



УДК 630.812+035.31

О.Н. Тюкавина, С.А. Покрышкин

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОСТИ ТОПОЛЯ БАЛЬЗАМИЧЕСКОГО
К КСИЛОТРОФНЫМ БАЗИДИОМИЦЕТАМ

О.Н. Tyukavina, S.A. Pokryshkin

BIOLOGICAL BASIS OF A BALSAM POPLAR RESISTANCE TO XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES

Тюкавина О.Н. – канд. с.-х. наук, доц. каф. биологии, экологии и биотехнологии Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: olga-tukavina@yandex.ru

Покрышкин С.А. – науч. сотр. ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск. E-mail: serge.physchem@yandex.ru

Tyukavina O.N. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Biology, Ecology and Biotechnology, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: olga-tukavina@yandex.ru

Pokryshkin S.A. – Staff Scientist, CCU RE "Arctic", Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk. E-mail: serge.physchem@yandex.ru

Целью данной работы является выявление биологических основ устойчивости тополя бальзамического к дереворазрушающим грибам. В насаждениях г. Архангельска методами индивидуального перечета и маршрутными ходами определяли санитарно-патологическое состояние тополя бальзамического. Для оценки анатомических характеристик древесины и отбора проб для анализа содержания фенольных соединений на высоте ствола 1,3 м с северной стороны брали керны приростным буром, при этом учитывали интенсивность выделения воды из отверстия и погодные условия. Измерение гистологических элементов и видеофиксацию проводили с помощью микроскопа AxioScore. A1 и программного обеспечения Image-ProInsight. Фенольные соединения в древесине выявляли на газовом хроматомаксиметре GC-MSQP2010Plus (Shimadzu). Плодовые тела грибов на стволах тополя бальзамического встречены только на деревьях, кронированных «на столб», и перестойных деревьях. Из них только ложный

трутовик (*Phellinus igniarius* (Fr.)Quel.) способен длительно паразитировать в древесине растущих деревьев, распространяясь по сердцевинным лучам и проникая в ближайшие клетки либриформа. Защитной реакцией деревьев на присутствие гиф гриба в древесине является повышенная влажность в центральной зоне ствола. Вода в центральной части ствола не является физиологически активной и поступает за счет радиального перемещения, причем в солнечный летний день под давлением. Другим направлением защиты дерева на присутствие гиф гриба являются фенольные соединения. Сиреневый альдегид, ванилиновая кислота, кониферилловый альдегид встречаются только в заболони. П-Крезол отмечается в центральной зоне ствола, характеризующейся повышенной влажностью древесины.

Ключевые слова: тополь бальзамический, заболонь, фенольные соединения, гифы грибов.

*The purpose of the study was the identification of biological bases of stability of a poplar balsam to tree-destroying mycete. In plantings of Arkhangelsk using individual account and route account pathological and sanitary conditions of trees of balsam poplar were registered. To evaluate anatomic characteristics of timber cores samples were extracted using increment borer at the height of 1.3 meters on the north side of the tree with considering weather conditions and the intensity of water discharge out of the hole. Histological elements and video fixation were measured by means of the microscope AxioScope A1 and software of Image-ProInsight. Phenolic connections in timber revealed on gas chromatomass-spectrometer of GC-MSQP2010Plus (Shimadzu). Fruiting bodies of fungi were only found on the trunks of old and topped trees. From them only Willow bracket (*Phellinusignarius* (Fr.) Quel.) in the fungus family of *Hymenochaetaceae* was able to parasitize for a long time in the timber of growing trees, extending on core beams and getting into the closest cells of libriform. Protective reaction of trees to presence of hyphas of fungi in timber is the increased humidity in the central zone of the trunk. Water in central part of the trunk is not physiologically active and comes due to radial movement and sunny summer day under pressure. Another defensive reaction of the tree to the presence of fungal hyphae in timber is to produce phenolic compounds. Syringaldehyde, Vanillic acid, Coniferyl aldehyde were found only in the sapwood. P-cresol was noted in central zone of the trunk characterized by increased humidity of timber.*

Keywords: *balsam poplar, sapwood, phenol compounds, fungal hyphas.*

Введение. При озеленении северных городов широко используются тополя. Снижение представленности тополей на улицах Архангельска связано с буреломом в результате штормовых порывов ветров, кронированием деревьев способом «на столб», естественным старением деревьев. По последним причинам происходит заселение деревьев ксилотрофными базидиомицетами. В остальных случаях тополь бальзамический проявляет высокую жизнеспособность и устойчивость к грибным болезням. Устойчивость деревьев к ксилотрофным базидиомицетам связана с особенностью анатомического строения древесины, физиологических процессов [1], химических реакций, происходящих в дереве [2].

Выявление механизмов устойчивости тополя к дереворазрушающим грибам позволит оптимизировать систему ухода за тополем в условиях города, выведение устойчивых к болезням гибридных сортов и трансгенных видов тополей [3, 4].

Цель исследования. Выявление биологических основ устойчивости тополя бальзамического к дереворазрушающим грибам.

Задачи исследования: оценить состояние тополей в насаждениях г. Архангельска, изучить видовой состав дереворазрушающих грибов, выявить присутствие гиф гриба и фенольные соединения в древесине тополя.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили методами индивидуального перечета и маршрутными ходами в насаждениях г. Архангельска: парк за магазином «Сигма», Сквер за Молодежным театром, Сквер за театром Драмы, рядовые посадки вдоль Ленинградского проспекта, Троицкого проспекта, ул. Гагарина, ул. Менделеева. Всего обследовано 870 деревьев. Оценивали санитарно-патологическое состояние, морфологические характеристики, наличие и тип кронирования. Плодовые тела дереворазрушающих грибов идентифицировали по ряду определителей [5–7].

На каждом объекте подбирали от 10 до 15 модельных деревьев, относящихся к следующим категориям: некронированные, кронирование «на вилку», кронирование «на столб», с плодовым телом. Для оценки анатомических характеристик древесины и отбора проб для анализа содержания фенольных соединений на высоте ствола 1,3 м с северной стороны брали керны приростным буровом, при этом учитывали интенсивность выделения воды из отверстия и погодные условия.

При изучении анатомических характеристик древесины тополя делали поперечные, радиальные и тангентальные срезы с помощью микротомы. Измерение гистологических элементов и видеофиксацию проводили с помощью микроскопа AxioScope. A1 и программного обеспечения Image-ProInsight при увеличении в 1000 раз.

Работа по выявлению фенольных соединений в древесине тополя выполнена на оборудо-

вании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова). Образцы для анализа представляли собой древесные опилки из заболони, центральной зоны, гнилой древесины (15 модельных деревьев). Для проведения экстракции к навеске образца ($0,85 \pm 0,02$ г) древесины прибавлялось 3 мл экстрагента (этилацетат). Для проведения процедуры силилирования упаренные экстракты перерастворялись в 70 мм^3 пиридина и к раствору прибавлялось 30 мм^3 смеси SylonBFT (SigmaAldrich #33148, содержит BSTFA+TMCS в соотношении 99:1). Летучие компоненты проб были проанализированы на газовом хроматомакс-спектрометре GC-MSQP2010Plus (Shimadzu).

Результаты исследования. Тополя имеют различного рода повреждения: облом ветвей (27% деревьев); механические повреждения ствола (21%); сухобокость (11%); трещины (20%); некрозы коры (1%); реже водянка, опухоли.

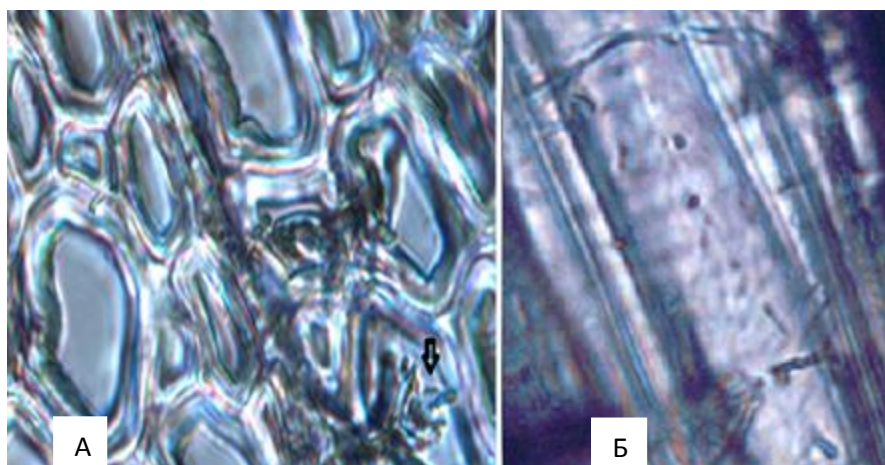
При извлечении кернов из тополя с отсутствием плодовых тел грибов деструкция древесины в центре ствола отмечается в среднем у 2% деревьев, независимо, рядовые посадки это или сквер, за исключением сквера за театром Драмы (6%).

Из 870 обследованных деревьев плодовые тела грибов отмечены только у 5%. В 94% случаев плодовые тела грибов отмечались у кронованных методом «на столб» деревьев диаметром более 30 см, в остальных случаях – у перестойных деревьев с диаметром более 60 см.

На стволах тополя были встречены следующие грибы: *Coriolus versicolor* (L. exFr.) Quel. (Кориолус разноцветный); *Coriolus zonatus* (Nees.exFr.) Quel. (Кориолус зональный); *Daedaleopsis confragosa* (Bull.) Bond. (Дедалеопсис бугристый); *Ganoderma applanatum* (Pers. exWallr.) Pat. (Трутовик плоский); *Phellinus conchatus* (Pers.) Quel. (Феллинуз раковиннообразный); *Fomesfomentarius* (L. exFr.) Gill. (Трутовик настоящий); *Trametes trogii* Berk. (Траметес Трога); *Armillariella* (Fr.) Quel. (Опенок осенний); *Phellinus igniarius* (Fr.) Quel. (Ложный трутовик); *Oxyporus populinus* (Schum. ex Fr.) Donk. (Кленовый трутовик); *Pleurotus ostreatus* Jacq. (Вешенка рожковидная).

Из всех дереворазрушающих грибов только ложный трутовик (*Phellinus igniarius* (Fr.) Quel.) является паразитом, развитие которого в древесине тополя не отражается на приросте и внешней ослабленности пораженных деревьев [1, 7]. Поэтому гифы гриба, отмеченные в не поврежденной деструкцией древесине тополя, относим к гифам ложного трутовика.

Гифы гриба отмечаются в сердцевинных лучах центральной зоны ствола, отростки (гаустории) которых проникают в клетки либриформа (рис.). Отростки гриба распространяются в клетках либриформа по порам. Гифы осуществляют делигнификацию первичной стенки клетки либриформа и срединной пластинки [8], так как в этих слоях откладывается основная масса лигнина [9].



Отростки гиф гриба в либриформе тополя: А – поперечный срез; Б – тангентальный срез

У всех модельных деревьев отмечается повышенная влажность в центральной зоне ствола. Абсолютная влажность древесины тополя в заболонной зоне составляет в среднем от $80 \pm 7,0$ до $84 \pm 8,1$ %, в центральной зоне – от $140 \pm 6,9$ до $157 \pm 9,0$ %. Большинство дереворазрушающих грибов развивается при абсолютной влажности древесины в пределах 20–150 %, однако оптимальный рост их наблюдается при влажности 30–85 % [10]. Следовательно, при повышенной влажности, наблюдающейся в центральной зоне ствола, гифы гриба способны существовать, но находятся в угнетенном состоянии.

Повышенная влажность в центральной части ствола тополя формируется благодаря перераспределению минеральных элементов в древесине [11], а также накоплению в центральной части продуктов метаболизма, что вызывает специфический запах воды, выделяющейся из центральной части ствола. Причем в солнечный день при температуре выше 23 °C в безветрии в июле в относительно здоровых некронированных деревьях тополя образуется подпор воды в центральной части ствола. При извлечении керна из ствола некронированных деревьев (в 96% случаев) вода продолжительно бьет струей; у кронированных – вытекает или сочится через некоторое время (от 84 до 94% случаев). При наличии стволовой гнили вода из отверстия в стволе после извлечения керна не выделяется.

Причем вода выделяется только из центральной зоны ствола. Следовательно, вода в центральной зоне ствола не является функционально активной и не участвует непосредственно в процессе транспирации.

В облачную погоду вода не выделяется при изъятии керна из ствола. Следовательно, интенсивная транспирация при благоприятных внешних условиях и хорошо развитая корневая система при условии непрерывности водного столба создают мощную силу (давление) передвижения воды по стволу, позволяющую увеличивать скорость воды в радиальном направлении.

Другим направлением защиты дерева от патогенных организмов является присутствие в древесине фенольных соединений. Выявлены следующие фенольные соединения в древесине тополя бальзамического, которые ингибиру-

ют рост грибов [12] (сиреневый альдегид, ванилиновая кислота), и обладают фунгицидными свойствами [13, 14]: сиреневый альдегид, кониферилловый альдегид, п-Крезол. Сиреневый альдегид, ванилиновая кислота, кониферилловый альдегид встречаются только в заболони у 85, 43, 100 % деревьев соответственно и, согласно V.K. Gupta et al. [15], J. Dürkovič [et al.] [16], повышают устойчивость стенок клеток к разложению грибом. П-Крезол отмечается только в центральной зоне ствола у 85 % деревьев.

Выводы. Плодовые тела грибов на стволах тополя бальзамического отмечаются только на деревьях, кронированных «на столб», и persistentных диаметром более 60 см. Среди встреченных на стволах тополя плодовых тел грибов только ложный трутовик (*Phellinus igniarius* (Fr.) Quel.) способен паразитировать в древесине растущих деревьев, распространяясь по сердцевинным лучам и проникая в ближайшие клетки либриформа.

Ограничением развития гиф гриба в древесине является её повышенная влажность в центральной зоне ствола. Вода в центральной части ствола не является физиологически активной и поступает за счет радиального перемещения, причем в солнечный летний день под давлением.

Другим направлением защиты дерева на присутствие гиф гриба являются фенольные соединения. Сиреневый альдегид, ванилиновая кислота, кониферилловый альдегид встречаются только в заболони. П-Крезол отмечается в центральной зоне ствола тополя.

Литература

1. Руначек В. Биология дереворазрушающих грибов. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 276 с.
2. Jeandet P., Clement C., Courot E. [et al.]. Modulation of phytoalexin biosynthesis in engineered plants for disease resistance // International Journal of Molecular Sciences. – 2013. – № 14. – P. 14136–14170.
3. Жигунов А.В., Шабунин Д.А., Бутенко О.Ю. Лесные плантации триплоидной осины, созданные посадочным материалом INVITRO// Вестник Поволж. гос. технол. ун-та. Сер. «Лес. Экология. Природопользование». – 2014. – № 4 (24). – С. 21–30.

4. Soler M., Plasencia A., Lepikson-Neto J. [et al.]. The woody-preferential gene EMYB88 regulates the biosynthesis of phenylpropanoid-derived compounds in wood // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7.
5. Бондарцев А.С. Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. – 1106 с.
6. Ванин С.И., Журавлев Д.В., Соколов Д.В. Определитель болезней древесных пород и кустарников, применяемых для поделзашитных насаждений. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1950. – 143 с.
7. Черемисин Н.А., Негруцкий С.Ф., Лешковцева И.И. Грибы и грибные болезни деревьев и кустарников. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 392 с.
8. Skyba O., Douglas C.J., Mansfield S.D. Syringyl-Rich Lignin Renders Poplars More Resistant to Degradation by Wood Decay Fungi // *Applied Environmental Microbiology*. – 2013. – Vol. 79. – № 8. – P. 2560–2571.
9. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. – Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 711 с.
10. Журавлев И.И., Соколов Д.В. Лесная фитопатология. – М.: Лесн. пром-сть, 1969. – 368 с.
11. Тюкавина О.Н., Кунников Ф.А., Кошелева А.Е. Влияние гнили на распределение минеральных элементов в древесине тополя бальзамического // *Изв. Санкт-Петербург. лесотехн. акад.* – 2016. – Вып. 214. – С. 105–119.
12. Cherdchim B., Satansat J. Influences of ethylene stimulation of rubber trees (*Heveabrasillensis*) on the extractives and fungal resistance of lumber // *Cerne*. – 2016. – Vol. 22. – № 3. – P. 223–232.
13. Reinprecht L. Fungicides for wood protection – World Viewpoint and evaluation / Testing in Slovaki. Zvolen. InTech. – 2010. – 122 p.
14. Paschová Z., Rademacher P. Analytical equipment at mendel university in Brno // *In Wood 2015: Innovations in wood materials and processes Drno (Czech Republic)*. – 19–22 May 2015. – P. 49–50.
15. Gupta V.K., Kubicek C.P., Berrin J.-G. [et al.]. Fungal enzymes for bio-products from sustainable and waste biomass // *Trends in biochemical sciences*. – 2016. – Vol. 41. – Issue 7. – P. 633–645.
16. Důrkovič J., Kačík F., Olčák D. [et al.]. Host responses and metabolic profiles of wood components in Dutch elm hybrids with a contrasting tolerance to Dutch elm disease // *Annals of Botany*. – 2014. – 114. – P. 47–59.

Literatura

1. Ripachek V. *Biologija derevorazrushajushhijh gribov*. – М.: Лесн. пром-ст', 1967. – 276 с.
2. Jeandet P., Clement C., Courot E. [et al.]. Modulation of phytoalexin biosynthesis in engineered plants for disease resistance // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2013. – № 14. – P. 14136–14170.
3. Zhigunov A.V., Shabunin D.A., Butenko O.Ju. Lesnye plantacii triploidnoj osiny, sozdannye posadochnym materialom INVITRO // *Vestnik Povolzh. gos. tehnol. un-ta. Ser. «Les. Jekologija. Prirodopol'zovanie»*. – 2014. – № 4 (24). – S. 21–30.
4. Soler M., Plasencia A., Lepikson-Neto J. [et al.]. The woody-preferential gene EMYB88 regulates the biosynthesis of phenylpropanoid-derived compounds in wood // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – Vol. 7.
5. Bondarcev A.S. *Trutovye griby evropejskoj chasti SSSR i Kavkaza*. – М.; Л.: Izd-vo AN SSSR, 1953. – 1106 s.
6. Vanin S.I., Zhuravlev D.V., Sokolov D.V. *Opredelitel' boleznej drevesnyh porod i kustarnikov, primenjaemyh dlja polezashitnyh nasazhdenij*. – М.; Л.: Goslesbumizdat, 1950. – 143 s.
7. Cheremisinov N.A., Negruckij S.F., Leshkovceva I.I. *Griby i gribnye bolezni derev'ev i kustarnikov*. – М.: Лесн. пром-ст', 1970. – 392 s.
8. Skyba O., Douglas C.J., Mansfield S.D. Syringyl-Rich Lignin Renders Poplars More Resistant to Degradation by Wood Decay Fungi // *Applied Environmental Microbiology*. – 2013. – Vol. 79. – № 8. – P. 2560–2571.
9. Nikitin N.I. *Himija drevesiny i celljulozy*. – Л.: Izd-vo AN SSSR, 1962. – 711 s.
10. Zhuravlev I.I., Sokolov D.V. *Lesnaja fitopatologija*. – М.: Лесн. пром-ст', 1969. – 368 s.

11. Tjukavina O.N., Kunnikov F.A., Kosheleva A.E. Vlijanie gnili na raspredelenie mineral'nyh jelementov v drevesine topolja bal'zamicheskogo // Izv. Sankt-Peterburg. lesotehn. akad. – 2016. – Vyp. 214. – S. 105–119.
12. Cherdchim B., Satansat J. Influences of ethylene stimulation of rubber trees (Heveabrasiliensis) on the extractives and fungal resistance of lumber // Cerne. – 2016. – Vol. 22. – № 3. – P. 223–232.
13. Reinprecht L. Fungicides for wood protection – World Viewpoint and evaluation / Testing in Slovaki. Zvolen. InTech. – 2010. – 122 p.
14. Paschová Z., Rademacher P. Analytical equipment at mendel university in Brno // In Wood 2015: Innovations in wood materials and processes Drno (Czech Republic). – 19–22 May 2015. – P. 49–50.
15. Gupta V.K., Kubicek C.P., Berrin J.-G. [et al.]. Fungal enzymes for bio-products from sustainable and waste biomass // Trends in biochemical sciences. – 2016. – Vol. 41. – Issue 7. – P. 633–645.
16. Důrkovič J., Kačík F., Olčák D. [et al.]. Host responses and metabolic profiles of wood components in Dutch elm hybrids with a contrasting tolerance to Dutch elm disease // Annals of Botany. – 2014. – 114. – P. 47–59.



УДК 631.46: 572.1/4 (571.54)

М.В. Семенова, Ю.М. Ильин

ВЛИЯНИЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА ЭМИССИЮ УГЛЕРОДА С НАЗЕМНЫХ ГЕОСИСТЕМ СЕЛЕНГИНСКОЙ ДАУРИИ

M.V. Semenova, Yu.M. Ilyin

THE INFLUENCE OF IRRIGATING MELIORATION ON THE EMISSION OF CARBON FROM LAND GEOSYSTEMS OF SELENGA DAURIA

Семенова М.В. – ст. преп. каф. мелиорации и охраны земель Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, г. Улан-Удэ. E-mail: mariaai87@mail.ru

Ильин Ю.М. – канд. с.-х. наук, доц. каф. мелиорации и охраны земель Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, г. Улан-Удэ. E-mail: yura646291@mail.ru

Semenova M.V. – Asst, Chair of Melioration and Protection of Lands, Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude. E-mail: mariaai87@mail.ru

Ilyin Yu.M. – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Melioration and Protection of Lands, Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov, Ulan-Ude. E-mail: yura646291@mail.ru

Газообмен является одним из важнейших процессов углеродного цикла почвенных систем. Цель работы: изучение влияния оросительной мелиорации на эмиссию углерода с наземных геосистем Селенгинской Даурии. Задачи: определение закономерностей интенсификации дыхания аллювиальной луговой почвы, сравнительная оценка продуцирования углекислоты при различном способе ее использования в сельскохозяйственном произ-

водстве и выявление возможности системного регулирования CO₂-потоков. Исследования проводились в пределах Иволгинской межгорной котловины Селенгинской Даурии. Дыхание аллювиальной луговой почвы определяли абсорбционным методом один раз в декаду в четырех геотопах двух полевых опытов с двумя вариантами – с орошением и без орошения. Суммарное выделение CO₂ рассчитывали путем линейного интерполирования. Показано,