

Лекція: Визначення показників технологічної якості біоенергетичних і цукровмісних культур

Григоренко Н.О., к.т.н., с.н.с., зав. лабораторії молекулярно-генетичних досліджень

В останнє десятиліття більшість європейських країн, зокрема й Україна, усвідомлюють обмеженість викопних ресурсів та необхідність їх раціонального використання, тому швидкими темпами розпочали перебудову існуючої енергетики та диверсифікацію поставок енергоресурсів із застосуванням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Україна належить до енергозалежних країн, оскільки щороку використовує близько 90 млн. т. н.е, з яких 39 % змушена імпортувати. Тому для України актуальним є пошук альтернативних джерел енергії з постійним зменшенням частки викопних видів палива.

Сировиною для виробництва різних видів біопалива є здебільшого відходи сільськогосподарського виробництва (рослинництва, тваринництва та деревопереробної промисловості). Крім того, останнім часом особлива увага приділяється вирощуванню високопродуктивних біоенергетичних культур.

Однією із перспективних біоенергетичних та цукровмісних культур є сорго цукрове (*Sorghum saccharatum*) – унікальна злакова рослина як за своїми біологічними особливостями, так і за господарсько-цінними ознаками. Основними перевагами сорго цукрового серед інших біоенергетичних культур є його значна посухостійкість, стабільна врожайність не залежно від умов вирощування, універсальність використання, що й створює умови для його широкого поширення.

Зерно і зелена маса сорго цукрового за хімічним складом подібні до кукурудзи, але урожайність зеленої маси значно більша і може досягати 120 т/га (залежно від сортових особливостей) з вмістом соку в стеблах понад 75% (без листя та волоті). У стеблах цукрового сорго в кінці вегетації накопичується до 20 % вуглеводів. Вони, у свою чергу, містять 55...75 % цукрози та 25...45 % фруктози та глюкози.

Це обумовлює перспективність використання сорго цукрового в харчовій промисловості, з отриманням рідкого цукру, що може частково або повністю замінити цукор при виробництві багатьох харчових продуктів, тим самим збагативши їх біологічно поживними сполуками.

Крім того, залучення у технологію перероблення віджатих соргових стебел в якості палива забезпечить заводу паливну незалежність і здешевить собівартість основного харчового цукровмісного продукту.

Тому при комплексному підході до даної культури можна отримати сировину для харчової промисловості, кормовиробництва і біоенергетики. Ця культура є важливою і особливо перспективною як з погляду нарощування обсягів виробництва харчової продукції, так і створення та ВДЕ у сільському господарстві.

В аграрному комплексі України постає питання виявлення та включення у селекційний процес і сільськогосподарське виробництво нових, альтернативних посухостійких культур, придатних для використання як на харчові цілі, так і для отримання біопалива. Тому виникає потреба у визначенні певних показників технологічної якості досліджуваної сировини.

1. Відбір та підготовка зразків до аналізу

Загальні положення

Необхідною умовою для правильної хімічної характеристики рослинного матеріалу в малій наважці є правильний відбір зразка і підготовка його до аналізу. В середню пробу повинна увійти якомога більша кількість рослинного матеріалу із різних точок відбору.

При відборі зразків у всіх варіантах досліду необхідно дотримуватись певних вимог (зрізати однотипні рослини однакового розміру, кожний зразок має бути забезпечений чітко заповненою етикеткою, відбір зразків проводять в один день по всім варіантам досліду у відповідних фазах розвитку рослин).

Підготовка загального зразка

Загальний зразок відбирають окремо з кожного повторення, що дає можливість провести математичну обробку, або змішаний з двох або більше суміжних повторень.

Зразки з великих ділянок відбираються невеликими пучками рослин, розміщених по діагоналі на однаковій відстані один від одного.

Відбір зразків з маленьких ділянок проводиться, головним чином, в селекційній практиці.

Середній зразок

Зразки рослинного матеріалу розділяють на окремі частини (листя, стебла, волоть тощо) зважують, та визначають вагове співвідношення, потім подрібнюють ножицями або секатором, перемішують і відбирають середній зразок.

При підготовці до хімічного аналізу зразки висушують при кімнатній температурі, або з підігрівом (50-60°C) до крихкого стану. Такі зразки можуть зберігатися в закритих картонних або металічних коробках тривалий час .

2. Визначення біометричних показників зразків рослин

Для одержання якісної оцінки досліджуваних сортів та гібридів необхідно провести комплекс заходів, направлених на визначення біометричних характеристик посівів.

На початковому етапі досліджень, потрібно здійснити фенологічні спостереження і прості біометричні вимірювання окремих рослин у посівах на різних етапах органогенезу. Для цього необхідно провести коректний з методичної точки зору вибір рослин.

Відбір проб рослинного матеріалу проводять по діагоналі дослідних ділянок. Відбирається з кожного повторення по 10 рослин. Не рекомендовано відбирати проби рослинного матеріалу з крайніх рядків ділянок що межують з захисними смугами та доріжками. Рослини зрізують біля основи до 1-го міжвузля. У зрізаних рослинах у лабораторних умовах проводять наступні вимірювання: загальна висота рослини, висота і діаметр стебла, кількість листків, верхні і нижня границя листків, маса стебла, листків та волоті.

До фази викидання волоті висоту рослини визначали від поверхні ґрунту до верхівки самого довгого розправленого листка, а після викидання волоті – до верхівки волоті.

Ці дослідження в кількісному співвідношенні охарактеризують ріст і розвиток рослин.

Наступний етап характеризується більш поглибленими дослідженнями, які характеризують фотосинтетичну діяльність посівів і продуктивність в цілому. До них відносять такі вимірювання як площа листкової поверхні, вміст сирої та сухої речовини рослини, фотосинтетичний потенціал, чисту продуктивність фотосинтезу та зміна їх впродовж вегетаційного періоду, та безліч якісних показників.

3. Визначення площі листкової поверхні

Площа листкової поверхні рослин належить до однієї із найбільш суттєвих характеристик фотосинтетичної продуктивності посіву. Спостереження за динамікою площі листкової поверхні рослин є необхідною

умовою для розрахунку фотосинтетичного потенціалу посіву та мірилом достовірної оцінки його стану. Для її визначення рекомендується три найбільш продуктивних і простих методи.

Метод «висічок». Відбирається 10-20 рослин на дослідній ділянці, зрізується з них листя і зважується (листя повинно бути не в'яле). З цих листків за допомогою ручного свердла № 5-14 (залежно від розміру листка) беруть 20-30 висічок. Після зважування висічок загальну листову площу проби визначають за формулою:

$$S=(M \times Sn \times n):m,$$

де S – загальна площа листя у пробі, см^2 ; M – маса листя у пробі, г; Sn – площа однієї висічки, визначають за формулою круга $S = \pi r^2$, см^2 ; n – кількість висічок з проби, шт.; m – маса висічок, г.

Визначивши загальну площу листя у пробі, розраховують площу листків на одній рослині і, помноживши цей показник на густоту рослин на 1 га, визначають площу листового апарату на певній площі, виражену в $\text{м}^2/\text{га}$. Даний метод досить доступний і активно використовується в практиці, але має певні недоліки. Вона не відображає повної картини по розподілу маси на поверхні листка, тому, як наслідок, можуть бути відхилення в реальній та визначеній площі листової поверхні.

Відомі також сучасні методи контурного способу визначення площі листової поверхні, які полягають у скануванні листової пластини за допомогою сканера чи іншого пристрою, що забезпечує фото фіксацію контурів листка. Отримані зображення опрацьовуються за допомогою спеціального програмного забезпечення, що забезпечує оперативне та високоточне встановлення площі поверхні листової пластини.

Досить поширеним є **розрахунковий** метод. Відповідно до даного методу визначають параметри листка, помноживши його ширину (a) на довжину (b) і на перевідний коефіцієнт, який для злакових культур становить 0,67 (лист продовгуватий) або 0,74 (лист овальний). Формула має такий вигляд:

$$S=K \times a \times b,$$

де S – площа листка, см^2 ; a – ширина листка, см; b – довжина листка, см; K – перевідний коефіцієнт.

Головним недоліком цього методу є дещо нижча точність визначення величини площі листового апарату, однак при вивченні динаміки наростання листової поверхні можна використовувати одні й ті ж самі рослини декілька

разів без зрізання їх листя.

4. Визначення фотосинтетичного потенціалу

Для повної характеристики фотосинтетичної діяльності досліджуваних рослин необхідно враховувати ще й період їх активної роботи. Таким показником, що характеризує ефективність роботи листкової поверхні рослин від початку вегетації до його закінчення, являється фотосинтетичний потенціал. Застосування комплексних показників важливе для повної оцінки фотосинтетичного апарату, так як величина площі листкової поверхні рослин не дає повної характеристики.

Величину фотосинтетичного потенціалу (ФП) розраховують за формулою:

$$\Phi\Pi = \frac{(L_1 + L_2)T_1 + (L_2 + L_3)T_2 + \dots (L_{n-1} + L_n)T_n}{2},$$

де: $\Phi\Pi$ – фотосинтетичний потенціал, м²/га х діб;

$L_1, L_2 \dots L_n$ – площа листя на 1 га посіву у відповідні строки визначення, м²/га;

$T_1, T_2 \dots T_n$ – кількість днів між двома відповідними значеннями.

5. Визначення чистої продуктивності фотосинтезу

Результуючим показником продукційного процесу є чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ), яка дозволяє врахувати не лише темпи утворення органічної речовини на одиницю листкової поверхні, але і її втрати в результаті процесу дихання, відмирання та часткового опадання листків протягом вегетації.

ЧПФ характеризує ефективність роботи одиниці площі листкової поверхні і являє собою відношення приросту маси сухої речовини рослин в грамах за певний проміжок часу (днів) до одиниці площі листкової поверхні (м²). Для визначення ЧПФ використовують формулу Кідда-Веста-Бріггса:

$$\text{ЧПФ} = 2(B_2 - B_1) / [T(L_1 + L_2)],$$

де: ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу;

B_1, B_2 – суха маса рослин на початку і в кінці облікового періоду, г;

$(B_2 - B_1)$ – приріст маси сухої речовини за T днів, г;

L_1 і L_2 – площа листків на початку і в кінці облікового періоду, м²;

T – тривалість періоду між двома спостереженнями, днів.

Для визначення чистої продуктивності фотосинтезу проби рослин відбирають згідно настання основних фаз росту та розвитку рослин, а у випадку

відслідковування більш детальної динаміки – відповідно до визначених програмою проведення досліджень основних дат. Відібрані рослинні проби переносять в лабораторію, де їх розділяють на окремі органи (стебла, листки, коріння) і зважують. Пожовклі і відмерлі листки враховують окремо. З кожної проби органів беруть проби для визначення вмісту сухої речовини, а з листків – проби для визначення площі листків. Далі розраховують масу сухих органів рослин і загальну масу сухої речовини рослин, взятих для дослідження. Подальші розрахунки ЧПФ виконують згідно формули, наведеної вище.

6. Визначення вмісту хлорофілів *a* і *v* та їх суми

Концентрація і загальна кількість хлорофілів в листках рослин є важливим фізіологічним параметром рослин. Вміст хлорофілів характеризує потенційну потужність фотосинтетичного апарату, залежно від фази розвитку культури, реакцію рослин на дію різних факторів впливу (мінеральне живлення, хімічний захист рослин від бур'янів, природні екологічні чинники тощо) і має тісний зв'язок з біологічною продуктивністю рослинного організму.

Для визначення вмісту хлорофілів в центральній частині листка рослин (з лівої чи з правої сторони від центральної жилки) свердлом №3 беруть 10 висічок так, щоб крупні жилки не потрапили у пробу. Зважують на торсійних вагах ВТ-500 (повторюваність триразова) і розтирають у ступці з 0,05 г $MgCO_3$ і 5 мл 80% спиртового розчину до отримання однорідної маси. Одночасно визначають вміст сухої речовини у листкових пластинках.

Вміст ступки переносять на скляний фільтр Шотта №4 і проводять екстракцію пігментів шляхом додавання невеликої кількості (2-3 мл) 80%спиртового розчину. Екстракцію припиняють після появи безбарвної краплі під час фільтрування. Об'єм витяжки доводять у мірній пробірці до 25 мл, ретельно перемішують і вимірюють оптичну густину розчину на спектрофотометрі СФ-4 чи СФ-26 при довжині хвилі 649 Нм (хлорофіл *a*) та 665 Нм (хлорофіл *v*) у кюветі з товщиною шару 1 см. Отримані величини підставляють у такі формули та враховують концентрації хлорофілів *a, v* та їх суми:

$$C_a = 13,70 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649}, \text{ мг/л}$$

$$C_v = 25,80 \times D_{649} - 7,60 \times D_{665}, \text{ мг/л}$$

$$C_{a+v} = 6,10 \times D_{665} + 20,04 \times D_{649}, \text{ мг/л}$$

Виходячи з визначених концентрацій пігментів, розраховують їх вміст у досліджуваному зразку за такою формулою:

$$F = \frac{C \times V}{1000 \times S}, \text{ мг/дм}^2,$$

де С – концентрація хлорофілу, мг/л;

V – об'єм екстракту пігментів, мл;

S – площа десяти висічок, дм²

P – наважка досліджуваної речовини, г

Вміст пігментів розраховують також у мг/г сухої речовини:

$$F = \frac{C \times V}{P}, \text{ мг/г}$$

де С – концентрація хлорофілу, мг/л;

V – об'єм екстракту пігментів, мл;

P – наважка досліджуваної речовини, г

7. Метод визначення вмісту сухих речовин

Технологічну якість сировини сорго цукрового оцінюють за вмістом сухих речовин (СР) в листках та стеблах культури і визначають на різних етапах росту та розвитку рослин.

Під показником «вміст (концентрація) СР» розуміють загальну кількість усіх компонентів (крім води), які містяться в 100 г (або в 100 мл) досліджуваного зразка, вираженого у масових частках або в г/100 мл відповідно.

Для визначення складу сухих речовин у сорго цукровому використовують два методи: рефрактометричний і ваговий.

Рефрактометричний метод дає змогу визначити видимий вміст сухих речовин у досліджуваних зразках непрямим шляхом за показником, який змінює своє значення пропорційно до зміни концентрації СР, а саме за показником заломлення. Даний метод реалізується з використанням цифрових і візуальних рефрактометрів марок РЛ, УРЛ, РПЛ-3 або інших, що мають шкалу вмісту сухих речовин.

Середню пробу досліджуваного продукту повільно видушують через марлю, перші дві-три краплі рідини не використовують для аналізу, а четверту та п'яту краплини аналізують, наносячи на призму рефрактометра. Знімаючи показники з рефрактометра, встановлюють температуру, при якій проводилось визначення. Якщо аналіз проводився при температурі, що не дорівнює 20°C,

необхідно внести відповідну поправку. Розходження між паралельними визначеннями має не перевищувати 0,2%.

Ваговий метод дає змогу визначити істинний вміст сухих речовин. Він базується на безпосередньому висушуванні наважки досліджуваної рідкої чи твердої речовини до сталої маси.

У наперед висушений до сталої маси бюкс поміщають наважку досліджуваного зразку (листя, стебло, сік сорго цукрового та ін.) масою 3...5 г з точністю до 0,001 г. Висушують разом з кришкою у відкритому вигляді при 100...105°C. Для визначення маси бюкс виймають із сушильної шафи, закривають кришкою, охолоджують в ексикаторі 20...30 хв і зважують. Сушіння продовжують до сталої маси і завершують, якщо різниця між двома черговими зважуваннями не перевищує 0,001 г.

Масова частка вологи визначається за формулою (W), %:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} * 100 ;$$

де m_1 , m_2 – маса бюкса з наважкою відповідно до і після висушування, г; m_0 – маса бюкса, г; 100 – коефіцієнт перерахунку у масові відсотки.

Вміст сухих речовин (CP) обчислюють за формулою, %:

$$CP = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * 100 ;$$

Розходження між паралельними визначеннями має не перевищувати 0,25 %.

8. Визначення вмісту сирі золь

Метод визначення сирі золь заснований на спалюванні органічної речовини при вільному доступі повітря. При спалюванні вуглець, водень і частково кисень випаровуються у вигляді вуглекислоти й парів води і залишаються лише мінеральні елементи у вигляді окисних з'єднань.

«Сирою» золь називають тому, що у її складі можуть бути механічні домішки (пісок), незгорілі частки вугілля.

Для проведення визначення вмісту сирі золь необхідно мати таке технологічне обладнання: ваги аналітичні, муфельна піч, тиглі порцелянові №3-4, ексикатор.

Чисті порцелянові тиглі прожарюють у муфельній печі 1-2 години. Тиглі повинні бути пронумеровані, для чого використовують розчин хлорного заліза ($FeCl_3 \cdot x \cdot 6H_2O$, 0,5% водний розчин).

Після охолодження в ексикаторі тиглі зважують на аналітичних вагах і в них кладуть наважку повітряно-сухого зразка масою 2-5 г.

Пробу укладають пористо для більш повного й швидкого озолення. Тиглі ставлять у холодну муфельну піч і піднімають температуру до 200⁰С. Спочатку озолення проводять повільно для того, щоб виключити можливе розкидання дрібних часток зразка. Цю операцію можна проводити й на електричній плитці у витяжній шафі. Через 50-60хв. після того, як проба перестала диміти, температуру в муфелі піднімають до 525-550⁰С (темно-червоне розжарювання) і спалюють обвуглілу масу доти, поки зола не набуде світло сірого забарвлення. Іноді зола має червоно-бурий або зеленкуватий відтінок через наявність окислів заліза й марганцю. Для повного озолення зразка зазвичай достатньо 5-6 годин. По закінченні озолення тиглі із золою охолоджують спочатку у виключеній муфельній печі, а потім у ексикаторі й зважують на аналітичних вагах.

У випадку, якщо в золі залишилися незгорілі обвуглілі частки, тиглі охолоджують, додаючи декілька крапель гарячої дистильованої води або 2-3 краплі 3% розчину перекису водню й знову обережно прожарюють у муфельній печі.

Визначення сирої золи можна проводити також при озоленні матеріалу для визначення мікроелементів, зважуючи тиглі (порожні, з рослинним матеріалом і з золою) на аналітичних вагах.

Вміст сирої золи розраховують за формулою:

$$\text{Сира зола, \%} = \frac{(a - b) \cdot 100}{n}$$

a – маса тигля з сирою золою, г

b – маса тигля, г

n – наважка, г

100 – коефіцієнт перерахунку у відсотки.

Аналіз вважається достовірним і проведеним з достатньою точністю, якщо відхилення повторного аналізу не перевищує 5% для даних однієї лабораторії, та 10% для даних, виконаних у різних лабораторіях.

9. Визначення вмісту загального цукру у рослинній сировині

Одним із головних показників технологічної якості рослинної сировини є вміст загального цукру. Від його кількісного і якісного складу залежить подальша економічна доцільність переробки досліджуваної сировини і напрямок її використання.

Для визначення вмісту загального цукру у рослинній сировині та готовій продукції найбільше застосування у лабораторній практиці мають хімічні методи, які ґрунтуються на відновлюючих (редукуючих) властивостях цукрів. Редукуючі властивості характерні для всіх моносахаридів – глюкози, фруктози, лактози і для деяких дисахаридів (мальтози). Сахароза не має редукуючих властивостей, однак її легко перевести у суміш глюкози і фруктози кислотною інверсією і надати їй редукуючої здатності.

Редукуюча здатність цукрів зумовлена наявністю в них вільної альдегідної або кетонної групи, які легко окислюються до кислот у лужному середовищі солями металів. Солі металів, окислюючи цукри, при цьому відновлюються. В якості окисників використовують солі срібла, ртуті, вісмуту, заліза, міді. Найбільш поширене застосування отримали мідні реагенти.

Для проведення досліджень по визначенню вмісту загального цукру таредукувальних цукрів у рослинній сировині ми рекомендуємо використовувати метод Люфа-Шорля, у якому в якості окисника застосовується мідноцитратний реактив Люфа. Реактив Люфа дає змогу визначити редукувальні цукри у присутності великої кількості сахарози без її руйнації, крім того даний реактив відзначається високою стійкістю.

Для очищення екстракту клітинного соку від органічних нецукрів проводять найчастіше розчином ацетату свинцю. Для цього наважку у кількості 25 г соку кількісно переносять у мірну колбу об'ємом 250 см³ і додають циліндром 7 см³ розчину оцтовокислого свинцю для коагуляції білків і пігментів. Розчин свинцю додається по краплям у досліджуваний зразок соку до моменту завершення утворення осаду. Розчин добре збовтують і доливають дистильованою водою до позначки. Фільтрують через складчастий фільтр. Потім відбирають піпеткою 100 см³ фільтрату і переносять в мірну колбу об'ємом 200 см³. Надлишок солі свинцю необхідно відокремлювати, оскільки він проходить через фільтр і заважає проведенню аналітичного дослідження. Для осадження надлишку свинцю додають 15-20 см³ розчину Na₂HPO₄, доводять до позначки дистильованою водою та фільтрують. Прозорий, вільний від свинцю фільтрат слугує розчином для визначення редукувальних цукрів.

У колбу на 250-300 см³ за допомогою піпетки вносять 25 см³ реактиву Люфа, додають 10 см³, або інший точно вимірний об'єм розчину для визначення редукувальних цукрів (масова частка редукувальних цукрів у досліджуваному розчині повинна бути не більша за 0,5 г) та доводять об'єм

дистильованою водою до 50 см³. Приєднавши зворотній холодильник, нагрівають рідину протягом 2-3 хвилин до кипіння і кип'ять 10 хвилин з моменту, коли рідина закипіла. Колбу охолоджують і додають 3,0 г КJ, розчиненого у 10 см³ дистильованої води та обережно 15 см³ розчину Н₂SO₄ концентрацією $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,4$ моль/л до появи жовтого забарвлення. У результаті взаємодії йодистого калію з двовалентною міддю (не відновленою редукуючими цукрами) утворюється осад у вигляді Cu₂J₂, сульфат калію та виділяється вільний йод за реакцією:



Вільний йод відразу ж титрують розчином тіосульфату натрію концентрацією $c(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0,1$ моль/л до появи світло-жовтого забарвлення, додають 2-3 см³ 1% розчину крохмалю і продовжують титрувати до зникнення синього, а потім фіолетового забарвлення.

Контрольний дослід проводять з 25 см³ реактиву Люфа і 25 см³ дистильованої води. За різницею об'ємів розчинів, витрачених на титрування холостої проби і досліджуваного розчину, помножену на поправочний коефіцієнт розчину Na₂S₂O₃, визначають кількість міді, яка відповідає редукувальним цукрам у досліджуваному розчині. Визначають вміст редукувальних цукрів, мг.

Масову частку редукувальних цукрів, % до маси продукту розраховують за формулою:

$$G_{\text{рц}} = \frac{A \cdot 100}{n \cdot 1000},$$

де $G_{\text{рц}}$ —масова частка редукувальних цукрів, % до маси продукту;

A — кількість редукувальних цукрів, знайдена за таблицею, мг;

n — наважка продукту в сфері реакції.

Для визначення загальної кількості цукрів, необхідно провести кислотну інверсію розчину. Визначення кількості загального цукру проводять так само, як і до інверсії, визначаючи йодометрично редукувальні речовини.

Значення масової частки сахарози розраховують за різницею редукувальних цукрів до і після інверсії, помножене на коефіцієнт 0,95 (перерахунок редукувальних речовин на сахарозу).

10. Визначення клітковини по за методом Кюршнера та Ганека.

Метод заснований на окисленні та розчиненні хімічних сполук, які входять до складу рослин, сумішшю оцтової та азотної кислот. Клітковина практично не розчиняється, відфільтровується та зважується.

Обладнання:

Колби на 100 мл з притертими холодильними трубками;

Тиглі Гуча або скляні тиглі з пористим дном №2;

Піщана баня

Реактиви: Суміш (1:10) азотної кислоти (густ.1.4) та 80% оцтової кислоти;

Етиловий ефір та спирт; 0,2 М спиртовий розчин лугу.

Хід аналізу. Зважують наважку близько $1 \pm 0,0002$ г рослинної продукції переносять в колби на 100 мл та додають 40 см³ суміші кислот та закривають колбу з зворотнім холодильником, підігривають на піщаній бані протягом години. Потім відфільтровують осад через скляний тигель або тигель Гуча. Відфільтрований осад промивають 1-2 рази гарячим 0,2 М спиртовим лугом, а потім невеликими порціями дистильованої води і в кінці 10 см³ спирту з ефіром.

Тиглі з чисто білим осадом висушують до постійної ваги при 105°C.

Відсотковий вміст клітковини (x) вираховують за формулою:

$$X = \frac{(V^1 - V) \cdot 100}{N}$$

де: V-маса сухого (без осаду) тигля;

V¹-маса тигля з сухим осадом;

N-наважка