

Н.В. Гавриленко, В.П. Курченко // Труды БГУ. – 2011. – Т. 6, ч. 2. – С. 126–133.

7. Капустин, М.А. Клатратные комплексы бета-циклодекстрина с синтетическими простаноидами / М.А. Капустин, А.С. Чубарова, В.С. Радевич [и др.] // Биомика. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 1–5.

8. Капустин, М.А. Методы получения наноконплексов биологически активных веществ с циклическими олигосахаридами, анализ их физико-химических свойств и использование в пищевом производстве / М.А. Капустин, А.С. Чубарова, Т.Н. Головач [и др.] // Труды БГУ. – 2016. – Т. 11, Ч.1. – С. 73-100.

9. Haresh M. Patel, Bhanubhai N. Suhagia, Shailesh A Shah and others Preparation and characterization of etoricoxib- β -cyclodextrin complex prepared by the kneading method // Acta Pharm. – 2007. – 57 – P. 351-359

10. Капустин, М.А. Получение и свойства наноструктур куркуминоидов с нативными и модифицированными циклическими олигосахаридами /М.А. Капустин, А.С. Чубарова, В.П. Курченко, В.Г. Цыганков // Сб. материалов Междунар. науч-практ. конф. г. Саратов 12–16 июня 2017 г. – Саратов, 2017. – С. 240–246.

11. Schwingel L., Fasolo D., Holzschuh M. and others Association of 3-O-methylquercetin with β -cyclodextrin: complex preparation, characterization and ex vivo skin permeation studies // J. of Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. – 2008. – 62 – P. 149-159.

ОСОБЕННОСТИ АГРОТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТОРОПШИ ПЯТНИСТОЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИМАРИНА В КАЧЕСТВЕ ХЕЛАТОРА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Чубарова А.С.¹, Капустин М.А.¹, Якимович Е.А.², Курченко В.П.¹

¹ Белорусский государственный университет, г. Минск,

² РУП «Институт защиты растений», г. Прилуки,

chubarova.hanna@gmail.com

Статья посвящена разработке агротехнологии выращивания расторопши пятнистой (Silybum marianum Gaertn.) в условиях Республики Беларусь с целью получения стандартизированного фармацевтического сырья по содержанию флаволигнанов, а также изучению способности отдельных флаволигнанов: силибинина, силикрестина и силидианина взаимодействовать с ионами тяжелых металлов. Проведена оценка влияния различных гербицидов на накопление и соотношение флаволигнанов в плодах этого лекарственного растения. Показано, что Эстамп, КЭ (3,0 л/га) проявляет высокую эффективность на посевах расторопши пятнистой, и не вызывает изменения в соотношении суммы флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой. Кроме того, выявлено, что силибинин, силикрестин

и силидианин образуют комплексные соединения с ионами меди (II) в соотношении 3:2, а ионами кобальта (II) и свинца (II) – в соотношении 1:1. Среди комплексов флаволигнанов с изученными металлами самыми прочными оказались комплексы со стехиометрией 1:1.

Введение. Анализ состояния использования лекарственных средств в Республике Беларусь свидетельствует об увеличении спроса на лекарственные препараты растительного происхождения. Сложный комплекс биологических активных веществ лекарственных растений оказывает более мягкий, но, в то же время, достаточно выраженный лечебный эффект, что крайне важно при лечении заболеваний, носящих хронический характер [7].

Аптечная сеть и фармацевтическая промышленность испытывают определенный дефицит в сырье многих лекарственных растений. Общее количество растительных лекарственных средств, зарегистрированных в республике, превышает 300 наименований. Потребности в таких лечебных средствах удовлетворяются главным образом за счет их поставки из-за рубежа [7]. Хотя в последнее время отмечено увеличение объемов выпуска лекарственных средств из растительного сырья.

Низкая продуктивность лекарственных растений в настоящее время связана с устаревшей технологией их возделывания. Характерной чертой производства лекарственных растений остается использование ручного труда при проведении прополок, что ведет к удорожанию себестоимости производимой продукции и не позволяет расширять посевные площади данных культур. Поэтому одним из важнейших элементов интенсивной технологии возделывания лекарственных культур является применение химических средств защиты растений.

Среди агротехнологических факторов, определявших реализацию биологического потенциала лекарственных растений на долю мероприятий по борьбе с сорняками приходится от 25 до 75 % сохраненного урожая [3, 4].

Снижение численности и вредоносности сорных растений на плантациях лекарственных растений является одним из важнейших факторов получения высоких урожаев и стабилизации объемов посевных площадей. Достигнуть этого можно в т. ч. и за счет системы применения более широкого ассортимента высокоэффективных гербицидов в период вегетации культур.

Нами была поставлена цель – на основании установления влияния гербицидов, норм и сроков их применения на урожайность сырья расторопши пятнистой и его биохимические показатели обосновать систему защиты данной культуры от сорных растений для получения качественного сырья, соответствующего требованиям фармацевтической промышленности Республики Беларусь, а также выявить способность отдельных флаволигнанов взаимодействовать с ионами тяжелых металлов.

Методы исследования. Исследования по изучению эффективности гербицидов в борьбе с сорняками в посевах лекарственных растений

проводили в соответствии с общепринятыми методиками [6, 8]. Гербициды вносили методом сплошного опрыскивания ручным опрыскивателем «Jacto». Расход рабочего раствора 300 л/га. Были использованы следующие гербициды: Гезагард, КС (1,5 л/га), Гезагард, КС (2,0 л/га), Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га), Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га), Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га), Стомп, КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га). Гербициды вносили после посева до появления всходов культуры. С целью определения эффективности гербицидов ориентировочно через месяц проводили количественный, через полтора – количественно-весовой учет засоренности. За развитием расторопши пятнистой и сорняков проводили фенологические наблюдения [2]. Массовым наступлением фазы считали, когда в нее вступали 75 % культурных растений.

Для определения соотношений флаволигнанов в полученных плодах, а также для изучения хелатирующей способности индивидуальных флаволигнанов, в работе использовали силибинин, силикристин и силидианин, которые были получены по разработанной нами методике [9].

Спектральная характеристика комплексов флаволигнанов с ионами меди (II), кобальта (II) и свинца (II). За процессом комплексообразования следили спектрофотометрически на приборе Carry 50 (Varian, Австралия) с использованием кварцевых кювет (длина оптического пути 1 см). В кювету вносили 2 мл раствора лиганда (силибинин, силидианин и силикристин) в концентрации 1×10^{-3} моль/л и к нему последовательно добавляли по 2 мкл раствора соответствующей соли исследуемого металла в концентрации 2×10^{-2} моль/л до конечного объема 20 мкл. Спустя 1 минуту, записывали спектры поглощения в диапазоне длин волн 200–800 нм. Эксперимент повторяли с концентрацией ионов металла 2×10^{-1} моль/л. В качестве образца сравнения использовали растворы флаволигнанов. По изменениям в спектрах поглощения, характерных для чистых лигандов, определяли длину волны, соответствующую максимуму поглощения комплексов.

Определение стехиометрического соотношения лиганда и иона металла при комплексообразовании. Определение стехиометрических соотношений лигандов (флаволигнаны) и иона металла (меди (II), кобальта (II) и свинца (II)) проводили по методу Остромысленского-Джоба (метод непрерывных изменений или изомолярных серий) и по методу Бента-Френча [1].

Определение прочности комплексов флаволигнанов и флавоноидов с ионами меди (II), кобальта (II) и свинца (II). Прочность полученных комплексов оценивали по величине константы их образования, которые были определены по уравнению Накагуры [5].

Результаты исследований. При применении гербицидов на основе прометрина – Гезагард, КС (1,5 и 2,0 л/га) и Прометрекс Фло, КС (1,5 и 2,0 л/га) сорные растения погибали на 52,5–67,1 %, при этом численность мари белой снижалась на 95,9–100 %, проса куриного – на 40,8–59,8 %. При внесении гербицидов на основе пендиметалина – Стомпа, 33 % КЭ и

Эстамп, КЭ в норме 3,0 л/га, Стомп профессионал, МКС в норме 2,2 л/га мари белая погибала полностью, просо куриное – на 62,7–77,5 %. Общая гибель сорняков составляла 67,3–76,9 %. Наиболее оптимальные показатели гибели сорняков были получены от применения гербицидов на основе пендиметалина – Стомп, 33 % КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га), а также гербицидов Гезагарт, КС и Прометрекс Фло, КС в нормах 2,0 л/га. Результаты влияния применения гербицидов на урожайность рапсостри пятнистой представлены в таблице 1.

В среднем за три года максимальную урожайность в посевах рапсостри (12,7–12,8 ц/га семян) обеспечило применение гербицидов Стомп, 33 % КЭ и Эстамп, КЭ в нормах 3,0 л/га. Сохраненный урожай составил 5,2–5,3 ц/га. Гербициды Гезагарт, КС, Прометрекс Фло, КС в норме 2,0 л/га и Стомп профессионал, МКС в норме 2,2 л/га допустили потерю 3,8–4,4 ц/га урожая семян. Минимальные нормы внесения Гезагарта, КС и Прометрекса Фло, КС были менее эффективны с хозяйственной точки зрения, обеспечив повышение урожайности на 3,2–3,7 ц/га.

Таблица 1 – Влияние гербицидов на урожайность рапсостри пятнистой (мелкоделечный опыт, РУП «Институт защиты растений»)

Вариант	Урожайность семян, ц/га				Сохраненный урожай, ц/га
	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее	
Контроль	6,8	10,6	5,2	7,5	–
Гезагарт, КС (1,5 л/га)	9,9	12,7	9,7	10,7	3,2
Гезагарт, КС (2,0 л/га)	10,9	12,9	10,0	11,3	3,8
Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га)	10,6	13,4	9,5	11,2	3,7
Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га)	11,6	14,2	9,8	11,9	4,4
Стомп, 33 % КЭ (3,0 л/га)	11,9	16,3	10,3	12,8	5,3
Эстамп, КЭ (3,0 л/га)	11,2	16,6	10,2	12,7	5,2
Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га)	10,1	13,9	10,4	11,5	4,0
НСР ₀₅	2,6	1,9	1,6	1,6–2,6	–

Таким образом, применение гербицидов Стомп, 33 % КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га), Гезагарт, КС (1,5–2,0 л/га) и Прометрекс Фло, КС (1,5–2,0 л/га) является высокоэффективным мероприятием контроля сорной растительности в посевах рапсостри пятнистой. Самую высокую биологическую эффективность и максимальную урожайность в посевах рапсостри обеспечило применение гербицидов Стомп, 33 % КЭ и Эстамп, КЭ в нормах 3,0 л/га.

После проведения уборки посевов и доведения семян до кондиционной чистоты и влажности для проведения анализов поделечным были отобраны

пробы плодов. Было проведено сравнительное исследование состава флаволигнанов и их суммы в полученном урожае плодов расторопши пятнистой, выращенной с применением почвенных гербицидов. Сравнительный анализ состава силимаринов, полученных из плодов расторопши пятнистой, собранных с разных делянок, показал, что в результате обработки посевов расторопши почвенными гербицидами наблюдаются изменения как общего содержания флаволигнанов в плодах расторопши, так и содержания отдельных флаволигнанов. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 2.

Показано, что при применении почвенных гербицидов на основе прометрина происходит изменение соотношения флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой. На рисунке 1 представлены соотношения относительного содержания флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой при внесении: Гезагард, КС (1,5 л/га), Гезагард, КС (2,0 л/га), Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га) и Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га).

Таблица 2 – Изменение относительного содержания флаволигнанов и силимарина в исследуемых плодах расторопши пятнистой (в % от контроля) при применении почвенных гербицидов

Название гербицида	Силимарин	Силикристин	Силидианин	Силибинин
Контроль (без обработки)	0,0	0,0	0,0	0,0
Гезагард, КС (1,5 л/га)	28,2±0,7	27,6±0,5	28,7±0,4	27,3±0,6
Гезагард, КС (2,0 л/га)	-1,8±0,08	-10,8±0,21	40,4±0,98	-11,6±0,44
Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га)	15,4±0,6	26,3±1,3	-34,8±1,2	26,9±0,78
Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га)	27,3±1,1	36,0±1,5	-7,1±0,21	34,2±1,6
Стомп, КЭ (3,0 л/га)	6,7±0,2	3,8±0,09	21,1±0,8	1,7±0,07
Эстамп, КЭ (3,0 л/га)	6,0±0,12	4,6±0,14	12,1±0,57	3,6±0,1
Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га)	-0,6±0,01	-5,5±0,23	45,2±2,2	-16,4±0,41
Примечание: отрицательные значения обозначают снижение относительного содержания компонента				

Отношение силибинин/силикристин остается неизменным при использовании исследуемых гербицидов, в то время как соотношение силидианин/изосилибин снижается при использовании гербицидов Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га) и Прометрекс Фло, КС (2,0 л/га). Отношение силибинина к силидианину в исследованных плодах снижается незначительно при применении Гезагард, КС (2,0 л/га), а при использовании

Прометрекс Фло, КС (1,5 л/га) значительно возрастает по сравнению с контрольной выборкой.

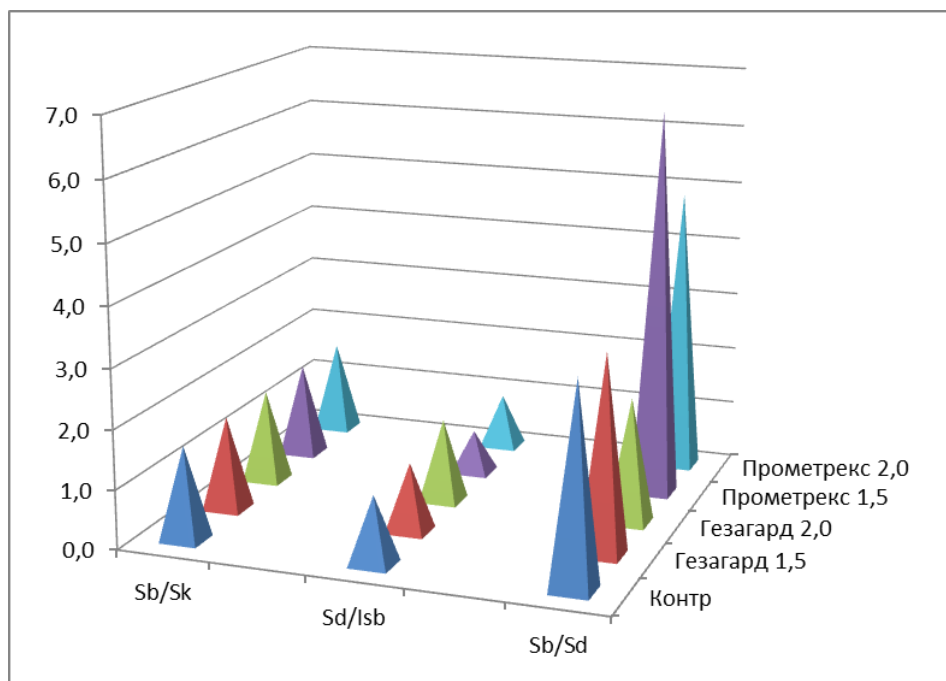


Рисунок 1 – Соотношение относительного содержания флаволигнанов в исследуемых плодах расторопши пятнистой при использовании почвенных гербицидов на основе прометрина

При внесении гербицидов на основе пендиметалина – Стомп, КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га) наблюдаются изменения соотношения флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой. На рисунке 2 представлены соотношения относительного содержания флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой при внесении Стомп, КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га).

Отношение силибинин/силикрестин остается неизменным, в то время как соотношение силидианин/изосилибин повышается при использовании гербицида Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га). Отношение силибинина и силидианина в исследованных плодах снижается при применении этого же гербицида по сравнению с контрольной выборкой. Остальные гербициды не приводят к существенным изменениям в соотношении флаволигнанов.

Показано, что рассчитанные отношения отдельных флаволигнанов могут быть индикаторами изменения соотношения силибинина, силидианина и силикрестина в силимаринах. Причем, отношение силибинина и силикрестина не является достаточно информативным, в то время как отношения силидианина и изосилибинина, силибинина и силидианина следует учитывать при анализе изменений в силимаринах плодов, выращенных в разных условиях. Отношение силибинина и силидианина в

плодах расторопши пятнистой играет важную роль не только при определении хеморасы, но также может предопределять биологическую активность этой фармацевтической субстанции, так как известно, что биологические активности отдельных флаволигнанов различаются.

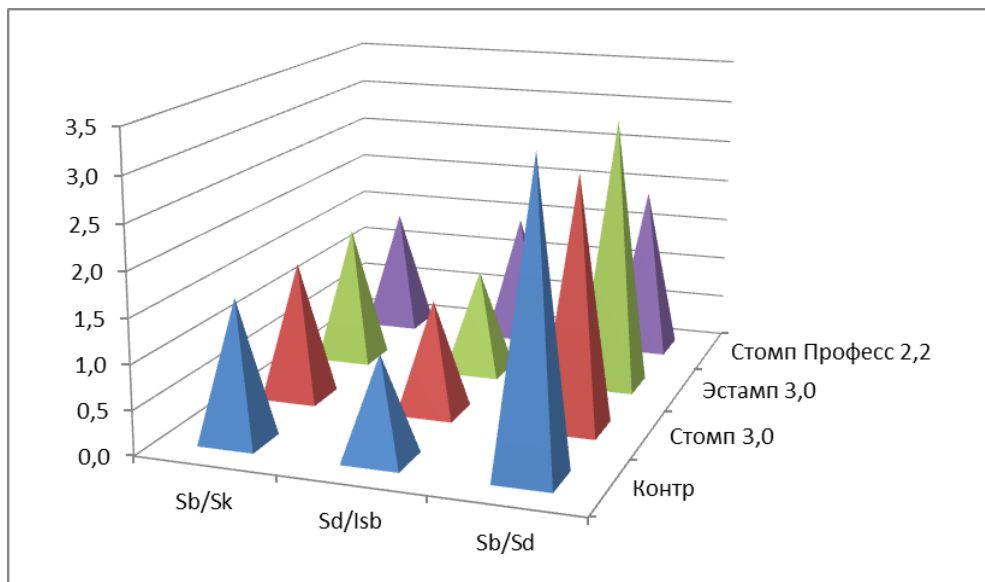


Рисунок 2 – Соотношение относительного содержания флаволигнанов в исследуемых плодах расторопши пятнистой при использовании почвенных гербицидов на основе пендиметалина

Согласно результатам полевых исследований самыми эффективными гербицидами, позволяющими значительно снизить засоренность сорняками посевов расторопши пятнистой, а также сохранить урожай являются: Прометрекс Фло, КС, Эстамп, КЭ и Стомп профессионал, МКС. Прометрекс Фло, КС приводит к увеличению общей суммы флаволигнанов на (15,4–27,3) % за счет увеличения содержания силикристина и силибинина, при условии снижения содержания силидианина. Отношение силибинина и силидианина при использовании этого гербицида значительно изменяется по сравнению с контрольной выборкой, что ставит под сомнение получение стандартизированного фармацевтического сырья. Эстамп, КЭ приводит к увеличению общей суммы флаволигнанов на (6,0±0,12) % за счет увеличения содержания всех компонентов силимарина, при условии значительного повышения содержания силидианина. Отношение силибинина и силидианина при использовании этого гербицида не изменяется по сравнению с контрольной выборкой. Стомп профессионал, МКС не приводит к изменению суммы флаволигнанов на фоне повышения содержания силидианина. Отношение силибинина и силидианина при использовании этого гербицида значительно снижается по сравнению с контролем.

Эстамп, КЭ (3,0 л/га) проявляет высокую эффективность на посевах расторопши пятнистой, позволяет сохранить урожай расторопши пятнистой

и не приводит к изменениям в соотношении суммы флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой, что важно при получении стандартизированного фармацевтического сырья. Принимая во внимание эффективность гербицидов, а также их влияние на содержание флаволигнанов в плодах, гербицид Эстамп, КЭ (3,0 л/га) может быть рекомендован к применению на посевах расторопши пятнистой, с целью получения стандартизированного сырья.

В водно-метанольной среде силибинин, силикристин и силидианин образуют комплексные соединения с ионами меди (II) в соотношении 3:2, а ионами кобальта (II) и свинца (II) – в соотношении 1:1. Комплексообразование сопровождается изменениями в спектрах поглощения исходных флаволигнанов в области полосы поглощения I, где происходит образование нового максимума поглощения. Следует отметить, что отсутствие двойной связи в кольце C у флаволигнанов ведет к образованию комплексов с более высокой стехиометрией.

Среди комплексов флаволигнанов с изученными металлами самыми прочными оказались комплексы со стехиометрией 1:1. Это комплексы флаволигнанов с ионами кобальта (II) и свинца (II).

Снижение прочности образующихся комплексов наблюдалось в последовательности: силикристин → силибинин → таксифолин → силидианин. Среди изученных ионов металлов снижение прочности комплексов с силибинином наблюдалось в следующей последовательности: кобальт (II) → свинец (II) → медь (II) [10].

Полученные результаты можно объяснить тем фактом, что расторопша пятнистая является рудеральным растением и встречается преимущественно вдоль дорог, а известно, что такие растения в процессе эволюции приобрели способность накапливать ионы тяжелых металлов в связанной форме в своих тканях, чтобы снизить их токсическое влияние на растительный организм. Вероятнее всего, эта способность реализуется за счет хелатирования флаволигнанами ионов тяжелых металлов.

Выводы. Проведено изучение биологической и хозяйственной эффективности применения гербицидов почвенного действия (Прометрекс Фло, КС, Гезагард, КС, Стомп, КЭ, Эстамп, КЭ и Стомп профессионал, МКС) в посевах расторопши пятнистой.

Проведенные исследования показали, что применение гербицидов до появления всходов расторопши пятнистой – высокоэффективный прием снижения засоренности посевов. Применение гербицидов Стомп, 33 % КЭ (3,0 л/га), Эстамп, КЭ (3,0 л/га), Стомп профессионал, МКС (2,2 л/га) после посева до всходов расторопши пятнистой снижает численность однолетних злаковых и двудольных сорных растений на 83,6–96,9 %, их массу – на 67,6–97,0 %, позволяет сохранить 4,0–5,3 ц/га семян культуры. Обработка посевов расторопши пятнистой в довсходовый период гербицидами Гезагард, КС и Прометрекс Фло, КС в нормах 1,5 и 2,0 л/га снижает численность однолетних

злаковых и двудольных сорных растений на 55,0–88,5 %, их массу – на 60,6–90,8 %, позволяет сохранить 3,2–4,4 ц/га семян культуры.

Эстамп, КЭ (3,0 л/га) проявляет высокую эффективность на посевах расторопши пятнистой, позволяет сохранить урожай расторопши пятнистой и не приводит к изменениям в соотношении суммы флаволигнанов в плодах расторопши пятнистой, что важно при получении стандартизированного фармацевтического сырья. Принимая во внимание эффективность гербицидов, а также их влияние на содержание флаволигнанов в плодах, гербицид Эстамп, КЭ (3,0 л/га) может быть рекомендован к применению на посевах расторопши пятнистой, с целью получения стандартизированного сырья.

В водно-метанольной среде силибинин, силикрестин и силидианин образуют комплексные соединения с ионами меди (II), кобальта (II) и свинца (II) в разных соотношениях.

Список литературы:

1. Pekal, A. Interaction of quercetin with copper ions: complexation, oxidation and reactivity towards radicals / A. Pekal, M. Biesaga, K. Pyrzynska // *Biometals*. – 2010. – Vol. 24, № 1. – P. 41–49.
2. Бейдеман И.Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ / И.Н. Бейдеман. – Новосибирск : Наука, 1974. – 156 с.
3. Загуменников, В.Б. Оптимизация культивирования лекарственных растений в нечерноземной зоне России / В.Б. Загуменников. – М. : РАСХН ВИЛАР, 2006. – 76 с.
4. Загуменников, В.Б. Особенности культивирования лекарственных растений в Нечерноземной зоне РФ : автореф. дис. ... докт. биол. наук : 06.01.13 / В.Б. Загуменников ; ВИЛАР РАСХН. – М., 2002. – 54 с.
5. Лапочкин, О.В. Получение и изучение комплексных соединений ванадила с аминокислотами: глицин, α -аланин, β -аланин: автореф. дис. ... канд. фарм. наук: 15.00.02 / О.В. Лапочкин; Пятигорская государственная фармацевтическая академия. – Пятигорск, 2008. – 22 с.
6. Методические указания по проведению регистрационных испытаний гербицидов в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / РУП «Институт защиты растений»; сост. : С. В. Сорока, Т.Н. Лапковская. – Несвиж, 2007. – 58 с.
7. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 5 июля 2005 г. № 749 г. Минск «Об утверждении Государственной народно-хозяйственной программы развития сырьевой базы и переработки лекарственных и пряно-ароматических растений на 2005–2010 годы «Фитопрепараты».
8. Проведение полевых опытов с лекарственными культурами / под ред. к.с.х. наук А.И. Брыкина. – Лекарственное растениеводство. – Обзорная информ. – М. : «Минмедпром», 1981. – Вып. 1. – 60 с.

9. Способ получения индивидуальных флаволигнанов: патент Республики Беларусь № 20016 / А.С. Чубарова, В.П. Курченко; заявитель УО «Белорусский государственный университет». – Дата регистрации 28.12.2015.

10. Чубарова, А.С. Характеристика процесса комплексообразования гепатопротекторными флаволигнанами ионов меди (II), цинка (II), магния (II), кобальта (II) и свинца (II) / А.С. Чубарова, М.А. Капустин, В.П. Курченко // Труды Белорусского государственного университета. Серия «Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем». – 2016. – Т. 11, ч. 2. – С. 236–247.

НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ РАСТИТЕЛЬНОГО И БАКТЕРИАЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Чухчин Д.Г., Новожилов Е.В., Болотова К.С., Тышкунова И.В., Малков А.В., Майер Л.В., Гурьянова А.А.

Северный Арктический федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
Архангельск

В статье представлены исследования структуры микрофибрилл целлюлозы. Проведен сравнительный анализ дисперсности и степени кристалличности надмолекулярных структур целлюлозы растительного и бактериального происхождения.

Биологическая конверсия целлюлозной биомассы в топливо, кормовые и пищевые продукты и химические вещества рассматривается в настоящее время как одна из ключевых отраслей биотехнологии. Это связано с необходимостью строить энергетику, химическую и микробиологическую промышленность на основе не ископаемого, обусловленного прогрессирующим дефицитом, а возобновляемого сырья [1]. Ключевым фактором, определяющим возможность переработки целлюлозы, является ее надмолекулярная структура. Процессы синтеза целлюлозы и формирования ее надмолекулярной структуры являются недостаточно изученными.

Синтез целлюлозы проходит внутри клеточной стенки растений, что является большим препятствием на пути изучения данного процесса. Рассмотреть процесс синтеза целлюлозы можно на более простом примере – синтезе целлюлозы, культивируемой бактериями рода *Acetobacter*. Обоснованием для такого выбора служит аналогия модификации кристаллической структуры целлюлозы I для растительной и бактериальной целлюлоз. Целлюлоза растений сосредоточена в микрофибриллах клеточной стенки. Различные слои стенки отличаются ориентацией микрофибрилл и хорошо различимы на микрофотографиях клеточной стенки можжевельника (рисунок 1, а). Несмотря на различную ориентацию, поперечные размеры