

Біохімічний склад та алелопатичні властивості насіння сорго цукрового [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]

Л. І. Сторожик*, В. І. Войтовська, І. С. Терещенко, С. В. Завгородня

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна,
*e-mail: larisastorozhyk1501@gmail.com

Мета. Установити основний склад алелохімікатів та активність їхніх водних екстрактів з насіння сорго цукрового – гібридів з високою та середньої цукристістю ‘Sugargraze ARG’ (Аргентина), ‘Sioux’ (США) та ‘Ананас’ (Україна) на енергію проростання та схожість насіння тест-культур (горох, конюшина). **Методи.** Використовували алелопатичні, фізіолого-біохімічні, агрохімічні та статистичні методи. Алелопатичну активність виділень (водорозчинних) з насіння досліджуваних гібридів сорго визначали методом прямого біотестування. Хімічний складник алелопатично активних речовин визначали шляхом екстрагування. **Результати.** Установлено, що водні екстракти з насіння сорго цукрового гібридів ‘Sugargraze ARG’, ‘Sioux’ та ‘Ананас’ мають високий уміст фітохімікатів і в концентрації 40 та 50% пригнічували енергію проростання та схожість насіння гороху та конюшини в середньому на 15–42%. Водні екстракти концентрацій від 5 до 30% досліджуваних гібридів виявляли стимулювальний і толерантний ефект на якісні показники насіння біотестових культур конюшини та гороху, оскільки показники проростання були на рівні контролю або на 5–7% вищі за нього, тобто виявляли найменшу алелопатичну активність. **Висновки.** Насіння сорго цукрового має достатню кількість алелохімікатів, видоспецифічність дії яких залежить від сортових відмінностей за вмістом фенольних сполук (глікозидів), дубильних речовин, кислот та вуглеводів. Активність алелохімікатів, екстрагованих з насіння, проявлялась слабо у стимулювальній дії і високо – у пригнічувальній. Для водорозчинних виділень насіння сорго характерне різке зменшення вияву алелопатичної активності за зниження концентрації витягів до 5–20%. Дослідження водорозчинних виділень насіння в концентрації 30–50% засвідчили їх високу загальну алелопатичну активність, яка виявлялась у пригніченні проростання насіння біотестових культур на 42%. Видоспецифічність дії алелохімікатів необхідно враховувати під час засівання багатоконпонентних полів, планування сівозмін, застосування сорго цукрового як сидерату.

Ключові слова: екстракти насіння; алелохімікати; схожість; інгібувальний та толерантний ефект; біотести.

Вступ

На сучасному етапі господарювання важливим вектором збереження біологічної різноманітності та розширення рослинних ресурсів є досить новий напрям – алелопатія [1]. Носієм алелопатії є фізіологічно активні речовини – алелохімікати (коліни), хімічна природа яких дуже різноманітна й непостійна навіть в однієї рослини. Алелопатичні взаємини в агрофітоценозі – одні з найбільш

складних, оскільки в цій формі тісно переплітаються прямиї і опосередкований вплив вирощуваних рослин [2–5].

Хімічна регуляція в рослинному угрупованні полягає в тому, що кожна рослина створює навколо себе певну алелопатичну сферу, тобто нагромаджує коліни. Ще одним значним моментом є те, що алелопатичні взаємодії можуть відбуватися як процес стимулювання або пригнічування рослинних угруповань.

Важливими є дослідження щодо встановлення наявності, концентрації й хімічного складу колінів на всіх етапах розвитку рослин, їх фізіологічної активності та ролі в агрофітоценозі. Тому конструювання стійких високопродуктивних агрофітоценозів з урахуванням алелопатичних взаємодій – актуальне завдання, розв’язання якого є важливим для розвитку сільського господарства.

Larysa Storozhyk

<https://orcid.org/0000-0003-1587-1477>

Viktoriiia Voitovska

<https://orcid.org/0000-0001-5538-461X>

Iryna Tereshchenko

<https://orcid.org/0000-0003-0633-9972>

Svitlana Zavhorodnia

<https://orcid.org/0000-0001-9192-8821>

Установлено, що більшість сільськогосподарських культур мають певну алелопатичну активність, яка виявляється на рівні клітини: інгібування активності ферментів, зміни проникності мембран та білкового й ліпідного метаболізму. Останні зумовлюють гормональні зміни, які здатні активувати або пригнітити антиоксидантні системи клітин, а на рівні організму призводять до змін у розтягненні клітин, в інтенсивності дихання, зміні величини листкових продихів, пригніченні фотосинтезу й росту [6–9].

Сорго [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] є найважливішою серед культур, що характеризується потужним алелопатичним потенціалом, значною мірою завдяки виробленню гідрофобної сполуки, відомої як сорголеон. Ця речовина є однією з найбільш вивчених алелохімічних речовин, яка виділяється через клітини кореня. Сорго, окрім сорголеону, має різноманітну групу алелохімічних речовин, зокрема численні феноли та ціаногенний глікозид (дуррін), які були виділені й ідентифіковані Weston et al. [8], Zucareli et al. [11] з насіння, паростків та коренів сорго. Тобто сорго має здатність утворювати й виділяти фізіологічно активні речовини в середовище, і, водночас, наділена алелопатичною толерантністю (переносити активні виділення сумісних культур і свої власні).

Алелопатичний потенціал *S. bicolor* відзначається в багатьох наукових публікаціях [10–13], як і доцільність його вирощування, обумовлена високою продуктивністю та універсальністю використання [14–16]. Хоча сорго вважається видом, який має алелопатичний вплив, його пригнічувальна дія неоднакова для різних культур, оскільки залежить від багатьох чинників, як-от генотип, концентрація алелохімікатів, густина рослин, родючість та вологість ґрунту [17–19]. Алелопатична активність сорго залежить також і від біологічних особливостей гібридів і сортів, умов навколишнього середовища та віку рослини. Крім того, алелохімічні речовини, наявні у вегетативних та генеративних тканинах сорго, можуть різнитися за хімічним складом та їх кількісним умістом. Завдяки цій особливості, алелопатичний потенціал сорго можна використовувати для контролювання бур'янів шляхом внесення залишків сорго як мульчі або включення культури сорго до сівозміни [20, 21].

Дослідженнями [10, 13, 19–21] встановлено, що вегетативні та генеративні органи сорго цукрового мають у своєму складі різноманітну кількість біологічно активних речовини, як-от глікозиди, дубильні речовини, кислоти,

які впливають на висоту стебла, кількість утворених листків, на розвиток наступних культур сівозміни та на вміст супутніх компонентів (цукри, крохмаль, жири, білок та ін.).

З огляду на це, заслуговують на увагу дослідження біохімічного складника насіння сорго цукрового, видоспецифічність екстрагованих алелохімікатів та встановлення їх дії на енергію проростання та схожість насіння біотестових культур.

Мета досліджень – установити основний склад алелохімікатів та активність їх водних екстрактів насіння цукрового сорго – гібридів з високою та середньою цукристістю ‘Sugargraze ARG’ (Аргентина), ‘Sioux’ (США) та ‘Ананас’ (Україна) на енергію проростання та схожість насіння тест-культур (горох, конюшина).

Матеріали та методика досліджень

У лабораторних умовах оцінювали активність алелохімікатів, екстрагованих з насіння гібридів сорго з високою та середньою цукристістю ‘Sugargraze ARG’ (Аргентина), ‘Sioux’ (США) та ‘Ананас’ (Україна) та їх впливу на тест-культури – горох та конюшина.

Досліди проводили за методиками [22–25]. Насіння гібридів сорго отримано з рослин, вирощених на Дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України (Ксаверівка друга, Білоцерківський р-н, Київська обл.), що знаходиться в межах регіону нестійкого зволоження Правобережної частини Лісостепу. Ґрунт – чорнозем, що за своїм механічним складом належить до крупнопилувато-середньосуглинкових. Уміст органічної частини ґрунту змінюється від 2,1 до 4,0%, а глибина гумусованих горизонтів становить 100–120 см. При цьому за агрохімічними показниками ґрунту дослідного поля слабкокислі, з наближенням до нейтральних показників (рН від 6,48 до 7,22).

Для дослідження хімічної взаємодії рослин використовували екстракційний метод. Насіння досліджуваних гібридів сорго (10 г) подрібнювали, заливали дистильованою водою (100 мл) і настоювали 24 год за кімнатної температури (+23 °С). Водні екстракти фільтрували через паперовий фільтр і застосовували як розчин для поливу. Вибір такого співвідношення (1 : 10) відповідає природним умовам, що виникають у фітоценозі під час середнього дощу [22].

Готували водні екстракти з насіння різної концентрації (від 5 до 50%). Контролем слугували біотестери, які поливали дистильованою водою.

Насіння біотестових культур пророщували в культуральній кімнаті (температура

+23 °С, відносна вологість – 70%) у чашках Петрі на фільтрувальному папері, поливали водою / екстрактом (5 мл) і поміщали в термостат за температури +25 °С. Енергію проростання та схожість насіння визначали на 4-ту та 10-у добу [26]. Експеримент повторювали чотири рази.

Математичну та статистичну обробку даних проводили методом дисперсійного аналізу з використанням комп'ютерних програм «Microsoft Exel 2010» та «Agrostat».

Результати та обговорення

Дослідженнями вітчизняних [13, 15, 22, 27] та зарубіжних [1, 28, 29] учених доведена можливість алелопатичної або хімічної взаємодії рослин через виділення ними біологічно активних речовин (колінів).

Також літературні дані [1] свідчать, що насіння теж може виявляти алелопатичну дію. Weston et al. [7], Khaliq et al. [30], Yarnia et al. [31] висловили експериментально підтверджену гіпотезу, що вже під час набрякання насіння виділяє в ґрунтовий розчин хімічні речовини у різних кількостях,

які сприймаються насінням інших культур і за якими вони здатні визначити наступний можливий рівень взаємин у фітоценозі, відповідно якому може проростати та або інша кількість насіння. Як вказують Dicko et al. [32], Hussain et al. [33], між сортами сорго наявні значні міжсорткові відмінності за вмістом фенольних сполук (глікозидів). Розташовані вони у вакуолі, трапляються у вільному стані або зв'язані з вуглеводами (глюкоза, галактоза, рамноза). Серед зернових культур, сорго цукрове має найвищий уміст фенольних сполук, який досягає в деяких сортах до 6%.

Слід зазначити, що, незалежно від схожості насіння, сорго має високу антиоксидантну активність, пов'язану з фенольним складником, яка залежить від генотипу й середовища, у якому вирощуються рослини [31, 34].

Установлено, що насіння сорго цукрового має достатню кількість фітохімічних речовин. Отримані дані свідчать, що водорозчинні екстракти, отримані з насіння гібридів сорго цукрового, мають різну кількість глікозидів і супутніх речовин (рис. 1).

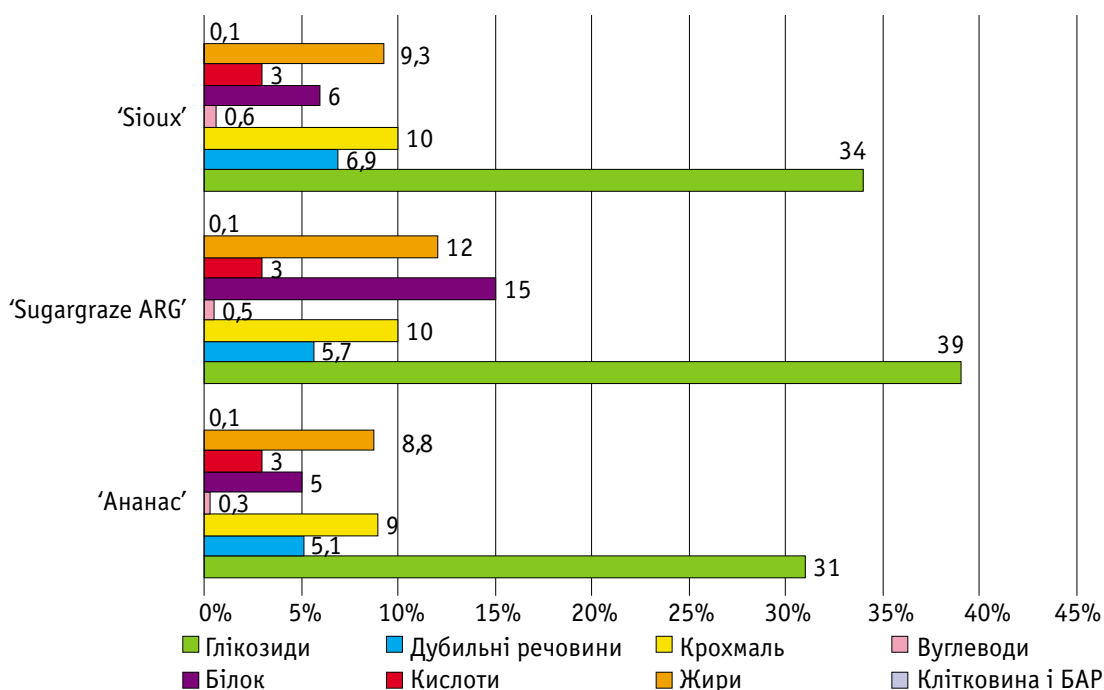


Рис. 1. Кількість фітохімічних речовин, екстрагованих з насіння гібридів сорго цукрового

Зокрема, водорозчинні екстракти насіння гібрида 'Ананас' містять найменше глікозидів та дубильних речовин, порівняно із закордонними гібридами 'Sugargraze ARG' та 'Sioux', у яких зазначені речовини становили 39 та 34% відповідно. Така ж тенденція зберігається і щодо вмісту крохмалю, вуглеводів та білка. Ці речовини, у кількості 9; 0,3 та 5% відповідно, виявлені у водорозчин-

них екстрактах гібрида 'Ананас'. У водорозчинних екстрактах з насіння закордонних гібридів 'Sugargraze ARG' та 'Sioux' крохмалю та вуглеводів було в середньому на 1 та 0,3% більше. Насіння гібрида 'Sugargraze ARG' містило найбільшу кількість білка – 15%. Натомість у 'Sioux' уміст цього нутрієнта був лише на 1% вищим за показник вітчизняного гібрида 'Ананас'. Кількісний

складник жиру у водорозчинних екстрактах насіння гібрида ‘Ананас’ становив 8,8%, у ‘Sugargraze ARG’ і ‘Sioux’ – 12 та 9,3% відповідно. Уміст клітковини та БАР у всіх досліджуваних гібридів становив 0,1%.

Отримані результати досліджень підтверджуються літературними даними щодо міжсортних відмінностей у наявності глікозидів, дубильних речовин та інших нутрієнтів [28, 29]. Сорго має життєво важливі алелопатичні характеристики, завдяки яким ця культура виробляє та вивільняє різні алелохімікати зі своїх кореневих волосків, стебел і зерен (насіння). У дослідженнях Hussain et al. [34] повідомлялося, що сорго діє як алелопатична культура, призупиняючи ріст та фізіологічні властивості навколишніх рослин і бур’янів, що ростуть одночасно або згодом на полі.

Наприклад, у роботах Ashrafi et al. [41], Storozhyk et al. [13] показано, що алелопатичний ефект усіх екстрактів сояшнику та сорго посилюється з підвищенням їх концентрації.

Тому необхідно мати інформацію про хімічну природу й біохімічну активність речовин, які рослини кожного виду продукують у процесі вегетації. Без цих відомостей створюються труднощі під час розроблення наукових основ рослинництва в цілому, і деяких його ланок, зокрема: чергування культур у сівозміні, добір біологічно сумісних компонентів для змішаних та ущільнених посівів, упровадження біологічних методів для контролювання бур’янів.

У процесі досліджень визначали вплив водорозчинних екстрактів алелохімікатів з насіння гібридів сорго цукрового ‘Ананас’, ‘Sugargraze ARG’ та ‘Sioux’ на енергію проростання та схожість насіння гороху та конюшини.

Зокрема, енергія проростання насіння гороху та конюшини за концентрацій 5 та 10% водних витягів з насіння гібрида ‘Ананас’ була вища за контроль на 12%.

У варіантах з водорозчинними витягами фітохімікатів з насіння гібридів ‘Sugargraze ARG’ та ‘Sioux’ зазначених концентрацій енергія проростання біотестових культур була в середньому на 8–11% вище, порівняно з контролем та вітчизняним гібридом ‘Ананас’. Фітохімічні речовини досліджуваних гібридів у концентрації водорозчинних витягів 20–30% виявили толерантну дію щодо енергії проростання насіння гороху та конюшини: її показники у середньому були на рівні контролю.

Підвищені, 40–50% концентрації алелохімічних речовин водорозчинних витягів насіння гібридів ‘Ананас’ та ‘Sioux’ зумовили зниження енергії проростання біотестів – гороху та конюшини – на 7–11% проти контролю. Водорозчинні екстракти фітохімічних речовин гібрида ‘Sugargraze ARG’ знизили енергію проростання конюшини та гороху щодо контролю на 17–21%.

Аналіз отриманих результатів показав, що алелохімічні речовини водних екстрактів з насіння сорго цукрового досліджуваних гібридів по-різному впливають на енергію проростання біотестових культур. Ступінь впливу фітохімічних речовин залежить від концентрації екстрактів, які мають як фітотоксичний, так і стимулювальний ефект.

Дослідженнями встановлено, що фітохімічні речовини досліджуваних гібридів у водорозчинних екстрактах у концентраціях від 5 до 20% виявляли низьку алелохімічну активність у період схожості гороху, порівняно з концентрацією 40–50% (рис. 2).

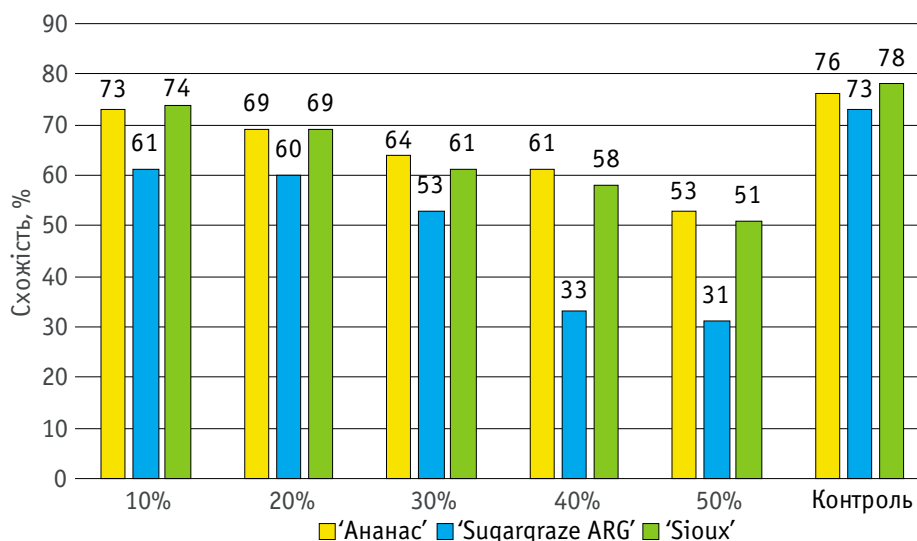


Рис. 2. Алелопатична активність водорозчинних виділень насіння гібридів сорго цукрового різної концентрації на схожість гороху

У варіанті з водним витягом з насіння сорго цукрового ‘Sugargraze ARG’ з концентрацією 40–50%, схожість гороху становила лише 33–31%, що в середньому на 42% нижче показників контролю. Схожість насіння гороху за вище зазначеною концентрацією гібридів ‘Ананас’ та ‘Sioux’ була на рівні 55%. Найнижчі концентрації (5–30%) водорозчинних витягів сорго зазначених гібридів не мали ні стимулювального, ні інгібувального ефекту на проростання насіння біотесту гороху, оскільки значення показника встановлено на рівні контролю. За вико-

ристання витягів з концентрацією від 5 до 30% гібрида ‘Sugargraze ARG ARG’ схожість гороху знизилась тільки на 12% порівняно з показниками контролю. Тобто, алелохімічні речовини ‘Sugargraze ARG’ у підвищених концентраціях водорозчинних витягів знижують схожість гороху. Слід відзначити, що витяги з насіння цього гібрида мають найбільшу кількість глікозидів та вуглеводів.

Конюшина лучна як біотест виявилась більш чутливою до різних концентрацій екстрактів з насіння гібридів сорго (рис. 3).

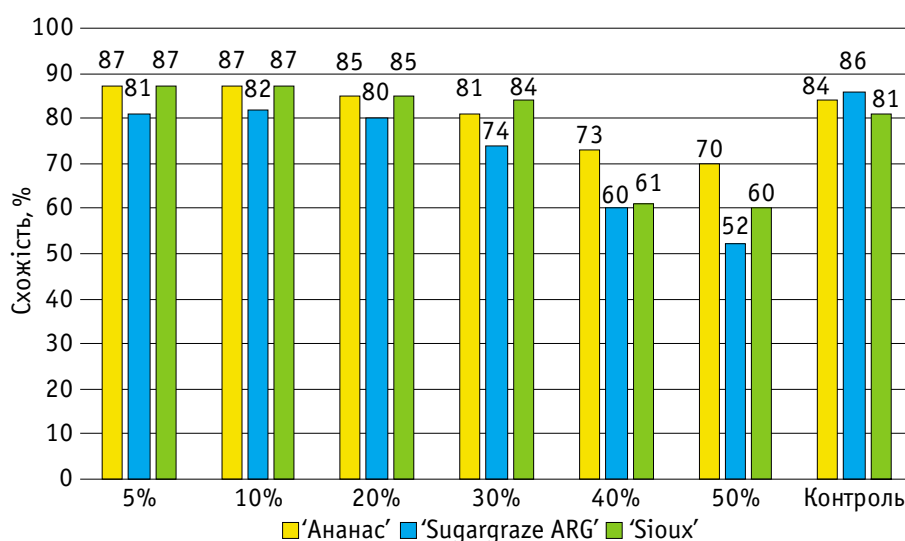


Рис. 3. Алелопатична активність водорозчинних виділень насіння гібридів сорго цукрового різної концентрації на схожість насіння конюшини

За результатами досліджень водорозчинні витяги гібридів ‘Ананас’ та ‘Sioux’ від 5 до 30% концентрації проявляли стимулювальний ефект на схожість насіння конюшини лучної. За зазначених вище концентрацій, показник схожості конюшини становив у середньому 86%, що майже на 2–5 % вище за контроль.

За використання витягів з насіння гібрида ‘Sugargraze ARG’ відповідних концентрацій схожість конюшини знизилася на 3–12% проти контролю. Підвищення концентрацій витягів до 40–50% гібрида ‘Ананас’ призвело до зниження показника схожості насіння конюшини на 11–14%, гібрида ‘Sioux’ – майже на 21%.

Витяги зазначених вище концентрацій з насіння гібрида ‘Sugargraze ARG’ знизили схожість конюшини на 26–34% відповідно проти контролю. Тобто, цей гібрид з високим вмістом глікозидів та вуглеводів виявляє алелопатичну дію через фітотоксичний вплив на схожість насіння конюшини лучної порівняно з гібридами ‘Ананас’ та ‘Sioux’, які мали стимулювальний ефект за викорис-

тання водорозчинних екстрактів у концентрації 40–50%.

Фітотоксичний вплив має взаємозв’язок з вмістом вуглеводів та підвищеною кількістю глікозидів і підтверджується у публікаціях [34–37].

Незважаючи на те, що ефекти стимулювальної або інгібувальної дії, отримані в лабораторних умовах, не завжди можуть бути ідентичні результатам, отриманими в полі, можна зробити висновок, що протиріччя даних пояснюється тим, що фізіологічно активні речовини, потрапляючи у ґрунт, який має високу вологість, піддаються швидкій мінералізації та включаються у гумусоутворювальні процеси, а глікозиди (фенольні сполуки), перебуваючи в ґрунті у вільному стані, можуть виконувати алелопатичну функцію [38].

Зазначені гіпотези підтверджується результатами досліджень інших науковців. Зокрема, літературні джерела свідчать, що інгібувальний вплив екстрактів на проростання здебільшого посилюється зі збільшенням концентрації екстракту [13, 31, 39, 40].

Висновки

1. Насіння сорго цукрового має достатню кількість алелохімікатів, які можуть впливати на проростання насіння біотестових культур. Найбільшу кількість алелопатичних сполук становлять глікозиди, показник яких сягає у гібрида 'Sugargraze ARG' – 39%, 'Sioux' – 34% та 'Ананас' – 31%. Дубильних речовин найбільше у гібрида 'Sioux' – 6,9%, у 'Sugargraze ARG' та 'Ананас' – на 1,2 та 1,8% менше. Уміст крохмалю, вуглеводів та білка у вітчизняного гібрида 'Ананас' становить відповідно 9; 0,3 та 5%. У зарубіжних гібридів 'Sugargraze ARG' та 'Sioux' крохмалю і вуглеводів на 1 та 0,3%, а білка на 10% більше, порівняно з 'Ананас'. Гібриди, що містять високий рівень загальних фенольних сполук (глікозидів), можуть бути новим джерелом антиоксидантів і становлять інтерес як біоактивні компоненти або біокаталізатори.

2. Визначено особливості водорозчинних виділень насіння сорго вітчизняного та закордонних гібридів. Водорозчинні екстракти з насіння гібридів 'Ананас' та 'Sioux' концентрації від 5 до 30% проявляли стимулювальний та толерантний ефект на енергію проростання та схожість насіння біотестових культур – конюшини лучної та гороху. Зокрема, показник схожості конюшини становив у середньому 85 та 76% відповідно, що на 5% вище за контроль, а схожість гороху була на рівні контролю – у середньому 73%. За використання водорозчинних екстрактів з насіння гібрида 'Sugargraze ARG' схожість конюшини знизилася на 3–12%, гороху – на 42% проти контролю. Підвищення концентрацій витягів до 40–50% гібрида 'Ананас' призвело до зниження показника схожості насіння конюшини на 11–14%, 'Sioux' – майже на 21%, 'Sugargraze ARG' – на 13–21%.

3. Схожість гороху у варіанті з водорозчинними виділеннями з насіння сорго цукрового 'Sugargraze ARG' у концентрації 40–50% становила лише 33–31%, що в середньому на 42% нижче показників контролю. Схожість насіння за такої ж концентрації гібридів 'Ананас' та 'Sioux' була на рівні 55%. Тобто, 'Sugargraze ARG' з високим умістом глікозидів та вуглеводів виявляє алелопатичну дію через фітотоксичний вплив на схожість насіння гороху, меншою мірою – на конюшину лучну, порівняно з гібридами 'Ананас' та 'Sioux', які мали стимулювальний чи толерантний ефект за використання водорозчинних витягів у концентрації від 5 до 30%.

Використана література

- Seigler D. S. Basic pathways for the origin of allelopathic compounds. *Allelopathy* / M. Reigosa, N. Pedrol, L. González (Eds.). Dordrecht : Springer, 2006. P. 11–61. doi: 10.1007/1-4020-4280-9_2
- Lehoczy E., Nelima M. O., Szabó R. et al. Allelopathic effect of *Bromus* spp. and *Lolium* spp. shoot extracts on some crops. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2011. Vol. 76, Iss. 3. P. 537–544.
- Bule S., Topić I. Allelopathic effect of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) on hoary cress (*Cardaria draba* (L.) Desv.). *Proceedings & Abstract of the 7th International Scientific Professional Conference Agriculture in Nature and Environment Protection* (Vukovar, May 28–30, 2014). Vukovar, Croatia, 2014. P. 218–222.
- Novak N., Novak M., Barić K. et al. Allelopathic potential of segetal and ruderal invasive alien plants. *Journal of Central European Agriculture*. 2018. Vol. 19, Iss. 2. P. 408–422. doi: 10.5513/JCEA01/19.2.2116
- Serajchi M., Schellenberg M. P., Mischkolz J. M., Lamb E. G. Mixtures of native perennial forage species produce higher yields than monocultures in a long-term study. *Canadian Journal of Plant Science*. 2017. Vol. 98, Iss. 3. P. 633–647. doi: 10.1139/cjps-2017-0087
- Arowosegbe S., Afolayan A. J. Assessment of allelopathic properties of *Aloe ferox* Mill. on turnip, beetroot and carrot. *Biological Research*. 2012. Vol. 45, Iss. 4. P. 363–368. doi: 10.4067/S0716-97602012000400006
- Weston L. A., Alsaadawi I. S., Baerson S. R. Sorghum allelopathy – from ecosystem to molecule. *Journal of Chemical Ecology*. 2013. Vol. 39, Iss. 2. P. 142–153. doi: 10.1007/s10886-013-0245-8
- Shtyka O., Bilyk T., Andrushchenko O. Allelopathic activity assessment as the important stage of phytoremediation technology development. *Proceedings of the National Aviation University*. 2015. Vol. 63, No. 2. P. 79–87. doi: 10.18372/2306-1472.63.8866
- Nekonom M. S., Razmjoo J., Kraimmojeni H. et al. Assessment of some medicinal plants for their allelopathic potential against redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *Journal of Plant Protection Research*. 2014. Vol. 54, Iss. 1. P. 90–95. doi: 10.2478/jppr-2014-0014
- Zucareli V., Coelho E. M. P., Fernandes W. V. et al. Allelopathic potential of *Sorghum bicolor* at different phenological stages. *Planta Daninha*. 2019. Vol. 37. Article e019184017. doi: 10.1590/S0100-83582019370100019
- Shah S. H., Khan E. A., Shah H. et al. Allelopathic sorghum water extract helps to improve yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 2016. Vol. 48, Iss. 3. P. 1197–1202.
- Głab L., Sowiński J., Bough R., Dayan F. E. Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in weed control: a comprehensive review. *Advances in Agronomy*. 2017. Vol. 145. P. 43–95. doi: 10.1016/bs.agron.2017.05.001
- Storozhyk L., Mykolayko V., Mykolayko I. Allelopathic potential of sugar sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) seeds. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2019. Vol. 9, Iss. 1. P. 93–98. doi: 10.15414/jmbfs.2019.9.1.93-98
- Majeed A., Munammad Z., Hussain M., Ahmad H. *In vitro* allelopathic effect of aqueous extracts of sugarcane on germination parameters of wheat. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2017. Vol. 109, Iss. 2. P. 349–356. doi: 10.14720/aas.2017.109.2.18
- Сторожик Л. І. Агробіологічні основи формування агрофітоценозів сорго цукрового як біоенергетичної культури в Степу та Лісостепу України. Вінниця : Твори, 2018. 264 с.
- Santos R. C., Ferraz G. M. G., Albuquerque M. B. et al. Temporal expression of the *sr1* gene and inhibitory effects of *Sorghum bicolor* L. Moench on three weed species. *Acta Botanica Brasiliensis*. 2014. Vol. 28, Iss. 3. P. 361–366. doi: 10.1590/0102-33062014abb3238

17. Weston L. A., Ryan P. R., Watt M. Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 2012. Vol. 63, Iss. 9. P. 2445–3454. doi: 10.1093/jxb/ers054
18. Marchi G., Marchi E. C. S., Wang G., McGiffen M. Effect of age a Sorghum-Sudangrass hybrid on its Allelopathic action. *Planta Daninha*. 2008. Vol. 26, Iss. 4. P. 707–716. doi: 10.1590/S0100-83582008000400001
19. Jabran K., Mahajan G., Sardana V., Chauhan B. S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*. 2015. Vol. 72. P. 57–65. doi: 10.1016/j.cropro.2015.03.004
20. Kardeş Y. M., Kaplan M., Kale H. et al. Biochemical composition of selected lines from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) landraces. *Planta*. 2021. Vol. 254, Iss. 2. Article 26. doi: 10.1007/s00425-021-03670-9
21. Zhang F., Wang Y., Yu H. et al. Effect of excessive soil moisture stress on sweet sorghum: physiological changes and productivity. *Pakistan Journal of Botany*. 2016. Vol. 48, Iss. 1. P. 1–9.
22. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев : Наук. думка, 1973. С. 12–153.
23. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні. Загальна частина / уклад. : С. О. Ткачик, Н. В. Лещук, О. І. Присяжнюк. 4-те вид., випр. і доп. Вінниця, 2016. 120 с.
24. Ingle K. P., Deshmukh A. G., Padole D. A. et al. Phytochemicals: Extraction methods, identification and detection of bioactive compounds from plant extracts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. Vol. 6, Iss. 1. P. 32–36.
25. Сторожик Л. І., Войтовська В. І., Терещенко І. С. Визначення дії алелопатично-активних речовин рослин та післяживних решток сорго цукрового в агрофітоценозах сільськогосподарських культур : методичні рекомендації. Умань : Візаві, 2021. 20 с.
26. ДСТУ 4138–2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначання якості. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 148 с. URL: https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf
27. Юрчак Л. Д. Алелопатія в агробіоценозах ароматичних рослин. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 411 с.
28. Dicko M. H., Gruppen H., Traoré A. S. et al. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. *Biotechnology and Molecular Biology Review*. 2006. Vol. 1, Iss. 1. P. 21–38.
29. Yuan Y., Xiang J., Zheng B. et al. Diversity of phenolics including hydroxycinnamic acid amide derivatives, phenolic acids contribute to antioxidant properties of proso millet. *LWT – Food Science and Technology*. 2022. Vol. 154. Article 112611. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112611
30. Khaliq A., Matloob A., Mahmood S., Wahid A. Seed pre-treatments help improve maize performance under sorghum allelopathic stress. *Journal of Crop Improvement*. 2013. Vol. 27, Iss. 5. P. 586–605. doi: 10.1080/15427528.2013.812051
31. Yarnia M., Khorshidi Benam M. B., Farajzadeh Memari Tabrizi E. Allelopathic effects of sorghum extracts on Amaranth hus retroflexus seed germination and growth. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2009. Vol. 7, Iss. 3. P. 770–774.
32. Dicko M. H., Gruppen H., Traoré A. S. et al. Evaluation of the effect of germination on content of phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53, Iss. 7. P. 2581–2588. doi: 10.1021/jf0501847
33. Hussain M. I., Danish S., Sánchez-Moreiras A. M. et al. Unraveling Sorghum Allelopathy in Agriculture: Concepts and Implications. *Plants*. 2021. Vol. 10, Iss. 9. Article 1795. doi: 10.3390/plants10091795
34. Awika J. M., Rooney L. W. Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry*. 2004. Vol. 65, Iss. 9. P. 1199–1221. doi: 10.1016/j.phytochem.2004.04.001
35. Dicko M. H., Gruppen H., Barro C. et al. Impact of phenolics and related enzymes in sorghum varieties for the resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*. 2005. Vol. 31, Iss. 11. P. 2671–2688 doi: 10.1007/s10886-005-7619-5
36. Dicko M. H., Gruppen H., Zouzouho O. C. et al. Effects of germination on the activities of amylases and phenolic enzymes in sorghum varieties grouped according to food end-use properties. *Journal of Agriculture and Food Science*. 2006. Vol. 86, Iss. 6. P. 953–963. doi: 10.1002/jsfa.2443
37. Dykes L., Rooney L. D., Waniska R. D., Rooney W. L. Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005. Vol. 53, Iss. 17. P. 6813–6818. doi: 10.1021/jf050419e
38. Newman E. I., Miller M. H. Allelopathy among some British grassland species. II. Influence of root exudates on phosphorus uptake. *Journal of Ecology*. 1977. Vol. 65, Iss. 2. P. 399–411. doi: 10.2307/2259490
39. Devi Y. N., Dutta B. K., Sagolshemcha R., Singh N. I. Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* L. on growth and productivity of *Zea mays* L. and its phytochemical screening. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2014. Vol. 3, Iss. 7. P. 837–846.
40. Msafiri C. J., Tarimo M. T., Ndakidem P. A. Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* on seed germination, seedling growth, fresh and dry mass production of *Alysicarpus glumaceae* and *Chloris gayana*. *American Journal of Research Communication*. 2013. Vol. 1, Iss. 11. P. 190–205.
41. Ashrafi Z. Y., Sadeghi S., Mashhadi H. R., Hassan M. A. Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Agricultural Technology*. 2008. Vol. 4, Iss. 1. P. 219–229.

References

1. Seigler, D. S. (2006). Basic pathways for the origin of allelopathic compounds. In M. Reigosa, N. Pedrol, & L. González (Eds.), *Allelopathy* (pp. 11–61). Dordrecht: Springer. doi: 10.1007/1-4020-4280-9_2
2. Lehoczky, E., Nelima, M. O., Szabó, R., Szalai, A., & Nagy, P. (2011). Allelopathic effect of *Bromus* spp. and *Lolium* spp. shoot extracts on some crops. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 76(3), 537–544.
3. Bule, S., & Topić, I. (2014, May 28–30). Allelopathic effect of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) on hoary cress (*Cardaria draba* (L.) Desv.). In *Proceedings & Abstract of the 7th International Scientific/Professional Conference Agriculture in Nature and Environment Protection* (pp. 218–222). Vukovar, Republic of Croatia.
4. Novak, N., Novak, M., Barić, K., Ščepanović, M., & Ivić, D. (2018). Allelopathic potential of segetal and ruderal invasive alien plants. *Journal of Central European Agriculture*, 19(2), 408–422. doi: 10.5513/JCEA01/19.2.2116
5. Serajchi, M., Schellenberg, M. P., Mischkolz, J. M., & Lamb, E. G. (2017). Mixtures of native perennial forage species produce higher yields than monocultures in a long-term study. *Canadian Journal of Plant Science*, 98(3), 633–647. doi: 10.1139/cjps-2017-0087
6. Arowosegbe, S., & Afolayan, A. J. (2012). Assessment of allelopathic properties of *Aloe ferox* Mill. on turnip, beetroot and carrot. *Biological Research*, 45(4), 363–368. doi: 10.4067/S0716-97602012000400006
7. Weston, L. A., Alsaadawi, I. S., & Baerson, S. R. (2013). Sorghum allelopathy – from ecosystem to molecule. *Journal of Chemical Ecology*, 39(2), 142–153. doi: 10.1007/s10886-013-0245-8
8. Shtyka, O., Bilyk, T., & Andrushchenko, O. (2015). Allelopathical activity assessment as the important stage of phytoremediation technology development. *Proceedings of the National Aviation University*, 63(2), 79–87. doi: 10.18372/2306-1472.63.8866
9. Nekonam, M. S., Razmjoo, J., Kraimmojeni, H., Sharif, B., Amini, H., & Bahrami, F. (2014). Assessment of some medicinal plants for their allelopathic potential against redroot pigweed (*Ama-*

- ranthus retroflexus*). *Journal of Plant Protection Research*, 54(1), 90–95. doi: 10.2478/jppr-2014-0014
10. Zucareli, V., Coelho, E. M. P., Fernandes, W. V., Peres, E. M., & Stracien, J. (2019). Allelopathic potential of *Sorghum bicolor* at different phenological stages. *Planta Daninha*, 37, Article e019184017. doi: 10.1590/S0100-83582019370100019
 11. Shah, S. H., Khan, E. A., Shah, H., Ahmad, N., Khan, J., & Sadozai, G. U. (2016). Allelopathic sorghum water extract helps to improve yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 48(3), 1197–1202.
 12. Głab L., Sowiński J., Bough R., & Dayan, F. E. (2017). Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in weed control: a comprehensive review. *Advances in Agronomy*, 145, 43–95. doi: 10.1016/bs.agron.2017.05.001
 13. Storozhyk, L., Mykolayko, V., & Mykolayko, I. (2019). Allelopathic potential of sugar sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) seeds. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9(1), 93–98. doi: 10.15414/jmbfs.2019.9.1.93-98
 14. Majeed, A., Munammad, Z., Hussain, M., & Ahmad, H. (2017). *In vitro* allelopathic effect of aqueous extracts of sugarcane on germination parameters of wheat. *Acta Agriculturae Slovenica*, 109(2), 349–356. doi: 10.14720/aas.2017.109.2.18
 15. Storozhyk, L. I. (2018). *Ahrobiolohichni osnovy formuvannia ahrofitotsenziv sorho tsukrovoho yak bioenerhetychnoi kultury v Stepu ta Lisostepu Ukrainy* [Agrobiological bases of formation of agrophytocenoses of sugar sorghum as bioenergetic culture in Steppe and Forest-Steppe of Ukraine]. Vinnytsia: Tvory. [In Ukrainian]
 16. Santos, R. C. dos, Ferraz, G. M. G. de, Albuquerque, M. B. de, Lima, L. M. de, Melo Filho, P. A. de, & Ramos, A. R. de (2014). Temporal expression of the *sr1* gene and inhibitory effects of *Sorghum bicolor* L. Moench on three weed species. *Acta Botanica Brasiliica*, 28(3), 361–366. doi: 10.1590/0102-33062014abb3238
 17. Weston, L. A., Ryan, P. R., & Watt, M. (2012). Mechanisms for cellular transport and release of allelochemicals from plant roots into the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 2445–2454. doi: 10.1093/jxb/ers054
 18. Marchi, G., Marchi, E. C. S., Wang, G., & McGiffen, M. (2008). Effect of age a Sorghum-Sudangrass hybrid on its Allelopathic action. *Planta Daninha*, 26(4), 707–716. doi: 10.1590/S0100-83582008000400001
 19. Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., & Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57–65. doi: 10.1016/j.cropro.2015.03.004
 20. Kardeş, Y. M., Kaplan, M., Kale, H., Yılmaz, M. F., Karaman, K., Temizgül, R., & Akar, T. (2021). Biochemical composition of selected lines from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) landraces. *Planta*, 254(2), Article 26. doi: 10.1007/s00425-021-03670-9
 21. Zhang, F., & Wang, Y. (2016). Effect of excessive soil moisture stress on sweet sorghum: physiological changes and productivity. *Pakistan Journal of Botany*, 48(1), 1–9.
 22. Grodzinskiy, A. M., & Grodzinskiy, D. M. (1973). *Kratkiy spravochnik po fiziologii rasteniy* [A brief reference book on the physiology of plants] (pp. 12–153). Kyiv: Naukova dumka [In Russian]
 23. Tkachyk, S. O., Leschuk, N. V., & Prysiazhniuk, O. I. (2016). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist do poshyrennia v Ukraini. Zahalna chastyna* [Methods of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. General part] (4th ed.). Vinnytsia: N.p. [In Ukrainian]
 24. Ingle, K. P., Deshmukh, A. G., Padole, D. A., Dudhare, M. S., Mohari, M. P., & Khelurkar, V. C. (2017). Phytochemicals: Extraction methods, identification and detection of bioactive compounds from plant extracts. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(1), 32–36.
 25. Storozhyk, L. I., Voitovska, V. I., & Tereshchenko I. S. (2021). *Vyznachennia dii alelopatychno-aktyvnykh rehovyn roslyn ta pisliazhnyvnykh reshtok sorho tsukrovoho v ahrofitotsenzakh silskohospodarskykh kultur* [Determination of the action of allelopathic active substances of plants and post-harvest residues of sugar sorghum in agrophytocenoses of agricultural crops]. Uman: Vizavi. [In Ukrainian]
 26. *State standard of Ukraine (DSTU) 4138-2002. Seeds of agricultural crops. Methods for seed testing* (2003). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. Retrieved from https://www.agrodialog.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/dstu-4138_2002.pdf [In Ukrainian]
 27. Yurchak, L. D. (2005). *Allelopatiiia v ahrobiotsenzozakh aromatychnykh roslyn* [Allelopathy in agrobiocenosis of aromatic plants]. Kyiv: Fitosotsiotsentr. [In Ukrainian]
 28. Dicko, M. H., Gruppen, H., Traoré, A. S., Voragen, A. G. J., & van Berkel, W. J. H. (2006). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. *Biotechnology and Molecular Biology Review*, 1(1), 21–38.
 29. Yuan, Y., Xiang, J., Zheng, B., Sun, J., Luo, D., Li, P., & Fan, J. (2022). Diversity of phenolics including hydroxycinnamic acid amide derivatives, phenolic acids contribute to antioxidant properties of proso millet. *LWT – Food Science and Technology*, 154, Article 112611. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112611
 30. Khaliq, A., Matloob, A., Mahmood, S., & Wahid, A. (2013). Seed pre-treatments help improve maize performance under sorghum allelopathic stress. *Journal of Crop Improvement*, 27(5), 586–605. doi: 10.1080/15427528.2013.812051
 31. Yarnia M., Khorshidi Benam M. B., Farajzadeh Memari Tabrizi E. (2009). Allelopathic effects of sorghum extracts on *Amaranthus retroflexus* seed germination and growth. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(3), 770–774.
 32. Dicko, M. H., Gruppen, H., Traore, A. S., van Berkel, W. J. H., & Voragen, A. G. J. (2005). Evaluation of the effect of germination on content of phenolic compounds and antioxidant activities in sorghum varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2581–2588. doi: 10.1021/jf0501847
 33. Hussain, M. I., Danish, S., Sánchez-Moreiras, A. M., Vicente, Ó., Jabran, K., Chaudhry, U. K., Branca, F., & Reigosa, M. J. (2021). Unraveling Sorghum Allelopathy in Agriculture: Concepts and Implications. *Plant*, 10(9), Article 1795. doi: 10.3390/plants10091795
 34. Awika, J. M., & Rooney, L. W. (2004). Sorghum phytochemicals and their potential aspects on human health. *Phytochemistry*, 65(9), 1199–1221. doi: 10.1016/j.phytochem.2004.04.001
 35. Dicko, M. H., Gruppen, H., Barro, C., Traoré, A. S., van Berkel, W. J. H., & Voragen, A. G. J. (2005). Impact of phenolics and related enzymes in sorghum varieties for the resistance and susceptibility to biotic and abiotic stresses. *Journal of Chemical Ecology*, 31(11), 2671–2688. doi: 10.1007/s10886-005-7619-5
 36. Dicko, M. H., Gruppen, H., Zouzouho, O. C., Traoré, A. S., van Berkel, W. J., & Voragen, A. G. (2006). Effects of germination on the activities of amylases and phenolic enzymes in sorghum varieties grouped according to food end-use properties. *Journal of Agriculture and Food Science*, 86(6), 953–963. doi: 10.1002/jfsa.2443
 37. Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Rooney, W. L. (2005). Phenolic compounds and antioxidant activity of sorghum grains of varying genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6813–6818. doi: 10.1021/jf050419e
 38. Newman, E. I., & Miller, M. H. (1977). Allelopathy among some British grassland species. II. Influence of root exudates on phosphorus uptake. *Journal of Ecology*, 65(2), 399–411. doi: 10.2307/2259490
 39. Devi, Y. N., Dutta, B. K., Sagolshemcha, R., & Singh, N. I. (2014). Allelopathic effect of *Parthenium hysterophorus* L. on growth and productivity of *Zea mays* L. and its phytochemical screening. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(7), 837–846.
 40. Msafiri, C. J., Tarimo, M. T., & Ndakidemi, P. A. (2013). Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorus* on seed germination, seedling growth, fresh and dry mass production of *Alysicarpus glumaceae* and *Chloris gayana*. *American Journal of Research Communication*, 1(11), 190–205.
 41. Ashrafi, Z. Y., Sadeghi, S., Mashhadi, H. R., & Hassan, M. A. (2008). Allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus*) on germination and growth of wild barley (*Hordeum spontaneum*). *Journal of Agricultural Technology*, 4(1), 219–229.

UDC 631.1.633.6

Storozhyk, L. I.*, **Voitovska, V. I.**, **Tereshchenko, I. S.**, & **Zavhorodnia, S. V.** (2022). Biochemical composition and allelopathic properties of sweet sorghum seeds [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. *Plant Varieties Studying and Protection*, 18(1), 66–74. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.18.1.2022.257589> [In Ukrainian]

*Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine,
e-mail: larisastorozhyk1501@gmail.com

Aim. To establish the main composition of allelochemicals and the activity of their aqueous extracts from sweet sorghum seeds – hybrids with high and medium sugar content ‘Sugar-graze ARG’ (Argentina), ‘Sioux’ (USA) and ‘Ananas’ (Ukraine) on germination energy and seed germination of test crops (peas, clover). **Methods.** Allelopathic, physiological-biochemical, agrochemical and statistical methods were used. The allelopathic activity of extracts (water-soluble) from the seeds of the studied sorghum hybrids was determined by direct biotesting. The chemical component of allelopathically active substances was determined by extraction. **Results.** Aqueous extracts from sweet sorghum seeds of hybrids ‘Sugar-graze ARG’, ‘Sioux’ and ‘Ananas’ were found to have a high content of phytochemicals and at a concentration of 40 and 50% inhibited the germination energy and germination of pea and clover seeds by an average of 15–42%. Aqueous extracts of concentrations from 5 to 30% of the studied hybrids showed a stimulating and tolerant effect on the quality of seeds of biotest crops of clover and peas, as germination

rates were at the level of control or 5–7% higher, i.e. showed the least allelopathic activity. **Conclusions.** Sweet sorghum seeds have a sufficient number of allelochemicals, the specificity of which depends on varietal differences in the content of phenolic compounds (glycosides), tannins, acids and carbohydrates. The activity of the allelochemicals extracted from the seeds was weak in the stimulating effect and high in the inhibitory one. For water-soluble extracts from sorghum seeds, a sharp decrease in the manifestation of allelopathic activity is characteristic when their concentration decreases to 5–20%. Studies of water-soluble extracts of seeds at a concentration of 30–50% showed their high overall allelopathic activity, which was manifested in the inhibition of seed germination of biotest crops by 42%. The species-specific action of allelochemicals must be taken into account when sowing multicomponent fields, crop rotation planning, and the use of sweet sorghum as green manure.

Keywords: *seed extracts; allelochemicals; similarity; inhibitory and tolerant effect; bioassays.*

*Надійшла / Received 21.04.2022
Погоджено до друку / Accepted 16.05.2022*