

УДК 581.19

## ЗАВИСИМОСТЬ АКТИВНОСТИ ФРАКЦИЙ ПЕКТИНОВЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ОТ ИХ СТРУКТУРЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ ЯМР

Р.Ю. Козлова, В.В. Клочков, В.Г. Винтер

### Аннотация

Методом одномерного ядерного магнитного резонанса (ЯМР) выявлена принципиальная структура четырех фракций пектиновых полисахаридов, выделенных из первичной клеточной стенки культуры ткани *раувольфии змеиной*. Установлено, что фракции RS<sub>1</sub> и RS<sub>3</sub> являются рамногалактуронанами 1-го типа, RS<sub>2</sub> является арабиногалактаном 1-го типа, RS<sub>4</sub> – гомогалактуронаном. Изучена активность исследуемых фракций в отношении стимуляции синтеза индольных терпеноидных алкалоидов культурой ткани *раувольфии змеиной*. Показано, что все фракции полисахаридов в разной степени оказывают стимулирующую активность. Наиболее активной является фракция RS<sub>4</sub> с гомогалактуронановой структурой.

### Введение

По современным представлениям кислые пектиновые полисахариды первичной клеточной стенки растений являются потенциальным источником биологически активных олигосахаридов – регуляторов многих физиологически активных процессов растений. Они являются химическими медиаторами, активирующими гены, связанные с защитой растения от патогенных агентов (вирусов, грибов, бактерий), регуляцией роста, морфогенеза и размножения. Именно очень сложное строение пектиновых полисахаридов привело к предположению об их особой функции как хранилищ сигнальных молекул. При этом они более специфичны, чем гормоны, что связано с обилием модификаций полисахаридов. Каждая определенная функция может осуществляться сахарами определенной концентрации, химического состава, конформации сахаров, длины и т. д. [1]. Полученные к настоящему времени данные свидетельствуют о том, что изученные полисахариды высших растений, обладающие физиологической активностью, относятся к производным трех типов структур: рамногалактуронана, арабино-3,6-галактана,  $\alpha$ -1,4-глюкана и нейтральных гетерогликанов [2]. По мнению Элдингтона с соавторами, активностью обладают следующие структуры:  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 6)-D-глюканы, ксилоглюканы, рамногалактуронан-I, хитин, хитозан, гомогалактуронановый тип пектинов, возможно ксиланы и N-связанные гликопротеины,  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-D-глюканы,  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)-D-глюканы. Эти же авторы предполагают, что такие структуры, как  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3), (1 $\rightarrow$ 4)-D-глюканы,  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)-D-глюканы, рамногалактуронан-II, арабиногалактаны и  $\beta$ -маннаны, физиологической активностью у растений не обладают [3]. Хотя на данный

момент о структуре полисахаридов цветковых растений накоплена достаточно обширная информация, тем не менее, в процессе выяснения взаимосвязи между структурой и физиологической активностью необходимо выявить многие особенности тонкой структуры, которые вносят вклад в физиологическую активность биополимеров [2].

Не менее важным для растений классом соединений являются алкалоиды. Место алкалоидов в общем и специализированном обмене веществ пока не определено. Однако о существенной роли алкалоидов в обмене веществ свидетельствует тот факт, что среди алкалоидоносных родов растений отсутствуют мутанты [4]. Кроме того, полная потеря способности синтезировать алкалоиды у растений алкалоидоносных родов делает их нежизнеспособными. Подтверждает значение алкалоидов и тот факт, что они накапливаются, как правило, в тех частях растений, которые на данном этапе его развития важны и необходимы для создания следующего поколения [5].

Целью данной работы было выявление зависимости активности синтеза индольных алкалоидов растительной культурой ткани от структуры пектиновых полисахаридов, выделенных из первичной клеточной стенки растений и внесенных в питательную среду для выращивания культуры перед посадкой. Пектиновые полисахариды предоставлены Институтом физиологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). В ходе работы решались следующие задачи: 1) определение структуры четырех предоставленных пектиновых фракций  $RS_1$ ,  $RS_2$ ,  $RS_3$  и  $RS_4$  методом ядерного магнитного резонанса (ЯМР), 2) анализ взаимосвязи активности этих фракций в отношении регуляции синтеза алкалоидов с их структурными особенностями.

## 1. Материалы и методы

**1.1. Объекты исследования.** Объектом исследования была каллусная культура ткани *раувольфии змеиной* штамм К-27 [6]. Данное растение является эндемиком Индии, Бирмы, Африки и содержит ряд ценных для фармацевтической промышленности индольных алкалоидов: аймалин, резерпин, иохимбин, серпентин, альстонин, ресцинамин и др. [7].

Пектиновые фракции полисахаридов были выделены в Институте физиологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) из первичной клеточной стенки 60-дневной культуры ткани *раувольфии змеиной* и предоставлены Р.Г. Оводовой и Ю.С. Оводовым. Пектиновые фракции были получены, как описано в статье В.Г. Винтера с соавторами [8].

**1.2. Методы исследования.** Культивирование каллуса *раувольфии змеиной* осуществляли на специальной питательной среде, состав которой был разработан в лаборатории культур клеток и тканей растений Ленинградского химико-фармацевтического института [9].

Стерилизацию питательной среды осуществляли методом автоклавирования при избыточном давлении 0.7 атм в течение 40 мин. В качестве посевного материала использовали кусочки 30-суточного каллуса массой 1–2 г. Выращивание каллуса проводили в темноте при температуре 26°C в банках на 250 мл.

Исследуемые фракции полисахаридов вносили в стерильную питательную среду. Растворы полисахаридов стерилизовали методом фильтрации. Для этого использовали ацетат – целлюлозные фильтры Sartorius (г. Гамбург, Германия) с диаметром пор 45 мкм.

Определение количества синтезируемых индолиновых алкалоидов проводили методом Воллосовича [10], суммарного количества индольных алкалоидов по методике, предложенной С.Н. Неуструевой с соавторами [11].

Все  $C^{13}$ -спектры полисахаридных фракций были записаны на многофункциональном импульсном ЯМР-спектрометре с фурье-преобразователем «Unity-300» фирмы Varian Associates Inc.» (США), с рабочей частотой 300 МГц для  $H^1$  и 75 МГц для ядер  $C^{13}$ . Ширина спектра составила 250 м. д. Задержка между сканами – 0.5 с. Точность определения химических сдвигов равна  $\pm 0.01$  м. д. Отсчёт химических сдвигов проводили от сигнала реперного соединения – ТМС (тетраметилсилан). Концентрация исследуемого вещества была 50 мг/мл. Все образцы готовили в стандартных пятимиллиметровых ампулах. Время накопления сигнала при комнатной температуре составило 12–18 ч. Обработку спектров проводили с помощью программы MestRe-C2.3.a.

## 2. Результаты и их обсуждение

**2.1. Определение структуры полисахаридных фракций методом ЯМР-спектроскопии.**  $C^{13}$ -ЯМР спектры исследуемых фракций пектиновых полисахаридов  $RS_1$ ,  $RS_2$ ,  $RS_3$  и  $RS_4$  представлены, соответственно, на рис. 1–4. Химические сдвиги, полученные нами, сравнивали с данными сводной табл. 1, содержащей результаты различных работ по определению структуры пектиновых полисахаридов клеточной стенки высших растений методом ЯМР [12–15]. Также были проанализированы литературные источники, содержащие информацию о строении различных типов пектиновых полисахаридов.

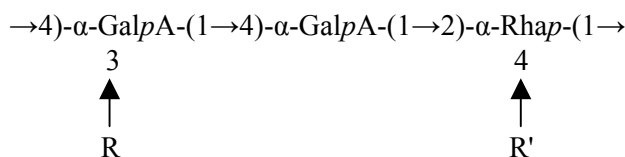
Табл. 1  
Химические сдвиги  $C^{13}$ -атомов пектиновых полисахаридов, м. д.

Моносахара и их последовательности	Атомы углерода					
	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
→2)-α-Rhap-(1→	102.4	77.4	70.6	73.2	69.6	18.0
	99.7	77.5	71.6	73.6	69.5	17.9
→2)-α-Rhap	93.8	80.0	69.8	73.2	69.5	18.0
→2,4)-α-Rhap-(1→	99.7	77.4	70.6	81.3	67.6	18.0
α-Araf-(1→5	108.4	82.5	77.8	85.3	62.6	
α-Araf-(1→3	110.3	82.7	77.8	85.3	62.6	
→5)-α-Araf-(1→	108.8	82.2	78.1		68.2	
	108.9	82.4	78.0	83.8	68.3	
	109.1	82.3	78.3	84.7	68.4	
	110.6	82.8				
→3,5)-α-Araf-(1→	108.7	80.5	83.0	83.0	67.9	
	109.1	80.9	84.3	84.0	68.0	
→2)-α-Araf-(1→	108.4	85.2	77.8	85.2	62.4	
	108.7	85.7	78.2	85.5	62.8	
→2,5)-α-Araf-(1→	108.8	85.2	77.9	83.8	67.2	

$\alpha$ -Araf-(1→	109.2					
	110.2	82.3		82.9	62.5	
	110.4	82.5	78.0	85.0	62.7	
	110.6	82.9	78.2	85.4	62.8	
	111.0			85.5		
$\alpha$ -Araf-(1-5A*	108.9	82.3	78.0	85.4	62.8	
$\alpha$ -Araf-(1-3A*	110.0	82.8	78.0	85.4	62.8	
→4)- $\beta$ -Xylp-2-OMe-(1→	104.2	83.4	76.4	77.3	64.5	
$\beta$ -Xylp-(1→	103.1	74.2	76.6	70.5	66.5	
→4)- $\beta$ -Xylp-(1→	102.7	73.7	74.8	77.3	64.5	64.0
	103.3	74.1	75.0	77.9		
→4)- $\beta$ -Galp-(1→	104.2	71.5	73.6	78.1	75.5	62.1
	105.2	72.4	73.8	78.4	75.7	62.2
	105.5	73.0	74.5	79.1	76.0	62.3
	105.6	73.4	74.8			
	105.8					
→4)- $\alpha$ -GalpA-(1→	99.7	69.1	69.9	78.5		174.8
	100.6	69.4	70.0	80.1	72.5	174.9
	100.4	69.5	70.1	78.5	72.7	175.1
	100.7	69.6	70.3	80.2	72.9	175.5
	100.0	69.8	71.2	79.1	73.1	176.9
	100.1	70.0	70.7	79.6		
$\beta$ -Galp-(1→4)- $\beta$ -Galp	104.8	72.2	74.0	69.9	76.4	62.1
2-OMe- $\beta$ -Galp-(1→	104.0	83.3	74.3	69.9	77.5	62.2
→6)- $\beta$ -Galp-(1→	104.4	73.0	74.0	71.5	75.0	70.5
→4,6)- $\beta$ -Galp-(1→	104.4	73.0	74.0	77.8	74.0	70.5
→4)- $\alpha$ -GalpA-(1→2)- $\alpha$ -Rhap-(1→	98.8	69.1	69.7	77.4	72.3	174.3
$\beta$ -Galp-(1→4)- $\alpha$ -Rhap	105.5	72.5	75.0	69.9	76.4	62.1
→4)- $\beta$ -Galp-(1→4)- $\alpha$ -Rhap	104.4	73.0	74.0	78.6	75.0	61.7
$\beta$ -Galp-(1→	104.8	72.0	73.9	69.8	76.5	62.0
	104.9	72.3	74.2	69.9	76.6	62.1
→3)- $\beta$ -Galp-(1→		72.4	74.3	70.0		62.5
	105.2	71.7	83.2	69.7	75.5	62.1
	105.3	71.8	83.6	69.8	76.1	62.5
$\beta$ -Galp-(1→(3)				69.9	76.6	
	104.6	72.2	74.0	70.0	76.1	62.1
	104.8			70.5	76.5	
<b><math>\alpha</math>-Galp-A-(1-2)-<math>\alpha</math>-Rhap-(1-4)-<math>\beta</math>-GalA(OH)</b>						
$\alpha$ -Galp-A(1→(2)	98.9	70.4	70.6	72.4	72.7	175.5
→2)- $\alpha$ -Rhap-(1→-(4)	99.8	77.7	71.3	73.3	69.9	17.9
→4)- $\beta$ -GalA(OH)	97.3	73.6	73.2	79.5	78.1	62.4
$\beta$ -Galp-(1→3)- $\beta$ -Galp-(1→ $\alpha$ -Araf-1→2						
3)- $\beta$ -Galp-(1→2	104.0	81.4	81.5	69.7	76.1	62.1
$\beta$ -Galp-(1→(3)	104.8	72.2	74.0	70.0	76.1	62.1
$\alpha$ -Araf-(1→(2)	110.4	82.6	78.0	85.3	62.7	



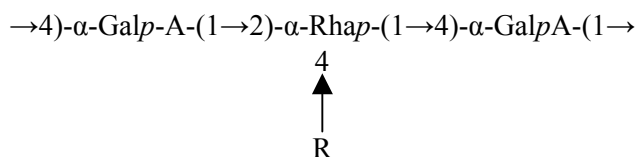
кислоты, связанной 1→4 связью, в которую через каждые 25 остатков кислоты по 1→2 связи включается рамноза [17]:



где R – α-Araf; R' – β-Galp, α-Rhap.

К 3-му атому галактуроновой кислоты и 4-му атому рамнозы присоединяются единичные сахара: арабиноза, галактоза, рамноза. Причём данная фракция характеризуется достаточно высоким содержанием галактозы.

Фракции RS<sub>1</sub> и RS<sub>3</sub> имеют одинаковый тип структуры. Их ЯМР-спектр сложен и до конца его расшифровать нам не удалось (рис. 3 и 4). Однако ясно, что мы имеем дело с рамногалактуронанами 1-го типа, основным компонентом разветвленных областей пектиновых полисахаридов первичных клеточных стенок двудольных и однодольных растений, так как они имеют цепь из димеров из α-галактопиранозилуруновой кислоты и α-рамнопиранозы [18]. Кроме того, к α-рамнопиранозе прикрепляются разветвленные цепи нейтральных пектиновых полисахаридов: арабинана, галактана и арабиногалактана. К таким выводам нас привело наличие углеродных атомов всех описанных выше сахаров в определенной пропорции. В данных фракциях в виде минорных составляющих могут присутствовать глюкоза, фукоза, ксилоза.



где R – арабинаны, галактаны, арабиногалактаны.

Однако фракции RS<sub>1</sub> и RS<sub>3</sub> имеют и различие, которое заключено в количестве арабинозных остатков. Фракция RS<sub>3</sub> содержит большее количество цепей из остатков α-арабинозы.

**2.2. Зависимость активности полисахаридных фракций первичной клеточной стенки растений от их структуры.** Анализ взаимосвязи установленной нами структуры исследуемых фракций RS<sub>1</sub>, RS<sub>2</sub>, RS<sub>3</sub> и RS<sub>4</sub> и их стимулирующей активности в отношении синтеза алкалоидов показал, что все исследуемые структуры в той или иной степени обладают активностью. Гистограммы, отражающие активность полисахаридных фракций RS<sub>1</sub>, RS<sub>2</sub>, RS<sub>3</sub> и RS<sub>4</sub> на протяжении всего периода роста культуры, представлены, соответственно, на рис. 5–8.

Наименее активными оказались фракции RS<sub>1</sub> и RS<sub>2</sub>, соответственно, рамногалактуронан 1-го типа и арабиногалактан 1-го типа. Фракция RS<sub>1</sub> стимулировала накопление как суммарного количества алкалоидов, так и аймалина (центрального алкалоида *раувольфии змеиной*) лишь в концентрации 50 мг/л на 50-е и 90-е сутки роста культуры (рис. 5). Фракция RS<sub>2</sub> проявила себя также на 50-е и 90-е сутки (рис. 6), т. е. в момент начала активного синтеза алкалоидов

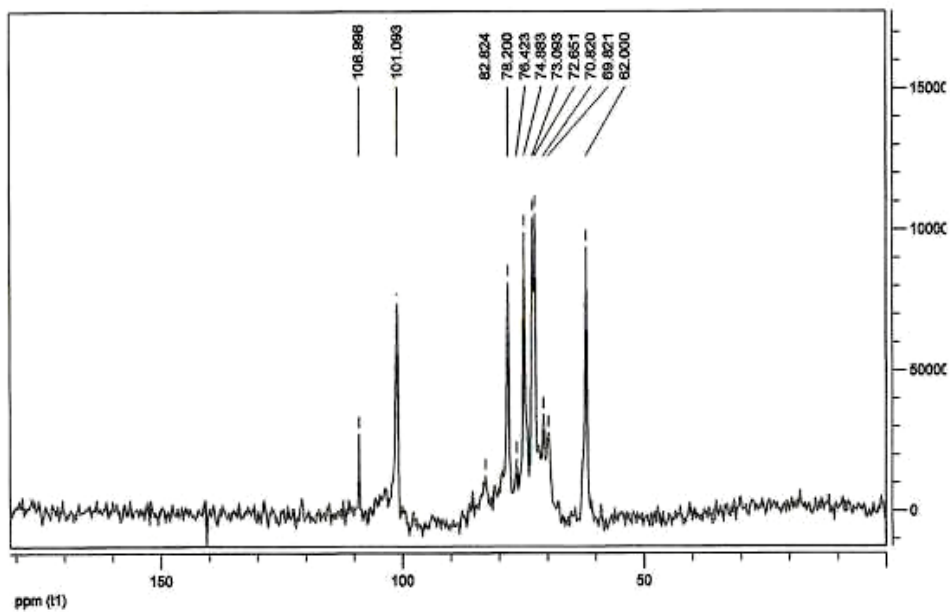


Рис. 1.  $C^{13}$  ЯМР-спектр фракции  $RS_2$

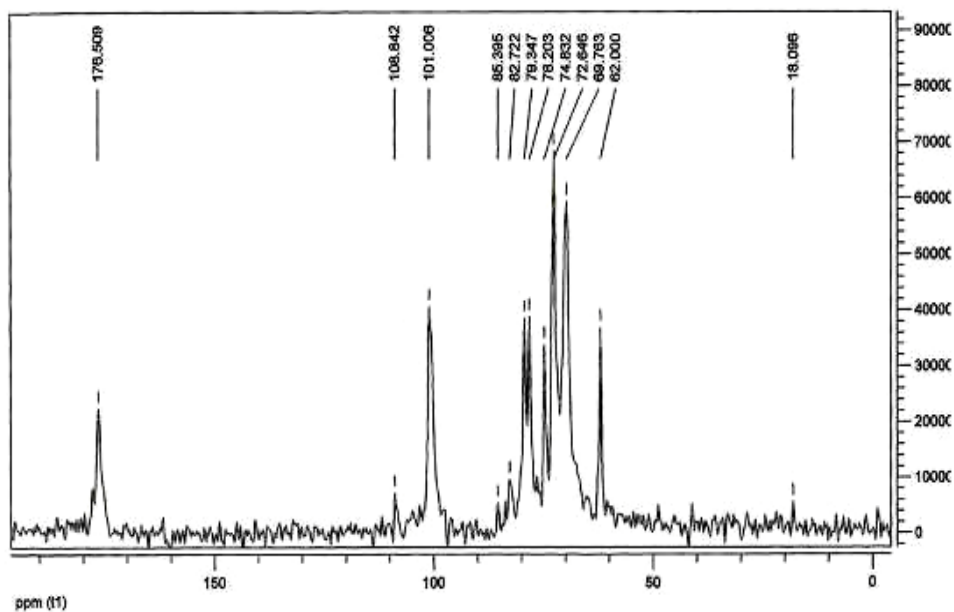
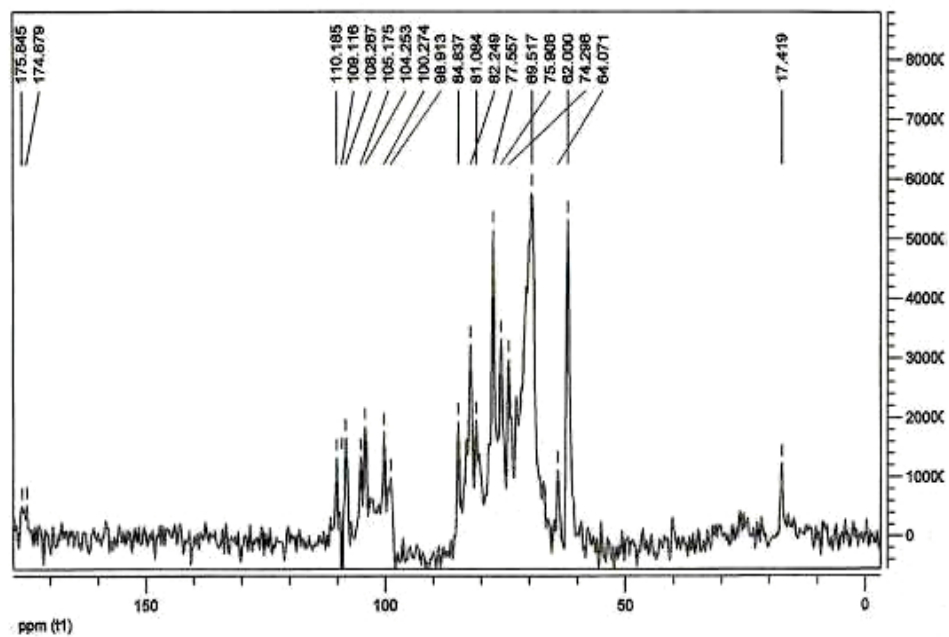
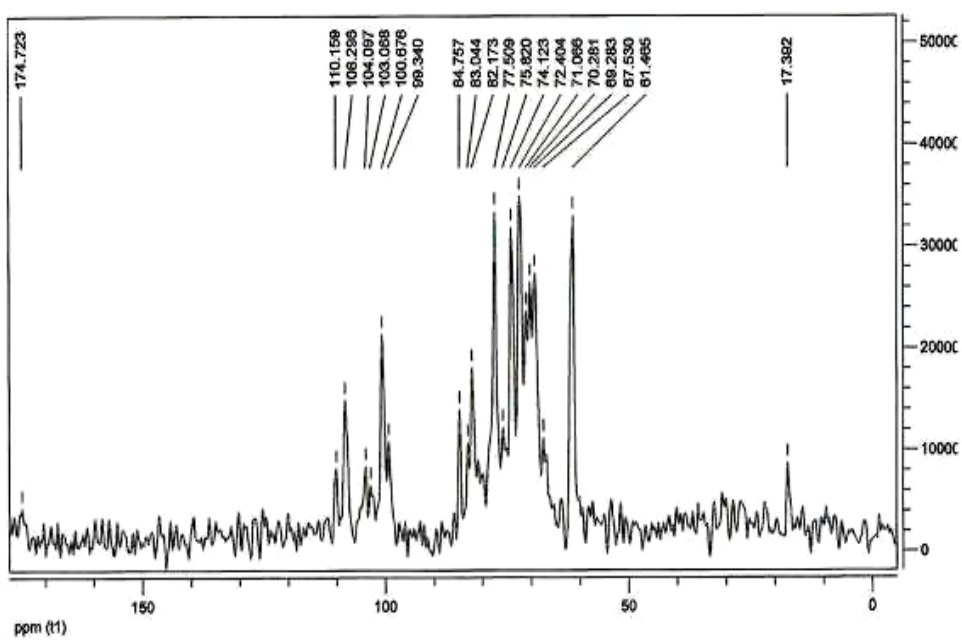


Рис. 2.  $C^{13}$  ЯМР-спектр фракции  $RS_4$

Рис. 3.  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектр фракции  $\text{RS}_1$ Рис. 4.  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектр фракции  $\text{RS}_3$



в культуре и в момент начала их деградации. На 50-е сутки роста культуры повысилось содержание суммарного количества алкалоидов, а 90-е сутки роста в присутствии фракции  $RS_2$  в концентрации 0.01 и 50 г/л питательной среды характеризуются несколько повышенным уровнем содержания аймалина.

Более активной оказалась фракция  $RS_3$  с рамногалактуронановой структурой 1-го типа и высоким содержанием арабинозы (рис. 7). Ее влияние прослеживается на протяжении всего периода роста культуры и имеет сложную дозозависимую зависимость. Так, в отношении синтеза суммарного количества алкалоидов на 30-е сутки стимулирующее влияние выявлено при концентрации 50 г/л питательной среды, на 50-е сутки – при 0.01 и 50 г/л, на 90-е сутки – при всех исследуемых концентрациях. Повышение накопления аймалина на 50-е сутки вызвало присутствие в питательной среде фракции  $RS_3$  в концентрации 50 г/л, на 70-е сутки – 1 и 50 г/л и на 90-е сутки – 0.01 г/л.

И наибольшей активностью отличилась гомогалактуронановая структура (фракция  $RS_4$ ), на протяжении всего периода жизни культуры значительно влияющая на уровень содержания алкалоидов (рис. 8). Это особенно хорошо видно на гистограмме в отношении стимуляции синтеза суммарного количества алкалоидов, особенно на 50-е и 90-е сутки, и аймалина на 70-е сутки. 90-е сутки роста культуры характеризуются процессом активной деградации аймалина. Деградация аймалина в этот период – процесс естественный, и полисахариды фракции  $RS_4$  в данном случае усиливают естественные процессы, происходящие в культуре ткани *раувольфии змеиной*.

Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными о том, что рамногалактуронановый тип структуры обладает физиологической активностью [2, 3]. Однако, по-видимому, это зависит и от количества или расположения арабинозных остатков, входящих в состав полисахарида. Гомогалактуронаны также проявляют физиологическую активность [3]. Арабиногалактаны по литературным источникам активностью не обладают [3], но в данном исследовании эта фракция проявила стимулирующую активность, хотя и слабую.

Таким образом, в результате проведенной работы с помощью одномерного ЯМР была установлена принципиальная структура изученных нами пектиновых фракций:  $RS_1$  и  $RS_3$  – рамногалактуронаны 1-го типа, отличающиеся количеством арабинозных остатков,  $RS_2$  – арабиногалактановая структура 1-го типа,  $RS_4$  – гомогалактуронан. Значительной активностью в отношении стимуляции накопления алкалоидов в культуре ткани *раувольфии змеиной* обладают структуры: рамногалактуронановая 1-го типа с высоким содержанием арабинозы и гомогалактуронановая, причём последняя проявляет наибольшую активность. Можно сделать вывод, что у растения рода *раувольфия*, поскольку состав пектинов видоспецифичен, при разрушении клеточной стенки могут образовываться и выступать в качестве элиситоров, запускающих повышенный синтез и накопление алкалоидов, все изученные нами структуры. Однако наиболее эффективно стимулирует синтез индольных терпеноидных алкалоидов в качестве защитных веществ именно гомогалактуронановая структура пектиновых полисахаридов.

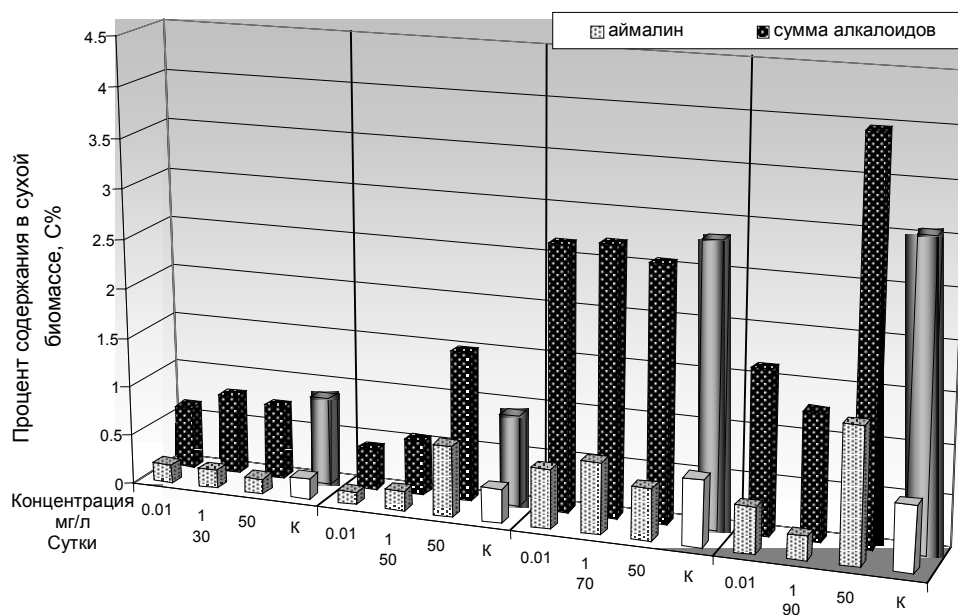


Рис. 5. Уровень накопления алкалоидов культурой ткани раувольфии змеиной под влиянием пектиновой фракции  $RS_1$  на протяжении всего периода ее роста. По оси абсцисс указаны: концентрация полисахаридов в питательной среде, где К – контрольный вариант, сутки роста культуры

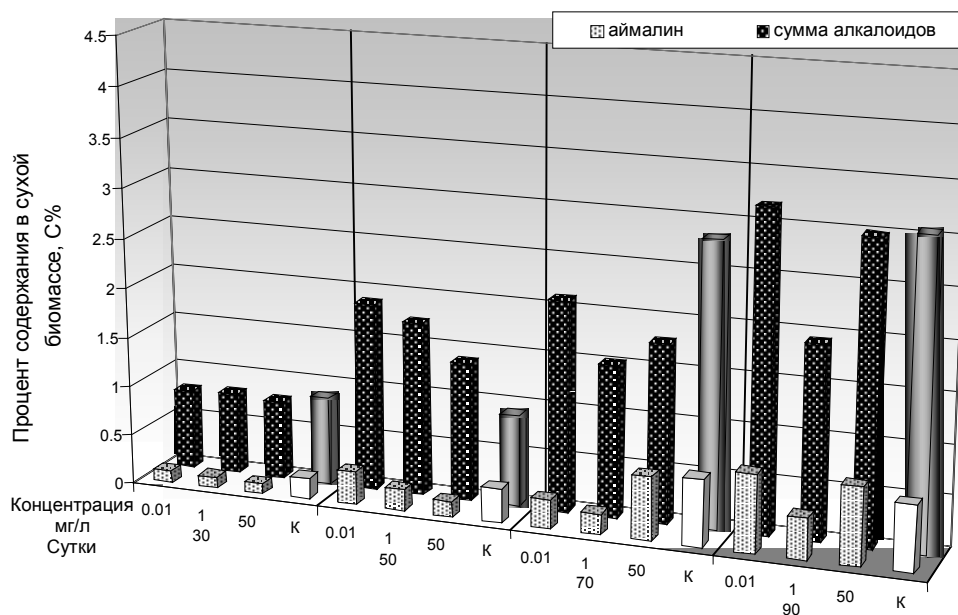


Рис. 6. Уровень накопления алкалоидов культурой ткани раувольфии змеиной под влиянием пектиновой фракции  $RS_2$  на протяжении всего периода ее роста

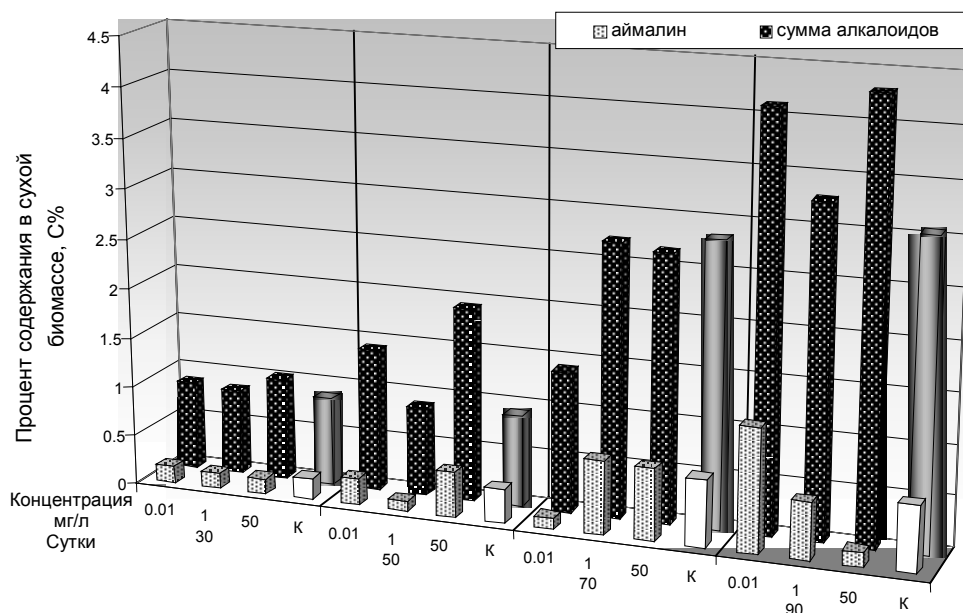


Рис. 7. Уровень накопления алкалоидов культурой ткани раувольфии змеиной под влиянием пектиновой фракции RS<sub>3</sub> на протяжении всего периода ее роста

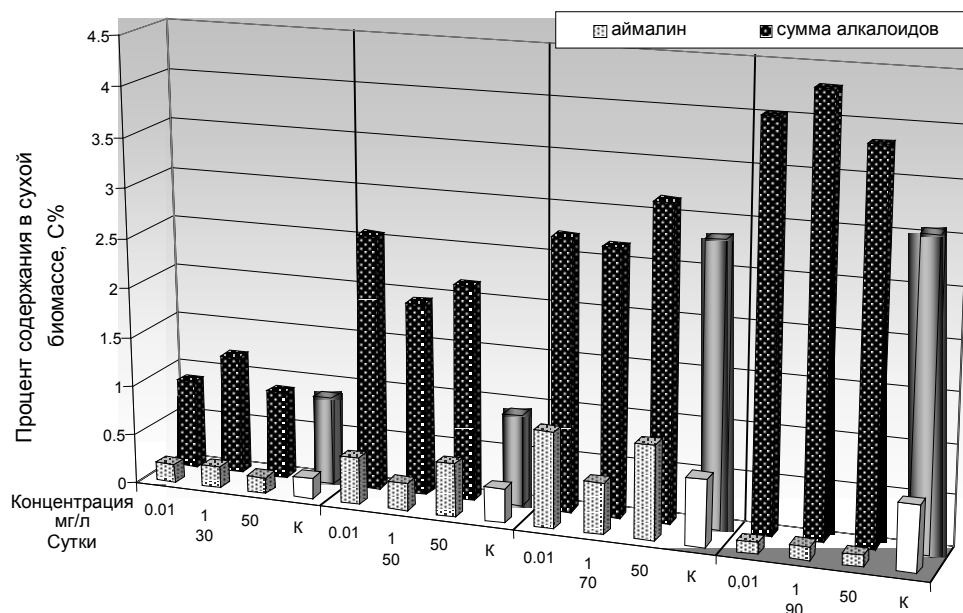


Рис. 8. Уровень накопления алкалоидов культурой ткани раувольфии змеиной под влиянием пектиновой фракции RS<sub>4</sub> на протяжении всего периода ее роста

### Summary

R.Y. Kozlova, V.V. Klochkov, V.G. Vinter. The pectic polysaccharide fraction activity dependence from their structure, determined by NMR method.

The fundamental structure of four pectic polysaccharide fraction is determined by NMR from primary cell wall of callus tissue culture *Rauwolfia serpentina*. It is established, that fractions RS<sub>1</sub> and RS<sub>3</sub> are rhamnogalacturonan-I, RS<sub>2</sub> is Arabinogalactane-I, RS<sub>4</sub> is homogalacturonan. The ability of the researched fractions to stimulate synthesis of indole alkaloids is studied. It is shown, all researched fractions have stimulated activity. The fraction RS<sub>4</sub> is the most active one.

### Литература

1. Элберсгейм П., Дарвилл А.Г. Олигосахариды // В мире науки. – 1985. – № 11. – С. 16–24.
2. Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность // Биоорганическая химия. – 1998. – Т. 24, № 7. – С. 483–501.
3. Alington S., Fry S. Oligosaccharins // *Advances in Botanical research*. – 1993. – V. 19. – P. 63–67.
4. Ловкова М.Я. Биосинтез и метаболизм алкалоидов в растениях. – М.: Наука, 1981. 169 с.
5. Баширова Р.М., Усманов И.Ю., Ломаченко Н.В. Вещества специализированного обмена растений. – Уфа: Изд-во Башк. ун-та, 1998. – 159 с.
6. Каталог. Всесоюзная коллекция клеточных культур. – Л.: Наука, 1991. – С. 62.
7. Туркевич Н.М. Химия новых гипотензивных средств. – Киев: Медгиз УССР, 1961. 207 с.
8. Винтер В.Г., Оводова Р.Г., Гюнтер Е.А., Козлова Р.Ю., Оводов Ю.С. Полисахариды высших растений как факторы регуляции вторичного метаболизма // Докл. РАН. – 2002. – Т. 387, № 1. – С. 1–2.
9. Воллосович А.Г., Николаева Л.А., Пучнина Т.Н., Позднякова Н.Н. Питательная среда для выращивания культуры ткани раувольфии змеиной – продуцента алкалоидов: А.С. 679625 СССР // Б.И. – 1979. – № 30.
10. Воллосович А.Г., Пучнина Т.Н., Гутман С.Н. и др. Количественное определение алкалоидов группы индолина в культуре ткани раувольфии змеиной // Раст. ресурсы. – 1981. – Т. 17, № 4. – С. 585–589.
11. Неуструева С.Н., Кунин А.В., Сянова Н.С., Жегалова И.В., Винтер В.Г., Марданова Г.Н. Влияние биназы на динамику основных метаболических процессов в культуре ткани *Rauwolfia serpentina Benth* // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2005. – Т. 147, кн. 2. – С. 149–160.
12. Оводова Р.Г., Головченко В.В., Попов С.В., Шапков А.С., Оводов Ю.С. Выделение и предварительное исследование строения и физиологической активности водорастворимых полисахаридов из шрота ягод калины обыкновенной *Viburnum opulus* // Биоорганическая химия. – 2000. – Т. 26, № 1. – С. 61–67.
13. Bushneva O.A., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Yu.S. Structural studies on hairy region of pectic polysaccharide from campion *Silene vulgaris* (Oberna behen) // *Carbohydrate polymers*. – 2002. – V. 49, No 4. – P. 471–478.
14. Golovchenko V.V., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Yu.S. Structural studies of the pectic polysaccharide from duckweed *Lemna minor* L. // *Phytochemistry*. – 2002. – V. 60, No 1. – P. 89–97.

15. *Polle A.Ya., Ovodova R.G., Shashkov A.S., Ovodov Yu.S.* Some structural features of pectic polysaccharide from tansy, *Tanacetum vulgare* L. // *Carbohydrate polymers.* – 2002. – V. 49, No 3. – P. 337–344.
16. *Mc. Neil M., Darvill A.G., Fry S.C., Albersheim P.* Structure and function of the primary cell walls of plants // *Ann. Rev. Biochem.* – 1984. – V. 53. – P. 625–663.
17. *Родионова Н.А., Безбородов А.М.* О локализации систем ферментов, катализирующих расщепление полисахаридов растительных клеточных стенок у высших растений // *Прикл. биохимия и микробиология.* – 1997. – Т. 33, № 5. – С. 467–487.
18. *Fry S.C.* The growing plant cell wall: chemical and metabolical analysis // *Essex: Longma Sci. and Technical.* – 1988. – P. 333.

Поступила в редакцию  
11.09.06

---

**Козлова Регина Юрьевна** – научный сотрудник лаборатории биохимии нуклеиновых кислот биолого-почвенного факультета Казанского государственного университета.

E-mail: *Regina.Kozlova@ksu.ru*

**Клочков Владимир Васильевич** – доктор химических наук, профессор кафедры общей физики, руководитель отдела ЯМР ФЦКП Казанского государственного университета.

E-mail: *Vladimir.Klochkov@ksu.ru*