

ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦИОННЫЕ ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

А. И. КОВАЛЕВИЧ, канд. с.-х. наук,
В. Е. ПАДУТОВ, д-р биол. наук,
А. И. СИДОР, канд. с.-х. наук,
А. П. КОНЧИЦ, канд. биол. наук
 Государственное научное учреждение «Институт леса Национальной академии наук Беларуси»

Подведены итоги селекционно-генетической работы с лесообразующими породами Беларуси. Рассмотрены вопросы эффективности плюсовой селекции. Предложены подходы к оптимизации создания лесосеменных плантаций по селекционным и генетическим критериям.

Ключевые слова: постоянная лесосеменная база, лесосеменные плантации, фенотипические и генетические характеристики, наследование, популяционно-генетическая структура плантаций.

В Беларуси разработка научных основ организации постоянной лесосеменной базы начата с 60-х годов прошлого века. Для этого в лесах проводятся широкие исследования по изучению формового разнообразия основных лесообразующих пород [2, 9]. В ходе выполнения работ разработаны критерии проведения селекционной оценки древостоев, выделения селекционных категорий насаждений и деревьев.

Широкие исследования по популяционной изменчивости основных лесообразующих пород, проведенные в Беларуси, значительно углубили представление о роли и месте различных форм, их полезности для лесного хозяйства. Они позволили усовершенствовать критерии отбора и разработать новые практические указания по отбору плюсовых насаждений и деревьев в Беларуси [11].

Во всех лесхозах республики проведена полная селекционная инвентаризация лесов. В результате этой оценки было выделено 57 плюсовых насаждений общей площадью 1252,6 га, отобрано 2579 плюсовых деревьев сосны, ели, дуба и других видов. Отобранные плюсовые насаждения и деревья стали исходным материалом для реализации программы создания лесосеменных плантаций первого порядка и развития плантационного направления лесного семеноводства.

Работа по обоснованию и развитию клонового плантационного семеноводства стала приоритетной. Наряду с разработкой технологии по закладке семенных плантаций началось изучение эффективности разных способов создания плантаций, оценка плодоношения семейственных и клоновых плантаций, закладывание опытов по стимулированию плодоношения плантаций ели. В результа-

те для условий Беларуси были выявлены особенности плодоношения сосны и ели на плантациях в зависимости от возраста, климатических условий формирования стробилов, установлена изменчивость основных показателей шишек и качества семян, разработана шкала оценки урожайности деревьев на ЛСП в зависимости от возраста, шкала хозяйственной оценки урожайности сосны на ЛСП, критерии для оценки клонов по показателям качества шишек и семян. Была исследована отзывчивость семенных деревьев на внекорневую обработку биологически активными веществами и минеральными удобрениями, выявлены высокоурожайные клоны, разработаны методы формирования крон, облегчающие доступность сбора урожая.

Одним из основных элементов системы плюсовой селекции является исследование генетических свойств плюсовых деревьев в испытательных культурах. В связи с этим испытательные культуры становятся неотъемлемой частью выполнения селекционных программ. Начаты исследования по разработке методов ранней диагностики для оценки генетических свойств плюсовых деревьев. Для этих целей использовали корреляцию различных признаков и свойств у древесных пород в раннем и зрелом возрасте. С помощью этих методов, включающих физиологические, цитологические и генетические исследования, были выделены плюсовые деревья с высокими показателями генетического улучшения, которые рекомендованы для размножения на лесосеменных плантациях первого порядка. ДНК-анализ потомства быстрорастущих форм ели позволил выявить аллельные варианты по двум генам, детерминирующим биосинтез и полимеризацию лигнина, которые можно использовать для ранней диагностики деревьев, обладающих быстрым ростом [1].

Красной нитью через все исследования проходит задача сохранения ценного генофонда наших лесов. Работа по выделению плюсовых насаждений и деревьев, созданию лесосеменных плантаций и участков, испытательных и географических культур проводилась не только в рамках использования их для целей селекции, но большинство данных мероприятий было направлено на поддержание материала с целью его сохранения. Проводится большая работа по организации в Беларуси сети лесных генетических резерватов. Выделению 17 лесных генетических резерватов сосны, ели, дуба и ясеня общей площадью 5413 га.

В целом, проведенные мероприятия позволили организовать постоянную лесосеменную базу на генетико-селекционной основе (табл. 1).

По результатам многолетних исследований полусибсовых потомств отобранных материнских

Распределение генетико-селекционных объектов по древесным породам

Род	Генетические резерваты, га	Плюсовые насаждения, га	Плюсовые деревья, шт.	Лесосеменные плантации, га	Клоновые архивы, га	Испытательные культуры, га	Географические культуры, га
Pinus	1550,0	531,1	1468	944,9	13,5	24,3	35,7
Picea	1127,0	233,9	379	235,2	7,4	38,0	27,5
Quercus	2622,0	427,2	503	263,4	3,0	9,0	20,2
Betula	–	24,0	101	–	–	–	–
Alnus	–	34,5	118	–	–	–	–
Populus	–	1,9	10	–	–	–	–
Fraxinus	114,0	–	–	–	–	–	–

деревьев в испытательных культурах выделено кандидатами в элиту 184 плюсовых дерева, 11 плюсовых насаждений – кандидатами в сорта-популяции, отселектировано около 40 клонов сосны с высокими показателями смолопродуктивности. В испытательных и географических культурах старше 15-летнего возраста проведена селекционная оценка деревьев и отобрано 439 плюсовых деревьев (вторичного отбора). Они будут использованы в качестве исходного материала для комплектации клонов в лесосеменных плантациях повышенного генетического уровня.

Для реализации следующего этапа селекционных работ – создания лесосеменных плантаций повышенного генетического уровня и перевода семеноводства на сортовую основу – разработана долгосрочная «Программа сохранения лесных генетических ресурсов и развития селекционного семеноводства Беларуси на период до 2015 года» [10]. При её подготовке учитывалось состояние лесного фонда, экологическое состояние лесов и структура лесов будущего. Цель программы – создание системы лесного семеноводства на селекционно-генетической основе, полностью обеспечивающей потребности лесовосстановления в семенах с высокими наследственными и посевными качествами. Приоритетные направления программы включают: мероприятия по сохранению лесных генетических ресурсов, дальнейшее совершенствование лесосеменной базы и развитие селекции лесных древесных видов.

Реализация мероприятий по сохранению лесных генетических ресурсов проводится в рамках Государственной программы «Создание национального генетического фонда хозяйственно-полезных растений». Главной задачей сохранения лесных генетических ресурсов является сохранение генетического разнообразия для обеспечения принципа постоянной целостности генетической информации. Воздействие комплекса антропогенных факторов кардинально изменяет естественную среду обитания видов. Поэтому у лесных древесных пород для успешной адаптации к изменениям условий окружающей среды, сохранение генетического разнообразия является крайне важным условием. Охрана наиболее продуктивных и адаптированных к местным условиям популяций, которые содержат

максимальное количество генетического разнообразия, необходимо также для проведения селекции.

В системе мероприятий по сохранению генетических ресурсов лесообразующих пород намечены два направления: охрана в естественных местообитаниях (метод *in situ*) и в специально созданных искусственных объектах (метод *ex situ*). Главной формой сохранения *in situ* являются генетические резерваты, популяционно-генетическая структура которых представляет динамическую систему, способную эволюционировать на протяжении многих поколений. Служить объектами сохранения в местах естественного произрастания также будут плюсовые насаждения, хозяйственные семенные древостои и семенные резерваты. Причем эти участки будут выполнять функции не только сохранения, но и активного использования популяционно-генетических ресурсов.

Второе направление в мероприятиях обеспечивает сохранение наиболее ценного генофонда и предполагает создание архивов клонов, испытательных культур, лесосеменных плантаций и т. д. В ходе практической реализации мероприятий площади лесных генетических резерватов должны увеличиться до 15 тыс. га, будет дополнительно отобрано около 3 тыс. га плюсовых насаждений, заложено около 200 га искусственных объектов. Конечная цель – создание в республике сети объектов по консервации лесных генетических ресурсов. Большая роль по сохранению ценного генофонда отводится созданному при Институте леса генному банку семян, где формируется коллекция семян плюсовых деревьев и плюсовых насаждений.

Эффективное сохранение лесных генетических ресурсов требует знаний не только об их современном состоянии, но и об изменениях, которые в них происходят [8]. Поэтому необходима организация постоянного генетического мониторинга. Его задача – долговременное слежение за состоянием популяционных генофондов, оценка и прогнозирование их динамики во времени и пространстве, определение пределов допустимых изменений.

В области развития лесной селекции будут углублены исследования по следующим направлениям:

– изучение и отбор деревьев и популяций местных видов, обеспечивающих повышение продуктивности и устойчивости насаждений;

– введение в культуру инорайонных видов и происхождений, не уступающих лучшим местным популяциям;

– получение и внедрение в культуру высокопродуктивного и высокоустойчивого гибридного потомства от внутривидовых скрещиваний.

Исходя из этих направлений исследований, определены четыре основные цели селекции лесных древесных видов Беларуси:

– улучшение количественных и качественных признаков насаждений, обеспечивающих повышение продуктивности лесов в пределах 10 – 15%. Селекционная работа проводится практически со всеми лесообразующими видами. В качестве исходного материала используются плюсовые насаждения, плюсовые деревья, клоновые и семейственные плантации, популяционно-экологические и географические культуры. Основная роль здесь отводится популяционной селекции. В качестве методов оценки применяется тестирование популяций, семей, клонов;

– улучшение качественных показателей деревьев и древесины (смолопродуктивность, узорчатость древесины и др.). Предусматривается получение селекционного материала для закладки промышленных культур специального назначения. В селекционном процессе участвуют все лесообразующие виды. При отборе на улучшение этих показателей применяется индивидуальная селекция. Исходным материалом служат плюсовые деревья, клоновые и семейственные плантации, испытательные культуры. Основные методы оценки – тестирование семей, клонов, проведение контролируемых скрещиваний с последующим тестированием семей;

– увеличение массы древесины при коротких циклах выращивания: хвойных – до 40 – 60 лет; лиственных – до 35 – 40 лет. Селекция проводится с сосной, елью, осинкой, березой, ольхой. Исходным материалом служат плюсовые деревья, семьи и клоны. Основные методы: тестирование семей, клонов, контролируемые скрещивания и тестирование семей;

– повышение устойчивости деревьев к грибным заболеваниям и техногенным нагрузкам. Основное назначение: получение материала повышенной устойчивости для закладки культур в районах повышенных повреждений губкой и техногенных загрязнений. Селекция на устойчивость к корневой губке проводится с сосной и елью. Исходный материал: деревья повышенной толерантности к данному патогену. Методы оценки: тестирование семей, клонов, искусственно зараженных патогеном. Селекция на устойчивость к радиационному загрязнению ведется в первую очередь с сосной.

Качественно новый этап развития лесной селекции и семеноводства, характеризующий переход селекционного семеноводства на элитную основу, связан с началом реализации программы создания лесосеменных плантаций хвойных второго порядка.

К началу 90-х годов прошлого века была окончена закладка плантаций хвойных первого порядка, проведена генетико-селекционная оценка потомства плюсовых деревьев в испытательных культурах.

В период с 1966 года заложено 28,6 га испытательных культур сосны, ели и дуба. На участках испытательных культур проходят проверку почти 1340 плюсовых деревьев. Так, только по сосне испытывается 752 плюсовых дерева, а всего на селекционных участках изучается около 30 000 растений из 74 лесхозов.

К настоящему времени выделены кандидаты в элиту, разработаны типы лесосеменных плантаций второго порядка, агротехника их создания, формирования и эксплуатации, подготовлены «Методические рекомендации по созданию лесосеменных плантаций хвойных второго порядка» [7]. С использованием данных методических разработок лесхозхозяйственными предприятиями республики с 1992 года ведется закладка плантаций сосны и ели второго порядка.

Полученные предварительные данные по генетической оценке потомства плюсовых деревьев различных пород в испытательных культурах показывают, что в результате однократного фенотипического отбора плюс-вариантов генетическое улучшение по объему ствола составляет 2–3%, по общей продуктивности – 7–8%. На семенных плантациях, в зависимости от набора клонов, эти показатели могут быть ниже или выше.

Критерием селекционной ценности выделенных фенотипов чаще всего служит их общая комбинационная способность, определяемая по результатам роста и развития полусибсового потомства. В практической лесной селекции эффект от применения индивидуального отбора оценивается обычно по двум параметрам: 1) величине генетического улучшения селектируемого признака за одно поколение; 2) относительному числу испытываемых семей, достоверно превышающих контрольные варианты по фенотипическому выражению данного признака.

Имеющиеся наблюдения показывают, что генетический сдвиг, достигаемый от применения индивидуального отбора по признакам продуктивности в популяциях лесных древесных пород, обычно не превышает 10%. В основном генетический сдвиг составляет всего – 2–5%, значительно реже – 20–30%.

С использованием моделей дисперсионного анализа установлено, что доля влияния фактора происхождения плюсовых деревьев составляет лишь несколько процентов, фактор семейной принадлежности не превышает 14%, а фактор повторности, включающий взаимодействие генотип-среда, составляет около 20%. Доля фактора, которая приходится на индивидуальную изменчивость, доходит до 90%.

Следует отметить, что испытание фенотипов, отбираемых в популяциях по качеству их семенного потомства, остается пока единственным надежным, хотя и довольно трудоемким методом их генетической оценки по энергии роста. Испытание потомства позволяет не только отобрать плюсовые

Значения основных показателей генетической изменчивости ели европейской на лесосеменных плантациях и в естественных насаждениях

Место произрастания	Доля полиморфных локусов		Число аллелей на локус	Средняя гетерозиготность	
	P_{95}	P_{99}		ожидаемая H_e	наблюдаемая H_o
ЛСП I порядка в целом	0,389	0,500	2,611±1,335	0,128±0,003	0,132±0,003
ЛСП II порядка в целом	0,444	0,556	2,778±1,215	0,164±0,002	0,162±0,002
Природные насаждения	0,444	0,667	2,278±1,074	0,137±0,007	0,140±0,007

деревья, которые действительно имеют генетические факторы предрасположенности к повышенной продуктивности, но и повысить значения ряда параметров генетического разнообразия.

В ходе проведения молекулярно-генетической инвентаризации лесосеменных плантаций ели европейской было проведено сравнение ЛСП первого и второго порядков (табл. 2). Материал для анализа был взят с 1548 деревьев ели европейской, произрастающих: на лесосеменных плантациях первого порядка, заложенных в Костюковичском, Могилевском и Чериковском лесхозах; на лесосеменных плантациях второго порядка, заложенных в Глубокском, Полоцком и Крупском лесхозах; в насаждениях естественного происхождения.

Из табл. 2 следует, что на ЛСП первого порядка значения параметров как ожидаемой гетерозиготности, так и наблюдаемой гетерозиготности (0,128 и 0,132 соответственно) близки к естественным насаждениям (0,137 и 0,140 соответственно). В то же время на ЛСП второго порядка значения этих показателей достоверно более высоки (0,164 и 0,162 соответственно) [3]. Таким образом, показатель гетерозиготности можно не только использовать в качестве критерия оценки генетического потенциала лесосеменной плантации, но и на его основе определять степень эффективности использования ЛСП в селекционном семеноводстве.

Аналогичная ситуация должна наблюдаться и на лесосеменных плантациях второго порядка сосны обыкновенной, поскольку, как было установлено при проведении генетического анализа, кандидаты в элиту по параметру гетерозиготности (ожидаемая – 0,251, наблюдаемая – 0,256) достоверно превышают средние показатели деревьев в сосняках естественного происхождения (0,224 и 0,237 соответственно). Однако генетический анализ 21 плантации показал, что только 28% плантаций имеют показатели гетерозиготности выше, чем в сосняках естественного происхождения, 29% плантаций соответствуют природным популяциям, а у 43% плантаций значения этих параметров ниже. Главной причиной этого являются ошибки и отклонения от схем закладки плантаций во время их создания.

Для хранения, переработывания и эффективного использования накопленной информации создан информационный компьютерный банк данных по генетическим ресурсам лесообразующих пород Беларуси. При описании плюсовых деревьев, включенных в базу данных «Селекционный фонд

лесных древесных пород Беларуси», учитываются результаты не только молекулярно-генетического анализа, но и компьютерной биометрии [4].

Биометрические работы предполагают большой объем измерений, требующих значительных материальных и временных затрат. Однако измерения, проводимые с участием человека, зачастую содержат значительную погрешность. Описания таких признаков биологических объектов, как окраска, форма, текстура, весьма субъективны. Измерение меняющихся во времени количественных показателей биологических объектов зачастую невозможно без использования компьютерного анализа видеоизображений. Также следует отметить, что лишь незначительная часть генетически обусловленных признаков носит явный, легко наблюдаемый характер.

Для обнаружения и анализа большей части генетически обусловленных признаков разрабатываются и используются специальные методы и технологии. Одним из таких методов может быть использование компьютерного анализа цифровых изображений биологических объектов – «компьютерного зрения». Этот подход является развитием классических методов морфометрии. Он дает возможность проведения большого количества высокоточных измерений однотипных объектов (метамеров) с использованием компьютера и цифровых устройств получения изображений и позволяет проводить объективное количественное описание фенотипических признаков растений на основе алгоритмического анализа полученных данных. С использованием данного подхода возможно использование качественно новой биометрической информации. На этой основе возможна замена качественных фенотипических признаков в количественные. Это позволяет увеличить количество получаемой биометрической информации, повысить ее точность, сократить время и стоимость проводимых измерений [6].

Для практического использования значений параметров, заложенных в базе данных, разработан многокритериальный метод отбора клонов для лесосеменных плантаций.

Существует большое количество критериев, по которым следует производить оценку и отбор клонов. Клоны, оптимальные по одним критериям, могут оказаться непригодными по другим. Причем отбор по всем критериям может привести к слишком бедному набору клонов. Проведение отбора клонов по всем критериям вручную достаточно затруд-

нительно и может приводить к неточному выделению оптимального множества клонов. Необходимым этапом в решении любой многокритериальной задачи является построение множества Парето. Клон плюсового дерева относится к множеству Парето, если он является лучшим по хотя бы одному из критериев оценки. Свойства данного множества изучены достаточно подробно, разработаны методы и алгоритмы его построения. Для осуществления многокритериального отбора клонов при создании лесосеменных плантаций был разработан метод и на его основе создано программное обеспечение для нахождения Парето – оптимального набора клонов сосны обыкновенной [5].

Входными данными этой программы является исходный набор клонов, совокупность целевых репродуктивных и генеративных признаков, по которым необходимо провести отбор, и значения этих признаков для каждого клона. Выходными данными является оптимальный набор клонов для закладки лесосеменных плантаций. Если полученный набор клонов слишком мал, то целесообразно повторить данную процедуру отбора, предварительно удалив клоны, отобранные на предыдущем этапе. При моделировании популяционно-генетических показателей ЛСП необходимо учитывать вероятностный характер их функционирования, целесообразность применения метода имитационного моделирования, в частности метод Монте-Карло, который предусматривает генерацию случайно распределенных популяций в соответствии с заданным законом распределения их аллельных частот.

ВЫВОДЫ

На основе предложенного подхода можно контролировать генетическую структуру создаваемых селекционных объектов и их семенного потомства, приближая ее к оптимальной по генетическим и селекционным параметрам. Решение этой задачи соответствует одному из принципов лесной сертификации: поддержанию внутривидового биоразнообразия основных лесообразующих пород на естественном популяционно-генетическом уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баранов О. Ю.** Рестрикционный анализ САD-гена ели европейской / О. Ю. Баранов, В. Е. Падутов // Молекулярная и прикладная генетика: Науч. труды в 3 т. – Т. 3. – Минск, 2006. – С. 9 – 10.
2. **Василевская Л. С.** Селекционно-генетическая оценка насаждений и деревьев главных лесообразующих пород / Л. С. Василевская // Селекция, генетика и семеноводство древесных пород как основа создания высокопродуктивных лесов. – М., 1980. – С. 97 – 100.
3. Генетические основы селекции растений: в 4-х т. / редкол. А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука. – Т. 2. Частная генетика растений / редкол. А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева (гл. ред.) [и др.]. – 2010. – 579 с.
4. **Ковалевич А. И.** База данных по учету селекционно-генетических ресурсов лесных древесных

пород / А. И. Ковалевич, А. П. Кончиц // Леса Беларуси и их рациональное использование: Материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29 – 30 ноября 2000г. / БГТУ. – Минск: БГТУ, 2000. – С. 19 – 21.

5. **Ковалевич А. И.** Моделирование лесосеменных плантаций с заданной популяционно-генетической структурой семенного потомства / А. И. Ковалевич, А. П. Кончиц, А. И. Сидор // Труды БГТУ, Серия I, Лесное хозяйство. Вып. XVI. – Минск: УО БГТУ, 2008. – С. 412 – 416.

6. **Кончиц А. П.** Анализ изменчивости лесных древесных растений с использованием методов компьютерной биометрии / А. П. Кончиц, А. И. Ковалевич // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. трудов Ин-та леса НАН Беларуси. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 1999. – Вып. 50. – С. 146 – 151.

7. Методические рекомендации по созданию лесосеменных плантаций хвойных второго порядка. – Мн., 1994. – 29 с.

8. **Падутов В. Е.** Генетические ресурсы сосны и ели в Беларуси / В. Е. Падутов. – Гомель: 2001. – 144 с.

9. **Поджарова З. С.** Рекомендации по закладке испытательных культур и архивов клонов главных лесообразующих пород / З. С. Поджарова, А. И. Ковалевич. – Гомель, 1982. – 20 с.

10. Программа сохранения лесных генетических ресурсов и развития селекционного семеноводства Республики Беларусь на период до 2015 года. – Минск, 1998. – 43 с.

11. **Савченко А. И.** Повышение продуктивности лесов на селекционно-генетической основе / А. И. Савченко, З. С. Поджарова, Л. С. Василевская. – Минск: Ураджай, 1981. – 199 с.

GENETIC AND SELECTION PRINCIPLES OF FOREST CONSERVATION IN BELARUS **KOVALEVICH A. I., Ph. D.; PADUTOV V. E., Dr. Habil; SIDOR A. I., Ph. D.; KONCHITS A. P., Ph. D.**

Results of selection and genetic research on the forest-forming species of Belarus are presented. Problems of efficiency of plus tree selection and advanced approaches to optimization of seed orchards based on selection and genetic criteria are described.

Key words: permanent forest seed area, seed orchards, phenotypic and genetic characteristics, inheritance, population and genetic structure of orchards, computer simulation.

ГЕНЕТИКО-СЕЛЕКЦІЙНІ ЗАСАДИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ БІЛОРУСІ **КОВАЛЕВИЧ А. І., канд. с.-г. наук; ПАДУТОВ В. Є., д-р біол. наук; СИДОР А. І., канд. с.-г. наук; КОН- ЧИЦ А. П., канд. біол. наук**

Підбито підсумки селекційно-генетичної роботи з лісоутворювальними породами Білорусі. Розглянуто питання ефективності плюсової селекції. Запропоновано підходи до оптимізації лісонасінних плантацій за селекційними й генетичними критеріями.

Ключові слова: постійна лісонасінна база, лісонасінна плантація, фенотипні й генетичні характеристики, успадкування, популяційно-генетична структура плантацій, комп'ютерне моделювання.