

О.М. Шевчук¹, С.А. Приходько², Р.В. Остапенко², С.А. Феськов¹

**ФИТОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ
ЛИСТЬЕВ И КОЖУРЫ ПЛОДОВ
*CITRUS × PYRIFORMIS HASSK.***

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН»

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Донецкий ботанический сад»

Эфирные масла растений рода *Citrus* L. (Rutaceae) обладают значительным пищевым и фармакологическим потенциалом, что определяет актуальность изучения их компонентного состава. Методом ГХ-МС впервые исследованы эфирные масла из листьев и кожуры плодов *Citrus × pyriformis* Hassk., культивируемого в условиях защищенного грунта Донецкого ботанического сада. Установлено, что выход масла из листьев (0,20 %) в 1,5 раза ниже, чем из кожуры (0,30 %). Компонентный состав масел существенно различается: в петитгрейновом масле из листьев доминирует цитраль (66,94 %), тогда как в масле кожуры основным компонентом является Д-лимонен (63,65 %). Полученные данные сопоставлены с литературными источниками и демонстрируют влияние условий культивирования на биосинтез терпеноидов.

Ключевые слова: *Citrus × pyriformis* Hassk., эфирное масло, компонентный состав, цитральный хемотип, лимоненовый хемотип

Цитирование: Шевчук О.М., Приходько С.А., Остапенко Р.В., Феськов С.А. Фитохимическое исследование эфирных масел листьев и кожуры плодов *Citrus × pyriformis* Hassk. // Промышленная ботаника. 2025. Вып. 25, № 4. С. 151–159. DOI: 10.5281/zenodo.17801236

Введение

Род *Citrus* L. (семейство Rutaceae) занимает лидирующие позиции среди плодовых культур мира благодаря своим уникальным пищевым, декоративным и фармакологическим свойствам. Эфирные масла, накапливающиеся в различных органах растений, таких как листья (петитгрейновое масло), кожура плодов, цветки (неролевое масло) и семена, представляют собой сложные смеси летучих соединений, представленные монотерпеновыми и сесквитерпеновыми углеводородами, а также кислородсодержащими производными, включая спирты, альдегиды, кетоны и сложные эфиры. Такая химическая разнообраз-

ность обуславливает широкий спектр биологической активности эфирных масел цитрусовых, включая антиоксидантные, antimикробные, противовоспалительные, цитотоксические, а также нейромодулирующие свойства [9, 14, 16, 17].

Актуальность изучения компонентного состава эфирных масел цитрусовых обусловлена их потенциалом как источника натуральных биоактивных соединений для применения в фармацевтике, косметологии и пищевой промышленности. Эфирные масла цитрусовых перспективны в пищевой промышленности, для разработки антивозрастных косметиче-

ских средств и новых терапевтических препаратов [15, 16].

Кожура и листья цитрусовых содержат биологически активные вторичные метаболиты, в частности лимониды (лимонен, лимонин, деацетилномилин) и флавоноиды (гесперидин, неогесперидин). Данные соединения, относящиеся к классам тритерпеноидов и фенольных соединений, демонстрируют широкий спектр фармакологических свойств, включая противоопухолевую, антиоксидантную, противовирусную, антибактериальную и противовоспалительную активность [11, 12, 18]. Лимониды обладают цитотоксическим действием в отношении различных линий раковых клеток (Caco-2, HeLa, COS7) со значениями IC_{50} в диапазоне от 30 до 520 мкМ (или 35–194 мкг/мл), а также ингибируют Р-гликопротеин (Р-gp), белок, ассоциированный с мультилекарственной устойчивостью при лейкемии и колоректальном раке [7, 15]. Противовоспалительный эффект подтвержден способностью экстрактов, например, петролейного эфирного экстракта кожуры (IC_{50} 30,6 мкг/мл), подавлять активность фермента 5-липоксигеназы [13]. Помимо этого, лимониды способствуют снижению уровня липопротеинов низкой плотности и проявляют выраженную антифидантную активность против насекомых-вредителей, что определяет их потенциал для создания природных инсектицидов [17]. Количественный анализ кожуры *Citrus × pyriformis* Hassk. показал значительное содержание этих соединений: лимонина (60 мг из 12 г фракции), деацетилномилина (40 мг) и неогесперидина (1500 мг из 10 г) [12].

Цитрус Пондероза (*C. × pyriformis*) – естественный гибрид *C. limon* (L.) Burm. fil. × *C. medica* L. [19]. Вид, происходящий из Южной Азии, успешно интродуцирован в различные субтропические регионы, а также культивируется в условиях защищенного грунта в зонах с умеренным климатом. В Донецком ботаническом саду этот культивар интродуцирован в 1984 г., саженцы были получены из Сухуми. В 1993 г. в тепличном комплексе лаборатории ускоренных методов размножения растений были заложены маточные цитрус Пондероза на площади 250 м². Растения сформированы в виде

деревьев высотой до 3 м. Листья у них длинные, вечнозеленые, глянцевые, имеют яйцевидно-эллиптическую форму и пахнут лимоном; ветви средней толщины с множеством колючек. Молодые побеги и цветы имеют фиолетовый оттенок. Плодоносит в течение всего года. Период активного роста, цветения наблюдается с апреля по июнь и с сентября по декабрь – завязывание и созревание плодов. Периоды относительного покоя наступают с июня по август (около 40 дней) и с декабря по апрель (около 100–120 дней). В условиях защищенного грунта дает богатый урожай. Плоды в весе достигают до 600 г [1].

В листьях *C. × pyriformis* идентифицированы ценные вторичные метаболиты, в частности лимонидов и эфирного масла из листьев лимоннового хемотипа, которое проявляет цитотоксическую активность в отношении линий раковых клеток гепатоцеллюлярной карциномы (HepG2) и карциномы поджелудочной железы (МIA-PaCa-2) [10]. Исследованиями подтверждается выраженная антиоксидантная и антимикробная активность экстрактов из кожуры и семян лимона Пондероза в отношении грамположительных (*Bacillus subtilis*, *Staphylococcus capitis*) и грамотрицательных (*Pseudomonas fluorescens*) бактерий [12].

Выход масла из кожуры плодов, культивируемых в открытом грунте Средиземноморского региона, составляет около 1,2 %, при этом его основным компонентом является D-лимонен (71,2–90,6 %) [8, 11]. В эфирном масле из листьев (петитгрейновом) доминируют линалоол (30,1 %), лимонен (18,5 %) и гераниаль (18,0 %) [14]. Согласно исследованию из Малайзии, эфирное масло листьев *C. × pyriformis* с высоким содержанием лимонена (70,40 %) и сесквитерпеновых спиртов (β-эудесмол – 8,58 %, γ-эудесмол – 5,69 %, α-эудесмол – 3,62 %) проявляет выраженную биологическую активность, демонстрируя антиоксидантный (IC_{50} 39,99 мг/мл, DPPH-тест) и антитрополиферативный (IC_{50} 87,17 мкг/мл, клетки HeLa) эффекты [10, 11].

Компонентный состав эфирных масел значительно варьирует в зависимости от генотипа, условий выращивания, географического про-

исходения и метода экстракции. Значительная вариабельность содержания D-лимонена в эфирном масле кожуры *C. × pyriformis* находит подтверждение в данных многочисленных исследований. Для образцов из Египта его количество составляет 75,56 % при наличии (Z)- β -оцимена (8,20 %), сабинена (4,82 %), β -пинена (0,92 %) и мирцена (1,03 %) [8]. В эфирном масле сорта *C. limon* 'Variegated pink-fleshed lemon' доля D-лимонена ниже (52,73 %), а содержание γ -терпинена и β -пинена достигает 9,88 % и 7,67 % соответственно [9]. В то же время, у *Citrus × limia* 'Pugiformis' отмечено высокое содержание лимонена – 93,80 % [17]. Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии видовых, сортовых и экологических факторов на хемотип эфирного масла. Учитывая широкую практику культивирования цитрусовых культур в условиях защищенного грунта, актуальным является изучение компонентного состава эфирных масел, получаемых в контролируемых условиях. В этой связи комплексное исследование эфирных масел *C. × pyriformis* способствует не только расширению знаний о химическом разнообразии цитрусовых, но и открывает перспективы для их инновационного применения в медицине и биотехнологии.

Цель и задачи исследований

Целью настоящей работы было изучение содержания и компонентного состава эфирного масла в листьях и кожуре плодов *Citrus × pyriformis*, культивируемых в условиях защищенного грунта Донецкого ботанического сада.

В задачи входило определить массовую долю эфирного масла в свежем сырье методом гидродистилляции, провести анализ компонентного состава эфирных масел, сравнить полученные данные с результатами аналогичных исследований из различных регионов для определения хемотипа.

Объекты и методики исследований

Объектами исследований служили листья и кожура зрелых плодов *C. × pyriformis*, культивируемого в условиях защищенного грунта Донецкого ботанического сада. Заготовка сырья проведена в ноябре 2024 г.

Массовую долю эфирного масла определяли в свежем сырье методом гидродистилляции на аппаратах Гинзберга [4]. Компонентный состав эфирных масел определяли с помощью аппаратно-программного комплекса на базе хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2», оснащенного масс-спектрометрическим детектором. Колонка капиллярная CR – 5ms, длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм. Фаза 5 % фенил 95 % полисилфениленсилоксан, толщина пленки 0,25 мкм. Температура термостата программировалась от 75 °C до 240 °C со скоростью 4 °C/мин. Температура испарителя 250 °C. Газ носитель – гелий, скорость потока 1 мл /мин. Температура переходной линии 250 °C. Температура источника ионов 200 °C. Электронная ионизация 70 eV. Диапазон сканирования 20–450. Длительность скана 0,2. Идентификация выполнялась на основе сравнения полученных масс-спектров с данными библиотеки NIST 14 (Национальный Институт Стандартов и Технологий, США). Программа поиска и идентификации спектров MS Search (США). Индексы удерживания получены путем логарифмической интерполяции приведенных времен удерживания с использованием аналитического стандарта смеси первых н-алканов Sigma-Aldrich (Швейцария) и аналитических стандартов Supelco (США). Массовая доля компонентов в пробе определяна методом процентной нормализации [3, 5].

Результаты исследований и их обсуждение

Установлено, что в листьях *C. × pyriformis* накапливается $0,20 \pm 0,02$ % (от сырой массы) эфирного масла, в кожуре плодов – $0,30 \pm 0,03$ %. Эти показатели значительно уступают растениям, возделываемым в открытом грунте Средиземноморья (до 1,2 % для кожуры [15]). Вероятной причиной отмеченного снижения является культивирование в условиях защищенного грунта, где стабильные условия минимизируют стресс, что, в свою очередь, может понижать интенсивность синтеза вторичных метаболитов, включая терпеноиды [6]. Общую для цитрусовых тенденцию к снижению выхода масла в подобных условиях подтверждают данные по *C. limon* [2, 13].

Анализ компонентного состава (таблица, рисунок) петитгрейнового эфирного масла (из листьев) показал преобладание монотерпеновых ациклических альдегидов – нерала (цис-цираль) и гераниала (транс-цираль), суммарная доля которых составляет 66,94 %. Эти соединения обуславливают характерный терпкий цитрусовый аромат масла. Среди миорных компонентов идентифицированы лимонен (5,12 %), геранил ацетат (4,52 %), β -пинен (4,00 %), нерол (3,36 %), гераниол (2,88 %), цитронеллаль (2,18 %) и изогераниаль (1,29 %). Такой состав соответствует циральному хемотипу, который ранее не описывался для *C. × pyriformis* в открытых источниках [14], но типичен для некоторых сортов

лимонна и лайма, где цираль может достигать 50–70 % [13]. Цираль, обладающий выраженной антимикробной и антиоксидантной активностью, представляет перспективный компонент для парфюмерной и фармацевтической промышленностей.

В эфирном масле из кожуры плодов доминирует энантиомер D-лимонена (63,65 %), который придает свежий цитрусовый аромат с терпентиновым (древесным) оттенком. Среди других компонентов: β -пинен (7,11 %), нерил ацетат (4,52 %), β -бисаболен (1,85 %), линалон (1,76 %), геранил ацетат (1,43 %), гераниол (1,27 %), транс- α -бергамот (1,17 %) и нерол (1,07 %). Это классический лимоненовый хемотип фармакологического направления.

Таблица. Компонентный состав эфирного масла *Citrus × pyriformis* Hassk.

№	Компоненты	Индекс удерживания	Листья	Кожура плодов
			Массовая доля, %	
1	3-гексен-1-ол	850	0,03	–
2	α -туйен	923	0,01	0,01
3	α -пинен / (R)- α -пинен	932	0,23	0,63
4	кампен	947	0,01	0,02
5	сабинен	976	0,63	1,10
6	β -пинен	980	4,00	7,11
7	сулькатон	990	0,82	–
8	β -мирцен	991	0,09	1,30
9	2,3-дегидро-1,8-цинеол	1008	–	0,01
10	октаналь	1007	0,01	–
11	гексил-ацетат	1050	–	0,16
12	<i>p</i> -цимен	1014	0,04	0,18
13	лимонен	1024	5,12	63,65
14	цис-сабиненгидрат	1036	0,11	–
15	эвкалиптол (1,8-цинеол)	1037	–	0,24
16	(Z)-оцимен	1038	0,77	0,12
17	сабиненгидрат	1040	0,02	–
18	γ -терпинен	1060	–	0,01
19	цис-линалоол-оксид	1075	–	0,08
20	транс-линалоол-оксид (фураноид)	1082	–	0,04
21	линалоол	1096	1,40	1,76
22	нонаналь	1097	0,17	0,04
23	(E)- <i>p</i> -ментха-2,8-диен-1-ол	1105	–	0,17
24	цис-лимоненоксид	1108	0,02	0,57

Окончание табл.

25	транс-лимоненоксид	1110	—	0,24
26	изоцитраль	1118	0,08	—
27	транс-пинокарвеол	1125	—	0,08
28	β-терpineол	1127	—	0,02
29	цитронелаль	1135	2,18	0,09
30	изонераль	1140	0,71	—
31	(E)-пинокамфон	1148	—	0,08
32	розфуран оксид	1152	0,02	—
33	изогераниаль	1158	1,29	—
34	терпинен-4-ол	1166	—	0,82
35	α-терpineол	1176	0,23	1,70
36	деканаль	1179	0,19	—
37	(Z)-карвеол	1185	—	0,28
38	геранилметиловый эфир	1192	0,04	—
39	(E)-карвеол —	1196	—	0,20
40	нерол	1198	3,36	1,07
41	(Z)-цитраль	1208	28,59	2,59
42	карвон	1215	—	0,27
43	гераниол	1224	2,88	1,27
44	пиперитон	1230	0,17	—
45	(E)-цитраль	1240	38,35	3,58
46	борнилацетат	1256	—	0,09
47	(3R,6R)-3-гидропереокси-3-метил-6-(проп-1-ен-2-ил)циклохекс-1-ен	1268	—	0,62
48	цитронеллил-ацетат	1278	0,13	—
49	тимол	1290	0,04	—
50	герановая кислота	1298	0,08	0,15
51	нерилацетат	1302	1,19	0,37
52	(2R,4R)-p-ментха-6,8-диен-2-гидропероксид	1310	—	0,68
53	геранилацетат	1315	4,52	1,43
54	этил-геранат	1285	0,02	0,25
55	β-кариофиллен	1418	0,41	0,15
56	транс-α-бергамотен	1425	0,13	1,17
57	бициклогермацрен	1438	0,04	—
58	β-бисаболен	1452	0,23	1,85
59	Е-нериодол	1540	0,08	0,03
60	кариофиллен оксид	1586	0,09	—
61	(+)-спатуленол	1588	0,09	0,07
62	α-кадинол	1602	0,04	—
63	интермедеол	1608	—	0,16
64	α-бисаболол	1620	0,02	0,06
65	нуоткатон	1728	—	0,91
66	фитол	2000	0,26	—
Выход эфирного масла (от сырой массы), %			0,20±0,02	0,30±0,03

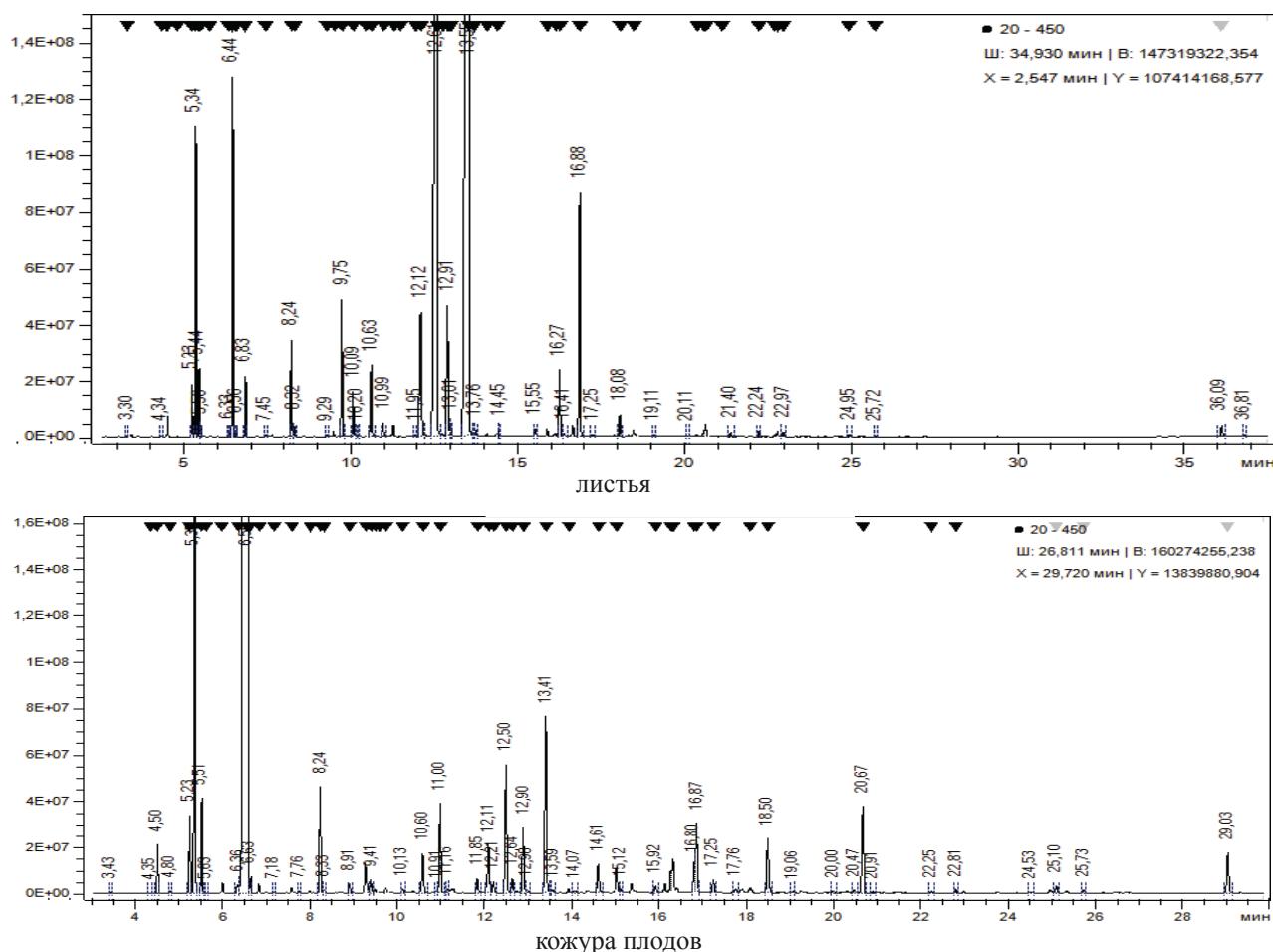


Рисунок. Хроматографический профиль эфирного масла *Citrus × pyriformis* Hassk.
Figure. Chromatographic profile of the essential oil from *Citrus × pyriformis* Hassk.

Полученные значения лимонена ниже, чем в египетских образцах (75,56 %) [8], но близки к вариациям в других исследованиях (52–60 %) [10, 12]. Различия могут быть обусловлены климатическими условиями: в защищенном грунте снижается экспозиция к УФ-излучению и колебаниям температуры, что влияет на соотношение монотерпенов [6].

Сравнительный анализ компонентного состава выявил как сходства, так и различия с литературными данными. В отличие от исследования Hamdan et al., где для *C. × pyriformis* отмечено высокое содержание D-лимонена (75,56 %) [11], в наших результатах выявлено снижение его доли при сходном составе минорных компонентов (β -пинен, нерол), что может быть следствием региональных и культивационных факторов. Хроматографический профиль эфирного масла других лимонов – от 52,73 % лимонена у ‘Pink

Lemon’ [10] до 93,80 % у *C. lumia* ‘Pyriformis’ [12] – подчеркивает значительную генотипическую вариабельность и пластичность состава эфирных масел цитрусовых. Для малайзийского петитгрейнового эфирного масла *C. × pyriformis* характерен иной хемотип: лимонен (70,40 %), цитронеллаль (5,64 %), β -эудесмол (8,58 %), γ -эудесмол (5,69 %), α -эудесмол (3,62 %) [15]. Это масло богато сесквитерпенами (до 38,87 %), в отличие от центрального хемотипа исследуемого масла, где доля сесквитерпенов низка. Такие различия подчеркивают влияние почвы, климата и методов культивирования на биосинтез. В малайзийском исследовании такое масло проявляло антиоксидантную активность (IC_{50} 39,99 мг/мл) и ингибировало пролиферацию клеток HeLa (IC_{50} 87,17 мкг/мл) [15], что согласуется с ранее описанными свойствами лимонена и цитрала [10, 12].

Интеграция полученных данных свидетельствует о том, что в условиях защищенного грунта у *C. × pyriformis* происходит биосинтез эфирных масел с таким составом, что определяет их потенциал для использования в парфюмерии (цитральный хемотип) и фармакологии (лимоненовый хемотип).

Таким образом, проведенное исследование выявило два четко выраженных хемотипа эфирного масла у *C. × pyriformis*, культивируемого в условиях защищенного грунта: цитральный хемотип петитгрейнового масла и лимоненовый хемотип масла кожуры. Установленные количественные и качественные различия с образцами из открытого грунта, в частности более низкий выход и уникальное доминирование цитрала в листьях, убедительно свидетельствуют о значительном влиянии агроклиматических условий защищенного грунта на биосинтез терпеноидов. Выявленные специфические хемотипы не только вносят вклад в понимание химического разнообразия цитрусовых, но и определяют целесообразность культивирования данного вида для получения эфирного масла с заданным составом для парфюмерной и фармацевтической отраслей.

Выводы

Методом гидродистилляции установлено, что выход эфирного масла из листьев *Citrus × pyriformis* составляет $0,20 \pm 0,02 \%$, а из кожуры плодов – $0,30 \pm 0,03 \%$ от сырой массы, что в 1,5–4 раза ниже, чем у аналогов из открытого грунта Средиземноморского региона, что подтверждает общую тенденцию снижения продуктивности в условиях защищенного грунта.

Проведенное исследование выявило два хемотипа эфирного масла у растений *C. × pyriformis*, культивируемых в условиях защищенного грунта: цитральный хемотип петитгрейнового масла с суммарным содержанием нерала (28,59 %) и гераниала (38,35 %) 66,94 %, определяющий его перспективность для парфюмерной промышленности, и лимоненовый хемотип из кожуры плодов с содержанием D-лимонена 63,65 % и значительной долей β -пинена (7,11%), обуславливающий его ценность как сырья фармакологического направления.

Проведенный сравнительный анализ выявил значительную вариабельность компонентного состава эфирного масла *C. × pyriformis* в зависимости от условий культивирования, подтвердив пластичность метаболизма вида и влияние агроклиматических факторов на биосинтез терпеноидов.

Установленные хемотипы и выявленные количественные отличия от литературных данных подчеркивают целесообразность культивирования *C. × pyriformis* в условиях защищенного грунта для получения эфирного масла с заданными свойствами и воспроизводимым химическим профилем, определяющим его перспективность для парфюмерной промышленности и фармакологического применения.

Исследование выполнено с использованием оборудования ЦКП «Физиолого-биохимические исследования растительных объектов» (ФБИ РО) ФГБУН «НБС-ННЦ» (г. Ялта, Россия).

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН «НБС-ННЦ» по теме «Выявление закономерностей синтеза биологически активных веществ как основы создания сортов эфиромасличных и лекарственных растений – источников ценного растительного сырья и средств для улучшения качества жизни человека в рамках реализации программы импортозамещения» (FNNS-2025-0001) и госзадания ФГБНУ ДБС по теме «Интродукционное изучение растений мировой флоры и их полифункциональное использование в степной зоне» (123101300192-1).

1. Горницкая И.П., Ткачук Л.П. Бессараб И.В., Великоридько Т.И., Листрова Т.Л., Ткаченко Т.Н. Итоги интродукции тропических и субтропических растений в Донецком ботаническом саду НАН Украины. Т. 2. Донецк: Донбасс, 1999. 288 с.
2. Плугатарь Ю.В., Шевчук О.М., Феськов С.А., Федотова И.А., Тарба Ф.Т., Лейба В.Д. Компонентный состав эфирного масла в листьях *Citrus limon* (L.) Osbeck при выращивании в разных условиях // Субтропи-

- тическое и декоративное садоводство. 2019. Вып. 70. С. 167–177.
3. Ткачев А.В. Исследование летучих веществ растений. Новосибирск: Офсет, 2008. 969 с.
4. Шевчук О.М., Исков В.П., Логвиненко Л.А. Методологические и методические аспекты интродукции и селекции ароматических и лекарственных растений. Симферополь: Ариал, 2022. 140 с.
5. Adams R.P. Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 4th ed. Allured Publishing, 2007. 804 p.
6. Dosoky N.S., Setzer W.N. Chemical composition and biological activities of essential oils of *Curcuma* species // Nutrients. 2018. Vol. 10, N 9: 1196.
7. El-Readi M.Z., Hamdan D., Farrag N. El-Shazly A., Wink M. Inhibition of P-glycoprotein activity by limonin and other secondary metabolites from *Citrus* species in human colon and leukaemia cell lines // European Journal of Pharmacology. 2010. Vol. 626, Iss. 2–3. P. 139–145.
8. El-Shazly A., Hussein K.T. Chemical analysis and biological activities of essential oils from leaves and flowers of two Egyptian *Citrus* cultivars // Journal of Essential Oil Bearing Plants. 2004. Vol. 7, Iss. 3. P. 214–224.
9. Gualdani R., Cavalluzzi M.M., Lentini G., Habtemariam S. The Chemistry and Pharmacology of Citrus Limonoids // Molecules. 2016. Vol. 21, N 11: 1530.
10. Hamdan D., Ashour M.L., Mulyaningsih S. El-Shazly A., Wink M. Chemical composition of the essential oils of variegated pink-fleshed lemon (*Citrus × limon* L. Burm. f.) and their anti-inflammatory and antimicrobial activities // Zeitschrift für Naturforschung C. 2013. Vol. 68, Iss. 7–8. P. 275–284.
11. Hamdan D., El-Readi M., Nibret E., Sporer F., Farrag N., El-Shazly A., Wink M. Chemical composition of the essential oils of two *Citrus* species and their biological activities // Pharmazie. 2010. Vol. 65, Iss. 2 P. 141–147.
12. Hamdan D., El-Readi M.Z., Tahrani A., Herrmann F., Kaufmann D., Farrag N., El-Shazly A., Wink M. Secondary metabolites of ponderosa lemon (*Citrus pyriformis*) and their antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities // Zeitschrift für Naturforschung C. 2011. Vol. 66, Iss. 7–8. P. 385–393.
13. Klimek-Szczykutowicz M., Szopa A., Ekiert H. *Citrus limon* (Lemon) phenomenon – A review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies // Plants. 2020. Vol. 9, N 1: 119.
14. Lota M.L., de Rocca Serra D., Tomi F., Jacquemond C., Casanova J. Volatile components of peel and leaf oils of lemon and lime species // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50, Iss. 4. P. 796–805.
15. Othman H.I.A., Alkatib H.H., Zaid A., Sasidharan S., Rahiman S.S.F., Lee T.P., Dimitrovski G., Althakafy J.T., Wong Y.F. Phytochemical Composition, Antioxidant and Antiproliferative Activities of *Citrus hystrix*, *Citrus limon*, *Citrus pyriformis*, and *Citrus microcarpa* Leaf Essential Oils against Human Cervical Cancer Cell Line // Plants. 2022. Vol. 12, N 1: 134.
16. Othman S.N.A., Hassan M.A., Nahar L. Basar N., Jamil S., Sarker S.D. Essential Oils from the Malaysian Citrus (Rutaceae) Medicinal Plants // Medicines (Basel). 2016. Vol. 3, Iss. 2: 13.
17. Ruberto G., Renda A., Tringali C., Napoli E.M., Simmonds M.S. Citrus limonoids and their semisynthetic derivatives as antifeedant agents against *Spodoptera frugiperda* larvae. A structure-activity relationship study // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50, Iss. 23. P. 6766–6774.
18. Smeriglio A., Alloisio S., Barbieri R., Ingegneri M., Malaspina P., Burlando B., Cornara L., Trombetta D. The essential oil of *Citrus lumia* Risso and Poit. 'Pyriformis' shows promising antioxidant, anti-inflammatory, and neuromodulatory effects // International Journal of Molecular Sciences. 2023. 24, Iss. 6: 5534.
19. Stappen I., Tabanca N., Ali A., Wedge D.E., Wanner J., Kaul V.K., Lal B., Jaitak V., Gochev V.K., Schmidt E., Jirovetz L. Chemical

composition and biological activity of essential oils from wild growing aromatic plant species of *Skimmia laureola* and *Juniperus macro-*

poda from Western Himalaya // Natural Product Communications. 2015. Vol. 10, Iss. 6. P. 1071–1074.

Поступила в редакцию: 25.11.2025

UDC 581.192.23:633.812

PHYTOCHEMICAL STUDY OF ESSENTIAL OILS FROM LEAVES AND FRUIT PEELS OF *CITRUS × PYRIFORMIS* HASSK.

O.M. Shevchuk¹, S.A. Prykhodko², R.V. Ostapenko², S.A. Feskov¹

¹*Federal State Budgetary Institution of Science «The Order of the Red Banner of Labour Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences»*

²*Federal State Budgetary Scientific Institution «Donetsk botanical garden»*

Essential oils of plants of the genus *Citrus* L. (Rutaceae) possess significant nutritional and pharmacological potential, making it important to study their component composition. GC-MS was used for the first time to study essential oils from the leaves and peel of Ponderosa lemon (*Citrus × pyriformis* Hassk.), cultivated indoors at the Donetsk Botanical Garden. It was found that the oil yield from the leaves (0.20 %) was 1.5 times lower than that from the peel (0.30 %). The component composition of the oils differed significantly: citral predominated in petitgrain oil from the leaves (66.94 %), while D-limonene was the main component in the peel oil (63.65 %). The obtained data were compared with literature sources and demonstrate the influence of cultivation conditions on terpenoid biosynthesis.

Key words: *Citrus × pyriformis* Hassk., essential oil, chemical composition, citral chemotype, limonene chemotype

Citation: Shevchuk O.M., Prykhodko S.A., Ostapenko R.V., Feskov S.A. Phytochemical study of essential oils from leaves and fruit peels of *Citrus × pyriformis* Hassk. // Industrial botany. 2025. Vol. 25, N 4. P. 151–159. DOI: 10.5281/zenodo.17801236
