

БІОПРОДУКТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ МІСКАНТУСУ ТА СВІТЧГРАСУ ЗА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ НА ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ НІКОПОЛЬСЬКОГО МАРГАНЦЕВОРУДНОГО РОДОВИЩА

Харитонов М.М.¹, Бабенко М.Г.¹, Мицик О.О.¹, Мартинова Н.В.²

¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет
вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, Дніпро

²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Гагаріна, 72, 49010, Дніпро

Видобуток та переробка марганцевої руди на Покровському гірничо-видобувному комбінаті досі потребують пошуку найкращих рішень створення нових природно-територіальних комплексів із залученням розкритих гірських порід. У статті викладено результати досліджень впливу модельного варіанту технозему на ріст, розвиток і формування врожайності двох трав'янистих біоенергетичних культур – місканту та світчграсу. Лізиметричні дослідження були закладені на Покровській навчально-дослідній станції рекультивациі земель, яка знаходиться в степовій зоні України в період з 2019 по 2021 рр. Проведені чотирирічні дослідження дозволили оцінити динаміку змін надземної біомаси та основних біометричних параметрів біоенергетичних рослин залежно від екологічного об'єму техноземів. У роботі вперше здійснено порівняльний аналіз впливу типу гірської породи на біопродуктивність та морфометричні показники місканту та світчграсу в умовах модельного дослідження. Виявлені найбільш доцільні варіанти простих та складних варіантів рекультивованого профілю. В результаті проведених досліджень встановлено, найбільш розвинутими були рослини місканту, вирощені на червоно-бурій глині, лесоподібному суглинку та технічній суміші. Рослини місканту, що зростали на сіро-зеленій глині, мали найменший приріст. Протягом другого року вирощування рослини додали у ріст (від 30 до 65%) та в кількості пагонів (30–50%). Товщина пагонів слабо змінювалася з віком та більш залежала від едафічних умов зростання. Врожайність рослин місканту третього року коливалася від 6 т/га (на сіро-зеленій глині) до 12,0–12,6 т/га – на технічній суміші та лесоподібному суглинку. Найбільш високорослими виявилися рослини світчграсу, що зростали на червоно-бурому суглинку та сіро-зеленій глині, а найнижчими – рослини на чорноземі. Врожайність трирічних рослин світчграсу сягала від 6,0 т/га до 11,8 т/га (на червоно-бурому суглинку). Вирощування місканту та світчграсу на рекультивованих землях Нікопольського марганцеворудного родовища для виробництва пеллет або біоматеріалів є перспективним напрямком виробництва біосировини. *Ключові слова:* місканту, світчграс, гірські породи, продуктивний потенціал.

Bioproductive potential of miscanthus and switchgrass under the conditions of cultivation on rocks of Nikopol manganese ore deposit. Kharytonov M., Babenko M., Mytsyk O., Martynova N.

Extraction and processing of manganese ore at the Pokrovsky Mining Plant still need to find the best solutions for the creation of new natural and territorial complexes involving overburden rocks. The article presents the results of research on the influence of the model variant of technozem on the growth, development and formation of yields of two herbaceous bioenergy crops – miscanthus and switchgrass. Lysimetric experiments were carried out in the period from 2019 to 2021 at the Pokrovsky education and research station of land reclamation, located in the steppe zone of Ukraine. For the first time, a comparative analysis of the impact of rock type on bioproductivity and morphometric parameters of miscanthus and switchgrass in the model experiment was performed.

The four-year experiments allowed to estimate the dynamics of changes in aboveground biomass and the main biometric parameters of bioenergy plants depending on the ecotopic volume of man-made soils. The most expedient variants of simple and complex variants of the reкультивациі profile are revealed. Miscanthus plants growing on gray-green clay were characterized by the smallest growth. During the second year of cultivation, the plants were added in growth (from 30 to 65%) and in the number of shoots (30–50%). The thickness of the shoots changed slightly with age and depended more on the edaphic conditions of growth. The yield of miscanthus plants in the third year ranged from 6 t/ha (on gray-green clay) to 12.0–12.6 t/ha – on technical mixture and loamy like loess. Plants growing on red-brown loess and gray-green clay turned out to be the tallest and the lowest – plants on black soil. The cultivation of miscanthus and switchgrass on the reclaimed lands of the Nikopol manganese ore deposit for the production of pellets or biomaterials is a promising direction to produce raw material. *Key words:* miscanthus, switchgrass, productive potential.

Постановка проблеми. Швидке виснаження природних ресурсів і деградація навколишнього середовища в усьому світі піднімають питання розробки інноваційних технологій біологічної рекультивациі земель. Видобуток та переробка марганцевої руди на Покровському гірничо-видобувному комбінаті досі потребують пошуку найкращих рішень створення нових природно-територіальних комп-

лексів із залученням розкритих гірських порід. Одним з перспективних напрямків вважається створення плантацій багаторічних трав'янистих культур (місканту та світчграсу) для отримання біосировини для виробництва біопалива та біоматеріалів. Додатковою перевагою цього напрямку є можливість зв'язування потужною кореневою системою таких рослин атомосферного вуглецю, а надземну

біомасу використовувати як біосировину за різними напрямками функціонування галузей у народному господарстві України.

Метою роботи є: дослідження біопродуктивності та біометричних характеристик швидкоростучих трав'янистих культур міскантусу та світчграсу при вирощуванні на різних гірських породах Нікопольського марганцеворудного родовища.

Актуальність дослідження. В умовах сьогодення маргінальні землі можна розглядати як суттєвий ресурс постачання багатой вуглеводними компонентами біосировини, придатної для опалювання об'єктів муніципального значення та виробництва біоволокна, біопластику та біовугілля [1]. Швидкорослі багаторічні трав'янисті культури міскантус та світчграс можуть бути першим вибором для вирощування на малородючих гірських ґрунтах. Однак отримання високих врожаїв біосировини на рекультивованих землях вимагає урахування фізико-хімічних та біологічних властивостей ґрунту [2].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. У країнах, де створена біопаливна промисловість, вихідну сировину, зазвичай, беруть з числа найважливіших сільськогосподарських культур в країні (наприклад, кукурудза в США, ріпак в ЄС, цукрова тростина в Бразилії та олійна пальма в Малайзії та Індонезії). Виробництва біопаливної сировини враховує вітчизняні моделі споживання біопалива (наприклад, етанол у США та Бразилії, біодизель у ЄС). Однак для задоволення зростаючого майбутнього попиту на біопаливо зростає попит до вивчення а спеціалізованих енергетичних культур (світчграс, міскантус тощо). Ретельний добір асортименту рослин та розробка прогресивних технологій їх вирощування для певного типу територій є важливою умовою економічної доцільності вирощування швидкоростучих енергокультур на маргінальних землях. Отже, виробництво біопаливної сировини з використанням багаторічних рослин з низькими вимогами до зростання на техноземах може бути альтернативою за таких умов.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не зовсім дослідженими є вплив різного виду гірських порід на умови зростання та біометричні показники міскантусу та світчграсу на протязі декількох років.

Новизна. У роботі вперше здійснено порівняльний аналіз впливу типу гірської породи на біопродуктивність та морфометричні показники міскантусу та світчграсу в умовах модельного дослідження. Виявлені найбільш доцільні варіанти простих та складних варіантів рекультивованого профілю.

Методологічне або загальнонаукове значення. В умовах Покровської навчально-дослідної станції рекультивації земель ДДАЕУ у 2019 році були закладені багаторічні лізиметричні дослідження з міскантусом

гігантським та світчграсом. Проведені чотирирічні дослідження дозволили оцінити динаміку змін надземної біомаси та основних біометричних параметрів біоенергетичних рослин залежно від екологічного об'єму техноземів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні десятиріччя все більшої популярності набувають два види енергетичних злаків – міскантус (*Miscanthus Anders.*) та світчграс (*Panicum virgatum L.*). Вони характеризуються високою ефективністю фотосинтезу, утриманням вуглецю в ґрунті, невимогливістю до вологозабезпечення та наявності поживних речовин у субстраті [3–5]. Дані характеристики мають добрі передумови для вирощування цих культур на малопродуктивних, техногенно порушених та рекультивованих землях [6–8]. Однак, незважаючи на безсумнівні переваги, врожайність біомаси, ефективність секвестрації вуглецю, адаптаційна пластичність міскантусу та світчграсу значною мірою залежать від сукупності таких факторів, як клімат, фізичні та хімічні характеристики ґрунту, технології вирощування тощо [9–10]. Аналіз існуючих досліджень міскантусу та світчграсу показав, що в умовах достатнього зволоження продуктивність біомаси міскантусу значно вища за світчграс [11–12]. Так, врожайність надземної сухої біомаси міскантусу може сягати 40–60 т/га, тоді як врожайність світчграсу варіює в межах 10–16 т/га. Хоча обидві культури мають майже однакову ефективність поглинання сонячного світла, але міскантус показав більш високі темпи фотосинтезу і був ефективнішим у використанні води та азоту. Однак в умовах сильної нестачі вологи врожайність міскантусу може знижуватися до 13–20 т/га, й різниця у продуктивності скорочується [13–14]. Враховуючи той факт, що розмноження міскантусу можливе тільки вегетативно, вартість закладення ділянок цієї культури відрізками кореневищ досить висока. Рентабельність таких плантацій на малопродуктивних землях може опуститися низькою. В цей же час, вартість закладення плантацій світчграсу насінням значно нижча, що є безсумівною перевагою в умовах нестачі води та поживних речовин [15–16].

Методи дослідження. Методика дослідження передбачала вирощування досліджених культур міскантусу і світчграсу у лізиметрах з різними моделями техноземів: I – лесоподібний суглинок (ЛС), взятий з борта кар'єру (0–150 см); II – технічна суміш порід (ТС), яка складається з лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини, взятих з борта кар'єру (0–150 см); III – червоно-бура глина (ЧБГ), взята з борта кар'єру (0–150 см); IV – сіро-зелена глина (СЗГ), взята з борта кар'єру (0–150 см); V – насипний родючий шар чорнозему (НРШЧ) 0–50 см + сіро-зелена глина (50–150 см); VI – насипний родючий шар чорнозему (Ч+ЧБГ) (0–50 см) + червоно-бура глина (50–150 см); VII – насипний родючий шар чорнозему (Ч+ЛС) 0–50 см +

лесоподібний суглинок (50–100 см); VIII – насипний родючий шар чорнозему (Ч) (0–150 см). Біометричні параметри і продуктивність біомаси визначали наприкінці вегетаційного періоду (друга половина вересня). Висоту рослини вимірювали за допомогою вимірювальної лінійки. Діаметр стебла визначався штангенциркулем на висоті 15 см над поверхнею ґрунту. Підраховувалася також кількість стебел на 1 м². Потім надземну біомасу зрізали на висоті 10 см від поверхні землі і зважували у вологому стані. Вологу біомасу висушували до постійної маси, щоб оцінити вихід надземної сухої речовини. Дані, отримані в проведених експериментах, оброблялися статистичними методами з використанням програмного комплексу StatGraphics Plus при рівні значущості 0,95 % ($p < 0,05$).

Виклад основного матеріалу. Дослід з міскантусом у лізиметричних сосудах показав, що протягом першого року після посадки рослини формують 7–13 ортотропних пагонів висотою 130–160 см. У перший рік життя на гірничих субстратах рослини міскантусу здатні формувати середній врожай сухої надземної біомаси в межах 4–5 т/га. На лесоподібному суглинку та технічній суміші продуктивність найвища й складає 6,4–6,8 т/га. В цей же час, на сіро-зеленій глині врожайність найменша й складає лише 3,3 т/га (рис. 1).

На другий рік життя висота рослин міскантусу збільшується на 10–30%, й починаючи з 3–4-го років становить від 171,5 см до 200 см (рис. 2).

Кількість пагонів у дворічних рослин збільшується у 2–2,5 рази (рис. 3).

У подальшому інтенсивність утворення ортотропних пагонів зменшується й складає у середньому 26–50% на рік. Трирічні дерновини мали від 23–24 пагона на чорноземі з додаванням червоно-бурої та сіро-зеленої глини до 40 пагонів на технічній суміші. На малопродуктивних гірничих субстратах товщина пагонів змінювалася від 7,1 мм (СЗГ) до 8,8–9,5 мм (ЛС та ТС відповідно).

Врожайність надземної сухої біомаси у лізиметрах збільшується з часом і набуває свого макси-

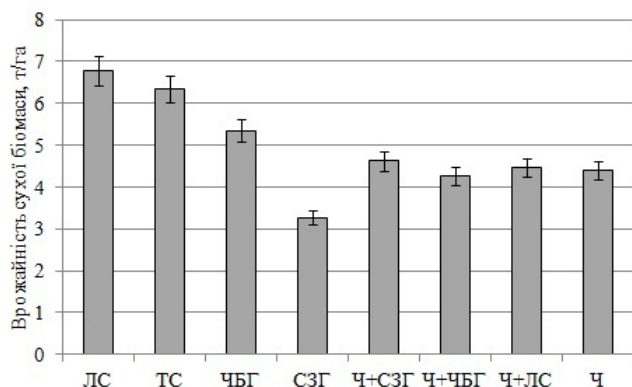


Рис. 1. Врожайність сухої біомаси однорічних рослин міскантусу на гірничих субстратах

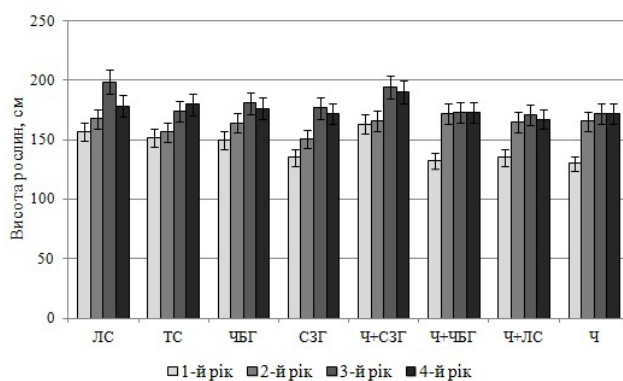


Рис. 2. Висота рослин міскантусу на гірничих субстратах

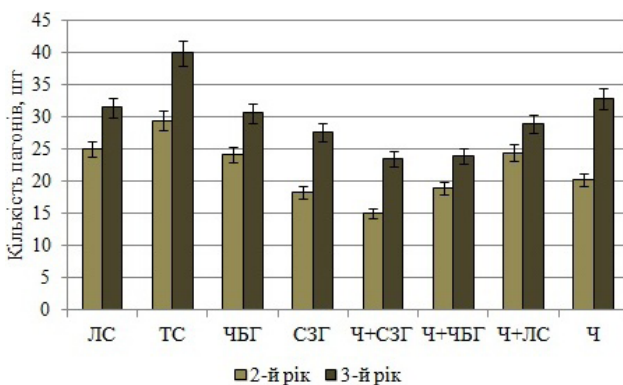


Рис. 3. Кількість пагонів на одній рослині міскантусу, зростаючого на гірничих субстратах

муму на третій-четвертий рік. Залежно від погодних умов, й особливо рівня водозабезпечення, міскантус здатен продукувати на технічній суміші, лесоподібному суглинку та червоно-бурій глині щорічно 10–12,6 тонн сухої біомаси з 1 га (рис. 4). На інших досліджених субстратах врожайність трохи нижча й складає 7,8–9,5 т/га.

Найбільш високими після першого року зростання були рослини вирощені на червоно-бурому суглинку (ЧБС) та сіро-зеленій глині (64,1 та 62,9 см

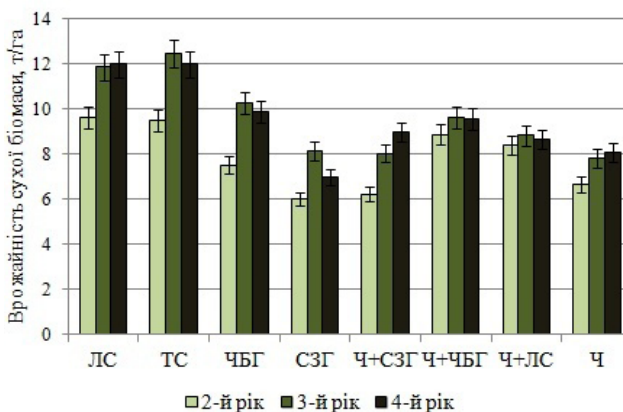


Рис. 4. Врожайність надземної біомаси міскантусу на гірничих субстратах

відповідно), а найнижчими – на чорноземі (рис. 5). Протягом другого року вирощування рослини світчграсу додали у рості від 30 до 65%.

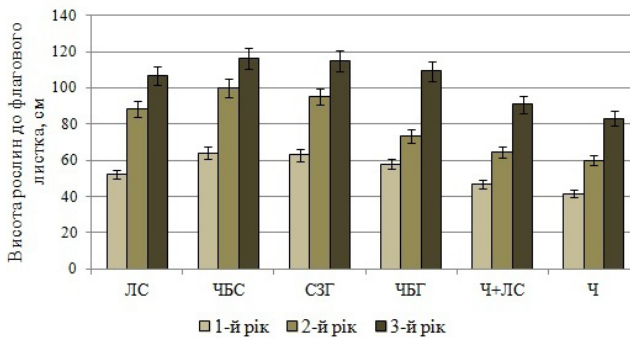


Рис. 5. Висота рослин світчграсу, вирощеного на різних гірничих субстратах

Співвідношення висоти для різних субстратів залишилося таким самим як у попередньому році. Наприкінці третього року вирощування висота світчграсу становила від 83 до 116 см. Найбільш високорослими знову виявилися рослини, що зростали на червоно-бурому суглинку та сіро-зеленій глині, а найнижчими – рослини на чорноземі. Повна висота світчграсу з суцвіттям складала від 117,4 см (Ч+ЛС) до 145,3 см (ЧБС). Врожайність надземної біомаси рослин світчграсу першого року вирощування була низькою й не перевищувала 1,5–2 т/га. Протягом другого року продуктивність збільшилася більш ніж у два рази (рис. 6).

Найбільш продуктивними виявилися рослини, вирощені на червоно-бурому суглинку, майже 6 т/га, найменш продуктивними – на чорноземі та чорноземі з додавання лесоподібного суглинку, лише 2,1 т/га та 2,3 т/га відповідно. Таким чином

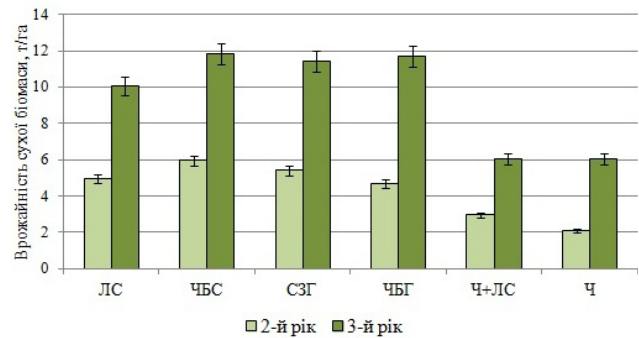


Рис. 6. Врожайність надземної сухої біомаси світчграсу, вирощеного на різних гірничих субстратах

приріст врожайності трирічних рослин склав від 100 до 150%.

Головні висновки. Наприкінці першого року життя найбільш розвинутими були рослини, вирощені на червоно-бурій глині, лесоподібному суглинку та технічній суміші. Найменшим приростом характеризувалися рослини, що зростали на сіро-зеленій глині. Протягом другого року вирощування рослини додали у рості (від 30 до 65%) та в кількості пагонів (30–50%). Товщина пагонів слабо змінювалася з віком та більш залежала від едафічних умов зростання. Врожайність рослин міскантусу третього року коливалась від 6 т/га (на сіро-зеленій глині) до 12,0–12,6 т/га – на технічній суміші та лесоподібному суглинку. Врожайність трирічних рослин світчграсу сягала від 6,0 т/га до 11,8 т/га (на червоно-бурому суглинку).

Перспективи використання результатів досліджень. У подальшому матеріали досліджень можуть бути використані при розробці технологій вирощування міскантусу та світчграсу на окремих гірських породах, або при формуванні штучних дво- або тришарових профілей рекультивованих земель.

Література

- Reddy, N., Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends in biotechnology journal*. Vol. 23(1). 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2004.11.002>
- Kharytonov, M. M., Babenko, M. H., Mytsyk, O. O., Gavryushenko, O. O., Pashova, V. T., Martynova, N. V. (2018). Physical-chemical and biological testing of phytomeliorated rocks of the Pokrov land reclamation station. *Agrology*, 1(3). 300–305. doi: 10.32819/2617-6106.2018.13010
- Dohleman, F.G., Heaton, E.A., Leakey, A.D.B., Long, S.P. (2009). Does greater leaf-level photosynthesis contribute to greater solar energy conversion efficiency in Miscanthus when compared to switchgrass? *Plant, Cell and Environmental*. Vol. 32(11). 1525–1537. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02017.x>
- Ziolkowska, J. R. (2014). Prospective technologies, feedstocks and market innovations for ethanol and biodiesel production in the US. *Biotechnology Reports*. Vol. 4. 94–98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.btre.2014.09.001>
- Nakajima, T., Yamada, T., Anzoua, K., Kokubo, R., Noborio, K. (2018). Carbon sequestration and yield performances of Miscanthus x giganteus and Miscanthus sinensis. *Carbon Management*. Vol. 9(4). 415–423. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1518106>
- Skousen, J., Brown, C. (2014). Establishment and growth of switchgrass and other biomass crops on surface mines. *Journal American Society of Mining and Reclamation*. Vol. 3(1). 136–156. <https://doi.org/10.21000/JASMR14010136>
- Skousen, J., Keene, T., Marra, M., Gutta, B. (2012). Reclamation of mined land with switchgrass, miscanthus, and arundo for biofuel production. *Journal American Society of Mining and Reclamation*. Vol. 2(1). 177–191. <https://doi.org/10.21000/JASMR13010160>
- Ussiri, D.A.N., Guzman, J.G., Lal, R., Somireddy, U. (2019). Bioenergy crop production on reclaimed mine land in the North Appalachian region, USA. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 125. 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.024>
- Boehmel, C., Lewandowski, I., Claupein, W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems*. Vol. 96(1–3). 224–236. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.08.004>

10. Jakovljevic, M., Lilic, N., Kolonja, B., Knehevic, D., Petric, M., Tadic, V., Nedic, M. (2015). Biomass production as renewable energy resource at reclaimed Serbian lignite open-cast mines. *Thermal Science*. Vol. 19(3). 823–835. <https://doi.org/10.2298/TSCI140626014J>
11. Heaton, E.A., Dohleman, F.G., Long, S.P. (2008). Meeting US Biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus. *Global Change Biology*. Vol. 14. 2000–2014. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x>
12. Anderson, E., Arundale, R., Maughan, M., Olandeinde, A., Wycislo, A., Voigt, T. (2011). Growth and agronomy of Miscanthus *Ч giganteus* for biomass production. *Biofuels*. Vol. 2(1). 71–87. <https://doi.org/10.4155/bfs.10.80>
13. Mitchell, R., Vogel, K., Kenneth, P., Uden, D.R. (2012). The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels*. Vol. 3(2). 47–59. <http://digitalcommons.unl.edu/ncfwrustaff/169>
14. Scagline, S., Skousen, J., Griggs, T. (2015). Switchgrass and miscanthus yields on reclaimed surface mines for bioenergy production. *JASMR*. Vol. 4(2). 80–90. <http://doi.org/10.21000/JASMR15020080>
15. Khanna, M., Dhengana, B., Clifton-Brown, J. (2008). Costs of producing miscanthus and switchgrass for bioenergy in Illinois. *Biomass and Bioenergy*. 2008. Vol. 32(6). 482–493. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.11.003>
16. Sadeghpour, A., Hashemi, M., DaCosta, M., Jahanzad, E., Herbert, S. (2014). Switchgrass establishment influenced by cover crop, tillage system, and weed control. *Bioenergy Research*. Vol. 7. 1402–1410. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9485-x>