

УДК 633.854.78:631.563:665.3

Стабільність до окиснення сафлорової олії залежно від травмування насіння та режимів зберігання

Л. М. Кононенко

Уманський національний університет, вул. Інститутська, м. Умань, Черкаська обл., 20301, Україна,
e-mail: lidiyakononenko@ukr.net

Мета. Дослідити закономірності зміни біохімічних показників якості олії сафлору залежно від рівня травмування насінневої оболонки та температурних режимів зберігання. **Методи.** Лабораторний (фракціонування насіння та аналіз олії), фізіологічний (оцінка дихання й схожості насіння), біохімічний (визначення кислотного та перекисного чисел), математико-статистичний (первинна обробка даних), дисперсійний (визначення сили впливу факторів та $HIP_{0,05}$) і кореляційний (встановлення зв'язку між травмуванням насіння та окисненням олії) аналізи. Дослідження проводили на базі УНУ з насінням сафлору крапильного (*Carthamus tinctorius* L.) урожаю 2023–2025 рр. Фактор А (Сорт): 'Добриня' (К), 'Живчик', 'Сонячний'. Фактор В (Ступінь механічного травмування). Фактор С (Температурний режим зберігання). **Результати.** Дослідження динаміки кислотного числа (КЧ) дозволило встановити глибину гідролітичного розпаду олії під впливом екзогенних та ендогенних чинників. За контроль у дослідженні прийнято показники цілого насіння сорту 'Добриня' за стабільного охолодження (+5°C), де кислотне число (КЧ) протягом усього терміну зберігання залишалося мінімальним і не перевищувало 0,82 мг КОН/г. Вихідні значення КЧ у свіжозібраному насінні (0 міс.) коливалися в межах 0,62–0,92 мг КОН/г, що свідчить про високу якість вихідної сировини та її відповідність нормативним вимогам до харчових олій. Порівняльний аналіз показав, що контрольні варіанти всіх трьох генотипів за температури +5°C зберігали біохімічну стабільність протягом 12 місяців, тоді як будь-яке відхилення від контрольних параметрів (травмування або підвищення температури) призводило до вірогідного зростання кислотності олії. Встановлено, що сорт 'Живчик' володіє найвищою резистентністю до накопичення вільних жирних кислот. Дослідження дозволяють відзначити, що у максимально стресовому варіанті (макротравма, +20°C) значення КЧ у цього сорту на кінець року становило 4,95 мг КОН/г, що на 30,7% менше порівняно з сортом 'Сонячний' (7,15 мг КОН/г). Це вказує на меншу активність гідролітичних ферментів у насінні 'Живчика'. Механічне пошкодження насіння виступає каталізатором гідролізу. Порушення цілісності оболонок призводить до активації ліпази, що чітко простежується вже через 6 місяців зберігання. У

травмованих зразках при +20°C кислотне число зростає у 4,5–7,7 рази порівняно з початковим станом, тоді як у цілому насінні це зростання не перевищує 1,5–2,0 рази. Варто вказати, що температура зберігання суттєво модифікує швидкість ферментативних реакцій. Так, за температурного режиму +5°C вона дозволяє підтримувати кислотне число на рівні, близькому до нормативного (до 2,2–3,0 мг КОН/г), навіть у варіантах з макротравмами. Натомість підвищення температури до +20°C прискорює гідролітичне псування олії, переводячи її в категорію технічної (нехарчової) сировини. Найбільш деструктивний вплив на якість олії чинить поєднання макротравмування та високої температури зберігання. Представлені дані свідчать про високу достовірність отриманих результатів. Значення HIP_{05} для взаємодії всіх чотирьох факторів ($ABCD=0,14$) підтверджує, що будь-яка різниця між варіантами, яка перевищує це число, є статистично значущою і зумовленою саме умовами експерименту, а не випадковими чинниками. Статистично підтверджено, що найбільший розмах варіації показника зафіксовано за фактором В (травмування). У сорту 'Сонячний' при переході від цілого насіння до макротравмованого (при +20°C) кислотне число зросло з 1,42 до 7,15 мг КОН/г, що у багато разів перевищує похибку досліду. Порівняння результатів із залученням HIP показує, що зміна температури з +5°C на +15°C для цілого насіння сорту 'Живчик' призводить до несуттєвих змін (0,78 проти 0,88 за 12 міс.), що перебуває на межі статистичної похибки. Проте для макротравмованого насіння ця ж зміна температури викликає різке зростання КЧ (2,12 проти 3,35), що є математично доведеним фактором псування. Сортові відмінності (фактор А) також є достовірними. Різниця між КЧ сортів 'Живчик' (4,95) та 'Сонячний' (7,15) у критичних точках значно перевищує $HIP_{05}=0,04$, що дозволяє офіційно рекомендувати сорт 'Живчик' як найбільш придатний для тривалого зберігання в нерегульованих умовах. **Висновки.** За даними дисперсійного аналізу встановлено, що домінуючим чинником впливу на збереженість якості олії є ступінь механічного травмування насіння (32,1–38,4%). Порушення цілісності оболонок змінює ферментативну активацію ліпази, що призводить до незворотного гідролізу тригліцеридів уже на початкових етапах зберігання. Найбільш інтенсивне псування насіння зафіксовано за поєднання макротравмування та температури зберігання +20°C. У цьому варіанті перекисне число олії перевищує нормативний поріг харчо-

вої придатності (10 ммоль/кг) уже через 6 місяців, а до кінця року сягає критичних значень (20,85–28,94 ммоль/кг), що супроводжується зростанням кислотного числа у 5,8–8,2 раза. Встановлено зворотну залежність між стабільністю ліпідів та вмістом природних антиоксидантів. За умов критичного стресу (макротравма, +20°C) спостерігається зниження вмісту токоферолів (на 57,2–73,9%) та каротиноїдів (на 55,3–76,9%), що призводить до втрати біологічної цінності продукції та її повної непридатності для переробки на харчові цілі. Виявлено суттєву варіабельність сортів за ознакою біохімічної стабільності. Найвищу стійкість

до окиснювальних процесів продемонстрував сорт 'Живчик', зберігає відносну стабільність олії на 25–30% довше порівняно із сортом 'Сонячний'. Для забезпечення тривалого зберігання (до 12 місяців) насіння сафлору без втрати якості олії, обов'язковим є дотримання температурного режиму +5°C та мінімізація частки травмованого насіння в партії (не більше 3–5%). При наявності мікро- та макротравм понад 10% термін безпечного зберігання при нерегульованих температурах скорочується до 3 місяців.

Ключові слова: сафлор красильний; ліпаза; токоферолі; зберігання; сорти.

УДК 620.952:633.11:504.7

Порівняльний аналіз емісії парникових газів та секвестрації вуглецю біоенергетичними культурами і пшеницею озимою в Лісостепу України

Н. О. Кононюк

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна, e-mail: nadiyakononuk@ukr.net

Мета. Визначити енергетичну ефективність вирощування пшениці м'якої озимої залежно від сорту та впливу технологічних чинників. **Методи.** Польові дослідження проводили в умовах зони нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (50.023194, 30.173895) упродовж 2020–2024 рр. Енергетичну оцінку здійснювали за показниками загальних енерговитрат, валової енергії врожаю, коефіцієнта енергетичної ефективності (Кее), приросту енергії та енергоємності продукції. **Результати.** Загальні енерговитрати на вирощування пшениці озимої становили 53,0–83,0 ГДж/га залежно від інтенсивності технології. У структурі витрат домінували дві статті: виробництво та внесення добрив (44,5–51,1%) і сушіння зерна (37,6–39,9%), які сумарно становили 83,8–88,7% загальних енерговитрат. Підвищення рівня удобрення від мінімального ($N_{60}P_{40}K_{40}$) до максимального ($N_{180}P_{90}K_{90}$ + мікро) призводило до зростання енерговитрат на 57% при збільшенні врожайності лише на 31%. Коефіцієнт енергетичної ефективності (Кее) знижувався з 3,02 до 2,68 (–11,3%), енергоємність зростала з 9,91 до

11,11 ГДж/т (+12,1%). Причому, перехід від мінімального до середнього рівня удобрення практично не знижував Кее (від 3,02 до 3,01), тоді як подальше підвищення до максимального рівня спричиняло різке зниження ефективності (з 3,01 до 2,68). Середній рівень удобрення є енергетично оптимальним компромісом. **Висновки.** Реакція сортів на інтенсифікацію суттєво відрізнялася: сорт інтенсивного типу зберігав високий Кее навіть за максимального удобрення, тоді як універсальний сорт демонстрував різке зниження ефективності (–17% Кее). Це визначає диференційований підхід до вибору технології залежно від сорту. А системи захисту рослин (хімічний / біологічний) та ретарданти (МОДДУС 250 ЕС / Квантум-Аквасил) мали незначний вплив на енергетичну ефективність – різниця Кее становила 0,05–0,07, що знаходиться на межі достовірності. Оптимальним варіантом технології за енергетичною ефективністю є: сорт 'Легенда білоцерківська' + середній рівень удобрення ($N_{120}P_{60}K_{60}$) + хімічний захист + ретардант МОДДУС 250 ЕС, який забезпечує Кее 3,23, енергоємність 9,20 ГДж/т та приріст енергії 174,1 ГДж/га.

Ключові слова: пшениця м'яка озима; сортовий склад; структура енерговитрат; Кее; біологічний захист; хімічний захист; рівень удобрення; ретарданти.

Nadiia Kononiuk
https://orcid.org/0000-0002-5313-4999