

BIOGEOCENOLOGY, GEOBOTANY AND PHYTOCENOLOGY



O. I. Dzjuba¹ 
M. V. Yatsenko²

Cand. Sci. (Biol.), Sen. Res. Sci.

UDK 582.70

¹*M. M. Gryshko National Botanical Garden,
National Academy of Sciences of Ukraine,
Timiryazevska str., 1, 01014, Kyiv, Ukraine*

²*Taras Shevchenko National University of Kyiv,
ESC "Institute of Biology", Prospekt Hlushkov, 2,
03022, Kyiv, Ukraine*

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL AS WELL AS BIOCHEMICAL PROPERTIES OF REPRESENTATIVES OF THE GENUS *SEDUM* L.


Abstract. The article deals with the history of the study and the current state of research of physiological and biochemical properties of the plant genus *Sedum* that are useful for human and has been used in folk medicine for many years.

It was noticed that antioxidant properties of extracts from plants *S. sarmentosum*, *S. sempervivoides*, *S. takesimense* were caused by the presence of phenolic compounds. Methanol extract of plants *S. takesimense* exhibited strong scavenging activities against 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and superoxide radicals as well as significant inhibitory effects on lipid peroxidation and low density lipoprotein (LDL) oxidation induced by a metal ion Cu²⁺.

Various immunomodulatory activities of various fractions of plants extracts (*S. dendroideum*, *S. kamtschaticum*, *S. sarmentosum*, *S. telephium*) are observed. It was shown that the ethanol extract of *S. sarmentosum* and its fractions suppressed specific antibody and cellular responses to ovalbumin in mice. The methanol extract of plants *S. sarmentosum* reduced the levels of anti-inflammatory markers, such as volume of exudates, number of polymorphonuclear leukocytes, suppressed nitric oxide synthesis in activated macrophages via suppressed induction of inducible nitric oxide synthase (iNOS). Polysaccharides fractions from plants *S. telephium* inducing productions of tumor necrosis factor alpha (TNF- α), increasing the intensity of phagocytosis in vitro and in vivo. Methanol extract from the whole part of *S. kamtschaticum* strongly inhibit PGE2 production from lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 cells, a mouse macrophage cell line via modulating activity in gene expression of the enzyme cyclooxygenase-2 (COX-2). The methanol extract of plants *S. sarmentosum* and the major kaempferol glycosides from *S. dendroideum* have antinociceptive activity.

It was noticed that anti-adipogenic activity of extracts from plants *S. kamtschaticum* were caused by inhibition of peroxisome-proliferator-activated receptor γ (PPAR γ) expression and its dependent target genes, such as genes encoding adipocyte protein 2 (aP2), lipoprotein lipase (LPL), adiponectin and CD36.

Polysaccharides fractions from *S. telephium* cause inhibition of cell adhesion of human fibroblast (MRC5) to laminin and fibronectin via interfere with integrin-mediated cell behaviour and

 Tel.: +38044-234-19-44. E-mail: dzjuba@nas.gov.ua

DOI: 10.15421/031417

they contributed to the role of polysaccharides in cell-matrix interaction. The methanol extract of plants *S. sarmentosum* exhibited a significant inhibitory activity in the chick embryo chorioallantoic membrane angiogenesis in a dose-dependent manner. The crude alkaloid fraction of *S. sarmentosum* caused a dose-dependent inhibition of cell proliferation on murine hepatoma cell line BNL CL.2 and human hepatoma cell line HepG2 without necrosis or apoptosis.

Alkaloids from plants *S. sarmentosum* may improve survival of hepatoma patients via the inhibition of excessive growth of tumor cells. Plant's juices have antiviral activity (*S. sarmentosum*, *S. spurium*, *S. stahlii*). Crude ethanol extract *S. praealtum* have spermicidal activity of the in mice and a relevant inhibitory effect of aqueous extract on human spermatozoa motility as well as an anti-fertilizing activity in rats. Hepatoprotective triterpenes, e.g., δ -amyrone, 3-epi- δ -amyrin, δ -amyrin and sarmentolin were isolated from *S. sarmentosum*.

2- and 2,6-substituted piperidine alkaloids (e.g., norsedamine, allosedridine, sedamine, allosedamine) are observed in plants *S. acre*, which in the presence of data on the use of pyridine and piperidine derivatives for treating neurodegenerative diseases (e.g., Alzheimer's disease), points on the promising research in this area.

Taking into account that biologically active compounds are accumulated in the aboveground vegetative organs of plants of *Sedum*, the prospects of further study of the use of *Sedum* for the purposes of biotechnology and in the pharmaceutical industry becomes apparent.

This work extends the existing views regarding the use of plants *Sedum*.

Key words: *Sedum*, activity, biologically active compounds.

УДК 582.70

О. И. Дзюба¹
М. В. Яценко²

канд. биол. наук, стар. науч. сотр.

¹Национальный ботанический сад им. Н. Н. Гришка Национальной академии наук Украины, ул. Тимирязевская, 1, 01014, г. Киев, Украина,
тел.: +380044-234-19-44, e-mail: dzjuba@nas.gov.ua

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНЦ «Институт биологии», проспект Академика Глушкова, 2, 03022, г. Киев, Украина

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА *SEDUM* L.

Рассмотрена история изучения представителей рода *Sedum* и современное состояние исследований полезных для человека физиолого-биохимических свойств растений. Систематизированы современные данные по исследованию антиоксидантной активности, влиянии на иммунную систему, антиноцицептивную активность, антиадипогенную активность, торможение клеточной адгезии, ингибирование ангиогенеза, антипролиферативную активность, антивирусную активность, спермицидную активность, гепатопротекторные свойства веществ из растений *Sedum*. Данная работа расширяет существующие взгляды относительно использования растений *Sedum*.

Ключевые слова: *Sedum*, активность, биологически активные вещества.

УДК 582.70

О. І. Дзюба¹
М. В. Яценко²

канд. біол. наук, стар. наук. співр.

¹Національний ботанічний сад ім. Н. Н. Гришка Національної академії наук України, вул. Тимірязівська, 1, 01014, м. Київ, Україна,
тел.: +380044-234-19-44, e-mail: dzjuba@nas.gov.ua

²Київський національний університет імені Тараса Шевченко, ННЦ «Інститут біології», проспект Академіка Глушкова, 2, 03022, м. Київ, Україна

ЕКОЛОГО-ФІЗИОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *SEDUM* L.

Розглянуто історію вивчення представників роду *Sedum* та сучасний стан досліджень корисних для людини фізіолого-біохімічних властивостей рослин. Систематизовано сучасні дані щодо дослідження антиоксидантної активності, впливу на імунну систему,

антиноцицептивну активність, антиадипогенну активність, гальмування клітинної адгезії, інгібування ангиогенезу, антипроліферативну активність, антивірусну активність, сперміцидну активність, гепатопротекторну властивість речовин з рослин *Sedum*. Дана робота розширює існуючі погляди відносно використання рослин *Sedum*.

Ключові слова: *Sedum*, активність, біологічно активні речовини.

ВСТУП

В Україні зростають 17 видів *Sedum* (Mosyakin and Fedoronchuk, 1999) і виникла необхідність провести літературний огляд. Деякі з видів *Sedum* широко культивуються і дичавіють (Eggli, 2003). Представники роду *Sedum* належать до сукулентів, мають специфічний процес фотосинтезу за САМ-типом (Crassulacean acid metabolism), який дозволяє сукулентам витратити приблизно у 30 разів менше води, ніж іншим рослинам. (Teeri et al., 1981). Хімічні дослідження видів роду *Sedum* призвели до ізоляції декількох класів речовин, таких як алкалоїди, дубильні речовини, флавоноїди і ціаногенні сполуки (Nahrstedt et al., 1982; Mulinacci et al., 1995; Stevens et al., 1995; De Melo et al., 2005).

Фармацевтичні препарати з фітосировини з рослин *Sedum* використовуються в клінічній практиці з 1971 року (Su, 1993). З рослин *S. maximum* (L.) Suter. виробляють препарат біосед (Biossedum), який за фармакологічною дією належить до біогенних стимуляторів. Використовують його як допоміжний засіб, що стимулює процеси обміну й регенерацію тканин в офтальмології, терапії, хірургії та стоматології (Bezborod'ko, 1972).

Історія вивчення

Рід *Sedum* описаний Карлом Лінеєм в 1753 році (Goncharova, 2006). Проте згадки про рослини роду *Sedum* зустрічаються ще в працях Плінія (Regnat, 2004). Докладний таксономічний аналіз роду приведений у роботі С. Б. Гончарової (Goncharova, 2006). Докладний ботанічний опис роду та характеристику його видів можна знайти в роботах (Eggli, 2003; Tsvelev, 2001).

Антиоксидантна активність

Е. К. Мо зі співавторами (Mo et al., 2011) провели екстракцію з ліофілізованих листків *S. sarmentosum* н-гексаном, н-бутанолом, етилацетатом і метанолом. Загальний вміст поліфенолів в етилацетатному екстракт (ЕАЕ) і метаноловому екстракті (МЕ) був значно вищим, ніж у екстрактах неполярних розчинників. ЕАЕ і МЕ показали чудову антиоксидантну активність у поглинанні дифенілпікрилгідрозилу, також вони мають високу ємність поглинання радикалів кисню. Перекисне окислення ліпідів ефективно інгібуються додаванням екстрактів листків *S. sarmentosum*. Був знайдений пентациклічний тритерпеноїд, ідентифікований як D-фрідеолеан-13-ен-3-он (тараксерон), який є новим антиоксидантом з рослин *S. sarmentosum* (Mo et al., 2012).

П. Т. Туонг зі співавторами (Thuong et al., 2007) виділили фенольні сполуки з рослин корейського ендемічного виду *S. takesimense* Nakai. Їх структури були визначені як 1-(4-гідроксифеніл)-2-(3,5-дигідроксифеніл)-2-гідроксиетанон, госипетин-8-*O*- β -D-ксилопіранозид та 2,6-ди-*O*-галоїларбутин, а також ще 11 раніше відомих фенольних сполук. Госипетин-8-*O*- β -D-ксилопіранозид та 2,6-ди-*O*-галоїларбутин виявили високу активність поглинання дифенілпікрилгідрозилу та супероксидних радикалів, а також значні інгібуючі ефекти на перекисне окислення ліпідів (IC₅₀ 14,0 та 10,8 μ M, відповідно) і окислення ліпопротеїнів низької щільності, індукованого іоном металу Cu²⁺ (IC₅₀ 5,7 і 3,3 μ M, відповідно).

А. Маві зі співавторами (Mavi et al., 2004) виявили антиоксидантну активність та поглинання дифенілпікрилгідрозилу та супероксидних радикалів екстрактами *S. sempervivoides*, які зростають в Східній Туреччині.

Вплив на імунну систему та антиноцицептивна активність

В дослідженні Ф. Каїна та Х.-К. Суна (Qin and Sun, 2008) було показано, що етанольний екстракт *S. sarmentosum* значно пригнічує клітинну ланку імунної відповіді у мишей на конканавалін А (Con A) і ліпополісахариди. У штучно імунізованих овальбуміном мишей спостерігалось значне зниження сироваткових рівнів IgG1 і IgG2b у відповідь на вплив екстракту, що вказує на пригнічення гуморальної ланки імунної відповіді. Фракція, що переважно складається з флавоноїдних глікозидів, виявила найвищу імуносупресивну активність.

Антиноцицептивна активність екстрактів з *S. sarmentosum* була продемонстрована з використанням, в якості моделі, індукованих оцтовою кислотою судом у мишей. Екстракти з *S. sarmentosum* зменшували рівні прозапальних маркерів, таких як об'єм ексудату, кількість поліморфно-ядерних лейкоцитів. Екстракт інгібував синтез оксиду азоту в макрофагах лінії RAW 264.7, які були активовані ліпополісахаридами. Пригнічується індукція індубильної NO-синтази (iNOS) в активованих макрофагах (Jung et al., 2008).

S. telephium L., широко поширений в Європі, відомий не тільки як декоративна рослина, але і як засіб для лікування запальних захворювань шкіри (Hänsel et al., 1994). Полісахариди і декілька флавонольних глікозидів кемпферолу і кверцетину вважаються речовинами, які спричиняють протизапальні ефекти цієї рослини (Hänsel et al., 1994; Sendl et al., 1993; Mulinacci et al., 1995). А. Сендл зі співавторами (Sendl et al., 1993) виділили два полісахариди, рамногалактуронани, з висушених листків *S. telephium*. Обидва полісахариди індують продукцію фактору некрозу пухлин альфа (TNF- α), підвищують інтенсивність фагоцитозу *in vitro* та *in vivo*, і виявляють протизапальну активність.

В дослідженнях Д. В. Кім зі співавторами (Kim et al., 2004) було встановлено, що метанолові екстракти з усієї рослини *S. kamtschaticum* сильно інгібують продукування простагландину PGE₂ клітинами лінії мишачих макрофагів RAW 264.7, індукованими ліпополісахаридами. Метаноловий екстракт інгібує набряк вух мишей, індукований кротоновою олією (24–47%-ве інгібування при 50–400 мг/кг) і набряк лап щура (24–30%-ве інгібування при 400–800 мг/кг) при пероральному введенні. Метанолові екстракти з рослин *S. kamtschaticum* також показали значну інгібуючу активність щодо набряку мишачого вуха, викликаного багаторазовим впливом форболового ефіру протягом 3 днів. Крім того, *S. kamtschaticum* проявив потужну аналгетичну активність проти індукованих оцтовою кислотою судом у мишей (IC₅₀ = 125 мг/кг). Використовуючи активовані ЛПС клітини RAW 264,7, було знайдено негативну регуляцію експресії гена фермента циклооксигенази-2 (COX-2), що може бути одним з механізмів протизапальної дії *S. kamtschaticum*.

Д. О. Де Мело зі співавторами (De Melo et al., 2005) повідомили, що пероральне введення мишам ліофілізованого соку *S. dendroideum* спричиняло залежне від дози зниження оцтової кислотної індукованої судом, інгібувало формування вушного набряку, індукованого кротоновою олією та інгібувало другу фазу ноціцепції (фізіологічного болю) в формаліновому тесті. Хімічне дослідження свіжого соку призвело до виділення 4 флавоноїдів: кемпферол 3-*O*- α -рамнопіранозид-7-*O*- α -рамнопіранозиду (кемферитрину), кемпферол 3-*O*- β -глюкопіранозид-7-*O*- α -рамнопіранозиду, кемпферол 3-*O*-неогесперидозид-7-*O*- α -рамнопіранозиду і кемпферол 3-*O*-неогесперидозид-7-*O*- β -глюкопіранозиду. В подальших дослідженнях (De Melo et al., 2009) з соку отримали сім флавоноїдів. Пероральне введення основних глікозидів кемпферолу: кемферитрину [1] (17,29 мкмоль/кг), кемпферол 3-*O*- β -глюкопіранозид-7-*O*- α -рамнопіранозиду [2] (16,82 мкмоль/кг), кемпферол 3-*O*-неогесперидозид-7-*O*- α -рамнопіранозиду [3] (13,50 мкмоль/кг) або α -рамноізоробіну [4] (23,13 мкмоль/кг) інгібувало, відповідно, на 47,3 %, 25,7 %, 60,2 % і 58,0 % індуковану оцтовою кислотою ноціцепцію (індометацин: 27,95 мкмоль/кг, перорально; 68,9 %). Флавоноїди 1, 2, 3 або 4, в тих же дозах, знизили на 39,5 %,

46,5 %, 35,6 % і 33,3 %, відповідно, індукований кртоновою олією вушний набряк і порушили міграцію лейкоцитів на 42,9 %, 46,3 %, 50,4 % і 49,6 %, відповідно. Результати свідчать, що основні глікозиди кемпферолу з *S. dendroideum* можуть мати застосування для лікування болю і запалень.

Антиадипогенна активність

За результатом скринінгу екстрактів з диких рослин, проведеного В.-С. Янг зі співавторами (Jang et al., 2012), рослини *S. kamtschaticum* виділено як такі, що містять антиадипогенні сполуки, тобто здатні завадити розвитку ожиріння. Метанолові екстракти пригнічували накопичення ліпідів в клітинах первинних мишачих ембріональних фібробластах СЗН10Т1/2 і клітин 3Т3-L1 залежно від дози. Екстракти інгібували експресію мРНК пероксисомально рецептора активації проліферації гамма PPAR γ (peroxisome proliferator-activated receptor gamma) і залежних від нього генів-мішеней, таких як гени, що кодують білок адипоцитів 2 (aP2), ліпопротеїнліпази, адипонектин та CD36. Результати показали, що наявні властивості інгібування синтезу та зберігання ліпідів в жирових клітинах (адипоцитах) потенційно можуть використовуватись для лікування ожиріння і пов'язаних з ним метаболічними синдромів.

Гальмування клітинної адгезії

Адгезія клітин представляє собою перший етап в загоєнні ран та є важливою ланкою в тканинному гомеостазі, тому Л. Реймонді зі співавторами (Raimondi et al., 2000) досліджували вплив соку *S. telephium* і його основні фракції: полісахаридів і флавоноїдів, – на адгезію людських фібробластів (MRC5) до фібронектину і ламініну. Їхні результати показали, що сік сильно гальмував клітинну адгезію до ламініну і фібронектину (EC₅₀ 1,03±0,12 мг/мл⁻¹). Ця антиадгезивна властивість була, в основному, зосереджена в двох фракціях полісахаридів (варіація EC₅₀ між 0,09 і 0,44 мг/мл⁻¹). Флавоноїдні фракції не спричиняли такий ефект. Також ці автори провели першу спробу ідентифікації полісахаридів, які відповідають за антиадгезивні властивості соку рослин *S. telephium*. Результати підтвердили, що природні полісахариди, з різними хімічними структурами, відмінними від гепарину, були здатні заважати опосередкованій інтегринами процесам.

Інгібування ангиогенезу

В дослідженні Х.-Й. Янга зі співавторами (Jung et al., 2008) показано, що метанольні екстракти з рослин *S. sarmentosum* демонструють значне, залежне від дози, інгібування ангиогенезу в хоріоалантоїсній мембрані курячого ембріону (IC₅₀ = 2,29 μ г/яйце).

Антипроліферативна дія

Т. Х. Канг зі співавторами (Kang et al., 2000) дослідили наявність протиракових ефектів сирової фракції алкалоїдів з *S. sarmentosum*. Клітинні лінії мишачої гепатоми BNL CL₂ і людської гепатоми HepG2 культивували в присутності сирової фракції алкалоїдів при різних дозах (50–150 мг/мл) протягом 24 або 48 годин. Фракція алкалоїдів викликала залежне від дози інгібування клітинної проліферації без некрозу чи апоптозу. Антипроліферативна дія була пов'язана із збільшенням числа клітин у фазі G1 клітинного циклу. Це дослідження показує, що речовини з рослин *S. sarmentosum* можуть поліпшити виживання хворих з гепатомою через інгібування надмірного зростання пухлинних клітин та вказують на необхідність подальших детальних досліджень у цьому напрямку.

Антивірусна активність

Рослини виду *S. sarmentosum* традиційно використовуються в народній медицині для лікування хронічних вірусних гепатитів в Китаї та Південній Кореї (Su, 1993).

В. П. Ширококовим з співавторами (Shirobokov et al., 1983) були вивчені антивірусні властивості соку рослин 49 видів *Sedum*. В дослідженні РНК-вмісні віруси (Коксаки В-1, Коксаки В-6, вірус везикулярного стоматиту (ВВС), вірус грипу А/Гонконг/1/68 (H3N2) і ДНК-вмісний бактеріофаг Т-2) титрували по методу бляшок. Результати свідчать, що соки рослин двох видів мають високу віруцидну активність на поліовірус другого типу (Себіна). Для *S. spurium* індекс нейтралізації ІН 50 % склав 1:8192, для *S. stahlii* ІН 50 % склав 1:8192. Настільки ж висока активність зареєстрована і при дії на інші віруси (ентеровіруси, ВВС, бактеріофаг Т-2). ІН 50 % відносно вірусу грипу був приблизно на один порядок нижчим. Час контакту не впливав на ступінь віруцидної активності, яка проявлялась вже через 1 хв взаємодії вірусу і соку.

Сперміцидна активність

Водний відвар з надземних частин рослин *Sedum praealtum* DC., що зростає від Мексики до Гватемали, використовується вагінально у народній медицині мексиканського штату Морелос як протизаплідний засіб (Avilés, 1985). Р. Сілва-Торрес з співавторами (Silva-Torres et al., 2003) дослідили сперміцидну активність сирої етанольної витяжки з рослин *S. praealtum* на мишах. Ними було доведено, що екстракт *S. praealtum* має токсичну дію на життєздатність сперматозоїдів. LD₅₀ неочищеного екстракту становить 44 мг/кг ваги тіла. У *S. praealtum* є синонім *S. dendroideum* (Clausen, 1959). Раніше Й. Гарсія-Пінеда з співавторами (García-Pineda et al., 1986) довели наявність гальмівного ефекту водного екстракту рослин цього виду (під назвою його синоніма – *S. dendroideum*) на моторику сперматозоїдів людини, а також контрацептивну активність у шурів.

Гепатопротекторні властивості

У дослідженнях А. Хе зі співавторами (He et al., 1998) δ-амірон, 3-епі-δ-амірин, δ-амірин, а також новий гідроперокситерпен, 18β-гідроперокси-олеан-12-ен-3-он (названий сарментоліном), були виділені як гепатопротекторні агенти з *S. sarmentosum*.

Перспективи використання алкалоїдів для лікування нервоводегенеративних хвороб (Alzheimer's disease)

Останнім часом, з'явилися дані про використання заміщених піридинів і піперидинів в якості лікувальних засобів проти хвороби Альцгеймера, що є предметом патенту (Meth-Cohn et al., 2000).

В роботі (Francis et al., 1977) та роботах, що в ній цитується повідомлялось про 2- і 2,6-заміщені алкалоїди піперидину в рослинах *S. acre*.

В наступних дослідженнях було ізольовано і виділено 6 алкалоїдів: седамін, седрідин, седінон, ізопелетієрин і нікотин. В основному, це вторинні і третинні піперидинові основи з відносно простою молекулярною структурою, з гідроксильних і карбонільних груп (Hänsel et al., 1994).

Я. Ф. Стевенс зі співавторами (Stevens et al., 1993) дослідили рослини 16 видів з *Sedum acre*-групи на наявність алкалоїдів. Листки видів серій *Alpestris*, *Samia* та *Litorea* містять 4 піперидинових алкалоїди, які також наявні і в *S. acre*, а також 4 піролідинові алкалоїди, які відсутні в *S. acre*.

ФітореMediaція ґрунтів, забруднених важкими металами

S. alfredii Hance є гіпернакопичувачем Zn і Cd, ця властивість була відкрита Я. Ксіао'е (Xiao'e et al., 2002) і стала темою багатьох досліджень, з 2005 вийшло понад 80 наукових статей. Батьківщиною виду є Китай. Dong-Mei Deng зі співавторами (Deng et al., 2008) дослідили внутрішньовидові відмінності рослин в накопиченні металів. Згідно отриманих результатів, популяції, що зростають поблизу шахт: Quzhou (провінція Чжецзян), Yejiwei і Qiaokou (провінція Хунань, Китай) можуть мати високий потенціал для фітореMediaції Zn, популяція з шахти Quzhou

може мати високий потенціал для фітореMediaції Cd, а популяція з шахти Qiaokou може бути найбільш корисною для фітореMediaції Pb.

Комбіноване забруднення дихлордифенілтрихлорметилметаном (ДДТ) і Cd сільськогосподарських ґрунтів викликає велике занепокоєння, тому що вони представляють серйозну небезпеку для продовольчої безпеки і здоров'я людини. Х. Фанг зі співавторами (Fang et al., 2012) дослідили метод комбінованої реMediaції ДДТ і Cd з використанням *Sphingobacterium sp.* штам D-6 та *S. alfredii*. Після спільного культивування протягом 210 днів, час напіврозпаду ДДТ у ґрунтах, оброблених штамом D-6 знизився, в порівнянні з контролем, на 8,1 % до 68,0 %. Концентрація Cd в ґрунті знизилась до 65,8–71,8 % при вирощуванні *S. alfredii* і до 14,1–58,2 % при комбінованому культивуванні *S. alfredii* та штаму D-6, відповідно, в порівнянні з контролем. Було зроблено висновок, що *Sphingobacterium sp.* штам D-6 і *S. alfredii* можуть бути використані для фітореMediaції ДДТ і Cd з ґрунту. Ж. Жу зі співавторами (Zhu et al., 2012), в дослідженні з такою ж метою, разом з *S. alfredii* та *Sphingobacterium sp.* D6 використали суміш ґрунтових організмів: *Fusarium solani*, *Alcaligenes eutrophus* A5, *Boletus edulis*, *Serratia marcescens* DT-1P, *Pseudomonas fluorescens*, *Cladosporium sp.* AJR3 18501, *Ralstonia eutropha* A5, *Pseudomonas acidovorans* M3GY, *Terrabacter sp.* DDE-1, *Shewanella decolorationis* S12, *Phanerochaete chrysosporium* та ще 12 грибів. Було отримано значне збільшення фітореMediaції. Вивчалися результати спільного культивування і з іншими мікроорганізмами (Guo et al., 2011; Xinxian et al., 2011).

Іншим видом, який є гіпернакопичувачем Zn та Cd, є *S. plumbizincicola* X. H. Guo et S. B. Zhou ex L. H. Wu (Wu et al., 2012).

ФітореMediaція водойм, забруднених важкими металами

Б. Чен зі співавторами (Chen et al., 2013) оцінили потенціал рослин *S. alfredii* в застосуванні для очищення забрудненої води водойм від важких металів. Дослідження показало, що зміни рН води водойми не спричиняло значних змін на накопичення важких металів у рослинах. Рослини накопичують близько 5,0 мг/кг сухої ваги Cd і 41,4 мг/кг сухої ваги Pb. Загалом, рослини *S. alfredii* продемонстрували значний потенціал для застосування в очищенні водойм, забруднених важкими металами. Проводились і інші подібні дослідження (Xiong et al., 2011).

ВИСНОВКИ

Отже, аналіз літературних даних свідчить про широкий інтерес дослідників до різних видів роду *Sedum*. Найбільш дослідженими є *S. alfredii*, *S. sarmentosum*, *S. dendroideum*. На нашу думку, дослідження в напрямку використання алкалоїдів піперидинового ряду для лікування хвороби Альцгеймера є найбільш перспективними. Однак, наукові дослідження, присвячені цьому питанню, ще дуже далекі до завершення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Avilés, M., 1985. Plantas Empleadas por Parteras Empíricas del Estado de Morelos, B.Sc. Thesis, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Mexico, 53–56.
- Bezborod'ko, B. N., 1972. Klinicheskiye dannyye po izucheniyu bioseda [Clinical data for the study of biosed]. Materials of All-Union Scientific Conference on the pharmacological and clinical studies of drugs from plants, Moscow (in Russian).
- Bieganowska, S., Waksrnundzki, A., 1976. Alkaloids of the herb *Sedum acre* L. Part I. Chromatographic analysis, Chromatographia, Vol. 9, No. 5, 215–218.
- Chen, B., Ai, W., Gong, H., Gao, X., Qiu, B., 2013. Cleaning up of heavy metals-polluted water by a terrestrial hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance, Frontiers in Biology, Vol. 8, Is. 6, pp. 599–605.
- Clausen, R. T., 1959. *Sedum* of the Trans-Mexican Volcanic Belt: An Exposition of

Taxonomic Methods, Cornell University Press, Ithaca.

De Melo, G. O., Malvar, D. C., Vanderlinde, F. A., Pires, P. A., Côrtes, W. S., Germano F. P., Muzitano, M. F., Kaiser, C. R., Costa, S. S., 2005. Phytochemical and pharmacological study of *Sedum dendroideum* leaf juice, *Journal of Ethnopharmacology*, 102, 217–220

De Melo, G. O., Malvar, D. C., Vanderlinde, F. A., Pires, P. A., Côrtes, W. S., Germano Filho, P., Muzitano, M. F., Kaiser, C. R., Costa, S. S., 2005. Phytochemical and pharmacological study of *Sedum dendroideum* leaf juice, *Journal of Ethnopharmacology*, 102, 217–220.

De Melo, G. O., Malvar, D. C., Vanderlinde, F. A., Rocha, F. F., Pires, P. A., Costa, E. A., De Matos, L. G., Kaiser, C. R., Costa, S. S., 2009. Antinociceptive and anti-inflammatory kaempferol glycosides from *Sedum dendroideum*, *Journal of Ethnopharmacology*, 124, 228–232.

Deng, D.-M., Deng, J.-C., Li, J.-T., Zhang, J., Hu, M., Lin, Z. & Liao, B., 2008. Accumulation of Zinc, Cadmium, and Lead in Four Populations of *Sedum alfredii* Growing on Lead/Zinc Mine Spoils, *Journal of Integrative Plant Biology*, 50(6), 691–698.

Encyclopedia of Chinese Materia Medica, 6th ed., 1993. Shanghai Science and Technology Publisher, Shanghai.

Fang, H., Zhou, W., Cao, Z., Tang, F., Wang, D., Liu, K., Wu, X., Yang, X., Sun, Y., Yu, Y., 2012. Combined remediation of DDT congeners and cadmium in soil by *Sphingobacterium* sp. D-6 and *Sedum alfredii* Hance, *Journal of Environmental Sciences*, 24(6), 1036–1046.

Flora Vostochnoy Yevropy. V. 10 [Flora of Eastern Europe, Vol. 10], 2001. Mir i sem'ya, St. Petersburg (in Russian).

Francis, L. P. S., Francis, G. W., 1977. *Sedum* alkaloids, *Planta Med.*, 32, 268–274.

García-Pineda, J., Wens, M. A., Valencia, A., Gallegos, A. J., 1986. Acción de *Sedum dendroideum* sobre la actividad funcional de los espermatozoides, *Archivos de Investigación Médica (México)*, 17, 391–397.

Goncharova, S. B., 2006. Ochitkovyye (Sedoideae, Crassulaceae) flory rossiyskogo Dal'nego Vostoka [Sedums (Sedoideae, Crassulaceae) from flora of the Russian Far East]. *Dal'nauka, Vladivostok* (in Russian).

Guo, J., Tang, S., Ju, X., Ding, Y., Liao, S., Song, N., 2011. Effects of inoculation of a plant growth promoting

rhizobacterium *Burkholderia* sp. D54 on plant growth and metal uptake by a hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance grown on multiple metal contaminated soil, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 27, 2835–2844.

Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, Vol. 5, 1994. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 650 p.

He, A., Wang, M., Hao, H., Zhang, D. & Lee, K.-H., 1998. Hepatoprotective triterpenes from *Sedum sarmentosum*, *Phytochemistry*, Vol. 49, No. 8, 2607–2610.

Illustrated Handbook of Succulent Plants: Crassulaceae, 2003. Springer.

Jang, W.-S., Song, N.-J., Yoon, H.-J., Kim, M.-J., Ku, J.-M., Hong, J.-W., Lee, Y. M., Park, K.-M., Park, K. W., 2012. Identification of *Sedum kamtschaticum*, *Lythrum anceps*, and *Astilbe chinensis* var. *dauidii* as inhibitors of peroxisome-proliferator-activated receptor γ expression and lipid accumulation, *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, 55, 625–631.

Jung, H.-J., Kang, H.-J., Song, Y. S., Park, E.-H., Kim, Y.-M., Lim, C.-J., 2008. Anti-inflammatory, anti-angiogenic and anti-nociceptive activities of *Sedum sarmentosum* extract, *Journal of Ethnopharmacology*, 116, 138–143.

Jung, H.-J., Kang, H.-J., Song, Y. S., Park, E.-H., Kim, Y.-M., Lim, C.-J., 2008. Anti-inflammatory, anti-angiogenic and anti-nociceptive activities of *Sedum sarmentosum* extract, *Journal of Ethnopharmacology*, 116, 138–143.

Kang, T. H., Pae, H. O., Yoo, J. C., Kim, N. Y., Kim, Y. C., Ko, G. I., Chung, H. T., 2000. Antiproliferative effects of alkaloids from *Sedum sarmentosum* on murine and human hepatoma cell lines, *Journal of Ethnopharmacology*, 70, 177–182.

Kim, D. W., Son, K. H., Chang, H. W., Bae, K.H., Kang, S.S., Kim, H.P., 2004. Anti-inflammatory activity of *Sedum kamtschaticum*, *Journal of Ethnopharmacology*, 90, 409–414.

Likars'ki roslini: Entsiklopedichniy dovidnik [Medicinal Plants: Encyclopedic Reference], 1992. Publisher M.P. Bazhan's "Ukrayins'ka Entsyklopediya", Kiev. (in Ukrainian).

Mavi, A., Terzi, Z., Özgen, U., Yildirim, A. & Coşkun, M., 2004. Antioxidant Properties of Some Medicinal Plants: *Prangos ferulacea* (Apiaceae), *Sedum sempervivoides* (Crassulaceae), *Malva neglecta* (Malvaceae), *Cruciata taurica* (Rubiaceae), *Rosa pimpinellifolia* (Rosaceae), *Galium verum*

- subsp. *verum* (Rubiaceae), *Urtica dioica* (Urticaceae), Biol. Pharm. Bull., 27(5), 702–705.
- Meth-Cohn, O., Yu, C.-Y., Lestage, P., Lebrun, M.-C., Cagniard, D.-H., Renard, P., 2000.** European Patent, 1050531.
- Mo, E. K., Han, B. H., Kim, S. M., Yang, S. A., Kang, S. K., Oh, C. J., Kim, R., Kim, C. G., Kang, H. J. & Sung, C. K., 2012.** Identification of d-friedoolean-13-en-3-one (Taraxerone) as an antioxidant compound from sedum (*Sedum sarmentosum*), Food Sci. Biotechnol., 21(2), 485–489.
- Mo, E. K., Kim, S. M., Yang, S. A., Oh, C. J. & Sung, C. K., 2011.** Assessment of antioxidant capacity of sedum (*Sedum sarmentosum*) as a valuable natural antioxidant source, Food Sci. Biotechnol., 20(4), 1061–1067.
- Mosyakin, S. L., Fedoronchuk, M. M., 1999.** Vascular plants of Ukraine. Nomenclatural checklist, Kiev, Specialized typography of scientific journals of Nat. Acad. of Sci. of Ukraine.
- Mulinacci, N., Vincieri, F. F., Baldi, A., Bambagiotti-Alberti, M., Sendl, A., Wagner, H., 1995.** Flavonol glycosides from *Sedum telephium* subspecies *maximum* leaves, Phytochemistry, 38, 531–533.
- Mulinacci, N., Vincieri, F.F., Baldi, A., Bambagiotti-Alberti, M., Sendl, A., Wagner, H., 1995.** Flavonol glycosides from *Sedum telephium* subspecies *maximum* leaves, Phytochemistry, 38(2), 531–533.
- Nahrstedt, A., Walther, A., Wray, V., 1982.** Sarmentosin epoxide, a new cyanogenic compound from *Sedum cepaea*, Phytochemistry, 21, 107–110.
- Qin, F. & Sun, H.-X., 2008.** Immunosuppressive Activity of the Ethanol Extract of *Sedum sarmentosum* and Its Fractions on Specific Antibody and Cellular Responses to Ovalbumin in Mice, Chemistry & Biodiversity, Vol. 5, 2699–2709.
- Raimondi, L., Banchelli, G., Dalmazzi, D., Mulinacci, N., Romani, A., Vincieri, F. F. & Pirisino, R., 2000.** *Sedum telephium* L. Polysaccharide Content Affects MRC5 Cell Adhesion to Laminin and Fibronectin, J. Pharm. Pharmacol., 52, 585–591.
- Regnat, H., 2004.** The name *Sedum*, Sedum Society Newsletter, 70, 76–80.
- Seibert, K., Zhang, Y., Leahy, K., Hauser, S., Masferrer, J., Perkins, W., Lee, L., Isakson, P., 1994.** Pharmacological and biochemical demonstration of the role of cyclooxygenase 2 in inflammation and pain, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 91, 12013–12017.
- Sendl, A., Mulinacci, N., Vincieri, F. F., Wagner, H., 1993.** Anti-inflammatory and immunologically active polysaccharides of *Sedum telephium*, Phytochemistry, 34(5), 1357–1362.
- Sendl, A., Mulinacci, N., Vincieri, F. F. & Wagner, H., 1993.** Anti-inflammatory and immunologically active polysaccharides of *Sedum telephium*, Phytochemistry, Vol. 34, No. 5, 1357–1362.
- Shirobokov, V. P., Yevtushenko, A. I., Lapchik, V. F., Shirobokova, D. N., Nikitin, V. V., Berezkina, V. I., 1983.** Antivirusnaya aktivnost' kak biologicheskoye svoystvo nekotorykh predstaviteley semeystva tolstyankovykh (Crassulaceae DC.) [The antiviral activity as a biological property of some members of the family Crassulaceae (Crassulaceae DC.)]. Viruses and viral diseases, Vol. 11, 69–71 (in Russian).
- Silva-Torres, R., Montellano-Rosales, H., Ramos-Zamora, D., Castro-Mussot, M. E., Cerda-García-Rojas, C. M., 2003.** Spermicidal activity of the crude ethanol extract of *Sedum praealtum* in mice, Journal of Ethnopharmacology, 85, 15–17.
- Stevens, J. F., Hart, H.'t, Hendriks, H. & Malingré, T. M., 1993.** Alkaloids of the *Sedum acre*-group (Crassulaceae), Pl. Syst. Evol., 185, 207–217.
- Stevens, J. F., Hart, H.'t, Van Ham, R. C. H. J., Elema, E. T., Van Den Ent, M. M. V. X., Wildeboer, M., Zwaving, J. H., 1995.** Distribution of alkaloids and tannins in the Crassulaceae, Biochemical Systematics and Ecology, 23, 157–165.
- Teeri, J. A., Tonsor, S. J., Turner, M., 1981.** Leaf thickness and carbon isotope composition in the Crassulaceae, Oecologia, 50, 367–369.
- The Medicinal Plants of Korea, 1999. Kyo-Hak Pub. Co., Seoul.
- Thuong, P. T., Kang, H. J., Na, M. K., Jin, W. Y., Youn, U. J., Seong, Y. H., Song, K.-S., Min, B.-S., Bae, K. H., 2007.** Anti-oxidant constituents from *Sedum takesimense*, Phytochemistry, 68, 2432–2438.
- Wu, L., Li, Z., Akahane, I., Liu, L., Han, C., Makino, T., Luo Y. & Christie, P., 2012.** Effects of organic amendments on Cd, Zn and Cu bioavailability in soil with repeated phytoremediation by *Sedum plumbizincicola*, International Journal of Phytoremediation, 14, 1024–1038.

Wu, L. H., Liu, Y. J., Zhou, S. B., Guo, F. G., Bi, D., Guo, X. H., Baker, A. J. M., Smith, J. A. C., Luo, Y. M., 2013. *Sedum plumbizincicola* X.H. Guo et S.B. Zhou ex L.H. Wu (Crassulaceae): a new species from Zhejiang Province, China, *Plant Syst. Evol.*, 299, 487–498.

Xiao'e, Y., Xinxian, L., Wuzhong, N. & Chenxin, F., 2002. *Sedum alfredii* H: A new Zn hyperaccumulating plant first found in China, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 47, No. 19, 1634–1637.

Xinxian, L., Xuemei, C., Yagang, C., Woon-Chung, W.J., Zebin, W., Qitang, W., 2011. Isolation and characterization endophytic bacteria from hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance and their potential to

promote phytoextraction of zinc polluted soil, *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 27, 1197–1207.

Xiong, J. B., Mahmood, Q., Yue, M., 2011. The potential of *Sedum alfredii* Hance for the biosorption of some metals from synthetic wastewater, *Desalination*, 267, 154–159.

Zhu, Z., Yang, X., Wanga, K., Huang, H., Zhang, X., Fang, H., Li, T., Alva, A. K., He, Z., 2012. Bioremediation of Cd-DDT co-contaminated soil using the Cd-hyperaccumulator *Sedum alfredii* and DDT-degrading microbes, *Journal of Hazardous Materials*, 235–236, 144–151.

Стаття надійшла в редакцію: 15.10.2014

Рекомендує до друку: д-р біол. наук, проф. Н. В. Заїменко