

УДК 504.45.054-034

Влияние сульфата никеля на прорастание семян и развитие проростков прибрежно-водных растений

Е.Г. Крылова*

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
Россия 152742, Ярославская обл., пос. Борок¹

Received 4.03.2010, received in revised form 11.03.2010, accepted 18.03.2010

*Изучено влияние сульфата никеля на прорастание семян и начальные этапы развития проростков прибрежно-водных растений, относящихся к разным экологическим группам. В результате проращивания семян поручейника широколистного (*Sium latifolium* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.) – гелофитов и камыша лесного (*S. sylvaticus* L.) – гигрофита после холодной влажной стратификации было показано, что самое высокое конечное прорастание семян отмечено у частухи. Наиболее чувствительны семена сусака. Однако предела токсичности никеля для прорастания семян растений этой группы не выявлено. У гигрофита установлен предел токсичности никеля для прорастания семян – между 25 и 50 мг/л, последняя концентрация для семян летальна. Нормальное развитие проростков у гелофитов наблюдалось в растворах с концентрациями 1–25 мг/л у поручейника, 1 мг/л – у частухи и сусака. В растворах с концентрациями 50 и 100 мг/л проявлялись признаки некроза листьев и корней, а также разрушения хлорофилла в листьях. У гигрофитов нормальное развитие проростков продолжалось только в варианте с концентрацией 1 мг/л.*

Ключевые слова: сульфат никеля, водные растения, прорастание семян, развитие проростков.

Введение

Многие тяжелые металлы (ТМ) при концентрациях, превышающих физиологические потребности растений, проявляют токсические свойства, поэтому рассматриваются как стрессовый фактор (Косицын, Алексеева-Попова, 1983; Малева и др., 2004). Уровень устойчивости при нарастающем действии стрессора зависит от видовых особенностей растений, а также от режима воздействия (Таланова и др., 2001). Многие устойчивые популяции отличаются усиленным поглощением ТМ. В основе устойчивости к их действию

лежит совокупность клеточно-молекулярных механизмов, поддерживающих гомеостаз и целостность клетки, организма и популяции в условиях токсического действия ТМ (Алексеева-Попова, 1991; Bergmann, 1992).

Никель является одним из основных компонентов загрязнения окружающей среды ТМ. ПДК никеля для рыбохозяйственных водоемов составляют 0,01 мг/л (Перечень..., 1995). Имеются сообщения о стимуляции прорастания семян низкими концентрациями (от 0 до 5×10^{-5} М), но для большинства растений повышенные концентрации его ток-

* Corresponding author E-mail address: panova@ibiw.yaroslavl.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

сичны (Алексеева-Попова, 1991; Mishra et al., 1974). Никель легко поглощается и довольно свободно перемещается в растениях. Высокие дозы его вызывают угнетение роста и продуктивности, подавляют интенсивность фотосинтеза, вызывают хлорозы и некрозы на листьях, побурение и торможение роста главного корня и образование корней первого и второго порядков, они ингибируют деление и растяжение клеток корневой системы проростков (Серегин и др., 2003). Вопросам влияния никеля на рост и развитие водных растений уделяется крайне мало внимания.

В этой связи целью нашей работы было изучение влияния сульфата никеля на прорастание семян и начальные этапы развития проростков прибрежно-водных растений разных экологических групп.

Материал и методы

Исследовано влияние растворов $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ на прорастание семян поручейника широколистного (*Sium latifolium* L.), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica* L.), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.) – гелофитов, обычных в прибрежной зоне и на влажных берегах, и камыша лесного (*Scirpus sylvaticus* L.) – гигрофита, встречающегося по берегам водоемов, на заболоченных лугах, а также в пионерных ценозах (Лисицина и др., 1993).

Семена собирали в августе-сентябре 2008 г. в Ярославской обл. на увлажненных побережьях малых рек Ильд и Латка, затем, после холодной влажной стратификации в течение 4–5 месяцев, по 25 семян проращивали в люминостате в чашках Петри при температуре 20–25 °С на фильтровальной бумаге, смоченной растворами $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в разных концентрациях (Героновский и др., 1974). Все концентрации рассчитаны на ион никеля Ni^{2+} , диапазон подобран по рекомендации

сотрудников Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН. Высокие концентрации использовали для выявления предела токсичности никеля для прорастания семян (т.е. той концентрации, при превышении которой семена не прорастают). Освещенность опытов – 3200 лк, фотопериод – 9:15 (свет:темнота). Контроль – дистиллированная вода. Длительность экспериментов составляла 15 дней. Определяли конечное прорастание – процент проросших семян от общего числа в конце эксперимента, и проводили наблюдения за развитием проростков. За нормальное развитие принимали состояние проростков, их листьев и корней, свойственное конкретным видам, без каких-либо повреждений и нарушений окраски. Все опыты повторяли трехкратно.

Результаты

Семена поручейника широколистного прорастали неравномерно. Процент конечного прорастания был близок к контролю в растворах с концентрациями ионов никеля 1, 25 и 50 мг/л. Концентрация 10 мг/л стимулировала прорастание семян этого вида, концентрации 100–500 мг/л угнетали его (рисунок). Зависимость количества проросших семян от концентрации Ni^{2+} статистически достоверна ($r = -0,82$, $p < 0,05$, $n = 24$).

При дальнейшем развитии проростки в контроле, вариантах с концентрациями 1 и 10 мг/л зазеленели, в вариантах с концентрациями 25 и 50 мг/л отстали в развитии, в вариантах с концентрациями 100 мг/л и выше наблюдалось только проклевывание корешком зародыша покровов семени. В середине эксперимента в контроле и вариантах с концентрациями 1–25 мг/л шло нормальное развитие проростков, появились семядольные листья, в варианте с концентрацией 50 мг/л проростки зазеленели, но семядольных листьев не об-

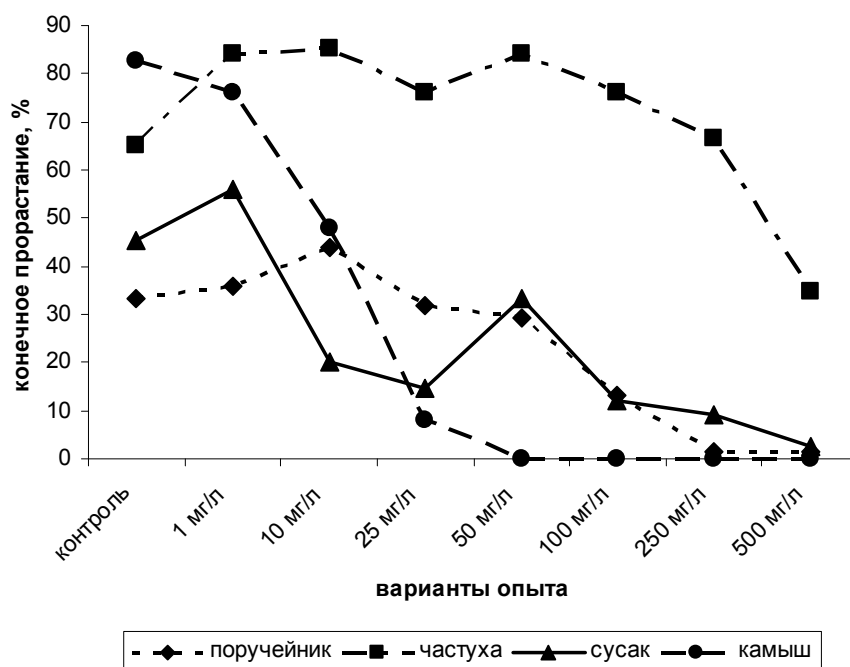


Рисунок. Конечное прорастание семян поручейника широколистного, частухи подорожниковой, сусака зонтичного и камыша лесного. По оси абсцисс – варианты опыта, по оси ординат – конечное прорастание, % от исходного количества

разовали, в остальных вариантах проростки начали отмирать (таблица).

Семена частухи подорожниковой начали прорасти одновременно почти во всех вариантах опыта. Конечное прорастание было наибольшим в растворах с концентрациями 1 и 10 мг/л, высоким в растворах с концентрациями 25–250 мг/л, значительно снижалось по сравнению с контролем в варианте с концентрацией 500 мг/л (рисунок). Зависимость количества проросших семян от концентрации Ni^{2+} статистически достоверна ($r = -0,66$, $p < 0,05$, $n = 24$).

Проростки зазеленели быстро как в контроле, так и в вариантах с концентрациями 1–100 мг/л. Длина их в это время была разная – в контроле, в вариантах с концентрациями 1 и 10 мг/л до 7 мм, в вариантах с концентрациями 25–100 мг/л – до 3 мм. В остальных растворах наблюдалось только проклевывание корешком зародыша покровов семени. В вариантах с концентрациями 10–50 мг/л при

появлении семядольных листьев сразу стали видны небольшие изменения в их окраске, по-видимому, сопровождающиеся разрушением хлорофилла. В варианте с концентрацией 100 мг/л проростки зазеленели, но семядольных листьев не образовали. В вариантах с концентрациями 250 и 500 мг/л семена проклюнулись, но дальнейшего развития не наблюдалось. Отмирание проростков началось раньше в вариантах с концентрациями 100–500 мг/л, позже в вариантах с концентрациями 25 и 50 мг/л. В варианте с концентрацией 10 мг/л отмирали кончики корней. Нормальное развитие, как в контроле, наблюдали только в варианте с концентрацией 1 мг/л (таблица).

Семена сусака зонтичного начали прорасти одновременно почти во всех вариантах. Конечное прорастание было высоким в контроле и в растворах с концентрациями 1 и 50 мг/л и значительно снижалось в остальных вариантах (рисунок). Зависимость количества

Таблица. Основные показатели прорастания семян и развития проростков гелофитов и гигрофита (Конечное прорастание – процент проросших семян от исходного количества, приведены средние значения и стандартные отклонения, n=3)

Содержание иона никеля, мг/л	Конечное прорастание семян, %	Лаг-время, дни	Позеленение семядолей, дни	Появление семядольных листьев, дни	Отмирание листьев и корней, дни
Поручейник широколистный					
контроль	33,3±4,8	3	5	8	нет
1	36,0±4,0	3	5	8	нет
10	44,0±4,0	2	5	8	нет
25	32,0±4,6	2	7	9	нет
50	29,3±1,3	2	8	нет	12
100	13,3±1,3	5	нет	нет	8
250	1,3±1,3	8	нет	нет	8
500	1,3±1,3	8	нет	нет	8
Частуха подорожниковая					
контроль	65,3±2,7	2	3	4	нет
1	84,0±6,1	2	3	4	нет
10	85,3±7,1	2	3	6	12
25	76,0±6,8	2	3	6	9
50	84,0±10,0	2	3	8	9
100	76,0±4,0	2	3	нет	7
250	66,7±15,4	3	нет	нет	6
500	34,7±17,3	3	нет	нет	6
Сусак зонтичный					
контроль	45,3±3,5	2	3	6	нет
1	56,0±10,1	2	3	6	нет
10	20,0±2,3	2	9	нет	нет
25	14,7±2,7	3	9	нет	12
50	33,3±7,1	2	нет	нет	8
100	12,0±2,3	2	нет	нет	8
250	9,3±3,5	2	нет	нет	6
500	2,7±1,3	3	нет	нет	6
Камыш лесной					
контроль	82,7±7,1	5	6	8	нет
1	76,0±10,1	5	6	8	нет
10	48,0±4,0	5	6	8	13
25	8,0±2,3	6	нет	нет	8
50	0	нет	нет	нет	-
100	0	нет	нет	нет	-
250	0	нет	нет	нет	-
500	0	нет	нет	нет	-

Примечание: нет – отсутствие.

проросших семян от концентрации Ni^{2+} статистически достоверна ($r = -0,62$, $p < 0,05$, $n = 24$).

Проростки в контроле и варианте с концентрацией 1 мг/л зеленели быстро, при этом в вариантах с концентрациями 1–50 мг/л продолжалось активное прорастание семян. В вариантах с концентрациями 50–500 мг/л наблюдалось лишь проклевание корешком зародыша покровов семени, в последних вариантах – единичное. В дальнейшем в варианте с концентрацией 1 мг/л у проростков развивались нормальные корни, шло активное появление семядольных листьев. В вариантах с концентрациями 10–25 мг/л проростки не образовали семядольных листьев и корней. К середине эксперимента в вариантах с концентрациями 50–500 мг/л проростки стали отмирать, в варианте с концентрацией 25 мг/л эти процессы начались ближе к концу эксперимента (таблица).

Семена камыша лесного прорастали почти одновременно в контроле и вариантах с концентрациями 1–25 мг/л. В вариантах с концентрациями 50–500 мг/л семена не прорастали. Конечное прорастание было высоким в варианте с концентрацией 1 мг/л, в 2 раза меньше контрольного в варианте с концентрацией 10 мг/л и резко падало в варианте с концентрацией 25 мг/л (рисунок). Зависимость количества проросших семян от концентрации Ni^{2+} статистически достоверна ($r = -0,54$, $p < 0,05$, $n = 24$).

В дальнейшем в контроле и вариантах с концентрациями 1–10 мг/л семена продолжали активно прорастать и начали зеленеть проростки, затем появились семядольные листья, хорошо были развиты корни. Однако по размерам растения в вариантах с концентрациями 1–10 мг/л были меньше контрольных. В варианте с концентрацией 25 мг/л после проклевания дальнейшего развития не наблюдалось. К концу эксперимента в варианте

с концентрацией 10 мг/л проростки сначала бледнели, у них отмирали кончики корней, а затем они погибали. Нормальное развитие, как в контроле, продолжалось только в варианте с концентрацией 1 мг/л (таблица).

Обсуждение результатов

У гелофитов влияние растворов никеля проявилось по-разному. Самое высокое конечное прорастание семян отмечено у частухи. Оно увеличивалось в растворах с концентрациями 1 и 10 мг/л, в остальных вариантах (кроме 50 мг/л) снижалось скачкообразно. При действии раствора с содержанием иона никеля 250 и 500 мг/л конечное прорастание было еще достаточно высоким. У поручейника также отмечено повышение конечного прорастания при тех же значениях, однако дальнейшее снижение его шло постепенно, при этом в растворе с концентрацией 500 мг/л проростков было совсем мало. Для сусака наблюдалось повышение конечного прорастания в растворе с концентрацией 1 мг/л, снижение при дальнейшем повышении концентрации раствора и резкое повышение в растворе с концентрацией 50 мг/л как реакция на стресс. В дальнейшем происходило угнетение прорастания, особенно в растворах с концентрациями 250 и 500 мг/л. Наши данные совпадают с имеющимися в литературе сообщениями о стимуляции прорастания семян низкими концентрациями никеля (Mishra et al., 1974). Таким образом, можно сказать, что наиболее чувствительными оказались семена сусака. Однако предела токсичности никеля для прорастания семян растений этой группы не выявлено.

Разная реакция семян на действие ТМ объясняется различиями в их строении и размерах. Семена поручейника широколистного – крупный ценокарпий, распадающийся на два мерикарпия размером 2 мм, на по-

верхности которых имеются ребра, и плотная оболочка их экзокарпия оказалась мало проницаема. Семена частухи подорожниковой были размером от 3 до 5 мм с гладкой поверхностью. Клетки семенной кожуры крупные, с утолщенными наружными стенками, полости их заполнены твердым содержимым, что, по видимому, способствует задержке ионов никеля. Семена сусака зонтичного мелкие, 1,8–2 мм, поверхность семени тонкозернистая. Семенная кожура представлена крупными клетками с утолщенными клеточными стенками, а подстилающие ее клетки внутренней эпидермы мелкие, пористые, возможно, позволяющие ТМ более свободно проникать внутрь семени (Сравнительная..., 1985).

Нормальное развитие проростков наблюдалось в растворах с концентрациями 1–25 мг/л у поручейника широколистного, 1 мг/л – у частухи подорожниковой и сусака зонтичного. Однако если у сусака проростки в растворах с концентрациями 10–50 мг/л после проклевывания практически не развивались, то у частухи в этих растворах у проростков образовывались семядольные листья и только в дальнейшем появлялись признаки некроза – изменение интенсивности окраски и пятна. На подобную реакцию указывали для элодеи канадской В.И. Ипатова и А.Г. Дмитриева (2006).

У гигофита наблюдается резкое снижение конечного прорастания семян начиная с концентрации ионов никеля 10 мг/л, в растворах с концентрациями 50–500 мг/л оно отсутствует совсем. Мы установили, что предел токсичности никеля для прорастания семян камыша лесного находится в интервале от 25 до 50 мг/л. Семена камыша лесного – орешки размером 1 мм, их экзокарпий состоит из крупных клеток, покрытых оболочкой, оказавшейся проницаемой для молекул ТМ.

Нормальное развитие проростков камыша лесного было, как в контроле, лишь в варианте с концентрацией 1 мг/л. Проростки имели семядольные листья и нормально развитые корни. В варианте с концентрацией 10 мг/л изменялась окраска листьев и постепенно отмирала корневая система. Изменения, проявившиеся к концу эксперимента в этом варианте – некроз кончиков корней и листьев, уменьшение интенсивности окраски листьев, описаны и в литературе (Демченко и др., 2005; Таланова и др., 2001). В варианте с концентрацией 25 мг/л после проклевывания корешком зародыша покровов семени дальнейшего развития не происходило. Экзокарпий семян состоит из крупных клеток, покрытых оболочкой, оказавшейся проницаемой для молекул ТМ. Таким образом, как семена, так и проростки гелофитов оказались более устойчивы к действию ионов никеля.

Заключение

У гелофитов влияние ионов никеля проявилось по-разному. Самое высокое конечное прорастание семян отмечено у частухи. Наиболее чувствительны к повышению концентраций ионов никеля оказались семена сусака. Однако предела токсичности никеля для прорастания семян растений группы гелофитов не выявлено. Нормальное развитие проростков, как в контроле, наблюдалось в растворах с концентрациями 1–25 мг/л у поручейника, 1 мг/л – у частухи и сусака. В растворах с концентрациями 50 и 100 мг/л проявлялись признаки некроза листьев и корней, а также разрушения хлорофилла в листьях.

У гигофита установлен предел токсичности никеля для прорастания семян – в интервале от 25 до 50 мг/л. Нормальное развитие проростков, сопоставимое с контрольным, было лишь в варианте с концентрацией 1 мг/л.

Автор выражает глубокую признательность старшему научному сотруднику Ботанического института им. В.Л. Комарова кандидату биологических наук Ирине Владимировне Лянгузовой за рекомендации по постановке опыта и помощь в статистической обработке материала.

Список литературы

Алексеева-Попова Н.В. (1991) Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л.: Наука. 214 с.

Героновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. (1987) Краткий справочник по химии. Киев: Наукова думка, 992 с.

Демченко Н.П., Калимова И.Б., Демченко К.Н. (2005) Влияние никеля на рост, пролиферацию и дифференциацию клеток корневой системы проростков *Triticum aestivum*. Физиол. раст. 52, № 2: 250-258.

Ипатова В.И., Дмитриева А.Г. (2006) Ответные реакции высших водных растений на загрязнение среды тяжелыми металлами: матер. конф. «Гидробиология 2005»: Рыбинск, 258-261.

Косицын Н.В., Алексеева-Попова Н.В. (1983) Действие тяжелых металлов на растения и механизмы металлоустойчивости (обзор) // Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука, 5–22.

Лисицина Л.И., Папченков В.Г., Артеменко В.И. (2009) Флора водоемов волжского бассейна. Определитель сосудистых растений. М., 220 с.

Малева М.Г., Некрасова Г.Ф., Безель В.С. (2004) Реакция гидрофитов на загрязнение среды тяжелыми металлами // Экология. 4: 266–272.

Перечень предельно допустимых концентраций и ориентировочно безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов (1995). М.: Мединор, 220 с.

Серегин И.В., Кожевникова А.Д., Казюмина Е.М., Иванов В.Б. (2003) Токсическое действие и распределение никеля в корнях кукурузы // Физиол. раст. 50, № 5: 793–800.

Сравнительная анатомия семян (1985). Т.1 Однодольные. Л.: Наука. 317 с.

Таланова В.В., Титов А.Ф., Боева Н.П. (2001). Влияние возрастающих концентраций тяжелых металлов на рост проростков ячменя и пшеницы // Физиол. раст. 48, № 1: 119–123.

Bergmann W. (1992) Nutritional disorders of plants-development, visual and analytical diagnosis. Heidelberg: Gustav Fischer, p. 106–108

Mishra D., Kar M. (1974) Nickel in plant growth and metabolism. Bot. Rev. 40, № 4: 395-452.

The Effect of Nickel Sulfate on Seed Germination and Development of Sprouts Pribrezhno-Water Plants

Yelena G. Krylova

*Institute for Biology of Inland Waters, RAS,
Borok, Yaroslavl Prov., 152742, Russia*

*The effect of nickel sulfate on seed germination and initial stages of growth of near-shore aquatic plants seedlings belonging to different ecological groups has been studied. During germinating seeds of *Sium latifolium* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Butomus umbellatus* L. – helophyte and *Scirpus sylvaticus* L. – hygrophytes after cold damp stratification the highest final germination has been shown for *Alisma plantago-aquatica*. The most sensitive seeds were those of susak. However, the limit of toxicity of nickel for the germination of the plants seeds of this group was not revealed. The limit toxicity of nickel for the seeds of hygrophyte group ranged between 25 – 50 mg/l.*

The normal development of helophyte seedlings was observed in solutions with concentrations of 1-25 mg/l for porucheynik, 1 mg/l – for chastuhi and susak. In solutions with concentrations of 50 and 100 mg /l, features of necrosis of leaves and roots, as well as the destruction of chlorophyll in leaves were found. Normal development of hygrophyte seedlings proceeded only in the variant with the concentration of a 1 mg/l.

Keywords: nickel sulphate, aquatic plants, seed germination, development of seedlings.
