



Механізація, електрифікація

УДК 633.14:631.527:575

© 2019

ЖИТО ОЗИМЕ ЯК ДЖЕРЕЛО СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОЕТАНОЛУ

Д.К. Єгоров¹, О.А. Змієвська²

¹доктор сільськогосподарських наук

²кандидат сільськогосподарських наук

Інститут рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН

просп. Московський, 142, Харків, 61060, Україна

e-mail: yuriev1908rye@gmail.com

Надійшла 28.01.2019

Мета. Розрахувати теоретичний вихід спирту із зерна сортів і гібридів жита озимого залежно від генотипу. **Методи.** Вивчали 29 зразків жита озимого за різних метеорологічних умов років вирощування. Дослід закладали згідно з методикою Б.О. Доспехова. Теоретичний вихід спирту визначали розрахунковим методом. **Результати.** Установлено середню врожайність зерна 5,02 т/га за посушливих погодних умов, яка перевищувала середню врожайність культури в Харківській області та Україні на 2,5 т/га. Зразки жита озимого формували підвищений вміст крохмалю в зерні — 61,86% порівняно із середнім по культурі — 55%, при цьому сорти сформували більшу кількість крохмалю — 62,41%, ніж гібриди — 61,13% (НІР=0,54%). Теоретичний вихід спирту у зразків при цьому становив у середньому 220,48 дал/га. Установлено сильну кореляцію між теоретичним виходом спирту і виходом крохмалю з одиниці площі ($r=1$), урожайністю зерна і виходом крохмалю з одиниці площі ($r=0,99$), урожайністю зерна і теоретичним виходом спирту ($r=0,99$) та відсутність кореляції між виходом крохмалю з одиниці площі і його вмістом у зерні. Показано можливість отримання високої врожайності зерна гібридами жита озимого 1000,5–1309,8 г/м² та підвищеного вмісту крохмалю — 62,6–63,8% у зерні за сприятливих погодних умов. Теоретичний вихід у таких умовах становив 315,3–585,2 дал/га. **Висновки.** Доведено, що створені в Інституті рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН зазначені сорти та гібриди жита озимого мають високу стабільну врожайність у поєднанні з високим виходом крохмалю з високим теоретичним виходом спирту. Це забезпечує йому конкурентність серед інших альтернативних культур для виробництва біоетанолу.

Ключові слова: жито озиме, гібрид, сорт, біоетанол, теоретичний вихід спирту.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201906-07>

Активне використання людиною природних ресурсів Землі з кожним роком дедалі

більше позначається на довкіллі планети. Екологічні проблеми та стрімке зменшення

природних ресурсів газу й нафти змушують світову спільноту піклуватися про зниження впливу людини на навколишнє середовище. Одним зі способів розв'язання цієї проблеми є використання альтернативних видів палива: біогазу, біодизеля та біоетанолу. У багатьох країнах світу посилюється розвиток галузі «зеленої» енергетики. Останніми роками в Україні також істотно зріс інтерес до джерел відновлюваної енергії.

Серед їх великої кількості значну нішу займають цукро- та крохмаловмісні культури: пшениця, буряки цукрові, кукурудза, очерет цукровий, топінамбур [1]. Кукурудза є кращою серед зернових культур для виробництва спирту, оскільки має високу врожайність зерна і високий вміст крохмалю [2]. Проте вона потребує великої площі та досить витратної технології для вирощування, тому нині актуальним є пошук альтернативних культур для виробництва біоетанолу. Результати досліджень світових і вітчизняних учених підтвердили можливість застосування стебел сорго цукрового для виробництва біоетанолу через високий вміст цукрів [3, 4]. Використання картопляної і бананової сировини для отримання спирту виявилось низькорентабельним порівняно із зерновим. З 1 т картоплі вихід 100%-го етилового спирту 80–100 л, водночас із 1 т зерна (жита, пшениці, рису, кукурудзи) — 270–450 л [5].

Жито озиме розглядають як джерело сировини для отримання альтернативного палива через його високу адаптивність до несприятливих умов вирощування та знижених потреб до родючості ґрунту. При цьому є проблема переробки житнього зерна через високий вміст β -глюканів і пентозанів [6, 7]. Для її розв'язання розроблено різні технології адаптації зерна жита для переробки на спирт [8–12]. Оскільки жито озиме адаптоване до вирощування в усіх кліматичних зонах України, то за наявності технологій переробки зерна на спирт жито озиме як альтернативна культура могло б бути цінним для виробників альтернативного палива. Тому наші дослідження спрямовані на визначення можливості використання сортів і гібридів жита озимого селекції Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН для отримання біоетанолу.

Мета досліджень — розрахувати теоретичний вихід спирту із зерна сортів і гібридів жита озимого залежно від генотипу.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2013–2017 рр. на дослідному полі Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Метеорологічні умови в роки досліджень були мінливими, що дало змогу краще оцінити потенціал сортів і гібридів жита озимого за врожайністю зерна. Умови вегетаційного періоду культури в 2013 р. характеризувалися достатніми тепло- та вологозабезпеченістю (сума температур — 2891,8°C, сума опадів — 185,9 мм, ГТК — 0,6). За вегетаційний період 2014 р. опадів випало у 3,3 раза більше, ніж у попередньому році за меншої кількості тепла (сума температур — 2407,4°C, сума опадів — 511,2 мм, ГТК — 2,1).

Особливостями вегетації 2015–2016 рр. були дуже посушливий осінній період (вересень – жовтень ГТК — 0,2) та достатня забезпеченість вологою взимку і під час весняно-літнього розвитку рослин (квітень — червень ГТК — 2,8). Умови вегетації 2016–2017 рр. характеризувалися холодним періодом весняної вегетації (середньодобова температура у квітні не перевищувала 10°C, наявність опадів у вигляді снігу із заморозками в окремі дні до –5°C) і посушливим періодом у червні у фазі наливу (ГТК — 0,5), що негативно позначилося на розвитку рослин жита.

Матеріалом для досліджень були сорти і гібриди жита озимого продовольчого призначення селекції Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН. Зразки містили 4 сорти — Пам'ять Худосерка, Хамарка, Діхар, Стоір і 3 гібриди — Юпітер F₁, Сатурн F₁, Слобожанец F₁, занесені до Реєстру сортів, придатних для поширення в Україні, а також 22 експериментальних гібриди. Стандарт — сорт Пам'ять Худосерка. Жито озиме висівали з нормою висіву 4 млн схожих насінин на 1 га на дослідних ділянках площею 10 м² у 4-разовій повторності [13]. Теоретичний вихід спирту обчислювали розрахунковим методом. Уміст крохмалю в зерні визначали за методом Еверса [14]. Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакетних програм Microsoft Excel 2010 і Statistica 10.

Результати досліджень. Теоретичний вихід спирту із зерна жита озимого є комплексною ознакою, яка містить урожайність зерна, уміст крохмалю в зерні і вихід крохмалю з одиниці площі. У табл. 1 наведено дані не лише основної досліджуваної ознаки, а й її компонентів.

Визначено врожайність зерна в зразках жита озимого на рівні 3,97–5,90 т/га. Урожайність більшості досліджуваних зразків перебувала в межах урожайності стандартного сорту, лише врожайність гібрида Сатурн (5,90 т/га) достовірно перевищила врожайність стандарту Пам'ять Худоєрка. Середня врожайність сортів і гібридів жита озимого становила 5,02 т/га, що в посушливих умовах 2016, 2017 рр. є досить високою, оскільки за даними Держстату, середня врожайність зерна жита озимого в Харківській обл. та Україні не перевищувала 2,5 т/га. Це підтверджує високу посухостійкість цих зразків.

Крім високої врожайності зерна, зразки характеризувалися підвищеним рівнем крохмалю в зерні. У середньому жито озиме формує близько 55% крохмалю, тоді як досліджувані зразки сформували в досліді у середньому 61,86%, хоча спостерігалось незначне варіювання вмісту крохмалю від 60,74 до 62,7% залежно від генотипу. Проаналізувавши вміст крохмалю в зерні окремо у сортів і гібридів, можна констатувати, що в середньому сорти сформували більшу кількість крохмалю — 62,41%, ніж гібриди — 61,13% (НІР=0,54%). Отже, теоретично із сортів можна отримати

більшу кількість крохмалю з одиниці площі (3,12 т/га), ніж із гібридів (3,09 т/га), а спирту — 221,38 і 219,29 дал/га відповідно, хоча відмінності щодо вмісту крохмалю, виходу спирту та врожайності зерна (5,06 і 5,00 т/га відповідно) були неістотними, що пояснюється наявністю зв'язку між теоретичним виходом спирту і його компонентами.

Установлено сильний прямий кореляційний зв'язок між теоретичним виходом спирту і виходом крохмалю з одиниці площі ($r=1$), урожайністю зерна і виходом крохмалю з одиниці площі ($r=0,99$), урожайністю зерна і теоретичним виходом спирту ($r=0,99$). Виявлено слабку зворотню кореляцію між урожайністю зерна і вмістом крохмалю ($r=-0,11$). Зв'язку між теоретичним виходом спирту і вмістом крохмалю та між виходом крохмалю з одиниці площі і вмістом крохмалю не виявлено. Тому за відмінністю вмісту крохмалю в зерні в сортів і гібридів вихід крохмалю і теоретичний вихід спирту з одиниці площі практично не різнилися.

Оскільки погодні умови 2016, 2017 рр. були несприятливими для росту і розвитку рослин жита озимого, тому для порівняння наводимо результати дослідження з теоретичного виходу спирту та його компонентів у гібридних комбінацій жита озимого, вирощених у сприятливих погодних умовах 2013, 2014 рр.

У сприятливі роки гібридні комбінації забезпечують урожайність зерна 704,6–1309,8 г/м² (табл. 2). Порівняно із сортом-стандартом Пам'ять Худоєрка (670 г/м²) потенціал гібридів

1. Теоретичний вихід спирту з одиниці площі в сортів і гібридів жита озимого, 2016–2018 рр.

Зразок	Урожайність зерна, т/га	Уміст крохмалю, %	Вихід крохмалю, т/га	Теоретичний вихід спирту, дал/га
Юпітер F ₁	5,30	61,51	3,26	231,38
Сатурн F ₁	5,90	60,74	3,59	254,32
Слобожанець F ₁	3,97*	61,15	2,43	172,17
Пам'ять Худоєрка (стандарт)	4,85	62,68	3,04	215,48
Хамарка	5,48	62,47	3,42	242,46
Стоір	4,83	61,80	2,99	212,19
Діхар	4,84	62,70	3,04	215,37
Середнє:				
за гібридами	5,06	61,13	3,09	219,29
за сортами	5,00	62,41	3,12	221,38
у досліді	5,02	61,86	3,11	220,48
Середнє значення в культурі	2,50**	55,00	1,37	97,50
НІР _{0,5}	0,81	—	0,87	61,77

* Достовірно на рівні 5%; ** середня врожайність в Україні.

за врожайністю зерна досить високий. При цьому експериментальні гібриди поєднували високу врожайність зерна з підвищеним умістом крохмалю в зерні. Скажімо, гібридні комбінації л. 90691 А/л. 90689 В, л. 90691 А/Пам'ять Худоєрка, л. 011201 А/л. 041736 В, л. 011201 А/л. 011284 В, л. 011201 А/л. 933464 В, л. 011201 А/Пам'ять Худоєрка сформували високий рівень урожайності і підвищений уміст крохмалю — 1208,8 г/м² і 62,6%; 1018,2 г/м² і 62,7%; 1309,8 г/м² і 62,6%; 1062,9 г/м² і 62,4%; 1000,5 г/м² і 63,8%; 1060,8 г/м² і 62,6% відповідно.

Експериментальні гібриди також характеризувалися високим виходом крохмалю і спирту з одиниці площі. Порівняно зі стандартом (4,1 т/га) уміст крохмалю в гібридів був вищим на 7,6–50%. Вихід спирту в гібридних комбінацій становив 315,3–582,5 дал/га, що значно перевищувало вихід спирту із зерна сорту-стандарту — 290,8 дал/га.

Порівняно з найпоширенішою біоенергетичною культурою — кукурудзою, більшість

досліджуваних гібридних комбінацій жита озимого поступалися за виходом крохмалю гібридам кукурудзи, тому що кукурудза є урожайнішою і має більший уміст крохмалю. Так, за даними конкурсного сортовипробування гібридів кукурудзи в лабораторії селекції кукурудзи Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН урожайність гібридів у 2013, 2014 рр. становила 7–8 т/га, а вміст крохмалю — 72,0–76,5%.

Отже, із зерна кукурудзи теоретично можна отримати до 6 т/га крохмалю. Дані табл. 2 свідчать про те, що 45% гібридів жита озимого за виходом крохмалю не поступаються кукурудзі, а деякі завдяки високій урожайності, навіть перевищують її. Наприклад, у гібридній комбінації жита озимого л. 011201 А/л. 041736 В вихід крохмалю становив 8,2 т/га. До того ж сировина із жита дешевша, ніж із кукурудзи, через використання менш витратної технології вирощування та відсутність післязбиральної дробки зерна.

2. Теоретичний вихід спирту з одиниці площі в експериментальних гібридів жита озимого, 2013, 2014 рр.

Гібридні комбінації	Урожайність зерна, г/м ²	Уміст крохмалю, %	Вихід крохмалю, т/га	Теоретичний вихід спирту, дал/га
л. 90691 А/л. 041736 В	874,5	62,1	5,4	386,0
л. 90691 А/л. 90689 В	1208,8	62,6	7,6	537,2
л. 90691 А/л. 932073 В	860,5	63,4	5,5	387,3
л. 90691 А/л. 011284 В	979,8	62,5	6,1	434,7
л. 90691 А/л. 063491 В	830,8	62,7	5,2	370,3
л. 90691 А/л. 933464 В	884,4	63,4	5,6	398,1
л. 90691 А/л. 931149 В	965,9	62,7	6,1	430,3
л. 90691 А/л. 052604 В	866,4	63,3	5,5	389,7
л. 90691 А/л. 022219 В	858,8	64,0	5,5	390,5
л. 90691 А/Стоір	760,0	62,8	4,8	339,2
л. 90691 А/Пам'ять Худоєрка	1018,2	62,7	6,4	453,5
л. 011201 А/л. 041736 В	1309,8	62,6	8,2	582,5
л. 011201 А/л. 90689 В	935,1	62,4	5,8	414,7
л. 011201 А/л. 932073 В	918,2	62,8	5,8	409,6
л. 011201 А/л. 011284 В	1062,9	62,4	6,6	471,1
л. 011201 А/л. 063491 В	952,4	62,9	6,0	425,4
л. 011201 А/л. 933464 В	1000,5	63,8	6,4	453,7
л. 011201 А/л. 931149 В	988,8	63,0	6,2	442,7
л. 011201 А/л. 052604 В	704,6	63,0	4,4	315,3
л. 011201 А/л. 022219 В	796,4	63,1	5,0	357,2
л. 011201 А/Стоір	789,2	63,0	5,0	353,4
л. 011201 А/Пам'ять Худоєрка	1060,8	62,6	6,6	471,6
Пам'ять Худоєрка (стандарт)	670,0	61,9	4,1	290,8
Середнє за гібридами	937,6	62,9	5,9	376,7

Висновки

За результатами досліджень, створені в Інституті рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН сорти та гібриди жита озимого мають високу стабільну врожайність у поєднанні з високим виходом

крохмалю і високим теоретичним виходом спирту, що забезпечує житу озимому конкурентність серед інших альтернативних культур для виробництва біоетанолу.

Егорев Д.К., Змиевская Е.А.

Институт растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН, просп. Московский, 142, Харьков, 61060, Украина; e-mail: yuriev1908rye@gmail.com

Озимая рожь как источник сырья для производства биоэтанола

Цель. Рассчитать теоретический выход спирта из зерна сортов и гибридов ржи озимой в зависимости от генотипа. **Методы.** Изучали 29 образцов ржи озимой в различных метеорологических условиях годов выращивания. Закладку опыта проводили согласно методике Б.А. Доспехова. Теоретический выход спирта определяли расчетным методом. **Результаты.** Установлена средняя урожайность зерна 5,02 т/га в засушливых погодных условиях, которая превышала среднюю урожайность культуры в Харьковской обл. и Украине на 2,5 т/га. Образцы ржи озимой формировали повышенный уровень крахмала в зерне — 61,86% по сравнению со средним по культуре — 55%, при этом сорта сформировали большее количество крахмала — 62,41%, чем гибриды — 61,13% (НСР=0,54%). Теоретический выход спирта у образцов составлял в среднем 220,48 дал/га. Установлена сильная корреляция между теоретическим выходом спирта и выходом крахмала с единицы площади ($r=1$), урожайностью зерна и выходом крахмала с единицы площади ($r=0,99$), урожайностью зерна и теоретическим выходом спирта ($r=0,99$) и отсутствие корреляции между выходом крахмала с единицы площади и его содержанием в зерне. Показана возможность получения гибридов с высокой урожайностью зерна 1000,5–1309,8 г/м² и повышенным содержанием крахмала 62,6–63,8% в зерне в благоприятных погодных условиях. Теоретический выход спирта в таких условиях составлял 315,3–585,2 дал/га. **Выводы.** Доказано, что созданные в Институте растениеводства имени В.Я. Юрьева НААН указанные сорта и гибриды ржи озимой имеют высокую стабильную урожайность зерна в сочетании с высоким выходом крахмала и высоким теоретическим выходом спирта. Это обеспечивает ей конкурентоспособность среди других альтернативных культур для производства биоэтанола.

Ключевые слова: рожь озимая, гибрид, сорт,

биоэтанол, теоретический выход спирта.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201906-07>

Yehorov D., Zmiyevska O.

V. Yuryev Institute of plant industry of NAAS, Moskovskiyi avenue, 142, Kharkiv, 61060, Ukraine; e-mail: yuriev1908rye@gmail.com

Winter rye as a source of raw material for production of bioethanol

The purpose. To calculate theoretical alcohol yield from grain of varieties and hybrids of winter rye depending on genotype. **Methods.** They studied 29 samples of winter rye in different weather conditions of years of growing. Backfilling of experiment was spent according to B.A. Dosphehov procedure. Theoretical alcohol yield was determined by calculation method. **Results.** Average productivity of grain was 5,02 t/hectare in rainless weather environment. That exceeded average productivity of crop in Kharkiv region and Ukraine on 2,5 t/hectare. Samples of winter rye formed the heightened level of starch in grain — 61,86% in comparison to average for crop — 55%. Thus varieties generated more starch (62,41%), than hybrids (61,13%) (NSR=0,54%). Theoretical alcohol yield at samples averaged 220,48 dal/hectare. Strong correlation between theoretical alcohol yield and exit of starch from a unit of area ($r=1$), productivity of grain and exit of starch from unit of area ($r=0,99$), productivity of grain and theoretical alcohol yield ($r=0,99$) and absence of correlation between exit of starch from a unit of area and its content in grain is established. Opportunity of deriving of hybrids with high productivity of grain 1000,5–1309,8 g/m² and the heightened starch content 62,6–63,8% in grain in good weather environment is shown. Theoretical alcohol yield in such conditions made 315,3–585,2 dal/hectare. **Conclusions.** It is proved that created in the Institute of plant industry varieties and hybrids of winter rye have high stable productivity of grain in combination to tall exit of starch and tall theoretical alcohol yield. It ensures to it competitive strength among other alternative crops for production of bioethanol.

Key words: winter rye, hybrid, variety, bioethanol, theoretical alcohol yield.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201906-07>

Бібліографія

1. Василевкин Е.В., Апельинский Д.В., Егоров В.Н. Сырье для производства биоэтанола. *Технология производства, перспективы: материалы Международной научно-технической конференции. Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров.* Москва, 2012. С. 36–42.
2. Василів В.П., Матіяшук А.М., Сухенко В.Ю. Типові технології харчових виробництв: конспект лекцій: навчально-методичне видання. Київ: АГАР МЕДІА ГРУП, 2011. 133 с.
3. Бритвин В.В., Болдырева Л.Л. Сорго как сырье для производства биоэтанола. *Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет».* 2013. № 154. С. 69–72.
4. Чачина С.Б., Двоян А.В. Получение биоэтанола из органического сырья. *Омский научный вестник.* 2014. № 2 (134). С. 224–228.
5. Матковский П.Е., Яруллин Р.С., Старцева Г.П., Седов И.В. Биоэтанол: технологии получения из возобновляемого растительного сырья и области применения. *Альтернативная энергетика и экология.* 2010. № 6 (86). С. 95–105.
6. Яковлев А.Н., Корнеева О.С., Яковлева С.Ф. Интенсификация переработки ржи в этанол. *Материалы XLV отчетной научной конференции за 2006 год.* Воронеж, 2007. Ч. 1. С. 133.
7. Petersson, Anneli, Thomsen et al. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass & Bioenergy.* 2007. V. 31, № 11, 12. P. 812–819.
8. Яковлева С.Ф., Яковлев А.Н., Корнеева О.С. Получение этилового спирта из ржи с использованием мультиэнзимной композиции. *Биотехнология.* 2011. № 6. С. 63–69.
9. Крикунова Л.Н., Рябова С.М., Костенко В.Г. Разработка высокоэффективной технологии этанола из ржи с использованием янтарной кислоты. Ч. I. Стадия получения сусле. *Пиво и напитки.* 2014. № 4. С. 26–28.
10. Рябова С.М., Лазарева И.В., Семеновко Н.Т. Разработка высокоэффективной технологии этанола из ржи с использованием янтарной кислоты. Ч. II. Стадия сбраживания сусле. *Пищевая и перерабатывающая промышленность.* 2014. № 5. С. 32–35.
11. Андриенко Т.В., Поляков В.А., Крикунова Л.Н. Комплексные технологии переработки ржи в спиртовом производстве, проблемы и новые предложения по их решению. Перспективные направления научно-технического развития спиртовой и ликероводочной отрасли пищевой промышленности: *Материалы VI международной научно-практической конференции.* Москва, 2007. С. 103–108.
12. Калинина О.А., Леденев В.П., Крикунова Л.Н. Разработка высокоэффективной малоотходной технологии этанола из зерна ржи на основе механокавитационной обработки. Стадия приготовления замеса. *Хранение и переработка сельхозсырья.* 2002. № 6. С. 35–40.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
14. Методы биохимического исследования растений; под ред. А.И. Ермакова. Ленинград: ВО «Агропромиздат», 1987. С. 147–149.