

ческие силы, не так уж много. Даже давление почвенного раствора, достигающее 7-10 тыс. гПа, обуславливается 0,3%-ой концентрацией его. Засоленность же многих почв гораздо ниже. Поэтому при решении вопроса солеустойчивости растений важное значение приобретает и качество засоления [1].

По данным Б.П. Строганова [4], засоление почв вызывается преимущественно катионами натрия, магния, кальция и анионами хлора, серы и уголекислоты. Эти ионы при взаимодействии образуют соли, степень отрицательного действия которых определяется рядом факторов. Карбонат натрия (Na_2CO_3), например, разлагаясь, дает едкий натрий (NaOH) – очень активный химический агент, подавляющий развитие растений. Вредность той или иной соли подчас подавляется сопутствующими элементами. Так, при наличии в почве уголекислоты карбонат натрия переходит в бикарбонат, отрицательное действие которого значительно ниже.

Действие солей зависит и от их растворимости и количества воды в почве. При низком содержании влаги концентрация раствора почвы повышается, и соли выпадают в осадок. Увлажнение повышает растворимость солей, а вместе с тем и их специфическую вредность. Растворимость солей определяется и наличием других соединений. Например, карбонат кальция в чистой воде практически не растворим, а в присутствии ионов хлора и уголекислоты легко растворяется.

Таким образом, степень вредности засоления характеризуется конкретными почвенными условиями. Уровень же засоления зависит от климатических факторов и, прежде всего, от количества осадков. Обычно засоленные почвы приурочены к аридным зонам, т. е. к областям с недостаточным увлажнением и как следствие с плохим промывным режимом.

Принято различать карбонатный, хлоридный, сульфатный, сульфатно-хлоридный, хлоридно-сульфидный и смешанный типы засоления. Особенно распространены хлоридный, сульфидный и смешанный типы. Из них наиболее отрицательное действие на растения оказывает хлоридный тип. Ионы хлора легко проникают в клетки и накапливаются

в них. Это вызывает повреждение отдельных участков мембран и в результате – нарушение в обмене веществ (утрачиваются свойства клеток к избирательному поглощению, накапливаются продукты промежуточного синтеза и т. д.).

Сульфат-ионы в больших концентрациях также отрицательно действуют на растения, но при небольшом содержании их в среде они безвредны, поскольку менее активно накапливаются в них. К тому же сульфат – макроэлемент, потребность в котором у растений достаточно велика.

Меньший вред причиняет смешанный тип засоления. В этом случае сказывается «эффект разбавления», поскольку элементов несколько и каждый из них поглощается и накапливается в растении в небольших количествах. Так, при наличии в почве хлористого и сернокислого натрия содержание в растениях хлора снижается за счет конкурентного влияния натрия. Сам натрий в больших количествах также вреден, но накопление его в свою очередь предотвращается влиянием хлора. Еще в большей степени «эффект разбавления» проявляется в присутствии в среде азота, фосфора, калия, кальция, т. е. основных питательных солей.

В повреждающих концентрациях легко-растворимые соли вызывают глубокие нарушения в обмене веществ, сопровождающиеся накоплением продуктов аномального или неполного превращения. Чаще всего изменяется азотный обмен, обуславливающий накопление аммиака и путресцина. Это связано с нарушением деятельности ферментов, в частности, диаминооксидазы, из-за чего превращение аргинина завершается образованием путресцина. Вредному действию солей удастся противостоять путем накопления значительного количества защитных веществ: сахаров, амидов, органических кислот. Производство этих соединений находится под генетическим контролем, и не все растения в равной мере обладают способностью синтезировать их.

Растения засоленных почв имеют и специфические морфоанатомические признаки.

В условиях хлоридного засоления у них формируются галосуккулентные структуры,

характеризующиеся уменьшением размеров листьев и числа устьиц, увеличением размеров клеток эпидермиса, разрастанием полисадной и губчатой паренхимы. При этом снижается степень дифференциации сосудистой системы [5].

Сульфатное засоление вызывает изменение анатомии растений в сторону развития галоксеричной структуры. У них наряду с утолщением листовой пластинки и уменьшением размеров клеток эпидермиса увеличивается число устьиц на единицу площади листа, хорошо развивается и дифференцируется проводящая система [6].

Анатомические различия растений, произрастающих на разных почвах, объясняются тем, что при хлоридном засолении резко подавляются процессы новообразования клеток, но стимулируется растяжение их, при сульфатном же засолении в большей мере подавляются процессы растяжения клеток. Трудно, однако, сказать, какую роль в явлениях солеустойчивости играют подобные признаки. Возможно, формирование галосуккулентной и галоксеричной структур в значительной мере обусловлено не солями непосредственно, а сопутствующими явлениями, такими, например, как недостаток влаги.

Несмотря на то, что еще мало известно о механизмах солеустойчивости, уже разработан ряд приемов, позволяющих включить в севооборот на засоленных почвах даже «бывшие» гликофиты. Это достигнуто селекционными методами, эффективность которых постоянно совершенствуется. Используются и приемы закалки семян. Например, обработкой наклюнувшихся проростков растений раствором хлористого натрия удается в значительной степени повысить их солеустойчивость на хлориднозасоленных почвах [7]. В природе процесс закалки идет аналогичным образом [8].

Для повышения солеустойчивости растений используют метод культуры тканей. Каллусы, полученные из стебля растений, последовательно выращивают на питательных средах, содержащих все большие концентрации хлористого натрия. Выжившие в этих условиях клетки используются для получения (регенерации) солеустойчивых растений.

Методом генной инженерии получают трансгенные растения, обладающие повышенной солеустойчивостью.

Использование капельного орошения позволяет избежать засоление почвы. Внесение в почву микроэлементов улучшает ионный обмен растений в условиях засоления. На солончаках мелиорацию осуществляют с помощью гипсования, которое приводит к вытеснению натрия из почвенного поглощающего комплекса и замещению его кальцием [9].

Целью данной работы являлось изучение солеустойчивости трех видов рода *Populus* L.: тополь черный (*P. nigra* L.), тополь бальзамический (*P. balsamifera* L.) и тополь пирамидальный (*P. pyramidalis* Roz.).

Первый вид тополя является аборигенным, а остальные – интродуценты.

Из этих трех видов тополь черный и тополь пирамидальный характеризуются как растения, способные выносить незначительную засоленность почвы [10; 11; 12].

Эксперименты по определению солеустойчивости проводились в 2003-2007 гг. на мужских особях в весенне-летний период с одревесневшими и зелеными побегами, а также листьями с использованием субстрата в виде песка и воды. Для засоления субстрата использовались хлорид натрия, карбонат натрия и кальция, сульфат кальция 0,5%; 1% и 3% концентрации. Повторность пятикратная в сравнении с контролем.

Опыты на засоленном песке проводились с зелеными и одревесневшими черенками однолетних побегов с применением вегетационных сосудов, в комнатных условиях. Песок предварительно просеивался, промывался, а затем прокаливался в муфельной печи. Сосуды с зелеными черенками прикрывались каркасом из полиэтиленовой пленки. Полив осуществлялся дистиллированной водой. Периодически проводились наблюдения за ростом и развитием черенков, в конце опыта черенки выкапывались с целью изучения развития корневой системы.

В опытах на водном субстрате использовались однолетние одревесневшие черенки, а также листья. В экспериментах с листьями применялся метод Б.П. Строганова [13], основанный на интенсивности разру-

шения хлорофилла в клетках мезофилла. Листья исследовались через сутки, отмечался процент поврежденной поверхности от площади всей пластинки в сравнении с контролем.

Ниже приводятся результаты экспериментов по изучению галотолерантности однолетних одревесневших черенков трех видов тополя к различным видам засоления в песке в сравнении с контролем.

Как видно из графика (рис. 1) приживаемость черенков тополя пирамидального выше, чем у тополя бальзамического и тополя черного. На 67 сутки опыта продолжают расти 80% черенков тополя пирамидального и 20% тополя бальзамического. Самая низкая приживаемость наблюдается у тополя черного, хотя у него на 49 день опыта живых черенков на 20% больше чем у топо-

ля бальзамического, но на 67 день все черенки тополя черного погибают.

При засолении NaCl (рис. 2) во всех вариантах опыта у черенков тополя черного почки не распустились и на 21 сутки опыта они все погибли. Тоже наблюдается и у тополя пирамидального: почки набухли, но листья не появились и на 21 сутки опыта также все черенки погибли. У тополя бальзамического на 21 сутки почки распустились, но роста листьев не отмечалось. И на 49 сутки черенки погибли.

Таким образом, к действию хлористого натрия наиболее чувствительными являются тополь черный и тополь пирамидальный, а наиболее устойчив к этому засолению – тополь бальзамический.

При 3% концентрации Na_2CO_3 черенки тополя пирамидального погибают уже на 14

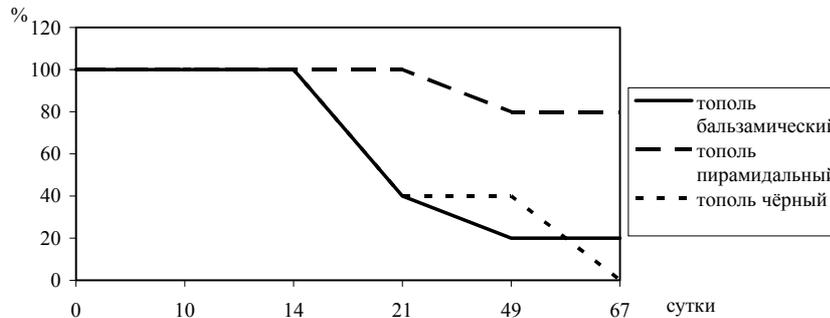


Рисунок 1. Приживаемость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* в контрольном варианте (в песке)

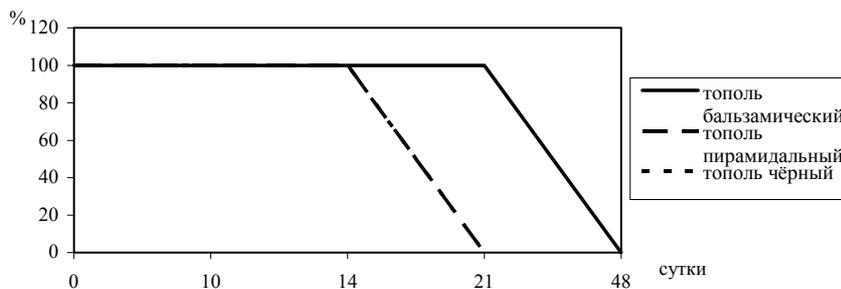


Рисунок 2. Устойчивость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* к засолению NaCl 0,5% (в песке)

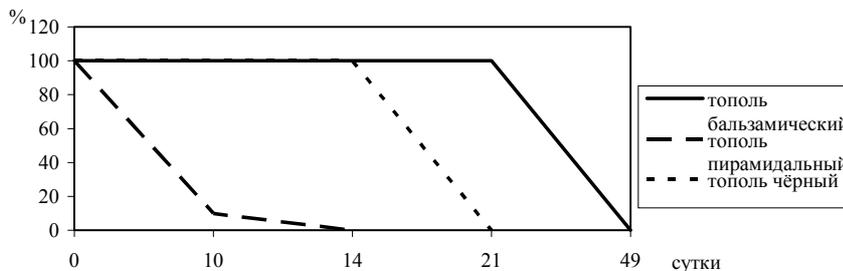


Рисунок 3. Устойчивость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* к засолению Na_2CO_3 3% (в песке)

сутки без появления листьев, у тополя черного также листья не появились и на 21 сутки все черенки погибли. У тополя бальзамического гибель черенков отмечается на 49 сутки (рис. 3).

Меньшей токсичностью характеризуется карбонат кальция. 1% содержание этой соли стимулирует приживаемость черенков тополя бальзамического, на 67 сутки продолжает расти 60% черенков (рис. 4).

Сульфат кальция также обладает малой токсичностью.

При 1% концентрации тополь бальзамический и тополь пирамидальный на 21 сутки сохраняют 100% приживаемость. На 49 сутки у тополя бальзамического в живых сохраняется 20%, а у тополя пирамидального 40% черенков. Полностью черенки погибают на 67 сутки. У тополя черного уже на 21 сутки в живых остается 80% черенков, на 49 сутки 20%, а на 67 сутки все погибают (рис. 5).

В опытах с однолетними одревесневшими черенками в водном субстрате наблюдается та же тенденция в отношении токсичности солей, что и в засоленном песке: наиболее токсичными оказались хлористый натрий и углекислый натрий, особенно чув-

ствительны к ним тополь пирамидальный и т. черный.

По итогам проведенных экспериментальных исследований по изучению солеустойчивости однолетних одревесневших черенков и побегов в песке и водном субстрате, зеленых черенков в песке, листьев в водном субстрате, следует отметить разную чувствительность этих органов при различных видах засоления. Чувствительность одревесневших черенков и побегов не соответствует полностью чувствительности зеленых черенков и листьев к одному и тому же засолению. Оценив все вышеизложенные методы исследования солеустойчивости, мы пришли к заключению, что в первую очередь следует ориентироваться по данным экспериментов с однолетними одревесневшими черенками. В пользу этого предложения служит большая растянутость проведения эксперимента по времени, в течение которого можно наблюдать изменения в органах, а также судить об устойчивости растений по образованию придаточных корней, распусканию почек и росту листьев. Субстрат в данном случае не имеет принципиального значения.

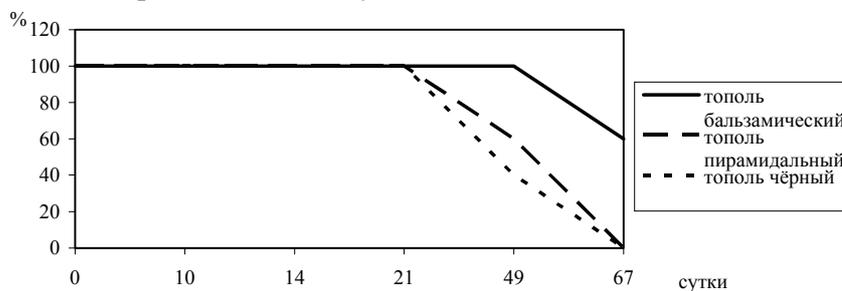


Рисунок 4. Устойчивость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* к засолению CaCO₃ 1% (в песке)

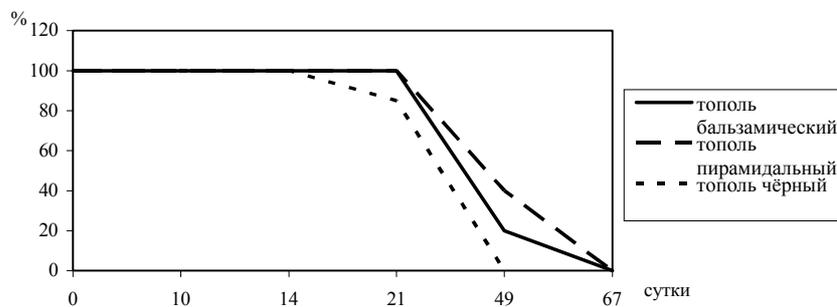


Рисунок 5. Устойчивость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* к засолению CaSO₄ 1% (в песке).

Рисунок 5. Устойчивость однолетних одревесневших черенков видов рода *Populus L.* к засолению CaSO₄ 1% (в песке)

Солеустойчивость зависит от видовой принадлежности тополей, от вида и степени засоления и от времени действия этого фактора.

По степени возрастания солеустойчивости к различным видам засоления изученные виды тополя распределяются следующим образом:

NaCl: т. черный → т. пирамидальный → т. бальзамический;

Na₂CO₃: т. пирамидальный → т. черный → т. бальзамический;

CaCO₃: т. черный → т. пирамидальный → т. бальзамический;

CaSO₄: т. черный → т. бальзамический → т. пирамидальный.

Таким образом, наибольшей солеустойчивостью к большинству видов засоления характеризуется интродуцент тополь бальзамический. Предположительно, что интро-

дученты часто обладают большей пластичностью и следовательно лучше приспосабливаются к неблагоприятным факторам среды [10].

Наиболее токсичными для этих видов тополей являются соли хлористого натрия и углекислого натрия, наименее токсичными сульфатные и углекислые кальциевые засоления. Часто эти последние два вида засоления оказывают стимулирующее влияние на образование придаточных корней и следовательно приживаемость черенков, главным образом у тополя бальзамического.

В целом все три вида тополя характеризуются достаточно высокой толерантностью по отношению к засолению и могут быть рекомендованы с учетом их экологической видоспецифичности для их широкого использования в зеленом строительстве степной зоны Южного Урала.

Список использованной литературы:

1. Майснер А.Д. Жизнь растений в неблагоприятных условиях / А.Д. Майснер. – Минск: Высшая школа, 1981. – 96 с.
2. Дубачинская Н.Н. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия на солонцовых землях Южного Урала / Н.Н. Дубачинская. – Оренбург, 2000. – 333 с.
3. Kodar M. On salt tolerance of different species of tree and shrubs // Interaction between forest ecosystems and pollutants. Proceedings of the I Soviet-American Symp. on the Project 02/03-21 / M. Kodar. – Tallinn, 1982. – P. 160-161.
4. Строганов Б.П. Метаболизм растений в условиях засоления / Б.П. Строганов // 33-е Тимирязевское чтение. – М., 1973. – 51 с.
5. Усманов И.Ю. Экологическая физиология растений / И.Ю. Усманов, З.Ф. Рахманкулова, А.Ю. Кулагин. – М.: Логос, 2001. – 224 с.
6. Овчаров К.Е. Тайны зеленого растения / К.Е. Овчаров. – М.: Наука, 1973. – 208 с.
7. Генкель П.А. Физиология растений / П.А. Генкель. – М.: Просвещение, 1970. – 175 с.
8. Келлер Б.А. Избранные сочинения / Б.А. Келлер. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – 496 с.
9. Кузнецов В.В. Физиология растений / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Высшая школа, 2005. – 736 с.
10. Галактионов И.И. Декоративная дендрология / И.И. Галактионов, А.В. Ву, В.А. Осин. – М.: Высшая школа, 1967. – 736 с.
11. Колесников А.И. Декоративная дендрология / А.И. Колесников. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 704 с.
12. Шиманюк А.П. Дендрология / А.П. Шиманюк. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 264 с.
13. Строганов Б.П. Физиологические основы солеустойчивости растений (при разнокачественном засолении почвы) / Б.П. Строганов. – М.: АН СССР, 1962. – 336 с.
14. Сидорович Е.А. Устойчивость интродуцированных растений к газообразным соединениям серы в условиях Белоруссии / Е.А. Сидорович Н.В. Гетко. – Минск: Наука и техника, 1979. – 72 с.