

Н.Б. ГРАБОВСКИЙ, канд. с.–х. наук, доцент,
заведующий кафедрой технологий в растениеводстве
и защиты растений
Белоцерковский национальный аграрный университет,
г. Белая Церковь, Украина
E-mail: nikgr1977@gmail.com

Статья поступила 3 октября 2017г.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СОРГО САХАРНОГО И ВЫХОД БИОГАЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА

Аннотация. В статье приведены результаты исследований производительности сорго сахарного и определения расчетного выхода биогаза в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода. Максимальная урожайность зеленой и сухой массы сорго сахарного у сорта Силосный 42 и гибрида Довиста достигнута в 2014 и 2016 гг. – 74,6–78,4 и 83,4–89,0 т/га и 17,3–17,7 и 20,0–21,2 т/га (ГТК вегетационного периода – 1,54 и 1,80). Использование сорта Силосный 42 и гибрида Довиста как биоэнергетических культур позволяет получить 3,90–8,47 тыс. м³/га биогаза.

Введение. В Украине в основном преобладают традиционные виды топлива, которые негативно влияют на состояние окружающей среды, уровень энергетической безопасности государства и конкурентоспособность продукции на мировых рынках. Решение этой проблемы возможно за счет внедрения возобновляемых источников энергии, которые можно получить из сырья растительного происхождения [1–2]. Одной из таких энергетических культур является сорго сахарное (*Sorghum saccharatum*), основными преимуществами которого является засухоустойчивость, стабильная урожайность по годам, универсальность использования, что и обусловило его широкое распространение во многих странах [3–5].

В последнее время выращивание этой культуры в Украине является весьма актуальным, из-за повышения интереса к переработке сорго сахарного как альтернативного источника для производства жидкого биотоплива в виде этанола, твердого топлива в виде брикетов и паллет и газообразного в виде биометана [6–8].

Несмотря на высокую эффективность сорго сахарного как энергетической культуры, сегодня недостаточно информации по технологии его выращивания в качестве сырья для производства биогаза.

Цель исследований – изучение производительности сорго сахарного и определение расчетного выхода биогаза в зависимости от гидротермических условий вегетационного периода.

Методика и объекты исследования. Полевые опыты проводили в течение 2012–2016 гг. в учебно–производственном центре Белоцерковского национального аграрного университета, который расположен в Центральной Лесостепи Украины.

Грунт опытного участка – чернозем типичный, малогумусный.

Изучали сорт сорго сахарного Силосный 42 и гибрид Довиста селекции Института зерновых культур НААН Украины. Опыт закладывался по методу систематических повторений: в каждом повторении варианты опыта размещались последовательно. Повторяемость опытов – трехкратная. Площадь участка – 19,6 м², учетного – 9,8 м². Агротехника в опытах соответствовала общепринятой для центральной Лесостепи Украины [9].

Методической основой экспериментальных исследований были «Методика проведения опытов в кормопроизводстве» [10], «Основы научных исследований в агрономии» [11]. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по методике Г. Т. Селянинова [12]. Учет урожайности на учетных участках проводили путем взвешивания зеленой массы с каждого участка с последующим перерасчетом ее на гектар. Выход биогаза рассчитывали умножением биомассы на содержание

сухого вещества и на удельный выход биогаза из 1 кг сухого вещества согласно методическим рекомендациям Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины [13].

Результаты и их обсуждение. Производительность сорго сахарного, несмотря на его высокую засухоустойчивость, имеет значительную зависимость от климатических условий вегетационного периода.

Погодные условия выращивания сорго сахарного в 2012–2016 годах были разными. Экстремальным был 2015 год, когда ГТК в отдельные месяцы составлял 0,25–0,37, а 2012 год по ГТК был близок к средним многолетним значениям. Достаточно обеспеченными влагой были 2013, 2014 и 2016 года, когда осадки выпадали в пределах или выше на 23,6–58,9% нормы. В начале вегетации среднемесячная температура воздуха составляла 14,4–21,2°C, то есть приближалась к среднемноголетним значениям (таблица 1–2).

Таблица 1 – Среднемесячная температура воздуха, °С
(метеостанция г. Белая Церковь, 2012–2016 гг.)

Год	Месяц				
	V	VI	VII	VIII	IX
2012	16,3	20,0	22,4	20,6	15,1
2013	17,9	19,9	20,0	18,6	13,8
2014	16,2	17,2	21,1	21,2	14,2
2015	16,3	19,6	21,0	20,6	17,9
2016	14,4	19,4	21,2	20,5	15,6
Средние многолетние показатели	15,2	18,4	20,1	19,3	14,2
ГТК	1,73	1,29	0,94	0,76	2,06

Таблица 2 – Среднемесячное количество осадков, мм
(метеостанция г. Белая Церковь, 2012–2016 гг.)

Год	Месяц				
	V	VI	VII	VIII	IX
2012	31,2	61,1	14,4	108,3	110,2
2013	82,7	110,3	51,9	52,1	191,1
2014	122,5	79,0	92,8	48,3	38,7
2015	37,8	25,3	69,7	2,4	20,4
2016	125,0	105,0	80,1	44,0	71,4
Средние многолетние показатели	52,6	82,9	94,3	65,7	55,1
ГТК	1,73	1,29	0,94	0,76	2,06

Как видно из таблиц 1 и 2, наиболее критическими по обеспечению влагой для сорго сахарного были июль и август, когда отмечали относительно высокие температуры воздуха, которые были на 1,2–2,1 °С выше нормы, что вместе с недостаточным количеством осадков, особенно в июле 2012 года (на 70,3 мм меньше нормы) и августе 2015 года (на 63,1 мм меньше нормы), отрицательно влияло на рост, развитие и продуктивность культуры. Значение ГТК в эти месяцы, в среднем за годы исследований, составило 0,94 и 0,76.

Наиболее благоприятными для роста и развития сорго сахарного были май и сентябрь. Сумма осадков в мае изменялась в пределах 82,7–125,0 мм, в сентябре – 71,4–191,1 мм. ГТК в первый месяц вегетации составил 1,73, в последний – 2,06. Такая влагообеспеченность и температурный режим в эти месяцы позволили получить дружные всходы сорго сахарного и сформировать оптимальный уровень урожайности зеленой массы в конце вегетационного периода.

По Г. Т. Селянинову [12] условия увлажнения вегетационного периода сельскохозяйственных культур характеризуются как:

- избыточное увлажнение – ГТК более 2,0;
- засушливые – ГТК менее 1,0;
- сухие – ГТК меньше или равен 0,5.

Производительность агрофитоценозов сельскохозяйственных культур, в том числе и сорго

сахарного, является результатом взаимодействия почвенно–климатических условий, сортовых особенностей и агротехнических факторов [14–15].

За годы исследований наиболее высокопроизводительными посевами сорго сахарного были в 2013, 2014 и 2016 годах. Урожайность зеленой и сухой массы сорта Силосный 42 составляла 71,0–78,4 т/га и 16,3–17,7 т/га, а у гибрида Довиста – 79,8–89,0 т/га и 18,7–21,2 т/га при значении ГТК вегетационного периода 1,54–1,86 (таблица 3).

Таблица 3 – Производительность сорго сахарного в зависимости от погодных условий вегетационного периода

Год	ГТК вегетационного периода	Силосный 42		Довиста	
		урожайность, зеленой массы, т/га	сбор сухого вещества, т/га	урожайность, зеленой массы, т/га	сбор сухого вещества, т/га
2012	1,04	64,3	14,2	73,1	16,8
2013	1,86	71,0	16,3	79,8	18,7
2014	1,54	74,6	17,3	83,4	20,0
2015	0,57	45,3	9,7	50,2	11,2
2016	1,80	78,4	17,7	89,0	21,2
Среднее	1,36	66,7	15,0	75,1	17,6
НСР 0,5		5,4	2,1	5,8	2,4

В 2015 году урожайность зеленой массы составила 45,3 и 50,2 т/га, сухой – 9,7 и 11,2 т/га (значения ГТК вегетационного периода – 0,57). Аналогичная закономерность отмечена и в 2012 году. При значении ГТК в этом году 1,04 урожайность зеленой массы была на уровне 64,3 и 73,1 т/га, соответственно, у сорта и гибрида.

Это совпадает с данными, полученными другими учеными. Так, по данным Л. И. Сторожик [3–4], при выращивании сорго сахарного в юго–восточной части Крыма урожайность зеленой массы в среднем за 2002–2011 гг. составляла 48,7 т/га, сухой – 14,7 т/га, в зоне Северной Степи Украины – 66,1 и 15,6 т/га. В опытах Л. А. Герасименко [16] при выращивании сорго сахарного в условиях Лесостепи Украины урожайность зеленой массы изменялась в пределах 61,0–76,9 т/га, сухой – 11,6–20,2 т/га.

Таким образом, обобщая погодные условия за годы исследований, следует отметить, что отклонения ряда показателей (температуры, количество осадков) от среднееголетних значений приближались в отдельные годы до экстремальных (2015 г.). Показатели ГТК были в диапазоне от 0,57 до 1,86 (среднееголетнее значение на уровне 1,30). В целом, период, за который проведен анализ, следует отнести к типичному по всем метеорологическими показателями для данного региона, а именно к четко выраженной зоне неустойчивого увлажнения.

По результатам исследований взаимосвязей между коэффициентом ГТК и урожайностью зеленой и сухой массы установлены сильные и значительные корреляционные связи (рисунок 1 и 2). Так, между урожайностью зеленой массы сорго сахарного и коэффициентом ГТК существует сильная корреляционная зависимость на уровне $r = 0,68$, а в отношении сбора сухой массы – значительная ($r = 0,54$).

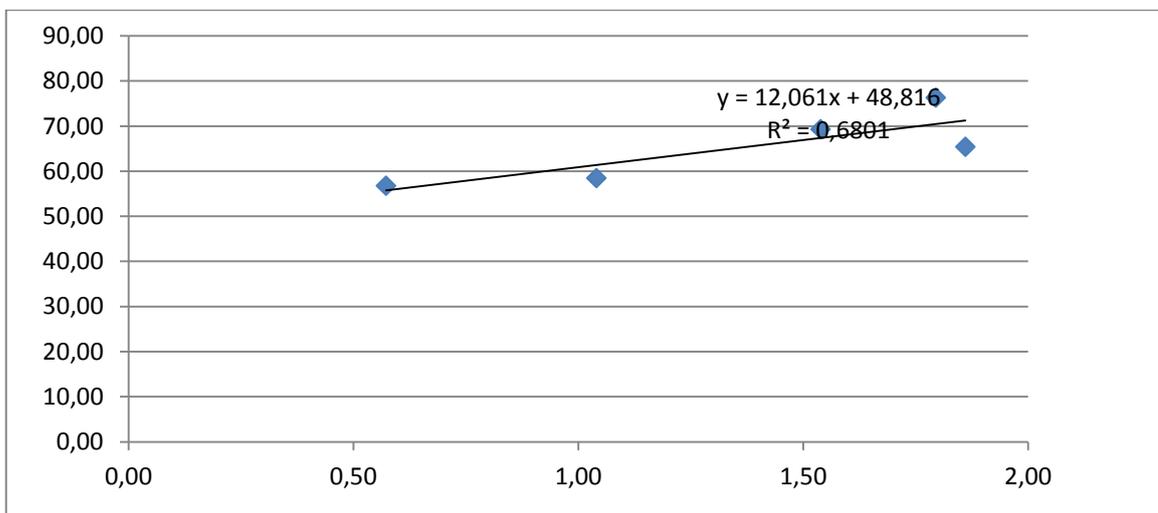


Рисунок 1 – Зависимость между ГТК и урожайностью зеленой массы сорго сахарного

Выявленные закономерности подтверждают данные других ученых [3–6, 8, 15–16] относительно значительного влияния условий выращивания на производительность сорго сахарного и значение коэффициента ГТК как универсального показателя соответствия условий выращивания потребностям культуры.

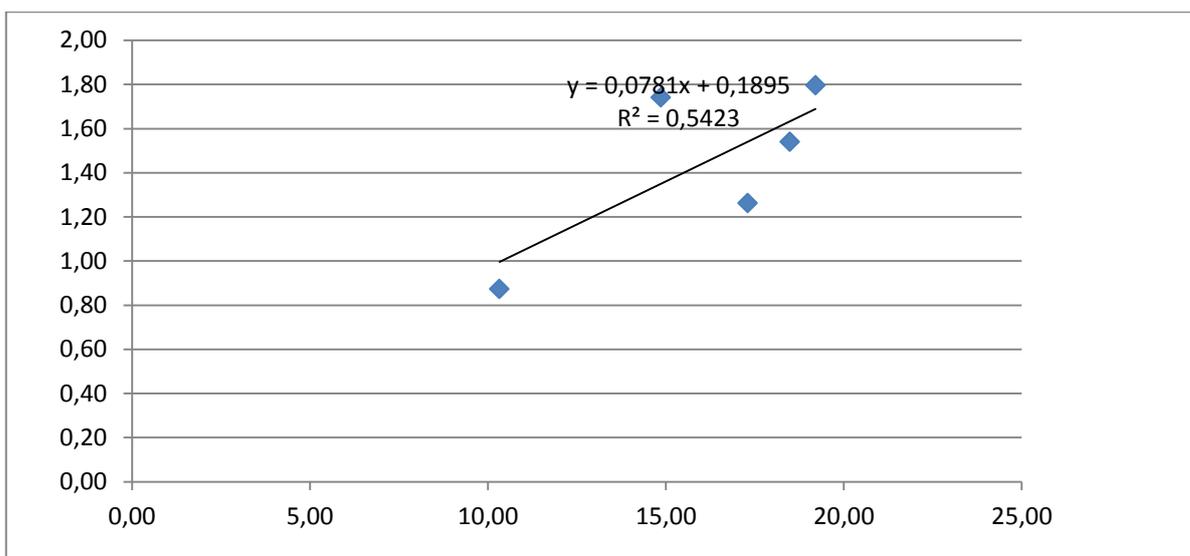


Рисунок 2 – Зависимость между ГТК и урожайностью сухой массы сорго сахарного

Показатели расчетного выхода биогаза из сорго сахарного изменялись в зависимости от сортовых особенностей. Самый высокий расчетный выход биогаза получен у гибрида Довиста – 8,47 тыс. м³/га в 2016 г. У сорта Силосный 42 он составлял 7,09 тыс. м³/га (рисунок 3).

Минимальные значения этого показателя были в 2015 году – 3,90 и 4,50 тыс. м³/га. В остальные годы выход биогаза колебался в пределах 5,69–8,01 тыс. м³/га.

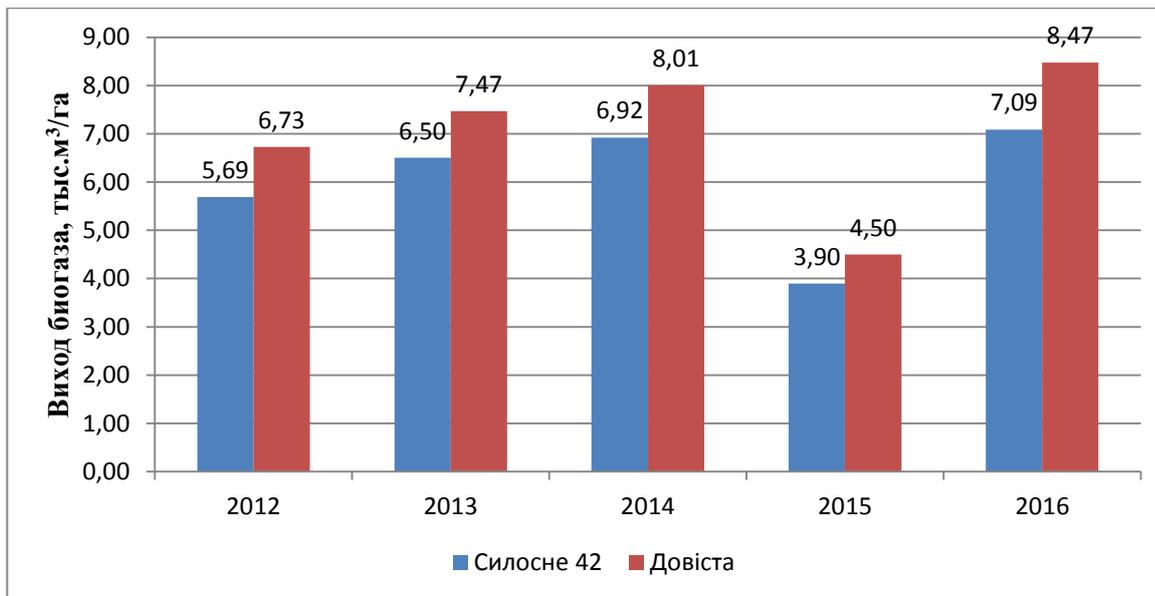


Рисунок 3 – Расчетный выход биогаза сорта сорго сахарного Силосный 42 и гибрида Довиста, тыс. м³/га (2012–2016 гг.)

Согласно данным корреляционного анализа, существует высокая положительная зависимость между выходом биогаза и урожайностью зеленой ($r = 0,75$) и сухой массы ($r = 0,92$) и наоборот незначительная между выходом биогаза и ГТК ($r = 0,27$).

Выводы. На рост и развитие растений и формирование продуктивности сорго сахарного значительное влияние оказывают климатические условия вегетационного периода. Для развития растений сорго сахарного важны два основных периода: первый – появление всходов и формирование вегетативных органов, второй – образование генеративных органов. Оптимальным в эти периоды следует считать значение ГТК на уровне 1,2–1,4. Максимальная урожайность зеленой и сухой масс сорго сахарного у сорта Силосный 42 и гибрида Довиста получена в 2014 и 2016 гг. – 74,6–78,4 и 83,4–89,0 т/га и 17,3–17,7 и 20,0–21,2 т/га (ГТК вегетационного периода – 1,54 и 1,80) соответственно. Использование сорта Силосный 42 и гибрида Довиста как биоэнергетических культур позволяет получить 3,90–8,47 тыс. м³/га биогаза.

Список литературы

1. Гунчак, Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно–західного Лісостепу України / Т. І. Гунчак // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – 2014. – Вип. 21. – С. 240 – 244
2. Балан, В. М. Вирощування цукрового сорго як біоенергетичної культури / В. М. Балан, Л. І. Сторожик // Цукрові буряки. – 2010. – № 5. – С. 14 – 16
3. Сторожик, Л. І. Потенціал цукрового сорго в Україні як біоенергетичної культури / Л. І. Сторожик // Агробіологія : зб. наук. пр. – Біла Церква : БНАУ, 2010. – Вип. 4. – С. 28 – 30
4. Сторожик, Л. І. Перспективи вирощування сорго цукрового, як альтернативного джерела енергії / Л. І. Сторожик // Цукрові буряки. – 2011. – № 2. – С. 20 – 21
5. Рудник–Іващенко, О. І. Стан і перспективи соргових культур в Україні / О. І. Рудник–Іващенко, Л. І. Сторожик // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області : наук.–виробн. зб. – Х. : Магда Ltd., 2011. – Вип. 10. – С. 198 – 206
6. Saballos, A. Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop / A. Saballos // Genetic Improvement of Bioenergy Crops / W. Vermerris (ed).– New York, U.S.A. : Springer Science and Business Media, 2008. – pp. 211 – 248
7. Цукрове сорго – цукровмісна сировина та потенційне джерело енергії / В. П. Ковальчук, И. О. Григоренко, О. І. Костенко // Цукрові буряки. – 2009. – № 6. – С. 6 – 7
8. The influence of sweet sorghum crop stand arrangement on biomass and biogas production / K. Pazderů, J. Hodova, J. Urban, J. Pulkrábek, V. Pačuta, J. Adamčík / Plant Soil Environ. – 2014. – Vol. 60. – No. 9. – pp. 433 – 438.
9. Методичні рекомендації з проведення передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння

цукрового сорго / В.Л. Курило, О.М. Ганженко, П.Ю. Зиков, Л.А. Герасименко, О.М. Копака . – Київ, 2012. – 17 с.

10. Методика проведення дослідів з кормовиробництва / Під ред. А.О. Бабича – Вінниця, 1994. – 87 с.

11. Основи наукових досліджень в агрономії / В. О. Єщенко, П. Г. Копитко, В. П. Опришко, П. В. Костогриз, під ред. В. О. Єщенка. – К.: Дія. – 2005. – 288 с.

12. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климатов / Г. Т. Селянинов // Труды по с.-х. метеорологии. – М.; Л.: Сельхозиздат, 1928. – Т. 20. – С. 165–177

13. Методичні рекомендації з технології вирощування та перероблення цукрового сорго як сировини для виробництва біопалива / О.М. Ганженко, В.Л. Курило, Л.А. Герасименко, П.Ю. Зиков, О.Б. Хіврич, Г.С. Гончарук, В.М. Смірних, Ю.П. Дубовий, О.Г. Іванова. – К.: Компринт, 2017. – 22 с.

14. Stability performance of sorghum varieties for grain and fodder yields / B. N. Narkhede, M. S. Shinde, S. P. Patil // Journal of Maharashtra Agricultural University. – 1997. – Vol. 22. – No. 2. – pp. 179–181

15. Production and Utilization of Biogas in Agriculture / J. Kára, Z. Pastorek, E. Příbyl / VÚZT, Praha, 2007. – 120 p.

16. Герасименко, Л. А. Ріст і розвиток рослин сорго цукрового за різних строків сівби та глибини загортання насіння в умовах центрального Лісостепу України / Л. А. Герасименко // Сортівчення та охорона прав на сорти рослин. – 2013. – № 1 (18). – С. 76 – 78

GRABOVSKYI N.B.

PRODUCTIVITY OF SWEET SORGHUM AND BIOGAS OUTPUT DEPENDING ON HYDROTHERMAL CONDITIONS OF THE VEGETATION PERIOD

Summary. The article presents the results of sweet sorghum productivity and determination of the calculated output of biogas, depending on the hydrothermal conditions of the vegetation period. The maximum yield of green and dry mass of sweet sorghum variety Silosne 42 and hybrid Dovista was obtained in 2014 and 2016 yrs. – 74.6–78.4 and 83.4–89.0 t/ha and 17.3–17.7 and 20.0–21.2 t/ha (hydrothermal coefficient of the vegetation period –1.54 and 1.80). The use of the variety Silosne 42 and the hybrid Dovista as bioenergy crops makes it possible to obtain 3.90–8.47 thousand m³/ha of biogas.

References

1. Gunchak T. I. *Osoblyvosti vyroshhuvannja sorgo cukrovogo v yakosti syrovyny dlja vyrobnyctva biopalyva v umovah Pivdenno–zahidnogo Lisostepu Ukrai'ny* [Peculiarities of sugar sorghum growing as a raw material for biofuel production in the South–Western Forest–Steppe of Ukraine]. *Naukovi praci Instytutu bioenergetychnyh kul'tur i cukrovih burjakiv*, 2014, Iss. 21, pp. 240–244. (In Ukrainian)

2. Balan V. M., Storozhik L.I. *Vyroshhuvannja cukrovogo sorgo jak bioenergetychnoi' kul'tury* [Growing of sugar sorghum as bioenergetic culture]. *Cukrovi burjaky*, 2010, № 5, pp. 14–16. (In Ukrainian)

3. Storozhyk L. I. *Potencial cukrovogo sorgo v Ukrai'ni jak bioenergetychnoi' kul'tury* [Potential of sugar sorghum in Ukraine as bioenergetics]. *Agrobiologija*. Bila Cerква, BNAU Publ., 2010, Vol. 4, pp. 28–30.

4. Storozhyk L. I. *Perspektyvy vyroshhuvannja sorgo cukrovogo, jak al'ternatyvnogo dzherela energii'* [The prospects of growing sorghum sugar as an alternative energy source]. *Cukrovi burjaky*, 2011, no. 2, pp. 20–21. (In Ukrainian)

5. Rudnyk–Ivashhenko O. I., Storozhik L.I. *Stan i perspektyvy sorgovyh kul'tur v Ukrai'ni* [Condition and perspectives of sorghum in Ukraine]. *Visnyk CNZ APV Harkivs'koi' oblasti*. Har'kov, Magda Ltd., 2011, Iss. 10, pp. 198–206. (In Ukrainian)

6. Saballos A. Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop. Genetic Improvement of Bioenergy Crops. Ed.W. Vermerris. New York, U.S.A., Springer Science and Business Media, 2008, pp. 211–248.

7. Koval'chuk V. P., Grygorenko Y. O., Kostenko O. I. *Cukrove sorgo – cukrovnisna syrovyna ta potencijne dzherelo energii'* [Sugar sorghum as sugar–containing raw materials and a potential source]. *Cukrovi burjaky*, 2009, no.6, pp. 6 – 7. (In Ukrainian)

8. Pazderů K., Hodova J., Urban J., Pulkrábek J., Pačuta V., Adamčík J. The influence of sweet sorghum crop stand arrangement on biomass and biogas production. *Plant Soil Environ*, 2014, Vol. 60, No. 9, pp. 433 – 438.
9. Kurylo V.L., Ganzhenko O.M., Zykov P.Ju., Gerasymenko L.A., Kopak O.M. *Metodychni rekomendacii' z provedennja peredposivnogo obrobittu g'runtu i sivby nasinnja cukrovogo sorgo* [Methodical recommendations on carrying out presowing tillage and sowing of sugar sorghum seeds]. Kyi'v, 2012. 17 p. (In Ukrainian)
10. Babycha A.O. (ed). *Metodyka provedennja doslidiv z kormovyrobnyctv*. [The technology of experiments with fodder production]. Vinnycja, 1994. 87 p. (In Ukrainian)
11. Jeshhenko V. O., Kopytko P. G., Opryshko V. P. , Kostogryz P. V. *Osnovy naukovyh doslidzen' v agronomii'* [The basics of scientific research in agronomy]. Kyev, Dija, 2005. 288 p. (In Ukrainian)
12. Seljaninov G. T. O sel'skohozjajstvennoj ocenke klimatov [About climate agricultural estimation]. Moskva, Leningrad, Sel'hozizdat, 1928, Vol. 20, pp. 165–177. (In Russian)
13. Ganzhenko O.M. , Kurylo V.L., Gerasymenko L.A., Zykov P.Ju., Hivrych O.B., Goncharuk G.S. et al. *Metodychni rekomendacii' z tehnologii' vyroshhuvannja ta pererobljannja cukrovogo sorgo jak syrovyny dlja vyrobnyctva biopalyva* [Methodical recommendations on technology of cultivation and processing of sugar sorghum as a raw material for production of biofuel]. Kyi'v, Komprynt, 2017. 22 p. (In Ukrainian)
14. Narkhede B. N., Shinde M. S., Patil S. P. Stability performance of sorghum varieties for grain and fodder yields. *Journal of Maharashtra Agricultural University*, 1997, Vol. 22, no. 2, pp.179 –181
15. Kára J., Pastorek Z., Příbyl E. Production and Utilization of Biogas in Agriculture. Praha, VÚZT, 2007, 120 p.
16. Gerasymenko L. A. *Rist i rozvytok roslyn sorgo cukrovogo za riznyh strokiv sivby ta glybyny zagortannja nasinnja v umovah central'nogo Lisostepu Ukrai'ny* [Growth and development of sugar sorghum plants according to the timing of planting and the depth of seeding in the conditions of the central Forest–steppe of Ukraine]. *Sortovyvchennja ta ohorona prav na sorty roslyn*. Kyi'v. 2013, no.1 (18), pp. 76–78. (in Ukrainian)

Received 3 october 2017