

ПРОДУКТИВНОСТЬ ТОПИНАМБУРА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЕГО НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ

Усанова З.И.¹, Павлов М.Н.¹

¹ФГБОУ ВПО «Тверская Государственная Сельскохозяйственная Академия», Тверь, Россия (170904, Тверь, ул.Василевского (Сахарово), д.7), e-mail:rastenievodstvo@mail.ru

Обсуждаются результаты двухфакторного вегетационного опыта, проведенного в 2014 г. по выращиванию топинамбура на дерново – подзолистой легко суглинистой почве, искусственно загрязненной экотоксикантами: азотной кислотой (HNO_3), серной кислотой (H_2SO_4) уксуснокислым свинцом ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), хлористым калием (KCl). Проводили наблюдение за ростом и развитием растений, динамикой образования побегов, листьев; определение содержания растительных пигментов в листьях, интенсивности фотосинтеза. При уборке урожая учитывали сырую массу ботвы, клубней, корней; содержание сухого вещества в ботве и клубнях; сырой клетчатки и суммы сахаров в клубнях. Выявлено положительное влияние азотной кислоты на рост, развитие и урожайность топинамбура вследствие улучшения азотного питания растения. Негативно влияет внесение серной кислоты и хлористого калия при повышенных дозах (3 и 9 ПДК). При этом снижается урожайность (при 3 ПДК) и наблюдается гибель растений (при 9 ПДК). Токсикация почвы уксусно – кислым свинцом, в том числе до 9 ПДК не оказывает отрицательного влияния на формирование урожайности топинамбура, повышает содержание в клубнях сухого вещества и сахаров.

Ключевые слова: топинамбур, фитомелиорант, загрязнение почвы, экотоксикант, поллютант, азотная кислота, серная кислота, уксуснокислый свинец, хлористый калий, сахар, протеин, клетчатка.

GIRASOL PRODUCTIVITY WHEN IT GROWING IN TECHNOGENIC POLLUTED SOILS

Usanova Z.I.¹, Pavlov M.N.¹

¹Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia (170904, Tver, street Vasylevskogo (Saharovo), 7), e-mail:rastenievodstvo@mail.ru

The results of two-pot experiment conducted in 2014 on the cultivation of girasol on sod - podzolic loamy soil artificially contaminated ecotoxicants: nitric acid (HNO_3), sulfuric acid (H_2SO_4) lead acetate ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), potassium chloride (KCl) are discussed. Surveillance of plant growth and development, the dynamics of the formation of shoots and leaves were conducted; there was determination of plant pigments in the leaves, the rate of photosynthesis. With harvesting we accounted the wet weight of halm and tubers, roots; the dry matter content in leaves and tubers; crude fiber and the amount of sugars in tubers. Revealed the positive effect of nitric acid on the growth, development and yield of artichoke due to improved nitrogen nutrition of plants. There was a negatively influence the introduction of sulfuric acid and potassium chloride at high doses (3 and 9 MPC). This reduces the yield (at 3 MPC) and kill plants (at 9 MPC). Toxication soil acetate - lead acid including up to 9 MPC has no adverse effect on the formation yield and it increase the solids, and sugars in girasol tubers.

Keywords: girasol, phytoameliorant, pollution of soils, ecotoxicant, pollutant, nitric acid, sulfuric acid, lead acetate, potassium chloride, sugar, protein, dietary fiber.

К числу приоритетных направлений развития аграрной науки и научного обеспечения АПК регионов страны относятся: получение биологически чистой (органической) продукции растениеводства и возвращение в сельскохозяйственный оборот земель, загрязненных различными поллютантами. Оба эти направления взаимосвязаны. Главными антропогенными источниками химического загрязнения почв являются промышленность, транспорт и сельское хозяйство. Даже в сравнительно благополучной в экологическом отношении Тверской области объем выбросов различных загрязнителей достаточно большой. По данным Минприроды РФ в 2010 году общий выход диоксида серы по области

составил 3,5 тыс.т., оксидов азота – 15,7 тыс.т. [1]. Вдоль крупных автомобильных дорог обнаружено 30 – кратное превышение уровня свинца по сравнению с содержанием (20 мкг/г) в незагрязненных районах. Выявлено, что в сельском хозяйстве бесполезно теряется до 30 – 50 % всех вносимых минеральных удобрений, что загрязняет непосредственно почву и поверхностные воды биогенными элементами и балластными веществами [10].

В связи с этим актуальным является поиск культур, устойчивых к поллютантам и способных отвечать требованиям естественных фитомелиорантов техногенно загрязненных почв. К таким культурам может быть отнесен топинамбур (*Helianthus tuberosus L.*). Ряд авторов к числу ценных биологических и хозяйственных свойств его относят способность произрастания на почвах, загрязненных тяжелыми металлами и другими экотоксикантами, рекультивации почв, выведенных из сельскохозяйственного оборота при добыче угля, нефти, бывших карьеров, свалок и других брошенных земель [3]. Однако в Центральном регионе страны, в частности, на загрязненных дерново – подзолистых почвах Верхневолжья, подобных исследований не проводилось.

Цель наших исследований – изучить особенности формирования урожайности и качества урожая топинамбура на дерново – подзолистых почвах, искусственно загрязненных в разной степени азотной, серной кислотой, ацетатом свинца и хлористым калием; выявить устойчивость топинамбура к этим поллютантам.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2014 г. в двухфакторном опыте в вегетационных сосудах.

Для набивки сосудов использовали дерново - среднеподзолистую остаточную карбонатную глееватую почву на морене, легкосуглинистую по гранулометрическому составу, в которой содержалось: гумуса (по Тюрину) – 1,51 %, P_2O_5 – 358 и K_2O 95 мг/кг (по Кирсанову), $N_{дг}$ 44,8 мг/кг (по Корнфилду), $pH_{сол}$ – 4,9.

Схема опыта: Фактор А - Тип загрязнения: 1. Контроль (без загрязнения), 2. Азотная кислота - HNO_3 (ПДК = 130 мг/кг), 3. Серная кислота - H_2SO_4 (160 мг/кг), 4. Уксуснокислый свинец – $Pb(CH_3COO)_2$ (32 мг/кг), 5. Хлористый калий - KCl (360 мг/кг) (ПДК в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06).

Фактор В - Интенсивность загрязнения: 1 ПДК, 3 ПДК, 9 ПДК.

Повторность в опыте – четырехкратная. Объект исследований: лучший для Нечерноземья сорт клубневого направления «Скороспелка», авторы Устименко Г.В., Усанова З.И. [9].

Внесение экотоксикантов осуществлялось два раза: $\frac{1}{2}$ до посадки (30 апреля), при высоте растений 30 см (24 июня). Способ внесения: полив растворенными в дистиллированной воде соединениями. Сосуды с почвой перед посадкой выровнены по массе

(7 кг).Набивку сосудов провели 29, посадку – 30 апреля.В каждый сосуд высаживали по два клубня. В течении вегетации проводили поливы из расчета 400 мл воды на сосуд. Выдерживали одинаковый режим поливов. Учет урожая проведен 17 - 18 сентября.Вегетационные сосуды с растениями находились в вегетационном домике.

В опыте проводили наблюдение за ростом и развитием растений, динамикой образования побегов, листьев; определение содержания растительных пигментов в листьях в ацетоновой вытяжке на спектрофотометре «Grating 722» [8]; интенсивности фотосинтеза по количеству накопленного органического вещества путем «мокрого» сжигания высечек определенной площади, содержание углерода при этом учитывалось титрованием солью Мора [8]. Время измерения – с 9 до 12 часов.

При уборке урожая учитывали сырую массу ботвы, клубней, корней; содержание сухого вещества в ботве и клубнях [9]; сырой клетчатки в клубнях [6]; суммы сахаров на рефрактометре ИРФ – 454Б. Для перевода показаний прибора в процент сахаров использовали шкалу Бриггса.

Результаты и их обсуждение

Фитотоксическое действие поллютантов может проявляться в торможении развития и роста растений [2] Нами выявлено, что топинамбур неодинаково реагирует на различные экотоксиканты и их дозы. Азотная кислота при загрязнении почвы до 3 и 9 ПДК благодаря улучшению азотного питания ускоряет развитие растений, способствует образованию бутонов и цветению. В варианте с дозой 3 ПДК бутоны на верхушке стебля появились на 3 дня, на боковых ветвях на 14 дней раньше, чем у контрольных растений, цветение началось одновременно с контролем (30.08). Повышение дозы HNO_3 до 9 ПДК ускорило наступление этих фаз соответственно на 14, 14 и 11 дней. В контрольном варианте зацвело одно растение из 12-и, а при 3 и 9 ПДК – все растения. В варианте 1 ПДК HNO_3 , а так же при загрязнении почвы другими поллютантами растения не вступали в фазу бутонизации. Загрязнение почвы KCl задерживало также появление всходов на 1 – 4 дня.

Важнейшим показателем реакции растений на степень загрязнения почвы и вид поллютанта является динамика роста в высоту. Исследованиями выявлено, что в первой половине вегетации до внесения второй половины дозы все поллютанты усиливали рост в высоту (таблица 1), наиболее сильно (в два раза интенсивнее контроля) – серная кислота в дозах 3 и 9 ПДК, уксусно – кислый свинец при 1 ПДК. Ряд авторов [7] также отмечает стимулирующее действие малых доз тяжелых металлов, в частности свинца. Стрессовым для топинамбура оказалось внесение с поливной водой оставшегося (1/2 дозы) количества (до 9 ПДК), HNO_3 , H_2SO_4 , всех доз $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ и KCl , что значительно снизило суточные приросты, а при 9 ПДК H_2SO_4 и KCl рост растений прекратился, отмечалось усыхание стебля

с листьями и гибель растений. Однако, при 9 ПДК КСl через 30 дней началось вторичное отрастание материнского клубня. После стресса усилился рост растений, особенно в вариантах с 9 ПДК HNO₃, 1 ПДК H₂SO₄, и 1 ПДК КСl. Все это свидетельствует о высокой жизнеспособности топинамбура и устойчивости к кислотным дождям. К уборке наибольшей высоты достигли растения при загрязнении почвы HNO₃(всеми дозами), уровня контроля и чуть выше– 1 ПДК H₂SO₄ , 1-3 ПДК Рb (CH₃COO)₂, 1-3 ПДК КСl.

Таблица 1

Среднесуточный прирост растений топинамбура в высоту, см.

Вариант		Периоды							Высота при уборке, см
поллютант	ПДК	всходы - 30.05	30.05 - 11.06	11.06 - 24.06	24.06 - 04.07	04.07 - 15.07	15.07 - 08.08	08.08 - 29.08	
Контроль	0	1,09	0,53	0,77	0,40	0,54	0,69	0,65	74,50
HNO ₃	1	1,03	0,66	0,79	0,71	0,41	0,91	0,55	80,50
HNO ₃	3	1,12	0,79	0,73	0,48	0,75	0,67	0,71	87,25
HNO ₃	9	1,01	0,83	0,72	0,04	0,91	1,42	0,62	103,00
H ₂ SO ₄	1	1,15	0,79	0,69	0,50	0,45	0,59	0,73	77,50
H ₂ SO ₄	3	1,08	1,08	0,50	0,08	0,30	0,27	0,27	55,67
H ₂ SO ₄	9	0,98	1,01	0,80	0,18	0,00	0,00	0,00	40,00
Pb(CH ₃ COO) ₂	1	1,09	1,14	0,62	0,49	0,41	0,45	0,68	74,50
Pb(CH ₃ COO) ₂	3	1,12	0,71	0,80	0,54	0,30	0,89	0,48	77,75
Pb(CH ₃ COO) ₂	9	0,97	0,84	0,74	0,30	0,59	0,40	0,65	69,75
КСl	1	1,10	0,66	1,00	0,39	0,84	0,61	0,70	74,00
КСl	3	1,04	0,89	0,98	0,14	1,30	0,53	0,21	79,00
КСl	9	0,98	1,08	0,89	0,00	0,00	0,08	0,14	24,00

Загрязнение почвы нитратами одновременно увеличивало листообразование на главном стебле, но тормозило образование побегов. Больше, чем в контроле (5,75) образовалось побегов в варианте с 3 ПДК H₂SO₄ (6,0 шт.). Загрязнение почвы КСl в наибольшей мере тормозит прорастание почек материнского клубня и развитие побегов, особенно в дозе 9 ПДК.

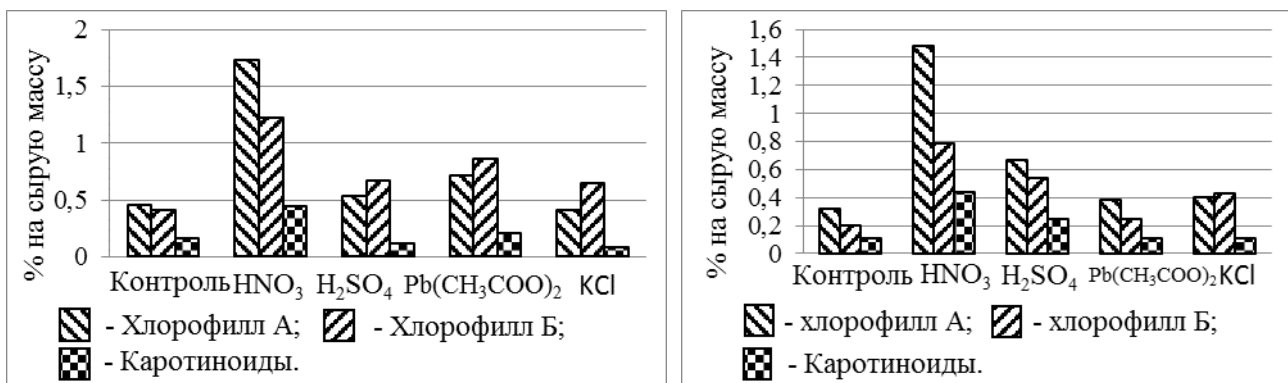


Рисунок 1. Содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях топинамбура при загрязнении почвы поллютантами в дозе 3 ПДК: 13 августа (слева) и 13 сентября (справа).

Урожай создается в процессе фотосинтеза, важнейшими участниками которого являются зеленые пигменты: хлорофилл А и хлорофилл Б. Основная функция хлорофилла заключается в поглощении световой энергии и преобразовании ее в химическую. Каротиноиды (каротины и ксантофиллы) являются дополнительными пигментами фотосинтетического аппарата, увеличивающими его спектральный диапазон [4]. Наши исследования выявили положительное влияние экотоксикантов на содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях топинамбура (рисунок 1). Наиболее существенным оно было в вариантах с HNO₃ и Pb (CH₃COO)₂, что характеризует устойчивость топинамбура к этим поллютантам, способность на загрязненных почвах сохранять на достаточно высоком уровне фотосинтетическую деятельность растений и накопление биомассы топинамбура. Более высокой интенсивностью фотосинтеза отличались растения в варианте 3 ПДК HNO₃. Так, при определении 15.07. в период с 9 до 12 часов было накоплено ассимилянтов 3,82 мг/см²/час, что в 3 раза больше, чем в контроле (1,27 мг/см²/час). Поэтому при всех 3-х уровнях токсикации почвы азотной кислотой увеличился урожай ботвы и клубней, в большей мере при 3 ПДК – на 42,98 г/сосуд или на 73,0 %, клубней – на 106,36 г/сосуд (на 166,9 %) (рисунок 2). При этом, общий урожай сырой биомассы (ботва+клубни) увеличился на 149,34 г/сосуд (на 121,8 %). На уровне контрольного варианта накоплен общий урожай сырой биомассы при 1 ПДК H₂SO₄, 3 ПДК Pb (CH₃COO)₂, 1 ПДК KCl. Особенно токсичным для топинамбура оказалось загрязнение почвы H₂SO₄ и KCl до 9 ПДК. При 3 ПДК H₂SO₄ урожайность в сравнении с контролем снизилась в 3,5, а при 3 ПДК KCl – в 1,4 раза.

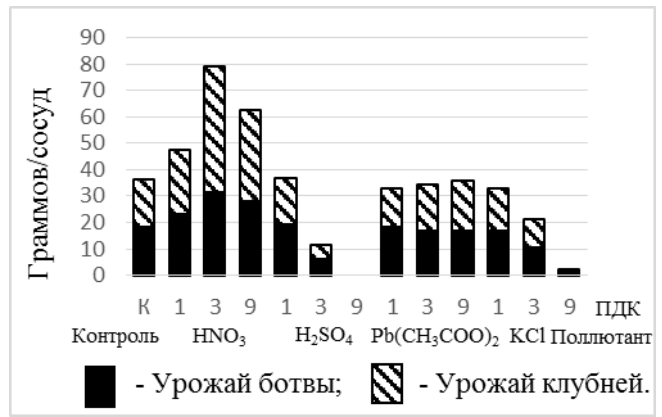
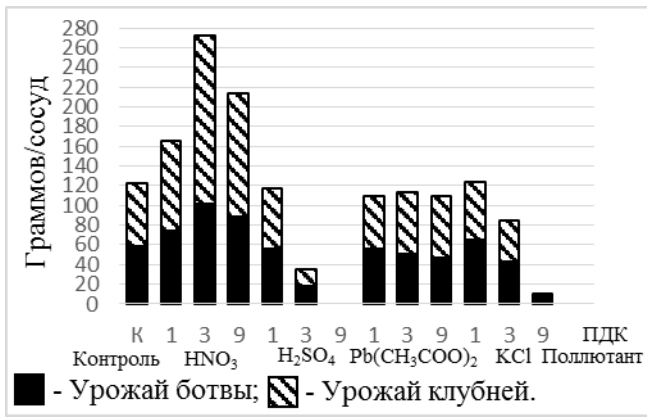


Рисунок 2. Урожай сырой (слева), сухой (справа) фитомассы ботвы и клубней при химическом загрязнении почвы, г/сосуд (НСР₀₅ по сырой массе: ботвы – 3,74, клубней – 4,61, общей биомассы – 7,13 г/сосуд).

Фитотоксическое действие высоких доз поллютантов сказывается на формировании корневой системы. Так, масса корней в вариантах 3 и 9 ПДК H₂SO₄, 9 ПДК KCl была в 6,1 – 13,4 раз меньше, чем в контроле. Отрицательное влияние на развитие корневой системы оказало так же загрязнение почвы нитратами (HNO₃) до 9 ПДК, когда масса корней снизилась в 2,1 раза (рисунок 3).

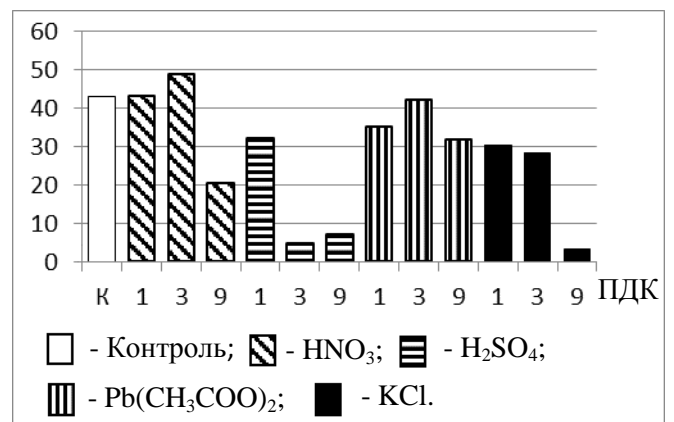


Рисунок 3. Масса корней топинамбура, г/сосуд.

Для топинамбура как для клубненосного растения особенно важно определить действие экотоксикантов на образование и рост клубней. Исследованиями выявлено наиболее сильное отрицательное влияние на эти процессы загрязнения почвы серной кислотой и хлористым калием, положительное – азотной кислотой. Так, при 1 ПДК H₂SO₄ и KCl в среднем насчитывалось 5,75 и 5,35 клубней (шт./сосуд), в контроле – 7,0 шт., при 3 ПДК – 2,0 и 5,0, а при 9 ПДК клубни не образовались. Наоборот, загрязнение почвы нитратами увеличивало образование клубней на растении в сравнении с контролем в вариантах 1 – 3 – 9 ПДК соответственно на 2,5 – 11,75 – 7,25 шт./сосуд. Следует констатировать, что при снижении числа клубней в вариантах с 1 ПДК H₂SO₄ и KCl наблюдается увеличение крупности клубней, поэтому урожай клубней сохраняется на уровне контроля.

Действие поллютантов на качество урожая оценивали по содержанию абсолютно сухого вещества, сахаров и клетчатки (таблица 2).

Загрязнение почвы азотной кислотой (1 и 3 ПДК), уксусно – кислым свинцом (1 – 9 ПДК) не оказало отрицательного влияния на содержание абсолютно – сухого вещества и сахаров в клубнях. Напротив, количество сухого вещества увеличилось в сравнении с контролем на 0,24 – 1,8 % в вариантах с 1 и 3 ПДК H_2SO_4 и на 0,4 – 2,0 % с 3 и 9 ПДК $Pb(CH_3COO)_2$, а сахаров соответственно на 2,0 – 2,5 и на 0,5 – 3,5 %. Снижение содержания сухого вещества и сахаров в сравнении с контролем произошло при загрязнении почвы азотной кислотой и хлористым калием. В первом случае это не связано с токсическим действием HNO_3 . Известно, что при оптимальных условиях азотного питания относительное содержание углеводов (крахмала, сахаров) бывает меньше, чем при пониженном (контроль, варианты с KCl), что объясняется более высоким расходом энергии при биосинтезе азотистых соединений, которую растения получают в процессе окисления углеводов [6].

Таблица 2

Влияние загрязнения почв различными экотоксикантами на клубневую продуктивность топинамбура и качество клубней

Вариант		Число клубней, шт.	Масса клубней, г	Средняя масса клубня, г	Абсолютно сухое вещество, %	Общий сахар, %	«Сырая» клетчатка, % на абс.сух.в-во	Кхоз
поллютант	ПДК							
Контроль	0	7,00	63,73	9,10	28,34	21,75	3,21	0,50
HNO_3	1	9,50	91,26	9,61	26,20	20,00	4,86	0,51
HNO_3	3	18,75	170,09	9,07	28,16	21,25	5,47	0,61
HNO_3	9	14,25	124,84	8,76	27,95	18,75	4,16	0,56
H_2SO_4	1	5,75	60,93	10,60	28,58	23,75	2,28	0,48
H_2SO_4	3	2,00	17,50	8,75	30,14	24,00	-	0,46
H_2SO_4	9	Клубни не образовались						
$Pb(CH_3COO)_2$	1	6,25	52,80	8,45	27,53	24,00	3,41	0,44
$Pb(CH_3COO)_2$	3	7,50	61,68	8,22	28,48	22,25	1,65	0,51
$Pb(CH_3COO)_2$	9	8,75	62,28	7,12	30,34	25,25	1,75	0,53
KCl	1	5,33	58,25	10,92	26,99	19,75	5,51	0,48
KCl	3	5,00	42,18	8,44	24,33	16,50	-	0,49
KCl	9	Клубни не образовались						

Загрязнение почвы H_2SO_4 (1ПДК) и $Pb(CH_3COO)_2$ (3 и 9 ПДК) существенно снижает содержание клетчатки в клубнях.

Наибольший выход абсолютно сухой фитомассы (ботва + клубни) обеспечило насыщение почвы азотной кислотой с максимумом при 3 ПДК (79,14 г/сосуд) (ботва + клубни), прибавка к контролю составила 43,03 г/сосуд или 119,2 %, а наименьший (11,5 г/сосуд) загрязнение H_2SO_4 до 3 ПДК, кроме вариантов с 9 ПДК H_2SO_4 и KCl , где растения погибли.

Лучшей направленностью продукционного процесса отличались растения в вариантах с 1 – 9 ПДК HNO_3 и 3 – 9 ПДК $Pb(CH_3COO)_2$, у которых коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{хоз}$) превышал контроль на 0,01 – 0,11 ед, что способствовало повышению урожая клубней относительно надземной массы.

Выводы:

1.Топинамбур отличается повышенной устойчивостью к загрязнению дерново – подзолистой почвы азотной кислотой на уровне 1 – 3 – 9 ПДК. За счет улучшения азотного питания повышается фотосинтетическая деятельность растений, он формирует урожайность выше, чем на незагрязненных почвах: сырой фитомассы на 34,6 – 121,8, сухой 30,8 – 119,2, клубней на 43,2 – 166,9 %. Топинамбур хорошо справляется со стрессовой ситуацией при поливе растений HNO_3 в дозе $\frac{1}{2}$ от 9 ПДК.

2.Токсикация почвы всеми изучаемыми поллютантами до 3 ПДК увеличивает содержание растительных пигментов в листьях земляной груши (хлорофилла А и Б, каротиноидов), в большей мере при загрязнении HNO_3 , когда их количество в сравнении с контролем возрастает к фазе цветения в 2,5 – 3,8 раза, к концу вегетации в 4,0 – 4,6 раза.

3.Повышенный фитотоксичностью отличаются серная кислота и хлористый калий. При загрязнении почвы до 1 ПДК урожайность топинамбура формируется на уровне контроля, до 3 ПДК – снижается соответственно в 3,5 и 1,4 раза. Доза в 9 ПДК является летальной, при которой растения погибают, но при 9 ПДК КС₁ через 30 дней начинается вторичное отрастание материнского клубня.

4.Уксуснокислый свинец при всех уровнях загрязнения почвы менее фитотоксичен, чем азотная кислота и хлористый калий, накапливается урожаем сырой, сухой фитомассы близкий к контролю, повышает содержание в клубнях сухого вещества, сахаров.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году». Москва, 2012. 171 с.
2. Дмитраков Л.М., Дмитракова Л.К. Фитоэкстракция свинца из загрязненной серой лесной почвы//Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования: мат. Всерос. с межд.уч.конф. (Петрозаводск–Москва, 13–18 августа 2012 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. Кн. 2. С.240-241.
3. Зеленков В.Н. Топинамбур: агробиологический портрет и перспективы инновационного применения / В. Н. Зеленков., Н. Г. Романова. М: РГАУ-МСХА, 2012. 161 с.
4. Кахнович Л.В. Фотосинтез. Минск: Изд.БГУ, 2002. 168 с.
5. Клечковский В.М., Петербургский А.В. Агрехимия: Учебник. М:Колос, 1964. 527 с.
6. Лаврова Г.П., Зоотехнический анализ кормов: учебное пособие к лабораторным занятиям для студентов зооинженерного факультета по специальности 310700 – «Зоотехния» / Г.П. Лаврова, Е.И. Машкина. Барнаул: АГАУ, 2006. 30 с.

7. Солдатова Н. А., Хрянин В. Н. Влияние соли свинца на ростовые процессы у растений *Cannabissativa L.*// Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского.2008. № 10. С 215 – 218.
8. Третьяков, Н.Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Т. В. Карнаухова, Л. А. Паничкин и др. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
9. Усанова, З.И. Формирование высокопродуктивных агроценозов топинамбура: особенности минерального питания, удобрение: монография / З.И. Усанова, Ю.В. Байбакова. Тверь: «АгросфераА» Тверская ГСХА, 2009. 159 с.
10. Хохлова, О.Н. Введение в химическую экологию Ч.2.Загрязнение окружающей среды. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2010. 120 с.

Рецензенты:

Никольский В.М., д.х.н., профессор, профессор кафедры неорганической и аналитической химии ФГБОУ ВПО Тверской Государственный Университет, г.Тверь;

Тихомирова В.Я., д.б.н., профессор, главный научный сотрудник, ФГБНУ Всероссийский научно – исследовательский институт льна, Тверская обл., г.Торжок.