



УДК 577.115.3

## Жирнокислотный состав, уровень ненасыщенности жирных кислот, активность десатураз в листьях лекарственных растений, произрастающих на берегу озера Байкал и сезонная динамика этих параметров в связи с осенним понижением температур

М. А. Живетьев, Л. В. Дударева, В. А. Краснобаев, И. А. Граскова, В. К. Войников

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск

E-mail: [nik.19@mail.ru](mailto:nik.19@mail.ru)

**Аннотация.** Впервые исследован жирнокислотный состав пяти видов лекарственных растений, произрастающих в Прибайкалье. Показано снижение содержания насыщенных и увеличение содержания ненасыщенных жирных кислот в листьях этих растений по мере снижения среднесуточных температур осенью. Изучена динамика активности ацил-липидных  $\omega$ 9-,  $\omega$ 6- и  $\omega$ 3-мембранных десатураз, участвующих в биосинтезе олеиновой, линолевой и  $\alpha$ -линоленовой жирных кислот. Показана видоспецифичность в адаптации мембранных липидов к низким температурам за счёт увеличения активности разных десатураз у разных видов растений.

**Ключевые слова:** насыщенные жирные кислоты, ненасыщенные жирные кислоты, десатуразы, *Taraxacum officinale*, *Achillea millefolium*, *Plantago major*, *Veronica chamaedrys*, *Alchemilla vulgaris*

### Введение

Проблема адаптации растений к низкотемпературному стрессу имеет большое экологическое значение, так как способность растений адаптироваться к конкретным условиям – один из факторов, определяющих ареалы диких видов и возможность их интродукции [3]. Считается, что липиды клеточных мембран играют ключевую роль в процессах адаптации и формировании устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды, прежде всего к холоду. Эта устойчивость коррелирует с наличием в клеточных мембранах полиненасыщенных жирных кислот (ПННЖК) [5]. Известно, что именно ненасыщенные жирные кислоты (ННЖК) в структуре мембран определяют их текучесть и сохранение жидкостных свойств при данных температурах. В современной модели молекулярного механизма адаптации клеток к гипотермии первичная роль отводится мембранным липидам, в частности их способности к фазовым переходам в зависимости от температуры окружающей среды, и ферментам – десатуразам, катализирующим синтез ПННЖК. В соответствии с этой моделью при снижении температуры уменьшается текучесть мембран, это приводит к усиленному синтезу десатураз в клетке, их активации и, как следствие, к ускорению синтеза полиненасы-

щенных ЖК в мембранных липидах [2]. В результате этих процессов текучесть мембран восстанавливается. Таким образом, именно активность десатураз является одним из ключевых моментов адаптации растений к низким температурам [4].

Известно, что у высших растений существуют значительные межвидовые различия по холодостойкости. Этим объясняется особый интерес к подробному изучению механизмов низкотемпературной адаптации у растений, произрастающих в суровых климатических условиях. Логично предположить, что анализ жирнокислотного состава суммарных липидов из тканей исследуемых растений, а также оценка активности десатураз при действии низких температур будут способствовать лучшему пониманию их роли в формировании устойчивости растений к этому фактору. Несмотря на изученность биохимических процессов, обеспечивающих адаптивные изменения липидного состава мембран отдельных видов культурных растений (арабидопсис, табак, кукуруза, соя, рис и др.) при действии низких температур, вопросы устойчивости и липидного метаболизма растений остаются малоисследованными. Кроме того, если относительно химического состава эфирных масел, алкалоидов, дубильных веществ изучаемых растений

имеются некоторые сведения, то их жирнокислотный состав практически не исследовался. В связи с этим целью нашей работы являлось исследование жирнокислотного состава тканей пяти видов дикорастущих лекарственных растений Прибайкалья в разные сезоны вегетационного периода.

### Материалы и методы

Объектами исследования служили 5 видов лекарственных растений из флоры Предбайкалья: вероника дубравная *Veronica chamaedrys* L., манжетка обыкновенная *Alchemilla vulgaris complex*, тысячелистник обыкновенный *Achillea millefolium* L., одуванчик лекарственный *Taraxacum officinale*, подорожник большой *Plantago major* L. Растения были собраны на левом берегу р. Выдриная в 600 м от уреза оз. Байкал. Образцы для жирнокислотного анализа брали в различные сроки вегетации, фиксировали и растирали в жидком азоте до получения гомогенной массы для экстракции липидов. Экстракцию из тканей исследуемых объектов проводили с использованием системы растворителей хлороформ – метанол – вода (1:2:0,8 v/v/v). Для удаления хлороформа из экстракта липидов использовался роторный испаритель RVO-64 (Чехия). Для получения метиловых эфиров жирных кислот к экстракту липидов после удаления растворителя добавляли 1%-ный метанольный раствор  $H_2SO_4$  и нагревали на водяной бане при 60 °C в течение 30 мин. После охлаждения метиловые эфиры жирных кислот трижды экстрагировали гексаном. Анализ полученных метиловых эфиров жирных кислот проводили методом газожидкостной хроматографии с использованием хромато-масс-спектрометра 5973N/6890N MSD/DS Agilent Technology (капиллярная колонка HP-INNOWAX (30 м×250 мк×0,50 мм)), градиент температуры: от 100 °C до 150 °C со скоростью 10 °C в 1 мин, от 150 °C до 255 °C со скоростью 3 °C в 1 мин). Для расчета эквивалентной длины цепи использовали изократический режим (температура колонки 200 °C). Газ-носитель – гелий, скорость потока газа 1 мл/мин. Масс-спектрометр – квадруполь, способ ионизации – электронный удар (EI) (энергия ионизации 70 эВ). Для идентификации метиловых эфиров жирных кислот липидов использовали значения индекса удерживания  $R_f$  (для стандартных насыщенных и ненасыщенных ЖК) и индекса ECL (эквивалентной длины цепи), а также библиотеку масс-спектров NIST05.

Относительное содержание ЖК определяли в весовых процентах от общего их содержания в исследуемом образце. Для оценки ненасыщенности ЖК в тканях листьев использовали индекс двойных связей (ИДС):

$$\text{ИДС} = \sum P_j n / 100,$$

где  $P_j$  – содержание ЖК (масса, %);  $n$  – количество двойных связей в каждой кислоте. ИДС является интегральной величиной, характеризующей степень ненасыщенности жирных кислот и, по-видимому, напрямую связанной с устойчивостью растений к холоду. Использовался также коэффициент ненасыщенности жирных кислот (К) как отношение суммы ненасыщенных ЖК к сумме насыщенных.

Активность ацил-липидных  $\omega$ 9-,  $\omega$ 6- и  $\omega$ 3-мембранных десатураз, участвующих в биосинтезе олеиновой, линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислот, определялась соответственно по уравнениям 1, 2 и 3 [6;7]:

$$\text{SDR} = (\%C18:1) / (\%C18:0 + \%C18:1) \quad (1)$$

$$\text{ODR} = (\%C18:2 + \%C18:3) / (\%C18:1 + \%C18:2 + \%C18:3) \quad (2)$$

$$\text{LDR} = (\%C18:3) / (\%C18:2 + \%C18:3) \quad (3)$$

В таблице 1 и на рис. 1–6 представлены средние значения содержания ЖК (в % от общего содержания ЖК), коэффициентов ненасыщенности, ИДС, SDR, ODR и LDR из трёх биологических повторностей и их стандартные отклонения. Достоверность различий сравниваемых средних значений оценивали с помощью t-критерия ( $P < 0,05$ ).

### Результаты и обсуждение

Впервые исследован жирнокислотный состав пяти видов лекарственных растений, произрастающих на юго-восточном побережье Байкала. Из представленных данных (табл. 1) видно, что высокое содержание ненасыщенных ЖК в тканях листьев всех пяти видов обеспечено в основном двумя кислотами – линолевой ( $\omega$ 6) и  $\alpha$ -линоленовой ( $\omega$ 3). Причём содержание линоленовой ЖК (C18:3 $\omega$ 3) статистически достоверно больше наблюдалось в листьях тысячелистника и одуванчика (58,51 % и 59,06 % соответственно), тогда как у остальных трёх видов её содержание варьировало от 50,43 % у манжетки до 52,1 % у подорожника). Содержание линолевой кислоты (C18:2 $\omega$ 6) в листьях манжетки также было ниже (16,61 %), чем у других видов (18,82–21,04 %). Известно, что именно биосинтез диеновых и триеновых кислот 18:2 $\omega$ 6 и 18:3 $\omega$ 3 обеспечивает биохимическую адаптацию растений к низкой температу-

ре. Судя по вычисленным коэффициентам ORD и LRD (рис. 1), активность  $\omega$ 6- и  $\omega$ 3-десатураз (особенно первой) у представленных видов также имела высокий уровень.

Из  $\omega$ 9-жирных кислот в тканях исследуемых растений обнаружены моноеновые кислоты – олеиновая (C18:1 $\omega$ 9) и пальмитолеиновая (C16:1 $\omega$ 9). В сумме содержание этих кислот составило для манжетки  $2,27 \pm 0,39$ , для вероники  $2,03 \pm 0,49$ , для тысячелистника  $1,59 \pm 0,33$ , для подорожника  $1,21 \pm 0,25$ , для одуванчика  $0,95 \pm 0,16$  % от общего содержания ЖК. Причём содержание олеиновой кислоты у всех пяти видов лекарственных растений на порядок превышало содержание пальмитолеиновой ЖК (см. табл. 1).

При этом содержание  $\omega$ 5-жирной кислоты C16:1 $\omega$ 5 превышало содержание  $\omega$ 9-жирных кислот и достигало у тысячелистника 2,12, у подорожника 1,68 и у одуванчика 1,38 % от общего содержания ЖК. В то же время достоверно меньшие концентрации  $\omega$ 5-ЖК выявлены у вероники (0,93 %) и манжетки (1,02 %).

В тканях исследованных растений обнаружены также  $\omega$ 7-ЖК, однако их содержание составляло доли процента, что может свидетельствовать о меньшей активности  $\omega$ 7-десатуразы – особенно у подорожника.

Максимальное содержание  $\omega$ 7-ЖК отмечено у вероники (см. табл. 1).

Индексы LDR, ODR и SDR (см. рис. 1), показали одинаково высокую активность  $\omega$ 6-десатураз у исследованных видов, соответствующую значениям ODR 0,98–0,99 во всех пяти случаях. Активность  $\omega$ 3-десатураз у изученных растений ниже и значения индекса LDR составляют для одуванчика и манжетки 0,76 и 0,75 соответственно, для вероники и подорожника 0,72 и 0,71, а у тысячелистника – всего 0,66. Значение индекса SDR, напротив, у тысячелистника максимально (0,64), что свидетельствует об относительно высокой активности  $\omega$ 9-десатураз. У остальных изученных растений эти значения составили 0,53 и 0,50 у вероники и одуванчика, а у подорожника и манжетки они оказались еще ниже (0,31 и 0,34 соответственно). По сумме значений трёх индексов (LDR+ODR+SDR) можно сделать вывод, что суммарная активность  $\omega$ 3-,  $\omega$ 6- и  $\omega$ 9-десатураз наибольшая у тысячелистника и относительно низкая у манжетки и подорожника. В то же время, у подорожника обнаружены  $\omega$ 3- (1,25 % от общего содержания ЖК), а у манжетки –  $\omega$ 6-тетраеновые (1,15–0,57 %) кислоты. Четыре ненасыщенных связи в этих ЖК могут существенно повышать устойчивость клеточных мембран к понижению температур.

Таблица 1

Жирнокислотный состав (% от общего содержания ЖК) листьев исследованных видов лекарственных растений, произрастающих на берегу оз. Байкал

Обозначение ЖК	<i>Veronica chamardrys</i>	<i>Alchemilla vulgaris complex</i>	<i>Achillea millefolium</i>	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Plantago major</i>
C14:0	0,79 $\pm$ 0,27	0,57 $\pm$ 0,03	0,58 $\pm$ 0,16	0,75 $\pm$ 0,09	0,42 $\pm$ 0,33
C15:0	0,21 $\pm$ 0,05	0,23 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,01	0,26 $\pm$ 0,04	0,2 $\pm$ 0,11
C16:0	17,81 $\pm$ 1,68	13,42 $\pm$ 0,64	15,02 $\pm$ 0,29	16,94 $\pm$ 0,94	16,74 $\pm$ 1,49
C16:1(n-9)	0,31 $\pm$ 0,06	0,22 $\pm$ 0,09	0,05 $\pm$ 0,03	0,2 $\pm$ 0,05	0,03 $\pm$ 0,01
C16:1(n-7)	0,14 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,09	0,08 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,01
C16:1(n-5)	0,93 $\pm$ 0,05	1,02 $\pm$ 0,14	2,12 $\pm$ 0,52	1,38 $\pm$ 0,16	1,68 $\pm$ 0,42
C16:3(n-3)	–	0,54 $\pm$ 0,05	–	–	–
C17:0	0,19 $\pm$ 0,05	0,19 $\pm$ 0,03	0,15 $\pm$ 0,02	0,26 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,01
C18:0	1,81 $\pm$ 0,40	5,88 $\pm$ 0,63	0,92 $\pm$ 0,10	2,17 $\pm$ 0,12	0,92 $\pm$ 0,07
C18:1(n-9)	1,72 $\pm$ 0,43	2,05 $\pm$ 0,30	1,54 $\pm$ 0,30	1,01 $\pm$ 0,20	0,92 $\pm$ 0,15
C18:1(n-7)	0,31 $\pm$ 0,09	0,17 $\pm$ 0,01	0,13 $\pm$ 0,05	0,12 $\pm$ 0,04	0,04 $\pm$ 0,01
C18:2(n-6)	20,27 $\pm$ 1,42	16,61 $\pm$ 0,55	19,92 $\pm$ 0,98	21,04 $\pm$ 1,27	18,82 $\pm$ 3,01
C18:3(n-3)	51,61 $\pm$ 4,47	50,43 $\pm$ 1,58	58,51 $\pm$ 0,81	52,1 $\pm$ 2,59	59,06 $\pm$ 3,55
C18:3(n-6)	–	–	–	0,5 $\pm$ 0,21	–
C18:4(n-3)	–	–	–	1,25 $\pm$ 0,43	–
C20:0	0,57 $\pm$ 0,06	4,3 $\pm$ 0,73	0,18 $\pm$ 0,09	0,68 $\pm$ 0,12	0,2 $\pm$ 0,06
C20:3(n-6)	–	–	–	0,09 $\pm$ 0,01	–
C20:4(n-6)	–	0,86 $\pm$ 0,29	–	–	–
C22:0	1,94 $\pm$ 0,63	3,46 $\pm$ 0,65	0,4 $\pm$ 0,02	0,83 $\pm$ 0,07	0,46 $\pm$ 0,07
C23:0	0,71 $\pm$ 0,24	–	0,23 $\pm$ 0,06	0,3 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,04

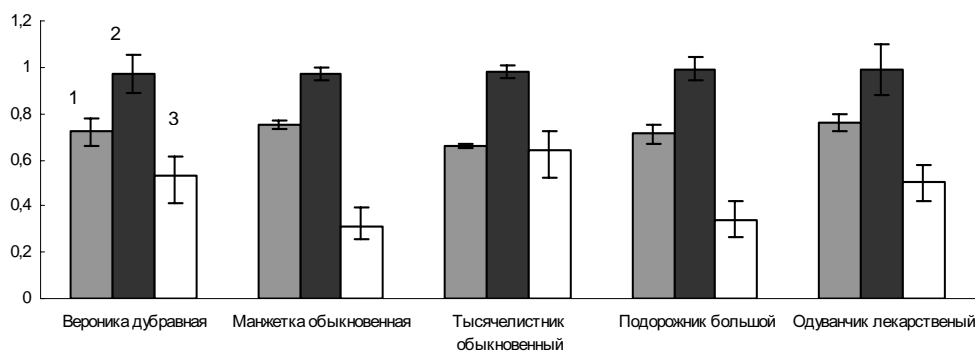


Рис. 1. Величины жирнокислотных индексов LDR (1), ODR (2) и SDR (3) в тканях лекарственных растений

Значения индекса ИДС были минимальными (1,88) у манжетки и максимальными (2,19) у тысячелистника, как и коэффициент ненасыщенности (2,6 и 4,7 соответственно). Таким образом, у тысячелистника содержание ненасыщенных ЖК в 4,7 раз выше, чем насыщенных, тогда как у манжетки – только в 2,6 раза. Для сравнения, у одуванчика значение коэффициента ненасыщенности составило 4,2, а у вероники и подорожника – 3,1 и 3,5 соответственно (рис. 2).

Длина углеродной цепи ЖК также может влиять на свойства клеточных мембран, в том числе и на их холодостойкость. На рисунке 3 представлены суммарные содержания короткоцепочечных ЖК (C14–15), ЖК с длинами цепей в 16–17 и 18–19 атомов углерода, а также длинноцепочечных ЖК с углеродными цепочками более 20 атомов (C20–23). Обращает на себя внимание высокое содержание длинноцепочечных ЖК у манжетки при достоверно более низком содержании 16- и 17-цепочечных.

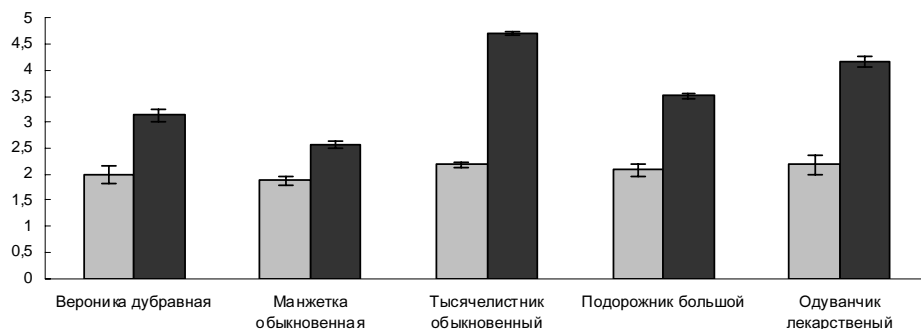


Рис. 2. Величины индекса двойных связей (1) и коэффициента ненасыщенности (2) ЖК лекарственных растений

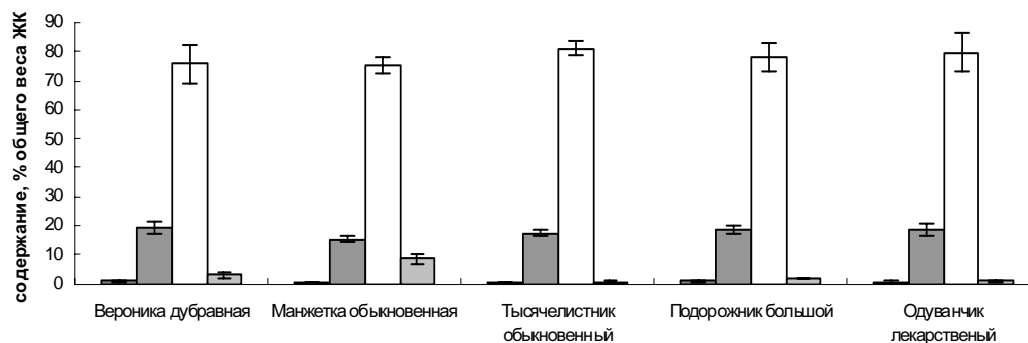


Рис. 3. Содержание ЖК (% от общего содержания ЖК) с разной длиной углеродной цепи в листьях лекарственных растений: 1 –  $\sum$  C14-C15 (короткоцепочечные ЖК); 2 –  $\sum$  C16-C17; 3 –  $\sum$  C18-C19; 4 –  $\sum$  C20-C23 (длинноцепочечные ЖК)

На рисунке 4 представлены суммарные содержания ЖК не по длине цепи, а по числу двойных связей в молекуле. В тканях всех растений преобладали триеновые ЖК. Их содержание у тысячелистника было достоверно выше, чем у манжетки, вероники и подорожника. Одуванчик содержит статистически больше триеновых ЖК, чем манжетка, в тканях листьев велико содержание насыщенных ЖК. Содержание диеновых кислот достоверно больше у вероники, тысячелистника и подорожника, чем у манжетки. Содержание моноеновых кислот у всех пяти видов растений невелико и эти показатели достоверно не отличаются. Тетраеновые

кислоты встречены в небольшом количестве у манжетки и в несколько большем – у подорожника, у остальных изучаемых видов они пока не обнаружены.

Было изучено также изменение жирнокислотного состава тканей лекарственных растений в связи с наступлением осенних холодов.

На рисунках 5 и 6 представлены результаты анализа сезонной динамики содержания насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в тканях листьев и активности десатураз для четырех видов лекарственных растений: манжетки, вероники, тысячелистника и одуванчика.

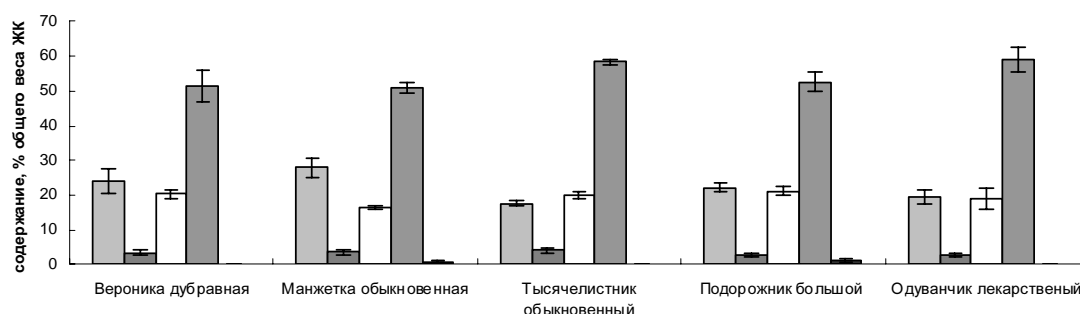


Рис. 4. Содержание ЖК (% от общего содержания ЖК с разным числом двойных связей в листьях лекарственных растений: 1 –  $\sum C x:0$  (насыщенные ЖК); 2 –  $\sum C x:1$  (моноеновые ЖК); 3 –  $\sum C x:2$  (диеновые ЖК); 4 –  $\sum C x:3$  (триеновые ЖК); 5 –  $\sum C x:4$  (тетраеновые ЖК)

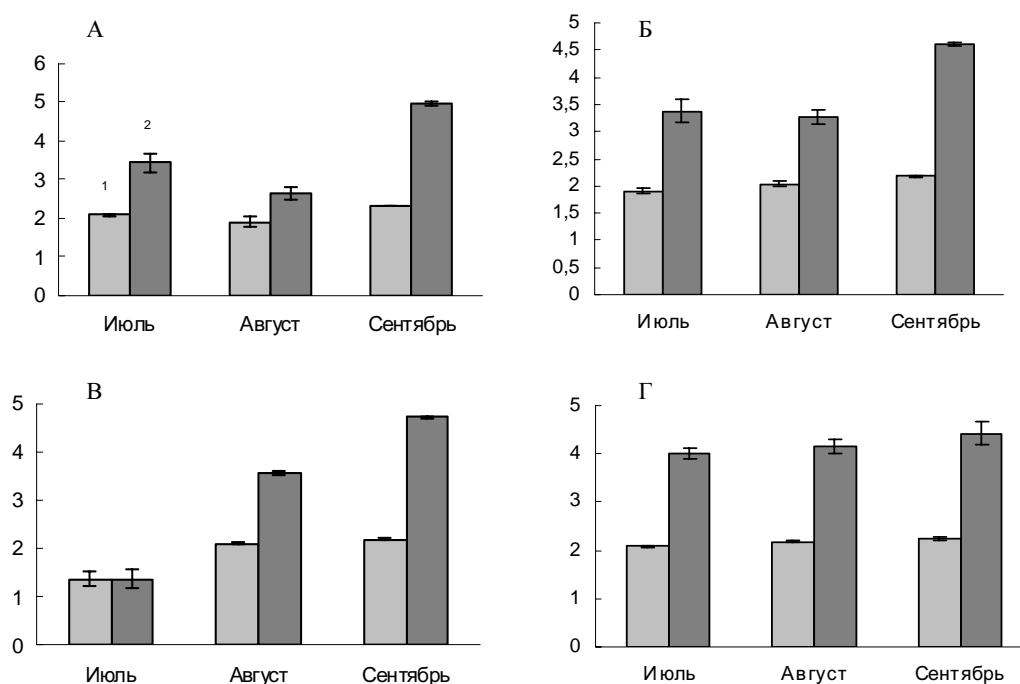


Рис. 5. Сезонное изменение значений индекса двойных связей (ИДС) и коэффициента ненасыщенности (К) ЖК четырех видов лекарственных растений: 1 – ИДС; 2 – К; А – манжетка обыкновенная; Б – вероника дубравная; В – тысячелистник обыкновенный; Г – одуванчик лекарственный

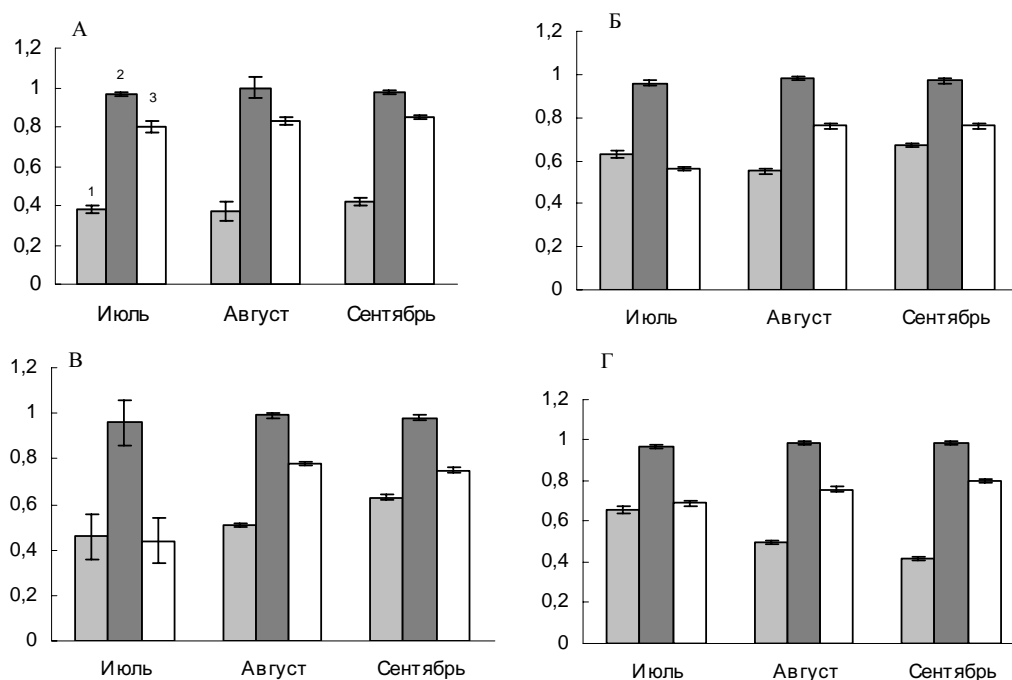


Рис. 6. Сезонное изменение индексов SDR (1), ODR (2) и LDR (3) у манжетки обыкновенной (А), вероники дубравной (Б), тысячелистника обыкновенного (В) и одуванчика лекарственного (Г)

Как видно из представленных данных (см. рис. 5), степень ненасыщенности жирных кислот в тканях листьев четырех изучаемых растений меняется в процессе вегетации. Во всех случаях по мере снижения среднесуточной температуры (табл. 2) наблюдали снижение содержания насыщенных и увеличение содержания ненасыщенных ЖК, что наиболее выражено у тысячелистника (см. рис. 5, В). У вероники в июле и августе значения коэффициента ненасыщенности К статистически достоверно не отличались, но резко повышались в сентябре (см. рис. 5, Б). Индексы содержания двойных связей увеличивались по мере снижения среднесуточной температуры. Исключение составили ИДС и К листьев манжетки в августе (см. рис. 5, А), для которых было отмечено уменьшение как ИДС, так и К.

Установлены также изменения в активности десатураз в ответ на снижение среднесуточной температуры (см. рис. 6). Адаптация мембранных липидов к понижению среднесу-

точной температуры воздуха у исследованных растений носила видоспецифичный характер и была связана с активностью разных десатураз. Так, у одуванчика (см. рис. 6, Г) по мере снижения температуры возрастала активность ω3-десатуразы (индекс LDR менялся с 0,69 до 0,80) при понижении активности ω9-десатуразы, а высокая степень ненасыщенности ЖК в тканях листьев тысячелистника поддерживается, по всей видимости, активностью и ω9-(SDR меняется от 0,46 до 0,63) и ω3-десатуразы. В тканях листьев манжетки (рис. 6, А) в течение периода вегетации активность всех десатураз существенно не менялась, хотя слабый рост отмечался, что может свидетельствовать о слабой чувствительности этого растения к холоду, например, за счёт морфологической адаптации. Неизменно высокой у всех изучаемых видов оставалась на протяжении периода вегетации активность ω6-десатуразы, катализирующей введение второй двойной связи в ЖК.

Таблица 2

Температуры воздуха и почвы в пойме р. Выдриная в дни отбора проб изучаемых лекарственных растений

Показатель	Июль	Август	Сентябрь
Минимальная температура воздуха, °С	+8,1	+11,5	+2,7
Максимальная температура воздуха, °С	+20,7	+18,9	+5,4
Средне-суточная температура воздуха, °С	+15,1	+14,8	+4,1
Температура почвы (глубина 5 см)	+17,8	+15,1	+5,2

В контексте современных представлений о вкладе липидов биологических мембран клетки в обеспечение холодо- и морозоустойчивости [1] полученные данные дают основания полагать, что изученные виды обладают высоким потенциалом холодоустойчивости, обусловленным особенностями жирнокислотного состава мембранных липидов.

### Заключение

Таким образом, на основании результатов изучения пяти видов лекарственных растений Прибайкалья нами показаны не только особенности их жирнокислотного состава, но и видоспецифичность адаптации к гипотермии, связанной с увеличением активности разных десатураз. Наблюдаемое для всех изученных видов растений увеличение содержания ненасыщенных и уменьшение доли насыщенных ЖК, связанное с осенним понижением температур, сильнее всего выражено у тысячелистника обыкновенного и вероники дубравной. Это, вероятно, свидетельствует о том, что адаптация к осенней гипотермии сильнее всего развивается у этих двух видов по сравнению с другими.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ № 07-04-01055, РФФИ Сибирь № 08-04-98040.

### Литература

1. Жирнокислотный состав липидов митохондриальных мембран у представителей культурных (*Zea mays*) и дикорастущих (*Elymus sibiricus*) злаков / С. П. Макаренко [и др.] // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 4. – С. 548–553.
2. Ильинская Л. И. Продукты липоксигеназного окисления жирных кислот как сигнальные молекулы в индуцированной устойчивости растений (обзор) / Л. И. Ильинская, О. Л. Озерецковская // Прикл. биохимия и микробиология. – 1998. – Т. 34, № 5. – С. 467–479.
3. Колесниченко А. В. Белки низкотемпературного стресса растений / А. В. Колесниченко, В. К. Войников. – Иркутск : Арт-Пресс, 2003. – 196 с.
4. Лось Д. А. Структура, регуляция экспрессии и функционирование десатураз жирных кислот / Д. А. Лось // Успехи биол. химии. – 2001. – Т. 41. – С. 163–198.
5. Лось Д. А. Молекулярные механизмы холодоустойчивости растений / Д. А. Лось // Вестн. РАН. – 2005. – Т. 75, № 4. – С. 338–345.
6. Comparison of Sense and Antisense Methodologies for Modifying the Fatty Acid Composition of *Arabidopsis thaliana* Oilseed / M. E. Cartea [et al.] // Plant Sci. – 1998. – Vol. 136. – P. 181–194.
7. Mazliak P. Desaturation Processes in Fatty Acid and Acyl Lipid Biosynthesis / P. Mazliak // J. Plant Physiol. – 1994. – Vol. 143. – P. 399–406.

## Composition and levels of unsaturation of fatty acids and desaturase activity registered in the leaves of medical herbs growing on Lake Baikal shores and the dynamics of these parameters related to autumn lowering of air temperatures

M. A. Zhivetyev, L. V. Dudareva, V. A. Krasnobaev, I. A. Graskova, V. K. Voinikov

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

**Abstract.** The fatty acid composition of five species of medicinal herbs has been identified for the first time. In connection with lowering daily average temperatures, the processes of lowering the content of saturated fatty acids and the decrease in the content of unsaturated fatty acids have been registered. The low-temperature adaptation of membrane lipids of the herbs has been found to be species-specific and is probably bound up with the growth in the activity of various desaturases (desaturation-enzymes).

**Key words:** saturated fatty acid, unsaturated fatty acid, desaturases, *Taraxacum officinale*, *Achillea millefolium*, *Plantago major*, *Veronica chamaedrys*, *Alchemilla vulgaris*

Живетьев Максим Аркадьевич  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
ведущий инженер  
тел. (3952)42–50–09  
E-mail: nik.19@mail.ru

Zhivetyev Maxim Arkadyevitch  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132 Lermontov St., Irkutsk, 66403  
leading engineer  
phone: (3952) 42–50–09  
E-mail: nik.19@mail.ru

*Дударева Любовь Виссарионовна  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 132  
заведующий лабораторией физико-химических  
методов исследования  
тел. (3952) 42–50–09; факс: (3952) 51–07–54  
E-mail: matmod@sifibr.irk.ru*

*Краснобаев Виктор Александрович,  
Сибирский институт физиологии и биохимии расте-  
ний СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
старший техник  
тел. (3952) 42–50–09  
E-mail: matmod@sifibr.irk.ru*

*Граскова Ирина Алексеевна  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
доктор биологических наук, ведущий научный  
сотрудник  
тел. (3952) 42–49–03  
E-mail: graskova@sifibr.irk.ru*

*Войников Виктор Кириллович  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132  
доктор биологических наук, профессор,  
директор института  
тел. (3952) 42–49–03  
E-mail: vvk@sifibr.irk.ru*

*Dudareva Lyubov' Vissarionovna  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132, Lermontov St., Irkutsk, 664033  
Head of Laboratory of Physiochemical Research  
Methods  
of phone: (3952) 42–50–09, fax: (3952) 51–07–54  
E-mail: matmod@sifibr.irk.ru*

*Krasnobaev Viktor Aleksandrovitch  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033  
senior technician  
phone: (3952) 42–50–09  
E-mail: matmod@sifibr.irk.ru*

*Graskova Irina Alekseevna  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033  
D. Sc. in Biology, leading research scientist  
  
phone: (3952) 42–49–03  
E-mail: graskova@sifibr.irk.ru*

*Voinikov Viktor Kirillovitch  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
132 Lermontov St., Irkutsk, 664033  
D. Sc. in Biology, Prof.,  
Director of institute  
phone: (3952) 42–49–03  
E-mail: vvk@sifibr.irk.ru*