

УДК 630*861

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА СВОЙСТВА ВОДНЫХ РАСТВОРОВ КАРБОКСИМЕТИЛИРОВАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

© *Е.В. Калюта^{1*}, В.И. Маркин², М.И. Мальцев¹*

¹*Алтайский государственный аграрный университет, пр. Красноармейский, 98, Барнаул, 656049 (Россия) e-mail: kalyuta75@mail.ru*

²*Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, Барнаул, 656049 (Россия), e-mail: markin@chemwood.asu.ru*

Разработка новых регуляторов роста растений на основе продуктов химической переработки растительного сырья является в настоящее время актуальной задачей для увеличения урожайности при сельскохозяйственном производстве. На основе карбоксиметилированного растительного сырья разработан регулятор роста растений Эко-Стим. Цель настоящего исследования – изучение влияния условий хранения растворов карбоксиметилированного растительного сырья, входящего в состав препарата Эко-Стим, на их реологические и росторегулирующие свойства.

Изучены реологические свойства водных систем карбоксиметилированной древесины сосны, лузги подсолнечника и половы овса при концентрациях 0.2–15%. Установлено, что изменение вязкости от скорости сдвига исследованных систем имеют более сложный характер по сравнению с водными растворами Na-КМЦ. Хранение растворов карбоксиметилированного растительного сырья в течение 20 месяцев, а также процессы заморозки – оттаивания в течение 6–9 недель практически не влияют на вязкостные и росторегулирующие свойства карбоксиметилированного растительного сырья. Изученные системы позволяют повысить всхожесть семян пшеницы «Омская 36» до 80–87% и увеличить длину корня в 4–10 раз и стебля в 1.5–2 раза по сравнению с контролем.

Ключевые слова: карбоксиметилирование, растительное сырье, стимулятор роста, реология, замораживание.

Введение

В настоящее время перспективным является направление химического модифицирования отходов растительного происхождения с целью получения из них высокомолекулярных композиций, обладающих комплексом полезных свойств. Важную часть таких исследований занимает получение карбоксиметилированных производных на основе различного растительного сырья и отходов его переработки (опилки древесины, солома однолетних растений, полва овса, лузга подсолнечника и др.) [1–4]. Для получения таких производных разработаны различные способы проведения процесса [5–7]. На основе этих производных разработан инновационный препарат Эко-Стим, на который получены технические условия (ТУ 928900-005-02067818-2015) и налажен его выпуск небольшими партиями по предварительным заказам. Инновационные биопрепараты Эко-Стим отличаются следующие основные свойства:

- стимулируют рост растений (наблюдается увеличение продуктивности сельскохозяйственных растений на 15–20%);
- растворяются в воде на 75–95%, образуя суспензию;
- при обработке семян образуют прозрачную и прочную пленку при высыхании, что позволяет их использовать в качестве альтернативы традиционным «прилипателям».

Калюта Елена Владимировна – доцент кафедры химии, кандидат химических наук, e-mail: kalyuta75@mail.ru
Маркин Вадим Иванович – доцент кафедры органической химии, кандидат химических наук, e-mail: markin@chemwood.asu.ru
Мальцев Михаил Ильич – заведующий кафедрой общего земледелия и растениеводства, кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: uoshs@mail.ru

Исследовано влияние препаратов Эко-Стим на рост и развитие зерновых, овощных и корнеплодных растений, как при промышленном производстве, так и при возделывании растений на малых площадях [8–10]. Установлено, что все изученные препараты обладают росторегулирующей активностью, и их можно применять в каче-

* Автор, с которым следует вести переписку.

стве регуляторов роста различных сельскохозяйственных культур при внесении, как в сухом виде, так и при обработке семян растворами или при поливе растений на различных стадиях вегетации. Наибольший ростостимулирующий эффект наблюдается при использовании водных растворов [10].

Системы, которые образует препарат Эко-Стим при растворении его в воде, представляют собой неустойчивые суспензии. Для промышленного практического применения данных препаратов необходимо установить сроки хранения, влияние отрицательных температур на устойчивость растворов. Одним из способов характеристики устойчивости во времени растворов биополимеров является изучение их реологических свойств. Препараты Эко-Стим являются композицией биополимеров, в состав которой входят карбоксиметилированные целлюлоза, лигнин и гемицеллюлозы. Основной вклад в увеличение вязкости растворов препаратов Эко-Стим придает, являющаяся одним из основных компонентов системы, – карбоксиметилированная целлюлоза (Na-КМЦ). Реологические свойства водных и щелочных растворов Na-КМЦ достаточно хорошо исследованы [11–15]. По литературным данным водные растворы Na-КМЦ являются неньютоновскими жидкостями, то есть их вязкость зависит от скорости вращения ротора. Кроме того, водные растворы Na-КМЦ имеют характер аномалии вязкого течения, свойственные так называемым псевдопластичным системам (вязкость жидкости уменьшается при увеличении скорости сдвига). Обычно такие системы сильно неоднородны и состоят из крупных молекул, образующих сложные пространственные структуры [13]. Псевдопластичное поведение потока напрямую зависит от распрямления цепочки и ориентации макромолекул Na-КМЦ в направлении движения потока. Na-КМЦ с более длинными молекулами (с высоким молекулярным весом), больше «разжижаются при сдвиге», чем Na-КМЦ с короткими цепочками молекул [14, 15].

Изменения вязкости растворов полимеров являются полностью обратимыми, и исходная вязкость восстанавливается после прекращения механического воздействия. Изменения вязкости обратимы, но требуют определенного времени. Начальная вязкость восстанавливается при условии, что раствор находится в состоянии покоя некоторое время после прекращения механического воздействия. Поэтому один и тот же раствор можно исследовать несколько раз через определенные промежутки времени.

Также установлено, что растворы Na-КМЦ, полученные методом многократного замораживания и оттаивания в воде и водных растворах щелочей, устойчивы при хранении при комнатных температурах [16].

Реологические свойства карбоксиметилированного лигнина и гемицеллюлоз изучены пока недостаточно. Так, в работе [17] исследованы реологические свойства растворов карбоксиметилгемицеллюлоз. Показано, что они проявляют свойства разжижения в изученном диапазоне скоростей сдвига и имеют более низкую вязкость по сравнению с нативными гемицеллюлозами. Авторы объясняют этот факт более низкой молекулярной массой и влиянием карбоксиметильных групп в уменьшении переплетения макромолекулярных цепей гемицеллюлоз.

Авторы работы [18] отмечают, что карбоксиметилированный лигнин обладает хорошими характеристиками в качестве дефлокулянта, поскольку его добавка в растворы приводит к получению дисперсий с низкой вязкостью.

Таким образом, при изучении растворов/суспензий карбоксиметилированного растительного сырья мы имеем дело со сложной полимерной композицией, включающей разные по свойствам и структуре полимерные компоненты, одни из которых с одной стороны обеспечивают повышение вязкости водных растворов, а другие снижают ее.

Цель нашего исследования – изучение влияния условий хранения растворов карбоксиметилированного растительного сырья на их реологические и росторегулирующие свойства.

Экспериментальная часть

Карбоксиметилирование растительного сырья. В качестве исходного растительного сырья использовали древесину сосны (*Pinussilvestris*) (препарат КМД), а также отходы растениеводства: полóву (мякину) овса (*Avenaescarinis L.*) (препарат КМО) и лузгу подсолнечника (*Helianthusannuus L.*) (препарат КМП). Карбоксиметилирование проводили в реакторе РВПЭ-0.2 (ООО «ЮВС», Обнинск) [7].

Исследование химического состава препаратов Эко-Стим. Продукты карбоксиметилирования растительного сырья анализировали на содержание карбоксиметильных групп (КМГ) [19] и карбоксиметилированного лигнина (по Комарову) [20], натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) [21] и определяли их растворимость в воде [19].

Изучение реологических свойств. Исследование реологических свойств суспензий с массовой долей карбоксиметилированного растительного сырья 0.2–1.5% проводили на ротационном вискозиметре НААКЕ VT550 [22]. Измерительная система – ротор – стакан NV. Измерения проводились в режиме CS/CR-стационарная кривая течения при скоростях сдвига в диапазоне 50–4000 и 50–1000 с⁻¹. Проводили измерения и обработку результатов под управлением программного обеспечения RheoWin 4.0. Для оценки устойчивости суспензий изучали зависимость вязкости от скорости сдвига в течение 20 месяцев при 20±5 °С, снимая показания через каждые 6 месяцев. Для оценки влияния отрицательных температур изучаемые растворы выдерживали при температуре -25 °С в течение 1 месяца, затем выдерживали при температуре 20±5 °С в течение 1 недели, регистрировали реологические характеристики, снова выдерживали при температуре -25 °С в течение 1 месяца и после размораживания изучали их реологических свойств при температуре 20±5 °С. В качестве сравнения изучали растворы карбоксиметилцеллюлозы (марка КМЦ-М, изготовлена ОАО «БХК», Бийск) в тех же концентрациях. Растворимость в воде КМЦ-М – 99.0%, содержание КМГ – 30.4%.

Изучение ростостимулирующей активности. В простерилизованные при 135 °С чашки Петри на увлажненную 10 мл дистиллированной водой фильтровальную бумагу раскладывали по 10 зерен яровой мягкой пшеницы сорта «Омская 36». Семена с помощью пинцета помещали в приготовленную 1,5% суспензию КМД или КМП, выдерживали 10–15 сек и переносили в чашку Петри. Наблюдали за прорастанием семян в течение 8 суток, затем из каждого варианта отбирали по 5 среднестатистических растений. Ростостимулирующую активность препаратов оценивали по всхожести семян и длине первого листочка. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Изучали действие свежеприготовленных, выдержанных в течение 20 месяцев при 20±5 °С, а также после двукратного замораживания-оттаивания 1,5% растворов препаратов КМД и КМП. Эксперимент проводили в трехкратной повторности.

Обсуждение результатов

При исследовании вязкостных характеристик растворов карбоксиметилированного растительного сырья нами использован ротационный вискозиметр. В ротационном методе вискозиметрии момент вращения ротора является мерой вязкости. Вращающийся с постоянной скоростью ротор вискозиметра при погружении в жидкость встречает сопротивление равномерному вращательному движению, на валу двигателя возникает тормозящий момент, прямо пропорциональный вязкости среды [22]. Специфика реологического процесса обусловлена химическим строением макромолекул, для которых особое значение имеет расположение функциональных групп, определяющее специфическое поведение полиэлектролитных макромолекул в водных системах, их взаимное отталкивание.

Для проведения исследования нами синтезированы препараты на основе различных видов растительного сырья, состав которых приведен в таблице 1.

Для оценки устойчивости при их хранения готовили 1.5 и 3% водные суспензии карбоксиметилированного растительного сырья (КМД, КМО, КМП) и растворы Na-КМЦ. Исследовали изменение вязкости от скорости сдвига (рис. 1, 2). На рисунках 3, 4 представлено изменение вязкости образцов при хранении в течение 20 месяцев.

Результаты наших исследований показали, что реологическое поведение суспензий карбоксиметилированного растительного сырья имеет различный характер, в зависимости от вида использованного растительного сырья. Если вид реологических кривых КМД в целом совпадает с кривыми изменения вязкости для Na-КМЦ, то кривые КМП и КМО носят несколько другой характер. Видимо, это связано с более сложным составом такой полимерной композиции разных по свойствам биополимеров, как карбоксиметилированное растительное сырье, по сравнению с индивидуальным полимером – Na-КМЦ. Суспензии (1.5%) КМД имеют более широкий интервал изменения вязкости от скорости сдвига, по сравнению с КМП и КМО (рис. 2а). Видимо, это связано с более высоким содержанием в карбоксиметилированной древесине карбоксиметилированной целлюлозы и ее более высокомолекулярным характером, по сравнению с КМП и КМО. Увеличение концентраций суспензий до 3% практически не влияет на изменение вязкости для КМД, КМП и КМО, в то время как вязкость Na-КМЦ возрастает практически в 3 раза (рис. 2б).

Таблица 1. Химический состав препаратов продуктов карбоксиметилирования

Исходное сырье (препарат)	Свойства продуктов карбоксиметилирования, %			
	Карбоксиметилированная целлюлоза	Карбоксиметилированный лигнин	Содержание КМГ	Растворимость в воде
Древесина сосны (КМД)	32.4±0.5	16.5±0.2	29.3±0.3	46.6±0.9
Полова овса (КМО)	28.7±0.4	12.4±0.3	13.3±0.3	75.2±0.8
Подсолнечная лузга(КМП)	21.5±0.7	17.1±0.4	19.0±0.4	59.6±0.9

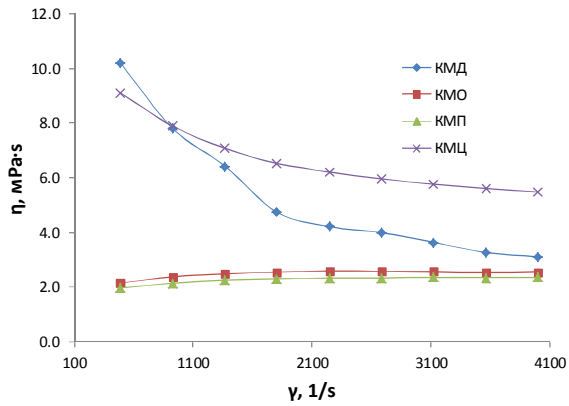


Рис. 1. Изменение вязкости от скорости сдвига 1.5% водных суспензий карбоксиметилированного растительного сырья

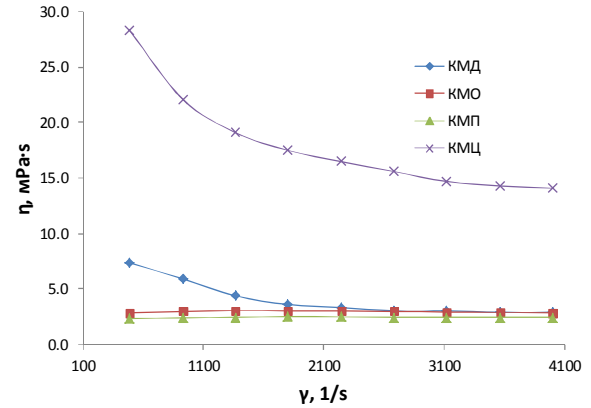
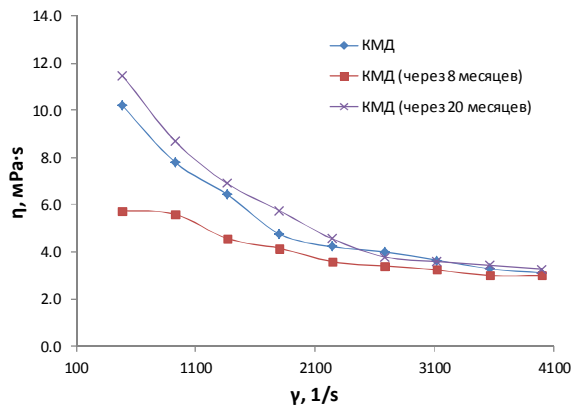
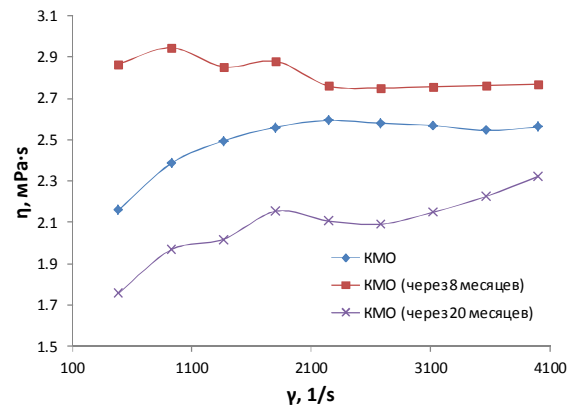


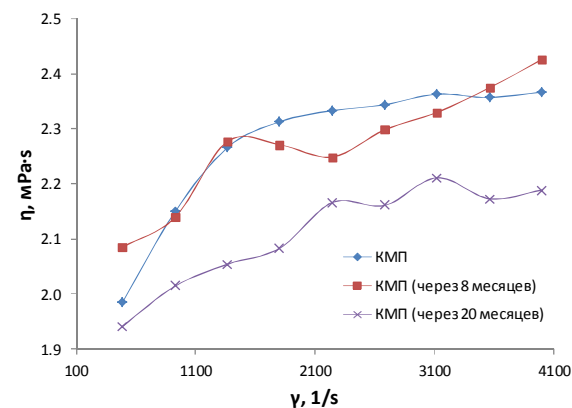
Рис. 2. Изменение вязкости от скорости сдвига 3% водных суспензий карбоксиметилированного растительного сырья



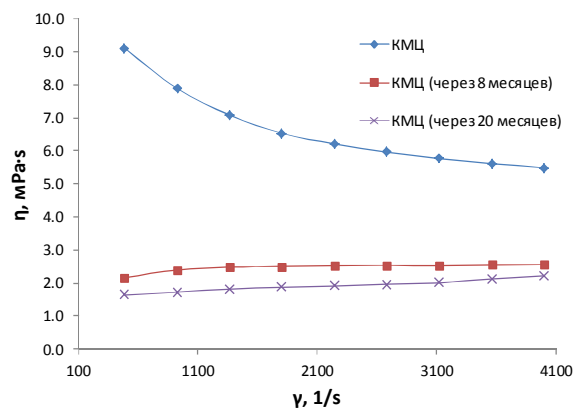
а



б



в



г

Рис. 3. Изменение вязкости от скорости сдвига 1.5% водных суспензий карбоксиметилированного растительного сырья измеренных через разные промежутки времени: а – КМД; б – КМО; в – КМП; г – КМЦ

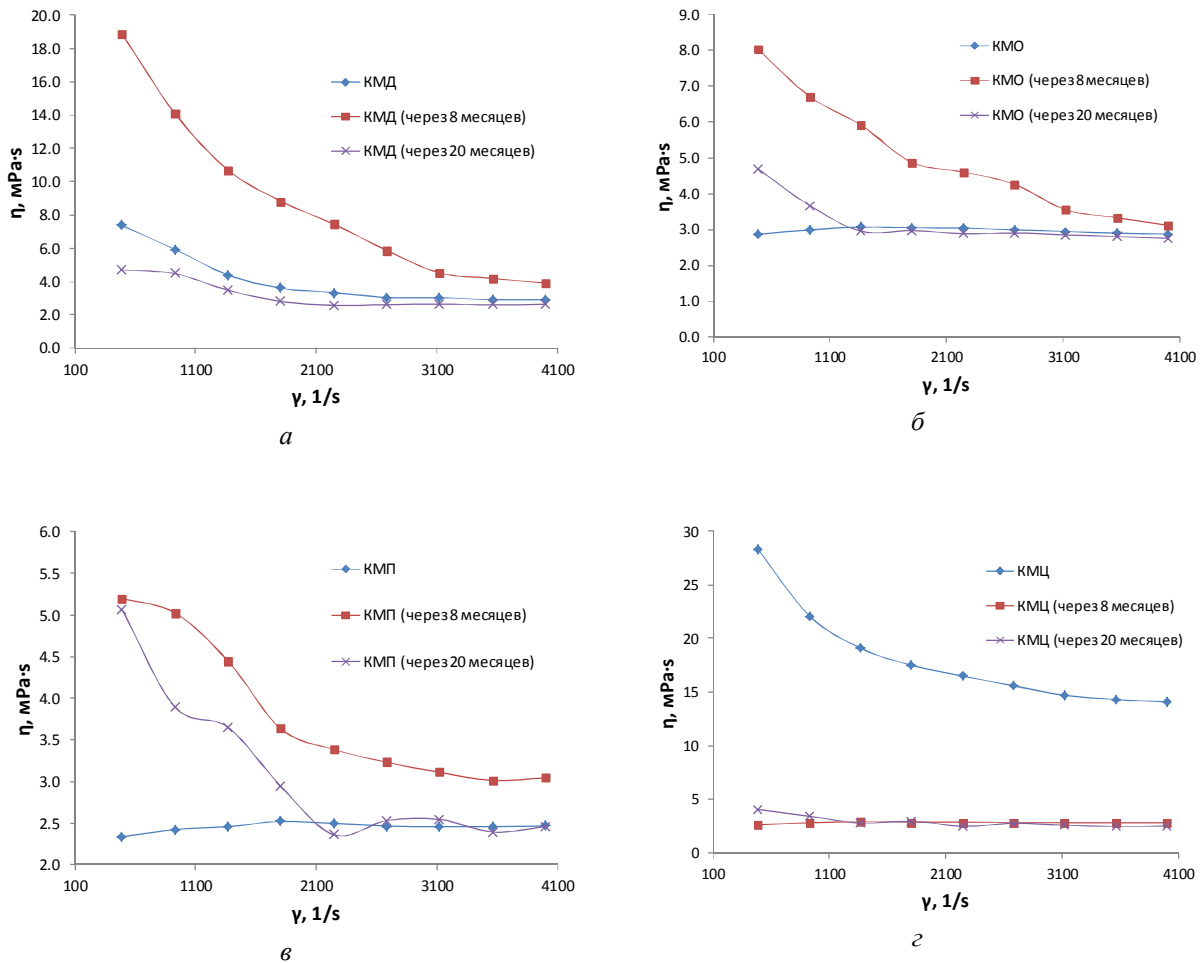


Рис. 4. Изменение вязкости от скорости сдвига 3% водных суспензий карбоксиметилированного растительного сырья измеренных через разные промежутки времени: *а* – КМД; *б* – КМО; *в* – КМП; *г* – КМЦ

Изучение влияния хранения на реологические свойства водных растворов карбоксиметилированных продуктов показало, что для Na-КМЦ, при хранении резко снижается вязкость как 1.5, так и для 3% практически до одинаковых величин (рис. 3г, 4г), в то время как КМД она практически не меняется (для 1.5%, рис. 3а) или сначала возрастает, а затем резко падает (для 3%, рис. 4а). Видимо, это связано с тем, что при хранении растворов Na-КМЦ происходят процессы гидролиза макромолекулярных цепей, что приводит к значительному снижению вязкости. С другой стороны, для КМД, где карбоксиметилированные компоненты являются не просто механической смесью полимеров, а полимерной композицией, в которой они находятся в тесном взаимодействии со взаимопроницающими полимерными цепями, для 1.5% систем не приводит к значительному изменению вязкости, а в 3% суспензиях со временем могут происходить процессы агрегации. При этом гидролитические процессы, очевидно, также протекают. Характер поведения 1.5 и 3% систем для КМП и КМО носит еще более сложный, но аналогичный характер. Существенным отличием от КМД является более узкий интервал вязкостей, которыми обладают эти растворы (3б, в, 4б, в). В целом следует отметить, что через 20 месяцев наблюдений вязкость для карбоксиметилированного растительного сырья существенно не изменилась.

Для изучения влияния отрицательных температур на рабочие растворы карбоксиметилированного растительного сырья при их хранения готовили 0.2, 1.5 и 15% растворы (суспензии) карбоксиметилированной древесины и карбоксиметилированной лозги подсолнечника и изучали для них изменение вязкости от скорости сдвига в течение через 6 недель после замораживания. После размораживания и проведения измерений проводили повторное замораживание и через 9 недель от первоначального измерения, размораживали и вновь изучали изменение вязкости (рис. 5, 6).

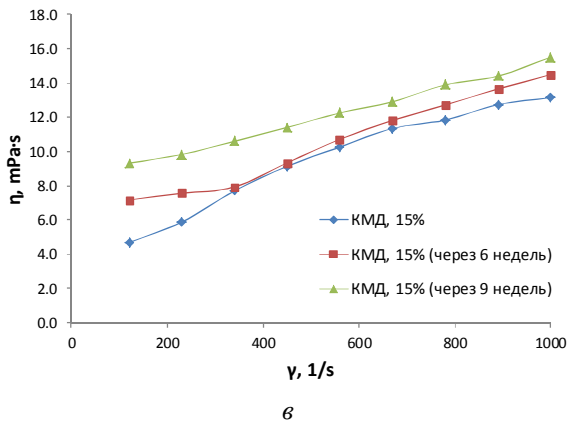
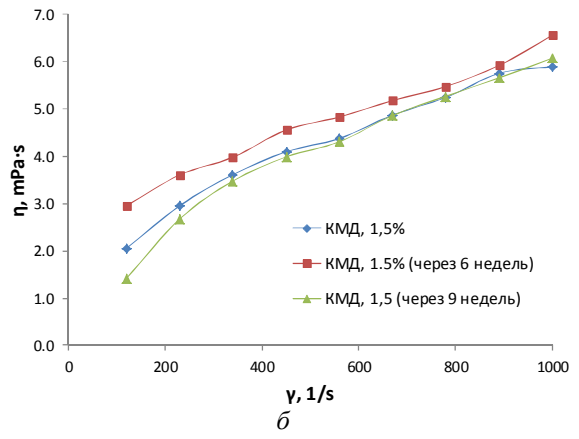
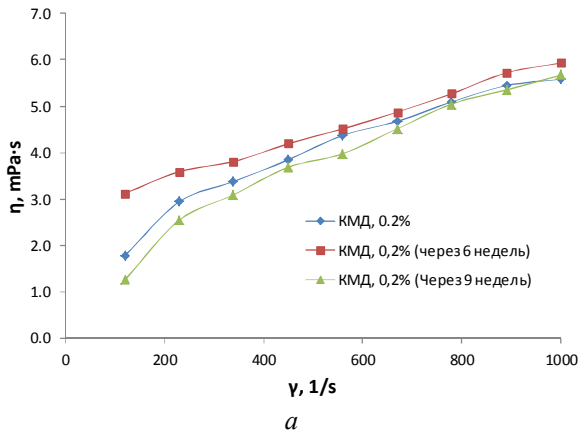


Рис. 5. Изменение вязкости суспензий карбоксиметилированной древесины до и после размораживания через 6 и 9 недель (*a* – 0.2%, *б* – 1.5%, *в* – 15%)

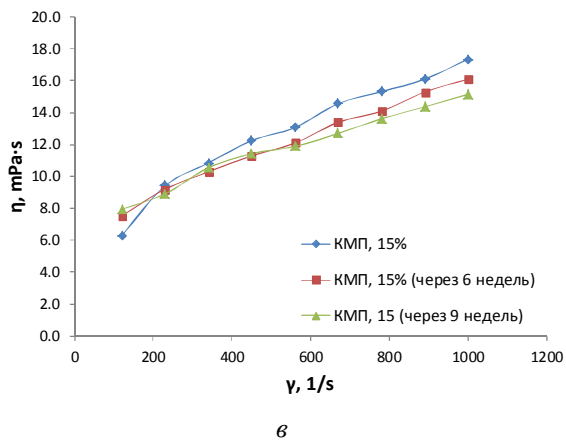
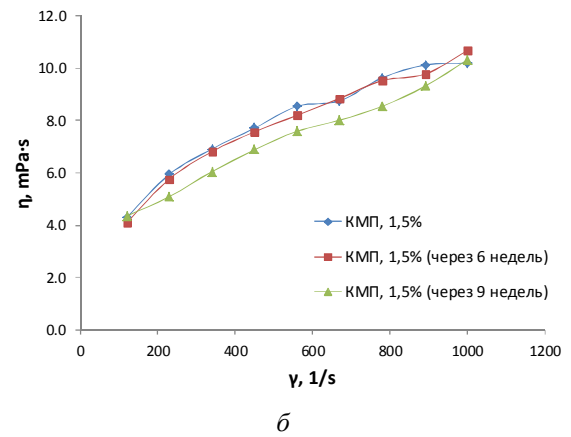
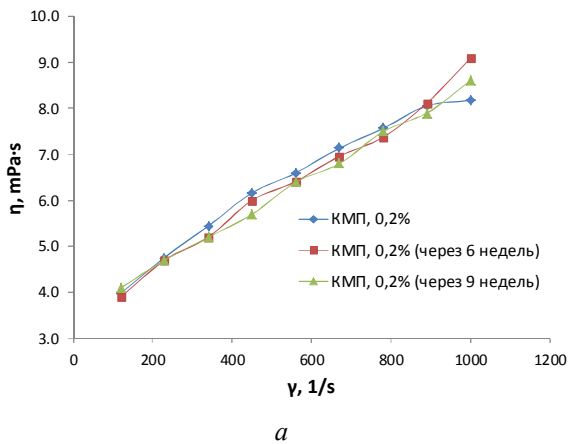


Рис. 6. Изменение вязкости суспензий карбоксиметилированной лужги подсолнечника древесины до и после размораживания через 6 и 9 недель (*a* – 0.2%, *б* – 1.5%, *в* – 15%)

Из полученных данных следует, что заморозка и оттаивание, а также последующая заморозка и оттаивание водных растворов изучаемых препаратов практически не влияет на их реологические характеристики.

Изучено влияние свежеприготовленных, выдержанных в течение 20 месяцев при 20 ± 5 °С, а также после двукратного замораживания – оттаивания растворов препаратов КМП и КМД на прорастание семян мягкой яровой пшеницы «Омская 36» (табл. 2, рис. 7). Установлено, что все исследованные препараты сохраняют ростостимулирующую активность при длительном хранении и при хранении в условиях замораживания – оттаивание.

Все исследованные системы обеспечивают более высокую всхожесть семян (80–87%), по сравнению с контролем (67%), значительно увеличивают длину корня (в 4–10 раз) и стебля (1.5–2 раза). Также следует отметить, что выдерживание семян в данных растворах позволяет формировать более развитую корневую систему.

Таким образом, можно утверждать, что длительное хранение и процессы заморозки и оттаивания не оказывают значительного влияния на эксплуатационные характеристики исследованных препаратов, что позволяет рекомендовать для практического использования выпускать данные препараты не только в виде сухих смесей, но и в виде водных систем.

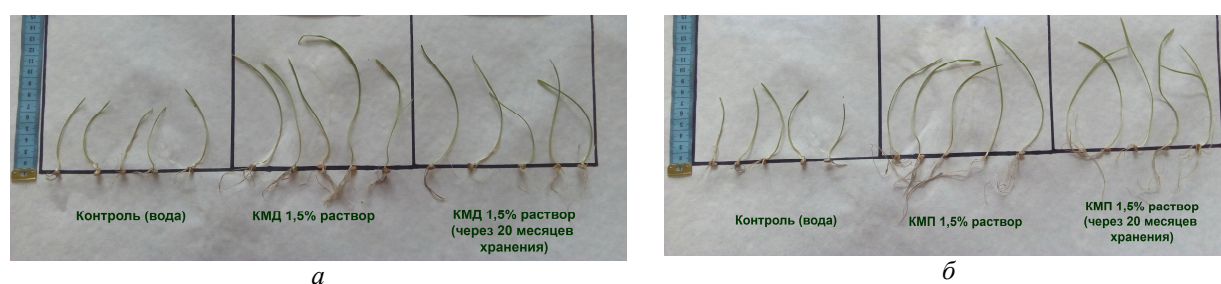


Рис. 7. Изменение ростостимулирующей активности свежеприготовленных и выдержанных в течение 20 месяцев при 20 ± 5 °С 1.5% водных суспензий карбоксиметилированного растительного сырья: *а* – карбоксиметилированная древесина (КМД); *б* – карбоксиметилированная лузга подсолнечника (КМП)

Таблица. 2. Росторегулирующая активность карбоксиметилированной древесины сосны (калиевая соль) по отношению к яровой пшенице «Омская 36»

Образец	Раствор	Всхожесть, %	Длина корня, см	Длина стебля, см
КМД	свежеприготовленный	83	4.2 ± 0.4	13.0 ± 0.7
	через 20 месяцев	80	4.1 ± 0.6	10.8 ± 0.3
	после замораживания – оттаивания	82	3.8 ± 0.8	10.1 ± 0.6
КМП	свежеприготовленный	87	10.3 ± 0.9	11.3 ± 0.6
	через 20 месяцев	84	7.1 ± 0.8	10.6 ± 0.4
	после замораживания – оттаивания	85	7.5 ± 0.5	9.7 ± 0.4
Контроль		67	0.9 ± 0.3	6.4 ± 0.4

Заключение

Исследованные водные системы карбоксиметилированной древесины сосны, лузги подсолнечника и половы овса при концентрациях 1.5, 3% имеют более сложные реологические свойства по сравнению с водными растворами Na-КМЦ. Хранение растворов карбоксиметилированного растительного сырья в течение 20 месяцев не оказывает значительного влияния на вязкостные характеристики данных систем.

Установлено, что процессы заморозки – оттаивания в течение 6–9 недель практически не влияют на вязкостные и росторегулирующие свойства карбоксиметилированного растительного сырья. Изученные системы позволяют повысить всхожесть семян пшеницы «Омская 36» до 80–87% и увеличить длину корня в 4–10 раз и стебля в 1.5–2 раза по сравнению с контролем.

Список литературы

1. Базарнова Н.Г., Катраков И.Б., Маркин В.И. Химическое модифицирование древесины // Российский химический журнал. 2004. Т. XLVIII, №3. С. 108–115.

2. Базарнова Н.Г., Маркин В.И., Катраков И.Б., Колосов П.В., Калюта Е.В., Чепрасова М.Ю. Методы получения лигноуглеводных композиций из химически модифицированного растительного сырья // Российский химический журнал. 2011. Т. LV, №1. С. 4–9.
3. Bazarnova N.G., Markin V.I., Katrakov I.B., Kolosov P.V., Kalyuta E.V., Cheprasova M.Y. Methods of obtaining lignin-carbohydrate compounds from chemically modified plant raw materials // Russian Journal of General Chemistry. 2012. vol. 82, N5. Pp. 947–954. DOI: 10.1134/S1070363212050271.
4. Маркин В.И. Карбоксиметилирование растительного сырья. Теория и практика: монография. Барнаул, 2010. 167 с.
5. Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Галочкин А.И. Изучение влияния предобработки на карбоксиметилирование древесины березы в среде изопропилового спирта // Пластические массы. 1998. №7. С. 31–34.
6. Базарнова Н.Г., Маркин В.И., Галочкин А.И., Токарева И.В. Алкилирование лигноуглеводных материалов с использованием механохимического метода // Химия в интересах устойчивого развития. 1998. №6. С. 223–227.
7. Чепрасова М.Ю., Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Коталевский И.В. Карбоксиметилирование древесины под воздействием микроволнового излучения в среде различных растворителей // Химия растительного сырья. 2011. №1. С. 77–80.
8. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Исследование влияния карбоксиметилированного растительного сырья на активность прорастания яровой мягкой пшеницы // Химия растительного сырья. 2013. №3. С. 249–253. DOI: 10.14258/jcprm.1303249.
9. Базарнова Н.Г., Катраков И.Б., Маркин В.И., Верещагина Т.В., Жилина И.Н., Уткова Е.А., Борисова Г.И., Семенов А.А. Росторегулирующие полимерные композиции на основе химически модифицированного растительного сырья для выращивания овощных культур, производимых тепличными технологиями // Вестник алтайской науки. 2013. №1. С. 39–42.
10. Калюта Е.В., Мальцев М.И., Маркин В.И., Катраков И.Б., Базарнова Н.Г. Применение инновационных препаратов Эко-Стим в качестве регуляторов роста сельскохозяйственных культур // Химия растительного сырья. 2016. № 2. С. 145–152. DOI: 10.14258/jcprm.2016021296.
11. Debutts E.H., Hudy J.A., Elliott J.H. Rheology of Sodium Carboxymethylcellulose Solutions // Industrial and Engineering Chemistry. 1957. Vol. 49, N1. Pp. 94–98. DOI: 10.1021/ie50565a034.
12. Naik S.C., Lee J.C., Richardson J.F. The rheology and aging characteristics of sodium carboxymethylcellulose solutions // The Canadian Journal of Chemical Engineering. 1977. Vol. 55, N1. Pp. 90–92. DOI: 10.1002/cjce.5450550117.
13. Elliot J.H., Ganz A.J. Some rheological properties of sodium carboxymethylcellulose solutions and gels // Rheologica Acta. 1974. Vol. 13, N4-5. Pp. 670–674. DOI: 10.1007/BF01527058.
14. Kulicke W.M., Kull A.H., Kull W., Thielking H., Engelhardt J., Pannek J.B. Characterization of aqueous carboxymethylcellulose solutions in terms of their molecular structure and its influence on rheological behaviour // Polymer. 1996. Vol. 37, N13. Pp. 2723–2731. DOI: 10.1016/0032-3861(96)87634-8.
15. Kulicke W.M., Reinhardt U., Fuller G.G., Arendt O. Characterization of the flow properties of sodium carboxymethylcellulose via mechanical and optical techniques // RheologicaActa. 1999. Vol. 38, N1. Pp. 26–33. DOI: 10.1007/s003970050153.
16. Ёулдошов Ш.А., Шукуров А.И., Сарымсаков А.А., Рашидова С.Ш. Получение растворов карбоксиметилцеллюлозы методом замораживания-оттаивания // Universum: Химия и биология. 2016. № 5 (23). URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3154>.
17. Peng X.W., Ren J.L., Zhong L.X., Cao X.F., Sun R.C. Microwave-induced synthesis of carboxymethyl hemicelluloses and their rheological properties // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011. Vol. 59, N2. Pp. 570-576. DOI: 10.1021/jf1036239.
18. Cerrutti B.M., de Souza C.S., Castellán A., Ruggiero R., Frollini E. Carboxymethyl lignin as stabilizing agent in aqueous ceramic suspensions // Industrial Crops and Products. 2012. Vol. 36, N1. Pp. 108-115. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.08.015.
19. Колосов П.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Высокомолекулярные продукты карбоксиметилирования растительного сырья с сорбционными свойствами: монография. Барнаул, 2014. 134 с.
20. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 411 с.
21. Калюта Е.В., Базарнова Н.Г., Маркин В.И. Влияние продолжительности обработки надуксусной кислотой карбоксиметилированной древесины на свойства выделяемой карбоксиметилцеллюлозы // Химия растительного сырья. 2006. №2. С. 29–31.
22. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. М., 2003. 312 с.

Поступила в редакцию 7 мая 2018 г.

После переработки 18 октября 2018 г.

Принята к публикации 24 октября 2018 г.

Для цитирования: Калюта Е.В., Маркин В.И., Мальцев М.И. Влияние условий хранения на свойства водных растворов карбоксиметилированного растительного сырья // Химия растительного сырья. 2018. №4. С. 309–317. DOI: 10.14258/jcprm.2018044551.

Kalyuta Ye.V.^{1*}, Markin V.I.², Mal'tsev M.I.¹ THE EFFECT OF STORAGE CONDITIONS ON THE PROPERTIES OF AQUEOUS SOLUTIONS OF CARBOXYMETHYLATED PLANT MATERIALS

¹Altai State Agricultural University, pr. Krasnoarmeyskiy, 98, Barnaul, 656049 (Russia), e-mail: kalyuta75@mail.ru

²Altai State University, Lenina ave., 61, Barnaul, 656049 (Russia), e-mail: markin@chemwood.asu.ru

The development of new plant growth regulators based on products of chemical processing of plant raw materials is currently an urgent task for increasing yields in agricultural production. On the basis of carboxymethylated plant materials, "Eco-Stim" plant growth regulator has been developed. The purpose of this work is to study the effect of the storage conditions of solutions of carboxymethylated plant materials in "Eco-Stim" as part of the preparation on their rheological and growth-regulating properties.

The rheological properties of the aqueous systems of carboxymethylated pine, sunflower, and oat chaff have been studied at concentrations of 0.2–15%. It is established that the change in viscosity as a result of the shear rate of the systems studied is more complex in comparison with aqueous solutions of Na-CMC. Storage of solutions of carboxymethylated vegetable raw materials for 20 months, as well as the processes of freezing and thawing for 6–9 weeks have practically no effect on the viscosity and growth regulating properties of carboxymethylated vegetable raw materials. The studied systems make it possible to increase the germination of wheat seeds Omskaya-36 to 80–87% and to increase the length of the root by 4–10 times and the stem by 1.5–2 times compared to the control.

Key words: carboxymethylation, plant raw materials, growth stimulator, rheology, freezing.

References

1. Bazarnova N.G., Katrakov I.B., Markin V.I. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2004, vol. XLVIII, no. 3, pp. 108–115. (in Russ.).
2. Bazarnova N.G., Markin V.I., Katrakov I.B., Kolosov P.V., Kaliuta E.V., Cheprasova M.Iu. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2011, vol. LV, no. 1, pp. 4–9. (in Russ.).
3. Bazarnova N.G., Markin V.I., Katrakov I.B., Kolosov P.V., Kalyuta E.V., Cheprasova M.Y. *Russian Journal of General Chemistry*, 2012, vol. 82, no. 5, pp. 947–954. DOI: 10.1134/S1070363212050271.
4. Markin V.I. *Karboksimetilirovaniye rastitel'nogo syr'ya. Teoriya i praktika: monografiya*. [Carboxymethylation of plant materials. Theory and practice: monograph]. Barnaul, 2010, 167 p. (in Russ.).
5. Markin V.I., Bazarnova N.G., Galochkin A.I. *Plasticheskiye massy*, 1998, no. 7, pp. 31–34. (in Russ.).
6. Bazarnova N.G., Markin V.I., Galochkin A.I., Tokareva I.V. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 1998, no. 6, pp. 223–227. (in Russ.).
7. Cheprasova M.YU., Markin V.I., Bazarnova N.G., Kotalevskiy I.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 1, pp. 77–80. (in Russ.).
8. Kalyuta Ye.V., Mal'tsev M.I., Markin V.I., Katrakov I.B., Bazarnova N.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 249–253. DOI: 10.14258/jcprm.1303249. (in Russ.).
9. Bazarnova N.G., Katrakov I.B., Markin V.I., Vereshchagina T.V., Zhilina I.N., Utkova Ye.A., Borisova G.I., Semenov A.A. *Vestnik altayskoy nauki*, 2013, no. 1, pp. 39–42. (in Russ.).
10. Kalyuta Ye.V., Mal'tsev M.I., Markin V.I., Katrakov I.B., Bazarnova N.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2016, no. 2, pp. 145–152. DOI: 10.14258/jcprm.2016021296. (in Russ.).
11. Debutts E.H., Hudy J.A., Elliott J.H. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1957, vol. 49, no. 1, pp. 94–98. DOI: 10.1021/ie50565a034.
12. Naik S.C., Lee J.C., Richardson J.F. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1977, vol. 55, no. 1, pp. 90–92. DOI: 10.1002/cjce.5450550117.
13. Elliot J.H., Ganz A.J. *Rheologica Acta*, 1974, vol. 13, no. 4-5, pp. 670–674. DOI: 10.1007/BF01527058.
14. Kulicke W.M., Kull A.H., Kull W., Thielking H., Engelhardt J., Pannek J.B. *Polymer*, 1996, vol. 37, no. 13, pp. 2723–2731. DOI: 10.1016/0032-3861(96)87634-8.
15. Kulicke W.M., Reinhardt U., Fuller G.G., Arendt O. *Rheologica Acta*, 1999, vol. 38, no. 1, pp. 26–33. DOI: 10.1007/s003970050153.
16. Yuldoshov S.H.A., Shukurov A.I., Sarymsakov A.A., Rashidova S.S.H. *Universum: Khimiya i biologiya*, 2016, no. 5(23), URL: <http://7universum.com/ru/nature/archive/item/3154>.
17. Peng X.W., Ren J.L., Zhong L.X., Cao X.F., Sun R.C. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, vol. 59, no. 2, pp. 570–576. DOI: 10.1021/jf1036239.
18. Cerrutti B.M., de Souza C.S., Castellan A., Ruggiero R., Frollini E. *Industrial Crops and Products*, 2012, vol. 36, no. 1, pp. 108–115. DOI: 10.1016/j.indcrop.2011.08.015.
19. Kolosov P.V., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Vysokomolekulyarnyye produkty karboksimetilirovaniya rastitel'nogo syr'ya s sorbtsionnymi svoystvami: monografiya*. [High-molecular products of carboxymethylation of vegetable raw materials with sorption properties: monograph]. Barnaul, 2014, 134 p. (in Russ.).
20. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 411 p. (in Russ.).
21. Kalyuta Ye.V., Bazarnova N.G., Markin V.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2006, no. 2, pp. 29–31. (in Russ.).
22. Shramm G. *Osnovy prakticheskoy reologii i reometrii*. [Fundamentals of practical rheology and rheometry]. Moscow, 2003, 312 p. (in Russ.).

Received March 20, 2018

Revised October 18, 2018

Accepted October 24, 2018

For citing: Kalyuta Ye.V., Markin V.I., Mal'tsev M.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 4, pp. 309–317. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2018044551.

* Corresponding author.

