

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-99-104>
УДК 635.64:581.1.045:581.13

О.А. Чунихина¹, М.П. Разгонова^{1,2},
А.М. Захаренко^{1,2}, К.С. Голохваст^{1,2,3,4}

¹ ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР) 190031, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42

² ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Школа Биомедицины 690922, Россия, Владивосток, остров Русский, Аякс, 10

³ ФГБНУ «Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Академии Наук РФ» 690041, Россия, Владивосток, ул. Радио, 7

⁴ ФГБНУ «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий» 633501, Россия, Новосибирская область, Краснообск, СФНЦ РАН, а/я 463

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в планировании и постановке эксперимента, а также в анализе экспериментальных данных и написании статьи.

Для цитирования: Чунихина О.А., Разгонова М.П., Захаренко А.М., Голохваст К.С. Исследование плодов образцов томата *Solanum lycopersicum* L., происходящих из разных климато-географических зон, и идентификация метаболитов методом tandemной масс-спектрометрии. *Овощи России*. 2021;(4):99-104.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-99-104>

Поступила в редакцию: 31.05.2021
Принята к печати: 17.07.2021
Опубликована: 25.08.2021

Olga A. Chunikhina¹, Maya P. Razgonova^{1,2},
Alexander M. Zakharenko^{1,2},
Kirill S. Golokhvast^{1,2,3,4}

¹ FSBSI "Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources" (VIR) 42, st. Bolshaya Morskaya, St. Petersburg, 190031, Russia

² "Far Eastern Federal University", School of Biomedicine 10, Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia

³ FSBSI "Pacific Geographical Institute Far-Eastern branch, Russian Academy of Sciences" 7, st. Radio, Vladivostok, 690041, Russia

⁴ FSBSI "Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology" PO Box 463, SFNTSA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk region, 633501, Russia

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Authors' Contribution: All authors contributed to the planning and setting up the experiment, as well as in the analysis of experimental data and writing of the article.

For citations: Chunikhina O.A., Razgonova M.P., Zakharenko A.M., Golokhvast K.S. Research of tomatoes *Solanum lycopersicum* L. originating from different climatic-geographical regions and identification of metabolites by tandem mass spectrometry. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(4):99-104. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-4-99-104>

Received: 31.05.2021
Accepted for publication: 17.07.2021
Accepted: 25.08.2021

Исследование плодов образцов томата *Solanum lycopersicum* L., происходящих из разных климато-географических зон, и идентификация метаболитов методом tandemной масс-спектрометрии



Резюме

Актуальность. Целый ряд научных исследований подтверждает, что потребление фруктов и овощей может снизить риск некоторых хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания, например, потребление свежих помидоров и продуктов из томатов обратно пропорционально развитию некоторых видов рака. Плоды томата *Solanum lycopersicum* L. содержат большое количество полифенольных комплексов, являющихся биологически активными соединениями. В данной статье авторы впервые попытались представить полный метаболомный состав экстрактов плодов *Solanum lycopersicum*.

Материалы и методы: В качестве объекта исследования были использованы плоды томатов *Solanum lycopersicum* L. из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов им. Н.И. Вавилова, выращенные и собранные на Дальневосточной опытной станции Филиале ВИР в сентябре 2020 года (сорта: k-5351 Ont77 13, Канада; k-3149 Rehovoth, Израиль; 2698 Украина). Для идентификации целевых аналитов в экстрактах, полученных мацерационным методом, использована высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) в комплексе с ионной ловушкой BRUKER DALTONIKS (tandemная масс-спектрометрия).

Результаты: Результаты начальных исследований выявили присутствие 36 полифенольных соединений и соединений других классов, из них 22 идентифицированы впервые в *Solanum lycopersicum* L. Это апигенин, лютеолин, кампферол, таксифолин, мирицетин, кутаровая кислота, кофеилмалеваая кислота, каftarовая кислота, дикафеоилхиновая кислота, кумарины фраксетин и глюкоронид фраксетина, антоцианин пеларгонидин, сальвианоливая кислота D, розманол, колнеленовая кислота, этил розмаринат, лигнан медиоресинол, сквален и др. Полученные данные помогут интенсифицировать будущие исследования по разработке и производству различных продуктов функционального питания, содержащих целевые экстракты *Solanum lycopersicum* L.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum*, томат, ВЭЖХ-МС/МС, tandemная масс-спектрометрия, полифенольные соединения

Research of tomatoes *Solanum lycopersicum* L. originating from different climatic-geographical regions and identification of metabolites by tandem mass spectrometry

Abstract

Relevance. A number of scientific studies confirm that consumption of fruits and vegetables can reduce the risk of certain chronic diseases, such as cancer and cardiovascular diseases, for example, consumption of fresh tomatoes and tomato products is inversely proportional to the development of certain types of cancer. Tomato *Solanum lycopersicum* L. contains a large number of polyphenolic complexes, which are biologically active compounds. In this article, the authors have attempted for the first time to present the complete metabolomic composition of *Solanum lycopersicum* extracts.

Materials and methods: As an object of research, authors used the extracts of *Solanum lycopersicum* L., from the collection of the Federal Research Center N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, grown and collected at the Far Eastern Experiment Station Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution in September 2020 (varieties: k-5351 Ont77 13, Canada; k-3149 Rehovoth, Israel; 2698 Ukraine). High performance liquid chromatography (HPLC) in combination with a BRUKER DALTONIKS ion trap (tandem mass spectrometry) was used to identify target analytes in extracts obtained by the maceration method.

Discussion: The results of initial studies revealed the presence of 36 biologically active compounds, of which 22 were identified for the first time in *Solanum lycopersicum* L. These are Apigenin, Luteolin, Kaempferol, Taxifolin, Myricetin, Coumaric acid, Caffeoylmalic acid, Cafataric acid, Dicafeoylquinic acid, coumarins Fraxetin, and Fraxetin-7-O-beta-glucuronide, Pelargonidin, Salvianolic acid D, Rosmanol, Colnelenic acid, Ethyl rosemary, lignan Medioresinol-O-hexoside, Squalene, etc. The findings will help to intensify future research into the development and production of various functional food products containing targeted extracts of *Solanum lycopersicum* L.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, tomato, HPLC-MS / MS, tandem mass spectrometry, polyphenolic compounds

Введение

Целый ряд научных исследований подтверждает, что потребление фруктов и овощей может снизить риск некоторых хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания [Willett W.C., 1994; Temple N.J., 2000], например, потребление свежих помидоров и продуктов из томатов обратно пропорционально развитию некоторых видов рака [Giovannucci et al., 1999]. Было высказано предположение, что фенольные соединения играют важную роль в сохранении здоровья человека из-за свойств, связанных с их антиоксидантной способностью, благодаря которой они могут обеспечивать антиоксидантную защиту от окислительных процессов и предотвращать некоторые заболевания [Manach et al., 2004; Zanotti et al., 2014]. Фенольные соединения – это водорастворимые вещества, которые имеют тенденцию накапливаться в поверхностных оболочках плодов и цветов растения вследствие их потенциальной роли в защите от ультрафиолетового излучения [Carrillo-Lopez et al., 2013] и связаны с ростом, развитием и защитой растения от различных патогенов и паразитов, помимо придания окраски плодам фруктов и овощей [Robards & Antolovich, 1997]. В томате основные присутствующие фенольные кислоты – это хлорогеновая и кофейная кислоты, также присутствовали феруловая кислота, рутин и производные хлорогеновой кислоты [Minoggio et al., 2003]. Slimestad и Verheulm, (2009) также сообщили, что хлорогеновые кислоты и их родственные соединения являются основными фенольными соединениями в томатах, помимо флавоноидов. Что касается лечебных свойств хлорогеновой кислоты, то это фенольное соединение обладает рядом полезных для здоровья свойств, связанных с мощной антиоксидантной активностью, а также гепатопротекторной, гипогликемической и противовирусной активностью [Farah & Donangelo, 2006.].

Настоящая работа рассматривает детальный метаболомный анализ томатов *Solanum lycopersicum* L., из коллекции Всероссийского института генетических исследований им. Н.И. Вавилова, выращенных и собранных на Дальневосточной опытной станции Филиале ВИР в сентябре 2020 года. В выборке представлен метаболомный анализ мацерационных экстрактов плодов томатов к-5351 Ont77 13 (Канада), к-3149 Rehovoth (Израиль) и 2698 (Украина).

2. Материалы и методы

2.1 Материалы

В качестве объекта исследования были использованы плоды томатов *Solanum lycopersicum* L., из коллекции Всероссийского института генетиче-

ских исследований им. Н.И. Вавилова, выращенные и собранные на Дальневосточной опытной станции Филиале ВИР в сентябре 2020 года (сорта: к-5351 Ont77 13, Канада; к-3149 Rehovoth, Израиль; 2698 Украина).

2.2 Методы

2.1 Дробная мацерация. Для получения высококонцентрированных экстрактов была применена дробная мацерация. При этом общее количество экстрагента (метилового спирта х.ч.) разделено на 3 части и последовательно настояно на плодах *Solanum lycopersicum* L., с первой частью, затем со второй и третьей. Время настойки каждой части экстрагента составляло 7 дней.

2.2 Высокоэффективная жидкостная хроматография. Для выполнения разделения многокомпонентных смесей использовался жидкостный хроматограф высокого давления Shimadzu LC-20 Prominence HPLC (Shimadzu, Япония), оборудованный UV-детектором и обратнофазной колонкой Shodex ODP-40 4E. Программа элюции градиента следующая: 0,0 – 4 мин, 100% CH₃CN; 4 – 60 мин, 100% – 25% CH₃CN; 60 – 75 мин, 25% – 0 % CH₃CN; контрольная промывка 75-120 мин 0% CH₃CN. Весь ВЭЖХ-анализ сделан с UV-VIS-детектором SPD-20A (Kanda-Nishikicho 1-chrome, Shimadzu, Chiyoda-ku, Токио, Япония) при длинах волн 230 нм и 330 нм; температура 17°C. Объем впрыска составлял 1 мл.

2.3 Тандемная масс-спектрометрия. Масс-спектрометрические данные получены с помощью ионной ловушки amaZon SL (производство фирмы «BRUKER DALTONIKS», Германия), оснащенной источником ионизации электрораспылением ESI в режимах отрицательных и положительных ионов. Оптимизированные параметры получены следующим образом: температура источника ионизации: 70°C, поток газа: 4 л/мин, газ-небилайзер (распылитель): 7,3 psi, капиллярное напряжение: 4500 V, напряжение на изгибе торцевой пластины: 1500 V, фрагментатор: 280 V, энергия столкновения: 60 eV. Масс-спектрометр использовался в диапазоне сканирования m/z 100 – 1.700 для MS и MS/MS. Произведена фрагментация 4 порядка.

3. Результаты исследований

Уточнение метаболомного состава – чрезвычайно важный результат в системе биохимического анализа. В данной работе был использован метод ВЭЖХ-МС/МС с дополнительной ионизацией и анализом фрагментированных ионов. Высокоточные масс-спектрометрические данные регистрировались на ионной ловушке AMAZON SL BRUKER DALTONIKS, оснащенной источником ESI в режиме отрицатель-

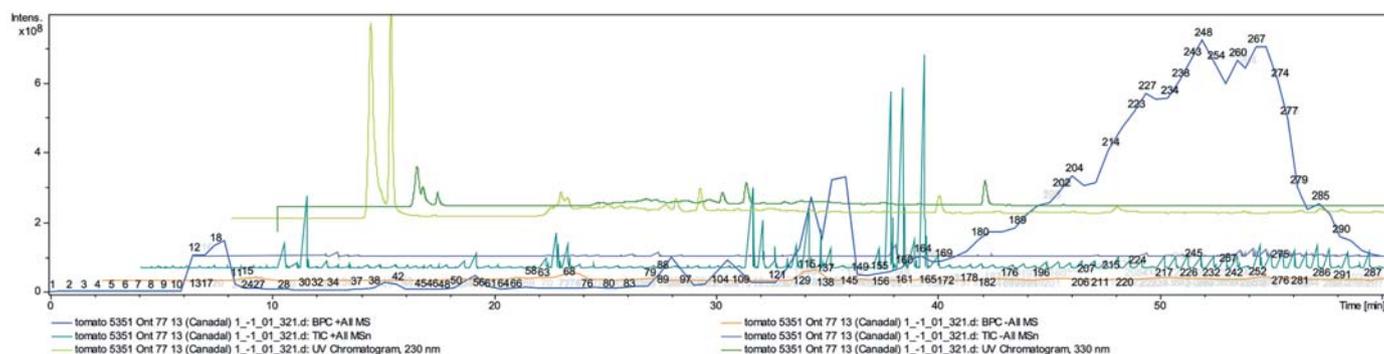


Рис. 1. Распределенный график тандемной масс-спектрометрии анализируемых целевых аналитов экстракта *Solanum lycopersicum* (κ-5351 Ont77 13, Канада), представленный ионной хроматограммой
Fig 1. Chemical profiles of the *Solanum lycopersicum* (variety κ-5351 Ont77 13, Canada) sample represented total ion chromatogram from MeOH-extract

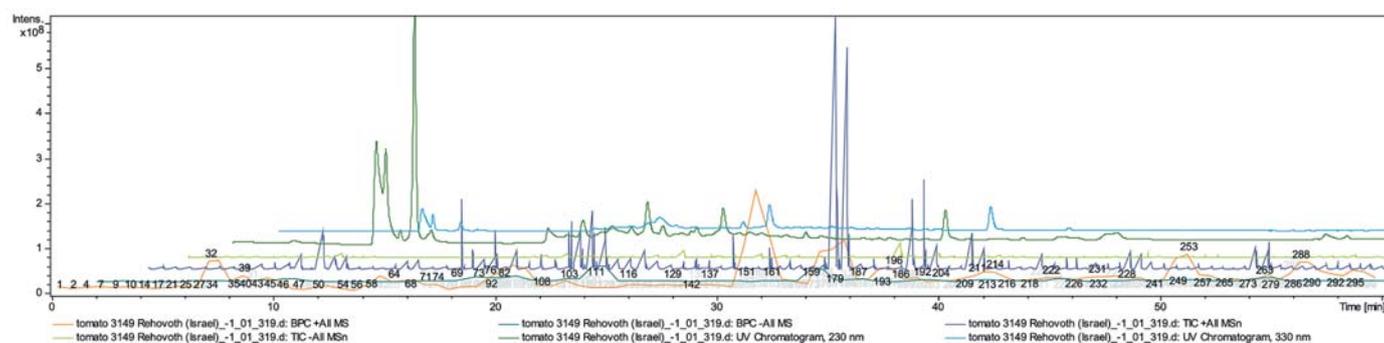


Рис. 2. Распределенный график тандемной масс-спектрометрии анализируемых целевых аналитов экстракта *Solanum lycopersicum* (κ-3149 Rehovoth, Израиль), представленный ионной хроматограммой
Fig 2. Chemical profiles of the *Solanum lycopersicum* (variety κ-3149 Rehovoth, Israel) sample represented total ion chromatogram from MeOH-extract



Рис. 3. Распределенный график тандемной масс-спектрометрии анализируемых целевых аналитов экстракта *Solanum lycopersicum* (2698 Украина), представленный ионной хроматограммой
Fig 3. Chemical profiles of the *Solanum lycopersicum* (variety 2698, Ukraine) sample represented total ion chromatogram from MeOH-extract

ных/положительных ионов. Использовалось четырехступенчатое фрагментирование ионов.

Ниже представлены распределенные графики тандемной масс-спектрометрии анализируемых целевых аналитов экстрактов *Solanum lycopersicum* (рис. 1, 2, 3). Всего на ионных хроматограммах было обнаружено 300 пиков выделенных целевых аналитов.

Для простоты идентификации составлена унифицированная системная таблица молекулярных масс целевых аналитов, выделенных из экстрактов плодов *Solanum lycopersicum* (табл. 1). В результате масс-спектрометрического исследования выделено 36 метаболомных соединений, из них 22 комплекса идентифицированы в *Solanum lycopersicum* впервые. Идентификация соединений (значения

Таблица 1. Соединения, идентифицированные в экстракте плодов *Solanum lycopersicum*
Table 1. Identified target analytes in MeOH extracts of *Solanum lycopersicum*

	Коллекционные номера ВИР	Группа соединений	Идентификация соединения	Химическая формула	Молярная масса	Ион-аддукт [M-H] ⁻	Ион-аддукт [M+H] ⁺	MS/MS фрагментация 1 порядка	MS/MS фрагментация 2 порядка	MS/MS фрагментация 3 порядка
		Полифенолы								
1	2698 Ukraine	Флавоноид	Apigenin [5,7-Dihydroxy-2-(40-Hydroxyphenyl)-4H-Chromen-4-One]	C15H10O5	270.2369	269		179; 119	161; 143; 113	
2	2698 Ukraine	Флавоноид	Luteolin	C15H10O6	286.2363		287	227; 269; 153; 114	153; 130	
3	2698 Ukraine	Флавоноид	5,6-Dihydroxy-7,8,3',4'-tetramethoxyflavone	C19H18O8	374.3414	373		341	297; 269; 241; 176; 134	239; 152
4	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Флавоноид	Chrysoeriol O-hexoside	C22H22O11	462.4036		463	454; 416; 391; 347; 327; 307	445; 407; 398; 391; 380; 347; 329	
5	2698 Ukraine	Флавоноид	Apigenin-C-hexoside-C-pentoside	C26H28O14	564.4921		565	536; 505; 457; 353; 321	457; 430; 329; 273	442; 381
6	2698 Ukraine	Флаванол	Kaempferol	C15H10O6	286.2363		287	185; 268; 215; 154	275	
7	2698 Ukraine	Флаванол	Quercetin	C15H10O7	302.2357					
8	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Флаванол	Dihydroquercetin (Taxifolin; Taxifolol)	C15H12O7	304.2516		305	303; 285; 260; 231; 212	274; 260; 217; 174	
9	2698 Ukraine	Флаванол	Myricetin	C15H10O8	318.2351		319	272; 247; 192; 151	133	
10	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Флаванол	Rutin (Quercetin 3-O-Rutinoside)	C27H30O16	610.5175	609		300; 170	271; 178; 121	270; 199; 163
11	κ-3149 Rehovoth (Israel); κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Флаванол	Rutin-O-pentoside	C32H38O20	742.6321	741.11		300; 723; 651; 609; 506; 385; 255	271; 151	
12	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Флаванон	Naringenin [Naringetol; Naringenine]	C15H12O5	272.5228	271		179	163; 119	
13	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Флаванон	Naringenin-O-hexoside	C21H22O10	434.3934	433		271	151; 177; 119.11	
14	κ-3149 Rehovoth (Israel); κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Фенилпропанол (производное коричной кислоты)	p-Coumaric acid	C9H8O3	164.16		165	120; 149	120	
15	κ-3149 Rehovoth (Israel); 2698 Ukraine	Гидроксикоричная кислота	Coumaric acid [Trans-P-Coumaroyltartaric acid]	C13H12O8	296.2296		297.18	147; 204; 237	119	
16	κ-5351 Ont 77 13 (Canada); 2698 Ukraine	Гидроксикоричная кислота	Caffeoylmalic acid	C13H12O8	296.2296		297.2	279; 266; 239; 218; 195; 167	205.17; 182	
17	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Гидроксикоричная кислота	Caftaric acid [Cis-Caftaric acid; 2-Caffeoyl-L-Tartaric acid; Caffeoyl Tartaric acid]	C13H12O9	312.23		313	120; 177; 283		
18	κ-3149 Rehovoth (Israel); 2698 Ukraine	Гидроксикоричная кислота	Caffeic acid-O-hexoside [Caffeoyl-O-hexoside]	C15H18O9	342.298	341		281; 251; 179; 135	179; 221	
19	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Фенилпропанол (производное коричной кислоты)	Chlorogenic acid [3-O-Caffeoylquinic acid]	C16H18O9	354.3087	353		191; 255; 316	173; 127	
20	κ-3149 Rehovoth (Israel); κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Фенилпропанол (производное коричной кислоты)	Cryptochlorogenic acid [4-O-Caffeoylquinic acid; Quinic acid 4-O-Caffeate]	C16H18O9	354.3087	353		191	111; 172	
21	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Фенилпропанол (производное коричной кислоты)	4,5-O-dicaffeoylquinic acid [Isochlorogenic acid C]	C25H24O12	516.4509		517	477; 471; 458; 409; 359; 349; 323; 265; 217; 183; 167		
22	κ-3149 Rehovoth (Israel); κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Производное гидроксибензойной кислоты	Vanillic acid-O-hexoside	C14H18O9	330.2889	329		229; 212; 183; 171; 153; 247; 273; 293; 311	211; 183; 167; 155	211; 193; 183; 175; 151
23	κ-3149 Rehovoth (Israel); κ-5351 Ont 77 13 (Canada);	Гидроксикоричная кислота	Salvianolic acid D	C20H18O10	418.3509	417		373; 347	347; 329; 303	347; 329; 303
24	2698 Ukraine	Антоцианин	Pelargonidin [Pelargonidol chloride]	C15H11O5+	271.2493		271	253; 197; 169; 135	233; 208; 181; 145	
25	κ-5351 Ont 77 13 (Canada); 2698 Ukraine	Кумарин	Fraxetin	C10H8O5	208.1675	207		179; 161; 136	135	
26	κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Кумарин	Fraxetin-7-O-beta-glucuronide	C16H16O11	384.2916		385	342; 317; 293; 235; 227; 209; 177		
27	2698 Ukraine	Другие соединения Циклогексанкарбоновая кислота	Perillic acid	C10H14O2	166.217	165		147	119	
28	κ-5351 Ont 77 13 (Canada); 2698 Ukraine	Трикарбоновая кислота	Citric acid [Anhydrous; Citrate]	C6H8O7	192.1235	191		111; 173; 129	111	
29	2698 Ukraine	Омега-3 жирная кислота	Linolenic acid (Alpha-Linolenic acid; Linolenate)	C18H30O2	278.4296		279	260; 233; 207; 166; 120	120	
30	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Оксипипин	Colnelenic acid	C18H28O9	292.4131		293.03	275; 230; 147	257; 229; 147	
31	κ-3149 Rehovoth (Israel); 2698 Ukraine	Оксипипин	11-Hydroperoxy-octadecatrienoic acid	C18H30O4	310.4284	309		291; 265; 247; 209; 193; 183; 171	273; 223; 211; 193; 178; 167; 151; 137	
32	2698 Ukraine	Дитерпеноид	Rosmanol	C20H26O5	346.4174	345		299; 271; 239; 209; 179	271; 226; 179; 125	243; 227; 199; 156
33	2698 Ukraine	Бензолпропановая кислота	Ethyl rosmarinic acid	C20H20O8	388.3680	387		163; 207; 245; 287	164	
34	κ-5351 Ont 77 13 (Canada)	Тритерпеноид	Squalene (Trans-Squalene; Spinacene; Supraene)	C30H50	410.718	411		203; 393; 351; 338; 291; 249; 231; 185; 166	143	
35	κ-3149 Rehovoth (Israel)	Тритерпеноид	1-Hydroxy-3-oxo-12-en-28-oiic acid	C30H46O4	470.6838		471	461.58; 380.58; 255; 162	453; 347; 309.9; 203; 162	
36	κ-5351 Ont 77 13 (Canada); 2698 Ukraine	Лигнан	Medioresinol-O-hexoside	C27H34O12	550.6	549		387; 369; 161	163.09; 343.27; 250; 225; 209; 149	147

Апигенин

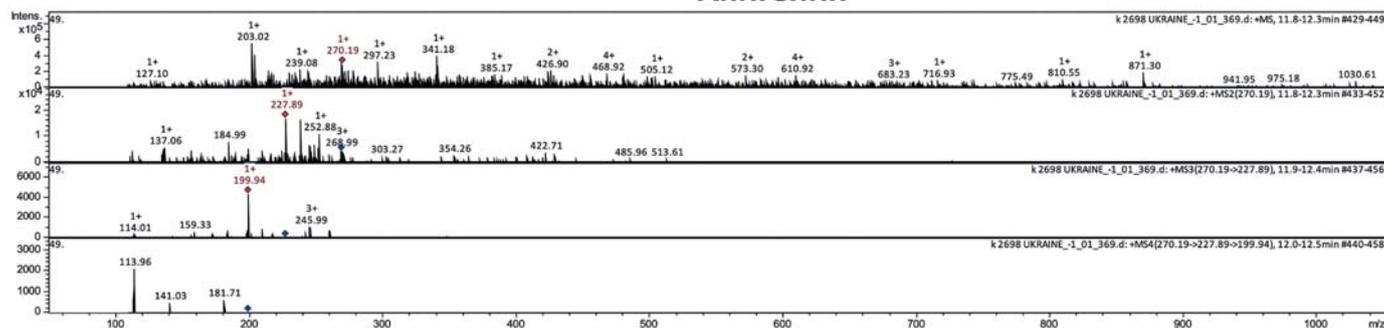


Рис.4. Масс-спектр соединения апигенина, полученный из экстракта плодов *Solanum lycopersicum*, m/z 270.19
 Fig. 4. Mass spectrum of apigenin compound obtained from *Solanum lycopersicum* fruit extract, m/z 270.19

Сальвианоловая кислота D

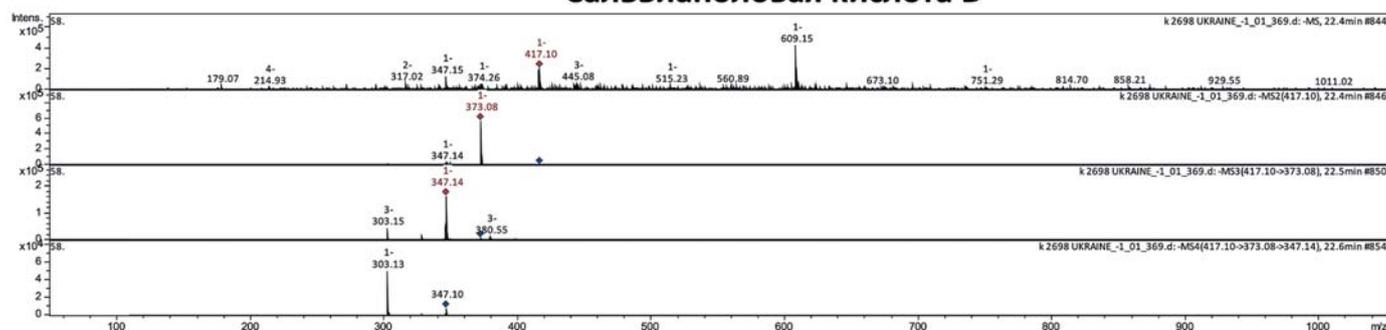


Рисунок 5. Масс-спектр сальвианоловой кислоты D, полученный из экстракта плодов *Solanum lycopersicum*, m/z 417.1
 Fig. 5. Mass spectrum of salvianic acid D obtained from extract of fruits of *Solanum lycopersicum*, m/z 417.1 v

m/z и фрагментированные ионы) производилась путем сравнения полученных экспериментальных данных с известными научными результатами [Pandey et al., 2016; Wojakowska et al., 2013; Vallverdu-Queralt et al., 2012; Ruiz et al., 2013; Goufo et al., 2020; Dinelli et al., 2011; Marzouk et al., 2018; Zhang et al., 2018; Jaiswal et al., 2014; Rodriguez-Perez et al., 2018 и др.].

На рисунках 4-5 показаны наиболее яркие примеры масс-спектров ионных хроматограмм, полученных с помощью тандемной масс-спектрометрии. Масс-спектр апигенина в режиме положительных ионов, полученный из экстракта плодов *Solanum lycopersicum*, показан на рисунке 2.

[M+H]⁺ ион продуцирует три фрагментированных иона, m/z 227.89, m/z 184.99 и m/z 137.06 (Рисунок 4). Фрагментированный ион m/z 227.89 формирует три характерных дочерних иона (m/z 199.94, m/z 159.33, m/z 114.01). Далее идет фрагментация четвертого порядка: фрагментированный ион m/z 199.94 формирует три дочерних иона: m/z 181.71, m/z 141.03 и m/z 113.96. В нижеприведенных статьях данное соединение идентифицируется, как апигенин: *Triticum aestivum* L. [Dinelli et

al., 2011; Wojakowska et al., 2013] *Mentha* [Marzouk et al., 2018]; *Bauninia championii* [Zhang et al., 2018]; *Lonicera henryi* [Jaiswal et al., 2014]. Масс-спектр сальвианоловой кислоты D в режиме отрицательных ионов, полученный из экстракта плодов *Solanum lycopersicum*, показан на рисунке 5.

[M-H]⁻ ион продуцирует один фрагментированный ион, m/z 373.08 (рис.5). Фрагментированный ион m/z 373.08 формирует два характерных дочерних иона: m/z 347.14 и m/z 303.15. Фрагментированный ион m/z 347.14 формирует один дочерний ион с m/z 303.13. В нижеприведенных научных статьях данное соединение идентифицируется, как сальвианоловая кислота D: *Mentha* [Cirlini et al., 2016; Chen et al., 2017]; *Salvia multiorrrizae* [Jiang et al., 2005].

Таким образом, в мацерационных экстрактах *Solanum lycopersicum* было идентифицировано 36 соединений метаболома, многие из которых характерны для вида *Solanum lycopersicum* L. Из них 22 компонента были идентифицированы впервые в данном виде растения. Это флавоны: апигенин, лютеолин; флаванолы: кампферол, таксифолин, мирицетин, гидроксикоричные кислоты: кутаровая

кислота, кофеилmaleвая кислота, кафтаровая кислота, дикаффеилхиновая кислота; кумарины фраксетин и глюкоронид фраксетина, антоцианин пеларгонидин, гидроксibenзойная кислота: сальвианоловая кислота D, циклогексанкарбоновая кислота: перилловая кислота; розманол, оксипин колнеленовая кислота, этил розмаринат, лигнан медиоресинол, тритерпеноид сквален и др.

Заключение

Плоды томата *Solanum lycopersicum* L. содержат большое количество полифенольных комплексов, являющихся биологически активными соединениями. Для наиболее полного и безопасного экстрагирования был использован метод мацерации с помощью MeOH. Для идентификации целевых аналитов в

сверхкритических экстрактах использована ВЭЖХ в комплексе с ионной ловушкой BRUKER DALTONIKS. Результаты предварительного исследования показали присутствие 36 соединений, соответствующих семейству Solanaceae, из них 22 идентифицировано впервые в *Solanum lycopersicum* L.

Полученные данные помогут интенсифицировать будущие исследования по разработке и производству различных продуктов функционального питания, содержащих целевые экстракты *Solanum lycopersicum* L. Большое разнообразие биологически активных полифенольных соединений открывает богатые возможности для создания новых лекарственных препаратов, а также биологически активных добавок на основе экстрактов из семейства Solanaceae.

Об авторах:

Ольга Александровна Чунихина – научный сотрудник, chunikhina_o@mail.ru

Майя Петровна Разгонова – кандидат техн. наук, ВРИО директора Дальневосточной опытной станции Филиала ВИР, m.razgonova@vir.nw.ru

Александр Михайлович Захаренко – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, Zakharenko.am@dvfu.ru

Кирилл Сергеевич Голохваст – доктор биол. наук, профессор, член-корр. РАО, директор ФГБНУ «Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий», golokhvast@sfscsca.ru

About the authors:

Olga A. Chunikhina – Researcher, chunikhina_o@mail.ru

Maya P. Razgonova – Cand. Sci. (Engineering), Acting Director of the Far Eastern Experimental Station of the VIR Branch, m.razgonova@vir.nw.ru

Alexander M. Zakharenko – Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Zakharenko.am@dvfu.ru

Kirill S. Golokhvast – Doc. Sci. (Biol.), Professor, Corresponding Member RAO, Director of the Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnology, golokhvast@sfscsca.ru

• Литература / References

- Carrillo-Lopez A., Yahia E. HPLC–DAD–ESI–MS Analysis of Phenolic Compounds During Ripening in Exocarp and Mesocarp of Tomato Fruit. *J. Food Sci.* 2013;78(12):1839-1844.
- Chen X., Zhang S., Xuan Z., Ge D., Chen X., Zhang J., Wang Q., Wu Y., Liu B. The Phenolic Fraction of *Mentha haplocalyx* and Its Constituent Linarin Ameliorate Inflammatory Response through Inactivation of NF- κ B and MAPKs in Lipopolysaccharide-Induced RAW264.7 Cells. *Molecules.* 2017;(22):811.
- Cirlini M., Mena P., Tassotti M., Herrlinger K. A., Nieman K. M., Dall'Asta C., Del Rio D. Phenolic and volatile composition of a dry spearmint (*Mentha spicata* L.). *Molecules.* 2016;(21):1007.
- Dinelli G., Segura-Carretero A., Di Silvestro R., Marotti I., Arraez-Roman D., Benedettelli S., Ghiselli L., Fernandez-Gutierrez A. Profiles of phenolic compounds in modern and old common wheat varieties determined by liquid chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry. *J. Chromatogr. A.* 2011;(1218):7670-7681.
- Farah A., Donangelo C.M. Phenolic compounds in coffee. *Braz. J. Plant Physiol.* 2006;(18):23-36.
- Giovannucci E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiological literature. *J. Nat. Cancer Inst.* 1999;(91):317-331.
- Goufo P., Singh R.K., Cortez I. A Reference List of Phenolic Compounds (Including Stilbenes) in Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Roots, Woods, Canes, Stems, and Leaves. *Antioxidants.* 2020;(9):398.
- Jaiswal R., Muller H., Muller A., Karar M.G.E., Kuhnert N. Identification and characterization of chlorogenic acids, chlorogenic acid glycosides and flavonoids from *Lonicera henryi* L. (Caprifoliaceae) leaves by LC–MSn. *Phytochem.* 2014;(108):252-263.
- Jiang R.-W., Lau K.-M., Hon P.-M., Mak T.C.W., Woo K.-S., Fung K.-P. Chemistry and Biological Activities of Caffeic Acid Derivatives from *Salvia miltiorrhiza*. *Current Med. Chem.* 2005;(12):237-246.
- Manach C., Scalbert A., Morand C., Remesy C., Jimenez L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.* 2004;(79):727-47.
- Marzouk M.M., Hussein S.R., Elkhateeb A., El-shabrawy M., Abdel-Hameed E.-S. S., Kawashty S.A. Comparative study of *Mentha* species growing wild in Egypt: LC-ESI-MS analysis and chemosystematic significance. *J. Applied Pharm. Sci.* 2018;8(08):116-122.
- Minoggio M., Bramati L., Simonetti P., Gardana C., Lemoli L., Santangelo E., Mauri P.L., Spigno P., Soressi G.P., Pietta P.G. Polyphenol pattern and antioxidant activity of different tomato lines and cultivars. *Ann. Nutr. Metab.* 2003;(47):64-9.
- Pandey R., Kumar B. HPLC–QTOF–MS/MS-based rapid screening of phenolics and triterpenic acids in leaf extracts of *Ocimum* species and their interspecies variation. *J. Liquid Chromatogr. & Related.* 2016;(39):225-238.
- Robards K., Antolovich M. Analytical chemistry of fruits bioflavonoids: a review. *Analyst.* 1997;122(2):11R-34R.
- Rodriguez-Perez C., Gomez-Caravaca A.M., Guerre-Hernandez E., Cerretani L., Garcia-Villanova B., Verardo V. Comprehensive metabolite profiling of *Solanum tuberosum* L. (potato) leaves T by HPLC-ESI-QTOF-MS. *Food Res. Int.* 2018;(112):390-399.
- Ruiz A., Hermosin-Gutierrez I., Vergara C., von Baer D., Zapata M., Hirschfeld A., Obando L., Mardones C. Anthocyanin profiles in south Patagonian wild berries by HPLC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Res. Int.* 2013;(51):706-713.
- Temple N.J. Antioxidants and disease: more questions than answers. *Nutr. Res.* 2000;20(3):449-59.
- Vallverdu-Queralta A., Jauregui O., Medina-Remon A., Lamuela-Raventos R.M. Evaluation of a Method To Characterize the Phenolic Profile of Organic and Conventional Tomatoes. *Agricult. Food Chem.* 2012;(60):3373-3380.
- Wojakowska A., Perkowski J., Goral T., Stobiecki M. Structural characterization of flavonoid glycosides from leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.) using LC/MS/MS profiling of the target compounds. *J. Mass. Spectrom.* 2013;(48):329-339.
- Willett W.C. Diet and health: what should we eat? *Science.* 1994;(264):532-537.
- Zanotti I., Jia P., Dall'Asta M., Mena P., Mele L., Ray S., Del Rio D. Atheroprotective effects of (poly)phenols: a focus on cell cholesterol metabolism. *Food & Function.* 2015;(6):13-31.
- Zhang, Y.; Yan, G.; Sun, C.; Li, H.; Fu, Y.; Xu, W. Apoptosis Effects of Dihydrokaempferol Isolated from *Bauhinia championii* on Synoviocytes. *Hindawi. Evid. -Based Complementary and Alternative Medicine.* 2018. Article ID 9806160.