

УДК 581.192:677.11:633.521

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СТРОЕНИЕМ И БИОКАТАЛИЗИРУЕМОЙ ДЕСТРУКЦИЕЙ ПЕКТИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ЛЬНЯНЫХ МАТЕРИАЛОВ: СПЕЦИФИКА ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ (Ч. 1)

© *С.В. Алеева**, *С.А. Кокишаров*

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, 1,
Иваново, 153045 (Россия), e-mail: sva@isc-ras.ru*

Проведены экспериментальные исследования и математическое описание эффективности ферментативной деструкции пектинов в окружении лубяных пучков при луговом расстиле растительного сырья селекционных сортов льна-долгунца и при получении тресты методом тепловой мочки с учетом содержания в их макромолекулах незамещенной и замещенных форм галактуронатных звеньев. Выявленные закономерности являются основой для прогнозирования результатов, выбора и оптимизации условий первичной обработки растительного сырья по данным химического строения пектиновых веществ.

Ключевые слова: лен-долгунец, стланцевое и моченцовое льноволокно, пектиновые вещества, строение, деструкция, корреляции.

Введение

Настоящая работа является частью системных исследований, направленных на изучение специфики формирования полимерного состава льноволокнистых материалов отечественных сортов льна-долгунца и закономерностей его превращений в условиях первичной обработки растительного сырья и в процессах текстильного производства [1–3]. Экспериментальный поиск корреляций между химико-морфологическими и физико-механическими свойствами лубоволокнистого сырья позволил выявить определяющее влияние расщепления связующих веществ, окружающих лубяные пучки, на качественные характеристики чесаного льна. Подтверждено, что более глубокое биокатализируемое разрушение полиуронидов, составляющих клеящую основу в структуре растительных тканей, предопределяет легкость отделения лубяных пучков от паренхимных тканей. Как следствие, обеспечивается сокращение количества инкрустов на поверхности льняных комплексов и существенно снижается степень засоренности чесаного волокна фрагментами «присушистой костры», представляющей собой неотделившиеся остатки древесной части льняного стебля.

В зависимости от метода биологической обработки льносолумы результаты мацерации растительных тканей стебля проявляются в существенных различиях характеристик получаемого волокнистого материала. В частности считается, что способ лугового расстила обеспечивает наилучшие показатели чесаного льна и получаемой пряжи в сравнении с вариантом тепловой мочки. Однако на практике встречаются и противоположные результаты. Согласно данным работы [4], при обработке однородной льносолумы сорта Т-9 качество стланцевого волокна уступает вариантам получения моченца на льнозаводах.

Анализ содержания в структуре трепаного льна инкрустов и костры в соответствии с регламентированными методами сортоиспытания льноволокнистых материалов по ГОСТ 10330-76 не позволяет установить причины нестабильности получаемого

Алеева Светлана Владимировна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник,
e-mail: sva@isc-ras.ru

Кокишаров Сергей Александрович – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией

* Автор, с которым следует вести переписку.

результата мацерации. Наиболее информативной характеристикой в этом случае представляются результаты анализа полимерного состава связующих веществ в структуре льняных комплексов и строения их полиуронидной клеящей основы. В связи с этим цель работы состояла в установлении взаимосвязи между строением пектиновых веществ в окружении лубяных пучков льняного стебля и расщепляемостью полимера в процессах получения стланцевого и моченцового льноволокна с учетом сведений о различии микробиологических агентов, участвующих в расщеплении примесей, и видов вырабатываемых ими пектиндеструктурирующих ферментов. Выявление закономерностей может послужить основой для обоснования рекомендаций по выбору наиболее оптимального способа первичной обработки льняного сырья с учетом химического состояния полиуронидов в тканях паренхимы и камбия.

Экспериментальная часть

В работе использовано лубоволокнистое сырье пяти селекционных сортов льна-долгунца урожая 2008 года: «Зарянка», «Алексим», «Ленок», «А-93», «Могилевский-2», предоставленных сотрудниками ВНИИЛьна. Опытные образцы растений выращены в двух регионах с близкими климатическими условиями на полях НИИСХ в Костромской области и ВНИИЛьна (Тверская обл.) с соблюдением одинаковых сроков посева и теребления льна. В сопоставимых условиях в соответствии с методическими указаниями [5] проведен расстил стеблей соломы на льнище непосредственно после теребления и обмолота, а подъем льнотресты осуществлялся по мере ее вылежки (отделяемость в пределах 4,5–6,0 ед.). В соответствии с методическими указаниями [6] экспериментальные партии льносоломы подвергнуты тепловой мочке при 35–37 °С в течение 4 суток без смены мочильной жидкости с контролируемым подкислением раствора продуктами расщепления примесей от исходного уровня рН 7,07 до минимального значения водородного показателя не ниже 4,5–5,5.

Полученные волокнистые материалы использованы для проведения сравнительного анализа эффективности расщепления содержащихся в них пектиновых веществ и изменения химического строения полимера после проведения росяной или тепловой мочки. Сопоставление осуществлено относительно луба, выделенного механическим способом.

Содержание пектина (P , масс. %) в анализируемых образцах волокнистых материалов оценено в соответствии с рекомендациями [7] по поглощению света окрашенным комплексом полиуронидов с *o*-толуидином при длине волны 360 нм. Сопоставление качества биологических способов обработки льносоломы осуществлено по показателю степени расщепления пектинов (ΔP , %), характеризующему эффективность протекания ферментативных процессов деструкции клеящих веществ в структуре волокнистого материала.

Анализ химического строения пектиновых веществ осуществлен с использованием метода ИК-спектроскопии, основанного на измерении интенсивности полосы валентных колебаний ионизированного карбоксила $\nu_{\text{ас}}(\text{COO}^-)$ 1615 см^{-1} , не перекрывающейся соседним поглощением и характеризующей поглощение пектинатов с одно- или двухвалентными ионами металлов. Способ предполагает проведение цикла операций с полимерными пленками для последовательных превращений структурных фрагментов незамещенной галактуроновой кислоты и метоксилированных звеньев в форму пектата кальция. Техническая реализация препарации образцов, проведение измерений и обработки результатов детально описаны в работе [8]. Используемый подход позволяет количественно оценить соотношение содержания в анализируемых полиуронидах мономерных звеньев в форме неэтерифицированной галактуроновой кислоты (G_H), ее метоксилированных (G_M) и кальций-пектатных производных (G_K).

Обсуждение результатов

В таблице сопоставлены результаты, характеризующие исходное состояние полиуронидов в образцах механически выделенного луба, а также его изменение при реализации двух биологических способов получения льнотресты, предполагающих участие микроорганизмов почвенной микрофлоры и мочильной жидкости.

Прежде всего, следует обратить внимание на широкий диапазон варьирования значений долевого содержания пектиновых веществ в лубяной части стебля как для разных селекционных сортов льна-долгунца, так и при смене региона произрастания растений. Различия, достигающие 1,48 раза, являются отражением сложных последовательных превращений полисахаридов в структуре растительных тканей,

которые зависят от множества факторов, в том числе и от условий онтогенеза. Вместе с тем они наглядно демонстрируют главную проблему в решении вопросов рационального построения технологических процессов переработки лубоволокнистого сырья, связанную с нестабильностью исходного химического состояния системы.

Результаты анализа свидетельствуют, что существенным колебаниям подвержено и соотношение форм галактуронатных звеньев в цепи главных валентностей полиуронидов, содержащихся в лубяной части стебля. Так, содержание метоксилированных звеньев в костромских образцах уступает показателям для тверских аналогов, и в случае сорта «Алексим» различие составляет 2,1 раза. В то же время долевое содержание метоксилированной формы, различаясь между сортами в пределах одного поля в 1,34 раза (Тверская обл.) и в 1,56 раза (Костромская обл.), может быть практически одинаковым для образцов, выращенных в разных регионах («Зарянка»), либо достигать максимальных отличий в 1,84 раза («Ленок»). В относительном выражении наиболее значительным изменениям, достигающим 3,6 раза, подвержен показатель долевого содержания кальций-пектатной формы, причем ее накопление в разных образцах лубоволокнистых материалов наиболее трудно поддается систематизации.

Вполне естественно, что наличие отклонений в содержании и химическом строении полимера отражается и на результатах его расщепления в условиях первичной обработки растительного сырья. В исследуемой группе волокнистых материалов минимальный и максимальный уровень извлечения пектиновых примесей соответствуют 1,5 и 3,1 раза. При этом, если проведенный объем эксперимента недостаточен для выяснения причин наблюдаемых различий в биосинтезе полиуронидов, то для совокупности данных биомодифицированного сырья можно проследить закономерности их изменения.

Содержание пектина в волокнистых материалах селекционных сортов льна-долгунца и результаты ИК-спектроскопического исследования полиуронидов

Сорт	Регион онтогенеза	Вид волокна	<i>П</i> , масс. %	Долевое содержание звеньев, ед.		
				G_H	G_M	G_K
«Зарянка»	Тверская обл.	луб	7,1	0,52	0,43	0,05
		стланец	2,5	0,32	0,58	0,10
		моченец	3,3	0,58	0,34	0,08
	Костромская обл.	луб	7,7	0,45	0,41	0,14
		стланец	6,4	0,20	0,51	0,29
		моченец	4,3	0,46	0,33	0,21
«Алексим»	Тверская обл.	луб	5,4	0,55	0,35	0,10
		стланец	2,3	0,49	0,37	0,14
		моченец	3,6	0,57	0,30	0,13
	Костромская обл.	луб	7,3	0,26	0,62	0,12
		стланец	6,0	0,20	0,66	0,14
		моченец	2,5	0,46	0,41	0,13
«Ленок»	Тверская обл.	луб	7,7	0,48	0,35	0,17
		стланец	4,9	0,40	0,38	0,22
		моченец	5,3	0,50	0,31	0,19
	Костромская обл.	луб	8,0	0,25	0,64	0,11
		стланец	6,5	0,21	0,64	0,15
		моченец	2,6	0,46	0,41	0,13
«А-93»	Тверская обл.	луб	7,3	0,53	0,35	0,12
		стланец	4,2	0,47	0,39	0,14
		моченец	5,1	0,58	0,29	0,13
	Костромская обл.	луб	6,5	0,41	0,41	0,18
		стланец	5,3	0,23	0,51	0,26
		моченец	3,5	0,47	0,32	0,21
«Могилевский-2»	Тверская обл.	луб	5,4	0,48	0,47	0,05
		стланец	2,8	0,42	0,52	0,06
		моченец	2,5	0,58	0,35	0,07
	Костромская обл.	луб	7,3	0,31	0,61	0,08
		стланец	5,2	0,20	0,69	0,11
		моченец	2,4	0,49	0,41	0,10

Прежде всего, отметим, что во всех случаях убыль содержания пектиновых веществ в волокнистых материалах льняного сырья, подвергнутого биологическим процессам первичной обработки, сопровождается снижением долевого содержания той формы мономерных галактуронатных звеньев, которая обладает комплементарностью для функционирующей группы пектиндеструктирующих ферментов. В случае получения льнотресты методом лугового расстила разрушение полимера происходит на участках, сформированных звеньями незамещенной галактуроновой кислоты. Их относительное содержание в образцах стланцевого волокна снижается в 1,2–2,2 раза по сравнению с показателями для луба, выделенного без предварительного химического расщепления примесей. Такой тип действия характерен для полигалактуроназ пектолитического мультиэнзимного комплекса, вырабатываемого микроорганизмами почвенной микрофлоры. Соотношение долевого содержания разновидностей мономерных звеньев галактуроновой кислоты смещается в сторону не обладающих комплементарностью кальций-пектатной и метоксилированной форм. Причем в последнем случае меньшая величина прироста свидетельствует о более интенсивной генерации микроорганизмами фермента пектинэстеразы, катализирующего гидролиз этерифицированной карбоксильной группировки в макромолекулах пектина.

Для образцов моченцового волокна наблюдается обратная картина: содержание метоксилированных звеньев сокращается в 1,2–1,5 раза. Это обусловлено проявлением ассимилирующего действия развивающихся в мочильной жидкости термофильных анаэробных бактерий рода *Clostridium*, которые вырабатывают комплекс ферментов, относящихся к классу лиаз и обеспечивающих разрыв связей на участках полимерной цепи, образованных метоксилированными мономерными звеньями [9, 10]. При этом долевое распределение фракций мономерных галактуронатных звеньев смещается в направлении повышения количества незамещенной и кальций-пектатной форм.

Увеличение долевого содержания звеньев полиуронидной цепи, связанных кальциевыми мостиками, для обоих способов первичной обработки растительного сырья является вполне ожидаемым, поскольку такие участки недоступны для ферментативного расщепления как гидролитическими ферментами, так и пектин-лиазой [11]. При этом примечательно, что для образцов стланцевого волокна абсолютный прирост показателя G_K пектиновых веществ в 1,5–2,6 раза больше по сравнению с результатами обработки в мочильной жидкости. Это свидетельствует о возможности извлечения кальций-пектатных структур пектина в составе олигомерных продуктов ферментативной деструкции полимера при проведении операций промывок, завершающих этап тепловой мочки тресты.

Сопоставление химического строения пектинов с остаточным их содержанием в соответствующих образцах стланцевого или моченцового волокна позволяет проследить закономерности влияния особенностей структуры полимера на его расщепляемость ΔP при биологических методах получения льнотресты. На рисунке 1 сопоставлены данные изменения степени расщепления пектиновых веществ в ходе лугового расстила и тепловой мочки с соответствующими значениями содержания форм мономерных звеньев полиуронидной цепи. Нетрудно видеть, что для каждого способа обработки прослеживается пропорциональная зависимость между изменениями эффективности разрушения пектиновых примесей и содержанием комплементарной формы в структуре полимера. Однако коэффициент корреляции экспериментальных данных для зависимостей $\Delta P^{\text{стланец}} = f(G_H)$ и $\Delta P^{\text{моченец}} = f(G_M)$ составляет соответственно лишь 0,3607 и 0,5155.

Вместе с тем некомплементарные формы мономерных звеньев далеко не остаются индифферентными статистами в процессах ферментативного расщепления полимеров, поскольку для образования фермент-субстратного комплекса активный центр биокатализатора должен проявлять афинность на определенном участке макромолекулярной цепи. Присутствие на перекрываемом фрагменте даже одного некомплементарного звена нарушает условия пространственного и энергетического совпадения всего участка и препятствует протеканию каталитического акта. Наличие дополнительных факторов, которые необходимо учитывать при математическом описании процессов деструкции пектина в условиях биологических способов получения льняной тресты, наглядно демонстрируют данные рисунка 2.

В частности представленная на рисунке 2а зависимость свидетельствует о наличии корреляции контролируемого показателя степени расщепления полиуронидов в стланцевом волокне с относительной величиной G_K/G_H , характеризующей сокращение доли потенциально расщепляемых участков макромолекулы, утративших афинность в результате встраивания некомплементарного звена. Для данного вида обработки наличие метоксилированной формы не является неустранимым препятствием, если полиферментная система обладает достаточной способностью для гидролитического отщепления метоксильной группы и придания комплементарности трансформированному участку макромолекулы.

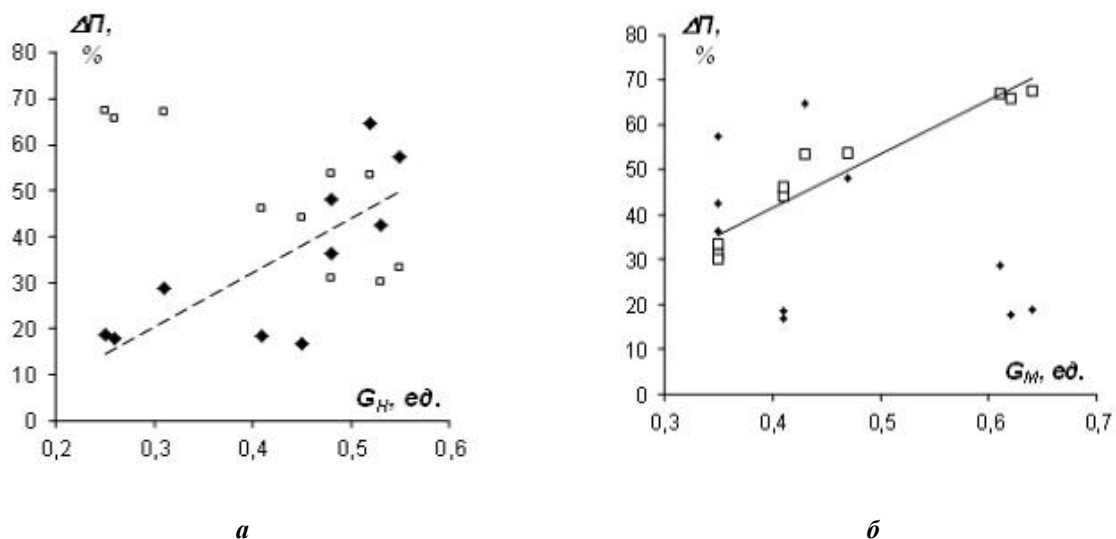


Рис. 1. Влияние долевого содержания звеньев незамещенной галактурановой кислоты (а) и их метоксилированной формы (б) в макромолекулах пектина механически выделенного луба на степень расщепления пектиновых веществ ($\Delta П$) в ходе получения льнотресты биологическими способами: ◆ – луговой расстил (пунктирная линия); □ – тепловая мочка (сплошная линия)

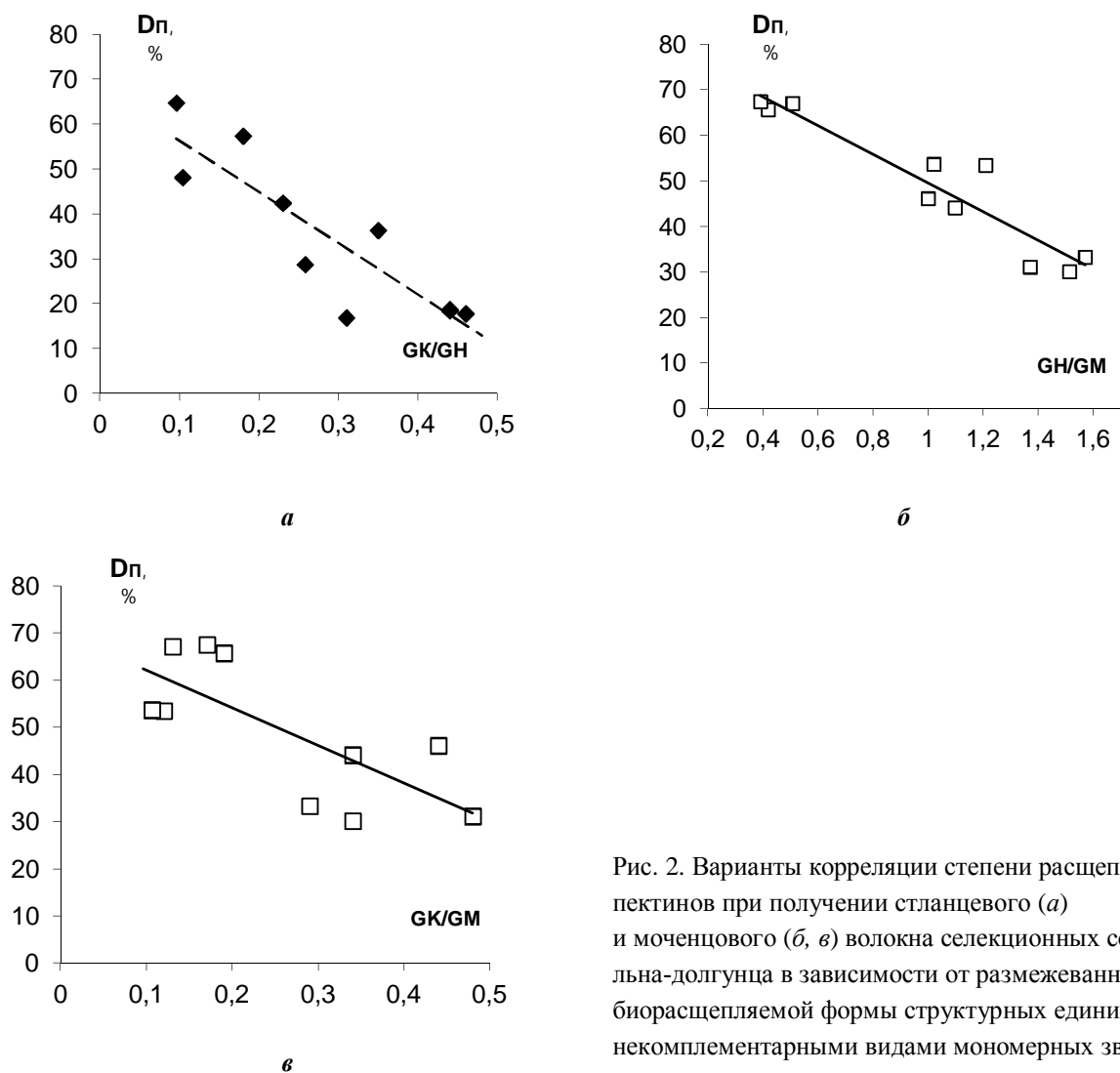


Рис. 2. Варианты корреляции степени расщепления пектинов при получении стланцевого (а) и моченцового (б, в) волокна селекционных сортов льна-долгунца в зависимости от размежеванности биорасщепляемой формы структурных единиц некомплементарными видами мономерных звеньев

В случае деструкции пектинов под действием пектин-лиазы мочильной жидкости (рис. 2б, в) в изменении контролируемого показателя ΔP выраженные корреляции просматриваются как с величиной относительного содержания незамещенной формы мономерных единиц, так и формы кальциевой соли, в равной степени препятствующих протеканию каталитического акта на прилегающих к ним участках макромолекулы.

Многофакторный регрессионный анализ экспериментальных данных с использованием предлагаемой формы корректирующих факторов позволил получить адекватные зависимости для описания взаимосвязи между химическим строением полиуронидных соединений в растительных тканях льняного стебля и расщепляемостью пектинов в процессах получения стланцевого и моченцового льноволокна:

$$\Delta P^{\text{стланец}} = 5,29 + 95,26 \cdot G_H - 15,29 \cdot \frac{G_K}{G_H}, \quad R = 0,9314$$

$$\Delta P^{\text{моченец}} = 6,95 + 90,17 \cdot G_M - 13,73 \cdot \frac{G_H}{G_M} - 28,65 \cdot \frac{G_K}{G_M}, \quad R = 0,9537 .$$

Зависимости отражают специфику протекания биокатализируемых процессов гидролиза под действием компонентов пектолитического мультиэнзимного комплекса при луговом расстиле и элиминирования пектиновых соединений ферментами лиазной группы при тепловой мочке:

- эффективность расщепления пектинов при луговом расстиле и связанная с этим степень чистоты волокна определяются содержанием незамещенной формы мономерных звеньев и относительным содержанием размежевывающих их звеньев в кальций-пектатной форме;

- сырье с высокой степенью метоксилирования пектинов целесообразно подвергать обработке методом тепловой мочки, при этом результат ферментативного воздействия определяется размежеванностью метоксилированных участков макромолекулы как кальций-пектатной формой, так и неэтерифицированными звеньями.

Для оценки работоспособности выявленных закономерностей проведена их эмпирическая проверка с расширением объектов исследования. Верификация математических моделей показала, что их применение позволило адекватно описать новую совокупность данных. Максимальное отклонение расчетных значений от фактических результатов эксперимента не превышает 3%. Вероятность попадания экспериментальных данных в заданные границы расчетных величин определения степени расщепления пектинов в процессах получения стланцевого и моченцового льноволокна составляет 95%. При этом с учетом особенностей химического строения содержащихся в волокне полиуронидов (см. табл.) уравнения могут быть применены для выбора способа первичной обработки льняного сырья. Рассчитано, что высокая степень расщепления высокометоксилированных пектинов (G_M более 50%) достигается преимущественно методом тепловой мочки. Для получения волокна высокой степени дробления и чистоты из видов льняного сырья, содержащих полиурониды с преобладанием незамещенной формы мономерных звеньев, наиболее предпочтительна обработка льносоломой в условиях лугового расстила.

Таким образом, экспериментально установлено, что выявленные зависимости не только демонстрируют наличие общей для всех видов биокатализируемых процессов взаимосвязи между строением объекта воздействия и спецификой протекания его превращений, но также могут иметь реальное применение для выбора способа первичной обработки льняного сырья и прогнозирования результатов с учетом химического строения содержащихся в волокне полиуронидов для повышения степени дробления и чистоты продукта.

Выводы

1. Экспериментально подтверждена взаимосвязь эффективности разрушения пектиновых веществ в лубяной части льняного стебля в условиях лугового расстила или тепловой мочки с содержанием мономерных звеньев в цепи полимера в комплементарной и некомплементарных формах для осуществления соответствующего типа биокатализируемой деструкции полиуронидов.

2. Получены корреляционные соотношения для оценки расщепляемости пектинов в процессах получения стланцевого и моченцового льноволокна с учетом особенностей химического строения содержащихся в

волокне полиуронидов, которые могут быть применены для выбора способа первичной обработки льняного сырья и прогнозирования результатов с целью повышения степени дробления и чистоты продукта.

Список литературы

1. Кокшаров С.А., Алеева С.В., Кудряшова Т.А., Кудряшов А.Ю. Свойства льняного волокна селекционного сорта льна-долгунца «А-93» с опытных участков в Тверской и Костромской областях // Химия растительного сырья. 2008. №3. С. 51–54.
2. Кудряшова Т.А., Кудряшов А.Ю., Кокшаров С.А., Алеева С.В. Влияние условий выращивания льна-долгунца сорта «Алексим» и первичной обработки льнотресты на свойства трепаного волокна // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2008. №2. С. 31–34.
3. Алеева С.В., Кокшаров С.А. Особенности биохимической мацерации отечественного и импортного льняного сырья: закономерности расщепления полиуронидных соединений ферментами пектолитического комплекса (Ч. 2.) // Химия растительного сырья. 2010. №4. С. 5–10.
4. Иванов А.Н., Гурусова А.А. Влияние промышленных способов приготовления тресты на химический состав льняных волокон // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 1984. №6. С. 17–20.
5. Пашин Е.А., Кудряшов А.Ю., Серова Е.Н. и др. Методические указания по проведению технологической оценки качества льна-долгунца в системе государственного сортоиспытания. Кострома, 2006. 38 с.
6. Лебедев Я.Л., Егоров М.Е., Ковалев В.Б. и др. Методические указания по проведению технологической оценки льносоломы и опытов по первичной обработке льна. Торжок, 1972. 54 с.
7. Усов А.И., Яроцкий С.В. Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи *o*-толуидинового реагента // Известия Академии наук СССР. Серия химическая. 1974. №4. С. 877–880.
8. Алеева С.В., Кокшаров С.А. Особенности биохимической мацерации отечественного и импортного льняного сырья: сопоставительный анализ химического строения пектиновых веществ (Ч. 1.) // Химия растительного сырья. 2010. №3. С.11–16.
9. Бравова Г.Б. Биосинтез пектолитических ферментов анаэробными бактериями рода *Clostridium*: дисс. ... канд. биол. наук. М., 1972. 182 с.
10. Капитонова Л.С. Пектолитические ферменты *Clostridium felsineum* шт. 5, мацерирующие стебли льна: дисс. ... канд. биол. наук. М., 1973. 158 с.
11. Кокшаров С.А., Алеева С.В. Биохимическая модификация полисахаридов в процессах текстильного производства // Научные основы химической технологии углеводов / Под ред. А.Г. Захарова. М., 2008. С. 401–523.

Поступило в редакцию 20 февраля 2014 г.

После переработки 19 марта 2014 г.

Aleeva S.V.*^{*}, Koksharov S.A. DEPENDENCE BETWEEN THE STRUCTURE AND THE ENZYMATIC DESTRUCTION OF PECTIN FROM FLAX MATERIALS: SPECIFICITY OF THEIR MANIFESTATIONS IN BIOLOGICAL METHODS ALLOCATION OF FIBROUS MATERIALS (P.1)

Institute of Solution Chemistry, Russian Academy of Sciences, ul. Akademicheskaja, 1, Ivanovo, 153045 (Russia), e-mail: sva@isc-ras.ru

Experimental studies and mathematical description of the effectiveness of enzymatic degradation of pectins surrounded flax fiber complex at grass spreading plant materials selected varieties of flax and upon receipt by the stock artificial retting to view the content in their macromolecules unsubstituted and substituted forms galacturonate links. Identified patterns are the basis for predicting outcomes, choice and optimization of conditions for primary processing plant materials according to the chemical structure of pectins.

Keywords: flax, prostrate tree and retted flax, pectin, structure, destruction, correlation.

References

1. Koksharov S.A., Aleeva S.V., Kudrjashova T.A., Kudrjashov A.Ju. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2008, no. 3, pp. 51–54. (in Russ.).
2. Kudrjashova T.A., Kudrjashov A.Ju., Koksharov S.A., Aleeva S.V. *Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*, 2008, no. 2, pp. 31–34. (in Russ.).
3. Aleeva S.V., Koksharov S.A. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2010, no. 4, pp. 5–10. (in Russ.).
4. Ivanov A.N., Gurusova A.A. *Izvestija vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*, 1984, no. 6, pp. 17–20. (in Russ.).
5. Pashin E.A., Kudrjashov A.Ju., Serova E.N. i dr. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju tehnologicheskoy ocenki kachestva l'na-dolgunca v sisteme gosudarstvennogo sortoispytaniya*. [Methodical guidelines for assessing the quality of the process of flax in the state variety trials]. Kostroma, 2006, 38 p. (in Russ.).
6. Lebedev Ja.L., Egorov M.E., Kovalev V.B. i dr. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniju tehnologicheskoy ocenki l'nosolomy i opytov po pervichnoj obrabotke l'na*. [Methodological guidelines for technology assessment and Inosolomy experiments on primary processing of flax]. Torzhok, 1972, 54 p. (in Russ.).
7. Usov A.I., Jarockij S.V. *Izvestija Akademii nauk SSSR. Serija himicheskaja*, 1974, no. 4, pp. 877–880.
8. Aleeva S.V., Koksharov S.A. *Himija rastitel'nogo syr'ja*, 2010, no. 3, pp. 11–16. (in Russ.).
9. Bravova G.B. *Biosintez pektoliticheskikh fermentov anajerobnymi bakterijami roda Clostridium: diss. kand. biol. nauk*. [The biosynthesis of pectolytic enzymes of anaerobic bacteria of the genus Clostridium: PhD diss.]. Moscow, 1972, 182 p. (in Russ.).
10. Kapitonova, L.S. *Pektoliticheskie fermenty Clostridium felsineum sht. 5, macerirujushhie stebli l'na: diss. kand. biol. nauk*. [Pectolytic enzymes Clostridium felsineum piece. 5, macerated flax stalks: PhD diss.]. Moscow, 1973, 158 p. (in Russ.).
11. Koksharov S.A., Aleeva S.V. *Nauchnye osnovy himicheskoy tehnologii uglevodov*. [Scientific Foundations of Chemical Engineering of carbohydrates]. Ed. A.G. Zaharov. Moscow, 2008, pp. 401–523. (in Russ.).

Received February 20, 2014

Revised March 19, 2014

* Corresponding author.