

## ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ПОБЕГОВ ИВЫ ТРЕХТЫЧИНКОВОЙ ПРИ РАЗНОМ АТМОСФЕРНОМ УВЛАЖНЕНИИ

© 2023 г. А. А. Афонин\*

Брянский государственный университет им. академика И.Г. Петровского,  
ул. Бежицкая, д. 14, Брянск, 241036 Россия

\*E-mail: [afonin.salix@gmail.com](mailto:afonin.salix@gmail.com)

Поступила в редакцию 06.09.2021 г.

После доработки 19.04.2022 г.

Принята к публикации 07.06.2022 г.

В статье проанализированы современные тенденции рационального использования быстрорастущих кустарниковых ив. Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) рассматривается как источник прута для плетения, а также как вид, выполняющий важные экосистемные функции. Цель исследования – выявить влияние неравномерного распределения осадков на рост и развитие побегов ивы трехтычинковой. Тест-объект – генетически выровненная модельная инбредно-клоновая популяция ивы трехтычинковой. Материал – однолетние саженцы, выращенные из неукорененных черенков. Изучена динамика развития побегов в четырех клонах ивы трехтычинковой в два разных года с избыточным увлажнением. Второй год наблюдений отличался от предыдущего избытком осадков в период укоренения черенков. В условиях эксперимента максимальная длина годичных побегов составила 210–220 см, независимо от года наблюдений. Установлена цикличность изменения суточного прироста побегов. Полный сезонный цикл развития годичных побегов включает четыре многодневных цикла. Второй и третий многодневные циклы характеризуются наибольшим суточным приростом побегов в первой половине лета. Максимальный суточный прирост побегов в оба года наблюдений составил 4.1–4.9 см/сут в начале лета. Весенний и позднелетний суточный прирост на большинстве побегов не превысил 2.3–2.7 см/сут. На второй год наблюдений позднелетний суточный прирост (в среднем 1.9 см/сут) был немного выше, чем в первый год (в среднем 1.6 см/сут). Выявлена синхронизация развития побегов в начале лета, независимо от года наблюдений и от фактора клона. Избыточное увлажнение в период укоренения черенков приводит к смещению пиковых значений суточных приростов на более поздние сроки. На фоне неравномерного распределения осадков выявлено влияние фактора клона на сезонную динамику суточного прироста. При изучении роста и развития побегов в клонах ивы трехтычинковой необходимо учитывать неравномерность распределения осадков в первой половине вегетационного периода.

**Ключевые слова:** ивы, *Salix triandra* L., изменения климата, избыточное увлажнение, однолетние побеги, суточный прирост, динамика развития, цикличность развития.

**DOI:** 10.31857/S0024114823010023, **EDN:** NGFDVE

Ивы (*Salix* L.) – большая по количеству группа общеизвестных древесно-кустарниковых растений, включающая около 450 видов с многочисленными подвидами и разновидностями, а также естественными и искусственными гибридами (Wu et al., 2018). Наибольшее практическое значение имеют высокопродуктивные виды *Salix*, которые легко размножаются корневыми черенками (Анциферов, 1984). Благодаря своей способности к вегетативному размножению, ивы являются отличными системами для исследования клональных реплик, выращенных в разных условиях (Berlin et al., 2017).

Ивы устойчивы к ряду стрессов, в том числе к стрессам, обусловленным недостатком или избытком воды в почве (Zhang et al., 2020). Поэтому

ивы обычно высаживают на маргинальных землях, например, в районах, подверженных наводнениям. Для растений, созданных посадкой неукорененных черенков, этап укоренения имеет решающее значение. Избыточное увлажнение в этот период может оказать негативное влияние на растения (Rodríguez et al., 2018).

Практическое значение ив трудно переоценить. В зонах умеренного климата быстрорастущие виды *Salix* представляют собой источник энергетической биомассы (Stolarski et al., 2019). Плантации ивы с коротким оборотом могут поддерживать экосистемные услуги, связанные с круговоротом питательных веществ (Weih et al., 2021). Ивы широко применяются в защитном лесоразведении благодаря своей крайней выносли-

ности, способности к вегетативному размножению с образованием мощной корневой системы (Zhu et al., 2016). Ивы используются для широкого спектра экологических проектов, включая очистку сточных вод, прибрежные буферы и очистные заболоченные участки (Fredette et al., 2019; Zhang et al., 2020). Побеги ив содержат такие биологически активные вещества, как фенологликозиды, флавоноиды, дубильные вещества и фенолокислоты (Gligorić et al., 2019).

Ива трехтычинковая (*S. triandra* L., syn. *S. amygdalina* L.) – типичный представитель высокопродуктивных кустарниковых ив секции *Amygdalinae* Koch (*Triandrae* Dum.) подрода *Salix* Nas. (*Amerina* Dum.) (Skvortsov, 1999). Одна из самых важных культурных ив как источник прута для плетения выращивается на сырьевых плантациях в режимах регулярной срезки для изготовления корзиночных материалов (Noletto-Dias et al., 2019). Ива трехтычинковая представляет интерес как вид, выполняющий различные экосистемные функции, в частности, в весенний период обеспечивает пищей медоносных пчел и других насекомых-опылителей (Wu et al., 2019). Также ива является перспективным источником фармацевтического сырья (Санникова и др., 2018).

Способность растений выживать в новых условиях окружающей среды, вызванных изменением климата, зависит от популяций, обладающих достаточной генетической изменчивостью, чтобы адаптироваться к сезонным изменениям (Richards et al., 2020). За последние 50 лет наблюдалась устойчивая тенденция к повышению средних температур воздуха и увеличению годовых сумм осадков на всей территории России во все сезоны (Доклад ..., 2021). Способность деревьев реагировать на изменение климата – актуальный вопрос как в контексте естественных лесов, так и в контексте искусственных посадок (Cortés et al., 2020).

Температура воздуха и количество осадков оказывают значительное влияние на урожай ивы (Narayana et al., 2020). В связи с повсеместным изменением климата ожидается увеличение частоты экстремальных дождей (Rodríguez et al., 2018). В результате возможно возникновение стресса избыточного увлажнения (*excessive moisture stress*, EM-stress) (Powers et al., 2009).

Влияние избыточного атмосферного увлажнения на развитие черенковых саженцев ив изучалось путем постановки горшечных экспериментов в теплицах и на открытом воздухе (Rodríguez et al., 2018; Keita et al., 2021). В то же время ростовые реакции черенковых саженцев на экстремальные изменения гидротермического режима в условиях полевого опыта изучены недостаточно.

Ранее нами было показано, что ива трехтычинковая может использоваться как тест-объект

для изучения влияния кратковременной ранне-летней засухи на рост и развитие побегов (Афонин, 2021a).

Цель данного исследования – выявить влияние неравномерного распределения осадков на рост и развитие однолетних черенковых саженцев в клонах ивы трехтычинковой при избыточном весенне-летнем увлажнении в разные годы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводились в салицетуме Брянского государственного университета (53°16'23.50" с.ш., 34°21'11.50" в.д.) на территории Брянского округа зоны широколиственных лесов. Тип почв – автоморфные, серые лесные, на лёссовидном карбонатном суглинке. Тип лесорастительных условий – D3 (мезогигрофильная дубрава). Исходный тип растительности – *Quercetum coryloso-aegopodiosum*.

В качестве тест-объекта использовалась генетически выровненная модельная инбредно-клонная популяция ивы трехтычинковой. Подробная история родоначальников клонов и технология создания инбредно-клонной популяции описаны ранее (Афонин, 2021б). В качестве материала использовались черенковые саженцы первого года жизни, для чего ежегодно проводилось обновление тест-объекта.

Наблюдения за развитием побегов проводили в погодно-климатических условиях 2020 и 2021 гг. Для анализа динамики агрометеорологических факторов на территории района исследований в течение периодов вегетации использовались апробированные процедуры (Ma et al., 2021). Исходные данные по суточной динамике температуры воздуха  $T^{\circ}\text{C}$  и количества осадков  $R$ , мм в районе исследований (метеостанция Брянск: 53°12'45" с.ш., 34°10'54" в.д.) получены из открытого источника (Погода и климат ..., 2021), а затем сгруппированы по декадам (Литвинова, 2021).

Основу данного исследования составили результаты наблюдений в 2021 г. за развитием побегов в четырех клонах (*tr04*, *tr05*, *tr18*, *tr20*) при 3-кратной повторности. В качестве контроля использовались материалы 2020 г. – те же клоны, но повторность 6-кратная (Афонин 2021б). Все саженцы формировались в один побег. Для получения исходных данных каждые 4 сут в период активного роста побегов (май–август) производили измерение их длины ( $L$ , см). Далее методом скользящей рамки шириной 8 сут и пошаговым смещением 4 сут вычисляли суточный прирост побегов ( $\Delta L$ , см/сут). Полученные результаты были обработаны статистически с использованием ресурсов приложения MO Excel. Для дальнейшего анализа строили графики сезонной динамики  $L$  и  $\Delta L$ . Подробная методика получения исходных



Рис. 1.



Рис. 2.

данных и алгоритм анализа рядов динамики развития побегов описаны нами ранее (Афонин 2021б). Для оценки сезонного размаха изменчивости суточного прироста в разные годы вычисляли среднеквадратичную амплитуду  $A_{RMS}$  — квадратный корень из среднего квадрата фактических отклонений  $\Delta L$  от среднегодового прироста.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика средних декадных температур воздуха и подекадных сумм осадков в теплые периоды 2020 и 2021 гг. показана на рис. 1 и 2.

В оба года наблюдений первые половины вегетационных периодов (май-июнь) охарактеризовались умеренно теплой погодой с избыточным атмосферным увлажнением. Отклонения температур от средних многолетних значений в мае-июне составили  $+0.3^{\circ}\text{C}$  в 2020 г. и  $+0.7^{\circ}\text{C}$  в 2021 г. Количество осадков за май-июнь в 2020 г. достигло 279 мм (204% от нормы), в 2021 г. — 297 мм (214% от нормы). Вторые половины вегетационных периодов (с 1 июля по 20 августа) в оба года наблюдений охарактеризовались сухой погодой. Количество осадков в 2020 г. составило 76% от нормы, в 2021 г. — 58%. При этом отклонения

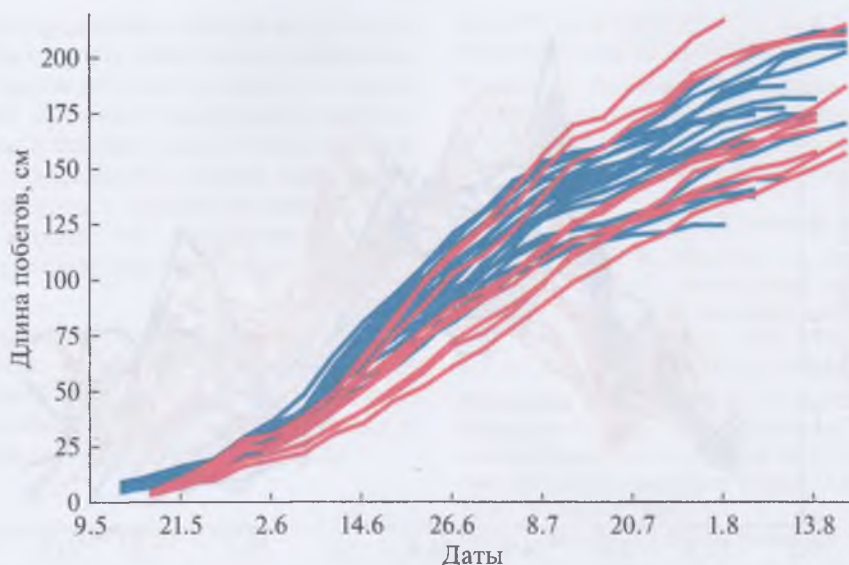


Рис. 3.

температур от средних многолетних значений составили  $+0.2^{\circ}\text{C}$  в 2020 г. и  $+2.3^{\circ}\text{C}$  в 2021 г. (с третьей декады июля и до конца августа 2021 г. наблюдалась атмосферная засуха средней интенсивности). В то же время начало вегетационного периода 2021 г., по сравнению с предыдущим годом, охарактеризовалось избыточным атмосферным увлажнением: в интервале с 20 апреля по 20 мая сумма осадков в 2021 г. составила 124 мм против 67 мм в этом же интервале 2020 г. Средняя температура воздуха в 2021 г. в интервале с 20 апреля по 10 мая оказалась на  $2.03^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в предыдущем году.

В оба года исследований часть побегов завершила развитие (с отмиранием верхней почки) в третьей декаде июля, а часть продолжила рост до середины августа. Для дальнейшего исследования были использованы побеги длиной не менее 125 см, завершившие рост в августе: 20 побегов в 2020 г. и 10 побегов в 2021 г. В результате удалось проследить динамику роста и развития побегов на протяжении всего периода вегетации. Сезонная динамика роста исследованных побегов в 2020 и 2021 гг. показана на рисунке 3.

В оба года наблюдений траектории сезонной динамики роста исследованных побегов имели конфигурацию кумулятивных S-образных кривых. Рост побегов в 2021 г. по сравнению с 2020 г. начался с задержкой примерно на 4 сут: длина побегов достигла 10 см в 2020 г. к 17–21 мая, а в 2021 г. — к 21–25 мая. Смещение начальных этапов роста побегов на более поздние сроки в 2021 г. может быть следствием дождливой прохладной погоды в период укоренения черенков (конец апреля–начало мая). Наиболее интенсивный рост побегов в оба года наблюдений выявлен в период с 6 июня по 12 июля.

Во второй половине июля и до середины августа рост побегов продолжился, но с меньшей интенсивностью. Кратковременная атмосферная засуха во второй половине лета 2021 г. не оказала заметного влияния на рост побегов. По итогам вегетационных периодов двух лет наблюдений самые длинные побеги образовали саженцы клона *tr04*: в 2020 г. длина побегов составила 210–215 см, в 2021 г. — 210–220 см.

Динамика суточного прироста побегов в 2020 и 2021 гг. охарактеризовалась отчетливо выраженной цикличностью (рис. 4).

В оба года наблюдений в конце весны, 25–29 мая, суточный прирост побегов достиг слабо выраженного поздневесеннего максимума. Далее, в самом начале лета, 2 июня, на большинстве побегов, независимо от клоновой принадлежности, выявлен минимум  $\Delta L$ , после которого суточный прирост побегов резко увеличился. В 2020 г. к 10 июня суточный прирост достиг абсолютного максимума, который на большинстве побегов составил около 4 см/сут, а на самых сильных побегах — 4.1–4.9 см/сут. В 2021 г. после прохождения раннелетнего минимума суточный прирост увеличился, но динамика суточного прироста побегов разных клонов оказалась различной. На побегах клона *tr04* к 14–18 июня был достигнут абсолютный максимум суточного прироста — 3.8–4.4 см/сут, что соответствует пиковым значениям  $\Delta L$  в 2020 г. На большинстве побегов остальных клонов абсолютный максимум  $\Delta L$  — 2.4–3.3 см/сут — был достигнут к 18–22 июня. После прохождения максимумов суточный прирост неравномерно снижался с образованием локальных максимумов 30 июня в 2020 г. и 8 июля в 2021 г. Таким образом, в 2021 г. среднелетние пики оказались смещенными на

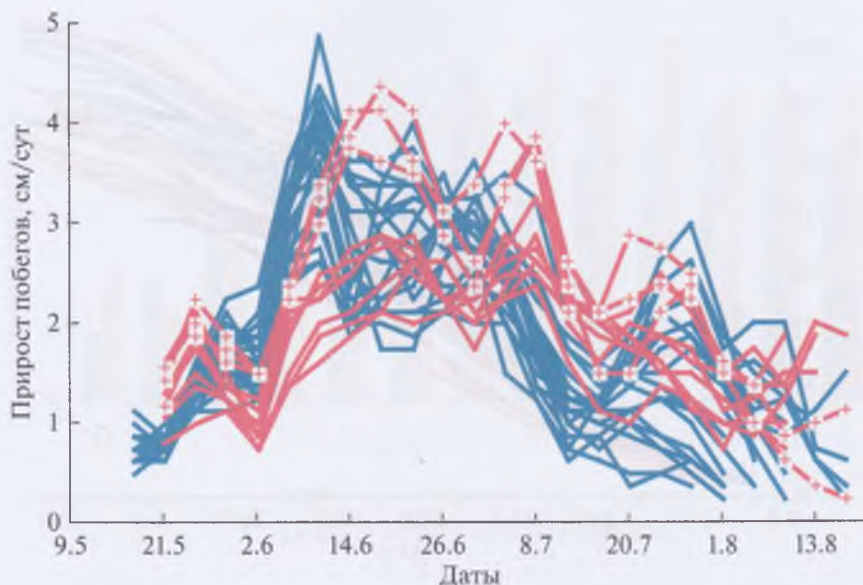


Рис. 4.

8 сут на более поздние даты. Интервалы же между этими пиками — 20 сут — оказались одинаковыми в разные годы и независимыми от фактора клона.

В оба года наблюдений в середине лета на большинстве побегов выявлен среднелетний минимум суточного прироста: 12–16 июля в 2020 г. и 16–20 июля в 2021 г. Независимо от года наблюдений и от фактора клона, после 16 июля ритмы суточного прироста побегов синхронизировались. К 24–28 июля суточный прирост несколько увеличился, а затем произошло его снижение вплоть до окончания вегетации. Таким образом, в оба года наблюдений выявлено 4 многодневных цикла колебаний суточного прироста. Летним циклом предшествуют раннелетние минимумы, синхронизированные независимо от года наблюдений и от фактора клона.

Среднегодовые показатели суточного прироста побегов приведены в табл. 1.

Средние значения суточного прироста побегов в 2021 г. оказались на 0.11 см/сут больше, чем в 2020 г., однако это превышение статистически недостоверно ( $P > 0.10$ ). Среднеквадратичная амплитуда колебаний суточного прироста в 2020 г. оказалась заметно выше, чем в 2021 г. Большие

значения  $A_{RMS}$  в 2020 г. обусловлены большими пиковыми значениями  $\Delta L$  в начале июня. В то же время в 2021 г. высокие значения  $\Delta L$  и  $A_{RMS}$  на побегах клона *tr04* дали несколько завышенное значение этих показателей: средний суточный прирост на побегах клона составил  $2.42 \pm 0.129$  см/сут (против  $1.85 \pm 0.048$  см/сут на побегах остальных клонов) при амплитуде колебаний суточного прироста 1.10 см/сут (против 0.61 см/сут на побегах остальных клонов). В целом сезонная динамика суточного прироста побегов клона *tr04* в 2021 г. оказалась сходной с сезонной динамикой нарастания побегов всех клонов в 2020 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В разные годы с избыточным атмосферным увлажнением динамика нарастания побегов на однолетних черенковых саженцах ивы трехтычинковой охарактеризовалась цикличностью, обусловленной чередованием максимумов и минимумов суточного прироста. При этом раннелетние минимумы синхронизированы независимо от года наблюдений, от фактора клона и от индивидуальных особенностей саженцев. В то же

Таблица 1. Изменчивость динамики суточного прироста побегов в разные годы

Показатели динамики суточного прироста	2020 г.	2021 г.
Количество вычисленных значений суточного прироста	427	215
Среднегодовой суточный прирост	$\Delta L_{cp} = 1.91 \pm 0.047$ см/сут	$\Delta L_{cp} = 2.02 \pm 0.054$ см/сут
Среднеквадратичная амплитуда колебаний суточного прироста	$A_{RMS} = 0.99$ см/сут	$A_{RMS} = 0.79$ см/сут
Коэффициент вариации суточного прироста	$CV = 51.3\%$	$CV = 39.2\%$

время в динамике нарастания побегов второго года наблюдений выявлены некоторые особенности: начальные (весенние) этапы роста, а также раннелетние пики суточных приростов побегов смещены на более поздние сроки. Такие смещения могли быть обусловлены более дождливой погодой в конце апреля – первой половине мая. Кроме того, на второй год выявлено влияние фактора клона на амплитуду колебаний суточного прироста.

Таким образом, при изучении влияния избыточного увлажнения на рост и развитие побегов ивы трехтычинковой необходимо учитывать особенности подекадного распределения атмосферных осадков в период укоренения черенков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анциферов Г.И. Ива. М.: Лесная промышленность, 1984. 101 с.

Афонин А.А. Сезонная динамика длины междоузлий *Salix triandra* L. (Salicaceae) на фоне кратковременной атмосферной засухи // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2021а. № 1. С. 104–112. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2021-1-104-112>

Афонин А.А. Эпигенетическая изменчивость структуры сезонной динамики развития побегов ивы трехтычинковой (*Salix triandra*, Salicaceae) // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. 2021б. № 2(38). С. 1–14. [http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1\\_38\\_2021.pdf](http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1_38_2021.pdf). <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2021.38.1>

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва, 2021. 104 с. [http://www.meteor.ru/upload/pdf\\_download/doklad\\_klimat2020.pdf](http://www.meteor.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf) (дата обращения 23.08.2021 г.).

Литвинова О.С. Влияние декадного атмосферного увлажнения на урожайность яровой пшеницы в лесостепной зоне Новосибирской области // Известия РАН. Серия географическая. 2021. Т. 85. № 2. С. 274–283. <https://doi.org/10.31857/S2587556621020060>

Погода и климат. Климатический монитор. Брянск. <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26898> (дата обращения 02.09.2021 г.).

Санникова Е.Г., Попова О.И., Компанцева Е.В. Ива трехтычинковая (*Salix triandra* L.) – перспективы и возможности использования в медицине и фармации // Фармация и фармакология. 2018. № 6(4). С. 318–339. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx029>

Berlin S., Hallingbäck H.R., Beyer F., Nordh N.-E., Weih M., Rönnberg-Wästljung A.-C. Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years // Annals of Botany. 2017. V. 120. № 1. P. 87–100. <https://doi.org/10.1093/aob/mcx029>

Cortés A.J., Restrepo-Montoya M., Bedoya-Canas L.E. Modern Strategies to Assess and Breed Forest Tree Adaptation to Changing Climate // Frontiers in Plant Science.

2020. V. 11. P. 583323.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583323>

Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix* // J. Environmental Management. 2019. V. 246. P. 526–537.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.010>

Gligorić E., Igić R., Suvajdžić L., Grujić-Letić N. Species of the genus *Salix* L.: biochemical screening and molecular docking approach to potential acetylcholinesterase inhibitors // Applied Sciences. 2019. V. 9. № 9. P. 1842.

<https://doi.org/10.3390/app9091842>

Harayama H., Uemura A., Utsugi H., Han Q., Kitao M., Maruyama Y. The effects of weather, harvest frequency, and rotation number on yield of short rotation coppice willow over 10 years in northern Japan // Biomass and Bioenergy. 2020. V. 142. P. 105797.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105797>

Keita N., Bourgeois B., Evette A., Tisserant M., González E., Breton V., Goulet C., Poulin M. Growth Response of Cuttings to Drought and Intermittent Flooding for Three *Salix* Species and Implications for Riverbank Soil Bioengineering // Environmental Management. 2021. V. 67. P. 137–1144.

<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01444-3>

Ma X., Pang Z., Wu J., Zhang G., Dai Y., Zou J., Kan H. Seasonal pattern of stem radial growth of *Salix matsudana* and its response to climatic and soil factors in a semi-arid area of North China // Global Ecology and Conservation. 2021. V. 28. P. e01701.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01701>

Noletto-Dias C., Wu, Y., Bellisai A., Macalpine W., Beale M.H., Ward J.L. Phenylalkanoid Glycosides (Non-Salicinoids) from Wood Chips of *Salix triandra* × *dasyclados* Hybrid Willow // Molecules. 2019. V. 24. № 6. P. 1152. <https://doi.org/10.3390/molecules24061152>

Powers M.D., Pregitzer K.S., Palik B.J., Websters C.R. Water relations of pine seedlings in contrasting overstory environments // Forest Ecology and Management. 2009. V. 258. № 7. P. 1442–1448.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.040>

Richards T.J., Karacic A., Apuli R.P., Weih M., Ingvarsson P.K., Rönnberg-Wästljung A.C. Quantitative genetic architecture of adaptive phenology traits in the deciduous tree, *Populus trichocarpa* (Torr. and Gray) // Heredity. 2020. № 125. P. 449–458.

<https://doi.org/10.1038/s41437-020-00363-z>

Rodríguez M.E., Doffo G.N., Cerrillo T., Luquez V.M.C. Acclimation of cuttings from different willow genotypes to flooding depth level // New Forests. 2018. V. 49. № 3. P. 415–427.

<https://doi.org/10.1007/s11056-018-9627-7>

Skvortsov A.K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu: University of Joensuu, 1999. 307 p.

Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M. Extensive Willow Biomass Production on Marginal Land // Polish Journal of Environmental Studies. 2019. V. 28. № 6. P. 4359–4367.

<https://doi.org/10.15244/pjoes/94812>

Weih M., Nordh N.-E., Manzoni S., Hoerber S. Functional traits of individual varieties as determinants of growth and nitrogen

use patterns in mixed stands of willow (*Salix* spp.) // *Forest Ecology and Management*. 2021. V. 479. P. 118605. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118605>

Wu D., Wang Y., Zhang L., Dou L., Gao L. The complete chloroplast genome and phylogenetic analysis of *Salix triandra* from China // *Mitochondrial DNA Part B*. 2019. V. 4. № 2. P. 3571–3572. <https://doi.org/10.1080/23802359.2019.1674743>

Wu Q., Liang X., Dai X., Chen Y., Yin T. Molecular discrimination and ploidy level determination for elite willow culti-

vars // *Tree Genetics & Genomes*. 2018. V. 14. P. 65. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1281-x>

Zhang J., Yuan H., Li Y., Chen Y., Liu G., Ye M., Yu C., Lian B., Zhong F., Jiang Y., Xu J. Genome sequencing and phylogenetic analysis of allotetraploid *Salix matsudana* Koidz. // *Horticulture Research*. 2020. V. 7. P. 201. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00424-8>

Zhu Y., Wang G., Li R. Seasonal Dynamics of Water Use Strategy of Two *Salix* Shrubs in Alpine Sandy Land, Tibetan Plateau // *PLoS ONE*. 2016. V. 11. № 5. P. e0156586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156586>

## Development Dynamics of the Almond Willow's Shoots on Different Levels Atmospheric Moisture

A. A. Afonin\*

Bryansk State University, Bezhitskaya st., 14, Bryansk, 241036 Russia

\*E-mail: [afonin.salix@gmail.com](mailto:afonin.salix@gmail.com)

The article provides an analysis of the modern trends in the rational use of fast-growing shrub willows. The almond willow (*Salix triandra*) is considered a source of wicker for weaving, as well as a species performing important ecosystem functions. The purpose of the research was to identify the influence of uneven precipitation distribution on the growth and development of the *S. triandra* shoots. The test site had a genetically aligned model inbred-clonal population of *S. triandra*. One-year willow saplings grown from unrooted cuttings were chosen as a study material. The development dynamics of *S. triandra* shoots was studied in four clones and in two different years with excessive moisture. The second year of observations differed from the previous one by an excess of precipitation during the cuttings rooting. Under experimental conditions, the maximum length of annual shoots was 210–220 cm, regardless of the year of observation. The cyclical-ity was determined in the shoots' daily growth's variations. The full seasonal development cycle of shoots includes four multi-day cycles. The second and third multi-day cycles are characterised by the greatest daily growth of shoots in the first half of summer. The maximum daily growth in both years of observation was 4.1–4.9 cm/day and occurred in early summer. The spring and late summer daily growth of most shoots did not exceed 2.3–2.7 cm/day. In the second year of observation, the late-summer daily growth (on average 1.9 cm/day) was slightly higher than in the first year (on average 1.6 cm/day). The synchronization of the shoots development in the beginning of summer was revealed, regardless of the year of observation and the clones' factor. Excessive moisture during the rooting of cuttings lead to a shift in the peak values of daily growth at a later date. Against the background of an uneven distribution of precipitation, the influence of the clones' factor on the seasonal dynamics of daily growth was revealed. When studying the growth and development of shoots in *S. triandra* clones, it is necessary to take into account the uneven distribution of precipitation in the first half of the vegetation period.

**Keywords:** willow, *Salix triandra*, climate change, excessive moisture, one-year shoots, daily growth, development dynamics, cyclical-ity of development.

### REFERENCES

Antsiferov G.I., *Iva* (Willow), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984, 101 p.

Afonin A.A., Sezonnaya dinamika dliny mezhdouzlii *Salix triandra* L. (Salicaceae) na fone kratkovremennoi atmosfernoi zasukhi (Seasonal dynamics of internode length of *Salix triandra* L. (Salicaceae) against the background of short-term atmospheric drought), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennyye nauki*, 2021a, No. 1, pp. 104–112. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2021-1-104-112>

Afonin A.A., Epigeneticheskaya izmenchivost' struktury sezonnoi dinamiki razvitiya pobegov ivy trekhtyinkovoi (*Salix triandra*, Salicaceae) (Epigenetic variability of the structure of seasonal dynamics of shoot development of almond

willow (*Salix triandra*, Salicaceae)), *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific J.*, 2021b, No. 2(38), pp. 1–14, available at: [http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1\\_38\\_2021.pdf](http://vestospu.ru/archive/2021/articles/1_38_2021.pdf). <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2021.38.1>

*Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2020 god* (A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2020), Moscow, 2021, 104 p., available at: [http://www.meteorf.ru/upload/pdf\\_download/doklad\\_klimat2020.pdf](http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf) (August 23, 2021).

Litvinova O.S., Vliyanie dekadnogo atmosfer-nogo uvlazhneniya na urozhainost' yarovoi pshenitsy v lesostepnoi zone Novosibirskoi oblasti (Influence of decadal atmospheric moisture on spring wheat yield in the forest-steppe zone of Novosibirsk oblast), *Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya*,

2021, Vol. 85, No. 2, pp. 274–283.

<https://doi.org/10.31857/S2587556621020060>

*Pogoda i klimat. Klimatičeskii monitor* (Weather and climate. Climate monitor. Bryansk), Bryansk, available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26898> (September 02, 2021).

Sannikova E.G., Popova O.I., Kompantseva E.V. Iva trekhtychinkovaya (*Salix triandra* L.) – perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya v meditsine i farmatsii (Willow triandra (*Salix triandra* L.): prospects and opportunities for use in medicine and pharmacy), *Farmatsiya i farmakologiya*, 2018, No. 6(4), pp. 318–339.

Berlin S., Hallingbäck H.R., Beyer F., Nordh N.-E., Weih M., Rönnerberg-Wästljung A.-C., Genetics of phenotypic plasticity and biomass traits in hybrid willows across contrasting environments and years, *Annals of Botany*, 2017, Vol. 120(1), pp. 87–100.

<https://doi.org/10.1093/aob/mcx029>

Cortés A.J., Restrepo–Montoya M., Bedoya–Canas L.E., Modern Strategies to Assess and Breed Forest Tree Adaptation to Changing Climate, *Frontiers in Plant Science*, 2020, Vol. 11, pp. 583323.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.583323>

Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J., Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix*, *J. Environmental Management*, 2019, Vol. 246, pp. 526–537.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.010>

Gligorić E., Igić R., Suvajdžić L., Grujić–Letić N., Species of the genus *Salix* L.: biochemical screening and molecular docking approach to potential acetylcholinesterase inhibitors, *Applied Sciences*, 2019, Vol. 9(9), pp. 1842.

<https://doi.org/10.3390/app9091842>

Harayama H., Uemura A., Utsugi H., Han Q., Kitao M., Maruyama Y., The effects of weather, harvest frequency, and rotation number on yield of short rotation coppice willow over 10 years in northern Japan, *Biomass and Bioenergy*, 2020, Vol. 142, pp. 105797.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105797>

Keita N., Bourgeois B., Evette A., Tisserant M., González E., Breton V., Goulet C., Poulin M., Growth Response of Cuttings to Drought and Intermittent Flooding for Three *Salix* Species and Implications for Riverbank Soil Bioengineering, *Environmental Management*, 2021, Vol. 67, pp. 137–1144.

<https://doi.org/10.1007/s00267-021-01444-3>

Ma X., Pang Z., Wu J., Zhang G., Dai Y., Zou J., Kan H., Seasonal pattern of stem radial growth of *Salix matsudana* and its response to climatic and soil factors in a semi-arid area of North China, *Global Ecology and Conservation*, 2021, Vol. 28, pp. e01701.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01701>

Noieto-Dias C., Wu, Y., Bellisai A., Macalpine W., Beale M.H., Ward J.L., Phenylalkanoid Glycosides (Non-Salicinoids) from Wood Chips of *Salix triandra* × *dasyclados* Hybrid Willow, *Molecules*, 2019, Vol. 24(6), pp. 1152.

<https://doi.org/10.3390/molecules24061152>

Powers M.D., Pregitzer K.S., Palik B.J., Webstera C.R., Water relations of pine seedlings in contrasting overstory environments, *Forest Ecology and Management*, 2009, Vol. 258(7), pp. 1442–1448.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.040>

Richards T.J., Karacic A., Apuli R.P., Weih M., Ingvarsson P.K., Rönnerberg-Wästljung A.C., Quantitative genetic architecture of adaptive phenology traits in the deciduous tree, *Populus trichocarpa* (Torr. and Gray), *Heredity*, 2020, No. 125, pp. 449–458.

<https://doi.org/10.1038/s41437-020-00363-z>

Rodríguez M.E., Doffo G.N., Cerrillo T., Luquez V.M.C., Acclimation of cuttings from different willow genotypes to flooding depth level, *New Forests*, 2018, Vol. 49, pp. 415–427.

<https://doi.org/10.1007/s11056-018-9627-7>

Skvortsov A.K., *Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision*, Joensuu: University of Joensuu, 1999, 307 p.

Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworkowski J., Krzyżaniak M., Extensive Willow Biomass Production on Marginal Land, *Polish Journal of Environmental Studies*, 2019, Vol. 28(6), pp. 4359–4367.

<https://doi.org/10.15244/pjoes/94812>

Weih M., Nordh N.-E., Manzoni S., Hoeber S., Functional traits of individual varieties as determinants of growth and nitrogen use patterns in mixed stands of willow (*Salix* spp.), *Forest Ecology and Management*, 2021, Vol. 479, pp. 118605.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118605>

Wu D., Wang Y., Zhang L., Dou L., Gao L., The complete chloroplast genome and phylogenetic analysis of *Salix triandra* from China, *Mitochondrial DNA Part B*, 2019, Vol. 4(2), pp. 3571–3572.

<https://doi.org/10.1080/23802359.2019.1674743>

Wu Q., Liang X., Dai X., Chen Y., Yin T., Molecular discrimination and ploidy level determination for elite willow cultivars, *Tree Genetics & Genomes*, 2018, Vol. 14, pp. 65.

<https://doi.org/10.1007/s11295-018-1281-x>

Zhang J., Yuan H., Li Y., Chen Y., Liu G., Ye M., Yu C., Lian B., Zhong F., Jiang Y., Xu J., Genome sequencing and phylogenetic analysis of allotetraploid *Salix matsudana* Koidz., *Horticulture Research*, 2020, Vol. 7, pp. 201.

<https://doi.org/10.1038/s41438-020-00424-8>

Zhu Y., Wang G., Li R., Seasonal Dynamics of Water Use Strategy of Two *Salix* Shrubs in Alpine Sandy Land, Tibetan Plateau, *PLoS ONE*, 2016, Vol. 11(5), pp. e0156586.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156586>