

БЛЮМ Р.Я.<sup>1,2✉</sup>, ЛАНТУХ Г.В.<sup>2</sup>, ЄМЕЦЬ А.І.<sup>2</sup>, РАХМЕТОВА С.О.<sup>3</sup>, РАХМЕТОВ Д.Б.<sup>3</sup>, БЛЮМ Я.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

Україна, 03022, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 2, e-mail: blume.rostislav@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України,

Україна, 04123, м. Київ, вул. Осиповського, 2а, e-mail: cellbio@cellbio.freenet.viaduk.net

<sup>3</sup> Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України,

Україна, 01014, м. Київ, вул. Тимірязєвська, 1, e-mail: jamal\_r@bigmir.net

✉ blume.rostislav@gmail.com

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ТА ЖИРНОКИСЛОТНОГО СКЛАДУ ОЛІЇ З НАСІННЯ ЯРОЇ ТА ОЗИМОЇ СУРІПИЦІ ЯК ПЕРСПЕКТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КОМПОНЕНТІВ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА

На сьогодні запропоновано різні технологічні рішення отримання біодизельного палива з рослинної сировини [1–3]. У Європі та в Україні для виробництва біодизелю використовується переважно така олійна культура, як ріпак (ярий та озимий) [4, 5]. Проте поряд із ріпаком та іншими традиційними, добре відомими олійними культурами [6] на більшу увагу заслуговують інші види сільськогосподарських рослин, які потенційно можна використовувати для виробництва біопалива, зокрема представники родини *Brassicaceae* [7, 8]. Раніше нами було проведено оцінку жирнокислотного складу олії насіння форм і сортів тифону (*Brassica campestris* f. *biennis* DC. ? *B. rapa* L.), редьки олійної (*Raphanus var. oleifera sativus* L.) та рижю посівного (*Camelina sativa*) селекції Національного ботанічного саду (НБС) ім. М.М. Гришка НАН України з метою визначення їхньої придатності для отримання біопалива [9]. Проте поряд із цими культурами з родини Хрестоцвіті великий інтерес становлять й інші високоолійні рослини, що потенційно можуть бути використані як джерело біопаливної сировини. Одним з таких видів, що може відрізнитися високою продуктивністю в умовах помірного клімату на території України, є суріпиця яра (*Brassica campestris* f. *annua* D.C.) та озима (*Brassica campestris* f. *biennis* D.C.) [10, 11]. Саме тому метою роботи стало проведення порівняльного аналізу вмісту олії в насінні селекційних форм і сортів озимої та ярої суріпиці селекції НБС ім. М.М. Гришка НАН України та їх жирнокислотного складу для

визначення найперспективніших джерел отримання біодизелю.

### Матеріали і методи

Для досліджень було використано насіння селекційних форм та сортів суріпиці ярої (*Brassica campestris* f. *annua* D.C.) та озимої (*Brassica campestris* f. *biennis* D.C.), створених у відділі нових культур Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України за участю ДУ «Інституту харчової біотехнології та геноміки НАН України». Суріпиця озима була представлена формами ЕОСОФУ, ЕОСОФГл., ЕОСОФДн., ЕОСОФВол., Оріана-1 та сортом `Оріана; суріпиця яра – формами ЕОСЯФ-1, ЕОСЯФ-2, ЕОСЯФР та сортозразком Піонер-ЮТ.

Ліпіди досліджуваних зразків одержували за допомогою ручного преса «ПРОМ-1». Вміст ліпідів визначали за масою сухого знежиреного залишку на апараті «Сокслета». Визначення кількості енергії в олії здійснювали на калориметрі «ІСО 200».

Визначення жирнокислотного складу олії насіння зазначених форм та сортів здійснювали за допомогою методу газорідинної хроматографії. Хроматографічний аналіз проводили на газорідинному хроматографі GC-2014 («Шимадзу», Японія), (колонка Stabil faks, L=50 м; FFAP; 0,50–0,32 мм). Як газ-носії використовували азот. Кислоти ідентифікували шляхом порівняння отриманих хроматограм метилових естерів кислот у гексані з хроматограмами стан-

дартних розчинів метилових естерів жирних кислот C<sub>6</sub>–C<sub>24</sub>.

### Результати та обговорення

Перш за все, слід зазначити, що досліджувані нами форми та сорти суріпиці озимої мають високий потенціал урожайності насіння (від 3,77 до 4,63 т/га) (табл. 1). Важливою агрономічною ознакою озимої суріпиці є її сезонна пластичність. Так, насіння суріпиці починає проростати при +2°C. Восени, у фазі розетки, вегетація рослин може тривати за температури +5 – +6°C, а за наявності снігового покриву сходи суріпиці витримують морози до –25 – –30°C. Однак, враховуючи діапазон кліматичних умов України, перспективними для промислового використання можуть бути сорти як озимої суріпиці, так і ярої. Тому у відділі нових культур НБС ім. М.М. Гришка НАН України створено цінний генофонд цієї олійної культури як для осіннього, так і для весняного посіву.

Важливою особливістю суріпиці озимої є високий вміст ліпідів у насінні, що варіює в межах 35,4–38,2 % (табл. 1). Олія з насіння озимої суріпиці вирізняється високою енергетичною цінністю. Залежно від формових та сортових особливостей теплоємність олії становить від 8990 до 9170 ккал/кг (табл. 1). За виходом енергії з олії серед досліджуваних генотипів лідирують сорт Оріана, сортозразок Оріана-1 та форма ЕОСОФУ.

Нами встановлено, що в насінні суріпиці ярої міститься дещо менше ліпідів, ніж у насінні суріпиці озимої. Залежно від форми та сорту, вміст олії в її насінні коливається в межах від 35,8 % до 36,4 % (табл. 2). Урожайність самого насіння у досліджуваних генотипів ярої суріпиці становить від 2400 до 3240 кг/га. Вміст енергії в олії різних зразків суріпиці ярої від 9085 до 9182 ккал/кг.

Таблиця 1. Вихід олії з насіння різних форм і сортів суріпиці озимої та її енергетична цінність

Форма, сорт	Вміст олії в насінні, %	Урожайність насіння, кг/га	Вихід олії з насіння, кг/га	Вихід енергії з олії, ккал/кг	Вихід енергії з олії з урожаю насіння, Гкал/га
Оріана	38,1	4360	1373	9170	12,59
ЕОСОФУ	35,8	3770	1138	9080	10,33
ЕОСОФГл	35,3	4630	1389	8975	12,47
ЕОСОФДн	35,9	4390	1321	9020	11,92
ЕОСОФВол	37,8	4220	1312	8990	11,79
Оріана-1	36,9	4140	1279	9090	11,63

Таблиця 2. Вихід олії з насіння різних форм і сортозразка суріпиці ярої та її енергетична цінність

Форма, сорт	Вміст олії в насінні, %	Урожайність насіння, кг/га	Вихід олії з насіння, кг/га	Вихід енергії з олії, ккал/кг	Вихід енергії з олії з урожаю насіння, Гкал/га
ЕОСЯФ-1	36,2	3240	998	9108	9,09
ЕОСЯФ-2	36,4	2400	737	9134	6,73
ЕОСЯФР	35,8	2820	857	9085	7,79
Сортозразок Піонер-ЮТ	36,3	3180	970	9182	8,91

Хімічний склад рослинних олій і сировини, з якої їх отримують, має важливе значення для правильного планування виробництва біодизелю, вдосконалення технології переробки сировини та створення нових харчових продуктів. Тому нами було досліджено жирнокислотний склад олії з насіння різних форм та сортів

суріпиці власної селекції (табл. 3, 4). Перш за все, впадає в очі, що олія досліджуваних генотипів озимої суріпиці характеризується високим вмістом ерукової кислоти (табл. 3). Залежно від формових та сортових особливостей, її вміст може досягати 42,8 %. Варто також зазначити, що за її вмістом суріпиця озима переважає на-

віть таку високоерукову культуру, як тифон [9]. Крім ерукової кислоти, для олії озимої суріпиці характерна наявність у великій кількості олеїнової кислоти (17,71–21,34 %). Вміст лінолевої та ліноленої жирних кислот може сягати до

14,34 % та до 9,09 % відповідно. Також у достатньо великій кількості у всіх досліджених зразках наявна гондоїнова (20:1) кислота (до 12,77 %), яка є проміжним продуктом синтезу ерукової кислоти [12].

Таблиця 3. Жирнокислотний склад олії з насіння різних форм та сортів суріпиці озимої, %

CN:DB/ Назва об'єкта	Оріана	Оріана-1	ЕОСОФУ	ЕОСОФГл	ЕОСОФДн	ЕОСОФВол
16:0	2,53	2,08	2,45	2,41	2,35	2,99
18:0	1,01	0,9	0,97	0,96	0,97	0,91
18:1	20,28	17,71	20,69	21,34	19,54	18,15
18:2	11,88	12,94	12,81	14,34	14,04	13,28
18:3	6,53	8,85	6,9	8,36	9,09	7,99
20:0	0,64	0,68	0,57	0,62	0,65	0,63
20:1	12,77	11,57	11,61	11,86	11,37	11,1
20:2	0,95	-	1,81	-	-	0,55
22:0	0,58	0,62	-	0,54	0,58	0,57
22:1	42,63	42,8	40,87	38	39,55	40,71
24:0	1,33	1,18	1,35	1,16	1,13	1,13

Досліджені нами зразки олії ярої суріпиці відзначаються значно нижчим вмістом ерукової кислоти у порівнянні з озимими. Встановлено, що її максимальний вміст може сягати лише 13,77 %. Вміст гондоїнової кислоти у цих генотипів також менший, ніж в озимих сортів, – до 7,98 %. Однак вміст олеїнової кислоти значно вищий, ніж у будь-якого із досліджуваних зразків озимої суріпиці, – до 46,92 %. При цьому необхідно підкреслити, що кількість олеїнової кислоти в олії ярої суріпиці є значно більшою, ніж у досліджених нами раніше інших видів із *Brassicaceae* [9]. Вміст лінолевої кислоти також є вищим, ніж в озимих сортів, сягаючи 21,17 %. Ліноленова кислота наявна у такій самій кількості (до 9,08 %), що і в озимих сортів та сорторазків.

Як відомо, етилові або метилові естери жирних кислот можуть бути використані як автомобільне дизельне паливо і як добавка до авіаційного палива. Спосіб використання кінцевого продукту залежить саме від жирнокислотного складу сировини, тобто олії, з якої його було отримано. Авіаційне паливо складається з вуглеводнів із довжиною ланцюга C<sub>12</sub>-C<sub>21</sub>, у той час як дизельне – C<sub>16</sub>-C<sub>25</sub> [13, 14]. Саме тому олії з вищим вмістом легких (із нижчим вмістом C) жирних кислот краще підходять для викорис-

тання у суміші з більш легкими видами пального (авіагас), а високий вміст таких жирних кислот, як ерукова, позитивно відображається на якості більш важких видів палива (дизельне пальне). Однак наявність великої кількості жирних кислот з довгим ланцюгом в олії негативно відображається на якості кінцевого продукту (біодизелю). Таке пальне буде непридатним для використання у двигунах за низьких температур. Частково цю проблему можна вирішити шляхом використання олій з високим вмістом таких коротколанцюгових ненасичених кислот, як олеїнова, лінолева та ліноленова. Однак високий вміст поліненасичених жирних кислот призводить до зниження окисної стабільності олії та, як результат, до скорочення терміну придатності пального.

Таким чином, найбільш універсальним буде дизельне біопаливо, отримане з легких жирних кислот із меншою довжиною карбонового ланцюга – не більше C<sub>18</sub>. Крім того, вміст естерів моно- та поліненасичених жирних кислот у пальному зумовлює його вищу стійкість до низьких температур. Такі палива мають нижчу точку загустіння, тому можуть бути придатними для використання за несприятливих температурних режимів. Ці переваги забезпечуються завдяки присутності, у першу чергу, олеїно-

вої (18:1), лінолевої (18:2), а особливо лінолено-вої (18:3) жирних кислот [15].

З огляду на описані вище вимоги до рослинної олії, для її використання як біопаливної сировини можна виділити такі сорти та сортозразки: найвищим вмістом ерукової кислоти характеризується Оріана-1 (42,8 %), олеїнової –

ЕОСЯФ-2 (46,92 %); найвищим вмістом коротколанцюгових жирних кислот – ЕОСЯФ-1 (81,54 %) та ЕОСЯФ-2 (80,72 %); найвищим вмістом мононенасичених жирних кислот – Оріана (75,68 %), а найвищим вмістом поліненасичених жирних кислот – ЕОСЯФ-1 (30,07 %) та Піонер-ЮТ (30,24 %).

Таблиця 4. Жирнокислотний склад олії з насіння різних форм та сортозразка суріпиці ярої, %

CN:DB/ Назва об'єкта	ЕОСЯФ-1	ЕОСЯФ-2	ЕОСЯФР	Сортозразок Піонер-ЮТ
16:0	3,83	3,25	3,19	3,39
18:0	1,49	1,31	1,31	1,39
18:1	46,15	46,92	43,54	44,28
18:2	21,07	20,16	19,62	21,17
18:3	9	9,08	8,51	9,07
20:0	0,59	-	0,52	0,58
20:1	6,17	6,82	7,98	6,68
20:2	-	0,62	0,82	-
22:0	-	-	-	-
22:1	11,21	11,11	13,77	11,74
24:0	0,7	0,61	0,74	0,72

#### Висновки

- У ході проведених досліджень визначено урожайність насіння, вміст олії та її енергетичну цінність залежно від формових та сортових особливостей суріпиці ярої (*Brassica campestris* f. *annua* D.C.) та озимої (*B. campestris* f. *biennis* D.C.) селекції Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. Енергетична цінність досліджуваних зразків коливається в межах 8990–9182 ккал/кг, урожайність сягає 4630 кг/га (форма озимої суріпиці ЕОСОФГл). Вміст олії у насінні сягає 38,1 % у сорту Оріана (озима суріпиця). Відібрано генотипи з найбільшою продуктивністю за виходом олії на одиницю площі: форми ЕОСОФВол (1312 кг/га), ЕОСОФДн (1321 кг/га), ЕОСОФГл (1389 кг/га) та сорт Оріана (1373 кг/га).

- За результати хроматографічного аналізу встановлено, що досліджені зразки озимої суріпиці вирізняються високим вмістом ерукової (22:1) кислоти – до 42,8 %. Зразки ярої суріпиці вирізняються високим вмістом олеїнової (18:1) кислоти – до 46,92 %, а також більшим вмістом такої поліненасиченої жирної кислоти з коротким ланцюгом, як лінолева (18:2) – до 21,17 %.

- Встановлено, що найбільшим вмістом ерукової (22:1) кислоти характеризується Оріана-1 (42,8 %), олеїнової – форма ЕОСЯФ-2

(46,92 %), найбільшим вмістом коротколанцюгових жирних кислот – форми ЕОСЯФ-1 (81,54 %) та ЕОСЯФ-2 (80,72 %), найбільшим вмістом мононенасичених жирних кислот – сорт Оріана (75,68 %), найбільшим вмістом поліненасичених жирних кислот – форма ЕОСЯФ-1 (30,07 %) та сортозразок Піонер-ЮТ (30,24 %).

- З урахуванням таких показників, як врожайність, продуктивність олії та особливості жирнокислотного складу відібрано два найбільш перспективних генотипи суріпиці для виробництва дизельного біопалива – це озимий сорт Оріана та форма ярої суріпиці ЕОСЯФ-1. Сорт Оріана вирізняється найвищим вмістом олії у насінні (38,1 %), її високим виходом на одиницю площі (1373 кг/га) та найоптимальнішим жирнокислотним складом для отримання важких видів дизельного біопалива: найвищий вміст ерукової кислоти (22:1) – 42,8 % та найвищий вміст мононенасичених жирних кислот – 75,68 %. Форма ЕОСЯФ-1 вирізняється достатньо високим вмістом олії у насінні – 36,2 %, найвищим її виходом на одиницю площі серед ярих генотипів – 998 кг/га та найкращим жирнокислотним складом для отримання легких видів дизельного біопалива: найвищий вміст олеїнової кислоти (18:1) – 46,15 % після форми ЕОСЯФ-2 та найвищий вміст коротколанцюгових жирних кислот – 81,54 %. Передбачається,

що у разі отримання важкого біодизельного палива з сорту Оріана воно характеризуватиметься високою енергетичною цінністю та високою окисною стабільністю, але буде малопридатним для використання за низьких температур через високу точку загустіння. У той же час легке дизельне біопаливо, отримане з форми ярої суріпиці ЕОСЯФ-1, не матиме проблем із використанням за несприятливих температурних режимів, але матиме меншу окисну стабільність та буде майже рівноцінним за виходом енергії з

одинці палива (порівняно з «важким» біодизелем).

*Робота виконувалася за підтримки проекту «Комплексна оцінка продуктивних характеристик рижію як енергетичної сировини для виробництва компонентів дизельного біопалива у порівнянні з іншими олійними хрестоцвітими культурами» цільової комплексної міждисциплінарної програми наукових досліджень НАН України з розроблення наукових засад раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку (2015–2019 рр.).*

### Література

1. Atabani A.E., Silitonga A.S., Ong H.C., Mahlia T.M.I., Masjuki H.H., Badruddin I.A., Fayaz H. Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production // *Renew. Sustain. Energy Rev.* – 2013. – V. 18. – P. 211–245.
2. Balat M. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work // *Energy Convers. Manag.* – 2011. – V. 52. – P. 1479–1492.
3. Wittkop B., Snowdon R.J., Friedt W. Status and perspectives of breeding for enhanced yield and quality of oilseed crops for Europe // *Euphytica.* – 2009. – V. 170. – P. 131–140.
4. Блюм Я.Б., Григорюк І.П., Дмитрук К.В., Дубровін А.В., Ємець А.І., Калетнік Г.М., Мельничук М.Д., Мироненко В.Г., Рахметов Д.Б., Сибірний А.А., Циганков С.П. Система використання біоресурсів у новітніх біотехнологіях отримання альтернативних палив. – К.: Аграр Медіа Груп, 2014. – 359 с.
5. Кушнір І.В. Перспективи розвитку виробництва біодизелю в Україні // *Зб. наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки.* – 2011. – № 1 (48). – С. 41–45.
6. Ratanapariyanuch K., Clancy J., Emami S., Cutler J., Reaney M.J.T. Physical, chemical, and lubricant properties of *Brassicaceae* oil // *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* – 2013. – V. 115. – P. 1005–1012.
7. Рахметов Д.Б. Роль нових культур у фітоенергетиці України // *Наук. вісн. НАУ.* – 2007. – № 116. – С. 13–20.
8. Рахметов Д.Б., Вергун О.М., Рахметова С.О., Пашина О.О. Перспективи інтродукції та селекції високоолійних малопоширених рослин – як джерело для біодизеля // *Мат-ли III міжнар. наук. конф-ції. «Інтродукція, селекція та захист рослин».* – Донецьк. – 2012. – С. 104–105.
9. Блюм Р.Я., Бойчук Ю.М., Ємець А.І., Рахметова С.О., Блюм Я.Б., Рахметов Д.Б. Порівняльна оцінка жирнокислотного складу олій насіння форм та сортів тифону, редьки олійної і рижію як перспективної сировини для отримання біодизелю // *Фактори експериментальної еволюції організмів.* – К.: Логос, 2016. – Т. 18. – С. 61–66.
10. Gumbyte M., Makarevičiene V., Kalenskaya S., Junik A. Aliejinguju augalu aliejaus panaudojimo galimybes biodyzelino gamybai // *Zemes ukio Mokslai.* – 2013. – V. 20 (1). – P. 1–9.
11. Velasco L., Goffman F.D., Becker H.C. Variability for the fatty acid composition of the seed oil in a germplasm collection of the genus *Brassica* // *Genet. Resources Crop Evol.* – 1998. – V. 45. – P. 371–382.
12. Barker G.C., Larson T.R., Graham I.A., Lynn J.R., King G.J. Novel insights into seed fatty acid synthesis and modification pathways from genetic diversity and quantitative trait loci analysis of the *Brassica* C genome // *Plant Physiol.* – 2007. – V. 144. – P. 1827–1842.
13. Bereczky Á., Török Á. International literature review on the possibilities of biodiesel production // *Period. Polytech. Transp. Eng.* – 2011. – V. 39 (1). – P. 31–37.
14. Kumar N., Varun, Chauhan S.R. Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins: A review // *Renew. Sust. Energy Rev.* – 2013. – V. 21. – P. 633–658.
15. Verma P., Sharma M.P. Performance and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines // *Int. J. Renew. Energy Res.* – 2015. – V. 5 (1). – P. 245–250.

**BLUME R.Ya.<sup>1,2</sup>, LANTUKH G.V.<sup>2</sup>, YEMETS A.I.<sup>2</sup>, RAKHMETOVA S.O.<sup>3</sup>, RAKHMETOV D.B.<sup>3</sup>,  
BLUME Ya.B.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Educational and Scientific Center "Institute of Biology and Medicine", Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Ukraine, 03022, Kyiv, Akademika Glushkova ave., 2, e-mail: blume.rostislav@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Food Biotechnology and Genomics NAS of Ukraine,

Ukraine, 04123, Kyiv, Osypovskogo str., 2a, e-mail: cellbio@cellbio.freenet.viaduk.net

<sup>3</sup> M.M. Gryshko National Botanical Garden Natl. Acad. Sci. of Ukraine,

Ukraine, 01014, Kyiv, Tymiryazevska str., 1, e-mail: jamal\_r@bigmir.net

#### **COMPARATIVE ANALYSIS OF PRODUCTIVE POTENTIAL AND FATTY ACID COMPOSITION OF OIL FROM SEEDS OF SPRING AND WINTER TURNIP RAPE AS PERSPECTIVE SOURCE FOR PRODUCTION OF DIESEL BIOFUEL COMPOUNDS**

**Aim.** Main aim of this research was a comparison of fatty acid composition for seed oils from of turnip rape breeding forms and varieties produced in M.M. Gryshko Natl. Botanical Garden of Natl. Academy of Sciences of Ukraine.

**Methods.** Biochemical analysis of oil content as well as chromatographic analysis of fatty acid composition of mentioned above turnip rape genotypes were conducted out. **Results.** Oil content in seeds of spring (*Brassica campestris* f. annua D.C.) and winter (*B. campestris* f. biennis D.C.) turnip rape forms and varieties was determined. The highest oil content was indicated for winter variety Oriana – 38.1 %. Basing on chromatographic analysis indicated two types of fatty acid composition: high-erucic with content of 22:1 fatty acid up to 42.8 % and high-oleic with content of 18:1 fatty acid up to 46.92 %. **Conclusions.** Taking in account results of chromatographic analysis and agronomic productivity the best genotypes for biodiesel production were identified: winter variety Oriana and spring form EOSYaF-1. Chosen genotypes could be used for production of two different types of this biofuel – “light” and “heavy”, – according to difference in fatty acid composition

**Keywords:** Brassicaceae, turnip rape, spring varieties, winter varieties, oil, fatty acids, composition, biodiesel.