицерины (25,8–56,8%), в полярных липидах – фосфотидилхолин (15,2–29,4%), фосфатидилэтанолламин (7,35–21,7%) и кардиолипин (9,53–13,9%). Высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот, широкий набор биологически ценных липидных соединений дает основание рассматривать глубинный мицелий изученных грибов в качестве субстанции для создания функциональных продуктов.

### Список литературы

1. Степанов, А.Е. Физиологически активные липиды / А.Е. Степанов, Ю.М. Краснопольский, В.И. Швец – М.: Наука, 1991. – 136 с.
2. Васьковский, В.Е. Липиды / В.Е.Васьковский // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №3. – С.32–37.
3. Капич, А.Н. Фосфолипиды мицелия дереворазрушающих базидиомицетов / А.Н. Капич, Л.Н. Шишкина // Микология и фитопатология. – 1993. – Т.27, Вып. 3 – Р.32–37.
4. Капич, А.Н. О составе липидов мицелия *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing. / А.Н.

Капич, Е.С. Романовец, С.П. Войт // Прикл. биохим. и микробиол. 1989. – Т.25, № 3. – С. 368–372.

5. Феофилова, Е.П. Значение реакции свободного окисления в регуляции роста и липидообразования эукариотных и прокариотных организмов / Е.П. Феофилова, Е.Б. Бурлакова, Л.С. Кузнецова // Прикл. биохим. и микробиол. 1987. – Т.23, № 1. – С. 3–13.

6. Феофилова, Е.П. Липидный состав плодовых тел и глубинного мицелия *Lentinus edodes* (Berk.) Sing [*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler) / Е. П. Феофилова [и др.] // Микробиология. – 1998. – Т.67, № 5. – С. 655–659.

7. Lipids of the zygomycete *Absidia corymbifera* F-965 / S.G. Vatrakov [et al] // Phytochemistry. – 2004. – V. 65, Issue 9. – P. 1239-1246.

8. Трамелан – отечественная биологически активная добавка на основе сухой биомассы лекарственного базидиомицета *Trametes pubescens* (Schumach.) Pil T и другие препараты грибов рода *Trametes* (*Coriolus*) / Горшина Е.С., Скворцова М.М. // Успехи медицинской микологии: материалы третьего всероссийского конгресса по медицинской микологии, Москва, 24–25 марта 2005 г. / Национальная Академия Микологии; редкол.: Ю.В. Сергеев [и др.]. – Москва, 2005. – Т.5. – С.262–266.

9. Состав мембранных липидов и протекторных углеводов мицелиального гриба *Aspergillus niger* при различных тепловых воздействиях / В.М. Терешина [и др.] // Современная микология в России: тезисы докладов второго съезда микологов России, Москва, 16-18 апреля 2008 г. / Национальная академия микологии; редкол.: Ю.Т. Дьяков [и др.]. – Москва, 2008. - Т.2. - С. 146-147.

10. Оценка возможности использования базидиальных грибов в качестве источников биологически активных липидных компонентов / Т.С. Гвоздкова [и др.] // Успехи медицинской микологии: материалы пятого всероссийского конгресса по медицинской микологии, Москва, 28–30 марта 2007 г. / Национальная Академия Микологии; редкол.: Ю.В. Сергеев [и др.]. – Москва, 2007. – Т.9. – С. 151 – 154.

11. Folch, I. A simple method for isolation and purification of total lipids from animal tissues / I. Folch, M. Lees, G.H.S. Sloan-Staulet // J. Biol. Chem.– 1957.– Vol. 226, № 1.– P. 491–509.

12. Кейтс, М. Техника липидологии / М. Кейтс.– М.: Мир, 1975.– 322 с.

13. Молочкина, Е.М. Количественное определение состава фосфолипидов методом тонкослойной хроматографии / Е.М. Молочкина // Исследование синтетических и природных фосфолипидов *in vitro* и *in vivo*: сб. науч. ст. – М.: Наука, 1992. – С. 100–109.

14. Бабицкая, В.Г. Физиологически активные соединения и биологическое действие глубинного мицелия ксилотрофного базидиомицета *Ganoderma lucidum* (Kurt.: Fr.) P. Karst. / В.Г. Бабицкая [и др.] // Биотехнология. – 2003. – № 4. – С. 35-44.

15. Химия липидов / Р.П. Евстигнеева [и др.] – М.: Химия, 1983.– 263 с.