

УДК 547.458.88:630.892.4

ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ В КОРЕ *LARIX SIBIRICA* И *LARIX GMELINII*

© Г.В. Пермякова*, А.А. Анискина

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН,
ул. Академгородок, 50/28, Красноярск, 660036, Россия,
permyakova.gv@ksc.krasn.ru

Изучена изменчивость содержания пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и лиственницы даурской *Larix gmelinii* (Rupr.) на обширной территории тайги Средней и Восточной Сибири, в районах, прилегающих к зоне БАМ и Центральной Саха (Якутии), а также приблизительно по Енисейскому меридиану от Игарки до Тувы. По нашим данным, содержание пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской на высоте 1.3 м в среднем составляет 4–5%. В коре всего ствола дерева содержится пектиновых веществ 8–9%. Наибольшее их количество находится в коре молодых частей дерева (вершине и сучьях), а также во внутреннем слое – лубе – 9–12%. Значительным является варьирование массовой доли изучаемых компонентов в одном дереве. Содержание их увеличивается по высоте ствола от комля к вершине (4 ± 0.1 – $9.9 \pm 0.1\%$) более чем в 2.5 раза. Эндогенная изменчивость выражена более отчетливо и превышает все другие виды изменчивости. Коэффициент вариации эндогенной изменчивости количества пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской составил 39 и 34% соответственно. Установлено значительное варьирование содержания пектиновых веществ в зависимости от индивидуальных, видовых, возрастных, экологических особенностей, а также от географического фактора. Прослеживается влияние степени увлажнения местобитаний на количество пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской в различных типах леса.

Ключевые слова: лиственница сибирская, лиственница даурская, кора, пектиновые вещества, изменчивость.

Для цитирования: Пермякова Г.В., Анискина А.А. Динамика содержания пектиновых веществ в коре *Larix sibirica* и *Larix gmelinii* // Химия растительного сырья. 2024. №4. С. 80–88. DOI: 10.14258/jcprm.20240412916.

Введение

Одной из актуальных проблем лесного хозяйства является проблема утилизации древесной коры. Среди химических компонентов коры хвойных определенное внимание заслуживают пектиновые вещества, представляющие собой группу биополимеров полиуронидной природы. Они входят в состав межклеточного вещества, первичной стенки молодых растительных клеток и сока растений. Пектины обладают высокой биологической активностью: влияют на рост клеток, предохраняют растения от высыхания, усиливают их засухоустойчивость и морозостойкость, выполняют защитную функцию во взаимодействиях растений с фитопатогенами. Благодаря специфичности свойств пектины широко применяются во многих областях медицины, пищевой промышленности и техники [1, 2].

Большинство опубликованных исследований по изучению пектиновых веществ хвойных растений посвящено изучению их качественного и количественного моносахаридного состава. Наблюдаемое варьирование выхода и состава полисахаридов определяется родом хвойных растений и условиями экстрагирования [3–7]. Немало работ посвящено исследованию структурно-химических особенностей пектиновых полисахаридов, арабиногалактанов и арабиногалактановых белков хвойных растений [3, 5].

Известно [8], что в лубе коры хвойных пород содержится значительное количество протопектина (15–20%). Для сосновой коры доля протопектина в лубе составляет величину, в 2–3 раза большую, чем в корке [9]. Ранее были проведены исследования пектиновых веществ в коре хвойных [10–12]. Массовая доля этих веществ в коре хвойных зависит от ряда факторов, основными из которых являются климатические условия района произрастания, возраст дерева, сезон года [13–15]. Данные об изменчивости пектиновых веществ в

* Автор, с которым следует вести переписку.

коре лиственницы в зависимости от индивидуальных особенностей, возрастных и сезонных изменений, а также от географического фактора в литературе нами не найдены.

Цель настоящей работы – изучение влияния указанных факторов на содержание пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской *Larix sibirica* Ledeb и даурской *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.

Экспериментальная часть

Исследования изменчивости содержания пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской проводили с севера на юг, от Игарки до Тувы, приблизительно вдоль так называемого Енисейского меридиана, лиственницы даурской – в Республике Саха (Якутия) и в зоне, прилегающей к Байкало-Амурской магистрали (рис.).

Влияние климатических условий района произрастания на содержание пектиновых веществ (географическую изменчивость) изучали на образцах коры деревьев VI-VII классов возраста (для хвойных насаждений установлены классы возраста длительностью 20 лет (I – 0–20, II – 20–40, III – 40–60, IV – 60–80, V – 80–100, VI – 100–120, VII – 120–140 и т.д.) [16], на уровне 1.3 м от основания ствола с 15 модельных деревьев с одинаковыми таксационными характеристиками. Размер пластины коры – 3×8 см. Исследование эндогенной изменчивости проводили на образцах, отобранных на различной высоте ствола с 10 модельных деревьев VI класса возраста: 0.5 и 1.3 м от основания ствола, 1/2 и 3/4 высоты дерева, а также на вершине и сучьях (размер пластины – 3×8 см). Возрастную динамику этих веществ изучали на образцах коры, взятых с деревьев разного класса возраста (III-X классы) на одной пробной площади на высоте 1.3 м от основания ствола. Сбор образцов проводили в летнее время. Для изучения сезонной динамики в качестве объектов исследования были выбраны 3 модельных одновозрастных (VII класс возраста) дерева на одной пробной площади в Якутском лесхозе. Образцы коры отбирали ежемесячно на высоте 1.3 м. Фенологическое состояние деревьев определяли по [17]. Содержание пектиновых веществ определяли по модифицированному методу [9], основанному на растворимости протопектина в растворе оксалата аммония, опубликованному ранее [10–12]. Сбор образцов проводили в летнее время. Все климатические данные, используемые в тексте, соответствуют времени заготовки образцов. Анализ образцов коры для определения пектиновых веществ проводили в 2 повторностях в течение 6 и 9 месяцев после отбора. Погрешность измерений и коэффициент вариации изменчивости вычисляли методом математической статистики.



Карта-схема – места отбора образцов

Обсуждение результатов

Пектиновые вещества неравномерно распределяются по отдельным слоям коры. Они участвуют в механизме роста и поэтому образуются в растении преимущественно в молодых, еще растущих тканях. Изучено содержание пектиновых веществ в толще пробковой части коры лиственницы даурской в возрасте около 300 лет (Якутский лесхоз). Для этого каждый образец коры от 3 модельных деревьев из комлевой части и на высоте 1.3 м разделен на луб и корку, а последняя – вдоль на три слоя – внешний, внутренний и средний. Толщина корки в комле – 15 см, на высоте 1.3 м – 12.5 см (табл. 1).

В корке содержание пектиновых веществ снижается в направлении от внутреннего слоя к внешнему, массовая доля пектиновых веществ в лубе превышает содержание их в корке почти в пять раз. Наружные трещиноватые слои коры, подверженные воздействию внешних факторов, содержат меньше пектиновых веществ, чем внутренние.

Изучение эндогенной изменчивости содержания пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской показало, что количество исследуемых компонентов независимо от внешних условий и индивидуальных особенностей дерева изменяется по высоте ствола, возрастая от комля к вершине (табл. 2). В коре верхней части ствола – на вершине дерева и сучьях содержание пектиновых веществ ($9.9 \pm 0.1\%$) превышает более чем в 2.5 раза их количество в комлевой части ствола ($4.1 \pm 0.1\%$).

Повышение количества пектиновых веществ по высоте ствола можно объяснить различным соотношением корки и луба на разной высоте дерева, доля луба в этом направлении увеличивается, а доля корки в слоении коры от комля к вершине снижается [18]. Среднее содержание пектиновых веществ в коре стволовой части дерева лиственницы даурской (6.2%) превышает их содержание в лиственнице сибирской (5.3%) на 14.7%. Массовая доля пектиновых веществ в лубе практически одинакова. Коэффициент вариации изменчивости изучаемого показателя составил 39 и 34% для лиственниц сибирской и даурской соответственно.

По мере увеличения высоты над уровнем моря возрастает напряженность действия факторов внешней среды: увеличивается суточная амплитуда температур, значительно повышается интенсивность света, меняется его качественный состав. В связи с этим с увеличением высоты местности в листьях растений повышается осмотическое давление, возрастает интенсивность фотосинтеза и дыхания. Наблюдается активизация окислительно-восстановительных процессов, значительно увеличивается накопление аскорбиновой кислоты и некоторых органических кислот. При подъеме в горы изменяется количество и соотношение отдельных форм углеводов. Это рассматривается как проявление процесса адаптации растений к климатическим условиям [19].

Исследования, проведенные в Эвенкийском лесхозе Красноярского края по высотному профилю от подножья горы до вершины, показали наметившуюся тенденцию увеличения содержания пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской в этом направлении (табл. 3). Наименьшее их количество отмечено в образцах коры, взятых у подножья горы ($4.5 \pm 0.21\%$), а на вершине горы содержание пектиновых веществ в 1.3 раза больше ($5.9 \pm 0.19\%$). Коэффициент вариации изменчивости пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской по высотному профилю составил 12%.

Содержание пектиновых веществ в коре лиственницы даурской изменяется в течение года (табл. 4). В период наибольшей активности камбия (апрель – июль) содержание пектиновых веществ уменьшается, достигая минимума в июле (1.9%). Затем в августе и октябре, когда ростовые процессы завершаются, содержание пектиновых веществ увеличивается, достигая максимума (4.9–4.4%). Коэффициент вариации (Cv%) сезонной динамики составляет 30.7%.

Таблица 1. Содержание пектиновых веществ в слоях коры лиственницы даурской, % от абс. сух. массы

Слой коры	Комель	На высоте 1.3 м
Луб	10.1 ± 0.1	10.7 ± 0.1
Корка:		
внутренний	2.5 ± 0.1	2.9 ± 0.1
средний	2.3 ± 0.1	2.6 ± 0.1
внешний	2.1 ± 0.1	2.4 ± 0.1
Кора	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1

Таблица 2. Эндогенная изменчивость содержания пектиновых веществ в коре лиственницы VI класса возраста, % от абс. сух. массы

Место отбора образца	Лиственница сибирская	Лиственница даурская
0.5 м от основания ствола (комель)	4.1±0.1	4.9±0.1
1.3 м от основания ствола	4.8±0.1	5.5±0.1
1/4 от основания ствола	5.1±0.2	6.1±0.2
1/2 от основания ствола	5.9±0.2	6.8±0.2
3/4 от основания ствола	6.7±0.2	7.9±0.2
Вершина ствола	9.9±0.2	9.9±0.2
Сучья	9.9±0.2	9.9±0.1
Луб	10.5±0.1	10.6±0.1

Таблица 3. Содержание пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы сибирской по высотному профилю (деревья VI класса возраста)

Высота местности, м	ПВ, % от абс. сух. массы	Cv, %
0	4.5±0.2	11.1
365	4.9±0.2	11.7
530	5.4±0.1	11.2
596	5.9±0.2	12.0

Примечание. Cv – коэффициент вариации.

Таблица 4. Сезонная динамика пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы даурской (деревья VII класса возраста)

Фаза развития, месяц отбора образца	ПВ, % от абс. сух. массы
1993 г.	
Развертывание хвои, VI	2.2±0.1
Летняя вегетация, VII	1.9±0.1
Конец периода вегетации, VIII	4.9±0.2
Пожелтение хвои, IX	2.5±0.1
Подготовка к зимнему покою, X	4.4±0.1
Глубокий покой, XI	3.3±0.2
Глубокий покой, XII	2.5±0.1
1994 г.	
Глубокий покой, I	2.7±0.1
То же, II	2.9±0.1
То же, III	3.0±0.1
Набухание почек, IV	2.3±0.2
Распускание почек, V	2.3±0.1

Еще одним из факторов, обуславливающих временную изменчивость, является возраст дерева. Установлено, что массовая доля пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской с увеличением возраста снижается (табл. 5). Максимальное их количество отмечено в коре деревьев III класса возраста (5.4 ± 0.2 и $5.8\pm 0.1\%$) – для лиственниц сибирской и даурской соответственно. Коэффициент вариации (Cv%) возрастной динамики содержания пектиновых веществ составляет 10.3 и 10.6% для лиственниц сибирской и даурской соответственно.

Наряду с общеклиматическими условиями, свойственными относительно крупным природным регионам, на физико-биохимические процессы, протекающие в растениях, большое влияние оказывают и конкретные условия произрастания, обусловленные различием экологической обстановки, определяемой в данном случае принадлежностью к разным типам леса [13]. Представленные в таблице 6 типы древостоев расположены по степени нарастающего увлажнения местообитаний [20].

Максимальное количество пектиновых веществ обнаружено в лиственничнике бруснично-зелено-мошном с умеренной степенью увлажнения ($5.2\pm 0.2\%$). Дальнейшее увеличение увлажнения местообитания приводит к снижению содержания пектиновых веществ на 23.0% (в пихтаче чернично-голубично-сфагно-вом). Однако увеличение сухости местообитания оказывает большее влияние на их количество. Минимальное содержание пектиновых веществ отмечено в сосняке лишайниково-брусничном ($3.8\pm 0.2\%$).

Таблица 5. Возрастная динамика содержания пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы

Класс возраста	ПВ, % от абс. сух. массы	
	Лиственница сибирская	Лиственница даурская
III	5.7±0.1	5.8±0.1
V	5.0±0.2	5.4±0.2
VI	4.7±0.2	5.1±0.2
VII	4.7±0.2	5.0±0.1
VIII	4.5±0.1	4.7±0.2
X	4.0±0.2	4.3±0.2

Таблица 6. Содержание пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы сибирской в различных типах леса Нижне-Енисейского лесхоза

Тип леса	ПВ, % от абс. сух. массы	Cv, %
Сосняк лишайниково-брусничный	3.8±0.2	14.7
Лиственничник бруснично-разнотравный	4.5±0.2	14.3
Лиственничник ранотравно-черничный	4.9±0.1	12.9
Лиственничник бруснично-зеленомошный	5.2±0.2	13.7
Пихтач с лиственницей чернично-сфагновый	4.0±0.1	14.9

Примечание. Cv – коэффициент вариации.

Таким образом, снижение доли пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской в сухих местообитаниях по сравнению с более влажными составляет 27%. Необходимо отметить, что массовая доля изучаемых компонентов изменяется в коре деревьев одного класса возраста, произрастающих на одной пробной площади, т.е. прослеживается индивидуальная изменчивость ($C_v=14.1$), но она менее существенна по сравнению с изменениями, вызванными влиянием различной степени увлажнения почвы ($C_v=21.6\%$).

Исследование географической изменчивости содержания пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской проведено в основном в древостоях, расположенных с севера на юг (Енисейский меридиан) от Заполярья (68° с.ш.) до Тувы (51° с.ш.). Массовая доля пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской в зависимости от влияния разных климатических условий произрастания деревьев изменяется в пределах 3.8–4.6% (табл. 7).

По мере продвижения с юга на север (51 – 68° с.ш.) содержание пектиновых веществ имеет тенденцию к увеличению на 17%. Чем выше географическая широта места произрастания (древостои, прилегающие к пойме р. Енисей), тем значительнее увеличение доли этих соединений – от 3.8 (51° с.ш.) до 4.6% (68° с.ш.). В этом же направлении увеличивается показатель увлажнения по [21], от 0.35 до 0.60%.

Так, в образцах, взятых в наиболее холодном (из исследуемых районов) Туруханском лесхозе (среднегодовая температура в районе составляет -7.7° С при высокой влажности), отмечено максимальное количество пектиновых веществ ($4.6\pm 0.2\%$), а в образцах Тувинской АР (самый теплый район) – минимальное ($3.8\pm 0.2\%$). Коэффициент вариации географической изменчивости ($C_v=6.7\%$) меньше индивидуальной ($C_v=14.3\%$) в 2.2 раза.

Изменчивость содержания пектиновых веществ в коре лиственницы даурской, произрастающей в различных климатических условиях (географическую изменчивость), изучали в лесах Центральной, Северо-Западной, Северо-Восточной Якутии, а также в лесах, прилегающих к зоне БАМ: на Юго-Западе Якутии и Северо-Западной части Амурской области.

Лиственница даурская – дерево вечной мерзлоты [22]. Вся территория характеризуется резко континентальным климатом и мерзлотными процессами, а территория лесов, прилегающих к БАМ, – еще и гористым, сильно расчлененным рельефом (горные хребты чередуются с глубокими котловинами и долинами).

Содержание пектиновых веществ в коре лиственницы даурской в зависимости от влияния разных климатических условий произрастания деревьев изменяется в пределах 3.7–5.4%, (табл. 8).

По мере продвижения с юга на север (54 – 62° с.ш.), в меридианальном направлении (Тында – Якутск – Верхоянск) наблюдается уменьшение количества изучаемых компонентов на 31.5%. Так, в образцах, взятых в Тынденском лесхозе (54° с.ш.), отмечено максимальное количество пектиновых веществ ($5.4\pm 0.2\%$), а в образцах наиболее холодного (из исследуемых районов) Верхоянского лесхоза (68° с.ш.) – минимальное ($3.7\pm 0.3\%$). В этом же направлении проявляется нарастание континентальности климата от 210 до 250% – наивысшая степень континентальности [23].

Таблица 7. Содержание пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы сибирской, произрастающей в различных климатических условиях (деревья VI–VII классов возраста)

Лесхоз	Населенный пункт	Тип леса	ПВ, % от абс. сух. массы
Туруханский	г. Игарка, 68° с.ш.	Л. высокотравный	4.6±0.2(14.2)
	г. Туруханск, 66° с.ш.	Л. разнотравно-брусн.	4.6±0.2(15.4)
Эвенкийский	пос. Тура, 65° с.ш.	Л. голубично-багульн.	4.5±0.2(14.7)
	пос. Бахта, 63° с.ш.	Л. голубично-багульн.-брусн.	4.5±0.1(15.2)
	пос. Байкит, 62° с.ш.	Л. ранотравно-черничн.	4.4±0.2(13.8)
Нижне-Енисейский	пос. Кривляк, 60° с.ш.	Л. голубично-багульн.	4.4±0.2(14.2)
Большемуртинский	пос. Верхняя Казанка, 57° с.ш.	Л. ранотравно-ерниковый	4.2±0.1(14.9)
Каа-Хемский	пос. Сарыг-Сеп, 51° с.ш.	Л. хвощевый долинный	3.9±0.2(12.9)
		Л. злаково-разнотравный	3.8±0.2(13.5)

Примечание. В скобках указан коэффициент вариации, C_v , %.

Таблица 8. Содержание пектиновых веществ (ПВ) в коре лиственницы даурской, произрастающей в различных климатических условиях (деревья VI–VII классов возраста)

Район, лесхоз	Населенный пункт	Тип леса	ПВ, % от абс. сух. массы
Северо-Западная Якутия, Жиганский	пос. Жиганск, 67° с.ш.	Л. бруснично-голубичный	3.9±0.2(14.2)
		Л. бруснично-багульниковый с кедровым стланником	4.0±0.2(12.9)
Северо-Восточная Якутия, Верхоянский	пос. Верхоянск, 68° с.ш.	Л. шикшево-толокнянковый	3.9±0.2(13.1)
		Л. ерnikовo-лишайниковый	3.7±0.3(14.1)
		Л. ерниковый	3.8±0.2(12.9)
		Л. шикшево-брусничный	3.9±0.2(13.7)
		Л. бруснично-зеленомошный	4.0±0.1(12.5)
Центральная Якутия, Якутский	г. Якутск, 68° с.ш.	Л. лимнасово-брусничный	3.9±0.1(12.7)
		Л. бруснично-разнотравный	3.9±0.1(14.3)
		Л. мшисто-брусничный	4.0±0.2(13.5)
		Л. арктоусово-брусничный	3.9±0.2(11.9)
Юг Якутии, Олекминский	г. Олекминск, 61° с.ш.	Л. ольховниково-брусничный	4.9±0.2(14.2)
БАМ, юг Якутии, Тимптонский	г. Алдан, 57° с.ш.	Л. ольховниково-брусничный	5.1±0.1(12.8)
	пос. Чульман, 57° с.ш.	Л. голубично-ерниковый	5.3±0.1(12.1)
	г. Нерюнгри, 56° с.ш.	Л. голубично-багульниковый	5.3±0.2(14.3)
	пос. Беркакит, 56° с.ш.	Л. ерниково-ольховниковый	5.2±0.2(13.2)
БАМ, север Амурской области, Тынденский	г. Тында, 54° с.ш.	Л. брусничный	5.4±0.2(12.9)
		Л. рододендрово-багульниковый	5.3±0.2(13.7)
		Л. ольховниково-багульниковый	5.2±0.2(14.1)
		Л. рододендрово-ольховниковый	5.3±0.2(11.9)

Примечание. В скобках приведен коэффициент вариации, C_v , %.

Центральный и Северо-Восточный районы Республики Саха (Якутия) характеризуются наиболее жестким климатическим режимом. Здесь сочетаются наивысшая степень континентальности климата (лесхозы Жиганский, Якутский, Верхоянский – степень континентальности $K=250\%$ – климат резко континентальный), сплошная вечная мерзлота, самая холодная в северном полушарии зима (среднегодовая температура в районе Верхоянского лесхоза составляет -15.6°C , средняя температура января -48°C , в районе Жиганского лесхоза: -12 и -41°C соответственно, в районе Якутского лесхоза: -10.2 и -43°C) и минимальное количество осадков. Спасает многолетняя вечная мерзлота, которая, постепенно оттаивая, подпитывает влагой растительность [22]. В районе Верхоянского лесхоза выпадает 142 мм осадков в год, в районе Якутского лесхоза – 192 мм, в районе Жиганского лесхоза – 250 мм, а в Олекминском, Тимптонском, Тынденском лесхозах – 400, 500, 900 мм в год соответственно. Показатель увлажнения по [21] уменьшается в этом направлении, с юга на север. Тынденский и Тимптонский лесхозы находятся в области избыточного увлажнения ($M_d=0.60$), Олекминский лесхоз – в полусухой зоне ($M_d=0.25-0.35$), а Якутский, Жиганский, Верхоянский лесхозы – в засушливой ($M_d=0.15-0.20$). В данном случае снижение влажности в этом направлении оказывает более значительное влияние на содержание пектиновых веществ, чем континентальность климата.

Тенденция влияния степени увлажнения почвы на содержание пектиновых веществ в коре лиственницы даурской прослеживается в пределах одного лесхоза (Верхоянский лесхоз) в различных типах леса, как и в лиственнице сибирской (табл. 6). Массовая доля пектиновых веществ (3.7%) в образцах коры из лиственничника ерничково-лишайникового типа (наиболее засушливого) меньше на 7.5% их содержания (4.0%) в коре из лиственничника бруснично-зеленомошного, где умеренное увлажнение.

Рост и качество растительности зависит от недостатка или избытка влаги значительно больше, чем от других факторов [22]. Коэффициент вариации географической изменчивости лиственницы даурской ($C_v=13.7\%$) в 2 раза превышает коэффициент вариации географической изменчивости лиственницы сибирской ($C_v=6.7\%$) и практически равен коэффициенту вариации индивидуальной изменчивости ($C_v=13.2\%$).

При определении пектиновых веществ кору предварительно экстрагировали горячей водой (60 °C) и этанолом для удаления сопутствующих веществ, мешающих определению пектинов. С помощью регрессионного анализа [24] установлена корреляционная зависимость между содержанием водорастворимых и пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской на высоте 1.3 м.

Уравнения регрессии имеют вид:

$$\text{лиственница сибирская } y = 0.09x + 3.46; r = 0.955, m_r = 0.0159, n = 191,$$

$$\text{лиственница даурская } y = 0.06x + 4.14; r = 0.898, m_r = 0.0151, n = 229,$$

где y – содержание пектиновых веществ, % от массы абс. сухой коры; x – содержание водорастворимых, % от массы абс. сухой коры; r – коэффициент линейной корреляции между переменными; m_r – ошибка коэффициента корреляции; n – количество опытов.

Полученные нами коэффициенты корреляции (r) и их основные ошибки (m_r) для лиственницы сибирской (0.955 ± 0.0159) и лиственницы даурской (0.898 ± 0.0151) показывают, что связь между сопоставляемыми признаками для обоих видов лиственниц вполне достоверна – r превышает свою ошибку более, чем в 62 и 59 раз для лиственниц сибирской и даурской соответственно, тогда как для достоверности достаточно превышения в 4 раза. Регрессионный метод ускоренного определения пектиновых веществ сводится к определению количества водоэкстрактивных веществ (60 °C), что дает большую экономию во времени, так как исключается экстракция этанолом, т.е. он менее трудоемок.

Выводы

Изучение различных форм изменчивости содержания пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской и даурской показало, что их содержание зависит от внешних факторов, которые и обуславливают присутствие различных форм изменчивости: индивидуальной, временной, географической.

Более всего количество пектиновых веществ зависит от места взятия образца по высоте ствола. Максимальное содержание пектиновых веществ (10.7–9.9%) обнаружено в лубяном слое всей коры, в коре ветвей в верхней части кроны и сучьев. С возрастом дерева массовая доля пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской и даурской снижается. Содержание пектиновых веществ зависит от сезона года, следовательно, эти вещества активно вовлекаются в метаболизм.

Количество пектиновых веществ в коре лиственницы сибирской и даурской связано также со степенью увлажнения местообитаний и географической широтой произрастания. Максимальная величина этого показателя установлена в коре деревьев из более северного района Сибири для лиственницы сибирской и из более южного района Республики Саха (Якутия) для лиственницы даурской.

Среднее содержание пектиновых веществ на высоте 1.3 м в коре лиственницы даурской ($5.2 \pm 0.2\%$, $C_v=18.7\%$, $n=129$) выше, чем в коре лиственницы сибирской ($4.5 \pm 0.2\%$, $C_v=19.3\%$, $n=117$) на 13.5%, где n – количество образцов.

Разработанный нами на большом количестве образцов ускоренный метод определения пектиновых веществ в коре лиственниц сибирской и даурской более удобен, не требует сложного оборудования и дает практически достаточную точность определения.

Финансирование

Работа выполнена в рамках базового проекта FWES-2024-0028.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Комисаренко С.Н., Спиридонов В.Н. Пектины – их свойства и применение // Растительные ресурсы. 1998. Т. 34, №1. С. 111–117.
2. Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок. Технические рекомендации. 6-е изд. испр. и доп. СПб, 2005. 200 с.
3. Патент №2403263 (РФ). Способ получения пектина из коры лиственницы, обладающего мембраностабилизирующей активностью и способностью восстанавливать ионы серебра, нанобиокмозиты серебра, стабилизированные пектином / В. Бабкин, Н. Иванова, Н.Н. Трофимова и др. – 2010.
4. Бутылкина А., Левданский В.А., Кузнецов Б.Н. Изучение состава экстрактивных веществ, выделенных из коры сосны различными методами // Химия растительного сырья. 2011. №2. С. 77–82.
5. Trofimova N., Medvedeva E., Ivanova N., Malkov Y., Babkin V. The Complex World of Polysaccharides. InTech, 2012.
6. Atmodjo M.A., Hao Z., Mohnen D. Evolving Views of Pectin Biosynthesis // Annu. Rev. Plant Biol. 2013. Vol. 64. Pp. 747–779.
7. Макарова Е.Н., Шахматов Е.Г., Удортина Е.В., Кучин А.В. Структурно-химическая характеристика пектинов, арабиногалактанов и арабиногалактановых белков хвойных растений // Известия Академии наук. Серия химическая. 2015. №6. С. 1302–1302.
8. Шарков В.И., Куйбина Н.И. Химия гемицеллюлоз. М., 1972. 440 с.
9. Шарков В.И. О химическом составе отходов лесоразработок // Гидролизная и лесохимическая промышленность. 1955. №7. С. 3–5.
10. А.с. №563154 (СССР). Способ получения пектина из растительного сырья / Н.А. Ярцева, Г.В. Пермякова. – 1974.
11. Ярцева Н.А., Пермякова Г.В., Степень Р.А. Характеристика пищевых пектинов из коры хвойных пород Сибири // Продовольственные и кормовые ресурсы лесов Сибири. Красноярск, 1983. С. 122–129.
12. Пермякова Г.В. Разработка оптимального режима получения пектина из коры лиственницы // Лиственница. Проблемы комплексной переработки. Красноярск, 1986. С. 93–98.
13. Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М., 1972. 284 с.
14. Пермякова Г.В. Содержание пектиновых веществ в коре *Pinus sylvestris* (Pinaceae) // Растительные ресурсы. 2007. Т. 43, №2. С. 47–52.
15. Пермякова Г.В. Динамика содержания пектиновых веществ в коре *Picea Obovata* (Pinaceae) // Растительные ресурсы. 2010. Т. 46, №4. С. 117–121.
16. Анучин Н.П. Лесная таксация. М., 1982. 530 с.
17. Елагин И.Н. Дистанционная фенология. Новосибирск, 1985. 205 с.
18. Гелес И.С., Филатова Т.В. К вопросу исследования коры лиственницы // Лиственница. Красноярск, 1973. Т. 4. С. 180–189.
19. Крамер П., Козловский Т. Физиология древесных растений. М., 1963. С. 72–75.
20. Погребняк П.С. Общее лесоводство. М., 1958. 440 с.
21. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР. М., 1967. 336 с.
22. Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение. Новосибирск, 1986. 192 с.
23. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара // Записки Всесоюзного Географического Общества. М.; Л., 1948. Т. 1. 224 с.
24. Flotynski J., Filipek Z. Zastosowanie melodi regresyjnej przyspieszonego okreslania zawartosci garbnikow w korzeswierka pospololitego (*Picea excels Link*) // Sylwan. 1981. Vol. 125 (7–9). Pp. 141–145.

Поступила в редакцию 27 апреля 2023 г.

После переработки 3 апреля 2024 г.

Принята к публикации 24 октября 2024 г.

Permyakova G.V.*, Aniskina A.A. DYNAMICS OF PECTIN CONTENT IN *LARIX SIBIRICA* AND *LARIX GMELINII* BARK
Forest Institute named after. V.N. Sukacheva SB RAS, Federal Research Center KSC SB RAS, Akademgorodok, 50/28,
Krasnoyarsk, 660036, Russia, permyakova.gv@ksc.krasn.ru

The variability of pectin substances content in the bark of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) and Daurian larch (*Larix gmelinii* (Rupr.) on the territory of Middle and Eastern Siberia was studied. The content of pectins in the barks of Siberian larch and Daurian larch at a height of 1.3 m averages 4–5%. The bark of the whole tree trunk contains 8–9% pectins. The highest pectin content (9–12%) was observed in the bark of young parts of the tree (top and limbs), as well as in the inner bark. The variation of pectins content in one tree is significant. It increases along the trunk height from the butt to the top more than 2.5 times. Endogenous variability is more pronounced and exceeds all other types of variability. The coefficient of variation of pectins content in the barks of Siberian and Daurian larches was 39 and 34%, respectively. Significant variation in the content of pectin substances depending on individual, species, age, ecological conditions, as well as on the geographical factor was established. The influence of habitat moisture degree on the amount of pectins in the barks of Siberian larch and Daurian larch in different forest types was found.

Keywords: Siberian larch, Daurian larch, bark, pectin, variability.

For citing: Permyakova G.V., Aniskina A.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 4, pp. 80–88. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240412916.

References

1. Komisarenko S.N., Spiridonov V.N. *Rastitel'nyye resursy*, 1998, vol. 34, no. 1, pp. 111–117. (in Russ.).
2. Sarafanova L.A. *Primeneniye pishchevykh dobavok. Tekhnicheskiye rekomendatsii*. 6-ye izd. ispr. i dop. [Use of food additives. Technical recommendations. 6th ed. corr. and add.]. St. Petersburg, 2005, 200 p. (in Russ.).
3. Patent 2403263 (RU). 2010. (in Russ.).
4. Butylkina A., Levdanskiy V.A., Kuznetsov B.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 2, pp. 77–82. (in Russ.).
5. Trofimova N., Medvedeva E., Ivanova N., Malkov Y., Babkin V. *The Complex World of Polysaccharides*. InTech, 2012.
6. Atmodjo M.A., Hao Z., Mohnen D. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2013, vol. 64, pp. 747–779.
7. Makarova Ye.N., Shakhmatov Ye.G., Udoratina Ye.V., Kuchin A.V. *Izvestiya Akademii nauk. Seriya khimicheskaya*, 2015, no. 6, pp. 1302–1302. (in Russ.).
8. Sharkov V.I., Kuybina N.I. *Khimiya gemitsellyuloz*. [Chemistry of hemicelluloses]. Moscow, 1972, 440 p. (in Russ.).
9. Sharkov V.I. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost'*, 1955, no. 7, pp. 3–5. (in Russ.).
10. Patent 563154 (USSR). 1974. (in Russ.).
11. Yartseva N.A., Permyakova G.V., Stepen' R.A. *Prodovol'stvennyye i kormovyye resursy lesov Sibiri*. [Food and forage resources of Siberian forests]. Krasnoyarsk, 1983, pp. 122–129. (in Russ.).
12. Permyakova G.V. *Listvenitsa. Problemy kompleksnoy pererabotki*. [Larch. Problems of complex processing]. Krasnoyarsk, 1986, pp. 93–98. (in Russ.).
13. Mamayev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy*. [Forms of intraspecific variability of woody plants]. Moscow, 1972, 284 p. (in Russ.).
14. Permyakova G.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2007, vol. 43, no. 2, pp. 47–52. (in Russ.).
15. Permyakova G.V. *Rastitel'nyye resursy*, 2010, vol. 46, no. 4, pp. 117–121. (in Russ.).
16. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya*. [Forest taxation]. Moscow, 1982, 530 p. (in Russ.).
17. Yelagin I.N. *Distantionnaya fenologiya*. [Remote phenology]. Novosibirsk, 1985, 205 p. (in Russ.).
18. Geles I.S., Filatova T.V. *Listvenitsa*. [Larch]. Krasnoyarsk, 1973, vol. 4, pp. 180–189. (in Russ.).
19. Kramer P., Kozlovskiy T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy*. [Physiology of woody plants]. Moscow, 1963, pp. 72–75. (in Russ.).
20. Pogrebnyak P.S. *Obshcheye lesovodstvo*. [General forestry]. Moscow, 1958, 440 p. (in Russ.).
21. Shashko D.I. *Agroklimaticheskoye rayonirovaniye SSSR*. Moscow, 1967, 336 p. (in Russ.).
22. Pozdnyakov L.K. *Merzlotnoye lesovedeniye*. [Permafrost forestry]. Novosibirsk, 1986, 192 p. (in Russ.).
23. Ivanov N.N. *Zapiski Vsesoyuznogo Geograficheskogo Obshchestva*. [Notes of the All-Union Geographical Society]. Moscow-Leningrad, 1948, vol. 1, 224 p. (in Russ.).
24. Flotynski J., Filipek Z. *Sylwan*, 1981, vol. 125 (7–9), pp. 141–145.

Received April 27, 2023

Revised April 3, 2024

Accepted October 24, 2024

Сведения об авторах

Пермякова Галина Васильевна – научный сотрудник,
permyakova.gv@ksc.krasn.ru

Анискина Антонина Александровна – научный сотрудник,
aniskina_a@ksc.krasn.ru

Information about authors

Permyakova Galina Vasilievna – research fellow,
permyakova.gv@ksc.krasn.ru

Aniskina Antonina Aleksandrovna – research fellow,
aniskina_a@ksc.krasn.ru

* Corresponding author.