В.Л. Курило,
доктор сільськогосподарських наук
Н.О. Григоренко,
кандидат технічних наук
О.О. Марчук, І.Р. Фуніна
Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН

УДК 633.62

Продуктивність сорго цукрового (Sorghum saccharatum (L.) Pers.) залежно від сортових особливостей та різної густоти стояння рослин

На прикладі різних сортів та гібридів сорго цукрового, наведено результати досліджень із вивчення впливу різної густоти стояння рослин на фенологічні показники рослин сорго цукрового, вуглеводний склад соку сорго та на продуктивність рослин.
У результаті проведених досліджень установлено, що з одного гектара сорго цукрового, залежно від сортових особливостей і різної густоти стояння рослин, можливо гарантовано отримати зеленої маси від 40,83 до 106,87 т/га, з виходом соку зі стебел від 22,27 до 56,24 т/га, в якому міститься від 2,31 до 6,09 т/га загальних цукрів, придатних для отримання біоетанолу у кількості 198,25–501,19 дал/га. Однак, незважаючи на найвищий розрахунковий вихід загальних цукрів та біоетанолу за густоти 300 тис. рослин на 1 гектар, доцільно в промислових посівах надавати перевагу густоті стояння рослин у межах 200...250 тис. шт./га. Оскільки вища густота призводить до підвищення вмісту сухої речовини у рослинах, відповідно й умісту целюлози та лігніну у стеблах, що може спричинити умови до втрат урожаю за рахунок схильності стебел до полягання.
Крім того, за густоти 200 тисяч рослин на гектарі досягається найвищий показник чистої продуктивності фотосинтезу, при якому висока інтенсивність процесу фотосинтезу оптимально поєднується з фотосинтетичною активністю листкової поверхні.

Ключові слова:
сорго цукрове, сорт, гібрид, густота стояння рослин, фенологічні показники, вуглеводний склад, продуктивність.

Вступ. Сьогодні у світі відбуваються глобальні процеси, які характеризуються значним збільшенням кризових явищ, зокрема посухи. Найбільших втрат за цих умов зазнає сільськогосподарське виробництво. Порушена тема досить актуальна і для України, де 7 років із 20 – засушливі, а через кожні 3–4 роки – настає сильна посуха [1], що згубно впливає на стан посівів усіх сільськогосподарських культур.

Тому перед вченими–аграріями постає питання мінімізації негативних наслідків посухи та ризиків розвитку АПК. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є вивчення та введення у сівозміни певних груп засуховитривалих культур.

Однією із перспективних сільськогосподарських культур є сорго цукрове, яке адаптоване до вирощування в Україні та в змозі забезпечувати високі та сталі врожаї навіть у жорстких ґрунтово-кліматичних умовах.

Проте, впровадження даної культури в сільськогосподарське виробництво України проводиться вкрай повільно, що пов'язано з відсутністю нових високоефективних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій вирощування та переробки.

Сорго цукрове, завдяки своїм біологічним особливостям, здатне за короткий термін формувати високий потенціал зеленої маси, яка може бути сировиною для отримання цукровмісної продукції та біоетанолу. Головним чинником, від якого залежить використання даної сировини для цих цілей, є наявність соковитих стебел із високим умістом цукрів.

Враховуючи вищезазначене, для отримання високих урожаїв сировини з необхідними оптимальними параметрами потрібно розробити основні прийоми агротехніки для сортів і гібридів сорго цукрового з урахуванням їх біологічних особливостей.

Метою наших досліджень було вивчення реакції рослин сорго цукрового на агротехнічні умо-

ви вирощування, зокрема формування врожаю та накопичення цукрів у соку стебел залежно від густоти стояння рослин.

Матеріали та методика проведення досліджень. Дослідження проводились на дослідних ділянках Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, що належить до зони Лісостепу протягом 2011–2012рр. У посів взяті 1 гібрид Медовий, 2 сорти – Силосне-42 і Фаворит та Нектарний – батьківська лінія – запилювач гібриду Медовий із густотою стояння рослин 100, 200 та 300 тис. шт./га. Досліди закладались на ґрунті з дуже низьким умістом азоту (3,5 мг/100 г ґрунту), середнім – фосфору (85 мг/100г ґрунту) і низьким – калію (60 мг/100г ґрунту) у 3-разовій повторності.

Облік та спостереження за розвитком рослин проводили за загальноприйнятими методиками польового досліду [2]. Площу листкової поверхні визначали за методикою А.А. Ничипоровича [3]. Врожайність сорго цукрового визначали поділянково шляхом зважування зібраних із ділянки рослин. Вуглеводну складову соку стебел сорго цукрового визначали у фазах викидання волоті та молочно-воскової стиглості за методом Люфа–Шоорля [4, 5]. Теоретичний вихід біоетанолу із цукровмісної сировини розраховували з урахуванням умісту в ній зброджуваних вуглеводів [6].

Результати досліджень. Відомо, що густота посіву має значний уплив на ріст і розвиток рослин, і впливає на величину врожаю. Оптимальна густота стояння сприяє забезпеченню елементами живлення, вологою, освітленням рослин і формуванню при цьому максимальної продуктивності. Одним із головних факторів, який визначає густоту посіву є наявність вологи й елементів живлення у ґрунті. E. Wollny [7] вважає, що густота стояння рослин на родючих ґрунтах має бути меншою, а на бідних – більшою. Протилежної точки зору дотримуються вчені В.І. Едельштейн, В.І. Клименко, П.І. Гребенніков, А.В. Маркітанов та інші, які стверджують, що за кращої родючості ґрунту та більшої густоти досягається максимальний урожай [8]. Таким чином, до теперішнього часу не існує єдиної думки щодо оптимальної густоти стояння рослин сорго цукрового.

За результатами наших спостережень і проведених біометричних досліджень у динаміці за фазами росту та розвитку сорго цукрового простежується чітка залежність наростання площі листкової поверхні та його маси від густоти стояння рослин (табл. 1). Так, найбільший приріст площі листкової поверхні відмічається у фазі викидання волоті за густоти 100 тисяч рослин на гектарі, за густоти 200 тисяч він зменшується в 1,0–1,6 рази, а за густоти 300 тисяч рослин на гектарі – в 1,1–2,0 рази.

Нашими дослідженнями встановлено, що за густоти стояння рослин 200 тис. рослин на гектарі досягається максималь-

Таблиця 1

Вплив сортових особливостей та густоти на фенологічні показники рослин сорго цукрового, середнє за 2011–2012 рр.

Сорт, гібрид	Густота (тис. рос. на 1 га)	Стебло						Листя						Площа листкової поверхні, см²			Вміст хлорофілу, %		Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м² за добу	
		Середня маса (у грамах), на одну рослину																		
		сира	суха	сира	суха	сира	суха	сира	суха	сира	суха	сира	суха							
		Фази розвитку сорго цукрового																		
		виходу в трубку		викидання волоті		молочно-воскової стиглості		виходу в трубку		викидання волоті		молочно-воскової стиглості		виходу в трубку	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	викидання волоті	молочно-воскової стиглості	вихід у трубку–викидання волоті	викидання волоті–молочно-воскова стиглість
Силосний 42	100	26,82	2,01	211,18	19,64	369,9	68,80	17,82	3,37	60,32	14,29	70,63	21,19	716	2375	2284	3,33	2,86	6,16	7,08
	200	13,74	1,15	194,30	19,82	331,75	66,35	15,6	3,03	58,80	14,17	67,81	20,68	274	2063	1686	2,82	2,27	8,52	8,3
	300	7,86	0,72	185,52	19,11	294,75	60,42	7,04	1,39	49,68	13,31	61,50	19,68	321	2058	1796	2,67	1,96	8,49	7,28
Медовий	100	33,54	2,85	295,38	36,92	400,00	92,80	25,36	4,67	62,72	16,68	69,70	21,82	834	3097	2062	3,42	3,17	7,81	6,96
	200	12,38	1,08	219,33	27,20	322,85	83,29	6,78	1,30	49,68	13,61	58,35	22,29	388	1944	1847	2,95	2,42	10,98	10,06
	300	9,82	0,91	148,22	20,01	271,66	70,63	7,92	1,54	37,90	12,16	50,21	19,18	483	1568	1806	2,73	2,08	10,26	10,04
Нектарний	100	21,86	1,84	228,57	22,86	346,67	68,29	13,3	2,50	52,22	12,06	61,63	19,54	614	2420	2465	3,11	2,47	6,72	6,37
	200	7,58	0,66	180,00	19,44	309,20	64,93	6,56	1,25	49,90	11,78	60,40	19,81	393	1884	2087	2,78	2,18	8,57	7,93
	300	12,04	1,10	164,26	18,89	289,43	61,94	5,16	1,03	44,40	10,92	56,77	18,73	257	1984	1830	2,65	2,02	8,24	7,85
Фаворит	100	15,88	1,25	245,80	26,3	400,00	79,20	11,74	1,98	60,36	14,00	71,60	26,56	512	2381	2925	3,36	2,94	8,54	7,26
	200	10,16	0,81	216,00	23,98	334,10	76,17	7,36	1,35	58,44	15,90	68,60	25,59	306	2276	2318	2,96	2,50	9,67	7,96
	300	8,12	0,70	202,50	22,68	289,17	69,11	6,08	1,24	51,02	13,72	58,40	21,96	291	2093	1981	2,70	2,07	9,62	7,89
$НІР_{05}$ (фактор АВ)														2,7	8,3	7,8				

не значення величини чистої продуктивності фотосинтезу у рослин сорго цукрового у міжфазний період виходу в трубку–викидання волоті та становить 8,52…10,98 г/м^2 за добу.

Як відомо, що від загальної кількості та концентрації хлорофілів у зелених листках сорго цукрового залежить фізіологічний стан рослини та зміни, які відбуваються в ній у процесі вегетації, що прямопропорційно впливає на продуктивність фотосинтезу. В наших дослідженнях уміст хлорофілу в листках сорго цукрового був максимальним у фазі викидання волоті та становив від 2,65 до 3,42% і зменшився в 1,08–1,36 рази у фазі молочно-воскової стиглості. Крім того, варто зазначити, що між умістом хлорофілу в рослинах сорго цукрового та густотою посіву простежується обернено пропорційна залежність протягом усіх фаз росту та розвитку рослин. Встановлено, що величина концентрації хлорофілу у фазі викидання волоті за густоти 200 тисяч рослин на гектарі зменшилась у середньому на 10,61–15,31% порівняно з посівами густотою 100 тисяч рослин на гектарі, а за густоти 300 тисяч рослин на гектарі відповідно концентрація хлорофілу зменшилась на 14,79–20,17%.

За проведення досліджень динаміки накопичення сирої та сухої маси у вегетативних органах сорго цукрового встановлено, що на початкових етапах органогенезу маса стебел сорго знаходилась у межах 7,58–33,54 г, у якій уміст сухої речовини становив 0,66–2,85 г. Маса ж листкових пластин була в 1,4 рази меншою за масу стебел, а суха речовина в них у 1,7 рази вищою.

У фазі викидання волоті відбувається найстрімкіше наростання сирої та сухої маси стебел, так сира маса зросла в середньому в 16 разів, а вміст сухої речовини в ній збільшився в 21 раз порівняно з даними фази виходу в трубку. Накопичення сирої та сухої речовини у листкових пластинах у фазі викидання волоті також було максимальним і становило 37,90…62,72 г і 10,92…16,68 г відповідно. В наступній фазі, молочно-воскової стиглості, практично була сформована основна сира маса стебел, а вміст сухої речовини в ній був на завершальному етапі. Причому, сира маса стебел збільшилась лише в 1,6 рази, а вміст сухої речовина в ній – 3,2 рази порівняно з фазою викидання волоті. Збільшення вмісту сухої речовини у листках було досить незначне та становило 18,73–26,56 г. Окрім того, вміст сухої речовини у листках був у 3,4 рази меншим за вміст сухої речовини у стеблах, що пов'язано з припиненням процесу росту листків і відтоку з них елементів живлення для подальшого формування репродуктивних органів, а саме зернової волоті рослини. Підтвердженням цього є зниження площі листкової поверхні та вмісту хлорофілу у листках у фазі молочно-воскової стиглості.

Варто зазначити, що протягом усіх фаз розвитку відмічається чітка тенденція зменшення сирої та сухої маси у стеблах і листках за збільшення густоти рослин. Основною причиною зменшення сирої та сухої маси у вегетативних органах, площі листкової поверхні та вмісту хлорофілу у сорго цукровому є загущення посівів. За рахунок збільшення кількості рослин на одиниці площі відбувається їхнє пригнічення, при цьому погіршується освітлення, зменшується забезпечення рослин елементами живлення та вологою, що й впливає на вищевказані показники.

Одним із головних показників технологічної якості сорго цукрового є вміст розчинних вуглеводів у соку стебел, який свідчить про потенційну придатність рослин для використання як на харчові, так і енергетичні цілі. За результатами наших досліджень (табл. 2), накопичення загальних цукрів у сорго відбувається поступово в процесі вегетації та змінюється від 2,59…4,17% у фазі викидан-

Таблиця 2

Зміна вуглеводного складу соку сорго, залежно від різної густоти рослин

Густота (тис. рос. на 1 га)	Фаза викидання волоті				Фаза молочно-воскової стиглості			
	СР	загальні цукри, %	цукроза, %	моно-цукри, %	СР	загальні цукри, %	цукроза, %	моно-цукри, %
Силосний 42								
100	4,2	3,18	1,54	1,64	12,0	10,25	6,12	4,13
200	4,1	2,91	1,41	1,50	11,9	9,90	5,78	4,12
300	3,3	2,10	1,01	1,09	10,8	9,34	6,01	3,33
Медовий								
100	5,2	4,17	2,18	1,99	15,1	13,46	11,37	2,09
200	4,9	3,89	2,05	1,84	14,8	13,31	10,27	3,04
300	4,7	3,71	1,96	1,75	14,6	12,64	10,05	2,59
Нектарний								
100	4,1	3,02	1,67	1,35	12,3	10,36	5,04	5,32
200	3,9	2,86	1,59	1,27	12,1	9,96	4,65	5,31
300	3,8	2,78	1,82	0,96	11,6	8,78	3,47	5,31
Фаворит								
100	4,4	3,43	1,49	1,94	14,2	12,8	7,64	5,16
200	4,3	3,21	1,67	1,54	13,6	11,45	6,40	5,05
300	3,6	2,59	1,60	0,99	13,1	10,55	5,74	4,81

Таблиця 3

Продуктивність сортів та гібридів сорго цукрового залежно від густоти рослин

Сорт, гібрид	Густота (тис. рос. на 1 га)	Урожайність, т/га		Вихід соку, т/га		Вихід сиропу, т/га	Вихід загальних цукрів, т/га	Вихід біоетанолу, дал/га
		зеленої маси	сухої маси	теоретичний	практичний			
Силосний 42	100	44,05	8,19	35,86	24,09	4,82	2,47	214,73
	200	79,91	15,98	63,93	42,46	8,49	4,20	378,23
	300	106,87	21,91	84,96	56,24	11,25	5,25	501,19
Медовий	100	46,97	10,89	36,08	24,58	4,92	3,31	219,18
	200	76,24	19,67	56,57	38,33	7,66	5,10	341,25
	300	96,56	25,10	71,46	48,25	9,65	6,09	429,91
Нектарний	100	40,83	8,04	32,79	22,27	4,45	2,31	198,25
	200	73,92	15,52	58,40	39,09	7,82	3,89	348,38
	300	103,86	22,23	81,63	54,59	10,92	4,79	486,49
Фаворит	100	47,16	9,34	37,82	25,66	5,13	3,28	228,54
	200	80,54	18,36	62,18	41,27	8,25	4,72	367,54
	300	104,27	24,92	79,35	52,82	10,56	5,57	470,45
$НІР_{05}$ (фактор АВ)		2,8	1,7					

ня волоті до 8,78…13,46% у фазі молочно-воскової стиглості.

На початковому етапі органогенезу в фазі викидання волоті відбувається повільне накопичення розчинних вуглеводів. Співвідношення загальних цукрів на даному етапі розподіляється наступним чином: 48…62% цукрози, 38…52% моноцукрів від загальної кількості цукрів. Вищий уміст цукрів у стеблах акумулюється у фазі молочно-воскової стиглості, причому в цей час практично завершується перегрупування цукрів і вміст цукрози значно підвищується і складає 60…92% від загальної кількості цукрів. Накопичення вуглеводного комплексу рослинами сорго цукрового різнилось як за показниками загального вмісту, так і за складовою цукрів. Гібрид Медовий мав найкращу динаміку накопичення загальних цукрів, які в фазі молочно-воскової стиглості досягли величини від 12,64 до 13,46%, причому в них уміст цукрози мав вагому перевагу (77…84%) над моноцукрами (15…22%) від загальної кількості цукрів.

Гібрид Фаворит і сорт Нектарний накопичували цукри на 0,66…2,09% і 3,10…3,86% менше порівняно з гібридом Медовий, а співвідношення цукроза : моноцукри складало 54…58 : 40…46% і 39…48 : 51…60% від загальної кількості цукрів.

Сорт Силосне 42 поступався за темпами накопичення загальних цукрів і містив у фазі молочно-воскової стиглості 9,34…10,25%, що на 3,21…3,28% менше порівняно з вищерозглянутими зразками.

Крім того, загущеність посівів також впливала на динаміку накопичення цукрів, за густоти 200 тисяч рослин на гектарі загальний уміст цукрів зменшується в середньому на 4,74%, а за густоти 300 тисяч рослин на гектарі – 11,95% порівняно з густотою 100 тисяч рослин на гектарі у фазі молочно-воскової стиглості.

Відрізнялися сорти та гібриди за врожайністю листкостеблової та сухої маси, що значно впливало на вихід соку, загальних цукрів та біоетанолу у досліджуваній сировині (табл. 3).

Результати проведених досліджень свідчать, що збільшення густоти стояння рослин сорго цукрового супроводжується підвищенням урожайності зеленої та сухої маси, а відповідно і виходу сиропу, загальних цукрів та біоетанолу.

Так, найвищу врожайність зеленої маси за густоти 300 тис. рослин на гектарі забезпечив сорт Силосне 42 – 106,87 т/га, що на 2,6 т/га більше, ніж у гібрида Фаворит і на 3,01 т/га та 10,31 т/га більше, ніж сорту Нектарний та гібрида Медовий.

За вирощування сорго цукрового з метою отримання з нього цукровмісної продукції та біопалива, дуже важливим показником є врожайність сухої маси. Відповідно до проведених досліджень, істотних сортових відмінностей при цьому не спостерігалось, хоча за густоти 300 тис. рослин на гектарі можна відмітити збільшення врожайності сухої маси у гібридів Медовий і Фаворит – 25,10 т/га і 24,92 т/га.

Урожайність зеленої маси та вміст у ній сухої речовини дають можливість розрахувати вихід соку. Однак, необхідно враховувати, що за промислового віджиму соку практично неможливо та і недоцільно віджимати весь сік. За механічного віджиму соку зі стебел сорго гарантовано можна виділити близько 80% соку. Крім того, варто враховувати, що сік для подальшого перероблляння одержують переважно зі стебел, питома вага яких у загальній біомасі складає 82…85% (що пов'язано з сортовими особливостями досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового).

Тому з урахуванням вищевикладеного можна розрахувати практичний вихід соку, який у подальшій переробці буде використано для отримання сиропу або біоетанолу.

Вихід сиропу, загальних цукрів і біоетанолу визначили розрахунковим способом. Найвищий вихід сиропу зафіксовано у сорту сорго цукрового Силосне 42 за густоти 300 тис. рослин на гектарі – 11,25 т/га, що на 1,6 т/га більше, ніж у гібрида Медовий і на 0,33 т/га та 0,69 т/га більше, ніж у сорту Нектарний та гібрида Фаворит.

Найцукровміснішими зразками були гібриди Медовий і Фаворит, які за густоти посіву 300 тис. рослин на гектарі забезпечили вихід загальних цукрів 6,09 і 5,57 т/га. Однак, за рахунок більшої врожайності зеленої маси найвищий вихід біоетанолу забезпечив сорт сорго цукрового Силосне 42 – 501,19 дал/га, що на 71,28 дал/га більше, ніж у гібрида Медовий і на 14,7 дал/га та 30,74 дал/га більше, ніж сорту Нектарний та гібрида Фаворит.

Відповідно до проведених досліджень варто зазначити, що, незважаючи на найвищий розрахунковий вихід загальних цукрів та біоетанолу за густоти 300 тис. рослин на 1 гектар, доцільно в промислових посівах надавати перевагу густоті стояння рослин у межах 200…250 тис. шт./га. Оскільки вища густота призводить до підвищення вмісту сухої речовини у рослинах, відповідно і вмісту целюлози та лігніну у стеблах, що може спричинити умови до втрат урожаю за рахунок схильності стебел до полягання.

Крім того, за густоти 200 тисяч рослин на гектарі досягається найвищий показник чистої продуктивності фотосинтезу, при якому висока інтенсивність процесу фотосинтезу оптимально поєднується з фотосинтетичною активністю листкової поверхні.

Висновки. Проаналізувавши продуктивність досліджуваних сортів і гібридів сорго цукрового, за умов достатнього зволоження, встановлено, що з одного гектара сорго цукрового, залежно від сортових особливостей і різної густоти стояння рослин, можна гарантовано одержати зеленої маси від 40,83 до 106,87 т/га, вихід соку зі стебел – від 22,27 до 56,24 т/га, в якому міститься від 2,31 до 6,09 т/га загальних цукрів, придатних для отримання біоетанолу у кількості 198,25 – 501,19 дал/га.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Тараріко, О.Г. Космічний моніторинг посушливих явищ / О.Г. Тараріко, О.В. Сиротенко, В.А Величко // Вісник аграрної науки. 2012. – № жовтень. – С. 16–19.
2. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строганова, М.П. Власова. – М.: АН СССР, 1961. – 137 с.
4. Добжицкий, Я. Химический анализ в сахарном производстве / Я. Добжицкий; пер. с польск. Предисл. д.т.н., проф. А. Р. Сапронова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. Бурштейн, А.И. Методы исследования пищевых продуктов / А.И. Бурштейн. ГосМедиздат УССР. – К.: 1963. – 587 с.
6. Маринченко, В.О. Технологія спирту / В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян та ін. // Під ред. проф. В.О. Маринченко. – Вінниця: «Поділля-2000», – 2003. – 496 с.
7. Wollny E. Untersuchungen uder den einfluss des Stanraunes auf die Entwieklung und die Ertage der Kulturplanzen.J.P.Landw.Jg.29.Berlin.1881
8. Макаров, Л.Х. Соргові культури: Монографія. – Херсон: Айлант, 2006. – 264 с., іл.