

А  
С 49

\*

На правах рукописи

*Стец*

Стеценко Светлана Карленовна

ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ  
ОБЫКНОВЕННОЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЕСТИЦИДОВ

Специальность 06.01.11 - Защита растений

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Екатеринбург – 2004

*Всего*

Работа выполнена в лаборатории искусственного лесовосстановления Ботанического сада Уральского Отделения Российской Академии Наук

Научный руководитель – доктор сельскохозяйственных наук, с. н. с.  
Заслуженный лесовод Российской Федерации  
Фрейберг Ирина Александровна

Официальные оппоненты – доктор биологических наук, профессор  
Бабушкина Люция Георгиевна

кандидат биологических наук  
Ставишенко Ираида Васильевна

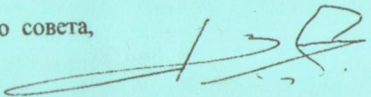
Ведущая организация – Уральский государственный университет им. А.М. Горького

Защита диссертации состоится 26 февраля 2004 года в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 Уральского государственного лесотехнического университета по адресу: 620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 36, ауд. 320.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уральского государственного лесотехнического университета.

Автореферат разослан « 16 » *сентября* 2004 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д. с.-х. н., проф.



С.В. Залесов

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Пестициды, биологически высокоактивные вещества, применяются во многих отраслях хозяйственной деятельности человека, особенно в сельском и лесном хозяйстве. Однако, при этом наблюдаются негативные побочные явления, делающие использование пестицидов нежелательным. Так при использовании в лесных питомниках наблюдается прогрессирующее падение выхода стандартного посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в связи с тератогенезом семян, что выражается в нарушении их морфогенеза и сокращении размеров семян. Отсутствие стандартного посадочного материала хвойных пород значительно осложняет процесс лесовосстановления.

Цель и задачи исследований. Цель работы - установить некоторые физиолого-биохимические показатели тератоморфных семян сосны и их отличие от семян нормального фенотипа, выявить характер роста культур из них, а также изучить влияние пестицидной активности на сосну и возможность ее снижения при совместном использовании пестицидов и удобрений.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Установление у семян сосны с нормальным и тератоморфным фенотипом физиолого-биохимических показателей, определяющих их иммунитет, таких как, активность пероксидазы, кислотность (рН) гомогената хвои, вододерживающая способность хвои, рост семян и накопление их фитомассы.
2. Исследование состояния, динамики роста и развития саженцев сосны в лесных культурах, созданных из семян с пестицидным синдромом.
3. Изучение действия пестицидной активности на сосну и возможности ее снижения при совместном использовании пестицидов и удобрений.
4. Изучение фитотоксического действия гербицидов на проростки сосны с целью оценить возможность их использования в качестве тест-объекта при исследовании пестицидного загрязнения почв лесных питомников.

Научная новизна работы. Впервые показано, что тератогенез семян сосны обыкновенной, вызванный применением пестицидов, является ятрогенным

заболеванием (Попкова, 1989) и проявляется в нарушении морфологического облика растений и изменении их физиолого-биохимического состояния, при котором возрастает уровень окислительно-восстановительных реакций, снижаются водоудерживающие свойства хвои, изменяются количественные параметры роста. Показано, что результатом сдвигов в метаболизме является ослабление иммунитета сеянцев сосны, что становится причиной низкой приживаемости и продолжающемся процессе трансформации фенотипа саженцев сосны на лесокультурной площади.

Практическая значимость полученных результатов. Выявлена нецелесообразность использования пестицидов в практике выращивания посадочного материала сосны обыкновенной в связи с тем, что эти биологически активные вещества становятся ведущим фактором в ослаблении сеянцев и, вследствие этого, значительной их гибели при пересадке на лесокультурную площадь и трансформации их морфологии, что приводит к низкому качеству лесных культур. Результаты исследования могут быть использованы для внесения корректив в существующие технологии выращивания сеянцев и для проведения оценки состояния посадочного материала в условиях Урала.

Положения, выносимые на защиту.

1. Изменение фенотипа сеянцев сосны и сопровождающие его отклонения в физиолого-биохимическом состоянии и росте являются ятрогенным заболеванием сосны обыкновенной. Лесные культуры из тератоморфных сеянцев отличаются пониженной жизнеспособностью и низким качеством.
2. Применение минеральных удобрений при выращивании сеянцев не приводит к ликвидации тератогенеза сосны.
3. Биотестирование пестицидного загрязнения почв в лесных питомниках необходимо проводить с использованием хвойных растений, в данном случае, сосны.

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на Молодежной научной конференции Института биологии «Актуальные проблемы биологии», Сыктывкар, 1996; научно-производственной конференции «Леса

Башкортостана. Современное состояние и перспективы», Уфа, 1997; Всероссийском совещании «Экологический мониторинг лесных экосистем», Петрозаводск, 1999; Всероссийской конференции «Проблемы устойчивого функционирования лесных экосистем», Ульяновск, 2001; Французско-Российский научном семинаре «Природная и антропогенная динамика лесных экосистем», Екатеринбург, 2002; симпозиуме с международным участием «Актуальные проблемы адаптации к природным и экосоциальным условиям среды», Ульяновск, 2002; VI Всероссийском популяционном семинаре «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии», Нижний Тагил, 2002.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 15 научных работ.

Личный вклад автора. Анализ литературных источников, сбор полевого экспериментального материала, проведение лабораторных исследований и анализ полученных результатов осуществлялся автором или при его непосредственном участии.

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, содержащего 124 наименования, в том числе 16 иностранных. Работа включает 121 страницу машинописного текста, 24 таблицы, 12 рисунков.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Глава 1. Состояние вопроса**

В настоящее время во всех странах мира отмечают отрицательные последствия применения пестицидов – это возрастание устойчивости вредителей к их действию, широкое распространение ранее маловредоносных сорняков, повреждение защищаемых растений, отрицательное воздействие на получаемые продукты, загрязнение природной среды (Карпенко, Груздо, 1981; Рэуце, Кырстя, 1986; Яблоков, 1988; Жученко, 1989; Величко, 1989; Мажарова, 1989; Огинова, Хлызина, 1990; Haluschan, 1996; Cox, 1999; Kim, Smith, 2001).

В опубликованных работах, в основном, рассматриваются результаты

применения пестицидов в сельском хозяйстве. В лесном хозяйстве пестициды широко используются при выращивании сеянцев хвойных пород в лесных питомниках. Однако, побочный эффект их применения, то есть, изменение в качестве и количестве стандартного посадочного материала (особенно сосны обыкновенной), насколько нам известно, исследованиями затронута слабо.

Выявленное и доказанное отрицательное влияние на сеянцы сосны обыкновенной пестицидов (Фрейберг и др., 1989, 1995, 1997, 1998) выражается в явлении тератогенеза, когда наряду с существованием немногочисленной группы сеянцев нормального фенотипа возникают две сопутствующие друг другу группы тератоморфных сеянцев – условно нормальные и аномальные, которым свойственно угнетение роста по высоте и диаметру и слабое прикрепление хвои к стволу. Аномальные сеянцы четко выделяются среди других растений несвойственным сосне обликом из-за беспорядочных дополнительных побегов и изменений хвои. Условно нормальные сеянцы не имеют дополнительных побегов. Визуальным признаком их являются небольшая высота, очень длинная хвоя на верхушке стволика и небольшой текущий прирост по высоте.

Дальнейшее изучение тератогенеза представляется необходимым, т. к. морфологические изменения у высших растений являются результатом нарушения в обмене веществ (Федоров, 1958) и способны вызвать изменения в их жизнеспособности. Исследование связи морфогенеза с физиолого-биохимическими особенностями метаболизма у сеянцев, испытавших воздействие пестицидов, имеет важное теоретическое и практическое значение. Первое дает понимание закономерностей индивидуального развития и особенностей реализации генетической информации на ранних этапах онтогенеза. Второе позволяет определить иммунность растений, бывших под прессом пестицидов и используемых при лесовыращивании, что, в свою очередь, необходимо для прогнозирования устойчивости создаваемых культурценозов.

Широко известно, что пестициды загрязняют почву. Существуют три направления снижения пестицидной активности: адсорбционное, микробио-

логическое и использование антидотов (Питина и др., 1986). Таким образом, предполагается, что при совместном применении пестицидов и удобрений последние могут, с одной стороны, сыграть роль антидотов, а, с другой, повысить плодородие почвы.

Анализ литературы по затронутым вопросам свидетельствует о целесообразности проведения исследований в этом направлении.

## Глава 2. Методы исследования

При проведении биохимических и физиологических исследований нормальных и тератоморфных сеянцев сосны определяли: рН гомогената хвои по методу С.П. Васфилова (1997), в 5-кратной повторности на иономере И-120.1, погрешность измерений 0,02 ед. рН; активность пероксидазы – по методу А.Н. Бояркина (1951), не менее 20 определений для каждого варианта на фотоэлектрическом калориметре КФК-2, погрешность измерений не более  $\pm 1\%$ ; водоудерживающую способность хвои в 20-кратной повторности на аналитических весах ВЛА-200г-М, вариация показаний в мг не более 0,2. Для анализов отбирались только неповрежденные растения и хвоя.

При оценке роста сеянцев и накоплении фитомассы измерялись диаметр корневой шейки, высота, текущий прирост по высоте, длина хвои и корня у 50 сеянцев в морфологических группах, устанавливалась масса органов в абсолютно сухом состоянии.

Изучение состояния саженцев, выращенных из тератоморфных сеянцев, проводили в школьном отделении питомника и на лесокультурной площади. Закладка опытных школ из тератоморфных сеянцев сосны производилась на площади, где ранее не применялись пестициды. Размещение сеянцев 12,5x12-15 см. Перед посадкой производились измерения диаметра корневой шейки и высоты сеянцев разного морфологического состояния. Приживаемость саженцев и рост их в каждом из вариантов определялись через месяц после посадки и в конце вегетационных периодов. Одновременно описывались особенности морфогенеза саженцев и изменения их в процессе роста. Учитывались все растения.

При изучении производственных лесных культур, созданных из сеянцев с нарушенным фенотипом, закладывалась пробная площадь с количеством растений 150–300 шт. Устанавливалась приживаемость культур, наличие тератоморфных растений, измерялись диаметр, высота, текущий прирост по высоте.

Изучение влияния удобрений на снижение пестицидной активности 2,4-Д, раундапа, ТМТД, фундазола на рост и морфологию 2-летних сеянцев сосны выполнялось путем постановки мелкоделяночных опытов на базе производственных лесных питомников. Дозы минеральных и органических удобрений были разработаны на основе рекомендаций по использованию удобрений в лесных питомниках (Стратонович, 1960; Победов, 1972; Редько и др., 1983). В контрольном варианте семена и почва не обрабатывались. В конце вегетационного периода 2-летние сеянцы выкапывались, распределялись на морфологические группы (Фрейберг И.А. и др., 1989). Устанавливалось количество растений в группе, их биометрическая характеристика измерением у 50 растений в группе и фитомасса органов в абсолютно сухом состоянии.

О влиянии пестицидной активности на сосну судили по фитотоксическому действию гербицидов 2,4-Д и раундапа на проростки сосны в лабораторном эксперименте. Семена сосны проращивали на агар-агаре в чашках Петри с разной концентрацией гербицидов. У проростков измеряли длину корешка, гипокотыля и семядолей. В чашки высевали по 20 семян, повторность опыта – 5-кратная. В контрольном варианте в агар-агар добавляли дистиллированную воду. В опыте использовалась методика из «Практикума по химической защите растений» под ред. Г.С. Груздева (1992).

Статистическую обработку полученных результатов проводили на основе статистического пакета программ «Statistica». Достоверность различия устанавливалась по t-критерию Стьюдента.

### Глава 3. Природно-климатические условия района исследований

Район исследований приурочен к Свердловской области и расположен в лесной зоне, и отличается разнообразием условий геологического строения, рельефа, почвенного покрова и климатическим характеристикам.

В течение периода исследований наблюдались заметные колебания, как в температурном режиме, так и в количестве осадков. Однако, в целом эти отклонения являются характерными для района проведения исследований. Территория района исследований в целом относится к типичному лесному району, в котором сказалась длительная эксплуатация лесов, значительно снизившая его лесистость.

### Глава 4. Физиолого-биохимические показатели сеянцев с пестицидным синдромом

О состоянии метаболизма сеянцев сосны судили на основании исследований рН гомогената хвои и активности пероксидазы, важного ключевого фермента окислительно-восстановительных процессов, водоудерживающей способности хвои, фитомассы сеянцев, как продукта роста растений под влиянием пестицидов.

Активность пероксидазы. Исследования активности пероксидазы в хвое 2-летних сеянцев сосны различных морфологических групп, проведенные в разные годы, показывают ее различную активность в зависимости от морфологии сеянцев (табл. 1).

Полученные результаты показывают различие физиологического состояния рассмотренных сеянцев вне зависимости от почвенных условий и сроков отбора растительных проб. Увеличение активности пероксидазы свидетельствует о том, что тератоморфным сеянцам свойственен более напряженный обмен веществ.

Водоудерживающая способность хвои. Исследования показали, что на протяжении всего периода наблюдений хвоя нормальных растений испаряла влаги меньше, чем хвоя тератоморфных сеянцев. При взвешивании хвои через сутки потеря воды у нормальных сеянцев оставалась в пределах 18,5

20,7 %. Суточная потеря воды у тератоморфных сеянцев колебалась от 26 до 35 %, при этом водоудерживающая способность хвои у аномальных растений была меньше, чем у условно нормальных. Снижение водоудерживающей способности у тератоморфных сеянцев приводит к осложнению послепосадочной депрессии и ослаблению созданных из них культурценозов.

Таблица 1

Активность пероксидазы хвои 2-летних сеянцев сосны

Опытный участок	№ варианта	Морфологическая группа	Активность пероксидазы, изменение оптической плотности за 1 с на 1 г сырой массы	Сравнимые варианты	Коэффициент различия $t_{\text{факт}}$ (критерий Стьюдента) ( $P < 0,05$ при $t_{\text{табл}} = 2,05$ и числе степеней свободы 30)
Билимбаевский лесхоз ОП 1-97 06.08.98	1	Условно нормальные	$5,83 \pm 0,603$	1 - 2	0,58
	2	Аномальные	$6,29 \pm 0,526$	1 - 3	2,12
	3	Нормальные	$3,91 \pm 0,677$	2 - 3	2,80
Билимбаевский лесхоз ОП 1-97 06.09.98	4	Условно нормальные	$6,21 \pm 0,845$	4 - 6	2,39
	5	Аномальные	$10,04 \pm 0,428$	5 - 6	12,31
	6	Нормальные	$4,12 \pm 0,220$	4 - 5	4,04
Березовский лесхоз ОП 1-98. 06.10.99	7	Условно нормальные	$4,99 \pm 0,292$	7 - 9	2,59
	8	Аномальные	$6,14 \pm 0,317$	8 - 9	5,70
	9	Нормальные	$4,14 \pm 0,151$	7 - 8	2,67

pH гомогената хвои. Из работ по исследованию особенностей фотосинтеза у сосны можно предположить, что между pH гомогената хвои и фотосинтезом на определенных этапах ее роста существует корреляционная связь:

в периоды наибольшей активности фотосинтеза (Мокроносов, 1992) фиксируется самое высокое накопление органических кислот (Судачкова, 1977; Васфилов, 1997).

Изучение pH гомогената хвои у сеянцев сосны на опытных участках проводили дважды за сезон ( в первую половину июля и в сентябре). Для анализа отбирали хвою текущего года. Отбор производили в 12<sup>00</sup>, в ясную погоду, так как при таких условиях активно идут фотосинтетические процессы у сосны (Судачкова и др., 1990).

Результаты изучения pH гомогената хвои приведены в табл. 2.

Таблица 2

pH гомогената хвои 2-летних сеянцев сосны обыкновенной

Фенотип	№ варианта	pH		Коэффициент различия $t_{\text{факт}}$ (критерий Стьюдента) ( $P < 0,05$ при $t_{\text{табл}} = 2,31$ и числе степеней свободы 8)		
		июль	сентябрь	Сравнимые варианты	июль	сентябрь
2000 г.						
Условно нормальные	1	3,40	3,65	1 - 2	2,61	1,18
Аномальные	2	3,30	3,73	1 - 3	7,28	4,74
Нормальные	3	3,57	3,87	2 - 3	6,84	2,61
2001 г.						
Условно нормальные	4	3,27	3,82	4 - 5	1,50	0,66
Аномальные	5	3,24	3,87	4 - 6	6,00	0,49
Нормальные	6	3,42	3,84	5 - 6	7,50	0,43

Как следует из приведенных результатов, тератоморфные сеянцы в период активного роста хвои отличаются более низкими значениями рН клеточного сока по сравнению с показателями сеянцев контрольной группы, что указывает на возможность более активно протекающего процесса фотосинтеза у тератоморфных растений. Кроме того, закисление хвои может быть связано с особенностями анатомических структур хвои аномальных и условно нормальных сеянцев. У сеянцев этих фенотипов почти полностью отсутствуют кутикулярные воска (Фрейберг и др., 1992), поэтому поступление  $\text{CO}_2$  может происходить не только через устьица, но и дополнительно через эпидермис (Крамер, Козловский, 1983).

Более активные процессы фотосинтеза в хвое тератоморфных сеянцев говорят об отсутствии признаков угнетенного состояния растений, что подтверждается результатами сравнительного определения содержания хлорофилла в хвое тератоморфных и нормальных растений (Фрейберг и др., 1997). Изучение содержания хлорофилла в хвое 2-летних сеянцев показало, что количество хлорофилла у тератоморфных сеянцев не ниже, чем у нормальных.

**Накопление фитомассы.** При определении соотношения биометрических показателей и фитомассы 2-летних сеянцев сосны на опытных участках и в производственных лесных питомниках в течении нескольких лет было проведено изучение групп сеянцев с пестицидным синдромом. Поскольку условия выращивания посадочного материала могут существенно отличаться, для полного суждения об изменении массы сеянцев и отдельных их органов использовали относительные показатели, т.е. отношение массы растения и его органов (стволика, корней, хвои) к высоте сеянца. Такой показатель характеризует нарастание фитомассы на единицу высоты сеянца.

Установлено, что аномальные сеянцы достоверно превосходят на 5%-ном уровне значимости сеянцы, имеющие как условно нормальный, так и нормальный фенотип, по величине отношения массы стволика к высоте его, массы хвои к высоте стволика и отношению общей массы хвои и стволика к высоте ( $t_{\text{факт}} = 2,87-14,11$ ).

Сеянцы условно нормальной группы по этим показателям или близки к сеянцам без нарушений морфогенеза или превосходят их. При этом даже в случае отсутствия достоверных различий по относительной массе стволика растения к его длине наблюдается тенденция превышения растений условно нормальной группы над сеянцами нормального фенотипа по массе хвои и корней.

Таким образом, изучение физиолого-биохимических особенностей тератоморфных сеянцев показало, что при более значительном накоплении фитомассы по сравнению с нормальными растениями, им свойственен более напряженный обмен веществ и слабые водоудерживающие свойства, что позволяет рассматривать тератогенез сеянцев как ятрогенное заболевание их, вызванное применением пестицидов на ранней стадии выращивания сосны.

## Глава 5. Состояние культурценозов сосны обыкновенной из сеянцев, выращенных с применением пестицидов

Пролонгированное влияние пестицидов на сосну обыкновенную изучали в опытных школьных отделениях, а также в производственных лесных культурах и опытных культурах сосны из сеянцев, выращенных в полевых мелкоделяночных опытах.

Исследование состояния саженцев сосны в производственных лесных культурах, созданных из сеянцев с пестицидным синдромом в разнотравной группе типов леса Тагильско-Свердловского лесохозяйственного района и сравнение их показателей с культурами сосны, выращенных без применения пестицидов, свидетельствует о низкой сохранности и изменении морфологии лесных культур в первом случае (табл. 3).

В среднем отставание в росте культур из посадочного материала, испытывавшего воздействие пестицидов, от культур, созданных из сеянцев, выращенных по традиционной технологии составило 21 %.

Таблица 3

Сохранность и доля аномального фенотипа растений  
в производственных лесных культурах

№ проб-ной пло-щади	Возраст культур	Сохранность, %	Аномальных, % от общего количества
Культуры созданы из посадочного материала, выращенного с использованием пестицидов			
1	5 лет	60,0	25,0
2	8 лет	35,5	22,0
3	6 лет	51,0	21,0
4	4 года	57,0	35,0
Культуры созданы из посадочного материала, выращенного без использования пестицидов			
5	5 лет	86,0	0,0
6	5 лет	92,0	0,0
7	5 лет	81,0	0,0
8	5 лет	81,8	0,0

Изучение саженцев в опытных школах сосны проводили в лесных питомниках Билимбаевского и Сысертского лесхозов. На участках для создания опытной школы пестициды не использовали. Варианты опыта состояли из посадки сеянцев нормального и аномального фенотипов. В качестве контроля использовали сеянцы, выращенные в экологически чистых условиях без применения пестицидов.

Через два года приживаемость условно нормальных сеянцев в среднем составляла 59 %, а аномальных – 54 %, в контроле – 100 %.

За проведенное в школьном отделении время морфологический облик растений изменился. В каждой исходной морфологической группе они разделились на нормальные и аномальные, т.е. у некоторых экземпляров про-

изошла трансформация фенотипа. Так в группе аномальных сеянцев из числа сохранившихся прежний облик не изменили от 22 до 58 % растений, а остальные саженцы приобрели моноподиальное ветвление. Из группы условно нормальных сеянцев из числа сохранившихся выделилось от 71 до 96 % саженцев с нормальным ветвлением, остальные – с аномальным. В контроле фенотип саженцев не изменялся.

Изучение опытных лесных культур проводили на лесокультурной площади Билимбаевского лесхоза (тип леса – сосняк разнотравный), где высаживали саженцы из опытных школьных отделений питомников. Предварительно саженцы распределяли по морфологическому состоянию на аномальные и нормальные растения (варианты опыта) (Рис.1). Контроль был представлен лесными культурами сосны, созданными из саженцев не испытанных пестицидов.

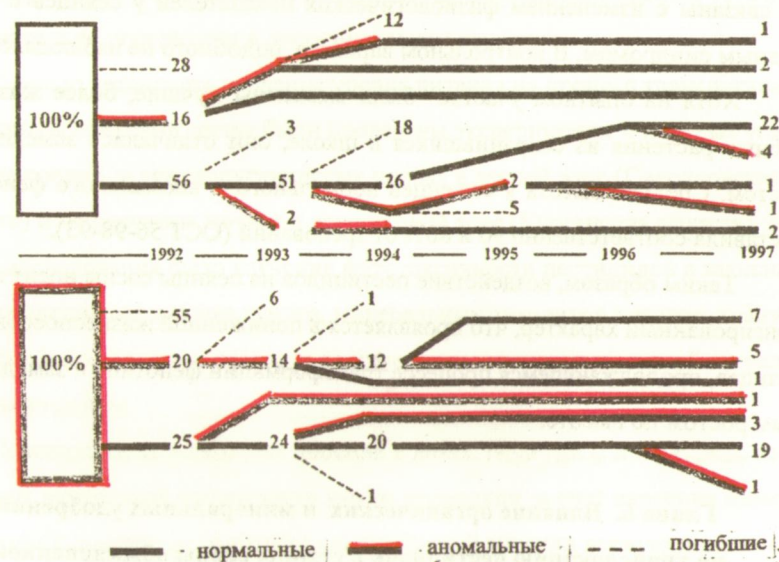


Рис. 1. Динамика трансформации фенотипа сосны на опытной лесокультурной площади.

Биометрические показатели свидетельствуют о том, что к концу 6 года



пребывания на лесокультурной площади (биологический возраст 10 лет) нормальные и аномальные растения в вариантах посадки значительно уступали растениям контрольной группы. После года пребывания на лесокультурной площади приживаемость составила: у саженцев нормального фенотипа 72%, аномального - 45%. В последующие годы приживаемость продолжала снижаться и в 6-летнем возрасте культуры сосны имели приживаемость в среднем 35% (у растений с нормальным фенотипом 27 - 29%, аномальным - 5-10% по повторностям). В контроле приживаемость составила 86 - 92 %.

Исследования показали, что в отличие от контроля морфологический облик части саженцев как аномальных, так и нормальных со временем менялся (рис.1). Полагаем, что низкая приживаемость лесных культур, низкие темпы роста в высоту, а также неустойчивое состояние морфологического облика сосны в школьном отделении питомника и на лесокультурной площади связаны с изменением физиологических показателей у саженцев с пестицидным синдромом. В контрольном варианте подобного не наблюдалось.

Хотя на опытном участке были высажены лучшие, более жизнеспособные растения из сохранившихся в школе, они отличались замедленным ростом. Средняя высота у саженцев нормального и аномального фенотипов составила соответственно 90 и 80% от требований (ОСТ 56-98-93).

Таким образом, воздействие пестицидов на саженцы сосны носит пролонгированный характер, что проявляется в пониженной жизнеспособности саженцев, продолжающемся процессе трансформации фенотипа и замедленным ростом по высоте.

## Глава 6. Влияние органических и минеральных удобрений на транслокацию пестицидов в саженцы сосны обыкновенной

Изучение совместного действия удобрений и пестицидов, несомненно, внесет свой вклад в исследование проблемы устранения пестицидной фитотоксичности. В настоящее время исследование в этом направлении идет по пути внесения адсорбционных веществ, использования микроорганизмов и

антидотов (Питина и др., 1986). Захаренко В.А. (1990) рассматривает возможность использования в качестве антидотов минеральные удобрения, которые могут быть фактором, создающим благоприятные условия для разложения пестицидов, а также предназначены для повышения устойчивости растений за счет достаточного уровня питательного режима почвы. Вопрос о влиянии совместного применения удобрений и пестицидов на развитие саженцев сосны почти не исследован, хотя оба вида этих соединений постоянно используются на лесных питомниках одновременно (Новосельцева, Смирнов, 1983). Повышенное содержание гумуса в почве рассматривается как фактор снижения концентрации пестицидов в почвенном растворе (Рачинский и др., 1985; Овчинникова, 1987; Gevaio et al., 2000), что может оказаться условием для снижения пестицидного воздействия на саженцы сосны. Сведения о влиянии актуальной кислотности почвы на фитотоксичность пестицидов носят противоречивый характер (Майер-Боден, 1972; Чканников, Соколов, 1973), и, следовательно, нуждаются в дополнительном изучении.

С целью установить значение уровня питания на процесс транслокации пестицидов саженцами сосны были проведены эксперименты в полевых условиях на средне- и тяжелосуглинистых почвах в лесной зоне (Свердловская область) и на песчаных почвах в лесостепной зоне (Курганская область). Задачей исследования было изучение фитотоксичности пестицидов в зависимости от содержания в почве гумуса, минеральных элементов питания, гранулометрического состава почвы и от изменения диапазона значений актуальной кислотности.

Минеральные удобрения вносили в дозах:  $N_{120}P_{120}K_{80}$  и  $N_{60}P_{60}K_{40}$ ; изменение актуальной кислотности почвы проводили за счет внесения извести ( $0,15 \text{ кг/м}^2$ ); в качестве органических удобрений вносили лесную подстилку (100 т/га), сухой птичий помет (0,6 т/га), опил (100 т/га) с добавлением азотного удобрения ( $N_{120}$ ). В опытах изучали действие на фоне удобрений следующих пестицидов: 2,4-Д, раундап, фундазол, ТМТД. В контрольные варианты удобрения не вносили.

Распределение полученных на второй год выращивания сеянцев сосны в опытах показало, что, с одной стороны, применение минеральных и части органических удобрений не привело ликвидации явления тератогенеза сеянцев, с другой – удобрения могут влиять на транслокацию пестицидов в сеянцы сосны. Было отмечено, что органические удобрения в виде лесной подстилки, которая обогащает почву микроорганизмами, может снижать поступление пестицидов в растения – в вариантах с применением лесной подстилки получены сеянцы нормального фенотипа – 23 %. В этом же варианте было значительно снижено по сравнению с другими вариантами количество аномальных сеянцев и составляло 60% от контроля. Минеральные удобрения усилили эффект влияния пестицидов на сеянцы, что проявилось в увеличении доли аномальных сеянцев: их количество составило от 125 до 200% от контроля.

Независимо от внесения минеральных удобрений во всех вариантах опытных участков среди тератоморфных сеянцев на суглинистой почве преобладали условно нормальные растения, на песчаной – аномальные, что, видимо, связано с особенностями адсорбции почвы пестицидов и поливалентностью их (Чканников, Соколов, 1973; Рзуце, Кырстя, 1986; Гродзинский, 1991).

Изменение актуальной кислотности не привело к снижению явления тератогенеза сеянцев. В целом, по вариантам опыта отмечена тенденция увеличения диаметра и снижения высоты сеянцев всех групп тератоморфных растений под влиянием минеральных удобрений.

#### Глава 7. Фитотоксическое действие гербицидов 2,4-Д и раундапа на проростки семян сосны обыкновенной

В настоящее время большое распространение получили методы биологического контроля за загрязнениями (Лунев, 1989; Лапина и др., 1989). В качестве биотестов для определения пестицидной активности принято использовать семена и проростки овса, горчицы, люпина и т. д. (Роля и др., 1975). Однако, при тестировании почвы, которая предназначена для выращивания сеянцев хвойных пород, применять в качестве тест-объектов семена

двудольных и однодольных растений нежелательно, т.к. в отличие от них, реакция хвойных растений на пестициды будет другой. Исходя из этого, в лабораторном эксперименте определяли фитотоксическое действие на проростки сосны двух гербицидов системного действия, но с различной химической природой – 2,4-Д и раундапа. О фитотоксическом действии судили по изменению состояния двухнедельных проростков семян сосны обыкновенной, которые выращивали на агаровой среде с добавлением разных доз препаратов. Для сравнения гармоничности развития рассчитывали относительные показатели – длина гипокотыля : длина корешка ( $L_{г/к}$ ) (Рис. 2); длина семядолей : длина гипокотыля ( $L_{с/г}$ ) (Рис. 3). На диаграммах указаны среднее арифметическое значение и стандартная ошибка среднего.

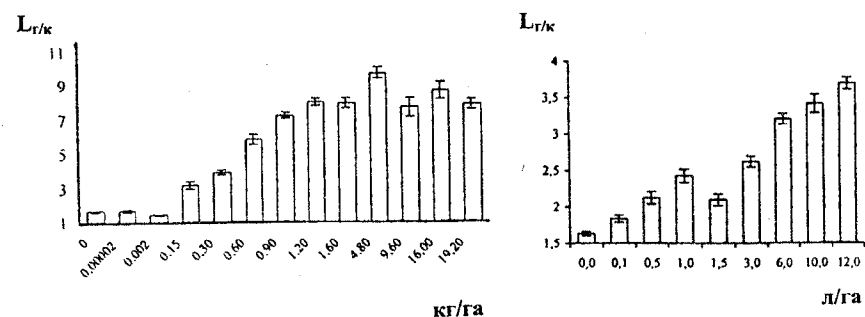


Рис. 2. Изменение значения показателя  $L_{г/к}$  проростков сосны в зависимости от дозы гербицида 2,4-Д (слева) и раундапа (справа).

Рост значений показателя  $L_{г/к}$  происходил за счет уменьшения размеров корешка, который оказался наиболее чувствительным органом при испытании обоих видов гербицидов: почти во всех вариантах с увеличением дозы происходило укорочение корешков.

При концентрациях 2,4-Д 0,00002 – 0,15 кг/га проростки показывают рост показателя  $L_{с/г}$  за счет увеличения размеров семядолей ( $t_{факт} = 4,70 - 8,97$  при  $t_{0,5} = 1,96$ ), что согласуется с характером изменения показателя «длина хвои : длина стволика» у 2-летних тератоморфных сеянцев сосны, которое

происходит из-за увеличения размеров хвои. С ростом дозы наблюдается резкое снижение этого показателя за счет снижения длины семядолей. В вариантах с высокой концентрацией 2,4-Д отмечен рост значений  $L_{сг}$  вследствие резкого снижения длины гипокотыля. При дозе раундапа 0,5 л/га зафиксировано повышение изучаемой величины ( $t_{факт} = 5,97$  при  $t_{0,5} = 1,96$ ). Однако, в других вариантах достоверного различия по показателю  $L_{сг}$  не отмечается, что может быть связано с различной природой действия раундапа и 2,4-Д на растения.

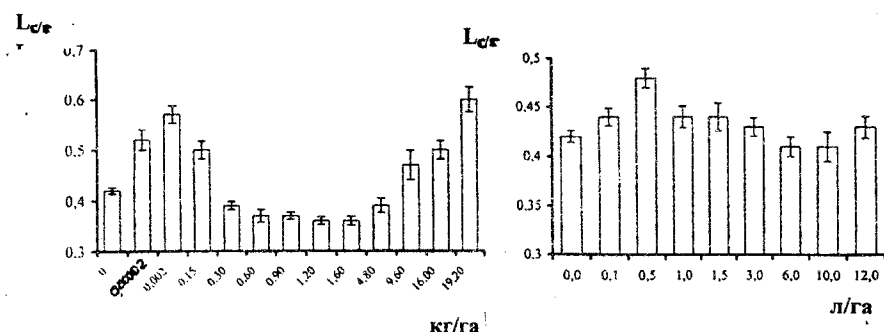


Рис. 3. Изменение значения показателя  $L_{сг}$  проростков сосны в зависимости от дозы гербицида 2,4-Д (слева) и раундапа (справа).

Таким образом, использование сосны в качестве тест-объекта для биологического контроля за загрязнением почвы пестицидами и пригодности ее для выращивания сеянцев сосны вполне возможно, поскольку проростки сосны чутко реагируют на присутствие гербицида в среде. Корешок проростков оказался наиболее чувствительным органом при испытании обоих видов гербицидов: почти во всех вариантах с увеличением дозы происходило укорочение корешков.

### Заключение

Исследования показали, что применение пестицидов на ранней стадии развития становится причиной ятрогенного заболевания сосны обыкновенной. Выражается это в формировании сеянцев условно нормального и аномального

фенотипов, которые отличаются от сеянцев нормального фенотипа морфологически и имеют отклонения в физиолого-биохимическом состоянии и в росте. Установлено, что тератоморфные сеянцы имеют пониженную вододерживающую способность, что приводит к осложнению послепосадочной депрессии у саженцев на лесокультурной площади. Повышение активности пероксидазы у тератоморфных сеянцев указывает на более высокий уровень окислительно-восстановительных реакций и приводит к более напряженному обмену веществ, более интенсивное накопление фитомассы и низкие значения рН гомогената хвои по сравнению с сеянцами нормального фенотипа косвенно свидетельствуют о более активно идущем процессе фотосинтеза. Отклонения в метаболизме у тератоморфных сеянцев приводит к ослаблению иммунитета и снижению устойчивости к неблагоприятным факторам среды.

Ятрогенное заболевание с возрастом и переносом сеянцев с пестицидным синдромом в школьное отделение и на лесокультурную площадь продолжается, что выражается в пониженной жизнеспособности саженцев, отставании в росте от нормальных растений и в непрекращающемся процессе трансформации фенотипа. Культурценозы из таких растений отличаются плохим качеством и не соответствуют требованиям, предъявляемым к искусственным насаждениям.

Попытки использования минеральных удобрений в качестве антидотов при выращивании сеянцев сосны не приводит к устранению фитотоксичности. Однако, использование мелиорантов, богатых микроорганизмами, приводит к частичному снятию негативного влияния пестицидов на сосну и позволяет наметить дальнейшие пути для снижения влияния пестицидной активности на сосну.

Исследование фитотоксического действия гербицидов 2,4-Д и раундапа на проростки семян сосны обыкновенной показали, что они влияют на сосну в широком диапазоне примененных в исследовании доз, и, в том числе, доз рекомендованных производством. Это позволяет использовать сосну в каче-

стве тест-объекта для биологического контроля за загрязнением почвы пестицидами и оценки пригодности ее для выращивания посадочного материала.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Стеценко С.К. Влияние на сеянцы сосны обыкновенной ТМТД, фундазола и 2,4-Д// Актуальные проблемы биологии. Сыктывкар, 1996. С. 113.
2. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К., Шерстенникова Р.Б., Кислицина Н.А. Модификация сеянцев сосны обыкновенной в лесных питомниках при выращивании по интенсивной технологии// Леса Башкортостана. Современное состояние и перспективы: Матер. научно-произв. конф. Уфа, 1997. С. 170-171.
3. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Модификация морфологии и фитомассы сеянцев сосны обыкновенной под влиянием пестицидов// Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: УГЛТА, 1998. Вып. 20. С. 166-171.
4. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Пестициды – новый антропогенный фактор загрязнения окружающей среды// Экологический мониторинг лесных экосистем. Петрозаводск, 1999. С. 61-62.
5. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Контроль почвенно-экологических условий в лесных питомниках//Актуальн. проблемы лесного комплекса. Брянск, 2000.С.31-32.
6. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Пролонгация действия пестицидов в культурценозах сосны обыкновенной// Лесоведение. 2000. № 6. С. 64-67.
7. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Тератогенез сеянцев сосны обыкновенной как фактор заражения шютте// Проблемы устойчивого функционирования лесных экосистем: Материалы науч. конф. Ульяновск, 2001. С. 146-148.
8. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Влияние минеральных удобрений на сеянцы сосны обыкновенной в условиях пестицидного загряз-

нения почвы// Химико-лесной комплекс – проблемы и решения: Сб. ст. Красноярск, 2001.С.139-141.

9. Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Тератогенез сеянцев сосны обыкновенной как фактор снижения иммунитета// Природная и антропогенная динамика лесных экосистем: Материалы Французско-Российский науч. семинара. Екатеринбург. С. 103-107.
- 10.Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Биологические особенности сеянцев сосны обыкновенной в условиях антропогенного загрязнения// Теоретич. и практич. проблемы лесовосстановления на Урале. Екатеринбург, 2002. С. 55-58.
- 11.Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Методика мониторинга за загрязнением почвы в лесных питомниках// Наука и оборонный комплекс – основные ресурсы российской модернизации: Материалы межрег. н.-практ. конф. Екатеринбург, 2002. С.527-529.
- 12.Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Действие раундапа на сорную растительность в посевах сосны// Химико-лесной комплекс – проблемы и решения: Сб. статей. Красноярск, 2002. Т. 1. С. 217-221.
- 13.Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Особенности действия пестицидной активности на сосну обыкновенную// Актуальн. проблемы адаптации к природным и экосоциальным условиям среды: Материалы симпоз. Ульяновск, 2002. С.164-165.
- 14.Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Отклонения в физиолого-биохимических процессах у сеянцев сосны обыкновенной под влиянием пестицидов// Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии. Нижний Тагил, 2002. С. 186-187.
- 15.Фрейберг И.А., Стеценко С.К. К вопросу эффективности искусственного лесовосстановления// Исследование лесов Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. С. 73-75.

620032, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УГЛТУ, ООП.

Подп. в печать 29.12.2003. Объем 1 п.л. Зак. 791. Тираж 100.