

СЕДЕЛЬНИКОВА Т. С.[✉], ПИМЕНОВ А. В., МУРАТОВА Е. Н.

Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр СО РАН»,
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28,
e-mail: elena-muratova@ksc.krasn.ru; tss@ksc.krasn.ru

✉ tss@ksc.krasn.ru, (007) 391-249-44-47

КАРИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОЙНЫХ В ДЕНДРАРИЯХ И ПАРКОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ

Цель. Изучение кариологических и цитогенетических особенностей хвойных, произрастающих в условиях интродукции и повышенной рекреационной нагрузки, для выявления биоразнообразия, решения вопросов популяционной и экологической генетики представителей данной группы растений. **Методы.** Использовались классические методы исследования хромосом с окрашиванием препаратов ацетогематоксилином. **Результаты.** У видов, форм и культиваров хвойных из семейств Pinaceae и Cupressaceae, произрастающих в дендрариях и парках, а также являющихся компонентами зеленых насаждений в населенных пунктах различных географических регионов, обнаружены изменчивость хромосомных чисел (миксоплоидия), появление В-хромосом, высокая встречаемость и широкий спектр хромосомных и мейотических аномалий. **Выводы.** Кариологические и цитогенетические исследования показали наличие кариотипического полиморфизма и увеличение числа различных нарушений митоза и мейоза у хвойных при интродукции в условиях произрастания на рекреационных территориях.

Ключевые слова: хвойные, интродукция, число хромосом, хромосомные перестройки, нарушения мейоза.

Хвойные насаждения имеют высокую оздоровительную и эстетическую ценность. Многие виды, формы и культивары хвойных успешно интродуцируются в различных географических регионах, далеких от естественных ареалов. Для разработки научных основ интродукции и селекции хвойных значительный интерес представляют кариологические и цитогенетические исследования, включающие определение числа хромосом как важнейшего диагностического признака вида, исследование морфологии хромосом, особенностей мейоза при микроспо-

рогенезе. В настоящем сообщении приводятся результаты кариологического и цитогенетического изучения представителей семейств Pinaceae и Cupressaceae, произрастающих в дендрариях и парках, расположенных на территории России, Болгарии, Украины, Чехии, Франции, Кыргызстана, США.

Материалы и методы

Для кариологического анализа использовались меристематические ткани кончиков корней. Предварительную обработку материала, фиксацию, окрашивание ацетогематоксилином проводили по стандартным для хвойных методикам [1–2].

Результаты и обсуждение

В семействе кипарисовые (Cupressaceae Gray) исследованы представители 4 родов – кипарис (*Cupressus* L.), кипарисовик (*Chamaecyparis* Spach), туя (*Thuja* L.) и секвойядендрон (*Sequoiadendron* Buchh.), в диплоидном наборе которых содержится 22 хромосомы ($2n = 22$). Представители двух родов – *Cupressus* и *Chamaecyparis* – исследованы в регионах Болгарии. У вида рода *Cupressus* кипариса аризонского (*Cupressus arizonica*), интродуцированного из Северной Америки в дендрарии Лесотехнического университета в г. Софии, найдена миксоплоидия ($2n = 22, 33, 44$). Изучен представитель рода *Chamaecyparis*, также интродуцированный из Северной Америки, кипарисовик Лаусона (*Chamaecyparis lawsoniana* (A. Murr.) Parl.). В семенном потомстве деревьев *C. lawsoniana*, использованных для озеленения приусадебных участков в окр. с. Петково в Родопях, а также в насаждениях данного вида в лесхозе «Осогово» в г. Кюстендил и городском сквере в г. Благоевград, обнаружена миксоплоидия ($2n = 22, 26; 2n = 22, 44$) [3]. Секвойядендрон гигантский

(*Sequoiadendron giganteum* (Lindl.) Buchh. = *Sequoia gigantea* Torr.) исследован в Национальном парке «Секвойя» и Кингз Каньон (США, штат Калифорния). В семенном потомстве этих самых высоких в мире деревьев встречаются миксоплоиды ($2n = 22$; $2n = 22, 33$) [4].

У вида рода *Thuja* – туи восточной (*Thuja orientalis* L.) – сбор семян производился с деревьев в парковых насаждениях и дендрариях следующих регионов: г. Ессентуки, парк «Лечебный» (Россия, Ставропольский край); г. Калач-на-Дону (Россия, Волгоградская область); г. Чолпон-Ата, дендрарий «Долинка» (Кыргызстан); г. София, квартал «Симеоново», подножие горного массива Витоша (Болгария); горный массив Рила, лесхоз «Рильский монастырь» (Болгария). Миксоплоидия ($2n = 19, 22, 44$; $2n = 22, 24, 33$; $2n = 22, 33$; $2n = 22, 33, 44$) выявлена в семенном потомстве деревьев из всех исследованных происхождений. При этом установлено, что у туи восточной миксоплоиды встречаются с высокой частотой – в отдельных образцах до 100% исследуемых проростков содержат клетки с измененным числом хромосом [5–7].

В Национальном дендрологическом парке «Софиевка», г. Умань (Украина, Черкасская область) исследован североамериканский вид рода *Thuja* – туя западная (*Thuja occidentalis* L.), издавна включенный в селекционный процесс и представленный в культуре большим разнообразием сортов (культурваров). Изучено 4 культурвара *T. occidentalis*, отличающихся по окраске хвои и форме кроны: «Лютеа» («Lutea»), «Вареана» («Wareana»), «Вареана желтеющая» («Wareana Lutescens»), «Шаровидная» («Globosa»). У всех изученных культурваров *T. occidentalis* выявлена миксоплоидия ($2n = 22, 33$; $2n = 22, 33, 44$). Наибольшая вариабельность хромосомных чисел отмечается у культурваров «Wareana» и «Wareana Lutescens». У культурвара «Lutea» выявлена фрагментация хромосом в клетках различной пloidности, а у «Wareana Lutescens» – фрагментация хромосом и дицентрические хромосомы [8].

В семействе сосновые (Pinaceae Spreng. ex F. Rudolphi) исследованы представители 3 родов – сосна (*Pinus* L.), ель (*Picea* A. Dietr.), пихта (*Abies* L.). Изучены числа хромосом у 7 видов рода *Pinus*, а также 1 межвидового гибрида. Установлено, что диплоидный набор видов рода *Pinus* включает 24 хромосомы ($2n = 24$). В семенном потомстве деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в парковых насаждениях

г. Ессентуки Ставропольского края выявлена миксоплоидия ($2n = 24, 48$). Исследован карิโอ-тип сосны густоцветковой (*Pinus densiflora* Siebold et Zucc.), интродуцированной в дендрарии Института садоводства Сибири им. М. А. Лисавенко (Россия, г. Барнаул) из юга Приморского края. Установлено, что *P. densiflora* является диплоидом, изменений числа хромосом в семенном потомстве не выявлено. Все 12 пар хромосом (I–XII) относятся к типу метацентрических, их длина варьирует от 9,9 до 14,8 мкм. В условиях интродукции у *P. densiflora* наблюдаются изменения морфологии хромосом и увеличение числа вторичных перетяжек в хромосомах [7].

В дендрарии «Софронка» в окр. г. Пльзень (Чехия) исследованы следующие виды сосен: интродуцированные из США сосна горная веймутова (*Pinus monticola* Douglas ex D. Don) и сосна белая юго-западная (*Pinus strobiformis* Engelm.); интродуцированная из Македонии сосна балканская (*Pinus peuce* Griseb.); интродуцированная из Сербии сосна приморская (*Pinus pinaster* Aiton); интродуцированная из Испании сосна горная древовидная (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.), а также межвидовой гибрид сосны скрученной и сосны Банка (*Pinus contorta* Dougl. ex Loud. Ч *Pinus banksiana* Lamb.). Миксоплоидия ($2n = 24, 36$) обнаружена у *P. pinaster*. Высокая вариабельность хромосомных чисел ($2n = 24, 25$; $2n = 24, 48$; $2n = 24, 25, 48$) отмечена у *P. uncinata*. У гибрида также наблюдалась миксоплоидия ($2n = 24, 36$; $2n = 24, 48$). Встречаемость миксоплоидов у данных видов сосен и межвидового гибрида составляет 1–5 % [5].

Исследованы числа хромосом у 2 вида рода *Picea*. Установлено, что в их диплоидном наборе содержится 24 хромосомы ($2n = 24$). В семенном потомстве ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst.) в парковых насаждениях в окрестностях г. Парижа (Франция) выявлена миксоплоидия ($2n = 24, 48$) [5]. Проведено кариологическое изучение родительских деревьев и семенного потомства 5 отобранных в природе декоративных форм ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) в посадках дендрария Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (Россия, г. Красноярск): *P. obovata* f. *densifolia* Lucznik, светящаяся – f. *lucifera* Lucznik, желтая – f. *Lutescens* Lucznik, плакучая – f. *pendula* Lucznik, семирская – f. *seminskiensis* Lucznik. Установлено, что у f. *seminskiensis*, кроме хромосом

основного набора (А-хромосом), имеется одна добавочная, или В-хромосома ($2n = 24 + 1B$); у *f. lutescens* – две В-хромосомы ($2n = 24 + 2B$); у остальных трех форм – *f. densifolia*, *f. lucifera*, *f. pendula* – В-хромосом нет ($2n=24$). Хромосомы основного набора *P. obovata* представлены длинными метацентриками размером 12,5–16,5 мкм (I–VIII пары), длинными субметацентриками – 11,5–12,5 мкм (IX пара), короткими метацентриками – 10,5–11,5 мкм (X–XI пары) и короткими субметацентриками – 9,5 мкм (XII пара). В-хромосомы изученных форм по величине меньше, чем А-хромосомы, и составляют около 30 % их длины. Они относятся к двум морфологическим типам: метацентрическому (тип B_1) и субметацентрическому (тип B_2). В семенном потомстве наблюдается большее разнообразие цитотипов с В-хромосомами по сравнению с материнскими деревьями. У материнских растений, в кариотипах которых нет В-хромосом, они имеются у половины семенного потомства, что объясняется перекрестным опылением среди деревьев. По жизнеспособности пыльцы деревья с добавочными хромосомами и без них не различаются [9].

Проведено исследование мейоза при микроспорогенезе у вида рода *Abies* пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН [10]. Особенностью мейоза у *A. sibirica* в условиях дендрария является его значительная продолжительность по сравнению с естественными насаждениями. Исследования показали чрезвычайно широкий спектр нарушений мейоза у *A. sibirica* в дендрарии. Отдельные типы нарушений (агглютинация хроматина, остаточное ядрышко на стадии прометафазы I и полная агглютинация

хромосом в кольцо на стадии метафазы I, триполярные конфигурации и выброс групп хромосом на стадии ана-телофазы I, объединение ядер в диаде, удлинение хромосом, а также их хаотическое расположение на стадии метафазы II) отмечены только у деревьев, растущих в дендрарии, и не встречались у особей в естественных местообитаниях окрестностей г. Красноярска. Некоторые из мейотических аномалий в дальнейшем могут приводить к снижению фертильности пыльцы.

Выводы

Полученные данные свидетельствуют о том, что у видов хвойных, произрастающих при интродукции в дендрариях и парках, наблюдаются различные изменения кариологических и цитогенетических параметров. Отмечается вариабельность числа хромосом (миксоплоидия) и появление В-хромосом, при этом формы и культивары хвойных также характеризуются изменчивостью хромосомных чисел. Наблюдаются нарушения морфологии хромосом, увеличение числа вторичных перетяжек в хромосомах, возникновение хромосомных перестроек. Выявлены асинхронность развития мужской генеративной сферы, большая продолжительность мейоза и широкий спектр мейотических аномалий. Установленные изменения, вероятно, вызваны акклиматизацией деревьев в новых условиях произрастания и адаптацией к повышенной рекреационной нагрузке в парковых насаждениях. Они могут вызывать повышение фенотипического и генетического разнообразия, что необходимо учитывать при интродукции и осуществлении мероприятий по селекции различных видов хвойных.

References

1. Pravdin L.F., Budaragin V.A., Krukliis M.V., Shershukova O.P. Methods of karyologic investigation of conifers. *Lesovedenie*. 1972. № 2. P. 67–75 [in Russian] / Правдин Л.Ф., Бударагин В.А., Круклис М.В., Шершукова О.П. Методика кариологического изучения хвойных пород. *Лесоведение*. 1972. № 2. С. 67–75.
2. Muratova E.N. Kariostematika semejstva Pinaceae Lindl. Sibiri i Dalnego Vostoka: avtoref. dys. dokt. biol. nauk. Novosibirsk, 1995. 32 p. [in Russian] / Муратова Е.Н. Кариосистематика семейства Pinaceae Lindl. Сибири и Дальнего Востока: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1995. 32 с.
3. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V., Tashev A.N. Chromosome numbers of coniferous from Bulgaria. 1. Cupressaceae species under the introduction. *Botan. zhurn.* 2011. Vol. 96, № 7. P. 974–975. [in Russian] / Седельникова Т.С., Пименов А.В., Ташев А.Н. Числа хромосом видов Cupressaceae при интродукции в Болгарии. *Ботан. журн.* 2011. Т. 96, № 7. С. 974–975.
4. Sedelnikova T.S. The chromosome numbers of some species of Cupressaceae and Pinaceae family in artificial and park plantings. *Botan. zhurn.* 2016. Vol. 101, № 11. P. 1350–1352. [in Russian] / Седельникова Т.С. Числа хромосом некоторых видов семейств Pinaceae и Cupressaceae в искусственных и парковых насаждениях. *Ботан. журн.* 2016. Т. 101, № 11. С. 1350–1352.
5. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V., Varaksin G.S., Jankovska V. Chromosome numbers of some species of conifers. *Botan. zhurn.* 2005. Vol. 90, № 10. P. 1611–1612. [in Russian] / Седельникова Т.С., Пименов А.В., Вараксин Г.С., Янковска В. Числа хромосом некоторых видов хвойных. *Ботан. журн.* 2005. Т. 90, № 10. С. 1611–1612.

6. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V., Onuchin A.A., Jankovska V. Chromosome numbers of some coniferous species in arboretums and recreations parks. *Botan. zhurn.* 2008. Vol. 93, № 1. P. 157–158. [in Russian] / Седельникова Т.С., Пименов А.В., Онучин А.А., Янковска В. Числа хромосом некоторых видов хвойных в дендрариях и парковых насаждениях. *Ботан. журн.* 2008. Т. 93, № 1. С. 157–158.
7. Sedelnikova T.S., Muratova E.N., Pimenov A.V. Variability of chromosome numbers in Gymnosperms. *Biology Bulletin Reviews.* 2011. Vol. 1, № 2. P. 100–109. doi: 10.1134/s2079086411020083.
8. Sedelnikova T.S., Pimenov A.V., Grabovyy V.N., Ponomarenko V.A. The chromosome numbers of cultivars of *Thuja occidentalis* L. in National dendrological park “Sofiyivka”, Ukraine. *Botan. zhurn.* 2014. Vol. 99, № 8. P. 941–944. [in Russian] / Седельникова Т.С., Пименов А.В., Грабовой В.Н., Пономаренко В.А. Числа хромосом *Thuja occidentalis* (Cupressaceae) в Национальном дендрологическом парке «Софиевка», Украина. *Ботан. журн.* 2014. Т. 99, № 8. С. 941–944.
9. Muratova E.N., Vladimirova O.S. Supernumerary chromosomes of karyotype of Siberian spruce *P. obovata*. *Cytology and genetics.* 2001. Vol. 35, № 4. P. 38–44. [in Russian] / Муратова Е.Н., Владимирова О.С. Добавочные хромосомы кариотипа ели сибирской *P. obovata*. *Цитология и генетика.* 2001. Т. 35, № 4. С. 38–44.
10. Bazhina E.V., Kvitko O.V., Muratova E.N. Meiosis during microsporogenesis in Siberian fir under arboretum. *Ontogenesis.* 2007. Vol. 38, № 4. P. 299–306. [in Russian] / Бажина Е.В., Квитко О.В., Муратова Е.Н. Мейоз при микроспорогенезе у пихты сибирской в условиях дендрария. *Онтогенез.* 2007. Т. 38, № 4. С. 299–306.

SEDELNIKOVA T.S., PIMENOV A.V., MURATOVA E.N.

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center SB RAS», Russia, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru

KARYOLOGICAL AND CYTOGENETIC FEATURES OF CONIFERS IN ARBORETUMS AND PARKLANDS

Aim. The study of karyological and cytogenetic features of conifers growing under conditions of introduction and increased recreational pressure, to identify biodiversity and solve the problems of population and environmental genetics of representatives of this group of plants. **Methods.** Classical chromosome research methods with staining with acetohematoxylin were used. **Results.** In species, forms, and cultivars of conifers from the Pinaceae and Cupressaceae families growing in arboretums and parklands, as well as being components of green spaces in settlements of different geographical regions, variability of chromosome numbers (mixoploidy), the appearance of B chromosomes, high occurrence, and a wide range of chromosomal and meiotic anomalies are discovered. **Conclusions.** Karyological and cytogenetic studies have shown the presence of karyotypic polymorphism and an increase in the number of various disorders of mitosis and meiosis in conifers when introduced under growing conditions in recreational areas.

Keywords: conifers, introduction, chromosome number, chromosomal rearrangements, meiosis disorders.

СЕДЕЛЬНИКОВА Т. С., ПИМЕНОВ А. В., МУРАТОВА Е. Н.

Інститут лісу ім. В.М. Сукачова СВ РАН, Федеральний науковий центр «Красноярський науковий центр СО РАН», Росія, 660036, м. Красноярськ, Академмістечко, 50/28, e-mail: tss@ksc.krasn.ru

КАРІОЛОГІЧНІ ТА ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ХВОЙНИХ У ДЕНДРІЯХ І ПАРКОВИХ НАСАДЖЕННЯХ

Мета. Вивчення каріологічних і цитогенетичних особливостей хвойних, що ростуть в умовах інтродукції і підвищеного рекреаційного навантаження, для виявлення біорізноманіття, вирішення питань популяційної та екологічної генетики представників цієї групи рослин. **Методи.** Використовували класичні методи дослідження хромосом із фарбуванням препаратів ацетогематоксиліном. **Результати.** У видів, форм і культиварів хвойних з родин Pinaceae і Cupressaceae, що ростуть у дендраріях і парках, а також є компонентами зелених насаджень у населених пунктах різних географічних регіонів, виявлено мінливість хромосомних чисел (міксопloidія), появу В-хромосом, висока зустрічальність і широкий спектр хромосомних і мейотичних аномалій. **Висновки.** Каріологічні та цитогенетичні дослідження показали наявність каріотипового поліморфізму і збільшення кількості різних порушень мітозу і мейозу у хвойних за інтродукції в умовах зростання на рекреаційних територіях.

Ключові слова: хвойні, інтродукція, число хромосом, хромосомні перебудови, порушення мейозу.