ISSN 2078-5615. Вісник Львівського університету. Серія хімічна. 2026. Випуск 68. С. 109–120
Visnyk of the Lviv University. Series Chemistry. 2026. Issue 68. P. 109–120

УДК 543.544.943.3-415.3:[615.322:633.888]

СИСТЕМА РОЗЧИННИКІВ ДЛЯ ТОНКОШАРОВОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ ЗРАЗКІВ *CANNABIS SATIVA L.* З РІЗНИМ КАНАБІНОЇДНИМ ПРОФІЛЕМ

С. Міщенко[1, 2], І. Курмакова[3*], Г. Кириченко[1], О. Бондар[3]

[1]Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України, вул. Терещенків, 45, 41400 Глухів, Україна;

[2]Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка, вул. Київська, 24, 41400 Глухів, Україна;

[3]Національний університет "Чернігівський колегіум" імені Т. Г. Шевченка, вул. Гетьмана Полуботка, 53, 14013 Чернігів, Україна,
[*]e-mail: i.kurmakova@gmail.com

Досліджено 23 системи розчинників як рухомої фази під час проведення тонкошарової хроматографії для виявлення канабіноїдних сполук у канабідіол- і канабігерол-домінантних генотипів *Cannabis sativa* L. Дослідження проводили з використанням зразків сортів промислових конопель Вік 2020, Медана та Глухівські 51. Показано, що для ідентифікації канабіноїдних профілів різних генотипів конопель доцільно використовувати системи з об'ємним співвідношенням компонентів "бензен : циклогексан = 93 : 7", "*о*-ксилен : бензен = 30 : 70" або однокомпонентні системи "бензен", "хлороформ". Одержані результати для систем розчинників з майже однаковою елюючою здатністю пояснені особливостями будови та різною здатністю до міжмолекулярних взаємодій.

Ключові слова: фітоканабіноїди, тонкошарова хроматографія, система розчинників, елююча здатність.

DOI: https://doi.org/10.30970/vch.6801.109

1. Вступ

Після зміни законодавчої бази у 2024 році в Україні дозволено вирощувати медичний канабіс (що є ліцензійним контрольованим видом господарської діяльності), який найчастіше характеризується високим вмістом канабідіолу (КБД) і який все більше використовують для лікування чи підтримання в стадії ремісії різних хвороб і патологічних станів [1]. Це привело до розвитку вітчизняної селекції культури *Cannabis sativa* L., появи нових канабідіол- і канабігерол- домінантних генотипів з відсутністю психотропних властивостей і створення, насамперед, сортів промислових конопель з високою врожайністю стебел, волокна, насіння, олії й водночас з принципово новими канабіноїдними профілями [2]. Варто зазначити, що цей науковий напрям активно розвивається і в Україні, яка є одним із лідерів у світі з селекції технічних конопель. Розвиток селекції потребує залучення для дослідження методів фізико-хімічного аналізу, зокрема хроматографії, ЯМР, УФ-видимого випромінювання та мас-спектрометрії, особливості застосування яких для фітоканабіноїдів охарактеризовані в [3] .

© Міщенко С., Курмакова І., Кириченко Г. та ін., 2026

Автори [4] для проведення аналізу харчових добавок, які містять Δ8-тетрагідроканабінол (ТГК), розробили три методи: обернено-фазова ультрависокоефективна рідинна хроматографія з діодно-матричним детектором та мас-спектрометрією високої роздільної здатності (RP–UHPLC–DAD/HRMS); надвисокоефективна рідинна хроматографія з квадрупольною масс-спектрометрією з польотом часу з використанням силікагелю та Ag(I) (Ag(I) HPLC–DAD/MS) та газова хроматографія з полум'яно-іонізаційним детектором та мас- спектрометром (GC–FID/MS). Показано, що RP–UHPLC–DAD/MS забезпечує достатнє розділення Δ8-тетрагідроканабінолу, Δ9-тетрагідроканабінолу та канабідіолу, однак не дає змоги розділити ізомери Δ8-ТГК, зокрема Δ(4)8-ізо-ТГК та Δ8-ізо-ТГК. Розділити п'ять ізомерів Δ8-ТГК можливо з використанням силікагелю Ag(I). Різницю в селективності розчинників щодо канабіноїдів під час застосування методу HPTLC показано в дослідженні авторів [5], де виявлено високу ефективність MeOH для більшості канабіноїдів.

Проблемним питанням щодо практичного застосування методу тонкошарової хроматографії (TLC) є оптимізація або пошук нових систем розчинників для якісного розділення канабіноїдів з сумішей, які характеризуються підвищеним вмістом непсихотропних канабідіолу і канабігеролу. Система "петролейний етер : діетиловий етер = 80 : 20", яку найчастіше використовують [6] для аналізу фітоканабіноїдів методом TLC з нерухомою полярною фазою – силікагель – характеризується низькою елюючою здатністю (дорівнює 0,08). Це пов'язано з низькою полярністю основного компонента і помірною полярністю діетилового етеру. Про актуальність оптимізації методу TLC для аналізу фітоканабіноїдів свідчать також публікації, в яких досліджуються різні системи мобільних фаз [7], вплив модифікації силікагелю, зокрема йонами срібла [8], та ін.

Мета праці – дослідити системи розчинників та підібрати оптимальну для якісного виявлення канабіноїдних сполук у генотипів *Cannabis sativa* L. з різним канабіноїдним профілем методом тонкошарової хроматографії.

2. Матеріали та методика експерименту

Дослідження проводили з використанням зразків сортів промислових конопель (оригінатор – Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України, м. Глухів Сумської обл.), які внесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні станом на 2025 р., та вміст у яких психотропного тетрагідроканабінолу знаходиться в межах, дозволених чинним законодавством для культивування без ліцензування:

– сорт Вік 2020 – хемотип IV, зазвичай канабігерол-домінантний генотип (на хроматографічних пластинах відповідає зразкам № 1–4 у двох повтореннях);

– сорт Медана – хемотип III, зазвичай канабідіол-домінантний генотип (на хроматографічних пластинах відповідає зразкам № 5 у двох повтореннях);

– сорт Глухівські 51 – хемотип V (на хроматографічних пластинах відповідає зразкам № 6 і 7 у двох повтореннях).

Рослини культивувалися на ізольованих селекційних ділянках у польових умовах, що забезпечувало чистоту та репрезентативність зразків. Для дослідження використовували рослинний матеріал, відібраний у фазі повної біологічної стиглості. Канабіноїдний профіль рослинних зразків (КБД – канабідіол; ТГК – тетрагідроканабінол; КБН – канабінол; КБХ – канабіхромен; КБГ – канабігерол) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Канабіноїдний профіль досліджених рослинних зразків

Table 1

The cannabinoid profile of the studied plant samples

№ зразка	Вміст канабіноїдів, бал				
	КБД	ТГК	КБН	КБХ	КБГ
1	сл. сл.	1	0	>10	>>10
2	1	1	0	>10	>>10
3	10	8	0	10	10
4	1	3	3	10	10
5	6	0	сл.	3	1
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0

Примітка. 0 – відсутність; сл. – слідові кількості, менші за 1 бал; сл. сл. – слідові кількості, менші за 0,5 бала (слабкий слід); >10 – вдвічі більше за 10 балів; >>10 – втричі більше за 10 балів.

Тонкошарову хроматографію проводили з використанням пластин (105729.0001 Merck) розміром 10×20 см зі скляною підкладкою. Сорбент – силікагель 60 F254 з флуоресцентним індикатором (товщина шару – 250 мкм, розмір часток – 10–12 мкм), адгезив – органічний полімер. Рухома фаза – досліджені одно-, дво- та трикомпонентні системи розчинників (табл. 2). Склад дво- та трикомпонентних систем підбирався так, щоб елююча здатність була близькою до 0,30. Для порівняння досліджували найчастіше використовану систему "петролейний етер : діетиловий етер = 80 : 20" (за об'ємом) [6]. Під час використання суміші розчинників, елюючу здатність розраховували як зважену суму елюючих здатностей за шкалою Снайдера окремих компонентів для силікагелю з урахуванням об'ємної частки компонента в суміші.

Проявлення зон канабіноїдних сполук, що розділилися із суміші (плями), виконували слаболужним розчином барвника тривкого синього Б (діазолю синього С) – $C_{14}H_{12}N_4O_2Cl_2 \times ZnCl_2$, в окремих випадках проводили спостереження без фарбування із застосуванням ультрафіолетового опромінювання. Також на хроматографічні пластини наносили еталон-свідок із заданим вмістом канабіноїдних сполук для бальної оцінки їх вмісту від 1 до 10 балів (метанольний елюат сорту конопель ЮС 9) й референтні розчини (I – КБД, II – КБДВ, III – КБН, IV – КБГ, V – КБХ), з якими порівнювали значення R_f.

Референтні розчини отримували завдяки поділу суміші канабіноїдів рослинного зразка методом ТШХ. Для цього зчищали скальпелем відповідні зони певної сполуки разом із шаром сорбенту, екстрагували вибраним розчинником (елюювання проводили 2–3 рази з невеликими порціями розчинника для повного перенесення речовини). Об'єднані елюати фільтрували, випарювали досуха під потоком азоту або у вакуумі за температури не вище 40 °С, після чого залишок розчиняли у мінімальному об'ємі чистого розчинника (0,5–1 мл метанолу). Отриманий розчин містить індивідуальний канабіноїд у достатній чистоті для подальшого використання як аналітичного стандарту.

Чистоту ізольованих речовин перевіряли методом газової хроматографії з використанням приладу HP 6890 Series GC System (serial № US00008158), капілярної

колонки Agilent Technologies 19091J-413 (HP-5) довжиною 30 м, внутрішнім діаметром 0,320 мм і товщиною нерухомої фази 0,25 мкм (SN: USN493366H). Тип використаного детектора – полум'яно-іонізаційний (FID), спалювання у водневому полум'ї. Швидкість потоку гелію становила 1,5 мл/хв. Автоінжектор 7683 (Split 20:1), температура випарника – 250 °С. Температурна програма печі: початкова температура 100 °С (утримання 2 хв), нагрівання 15 °С/хв до кінцевої температури 280 °С (утримання 11 хв). Об'єм інжектованої проби становив 1,0 мкл. Ідентифікацію досліджуваних речовин проводили за значеннями часу утримування на хроматографічній колонці.

3. Результати досліджень та їх обговорення

Результати, одержані під час дослідження 23-х систем органічних розчинників як рухомої фази під час проведення ТШХ, зображено на рис. 1–8 та у табл. 2.

Таблиця 2

Значення R_f окремих канабіноїдів під час проведення ТШХ з різними системами розчинників як рухомої фази

Table 2

R_f values of individual cannabinoids in TLC using different solvent systems as the mobile phase

Системи розчинників	Співвідношення за об'ємом, %	Елююча здатність (ε^0)	Значення R_f окремих канабіноїдів					
			КБД	ТГК	КБН	КБДВ	КБХ	КБГ
петролейний етер : діетиловий етер	80 : 20	0,08	0,67	0,63	0,60	0,59	0,57	0,54
етилацетат	100	0,40	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
етилацетат : *н*-гексан	75 : 25	0,30	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
етилацетат : петролейний етер	75 : 25	0,30	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
етилацетат : циклогексан	75 : 25	0,31	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
бензен	100	0,32	0,68	0,67	0,66	0,65	0,59	0,56
бензен : *н*-гексан	94 : 6	0,30	0,87	0,86	0,86	0,86	0,84	0,84
бензен : петролейний етер	94 : 6	0,30	0,66	0,65	0,64	0,63	0,56	0,52
бензен : циклогексан	93 : 7	0,30	0,67	0,66	0,65	0,64	0,57	0,53
метиленхлорид	100	0,32	0,88	0,87	0,87	0,87	0,85	0,85
метиленхлорид : *н*-гексан	94 : 6	0,30	0,87	0,86	0,86	0,86	0,84	0,84
метиленхлорид : петролейний етер	94:6	0,30	0,87	0,86	0,86	0,86	0,84	0,84
метиленхлорид : циклогексан	93 : 7	0,30	0,81	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74
хлороформ	100	0,26	0,72	0,69	0,67	0,66	0,52	0,50
циклогексан : хлороформ	70 : 30	0,31	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66
хлороформ : метанол	94 : 6	0,30	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
н-гексан : метанол	68 : 32	0,30	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
петролейний етер : метанол	69 : 31	0,30	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
о-ксилен : метиленхлорид	30 : 70	0,30	0,68	0,66	0,64	0,61	0,54	0,47
о-ксилен	100	0,25	0,67	0,59	0,57	0,53	0,46	0,39
о-ксилен : бензен	30 : 70	0,30	0,67	0,65	0,63	0,60	0,53	0,46
о-ксилен : етилацетат	67 : 33	0,30	0,63	0,60	0,58	0,55	0,49	0,42
о-ксилен : *н*-гексан : діетиламін	69 : 28 : 3	0,17	0,46	0,44	0,42	0,38	0,34	0,29

Окрім того, спостерігається певне нашарування плям КБХ і КБГ: R_f становить 0,56 і 0,53, відповідно (табл. 2), за ширини плям 0,60 і 0,35 см. Це підтверджує актуальність пошуку іншої системи розчинників.

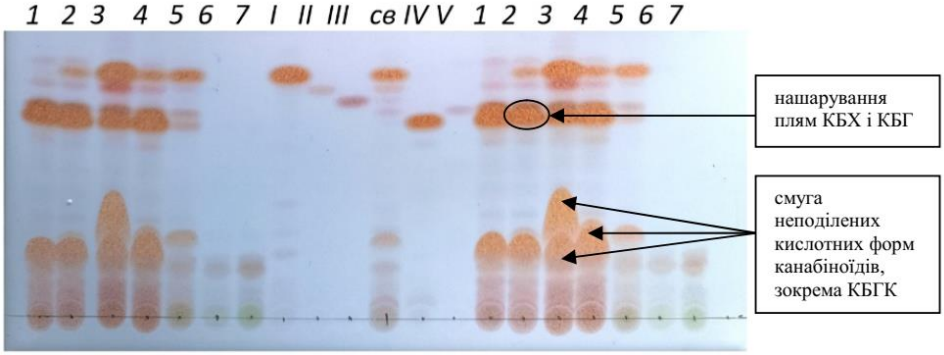


Рис. 1. Тонкошарові хроматограми під час використання рухомої фази "петролейний етер : діетиловий етер = 80 : 20"
Fig. 1. Thin-layer chromatogrames using a mobile phase of "petroleum ether : diethyl ether = 80 : 20"

Дослідження більш полярного розчинника етилацетат (ε^0 = 0,40) як рухомої фази показало, що він не забезпечує якісного поділу канабінодних сполук (табл. 2). Тож цей розчинник є занадто полярним. Під час дослідженняі систем розчинників на його основі, а саме "етилацетат : *н*-гексан = 75 : 25", "етилацетат : петролейний етер = 75 : 25" (рис. 2) і "етилацетат : циклогексан = 75 : 25" з елюючою здатністю рухомої фази на рівні 0,30…0,31, поділ суміші вільних (нейтральних) канабіноїдів і переважної більшості їх кислотних форм також не відбувся.

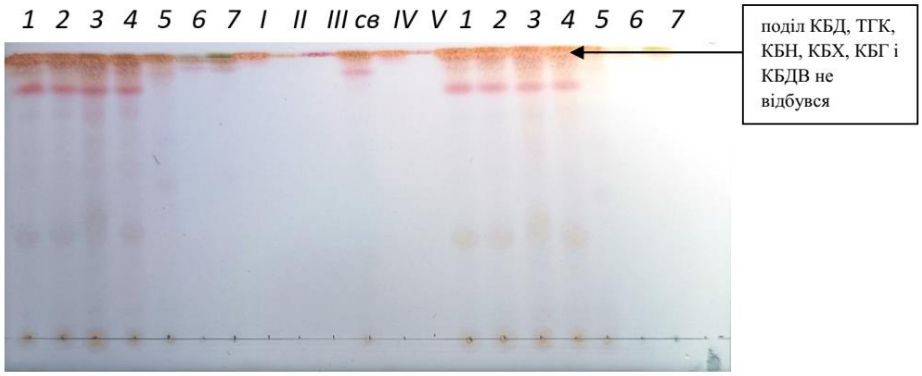


Рис. 2. Тонкошарові хроматограми під час використання рухомої фази "етилацетат : петролейний етер = 75 : 25"
Fig. 2. Thin-layer chromatogrames using a mobile phase of "ethyl acetate: petroleum ether" = 75 : 25"

Значення R_f для КБД, ТГК, КБН, КБХ, КБГ і КБДВ дорівнює 0,86. Референтні розчини відповідних сполук були на одному горизонтальному рівні хроматографічної пластини.

Отже, підбирати рухомі фази для ефективного поділу канабіноїдів потрібно не лише з урахуванням елюючої здатності розчинників, а й особливості їх властивостей і будови, зокрема здатності до диполь-дипольних взаємодій, утворення водневих зав'язків та ін. Беручи до уваги, що особливість будови всіх фітоканабіноїдів це – структура дитерпенфенолу: кільце резорцину, гідроксильні групи якого здатні утворювати водневі зв'язки, вуглеводневий "хвіст", який забезпечує ліпофільність, і ациклічне кільце, доцільно дослідити такий розчинник, як бензен.

З'ясовано, що застосування однокомпонентної системи "бензен" дає можливість забезпечити чіткий поділ основних канабіноїдних сполук у суміші рослинного екстракту (рис. 3, *а*).

Швидкість переміщення по пластинці відносно розчинника достатньо відрізнялася, зокрема значення R_f для КБД становило 0,68, ТГК – 0,67, КБН – 0,66, КБХ – 0,59, КБГ – 0,56 і КБДВ – 0,65 (табл. 2). У КБД- і КБГ-домінантних генотипів з високим вмістом відповідних непсихотропних канабіноїдів "залишкової смуги" нерозділених канабіноїдів не спостерігалося. Цей результат може бути пояснений здатністю бензену до слабкої ОН-π взаємодії з фенольними гідроксильними групами, які наявні у структурі ТГК та КБД, і π-π стекингу. Тож бензен може бути використаний для ефективної ідентифікації канабіноїдних сполук як однокомпонентна система.

З метою оптимізації системи (підвищення селективності, зменшення токсичності, покращення форми плям) проведено випробування двокомпонентних систем на основі бензену: "бензен : *н*-гексан = 94 : 6", "бензен : петролейний етер = 94 : 6", "бензен : циклогексан = 93 : 7" (рис. 3, *б*, рис. 3, *в*), які мали однакову елюючу здатність $\varepsilon^0 = 0{,}3$.

Система розчинників "бензен : *н*-гексан = 94 : 6" є непридатною для ідентифікації вільних (нейтральних) канабіноїдів в рослинних екстрактах. Значення R_f для ТГК, КБН і КБДВ мали однакове значення – 0,86. Також однакові значення R_f (0,84) були для КБХ і КБГ. Так само у КБД-домінантних генотипів спостерігається "залишкова смуга" нерозділених канабіноїдів, яка слабо піднялася до лінії фронту і не розшарувалася (рис. 3, *б*). Такий вплив *н*-гексану можна пояснити його низькою здатністю до специфічних взаємодій з нейтральними канабіноїдами. При цьому за наявності аналітичних стандартів ця система може бути використана для ідентифікації окремих кислотних форм канабіноїдів, оскільки проявилися забарвлені плями, що відповідають певним сполукам із R_f, які дорівнюють 0,81; 0,74; 0,69; 0,62; 0,48; 0,34; 0,21 і 0,14 та ін.

Система розчинників "бензен : петролейний етер = 94 : 6", на відміну від системи "бензен : *н*-гексан = 94 : 6", дала вже задовільний поділ канабіноїдів завдяки кращому фокусуванню неполярних компонентів. Однак за використання двокомпонентної системи "бензен : циклогексан = 93 : 7" отримано більш чіткий поділ плям на хроматографічних пластинах (рис. 3, *в*): забарвлені плями не нашаровувалися одна на одну, мали більш компактну форму з чітко окресленими краями. Так, R_f КБД становив 0,67, психотропного ТГК – 0,66, його кінцевого продукту розпаду КБН – 0,65, КБХ – 0,57, КБГ – 0,53 і КБДВ – 0,64. Крім того, виявлено щонайменше п'ять кислотних форм і дві плями, розташовані вище КБД, що мали R_f 0,83 і 0,86. Отриманий результат можна пояснити високою селективністю насиченого циклічного циклогексану до структурних ізомерів фітоканабіноїдів та більш рівномірним просуванням фронту. Також циклогексан сприяє утриманню в розчині жиророзчинних компонентів екстракту.

Отже, рухома фаза, яка складається із бензену і циклогексану у співвідношенні за об’ємом 93 : 7, є кращою за роздільною здатністю за класичну систему із петролейного та діетилового етеру у співвідношенні за об’ємом 80 : 20.

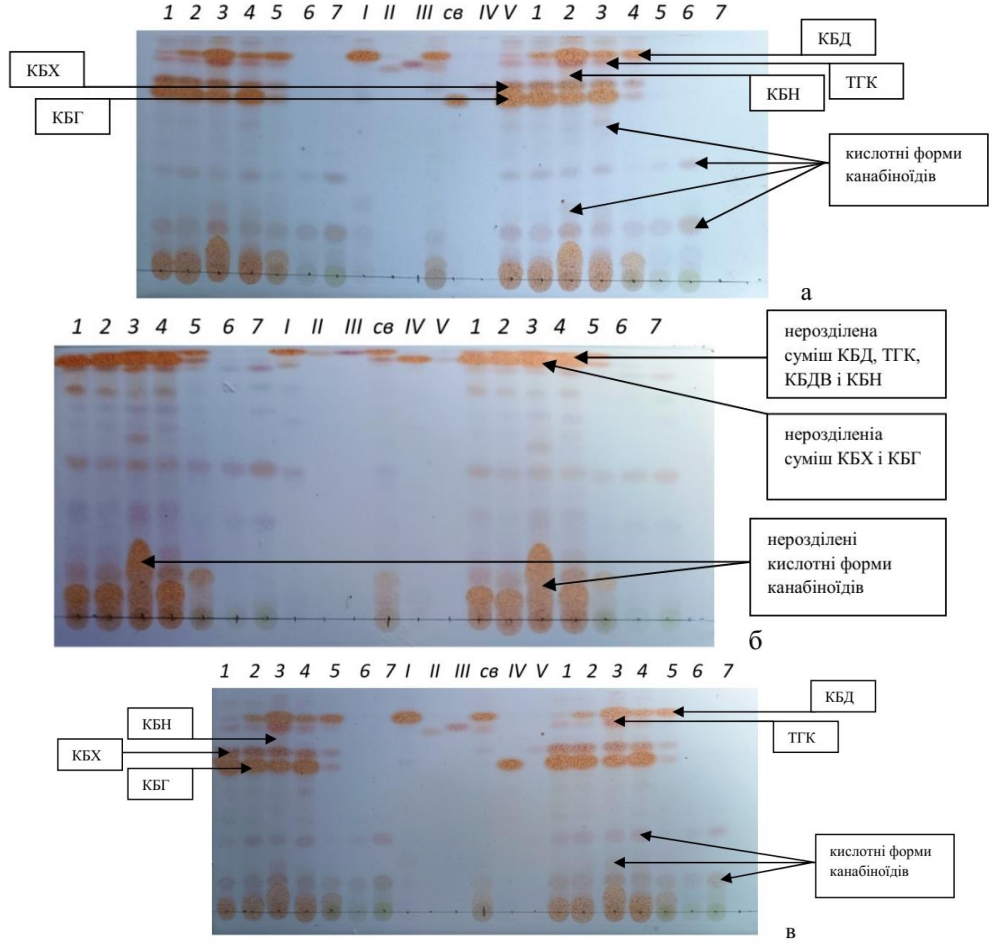


Рис. 3. Тонкошарові хроматограми під час дослідження системи розчинників на основі бензену:
а – “бензен”; *б* – “бензен : *н*-гексан = 94 : 6”; *в* – “бензен : циклогексан = 93 : 7”
Fig. 3. Thin-layer chromatogrames using benzene-based solvent systems:
a – “benzene”; *b* – “benzene : *n*-hexane = 94 : 6”; *c* – “benzene : cyclohexane = 93 : 7”

Виявлено, що системи розчинників “метиленхлорид : *н*-гексан = 94 : 6” (рис. 4) і “метиленхлорид : петролейний етер = 94 : 6” аналогічно до системи “бензен : *н*-гексан = 94 : 6” можуть бути використані лише для ідентифікації кислотних форм, оскільки нейтральні канабіноїдні сполуки в окремих випадках дають однакове значення R_f: для КБД – 0,87, для КБДВ, ТГК, КБН – 0,86, для КБГ, КБХ – 0,85. Водночас за наявності аналітичних стандартів можна ідентифікувати щонайменше 10 кислотних форм канабіноїдних сполук зі значеннями R_f 0,82, 0,77, 0,70, 0,69, 0,62, 0,60, 0,50, 0,36, 0,12 і 0,08, відповідно.

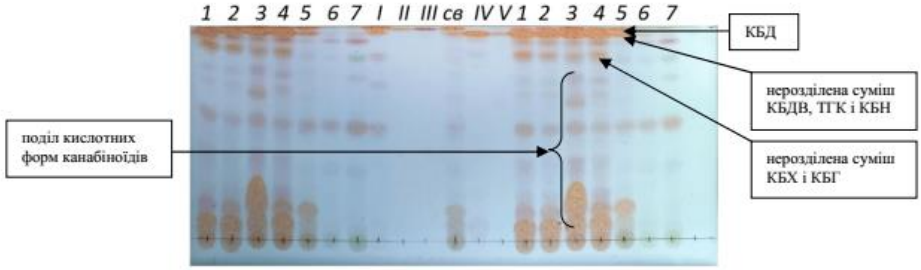


Рис. 4. Тонкошарові хроматограми під час використанні рухомої фази "метиленхлорид : *н*-гексан = 94 : 6"
Fig. 4. Thin-layer chromatogrames using a mobile phase of "methylene chloride : *n*-hexane = 94 : 6"

Система розчинників "метиленхлорид : циклогексан = 93 : 7" дає такий поділ: R_f для КБД становить 0,81, для КБДВ, ТГК, КБН – 0,75, для КБГ, КБХ – 0,74. При цьому у КБД-домінантних генотипів наявна "залишкова смуга" нерозділених канабіноїдів, що є негативним явищем. Варто зазначити, що однокомпонентна рухома фаза "метиленхлорид" також не дає змоги якісно поділити досліджувані основні сполуки, зокрема R_f для КБД становить 0,88, для КБДВ, ТГК, КБН – 0,87, для КБГ, КБХ – 0,85.

Рухомі фази "хлороформ : метанол = 94 : 6", "*н*-гексан : метанол = 68 : 32" і "петролейний етер : метанол = 69 : 31", що містять полярний розчинник метанол, також є непридатними для ідентифікації канабіноїдів методом тонкошарової хроматографії. Речовини не змішувалися і система не забезпечила рух канабіноїдів по силікагелю.

Водночас циклогексан і хлороформ можуть бути основними компонентами рухомої фази за ідентифікації канабіноїдів методом ТШХ, що доведено на прикладі двокомпонентної системи "циклогексан : хлороформ = 70 : 30" та однокомпонентної системи "хлороформ". У першому випадку спостерігається чіткий поділ, хоча плями розміщувалися досить компактно і значення R_f сполук відрізняються лише на 0,01–0,02 одиниці. Хлороформ добре розділяє суміш канабіноїдів: R_f для КБД становив 0,72, для ТГК – 0,69, для КБН – 0,67, для КБДВ – 0,66, для КБХ – 0,52 і для КБГ – 0,50. При цьому також чітко проявилися три нерозпізнані сполуки з R_f = 0,89, R_f = 0,87 (над плямою КБД) і R_f = 0,48 (під плямою КБГ). Це дало змогу рослинний зразок (№ 6 і № 7) ідентифікувати як хемотип з повною відсутністю канабіноїдів (рис. 5). Плями мають овальну форму з чітко окресленими краями. Незначне нашарування плям КБГ та КБХ можна пояснити високою концентрацією сполук, тому для більш точної їх ідентифікації потрібно зменшити кількість рослинного зразка щодо кількості екстрагента. У КБД- і КБГ-домінантних генотипів "залишкова смуга" нерозділених канабіноїдів, зокрема "шлейфи" КБГК, за таких умов хроматографування були відсутніми.

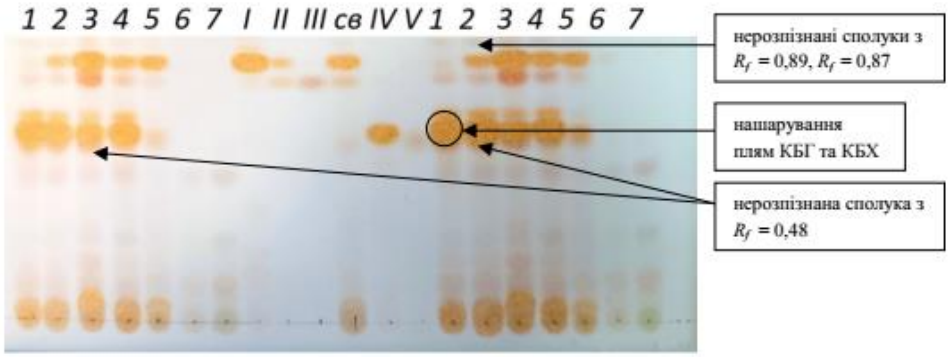


Рис. 5. Тонкошарові хроматограми під час використання рухомої фази “хлороформ”
Fig. 5. Thin-layer chromatogrames using a mobile phase of “chloroform”

Пояснити одержані результати під час дослідженні хлороформу можна тим, що він має атом гідрогену з достатнім позитивним зарядом, оскільки атоми хлору відтягують на себе електронну густину, і може бути слабким донором водневого зв’язку для фенольних груп канабіноїдів. Як наслідок, хлороформ ефективно конкурує з силікагелем і активно рухає молекули, що забезпечує чіткі плями без “хвостів”. Також хлороформ є ідеальним розчинником для терпенової частини молекули та її достатньо довгого вуглеводневого радикала він дуже рухливий, що забезпечує чітку межу розділення, і швидко випаровується, що полегшує детектування плям.

Системи “*о*-ксилен : циклогексан = 67 : 33” і “*о*-ксилен : етилацетат = 67 : 33” є дещо гіршими для візуального оцінювання, оскільки плями мали розмиті контури. Під час використання системи “*о*-ксилен : циклогексан = 67 : 33” R_f для КБД становив 0,60, для ТГК – 0,59, для КБН – 0,56, для КБДВ – 0,53, для КБХ – 0,46 і для КБГ – 0,39 та 0,63, 0,60, 0,58, 0,55, 0,49 і 0,42, відповідно, у системі “*о*-ксилен : етилацетат = 67 : 33” (табл. 2). Дещо кращими для ідентифікації досліджуваних канабіноїдів були системи “*о*-ксилен : бензен = 30 : 70” (рис. 6, *а*) і “*о*-ксилен :метиленхлорид = 30 : 70” з відповідними значеннями R_f (табл. 2), що дають змогу ідентифікувати щонайменше п’ять кислотних форм.

Однокомпонентна система “*о*-ксилен” є придатною для виявлення канабіноїдів для зразків з високим вмістом і КБД, і КБГ, оскільки їх кислотні форми ідентифікуються у сукупності з відповідними декарбоксилованими похідними. Роздільна здатність цього розчинника може бути охарактеризована як середня: плями овальної форми; значення R_f для КБД – 0,67, для ТГК – 0,59, для КБН – 0,57, для КБДВ – 0,53, для КБХ – 0,46 і для КБГ – 0,39 (рис. 6, *б*). Його взаємодія з ароматичними кільцями канабіноїдів сильніша, ніж у бензену, завдяки наявності метильних груп – донорів електронної густини. Це підвищує його селективність. Однак під час використання цієї рухомої фази для КБД- і ТГК-домінантних генотипів потрібно використовувати дещо меншу концентрацію екстракту, щоб збільшити відстань між плямами різних канабіноїдів і попередити їх нашарування, зважаючи на межі чутливості хроматографії.

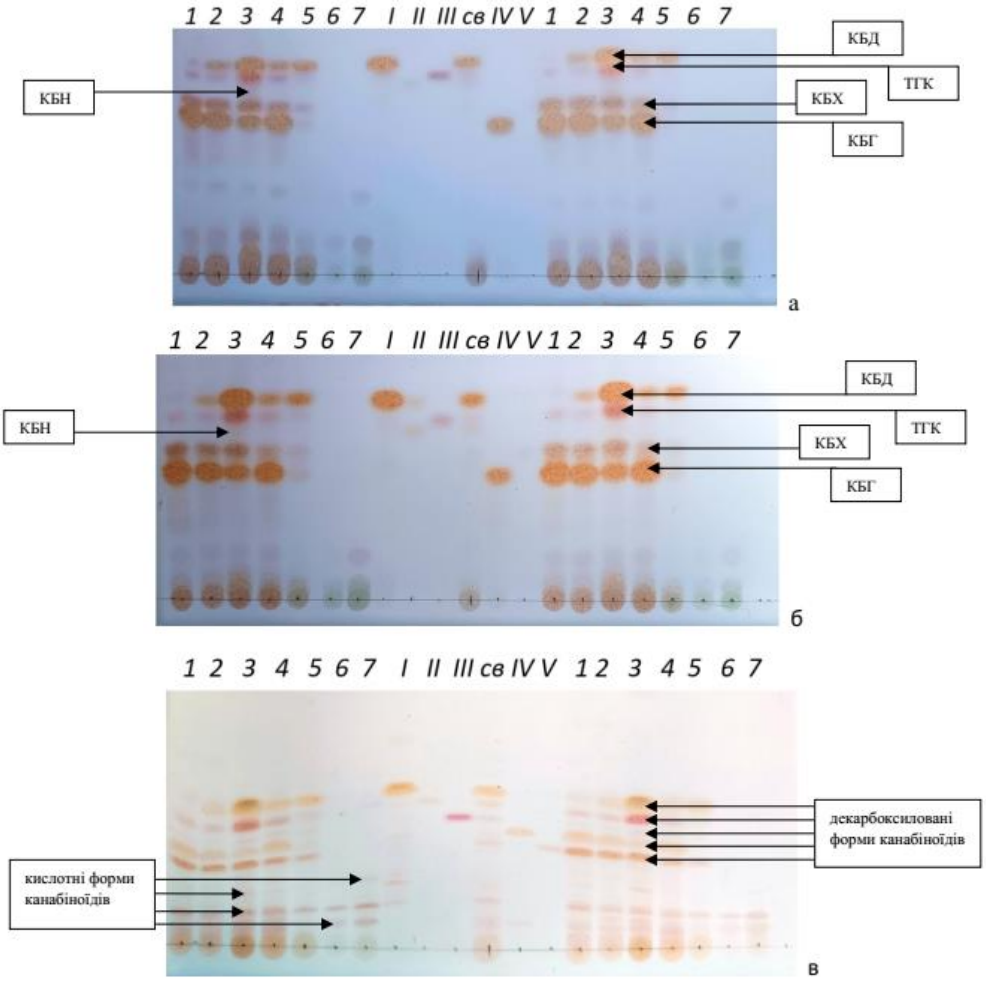


Рис. 6. Тонкошарові хроматограми під час використання рухомої фази:
а – "*о*-ксилен : бензен = 30 : 70"; *б* – "*о*-ксилен"; *в* – "*о*-ксилен : *н*-гексан : діетиламін = 69 : 28 : 3"
Fig. 6. Thin-layer chromatogrames using a mobile phase of *a* – "*o*-xylene : benzene = 30 : 70";
b – "*o*-xylene"; *c* – "*o*-xylene: *n*-hexane : diethylamine = 69 : 28 : 3"

Під час використання трикомпонентної системи "*о-ксилен* : *н*-гексан : діетиламін = 69 : 28 : 3" було отримано протилежні результати. Декарбоксиловані похідні основних канабіноїдних сполук чітко ідентифікувалися з високою роздільною здатністю (значення R_f для КБД становить 0,46, для ТГК – 0,44, для КБН – 0,42, для КБДВ – 0,38, для КБХ – 0,34 і для КБГ – 0,29), концентрувалися у вигляді вузьких смуг на достатній відстані один від одного, а кислотні форми проявилися досить зближено, що ускладнює їх визначення (рис. 6, *в*). Удосконалення цієї системи у напрямі збільшення елюючої здатності за наявності відповідних аналітичних стандартів вірогідно дасть змогу чітко розділяти кислотні форми. Тож *о*-ксилен має всі перспективи для використання в ТШХ канабіноїдів як основний компонент, проте виключно за умови дво- чи трикомпонентних систем розчинників.

Отже для ТШХ-ідентифікації канабіноїдних профілів різних генотипів конопель доцільно використовувати однокомпонентні системи “бензен”, “хлороформ” або двокомпонентні – “бензен : циклогексан = 93 : 7”, “*о*-ксилен : бензен = 30 : 70”. Подальший пошук доцільно спрямувати на випробування трикомпонентних систем, які містять *о*-ксилен, хлороформом та циклогексан для підвищення роздільної здатності щодо кислотних форм канабіноїдів.

---

1. *Riboulet-Zemouli K., Krawitz M. A.* WHO’s first scientific review of medicinal Cannabis: From global struggle to patient implications // DHSP. 2022. Vol. 23, Iss. 1. P. 5–21. DOI: http://dx.doi.org/10.1108/dhs-11-2021-0060
2. Mishchenko S.V., Mokher Yu.V. (Ed.) Scientific carelessness in the development of cannabis in the 21st century: FOP Tsoma S. P.: Sumy, 2024. 210 p. (in Ukrainian). DOI: http://doi.org/10.48096/monograph.2024
3. *Chikow I., Matambo E., Tembo N., Followard I., Jana C. E., Mwamatope B.* Chromatographic fingerprinting and spectroscopic profiling of cannabinoids. Cannabis and Khat in Drug Discovery. Elsevier, 2024. P. 119–135. DOI: https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95927-8.00007-4
4. *Huang S., van Beek T. A., Claassen F. W., Janssen H.-G., Ma M., Chen B., Zuilhof H., Salentijn G. I. J.* Comprehensive cannabinoid profiling of acid-treated CBD samples and Δ8-THC-infused edibles // Food Chem. 2024. Vol. 440. P. 1–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138187
5. *Tzimas P. S., Petrakis E. A., Halabalaki M., Skaltsounis L. A.* Extraction solvent selection for Cannabis sativa L. by efficient exploration of cannabinoid selectivity and phytochemical diversity // PCA. 2024. Vol. 35. P. 163–183. DOI: https://doi.org/10.1002/pca.3282
6. *Shkurdoda S. V., Pasichnyk V. V., Korol K. P., Ninova T. S., Kultenko Y. O., Vorobyova D. O.* Selection of solvent systems for qualitative investigation of cannabinoids by thin layer chromatography // Cherkasy University Bulletin: Chemical Sciences. 2014. No. 14 (307). P. 92–98 (in Ukrainian).
7. *Liu Y., Brettell T. A., Victoria J., Wood M. R., Staretz M. E.* High performance thin-layer chromatography (HPTLC) analysis of cannabinoids in cannabis extracts // Forensic Chem. 2020. Vol. 19. Art. 100249. DOI: https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100249
8. *Huang S., Qiu R., Fang Z., Min K., Van Beek T. A., Ma M., Chen B., Zuilhof H., Salentijn G. I.* Semiquantitative Screening of THC Analogues by Silica Gel TLC with an Ag(I) Retention Zone and Chromogenic Smartphone Detection // Anal. Chem. 2022. Vol. 94, Iss. 40. P. 13710–13718. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c01627

SOLVENT SYSTEMS OF FOR THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY OF *CANNABIS SATIVA L.* SAMPLES WITH DIFFERENT CANNABINOID PROFILES

S. Mishchenko[1, 2], I. Kurmakova[3*], H. Kyrychenko[1], O. Bondar[3]

[1]*Institute of Bast Crops, NAAS of Ukraine,*
Tereshchenkiv Str., 5, 41400 Hlukhiv, Ukraine;

[2]*Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University,*
Kyivska Str., 24, 41400 Hlukhiv, Ukraine;

[3]*T. H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium",*
Hetmana Polubotka Str., 53, 14013 Chernihiv, Ukraine
[*]*e-mail: i.kurmakova@gmail.com*

This study evaluated 23 different solvent systems as mobile phases in thin-layer chromatography to detect cannabinoid compounds in cannabidiol- and cannabigerol-dominant genotypes of *Cannabis sativa L*. The study used samples from industrial's hemp varieties Vik 2020, Medana, and Hlukhivski 51. The results demonstrate that, for identifying cannabinoid profiles in different hemp genotypes, it is advisable to use solvent systems with component ratios of "benzene : cyclohexane = 93 : 7" "*o*-xylene : benzene = 30 : 70", or single-component solvents such as "benzene" and "chloroform". Differences in the results for solvent systems with nearly identical elution capacities can be attributed to structural features and differing capacities for intermolecular interactions. The study was conducted using samples of the industrial hemp varieties Vik 2020, Medana, and Glukhivski 51. It was shown that for the identification of cannabinoid profiles of different hemp genotypes, it is advisable to use systems with a volume ratio of components "benzene : cyclohexane = 93 : 7", "*o*-xylene : benzene = 30 : 70", or single-component systems such as "benzene" and "chloroform". The results obtained for solvent systems with nearly identical elution capacities are explained by structural features and varying capacities for intermolecular interactions. In particular, the effectiveness of benzene is attributed to its ability to form weak OH-π interactions with the phenolic hydroxyl groups present in the structures of THC and CBD, as well as π-π stacking. The results obtained in the study of chloroform can be explained by the fact that it has a hydrogen atom with a sufficiently positive charge, since chlorine atoms attract electron density, and can act as a weak hydrogen-bond donor for the phenolic groups of cannabinoids. As a result, chloroform effectively "competes" with silica gel and actively moves the molecules, ensuring sharp spots without "tails". Chloroform is an ideal solvent for the terpene portion of the molecule and its sufficiently long hydrocarbon chain. It provides a sharp separation line and evaporates quickly.

Keywords: phytocannabinoids, thin-layer chromatography, solvent system, elution capacity.

Отримано 12.05.2026;
в остаточному вигляді – 15.06.2026;
прийнято до друку – 17.06.2026;
оприлюднено онлайн − 06.11.2026.