

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОЛЕЙ НИКЕЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОРОСТКОВ ВИКИ

Абрамова Э.А., Иванищев В.В.

*ФГБОУ ВПО «Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого», (300026, Россия, Тула, проспект Ленина, 125), E-mail: [abramea@mail.ru](mailto:abramea@mail.ru)*

Исследовали влияние различных солей никеля на развитие проростков вики. Установлено, что негативное влияние высоких концентраций солей никеля на показатели роста и развития растений связано, в первую очередь, с действием ионов металла, чем неорганических противоионов. Активирующее влияние невысоких концентраций ионов никеля на накопление биомассы проростками нивелировалось влиянием неорганических или органических противоионов, поступающих в растение. Содержание воды в тканях проростков зависело от используемых солей никеля и их концентрации в среде. Влияние хлорида никеля на водоудерживающую способность проростков вики связано, скорее, с присутствием ионов хлора, чем никеля. Обнаружено негативное влияние органических анионов на формирование сырой биомассы проростков вики, что связано, по-видимому, с нарушением водного режима.

Ключевые слова: соли никеля, проростки вики, морфогенез, биомасса.

## THE EFFECT OF DIFFERENT NICKEL SALTS ON VETCH SEEDLINGS PARAMETERS

Abramova E.A., Ivanishchev V.V.

*Lev Tolstoy Tula Pedagogical University, (300026, Russia, Tula, Lenin pr., 125), E-mail: [abramea@mail.ru](mailto:abramea@mail.ru)*

It has been studied the effect of different nickel salts on the development of vetch seedlings. It was established that the negative influence of nickel salts high concentrations the parameters of plant growth and development depends on metal ion for the first time than inorganic counterion. The activating influence of not high nickel ions concentrations on seedlings biomass formation can offset by the effect of inorganic or organic counterions penetrating into the plant. The water content in seedling tissues depends on nickel salts used and their concentration in mixture. The effect of nickel chloride on the water-holding capacity of vetch seedlings can be explained the presence of chlorine ions, rather, than nickel ions. It was detected the negative effect of organic anions on the wet weight of seedlings apparently due to a violation of the water regime.

Key words: nickel salts, vetch seedlings, morphogenesis, biomass.

### Введение

Среди тяжелых металлов никель (Ni) занимает особое положение, поскольку относится к микроэлементам, необходимым для нормального развития живых организмов [2]. В отличие от Cd, Pb, Hg, Ag и ряда других тяжелых металлов, которые не включены в активные центры ферментов, обладающих ферментативной активностью, Ni является составной частью фермента уреазы и в небольших количествах абсолютно необходим для метаболизма растений некоторых систематических групп [6]. С этой позиции он не может быть заменен никаким другим элементом. При этом никель способен сравнительно легко проникать в растение и накапливаться в цитоплазме или вакуолях [4], что способствует некоторому увеличению поглощения воды растением [1].

С другой стороны, ветровая эрозия почв и горных пород, а также функционирование ряда предприятий химической промышленности приводят к увеличению концентрации

никеля в верхнем слое почвы ряда регионов страны и мира [3, 5], что обуславливает его потенциальную токсичность для животных и человека.

Хлорид никеля, в зависимости от концентрации в растворе, оказывает как активирующее, так и ингибирующее действие на развитие проростков вики [1]. При этом негативное влияние высоких концентраций соли на рост и развитие растений могло быть обусловлено как действием ионов никеля, так и ионов хлора, что позволяло по-разному интерпретировать результаты исследований по влиянию хлорида никеля на описываемые процессы [4]. В связи с этим была поставлена задача сравнительного изучения влияния разных солей никеля на особенности морфогенеза растений вики на начальных этапах онтогенеза.

### **Материалы и методы исследования**

Объектом служили проростки вики (*Vicia sativa L.*) сорта Орловская-84. Растения вики выращивали в виде водной культуры, используя дистиллированную воду в контрольном варианте, или с добавлением ионов металла в виде различных солей –  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  в опытных пробах, как описано в работе [1]. Для оценки действия ионов Ni на двенадцатые сутки эксперимента определяли длину корня и эпикотилиа, а также сырую и сухую массу проростков. Эксперименты проведены в трех биологических и аналитических повторностях.

Результаты экспериментов обработаны статистически с использованием программы Excel. На рисунках приведены только средние величины. Десятичные логарифмы концентраций хлорида никеля приведены для величин 1, 5, 10, 50, 100 и т.д. мкмоль/л, что соответствует концентрациям  $10^{-6}$ ,  $5 \cdot 10^{-6}$ ,  $10^{-5}$ ,  $5 \cdot 10^{-5}$ ,  $10^{-4}$  и т.д. Уровень значимости результатов соответствует доверительной вероятности событий  $P > 0,95$ . На графиках приведены только средние величины исследованных параметров.

### **Результаты и их обсуждение**

Результаты проведенных экспериментов показали, что характер изменения параметров роста и развития растений находился в прямой зависимости от концентрации растворов солей. При концентрациях  $\text{NiCl}_2$   $5 \cdot 10^{-6}$  –  $10^{-5}$  М длина главного корня была выше или на уровне контрольного варианта (рис. 1).

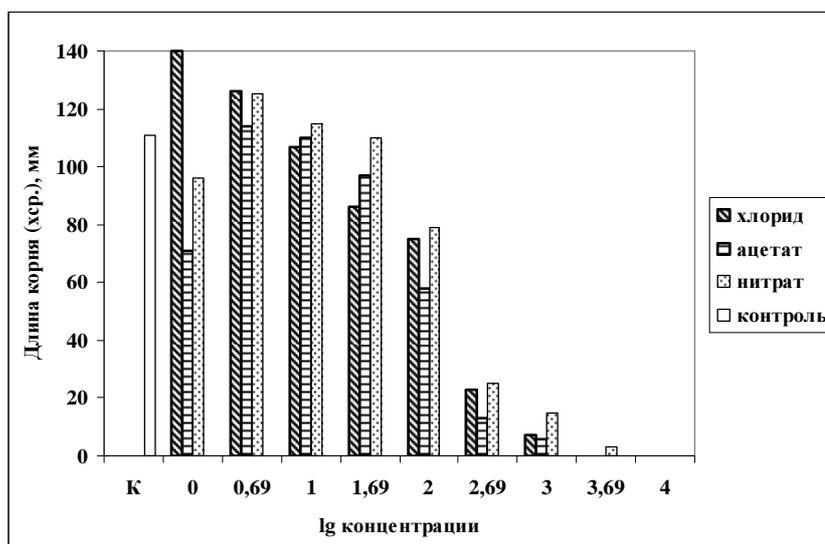


Рис. 1. Влияние ионов никеля на длину главного корня растений вики на двенадцатые сутки прорастания

При действии  $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  наблюдали разный эффект на измеряемый параметр. Снижение длины главного корня при минимальной концентрации ацетата никеля ( $1 \times 10^{-6}$  М) можно объяснить, с одной стороны, необходимостью использовать для роста и развития запасные вещества семян вики, которые представлены не только белками, но и липидами. С другой, – концентрация никеля, по-видимому, еще весьма мала, чтобы преодолеть негативное влияние ионов ацетата на распад запасных липидов, которые, в первую очередь, могли бы служить источником энергии для прорастания семян исследуемых растений. Восстановление показателя до уровня контроля происходило при двух последующих концентрациях ацетата никеля ( $5 \times 10^{-6}$  М и  $10^{-5}$  М).

Раствор  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  оказывал аналогичное ацетату никеля влияние, причем остается не вполне ясной картина некоторого снижения показателя при концентрации  $10^{-6}$  М. Возможно, ионы нитрата влияют уже на метаболизм белков, которые используются семенем для прорастания, а концентрации никеля еще недостаточно, чтобы преодолеть это негативное воздействие.

Дальнейшее увеличение концентрации ионов солей никеля (выше, чем  $5 \times 10^{-4}$  М) приводило к снижению длины корня, вероятно, из-за токсического действия металла, а не анионов.

Концентрации хлорида и ацетата никеля  $5 \times 10^{-3}$ ,  $10^{-2}$  М, а нитрата никеля –  $10^{-2}$  М оказались летальными для растений вики. При данных концентрациях указанных солей зародышевый корень почти или совсем не развивался.

Изучение влияния исследуемых веществ на величину формирующегося эпикотилия показало, что общий характер изменения длины эпикотилия принципиально не различался, хотя изменения в присутствии ацетата никеля были несколько иными (рис. 2).

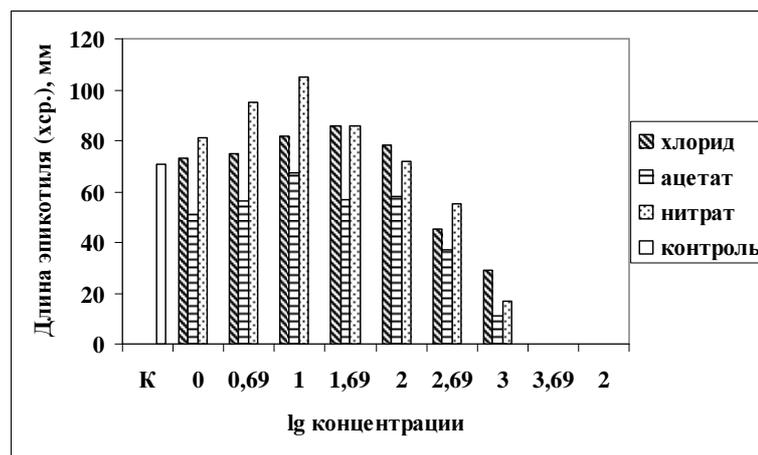


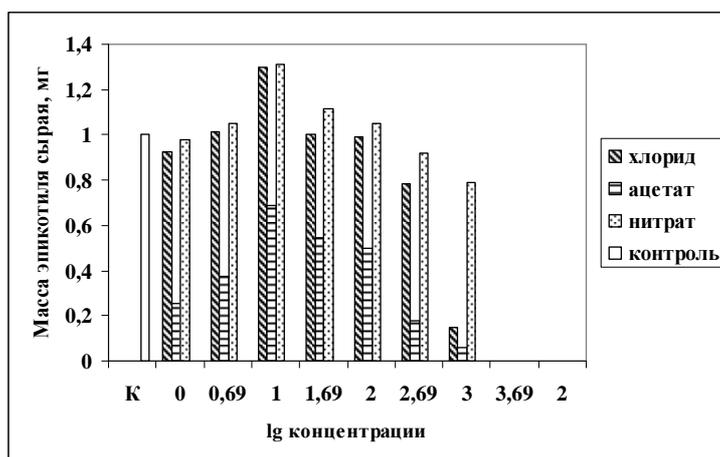
Рис. 2. Влияние ионов никеля на длину эпикотиля растений вики на двенадцатые сутки прорастания

Стимулирующее влияние нитрата никеля завершилось при концентрации  $5 \times 10^{-4}$  М и практически не отличалось от влияния хлорида. Дальнейшее возрастание концентрации этих солей приводило к существенному снижению исследуемого показателя. Известное ожидаемое положительное влияние ионов нитрата в этом случае, видимо, перекрывалось негативным влиянием возрастающей концентрации ионов металла.

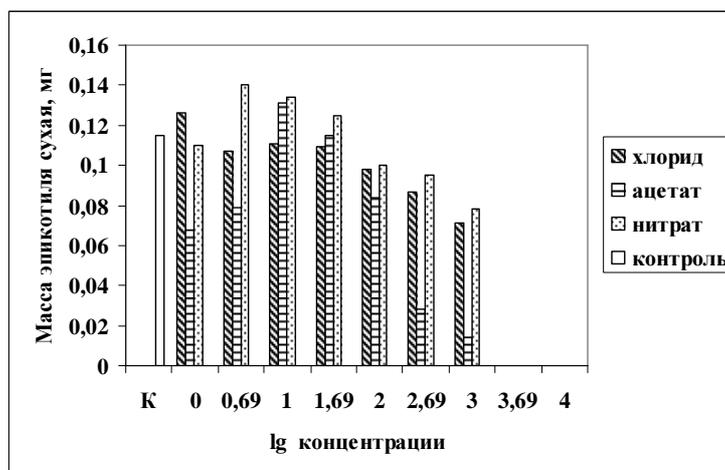
Ацетат, напротив, несмотря на некоторые вариации показателя, оказывал только ингибирующее влияние на длину эпикотиля. Это можно объяснить негативным действием ионов уксусной кислоты на утилизацию запасных липидов семян вики и использованием их в качестве источника энергии до формирования фотосинтетического аппарата. Существенное падение показателя при концентрациях выше, чем  $10^{-4}$  М, также связано с ростом концентрации ионов металла в среде.

Интегральной характеристикой роста и развития растений на данном этапе онтогенеза растений является накопление биомассы. В связи с этим определяли сырую и сухую массу эпикотиля и корневой системы растений, развившихся на 12-е сутки эксперимента. Полученные результаты приведены ниже.

Увеличение концентрации хлорида никеля приводило к повышению сырой массы эпикотиля при концентрации  $10^{-5}$  М при близких показателях в диапазоне контроль –  $10^{-4}$  М. Аналогичную зависимость наблюдали в присутствии нитрата никеля (рис. 3, а).



а.



б.

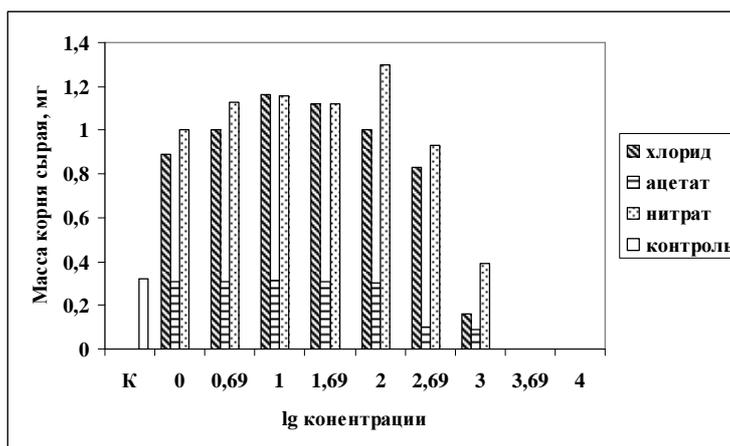
Рис. 3. Накопление сырой (а) и сухой (б) массы эпикотили вики в присутствии различных солей никеля

Ацетат никеля показывал несколько иную картину, подобную зависимости (рис. 2) для этой соли. Такие результаты однозначно свидетельствуют о негативном влиянии ионов уксусной кислоты на метаболизм, обеспечивающий формирование клеток эпикотили. Возможно, что их присутствие нарушает процессы метаболизма запасных липидов для дальнейшего использования как в качестве источников энергии, так и строительного материала для биосинтеза липидов мембран клеток эпикотили.

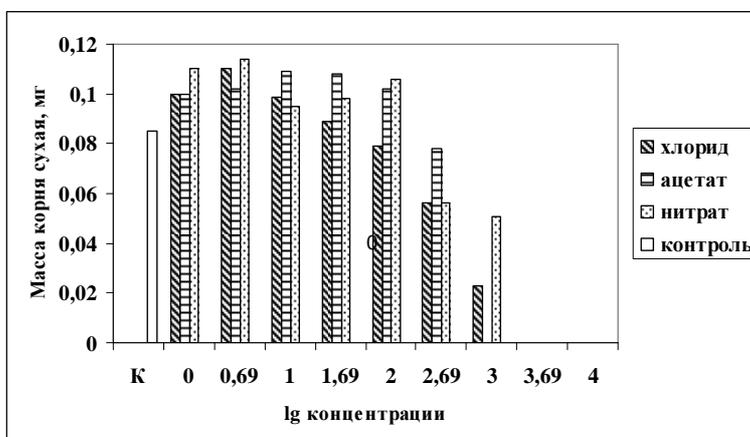
Показатели сухой массы были аналогичны данным по сырой массе для ацетата и нитрата никеля, в то время как для хлорида это было не совсем так (рис. 3, б). Поэтому раннюю интерпретацию подобных результатов о водоудерживающей способности растений в присутствии солей никеля [1, 4] можно связать скорее с ионами хлорида, чем металла. Тем не менее, снижение накопления сухого вещества при возрастании концентрации солей никеля можно объяснить токсическим действием металла на биосинтетические процессы,

прежде всего, через негативное влияние на активность ферментов, обеспечивающих формирование тканей эпикотила (возможно, синтетаз целлюлозы или иных полимеров).

Накопление биомассы корневой системой под действием различных солей никеля отличалось от накопления биомассы эпикотила, а также в зависимости от вида соли никеля. В присутствии хлорида никеля при концентрациях  $10^{-6} - 5 \times 10^{-4}$  М масса корневой системы вики была выше контроля, и только при более высоких концентрациях происходило резкое уменьшение как сырой, так и сухой массы (рис. 4, а и 4, б).



а.



б.

Рис. 4. Накопления сырой (а) и сухой (б) массы корня вики в присутствии различных солей никеля

При выращивании растений с добавлением ацетата никеля масса корневой системы при концентрациях  $10^{-6} - 10^{-4}$  М находилась на уровне контроля, а дальнейшее повышение концентрации соли приводило к резкому уменьшению исследуемого показателя. Нитрат никеля оказывал наименьшее ингибирующее воздействие на развитие корневой системы вики, которая до концентрации  $10^{-3}$  М находилась выше уровня контроля. Концентрации солей никеля  $5 \times 10^{-3}$  и  $10^{-2}$ , как было отмечено выше, оказались летальными для растений.

Характер накопления сухой биомассы корневой системы был в целом похожим для всех исследованных солей никеля (рис. 4, б). Вариации в присутствии нитрата никеля при концентрации  $10^{-4}$  М могут быть объяснены стимулирующим влиянием ионов нитрата.

Анализируя полученные результаты, можно прийти к выводу о том, что разные анионы существенно влияли на ход накопления биомассы корневой системой растений. Такая картина чрезвычайно затрудняет интерпретацию результатов в отношении ионов никеля. Полученные данные позволяют говорить о том, что на накопление биомассы корней растений существенное влияние оказывают анионы. По-видимому, они влияют на перераспределение веществ, образующихся в ходе прорастания семян вики и используемых для анаболических и энергетических процессов в формирующихся тканях эпикотилия и корня. При этом положительное влияние хлорида никеля, скорее, обеспечивается влиянием ионов хлора на водный баланс.

Анионы ацетата негативно влияли на накопление сырой массы формирующейся корневой системы, по-видимому, путём нарушения ионного баланса, что существенно отражается на состоянии водного потенциала, который обычно формируется и поддерживается за счёт неорганических ионов. С другой стороны, такая картина, напротив, почти не отражается на величине сухой массы корневой системы, и даже способствует стабилизации этого показателя. Однако дальнейшие исследования в прояснении описанной картины выходят за рамки настоящего исследования.

## **Выводы**

Анализ величины отношения сырой биомассы эпикотилия к сырой биомассе корневой системы, а также соотношения показателей сухой биомассы указанных органов проростков вики, в условиях эксперимента показал, что присутствие ионов ацетата по сравнению с другими солями в большей степени способствовало формированию сырой массы эпикотилия, чем корневой системы. Для хлорида и нитрата никеля зависимости имели сходный характер.

Неожиданный максимум величины соотношения сухой биомассы эпикотилия и корня в присутствии хлорида никеля при концентрации  $10^{-3}$  М, обнаруженный ранее [1], в более слабой форме (и при меньших концентрациях солей) повторился в присутствии других исследованных солей никеля. Полученные результаты позволяют говорить о том, что при возрастании концентрации солей ионы никеля способствовали вначале предпочтительному формированию корневой системы, и далее – формированию эпикотилия. Снижение отношения при существенном росте концентрации солей можно объяснить возрастанием их ингибирующего влияния в большей степени на процессы формирования эпикотилия.

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

- активирующее влияние невысоких концентраций ионов никеля может нивелироваться влиянием неорганических или органических противоионов, поступающих в растение;
- влияние хлорида никеля на водоудерживающую способность проростков вики можно объяснить, скорее, присутствием ионов хлора, чем никеля;
- негативное влияние высоких концентраций солей никеля на показатели роста и развития растений можно связать скорее с действием ионов металла, чем неорганических противоионов;
- впервые обнаружено отрицательное влияние органических анионов на формирование сырой массы проростков, что, по-видимому, связано с нарушением водного режима.

### Список литературы

1. Абрамова Э.А., Иванищев В.В. Содержание воды и накопление биомассы проростков вики в присутствии ионов никеля // Научные ведомости БелГУ. – 2012. – №15 (в печати)
2. Андреева И.В., Говорина В.В., Виноградова С.Б., Ягодин Б.А. Никель в растениях // Агрохимия. – 2001. – №3. С. 82–94.
3. Добровольский В.В. Глобальная система массопотоков тяжелых металлов в биосфере // Рассеянные элементы в бореальных лесах. – М.: Наука, 2004. – С. 23–30.
4. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – М.: Дрофа, 2010. – 635 с.
5. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Под ред. Зигель Х., Зигель А. – М.: Мир, 1993. – 366с.
6. Серегин И.В., Кожевникова А.Д. Физиологическая роль никеля и его токсическое действие на высшие растения // Физиология растений. – 2006. – Т. 53, №2. С. 285–308

*Авторы благодарят профессора Музафарова Е.Н. за оказанную помощь в реализации данной работы.*

### Рецензенты:

Гинс Мурат Сабирович, доктор биологических наук, профессор, заведующий Отделом физиологии и биохимии растений ВНИИ селекции и семеноводства Россельхозакадемии, Московская обл., пос. Лесной городок.

Кособрюхов Анатолий Александрович, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель группы экологии и физиологии фототрофных организмов Института фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пущино.