

УДК 634.737(476):581.19:631.82

Ж. А. РУПАСОВА, В. А. ИГНАТЕНКО, Т. И. ВАСИЛЕВСКАЯ, С. М. КУЗЬМЕНКОВА

**ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА НАКОПЛЕНИЕ  
ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РАСТЕНИЯХ КАДИЛА САРМАТСКОГО  
(MELITTIS SARMATICA KLOCK.) ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСЬ**

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск*

*(Поступила в редакцию 15.01.2004)*

В предыдущем нашем сообщении [1] были показаны особенности сезонной динамики фенольных соединений в надземных органах интродуцируемого в Беларусь многолетнего травянистого пряно-ароматического растения кадила сарматского (*Melittis sarmatica* Klock.) из сем. Lamiaceae, распространенного в природной флоре Европы [2, 3] и используемого в народной медицине при лечении широкого спектра заболеваний [4]. Нашими более ранними исследованиями на других представителях данного ботанического семейства — *Hyssopus officinalis* L. и *Agastache rugosa* (Fisch. et Mey) была показана выраженная зависимость параметров накопления в них фенольных соединений от погодных условий вегетационного периода [5, 6].

Поскольку кадило сарматское является слабо изученным объектом, то подобных исследований с ним не проводилось вовсе. Вместе с тем изучение влияния метеорологических факторов на фенольный комплекс данного ботанического вида представляется нам весьма актуальным, поскольку Белорусский регион отличается крайне неустойчивым характером погодных условий на протяжении вегетационного периода.

В этой связи в 2003 г. было проведено повторное исследование параметров накопления отдельных соединений фенольной природы в надземных органах растений на основных этапах их сезонного развития.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследований были привлечены растения кадила сарматского 10-летнего возраста, отбор которых для анализов осуществляли в те же, что и в предыдущем сезоне, фазы развития: вегетации, массовой бутонизации, массового цветения и созревания семян и на том же коллекционном участке Центрального ботанического сада НАН Беларуси, чтобы исключить влияние на изучаемые характеристики эдафического фактора. В период наиболее активного проявления каждой фенологической фазы путем бесповторного случайного отбора формировали выборки из 3 растений, характеризующие на момент наблюдений генеральную совокупность объектов. После дифференцированного определения фитомассы надземных органов растений, в усредненных пробах последних, составленных по общепринятой методике [7], определяли содержание отдельных групп фенольных соединений в 3-кратной биологической повторности в соответствии с распространенными методами получения аналитической информации [7–9]. Данные статистически обрабатывали с учетом методических указаний Г. Ф. Лакина [10]. При этом средняя квадратичная ошибка среднего не превышала 1,5–2,0%.

**Результаты и их обсуждение.** По нашим наблюдениям, сезонный цикл развития кадила сарматского весьма непродолжителен и, как правило, не превышает 2–2,5 мес. Сравнение погодных условий в данный период в годы исследований (2002 и 2003) выявило существенные межсезонные различия как по температурным показателям, так и по характеру увлажнения (табл. 1). К примеру, апрель 2003 г. практически на всем своем протяжении был значительно холоднее апреля предыдущего года. Наиболее выраженные температурные контрасты отмечены в конце 1-й, начале 2-й и середине 3-й декад этого месяца, что существенно сдвинуло начало вегетации кадила на более поздние сроки. Так, если в 2002 г. оно пришлось на середину апреля, то в следующем сезоне — на начало мая. Несмотря на несколько меньшее количество выпавших в апреле 2003 г. атмосферных осадков, из-за менее высокой, чем в апре-

Т а б л и ц а 1. Характеристика погодных условий в период вегетации кадила сарматского в годы исследований (по данным Белгидрометцентра)

Дата	2002 г.			2003 г.		
	апрель	май	июнь	апрель	май	июнь
1	7,7	10,9	15,5	-3,7	14,4	15,5
2	3,4	12,4	16,8	-2,7	13,6	12,1
3	1,5	14,8	18,5	6,0	14,0	12,5
4	0,9	16,0	18,7	2,7	9,6	13,2
5	-2,0	16,6	17,8	0,4	9,0	18,1
6	0,6	16,7	13,7	-0,4	13,1	19,1
7	0,5	17,3	14,6	-0,2	15,6	17,2
8	4,2	17,8	15,9	-0,9	11,5	17,6
9	5,9	19,0	16,5	-0,9	13,7	20,3
10	7,6	16,9	18,2	0,1	16,8	17,8
Средняя декадная температура воздуха	3,0	15,8	16,6	0	13,1	16,3
11	8,9	14,7	19,7	4,5	15,8	17,6
12	10,8	14,7	16,1	2,5	13,9	17,6
13	9,7	16,4	18,0	4,8	16,6	17,4
14	10,8	17,5	15,0	5,3	17,0	14,4
15	13,0	16,1	15,2	5,4	20,6	13,2
16	13,4	12,9	17,3	6,9	9,0	12,8
17	10,3	11,9	16,0	7,2	8,9	13,3
18	8,8	9,0	17,7	9,5	11,8	13,8
19	10,5	8,9	21,6	8,6	14,8	14,5
20	12,5	8,5	24,4	9,2	15,8	15,3
Средняя декадная температура воздуха	10,9	13,1	18,1	6,4	14,4	15,0
21	12,6	11,1	25,4	10,8	16,2	11,8
22	10,3	14,2	17,6	8,7	14,3	14,0
23	11,4	16,6	17,1	8,6	14,8	14,4
24	13,4	18,5	16,3	9,5	17,5	12,6
25	13,6	17,2	15,4	3,6	20,8	14,7
26	12,4	18,1	15,2	1,8	24,0	16,1
27	11,8	17,8	16,7	2,9	23,8	16,0
28	8,0	16,4	17,1	7,3	18,7	16,9
29	9,2	15,1	14,7	13,1	15,0	16,8
30	11,3	16,9	14,2	16,6	15,7	17,2
31		17,3			19,2	
Средняя декадная температура воздуха	11,4	16,3	17,0	8,3	18,2	15,0
Средняя месячная температура воздуха	8,4	15,1	17,2	4,9	15,2	15,4
Сумма осадков, мм	61	24	91	48	86	28
Гидротермический коэффициент	7,3	1,6	5,3	9,8	5,7	1,8

ле 2002 г., температуры воздуха, значение гидротермического коэффициента в первом случае оказалось выше.

Период вегетации растений во второй год наблюдений охватил практически весь май, первая декада которого характеризовалась в целом более низкими температурными показателями, нежели в 2002 г., в котором фенофаза вегетации — начала бутонизации растений завершилась уже к середине этого месяца, сменившись фазой массовой бутонизации. Во втором же сезоне данный этап в жизни растений обозначился двумя неделями позже. Более жаркая погода 2-й половины последней декады мая 2003 г. вкуче с обильными осадками способствовала некоторому ускорению смены фазы массовой бутонизации фазой массового цветения по сравнению с предыдущим сезоном. Вместе с тем более прохладная и сухая погода 2-й и 3-й декад июня отрицательно сказалась на завязываемости семян, скорее всего, из-за менее интенсивного опыления насекомыми, что привело не только к снижению семенной продуктивности растений, но и к увеличению временного интервала между фазами массового цветения

и созревания семян относительно сезона 2002 г. Тем не менее общая продолжительность цикла сезонного развития растений оказалась одинаковой в оба года наблюдений и составила 60 сут.

Сравнительное исследование биохимического состава надземных органов кадила сарматского в годы наблюдений показало, что среди соединений фенольной природы наиболее восприимчивыми к воздействию погодных факторов оказались антоциановые пигменты, отличавшиеся весьма широким диапазоном межсезонных различий в накоплении [1] (табл. 2, 3). При этом для собственно антоцианов было показано преимущественное снижение содержания в надземных органах кадила во второй год наблюдений по сравнению с первым, особенно в фазы вегетации и созревания семян. На стадиях бутонизации и цветения расхождения в их накоплении оказались несколько меньше. Для лейкоформ антоциановых пигментов, напротив, отмечено увеличение содержания во всех частях растений во втором сезоне, наиболее выраженное в период бутонизации и цветения. Однако ко времени созревания семян межсезонные различия в их накоплении заметно сглаживались. Тем не менее изменение погодных условий отразилось на характере сезонной динамики лейкоантоцианов в надземной фитомассе растений.

Содержание катехинов и флавонолов в последней отличалось большей, нежели у антоциановых пигментов, стабильностью в годы наблюдений. При этом наименее выраженные межсезонные различия в их накоплении отмечены в генеративных органах растений, наибольшие — в ассимилирующих, на фоне весьма неоднозначного характера этих различий в структурных компонентах фитомассы [1] (см. табл. 2, 3). Так, в отдельные фазы развития растений во второй год наблюдений было показано снижение содержания катехинов в стеблях, а флавонолов — в листьях и генеративных органах при одновременном усилении их накопления в других частях растений. Это заметно корректировало интегральные параметры расхождений в содержании данных соединений в надземной фитомассе кадила в годы наблюдений. В частности, для катехинов было показано выраженное превышение содержания в ней во втором сезоне относительно первого лишь на стадии массовой бутонизации при отсутствии достоверных различий в нем на других этапах сезонного развития растений. Межсезонные различия в содержании флавонолов в их надземной фитомассе не превышали 12%, причем на стадиях вегетации и массового цветения они имели положительный характер, в фазы же массовой бутонизации и созревания семян — отрицательный. Взаимоисключающие тенденции в изменении темпов накопления отдельных групп биофлавоноидов в зависимости от погодных факторов обусловили практически полное нивелирование межсезонных различий в их суммарном содержании в надземной фитомассе растений. Лишь в фазу массового цветения, в результате доминирования накопительных тенденций в изменении их уровня в вегетативной сфере последних, наблюдалось 10%-ное его превышение в надземной фитомассе кадила во второй год наблюдений относительно первого. Несмотря на маловыразительный характер межсезонных различий в количественном содержании катехинов и флавонолов, изменение погодных условий заметно повлияло на динамику этих соединений в надземной фитомассе в период бутонизации и цветения растений.

Подобно биофлавоноидам, межсезонные различия в содержании в ней дубильных веществ в основном также не превышали 10% при наличии разнонаправленных тенденций в изменении темпов накопления в отдельных органах [1] (см. табл. 2, 3). Наиболее устойчивым к погодным факторам был уровень танидов в генеративной сфере растений. Лишь на стадии созревания семян во втором сезоне в ней отмечено 20%-ное повышение их содержания на фоне снижения уровня катехинов. Аналогичная картина наблюдалась и в стеблях, что можно объяснить субстратной зависимостью в метаболизме этих соединений. Очевидно, неблагоприятный, засушливый характер погодных условий в период завязывания семян в 2003 г. стимулировал расходование катехинов в этих органах на синтез дубильных веществ. Наличие обратной зависимости в изменении темпов накопления катехинов и дубильных веществ прослеживалось в стеблях и на стадии массовой бутонизации растений. Что касается листьев кадила, то для них, напротив, во втором сезоне было характерно более активное накопление катехинов на фоне снижения содержания дубильных веществ в период массовой бутонизации и цветения. Разная направленность межсезонных различий в темпах накопления танидов в отдельных органах растений обусловила заметное нивелирование данных различий в их надземной фитомассе, имевших все же достоверный характер на стадиях бутонизации и цветения. Вместе с тем погодные условия не оказали заметного влияния на сезонный ход накопления в ней дубильных веществ.

Т а б л и ц а 2. Содержание фенольных соединений в надземных органах кадила сарматского на отдельных этапах сезонного развития (в сухом веществе), 2003 г.

Часть растения	Биофлавоноиды, мг%							Фенолкарбоновые кислоты, мг%	Дубильные вещества, %	Лигнины, %
	антоцианы	лейкоантоцианы	сумма антоциановых пигментов	катехины	флавонолы	флавонолы: катехины	сумма биофлавоноидов			
27.05. Вегетация										
Лист	Следы	22,2	22,2	741,0	2299,5	3,1	3062,7	1281,2	2,16	14,50
Стебель	0,2	22,6	22,8	1014,0	1549,9	1,5	2586,7	490,6	1,66	8,79
Надземная часть	0,1	22,3	22,4	815,0	2096,4	2,6	2933,8	1066,9	2,02	12,95
30.05. Массовая бутонизация										
Лист	0,2	27,2	27,4	1092,0	2468,0	2,3	3587,4	1146,9	1,91	12,21
Стебель	0,3	16,8	17,1	760,5	1604,6	2,1	2382,2	540,6	1,50	7,46
Генеративные органы	0,2	18,3	18,5	994,5	2560,6	2,6	3573,6	1278,1	5,54	9,73
Надземная часть	0,2	23,9	24,1	998,6	2245,7	2,2	3268,4	994,8	2,03	10,80
4.06. Массовое цветение										
Лист	0,2	25,1	25,3	955,5	2665,9	2,8	3646,7	1168,8	2,16	10,55
Стебель	0,2	15,3	15,5	760,5	1608,8	2,1	2384,8	640,6	1,75	7,52
Генеративные органы	Следы	19,1	19,1	1121,3	2813,3	2,5	3953,7	1300,0	4,49	8,65
Надземная часть	0,2	21,3	21,5	911,0	2349,8	2,6	3282,3	1016,6	2,27	9,40
30.06. Созревание семян										
Лист	0,1	21,5	21,6	819,0	2695,4	3,3	3536,0	1250,0	3,58	10,33
Стебель	0,2	5,8	6,0	360,8	1499,3	4,2	1866,1	956,2	2,66	9,82
Генеративные органы	Следы	14,3	14,3	663,0	2468,0	3,7	3145,3	1228,1	4,99	11,58
Надземная часть	0,1	17,9	18,0	711,1	2418,2	3,4	3147,3	1182,8	3,40	10,25

Различия погодных условий в годы наблюдений заметно повлияли на степень лигнификации тканей надземных органов кадила сарматского. Во втором сезоне отмечено значительное ее снижение во всех компонентах фитомассы на стадиях массового цветения и созревания семян (см. табл. 3). На двух же предыдущих этапах развития растений межсезонных различий в содержании лигнинов в надземной фитомассе выявлено не было, что обусловлено разной направленностью тенденций в изменении темпов биосинтеза данных соединений в стеблях и других органах растений, за счет чего и создавался своеобразный нивелирующий эффект. При этом наибольшей устойчивостью к погодным факторам характеризовался уровень лигнинов в листьях. Обращают на себя внимание также определенные межсезонные различия в характере сезонной динамики данных соединений в надземной фитомассе растений [1] (см. табл. 2).

Как и у большинства исследуемых фенольных соединений, межсезонные различия в накоплении фенолкарбоновых кислот в надземной фитомассе кадила сарматского не превышали 15% [1] (см. табл. 2, 3). Однако в отличие от биофлавоноидов, для которых во второй год наблюдений было показано преимущественное усиление накопления на отдельных этапах развития растений, для фенолокислот было характерно отставание темпов биосинтеза относительно предыдущего года на протяжении большей части вегетационного периода. Исключением явилась лишь временная активизация их накопления в листьях в период массового цветения, что снивелировало межсезонные различия в содержании фенолокислот в надземной фитомассе растений. Наиболее же выразительными они оказались на стадиях вегетации и созревания семян. Тем не менее в характере сезонной динамики данных соединений в надземной фитомассе кадила существенных различий в годы наблюдений не выявлено.

Резюмируя итоги проведенных исследований, следует отметить, что холодная затяжная весна 2003 г. привела к запаздыванию приблизительно на 2 нед. сроков прохождения относительно предыдущего года основных этапов сезонного цикла развития растений при сохранении общей его продолжительности в 60 сут.

Т а б л и ц а 3. Степень различий в содержании фенольных соединений в надземных органах кадила сарматского на отдельных этапах сезонного развития в годы исследований, в %

Часть растения	Антоцианы	Лейко-антоцианы	Сумма антоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы	Сумма био-флавоноидов	Фенолкарбоновые кислоты	Дубильные вещества	Лигнины
<b>Вегетация</b>									
Лист	-99,9	+ 52,0	+ 38,8	-4,5	+ 10,1	+ 6,3	-4,7	+ 8,0	-4,8
Стебель	+ 100,0	+ 20,9	+ 21,9	+ 7,7	+ 3,4	+ 5,2	-42,7	+ 10,7	+ 87,8
Надземная часть	-90,9	+ 43,9	+ 34,9	+ 0,2	+ 7,2	+ 5,3	-13,5	+ 6,9	+ 0,9
<b>Массовая бутонизация</b>									
Лист	-86,7	+ 91,5	+ 74,5	+ 39,0	-20,8	-8,4	-15,4	-32,5	-2,8
Стебель	-75,0	+ 17,5	+ 10,3	-11,0	+ 13,4	+ 4,3	-15,2	+ 12,8	+ 6,6
Генеративные органы	+ 100,0	+ 33,6	+ 35,0	+ 4,7	-12,1	-7,8	-14,1	+ 2,6	-19,6
Надземная часть	-85,7	+ 68,3	+ 54,5	+ 23,0	-11,8	-3,1	-11,1	-14,7	+ 1,0
<b>Массовое цветение</b>									
Лист	-86,7	+ 65,1	+ 51,5	+ 8,2	+ 17,2	+ 14,9	+ 19,1	-10,4	-15,1
Стебель	0	+ 41,7	+ 40,9	0	+ 36,4	+ 22,2	-8,5	+ 5,4	-26,3
Генеративные органы	-99,8	+ 55,3	+ 48,0	+ 18,6	-16,5	-8,6	-13,3	-3,6	-31,1
Надземная часть	-80,0	+ 59,0	+ 49,3	+ 6,6	+ 11,9	+ 10,5	+ 4,6	-9,6	-20,0
<b>Созревание семян</b>									
Лист	-93,8	+ 9,7	+ 1,9	+ 0,5	-20,4	-16,3	-19,0	-4,3	-9,3
Стебель	-60,0	-23,7	-25,9	-23,8	+ 11,2	+ 2,0	-6,1	+ 14,2	-24,6
Генеративные органы	-99,9	+ 13,5	+ 7,5	-8,1	+ 10,1	+ 5,7	-16,7	+ 20,0	-19,2
Надземная часть	-91,7	+ 16,2	+ 8,4	-0,3	-9,7	-7,6	-15,6	-1,7	-16,7

Установлено заметное влияние погодных условий вегетационного периода на темпы накопления фенольных соединений в надземных органах кадила сарматского, однако степень и направленность этого влияния определялись химической природой данных веществ и стадией развития растений.

Наиболее выраженные межсезонные различия в параметрах накопления в надземной фитомассе последних, достигавшие в относительном выражении 50—70%, наблюдались у антоциановых пигментов. Менее подверженными комплексному влиянию метеофакторов оказались параметры накопления в надземной фитомассе растений катехинов и лигнинов, для которых верхний порог отклонений не превышал 20—23%. Однако наиболее устойчивыми к изменению погодных условий следует признать показатели накопления в фитомассе фенолкарбоновых кислот, флавонолов и дубильных веществ с предельными значениями межсезонных различий не более 15%. При этом наименее подверженными влиянию метеофакторов оказались показатели накопления большинства соединений фенольной природы в генеративных органах растений.

В условиях сезона 2003 г. для лейкоантоцианов и катехинов было показано преимущественное усиление накопления в надземной сфере растений, тогда как для фенолкарбоновых кислот, собственно антоцианов, дубильных веществ и лигнинов, напротив, его ослабление. При этом у флавонолов отмечена смена тенденций в изменении темпов накопления на протяжении вегетационного периода.

Установлено, что наибольшей степени выразительности межсезонные различия в содержании лейкоантоцианов, катехинов, флавонолов и дубильных веществ в надземной фитомассе растений достигали на стадии массовой бутонизации, лигнинов — на стадии массового цветения, фенолкарбоновых кислот и собственно антоцианов — на стадии созревания семян. Выраженное нивелирование межсезонных различий в темпах накопления в надземной сфере кадила наиболее ценных компонентов его фенольного комплекса на фоне наиболее высоких показателей накопления свидетельствует о целесообразности заготовки его лекарственного сырья, независимо от характера погодных условий, в фазу массового цветения растений.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Б01-019).

## Литература

1. Рупасова Ж. А., Игнатенко В. А., Василевская Т. И. и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2004. № 1. С. 5—8.
2. Козловская Н. В. Загадки Белорусской флоры. Мн., 1986. С. 130—132.
3. Парфенов В. И., Лякавичюс А. А., Козловская Н. В. и др. // Редкие исчезающие виды растений Белоруссии и Литвы. Мн., 1987. С. 101—104.
4. Чопик В. И., Дудченко Л. Г. Дикорастущие полезные растения Украины. Киев, 1983. С. 125.
5. Рупасова Ж. А., Игнатенко В. А., Василевская Т. И. и др. // Весці НАН Беларусі. Сер. біял. навук. 2001. № 1. С. 5—8.
6. Рупасова Ж. А., Игнатенко В. А., Василевская Т. И. и др. // Регуляция роста, развития и продуктивности растений. Мн., 2001. С. 183—184.
7. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. М., 1987.
8. Государственная фармакопея СССР. Вып. 1. Общие методы анализа. М., 1987. С. 286—287.
9. Мжаванадзе В. В., Таргамадзе И. Л., Драник Л. И. // Сообщ. АН Груз ССР. 1971. Т. 63. Вып. 1. С. 205—210.
10. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1980.

*RUPASOVA ZH. A., IGNATENKO V. A., VASILEVSKAYA T. I., KUZMENKOVA S. M.*

**THE INFLUENCE EXERTED BY CLIMATIC FACTORS OF VEGETATION PERIOD  
ON THE ACCUMULATION OF PHENOLIC COMPOUNDS IN MELITTIS SARMATICA KLOCK.  
PLANTS INTRODUCED TO BELARUS**

### Summary

The authors were the first to show the degree of complex influence exerted by climatic factors occurring in Belarus on seasonal dynamics and accumulation parameters of phenolic compounds in the separate parts and above-ground phytomass of *Melittis sarmatica* Klock.