

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І
ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

**ЕНЕРГЕТИЧНА ВЕРБА:
ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ
ТА ВИКОРИСТАННЯ**

До сторіччя ІБКіЦБ НААН

Вінниця
«ТВОРИ»
2023

УДК 582.623.2:620.592
ББК 43

Видається за рішенням Вченої ради Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, протокол №18 від 15.12.2022 р.

Авторський колектив:

М.В. Роїк, В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило, О.М. Ганженко, В.І. Кравчук, М.Я. Гументик, Я.П. Макух, В.Т. Саблук, В.А. Доронін, І.Т. Слюсар, О.М. Грищенко, Г.С. Гончарук, А.М. Ткаченко, С.О. Ременюк, С.О. Бондар, А.В. Фурса, С.М. Мандровська, О.В. Балагура, В.А. Фурман, Ю.Ю. Браніцький, Н.О. Кононюк, Ю.С. Данюк

Рецензенти:

О.І. Рудник-Івашенко, доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН України, головний науковий співробітник, Інститут садівництва НААН
Ю.І. Ткаліч, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри загального землеробства та ґрунтознавства, Дніпровський державний аграрно-економічний університет МОН України
В.І. Лопушняк, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри агрохімії та якості продукції рослинництва Національного університету біоресурсів і природокористування МОН України

Енергетична верба: технологія вирощування та використання. Під загальною редакцією доктора с.-г. наук, професора В.М. Сінченка. – Вінниця «ТВОРИ», 2023. 346 с.

ISBN.....

На основі комплексних наукових досліджень з урахуванням біологічних, агротехнічних, технологічних та економічних особливостей розроблені елементи технології вирощування енергетичної верби в умовах різних агрокліматичних зон України. В результаті вперше розроблена технологія вирощування енергетичної верби, яка забезпечує урожайність біосировини 30-50 т/га та її використання. Детально розглядаються агротехнічні вимоги до виконання технологічних операцій, обґрунтована економічна ефективність технології вирощування енергетичної верби та використання біосировини на тверде біопаливо.

Монографія розрахована на науковців, керівників і спеціалістів з біоенергетики, бізнесменів, аспірантів та студентів сільськогосподарських навчальних закладів.

ISBN.....

© М.В. Роїк, В.М. Сінченко, Я.Д. Фучило, О.М. Ганженко, В.І. Кравчук, М.Я. Гументик, Я.П. Макух, В.Т. Саблук, В.А. Доронін, І.Т. Слюсар, О.М. Грищенко, Г.С. Гончарук, А.М. Ткаченко, С.О. Ременюк, С.О. Бондар, А.В. Фурса, С.М. Мандровська, О.В. Балагура, В.А. Фурман, Ю.Ю. Браніцький, Н.О. Кононюк, Ю.С. Данюк

© Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, 2023

ЗМІСТ

	стор.
Передмова.....	7
Вступ.....	9
Розділ 1. Перспективи вирощування біоенергетичних культур у світі та Україні.....	11
1.1. Роль відновлюваних джерел енергії в екологічних аспектах зміни клімату планети.....	11
1.2. Використання біомаси в паливно-енергетичній галузі....	15
1.3. Історія вирощування верб.....	18
1.4. Використання верби в якості відновлюваного джерела енергії у світі.....	23
1.5. Вирощування енергетичної верби в Україні.....	27
1.6. Законодавча підтримка вирощування і використання енергетичної верби.....	31
Розділ 2. Загальна характеристика автохтонних верб.....	33
2.1. Систематика роду <i>Salix</i> L.....	33
2.2. Філогенія верб.....	35
2.3. Загальна характеристика верб.....	37
2.4. Морфологія, поширення та використання верб, придатних для вирощування на енергетичних плантаціях.....	38
2.4.1. Верба біла.....	39
2.4.2. Верба ламка.....	41
2.4.3. Верба тритичинкова.....	42
2.4.4. Верба п'ятичичинкова.....	44
2.4.5. Верба сива.....	46
2.4.6. Верба козяча.....	48
2.4.7. Верба попеляста.....	50
2.4.8. Верба пурпурова.....	51
2.4.9. Верба прутювидна.....	53
2.4.10. Верба гостролиста.....	55
2.4.11. Верба вовчегідна.....	56
2.4.12. Верба мірзинолиста, або чорніюча.....	58
2.4.13. Верба шерстистопагінцева.....	59
2.5. Найважливіші іноземні сорти верби, які використовуються для вирощування енергетичної біомаси.....	61
2.6. Біологічні та екологічні особливості верб.....	64
2.6.1. Цвітіння та плодоношення.....	64
2.6.2. Розвиток верб протягом вегетаційного періоду.....	67

2.7. Інтенсивність транспірації та фотосинтезу.....	69
2.8. Вплив ФАР на продуктивність біомаси енергетичної верби.....	72
2.9. Особливості росту надземної частини та будова кореневої системи.....	77
2.10. Вимоги до умов вирощування.....	78
Розділ 3. Способи розмноження верб.....	81
3.1. Насіннєве розмноження.....	81
3.2. Вегетативне розмноження.....	86
3.2.1. Оптимальні розміри живців для створення насаджень..	88
3.2.2. Просторова орієнтація живців у ґрунті.....	92
3.2.3. Вплив стимуляторів росту на укорінення живців.....	94
3.2.4. Особливості заготівлі та висаджування живців.....	94
3.2.5. Заготівля садивного матеріалу.....	95
3.3. Способи зберігання садивного матеріалу та їх вплив на продуктивність верби.....	99
Розділ 4. Технологія вирощування енергетичної верби.....	112
4.1. Вибір та підготовка поля під плантацію енергетичної верби.....	112
4.2. Основний обробіток ґрунту.....	115
4.2.1. Дискування площ, відведених для садіння верби.....	117
4.2.2. Система основного удобрення енергетичної верби.....	119
4.2.3. Підживлення плантацій енергетичної верби.....	123
4.2.4. Глибока оранка.....	126
4.2.5. Вирівнювання ґрунту.....	128
4.3. Підготовка ґрунту для садіння живців.....	129
4.4. Садіння живців енергетичної верби.....	130
4.4.1. Найбільш поширені схеми закладання плантацій енергетичної верби.....	130
4.4.2. Методика розрахунку потреби в садивному матеріалі..	133
4.4.3. Садіння енергетичної верби.....	136
4.5. Догляд за плантаціями енергетичної верби.....	139
4.5.1. Ранньовесняний обробіток ґрунту.....	140
4.5.2. Розпушування ґрунту в міжряддях.....	141
4.5.3. Присипання бур'янів ґрунтом у зоні рядків енергетичної верби.....	145
4.6. Урожайність біомаси залежно від сортових особливостей та густоти насаджень.....	148

4.7. Досвід вирощування енергетичної верби у фірмі «Salix Energy».....	152
Розділ 5. Вирощування верби на дренажних органогенних ґрунтах.....	160
5.1. Агровиробнича та ґрунтово-кліматична характеристика осушуваних органогенних ґрунтів гумідної зони.....	161
5.1.1. Погодно-кліматичні умови.....	161
5.1.2. Ґрунтові умови.....	162
5.2. Водний режим дренажних земель та його регулювання за вирощування енергетичних культур.....	164
5.3. Технологічні заходи вирощування верб на органогенних ґрунтах.....	165
Розділ 6. Захист плантацій верби від бур'янів, шкідників та хвороб.....	180
6.1. Бур'яни в плантаціях верби та способи контролювання їх чисельності.....	180
6.1.1. Видовий склад бур'янів в плантаціях верби.....	180
6.1.2. Методи захисту плантацій верби від бур'янів.....	191
6.2. Захист плантацій енергетичної верби від шкідників.....	194
6.2.1. Шкідники в плантаціях верби.....	194
6.2.2. Заходи захисту плантацій верби від шкідників.....	211
6.3. Захист плантацій верби від хвороб.....	212
6.3.1. Хвороби рослин енергетичної верби.....	212
6.3.2. Заходи захисту плантацій верби від хвороб.....	214
6.4. Техніка безпеки при застосуванні пестицидів.....	215
Розділ 7. Збирання біомаси енергетичної верби.....	221
7.1. Поточковий спосіб збирання біомаси енергетичної верби.....	222
7.2. Перевалочний спосіб збирання енергетичної верби.....	224
7.3. Роздільний спосіб збирання енергетичної верби.....	227
7.4. Складування та зберігання сировини енергетичної верби.....	233
7.5. Рекультивация плантації.....	235
Розділ 8. Переробка біомаси енергетичної верби на брикети та паливні гранули.....	236
8.1. Технологія виробництва паливних гранул та брикетів.....	236
8.2. Подрібнення біомаси верби.....	238
8.3. Сушіння подрібненої біомаси.....	239
8.4. Гранулювання.....	239
8.5. Охолодження і пакування паливних гранул.....	241
8.6. Виготовлення брикетів.....	244

8.7. Теплотворні властивості енергетичної верби.....	247
8.8. Розрахунок теплотворної здатності енергетичної верби..	249
8.9. Використання біомаси енергетичної верби для обігріву приміщень.....	253
Розділ 9. Економічна ефективність вирощування та переробки енергетичної верби.....	264
9.1. Економічна ефективність технології вирощування енергетичної верби.....	264
9.2. Розвиток ринку твердих видів палива.....	267
9.3. Економічна ефективність використання енергетичної верби в якості твердого біопалива.....	270
9.4. Матеріально-технічне забезпечення вирощування енергетичної верби.....	275
9.5. Економічний механізм стимулювання виробників твердого біопалива.....	277
Короткий словник спеціальних термінів та їх визначення.....	284
Список використаних джерел.....	290
Додаток 1 Інсектициди, які можуть бути застосовані для контролю шкідників у посадках біоенергетичної верби.....	332
Додаток 2 Машини для виробництва тріски.....	334
Додаток 3 Свідоцтво про реєстрацію сорту.....	335
Додаток 4 Типова технологічна карта з технології вирощування садивного матеріалу енергетичної верби (перший-третій рік).....	336
Додаток 5 Типова технологічна карта з технології вирощування садивного матеріалу енергетичної верби (впродовж 12 років).....	340
Додаток 6 Типова технологічна карта промислового вирощування енергетичної верби.....	342

ПЕРЕДМОВА

Загострення екологічних проблем спонукає людство до пошуку шляхів виробництва і використання відновлюваних джерел енергії, що визнано одним із пріоритетів світової економіки. Підтвердженням цього слугує підписання нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури через приведення у другій половині XXI століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе.

За прогнозами експертів до 2050 року споживання енергії у світі зросте більш ніж у 2 рази, при цьому майже 40% енергетичних потреб буде покриватися за рахунок відновлюваних джерел енергії, у тому числі близько 30% – за рахунок біоенергетики, яка в свою чергу має базуватися на біомасі високопродуктивних біоенергетичних культур та відповідати критеріям сталості. Серед широкого спектру перспективних культур для біоенергетики особливу увагу у світі, у тому числі і в Україні, приділяють такій культурі, як енергетична верба.

Промислові плантації енергетичної верби можна закладати на малопродуктивних деградованих землях, які не задіяні для вирощування традиційних сільськогосподарських культур і потребують рекультиватії. Потенційні площі, на яких можливе створення плантацій енергетичної верби в Україні, можуть в найближчий час становити до 1 млн гектарів. У масштабах країни це може забезпечити отримання 13 - 15 млн т сухої біомаси щорічно, що еквівалентно від 4,6 до 5,4 млн тонн нафтового еквівалента. Середньорічний урожай біомаси біоенергетичної верби в різних регіонах може досягати 10 - 15 т сухої речовини з гектара. Технології енергетичного використання біомаси мають, поряд з економічним та екологічним, важливий соціальний аспект, оскільки це значний потенціал для створення нових робочих місць і більш доступне та дешеве джерело енергії в сільській місцевості. Науковці доводять, що в середньому 1 МВт встановленої потужності на біомасі сприяє створенню одного робочого місця.

Мета даного видання полягає в тому, щоб порівняти існуючі в світі техніко-технологічні рішення та на існуючому досвіді, що є в Україні, допомогти виробникам самостійно здійснити техніко-економічну оцінку запропонованих технологічних операцій і вибір технічних засобів, обрати оптимальні умови вирощування і найбільш

ефективні технологічні процеси, адаптовані до тієї чи іншої ґрунтово-кліматичної зони України. Водночас, повинна бути здійснена попередня технічна, технологічна, економічна оцінка енергетичних, екологічних переваг і недоліків запропонованих технологій вирощування та переробки сировини енергетичної верби на біопаливо.

Дане видання буде корисним як для сільськогосподарських виробників і переробників біосировини, так і студентів, аспірантів та науковців, які в процесі застосування запропонованої технології внесуть свої суттєві удосконалення і доведуть їх до більш ефективного рівня.

Микола РОЇК
доктор сільськогосподарських наук,
професор, академік НААН України

ВСТУП

Розвиток світової цивілізації тісно пов'язаний з енергетичними ресурсами. Враховуючи сучасну екологічну кризу, спричинену в першу чергу використанням викопних видів палива, все більш актуальним стає питання переходу на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та сталий розвиток економіки. Вдосконалення існуючих засад використання природно-ресурсного потенціалу, обґрунтування шляхів ефективного використання його резервів сприяють розв'язанню екологічних, економічних та соціальних проблем.

Частка біоенергії в енергетичному балансі розвинутих країн неоднакова. Більшість країн тільки починають використовувати свій ресурсний потенціал, у той час, як інші європейські країни, такі як Швеція, Данія, Фінляндія, Норвегія, вже створили високотехнологічний промисловий сектор біоенергетики і значною мірою задіяли його [111]. Зокрема, на основі біомаси створено ефективні системи виробництва теплової та електричної енергії. Такі держави, як Молдова, Румунія, Болгарія, Польща, країни Балтії та Україна володіють значними сировинними запасами, однак цей потенціал залишається значною мірою невикористаним або використовується неефективно через відсутність інвестицій у сучасні технології вирощування, перероблення та використання біомаси.

Україна не забезпечена у достатній кількості власними викопними джерелами енергії і змушена імпортувати значні обсяги енергоресурсів, на що витрачає близько 15 млрд \$ щорічно [206]. Тому розвиток відновлюваної енергетики сприятиме укріпленню енергетичної, економічної і політичної безпеки нашої держави. Незважаючи на це в Україні недостатньо уваги приділяється розвитку відновлюваних джерел енергії, частка яких станом на 2020 рік склала лише 6,6 % [228]. Це значно менше порівняно з іншими країнами Європи. Серед відновлюваних джерел енергії в Україні найбільшого розвитку набуло виробництво і використання біологічних видів палива, частка яких у кінцевому енергоспоживанні становить 4,5 % [228].

В Україні сформована достатня законодавча база для розвитку біоенергетики. Зокрема Законом «Про електроенергію» передбачено «зелені» тарифи на електроенергію, вироблену з біомаси та біогазу [243]. Крім того, працює механізм відшкодування 20 % суми кредиту для населення на придбання твердопаливних котлів [367]. Внесено

зміни до Закону «Про теплопостачання», мета яких стимулювати заміщення газу місцевими видами палива і для цього надати органам місцевого самоврядування право встановлювати тарифи на тепло з альтернативних джерел на рівні 90 % від діючого тарифу на тепло з газу для потреб бюджетних установ та населення [247]. Відбувається становлення внутрішнього ринку твердих видів біопалива, що створює потребу у якісній сировині для їх виготовлення.

Науковими закладами, спеціалістами, вченими здійснено ряд досліджень з метою створення високопродуктивних енергетичних плантацій біоенергетичних культур. Особливо високу продуктивність біомаси для виробництва біопалива забезпечують нові сорти та гібриди енергетичної верби, які за врожайністю сухої біомаси, ефективністю акумуляції сонячної енергії та екологічністю технологій вирощування значно переважають існуючі види. З перспективними високопродуктивними сортами та гібридами проводиться робота з інтродукції і впровадження їх у виробництво. Поряд з тим вони потребують певних досліджень, особливо стосовно різних ґрунтово-кліматичних зон України.

З огляду пріоритетності біоенергетики науковцями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України розроблено ефективні елементи технології вирощування, переробляння і використання сировини енергетичної верби. Даною працею рекомендується для впровадження науково-обґрунтовані прийоми підготовки ґрунту, садіння живців, догляду за рослинами та вивчено вплив даних факторів на формування продуктивності та якості біомаси.

РОЗДІЛ 1

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

1.1. Роль відновлюваних джерел енергії в екологічних аспектах зміни клімату планети

Пошук шляхів виробництва і використання поновлюваних джерел енергії є одним із пріоритетів світової економіки. Підтвердженням цього є прийняття нової Кліматичної Угоди, яка передбачає уповільнення темпів зростання середньорічної температури, шляхом приведення у другій половині ХХІ століття викидів парникових газів до рівня, який природа здатна переробляти без шкоди для себе [9, 98, 80, 134, 78, 79]. Для вирішення цієї проблеми активно впроваджується і розвивається біоенергетика, яка крім отриманої енергії призводить до зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Масштабне використання природних енергетичних ресурсів для виробництва енергії на теплових електричних станціях призводить до значного забруднення природного навколишнього середовища такими шкідливими викидами в атмосферу, як вуглекислий газ (CO_2), оксиди сірки (SO_2) і азоту (NO_2) та ін. Теплове випромінювання сонця нагріває атмосферу і поверхню Землі. В атмосфері є так звані парникові гази, які відбивають теплове випромінювання Землі назад до її поверхні [45, 85, 37, 78]. Цей процес, який називають парниковим ефектом, є необхідною умовою життя на Землі. Без парникових газів середня температура атмосфери була б близько -21 замість 15 градусів Цельсія. Парниковий ефект є природним і необхідним явищем, завдяки якому на Землі зберігається прийнятна для підтримки життя температура. Більшість природних парникових газів складається з вуглекислого газу (CO_2) і водяної пари. Парникові гази розрізняються за ступенем інтенсивності впливу на навколишнє середовище.

Встановлено, що надмірна кількість CO_2 в атмосфері призводить до порушення рівноваги між парниковими газами [45]. У результаті виникає ситуація, за якої парникові гази починають повертати більше теплового випромінювання до поверхні Землі, що призводить до поступового підвищення середньої температури і зміни клімату. В результаті життєдіяльності людства кількість CO_2 в атмосфері зростає

на 29 %, а кількість метану (CH_4) збільшилася більш ніж у двічі [25, 134].

Проблема підвищення концентрації парникових газів у атмосфері Землі напряму пов'язана з активною господарською діяльністю людини. Доказом цього є той факт, що концентрація вуглекислого газу в атмосфері за останні 200 років почала стрімко зростати (рис. 1.1). Це пов'язано з початком індустріальної ери в розвитку людства. Востаннє в історії Землі сучасна концентрація CO_2 в атмосфері 400 ppm (0,04 %) була 15 мільйонів років тому. Тоді клімат Землі був теплішим на 3 - 6 градусів, рівень моря був вищим на 25 - 40 метрів, а північної полярної крижаної шапки і Гренландського льодовика взагалі не існувало [1, 115, 45, 85, 37, 89, 68, 78].

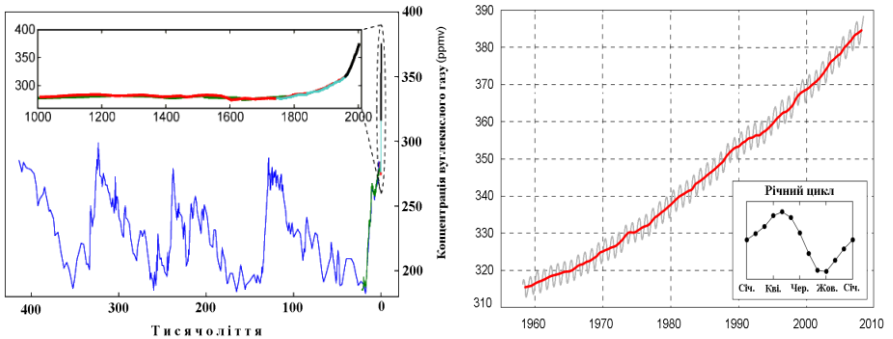


Рис. 1.1. Динаміка концентрації вуглекислого газу в атмосфері [45, 85, 37, 89, 68].

Спалюючи накопиченні впродовж мільйонів років викопні вуглеводні (нафту, вугілля, природний газ) ми повертаємо баланс газів у атмосфері до того доісторичного рівня.

Більше половини викидів CO_2 , що утворилися за спалювання викопного палива, не поглинається біосферою і поверхнею океану, а накопичується в атмосфері. Зростання концентрації CO_2 становить 47 ppm/рік. У такому випадку, навіть за помірного зростання світової економіки (що не перевищує 2% на рік), концентрація CO_2 в атмосфері до 2050 р. перевищить 500 ppm. Для припинення росту концентрації CO_2 в атмосфері необхідно в найближчі 10 - 20 років знизити його викиди в 3 рази порівняно з рівнем викидів 1990 року [9, 78].

Найбільш значним джерелом викидів парникових газів є спалювання викопного палива [101]. За спалювання викопного палива,