

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ САХАРНОГО СОРГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ СЕВА И ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ СЕМЯН

Василий Курило, Александр Ганженко, Людмила Герасименко
Институт биоэнергетических культур и сахарной свеклы Украины
г. Киев, ул. Клинична 25

Vasily Kurylo, Alexander Ganzhenko, Lyudmila Gerasimenko
Institute of bioenergy crops and sugar beet NAAS of Ukraine

Аннотация. В статье приведены результаты исследований по изучению влияния сроков сева и глубины заделки семян на продуктивность сахарного сорго, выход из него биоэтанола, твердого биотоплива и общей энергии в условиях центральной Лесостепи Украины. Установлено, что лучшая энергетическая продуктивность сахарного сорго наблюдается при посеве семян во второй декаде мая на глубину 4-6 см.

Ключевые слова: сахарное сорго, биотопливо, биоэтанол, энергия, продуктивность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сахарное сорго (*Sorghum saccharatum*) способно формировать стабильные высокие урожаи даже при неблагоприятных погодных условиях. С одного гектара посевов сахарного сорго можно собирать 90...120 т/га сахароносной биомассы с общим содержанием сахаров в соке до 18% [20].

Несмотря на высокую энергетическую ценность, сейчас отсутствует адаптированная к почвенно-климатическим условиям Украины технология выращивания сахарного сорго.

Исследования проводились согласно с программой научных исследований НААН №22 «Биоэнергетические ресурсы» ИБКиСС.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Биомасса как возобновляемый источник энергии вызывает интерес среди потенциальных покупателей в мире. Из растительной биомассы можно получить энергию путем прямого сжигания (твердое биотопливо) или переработки на жидкое (биоэтанол) или газообразное (метан) топлива. В будущем биомасса растительного происхождения станет одним из основных источников для производства биотоплива [2, 3, 12, 15, 17].

Сахарное сорго является универсальным растением, сырье которого может использо-

ваться как в пищевой промышленности, так и на биотопливо [6, 7, 9]. Сок из стеблей сахарного сорго, полученный вальцевым пресованием по общему содержанию сахаров не уступает сахарному тростнику, но в отличие от последней кроме сахарозы содержит значительную долю глюкозы, фруктозы и растворимого крахмала, который препятствует кристаллизации [1,4,8,10,11,16,18,19]. Поэтому из сока сахарного сорго производят не кристаллический, а жидкий сахар (сироп). Дальнейшее удаление сока на экструдерах позволяет получить еще 40 % сока с повышенным содержанием сухих веществ, который может использоваться на биоэтанол. После экструдирования влажность стеблей сахарного сорго не превышает 40 %, поэтому они могут быть сырьем для производства твердого биотоплива (топливных гранул или брикетов), или их можно использовать в биогазовых генераторах для получения биогаза [5,13,14].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследований является повышение энергетической продуктивности сахарного сорго путем оптимизации сроков сева и глубины заделки семян в условиях Лесостепи Украины.

Исследования проводились в течение 2010 – 2012 годов, в условиях центральной Лесостепи Украины на Белоцерковской ДСС ИБКиЦБ.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Результаты исследований показали, что сроки сева и глубина заделки семян существенно влияли на рост и развитие растений сахарного сорго, в частности на высоту растений, продуктивность биомассы, выход биотоплива и энергии.

В начале вегетации (период «всходы-кущение») растения сахарного сорго мед-

ленно формировали надземную массу, в этот период происходит активное развитие корневой системы. Максимальный суточный прирост высоты растений наблюдали в межфазный период «стеблевания-выбрасывания метелки», что составляет 5...6 см. В третий срок посева семян этот период проходил при наиболее благоприятных погодных условиях. Поэтому, наибольшая высота растений отмечалась при посеве семян на глубину 4...6 см во второй декаде мая и составила 294 ... 298 см (рис. 1).

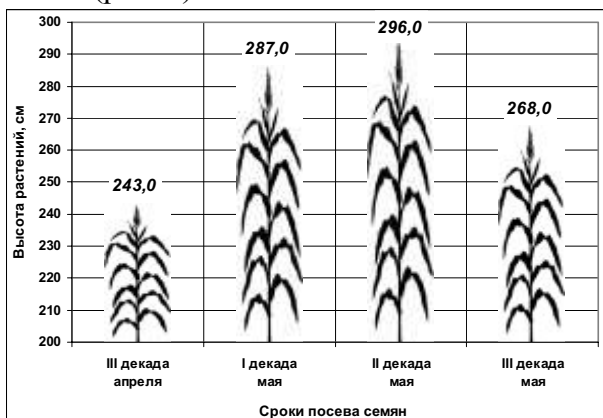


Рис. 1 - Влияние сроков сева на высоту растений сахарного сорго

Fig. 1 - Effect of planting terms on high plants sugar sorghum

Несколько ниже были растения с второго и четвертого сроков посева, их высота составила 286...288 см и 268...269 см соответственно. При первом сроке посева высота растений была наименьшей и составляла 242...245 см. Это объясняется тем, что в условиях низких температур, характерных для первого срока посева, растения сахарного сорго не так активно формировали свою корневую систему и надземную вегетативную массу.

Продуктивность зеленой массы при посеве семян во вторую декаду мая была высокой и составила - 71,6; 75,6; 76,9; 70,6 и 67,6 т/га при глубине заделки семян 2, 4, 6, 8 и 10 см соответственно (рис. 2). При посеве семян в третьей декаде апреля урожайность биомассы была меньше и составляла в среднем 66,6 т/га в первой декаде мая - 70,2 т/га в третьей декаде мая - 65,4 т/га.

Применив к полученным экспериментальным данным методы математического анализа было установлено, что максимальный урожай зеленой биомассы сахарного сорго можно достичь при посеве семян в период 5-15 мая (рис. 3а).

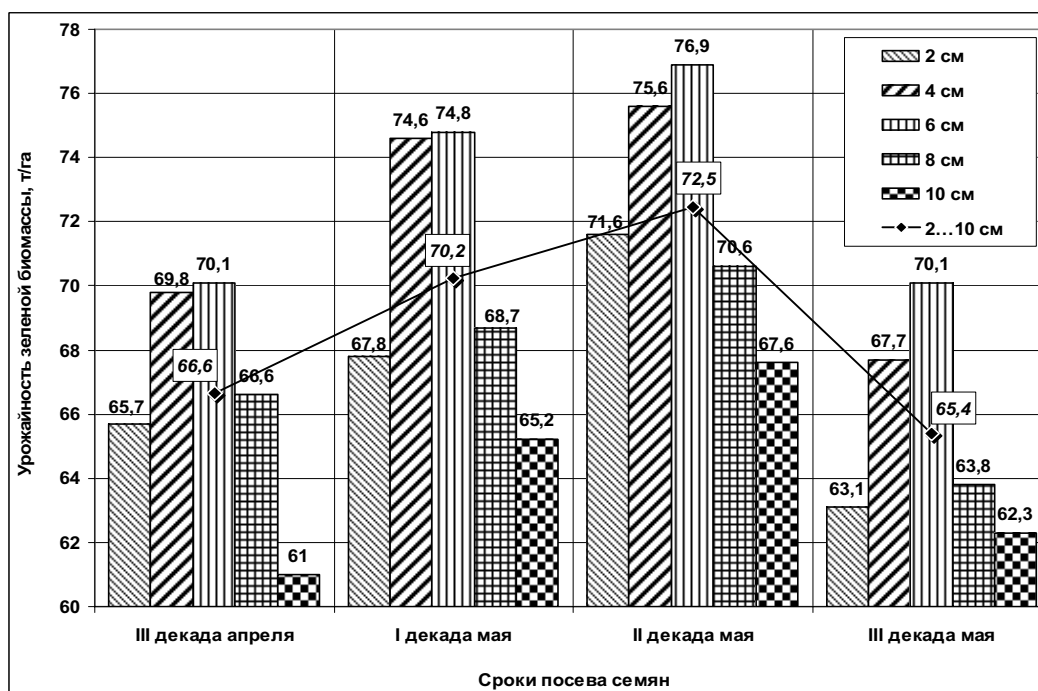


Рис. 2. Влияние сроков сева и глубины заделки семян на урожайность зеленой биомассы сахарного сорго

Fig. 2. Effect of planting terms and seeding depth on the productivity of green biomass sugar sorghum

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ САХАРНОГО СОРГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ СЕВА И ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ СЕМЯН

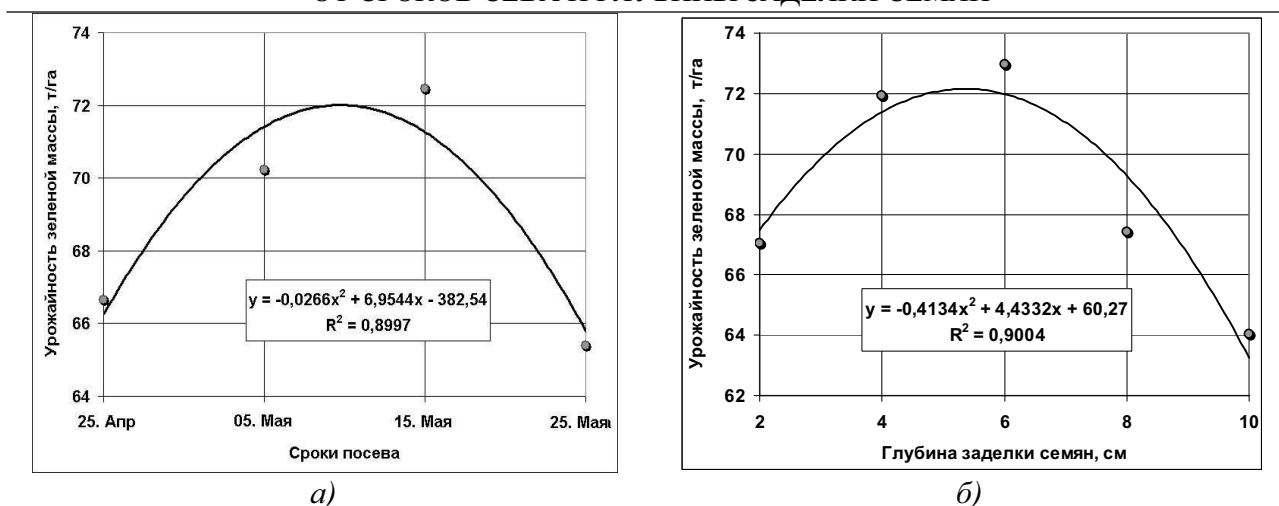


Рис. 3. Оптимизация по урожайности зеленой биомассы сахарного сорго:
а) сроков посева семян; б) глубины заделки семян

Fig. 3. Optimization of the yield of green biomass sugar sorghum:
a) the planting terms of seeding; b) the depth of seeding

Характер размещения точек на рис. 3б показывает, что связь между глубиной заделки семян сахарного сорго и урожайностью зеленой биомассы также является нелинейным. Применяв метод наименьших квадратов, установлено, что эта связь описывается полиномом второго порядка:

$$y = -0,4134 \cdot x^2 + 4,4332 \cdot x + 60,27 \quad (1)$$

где: y – урожайность зеленой биомассы, т/га;
 x – глубина заделки семян, см.

Исследовав уравнения (1) на экстремум было установлено, что оптимальной глубиной заделки семян, при которой достигается наибольшая урожайность сахарного сорго является 5...5,5 см.

Таким образом, для получения максимального урожая зеленой биомассы сахарного сорго в зоне неустойчивого увлажнения сев семян следует начинать в I-II декаде мая, заделывать семена нужно на глубину 5...5,5 см.

Расчет выхода биоэтанола проводили исходя из средней урожайности на пяти вариантах глубин. Наибольший расчетный выход биоэтанола из сока сахарного сорго получено при посеве семян во второй декаде мая (третий срок) – 2,31 т/га (рис.4). Несколько меньший выход биоэтанола получили за первого, второго и четвертого сроков сева – 2,09; 2,21 и 2,04 т/га соответственно.

Глубина заделки семян также оказала существенное влияние на выход биоэтанола. Так, при посеве семян во II декаде мая на глубину 6 см выход биоэтанола был самый высокий в опыте и составил 2,53 т / га. Отклонение от оптимальной глубины заделки семян приводило к уменьшению выхода биоэтанола по всем срокам посева семян (см. рис. 4).

Сухая масса сахарного сорго, которая остается после удаления сока, за счет значительного содержания углеводов, является ценным сырьем для производства твердого биотоплива (пеллет, брикетов). Так, с одного гектара сахарного сорго сорта Силосное 42, при посеве во второй декаде мая, можно получить от 17,2 до 22,2 т/га твердого биотоплива в зависимости от глубины заделки семян (рис. 5). Наибольший выход твердого биотоплива (22,2 т/га) наблюдался при посеве семян на глубину 6 см. Уменьшение или увеличение глубины заделки семян по всех сроков сева приводило к уменьшению количества твердого биотоплива из 1 гектара. Отклонение от оптимальных сроков посева семян также приводило к уменьшению выхода твердого биотоплива. Так, при посеве семян в третьей декаде апреля (первый срок) выход твердого биотоплива в среднем 14,4 т/га, в первой декаде мая (второй срок) - 16,3 т/га, а в третьей декаде мая (четвертый срок) - 14,9 т/га.

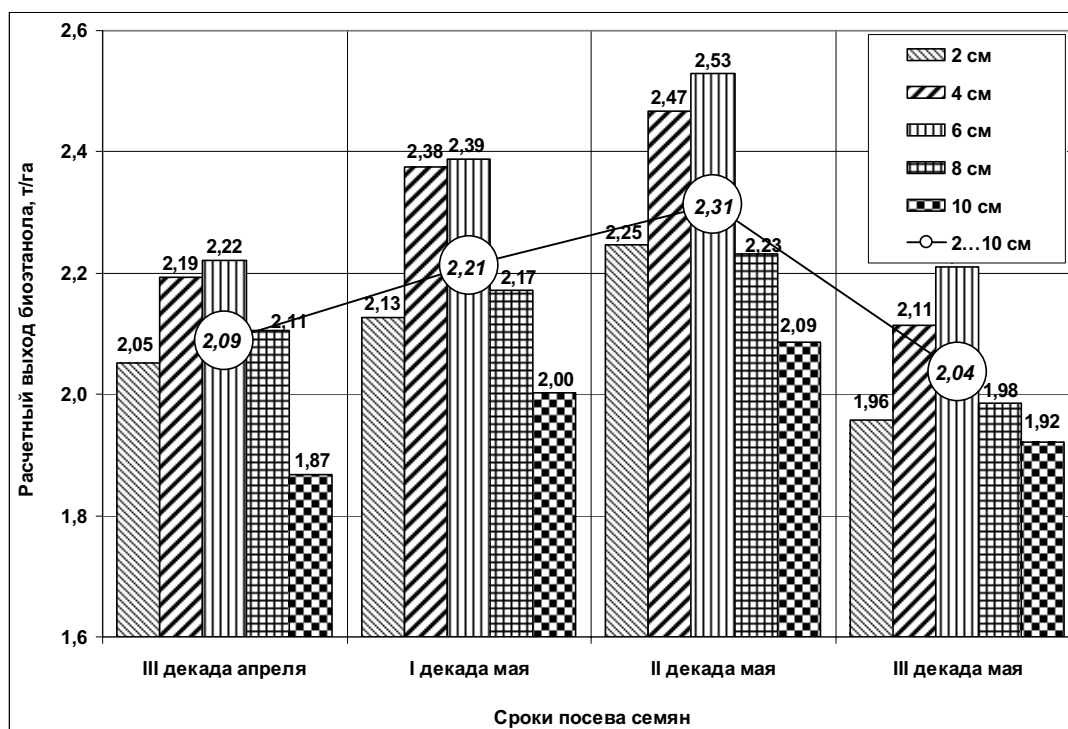


Рис. 4. Влияние сроков сева и глубины заделки семян сахарного сорго на выход биоэтанола
 Fig. 4. Effect of planting terms and seeding depth of sugar sorghum on output of bioethanol

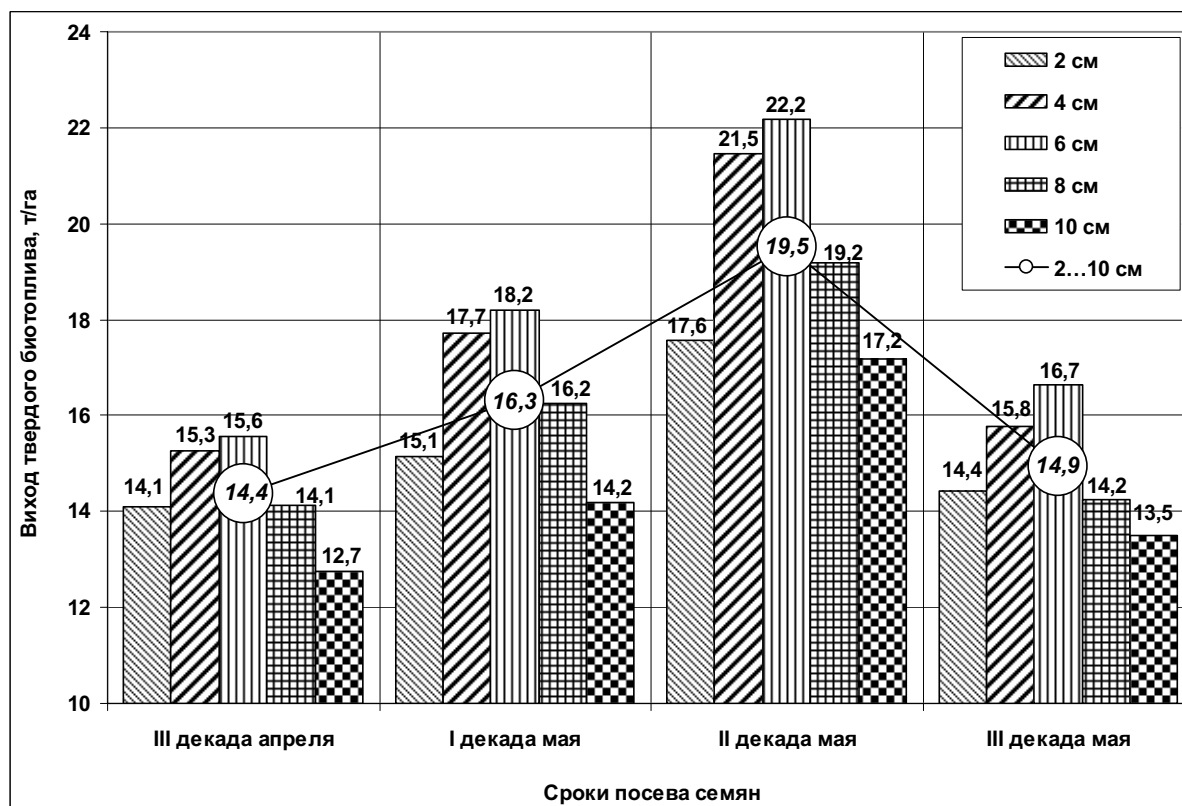


Рис. 5. Влияние сроков сева и глубины заделки семян сахарного сорго на выход твердого биотоплива
 Fig. 5. Effect of planting terms and seeding depth of sugar sorghum on output of biofuels

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ САХАРНОГО СОРГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРОКОВ СЕВА И ГЛУБИНЫ ЗАДЕЛКИ СЕМЯН

Зеленая биомасса сахарного сорго или сорговый силос также является ценным сырьем для производства биогаза. Из 1 тонны зеленой биомассы можно получить до 140 м³ биогаза с содержанием метана (СН₄) более 60%. По результатам расчетов установлено, что в среднем по всем вариантам глубины заделки семян (2, 4, 6, 8 и 10 см) больше биогаза (12,4 тыс.м³/га) можно получить при посеве семян сахарного сорго во II декаде мая (рис. 6). Сев семян на 10 и 20 дней раньше приводила к уменьшению выхода биогаза на 2,0 и 3,3 тыс.м³/га соответственно. Опоздание со сроками сева на 10 дней вызвало уменьшение выхода биогаза на 2,9 тыс.м³/га.

Наибольший расчетный выход биогаза в опыте (14,1 тыс.м³/га) было достигнуто при посеве семян во II декаде мая на глубину 6 см. Отклонение от оптимальной глубины заделки семян приводило к уменьшению выхода биогаза на всех вариантах сроков сева.

Расчет потенциального выхода энергии проводили, исходя из условия, что после удаления сока для производства этанола сухие стебли сахарного сорго используются для производства твердого биотоплива. Таким образом энергии, которые можно получить из биоэтанола и твердого биотоплива - суммируются. Для расчетов принимали, что

теплотворная способность 1 кг биоэтанола составляет 25 МДж/кг, твердого биотоплива – 16 МДж/га.

Для производства биогаза задействуется вся биомасса сахарного сорго, а отходы используются в качестве удобрений, поэтому общий выход энергии в этом случае определяется только энергией, полученной из биогаза. Энергоемкость биогаза (на основе метана) принимали 21 МДж/м³.

Наибольший выход энергии (349 ГДж/га) в среднем по всем срокам сева замечено при глубине заделки семян 6 см и при условии переработки сырья сахарного сорго на биоэтанол и твердое биотопливо (рис. 7). При этом доля энергии в твердом биотопливе составляет 83% и только 17% - в биоэтаноле. В случае переработки сырья сахарного сорго в биогаз, максимальный выход энергии был также при глубине посева семян 6 см и составил 242 ГДж/га, то есть вдвое меньше, чем при производстве биоэтанола и твердого биотоплива.

Наибольший выход энергии получено при посеве семян сахарного сорго во II декаде мая на глубину 6 см. Проведение сева в более ранние или поздние сроки приводило к недобору энергии. Отклонение от оптимальной глубины посева семян также уменьшало расчетный выход энергии.

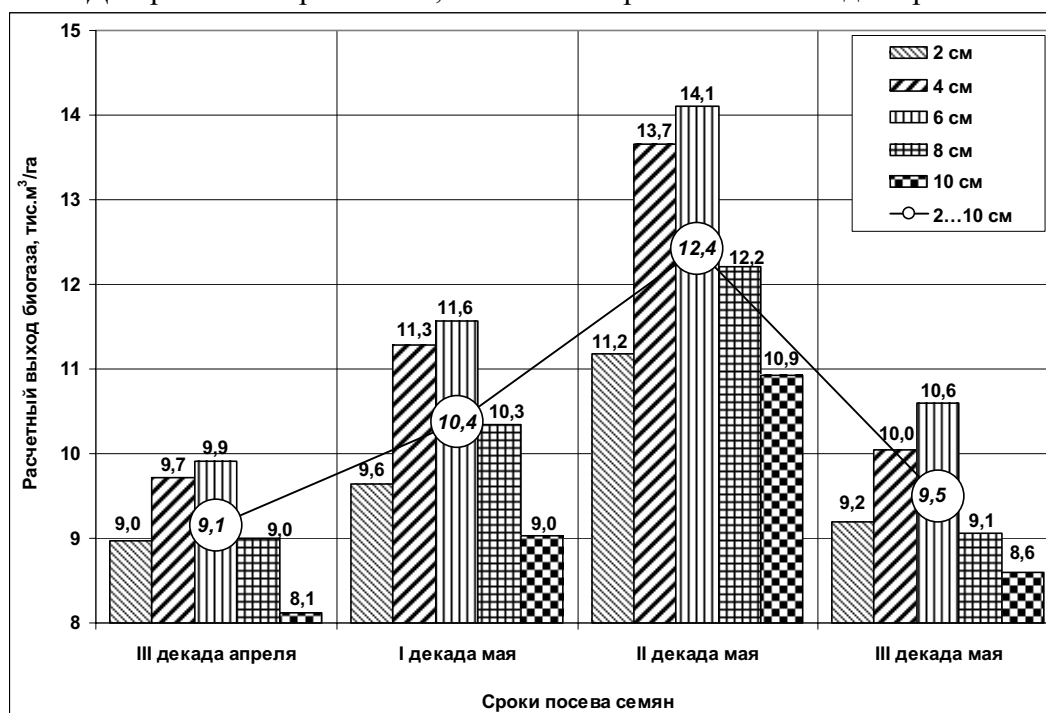


Рис. 6. Влияние сроков сева и глубины заделки семян на потенциальный выход биогаза
Fig. 6. Effect of planting terms and seeding depth of sugar sorghum on output of potential biogas

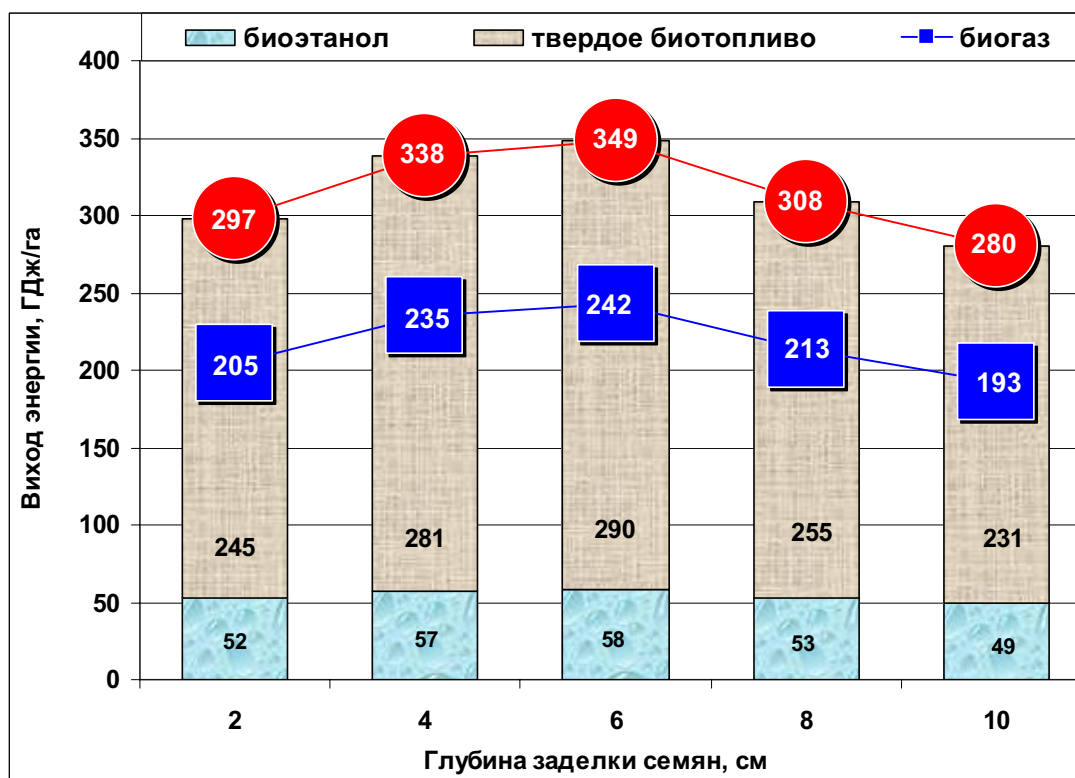


Рис. 7. Влияние глубины заделки семян на выход энергии
Fig.7. Effect of seeding depth on energy output

Исследовав полином второго порядка (рис. 8) методами математического анализа было установлено, что наибольший общий выход энергии с 1 га посевов сахарного сорго достигается посевом семян на глубину 5,5...6,0 см.

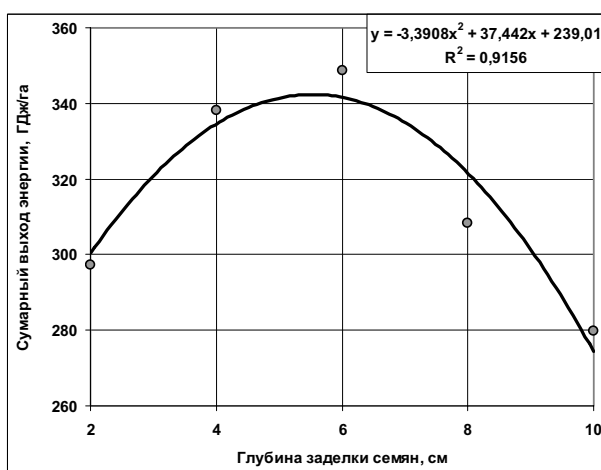


Рис. 8. Оптимизация глубины заделки семян сахарного сорго по общему выходу энергии
Fig. 8. Optimization of the seeding depth sugar sorghum the overall energy

ВЫВОДЫ

Таким образом, высокая продуктивность и наибольший выход энергии от биоэтанола и твердого биотоплива, полученного из единицы площади сахарного сорго сорта Силосное 42 в условиях центральной Лесостепи Украины, достигается при посеве семян во второй декаде мая на глубину 4...6 см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Biomassa spaset mir // Zelenaya ener-getika. – 2004. – № 3. 7 – 9.
2. Buzovs'kyu Ye.A. 2007. Netradytsiyni ponovlyuva'l'ni dzhherela enerhiyi [navchal'no-metodychnyy posibnyk] – K.: NNI PO NAU, 21.
3. Gorpinichenko S.I. 2009. Perspektiviyi proizvodstva bioetanola iz sorgo // Zernovoe hozyaystvo Rossii. — № 4. 27-33.
4. Hanzhenko O.M. – 2012. Tsukrove sorho // The ukrainian Farmer.– №10. 42-44.
5. Hrynyuk I. 2007. Sorho – shche odna syrovyna dlya biopalyva // Ahrosektor. — №4. – 33.
6. Dolgaleva L.D. 1985.Vyigodnoe sorgo // Kukuruza i sorgo. – № 1.15 – 17.
7. Kadyirov S.V. 2008. Sorgo.– Rostov n/D: ZAO «Rostizdat», 80.

8. Kaletnyk H.M. 2008. Rozvytok rynku biopalyva v Ukrayini: monohrafiya. –K.: Ahrarna nauka,– 464.
9. Kurylo V.L. 2011.Vpluv pogodnyh umov na urozhainist sorho tsukrovoho zalezho vid strokiv sivby i glubunu zagortannia nasinnia // Bioenerhetyka: vup. 12. 74 –78
10. Kyrychenko M. 2012. Tsukrove sorho vyhlyadaye dovoli enerhetychnoyu kul'turoyu // Zerno i khlib. — № 4. 61 – 62.
11. Kontsepsiya rozvytku bioenerhetyky v Ukrayini / [H.H. Heletukha, T.A. Zhelyezna, S.V. Tyshaev ta in.]. – In-t teplofizyky NAN Ukrayiny, 2001. – 14.
12. Lipski R. 2006. Energetyczne wykorzystanie biomasy na przykladzie kotlowni opalanej sloma we fromborku i // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 8A. – 202-209.
13. Lungu V. 2009. Rekomendatsii po optimizatsii pitatelnykh rezhimov pochv pri vzdelyivannii saharnogo sorho, prednaznachennogo dlya proizvodstva vozobnovlyajemykh energoresursov – Chisinau: Pontos,. – 36.
14. Moroz O.V. 2013. Sorho tsukrove – yak fitoenerhetychna kul'tura // Ahronom. — № 1. – 204 – 205.
15. Niedziolka I. 2006. Analiza energetyczna wybranych rodzajow biomasy pochodzenia roslinnego // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 8A. – 232-237.
16. Obayan A.S. 2006. Sorho – vyigodnaya kultura. // Zemledelie. — № 4. 31.
17. Royik M.V. 2013. Bioenerhetyka v Ukrayini: stan ta perspektyvy rozvytku // Bioenerhetyka. — №1. 5-10.
18. Skoryy V.M. 2009. Enerhetychni roslyny v Ukrayini. – K.: Feniks, – 224.
19. Storozhyk L.I. 2012. Urozhainist' ta yakist' nasynnya sorho tsukrovoho zalezho vid strokiv sivby i sortovykh osoblyvostey // Ahrobiolohiya. — [vyp. 7]. – 61 – 65.
20. Shepel N.A. 1994. Sorho // Volgograd, – 448.

ENERGY VALUE OF SUGAR SORGHUM DEPENDING ON PLANTING AND SEED- ING DEPTH

Summary. The article deals with the results of the research of the influence of planting terms and seeding depth on the productivity of sugar sorghum, output of bioethanol, the biofuels and energy in the central forest-steppe of Ukraine. It is established that the best energy productivity of sugar sorghum is observed by the planting in mid-May at the seedin g depth of 4-6 cm.

Key words: sugar sorghum, biofuel, ethanol, energy, productivity.