

УДК 630*165.43:581.471

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.25

**СЕМЕНОШЕНИЕ И СТРУКТУРА ШИШЕК У КЛОНОВ
МУТАЦИОННЫХ ВЕДЬМИНЫХ МЕТЕЛ КЕДРА СИБИРСКОГО****О.И. Полякова, аспирант; ResearcherID: [K-7513-2017](#); ORCID: [0000-0002-6096-9070](#)**Е.А. Жук, канд. биол. наук; ResearcherID: [N-1566-2015](#); ORCID: [0000-0003-1135-6240](#)**С.Н. Горошкевич, д-р биол. наук; ResearcherID: [I-5084-2018](#); ORCID: [0000-0003-0805-8656](#)*

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, пр. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055;

e-mail: polyakova_olga93@mail.ru, eazhuk@yandex.ru, gorosh@imces.ru

Мутационная ведьмина метла (ВМ) – фрагмент кроны дерева с аномальным морфогенезом, включающим замедленный рост, обильное ветвление, сниженное апикальное доминирование и часто обильное семеношение. Мутационные ведьмины метлы являются основным источником декоративных карликовых привойных сортов хвойных. Кедр сибирский, как и другие хвойные, способен к образованию мутационных ведьминых метел. Для того чтобы установить, какое влияние мутация оказывает на развитие шишек ведьминых метел, был проведен анализ урожайности и разнообразия размеров и структуры шишек у 20 клонов ведьминых метел, а также их сравнение со средней нормальной шишкой кедра сибирского длиной 9 см, шириной 6 см, средним числом семян 57 шт. и долей медиальной фертильной зоны 39,1...60,3 % от общего числа чешуй. Клоны ведьминых метел имели разное количество шишек. Среднее число заложённых шишек у 13-летних клонов составляло 13 шт. Клоны ведьминых метел были очень разнообразны по всем признакам шишек. Самые маленькие шишки по длине отмечены у трех клонов, их длина составила менее 3 см. Два клон из них имели также и самый маленький диаметр: 2,3 и 2,2 см соответственно. Четыре клон имели относительно самые крупные шишки длиной более 4 см, а диаметр 3,4 см. Фертильная зона в шишках у клонов ведьминых метел составляла от 27,8 до 55,6 % от общего числа чешуй, т. е. лишь немного меньше, чем у нормальных шишек. Шишки имели по 40...60 семян, из которых у 20 % клонов развилось менее 20 семян, а у 15 % клонов – более 40 семян на шишку, что на треть меньше, чем у нормальных деревьев кедра сибирского. Число недоразвитых семян в шишках почти у всех клонов было невысоким, однако для некоторых доля недоразвитых семян составляла до 30 % от общего числа семян в шишке. Таким образом, шишки у клонов ведьминых метел были в 2–3 раза мельче, а их качество в целом было хуже, чем у нормальных шишек кедра сибирского, однако урожайность у клонов ведьминых метел в целом была довольно высокой. При этом клоны ведьминых метел обладали очень высоким разнообразием по урожайности и качеству шишек. Лишь единичные клоны с хорошей урожайностью и относительно крупными шишками могут быть перспективными для селекции как орехоплодные сорта. В связи с негативным влиянием густоты кроны ведьминых метел на число и размер их шишек в большинстве случаев наличие и обилие шишек может служить лишь дополнительным признаком, повышающим декоративность карликовых привойных сортов кедра сибирского. При этом все без исключения клоны ведьминых метел фертильны и вполне могут быть использованы для скрещивания и дальнейшей селекционной работы.

* Статья опубликована в рамках реализации программы развития научных журналов в 2019 г., по материалам XIX Международной конференции молодых ученых «Леса Евразии – Южный Урал» (25–30 августа 2019 г., г. Челябинск).

Для цитирования: Полякова О.И., Жук Е.А., Горошкевич С.Н. Семеношение и структура шишек у клонов мутационных ведьминых метел кедра сибирского// Лесн. журн. 2019. № 5. С. 25–34. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.25
Финансирование: Исследование выполнено при поддержке РФФ (грант № 18-16-00058).

Ключевые слова: мутационные ведьмины метлы, соматическая мутация, *Pinus sibirica*, полноразмерные семена.

Введение

Ведьмина метла (ВМ) – фрагмент кроны дерева с аномальным морфогенезом, включающим замедленный рост, обильное ветвление и сниженное апикальное доминирование. Большинство ВМ имеют патологическую природу, причиной их образования является заражение различными видами грибов и микроорганизмов [16, 19, 20], вследствие чего имеют болезненный вид и полное или частично полное угнетение репродуктивной функции [5, 6]. В отличие от них мутационные ВМ имеют нормальную жизнеспособность, высокую долговечность и полное отсутствие каких-либо патогенов или следов их жизнедеятельности [8, 11]. Причиной появления таких ВМ считают доминантную соматическую мутацию, происходящую в апикальной меристеме [9, 12], доказательством является расщепление семенного потомства ВМ от опыления нормальной пыльцой на два дискретных класса: карликовые и нормальные сеянцы чаще всего в соотношении 1:1 [3, 7, 14, 25].

Мутационные ВМ являются основным источником декоративных карликовых привойных сортов хвойных [10]. Однако это только первый этап селекционной работы. Получить декоративные культивары с новыми свойствами возможно только через использование семенного потомства ВМ от свободного и контролируемого скрещивания. Поэтому актуально исследование половой репродукции и семенной продуктивности ВМ.

Кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour), один из основных лесообразующих видов российской тайги, ценится прежде всего своими съедобными семенами. В последнее время введение кедр сибирского в культуру как орехоплодного вида стало как никогда актуально. Для этого необходимо вывести сорта с высокой семенной продуктивностью. ВМ с их замедленным ростом могли бы быть использованы как исходный материал для селекции карликовых орехоплодных сортов, если бы они имели высокую семенную продуктивность. Поэтому исследование половой репродукции ВМ кедр сибирского актуально вдвойне. Целью работы было исследование семеношения и структуры шишек у различных клонов ВМ кедр сибирского и установить, насколько шишки клонов ВМ отличаются от нормальных шишек кедр сибирского.

Объекты и методы исследования

Исследование семеношения и структуры шишек было проведено на клонах ВМ кедр сибирского. Эксперимент проводился на стационаре «Кедр» Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томска (56°13' с. ш., 84°51' в. д.). Источниками растительного материала выступило 20 деревьев с мутационными ВМ (табл.). ВМ имели разную плотность кроны

и семеношение, которые оценивали визуально [27]. Плотность ВМ считалась низкой, если она превышала плотность НК менее чем в 2 раза, средней – в 2–3 раза, высокой – более чем в 3 раза. Семеношение ВМ считалось слабым, если на 100 см² поверхности ВМ приходилось меньше 1 шишки, средним – 1–2 шишки, обильным – 2 и более шишек.

Таблица

Характеристика материнских деревьев с ведьмиными метлами (ВМ)

Клон ВМ	Происхождение и характеристики материнских деревьев									
	Широта	Долгота	Возраст дерева, лет	Высота дерева, м	Диаметр на уровне груди, см	Возраст ВМ, лет	Высота ВМ, м	Диаметр ВМ, м	Семеношение ВМ	Плотность ВМ
02	56°10'	84°00'	170	21	45	25	1,2	1,0	среднее	высокая
03	56°10'	84°00'	170	21	50	110	3,0	4,5	обильное	средняя
06	56°29'	84°57'	70	15	20	12	0,7	0,5	нет	высокая
08	56°10'	84°00'	170	21	48	80	1,75	1,5	обильное	высокая
010	56°10'	84°00'	180	20	80	20	0,7	0,7	нет	средняя
012	56°31'	84°44'	190	21	60	70	1,5	1,6	обильное	средняя
016	51°03'	85°36'	250	17	70	100	1,5	1,5	обильное	высокая
018	51°45'	89°56'	220	14	60	180	2,4	1,7	среднее	средняя
024	56°35'	84°38'	210	20	70	65	1,0	1,5	слабое	высокая
032	58°13'	84°32'	350	24	45	75	1,8	1,8	среднее	средняя
038	52°00'	90°20'	200	25	42	60	3,0	1,5	слабое	низкая
040	52°00'	90°20'	190	21	32	60	2,5	1,5	среднее	низкая
042	52°00'	90°20'	420	21	41	300	2,5	2,5	среднее	средняя
044	52°00'	90°20'	300	21	38	150	5,0	7,5	обильное	средняя
046	52°00'	90°20'	280	17	33	120	2,0	3,3	слабое	средняя
052	51°49'	112°32'	250	14	55	20	0,4	0,45	нет	высокая
053	50°49'	113°25'	300	16	70	90	1,0	1,1	нет	средняя
054	56°10'	84°00'	180	21	53	90	3,8	5,0	слабое	низкая
056	51°23'	87°46'	210	23	66	100	170	150	нет	средняя
086	56°25'	85°11'	200	21	60	90	250	300	обильное	средняя

В 2000–2007 гг. черенки от каждой ВМ были привиты на местный пятилетний подвой кедра сибирского. Привитые деревья выращивали с интервалами 1×1 м в рядах, каждый клон содержал 5...15 рамет. В августе 2016 г. были собраны шишки со всех рамет каждого клона. У клонов с небольшим числом шишек были собраны все шишки (3...9 штук). У клонов с большим числом шишек из всего урожая случайным образом были взяты для анализа по 15 шишек. У всех шишек измеряли следующие признаки: длина и диаметр шишек, число чешуй в проксимальной и дистальной стерильных зонах шишки, число чешуй в медиальной фертильной зоне шишки, а также число семян. Эталоном нормальной шишки для сравнения с ней шишек ВМ считали шишку со средней

длиной 9 см и средней шириной 6 см [2], средним числом семян 57 шт. и долей медиальной фертильной зоны 39,1...60,3 % от общего числа чешуй [1].

В 2019 г., когда возраст клонов увеличился и семеношение достигло максимума, у одновозрастных 13-летних клонов (12 клонов из 20) подсчитывали число шишек на всех раметах каждого клона. Среди шишек определяли несколько категорий, первые две ретроспективно по следам на коре [22]: (1) заложенные и неопыленные, которые опадали почти сразу после появления; (2) опыленные и несозревшие, которые увеличивались какое-то время после опыления и через некоторое время опадали; (3) созревшие, которые достигали полного размера в положенный срок.

Нормальность распределения признаков проверяли с помощью теста Колмогорова–Смирнова. Для сравнения морфологических признаков шишек и числа семян применяли однофакторный дисперсионный анализ и тест Ньюмена–Кейлса.

Результаты исследования и их обсуждение

В 2019 г. был самый обильный урожай за весь период роста клонов. Клоны ВМ имели разное количество шишек. У большинства клонов были единичные раметы, которые не имели шишек. Среднее число заложенных шишек у клонов составляло 13 шт., однако у разных клонов разброс по числу шишек был более чем 12-кратным (рис. 1). Соотношение шишек различных категорий также существенно различалось между клонами. У двух клонов около 5 % шишек опали в течение недели после периода опыления. У 11 клонов из 12 часть шишек, от 1 до 20 % от заложенных, опали до созревания. Более 80 % от заложенных шишек у всех клонов созрели.

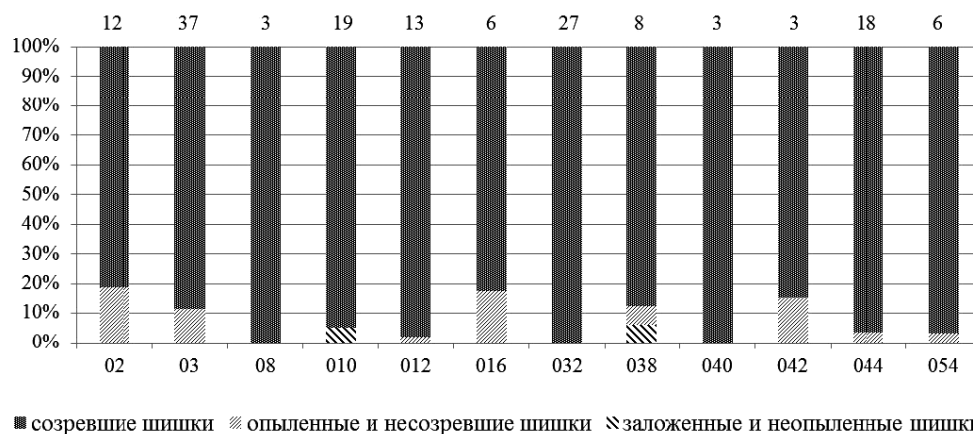


Рис. 1. Число шишек у клонов ведьминых метел (ВМ) (верхний ряд чисел) и доли шишек различных категорий: заложенные и неопыленные, опыленные и несозревшие, созревшие
Fig. 1. The number of cones in witches' broom clones (top row of numbers) and share of cones of different categories: generated and unpollinated, pollinated and non-mature, mature

Шишки у клонов ВМ сильно различались по размеру и форме (рис. 2). Встречались как клоны с шишками, почти не уступающими нормальным шишкам данного вида, так и клоны с очень мелкими шишками, чаще всего имеющие высокую плотность кроны. Как правило, мелкие шишки имели более круглую форму.

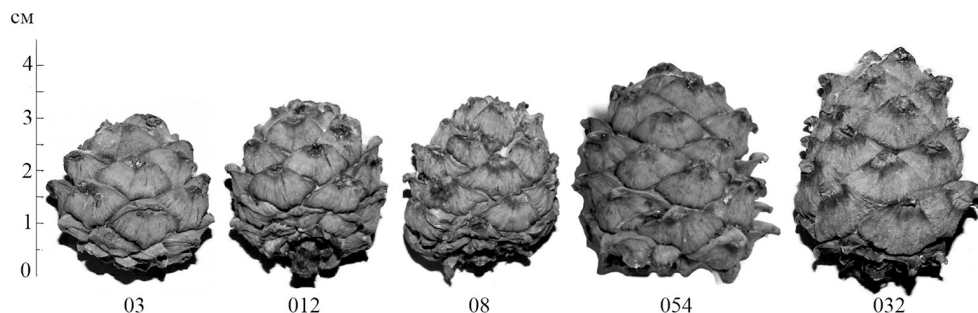


Рис. 2. Типичные шишки разных клонов ведьминых метел (ВМ). Числа в нижнем ряду соответствуют номерам клонов

Fig. 2. Typical cones in different witches' broom clones. The numbers in the bottom row correspond to the clone codes

Однофакторный дисперсионный анализ показал наличие значимых различий при $p < 0,05$ для всех морфологических признаков шишек у клонов ВМ. Самые маленькие шишки по длине отмечены у трех клонов (016, 056 и 06), их длина составила менее 3 см (рис. 3).

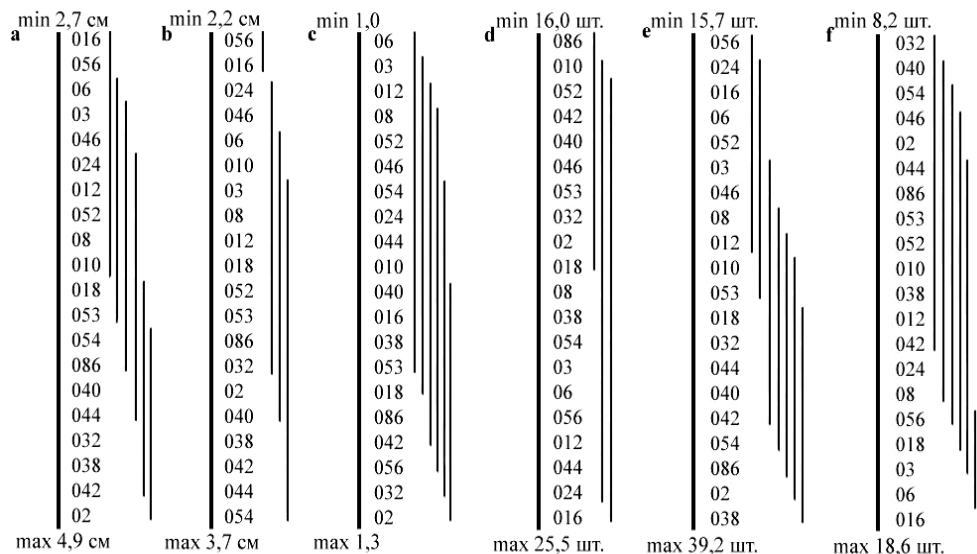


Рис. 3. Гомогенные группы, рассчитанные с помощью теста Ньюмена–Кейлса для морфологических признаков шишек у клонов ведьминых метел (ВМ) ($p < 0,05$). Клоны ранжировались в порядке от минимального до максимального значения признака. Линии соединяют клоны без значимых различий в значениях признаков: *a* – длина шишки; *b* – диаметр шишки; *c* – отношение длины шишки к диаметру; *d* – число стерильных чешуй в проксимальной зоне шишки; *e* – число чешуй в медиальной фертильной зоне шишки; *f* – число стерильных чешуй в дистальной зоне шишки

Fig. 3. Homogenous groups revealed by Newman-Keuls test for witches' broom clones for morphological cone traits in witches' broom clones ($p < 0.05$). Clones were ranked in order from minimal to maximal trait value. Lines connect clones with no significant differences in trait values. *a* – cone length, *b* – cone diameter, *c* – ratio of cone length and diameter, *d* – number of sterile scales in proximal cone part, *e* – number of fertile scales in medial cone part, *f* – number of sterile scales in distal cone part

Два клона из них (016 и 056) имели также и самый маленький диаметр: 2,3 и 2,2 см соответственно. Самыми крупными шишками по длине и диаметру были шишки, собранные с клонов 032, 038, 042 и 02. Их длина превышала 4 см, а диаметр – 3,4 см. У клона 054 шишки были не самые длинные, но имели самый большой диаметр. При этом даже самые крупные шишки у клонов ВМ были в 1,8 раза мельче средней нормальной шишки кедр сибирского. У большинства клонов форма шишки была слегка вытянутая, только у четырех клонов форма была округлой.

Число фертильных чешуй характеризует потенциальное число семян в шишке. Фертильная зона в шишках у клонов составляла от 27 до 55,6 %, лишь немного меньше, чем у нормальных шишек. Самая большая доля фертильной зоны в шишке отмечена у клонов 02 и 038. Наблюдались значимые различия между клонами по соотношению числа чешуй в проксимальной и дистальной стерильных зонах и медиальной фертильной зоне шишки. Шишки клона 016 содержали наибольшее число чешуй в обеих стерильных зонах и малое число чешуй в фертильной зоне.

У четырех клонов число семяпочек составило менее 40 шт. на шишку, а у девяти клонов превысило 60 шт. на шишку. Однако далеко не все семяпочки развились в семена. У пяти клонов в шишке было не более 20 семян (рис. 4). Только у трех клонов число семян составило свыше 40 на шишку, что на треть меньше, чем у нормальных деревьев кедр сибирского. Число недоразвитых семян в шишках почти у всех клонов было невысоким, однако для некоторых доля недоразвитых семян составляла до 30 % от общего числа семян в шишке.

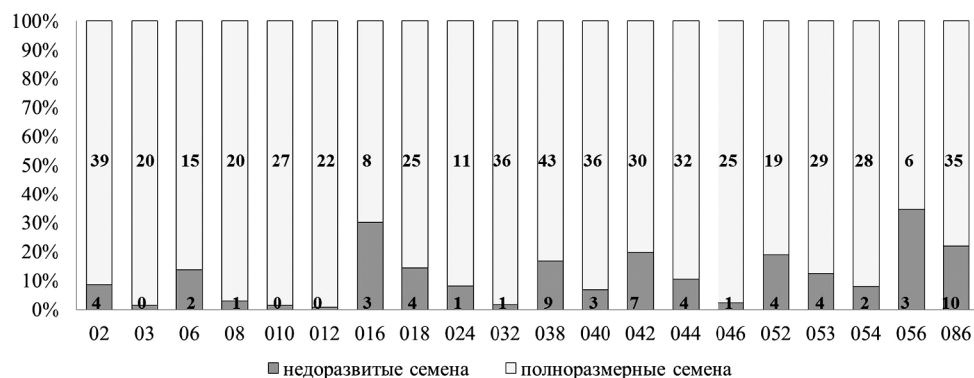


Рис. 4. Доли полноразмерных и недоразвитых семян в шишке у различных клонов ведьминых метел (ВМ). Числа внутри столбцов показывают число полноразмерных и недоразвитых семян на шишку

Fig. 4. Proportions of full-grown seeds and aborted seeds after pollination per cone in different witches' broom clones. The numbers inside the columns show number of full-grown seeds and aborted seeds after pollination per cone

У мутационных ВМ, в отличие от патологических, репродуктивная функция не угнетена. Хотя мутация приводит к полному отсутствию мужского цветения как у кедр сибирского [26], так и у других видов хвойных [13, 18, 23], она не препятствует заложению женских шишек. Однако шишки у клонов мутационных ВМ были в 2–3 раза мельче и имели менее вытянутую форму, чем нормальные шишки кедр сибирского. В природе шишки у мутационных ВМ

чаще всего меньше по размеру, чем у нормальной части кроны того же дерева [4, 18, 24], но иногда они не отличаются от нормальных [3]. На примере *P. halepensis* было показано, что с увеличением плотности кроны ВМ уменьшается размер их шишек [24].

Ранее было показано, что морфология ВМ частично зависит от морфологии материнского дерева, но значительно меньше, чем от выраженности мутации [27]. Корреляция между нормальными и мутантными клонами с одного дерева была значимой только по порогу ветвления – длине самого мелкого осевого побега, имеющего боковой побег, но этот признак является одним из ключевых, определяющих габитус ВМ. Оказалось, что между свойствами шишек нормальной кроны и производных от них ВМ также есть прямая зависимость [17]. Была обнаружена связь по ключевым признакам, определяющим форму шишки и число семян в шишке. Менее половины клонов ВМ в рамках нашего эксперимента имели парные клоны из нормальной части материнского дерева, поэтому не удалось оценить, насколько размер и структура их шишек зависели от характеристик материнского дерева.

Кроме признаков материнского дерева, размер шишек значительно зависит от размера побегов [15], поэтому небольшой размер шишек можно объяснить тем, что все части кроны у клонов ВМ, включая побеги, на которых формировались шишки, были гораздо короче, чем у нормальных деревьев. Ранее было показано, что у клонов ВМ кедра сибирского шишки могут образовываться даже на побегах длиной 1,7 см, чего никогда не происходит у клонов из нормальной части того же материнского дерева [27]. Мелкие размеры шишек ВМ могли быть следствием того, что они формировались на мелких побегах.

Заключение

Таким образом, шишки у клонов ВМ были мельче, а их качество в целом было хуже, чем у нормальных шишек кедра сибирского, однако урожайность у клонов ВМ в целом была довольно высокой. У кедра сибирского, как и у остальных хвойных, встречаются ВМ с разным сочетанием признаков [5, 21, 27]. Соответственно, для урожайности и качества шишек у клонов ВМ также было характерно большое разнообразие. Лишь единичные клоны с хорошей урожайностью и относительно крупными шишками могут быть перспективными для селекции как орехоплодные сорта. Наблюдалось негативное влияние густоты кроны ВМ на число и размер шишек. Из-за этого в большинстве случаев наличие и обилие шишек может служить лишь дополнительным признаком, повышающим декоративность карликовых привойных сортов кедра сибирского. При этом все без исключения клоны ВМ фертильны и вполне могут быть использованы для скрещивания и дальнейшей селекционной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. *Горошкевич С.Н.* Динамика роста и плодоношения кедра сибирского. Уровень и характер изменчивости признаков // Экология. 2008. № 3. С. 181–188. [Goroshkevich S.N. Dynamics of Growth and Seed Production in the Siberian Stone Pine: The level and pattern of variation in characters. *Rossiyskiy zhurnal ekologii*, 2008, vol. 39, no. 3, pp. 168–175].
2. *Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н.* Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002. 707 с. [Koropachinskiy I.Y.,

Vstovskaya T.N. Woody Plants of the Asian Part of Russia. Novosibirsk, SB RAS Publ., Branch «Geo», 2002. 707 p.].

3. Носков В.И., Негруцкий С.Ф. К вопросу о происхождении «ведьминых метел» на сосне // Научные записки Воронежского лесотехн. ин-та. 1956. Т. 15. С. 207–210. [Noskov V.I., Negruzkiy S.F. About Origin of Witches' Brooms in Scotch Pine. *Nauchnye zapiski Voronezhskogo lesotekhnicheskogo instituta*, 1956, vol. 15, pp. 207–211].

4. Ямбуров М.С. «Ведьмины метлы» мутационного типа у некоторых видов семейства *Pinaceae*: дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2010. 133 с. [Yamburov M.S. *Mutational witches' brooms in some Pinaceae species*: Cand. Biol. Diss. Tomsk, 2010. 133 p.].

5. Ямбуров М.С., Горошкевич С.Н. «Ведьмины метлы» кедр сибирского как спонтанные соматические мутации: встречаемость, свойства и возможности использования в селекционных программах // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV. № 2–3. С. 317–324. [Yamburov M.S., Goroshkevich S.N. Witches'-brooms in Siberian Stone Pine as Somatic Mutations: Occurrence, Features and Possibility of Using in Breeding Programs. *Khvoynyye boreal'noy zony*, 2007, vol. 24, no. 2–3, pp. 317–324].

6. Bertaccini A. Phytoplasmas: Diversity, Taxonomy, and Epidemiology. *Frontiers in Bioscience*. 2007, vol. 12, pp. 673–689.

7. Brown C.L., Sommer H.E., Wetzstein H. Morphological and Histological Differences in the Development of Dwarf Mutants of Sexual and Somatic Origin in Diverse Woody Taxa // *Trees*, 1994, vol. 9, iss. 2, pp. 61–66.

8. Buckland D.C., Kuijt J. Unexplained Brooming of Douglas-fir and Other Conifers in British Columbia and Alberta. *Forest Science*, 1957, vol. 3, iss. 3, pp. 236–242.

9. Duffield J., Wheat J. Dwarf Seedlings From Broomed Douglas-fir. *Silvae Genet*, 1963, vol. 12, pp. 129–133.

10. Farjon A. A Handbook of the World's Conifer. 2nd edn. Leiden, Brill. 2017. 1154 p.

11. Fordham A.J. Dwarf Conifers From Witches'-brooms. *Arnoldia*, 1967, vol. 27, pp. 29–50.

12. Grasso V. Dwarf Seedlings From Witches' Brooms of *Pinus halepensis*. *Italia forestale e montana*, 1969, vol. 24, pp. 241–245.

13. Johnson A.G., Pauley S.S., Cromell W.H. Dwarf Seedlings From Witches' Brooms in Jack Pine II. *Minn For Notes*, 1965, no. 163, p. 2.

14. Johnson A.G., Pauley S.S., Cromell W.H. Pine Dwarf Segregates From Witches'-brooms. *Proc Int Plant Propag Soc.*, 1968, vol. 18, pp. 265–270.

15. Leslie A.B., Beaulieu J.M., Crane P.R., Donoghue M.J. Cone Size Is Related to Branching Architecture in Conifers. *New Phytol.*, 2014, vol. 203, pp. 1119–1127. DOI: [10.1111/nph.12864](https://doi.org/10.1111/nph.12864)

16. Money N.P. Mushrooms: A Natural and Cultural History. London, *Reaktion Books*, 2017. 224 p.

17. Polyakova O., Goroshkevich S., Zhuk E. Cone Structure and Seed Development in Grafted Witches' Broom and normal crown clones from the same trees of *Pinus sibirica* // New Forests. 2019. Pp. 1–15. DOI: [10.1007/s11056-018-09700-x](https://doi.org/10.1007/s11056-018-09700-x)

18. Rudolph T.D., O'Malley D.M., Reed E.A. Potential for Indirect Selection of Rescued Jack Pine Embryos Based upon Linkage Between Seedling Dwarfism and Megagametophyte Allozymes. *Proceedings of the North Central Tree Improvement Conference*, 1983, pp. 162–174.

19. Seo J.K., Kim M.K., Kwak H.R., Kim J.S., Choi H.S. Complete Genome Sequence of Longan Witches' Broom-associated Virus, a Novel Member of the Family *Potyviridae*. *Archives of Virology*, 2017, vol. 162, iss. 9, pp. 2885–2889. DOI: [10.1007/s00705-017-3405-2](https://doi.org/10.1007/s00705-017-3405-2)

20. Sugio A., MacLean A.M., Kingdom H.N., Grieve V.M., Manimekalai R., Hogenhout S.A. Diverse Targets of Phytoplasma Effectors: from Plant Development to Defense Against Insects. *Annual Review of Phytopathology*, 2011, vol. 49, pp. 175–195. DOI: [10.1146/annurev-phyto-072910-095323](https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-072910-095323)

21. Vasilyeva G.V., Zhuk E.A. Needle Structure of Mutational Witches' Brooms in *Pinus sibirica*. *Dendrologiya*, 2016, vol. 75, pp. 79–85. DOI: [10.12657/denbio.075.008](https://doi.org/10.12657/denbio.075.008)
22. Vorobyev V.N., Goroshkevich S.N., Savchuk D.A. Method of Retrospective Study of Semiference Dynamics in *Pinaceae*. *Proceedings of the International Workshop on Subalpine Stone Pines and their Environment: the Status of our Knowledge*. Ogden, 1994, pp. 201–204.
23. Vrgoc P. Cluster Analysis of Height and Crown Density of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) Witches Brooms Progenies. *Ann For.*, 1999, vol. 24, pp. 24–57.
24. Vrgoc P. Witches' Broom of Aleppo Pine (*Pinus halepensis* Mill.) and its Use for New Ornamentals. *Acta Hort*, 2002, vol. 29, pp. 199–205. DOI: [10.17660/ActaHortic.2002.572.23](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.572.23)
25. Waxman S. Witches'-brooms' Sources of New and Interesting Dwarf Forms of *Picea*, *Pinus*, and *Tsuga* Species. *Acta Horti Symp Propag Arboric*, 1975, vol. 54, pp. 25–32. DOI: [10.17660/ActaHortic.1975.54.3](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1975.54.3)
26. Yamburov, M.S., Goroshkevich, S.N. Witches' brooms in Siberian stone pine as somatic mutations and initial genetic material for breeding of nut-bearing and ornamental cultivars. *Annals of Forest Research*, [S.l.], p. 165–166, feb. 2008. ISSN 20652445. Available at: <http://www.afrjournal.org/index.php/afr/article/view/162>. Date accessed: 09 Sep. 2019. DOI: [10.15287/afr.2008.162](https://doi.org/10.15287/afr.2008.162)
27. Zhuk E., Vasilyeva G., Goroshkevich S. Witches' Broom and Normal Crown Clones from the Same Trees of *Pinus sibirica*: a Comparative Morphological Study. *Trees*, 2015, vol. 29, iss.4., pp. 1079–1090. DOI: [10.1007/s00468-015-1187-2](https://doi.org/10.1007/s00468-015-1187-2)

CONE PRODUCTION AND CONE STRUCTURE IN THE CLONES FROM MUTATIONAL WITCHES' BROOMS OF SIBERIAN STONE PINE*

O.I. Polyakova, Postgraduate Student; ResearcherID: [K-7513-2017](https://orcid.org/0000-0002-6096-9070); ORCID: [0000-0002-6096-9070](https://orcid.org/0000-0002-6096-9070)

E.A. Zhuk, Candidate of Biology; ResearcherID: [N-1566-2015](https://orcid.org/N-1566-2015); ORCID: [0000-0003-1135-6240](https://orcid.org/0000-0003-1135-6240)

S.N. Goroshkevich, Doctor of Biology; ResearcherID: [I-5084-2018](https://orcid.org/I-5084-2018); ORCID: [0000-0003-0805-8656](https://orcid.org/0000-0003-0805-8656)

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Akademicheskiiy 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: polyakova_olga93@mail.ru, eazhuk@yandex.ru, gorosh@imces.ru

Mutational witches' broom (WB) is a fragment of tree crown with abnormal morphogenesis, including slow growth, abundant branching, reduced apical dominance and often abundant seed production. Mutational WBs are the main source of ornamental dwarf grafting conifer cultivars. Siberian stone pine, like other conifers, is capable of forming mutational WBs. In order to reveal how the mutation affects the development of WB cones an analysis of the cone yield and cone size and structure in 20 WB clones was made, and they were compared with a mean normal Siberian stone pine cone with length 9 cm, width 6 cm, 57 seeds per cone and the proportion of the medial fertile zone 39.1–60.3% of the total number of scales. WB clones

*The article is published within the framework of implementation of the scientific journals development program in 2019, based on proceedings of XIX International conference of the young scholars "Forests of Euro-Asia – The Southern Ural" (August 25–30, 2019. Chelyabinsk).

had a different number of cones. Thirteen-year old clones had 13 cones in average. All cone traits varied greatly among the WB clones. Three clones had shortest cones, their length was less than 3 cm. Two of the clones also had the smallest diameter, 2.3 and 2.2 cm, respectively. Four clones had relatively large cones, longer than 4 cm, and diameter 3.4 cm. The fertile zone in the cones of WB clones was from 27.8% to 55.6% from the total number of scales, i.e. only slightly smaller than that in normal cones. The cones contained 40–60 ovules, which gave rise to less than 20 seeds in 20% of the clones, and more than 40 seeds per cone in 15% of the clones, which is a third less than that in normal Siberian stone pine trees. The number of aborted seeds after pollination in cones was almost not high for all clones, however, for some, the proportion of aborted seeds was up to 30% of the total number of seeds per cone. Thus, the cones in WB clones were 2–3 times smaller, and they were generally inferior to normal Siberian stone pine cones, but the yield in WB clones was quite high. At the same time, the WB clones were highly variable in yield and cone quality. Only individual clones with good yield and relatively large cones can be promising for breeding as nut-bearing cultivars. Due to the negative WB crown density on the number and size of their cones, in most cases, the presence and abundance of cones can only serve as an additional feature that enhances the ornamental value of dwarf graft cultivars of Siberian stone pine. At the same time, all WB clones were fertile and could be used for cross-breeding and further selection work.

For citation: Polyakova O.I., Zhuk E.A., Goroshkevich S.N. Cone production and cone structure in the clones from mutational witches' brooms of Siberian stone pine. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 5, pp. 25–34. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.25

Funding: This work is supported by the Russian Science Foundation under grant no. 18-16-00058.

Keywords: mutational witches' broom, somatic mutation, *Pinus sibirica*, full-grown seeds.

Поступила 02.08.2019 г. / Received on August 2, 2019
