

УДК 54.05: 543.421/.424

ПОЛИСАХАРИДЫ В ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЕ *AMARANTHUS RETROFLEXUS*, *AGASTACHE RUGOSA* И *THLASPI ARVENSE* В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

© И.В. Слепцов*, А.Н. Журавская

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, пр. Ленина 41,
Якутск, 677980 (Россия), e-mail: neroxasg@mail.ru

Полисахариды являются основными веществами растений и могут составлять 80% от сухой массы растения. Основная часть полисахаридов, такие как целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины, входит в состав клеточной стенки растений. Также в растениях содержатся резервные полисахариды (крахмал, инулин и т.д.), камеди и слизи. Известно, что полисахариды обладают иммуномодулирующей, антикомплементарной и противовоспалительной активностью. Приоритетным направлением в изучении углеводов является поиск новых полисахаридов, которые обладают высокой физиологической активностью. Перспективными и малоизученными являются растения, выросшие в условиях экстремального климата. Выделены фракции полисахаридов, такие как водорастворимые полисахариды, пектины, гемицеллюлозы А и Б из вегетативной массы растений *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, выросших в условиях Центральной Якутии. По полученным ИК-спектрам установлено, что выделенные фракции полисахаридов из *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* относятся к полисахаридам, пектинам и гемицеллюлозам. Показан моносахаридный состав выделенных фракций полисахаридов из растений, выросших в условиях Центральной Якутии. Основными мономерами выделенных полисахаридов являются арабиноза, галактоза, рамноза, манноза, ксилоза, глюкоза, галактуриновая кислота. Выявлены степени этерификации галактуриновой кислоты в водорастворимых полисахаридах и пектинах по полученным ИК-спектрам. Показаны различия в количественном содержании и моносахаридном составе выделенных фракций полисахаридов, что может быть связано с индивидуальными особенностями растений.

Ключевые слова: полисахариды, пектины, гемицеллюлозы, *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa*, *Thlaspi arvense*, ГХ-МС, ИК-спектр.

Работа выполнена в рамках проекта VI.62.1.8. Разработка биопрепаратов из тканей растений и животных Якутии на основе изучения особенностей их биохимического состава и механизмов адаптации к условиям Севера (0376-2018-0005; рег. номер АААА-А17-117020110055-3).

Введение

Полисахариды являются основными веществами растений и могут составлять 80% от сухой массы растения [1]. Основная часть полисахаридов, такие как целлюлоза, гемицеллюлозы, пектины, входит в состав клеточной стенки растений. Также в растениях содержатся резервные полисахариды (крахмал, инулин и т.д.), камеди и слизи. Известно, что полисахариды обладают иммуномодулирующей [2–4], антикомплементарной [5–8] и противовоспалительной активностью [9, 10]. Приоритетным направлением в изучении углеводов является поиск новых полисахаридов, которые обладают высокой физиологической активностью [11]. Перспективными и малоизученными являются растения, выросшие в условиях экстремального климата. Известно, что на территории криолитозоны, в том числе в Центральной Якутии, у растений формируются физиологические и биохимические адаптации под влиянием экстремальных условий, таких как короткий вегетационный

Слепцов Игорь Витальевич – аспирант, младший научный сотрудник, e-mail: neroxasg@mail.ru
Журавская Алла Николаевна – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, профессор, e-mail: jan43@mail.ru

период, низкая температура воздуха, многолетние мерзлые грунты, продолжительное дневное освещение и высокая солнечная инсоляция [12–14]. *Amaranthus retroflexus* и *Thlaspi arvense* являются однолетними дикорастущими травянистыми растениями,

* Автор, с которым следует вести переписку.

широко распространенными на территории Центральной Якутии. *Agastache rugosa* – многолетнее дикорастущее травянистое растение, произрастающее в Восточной Азии. *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* являются перспективными для разработки биологически активных добавок, так как они применяются в народной медицине при желудочно-кишечных инфекциях, заболеваниях печени, сердца и т.д. [15, 16]. Исследования полисахаридного состава в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* в условиях Центральной Якутии ранее не проводились.

Цель работы – выделение фракций водорастворимых полисахаридов, пектинов и гемицеллюлоз (ГЦ А и Б) и изучение их количественного и качественного состава в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* выросших в условиях Центральной Якутии.

Экспериментальная часть

В работе использовалась вегетативная масса растений *Amaranthus retroflexus* L. (сем. *Amaranthaceae* Juss.), *Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.) Kuntze (сем. *Lamiaceae* Martinov) и *Thlaspi arvense* L. (сем. *Brassicaceae* Burnett).

Семена растений высевали в открытый грунт в конце мая на территории Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск). Сбор надземной вегетативной массы в среднем 20 растений проводили на стадии плодоношения, в конце августа. Растительную массу высушивали в сушильной комнате при относительной влажности воздуха 5%.

Для выделения фракций полисахаридов воздушно-сухой растительный материал массой 50 г последовательно промывали от низкомолекулярных соединений, такими растворителями как петролейный эфир, хлороформ, ацетон и этанол. Осадок отделяли от органического растворителя при помощи фильтрования. После фильтрования полученного раствора получившийся осадок промывали избытком дистиллированной воды. Очищенный шрот высушивали на лиофильной установке Joun LP3 (Франция). Затем из полученного шрота выделяли водорастворимые полисахариды (ВРПС), затем пектиновые вещества и гемицеллюлозы (ГЦ А, ГЦ Б).

Для получения водорастворимых полисахаридных комплексов (ВРПС) использовали сухой шрот, оставшийся после удаления низкомолекулярных соединений, который экстрагировали 2 л горячей воды при нагревании до 95 °С в течение 3 ч при постоянном перемешивании. Повторное извлечение полисахаридов проводили дважды при соотношении сырье-экстрагент 1 : 10 (масса : объем) по отношению к первоначальной массе (50 г). Растительный материал отделяли центрифугированием, а объединенные экстракты упаривали до 1/5 от первоначального объема. Полисахариды осаждали трехкратным (по отношению к полученному раствору) объемом 96% спирта этилового при комнатной температуре. Выпавшие плотные осадки отфильтровывали, промывали этиловым спиртом, ацетоном. Далее полученный осадок смешивали с дистиллированной водой, упаривали на роторном испарителе и высушивали на лиофильной установке Joun LP3.

Из шрота, оставшегося после получения ВРПС, выделяли пектиновые вещества (ПВ). Экстракцию сырья проводили трехкратно смесью 0.5% растворов кислоты шавелевой и аммония оксалата (1 : 1) в соотношении 1 : 20 (масса : объем) при 80–85 °С в течение 2 ч. Объединенные экстракты концентрировали и осаждали трехкратным объемом 96% спирта этилового. Выпавшие плотные осадки отфильтровывали, промывали этиловым спиртом, ацетоном. Далее полученный осадок смешивали с дистиллированной водой, упаривали на роторном испарителе и высушивали на лиофильной установке Joun LP3.

Из шрота, оставшегося после выделения пектиновых веществ, выделили гемицеллюлозы А и Б (ГЦ А и ГЦ Б). Экстракцию проводили 10% раствором натрия гидроксида в соотношении 1 : 5 (масса : объем) при комнатной температуре в течение 12 ч. При добавлении ледяной уксусной кислоты образовался осадок ГЦ А, который отфильтровывали, промывали этиловым спиртом и ацетоном, затем промывали в дистиллированной воде и высушивали на лиофильной установке и взвешивали. К фильтрату добавляли трехкратный объем 96% спирта этилового, при этом образовывался осадок ГЦ Б. Выпавшие плотные осадки отфильтровывали, промывали спиртом, ацетоном, затем промывали в дистиллированной воде и высушивали на лиофильной установке, и взвешивали [17].

Для определения моносахаридного состава полученные фракции полисахаридов подвергали полному кислотному гидролизу 2М раствором трифторуксусной кислоты (ТФУ) в течение 5 ч при 100 °С. После кислотного гидролиза полностью выпаривали ТФУ до образования сухого остатка. Полученный осадок растворяли в пиридине и добавляли силирующие агенты, такие как гексаметилдисилазан и триметилхлор-

силан, для получения триметилсилильных (ТМС) производных. Силирование проводили при температуре 80 °С в течение 1 ч [18].

Идентифицировали полученные ТМС производные на ГХ-МС «МАЭСТРО» 7820/5975 (Россия), построенном на базе газового хроматографа Agilent 7820 (США) и масс-спектрометрического детектора 5975 того же производителя, на колонке HP-5MS (30 м × 0.25 мм, Agilent, США) со скоростью потока газ-носителя (гелий) 1 мл/мин. Ввод образца в колонку составлял 0,5 мкл, при температуре инжектора 250 °С. Анализировали при условиях: 3 мин 100 °С, от 100→200 °С с градиентом температуры 2 °С/мин и от 200→250 °С со скоростью 3 °С/мин. Для идентификации полученных пиков использовали базу данных NIST[®]05.

ИК-спектры образцов полисахаридов снимали в виде таблетки с бромидом калия (KBr) на инфракрасном спектрометре с преобразователем Фурье Varian 7000 FT-IR (США), в диапазоне от 400–4000 см⁻¹. Определение степени этерификации (МЕД) галактурановой кислоты проводили по методу Manrique и Lajolo [19].

Результаты и обсуждения

Из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* были выделены 4 фракции, такие как водорастворимые полисахариды (ВРПС), пектины, гемицеллюлозы А и Б. Показано, что общая сумма выделенных полисахаридов из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* составляла 39,4, 33,8 и 32,7% от сухой массы соответственно (табл. 1). Стоит отметить, что максимальное содержание водорастворимых полисахаридов наблюдалось в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus* и составляло 2%, а наибольшее содержание пектина обнаружено в *Thlaspi arvense* и доходило до 10,7% от сухой массы. Максимальное содержание гемицеллюлозы А обнаружено в вегетативной массе *Thlaspi arvense* и составляло 9,4%, а гемицеллюлозы Б в *Amaranthus retroflexus* доходило до 23,3%. Известно, что гемицеллюлозы и пектины входят в состав клеточной стенки растений и их содержание в тканях определяется особенностями вида [20], но также может зависеть от климатических условий места произрастания.

Мономерный состав водорастворимых полисахаридов в тканях *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* представлен в таблице 2. Основными моносахаридами являются арабиноза (Ara), галактоза (Gal), рамноза (Rha), манноза (Man), ксилоза (Xyl), глюкоза (Glc), галактурановая кислота (GalA), что согласуется с результатами других авторов [21, 22]. Содержание некоторых мономеров в водорастворимых полисахаридах в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* варьировало примерно на одном уровне: арабиноза (16,1–17,0%), глюкоза (21,4–26,9%) и галактурановая кислота (6,1–7,9%). Стоит отметить, что для видов, адаптированных к условиям криолитозоны (*Amaranthus retroflexus* и *Thlaspi arvense*), содержание галактозы в водорастворимых полисахаридах было выше в 1,8–2,3 раза в сравнении с *Agastache rugosa*, а ксилозы – в 4,3–6,7 раза. В водорастворимых полисахаридах, выделенных из вегетативной массы *Agastache rugosa*, содержание маннозы составляло 32,7%, что на 22–74% выше, чем у *Amaranthus retroflexus* и *Thlaspi arvense*. Максимальное содержание рамнозы было зафиксировано в тканях *Thlaspi arvense* и составляло 11,2%, а у *Amaranthus retroflexus* и *Agastache rugosa* достигало 7,6 и 5,7% соответственно. С использованием ИК-спектров водорастворимых полисахаридов была рассчитана степень этерификации галактурановой кислоты. В водорастворимых полисахаридах, выделенных из тканей *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, степень этерификации варьировала от 9,6 до 12,3%.

В состав пектинов в тканях исследуемых растений входят такие моносахариды, как арабиноза, галактоза, рамноза, манноза, ксилоза, глюкоза, галактурановая кислота (табл. 3). Выявлено, что моносахаридный состав пектинов не отличался от водорастворимых полисахаридов. Содержание в пектинах галактурановой кислоты варьировало от 27,7 до 34,9% у всех видов. Содержание галактозы, которая является предшественником в синтезе галактурановой кислоты, в пектинах также варьировала от 22,2 до 26,6%. В пектинах, выделенных из вегетативной массы *Agastache rugosa*, содержание арабинозы составляло 23,9%, что на 48–80% выше, чем у *Amaranthus retroflexus* и *Thlaspi arvense*. Содержание рамнозы в пектинах тканей *Thlaspi arvense* составляло 14,9% и было выше в 3,8–4,8 раза, по сравнению с *Amaranthus retroflexus* и *Agastache rugosa*, что может быть связано с индивидуальными особенностями синтеза сахаров вида. Максимальное содержание маннозы и глюкозы в пектинах было зафиксировано у *Amaranthus retroflexus* и составляло 10,9 и 15,7% соответственно. Минимальное содержание ксилозы наблюдалось в пектинах, выделенных из вегетативной массы *Agastache rugosa*. Степень этерификации галактурановой кислоты в выделенных пектинах варьировала от 29,5 до 38,1%, что значительно выше, чем в водорастворимых полисахаридах.

Таблица 1. Содержание полисахаридов в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, % (n=4)

Полисахариды	<i>Amaranthus retroflexus</i>	<i>Agastache rugosa</i>	<i>Thlaspi arvense</i>
ВРПС	2.0±0.2	1.4±0.1	1.6±0.2
Пектин	9.3±0.7	8.7±0.7	10.7±1.1
Гемицеллюлозы А	4.4±0.4	8.8±1.8	9.4±1.2
Гемицеллюлозы Б	23.8±2.2	15.1±1.2	11.4±1.3
ΣПС	39.4±3.4	33.8±2.9	32.9±3.7

Таблица 2. Качественный и количественный состав водорастворимых полисахаридов в *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*

Растение	Относительное суммарное содержание, %							MED, %
	Ara	Gal	Rha	Man	Xyl	Glc	GalA	
<i>Amaranthus retroflexus</i>	16.1	17.1	7.6	26.9	1.3	24.9	6.1	9.6
<i>Agastache rugosa</i>	17.0	9.5	5.7	32.7	0.3	26.9	7.9	10.3
<i>Thlaspi arvense</i>	16.1	21.4	11.2	18.8	2.0	21.4	9.1	12.3

Таблица 3. Качественный и количественный состав пектинов в *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*

Растение	Относительное суммарное содержание, %							MED, %
	Ara	Gal	Rha	Man	Xyl	Glc	GalA	
<i>Amaranthus retroflexus</i>	13.3	26.6	3.9	10.9	1.8	15.7	27.7	29.5
<i>Agastache rugosa</i>	23.9	24.2	3.1	6.6	tr.	8.4	33.8	31.5
<i>Thlaspi arvense</i>	16.2	22.2	14.9	3.4	1.7	6.8	34.9	38.1

Примечание. tr. – следовые количества.

В таблице 4 показан качественный мономерный состав гемицеллюлозы А в тканях *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, где основными моносахаридами являются арабиноза, галактоза, манноза, ксилоза, глюкоза. Показано, что содержание моносахаридов, таких как арабиноза (10.5–13.3%), манноза (4.4–6.6%), ксилоза (71.3–79.3%) и глюкоза (4.6–6.1%) в гемицеллюлозе А, выделенной из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, было на одном уровне. Но содержание галактозы в гемицеллюлозе А, выделенной из тканей *Amaranthus retroflexus* составляло 4.2%, что в 3.8–4.2 раза выше, по сравнению с *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*. Таким образом, состав гемицеллюлозы А незначительно отличался в исследованных видах растений, за исключением галактозы в *Amaranthus retroflexus*, что может быть также вызвано индивидуальными особенностями строения клеточной стенки этого вида.

Установлен качественный моносахаридный состав гемицеллюлозы Б, выделенной из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, обнаружены такие мономеры, как арабиноза, галактоза, манноза, ксилоза, глюкоза (табл. 5). Показано, что содержание галактозы (2.4–2.9%), ксилозы (71.5–78.8%) и глюкозы (2.6–5.4%) в гемицеллюлозе Б, выделенной из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, находится на одном уровне. Максимальное содержание арабинозы было обнаружено в гемицеллюлозе Б, выделенной из *Amaranthus retroflexus* и составляло 12.8%, что в 1.7–2.7 раза выше в сравнении с *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*. Максимальное содержание маннозы было зафиксировано в *Thlaspi arvense* и составляло 13.0%, что в 1.4–3.0 раза выше относительно *Amaranthus retroflexus* и *Agastache rugosa*. Такие отличия моносахаридного состава гемицеллюлозы Б могут быть также обусловлены индивидуальными особенностями состава клеточной стенки исследуемых растений.

В ИК-спектрах ВРПС, выделенных из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* обнаружены полосы поглощения 1733–1737, 1615–1623, 1415–1417, 1318–1323, 1238–1241, 1144–1148, 1017–1020 см⁻¹, соответствующие основным функциональным группам полисахаридов, таким как C=O, COO⁻, COO⁻, -OH, -OH, C-O-C, C-OH, соответственно. Полосы поглощения 1733–1737 и 1615–1623 см⁻¹, соответствующие C=O и COO⁻, объясняются наличием галактуроновой кислоты, что согласуется с данными моносахаридного состава. Таким образом, показано, что по основным полосам поглощения в ИК-спектре выделенные фракции ВРПС относятся к полисахаридам [11, 23]. Следует отметить, что все три выделенные фракции ВРПС из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* имеют сходные ИК-спектры, что согласуется с полученными данными моносахаридного состава и может свидетельствовать о схожей химической структуре.

Таблица 4. Качественный и количественный состав гемицеллюлозы А в *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*

Растение	Относительное суммарное содержание, %						
	Ara	Gal	Rha	Man	Xyl	Glc	GalA
<i>Amaranthus retroflexus</i>	11.8	4.2	–	6.6	71.3	6.1	–
<i>Agastache rugosa</i>	13.3	1.0	–	5.5	75.2	5.0	–
<i>Thlaspi arvense</i>	10.5	1.1	–	4.4	79.3	4.6	–

Таблица 5. Качественный и количественный состав гемицеллюлозы Б в *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*

Растение	Относительное суммарное содержание, %						
	Ara	Gal	Rha	Man	Xyl	Glc	GalA
<i>Amaranthus retroflexus</i>	12.8	2.6	–	4.4	77.6	2.6	–
<i>Agastache rugosa</i>	4.8	2.9	–	9.4	78.8	4.1	–
<i>Thlaspi arvense</i>	7.7	2.4	–	13.0	71.5	5.4	–

По полученным ИК-спектрам пектинов, выделенных из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, обнаружены полосы поглощения 1721–1723, 1616–1629, 1419–1421, 1323–1327, 1229–1230, 1145–1146, 1017–1018 см⁻¹, соответствующие функциональным группам, таким как С=О, СОО⁻, СОО⁻, -ОН, -ОН, С-О-С, С-ОН соответственно. Основные полосы поглощения для пектинов и ВРПС являются схожими, что может быть объяснено однотипным моносахаридным составом исследуемых фракций. Показано, что по основным полосам поглощения в ИК-спектре выделенные фракции пектинов относятся к полисахаридам [11]. Все три выделенные фракции пектинов из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* имеют сходные ИК-спектры, что также согласуется с полученными данными моносахаридного состава и может свидетельствовать о схожей химической структуре.

В ИК-спектрах гемицеллюлоз А, выделенных из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, обнаружены полосы поглощения 1405–1406, 1256–1259, 1153–1156, 1038–1039 и 926 см⁻¹, соответствующие функциональным группам, таким как С-Н, ОН, С-О-С, С-ОН, С-ОН соответственно. Показано отличие ИК-спектров ВРПС и пектинов от гемицеллюлоз А, что может быть связано с различным моносахаридным составом и различными химическими связями. Таким образом, установлено, что по основным полосам поглощения гемицеллюлозы А, выделенные из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, относятся к гемицеллюлозам [24].

В полученных ИК-спектрах гемицеллюлоз Б, выделенных из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, обнаружены полосы поглощения 1375–1378, 1260–1261, 1156–1158, 1072–1073 и 924–925 см⁻¹, соответствующие функциональным группам С-Н, ОН, С-О-С, С-ОН, С-ОН, С-ОН соответственно. Показано отличие ИК-спектров гемицеллюлоз А от гемицеллюлоз Б наличием дополнительной полосы поглощения 1072–1073 см⁻¹, что может быть связано с различными химическими связями исследуемых фракций. Таким образом, установлено, что по основным полосам поглощения гемицеллюлозы Б, выделенные из тканей *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, относятся к гемицеллюлозам [24].

Выводы

Выделены фракции полисахаридов из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense*, такие как водорастворимые полисахариды, пектины, гемицеллюлозы А и Б. По полученным ИК-спектрам показано, что выделенные фракции водорастворимых полисахаридов (ВРПС), пектинов и гемицеллюлозы А и Б из вегетативной массы *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* относятся к классу полисахаридов. Установлен моносахаридный состав выделенных фракций полисахаридов из растений, выросших в условиях Центральной Якутии. Выявлены степени этерификации галактуроновой кислоты в водорастворимых полисахаридах и пектинах по полученным ИК-спектрам. Показаны различия в количественном содержании и моносахаридном составе выделенных фракций полисахаридов, что может быть связано с индивидуальными особенностями растений.

Список литературы

1. Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность // Биоорганическая химия. 1998. Т. 24. №7. С. 483–501.

2. Miyazaki T., Hayashi O., Ohshima Y., Yadomae T. Studies on fungal polysaccharides: the immunological determinant of the serologically active substances from *Absidia cylindrospora*, *Mucor hiemalis* and *Rhizopus nigricans* // Microbiology. 1979. Vol. 111. N2. Pp. 417–422.
3. Yamada H., Ohshima Y., Miyazaki T. Characterization of extracellular mannoheteroglycans from *Absidia cylindrospora* // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 1982. Vol. 30. N5. Pp. 1784–1791.
4. Wagner H., Proksch A., Riess-Maurer I., Vollmar A., Odenthal S., Stuppner, H., Jurcic K., Le Turdu M., Fang J.N. Immunstimulierend wirkende polysaccharide (heteroglykane) aus höheren pflanzen // Arzneimittel-Forschung. 1985. Vol. 35. N7. Pp. 1069–1075.
5. Tomoda M., Satoh N., Shamada K. Plant mucilages. XXIV. The structural features of althaea-mucilage O, a representative mucous polysaccharide from the roots of *Althaea officinalis* // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 1980. Vol. 28. N3. Pp. 824–830.
6. Tomoda M., Shimizu N., Suzuki H., Takasu T. Plant Mucilages. XXVIII: Isolation and Characterization of a Mucilage, "Althaea-mucilage OL," from the Leaves of *Althaea officinalis* // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. 1981. Vol. 29. N8. Pp. 2277–2282.
7. Yamada H., Ohtani K., Kiyohara H., Cyong J.C., Otsuka Y., Ueno Y., Ōmura S. Purification and chemical properties of anti-complementary polysaccharide from the leaves of *Artemisia princeps* // Planta medica. 1985. Vol. 51. N2. Pp. 121–125.
8. Yamada H., Otsuka Y., Ōmura S. Structural characterization of anti-complementary polysaccharides from the leaves of *Artemisia princeps* // Planta medica. 1986. Vol. 52. N4. Pp. 311–314.
9. Ukai S., Kiha T., Morita M., Goto A., Imaizumi N., Hasegawa Y. Polysaccharides in fungi. XIII. Antitumor activity of various polysaccharides isolated from *Dictyophora indusiata*, *Ganoderma japonicum*, *Cordyceps cicadae*, *Auricularia auricula-judae*, and *Auricularia* species // Chemical and pharmaceutical bulletin. 1983. Vol. 31. N2. Pp. 741–744.
10. Tubaro A., Tragni E., Negro P., Galli C.L., Loggia R.D. Anti-inflammatory activity of a polysaccharidic fraction of *Echinacea angustifolia* // Journal of pharmacy and pharmacology. 1987. Vol. 39. N7. Pp. 567–569.
11. Злобин А.А., Мартинсон Е.А., Овечкина И.А., Дурнев Е.А., Оводова Р.Г., Литвинец С.Г. Состав и свойства пектиновых полисахаридов зверобоя продырявленного *Hypericum perforatum* L // Химия растительного сырья. 2011. №1. С. 33–38.
12. Журавская А.Н. Адаптация к экстремальным условиям среды и радиочувствительность растений Якутии. Новосибирск, 2011. 104 с.
13. Саввинов Д.Д. Гидротермический режим почв в зоне многолетней мерзлоты. Новосибирск, 1976. 254 с.
14. Иванов Б.И., Львова П.М., Анисимова К.А., Иванов А.С. Хлебные злаки в Якутии. Якутск, 1985. 164 с.
15. Keys J.D. Chinese Herbs: Their Botany, Chemistry, and Pharmacodynamics. Tuttle Publishing, 1989. 346 p.
16. Кислова В.П. Полезные свойства сорняков. М., 2009. 288 с.
17. Бубенчикова В.Н., Старчак Ю.А. Аминокислотный, жирнокислотный и полисахаридный состав травы тимьяна Палласа (*Thymus pallasianus* L.) // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 191–194.
18. York W.S., Darvill A.G., McNeil M., Stevenson T.T., Albersheim P. Isolation and characterization of plant cell walls and cell wall components // Methods in enzymology. 1986. Vol. 118. Pp. 3–40.
19. Manrique G.D., Lajolo F.M. FT-IR spectroscopy as a tool for measuring degree of methyl esterification in pectins isolated from ripening papaya fruit // Postharvest Biology and Technology. 2002. Vol. 25. N1. Pp. 99–107.
20. Hazen S.P., Hawley R.M., Davis G.L., Henrissat B., Walton J.D. Quantitative trait loci and comparative genomics of cereal cell wall composition // Plant physiology. 2003. Vol. 13. N1. Pp. 263–271.
21. Günther E.A., Ovodov Y.S. Polysaccharides of cell cultures of *Silene vulgaris* // Applied Biochemistry and Microbiology. 2007. Vol. 43. N1. Pp. 84–90.
22. Zlobin A.A., Martinson E.A., Litvinets S.G., Ovodova R.G., Ovodov Y.S. Polysaccharides from the callus tissue of the rowan tree *Sorbus aucuparia* L. stem // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2014. Vol. 40. N2. Pp. 193–197.
23. Gnanasambandam R., Proctor A. Determination of pectin degree of esterification by diffuse reflectance Fourier transform infrared spectroscopy // Food chemistry. 2000. Vol. 68. N3. Pp. 327–332.
24. Kacurakova M., Capek P., Sasinkova V., Wellner N., Ebringerova A. FT-IR study of plant cell wall model compounds: pectic polysaccharides and hemicelluloses // Carbohydrate polymers. 2000. Vol. 43. N2. Pp. 195–203.

Поступила в редакцию 12 марта 2018 г.

После переработки 24 мая 2018 г.

Принята к публикации 29 мая 2018 г.

Для цитирования: Слепцов И.В., Журавская А.Н. Полисахариды в вегетативной массе *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* и *Thlaspi arvense* в условиях Центральной Якутии // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 73–79. DOI: 10.14258/jcrpm.2018043809.

Sleptsov I.V.* , Zhuravskay A.N. POLYSACCHARIDES IN TISSUES *AMARANTHUS RETROFLEXUS*, *AGASTACHE RUGOSA* AND *THLASPI ARVENSE* IN THE CONDITIONS OF CENTRAL YAKUTIA

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, pr. Lenina, 41, Yakutsk, 677980 (Russia),
e-mail: neroxasg@mail.ru

Isolated fraction of polysaccharides, such as water-soluble polysaccharides, pectins, hemicelluloses A and B from the vegetative mass of plants *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* and *Thlaspi arvense*, grown in the conditions of Central Yakutia. According to the obtained IR spectra it was established that the isolated fractions of polysaccharides from *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa* and *Thlaspi arvense* belong to water-soluble polysaccharides, pectins and hemicelluloses. Shows the monosaccharide composition of isolated fractions of polysaccharides from plants grown under conditions of Central Yakutia. The main monomers of the isolated polysaccharides are arabinose (Ara), galactose (Gal), rhamnose (Rha), mannose (Man), xylose (Xyl), glucose (Glc), galacturonic acid (GalA). Revealed the degree of ethrerification of the galacturonic acid in water-soluble polysaccharides and pectins by IR spectra. Shows the differences in the quantitative content and monosaccharide composition of the isolated fractions of polysaccharides, which can be associated with both adaptive rearrangements in the body and with individual plant characteristics.

Keywords: polysaccharides, pectins, hemicelluloses, *Amaranthus retroflexus*, *Agastache rugosa*, *Thlaspi arvense*, GC-MS, IR spectrum.

References

1. Ovodov Iu.S. *Bioorganicheskaya khimiya*, 1998, vol. 24, no. 7, pp. 483–501. (in Russ.).
2. Miyazaki T., Hayashi O., Ohshima Y., Yadomae T. *Microbiology*, 1979, vol. 111, no. 2, pp. 417–422.
3. Yamada H., Ohshima Y., Miyazaki T. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1982, vol. 30, no. 5, pp. 1784–1791.
4. Wagner H., Proksch A., Riess-Maurer I., Vollmar A., Odenthal S., Stuppner, H., Jurcic K., Le Turdu M., Fang J.N. *Arzneimittel-Forschung*, 1985, vol. 35, no. 7, pp. 1069–1075.
5. Tomoda M., Satoh N., Shamada K. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1980, vol. 28, no. 3, pp. 824–830.
6. Tomoda M., Shimizu N., Suzuki H., Takasu T. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1981, vol. 29, no. 8, pp. 2277–2282.
7. Yamada H., Ohtani K., Kiyohara H., Cyong J.C., Otsuka Y., Ueno Y., Ōmura S. *Planta medica*, 1985, vol. 51, no. 2, pp. 121–125.
8. Yamada H., Otsuka Y., Ōmura S. *Planta medica*, 1986, vol. 52, no. 4, pp. 311–314.
9. Ukai S., Kiha T., Morita M., Goto A., Imaizumi N., Hasegawa Y. *Chemical and pharmaceutical bulletin*, 1983, vol. 31, no. 2, pp. 741–744.
10. Tubaro A., Traghi E., Negro P., Galli C.L., Loggia R.D. *Journal of pharmacy and pharmacology*, 1987, vol. 39, no. 7, pp. 567–569.
11. Zlobin A.A., Martinson E.A., Ovechkina I.A., Durnev E.A., Ovodova R.G., Litvinets S.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 1, pp. 33–38. (in Russ.).
12. Zhuravskaya A.N. *Adaptatsiya k ekstremal'nym usloviyam sredy i radiochuvstvitel'nost' rastenii Yakutii*. [Adaptation to extreme environmental conditions and radiosensitivity of plants of Yakutia]. Novosibirsk, 2011, 104 p. (in Russ.).
13. Savvinov D.D. *Gidrotermicheskiy rezhim pochv v zone mnogoletnei merzloty*. [Hydrothermal regime of soils in the permafrost zone]. Novosibirsk, 1976, 254 p. (in Russ.).
14. Ivanov B.I., L'vova P.M., Anisimova K.A., Ivanov A.S. *Khlebnyye zlaki v Yakutii*. [Cereals in Yakutia]. Yakutsk, 1985, 164 p. (in Russ.).
15. Keys J.D. *Chinese Herbs: Their Botany, Chemistry, and Pharmacodynamics*. Tuttle Publishing, 1989, 346 p.
16. Kislova V.P. *Poleznye svoystva sorniakov*. [Useful properties of weeds]. Moscow, 2009, 288 p. (in Russ.).
17. Bubenchikova V.N., Starchak Iu.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 3, pp. 191–194. (in Russ.).
18. York W.S., Darvill A.G., McNeil M., Stevenson T.T., Albersheim P. *Methods in enzymology*, 1986, vol. 118, pp. 3–40.
19. Manrique G.D., Lajolo F.M. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, vol. 25, no. 1, pp. 99–107.
20. Hazen S.P., Hawley R.M., Davis G.L., Henrissat B., Walton J.D. *Plant physiology*, 2003, vol. 13, no. 1, pp. 263–271.
21. Günter E.A., Ovodov Y.S. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2007, vol. 43, no. 1, pp. 84–90.
22. Zlobin A.A., Martinson E.A., Litvinets S.G., Ovodova R.G., Ovodov Y.S. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2014, vol. 40, no. 2, pp. 193–197.
23. Gnanasambandam R., Proctor A. *Food chemistry*, 2000, vol. 68, no. 3, pp. 327–332.
24. Kacurakova M., Capek P., Sasinkova V., Wellner N., Ebringerova A. *Carbohydrate polymers*, 2000, vol. 43, no. 2, pp. 195–203.

Received March 12, 2018

Revised May 24, 2018

Accepted May 29, 2018

For citing: Sleptsov I.V., Zhuravskay A.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 73–79. (in Russ.).
DOI: 10.14258/jcprm.2018043809.

* Corresponding author.

