

УДК 543.544.51+343.977

ЭНДОКАННАБИНОИДЫ В РАСТИТЕЛЬНЫХ АРОМАТИЧЕСКИХ СМЕСЯХ

И.М. Фицев, А.Р. Саитгараева, Г.К. Будников

Аннотация

В статье представлены итоги комплексного исследования растительных ароматических смесей, содержащих эндоканнабиноиды типа CP-47,497-C₈, JWH-018, JWH-073, с применением тонкослойной, газовой хроматографии с масс-селективным и пламенно-ионизационным детекторами, инфракрасной спектроскопии. Показано, что эффективное решение экспертной задачи отнесения их к препаратам, являющимся предметом злоупотреблений, возможно только при использовании комплекса химических и физических методов исследования, обеспечивающих высокую степень надежности.

Ключевые слова: синтетические эндоканнабиноиды CP-47,497-C₈ (2-[(1R,3S)-3-гидрокси-циклогексил]-5(2-метилнонан-2-ил)фенол), JWH-018 (нафталин-1-ил)(1-пентил-1H-индол-3-ил)метанон), JWH-073 (1-бутил-1H-индол-3-ил)(нафталин-1-ил)метанон, каннабимиметики, растительные ароматические смеси, хроматомасс-спектрометрия, ИК-спектроскопия, криминалистическая экспертиза и идентификация.

Введение

В последнее время правоохранительными органами ряда государств сообщается о фактах нецелевого применения (в качестве курительных) растительных ароматических смесей (миксов), заявленных их производителями как ароматические смеси для благовоний. Среди потребителей они больше известны как «спайсы» [1, 2]. С 2004 года растительные миксы – «спайсы» – получили широкое распространение в Швейцарии, Австрии, Германии и других европейских странах на официальном рынке. Несмотря на то что наркологи фиксируют эффекты, которые во много раз превосходят воздействие наркотических средств, извлеченных из конопли, обнаружение в смесях действующего начала наркотических средств дает отрицательные результаты [3]. В связи с этим экспертно-криминалистическими центрами ряда [4–9] стран были проведены целенаправленные научно-исследовательские работы по обнаружению в составе «спайсов» психоактивных веществ. В результате исследований были обнаружены синтетические каннабимиметики: CP-47,497 и его C₆-, C₈- и C₉-гомологи [10], а также JWH-018 [11], механизм действия которых на каннабиноидные рецепторы CB₁ и CB₂ аналогичен механизму действия эндогенных каннабиноидов, образующихся в организме человека и животных.

Эндоканнабиноиды известны давно [12]. Уже более 4000 лет тому назад были известны фармакологические и наркотические эффекты, вызываемые применением каннабиса. Попытки человека приспособить это издревле известное растение для достижения успеха в лечении различных заболеваний, связанных

с двигательными нарушениями, болезнями нервной системы или, например, для купирования болевого синдрома, повышения общего тонуса организма отнюдь не исчерпаны и в настоящее время. Так, одним из лидеров мировой фармацевтики компанией “Pfizer” в 1980 г. был синтезирован каннабимиметик СР-47,497 (синоним: 2-[(1*R*,3*S*)-3-Гидроксициклогексил]-5-(2-метилоктан-2-ил)фенол). Независимые исследовательские группы, изучавшие действие синтетических эндоканнабиноидов, в том числе и JWH-018, на рецепторы СВ₁ и СВ₂ подтвердили примерно пятикратное превосходство JWH-018 над тетрагидроканнабинолом (ТГК) [13]. При этом установлено, что последствия передозировки JWH-018 не менее пагубны, чем у той же марихуаны или другого эндоканнабиноида HU-210 (синоним: (6*aR*,10*aR*)-9-(Гидроксиметил)-6,6-диметил-3-(2-метилоктан-2-ил)-6*a*,7,10,10*a*-тетрагидробензо[с]хромен-1-ол) [14].

На сегодняшний день, к большому сожалению, правоохранительные и контролирующие органы в целом оказались не готовы к столкновению со «спайсами». Цель настоящего исследования состоит в разработке эффективных и надежных способов обнаружения и идентификации некоторых синтетических эндоканнабиноидов (СР-47,497-С₈, JWH-018, JWH-073) в объектах криминалистической экспертизы с использованием хроматографических методов (ТСХ, ГХ), а также хроматомасс-спектрометрии (ГХ-МС) и ИК-спектроскопии.

1. Экспериментальная часть

Аппаратура. Исследования методом высокоэффективной ТСХ проводили на пластинах “Sorbfill ПТСХ-АФ-В-УФ” (ЗАО «Сорбполимер», г. Краснодар, Россия). Использовали аппликатор с нагревательным столиком, вертикальные хроматографические камеры, УФ-осветитель ($\lambda = 254$ и 366 нм, “Camag”, Швейцария), микрошприц “Hamilton HPTLC 10 μ l” (“Hamilton CO”, США).

Исследования методом ГХ-МС проводили на хроматомасс-спектрометрах “AutoSystem GC – TurboMass Mass Spectrometer” (“Perkin-Elmer”, США) и “6890 Network GC System – 5973N Network Mass Selective Detector” (“Agilent Technologies”, США). Хроматографирование выполняли на кварцевой капиллярной колонке типа “Elite Series PE-5 MS” (5%-ный дифенил, 95%-ный диметилполисилоксан, $l = 30$ м, $d = 0.25$ мм, толщина пленки фазы – 0.25 мкм). Температура программируемого “split/splitless” инжектора составляла 250 °С. Скорость изменения температуры колонки в интервале от 75 до 280 °С составляла 10 °С/мин. Газ-носитель гелий (99.995%) использовали в режиме постоянного потока 0.7 – 1.0 мл/мин, режим ввода пробы с делением потока $40 : 1$. Масс-селективные детекторы работали в режиме электронного удара (ЭУ, 70 эВ), сканирование осуществляли в интервале от 40 до 550 Da. Температура интерфейса ГХ-МСД была 290 °С. Детектирование разделенных компонентов в экстрактах проводили при регистрации хроматограмм по полному ионному току. Параметры ГХ-МСД контролировали с помощью рабочих станций на базе процессора “P-III” 128 МБ ОЗУ, Windows NT. Управление системой, настройку МСД, прием и обработку результатов измерений в ГХ-МС проводили с использованием программных продуктов “Perkin-Elmer” – “TurboMass Ver.4.1.1” и “Agilent Technologies” – “MSD ChemStation”. Разделенные компоненты исследуемых образцов идентифицировали по масс-спектрам, сравнивая масс-спектры

с литературными данными [3–7] и масс-спектрами из библиотек “NIST’05”, “WILEY’07” (США). Хроматографирование в режиме ГХ-ПИД выполняли на хроматографе «Кристалл-2000М» с процессорным модулем «ПМ-2» (ЗАО «СКБ Хроматэк», г. Йошкар-Ола, Россия). Для расчетов индексов удерживания использовали стандартную смесь *n*-алканов по ASTM D2887 (“Sigma-Aldrich Inc.”, США) и кварцевую капиллярную колонку «ДВ-1» (100%-ный диметилполисилоксан, $l = 50$ м, $d = 0.20$ мм, толщина пленки фазы – 0.33 мкм, “Agilent Technologies”, США). Определения выполняли с использованием в качестве газа-носителя азота (ос.ч), поток газа-носителя через колонку был 1.0 мл/мин при следующих условиях: температура инжектора – 250 °С, температура пламенно-ионизационного детектора (ПИД) – 280 °С, температура колонки изменялась от 200 до 280 °С со скоростью 10 °С/мин. Пробы вводили в хроматограф в режиме с делением потока 1 : 40. Для сбора и обработки хроматографических данных использовали программу «Хроматэк Аналитик 1.5».

Регистрацию ИК-спектров осуществляли на ИК-Фурье спектрометре “System 2000 FT-IR” (фирма “Perkin-Elmer”, США) в таблетках из КВг при следующих условиях: разрешение – 4, усиление – 1, число сканирований – 32, в интервале 4000–400 см^{-1} .

Реагенты. Были исследованы пробы растительных ароматических смесей “Spice Diamond”, “Solar”, “Spice Arctic Synergy”, “Tigrin”, “Jah Rush”, “Enigma Choice Premium” и др. Растворы проб готовили при нагревании до начала кипения растворителя и встряхивании, без упаривания экстрактов (0.5 г растительного материала в 5 мл метанола). Для сравнения в ТСХ использовали метанольный экстракт марихуаны. Рабочие растворы с необходимой концентрацией готовили ежедневно перед проведением измерений в условиях ТСХ и ГХ-МС, разбавляя более концентрированные.

Использовали органические растворители: метанол (для хроматографии), гексан, диэтиловый эфир, хлороформ, четыреххлористый углерод, толуол, марки х.ч.

Хроматографические зоны проявляли раствором красителя Прочного синего ББ [3], реактивами Марки и Мекке [9].

2. Результаты и их обсуждение

Скрининг методом высокоэффективной ТСХ. В условиях ТСХ метанольные экстракты исследуемых объектов с помощью микрошприца “Hamilton НРТLC 10 μl ” в количестве 10–30 мкл наносили на пластины для тонкослойной хроматографии “Sorbfil ПТСХ-АФ-В-УФ”. На них же в количестве 5 мкл наносили свободный образец, представляющий собой метанольный экстракт марихуаны с известным каннабиноидным составом. Пластины помещали в хроматографическую камеру, насыщенную одной из систем растворителей (табл. 1), и хроматографировали восходящим способом до подъема фронта элюента на 100 мм. После окончания хроматографирования пластины высушивали при 50 °С в течение 10 мин, а затем выявляли хроматографические зоны по гашению флуоресценции при 254 нм, фиксируя при этом их расположение. После этого выявленные в ультрафиолетовом свете хроматографические зоны проявляли визуализирующими реактивами.

Табл. 1

Значения величин хроматографической подвижности (R_f) некоторых синтетических эндоканнабиноидов в различных хроматографических системах

Определяемое вещество	Значения величины хроматографической подвижности (R_f) в хроматографических системах			Окраска хроматографических зон		
	гексан – диэтиловый эфир (2 : 1)	гексан – хлороформ – четыреххлористый углерод (15 : 15 : 15)	толуол (двукратное хроматографирование)	0.5%-ный раствор Прочного синего ББ	реактив Марки	реактив Мекке
CP-47,497-C ₈	0.10	0.08	0.09	розовый	желтый	желтый
JWH-073	0.63	0.54	0.23	–	желтый	желтый
JWH-018	0.66	0.24	0.32	розовый	желтый	желтый
Репер – ТГК	0.93	0.74	0.70	красный	синий	синий

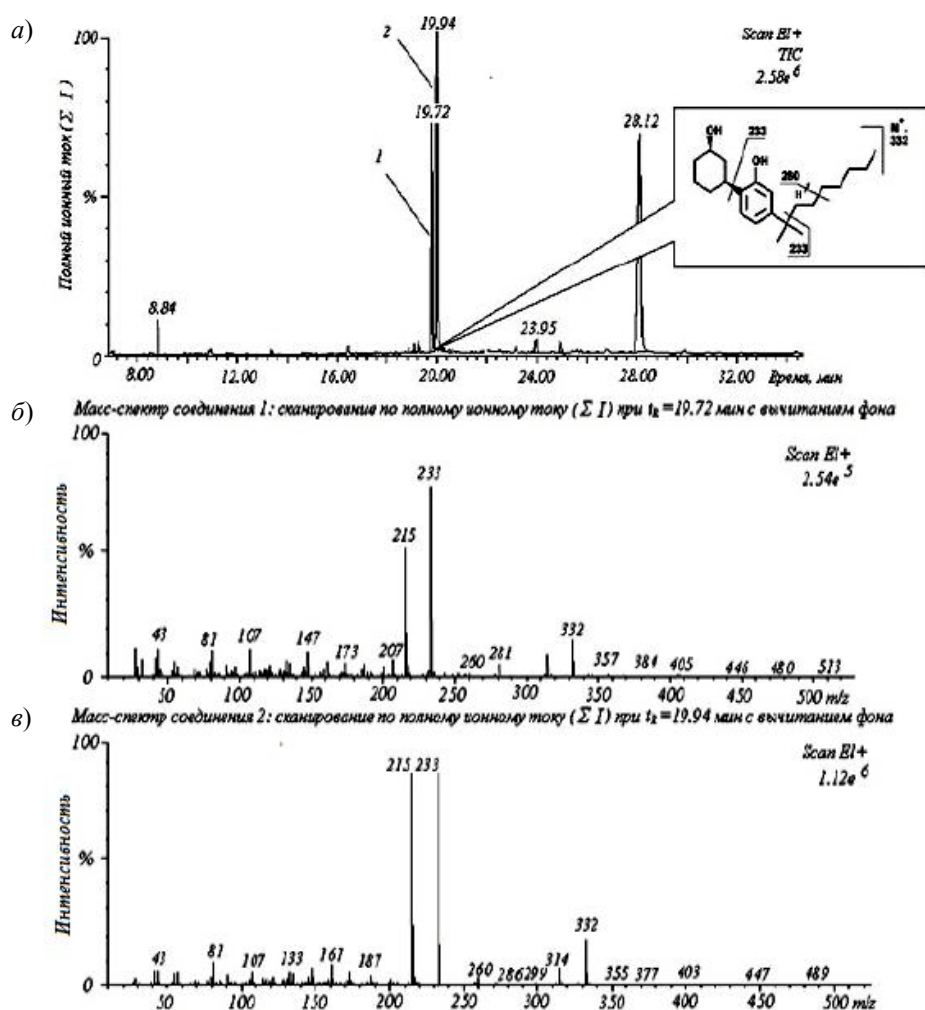


Рис. 1. Профиль общего ионного тока (ΣI) метанольного экстракта микса “Spice Diamond” (а), масс-спектры *транс*- (1) и *цис*- (2) диастереомеров эндоканнабиноида CP-47,497-C₈ (б, в) и предполагаемая схема диссоциативной ионизации молекулы CP-47,497-C₈ под действием ЭУ

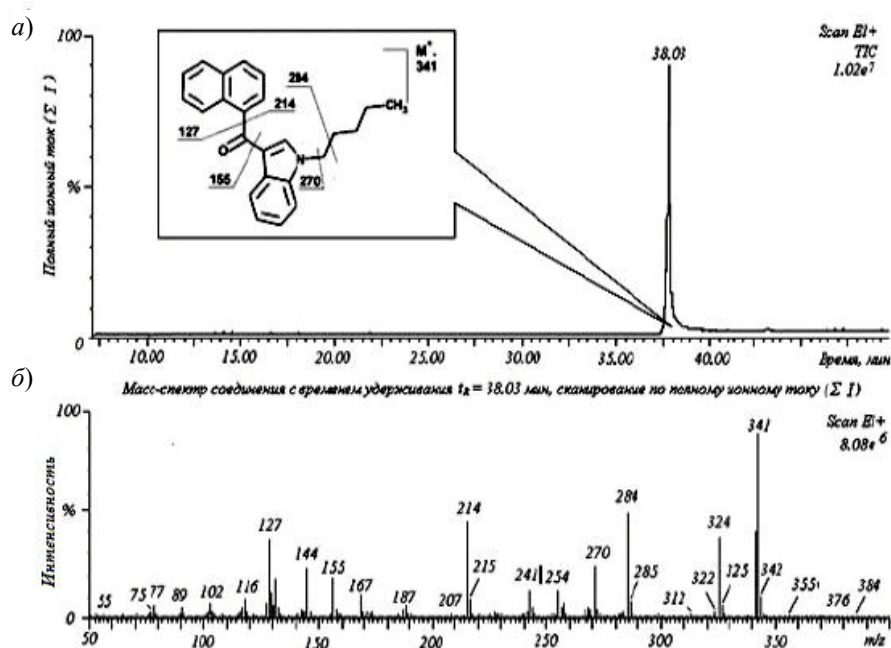


Рис. 2. Профиль общего ионного тока (ΣI) метанольного экстракта микса “Spice Arctic Synergy” (а) и масс-спектр эндоканнабиноида JWH-018 (б)

Результаты исследования хроматографической подвижности препаративно выделенных эндоканнабиноидов методом ТСХ и способов визуализации хроматографических зон проявляющими реактивами приведены в табл. 1.

Использование указанных в табл. 1 составов элюентов позволяет добиться удовлетворительного разделения таких эндоканнабиноидов, как CP-47,497-C₈, JWH-073 и JWH-018. Таким образом, метод ТСХ может быть использован на стадии предварительного исследования упомянутых объектов.

Исследование методом ГХ-МС. Исследования методом ГХ-МС с целью установления химической структуры эндоканнабиноидов и их последующей идентификации проводили с использованием литературных данных [3–9]. Пробоподготовка описана выше. Метанольные экстракты из микса “Spice Diamond” на ионных хроматограммах давали пики компонентов, совпадающие по своим масс-спектрам с масс-спектрами для этилванилина (t_R 8.84 мин), стигмастана (t_R 23.95 мин) и витамина Е (t_R 28.12 мин). Пики с временами удерживания t_R 9.72 мин (1) и t_R 19.94 мин (2) (рис. 1, а) совпадают с масс-спектрами соответственно для транс- и цис-диастереомеров эндоканнабиноида CP-47,497-C₈ ($M \mp 332$) (рис. 1, б, в.).

При наличии в исследуемых смесях его C₉-гомолога следовало бы ожидать присутствие в масс-спектре молекулярного иона с $m/z = 346$, в присутствии C₆-гомолога – $m/z = 318$, а в присутствии CP-47,497 – молекулярного иона $M \mp 314$. Результаты структурного анализа CP-47,497-C₈ подтверждали регистрацией пиков молекулярных и фрагментарных ионов, применяя масс-спектрометрию высокого разрешения при положительной и отрицательной ионизации ($[M-H]^+$) в электроспрее (ESI).

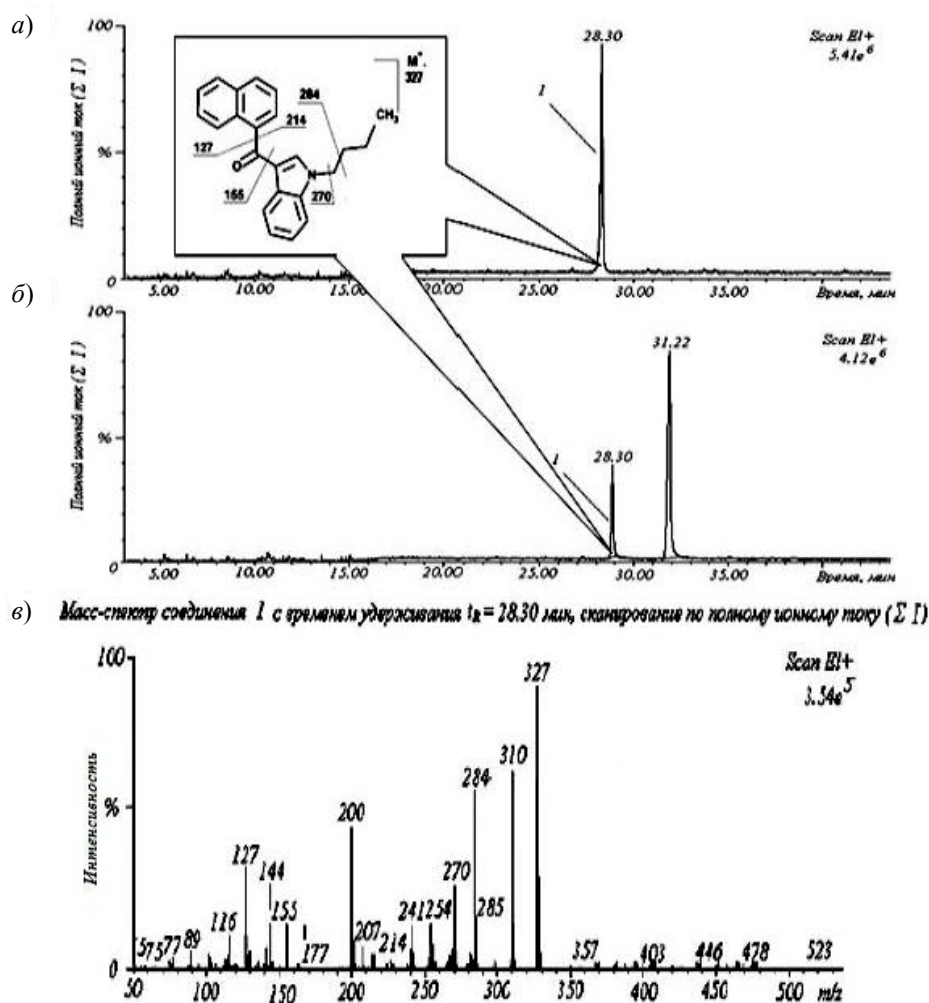


Рис. 3. Профили общего ионного тока (ΣI) метанольных экстрактов миксов "Jan Rush" (а), "Miami" (б) и масс-спектр ЭУ эндоканнабиноида JWH-073 (в), пик со временем удерживания t_R 31.22 мин соответствует по своему масс-спектру эндоканнабиноиду JWH-018

На ионных хроматограммах метанольных экстрактов миксов "Spice Arctic Synergy" и "Tigrin" были зарегистрированы пики соединения (t_R 38.03 мин, рис. 2, а), масс-спектр которого (рис. 2, б) соответствует масс-спектру синтетического эндоканнабиноида JWH-018.

При исследовании миксов "Jan Rush" и "Enigma Choice Premium" на ионных хроматограммах были зарегистрированы пики соединения (t_R 28.30 мин, рис. 3, а). Эти пики обнаруживаются также и при исследовании смесей "Miami" и "Jan Rush+Tigrin" (рис. 3, б), содержащих помимо него и эндоканнабиноид JWH-018. Группа пиков молекулярного иона M327 (рис. 3, в) в масс-спектре ЭУ (t_R 28.30 мин) отвечает составу $C_{23}H_{21}NO$ и отличается от масс-спектра ЭУ JWH-018 на 14 а.е.м. Можно предположить, что в исследуемых образцах содержится близкий структурный аналог JWH-018 – эндоканнабиноид JWH-073, отличающийся от JWH-018 на одну CH_2 -группу в цепи у атома азота.

Табл. 2

Вещества, обнаруженные методом ГХ-МС в растительных ароматических смесях для благовоний

Коммерческое название объекта исследования	CP-47,497-C ₈ (2-[(1R,3S)-3-гидрокси-циклогексил]-5 (2-метилнонан-2-ил)фенол)	JWH-018 (нафталин-1-ил)(1-пентил-1H-индол-3-ил)метанон)	JWH-073 (1-бутил-1H-индол-3-ил) (нафталин-1-ил)метанон	Другие вещества
“Spice Diamond”	+*	–	–	Этилванилин, Витамин Е
“Spice Arctic Synergy”	–	+	–	–
“Sen Sation”	+*	–	–	–
“SOLAR”	+*	–	–	–
“GENIE”	–	+	–	Кофеин
“Fresh spirit”	–	+	–	–
“Jah Rush”	–	+	–	–
“Jah Rush/Tigrin”	–	+	–	–
“Tig.../...ush”	–	+	–	–
“Jah R.../...grin”	–	+	–	–
“Tigrin”	–	+	–	–
“Tigrin Long”	–	+	–	–
“Vanilla”	–	+	–	Этилванилин
“Hydrö Fire”	–	+	–	–
“GOA”	–	+	–	Глицерин
“Miami”	–	+	+	–
“Black joker”	–	+	–	–
“Psi mix”	–	+	–	Витамин Е
“Jan Rush + Tigrin”	–	+	+	–
“Jan Rush”	–	–	+	–
“Enigma Choice Premium”	–	–	+	–
“Enigma Platinum”	–	–	+	–
“Enigma Mint”	–	–	+	–
6 упаковок без этикеток	–	+	+	–
19 упаковок без этикеток	–	+	–	–

* Обнаружены *транс*- и *цис*-диастереомеры CP-47,497-C₈.

Было также обнаружено совместное присутствие этих эндоканнабиноидов в некоторых из растительных ароматических смесей.

В табл. 2 приведены данные о качественном химическом составе растительных ароматических смесей для благовоний, полученные методом хромато-масс-спектрометрии.

Исследования методом ГХ-ПВД. Данные, полученные методом ГХ-МС, показывают, что времена удерживания на хроматограммах исследуемых соединений различаются: время удерживания JWH-018, найденное на хромато-масс-спектрометре фирмы “Perkin-Elmer”, составляет 38.03 мин, а на хромато-масс-спектрометре фирмы “Agilent Technologies” – 31.22 мин. Это различие связано с линейными параметрами используемых однотипных колонок. Для удобства идентификации эндоканнабиноидов методом ГХ в настоящей работе были рассчитаны индексы удерживания (I_R) [15] на газовом хроматографе «Кристалл-2000М», оснащенный ПВД. В результате было установлено, что CP-47,497-C₈

Табл. 3

Индексы удерживания синтетических эндоканнабиноидов, обнаруженных в растительных ароматических смесях для благовоний, поступивших на исследование в ЭКЦ МВД по Республике Татарстан

№	Определяемое вещество	Индекс удерживания (I_a)
1	(<i>транс</i> -)СР-47,497-С ₈	2729
2	(<i>цис</i> -)СР-47,497-С ₈	2772
3	JWH-073	3105
4	JWH-018	3172

Табл. 4

Относительные массовые коэффициенты эндоканнабиноидов

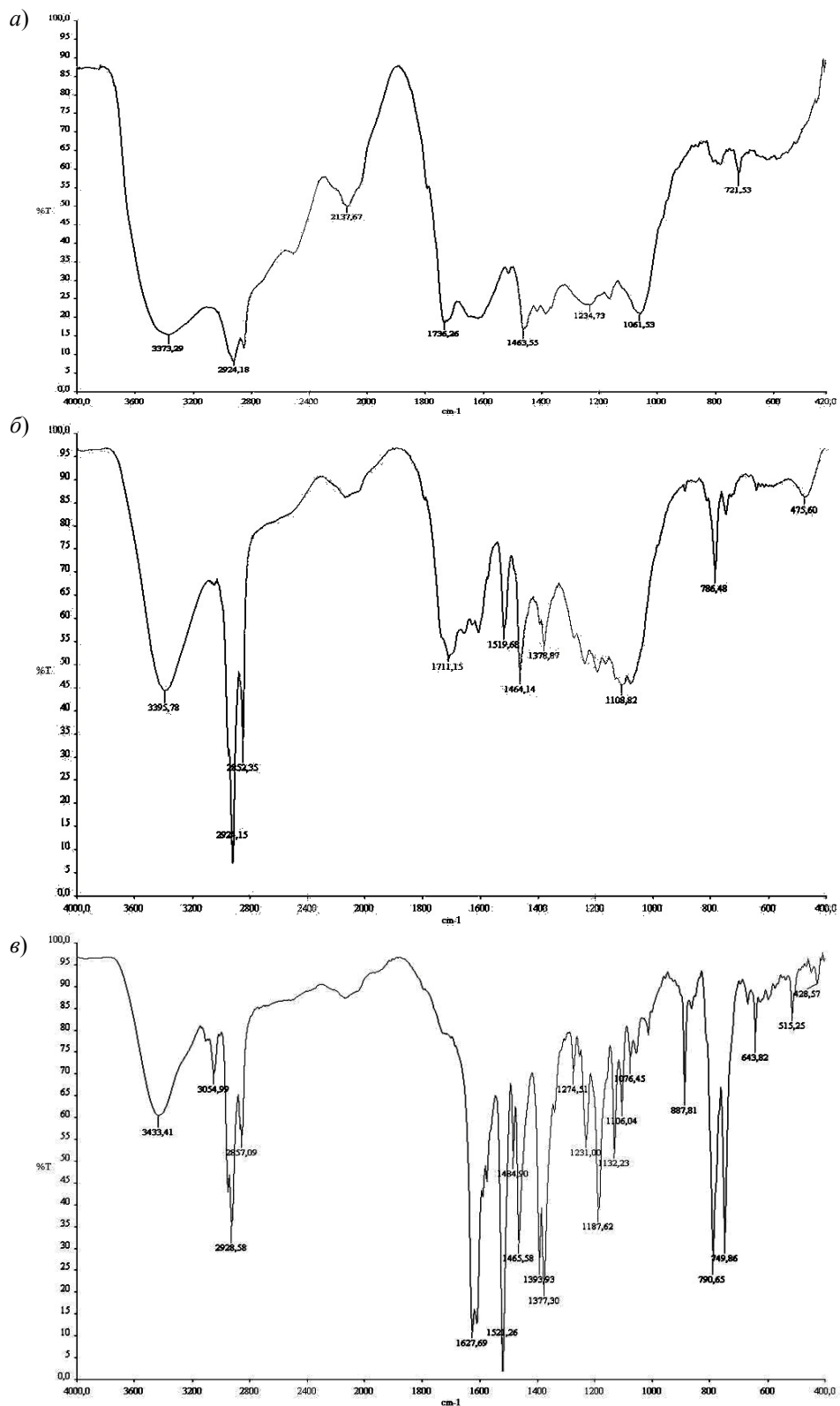
Определяемое вещество	Относительный массовый коэффициент к МС	Относительный массовый коэффициент к ТГК
(<i>транс</i> -, <i>цис</i> -)СР-47,497-С ₈	1.06	1.01
JWH-073	1.09	1.04
JWH-018	1.15	1.09

элюируется между *n*-алканами с числом углеродных атомов С₂₆ и С₂₇, JWH-073 – между *n*-алканами с числом углеродных атомов С₃₀ и С₃₁, а JWH-018 – между *n*-алканами с числом углеродных атомов С₃₁ и С₃₂. Рассчитанные индексы удерживания эндоканнабиноидов приведены в табл. 3.

Полученные данные могут быть использованы для идентификации эндоканнабиноидов СР-47,497-С₈, JWH-073 и JWH-018 методом ГХ при отсутствии масс-селективного детектора.

Для количественного ГХ-определения эндоканнабиноидов с использованием метода внутреннего стандарта были определены их относительные массовые коэффициенты к внутреннему стандарту, в качестве которого применяли метилстеарат (МС) или ТГК, полученный методом препаративной ТСХ. Относительные массовые коэффициенты эндоканнабиноидов представлены в табл. 4.

Исследования эндоканнабиноидов методом ИК-спектроскопии. Для получения ИК-спектров эндоканнабиноидов СР-47,497-С₈, JWH-073 и JWH-018 их выделяли, используя препаративную тонкослойную хроматографию. В ИК-спектре JWH-018 (рис. 4, *а*) имеются полосы поглощения СН₃- и СН₂-групп при 2955, 2928, 2825, 1465, 1377 см⁻¹, α-замещенного нафталинового и индольного циклов – полосы при 3054, 1627, 1611, 1521, 1393, 790, 749 см⁻¹, а также СОН-группы (1726 см⁻¹). ИК-спектр JWH-073 (рис. 4, *б*), являющийся С₄-гомологом JWH-018, содержит аналогичный набор основных полос поглощения. ИК-спектр СР-47,497-С₈ (рис. 4, *в*) по положению основных полос поглощения (полосы при 3373, 2924, 2852, 1619, 1516, 1463, 1415, 1386, 1234, 1167, 1061, 721 см⁻¹) в целом соответствует структуре бициклического эндоканнабиноида группы циклогексилфенолов.

Рис. 4. ИК-спектры JWH-018 (а), JWH-073 (б) и CP-47,497-C₈ (в) в таблетках из КВг

Summary

I.M. Fitsev, A.R. Saitgaraeva, H.C. Budnikov. Endocannabinoids in Herbal Aromatic Mixtures.

The article discusses the results of complex research of herbal aromatic mixtures containing endocannabinoids like CP-47,497, JWH-018, JWH-073, with application of thin layer chromatography, gas chromatography-mass spectrometry and flame-ionization detector, and infrared spectroscopy. An effective solution of the problem of some cannabinoid mimicking compounds (CP-47,497-C₈, JWH-018, and JWH-073) in herbal aromatic mixtures is only achievable with the help of complex chemical and physical methods that could provide a high degree of reliability.

Key words: synthetic endocannabinoids, CP-47,497-C₈, JWH-018, JWH-073, cannabimimetics, herbal aromatic mixtures, chromatography-mass spectrometry, infrared spectroscopy, criminalistic examination and identification.

Литература

1. *Lindigkeit R., Boehme A., Eiseloh I., Luebbecke M., Wiggermann M., Ernst L., Beuerle T.* Spice: A never ending story? // *Forensic Sci. Int.* – 2009. – V. 191, No 1. – P. 58–63.
2. *Zimmermann U.S., Winkelmann R.S., Pilhatsch M., Nees J.A., Spanagel R., Schulz K.* Withdrawal phenomena and dependence syndrome after the consumption of “Spice Gold” // *Deutsches Ärzteblatt Int.* – 2009. – Bd. 106, H. 27. – S. 464–467.
3. *Steup C.* Untersuchung des Handelsproduktes «Spice» // *THC PHARM GmbH • Offenbacher Landstr. 335 HH • 60599 Frankfurt.* – URL: <http://www.thc-pharm.de>.
4. *Auwärter V., Dresen S., Weinmann W., Müller M., Pütz M., Ferreiros N.* “Spice” and other herbal blends: Harmless incense or cannabinoid designer drugs? // *J. Mass. Spectrom.* – V. 44, No 5. – P. 832–837.
5. “Spice” – plant material(s) laced with synthetic cannabinoids or cannabinoid mimicking compounds // *Microgram Bull.* – 2009. - V. 42, No 3. – P. 23–24.
6. *Uchiyama N., Kikura-Hanajiri R., Kawahara N., Goda Y.* Identification of a cannabimimetic indole as a designer drug in a herbal product // *Forensic Toxicol.* – 2009. - V. 27, No 2. – P. 61–66.
7. *Sadeg N., Bouchene S., Frances B., Coulais Y., Tafani M., Palmaro A., Deperez D., Belhadj-Tahar H.* Toxicovigilance of cannabinomimetic drugs: Pertinence and contribution of predictive toxicology // *Abstr. Pap. IVth Mediterranean Academy of Forensic Sciences Meeting. 14–18 October 2009, Antalya, Turkiye.* – 2009. – P. 123.
8. *Mustata C., Torrens M., Pardo R., Perez C.* Spice drugs: cannabinoids as a new designer drugs // *Addiciones.* – 2009. - V. 21, No 3. – P. 181–186.
9. JWH-073 (Purported “Spice” ingredient) in Virginia // *Microgram Bull.* – 2009. - V. 42, No 9. – P. 75.
10. *Weissman A., Milne G.M., Melvin L.S. Jr.* Cannabimimetic activity from CP-47,497, a derivative of 3-phenylcyclohexanol // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* – 1982. - V. 223, No 2. – P. 516–523.
11. *Huffman J.W., Szklennik P.V., Almond A., Bushell K., Selley D.E., He H., Cassidy M.P., Wiley J.L., Martin B.R.* 1-Pentyl-3-phenylacetylindoles, a new class of cannabimimetic indoles // *Bioorgan. Med. Chem.* – 2005. - V. 15, No 18. – P. 4110–4113.
12. *Marijuana and Medicine / Eds. G.G. Nahas, M.K. Suttin, D.J. Harvey, S. Agurell.* – Tolowa, New Jersey: The Humana Press Inc., 1999. – 826 p.

13. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. Action on new drugs briefing paper: Understanding the “Spice” phenomenon (a report from an EMCDDA expert meeting. Lisbon, 6 March, 2009. Updated version: 13 August 2009). – 25 p.
14. *Järbe T.U.; Hiltunen A.J., Mechoulam R.* Stereospecificity of the discriminative stimulus functions of the dimethylheptyl homologs of 11-hydroxy-delta 8-tetrahydrocannabinol in rats and pigeons // *J. Pharmacol. Exp. Ther.* – 1989. - V. 250, No 3. – P. 1000–1005.
15. Высокоэффективная газовая хроматография / Под ред. К. Хайвера. – М.: Мир, 1993. – 228 с.

Поступила в редакцию
02.12.09

Фицев Игорь Михайлович – кандидат химических наук, заместитель начальника отдела специальных экспертиз Экспертно-криминалистического центра МВД по Республике Татарстан, г. Казань.

E-mail: fitzev@mail.ru

Сайтгараева Аделя Рашитовна – студент кафедры аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

Будников Герман Константинович – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии Химического института им. А.М. Бутлерова Казанского государственного университета.

E-mail: Herman.Budnikov@ksu.ru