

УДК 630*414.4

И.А. Фрейберг, С.К. Стеценко

(I.A. Freiberg, S. K. Stetsenko)

Ботанический сад УрО РАН, г. Екатеринбург



Фрейберг Ирина Александровна родилась в 1925 г. Окончила в 1948 г. Брянский лесохозяйственный институт. Доктор сельскохозяйственных наук, профессор. В настоящее время работает в Ботаническом саду Уральского отделения РАН г. Екатеринбурга ведущим научным сотрудником лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования. Имеет 130 печатных публикаций по проблемам создания устойчивых лесных культур; воздействия высокоактивных органических соединений на хвойные растения.



Стеценко Светлана Карленовна родилась в 1966 г. Окончила в 1989 г. биологический факультет Уральского государственного университета им. А.М. Горького. Кандидат биологических наук. В настоящее время работает в Ботаническом саду Уральского отделения РАН г. Екатеринбурга научным сотрудником лаборатории лесовосстановления, защиты леса и лесопользования. Имеет 29 печатных публикаций по проблемам лесовосстановления; воздействия высокоактивных органических соединений на хвойные растения.

ФОТОСИНТЕЗ СОСНЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПРОДУКТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПЕСТИЦИДОВ (DISTRIBUTION OF PHOTOSYNTHESIS'S METABOLITES IN THE PINE UNDER INFLUENCE OF PESTICIDES)

Использование пестицидов в лесных питомниках приводит к формированию тератоморфных сеянцев сосны. В работе приведены результаты исследований, свидетельствующие о том, что у сосны под действием пестицидов происходит отклонение в физиолого-биохимических реакциях, показывающих нарушения в системе гормонального регулирования обмена веществ.

Use of pesticides at cultivation of pine seedlings in forest nurseries results in formation teratomorph seedlings. Researches testify that the pine under action of pesticides has deviation in the physiological-biochemical reactions showing infringements in system of hormonal regulation of a metabolism.

Включение пестицидов в агротехнику выращивания сеянцев сопровождается негативными явлениями: загрязнением ими почвы и формированием тератоморфных (имеющих отклонения морфологического облика) сеянцев. В почве пестициды и их метаболиты распределяются неравномерно. Наряду с локусами почвы, содержащими концентрацию пестицидов выше (в 5-10 раз) рекомендованных для применения доз, наблюдаются локусы со значительно меньшим их содержанием или даже полным отсутствием (Бабьева, Зенова, 1989). В этих условиях, помимо сеянцев нормального фенотипа, формируются тератоморфные сеянцы двух фенотипов: аномальные и условно нормальные, в разной степени затронутые пестицидной активностью. Для первых характерны дополнительные побеги на стволике, для вторых – нарушение корреляции между длинами хвои и стволика, равными или большими 0,7 (Фрейберг, Ермакова, Стеценко, 2004). Пестициды, содержащиеся в почвенном растворе, поглощаются корневой системой, поступают в организм и, обладая системным действием, вызывают изменения в некоторых анатомо-морфологических показателях. По мнению А.А. Федорова (1958), нарушение морфоструктур растений появляется лишь в том случае, когда изменен нормальный обмен веществ в них, что изменяет характер и направление развития активных очагов роста (меристем). Нами было проведено изучение таких физиолого-биохимических показателей, как активность пероксидазы, рН гомогената хвои, водоудерживающая способность тканей хвои, содержание пигментов в хвое и количественные параметры роста сеянцев (Фрейберг, Ермакова, Стеценко, 2004). Перечисленные показатели не исчерпывают всех особенностей метаболизма фенотипов сеянцев сосны, но позволяют судить об особенностях его у сеянцев каждого фенотипа, они также важны для оценки жизнеспособности растений при переносе их из питомника в посадку на лесокультурной площади и дальнейшего роста сосны.

При исследовании указанных показателей было установлено, что тератоморфным растениям достоверно свойственны высокая активность пероксидазы, большие потери воды, что ведет к обезвоживанию организма, и низкие показатели рН гомогената хвои. Последнее свидетельствует о меньшей устойчивости сеянцев к заболеваниям. Исследования пигментной системы тератоморфных сеянцев показали, что условия для активного течения фотосинтеза обеспечиваются содержанием хлорофилла в хвое, которое не ниже, чем у сеянцев нормального фенотипа, а в некоторых случаях существенно превосходит его.

Отклонение рассмотренных показателей физиолого-биохимических процессов у тератоморфных сеянцев от нормы (сеянцы нормального фенотипа) свидетельствует о снижении их иммунитета и жизнеспособности, что проявляется в низкой приживаемости сеянцев при пересадке на лесокультурную площадь (табл. 1) и в формировании вследствие этого низкоплотных насаждений (Фрейберг, Стеценко, Толкач, 2010).

Таблица 1

Сохранность и распределение растений сосны в производственных лесных культурах по морфологическим группам

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

Таким образом, растения сосны, испытавшие воздействие пестицидов в условиях питомника, несмотря на отклонение некоторых физиолого-биохимических процессов от нормы, способны расти на лесокультурной площади и сохранять биохимическую активность, проявляющуюся в процессе образования органических соединений в ходе фотосинтеза. Условия последнего обеспечиваются содержанием пигментов в хлоропластах хвои, которое у тератоморфных сеянцев не ниже, чем у сеянцев нормального фенотипа (табл. 2).

Об активизации процесса фотосинтеза у тератоморфных растений можно судить также по тенденции изменения отношения общего количества хлорофилла к содержанию каратиноидов. Сокращение количества каратиноидов свидетельствует о большей востребованности их для защиты хлорофилла при активизации фотосинтеза (Гудвин, Мерсер, 1986).

Таблица 2

Содержание пигментов в хвое 2-летних сеянцев сосны, мг на 1 г сырой массы

| № повторности | Фенотип | Содержание | | | | Соотношение | |
|---------------|--------------------|------------|-------|-------|------------------|-------------|---------|
| | | хлорофилла | | | каратиноидов (К) | a/b | (a+b)/K |
| | | a | b | a + b | | | |
| 1 | Нормальный | 0,919 | 0,350 | 1,269 | 0,268 | 2,63 | 4,73 |
| | Условно нормальный | 1,155 | 0,382 | 1,537 | 0,225 | 3,02 | 6,83 |
| | Аномальный | 1,255 | 0,313 | 1,568 | 0,200 | 4,01 | 7,84 |
| 2 | Нормальный | 0,739 | 0,322 | 1,061 | 0,227 | 2,29 | 4,67 |
| | Условно нормальный | 0,845 | 0,388 | 1,233 | 0,223 | 2,18 | 5,53 |
| | Аномальный | 0,819 | 0,393 | 1,212 | 0,236 | 2,08 | 5,14 |

Ассимиляционная деятельность фотосинтезирующего аппарата тератоморфных семян так же, как и нормальных, ведет к накоплению органического вещества, о чем свидетельствуют их биометрические показатели и фитомасса (табл. 3). Как видно из таблицы, семена нормального фенотипа превосходят тератоморфные растения по высоте, но уступают по размерам хвои и фитомассе.

Таблица 3

Характеристика количественных показателей роста и достоверность различия 2-летних семян сосны разных фенотипов

| Фенотип | Биометрические показатели | | | | Фитомасса, г | | |
|--|---------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Диаметр, мм | Высота, см | Длина хвои, см | Прирост 2-го года, см | стволи- ка | хвои | стволика + хвои |
| Нормальный | <u>2,2</u> 0,17 | <u>11,6</u> 1,00 | <u>6,7</u> 0,60 | <u>6,0</u> 0,62 | <u>0,24</u> 0,038 | <u>0,39</u> 0,048 | <u>0,63</u> 0,098 |
| Условно нормальный | <u>2,2</u> 0,08 | <u>7,9</u> 0,35 | <u>9,7</u> 0,30 | <u>3,3</u> 0,25 | <u>0,32</u> 0,027 | <u>0,70</u> 0,061 | <u>1,02</u> 0,087 |
| Аномальный | <u>2,2</u> 0,08 | <u>6,6</u> 0,32 | <u>9,0</u> 0,31 | <u>2,4</u> 0,21 | <u>0,32</u> 0,028 | <u>0,68</u> 0,058 | <u>1,01</u> 0,089 |
| Критерий Стьюдента $t_{\text{факт}}$ ($t_{\text{табл}} = 1,96$) | | | | | | | |
| Нормальные – условно нормальные | 0,53 | 3,49 | 4,47 | 4,04 | 1,72 | 4,03 | 2,98 |
| Нормальные – аномальные | 0,53 | 4,86 | 3,41 | 5,50 | 1,69 | 3,85 | 2,87 |
| Условно нормальные – аномальные | 0,00 | 2,95 | 1,62 | 2,76 | 0,00 | 0,24 | 0,08 |
| Примечание. В числителе – среднеарифметическое значение, в знаменателе – его ошибка. | | | | | | | |

На лесокультурных площадях значительного различия в текущем приросте по высоте у 4-летних саженцев, выращенных из тератоморфных семян, и нормальных не наблюдается – 28,8 см и 31,2 см соответственно (Фрейберг, Стеценко, Толкач, 2010). Из этого можно сделать заключение, что использование пестицидов не повлияло на основной обмен у растений сосны, хотя на возможность его указывал К.Федтке (1988).

Однако корреляция в соотношении высоты и диаметра у тератоморфных растений нарушена (табл. 4). То же наблюдается и у деревьев, выращиваемых из тератоморфных семян на лесокультурной площади (табл. 5). Как правило, относительная высота у них меньше, чем у деревьев, которые в питомнике не испытали воздействия пестицидов (Фрейберг, Стеценко, Толкач, 2010). Нарастание клеток у семян и саженцев (деревьев), испытавших действие пестицидов, происходит в большой степени в

латеральном направлении, что выражается в увеличении диаметра и уменьшении высоты по сравнению с растениями, не затронутыми действием пестицидов. Хотя в результате фотосинтеза образуются новые ткани растений, но рост, по заключению А.Т. Мокроносова (1981), изучавшего онтогенетические аспекты фотосинтеза, не является прямой его функцией. Он имеет свою собственную регуляцию. Ассимиляционная деятельность фотосинтезирующего аппарата является предпосылкой для роста и развития растений, которые находятся под влиянием внешних и внутренних факторов. Внешние факторы для семян рассматриваемых нами фенотипов, а в дальнейшем и деревьев однородны. К важным внутренним факторам роста и развития растений относятся вещества высокой физиологической активности – регуляторы роста (ростовые вещества или гормоны). Они интегрированы в физиолого-биохимические реакции, которые координируют ростовой процесс на всех этапах онтогенеза.

Нарушение корреляции у сосны между диаметром и высотой под влиянием пестицидов позволяет считать, что в данном случае это согласуется с утверждением К.Федтке (1988) о действии пестицидов на вторичный метаболизм, выражающийся в нарушении синтеза разных специфических компонентов растительных клеток, в том числе фитогормонов.

Таблица 4

Соотношение высоты и диаметра у 2-летних семян сосны при различных нормах предпосевной обработки семян и семян в посевном отделении

| Опытный участок, вариант обработки | Фенотип семян | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|--------------------|------------------|-----------------|
| | нормальный | | | условно нормальный | | | аномальный | | |
| | Диаметр, мм | Высота, мм | Высота: диаметр | Диаметр, мм | Высота, мм | Высота: диаметр | Диаметр, мм | Высота, мм | Высота: диаметр |
| Северка, ТМГД, 5 г кг ⁻¹ семян | $\frac{1,4}{0,06}$ | $\frac{93}{2,9}$ | 66,4 | $\frac{1,6}{0,05}$ | $\frac{84}{2,5}$ | 52,0 | $\frac{1,8}{0,06}$ | $\frac{85}{6,2}$ | 47,2 |
| Северка, фундазол 4 г кг ⁻¹ семян | $\frac{1,4}{0,09}$ | $\frac{90}{5,7}$ | 64,3 | $\frac{1,7}{0,07}$ | $\frac{82}{2,2}$ | 48,2 | $\frac{1,6}{0,06}$ | $\frac{69}{2,7}$ | 43,1 |
| Просвет, 2,4-Д, 2 кг га ⁻¹ | $\frac{0,9}{0,10}$ | $\frac{73}{5,3}$ | 81,1 | $\frac{1,1}{0,06}$ | $\frac{67}{2,7}$ | 60,9 | $\frac{1,4}{0,05}$ | $\frac{62}{2,1}$ | 44,3 |
| Первоуральск, 2,4-Д, 2 кг га ⁻¹ | $\frac{2,3}{0,13}$ | $\frac{144}{3,9}$ | 62,6 | $\frac{2,4}{0,09}$ | $\frac{77}{2,4}$ | 32,0 | $\frac{2,9}{0,15}$ | $\frac{35}{6,0}$ | 12,1 |

Примечание. В числителе – среднearифметическое значение, в знаменателе – его ошибка.

Таблица 5

Отношение высоты дерева к диаметру ствола у растений сосны в лесных культурах из тератоморфных и нормальных семян

| Морфология деревьев | Статистические показатели | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------|-------|------|----|
| | $\bar{X} \pm Sx$ | σ | C.V. | p | n |
| Аномальная | 0,49 \pm 0.02 | 0,07 | 14,30 | 4,77 | 9 |
| Нормальная | 0,55 \pm 0.01 | 0,05 | 9,96 | 2,57 | 15 |

Примечание. \bar{X} – средняя относительная высота, Sx – ошибка среднего, σ – среднеквадратическое отклонение, C.V. – коэффициент вариации, p – точность, n – число пробных площадей.

Механизм действия пестицидов на растения не раскрыт, так как до сих пор не раскрыта молекулярная природа многих процессов жизнедеятельности растительных организмов, но в основе его лежит взаимодействие с чувствительными системами растений на молекулярном уровне (Захаренко, 1990).

Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что у сосны под действием пестицидов не происходит нарушения ассимиляционной активности (основной обмен), но нарушается деятельность гормонов (вторичный метаболизм).

Библиографический список

- Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почвы. М.: Изд-во МГУ, 1989. 336 с.
- Гудвин Т., Мерсер Э. Введение в биохимию растений. Т. 1. М.: Мир, 1986. 393 с.
- Захаренко В.А. Гербициды. М.: Агропромиздат, 1990. 240 с.
- Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 195 с.
- Федоров А.А. Тератология и формообразование у растений (Комаровские чтения XI). М.;Л.: АН СССР, 1958. 28 с.
- Федтке К. Биохимия и физиология действия гербицидов. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
- Фрейберг И.А., Ермакова М.В., Стеценко С.К. Модификационная изменчивость сосны обыкновенной в условиях пестицидного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 74 с.
- Фрейберг И.А., Стеценко С.К., Толкач О.В. Формирование культур сосны из обработанных пестицидами семян// Лесоведение. 2010. №5. С. 57-61.