

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 615.322:581.192:543.544:58.085

РЕДКОЕ РАСТЕНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ *Polygala sibirica* L.: ФИТОХИМИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ И ПОЛУЧЕНИЕ
МОРФОГЕННОЙ КУЛЬТУРЫ

in vitro.

© 2023 г. Ж. М. Охлопкова^{a, *}, М. П. Разгонова^{b, c}, Е. В. Кучарова^a,

П. С. Егорова^d, К. С. Голохваст^{b, e, f}

^aФедеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова,

Якутск, Россия

^bФедеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. ° И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

^cФедеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Дальневосточный федеральный университет, Передовая инженерная школа Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем, Владивосток, Россия

^dИнститут биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия

^eФедеральное государственное бюджетное научное учреждение Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

^fФедеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский Томский государственный университет, Национально-образовательный центр Передовая инженерная школа Агробиотек,

Томск, Россия

*e-mail: zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

Таблица 1. Химические соединения, идентифицированные методом tandemной масс-спектрометрии из экстрактов наземной фитомассы *Polygala sibirica*, произрастающего в Центральной Якутии

№	Класс химического соединения	Идентифицированное соединение	Химическая формула	Ион-аддукт [M-H]-	Ион-аддукт [M+H]+	Фрагментация MS/MS 2 порядка	Фрагментация MS/MS 3 порядка	Фрагментация MS/MS 4 порядка	Источники
	Полифенольная группа								
1	Флавоон	Isoformononetin*	C ₁₆ H ₁₂ O ₄		269	251; 224; 210; 188; 169; 136	201; 187; 173; 145		Chinese herbal decoction Jian-Pi-Yi-Shen: Astragali Radix, Atractylodis Macrocephalae Rhizoma, Dioscoreae Rhizoma, Cistanches Herba, Amomi Fructus Rotundus, Salviae Miltiorrhizae Radix et Rhizoma, Rhei Radix et Rhizoma, and Glycyrrhizae Radix et Rhizoma Praeparatacum

									Melle [19]
2	ФлавоН	Homoeriodictyol	C ₁₆ H ₁₄ O ₆		303	285	257	257; 183	<i>Artemisia absinthium</i> [20]; <i>Polygala tenuifolia</i> [21]
3	ФлавоН	Dihydroxy-trimethoxy dihydroxyisoflavone	C ₁₇ H ₁₆ O ₆		317	288	260; 206; 167; 150		Hiolisu Oral Liquid: <i>Reynoutria multiflora</i> , <i>Epimedium brevicornu</i> , <i>Polygonatum sibiricum</i> , <i>Lycium chinense</i> , <i>Astragalus mongholicus</i> , <i>Salvia miltiorrhiza</i> [22]
4	ФлавоН	Dimethoxy-trihydroxy(iso)flavone	C ₁₇ H ₁₄ O ₇		331	303; 185	203	157	Propolis [23]; <i>Jatropha curcas</i> , <i>Jatropha gossypifolia</i> [24]
5	ФлавоН	Jaceosidin [5,7,4'-trihydroxy-6',5'-dimethoxyflavone]*	C ₁₇ H ₁₄ O ₇		331	316	288; 167	259; 167	<i>Menthae haplocalyx</i> [25]
6	ФлавоН	Dihydroxy-dimethoxyflavone	C ₁₇ H ₁₄ O ₇		331	303; 185	203; 167	185	<i>Artemisia absinthium</i> [20]

7	ФлавоН	Syringetin*	C ₁₇ H ₁₄ O ₈		347	332	286	271	<i>Carpobrotus edulis</i> [26]
8	ФлавоН	Apigenin-7- <i>O</i> -glucoside [Apigetrin; Cosmosiin]*	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₀		433	311	184		<i>Grataegi fructus</i> [27]
9	ФлавоН	Polygalin A [3,5-dihydroxy-7,4'-dimethoxy-flavone-3- <i>O</i> -beta-D-galactopyranoside]	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₁		477	458; 335	243; 155		<i>Polygala japonica</i> [28]; <i>Polygala sibirica</i> [29]
10	ДиметоксифлавоН	Ombuine-3- <i>O</i> -beta-D-glycopyranoside	C ₂₃ H ₂₄ O ₁₂		493	331	316; 153	288; 167	<i>Polygala sibirica</i> [29]
11	ФлавоН	Polygalin B [3,5-dihydroxy-7,4'-dimethoxyflavone-3- <i>O</i> -beta-D-ariofranosyl(1-2)-beta-D-galactopyranoside]	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₅		609	591; 531	531	487; 252	<i>Polygala japonica</i> [28]
12	ИзофлавоН	Polygalin E	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆		611	355	285	269	<i>Polygala sibirica</i> [29]
13	ФлавоН	Polygalin C [3,5,3'-trihydroxy-7,4'-dimethoxy-flavone-3- <i>O</i> -beta-D-apiofranosyl(1-2)-beta-D-galactopyranoside]	C ₂₈ H ₃₂ O ₁₆		625	331	316; 167	288; 167	<i>Polygala japonica</i> [28]; <i>Polygala sibirica</i> [29]
14	ФлавоН	Polygalin I	C ₃₀ H ₃₆ O ₁₆		653	566; 523; 457; 283;	479	447	<i>Polygala sibirica</i>

						235			[30]
15	Флавонон	Polygalin H	C ₃₀ H ₃₆ O ₁₇		669	311; 475	257	163	<i>Polygala sibirica</i> [30]
16	Флавонон	Apigenin 2"-O-feruloyl, O-hexosyl, C-hexosyl, C-pentosyl*	C ₄₂ H ₄₆ O ₂₂		903	607; 547	547	501	<i>Triticum aestivum</i> [31]
17	Флавонол	Kaempferol [3,5,7-Trihydroxy-2-(4-hydroxyphenyl)-4H-chromen-4-one]	C ₁₅ H ₁₀ O ₆		287	241; 187	205; 169	187	<i>Rhus coriaria</i> [32]; <i>Brassica napus</i> [33]
18	Флавонол	Quercetin	C ₁₅ H ₁₀ O ₇		303	275; 203	245; 175	245; 175; 127	<i>Bougainvillea</i> "Scarlet O'Hara" [34]; Propolis [23]
19	Флавонол	Herbacetin [3,5,7,8-Tetrahydroxy-2-(4-hydroxyphenyl)-4H-chromen-4-one]*	C ₁₅ H ₁₀ O ₇		303	203; 275	157		<i>Rhodiola rosea</i> [35]
20	Флавонол	Rhamnetin I [beta-Rhamnocitrin; Quercetin 7-Methyl ether]	C ₁₆ H ₁₂ O ₇		317	271; 179	243	215	<i>Polygala sibirica</i> [29]; <i>Rhus coriaria</i> [32]
21	Флавонол	Rhamnetin II	C ₁₆ H ₁₂ O ₇		317	299; 243; 179	215	213	<i>Polygala sibirica</i> [29]; <i>Rhus coriaria</i> [32]
22	Флавонол	Isorhamnetin [Isorhamnetol; Quercetin	C ₁₆ H ₁₂ O ₇		317	299; 271;	271; 244;	243; 216	<i>Brassica napus</i> [33]; Propolis

		3'-Methyl ether; 3-Methylquercetin]				219; 179	199; 165		[23]
23	Флавонол	Myricetin*	C ₁₅ H ₁₀ O ₈		319	291; 219; 173	261; 191	243; 215; 161	<i>Taraxacum officinale</i> [36]
24	Флавонол	Kaempferol-3-O-galactoside	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	447		284	255		<i>Actinidia chinensis</i> [37]
25	Флавонол	Quercetin-3-O-hexoside*	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	463		301	179	151	<i>Artemisia absinthium</i> [20]
26	Флавонол	Rhamnetin 3-O-beta-galactopyranoside	C ₂₂ H ₂₂ O ₁₂		479	317	243; 179	215	<i>Polygala sibirica</i> [29; 38]
27	Флавонол	Kaempferol-3-O-(3'',6''-dicoumaroyl glucoside)*	C ₃₉ H ₃₂ O ₁₅		741	287	287; 165	183	<i>Parkinsonia aculeata</i> [39]
28	Флавонол	Quercetin pentosyl hexoside hexoside*	C ₃₂ H ₃₈ O ₂₁		759	303; 229	257; 165	229; 145	<i>Ferocactus glaucescens</i> [26]
29	Флаван-3-ол	Afzelechin*	C ₁₅ H ₁₄ O ₅		275	245; 175	157		<i>Camellia kucha</i> [40]
30	Флаван-3-ол	Epi afzelechin [(epi)Afzelechin]*	C ₁₅ H ₁₄ O ₅		275	245; 175	175; 127	157	<i>Cassia granidis</i> [41]; <i>Cassia abbreviata</i> [42]; <i>Aptenia cordifolia</i> ; <i>Ferocactus glaucescens</i> ; <i>Ferocactus herrerae</i> [26]

31	Флаван-3-ол	(epi)catechin*	C ₁₅ H ₁₄ O ₆		291	261; 243; 157	173; 143	161; 143; 125	<i>Grataegi Fructus</i> [27]; <i>Radix polygoni multiflora</i> [43]; <i>Cassia abbreviata</i> [42]; <i>Cassia granidis</i> [41]; <i>Camellia kucha</i> [40]
32	Флаван-3-ол	Epiarzelechin derivative*	C ₁₈ H ₁₆ O ₁₀		393	275; 247	245; 175	215; 175	<i>Zostera marina</i> [44]
33	Флаванон	Hesperitin [Hesperetin]*	C ₁₆ H ₁₄ O ₆		303	202; 185; 157	175; 157		<i>Rhinacanthus nasutus</i> [45]
34	Флаванон	Eriocitrin [Eriodictoyl-7-O-rutinoside; Eriodictioside]*	C ₂₇ H ₃₂ O ₁₅		597	579; 327	327; 283; 221; 177	221; 177; 133	<i>Glottiphyllum linguiforme</i> ; <i>Ferocactus pottsii</i> [26]
35	Гидроксibenзойная кислота	Ellagic acid [Benzoic acid; Elagostasine; Lagistase; Eleagic acid]	C ₁₄ H ₆ O ₈		303	257; 203	157		<i>Rhus coriaria</i> [32]
36	Фенольная кислота	Chlorogenic acid [3-O-Caffeoylquinic acid]	C ₁₆ H ₁₈ O ₉		355	337; 283; 162	134		<i>Rhus coriaria</i> [32]; <i>Bougainvillea</i> “Scarlet O’Hara” [34]; <i>Brassica napus</i> [33]; <i>Camellia kucha</i>

									[40]
37	Фенольная кислота	Caffeic acid derivative	C ₁₆ H ₁₈ O ₉ Na	377		341; 215	179		<i>Bougainvillea</i> “Scarlet O’Hara” [34]
38	Дериватив галловой кислоты	1,2,6-Tri-O-galloyl-beta-D-glucoside*	C ₂₇ H ₂₄ O ₁₈		637	483; 309	402; 310; 177	342; 177	<i>Bougainvillea</i> “Scarlet O’Hara” [34]
39	Антоциан	Delphinidin 3-O-glucoside*	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₂₊		465	303	257; 165	229	<i>Berberis ilicifolia</i> ; <i>Berberis</i> <i>empetrifolia</i> ; <i>Ribes</i> <i>maellanicum</i> ; <i>Ribes cucullatum</i> ; <i>Myrteola</i> <i>nummalaria</i> [46]; <i>Brassica napus</i> [33]
40	Антоциан	Malvidin 3-O-glucoside*	C ₂₃ H ₂₅ O ₁₂		493	331	316	288; 167	<i>Gaultheria</i> <i>mucronata</i> ; <i>Gaultheria</i> <i>antarctica</i> [46]
41	Антоциан	Delphinidin 3-O-beta-D-sambubioside*	C ₂₆ H ₂₉ O ₁₆		597	303	257; 165	229	<i>Berberis</i> <i>microphylla</i> [47]
42	Антоциан	Petunidin 3-(4'''-p-coumaroyl-rutinoside)*	C ₃₇ H ₃₉ O ₁₈		772	317	271; 243; 179	170	<i>Solanum</i> <i>tuberosum</i> [48]
43	Антоциан	Peonidin-3-(6"-feruloyl	C ₄₄ H ₅₁ O ₂₄	963		757	300; 463;	271	Purple sweet

		sophoroside)-5-glucoside*					595		potato [49]
	Химические соединения других групп								
44	Аминокислота	Tyrosine [(2S)-2-Amino-3-(4-Hydroxyphenyl)Propanoic acid]*	C ₉ H ₁₁ NO ₃		182	165; 136	147; 123	119	<i>Euphorbia hirta</i> [50]; <i>Hylocereus polyrhizus</i> [51]
45	Тетрагидроксикарбоновая кислота	1,3,4,5-Tetrahydroxy-2,4-cyclohexadiene-1-carboxylic acid*	C ₇ H ₈ O ₆		188	170; 142	124	124	<i>Actinidia chinensis</i> [37]
46	Аминокислота	L-Tryptophan [Tryptophan; (S)-Tryptophan]*	C ₁₁ H ₁₂ N ₂ O ₂		205	188	146	144; 118	<i>Passiflora incarnata</i> [52]; <i>Camellia kucha</i> [40]
47	Омега-5 жирная кислота	Myristoleic acid [Cis-9-Tetradecanoic acid]*	C ₁₄ H ₂₆ O ₂		247	209	139		<i>Ferocactus glaucescens</i> [26]
48	Ксантаны	1,7-dihydroxy-4-methoxy-xanthone	C ₁₄ H ₁₀ O ₅		258	176	167; 122	130	<i>Polygala nyikensis</i> [53]
49	Омега-3 жирная кислота	Linolenic acid (Alpha-Linolenic acid; Linolenate)*	C ₁₈ H ₃₀ O ₂		279	219	161; 135	135	<i>Pinus sylvestris</i> [54]
50	Ксантаны	1,8-dimethoxy-2,3-methylenedioxyxanthone	C ₁₆ H ₁₂ O ₆		301	203	175		<i>Polygala nyikensis</i> [53]
51	Полиненасыщ	11, 14-Eicosadienoic	C ₂₀ H ₃₆ O ₂		309	165; 147	119		<i>Carpobrotus</i>

	енная жирная кислота	acid*							<i>edulis</i> [26]
52	Ангидромоносахарид	Levoglucosan gallate*	C ₁₃ H ₁₄ O ₉		315	153	137		<i>Rhus coriaria</i> [32]
53	Оксилипид	9,10-Dihydroxy-8-oxooctadec-12-enoic acid [oxo-DHODE; oxo-Dihydroxy-octadecenoic acid]*	C ₁₈ H ₃₂ O ₅	327		329	165; 129	129	<i>Bituminaria bituminosa</i> [55]
54	Метаболит липоксигеназы	Trihydroxy eicosatetraenoic acid*	C ₂₀ H ₃₂ O ₅		353	335; 261	243; 149	187	<i>Ferocactus glaucescens</i> [26]
55	Фенилпропаноид	1-O-Caffeoylquinic acid methyl ether*	C ₁₇ H ₂₀ O ₉		369	207	175; 147	147	<i>Pyrus</i> spp. [56]
56	Unsaturated fatty acid	Pentacosenoic acid*	C ₂₅ H ₄₈ O ₂		381	298; 239; 206; 167	274; 222; 171		<i>Ferocactus glaucescens</i> [26]
57		Butanedioic acid;2-hydroxypropanoic acid;2-oxopropanoic acid;propane-1,2,3-triol	C ₁₃ H ₂₄ O ₁₃	387		341	179	143	PubChem 2.2 (PubChem release 2021.10.14)
58	Иридоид	7,8-Dihydroiridoid*	C ₁₈ H ₁₆ O ₁₀	391		229; 361	151		<i>Vaccinium myrtillus</i> [57]
59	Ксантаны	Lancerin [4-C-Glycosyl-1,3,7-Trihydroxyxanthone]	C ₁₉ H ₁₈ O ₁₀		407	389; 209	341	257	<i>Polygala sibirica</i> [58; 59]

60	Иридоид	4,4'-Dihydroxyl-dihydrochalcone-2'-O-beta-D-glucopyranoside*	C ₂₁ H ₂₄ O ₉		421	337; 162	215; 133		<i>Actinidia chinensis</i> [37]
61	Эфир сахара	Polygalatenoside A [6-O-benzoyl polygolosyl-(2-1)-alpha-galactose]	C ₁₉ H ₂₆ O ₁₁		431	216	159		<i>Polygala tenuifolia</i> [60]; <i>Polygala sibirica</i> [38]
62	Ксантаны	Mangiferin*	C ₁₉ H ₁₈ O ₁₁		423	405; 357; 327	327; 273	299; 271	<i>Mangifera indica</i> [61]
63	Ксантаны	Isomangiferin*	C ₁₉ H ₁₈ O ₁₁	421		301; 331	273		<i>Taraxacum officinale</i> [36]
64	Эфир сахара	Polygalatenoside D [3'-O-p-methoxybenzoylsucrose]	C ₂₀ H ₂₉ O ₁₃		478	460; 337	263	245; 189	<i>Polygala tenuifolia</i> [60]
65	Индольный сесквитерпеновый алкалоид	Sespendole*	C ₃₃ H ₄₅ NO ₄		521	184	124; 166		<i>Rhus coriaria</i> [32]; <i>Hylosereus polyrhizus</i> [51]
66	Каротиноид	Cryptoxanthin [Beta-cryptoxanthin]*	C ₄₀ H ₅₆ O		553	535	491; 283	265	<i>Smilax aspera</i> [62]
67	Сапонин	Sibiricasaponin A	C ₃₆ H ₅₃ O ₁₂		678	515	353; 185		<i>Polygala sibirica</i> [29]
68	Тритерпен	Tenuifolin	C ₃₆ H ₅₆ O ₁₂		681	503	333; 273; 193	315; 273; 211	<i>Polygala sibirica</i> [59]
69	Сапонин	Sibiricasaponin B	C ₃₅ H ₅₅ O ₁₁ S		684	474; 446;	236; 144	144	<i>Polygala sibirica</i>

						325; 236			[29]
70	Циклоартанол (стероиды)	Cyclopasifloic acid glucoside	$C_{37}H_{62}O_{12}$		699	537	375; 259		<i>Passiflora incarnata</i> [52]
71	Фенилпропан оид	Glomeratose C [3-O- [(E)-3,4,5- trimethoxycinnamoyl]- beta-D- fructofuranosyl(2-1)-[6- O-(E)-p-coumaroyl]- alpha-D-glucopyranoside	$C_{33}H_{40}O_{17}$		709	500; 446; 379; 236	236; 144	177	<i>Polygala glomerata</i> [63]
72	Фенилпропан оид	Sibiricose A4 [3',4-O- disinapoyl sucrose]	$C_{34}H_{42}O_{19}$	753		547; 367; 223	223	208	<i>Polygala sibirica</i> [58]
73	Фенилпропан оид	Glomeratose D [3-O- [(E)-3,4,5- trimethoxycinnamoyl]- beta-D- fructofuranosyl(2-1)-[33- O-(E)-3,4,5- trimethoxycinnamoyl]- alpha-D-glucopyranoside	$C_{36}H_{46}O_{19}$		783	723; 599; 480; 350	598; 467		<i>Polygala glomerata</i> [63]
74	Сапонин	Sibiricasaponin E	$C_{65}H_{104}O_{33}$	1412		1382; 425	1219; 889; 567; 425		<i>Polygala sibirica</i> [29]

*Химические соединения, впервые обнаруженные для представителей рода *Polygala* L.