

СУЧАСНІ НАУКОВІ НАПРЯМИ У ВИРОЩУВАННІ КУЛЬТУРИ САФЛОРУ КРАСИЛЬНОГО (*CARTHAMUS TINCTORIUS L.*)

¹⁾ Криштон Є. А., ²⁾ Ведмедева К. В.

¹⁾ ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, Україна

²⁾ Інститут олійних культур НААН, Україна

Сафлор красильний (*Carthamus tinctorius L.*) – універсальна культура за поширенням і використанням у сільськогосподарському виробництві. Комерційна привабливість вирощування цієї культури полягає в її надзвичайній посухостійкості і високій якості одержуваної олії, яка є корисною завдяки високому вмісту в ній поліненасичених жирних кислот. Однак серед фахівців сільськогосподарського виробництва України досі не сформувалося позитивне ставлення до сафлору, що зумовлено браком інформації щодо використання цієї культури, а також невідпрацьованою технологією її промислового виробництва і способів переробки.

В оглядовій статті розкрито значення сафлору як джерела виробництва цінної рослинної олії. Проведено аналіз основних напрямів застосування *Carthamus tinctorius L.*: у харчовій і лакофарбовій промисловості, медицині та генній інженерії, як фітореMediaційної культури, медоносу, а також як цінного корму для тварин і птахів. Оцінено ефект сафлору як джерела енергії й альтернативи для виробництва біопалива. Узагальнено практичний досвід розробок іноземних учених у галузі селекції отримання сортів із підвищеним рівнем олеїнової кислоти або певним поєднанням в олії сафлору олеїнових та лінолевих жирних кислот, зі стійкістю до гербіцидів суцільної дії.

Показано перспективні підходи застосування молекулярних маркерів, використовуваних для вивчення філогенетичного споріднення й походження виду *Carthamus tinctorius L.*, з метою контролю комерційного використання сортів харчового або технічного напрямку, а також виявлення генів і локусів, пов'язаних із конкретними селекційно цінними ознаками. Для підвищення ефективності селекції та насінництва сафлору красильного представлено способи всебічного застосування сучасних методів генної інженерії, а також використання культури клітин і тканин. Розглянуто сучасні наукові напрями, а також проблеми і перспективи вирощування культури сафлору красильного в Україні.

Ключові слова: культура, сафлор красильний, дослідження, аналіз, жирно-кислотний склад, олійність, насіння, селекція, сорт, біотехнологія, ДНК-маркери, генна інженерія, докілья

Вступ. Глобальні та локальні зміни клімату мають найбільший вплив на реалізацію сільськогосподарським виробництвом біокліматичного потенціалу зони під час вирощування сільськогосподарських культур. Дуже важливим за умов зміни клімату є розширення генетичного біорізноманіття традиційних у нашій країні культур та введення в культуру і в селекцію нових, споріднених з традиційними, але значно стійкіших до змінених умов культури [1]. Тому, поряд з потребою в агротехнічних засобах стабілізації рослинництва виникає необхідність вирощування нетрадиційних культур, здатних адекватно реагувати на зміну погодних умов. На нашу думку, найдоцільнішим є впровадження такої культури, як сафлор красильний. Він пластичний до екстремальних умов, проте на території України малопоширений, хоча має дуже високий потенціал для розповсюдження та диверсифікації сільськогосподарського виробництва.

Метою наших досліджень було визначення теоретичних і практичних наукових напрямів, спрямованих на проведення комплексних досліджень для розробки технології

вирощування і впровадження ефективних способів використання і переробки сировини сафлору красильного в Україні.

Загальні відомості. Сафлор красильний (*Carthamus tinctorius L.*) – стародавня олійна культура, яка належить до родини складноцвітих (*Asteraceae*). Рослина однорічна, з різко вираженими ознаками мешканця посушливих областей, що характеризує її як теплолюбну й досить посушливу. Транспіраційний коефіцієнт цієї культури менше 300. Стебло голе, прямостояче, гіллясте, досягає залежно від сорту й умов вирощування 100 см і більше. Середня врожайність насіння сафлору становить від 1,0 до 1,5 т/га, за сприятливих умов вирощування до 2,0 т/га і більше.

Сафлор має добре розвинений, сильно розгалужений стрижневий корінь, що глибоко проникає у ґрунт. Здатний переносити посуху з найменшим зниженням урожаю, до ґрунтів невимогливий, навіть може вирощуватися на засолених ґрунтах. Сафлор легко переносить заморозки від -3 до -5 °С, насіння його проростає вже при 2 °С тепла, а сходи у фазі розетки витримують морози до -15...-17 °С.

З екологічного погляду сафлор можна використовувати для фітореMediaції на забруднених ґрунтах [2], уміст небезпечних речовин у його біомасі не виходить за межі фізіологічної норми. Так, після загортання в ґрунт зеленої маси сафлору кореневмісний шар збагачується доступними формами фосфору і калію, збільшується швидкість розкладання целюлози. Також відомо, що рослини сафлору можуть боротися з бур'янами, при цьому не тільки знижувати їхню кількість, але і негативно впливати на їхню масу. Висока конкурентоспроможність сафлору порівняно з бур'янами дозволяє відмовитися від застосування гербіцидів. До того ж специфічні шкідники сафлору поки що не отримали широкого розповсюдження в Україні, а це дає змогу не використовувати інсектициди, отже, сприяє і зниженню витрат, і зменшенню техногенного навантаження на довкілля.

Як свідчить аналіз наукових публікацій іноземних учених [3, 4], у світовій практиці інтерес до культури сафлору у різні періоди був неоднаковий. Широкі біохімічні дослідження останніх десятиліть показали, що сафлор завдяки своїм біологічним особливостям здатний не тільки забезпечити населення поживною рослинною олією, але й має високу перспективу комплексного використання як харчової, косметичної, лікарської, кормової та технічної (біоенергетичної) культури, що дуже важливо і необхідно для розвитку всього аграрного сектора України.

Сафлор красильний є одним із перспективних джерел натуральних харчових барвників. За літературними даними [5], з висушених пелюсток квіток сафлору виділено два жовтих пігменти (гідроксисафлор, сафлоровий жовтий) і червоний пігмент (картамін), які можна використовувати для забарвлення різних продуктів харчування і косметичних засобів.

У паливно-енергетичному комплексі найперспективніший напрямок енергозбереження – використання пального для дизельних двигунів з біодобавками з рослинної біомаси сафлору. Біопальне на основі сафлорової олії має низьку в'язкість, що позитивно впливає на показники роботи паливної апаратури тракторних агрегатів. Результати досліджень свідчать про можливе застосування рослинних залишків сафлору на паливо. Обґрунтовано використання сафлору як джерела біомаси для енергетичних потреб, особливо в місцях, де не можуть рости інші рослини через несприятливі умови вирощування [6].

Отже, інтерес до сафлору у багатьох країнах світу постійно підвищується. Цей інтерес у виробників і вчених викликаний тим, що до теперішнього часу у багатьох країнах вже розроблені технології його виробництва. З насіння сафлору отримують олію, яку використовують як сировину для виробництва оліфи, білої фарби, емалей, мила, лінолеуму, а також фармацевтичні препарати, косметичні засоби, біетанол, продукти функціонального і дієтичного харчування та іншу продукцію, яка має підвищений попит на внутрішньому та зовнішньому ринках.

Географічне поширення. До роду *Carthamus* належить 16 видів, і тільки один з них є культурним – диплоїд з 12 парами хромосом. Він вважається самозапилювачем, але фактори довкілля можуть збільшити відсоток перехресного запилення до 50. Дослідниками на основі морфологічних даних було висловлено припущення про те, що окультурення саф-

лору красильного відбувалося у 10 географічних центрах. Подальший аналіз ядерних мікросателітних послідовностей культурних видів сафлору з 10 передбачуваних центрів, а також диких родичів свідчив про наявність п'яти генетичних кластерів (1-й – Європа; 2-й – Туреччина, Іран, Ірак, Афганістан, третій – Ізраїль, Йорданія, Сирія, 4-й – Єгипет, Ефіопія і 5-й – Далекий Схід, Індія, Пакистан) [7].

Генетичні відмінності між географічними кластерами сафлору очевидні, хоча і не такі значні, як пропонувалося на основі морфології. Крім того, спостерігається широке розмаїття за основними селекційними ознаками не тільки серед популяцій різних географічних регіонів, але й серед сортів одного регіону і країни [8].

Медичне та харчове застосування сафлору. Сафлор красильний – стародавня сільськогосподарська культура, яку вирощували для отримання квіток, які використовувалися для фарбування тканин і харчових продуктів, а також для медичних потреб. У наш час сафлор вирощують в основному заради насіння, з якого одержують харчову олію і яке йде на корм для декоративних птахів.

У світі використовують сорти сафлору з олійністю насіння не менше 38 %. Олія сафлору є стабільною до позначки $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто її структура не змінюється при низьких температурах, що особливо важливо для її використання в охолоджених харчових продуктах – як приправи для салатів, крім того, вона не виділяє диму або запаху під час смаження. При цьому сафлорова олія краще підходить для гідрогенізації на маргарин, ніж соєва або рапсова олії, які нестабільні у цьому процесі. Ще сафлорова олія є багатим джерелом α -токоферолу – вітаміну Е, що перетворює її на своєрідний антиоксидантний коктейль, який очищує організм від вільних радикалів [3]. Саме дефіцит антиоксидантів призводить до різкого зниження стійкості організму до несприятливих факторів середовища за рахунок порушення функціонування систем антиоксидантного захисту – як у людини, так і у рослин.

Останнім часом потреба в олії сафлору зростає в розвинених країнах, де люди дбають про своє здоров'я. Ця олія є корисною через високу концентрацію поліненасичених жирних кислот і займає особливе місце завдяки дуже високому вмісту лінолевої кислоти, яка належить до незамінних, тобто не може бути синтезована у людському організмі. Вона необхідна для забезпечення цілісності плазматичних мембран, процесів росту і відтворення, а також функціонування шкіри та інших органів. Лінолева кислота, як незамінна жирна кислота, крім харчового призначення, застосовується в оліях, кремах, очищувальних засобах для пом'якшення шкіри та запобігання в'яненню. Креми на її основі знімають подразнення, підвищують захисні властивості шкіри і сприяють її зволоженню. Водночас рослині олії з високим вмістом лінолевої кислоти використовуються у композиціях смол і барвників.

Інтерес також викликає корисний вплив кон'югованих жирних кислот на здоров'я людини. Їх потенціальними терапевтичними властивостями є антиканцерогенний, антиатеросклерозний вплив, активація росту при слабкому збільшенні маси тіла. Вони пригнічують механізм утворення підшкірного жиру і стимулюють організм використовувати його як енергетичну сировину. Сафлорова олія є природною сировиною для виробництва кон'югованої лінолевої кислоти (*conjugated linoleic fatty acids – CLA*).

Мононенасичені сполуки, такі як олеїнова кислота, як правило, сприяють зниженню рівня «поганого» холестерину, не впливаючи на «хороший» холестерин. Тому сорти сафлору з високим вмістом олеїнової кислоти домінують у міжнародній торгівлі з кінця 1995 р. Цю олію можна порівняти з оливковою, вона стабільна під час нагрівання і використовується в основному як високоякісна олія для смаження, наприклад, для приготування картопляних чіпсів. Її також застосовують у виробництві дитячого харчування і косметики. При цьому у промисловості олеїнову кислоту використовують як основу для отримання лаків, емалей, оліфи, фарби. Її застосовують як пластичну речовину у парфумерії, а солі олеїнової кислоти – як миючі засоби.

Отже, застосування у медицині олії і пелюсток сафлору красильного є актуальним, тому що це одна з 50 фундаментальних лікувальних рослин у світі. Так, у Китаї його вирощують виключно для отримання пелюсток квіток, які використовують для лікування

багатьох захворювань, а також як тонізуючий чай. Ліки, отримані з квіток сафлору, розширюють артерії, знижують гіпертензію і збільшують приплив крові, а також інгібують утворення тромбів. У багатьох випадках відвари використовують у комбінації з різними іншими травами та як додаткові інгредієнти.

Проведені клінічні та лабораторні дослідження [9] підтверджують використання сафлору в медицині для вирішення проблем з менструальним циклом, лікування серцево-судинних захворювань, болів і набряків, пов'язаних з травмами. Відвари з сафлору успішно використано у відновленні фертильності майже у 75 % досліджених жінок, які були безплідними протягом 10 років. Крім того, сафлор містить у своєму складі інулін, який сприяє нормалізації рівня глюкози в крові, виявляє проти восклеротичну, жовчогінну, сечогінну дію, регулює функцію щитовидної залози.

Відзначено роль сафлору і як медоносу: тривалість його цвітіння перевершує соняшник, а термін цвітіння більш ранній. Слід врахувати, що він нестійкий на продуктивність нектару. Відсутність бджіл-запилювачів призводить до зниження врожайності в межах від 10 до 25 %. При цьому поєднання сафлорового нектару і пилку з іншими медоносами надає меду приємного квіткового присмаку. Ураховуючи все вищезазначене, цю культуру можна рекомендувати для вирощування в господарствах з розвинутим бджільництвом.

Сафлор актуальний і як кормова культура. У зеленій масі відсутні кислоти, шкідливі для тваринного організму. Макуха багата на жири і протеїни. Після віджимання сафлорової олії макуху і шрот використовують як корм для тварин. У 100 кг макухи міститься 55 к.од. Видалення насінневої оболонки, як правило, економічно не вигідне, і корм зазвичай має 30-40 % сирої клітковини, що робить його не придатними для тварин з однокамерним шлунком, таких як свині і домашня птиця. Водночас не звільнена від насінневої оболонки макуха може стати гарним кормом для жуйних тварин, зокрема дійних корів. Продукти переробки також можна використовувати як цінний корм для худоби та птиці.

У господарствах, де тваринництво є однією з провідних галузей, сафлор використовують для організації зеленого конвеєра, особливо в зонах недостатнього зволоження. У сіні сафлору міститься 13,5 % білка, 10 % цукрів, до 8 % олії і не більше 20 % клітковини, – отже, за харчовою цінністю воно не поступається люцерновому. Якщо скошувати сафлор у фазі бутонізації, можна отримати до 31 т/га зеленої маси, а сіна – більше 12 т/га. У вологі роки після скошування на зелений корм рослини добре відростають, що дозволяє згодовувати отаву тваринам.

Генетичні особливості складу олії сафлору. Сафлор красильний вважається одним із джерел світового виробництва рослинної олії. Посилення інтересу до якісних показників сафлорової олії привело до вивчення генома сафлору на предмет синтезу в насінні олеїнової, лінолевої, стеаринової та пальмітинової жирних кислот. Дослідниками визначено, що біосинтез олеїнової, лінолевої, стеаринової кислоти контролюють три гени (*olol*, *lili* і *stst*), при цьому вони містяться в різних локусах [10].

Олія сафлору, як зазначено вище, в основному складається з олеїнової і лінолевої кислот. При цьому отримати можна два різних типи сафлорової олії залежно від генотипу сорту. Перший тип характеризується високим вмістом лінолевої кислоти, а другий – високим вмістом олеїнової кислоти. Можливий також варіант, коли сорт містить приблизно однакову кількість олеїнової і лінолевої кислот. Кожного разу, коли вміст насичених жирних кислот, тобто пальмітинової і стеаринової кислот, є найменшим, комерційна привабливість збільшується. При цьому визначено, що вміст олеїнової кислоти у сафлору обернено пропорційний вмісту лінолевої кислоти [11].

Три алельних гени *Ol*, *ol* і *ol^l* є основними генетичними детермінантами пропорцій вмісту олеїнової і лінолевої кислот. Так, при генотипі *olol* вміст олеїнової кислоти в олії і становить 72–80 %, генотип *OIOl* дає 72–80 % лінолевої кислоти. У свою чергу, генотип *ol^lol^l* дає майже однакову кількість олеїнової і лінолевої жирних кислот, приблизно по 45 %. У генотипі *StSt* було 5–10 % стеаринової кислоти порівняно з 1–3 % у стандартному зразку олії ріпака [12]. Генетичні дослідження показали моногенне спадкування досліджуваних ознак. Збільшення вмісту стеаринової кислоти пов'язано зі збільшенням відсотково-

го вмісту олеїнової чи лінолевої кислот або обох одночасно, а в деяких генотипах виявлено, що більш прохолодні температури під час вирощування сафлору знижують вміст стеарину і олеїнової кислоти, при цьому відсотковий вміст ліноленової кислоти збільшується. Встановлено, що високолінолевий (*OlOl*) і високоолеїновий (*olol*) генотипи були відносно стабільними при різних температурах вирощування [13]. Зміна відсоткового вмісту жирних кислот у зв'язку зі зміною температури коливалася від 75 до 82 % для високолінолевих і від 70 до 77 % для високоолеїнових генотипів. Високостеаринові генотипи показали більший діапазон змін концентрацій: 4,4 % – при низьких і 10,6 % – при вищих температурах. Генотип *ol¹ol¹*, що має однакову кількість олеїнової і лінолевої кислоти у насінні, показав значні зміни концентрації жирних кислот у відповідь на зміну температури. При низьких температурах генотип *ol¹ol¹* наблизився до процентного вмісту жирних кислот високолінолевого сафлору, тобто 75,1 % – лінолевої і 15,0 % – олеїнової кислот. При високих температурах спостерігалася протилежна ситуація: вміст олеїнової кислоти збільшувався до 53,1 %, а лінолевої – знижувався до 38,6 %.

Виявлено, що жирно-кислотний склад і вміст сафлорової олії залежить від багатьох факторів, а саме: генотипу, морфології, фізіології [14] і може змінюватись в одних і тих же сортів сафлору залежно від періоду сівби (під зиму або навесні), а також за наявності або відсутності зрошення [15]. Зараз сорти сафлору із широким спектром змін жирно-кислотного складу олії одержані переважно завдяки успіхам класичної селекції, але поєднання методів класичної селекції з методами біотехнології та генної інженерії дозволить модифікувати і поліпшити показники її якості.

Основні методи і пріоритети селекції сафлору. Сафлор – рослина ксероморфного типу, пристосована до умов різкоконтинентального клімату, до жаркого літа і посух, що обумовлює його характерні морфологічні ознаки: глибоке коріння, дрібні листки, наявність колючок. Остання обставина створює певні труднощі там, де збір і обробка культури відбуваються вручну. Однак відомі і колючі, і неколючі сорти. Колючки на рослині розвиваються у період вегетації під час формування кошиків; таким чином, до початку збору врожаю з колючими сортами стає неможливо працювати. Але трапляються випадки, коли у рослин колючки відсутні. Такі селекційні форми дуже зручні для ручного збирання, мають вищі показники врожайності і вмісту олії, хоча при цьому частіше уражуються шкідниками.

Відсутність колючок – важлива ознака для інтродукції культури у регіонах нетрадиційного виробництва сафлору або невеликих фермерських господарствах, де квітки і насіння збираються вручну. Інформація про спадкування колючок суперечлива. З одного боку, учені вказують на існування чотирьох генів, що відповідають за їх утворення. При цьому ген *Sa* є головним, а два з трьох інших – *Sb*, *Sc*, *Sd* – підсилюють дію [16]. Інші дослідники вказують на моногенне успадкування цієї ознаки [17]. Так, встановлено, що відсутність колючок контролюється принаймні одним локусом *sp*, а забарвлення квіток – принаймні двома локусами *O* і *Y*, при цьому кожна ознака успадковується окремо. Селекція на успадкування колючок успішно проводиться в Індії, Китаї, а також в Україні. Ступінь її прояву може бути різним і залежить не тільки від спадковості, а й від факторів довкілля.

Сафлор вважається посухостійкою культурою (значною мірою завдяки своєму сильному стрижневому кореню). На сучасному етапі активно проводяться селекційні дослідження з ідентифікації генотипів, які є стійкими до посухи, особливо на стадії проростання насіння, та ефективнішими у використанні вологи в період вегетації [18]. Крім цього, незважаючи на те, що сафлор має толерантність до засолення ґрунтів, триває селекція на його солестійкість. Такі роботи не втрачають своєї актуальності, адже часто немає альтернативи вирощуванню сафлору у посушливих районах і зрошуваних районах, схильних до засолення.

Селекціонери, які працюють із сафлором, головним чином використовують метод «педігрі» для формування різних ліній, при цьому селекцію ведуть за високоуспадкованими ознаками (раннє досягання, стійкість до хвороб), починаючи від потомства рослин F_2 . Вирівняні лінії F_3 і F_4 з максимальною експресією цінних ознак можна використовувати

для попереднього випробування. Беккросування застосовують для передачі лініям або сортам специфічних ознак стійкості до хвороб, особливо це стосується комерційно привабливих сортів [10]. Масовий відбір у польових умовах може бути використаний для покращання сортів за стійкістю до кількох хвороб. Програма рекурентної селекції також сприяє поліпшенню цінних властивостей сафлору.

Значний негативний вплив на врожайність і якість сафлору чинять фітофаги. Тому важливо ретельно проводити випробування стійкості безлічі генотипів (ліній) сафлору. Для цього необхідно досліджувати експресію морфологічних, фенотипічних і господарсько цінних ознак селекційних ліній сафлору, особливо характер успадкування ознаки стійкості господаря, а також вірулентність і невірулентність різних фізіологічних рас патогенів та шкодочинність тих видів шкідників, що мешкають на посівах сафлору. Отриманню позитивних результатів досліджень сприятиме застосування інтегрованої системи контролю динаміки чисельності фітофагів, що припускає часткову заміну хімічних засобів біологічними, екологічно вигідними і безпечними для довкілля.

На думку С.О. Гребинського [19], селекційну роботу, спрямовану на підвищення вмісту олії, одночасно можна з успіхом поєднувати з відбором високоврожайних і стійких проти посухи, хвороб і шкідників сортів сафлору, тому що існуючі форми сафлору у цьому розумінні досить різноманітні. Також необхідно звертати увагу на вивчення речовин оболонки і ядра насіння сафлору, яке має гіркуватий присмак. Безумовно, речовинам, які обумовлюють гіркоту насіння різних зразків, властива значна мінливість, отже, можливий відбір форм без гіркоти.

З сучасних поглядів і підходів стає цілком зрозуміло, що методи традиційної селекції сафлору слід поєднувати з біотехнологічними і спрямовувати на підвищення продуктивності за рахунок створення гетерозисних ліній, стійкості до хвороб і шкідників шляхом віддаленої гібридизації, а також застосовувати культуру соматичних клітин та тканин за допомогою методів клітинної та генної інженерії.

Використання молекулярних маркерів у селекції сафлору. Розвиток селекційної роботи на сучасному етапі неможливий без застосування методів молекулярної біології, культури клітин і тканин, генної інженерії. Молекулярні маркери для сафлору використовуються для вивчення філогенетичного споріднення й походження виду *Carthamus tinctorius* L. Зокрема, початкове уявлення про центри походження сафлору базується на морфологічних ознаках і переглядається на основі молекулярно-генетичних робіт, де передбачено, що центром його окультурення є Близький Схід [7].

Молекулярні маркери є зручним інструментом вивчення генетичного різноманіття сортів, виведених у різних еколого-географічних зонах. Їх можна використовувати для оцінки гермоплазми з метою розуміння географічного поширення, генетичного картування і застосування в програмах підвищення врожайності, у тому числі місцевих сортів і популяцій. Перевага використання ДНК-маркерів полягає перш за все у технічній легкості, відносно низькій вартості, високій відтворюваності і наявності ряду маркерних систем, які використовують домінантні або кодомінантні маркери.

Маркери, які найчастіше застосовують для вивчення сафлору це випадкові ампліфікації поліморфної ДНК (*RAPD*), прості повторні послідовності (*ISSR*) і поліморфізм довжини ампліфікованих фрагментів (*AFLP*). Їх вибирають для культур з недостатніми геномними ресурсами, які не вимагають попередніх генетичних послідовностей і сканування геному з повторюваними послідовностями, тому є зручними у селекційній роботі [7].

Аналіз генетичної різноманітності сафлору в основному зосереджений на оцінці генетичної мінливості шляхом об'єднання даних з молекулярного поліморфізму і фенотипової мінливості. Так, було охарактеризовано 96 популяцій, що представляють 29 країн із семи регіонів світу з використанням *AFLP*-маркерів [20]. Визначено відносини між 48 популяціями сафлору з 38 країн з використанням 22 *ISSR*-праймерів [21]. Проведено оцінку генетичного різноманіття 16 іранських сортів і 4 місцевих популяцій з Ірану шляхом об'єднання даних за агроморфологічними ознаками і *RAPD*-маркерам [22]. Зроблено оцінку моделей географічної різноманітності та взаємозв'язку між агроморфологічними озна-

ками і жирно-кислотним складом 193 популяцій сафлору, які представляють 40 країн у 9 еколого-географічних зонах [23]. У ході досліджень було виявлено відсутність зв'язку між агроморфологічними і молекулярними матрицями, що вказує на необхідність проведення повної характеристики різноманітності сафлору як за класичними методами, так і за ДНК-маркерами. *ISSR*-праймери є більш інформативними, порівняно з *RAPD*-праймерами.

Подальші дослідження підтвердили надійність *AFLP*-маркерів з погляду високого ступеня їх відмінності, індексу ефективності, маркерного індексу, роздільної здатності, індексу генотипу, а також для вивчення високої різноманітності сафлору за широкими географічними групами і використання ДНК-дактилоскопії [24]. Середня частота поліморфізму становила +2,4; +1,3 і +20,5, кількісного поліморфізму – 24,2; 17,8 і 61,1 % відповідно для *RAPD*-, *ISSR*- і *AFLP*-маркерів.

Також потрібно зазначити, що ідентифікація специфічних сортових ДНК-маркерів є одним з важливих аспектів для селекції і насінництва сафлору – не тільки для захисту інтелектуальної власності, а й для контролю комерційного використання сортів харчового або технічного напрямку [25]. До цього часу гермоплазму сафлору характеризували на основі морфологічних ознак, господарсько цінних показників, стійкості до біотичних чи абіотичних стресів, а також за біохімічними показниками [26]. Однак ці дані не відповідають сучасним вимогам. Точна каталогізація гермоплазми генетичних ресурсів, включаючи сорти за молекулярними маркерами, останнім часом отримала високу оцінку і набула значущості, насамперед через захист прав інтелектуальної власності авторів сортів та задля збереження генетичних ресурсів, що забезпечують біологічне різноманіття в навколишній природі, у тому числі для розвитку та поліпшення зародкової плазми сортів сафлору [27]. До появи ДНК-дактилоскопії точна каталогізація сортів була нездійсненним завданням.

У перспективі використання цієї культури включатиме розширене застосування гібридів, біопального, комбінації нових жирних кислот і трансгенних рослин сафлору для виготовлення фармацевтичних препаратів. Провідну роль у цьому відіграватимуть *WRPIS* та інші генні банки шляхом надання необхідних генетичних ресурсів. Дослідники прогнозують, що гібридизація з трансгенним сафлором можлива у деяких районах Аргентини, Чилі, США.

Включення у дослідження за молекулярними маркерами диких родичів сафлору відкриває широкі перспективи для селекції. Останнім часом з'являються роботи, де молекулярні маркери пов'язані з конкретними селекційно-цінними ознаками. Зокрема, було визначено ДНК-маркери, тісно пов'язані з рецесивним геном *Li*, який контролює вміст лінолевої кислоти, і геном *Ms*, який контролює ядерну чоловічу стерильність [28]. У ряді досліджень використано маркери на основі *RAPD*-поліморфізму, які розроблено для тісно пов'язаних рецесивних генів *Li*, що контролюють вміст лінолевої кислоти, і *Ms*, які контролюють ядерну чоловічу стерильність [27].

Аналіз отриманих сегрегантів, які включають 162 лінії від схрещування між *CLI (NMS)* і *CR 142* (високий вміст лінолевої кислоти), обумовив створення карт зчеплення з п'ятьма *RAPD*-маркерами *SCAR*. *SCAR*-маркери фланкують два локуси на 15,7 сМ від *Li* локусу і 3,7 сМ від локусу *Ms* [27]. Рецесивними за генетичною чоловічою стерильністю є отримані з гетерозигот (*Msms*), які можуть бути ідентифіковані тільки після отримання потомства. Картування ядерної чоловічої стерильності гена дозволяє проводити раннє виявлення ліній, що містять алелі чоловічої стерильності. Маркери, пов'язані з високим вмістом лінолевої кислоти, сприятимуть вибору генотипів з маркерами, які спрямовані на інтрогресію *Li*-алелей [28].

Мікросателіти або прості повторювані послідовності (*SSR*) є одним маркером локусу і характеризуються гіперваріабельністю та рівномірним розподілом по всьому геному. Вони мають кодомінантне успадкування, відтворюваність і можливість автоматизації генетичного аналізу. Виділення *SSR*-маркерів є трудомістким, тривалим і дорогим процесом. Однак за наявності *EST*-маркерів для сафлору можна ідентифікувати генні *SSR*-маркери, які дозволяють відображати функції генів. Для підвищення ефективності пошуку

молекулярних маркерів сафлору можна використовувати його однаковість з більш вивченими геномами, зокрема соняшнику [29].

Клітинна та генна інженерія сафлору. Як зазначено вище, культура сафлору кращого відрізняється високою гетерогенністю – і між зразками з різних географічних регіонів, і між сортами. У зв'язку з високими вимогами до сортів, у першу чергу до їх жирно-кислотного складу, особливо гострою стає проблема отримання гомозиготного матеріалу вже на початкових стадіях селекційної роботи. Прискорене створення таких ліній можливе з використанням гаплоїдної біотехнології. Так, у результаті проведених досліджень культивування пиляків на живильному середовищі *MS* калусоутворення сафлору становило 48 %. З числа отриманих калусів 47 % були гаплоїдними, 30 % – диплоїдними і 16 % – триплоїдними [30]. Ефективнішим і надійнішим шляхом вважають отримання культури ізольованих мікроспор, але цей процес ускладнений морфологічними особливостями квіткових бутонів родини *Asteraceae*, до якого належить і сафлор.

Інтерес до культури соматичних клітин і тканин сафлору посилюється у зв'язку із зростанням уваги до генетичної трансформації взагалі. У результаті досліджень отримано калус та індукований ембріогенез з них у культурі ізольованих листових пластинок, гіпокотелей, сім'ядолей, коренів і проростків [31]. Крім використання калусної культури, можлива пряма трансформація рослинних тканин. Так, розроблено протокол з ефективністю трансформації 4,8 і 3,1 % для лінії S-317 (з високим вмістом олеїнової кислоти) і лінії WT (з високим вмістом лінолевої кислоти) на основі T-ДНК вектора при інфікуванні сім'ядолей сафлору *Agrobacterium* [32]. Останнім часом у генній інженерії сафлору виділяють кілька напрямів, зокрема, щодо підвищення рівня олеїнової кислоти, надання цій культурі стійкості до гербіцидів суцільної дії тощо.

Наприкінці ХХ ст. у генній інженерії отримав розвиток так званий напрям «*molecular pharming*» – виробництво рослинами білків, які використовують у медицині та ветеринарії. Склад і мінливість білків насіння сафлору вивчені мало. Вперше білкову фракцію насіння сафлору охарактеризували дослідники Latha і Prakash [33], які показали, що вона складається із чотирьох груп білків з коефіцієнтом седиментації 2S (26 %), 7S (6 %), 12S (65 %), 17S (2 %). Автори назвали головний компонент білкової фракції (12S глобулін) карміном. У сумарному спектрі білків насіння двох видів сафлору (культурного *C. tinctorius L.* і дикого *C. lanatus L.*) ідентифіковано компоненти з молекулярними масами у діапазоні від 120 до 20 кДа [34]. Інші дослідники ідентифікували молекулярні маси поліпептидів, які варіювали у ширшому діапазоні – від 5 до 232 кДа [35]. Усі зразки *C. tinctorius L.*, які було досліджено у роботі [34], мали ідентичні спектри білків і відрізнялися від зразків *C. lanatus L.* за компонентами із $M_r \sim 60, 43 - 36$ і 30 кДа.

Методом електрофорезу сумарних білків було вивчено 116 зразків сафлору різного походження, при цьому 18 білкових компонентів виявилися поліморфними [35]. Залежно від типів спектра усі зразки об'єднали в чотири головні кластери. Але суттєвого різноманіття в досліджуваних зразках *C. tinctorius L.* не виявили, що свідчить про мономорфність їх запасних білків насіння. Науковці пояснюють це походженням культури із одного географічного регіону – країн Середземномор'я.

Нарешті, заслуговує на увагу розробка канадських учених компанії *SemBioSys*. Дослідники вбудували гени людського інсуліну у геном сафлору, спонукаючи його до синтезу проінсуліну, який потім ферментативним шляхом перетворили на інсулін, що отримав назву SBS-1000. На сьогодні завершено першу фазу клінічних випробувань. Попередні дослідження підтвердили ідентичність отриманого із сафлору інсуліну з природним. Реалізація цієї розробки у широкому масштабі дозволить значно знизити собівартість інсуліну і спростити його виробництво.

Перспективи вирощування сафлору в Україні. Кліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур в Україні змінюються. Спостерігається тенденція частого настання посушливих років. У зв'язку із цим виникає гостра потреба в посухостійких і рентабельних культурах, диверсифікації оброблюваних культур. Однією з таких культур є

сафлор красильний. Незважаючи на те, що сафлор красильний відомий з давнини, в Україні він є маловивченою і не досить розповсюдженою культурою.

Ринок насіння сафлору через обмеженість його вирощування перебуває в нашій країні на етапі формування. Посівні площі під цією культурою не перевищують 1,5–2 тис. га і зосереджені у Херсонській, Миколаївській областях та АР Крим, однак у подальшому необхідне їх розширення. Експорт сафлору з України за підсумками 2014 – 2015 рр. сягав 879 т, тобто 52 % усього врожаю. Головними напрямками експорту стали країни ЄС і ОАЕ, де цей продукт має високий і стабільний попит. Отже, вирощувати його вигідно для сільгоспвиробників. Комерційна привабливість сафлору полягає в його високій якості і цінності одержуваної олії.

В Україні наукові дослідження з вивчення культури сафлору красильного здійснюють такі наукові установи: Асканійська ДСДС ІЗЗ НААНУ, Інститут олійних культур НААНУ, НВФ «Дріада», а також Харківській НАУ ім. В.В. Докучаєва, Херсонський ДАУ, Подільський ДАТУ та ін.

Селекцією сафлору в Україні займаються лише в Інституті олійних культур НААНУ. Відомо, що успішне виведення високопродуктивних сортів сафлору починається з ґрунтової розробки теоретичних основ і значною мірою залежить від формування та всебічного вивчення колекції культури. Ураховуючи це, учені проводять роботи з виведення нових сортів сафлору з використанням традиційних методів селекції – оцінки вихідного матеріалу, підбору комбінацій схрещування, гібридизації і відбору перспективних ліній. Так, до Реєстру сортів рослин України внесено чотири сорти, які відрізняються за морфологічними й господарськими ознаками. Сорти Сонячний і Добриня мають колючки на листках і листочках обгортки, а Живчик і Лагідний колючок не мають. Колючки можуть з'являтися в невеликій кількості лише в період екстремальної посухи. Усі представлені сорти мають властивість змінювати забарвлення квіток, тобто в процесі цвітіння здатні накопичувати жовтогарячий або червоний відтінки. Але вони відрізняються за загальним кольором квіток. Так, у Сонячного переважає жовте забарвлення, у Живчика – жовтогаряче, у Лагідного – червонувате.

Крім цього, співробітниками інституту створюються і вивчаються колекції сафлору. Отримано свідоцтва на дві колекції: ознакову у 2010 році та за ознаками відмінності у 2015 році, У результаті цього сформовано базова колекція сафлору, що включає зразки з п'яти країн світу: Сирії, Росії, Китаю, України, Казахстану, що відображають велике розмаїття морфологічних і цінних господарських ознак культури. Дослідниками виділено зразки з високою продуктивністю й масою 1000 насінин, великою кількістю кошиків, компактним розташуванням бічних пагонів. Різноманіття наявних зразків колекції дозволяє селекціонерам створювати сорти з різними господарськими властивостями й морфологічними маркерними ознаками. Триває селекція на підвищення вмісту олії та холодостійкості, поліпшення жирно-кислотного складу. Для підвищення ефективності селекційної роботи у цьому напрямку необхідно збільшувати генетичне розмаїття, вивчати особливості синтезу олії та проводити спрямовані добори.

Висновки та пропозиції. Наведений огляд сучасних наукових досліджень показав, наскільки широким є спектр використання культури сафлору красильного. Для кожного з напрямів використання потрібно продовжити дослідження на всіх рівнях селекційному, генетичному, молекулярному. Пріоритетним є проведення спільних досліджень генетиків, селекціонерів, біотехнологів, екофізіологів, фітопатологів і ентомологів. Спільні зусилля дадуть змогу отримати більший і якісніший врожай з одиниці площі. Ефективні наукові розробки, а також ініціатива і позитивний досвід виробників будуть надійною основою введення сафлору красильного у широке впровадження і його подальше використання як однієї з основних сільськогосподарських культур. Культура сафлору має світовий попит та обсяги виробництва, до яких може долучитись і Україна.

Список використаних джерел

1. Кириченко В.В. Стан і перспективи розвитку сільського господарства Харківщини в умовах зміни клімату / В.В. Кириченко, М.Г. Цехмейструк, Н.І. Рябчун, Ю.Є. Огурцов // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2011. Вип. 10. – С. 10–26.
2. Madaan N. Studies on biochemical role of accumulation of heavy metals in Safflower / N. Madaan, V. Mudgal, S. Mishra et al. // Open Nutraceuticals J. – 2011. – vol. 4. – P. 199–204.
3. Ekin Z. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) utilization: a global view / Z. Ekin // Journal of Agronomy. – 2005. – vol. 4. – No 2. – P. 83–87.
4. Emongor V. Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) the Underutilized and Neglected Crop: A Review / V. Emongor // Asian Journal of Plant Sciences, 2010. – No 9. – P. 299–306.
5. Jadhav B.A. Extraction and Quantitative Estimation of Bio Active Component (Yellow and Red Carthamin) from Dried Safflower Petals // B.A. Jadhav, A.A. Joshi / Indian Journal of Science and Technology. – 2015. – Т. 8. – No 16. – Mode of access: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/42380/58311>
6. Макаренко Л.О. Оцінка сафлору за енергетичною цінністю / Л.О. Макаренко, К.В. Ведмедева, Д.О. Кобзева та ін. // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН. – 2013. – №. 19. – С. 61–66.
7. Chapman M.A., Hvala J., Strever J. and Burke J.M. Population genetic analysis of safflower (*Carthamus tinctorius*) reveals a Near Eastern origin and five centers of diversity. American Journal of Botany, 2010, vol. 97, No 5, P. 831–840.
8. Jaradat A.A., Shahid M. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of *Carthamus tinctorius L.* from the Middle East. Genetic Resources and Crop Evolution, 2006, vol. 53, No 2, P. 225–244.
9. Mahboobeh Vosoughkia, Mehrdad Ghavamib, Maryam Gharachorloo, Mohammad Sharifmoghaddasi, Amir Hasan Omid. Lipid Composition and Oxidative Stability of Oils in Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) Seed Varieties Grown in Iran. Advances in Environmental Biology, 2011, vol. 5, No 5, P. 897–902.
10. Knowles P.F. Safflower. Oil Crops of the World (Robbelen G., Downey R.K. and Ashri A., eds.). New York: McGraw-Hill, 1989, P. 363–374.
11. Pooran Golkar, Ahmad Arzani, Abdolmajid M. Rezaei. Genetic Variation in Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) for Seed Quality-Related Traits and Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) Markers. International Journal of Molecular Sciences, 2011, vol. 12, No 4, P. 2664–2677.
12. Ladd S.L. and Knowles P.F. Inheritance of alleles at two loci regulating fatty acid composition of the seed oil of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). CropSci., 1971, vol. 11, No 5, P. 681–684.
13. Bartholomew S.B. SSRs Temperature effects on the fatty acid composition of developing seeds in safflower, *Carthamus tinctorius* S.L. MS. Thesis University of California, Davis, 1971.
14. Vosoughkia M., Hossainchi Ghareaghag L., Ghavami M., Gharachorloo M., Delkhosh B. Evaluation of Oil Content and Fatty Acid Composition in Seeds of Different Genotypes of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). International Journal of Agricultural Science and Research, 2011, Serial #2, vol. 2, No 1.
15. Gecgel U., Demirci M., Esendal E. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) varieties sown in spring and winter. International Journal of Molecular Sciences, 2007, vol. 1, P. 11–15.
16. Narkhede B.N., Deokar A.B. Inheritance of spineness and pericarp types in safflower // Journal of Maharashtra Agricultural Universities. – 1990. – Vol.15 (3). – P. 279–281.
17. Golkar P., Arzani A., Rezaei A.M. Inheritance of flower color and spinelessness in safflower (*Carthamus tinctorius L.*) // Journal of Genetics. – 2010. – Vol.89, No 2. – P. 259–262.
18. Jajarmi V. Effect of water stress on germination indices in seven safflower cultivars (*Carthamus tinctorius L.*). 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November.

19. Гребинский С.О. Биохимия сафлора // Биохимия культурных растений. – М. – Л. – 1938. – Т.3. – С. 332 – 342.
20. Johnson R.C., Kisha T.J. and Evans M.A. Characterizing safflower germplasm with AFLP molecular markers. *Crop Sci.*, 2007, vol. 47, P. 1728–1736.
21. Yang Y.X., Wu W., Zheng Y.L., Chen L., Liu R.J. and Huang C.Y. Genetic diversity and relationships among safflower (*Carthamus tinctorius L.*) analysed by inter-simple sequence repeats (ISSRs). *Genet Resour Crop Evol.*, 2007, vol. 54, P. 1043–1051.
22. Amini F., Saeidi G. and Arzani A. Study of genetic diversity in safflower genotypes using agro-morphological traits and RAPD markers. *Euphytica*, 2008, vol. 163, No 1, P. 21–30.
23. Khan M.A., Witzke-Ehbrecht, S.V., Maass B.L. and Becker H.C. Relationships among different geographical groups, agro-morphology, fatty acid composition and RAPD marker diversity in safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Genet Resour Crop Evol.*, 2009, vol. 56, No 1, P. 19–30.
24. Sehgal D. and Raina S.N. Genotyping safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars by DNA fingerprints. *Euphytica*, 2005, vol. 146, P. 67–76.
25. Aslam M. & Hazara G.R. Evaluation of world collection of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) for yield and other agronomic characters. In: L. Dajue & H. Yuanzhou (Eds.). Third International Safflower Conference. Beijing, China, 1993, June 9–13, 238 p.
26. Fang, D.Q. & Roose M.L. Identification of closely related citrus cultivars with inter-simple sequence repeat markers. *Theor Appl Genet*, 1997, vol. 95, No 3, P. 408–417.
27. Hamdan Y.A.S., Velasco L. and Perez-Vich B. Development of SCAR markers linked to male sterility and very high linoleic acid content in safflower. *Mol Breed.*, 2008, vol. 22, No 3, P. 385–393.
28. Sujatha M. Biotechnological interventions for genetic improvement of safflower. 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November. – Mode of access: http://www.australianoilseeds.com/_data/assets/pdf_file/0008/6749/Sujatha_keynote_paper.pdf
29. Garcia-Moreno M.J., Velasco L., Fernandez-Martinez J.M., Perez-Vich B. Transferability of sunflower microsatellite markers to safflower. 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November. – Mode of access: http://www.australianoilseeds.com/_data/assets/pdf_file/0006/6828/final_Garcia-Moreno_oral_paper.pdf
30. Rajendra Prasad B., Khadeer M.A., Seeta P., and Anwar S.Y. In vitro induction of androgenic haploids in Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Plant Cell Reports*, 1991, vol. 10, No 1, P. 48–51. – Mode of access: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00233032#page-1>
31. Sujatha M. And Dutta Gupta S. Tissue Culture and Genetic Transformation of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). S.M. Jain and S. Dutta Gupta (eds.). *Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops-Springer Science+Business Media Dordrecht*, 2013, P. 297–318. – Mode of access: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-5500-0_12
32. Srinivas Belide, Luch Hac, Surinder P Singh, Allan G Green, Craig C Wood. Agrobacterium-mediated transformation of safflower and the efficient recovery of transgenic plants via grafting. *Plant Method.*, 2011, P. 7–12.
33. Latha T.S. Studies on the proteins from safflower seed (*Carthamus tinctorius L.*) // T.S. Latha, V. Prakash / *Journal of agricultural and food chemistry.* – 1984. – vol. 32. – No 6. – P. 1412–1416.
34. Obreht D.R. Seed protein variability in safflower // D.R. Obreht, L.B. Vapa, S.A. Kis et al. / *Proceedings for Natural Sciences, Matica Srpska Novi Sad.* – 2002. – No 103. – P. 29–34.
35. Shinwari Z.K. SDS-PAGE based genetic divergence in safflower (*Carthamus tinctorius L.*) // Z.K. Shinwari, H. Rehman, M.A. Rabbani / *Pak. J. Bot.* – 2014. – vol. 46. – № 3. – P. 811–815.

References

1. Kyrychenko V.V. Status and prospects of the agriculture development in the Kharkiv region under climate changes / V.V. Kyrychenko, M.H. Tsekhmeistruk, N.I. Riabchun, Yu.Ye. Ohurtsov // *Bulletin of the Center for Science Provision of Agribusiness in the Kharkiv region. NAAS, Plant Production Institute* nd. a V.Ya. Yuriev, Kharkiv. – 2011. – No 10. – P. 10–26.
2. Madaan N. Studies on biochemical role of accumulation of heavy metals in Safflower / N. Madaan, V. Mudgal, S. Mishra et al. // *Open Nutraceuticals J.* – 2011. – vol. 4. – P. 199–204.

3. Ekin Z. Resurgence of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) utilization: a global view / Z. Ekin // Journal of Agronomy. – 2005. – vol. 4. – No 2. – P. 83–87.
4. Emongor V. Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) the Underutilized and Neglected Crop: A Review / V. Emongor // Asian Journal of Plant Sciences, 2010. – No 9. – P. 299–306.
5. Jadhav B.A. Extraction and Quantitative Estimation of Bio Active Component (Yellow and Red Carthamin) from Dried Safflower Petals // B.A. Jadhav, A.A. Joshi / Indian Journal of Science and Technology. – 2015. – T. 8. – No 16. – Mode of access: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/42380/58311>.
6. Makarenko L.O. Evaluation of safflower for energy value / L.O. Makarenko, K.V. Vedmedeva, D.O. Kobzeva et al. // Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oil Crops NAAS. – 2013. – No 19. – P. 61–66.
7. Chapman M.A., Hvala J., Strever J. and Burke J.M. Population genetic analysis of safflower (*Carthamus tinctorius*) reveals a Near Eastern origin and five centers of diversity. American Journal of Botany, 2010, vol. 97, No 5, P. 831–840.
8. Jaradat A.A., Shahid M. Patterns of phenotypic variation in a germplasm collection of *Carthamus tinctorius L.* from the Middle East. Genetic Resources and Crop Evolution, 2006, vol. 53, No 2, P. 225–244.
9. Mahboobeh Vosoughkia, Mehrdad Ghavamib, Maryam Gharachorloo, Mohammad Sharrifmoghaddasi, Amir Hasan Omid. Lipid Composition and Oxidative Stability of Oils in Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) Seed Varieties Grown in Iran. Advances in Environmental Biology, 2011, vol. 5, No 5, P. 897–902.
10. Knowles P.F. Safflower. Oil Crops of the World (Robbelen G., Downey R.K. and Ashri A., eds.). New York: McGraw-Hill, 1989, P. 363–374.
11. Pooran Golkar, Ahmad Arzani, Abdolmajid M. Rezaei. Genetic Variation in Safflower (*Carthamus tinctorious L.*) for Seed Quality-Related Traits and Inter-Simple Sequence Repeat (ISSR) Markers. International Journal of Molecular Sciences, 2011, vol. 12, No 4, P. 2664–2677.
12. Ladd S.L. and Knowles P.F. Inheritance of alleles at two loci regulating fatty acid composition of the seed oil of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). CropSci., 1971, vol. 11, No 5, P. 681–684.
13. Bartholomew S.B. SSRs Temperature effects on the fatty acid composition of developing seeds in safflower, *Carthamus tinctorius S.L.* MS. Thesis University of California, Davis, 1971.
14. Vosoughkia M., Hossainchi Ghareaghag L., Ghavami M., Gharachorloo M., Delkhosh B. Evaluation of Oil Content and Fatty Acid Composition in Seeds of Different Genotypes of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). International Journal of Agricultural Science and Research, 2011, Serial #2, vol. 2, No 1.
15. Gecgel U., Demirci M., Esendal E. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) varieties sown in spring and winter. International Journal of Molecular Sciences, 2007, vol. 1, P. 11–15.
16. Narkhede B.N., Deokar A.B. Inheritance of spineness and pericarp types in safflower // Journal of Maharashtra Agricultural Universities. – 1990. – Vol.15 (3). – P. 279–281.
17. Golkar P., Arzani A., Rezaei A.M. Inheritance of flower color and spinelessness in safflower (*Carthamus tinctorius L.*) // Journal of Genetics. – 2010. – Vol.89, No 2. – P. 259–262.
18. Jajarmi V. Effect of water stress on germination indices in seven safflower cultivars (*Carthamus tinctorius L.*). 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November.
19. Grebinskiy S.O. Biochemistry of safflower // Biochemistry of cultivated plants. – M. – L. – 1938. – vol. 3. – P. 332–342.
20. Johnson R.C., Kisha T.J. and Evans M.A. Characterizing safflower germplasm with AFLP molecular markers. Crop Sci., 2007, vol. 47, P. 1728–1736.
21. Yang Y.X., Wu W., Zheng Y.L., Chen L., Liu R.J. and Huang C.Y. Genetic diversity and relationships among safflower (*Carthamus tinctorius L.*) analysed by inter-simple sequence repeats (ISSRs). Genet Resour Crop Evol., 2007, vol. 54, P. 1043–1051.

22. Amini F., Saeidi G. and Arzani A. Study of genetic diversity in safflower genotypes using agro-morphological traits and RAPD markers. *Euphytica*, 2008, vol. 163, No 1, P. 21–30.
23. Khan M.A., Witzke-Ehbrecht, S.V., Maass B.L. and Becker H.C. Relationships among different geographical groups, agro-morphology, fatty acid composition and RAPD marker diversity in safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Genet Resour Crop Evol.*, 2009, vol. 56, No 1, P. 19–30.
24. Sehgal D. and Raina S.N. Genotyping safflower (*Carthamus tinctorius*) cultivars by DNA fingerprints. *Euphytica*, 2005, vol. 146, P. 67–76.
25. Aslam M. & Hazara G.R. Evaluation of world collection of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) for yield and other agronomic characters. In: L. Dajue & H. Yuanzhou (Eds.). Third International Safflower Conference. Beijing, China, 1993, June 9–13, 238 p.
26. Fang, D.Q. & Roose M.L. Identification of closely related citrus cultivars with inter-simple sequence repeat markers. *Theor Appl Genet*, 1997, vol. 95, No 3, P. 408–417.
27. Hamdan Y.A.S., Velasco L. and Perez-Vich B. Development of SCAR markers linked to male sterility and very high linoleic acid content in safflower. *Mol Breed.*, 2008, vol. 22, No 3, P. 385–393.
28. Sujatha M. Biotechnological interventions for genetic improvement of safflower. 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November. – Mode of access: http://www.australianoilseeds.com/_data/assets/pdf_file/0008/6749/Sujatha_keynote_paper.pdf
29. Garcia-Moreno M.J., Velasco L., Fernandez-Martinez J.M., Perez-Vich B. Transferability of sunflower microsatellite markers to safflower. 7th International safflower conference. WaggaWagga, Australia, 2008, 3 to 6 November. – Mode of access: http://www.australianoilseeds.com/_data/assets/pdf_file/0006/6828/final_Garcia-Moreno_oral_paper.pdf
30. Rajendra Prasad B., Khadeer M.A., Seeta P., and Anwar S.Y. In vitro induction of androgenic haploids in Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Plant Cell Reports*, 1991, vol. 10, No 1, P. 48–51. – Mode of access: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00233032#page-1>
31. Sujatha M. And Dutta Gupta S. Tissue Culture and Genetic Transformation of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). S.M. Jain and S. Dutta Gupta (eds.). *Biotechnology of Neglected and Underutilized Crops*-Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013, P. 297–318. – Mode of access: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-007-5500-0_12
32. Srinivas Belide, Luch Hac, Surinder P Singh, Allan G Green, Craig C Wood. Agrobacterium-mediated transformation of safflower and the efficient recovery of transgenic plants via grafting. *Plant Method.*, 2011, P. 7–12.
33. Latha T.S. Studies on the proteins from safflower seed (*Carthamus tinctorius L.*) // T.S. Latha, V. Prakash / *Journal of agricultural and food chemistry*. – 1984. – vol. 32. – No 6. – P. 1412–1416.
34. Obreht D.R. Seed protein variability in safflower // D.R. Obreht, L.B. Vapa, S.A. Kis et al. / *Proceedings for Natural Sciences, Matica Srpska Novi Sad*. – 2002. – No 103. – P. 29–34.
35. Shinwari Z.K. SDS-PAGE based genetic divergence in safflower (*Carthamus tinctorius L.*) // Z.K. Shinwari, H. Rehman, M.A. Rabbani / *Pak. J. Bot.* – 2014. – vol. 46. – № 3. – P. 811–815.

СОВРЕМЕННЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КУЛЬТУРЫ САФЛОРА КРАСИЛЬНОГО (*CARTHAMUS TINCTORIUS L.*)

¹⁾ *Криштон Е. А.,* ²⁾ *Ведмедева Е. В.*

¹⁾ ХНАУ им. В.В. Докучаева, Украина

²⁾ Институт масличных культур НААН, Украина

Ключевые слова: культура, сафлор красный, исследование, анализ, жирно-кислотный состав, масличность, семена, селекция, сорт, биотехнология, ДНК-маркеры, геновая инженерия, окружающая среда

Сафлор красильный (*Carthamus tinctorius L.*) – универсальная культура по распространению и использованию в сельскохозяйственном производстве. Коммерческая привлекательность возделывания этой культуры заключается в её чрезвычайной засухоустойчивости и высоком качестве получаемого масла, которое является полезным благодаря высокому уровню в нём полиненасыщенных жирных кислот. Однако среди специалистов сельскохозяйственного производства Украины до сих пор не сформировалось позитивное отношение к сафлору, что обусловлено недостатком информации по использованию этой культуры, а также неотработанной технологией её промышленного возделывания и способов переработки.

В обзорной статье раскрыто значение сафлора как источника производства ценного растительного масла. Проведён анализ основных направлений использования *Carthamus tinctorius L.*: в пищевой и лакокрасочной промышленности, медицине и генной инженерии, как фиторемедиационной культуры, медоноса, а также как ценного корма для животных и птицы. Оценён эффект сафлора как источника энергии и альтернативы для производства биотоплива. Обобщён практический опыт разработок зарубежных учёных в области селекции получения сортов с повышенным уровнем олеиновой кислоты или определённым сочетанием в масле сафлора олеиновой и линолевой жирных кислот, с устойчивостью к гербицидам сплошного действия.

Показаны перспективные подходы применения молекулярных маркеров, используемых для изучения филогенетического родства и происхождения вида *Carthamus tinctorius L.*, с целью контроля коммерческого использования сортов пищевого или технического направления, а также выявления генов и локусов, связанных с конкретными селекционно ценными признаками. Для повышения эффективности селекции и семеноводства сафлора красильного представлены способы всестороннего применения современных методов генной инженерии, а также использования культуры клеток и тканей. Рассмотрены современные научные направления, а также проблемы и перспективы выращивания культуры сафлора красильного в Украине.

MODERN SCIENTIFIC TRENDS IN SAFFLOWER CULTIVATION (*CARTHAMUS TINCTORIUS L.*)

¹⁾Kryshchak E. A., ²⁾Vedmedeva E. V.

¹⁾ VV Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University, Ukraine

²⁾ Institute of Oil Crops NAAS, Ukraine

Key words: crop, safflower, research, analysis, fatty acids composition, oil content, seeds, breeding, variety, biotechnology, DNA-markers, genetic engineering, environment

Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) – is a universal crop in terms of dissemination and use in agricultural production. Commercial appeal of the crop cultivation lies in its extraordinary resistance to drought and high quality of oil, which is useful due to high content of polyunsaturated fatty acids. However, a positive attitude to safflower has not been formed yet because of lack of information on the use of this crop among agricultural producers in Ukraine and because of not tried and tested technology of its commercial cultivation and processing methods.

This review reveals the importance of safflower as a source of valuable vegetable oil. Major trends in the use of *Carthamus tinctorius L.* are analyzed: in food and paint-and-varnish industries, in medicine and genetic engineering as a phytoremediation crop, as a melliferous plant and as valuable food for animals and poultry. Safflower is also evaluated as an energy source and alternative for biofuel production. Foreign scientists' practical experience in the breeding of varieties with an increased level of oleic acid or with a certain combination of oleic and linoleic fatty acid in safflower oil, with resistance to non-selective herbicides is generalized.

Prospective approaches to the use of molecular markers to study phylogenetic relationships and the origin of the species *Carthamus tinctorius L.* for the purpose of monitoring of the

commercial use of food or technical varieties and of identification of genes and loci associated with specific breeding valuable features are described. To increase the efficiency of safflower breeding and seed production, the comprehensive application of modern methods of genetic engineering as well as of cell and tissue cultures is presented. Modern scientific trends as well as problems and prospects of safflower cultivation in Ukraine are considered.

УДК 631.416:[631.582:633.11«324»]

ВПЛИВ ПОПЕРЕДНИКА ПШЕНИЦІ ОЗИМОЮ НА ВМІСТ ПОЖИВНИХ РЕЧОВИН У ҐРУНТІ

Кудря С. І., Кудря Н. А., Звонар А. М.

Харківський національний аграрний університет імені В. В. Докучаєва, Україна

Наведено результати та оцінено вплив різних попередників на вміст азоту що гідролізується лугом, рухомого фосфору й обмінного калію в чорноземі типовому. Дослідження проведені у Харківському національному аграрному університеті імені В. В. Докучаєва.

Найбільше азоту що гідролізується лугом в орному шарі під пшеницею озимою зафіксовано при розміщенні її по чистому пару – 104 мг/кг ґрунту, що свідчить про інтенсивність проходження мікробіологічних процесів у ґрунті за рахунок достатньої зволоженості ґрунту в цьому варіанті, покращення повітряного режиму завдяки пошаровим обробіткам протягом весняно-літнього періоду та наявності органічних решток, які залишилися після збирання попередньої культури. Крім того, значна кількість азоту в ґрунті цього варіанта концентрується тому, що у ньому не вирощуються сільськогосподарські культури.

Дещо менше азоту містилося у ґрунті після пару зайнятого вико-вівсяною сумішкою – 98 мг/кг і бобових попередників. Як відомо, важливою особливістю зернобобових культур є фіксація азоту повітря за допомогою бульбочкових бактерій, що селяться на коренях. За рахунок збільшення урожайності вегетативної маси та кореневої системи у ґрунті накопичується більша кількість поживних решток, які під дією мікроорганізмів розкладаються.

Соя та квасоля – попередники пшениці озимої, які є просапними культурами. У дослідях їх висівали широкорядним способом із шириною міжрядь 45 см. Відповідно, після цих попередників у ґрунті залишилася значно менша кількість поживних решток, що, на нашу думку, могло зменшувати вміст азоту в цих варіантах.

Найменшим цей показник був при розміщенні пшениці озимої після соняшнику та кукурудзи на силос – 89 мг/кг ґрунту. Адже ці культури не тільки висушують ґрунт, а й використовують на формування врожаю велику кількість азоту.

Дослідженнями виявлено деяке коливання вмісту азоту, що гідролізується лугом залежно від шару ґрунту. У більшості варіантів спостерігалось збільшення азоту зі збільшенням глибини. Це обумовлено більш інтенсивним використанням азоту з верхнього шару ґрунту під час весняного кущення та трубкування пшениці озимої.

Вміст рухомого фосфору в орному шарі ґрунту можна характеризувати як середній – він коливався від 79 до 97 мг/кг ґрунту. Дещо вищий уміст доступного рослинам фосфору був зафіксований у варіантах з горохом, чистим паром, вико-вівсяною сумішкою та соєю. Менше доступного для рослин фосфору в ґрунті містилося у варіантах із кукурудзою, чиною та квасолею. Найменше фосфору в ґрунті було виявлено у варіанті з соняшником – 79 мг/кг ґрунту. Деяке зменшення вмісту рухомого фосфору після окремих зернобобових культур обумовлене підвищеною активністю мікрофлори, яка веде до