

FLAVONOIDS OF *CIRSIIUM SETOSUM* (WILLD.) BESS.

A. I. Syrchina, Y. A. Costyro, I. A. Ushakov, A. A. Semenov

SUMMARY

Three flavonoid's compounds: quercetin-3-O- β -D-galactopiranoside (gyperin) (1); quercetin-3-O- β -D-glucopiranoside (2); 5,7,4'-trihydroxy-3-methoxyflavon (isokaempferid) (3) were isolated from aerial part of *Cirsium setosum* for the first time.

UV-, ^1H NMR-, ^{13}C NMR-spectra were used for the identification of listed compounds.

Раст. ресурсы, вып. 4, 1999

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ И МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В *ALTHAEA OFFICINALIS* L. ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСЬ

© Ж. А. Рупасова, Л. В. Кухарева, Р. Н. Рудаковская, Е. Н. Матюшевская,
В. А. Игнатенко

В последнее десятилетие фармацевтическая промышленность Беларуси испытывает потребность в сырье лекарственного растения алтея лекарственного *Althaea officinalis* L., препараты корней которого используют при лечении острых и хронических заболеваний дыхательных путей, а также при заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Из надземной части этого растения готовят препарат мукалтин, применяемый в качестве отхаркивающего средства при бронхитах, пневмонии и бронхэктазии, особенно у детей (Растительные..., 1986; Растения..., 1996).

Алтей лекарственный на территории Беларуси не произрастает. В этой связи Центральным ботаническим садом (ЦБС) НАН Беларуси были проведены многолетние комплексные исследования особенностей развития этого растения, интродуцируемого в Беларусь. В результате было выявлено, что алтей лекарственный, выращенный из семян, полученных из Грузии в 1959 г., проявил высокую способность к адаптации, нормально развивался в почвенно-климатических условиях республики и давал жизнеспособные семена (Кухарева, Пашина, 1986).

Принимая во внимание, что фотосинтетическая продуктивность растений в значительной степени определяется уровнем накопления в ассимилирующих органах пластидных пигментов (Лебедев, Литвиненко, 1970), а характер их метаболизма во многом зависит от содержания в растениях биогенных химических элементов (Рубин, 1976), представлялось целесообразным исследовать динамику содержания пигментов хлоропластов и макроэлементов в отдельных органах алтея лекарственного в течение сезонного развития растений в почвенно-климатических условиях Беларуси.

Исследования выполнены в 1994 и 1996 гг. на двухлетних растениях алтея лекарственного, выращенных из семян местной репродукции, высеянных в 1992 и 1994 гг. по схеме 20 × 70 см на участке систематики растений ЦБС НАН Беларуси, на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве. Реакция почвенного раствора слабкокислая, близкая к нейтральной. В почве достаточно высокое содержание основных питательных элементов (N — 275 мг/л, P₂O₅ — 874, K₂O — 1066 мг/л). Это обеспечивало предположительно благоприятный для возделываемых растений режим минерального питания, гарантирующий нормальное протекание их жизненных функций. В начале каждого вегетационного сезона поверхностно вносили аммиачную селитру, двойной гранулированный суперфосфат и калийную соль в дозах 50, 60 и 60 кг/га д. в. соответственно.

Отбор растений алтея лекарственного для исследований осуществлялся в основные фенологические фазы сезонного развития — вегетативную, бутонизации, цветения и плодоношения. Путем бесповторного случайного отбора формировали выборки из 5 целых растений, характеризующие на момент наблюдений генеральную совокупность объектов (Лакин, 1980). Отобранные растения расчленили на отдельные органы — листья, генеративные части (бутоны, соцветия) и корни, из которых формировали усредненные образцы.

В свежих пробах определяли следующие показатели. Содержание хлорофиллов «а» и «b» — по методу Т. Н. Годнева (1952), измерения оптической плотности элюатов проводили на спектрофотометре Spesol-211 при длинах волн 664 и 645 нм соответственно. Содержание β -каротина и суммы каротиноидов определяли по методу Д. И. Сапожникова (Гавриленко и др., 1975), оптическую плотность элюатов — на спектрофотометре Spesol-211 при длинах волн 451 и 440 нм соответственно.

В высушенных при температуре 65 °С усредненных пробах определяли содержание азота, фосфора и калия по методу К. П. Фоменко и Н. Н. Нестерова (1971); серы — спектрометрически (Мочалова, 1975); кальция и магния — комплексометрическим методом (Ермаков и др., 1987).

Все определения выполнены в 3-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности. Полученные результаты обрабатывали статистически (Шмидт, 1984), при этом средняя квадратичная ошибка среднего во всех опытах не превышала 1.5—2.5 %.

Исследования проводили на протяжении двух вегетационных сезонов 1994 и 1996 гг., различных по характеру метеоусловий (табл. 1). Сезон 1994 г. в сравнении с сезоном 1996 г. характеризовался более влажными и прохладными маем и июнем, когда растения находились в вегетативной фазе и фазе бутонизации, а также более влажными и прохладными августом и октябрём. Июль и сентябрь были более теплыми. Наиболее жарким и сухим в 1994 г. был июль, когда растения были в фазе цветения, в 1996 г. — август. Различия в степени увлажнения и теплообеспеченности сезонов вегетации растений, на наш взгляд, должны были отразиться на содержании в них пигментов хлоропластов и макроэлементов.

Как показали наши исследования, содержание зеленых пластидных пигментов в листьях алтея лекарственного в вегетационный сезон 1994 г. варьировало в диапазоне от 179.7 до 337.7 мг% (табл. 2), причем максимальное их содержание отмечено в фазу цветения, несколько меньшее — в фазу бутонизации и минимальное — в фазу плодоношения. Такая динамика содержания зеленых пигментов известна и для листьев других видов: пустырника пятилопастного и валерианы лекарственной (Рупасова и др., 1994), душицы обыкновенной (Рупасова и др., 1998). В вегетационный сезон 1996 г. листья оказались несколько богаче хлорофиллами и их содержание изменялось от 227.2 до 442.1 мг%.

В динамике содержания зеленых пигментов в листьях алтея в оба сезона отмечены сходные закономерности: биосинтез этих веществ в фазы бутонизации и созревания семян был менее активным, чем в вегетативную фазу и фазу цветения (табл. 2). При

ТАБЛИЦА 1

Характеристика погодных условий в годы исследований
(по данным Гидрометцентра Беларуси)

Месяц	Средняя температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм		Месяц	Средняя температура воздуха, °С		Сумма осадков, мм	
	1994 г.	1996 г.	1994 г.	1996 г.		1994 г.	1996 г.	1994 г.	1996 г.
Май	11.3	15.1	98.2	90	Август	17.4	18.2	82.1	3
Июнь	14.2	16.0	86.2	27	Сентябрь	14.5	9.4	69.1	85
Июль	20.0	16.3	9.7	147	Октябрь	5.4	8.0	42.7	36

этом снижение содержания суммы хлорофиллов в листьях в период плодоношения в 1994 г. носило более выраженный характер, чем в тот же период в 1996 г., что, очевидно, связано с меньшим количеством выпавших атмосферных осадков на фоне более высоких температурных показателей (табл. 1).

Содержание зеленых пигментов хлоропластов в стеблях растений, в 3—13 раз уступавшее таковому в листьях, в фазу бутонизации в 1994 г. было вдвое выше, чем в 1996 г. (табл. 2). Это может быть связано с более благоприятными для их биосинтеза условиями повышенного увлажнения первого сезона в этот период. Напротив, чрезмерная сухость июля 1994 г., когда проходило цветение растений, способствовала существенному (в 3.7 раза) снижению по сравнению с фазой бутонизации суммы хлорофиллов в стеблях растений, тогда как в условиях повышенного увлажнения в аналогичный период 1996 г. эта сумма оставалась практически без изменений. При этом в оба сезона в фазу плодоношения суммарное содержание зеленых пигментов в стеблях было соизмеримо с таковым в период цветения.

Содержание суммы хлорофиллов в генеративных органах алтея лекарственного было сходным с таковым в стеблях при отчетливой тенденции к снижению в течение вегетационного периода.

В составе хлорофильного комплекса листьев содержание хлорофилла «а» и хлорофилла «б» в 1994 г. было примерно одинаково, в стеблях в период плодоношения преобладал хлорофилл «б» (табл. 2). В 1996 г. отмечены более резкие различия в содержании хлорофилла «а» и «б»: в листьях хлорофилл «а» преобладал в период бутонизации и плодоношения, в стеблях — в фазу бутонизации и цветения. В генеративных органах на протяжении вегетационного периода наблюдалось преобладание хлорофилла «а» при отчетливой тенденции к снижению его доли в комплексе зеленых пигментов к осени.

В отличие от хлорофиллов содержание желтых пластидных пигментов в листьях в 1994 г. было выше, чем в 1996 г., в период бутонизации и цветения и ниже — в фазу плодоношения. В стеблях же содержание каротиноидов в течение всего сезона 1994 г. было ниже, чем в 1996 г., особенно в период плодоношения. В генеративных органах их содержание в 1996 г. было близко к таковому в стеблях.

В составе желтых пигментов пластид во всех органах растений в оба сезона наблюдалось преобладание ксантофиллов. Лишь в 1994 г. в фазу цветения, а в 1996 г. в фазу бутонизации отмечено преобладание β -каротина (табл. 2).

Сезонная динамика содержания этих пигментов в разные годы не была одинаковой, что обусловлено различиями погодных условий вегетационного периода. Определение содержания макроэлементов в отдельных органах алтея показало следующее.

Наиболее высокое содержание азота наблюдалось в листьях. В период вегетации 1994 г. оно варьировалось в диапазоне от 0.92 до 2.44 %, в 1996 г. — от 1.41 до 2.84 % (табл. 3). В генеративный период развития растений содержание азота в бутонах и соцветиях было достаточно близким к его содержанию в листьях. Стебли и корни существенно уступали этим органам в накоплении данного элемента. В оба года его сезонная динамика характеризовалась выраженным снижением содержания во всех органах к осени (за исключением корней).

В 1994 г. листья и корни растений обладали примерно одинаковым содержанием фосфора, причем динамика его была сходной с таковой азота (табл. 3). При этом максимальное содержание элемента в корнях было установлено в начале вегетации. Стебли в сравнении с листьями и корнями отличались меньшим содержанием фосфора, за исключением фазы бутонизации, а в соцветиях содержание этого элемента было максимальным. В 1996 г. отмечалось заметное повышение содержания фосфора во всех органах растений во все фазы сезонного развития, за исключением фазы бутонизации, когда его содержание в них было ниже, чем в 1994 г. Кроме того, в корнях содержание фосфора в вегетативную фазу было меньше, чем в 1994 г., а в изменения в накоплении элемента привели к определенным сдвигам и в характере его сезонной динамики.

ТАБЛИЦА 2

Динамика содержания пластидных пигментов в ассимилирующих органах *Althaea officinalis* L. (% от сухого вещества)

Дата отбора проб	Фаза развития	Исследованный орган	Содержание сухого вещества, %	Хлорофиллы			Каротиноиды			Отношение содержания		
				«a»	«b»	«a» + «b»	«a» : «b»	сумма	β-каротин	ксантофиллы	β-каротин/ксантофиллы	хлорофиллы/каротиноиды
1994 г.												
25.05	Вегетативная	Листья	»	Не определяли								
		Стебли										
27.06	Бутонизация	Листья	35.1	158.2	149.1	307.3	1.1	38.1	3.3	34.8	0.1	8.1
		Стебли	21.0	49.4	47.9	97.3	1.0	5.2	0.8	4.4	0.2	18.7
18.07	Цветение	Листья	33.9	182.5	155.2	337.7	1.2	34.5	19.3	15.2	1.3	9.8
		Стебли	37.0	14.3	12.0	26.3	1.2	7.6	1.3	6.3	0.2	3.5
14.09	Плодоношение	Листья	35.7	89.1	90.6	179.7	1.0	5.1	1.9	3.2	0.6	35.2
		Стебли	36.6	9.5	16.3	25.8	0.6	2.6	0.5	2.1	0.2	9.9
1996 г.												
29.05	Вегетативная	Листья	26.2	200.7	241.4	442.1	0.8	23.5	11.8	11.7	1.0	18.8
		Стебли	16.3	50.9	64.5	115.4	0.8	20.5	4.6	15.9	0.3	5.6
1.07	Бутонизация	Бутоны	29.9	44.5	20.2	64.7	2.2	9.2	1.8	7.4	0.2	7.0
		Листья	30.3	134.4	92.8	227.2	1.4	19.9	12.4	7.5	1.7	11.4
		Стебли	23.9	30.7	18.4	49.1	1.7	9.1	3.3	5.8	0.6	5.4
24.07	Цветение	Соцветия	26.0	30.9	16.5	47.4	1.9	12.3	3.8	8.5	0.4	3.9
		Листья	29.7	206.4	214.3	420.7	1.0	21.8	7.4	14.4	0.5	19.3
		Стебли	28.9	28.7	16.6	45.3	1.7	9.5	4.6	4.9	0.9	4.8
5.09	Плодоношение	Соцветия	33.2	24.5	18.3	42.8	1.3	8.4	2.2	6.2	0.4	5.1
		Листья	28.7	190.9	154.4	345.3	1.2	27.8	11.2	16.6	0.7	12.4
		Стебли	33.9	21.4	22.7	44.1	0.9	13.6	1.2	12.4	0.1	3.2

ТАБЛИЦА 3

Динамика содержания макроэлементов в отдельных органах двулетних растений
Althaea officinalis L. в течение двух вегетационных сезонов

Дата отбора пробы	Фаза развития растений	Исследованный орган	N	P	K	Ca	Mg	S	Сумма
1994 г.									
27.04	Начало вегетации	Корни	1.00	0.42	3.59	1.83	0.30	0.22	7.36
25.05	Вегетативная	Листья	2.44	0.38	2.50	1.50	0.78	0.54	8.14
		Стебли	1.72	0.26	4.19	1.42	0.56	0.40	8.55
27.06	Бутонизация	Корни	0.84	0.38	4.46	1.75	0.69	0.17	8.29
		Листья	1.42	0.30	7.13	1.65	0.48	0.40	11.38
		Стебли	0.44	0.32	6.60	1.43	0.24	0.09	9.12
18.07	Цветение	Корни	0.58	0.22	3.65	1.50	0.57	0.13	6.65
		Соцветия	1.26	0.38	3.70	0.95	0.26	0.24	6.79
		Листья	0.92	0.23	2.50	1.38	0.38	0.28	5.69
	Плодоношение	Стебли	0.35	0.14	3.53	0.80	0.42	0.02	5.26
14.09		Корни	0.18	0.21	2.32	1.85	0.27	0.10	4.93
		Соцветия	1.06	0.42	3.66	0.80	0.26	0.17	6.37
	Конец вегетации	Листья	1.06	0.24	4.63	1.58	0.29	0.34	8.14
19.10		Стебли	0.21	0.10	4.00	0.68	0.20	0.02	5.21
		Корни	0.35	0.30	3.27	1.13	0.24	0.12	5.41
		»	0.42	0.30	2.92	1.25	0.34	0.21	5.44
1996 г.									
29.05	Вегетативная	Листья	2.84	0.41	2.95	2.10	0.69	0.33	9.32
		Стебли	1.59	0.30	3.86	1.83	0.50	0.19	8.27
1.07	Бутонизация	Корни	1.49	0.25	1.60	1.98	0.56	0.16	6.04
		Бутоны	2.06	0.46	2.56	1.80	0.30	0.21	7.39
		Листья	1.78	0.24	2.53	2.13	0.57	0.20	7.45
	Цветение	Стебли	0.71	0.16	1.38	1.58	0.38	0.10	4.31
24.07		Корни	0.50	0.19	0.95	1.60	0.41	0.10	3.75
		Соцветия	1.88	0.49	2.90	1.80	0.36	0.23	7.66
	Плодоношение	Листья	1.73	0.32	3.24	2.68	0.42	0.27	8.66
		Стебли	0.57	0.24	2.32	1.43	0.36	0.10	5.02
5.09		Корни	0.50	0.36	3.09	1.23	0.42	0.11	5.71
	Конец вегетации	Соцветия	1.51	0.45	2.95	1.45	0.39	0.21	6.96
17.10		Листья	1.41	0.37	3.00	2.30	0.66	0.24	7.98
		Стебли	0.44	0.15	1.30	1.28	0.32	0.08	3.57
		Корни	0.83	0.29	0.92	1.75	0.21	0.13	4.13
		»	0.85	0.28	1.25	1.35	0.32	0.13	4.18

Содержание калия в 1994 г. варьировало в листьях от 2.50 до 7.13 %, в стеблях — от 3.53 до 6.60, в корнях — от 2.92 до 4.46, в соцветиях — от 3.66 до 3.70 % (табл. 3). При этом надземные органы растений характеризовались сходным характером сезонной динамики содержания этого элемента с максимумом в фазу бутонизации. В корнях наибольшее содержание калия (4.46 %) было отмечено в вегетативную фазу в конце мая. В 1996 г. наблюдалось заметное снижение содержания калия во всех органах. Лишь в фазу цветения листья и корни отличались более высоким его накоплением, чем в 1994 г. В результате этого, несмотря на сходный в целом характер сезонной динамики калия в оба года наблюдений, в 1996 г. максимум его содержания во всех органах растений (за исключением стеблей) проявился в период цветения. Очевидно, более сухая и теплая погода июля способствовала активизации его поступления в растения с корневым питанием.

В 1994 г. наиболее высокое содержание кальция в корнях отмечено в начале вегетации в конце апреля и в период цветения, в листьях и стеблях — в период бутонизации (табл. 3). В 1996 г. все органы алтея характеризовались существенным увеличением содержания кальция, что свидетельствовало об активизации его усвоения. Заметно изменился при этом по сравнению с 1994 г. и сезонный ход его накопления. Наиболее высокое содержание элемента установлено в листьях и соцветиях в период цветения, в корнях и стеблях, как и в 1994 г., — в вегетативную фазу.

Преимущественное накопление магния в 1994 г. осуществлялось в листьях, отличавшихся наиболее широким по сравнению с другими органами растений диапазоном варьирования его содержания — от 0.29 до 0.78 % (табл. 3). В течение вегетационного периода наблюдалось постепенное снижение содержания элемента во всех органах, сопровождавшееся ослаблением различий между ними по этому показателю. В 1996 г. отмечено более низкое, чем в 1994 г., содержание магния в органах растений в вегетативную фазу, причем в корнях оно наблюдалось также в период бутонизации и плодоношения. Но, несмотря на это, максимальный уровень магния во всех вегетативных органах растений, как и в 1994 г., установлен в вегетативную фазу.

Наиболее высоким содержанием серы в 1994 г. отличались листья, в которых оно колебалось от 0.28 до 0.54 % (табл. 3). При этом в сезонной динамике данного элемента проявились сходные черты с таковой азота, что, очевидно, связано с участием этих элементов в построении молекул белков (Кретович, 1971). Наиболее высокое содержание серы в надземных органах установлено в вегетативную фазу, в корнях — в начале и в конце вегетации. В 1996 г. листья характеризовались в 1.6—2.0 раза меньшим содержанием серы по сравнению с 1994 г. (особенно в вегетативную фазу и в фазу бутонизации). В стеблях существенное снижение отмечалось лишь в вегетативную фазу, тогда как в период цветения и плодоношения содержание элемента было значительно выше, чем в 1994 г. В корнях и генеративных органах не выявлено заметных межсезонных различий в накоплении серы. Лишь в конце сезона в октябре 1996 г. ее содержание в корнях было несколько ниже, чем в 1994 г.

Ориентируясь на суммарное содержание рассмотренных выше шести макроэлементов в оба сезона вегетации, можно заключить, что оно достаточно высокое во всех органах алтея лекарственного, но особенно в листьях (табл. 3). В 1994 г. наибольшие значения данного показателя в надземных органах растений были отмечены в фазу бутонизации, в корнях — в вегетативную фазу. В 1996 г. в основном наблюдалось снижение суммарного содержания макроэлементов во всех органах, лишь в фазу цветения оно превосходило таковое в 1994 г. При этом его максимальные значения в надземных органах и в корнях установлены в вегетативную фазу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения сезонной динамики (в течение 2 сезонов) содержания пластидных пигментов (хлорофиллов «а» и «b» и каротиноидов) и 6 макроэлементов в отдельных органах двулетних растений *Althaea officinalis* L., интродуцированного в почвенно-климатические условия Беларуси, было установлено следующее.

Наиболее высокое содержание зеленых и желтых пигментов хлоропластов обнаружено в листьях и стеблях в вегетативную фазу. Содержание азота, фосфора, магния и серы было наибольшим в этих же органах растений также в вегетативную фазу. Наибольшее содержание калия и кальция было в листьях в фазы бутонизации и цветения, а в стеблях — в вегетативную фазу и фазу бутонизации. В корнях в 1994 г. содержание азота, фосфора, калия, магния и серы максимальным в вегетативную фазу, а кальция — в фазу цветения; в 1996 г. в вегетативную фазу максимальным было содержание азота, калия, магния и серы, а в фазу цветения — фосфора и калия. Суммарное содержание 6 макроэлементов в оба сезона установлено в вегетативную фазу.

На содержание фотосинтезирующих пигментов и макроэлементов в отдельных органах *A. officinalis* влияют метеоусловия вегетационного периода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М., 1975.
- Годнев Т. Н. Строение хлорофилла и методы его количественного определения. Минск, 1952.
- Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. и др. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987.
- Кретович В. Л. Основы биохимии растений. М., 1971.
- Кухарева Л. В., Пашина Г. В. Полезные травянистые растения природной флоры // Справочник по итогам интродукции в Белоруссии. Минск, 1986. С. 152—153.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1980.
- Лебедев С. И., Литвиненко Л. Г. Фотохимическая активность листьев в связи с содержанием хлорофилла // Физиология и биохимия культ. растений. 1970. Т. 2, вып. 1. С. 46—51.
- Мочалова А. Д. Спектрофотометрический метод определения серы в растениях // Сел. хоз-во за рубежом. 1975. № 4. С. 17.
- Растения для нас. СПб., 1996.
- Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование. Семейства *Raeoniaceae*—*Thymelaeaceae*. Л., 1986.
- Рубин Б. А. Курс физиологии растений. М., 1976.
- Рупасова Ж. А., Кухарева Л. В., Рудаковская Р. Н., Матюшевская Е. Н., Бурганский В. Л. Фотосинтезирующие пигменты и минеральный состав душицы обыкновенной в условиях Беларуси // Весці НАН Б. Сер. біял. навук. 1998. № 3. С. 10—15.
- Рупасава Ж. А., Рудакоўская Р. М., Ігнаценка В. А., Гардзіенка Ф. М. Асаблівасці фарміравання фонду фотасінтэзуючых пігментаў у раслінах сардэчніку пяцілопасцевага і валяр'яны лекавай ва умовах Беларусі // Весці Акадэміі навук Беларусі. 1994. № 1. С. 28—33.
- Фоменко К. П., Нестеров Н. Н. Методика определения азота, фосфора и калия в растениях из одной навески // Химия в сел. хоз-ве. 1971.
- Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л., 1984.

Центральный ботанический сад
НАН Беларуси
Минск

Поступило 17 V 1998

DYNAMICS OF CONTENT OF PIGMENT AND MACROELEMENTS IN *ALTHAEA OFFICINALIS* L. INTRODUCED IN BELARUS

Z. A. Rupasova, L. V. Kukhareva, R. N. Rudakovskaya,
E. N. Matyushevskaya, V. A. Ignatenko

SUMMARY

Seasonal dynamics of the «a» and «b» chlorophylls, β -carotene, xanthophylls, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, sulfur and a sum of macroelements in overground organs of *Althaea officinalis* L. has been investigated when introduced in the soil-climatic conditions of Belarus.