



УДК 543.544

Влияние состава элюента на удерживание сверхсшитым полистиролом в ОФ ВЭЖХ

Прокопов С.В., Фролова И.В., Курбатова С.В.

Самарский государственный университет, Самара

Поступила в редакцию 21.09.2011 г.

Аннотация

Исследовано хроматографическое удерживание ряда органических ароматических соединений при различных составах элюента в рамках моделей Снайдера, Снайдера-Сочевинского и Скотта-Кучеры на октадецилсиликагеле и сверхсшитом полистироле в условиях ОФ ВЭЖХ. Оценены границы применимости данных моделей, проведено сопоставление механизмов удерживания изученных соединений на обоих сорбентах.

Ключевые слова: обращенно-фазовая высокоэффективная жидкостная хроматография, сверхсшитый полистирол, октадецилсиликагель, состав подвижной фазы

Chromatographic retention of some organic compounds was investigated under different eluent composition within the limits of Snyder, Snyder – Sochevinsky and Scott – Cućera models on the octadecylsilicagel and hypercrosslinked polystyrene. Application limites of such models were estimated, retention mechanism of investigated substances on both sorbents were compared.

Keywords: reversed-phase high performance liquid chromatography, hypercrosslinked polystyrene, octadecylsilicagel, mobile phase composition

Введение

В жидкостной хроматографии константы сорбционного равновесия, как известно, определяются не только природой сорбента, но и в значительной степени природой подвижной фазы. Если учесть, что компоненты подвижной фазы в ряде случаев способны сорбироваться на поверхности неподвижной фазы (сорбента), образуя достаточно прочный слой и изменяя, таким образом, свойства неподвижной фазы, то, очевидно, влияние природы неподвижной фазы на величины констант равновесия и характеристик удерживания может быть весьма существенным [1]. Взаимосвязь между величинами удерживания и количественным составом подвижной фазы исследована многими авторами и представлена различными моделями, среди которых наиболее известными являются модели Снайдера [2], Снайдера-Сочевинского [3], Скотта-Кучеры [4], а также развитая на их основе вытеснительная модель С.Н. Ланина - Ю.С. Никитина, учитывающая процессы сольватации и ассоциации молекул в подвижной фазе [5]. Наиболее подробно данные модели описаны при использовании традиционных сорбентов, в значительно меньшей степени исследовано влияние природы и состава подвижной фазы на хроматографическое удерживание нестандартными и, в частности,

наноструктурными материалами, к которым можно отнести нанопористые сорбенты на основе сверхсшитого полистирола (ССПС). В литературе отмечено [6], что, несмотря на близость механизмов удерживания на сверхсшитом полистироле и традиционных сорбентах на основе модифицированных силикагелей, хроматографический процесс в условиях ВЭЖХ на ССПС характеризуется рядом особенностей.

Целью настоящей работы явилось исследование влияния состава подвижной фазы на хроматографическое удерживание органических соединений сверхсшитым полистиролом.

Эксперимент

Хроматографическое исследование выполнено на жидкостном хроматографе “VARIAN” с УФ детектором ProStar 325 и плунжерным насосом ProStar 210. Детектирование проводили при длине волны 254 нм. Сорбентами были коммерческий октадецилсиликагель Waters Resolve C18 с размером частиц 5 мкм и гидрофобный (нейтральный) микропористый сверхсшитый полистирол с диаметром частиц 3.2 мкм и средним диаметром пор 20-40 Å. Размеры хроматографических колонок 3.9x150 мм (Waters Resolve C18) и 4.6x150 мм (сверхсшитый полистирол). Кажущаяся площадь удельной поверхности, определенная по теории БЭТ с помощью низкотемпературной сорбции аргона, составила 1000 м²/г. Сорбент на основе сверхсшитого полистирола был синтезирован и упакован в колонку в лаборатории стереохимии сорбционных процессов ИНЭОС РАН и любезно предоставлен для исследований проф. В.А. Даванковым и н.с. М.М. Ильиным.

Исследование проводили при комнатной температуре. Объем подвижной фазы в колонке принимали равным объему удерживания нитрита натрия. В качестве элюентов применяли смеси ацетонитрил – вода с содержанием ацетонитрила от 50 до 90% (по объему). Для приготовления подвижных фаз использовали тридистирированную воду и ацетонитрил марки “HPLC-gradient grade”; дегазирование осуществляли воздействием на приготовленные водно-ацетонитрильные смеси ультразвука с помощью установки марки “УЗДН-2Т”.

Элюирование проводили в изократическом режиме; объемный расход элюента составлял 500 мкл/мин. Растворы сорбатов (концентрация ~ 10⁻⁴ моль/л) готовили растворением индивидуальных образцов в соответствующей подвижной фазе; объем пробы 20 мкл. Регистрацию хроматограмм и их обработку выполняли с помощью программы хроматографического анализа Galaxie Control.

Удерживание изученных соединений характеризовали величиной фактора удерживания (k) [1]:

$$k = (t_R - t_M)/t_M,$$

где t_R – время удерживания исследуемого вещества, t_M – время удерживания несорбирующегося компонента (нитрит натрия). Полученные характеристики удерживания представлены в табл. 1

Значения дипольного момента (μ), поляризуемости (α), липофильности (коэффициент распределения в системе н-октанол - вода, IgP), энергии гидратации ($E_{\text{гидр}}$), площади поверхности молекул (S_w) и мольного объема (V) исследованных сорбатов рассчитаны с использованием программы HyperChem 8 Professional.

Таблица 1. Значения фактора удерживания исследованных сорбатов при разных составах ПФ на ОДС и ССПС

№	Сорбаты	Состав подвижной фазы ацетонитрил - вода									
		9:1	8:2	7:3	6:4	1:1	9:1	8:2	7:3	6:4	1:1
		Фактор удерживания для октадецилсиликагеля, k					Фактор удерживания для ССПС, k				
1	Бензол	0.54	0.72	1.12	1.31	2.62	1.49	2.15	3.41	5.88	10.76
2	Толуол	0.34	0.50	0.59	0.72	1.24	1.16	1.42	2.32	3.45	6.66
3	Этилбензол	0.39	0.55	0.61	0.77	1.31	1.17	1.7	2.39	3.78	6.70
4	Нафталин	0.65	0.92	1.43	2.27	6.12	3.18	5.83	8.83	17.05	-
5	Антрацен	1.06	1.58	2.78	5.06	13.48	8.99	20.19	30.54	53.97	-
6	β -Нафтол	0.46	0.48	0.51	0.68	1.18	1.36	2.1	2.82	5.84	10.73
7	Бензальдегид	0.50	0.53	0.57	0.77	1.10	1.16	1.42	2.31	3.43	5.50
8	Ацетофенон	0.43	0.50	0.51	0.53	0.71	0.71	0.94	0.99	1.33	2.19
9	Бензиловый спирт	0.32	0.39	0.41	0.49	0.71	0.69	0.8	1.01	1.61	2.25
10	Фенол	0.34	0.35	0.36	0.44	0.69	0.70	0.92	1.18	2.04	2.90
11	Резорцин	0.30	0.32	0.33	0.34	0.38	0.40	0.48	0.53	0.80	0.86
12	p-Хлорфенол	0.35	0.47	0.65	0.85	1.65	1.24	1.61	2.41	6.76	10.23
13	p-Крезол	0.34	0.37	0.39	0.45	0.83	0.87	1.14	1.59	2.08	4.16
14	o-Крезол	0.36	0.39	0.45	0.59	0.93	0.91	1.27	1.79	3.26	4.90
15	Нитробензол	0.52	0.55	0.64	0.89	1.78	1.47	2.05	3.23	6.38	10.37
16	p-Нитрофенол	0.30	0.36	0.38	0.46	0.76	0.76	0.97	1.19	2.01	4.16
17	o-Нитрофенол	0.33	0.44	0.41	0.65	1.20	1.48	1.9	2.44	4.24	9.57
18	2,4-Динитрофенол	0.73	0.61	0.56	0.68	1.66	1.25	1.79	2.39	3.97	6.56

Обсуждение результатов

Как уже отмечалось, взаимосвязь между величинами удерживания и количественным составом подвижной фазы наиболее часто характеризуют с помощью моделей Снайдера, Снайдера - Сочевинского и Скотта – Кучеры, аппроксимируемых посредством следующих уравнений соответственно:

$$\lg k = S \cdot \Phi + \lg k'_w \quad (1)$$

$$\lg k = a - n \cdot \lg N_m \quad (2)$$

$$1/k = A - B \cdot N_m \quad (3)$$

где Φ и N_m – объемная и мольная доля органического модификатора в подвижной фазе соответственно; k'_w – фактор удерживания сорбата в чистой воде; S , a , n , A , B – коэффициенты соответствующих уравнений.

Публикации различных авторов свидетельствуют о том, что эти уравнения хорошо описывают удерживание сорбатов различной химической природы, однако применимость конкретного уравнения определяется многими факторами, среди которых существенная роль отводится гидрофобности элюируемых соединений, природе модификатора и сорбента и пр.

Основной особенностью сорбентов на основе ССПС по сравнению с кремнеземными является, как известно, большая величина их удельной поверхности и возможность вклада в сорбцию дополнительных к дисперсионному специфических π - π -, π - d - и π - n -взаимодействий между молекулами сорбатов и ароматическими фрагментами сверхсшитого полистирола.

Для оценки влияния состава элюента на хроматографическое удерживание нами, по аналогии с работой [7], в качестве сорбатов выбраны некоторые производные ароматических соединений, сорбция которых в условиях ОФ ВЭЖХ, вне зависимости от типа сорбента или состава элюента, должна осуществляться в основном за счет дисперсионных взаимодействий, поскольку основным структурным фрагментом их молекул является ароматическое ядро. Некоторые особенности хроматографического поведения исследованных сорбатов должны быть обусловлены присутствием в их молекулах функциональных групп различной химической природы, приводящих к дополнительным взаимодействиям с компонентами подвижной фазы.

Из полученных нами данных, представленных в таблице 1, следует, что при любых, соотношениях ацетонитрил - вода в элюенте в целом значения фактора удерживания исследованных соединений для ССПС оказываются примерно в 3-4 раза больше, чем на октадецилсиликагеле, возрастая на обоих сорбентах при переходе от производных бензола к нафталину и антрацену. Этот факт свидетельствует о существенной роли π - π взаимодействий в сорбции данных веществ сверхсшитым полистиролом, поэтому можно ожидать, что влияние состава подвижной фазы на удерживание сорбатов октадецилсиликагелем и ССПС будет различным.

В табл. 2 и 3 представлены корреляционные коэффициенты уравнений 1-3, характеризующих влияние состава ПФ на удерживание октадецилсиликагелем и ССПС. Отклонения от линейной зависимости удерживания от состава подвижной фазы в ОФ ВЭЖХ связаны с несоответствием реального механизма удерживания сорбатов гидрофобно-вытеснительной модели, лежащей в основе рассматриваемых соотношений. С одной стороны, подобные отклонения могут быть связаны со специфическими взаимодействиями и сольватационными эффектами в подвижной фазе, с другой стороны – со специфическими взаимодействиями с сорбентом, в частности, с остаточными силанольными группами октадецилсиликагеля [8].

Таблица 2. Корреляционные коэффициенты моделей зависимости удерживания от состава подвижной фазы для C18

Сорбат	$S \cdot \Phi + \lg k'_w$			$\lg k = a - n \cdot \lg N_m$			$I/k = A + B \cdot N_m$		
	S	$\lg k'_w$	R^2	a	n	R^2	A	B	R^2
1	-1.625	1.174	0.961	-0.456	1.388	0.956	-0.298	2.844	0.986
2	-1.275	0.683	0.956	-0.596	1.089	0.961	-0.082	3.889	0.974
3	-1.201	0.665	0.939	-0.541	1.027	0.946	0.052	3.304	0.959
4	-2.339	1.853	0.952	-0.495	1.999	0.958	-0.508	2.725	0.998
5	-2.714	2.400	0.973	-0.322	2.317	0.977	-0.396	1.765	0.997
6	-0.984	0.479	0.818	-0.509	0.844	0.829	0.528	2.497	0.781
7	-0.844	0.411	0.879	-0.436	0.722	0.887	0.578	2.096	0.832
8	-0.457	0.043	0.838	-0.416	0.391	0.848	1.201	1.508	0.826
9	-0.781	0.199	0.926	-0.586	0.668	0.934	0.864	3.039	0.925
10	-0.705	0.117	0.755	-0.592	0.606	0.767	1.237	2.576	0.677
11	-0.220	-0.322	0.878	-0.543	0.189	0.887	2.456	1.152	0.834
12	-1.613	0.962	0.966	-0.656	1.378	0.971	-0.428	4.424	0.994
13	-0.866	0.260	0.770	-0.610	0.744	0.782	0.906	2.980	0.751
14	-1.016	0.418	0.909	-0.603	0.870	0.917	0.490	3.347	0.896
15	-1.276	0.786	0.843	-0.496	1.094	0.864	0.173	2.582	0.833
16	-0.902	0.265	0.873	-0.641	0.773	0.883	0.760	3.528	0.881
17	-1.278	0.629	0.855	-0.654	1.094	0.864	0.163	3.905	0.851
18	-0.750	0.416	0.390	-0.342	0.652	0.405	0.874	1.057	0.205

Таблица 3. Корреляционные коэффициенты моделей зависимости удерживания от состава подвижной фазы для ССПС

Сорбат	$S \cdot \Phi + \lg k'_w$			$\lg k = a - n \cdot \lg N_m$			$1/k = A + B \cdot N_m$		
	S	$\lg k'_w$	R^2	a	n	R^2	A	B	R^2
1	-2.209	2.109	0.995	-0.106	1.883	0.997	-0.249	1.256	0.995
2	-1.900	1.719	0.972	-0.187	1.621	0.976	-0.206	1.461	0.983
3	-1.865	1.722	0.989	-0.149	1.591	0.991	-0.212	1.407	0.999
4	-2.369	2.638	0.993	0.256	2.050	0.994	-0.157	0.608	0.979
5	-2.515	3.255	0.983	0.726	2.176	0.983	-0.063	0.220	0.934
6	-2.241	2.109	0.978	-0.138	1.912	0.981	-0.245	1.290	0.993
7	-1.740	1.589	0.986	-0.156	1.482	0.988	-0.182	1.429	0.983
8	-1.134	0.851	0.987	-0.287	0.969	0.934	0.103	1.762	0.942
9	-1.324	0.989	0.963	-0.340	1.130	0.966	-0.028	2.059	0.955
10	-1.581	1.237	0.979	-0.348	1.348	0.981	-0.206	2.206	0.987
11	-0.871	0.381	0.942	-0.493	0.742	0.941	0.473	2.730	0.945
12	-2.453	2.222	0.951	-0.238	2.091	0.952	-0.297	1.506	0.973
13	-1.622	1.362	0.957	-0.265	1.385	0.963	-0.164	1.771	0.990
14	-1.870	1.613	0.988	-0.262	1.594	0.989	-0.276	1.827	0.996
15	-2.191	2.095	0.942	-0.101	1.867	0.988	-0.229	1.212	0.995
16	-1.798	1.431	0.931	-0.374	1.538	0.938	-0.220	2.124	0.965
17	-1.971	1.868	0.930	-0.110	1.685	0.937	-0.146	1.131	0.972
18	-1.785	1.679	0.987	-0.111	1.522	0.990	-0.176	1.291	0.997

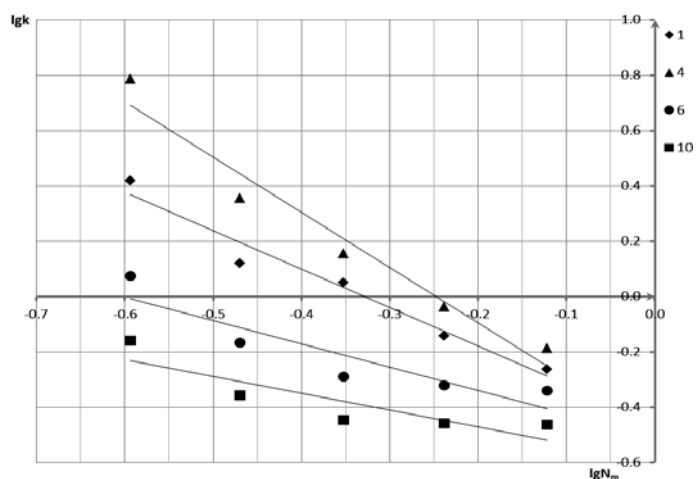
Из рис. 1а и 2а видно, что наиболее существенные отклонения от линейности на С18 наблюдаются при наименьшем содержании органического модификатора в подвижной фазе, при этом удерживание в этой области оказывается выше прогнозируемого по линейной зависимости, что подтверждает предположение о значительном вкладе взаимодействия сорбатов с силанольными группами.

Теоретическая основа использованных моделей позволяет определить, какие межмолекулярные взаимодействия в подвижной фазе приводят к появлению отклонений от соответствующих зависимостей. Так, на рис. 2 зависимости для сорбатов 6 и 10 (β -нафтол и фенол соответственно) характеризуются «отрицательными» отклонениями от линейности, т.е. величина $1/k$ увеличивается с ростом мольной доли ацетонитрила медленнее, чем при выполнении линейной зависимости. Такой вид кривых, согласно [9], свидетельствует о преобладании процесса ассоциации молекул модификатора в подвижной фазе, приводящего к дополнительным затратам энергии на разрушение этих ассоциатов и внедрение молекул сорбатов в объем подвижной фазы, что делает адсорбированное состояние аналитов более выгодным в таких условиях.

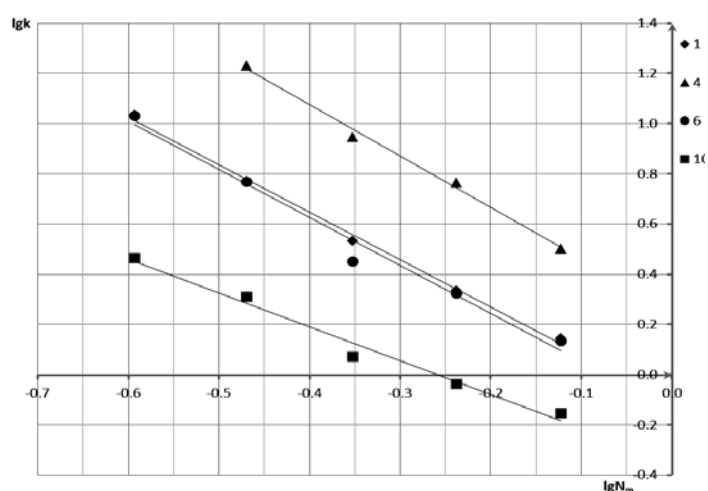
Аналогичные зависимости для ССПС (рис. 1б и 2б) носят линейный характер во всем диапазоне составов подвижной фазы. Кажущаяся внутренняя поверхность ССПС не содержит полярных групп, способных исказить удерживание сорбатов, кроме того, его полимерная сетка слабо подвержена изменениям, связанным с набуханием [10], что обеспечивает стабильность линейной зависимости характеристик удерживания сорбатов от состава подвижной фазы.

Адекватность модели Скотта-Кучеры при удерживании ССПС свидетельствует о более сильной сорбции молекул исследованных веществ этим сорбентом, что приводит к снижению роли межмолекулярных взаимодействий в подвижной фазе. Более сильное взаимодействие сорбатов с ССПС по сравнению с С18 достигается, прежде всего, за счет более высокой кажущейся удельной

поверхности ССПС, и, следовательно, его большой сорбционной емкости, а также за счет вклада π -взаимодействий в удерживание непредельных соединений [11].



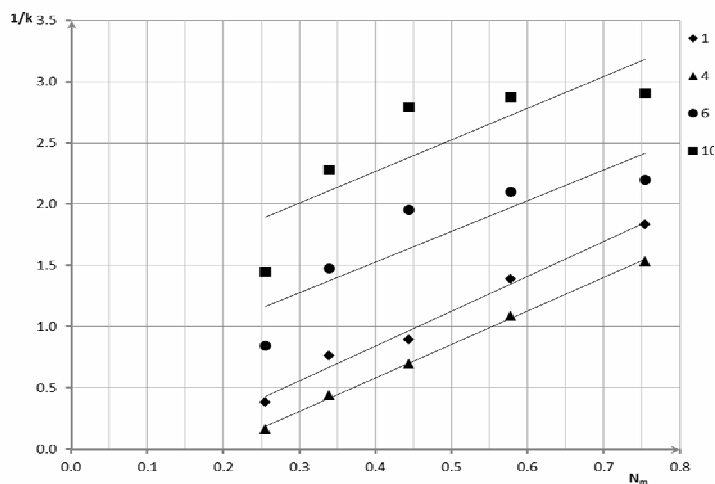
а



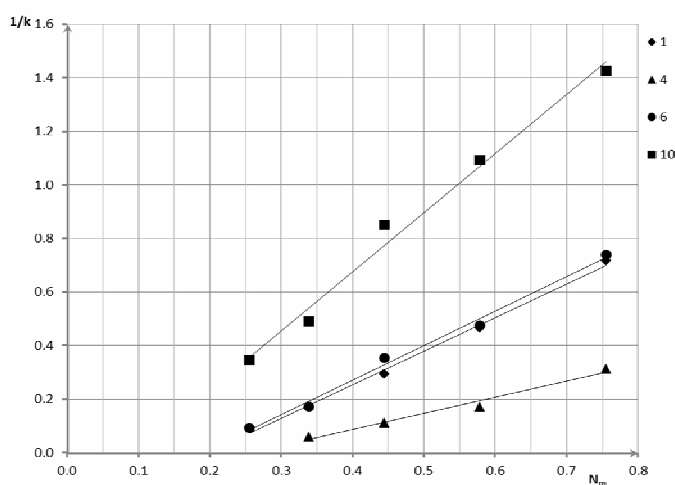
б

Рис. 1. Модель Снайдера-Сочевинского (а - сорбент октадецилсиликагель, б - ССПС; сорбаты 1- бензол, 4- нафталин, 6- β -нафтол 10- фенол)

Следует отметить, что существенные отклонения от линейной зависимости на С18 наблюдаются не для всех исследованных сорбатов. Так, из табл. 2 видно, что для бензола, толуола, этилбензола, нафталина и антрацена (соединения 1-5) линейные зависимости выполняются достаточно строго, значения коэффициентов корреляции для них сопоставимы с таковыми на ССПС, поскольку эти вещества практически не способны к проявлению специфических взаимодействий ни с компонентами подвижной фазы, ни с остаточными силанольными группами С18. Появление же гидроксильной группы в молекулах, например, сорбатов 10 и 6 приводит к существенным отклонениям от линейной зависимости на С18 (рис. 1 и 2).



а



б

Рис. 2. Модель Скотта-Кучеры (а - сорбент октадецилсиликагель, б - ССПС; сорбаты 1- бензол, 4- нафталин, 6- β -нафтол 10- фенол)

Различной оказывается зависимость удерживания от состава подвижной фазы для некоторых изомеров, например, п- и о-крезолов (сорбаты 13 и 14 соответственно). При близких значениях дипольного момента, поляризуемости, липофильности и энергии гидратации эти сорбаты характеризуются заметно отличающимися коэффициентами корреляции на С18 для всех рассмотренных моделей. Из табл. 2 видно, что для о-крезола линейная зависимость удерживания от состава подвижной фазы выполняется гораздо строже, чем для п-изомера. Вероятно, этот факт может быть обусловлен экранированием гидроксогруппы о-крезола близкорасположенной метильной группой, в результате которого специфические взаимодействия с ее участием оказываются затруднены. Однако, в случае другой пары изомеров - п- и о-нитрофенолов (сорбаты 16 и 17) такого эффекта не наблюдается, возможно, вследствие большего размера нитрогруппы или большей общей полярности данных сорбатов, обуславливающей наличие вклада диполь-дипольных и индукционных взаимодействий в их удерживание.

В табл. 2 и 3 приведены также значения коэффициентов $\lg k_w$ уравнения модели линейной силы растворителя Снайдера и угловых коэффициентов n модели

Снайдера-Сочевинского. Как видно из приведенных данных, значения параметра $lg k_w$, представляющего собой фактор удерживания сорбатов в чистой воде, найденный путем экстраполяции экспериментальных данных, для всех соединений оказываются выше при использовании ССПС. Этот факт, по-видимому, связан как с большей сорбционной емкостью ССПС, по сравнению с С18, так и с его большей гидрофобностью [10].

Как известно [1], физический смысл углового коэффициента n в объединенной модели Снайдера-Сочевинского (уравнение 2) можно трактовать как количество молекул модификатора, вытесняемое с поверхности сорбента одной молекулой сорбата при сорбции. Анализ значений этого параметра позволяет сделать предположение об ориентации молекул сорбатов в процессе их взаимодействия с неподвижной фазой. Из полученных нами данных следует, что при сорбции на ССПС все исследованные соединения вытесняют большее число молекул модификатора, чем при сорбции на С18. Этот факт свидетельствует о том, что изученные сорбаты взаимодействуют с ССПС большей долей своей поверхности, следовательно, основная плоскость молекулы сорбата будет в большей степени копланарна поверхности ССПС (точнее, участку полистирольной цепи, с которой она взаимодействует при сорбции). При этом на С18 значения коэффициента n оказываются близкими к теоретически рассчитанным по отношению площадей молекул сорбатов и модификатора (или несколько превышающими их) только для неполярных соединений – бензола, нафталина и антрацена. Их удерживание на С18, таким образом, может быть адекватно описано в рамках модели вытеснительной сорбции на поверхности сорбента, поскольку на их удерживание не оказывают влияние специфические и ориентационные взаимодействия с подвижной фазой. Увеличение дипольного момента молекул сорбатов и введение в них полярных функциональных групп, приводит к резкому уменьшению коэффициентов вытеснения для С18 относительно теоретически рассчитанных. Вероятно, ориентирующее действие полярных молекул элюента приводит к тому, что молекулы сорбатов взаимодействуют с поверхностью сорбента не всей своей поверхностью, а лишь наиболее гидрофобной ее частью, при этом их полярные группы ориентированы в сторону объема подвижной фазы, будучи сольватированными молекулами органического модификатора.

На ССПС этот эффект проявляется в меньшей степени, хотя для большинства соединений, содержащих гидроксильные группы, величина n оказывается меньше рассчитанной теоретически. По-видимому, здесь сказывается более сильное сродство неподвижной фазы к ароматическим сорбатам за счет проявления π - π -взаимодействий, которые делают более «плотное» взаимодействие сорбатов с полимерным сорбентом энергетически более выгодным. Достаточно высокие значения n на ССПС характерны для сорбатов, содержащих нитрогруппу (15-17, сорбат 18 – исключение) и хлор (сорбат 14), возможно, за счет проявления дополнительных π - n - и π - d -взаимодействий с неподеленными электронными парами нитрогрупп и вакантными d -орбиталями атомов хлора соответственно. Подтверждением данного предположения могут служить значения n для нафталина (4) и β -нафтола (6) на различных сорбентах: при близких значениях площади поверхности молекул этих веществ для неполярного нафталина значения n для С18 и ССПС близки, а для содержащего полярный заместитель β -нафтола отличаются более, чем в 2 раза.

Заключение

Таким образом, анализ зависимостей удерживания от состава подвижной фазы позволил выявить некоторые особенности механизма удерживания ароматических соединений на ССПС по сравнению с С18. В широком диапазоне составов подвижной фазы в ОФ ВЭЖХ линейные зависимости удерживания от концентрации органического модификатора подвижной фазы выполняются более строго для ССПС, чем для С18 в случае полярных сорбатов, содержащих электроноакцепторные функциональные группы. Отклонения от линейности на С18 связаны с взаимодействиями молекул сорбатов с остаточными силанольными группами, усиливающимися с увеличением количества воды в подвижной фазе. Анализ модели Скотта-Кучеры с учетом вытеснительной модели С.Н. Ланина и Ю.С. Никитина позволил сделать вывод о преимущественном протекании процесса ассоциации молекул модификатора (ацетонитрила) в подвижной фазе и, соответственно, о незначительной роли специфических взаимодействий молекул сорбатов и модификатора. Большая адекватность исследованных моделей при использовании ССПС, вероятно, может быть результатом более сильной сорбции исследованных соединений на этом сорбенте, нивелирующей влияние процессов ассоциации и сольватации в подвижной фазе, а также его большей гидрофобностью и отсутствием на его поверхности полярных групп, способных вносить искажения в удерживание. Кроме того, анализ угловых коэффициентов модели Снайдера-Сочевинского для С18 и ССПС и сопоставление полученных данных с расчетными величинами позволяет сделать предположение об ориентации молекул аналитов, более компланарной поверхности ССПС за счет дополнительных π -взаимодействий сорбатов с полистирольной сеткой и отсутствием возможности реализации на нем распределительного механизма удерживания.

Авторы выражают искреннюю благодарность профессору В.А. Даванкову и н.с. М.М. Ильину за предоставленные для исследований колонки со сверхшитым полистиролом.

Работа выполнена при поддержке проекта 02.740.11.0650 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Список литературы

1. Шатц В.Д., Сахартова О.В. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Рига: Зинатне, 1988. 390 с.
2. Snyder L.R., Dolan J.W., Gant J.R. Gradient elution in high-performance liquid chromatography. I. Theoretical basis for reversed-phase systems // J. Chromatogr. 1979. V. 165 P 3.
3. Soczewinski E. Solvent composition effects in TLC systems of the type silica gel-electron donor solvuit. // Anal. Chem. 1969. V. 41. P. 179.
4. Scott R.P.W., Kucera P. Examination of five commercially available liquid chromatographic reversed phases (including the nature of the solute-solvent-stationary phase interactions associated with them) // J. Chromatogr. 1977. V. 142. P. 213.
5. Ланин С.Н., Ланина Н.А., Никитин Ю.С. Влияние ассоциации молекул сорбата и модификатора в подвижной фазе на удерживание в высокоэффективной жидкостной хроматографии // Журн. физ. химии. 1995. Т. 69. № 11. С. 2045.

6. Davankov V., Tsyurupa M., Ilyin M., Pavlova L. Hypercross-linked polystyrene and its potentials for liquid chromatography: a mini-review // *J. Chromatogr. A*. 2002. V. 965. P. 65.
7. Davankov V.A., Sychov C.S., Ilyin M.M., Sochilina K.O. Hypercrosslinked polystyrene as a novel type of high-performance liquid chromatography column packing material. Mechanisms of retention // *J. Chromatogr. A*. 2003. V. 987. P. 67.
8. Tate P.A., Dorsey J.G. Column selection for liquid chromatographic estimation of the k'_w hydrophobicity parameter. // *J. Chromatogr. A*. 2004. V. 1024. P. 37.
9. Ланин С.Н. Адсорбционные модели удерживания в жидкостной хроматографии / 100 лет хроматографии. М.: Наука, 2003. С. 407.
10. Penner N.A., Nesterenko R.N., Ilyin M.M., Tsyurupa M.P., Davankov V.A. Investigation of the Properties of Hypercrosslinked Polystyrene as a Stationary Phase for High-Performance Liquid Chromatography // *Chromatographia* 1999. Vol. 50. № 9/10. P. 611.
11. Sychov C.S., Ilyin M.M., Davankov V.A., Sochilina K.O. Elucidation of retention mechanisms on hypercrosslinked polystyrene used as column packing material for high-performance liquid chromatography // *J. Chromatogr. A*. 2004. V. 1030. P. 17.

Прокопов Сергей Валерьевич – аспирант кафедры физической химии и хроматографии Самарского государственного университета, Самара

Фролова Ирина Викторовна – магистрант магистерской программы по физической химии химического факультета Самарского государственного университета, Самара,

Курбатова Светлана Викторовна – профессор, д.х.н., декан химического факультета Самарского государственного университета, Самара

Prokopov Sergei V. – post-graduate (student), department of Physical Chemistry and Chromatography, Samara State University, Samara

Frolova Irina V. – magstrand of Physical Chemistry, Chemical Faculty, Samara State University, Samara

Kurbatova Svetlana V. – Doctor of Chemistry Science, professor, dean of Chemical Faculty, Samara State University, Samara, e-mail: curbatsv@ssu.samara.ru