



УДК 593/595-113.32 : 577.152.321

## ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

## V. ЦЕЛЛЮЛАЗНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ ЯПОНСКОГО МОРЯ

**Блесов А. А.***Институт биохимии им. А. Н. Баха Академии наук СССР, Москва***Рабинович М. Л., Чурилова И. В., Мартьянов В. А.,  
Гусаков А. В.***Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
химический факультет***Елякова Л. А.***Тихоокеанский институт биоорганической химии ДВНЦ  
Академии наук СССР, Владивосток*

Исследованы состав и свойства целлюлазных комплексов в органах пищеварения 42 морских организмов различных видов, обитающих в Японском море. Целлюлолитические ферменты обнаружены у представителей типов кишечнорастных, кольчатых червей, членистоногих, моллюсков, иглокожих. Наиболее высокое содержание целлюлаз отмечено у ракообразных, брюхоногих и двустворчатых моллюсков, а также у гигантского осьминога. У ряда двустворчатых моллюсков обнаружены существенные различия между составом целлюлазных комплексов в кристаллическом стебельке и гепатопанкреасе. На примере целлюлазного комплекса брюхоногого моллюска *Littorina squalida* исследована способность целлюлолитических ферментов морских организмов гидролизовать аморфную и кристаллическую формы нерастворимой целлюлозы. Установлено, что этот комплекс достаточно эффективен по отношению к аморфизованной целлюлозе, однако его способность расщеплять кристаллическую целлюлозу, так же как и способность эндоглюканазы к адсорбции на целлюлозе, существенно ниже, чем у целлюлазного комплекса грибоного происхождения.

Ферменты, расщепляющие целлюлозу или ее растворимые производные (СМ-целлюлозу, целлюлодекстрины), в настоящее время обнаружены во многих микроорганизмах (бактериях [1, 2], микроскопических грибах [3–5], амебах [6]). Целлюлазы присутствуют также в высших грибах [7] и растениях [8, 9]. Среди представителей животного мира целлюлазы имеются в некоторых ракообразных [10], наземных (*Helix*) и морских (*Littorina*) брюхоногих моллюсках [10, 11], а также во многих двустворчатых моллюсках [10, 12, 13].

Наиболее изучены целлюлазные комплексы грибоного и бактериального происхождения. По современным представлениям, эти комплексы могут содержать ферменты четырех видов: эндоглюканазы (КФ 3.2.1.4), экзоцеллобиогидролазы (КФ 3.2.1.91), экзоглюкогидролазы (КФ 3.2.1.74) и целлобиазы (КФ 3.2.1.21) [14]. У микроорганизмов эти ферменты, как правило, являются внеклеточными (за исключением целлобиазы, которая может быть и внутриклеточной [15, 16]) и функционируют в виде полиферментного комплекса, что значительно затрудняет выделение и характеристику индивидуальных компонентов, в особенности экзоглюканаз. Поэтому особый интерес вызывает изучение целлюлолитических ферментов двустворчатых моллюсков, имеющих высокоорганизованную пищеварительную систему с рядом легко изолируемых органов, несущих вполне определенную функцию (кристаллический стебелек, гепатопанкреас и т. п.).

По аналогии с ферментами, расщепляющими крахмал у млекопитающих, где эндоглюканаза ( $\alpha$ -амилаза) вырабатывается в слюнных желе-

Характеристика целлюлазных комплексов морских организмов \*

Номер	Тип, класс, вид, орган	Активность, ед. акт./орган		
		эндоглио- канальная	целлюлаз- ная	экзоглио- козидазная
	<b>Кишечнополостные</b>			
1	Коралловые полипы <i>Anthopleura sp.</i>	0,15±0,02	<0,01	<0,01
2	<i>Anthopleura orientalis</i>	0,02±0,002	Не опр.	Не опр.
	<b>Черви</b>			
	<b>Многощетинковые черви</b>			
3	<i>Chaetopterus variopedatus</i>			
	передний отдел	0	0	Не опр.
	задний отдел	0	0	<0,01
	пищев. тракт	0,07±0,01	0,14±0,02	<0,01
	<b>Членистоногие</b>			
	<b>Ракообразные</b>			
4	<i>Pandalus latirostris</i>	2±0,2	<0,01	0,03
	система пищев.			
5	<i>Haralogaster dentata</i>	8,3±1	<0,01	<0,01
	печень			
6	<i>Cancer pygmaeus</i>	0,12±0,01	0,04±0,01	<0,01
	печень			
	<b>Моллюски</b>			
	<b>Брюхоногие</b>			
7	<i>Tegula rustica</i>	0,38	Не опр.	—
8	<i>Littorina squalida</i>	1,2±0,1	0,2±0,1	0,1±0,01
9	<i>L. kurila</i>	0,45±0,05	0,11±0,01	0,1±0,01
10	<i>L. brevicula</i>	1,3±0,1	0,16±0,01	0,25±0,01
11	<i>L. mandshurica</i>	1,3±0,1	0,15±0,01	0,18±0,01
12	<i>Nucella heuseana</i>	<0,01	—	—
	<b>Двустворчатые</b>			
13	<i>Modiolus difficilis</i>			
	крст. стeb.	0,17±0,01	<0,01	0,04
	печень	1,5±0,1	—	0,17
14	<i>Glycymeris yessoensis</i>			
	печень	0,21	<0,01	2,2
15	<i>Scapharca broughtoni</i>			
	крст. стeb.	0,42	<0,01	0,27
	печень	1,2	0,34	<0,01
16	<i>Chlamys farreri nipponensis</i>			
	крст. стeb.	0,27	0,025	<0,01
	печень	1,2	0,13	—
17	<i>Ratinopecten yessoensis</i>			
	крст. стeb.	0,75	—	0,18
	печень	0,18	1,3	5,1
18	<i>Callista brevisiphonata</i>			
	печень	0,1	<0,01	<0,01
	крст. стeb.	0,13	<0,01	<0,01
19	<i>Mercenaria stimpsoni</i>			
	крст. стeb.	1,5	<0,01	<0,01
	печень	0,24	1	14
20	<i>Peronidia lutea</i>			
	крст. стeb.	0,8	<0,01	<0,01
21	<i>Spisula sachalinensis</i>			
	крст. стeb.	0,43	0,06	0,15
	печень	0,26	0,28	0,04
22	<i>Peronidia venulosa</i>			
	крст. стeb.	0,4	<0,01	—
	печень	0,23	—	—
23	<i>Mactra sulcataria</i>			
	крст. стeb.	0,1	—	—
24	<i>Panopea japonica</i>			
	печень	0,36	—	—
	крст. стeb.	0,08	—	—
	<b>Головоногие</b>			
25	<i>Octopus vulgaris</i>			
	печень (вес 1014 г)	165	11,2	18,7
	<b>Иглокожие</b>			
	<b>Голотурии</b>			
26	<i>Cuscutaria japonica</i>			
	печень	0	—	—

Номер	Тип, класс, вид, орган	Активность, ед. акт./орган		
		эндоглю- каназная	целлюбиаз- ная	экзоглю- козидазная
27	<i>Stichopus japonicus</i> пищев. система Морские ежи	0	0	0
28	<i>Strongylocentrotus nudus</i> внутренности аристотелев фонарь	0,02 0,02	0,08 <0,01	0,48 <0,01
29	<i>Strongylocentrotus intermedius</i> внутренности аристотелев фонарь	0,1 0,1	0,18 <0,01	<0,01 <0,01
30	<i>Strongylocentrotus pulchellus</i> внутренности аристотелев фонарь	0,12 0,08	0,14 <0,01	<0,01 <0,01
31	<i>Scaphechinus mirabilis</i>	<0,01	0,14	<0,01
32	<i>S. griseus</i>	<0,01	<0,01	<0,01
33	<i>Echinarachnius parma</i>	<0,01	<0,01	<0,01
34	<i>E. cordatum</i>	<0,01	<0,01	<0,01
	Морские звезды			
35	<i>Patiria pectinifera</i> печень	0,02	<0,01	<0,01
36	<i>Distolasterias nipon</i> печень	0,05	<0,01	<0,01
37	<i>Aphelasterias japonica</i> печень	0,015	<0,01	<0,01
38	<i>Asterias amurensis</i> печень	0,06	<0,01	<0,01
39	Змеехвостки (офиуры) <i>Amphiodia fissa</i>	<0,01	<0,01	<0,01
	Хордовые			
40	Асцидии <i>Halocynthia aurantium</i> печень	0,05	0,8	1,1
	Рыбы			
41	<i>Cleisthenes herzensteini</i> печень	<0,01	Не опр.	Не опр.
42	<i>Dasyatis akajei</i> печень	<0,01	»	»

\* Номер 1 — актиния или морской анемон; 3 — хетоптер разноногий или морской дракон; 4 — креветка травяной чилим; 5 — краб зубчатый подкаменщик; 16 и 17 — гребешок японский и приморский; 25 — гигантский осьминог, вес печени 1014 г; 26 — морской огурец; 27 — дальневосточный трепанг; 28—30 — шаровидные ежи; 31—33 — дисковидные ежи; 34 — сердцевидный еж; 41 — камбала остроголовая; 42 — скат-хвостокол, вес печени 470 г.

зах и поджелудочной железе и осуществляет предварительное разжижение крахмала, а экзоглюканаза (глюкоамилаза) участвует в пристеночном пищеварении в кишечнике, осуществляя гидролиз мальтодекстринов до усваиваемой глюкозы, можно ожидать, что эндо- и экзоглюканазы целлюлазных комплексов двустворчатых моллюсков также могут быть локализованы в различных органах и выполнять свою функцию последовательно и обособленно. Однако в настоящее время имеются лишь отрывочные сведения о составе целлюлазных комплексов моллюсков и их локализации в отдельных пищеварительных органах [10, 13].

В настоящей работе нами на основе разработанных ранее методов [17] изучен компонентный состав целлюлазных комплексов пищеварительных органов ряда морских организмов.

Представленная в работе таблица дает возможность судить о разнообразии морских организмов, в пищеварительных органах которых обнаруживается целлюлолитическая активность. Разработанные нами методы (см. [17]) позволили охарактеризовать в пищеварительных органах не только эндоглюканазы, но и ферменты, образующие глюкозу при деградации целлюлозных субстратов: целлюбиазы и, возможно, экзоглюкозидазы\*. Присутствия таких ферментов в органах пищеварения, по-види-

\* Мы не исключаем также возможности образования глюкозы под действием некоторых эндоглюканаз на определенных этапах их действия.

тому, и следовало ожидать, так как образуемые эндогликаназой целлюбиоза и высшие олигомеры вряд ли способны метаболизироваться без предварительного превращения в глюкозу. Тем не менее не во всех изученных объектах (см. таблицу) удалось обнаружить ферменты целлюлазного комплекса, образующие глюкозу. Отсюда можно заключить, что функция эндоцеллюлаз в таких организмах сводится только к разрушению целлюлозы клеточной оболочки морских растений. Такой организм, вероятно, усваивает содержимое растительной клетки, тогда как сама целлюлоза клеточной оболочки им, возможно, и не усваивается.

С другой стороны, ряд организмов помимо эндогликаназы содержит также значительные количества целлюбиазы и (или) экзогликозидазы (№ 8—11, 13, 25, 28—30). Можно полагать, что органы пищеварения таких животных приспособлены не только для разрушения целлюлозы клеточной стенки, но и для утилизации ее в виде глюкозы.

Организмов, образующих глюкозу при гидролизе СМ-целлюлозы или целлюбиозы, как видно из таблицы, значительно больше, чем тех, в пищеварительных органах которых удается обнаружить одну эндогликаназу. При этом в одних организмах или органах преобладала целлюбиазная активность (№ 3, 6, 8, 15, 21, 29, 30, 31), а в других — экзогликозидазная (№ 13, 19, 28). Особый интерес представляет распределение эндо- и экзоферментов между различными пищеварительными органами. Для ряда двустворчатых моллюсков (в особенности *Mercenaria stimpsoni*, № 19) характерно сравнительно высокое содержание эндогликаназы в кристаллическом стебельке при отсутствии ферментов, образующих глюкозу. В гомогенатах печени, напротив, преобладает экзогликозидазная активность. У морских ежей в аристотелевом фонаре, который играет роль жевательного органа, присутствовали преимущественно эндогликаназы, тогда как во внутренних органах — целлюбиазы и экзогликозидазы. В таком распределении пищеварительных ферментов по органам можно усмотреть определенную аналогию с амилолитическими ферментами человека и высших животных. Это распределение позволяет последовательно подвергать нативные полисахариды действию эндогликаназ, переводящих их в растворимые олигомеры, и экзогликаназ, превращающих эти олигомеры в усваиваемую глюкозу. При этом наличие эндогликаназ и во внутренних органах может быть связано с их транспортом вместе с остатками пищи.

Представленные здесь данные позволяют сделать вывод, что печень моллюска *M. stimpsoni* может служить источником для выделения экзо-1,4-β-глюкогидролазы (экзогликозидазы), свободной от других целлюлолитических ферментов. Этот вывод представляется весьма важным в связи с тем, что до настоящего времени существует очень мало данных об этом ферменте.

Комментируя данные таблицы, надо отметить также высокое содержание целлюлолитических ферментов в печени гигантского осьминога (№ 25). Хотя удельная активность этих ферментов (в расчете на 1 г) в печени осьминога значительно ниже, чем у некоторых брюхоногих и двустворчатых моллюсков (вес печени превышал 1 кг), тем не менее она весьма высока. Этот результат является несколько неожиданным для такого типичного хищника, как осьминог, и заставляет пересмотреть устоявшиеся представления о его рационе.

Представленные в таблице данные позволяют судить о содержании целлюлолитических ферментов в расчете на одно животное или на его отдельный орган. При таком выражении осьминог содержит наибольшее количество целлюлолитических ферментов. Однако одна из наиболее высоких удельных активностей обнаружена у брюхоногих моллюсков *Littorina* (№ 8, 10, 11). Гомогенат пищеварительного тракта этих небольших моллюсков имеет объем 0,2—0,3 мл при содержании эндогликаназы в нем 1,2—1,3 ед. акт. Таким образом, удельная активность эндогликаназы в пищеварительном тракте этого моллюска (4—6 ед. акт./мл) превышает или сравнима с удельной активностью эндогликаназы в культуральных жидкостях наиболее активных грибов — продуцентов целлюлаз

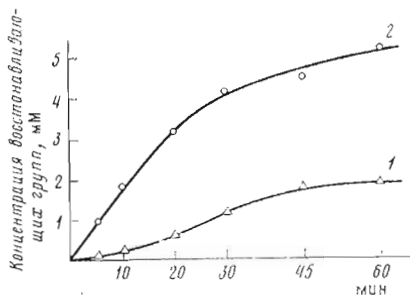


Рис. 1. Кинетика образования глюкозы (1) и общих восстанавливающих сахаров (2) при гидролизе растворимой СМ-целлюлозы (8 г/л) целлюлазным комплексом *L. squalida* (активность эндоглюканазы 0,02 ед. акт./мл), рН 4,5; 40° С

(обычно от 0,5 до 10 ед. акт./мл), способных эффективно деградировать различные формы целлюлозы. В этой связи представляло интерес сравнительное изучение способности целлюлазных комплексов моллюсков и грибов разрушать кристаллическую, аморфную и растворимую целлюлозу.

Для этой цели фракцию целлюлолитических ферментов моллюска *L. squalida*, исключаемую биогелем Р-150 (см. «Экспериментальную часть») и содержащую в 1 мл 0,14 ед. акт. эндоглюканазы, 0,14 ед. акт. целлобиазы и 0,02 ед. акт. экзоглюкозидазы, использовали для гидролиза СМ-целлюлозы, гидроцеллюлозы, полученной при обработке хлопкового волокна 10 п. соляной кислотой, а также аморфизованной целлюлозы, полученной осаждением ее ацетоном из раствора в кадоксене. Для сравнения исследовали гидролиз этих субстратов очищенным целлюлазным препаратом грибного происхождения (продуцент — *Trichoderma longibrachiatum*).

Кинетика гидролиза растворимой СМ-целлюлозы целлюлазным комплексом моллюска (рис. 1) имеет особенность, отличающую действие этих ферментов от целлюлазных комплексов грибного происхождения. Скорость образования восстанавливающих сахаров неглюкозного характера (150 мкМ/мин; определяются по разности кривых образования общих восстанавливающих сахаров и глюкозы) в 7–8 раз превышает скорость статистического действия эндоглюканазы, определенную вискозиметрическим методом (20 мкМ/мин). В то же время для грибных эндоглюканаз эти величины имеют близкие значения [17]. Возможно, это объясняется тем, что эндоглюканаза моллюска имеет существенно более высокую степень упорядоченности действия, чем грибные ферменты [20].

Как следует из рис. 2а, кристаллический субстрат — хлопковая гидроцеллюлоза — гидролизуется целлюлазами моллюска по меньшей мере в 1,5 раза медленнее, чем целлюлазами грибного происхождения при той же активности эндоглюканазы (0,05 ед. акт./мл). При этом в продуктах действия целлюлазного препарата моллюска преобладает глюкоза (благодаря высокой целлобиазной активности), а в продуктах действия грибного препарата — целлобиоза (в этом препарате почти нет целлобиазы). Таким образом, степень солюбилизации кристаллического субстрата в действительности еще выше для действия грибной целлюлазы, чем это видно из рис. 2а. В то же время аморфизованная целлюлоза гидролизуется примерно одинаково, а на начальных стадиях — даже быстрее целлюлазным комплексом моллюска (рис. 2б).

Как мы показали ранее, способность целлюлазных комплексов к гидролизу кристаллической целлюлозы определяется в основном способностью их эндоглюканаз к прочной адсорбции на целлюлозе, тогда как для гидролиза аморфного субстрата прочность адсорбции не столь важна [18, 19]. В связи с этим мы определили адсорбционную способность эндоглюканазы моллюска *L. squalida* по отношению к кристаллической целлюлозе. Измеренная нами величина коэффициента распределения между поверхностью целлюлозы и раствором, которая характеризует прочность адсорбции фермента, составляла 0,01 л/г. Эта величина на порядок меньше наблюдаемой для эндоглюканазы *T. longibrachiatum* и приближается к величинам, характеризующим эндоглюканазы грибных целлюлазных комплексов, не способных к деградации кристаллической

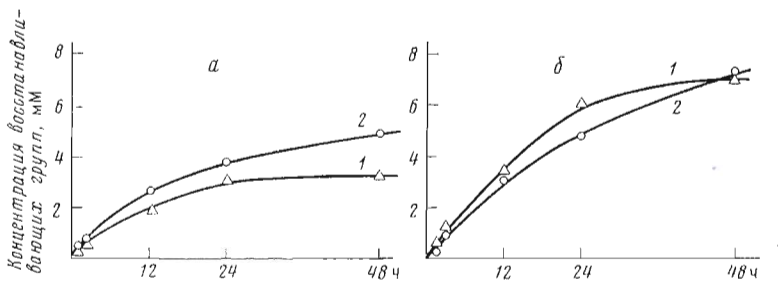


Рис. 2. Кинетика гидролиза хлопковой гидроцеллюлозы (кристаллический субстрат) (а) и регенерированной целлюлозы (аморфизованный субстрат) (б) целлюлазными комплексами *L. squalida* (1) и *T. longibrachiatum* (2). Концентрация субстрата 5 г/л, активность эндоглюканазы 0,05 ед. акт./мл, рН 4,5, 40° С. Контроль по общим восстанавливающим сахарам

целлюлозы [18]. Это дает основания полагать, что обнаруженная нами ранее взаимосвязь между способностью эндоглюканаз адсорбироваться на целлюлозе и ее способностью к гидролизу высокоупорядоченного, кристаллического субстрата имеет фундаментальный характер и выполняется в случае ферментов не только из микроорганизмов, но и из морских организмов.

### Экспериментальная часть

В работе использованы препараты целлюлолитических ферментов, полученные из морских организмов, обитающих в заливе Петра Великого Японского моря. Источниками ферментов являлись органы пищеварительной системы, печень, кристаллические стебельки двустворчатых моллюсков; у мелких представителей класса брюхоногих — весь организм, за исключением мускула. Экстракт целлюлаз готовили растиранием органов 2—10 (в зависимости от величины) особей с промытым песком (5—6 г) в фарфоровой ступке в течение 20 мин. Экстракцию проводили 0,05 М ацетатным буфером (рН 4,5) из расчета 4 мл на орган или на 50-мг навеску, как в случае гигантского осьминога. Полученный гомогенат центрифугировали 20 мин при 8000 об/мин. Супернатант использовали для определения активностей отдельных компонентов комплекса.

При изучении действия целлюлазного комплекса *L. squalida* на различные формы целлюлозы его предварительно очищали на колонке с биогеом Р-150, уравновешенным 0,05 М ацетатным буфером. Основную эндоглюканазную и целлобиазную активность при этом определяли в шике белков, исключаемых биогеом. Для определения адсорбционных характеристик эндоглюканазы целлюлазного комплекса рассчитывали коэффициент распределения фермента  $K_p = \frac{E_a}{[E]}$  при различных концентрациях суспензии целлюлозы от 5 до 200 г/л ( $E_a$  — количество адсорбированного фермента в ед. акт. на 1 г целлюлозы,  $[E]$  — равновесная концентрация фермента в растворе) по методикам [18, 19].

В качестве субстратов использовали микрокристаллическую целлюлозу (Сhemarol, СССР), аморфизованную целлюлозу, осажденную ацетоном из кадоксена, и хлопковую гидроцеллюлозу, полученные как описано в работе [19], натриевую соль СМ-целлюлозы средней вязкости (Sigma, США), а также целлюбиозу (Spofa, СССР). Для регистрации глюкозы использовали глюкозооксидазу отечественного производства с активностью 400 000 ед. акт./г и пероксидазу (Reanal, ВНР) с RZ 0,6. Для определения экзоглюкозидазной активности использовали D-глюконо- $\delta$ -лактон (Serva, ФРГ). Очищенный препарат грибной целлюлозы *T. longibrachiatum* получен нами путем аффинной хроматографии на целлюлозе по методу, разработанному в нашей лаборатории\* (активность эндоглюканазы 2000 ед.

\* Сообщение будет опубликовано в ближайшем номере журнала «Прикл. биохим. и микробиол.».

акт./г). Определение восстанавливающих сахаров проводили по методу Нельсона и Шомоди. Глюкозу, а также активности компонентов целлюлазного комплекса определяли по методикам, описанным в работе [17]. За единицу активности эндоглюканазы принимали такую ее активность, которая статистически расщепляет 1 мкмоль глюкозидных связей СМ-целлюлозы (0,2–0,4% раствор) за 1 мин при pH 4,5 и 40°С (вискозиметрический метод). За единицу активности целлобиазы принимали такую активность, которая гидролизует 1 мкмоль целлобиазы или образует 2 мкмоль глюкозы в 1 мин при инкубации с 2 мМ раствором субстрата в тех же условиях. За единицу активности экзоглюкозидазы принимали такую активность, которая образует 1 мкмоль глюкозы за 1 мин при инкубации с 1% раствором СМ-целлюлозы и 1 г/л глюконолактона (для полного давления целлобиазы) в тех же условиях.

Авторы благодарят сотрудников ТИВОХ ДВНЦ АН СССР Н. И. Широкову, Н. И. Назарову, Т. А. Звягинцеву, А. А. Артюкову, В. А. Даркина за помощь и интерес к работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Storvick W. O., Cole F. E., King K. W.* Biochemistry, 1963, v. 2, № 5, p. 1106–1114.
2. *Chang W. T. H., Thayer D. W.* Can. J. Microbiol., 1977, v. 23, № 6, p. 1283–1292.
3. *Oluiola P. O. J.* Gen. Microbiology, 1977, v. 102, № 1, p. 27–31.
4. *Boretti G., Garofano L., Montecucchi P., Spalla C.* Arch. Microbiol., 1973, v. 92, № 1, p. 189–200.
5. *Berghem L. E. R., Pettersson L. G., Aziö-Fredriksson U.-B.* Eur. J. Biochem., 1976, v. 61, № 3, p. 621–630.
6. *Jones T. H. D., Gupta M.* Biochem. and Biophys. Res. Commun., 1981, v. 102, № 4, p. 1310–1316.
7. *Desrochers M., Jurasek L.* Applied and Environ. Microbiol., 1981, v. 41, № 1, p. 222–229.
8. *Wong Y.-S., Fincher G. B., MacLachlan G. A.* J. Biol. Chem., 1977, v. 252, № 4, p. 1402–1407.
9. *Byrne H., Christon N. V., Verma D. P. S., MacLachlan G. A.* J. Biol. Chem., 1975, v. 250, № 3, p. 1012–1018.
10. *Elyakova L. A.* Compr. Biochem. and Physiol., 1972, v. 43B, № 1, p. 67–70.
11. *Stevens G.* In: Methods in Enzymology. N. Y.: Acad. Press, 1955, v. 1, p. 173–178.
12. *Dumitry I. F., Iordachescu D.* Rev. roum. biochem., 1978, v. 15, № 4, p. 265–271.
13. *Mirza M., Serban M.* Rev. roum. biochem., 1981, v. 18, № 1, p. 33–38.
14. *Клёсов А. А., Рабинович М. Л.* Итоги науки и техники. Сер. «Биол. химия». М.: Изд. ВИНТИ, 1979, т. 12, с. 49–91.
15. *Hwang I. T., Suzuki H.* Agr. Biol. Chem., 1976, v. 40, № 11, p. 2169–2175.
16. *Pye E. K., Høgerdal B., Ferchak I.* 4 Joint US/USSR Enzyme Engineering Conference, New Orleans, Louisiana, Oct.–Nov. 1978, p. 385–402.
17. *Клёсов А. А., Рабинович М. Л., Синицын А. П., Чурилова И. В., Григораш С. Ю.* Биоорг. химия, 1980, т. 6, № 8, с. 1225–1242.
18. *Рабинович М. Л., Клёсов А. А., Черноглазов В. М., Нгуен ван Вьет, Березин И. В.* Докл. АН СССР, 1981, т. 260, № 6, с. 1481–1486.
19. *Рабинович М. Л., Клёсов А. А., Григораш С. Ю., Калнина И. А., Черноглазов В. М.* Биоорг. химия, 1982, т. 8, № 1, с. 84–96.
20. *Nisizawa K.* J. Ferment. Technol., 1973, v. 51, № 1, p. 267–303.

Поступила в редакцию 6.V.1982

После доработки 1.VII.1982

#### ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CELLULOSE. V. CELLULASES IN MARINE ORGANISMS OF THE SEA OF JAPAN

KLYOSOV A. A., RABINOWITCH M. L., CHURILOVA I. V.,

MARTYANOV V. A., GUSAKOV A. V., ELYAKOVA L. A.

*M. V. Lomonosov State University, Moscow; A. N. Bakh Institute of Biochemistry, Academy of Sciences of the USSR, Moscow; Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, Far East Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, Vladivostok*

The composition and properties of cellulase complexes from digestive organs of 42 marine organisms living in the Sea of Japan have been studied. Cellulolytic enzymes were found in various types of Coelenterata, Vermes, Arthropoda, Mollusca, Echinodermata. The highest content of cellulases was found in crustacea, gastropoda, and also in giant octopus. For some bivalvia molluscs sufficient differences were found in the composition of cellulase complexes in the crystalline style and hepatopancreas. With cellulases from gastropoda mollusc *Littorina* sp. as an example, the ability of cellulolytic enzymes to hydrolyze amorphous and crystalline cellulose was studied. This cellulase complex was sufficiently active in relation to amorphous cellulose, but activity towards crystalline cellulose as well as ability of its endoglucanase to be adsorbed on cellulose was remarkably lower than for a fungus cellulase complex.