

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АГРОБІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність 201 «Агрономія»

Допускається до захисту
Зав. кафедри землеробства, агрохімії та
грунтознавства
професор _____ І.Д. Примак
« _____ » _____ 2023 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ВПЛИВ СОРТОВИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ПРУТОВИДНОЇ В УМОВАХ ТОВ «ГРІНЛАЙН АГРОГРУП» ЯРМОЛИНЕЦЬКОГО РАЙОНУ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

Виконав (ла) Коваленко Вадим Валерійович _____
прізвище, імя, по батькові, підпис

Керівник доцент Павліченко А.А. _____
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Рецензент професор Карпук Л.М. _____
вчене звання, прізвище, ініціали підпис

Я, _____ (ПБ здобувача), засвічую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет Агробіотехнологічний
Спеціальність 201 Агрономія**

Затверджую

Гарант ОП «Агрономія»

професор _____ М.Б. Грабовський
« ____ » _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувача**

Коваленко Вадим Валерійович

Тема: Вплив сортових особливостей на продуктивність верби прутувидної в умовах ТОВ «Грінлайн Агрогруп» Ярмолинецького району Хмельницької області

Затверджено наказом ректора № ____ від _____
Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат: до « ____ » _____ 20__ р.
Перелік питань, що розробляються в роботі. Агрохімічний моніторинг дослідної земельної площі, погодно-кліматичні дані (кількість опадів, температура повітря, гідротермічний коефіцієнт, результати лабораторних та польових досліджень, економічні та статистичні звіти господарства)

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	01.09.2022-01.09.2023	виконано
Методична частина	лютий 2022-2023	виконано
Дослідницька частина	квітень-жовтень 2022–2023	виконано
Оформлення роботи	квітень-жовтень 2022-2023	виконано
Перевірка на схожість	I декада листопада 2023	виконано
Подання на рецензування	II декада листопада 2023	виконано
Попередній розгляд на кафедрі	I декада грудня 2023	виконано

Керівник кваліфікаційної роботи

підпис

доцент Павліченко А.А.

вчене звання, прізвище, ініціали

Здобувач

підпис

Кавпеліс В.С.

прізвище, ініціали

Дата отримання завдання « ____ » _____ 20__ р.

АНОТАЦІЯ

Коваленко В.В. «Вплив сортових особливостей на продуктивність верби прутувидної в умовах ТОВ «Грінлайн Агрогруп» Ярмолинецького району Хмельницької області» – на правах рукопису.

Дипломна робота за спеціальністю 201 – «Агрономія», ОС магістр. – Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, 2023.

У результаті досліджень встановлено, що найвищу врожайність в кінці другого циклу вирощування сформував сорт 'Тора' у варіанті з максимальною дозою підживлення N70 – 74,1 т/га , що більше контролю на 13 %, де урожайність становила 65,3 т/га. Сорт 'Тернопільська' виявився менш продуктивним. На варіантах із внесенням мінеральних добрив урожайність плантацій сорту 'Тернопільська' зростала порівняно до контролю без добрив (55,6 т/га) зі збільшенням їх дози на 3,7 та 9,3 т/га відповідно.

Ключові слова: верба прутувидна, підживлення, сорт, урожайність.

ANNOTATION

Kavalenko V.V. "The influence of varietal characteristics on the productivity of willow in the conditions of "Greenline Agrogroun" LLC of the Yarmolynetsky district of the Khmelnytsky region " - copyright of the manuscript.

Diploma thesis in specialty 201 - "Agronomy", EL master. – Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, 2023.

As a result of research, it was established that the highest yield at the end of the second growing cycle was formed by the 'Tora' variety in the version with the maximum dose of N70 fertilization - 74.1 t/ha, which is 13% more than the control, where the yield was 65.3 t/ha. The 'Ternopil'ska' variety turned out to be less productive. On the options with the application of mineral fertilizers, the yield of plantations of the Ternopil'ska variety increased compared to the control without fertilizers (55.6 t/ha) with an increase in their dose by 3.7 and 9.3 t/ha, respectively.

Key words: rod-shaped willow, fertilizing, variety, productivity..

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БІОМАСИ ВЕРБИ	6
1.1. Вплив елементів технології на продуктивність енергетичних плантацій верби прутувидної	6
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	14
2.1. Ґрунти дослідної ділянки	14
2.2. Агрометеорологічні умови в роки досліджень	16
2.3. Методика досліджень	18
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ ДОСЛІДЖУВАНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЇ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВЕРБИ ПРУТОВИНОЇ	20
3.1. Вплив досліджуваних факторів на показники структури енергетичних плантацій	20
3.1.1. Середня висота пагонів енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення азотних добрив	20
3.1.2. Кількість пагонів на енергетичних плантаціях верби залежно від сортових особливостей та доз внесення	26
3.1.3. Середній діаметр пагонів енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив	28
3.2. Чиста продуктивність фотосинтезу рослин енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив	34
3.3. Урожайність біомаси енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив	42
3.4. Якісні показники енергетичних плантацій верби залежно від сортових особливостей та внесення добрив	47
3.4.1. Уміст макроелементів у біомасі верби залежно від сортових особливостей та доз внесення добрив	47
3.4.2. Зольність біомаси верби залежно від сортових особливостей та доз внесення мінеральних добрив	49
3.4.3. Вихід енергії та теплотворна здатність біомаси верби залежно від сортових особливостей та доз внесення добрив	51
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	54
ВИСНОВКИ	56
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abrahamson, L.P., T.A. Volk, R.F. Kopp, E.H. White, and J.L. Ballard. 2002. Willow biomass producer's handbook (Revised). SUNY-ESF, Syracuse, NY.
2. Ache, P., Fromm, J., and Hedrich, R. (2010). Potassium-dependent wood formation in poplar: seasonal aspects and environmental limitations. *Plant Biol.* 12, 259–267. doi: 10.1111/j.1438-8677.2009.00282.x
3. Adegbidi HG, Briggs RD, Volk TA, White EH, Abrahamson LP (2003) Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass Bioenergy* 25(4):389–398
4. Adegbidi HG, Volk TA, White EH, Abrahamson LP, Briggs RD, Bickelhaupt DH (2001) Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenergy* 20(6):399–411
5. Adegbidi HG, Volk TA, White EH, Abrahamson LP, Briggs RD, Bickelhaupt DH (2001) Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenergy* 20(6):399–411
6. Adegbidi, H.G., R.D. Briggs, T.A. Volk, E.H. White, and L.P. Abrahamson. 2003. Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics. *Biomass Bioenerg.* 25:389-398.
7. Alakangas, E., Sauranen, T. & Vesisenaho, T. 1999. Production Techniques of Logging Residue Chips in Finland. Training Manual. ENE39/TOO39/99. AFB- net IV and BENET. 83 p.
8. Alriksson B (1997) Influence of site factors on *Salix* growth with emphasis on nitrogen response under different soil conditions. *Actauniversitatis agriculturae Sueciae, Silvestria*, 46

9. Alriksson, A., and H.M. Eriksson. 1998. Variations in mineral nutrient and C distribution in the soil and vegetation compartments of five temperate tree species in NE Sweden. *For. Ecol. Manage.* 108:261-273.
10. Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system in the EU 27, AEBIOM, 2011.
11. Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system in the EU27, AEBIOM, 2011. <http://ru.scribd.com/doc/73012151/2011-AEBIOM-Annual-Statistical-Report>
12. Aronsson P, Rosenqvist H (2011) Gödslingsrekommendationer för salix 2011 (in Swedish). SLU, Institut för Växtproduktionsekologi, Rapport 23 mars 2011
13. Aronsson P, Rosenqvist H, Dimitriou I (2014) Impact of nitrogen fertilization to short-rotation willow coppice plantations grown in Sweden on yield and economy. *Bioenergy Research*, 7, 993–1001.
14. Aronsson P., Dahlin T, Dimitriou I (2010) Treatment of landfill leachate by irrigation of willow coppice – plant response and treatment efficiency. *Environmental Pollution*, 158, 795–804.
15. Aronsson, P., and K. Perttu. 2001. Willow vegetation filters for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *The For. Chron.* 77:293-299.
16. Attiwill, P.M., and M.A. Adams. 1993. Tansley Review No. 50 Nutrient cycling in forests. *New Phytol.* 124:561-582.
17. Aylott M. J., Casella E., Tubby I. et al. Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-cutting cycle coppice in the UK. *New Phytologist*. Vol. 178, Iss. 2.P. 358–370.doi: 10.1111/j.1469-8137.2008.02396.x
18. B. Caslin J. Finnan, A. McCracken, Short Rotation Coppice Willow Best Practice Guidelines (Teagas AFBI, Belfast, 2010)
19. Bangarwa, K.S.; von Wuehlisch, G. 2009. Using exotic poplar in northern India for higher returns in agroforestry. *Asia-Pacific Agroforestry Newsletter*. 35: 3–5.

20. Bergante S., Facciotto G., Minotta G. (2010): Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of short-rotation-coppices (SRC) in Northern Italy through stepwise regression analysis. *Central European Journal of Biology*, 5: 522–530.
21. Bergkvist, P., Ledin, S., 1998. Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems. *Biomass and Bioenergy* 14, 149-156.
22. Berndes G., Hoogwiczjk M., van der Broek R., 2005. The contribution of biomass in the Future global Energy system: A review of 17 studies. *Biomass Bioenerg.*, 25, 1-28.
23. Borjesson P. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden I: identification and quantification. Biomass and Bioenergy. 1999.Vol. 16, Iss. 2.P. 137–154. doi: 10.1016/S0961-9534(98)00080-4
24. Brereton, N. J. B., Ahmed, F., Sykes, D., Ray, M. J., Shield, I., Karp, A., et al. (2015). X-ray micro-computed tomography in willow reveals tissue patterning of reaction wood and delay in programmed cell death. *BMC Plant Biol.* 15:83. doi: 10.1186/s12870-015-0438-0
25. Campbell S. P., Frair J. L., Gibbs J. P., Volk T. A. Use of short-rotation coppice willow plantations by birds and small mammals in central New York. Biomass and Bioenergy. 2012. Vol. 47. P. 342–353. doi: 10.1016/j.biombioe.2012.09.026
26. Caputo J., Balogh S. B., Volk T A.etal. Incorporating Uncertainty into a Life Cycle Assessment (LCA) Model of Short-Rotation Willow Biomass (Salix spp.) Crops.BioEnergy Research.2014. Vol. 7, Iss. 1. P. 48–59.doi: 10.1007/s12155-013-9347-y
27. Christersson L (1986) High Technology Biomass Production by Salix Clones on a Sandy Soil in Southern Sweden. *Tree Physiology* 2: 261-277.
28. Connor D. J., Hernandez C. G. Crops for Biofuel: Current Status and Prospects for the Future. *Biofuels: Environmental Consequences and Interactions*

with Changing Land Use/ R. W. Howarth, S. Bringezu (eds). Ithaca, NY : Scientific Committee on Problems of the Environment, Cornell University, 2009.P. 65–80.

29. Danfors B, Ledin S, Rosenqvist H (1997) Short Rotation Willow Coppice-Growers Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering. JTI-informerar No. 1, pp.40.

30. Djomo S.N., Ac A., Zenone A., De Groote T., Bergante S., Facciotto G., Sixto H., Ciria Ciria P., Weger J., Ceulemans R. (2015): Energy performances of intensive and extensive short rotation cropping systems for woody biomass production in the EU. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 845–854.

31. Encyclopedia.com. 2000. Homepage, www.encyclopedia.com. Energy in Europe — European Energy to 2023 — A scenario approach, Special issues — Spring 1996. European Commission, Directorate General for Energy (DG XVII). 209 p.
Energy in Europe. 1998. Annual Energy Review -Special issue — December 1998, European Commission 195 p.

32. Ericsson T (1994) Nutrient cycling in energy forest plantations. *Biomass and Bioenergy*, 6, 115–121.

33. Ericsson T, Rytter L, Linder S (1992) Nutritional dynamics and requirements of short rotation forests. In: *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops* (eds Mitchell CP, Ford-Robertson JB, Hinckley TM, Sennerby-Forsse L), pp. 32–65. Elsevier Applied Science, London, UK.

34. European Bioenergy Outlook. AEBIOM, 2013
<http://www.aebiom.org/blog/aebiom-statistical-report-2013/>

35. FINBIO. 1998. Quality Assurance Manual for Recovered Fuels (REF/RF). For Test Use. Finnish Bioenergy Association. Publications. 28 p. Jyvaskyla, Finland. Finnish Forest Industries Federation. 1999. Facts and Figures. Statistics 1998. Helsinki 51 1999. Paino

36. Fromm, J. (2010). Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Tree Physiol.* 30, 1140–1147. doi: 10.1093/treephys/tpq024
genotypes with differing biomass composition for biofuel production. *Front.*

37. Goel, V. L., and Behl, H. M. (1996). Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. *Biomass Bioenergy* 10, 57–61. doi: 10.1016/0961-9534(95)00053-4
38. Goglio, P. and P.M.O. Owende. 2009. A screening LCA of short rotation coppice willow (*Salix* sp.) feedstock production system for small-scale electricity generation. *Biosys. Engineer.*103: 389-394.
39. GUS, 2009. Energy from Renewable Sources in 2008. Information and Statistics. GUS, Warsaw.
40. Hakkila, P. & Fredriksson, T. 1996. Metsamme bioenergian lahtena. Metsantutkimuslaitosja Puuenergiary. Metsantutkimuslaitoksen tiedonantoja 613. 92s. The Finnish Forest Research Institute.
41. Hangs RD, Schoenau JJ, Van Rees KCJ, Belanger N, Volk T (2014a) Leaf litter decomposition and nutrient-release characteristics of several willow varieties within short-rotation coppice plantations in Saskatchewan, Canada. *Bioenergy Research*, 7, 1074–1090.
42. Hangs RD, Schoenau JJ, Van Rees KCJ, Knight JD (2012) The effect of irrigation on nitrogen uptake and use efficiency of two willow (*Salix* spp.) biomass energy varieties. *Canadian Journal of Plant Science*, 92, 563–575.
43. Hangs, R.D., J.D. Knight, and K.C.J. Van Rees. 2003. Nitrogen accumulation by conifer seedlings and competitor species from 15Nitrogen-labeled controlled-release fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 300-308.
44. Hangs, R.D., J.J. Schoenau, and K.C.J. Van Rees. 2012. A novel pre-treatment for rapidly separating willow roots from high clay content soil. *Biomass Bioenerg.* 46: 793-800.
45. Hangs, R.D., J.J. Schoenau, K.C.J. Van Rees, and H. Steppuhn. 2011. Examining the salt tolerance of willow (*Salix* spp.) bioenergy species for use on salt-affected agricultural lands. *Can. J. Plant Sci.* 91: 509-517.

46. Hangs, R.D., K.J. Greer, and C.A. Sulewski. 2004. The effect of interspecific competition on conifer seedling growth and nitrogen availability measured using ion-exchange membranes. Can. J. For. Res. 34: 754-761.
47. Heller, M.C., G.A. Keoleian, and T.A. Volk. 2003. Life cycle assessment of a willow bioenergy cropping system. *Biomass Bioenerg.* 25:147-16
48. <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/lr.1011.enerhetychna-ocinka-tehnolohiyi-vyroshchuvannja-silskohospodarskyh-polovyh-kultur.pdf>
49. <https://www.researchgate.net/publication/324000579>
50. Hunter T., Royle D. J., Arnold G. M. Variation in the occurrence of rust (*Melampsora* spp.) and other diseases and pests, in short-rotation coppice plantations of *Salix* in the British Isles. *Annals of Applied Biology.* 1996. Vol. 129, Iss. 1. P. 1–12. doi: 10.1111/j.1744-7348.1996.tb05726.x
51. Hytönen J. Suitability of various phosphorus and nitrogen fertilizers for fertilizing willow stands on cutover peatlands. // *Bioenergy 84: Prac. Int. Conf., Goteborg (15–21 June, 1984). – London, 1985. – Vol. 2. – P. 114–118*
52. Hytönen J. Ten-year biomass production and stand structure of *Salix* ‘aquatica’ energy forest plantation in Southern Finland. *Biomass and Bioenergy.* 1995. Vol. 8, Iss. 2. P. 63–71. doi: 10.1016/0961-9534(95)00003-P
53. Hytönen J., Kaunisto S. Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy.* 1999. Vol. 17, Iss. 6. P. 455–469. doi: 10.1016/S0961-9534(99)00061-6
54. Hytönen J., Saarsalmi A., Rossi P. Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. *Silva Fennica.* 1995. Vol. 29, Iss. 2. P. 117–139. doi: 10.14214/sf.a9202
55. Karlen D. L., Volk T. A., Abrahamson L. P. et al. Development and Deployment of Willow Biomass Crops. *Cellulosic Energy Cropping Systems*/D. L. Karlen (ed.).

56. Keoleian G. A., Volk T. A. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. Critical Reviews in Plant Sciences. Vol. 24, Iss. 5–6. P. 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334

57. Keoleian G. A., Volk T. A. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. Critical Reviews in Plant Sciences. Vol. 24, Iss. 5–6. P. 385–406. doi: 10.1080/07352680500316334

58. Khanna, P.H., and B. Ulrich. 1984. Soil characteristics influencing nutrient supply in forest soils. p. 79-117. In G.D. Bowen, and E.K.S. Nambiar (ed.) Nutrition of plantation forests Academic Press, New York.

59. Kim, S., and B.E. Dale. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. Biomass Bioenerg. 29:426-439.

60. Kopp R. F., Smart L. B., Maynard C. A. et al. The development of improved willow clones for eastern North America. The Forestry Chronicle. 2001. Vol. 77, Iss. 2. P. 287–292. doi: 10.5558/tfc77287-2

61. Kopp RF, Abrahamson LP, White EH, Volk TA, Nowak CA, Fillhart RC (2001) Willow biomass production during ten successive annual harvests. Biomass Bioenergy 20(1):1–7

62. Kopp RF, Smart LB, Maynard CA, Isebrands JG, Tuskan GA, Abrahamson LP (2001) The Development of Improved Willow Clones for Eastern North America. The forestry chronicle 77: 287-292.

63. Kopp, R.F., Abrahamson, L.P., White, E.H., Burns, K.F., Nowak, C.A., 1997. Cutting cycle and spacing effects on biomass production by a willow clone in New York. Biomass and Bioenergy 12, 313-319.

64. Krasuska E., Rosenqvist H. Economics of energy crops in Poland today and in the future. Biomass and Bioenergy. 2011. Vol. 38. P. 23–33. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.09.011

65. Kulig B., Gacek E., Wojciechowski R., Oleksy A., Kołodziejczyk M., Szewczyk W., Klimek-Kopyra A. (2022): Biomass yield and energy efficiency of willow depending on cultivar, harvesting frequency and planting density. *Plant Soil Environ.*, p65.

66. Kulig B., Gacek E., Wojciechowski R., Oleksy A., Kołodziejczyk M., Szewczyk W., Klimek-Kopyra A. (2022): Biomass yield and energy efficiency of willow depending on cultivar, harvesting frequency and planting density. *Plant Soil Environ.*, 65.

67. Kumar P.B.A.N., Dushenkov V., Motto H., Raskin I. (1995). Phytoextractionthe use of plants to remove heavy metals from soils. *Environ. Sci. Technol.*, 29, (5), pp. (1232-1238), ISSN:0013-936X.

68. L. Styszko, D. Fijałkowska, *Progress in Plant Protection* 55, 4, 488–493 (2015)

69. Labrecque M, Teodorescu TI (2001) Influence of plantation site and wastewater sludge fertilization on the performance and foliar nutrient status of two willow species grown under SRIC in southern Quebec (Canada). *Forest Ecol Manage* 150(3):223–239

70. Labrecque M, Teodorescu TI, Daigle S (1997) Biomass productivity and wood energy of *Salix* species after 2 years growth in SRIC fertilizedwith wastewater sludge. *Biomass Bioenergy* 12(6):409–417

71. Labrecque M, Teodorescu TI, Daigle S (1998) Early performance and nutrition of two willow species in short-rotation intensive culture fertilized with wastewater sludge and impact on the soil characteristics. *Can J For Res Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 28(11):1621–1635

72. Labrecque M., Teodorescu T. I., Cogliastro A., Daigle S. Growth patterns and biomass productivity of two *Salix* species grown under short-rotation intensive culture in southern Quebec. *Biomass and Bioenergy*. 1993. Vol. 4, Iss. 6. P. 419–425. doi: 10.1016/0961-9534(93)90063-A

73. Ledin, S., and E. Willebrand. (eds.) 1995. Handbook on how to grow short rotation forests. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden
74. Lenny van Bussel/ The potential contribution of a shortrotation willow plantation to mitigate climate change AV 2006_23
75. Lewandowski I., Kicherer A. Combustion Quality of Biomass: Practical Relevance and Experiments to Modify the Biomass Quality of Miscanthus × giganteus. European Journal of Agronomy. 1997. Vol. 6, Iss. 3–4.P. 163–177. doi: 10.1016/s1161-0301(96)02044-8
76. Lindroth A., Bath A. Assessment of regional willow coppice yield in Sweden on basis of water availability. Forest Ecology and Management. Vol. 121, Iss. 1–2.P. 57–65. doi: 10.1016/S0378-1127(98)00556-8
77. M.J. Bullard, S.J. Mustil, S.D. McMillan, P.M.I. Nixon, P. Carver, C.P. Britt, Biomass Bioenergy 22, 15–25 (2002)
78. Major J. E., Mosseler A., Malcolm J. W. Salix species variation in leaf gas exchange, sodium, and nutrient parameters at three levels of salinity. Canadian Journal of Forest Research. 2017. Vol. 47, Iss. 8. P. 1045–1055. doi: 10.1139/cjfr-2017-0028
79. Makkonen H.P., Granzow S.G., Cheshire E.S. (2000): Kraft pulp from plantation grown biomass willow. In: Proceeding of the 3rd Biennial Conference, Short Rotation Woody Crops. New York, Operations Working Group, Syracuse, 11.
80. Mann J. Comparison of Yield, Calorific Value and Ash Content in Woody and Herbaceous Biomass used for Bioenergy Production in Southern Ontario, Canada. A Thesis Presented to The University of Guelph In partial fulfilment of requirements for the degree of Master of Science in Environmental Science.
81. Mansfield, S. D., and Weineisen, H. (2007). Wood fibre quality and kraft pulping efficiencies of trembling Aspen (*Populus tremuloides* Michx) clones. J. Wood Chem. Technol. 27, 135–151. doi: 10.1080/02773810701700786
82. McCracken A. R., Dawson W. M. Interaction of willow (*Salix*) clones growing in mixtures. Tests of Agrochemicals and Cultivars. 1998. No. 14. P. 54–55.

83. McCracken A. R., Dawson W. M. Interaction of willow (*Salix*) clones growing in mixtures. *Tests of Agrochemicals and Cultivars*. 1998. No. 14. P. 54–55.
84. McCracken A. R., Walsh L., Moore P. J. et al. Yield of willow (*Salix* spp.) grown in short rotation coppice mixtures in a long-term trial. *Annals of Applied Biology*. 2011. Vol. 159, Iss. 2. P. 229–243. doi: 10.1111/j.1744-7348.2011.00488.x
85. Mirck, J., J.G. Isebrands, T. Verwijst, and S. Ledin. 2005. Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. *Biomass Bioenerg.* 28:219-228.
86. Mitchell CP, Ford-Robertson JB, Hinckley T, Sennerby-Forsse L (Editors) (1992) *Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops*. Elsevier, London.
87. Mola Yudego B, Aronsson P (2008) Yield Models for Commercial Willow Biomass Plantations in Sweden. *Biomass & bioenergy* 32: 829-837
88. Mola-Yudego B. Regional potential yields of short cutting cycle willow plantations on agricultural land in Northern Europe. *Silva Fennica*. 2010.Vol. 44, Iss. 1.P. 63–76.
89. Mola-Yudego B., Aronsson P. Yield models for commercial willow biomass plantations in Sweden. *Biomass and Bioenergy*.Vol. 32, Iss. 9. P. 829–837.doi: 10.1016/j.biombioe.2008.01.002
90. Mortensen J, Nielsen KH, Jorgensen U (1998) Nitrate leaching during establishment of willow (*Salix viminalis*) on two soil types and at two fertilization levels. *Biomass Bioenergy* 15(6): 457–466
91. Mosseler A., Major J. E. Coppice growth responses of two North American willows in acidic clay soils on coal mine overburden. *Canadian Journal of Plant Science*. Vol. 94, Iss. 7. P. 1269–1279. doi: 10.1139/CJPS-2014-046
92. Mosseler A., Major J. E. Coppice growth responses of two North American willows in acidic clay soils on coal mine overburden. *Canadian Journal of Plant Science*. Vol. 94, Iss. 7. P. 1269–1279. doi: 10.1139/CJPS-2014-046
93. Mosseler A., Major J. E., Labrecque M., Larocque G. R. Allometric relationships in coppice biomass production for two North American willows (*Salix*

spp.) across three different sites. Forest Ecology and Management. 2014. Vol. 320. P. 190–196. doi: 10.1016/j.foreco.2014.02.027

94. Mosseler A., Major J. E., Labrecque M., Larocque G. R. Allometric relationships in coppice biomass production for two North American willows (Salix spp.) across three different sites. Forest Ecology and Management. 2014. Vol. 320. P. 190–196. doi: 10.1016/j.foreco.2014.02.027

95. Mosseler A., Zsuffa L., Stoehr M. U., Kenney W. A. Variation in biomass production, moisture content, and specific gravity in some North American willows (Salix L.). Canadian Journal of Forest Research. 1988. Vol. 18, Iss. 12. P. 1535–1540. doi: 10.1139/x88-235

96. Nissim W. G., Pitre F. E., Teodorescu T. I., Labrecque M. Long-term biomass productivity of willow bioenergy plantations maintained in southern Quebec, Canada. Biomass and Bioenergy. 2013. Vol. 56. P. 361–369. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.05.020

97. Nissim W. G., Pitre F. E., Teodorescu T. I., Labrecque M. Long-term biomass productivity of willow bioenergy plantations maintained in southern Quebec, Canada. Biomass and Bioenergy. 2013. Vol. 56. P. 361–369. doi: 10.1016/j.biombioe.2013.05.020

98. Nissim W.G., Lafleur B., Labrecque M. (2021): The performance of five willow cultivars under different pedoclimatic conditions and rotation cycles. Forests, 9: 349.

99. № 5. – C. 48-57.

100. Owoc D., Walczyk J. (2013): Use of energy willow for the production of energy in the podkarpackie province. Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria, 12: 37–44.

101. Pacaldo, R.S., T.A. Volk, and R.D. Briggs. 2011. Carbon balance in short rotation willow (Salix dasyclados) biomass crop across a 20-year chronosequence as affected by continuous production and tear-out treatments. Asp. Appl. Biol. : 131-138.

102. Pacaldo, R.S., T.A. Volk, and R.D. Briggs. 2013. Greenhouse gas potentials of shrub willow biomass crops based on below- and above-ground biomass inventory along a 19-year chronosequence. *Bioenerg. Res.* 6: 252-262.

103. Parfitt R. I., Stott K. G. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels on the productivity of 13 willow clones. *Biomass Energy and Industry : Proc. Int.*

Paukkonen K., Kauppi A., Ferm A. Origin, Structure and Shoot-Formation Ability of Buds in Cutting-Origin Stools of *Salix* 'Aquatika'. *Flora.* 1992. Vol. 186, Iss. 1–2. P. 53–65. doi: 10.1016/S0367-2530(17)30520-0

104. Pei M. H., Hunter T., Ruiz C. Occurrence of *Melampsora* rusts in biomass willow plantations for renewable energy in the United Kingdom. *Biomass and Bioenergy.* 1999. Vol. 17, Iss. 2. P. 153–163. doi: 10.1016/S0961-9534(99)00038-0

105. Pei M. H., Hunter T., Ruiz C. Occurrence of *Melampsora rusts* in biomass willow plantations for renewable energy in the United Kingdom. *Biomass and Bioenergy.* 1999. Vol. 17, Iss. 2. P. 153–163. doi: 10.1016/S0961-9534(99)00038-0

Plant Sci. 4:57. doi: 10.3389/fpls.2013.00057

106. Quaye AK, Volk TA, Hafner S, Leopold DJ, Schirmer C (2011) Impacts of paper sludge and manure on soil and biomass production of willow. *Biomass Bioenergy* 35(7):2796–2806

107. Ranger, J., and C. Nys. 1996. Biomass and nutrient content of extensively and intensively managed coppice stands. *Forestry* 69:91-110.

108. S. Szczukowski, J. Tworkowski, *Post. Nauk Rol.* 2, 29–38 (2001)

109. Sennerby-Forsse L (1986) *Handbook for Energy Forestry*, pp. 29. Swedish University of Agricultural Sciences, SEF, Uppsala, Sweden

110. Sennerby-Forsse L., Zsuffa L. Bud structure and resprouting in coppiced stools of *Salix viminalis* L., *S. eriocephala* Michx., and *S. amygdaloides* Anders. *Trees.* 1995. Vol. 9, Iss. 4. P. 224–234. doi: 10.1007/BF00195277

111. Serapiglia, M. J., Humiston, M. C., Xu, H., Hogsett, D. A., deOrduña, R. M.,
112. Sevel L, Nord-Larsen T, Ingerslev M, Jørgensen U, Raulund-Rasmussen K (2014) Fertilization of SRC willow, I: biomass production response. *Bioenergy Research*, 7, 319–328.
113. Shaul, O. (2002). Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Biometals* 15, 309–323. doi: 10.1023/A:1016091118585
114. Simon L., Szabó B., Szabó M., Varga C., Vincze G., 2011aImpact of fertilization on the mineral nutrition and yield of *Salix triandra* x *Salix viminalis* and *Robinia pseudoacacia* L. bioenergy crops. Article in *Agrokémia és Talajtan* · June 2021. 1–91.
115. Simon M, Zsuffa L, Burgess D (1990) Variation in N, P, and K status and N efficiency in some North American willows. *Canadian Journal of Forest Research*, 20,1888–1893
116. Smaliukas D., Noreika R., Puida E. (2008): Evaluation of morphobiological, biomass and energetic characteristics of *Salix viminalis* L.
117. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A. (2013): Yield, energy parameters and chemical composition of short-rotation willow biomass. *Industrial Crops and Products*, 46: 60–65.
118. Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M., Załuski D. (2017): Willow biomass and cuttings' production potential over ten successive annual harvests. *Biomass and Bioenergy*, 105: 230–247.
119. Vokalchuk B. Influence of nitrogen on photosynthetic activity and biomass productivity of energy willow. *Journal of science. Lyon. №26. 2021. P. 3–6.*
120. Volk T. A., Abrahamson L. P., Nowak C. A. et al. The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol. 30, Iss. 8–9. P. 715–727. doi: 10.1016/j.biombioe.2006.03.001

121. Volk T. A., Berguson B., Daly C. et al. Poplar and shrub willow energy crops in the United States: field trial results from the multiyear regional feedstock partnership and yield potential maps based on the PRISM-ELM model. *Global Change Biology Bioenergy*. 2021. Vol. 10, Iss. 10. P. 735–751. doi: 10.1111/gcbb.12498
122. Volk T. A., Heavey J. P., Eisenbies M. H. Advances in shrub-willow crops for bioenergy, renewable products, and environmental benefits. *Food, Energy and Security*. 2016. Vol. 5, Iss. 2. P. 97–106. doi: 10.1002/fes3.82
123. Volk T. A., Verwijst T., Tharakan P. J. et al. Growing energy: assessing the sustainability of willow short-rotation woody crops. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol. 2. P. 411–418.
124. Volk, T.A., T. Verwijst, P.J. Tharakan, L.P. Abrahamson, and E.H. White. 2004. Growing fuel: a sustainability assessment of willow biomass crops. *Front. Ecol. Environ.* 2:411-418.
125. WBA Global Bioenergy Statistics 2014p 4-7
126. Weger J., Havlíčková K., Bubeník J. Results of testing of native willows and poplars for short rotation coppice after three harvests. *Aspects of Applied Biology*. 2011. No. 112. P. 335–340.
127. Weih M., Bonosi L., (2011) Ghelardini Optimizing nitrogen economy under drought: increased leaf nitrogen is an acclimation to water stress in willow (*Salix spp.*) *Annals of Botany* 108: 1347–1353
128. White, P. J., and Karley, A. J. (2010). “Potassium,” in *Plant Cell Monographs Cell Biology of Metals and Nutrients*, eds R. Hell and R. -R. Mendel (Dordrecht:Springer), 199–224
129. *Willow Varietal Identification Guide* / B. Caslin, J. Finnan, A. McCracken (eds) / Crops Research Centre, Carlow & Agri-Food Bioscience Institute. – Carlow, Ireland : Teagasc, 2012. – 64
130. www.researchgate.net/publication/263610023