

УДК 581.2+581.193+581.132+633.1+635.65+632.15

Малле МАНДРЕ, Юри МАРТИН, Алла КАНГУР,
Лийви ЛАУР, Эльви ПИХЛАКАС

ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕХНОГЕННУЮ НАГРУЗКУ

В результате векового притока энергии и потока веществ на сложившемся биогеохимическом фоне часто образуются естественные геохимические аномалии, вызванные локальным действием рудных минералов, месторождений фосфоритов и др. Эти аномалии могут быть причиной эндемичных болезней, низкого плодородия почв, низкого качества воды и других неблагоприятных для человека и его хозяйственной деятельности условий.

Современная индустриальная деятельность, горные выработки, городские агломерации, транспорт, производственные и коммунальные отходы создают новый тип геохимических аномалий, названный «антропогенными неаномалиями» (Ковда, 1976). Как правило, в этих отходах и выбросах всегда имеется определенное количество сульфидов, окислов азота, серы и углерода, аммиака, сероводорода, фтора, марганца, тяжелых металлов. Количество названных и ряда других элементов в окружающей среде (Сеферович, 1974; Перельман, 1973, 1976) зависит от интенсивности производства, технологии обработки, географической ситуации и многих других условий. Геохимическая неаномалия проявляется в виде зон с ненормально повышенной или пониженной кислотностью почв, необычно высоким содержанием в почве, воде, осадках, растениях, органах животных и даже человека тяжелых металлов, мышьяка, фтора, серы. Здесь наблюдается повышенное поражение растений, заболевание животных, гибель рыб и другие нежелательные явления. С удалением от источника, создающего аномалию, его влияние угасает, но все же может достигать нескольких десятков километров. Под воздействием некоторых соединений формируются неаномалии на огромных территориях, захватывающих целые континенты (Acidification..., 1982; Мировая окружающая среда..., 1984).

Сложившиеся в экосистемах соотношения между химическими элементами резко нарушаются миллионами тонн других, вовлекаемых в хозяйственную сферу элементов, потребляемых в химической, металлургической и других отраслях промышленности и в сельском хозяйстве. Эти дополнительные количества веществ и чуждые биосфере соединения вызывают явление, принятое называть загрязнением. Компоненты биосферы и земная кора формируют систему, в которой происходит непрерывный циклический обмен химических элементов. Вмешательство человека в этот обмен произошло относительно недавно, но количественные показатели воздействия антропогенных факторов достигли уровня природных химических процессов в биосфере, а в региональном и локальном масштабах превзошли их многократно. Вполне справедливо ожидать, что изменение человеком потоков веществ оказывает определенное влияние на состав, структуру и состояние эколо-

гических систем. В высокоразвитых странах нарушение экологического равновесия причиняет экономический ущерб, исчисляемый десятками миллиардов рублей в год (Балацкий, 1976; Cortelyon, 1972; Environmental..., 1974). Поэтому очевидно, что во избежание ошибок в технической политике и значимого экологического и экономического ущерба необходимо иметь информацию о состоянии природной среды, о возможных антропогенных изменениях в живой и неживой компонентах экосистем.

Наряду с естественными экосистемами влиянию геохимических аномалий подвержены и сельскохозяйственные угодья, которые часто прилегают к городским системам и индустриальным центрам с высокой плотностью населения и такой же потребностью в продуктах питания.

Настоящая работа выполнена в северной части Эстонской ССР, которая является промышленно наиболее развитой. Здесь вырабатывается около 20 млрд. кВт электроэнергии, обрабатывается 26 млн. т горючих сланцев, производится около 250 тыс. т минеральных удобрений, более 600 тыс. т серной кислоты и много другой продукции (Развитие..., 1986). Нашей задачей было выяснить, как реагируют некоторые сельскохозяйственные растения на повышенную техногенную нагрузку, вызванную цементным производством, добычей и обработкой горючих сланцев и производством минеральных фосфорных удобрений. В качестве фоновых условий рассматривается территория Лахемааского национального парка, где были проведены контрольные эксперименты. Параллельно с полевыми проводились и лабораторные эксперименты с моделированием определенных нагрузок.

Материал и методика

Объектами исследований служили районированные в ЭССР сорта сельскохозяйственных культур: клевер 'Виола', ячмень 'Отра', озимая рожь 'Сангасте', 'Вамбо' и новый гибрид ржи Р 65/76. В течение вегетационного периода (1983—1985 гг.) у растений измерялся рост и биомасса. Из биохимических характеристик изучали содержание общего азота по Кьельдалю, количество растворимых белков по Плешкову, общее содержание аминокислот автоматическим анализатором ААА-339, содержание хлорофиллов по Вернону, содержание каротина, золы и минеральных элементов по методам, приведенным в руководстве по анализу кормов — свободные SH-группы, SO_4^{2-} , общее содержание серы и др. (Асатиани, 1965; Плешков, 1968; Руководство..., 1982; Трубецкова, Татаренко, 1971; Третьякова, 1982; Верноп, 1960).

В целях интерпретации полученных данных физиолого-биохимического отклонения растительного организма под воздействием техногенной нагрузки были определены физико-химические параметры среды обитания: содержание некоторых ионов (Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) и электропроводность осадков, для почв — главные агрохимические показатели (рН, объемный вес, общая концентрация солей и концентрации отдельных макро- и микроэлементов).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. Физико-химическая характеристика среды

Установлено, что в районе цементного производства (ЦП) (средний химический состав цемента, %: CaO 40—50, SiO_2 12—17, K_2O 4—9, SO_3 4—8, MgO 2—4, Fe_2O_3 1—3, рН 12,7—13,0) в радиусе более чем

Таблица 1

Физико-химическая характеристика дождевой воды во время вегетационного периода (средние показатели 1983—1985 гг.)

Место отбора образцов	рН	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Электропроводность, мкСм·см ⁻¹	1985		
				Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
				мг/л		
Лаксмааский национальный парк (контроль)	6,7	19,1	126	20	1,9	3,8
Сланцехимическое предприятие (СХП)						
1 км от источника	7,3	34,3	281	34	4,0	4,4
4 км от источника	7,0	26,7	156	19	4,8	4,5
Производство цемента (ЦП)						
1 км от источника	8,1	99,7	519	46	24,0	8,0
Производство фосфорных удобрений (ПФУ)						
1 км от источника	7,0	30,0	175	20	4,6	5,5

10 км от источника эмиссии наблюдается повышенная щелочная реакция и существенное отклонение химического состава почвы и осадков (Мандре, Кангур, 1986; Мандре, 1986). Отходы сланцехимических предприятий (СХП) характеризуются высоким содержанием серных (SO₂, H₂S) и азотных ингредиентов (NO_x, NH₃), а основными компонентами атмосферных выбросов производства фосфорных удобрений (ПФУ) являются HF, SO₂, NO_x. Дождевые осадки собирали в вегетационный период с мая по октябрь (1983—1985 гг.), а пробы для анализа химического состава снега по всей толщине покрова — в январе и феврале (1984 и 1985 гг.) (табл. 1—3). Анализы дождевой и снеговой воды показывают повышенное содержание SO₄²⁻ на всех участках,

Таблица 2

Физико-химическая характеристика снежной воды на экспериментальных участках (средние показатели 1983—1985 гг.)

Место отбора образцов	рН	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Электропроводность, мкСм·см ⁻¹	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
				мг/л			
Лаксмааский национальный парк (контроль)	6,6	5,7	31	4,5	0,5	0,5	0,5
Сланцехимическое предприятие (СХП)							
1 км от источника эмиссии	10,2	48,9	256	34,0	13,5	1,0	2,5
4 км от источника эмиссии	9,9	46,7	187	17,7	1,5	1,1	1,1
Производство цемента (ЦП)							
1 км от источника эмиссии	10,9	79,2	363	68,9	43,7	0,5	2,2
Производство фосфорных удобрений (ПФУ)							
1 км от источника эмиссии	7,1	7,8	33	5,9	0,3	0,8	1,3

Химический состав почвы на экспериментальных участках
(среднее 1983—1985 гг.)

Место отбора проб	рН КС1	Объемный вес, кг/л	Общая концентрация солей, г/кг	NO ₃ -N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Cu	Mn
				мг/кг								
Лахемааский национальный парк (контроль)	6,8	1,13	0,32	15	159	190	2785	124	3400	1,8	6,5	464
Сланцехимическое производство (СХП)												
1 км от источника эмиссии	7,3	1,16	0,42	17	110	335	4000	255	1757	3,4	6,7	228
4 км от источника эмиссии	6,8	1,08	0,41	11	46	76	2800	218	2516	2,0	6,2	86
Производство цемента (ЦП)												
1 км от источника эмиссии	8,0	0,92	0,79	19	143	807	26250	913	4643	3,6	7,1	204
Производство фосфорных удобрений (ПФУ)												
1 км от источника эмиссии	6,9	1,06	0,43	24,3	22	47	2665	233	2289	1,2	6,3	160

увеличенную электропроводность по сравнению с контрольными наблюдениями, повышенное рН (до 7 и выше), отклонения в химическом составе осадков.

Роль атмосферного переноса веществ в формировании химического состава почв в промышленных районах велика. Многие выбросы оседают на почву с пылью, дождями и снегом. В Северо-Восточной Эстонии наблюдается изменение кислотности почв, особенно поверхностного слоя (до 30 см), и обогащение катионами Ca, K, Mg (табл. 3).

2. Биохимический состав растений

Загрязненный атмосферный воздух, как компонент техногенной нагрузки на экосистемы, в значительной мере влияет на метаболизм, рост и продуктивность растений.

Сельскохозяйственные культуры, выращиваемые в промышленных районах, подвержены воздействию различных уровней фитотоксикантов, переносимых воздухом и оседающих как в сухом, так и в растворимом виде. Химически агрессивные вещества вызывают нарушение фотосинтеза, дыхания и других биосинтетических и обменных процессов, при этом эффект повреждения зависит также от индивидуальных особенностей видов и особей растений (Мэннинг, Федер, 1985; Effects of SO₂..., 1984).

Как показывают многие исследования (Ничипорович, 1974; Нобл, Такемото, 1982), большинство абнотических экологических факторов (освещенность, температура, концентрация CO₂ и пр.) влияют на количество и функции хлорофиллов. Оценку роли каждого из них в при-

роде затрудняют многообразие факторов и их различное сочетание. С учетом уровня техногенной нагрузки на экспериментальных участках (табл. 1, 2, 3) значительных изменений в содержании хлорофиллов в листьях изучаемых растений не ожидалось, что доказывают и приведенные в табл. 4 данные. При таком уровне ингредиентов в атмосферном воздухе очень информативны колебания параметров и их отклонения от средних значений, вызванных разовыми концентрированными выбросами. Результаты наших исследований показали, что изменчивость пигментных систем изученных сельскохозяйственных культур в индустриальных районах существенно не различалась. Так, суммарное содержание хлорофилла клевера колебалось в пределах 2,39—3,70, озимой ржи — 1,73—2,43 мг/г из расчета на сырую массу ткани, и соответственно 10,28—17,09 и 7,63—15,20 мг/г из расчета на сухую массу. Если причиной более низкого содержания хлорофилла могут быть разовые высокие концентрации токсикантов или длительное воздействие невысоких концентраций загрязнителей с высокой окислительной активностью таких веществ, как двуокись серы, окислы азота, фториды, то причиной наивысшего содержания хлорофиллов, например у клевера в Палмсе (фоновые условия), может быть отсутствие загрязнения. Доказательством вышесказанного является противоположное поведение хлорофиллов в растениях, выращенных на тех же самых почвах в одинаковых тепличных условиях (Мандре, Кангур, 1986). Рост растений в этих условиях проходил в соответствии с содержанием хлорофиллов, чего не наблюдалось у растений в естественных условиях.

Своеобразные изменения в пигментной системе подопытных растений наблюдались при загрязнении цементной пылью. Из-за нарушения многих процессов обмена, в том числе и синтетических, содержание сухого вещества в запыленных листьях ржи значительно уменьшилось в эксперименте (на 31,3% по сравнению с контролем). Количество синтезируемого хлорофилла при этом отставало от контроля лишь на 4,6%, обуславливая этим увеличение хлорофиллов на 138,3% из расчета на 1 г сухого вещества листа (Кангур, 1985).

Соотношение между хлорофиллами *a* и *b* оказалось единственным одинаково изменяющимся параметром у всех изученных растений при цементнопылевым загрязнении — оно было намного ниже установленных для всех других экспериментальных участков показателей. Снижение соотношения отдельных хлорофиллов обусловлено различными скоростями синтеза. Второй, не менее важной причиной является то, что хлорофилл *b* образуется лишь из молодых, метаболически более активных молекул хлорофилла *a* (Ганоненко и др., 1974; Везицкий, Рудой, 1975), которые легко подвергаются разрушению (Шлык, 1975). Учитывая большую информативность отдельных пигментов (Любименко, 1963; Сулова, Николаевский, 1971; Pelz, 1964; Rabe, Kreeb, 1980), можно думать, что снижение соотношения хлорофиллов *a* и *b* свидетельствует об экстремальности условий в окрестностях цементного завода, а также о снижении интенсивности фотосинтеза в запыленных растениях. Повышение доли хлорофилла *b* в запыленных листьях — характерная черта воздействия загрязнения.

Изменение содержания каротиноидов служит показателем устойчивости растений к неблагоприятным условиям. И. А. Озолина и А. И. Мочалкин (1975) утверждают, что высокая насыщенность и большая реакционная способность каротиноидов защищают клетку от деструктивных изменений. Увеличение содержания каротина в листьях озимой ржи и уменьшение его в листьях клевера в зонах со сходной техногенной нагрузкой свидетельствуют об индивидуальной реакции различных видов. Уменьшение каротина в кормовых растениях указывает на

снижение их кормовой ценности, так как каротин — основа биосинтеза витамина А в животном организме.

Во всех промышленных районах, в которых были заложены экспериментальные участки, среди ингредиентов атмосферного загрязнения сера встречается в виде SO_2 и H_2S . Они вызывают отклонения обмена серы в метаболизме подопытных растений. Необходимо отметить, что в растительном организме указанные соединения серы претерпевают ряд химических превращений, вплоть до образования сульфата (Brändle, Shyder, 1970; Liebera и др., 1973). Минеральная сера в виде сульфата вступает в метаболизм, происходит ее активация при помощи фосфорилирования АТФ и образование аденозин 5-фосфосульфата (АФС), и дальше 3-фосфоаденозин 5-фосфосульфата (ФАФС) — т. н. активного сульфата (Шевякова, 1979). Через эту реакцию относительно инертная окись серы вступает в метаболизм, в ходе которого происходит восстановление до SH-групп. Клетки тканей растений при невысоких концентрациях серы мобилизуют свои возможности и приводят в баланс сульфаты и серосодержащие аминокислоты по реакции обратных связей — новообразованием сульфата (Шевякова, 1979).

Необходимо отметить, что общее содержание серы в тканях растений отражает количество этого элемента в среде обитания. О реакции растительного организма на серосодержащие загрязнители можно судить по ассимиляции минеральной серы в органических соединениях. Изменение соотношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH-}$ можно рассматривать как показатель, характеризующий реакцию растений на неблагоприятные условия, в том числе и на техногенную нагрузку (Воронкова, 1979; Гетко, 1972, 1982; Мандре, 1984).

Полученные нами данные подтверждают, что в условиях техногенной нагрузки, вызванной атмосферными выбросами ЦП, СХП и ПФУ, в листьях клевера и озимой ржи наблюдается повышенное накопление серы. Во всех вариантах опытов листья озимой ржи содержали серы больше, чем листья клевера. При этом содержание неорганической (сульфаты) и органической (сульфгидрильные соединения) серы в листьях разных видов было разным и в неодинаковой мере зависело от характера влияющего фактора. Например, в окрестностях СХП в листьях клевера и озимой ржи установлено повышенное содержание SO_4^{2-} и пониженное — SH-групп, их соотношение было выше, чем в контроле. В этом наши данные сходятся с данными О. Дж. Фаррера (Farrer, 1967), который обнаружил, что под влиянием двуокиси серы в листьях клевера сера находилась преимущественно в неорганической форме. Под влиянием цементной пыли содержание как SO_4^{2-} , так и SH-групп в листьях увеличивается. Но под влиянием отходов ПФУ содержание минеральной серы уменьшается. Здесь, вероятно, происходит усиленная ассимиляция серы в свободные SH-соединения и белки, на что указывает существенное увеличение растворимых белков. В листьях озимой ржи основная часть SO_4^{2-} включается в свободные SH-соединения и белки. Уменьшение соотношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{SH-}$ может служить показателем расстройтва обмена серы в растении под влиянием ПФУ.

Обмен серы тесно связан с обменом азота, так как в ходе ассимиляции она включается в аминокислоты, глутатион и белки.

Относительно высокие концентрации NO_x и NH_3 наблюдаются в атмосферном воздухе вблизи СХП и ПФУ. Это способствует увеличению содержания общего азота в листьях растений. С его увеличением может быть связано и воздействие двуокиси серы. По данным С. А. Сергейчика (1984), малые дозы двуокиси серы увеличивают, а высокие

Изменение биохимического состава листьев клевера и озимой ржи в разных условиях техногенной нагрузки 1983—1985 гг. (до 1 км от источника эмиссии)

Биохимический параметр	Клевер				Озимая рожь			
	ЛНП (контроль)	СХП	ПФУ	ЦП	ЛНП (контроль)	СХП	ПФУ	ЦП
Сухое вещество, %	22,59	21,21	23,43	20,34	20,35	19,95	21,58	13,98
Общий азот, % сух. в-ва	3,36	3,43	2,66	3,48	1,75	1,85	2,10	2,08
Растворимые белки, % от контр.	100	143	168	123	100	69,5	116	55
Аминокислоты, мг/г сух. в-ва	215,4	221,1	112,5	201,7	266,7	292,1	319,9	174,3
Общая сера, % от контр.	100	119	252	197	100	181	333	250
SH-группы, % от контр.	100	68,0	101,4	96,5	100	93,8	125,0	78,1
сыр. в-ва	100	77,3	103,1	110,7	100	99,4	124,1	114,6
сух. в-ва	100	78,6	80,9	91,0	100	163,3	87,8	114,3
SO ²⁻ - % от контр.	100	106,2	84,1	120,9	100	172,7	86,8	141,3
SO ⁴⁻ /SH-, % от контр.	100	114,6	79,3	95,1	100	175,0	71,0	147,4
сыр. в-ва	100	137,7	81,8	109,1	100	176,3	71,0	125,0
сух. в-ва	3,25	2,79	2,68	2,80	1,95	2,00	1,95	1,83
Тотальный хлорофилл, мг/г	14,40	13,22	11,44	13,88	9,60	10,06	9,08	12,80
сыр. в-ва	2,40	2,06	1,98	2,02	1,45	1,51	1,45	1,34
сыр. в-ва	10,63	9,77	8,46	10,04	7,12	7,60	6,75	9,60
Chl a, мг/г	0,85	0,73	0,72	0,77	0,51	0,48	0,50	0,51
сыр. в-ва	3,76	3,45	3,08	3,83	2,48	2,44	2,31	3,66
Chl b, мг/г сух. в-ва	852	695	679	615	168	254	315	294
Каротин, мкг/г сух. в-ва	10,94	10,03	9,10	10,11	9,85	8,85	7,25	10,75
Зола, % сух. в-ва	20,9	21,9	21,8	24,05	4,50	4,1	5,0	8,50
Ca, мг/г сух. в-ва	37,0	36,3	23,8	37,5	37,6	30,2	26,3	37,7
K, мг/г сух. в-ва	5,9	3,6	4,5	5,4	5,9	6,2	3,2	4,7
P, мг/г сух. в-ва								

Таблица 5

Климатическая характеристика экспериментальных участков в 1983—1985 гг. (по данным Эстонского Республиканского управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды)

Место	Год	Количество осадков, мм (май—сентябрь)	Средняя температура воздуха, °С (май—сентябрь)
Лахемааский национальный парк	1983	318,7	14,1
	1984	400,6	13,0
	1985	450,9	12,6
Пыхви	1983	257,5	14,1
	1984	400,3	13,4
	1985	436,3	12,5
Кунда	1983	314,4	14,1
	1984	355,6	12,4*
Среднее	1983	296,9	14,1
	1984	385,5	13,1
	1985	443,6	12,5

* Данные по метеопосту Винни.

уменьшают содержание общего и белкового азота. Для устойчивых видов растений характерно повышение содержания водорастворимых белков (Шацкая, 1983). В окрестностях ЦП вместе с пылью эмитируется незначительное количество окислов азота. Окислы азота и аммиак поглощаются растениями в виде ионов аммония, азотной и азотистой кислот. Поступившие в растения нитраты метаболизируются до NH_3 и служат материалом для синтеза органических азотистых соединений. Аммиак в свободном виде ядовит для клеток, поэтому в растениях он чрезвычайно быстро превращается в аминокислоты, а хлоропласты как органеллы, обеспечивают активный обмен веществ в растительной клетке (Измайлов, 1981).

В окрестностях предприятий СХП и ЦП наблюдается накопление общего азота и растворимых белков в листьях клевера. Вблизи ПФУ отмечено уменьшение количества общего азота и аминокислот, в то время как содержание растворимых белков в растениях клевера больше, чем в контрольных. Озимая рожь реагирует на эти условия по-другому. У этих растений наблюдается увеличение общего азота на всех экспериментальных участках, но содержание растворимых белков уменьшается под влиянием выбросов СХП и ПЦ. На экспериментальном участке вблизи ПФУ содержание растворимых белков и аминокислот увеличивается. Следовательно, перестройка азотного обмена у растений в промышленных районах многовариантна и зависит от характера выбросов и вида растений. Г. М. Илькун (1978) утверждает, что содержание белкового азота у чувствительных к загрязнению видов снижается, а у устойчивых — повышается. Необходимо отметить, что изменение азотного обмена связано с притоком азотистых соединений через воздух, с минеральным азотным питанием и возрастом растений.

Важная роль в согласованности многочисленных процессов обмена веществ и энергии в растительном организме принадлежит фосфорорганическим соединениям. На экспериментальных участках в северо-восточной части республики у клевера и озимой ржи в качестве скрытых повреждений отмечается снижение общего содержания фосфора.

В условиях загрязненного атмосферного воздуха клевер и озимая рожь имеют меньшую зольность, чем в контрольном варианте. Только цементная пыль, богатая многими катионами, вызывает у озимой ржи увеличение зольности. Следовательно, наблюдавшееся снижение сухого вещества (табл. 4) растений происходит под влиянием цементной пыли за счет органических соединений. Несмотря на то, что цементная пыль содержит 4—9% K_2O и содержание калия в почвах вокруг ЦП повышенное по сравнению с контролем, в листьях озимой ржи и клевера

содержание этого элемента практически не меняется или же имеет слабую тенденцию к увеличению. Это обстоятельство указывает на предел катионной поглотительной способности у растений, находящихся в условиях обильного содержания K^+ и Ca^{2+} . В окрестностях СХП и ПФУ было установлено уменьшение содержания калия в листьях клевера соответственно на 9 и 36%, в листьях озимой ржи — на 20 и 29% по сравнению с контролем. Но содержание кальция во всех вариантах экспериментов как у клевера, так и у озимой ржи явно увеличивается под воздействием техногенной нагрузки. Роль кальция в повышении устойчивости растений к различным неблагоприятным воздействиям, в том числе и к токсическим газам, общеизвестна. Если в растении накапливается повышенное количество кальция, то оно уравнивается с количеством органических кислот или других анионов (Gagges, и др., 1974). По мнению Г. М. Илькуна (1978), способность растений нейтрализовывать и обезвреживать избыточное количество анионов и катионов является важнейшим условием их выживания в условиях загрязненной атмосферы.

Известно также, что более старые части растений содержат больше кальция, чем молодые. Увеличение количества кальция в листьях растений указывает на их ускоренное старение. Это наблюдается у злаков, особенно подверженных воздействию цементной пыли. Чувствительность некоторых видов растений к избытку кальция в среде связана либо с вредным воздействием щелочной реакции почвы и осадков, либо с отсутствием или снижением поступления в растения таких элементов, как железо, марганец и фосфор (Лархер, 1978).

3. Рост растений

Атмосферное загрязнение воздуха вызывает отклонения в метаболизме растений, что, в свою очередь, приводит к нарушению процесса роста. В большинстве наших экспериментов отмечалось ингибирование процессов роста (рис. 1—3) в зависимости от условий эксперимента у разных подопытных растений. Так, на рост в высоту озимой ржи и клевера отрицательно влияют выбросы ПФУ, содержащие наряду с двуокисью серы, окислами азота и соединения фтора, а на рост ячменя — особенно цементная пыль. В то же время на расстоянии 1 и 4 км от СХП рост клевера был выше, чем в других вариантах (рис. 1).

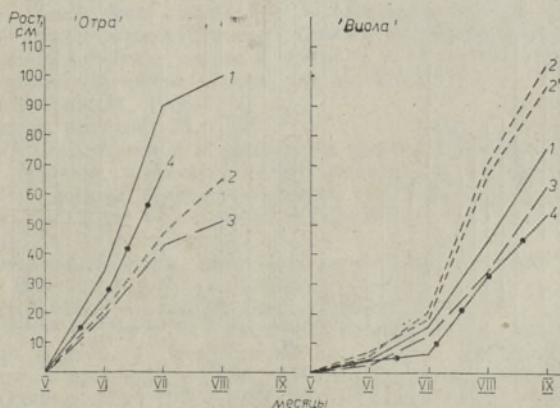


Рис. 1. Влияние техногенной нагрузки на вегетативный рост растений ячменя 'Отра' и клевера 'Виола' — средние значения по месяцам в 1984—1985 гг. на расстоянии 1 км от источника эмиссии. 1 — контроль; 2 — до 1 км, 2' — до 4 км от СХП; 3 — ЦП; 4 — ПФУ.

На основе данных 1983—1985 гг. рост растений в высоту в разных условиях эксперимента можно расположить в следующие ряды:

- для озимой ржи — К>СХП>ЦП>ПФУ
 для клевера — СХП>К>ЦП>ПФУ
 для ячменя — К>ПФУ>СХП>ЦП,

а биомассу растений, в следующие:

- для клевера — СХП>К>ПФУ>ЦП (данные 1984 и 1985 гг.)
 для озимой ржи — К>СХП>ПФУ>ЦП (данные 1985 г.).

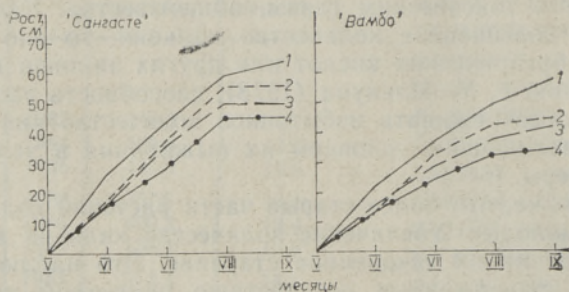


Рис. 2. Влияние техногенной нагрузки на рост озимой ржи — средние значения по месяцам в 1983—1985 гг. на расстоянии 1 км от источника эмиссии. 1 — контроль; 2 — СХП; 3 — ЦП; 4 — ПФУ.

Влияние промышленных выбросов на рост растений во многом зависит от метеорологических условий. При определении устойчивости растений к загрязнению необходимо учитывать такие факторы, как интенсивность освещения и температуру воздуха. Во время вегетации 1985 г., когда было относительно большое количество осадков, пони-

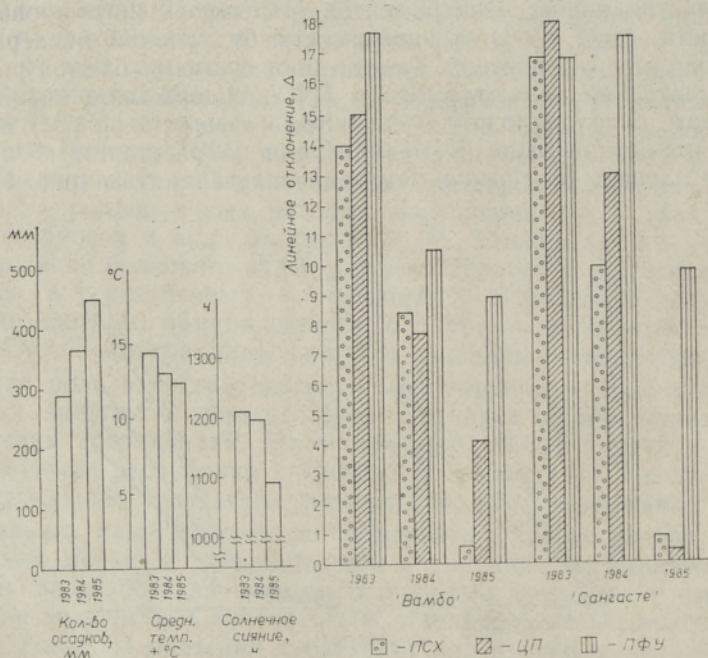


Рис. 3. Зависимость среднего линейного отклонения от контроля (по Г. Ф. Лакину) роста озимой ржи при различной техногенной нагрузке и от метеорологических показателей.

женная средняя температура (табл. 5) и относительно мало солнечного сияния (в Таллине 1118,2 ч, в Нарве 1065,1 ч*), рост растений в окрестностях СХП и ЦП мало отличался от контроля. Относительно сухая, солнечная (в Таллине 1227,6 ч, в Нарве 1192,3 ч) и теплая погода (табл. 5) в 1983 г. способствовала воздействию атмосферных загрязнителей на рост растений, так как именно в этом году наблюдалось значительное отклонение по сравнению с контролем (рис. 3). Видно, что воздействие атмосферных примесей на растения вблизи ПФУ меньше зависит от климатических условий (1983—1985 гг.).

Изложенный экспериментальный материал дает основание констатировать, что физиолого-биохимическая реакция растений на неблагоприятные условия, вызванные техногенным изменением состава атмосферного воздуха, оказывается неодинаковой в различных условиях и зависит от видовой специфики растений, а также от метеорологических условий. Загрязнение атмосферного воздуха как фактор, влияющий на количество и качество сельскохозяйственной продукции, требует пристального внимания. Вскрытие внутренних закономерностей реакции различных сельскохозяйственных культур на техногенную нагрузку дает возможность разработать эффективные методы управления урожаем.

ЛИТЕРАТУРА

- Асатиани В. С. Новые методы биохимической фотометрии. М., 1965.
- Балацкий О. Ф. Экономика защиты воздушного бассейна. Харьков, 1976.
- Везицкий А. Ю., Рудой А. Б. Превращение хлорофилловых пигментов в постэтиолированных листьях разных видов растений на ранней стадии зеленения. — В кн.: Биосинтез и состояние хлорофиллов в растениях. Минск, 1975, 58—92.
- Воронкова Н. Г. Влияние внекорневых подкормок на устойчивость роз к мучнистой росе. — В кн.: Интегрированные методы в защите декоративных растений. Таллин, 1979, 14.
- Ганоненко В. И., Балева Е. Ф., Шевчук С. Н. Обновление хлорофилла — характерная черта фотосинтезирующего аппарата. — В кн.: Хлорофилл. Минск, 1974, 298—310.
- Гетко Н. В. Газоустойчивость и газопоглощительная способность растений в условиях Белоруссии. — Автореф. канд. дис. Минск, 1972.
- Гетко Н. В. К механизму устойчивости сосны обыкновенной к газообразным соединениям серы в промышленных зонах Белоруссии. — В кн.: Взаимодействие между лесными экосистемами и загрязнителями. Таллин, 1982, 90—91.
- Измайлов Е. Ф. Структурно-функциональные аспекты интеграции азотного обмена растений. — Физиол. раст., 1981, 28, № 3, 635—656.
- Илькун Г. М. Загрязнители атмосферы и растения. Киев, 1978.
- Кангур А. К. Изменения содержания сухого вещества и хлорофиллов растений в условиях локального загрязнения окружающей среды. — В кн.: Повышать эффективность и качество цветоводства и овощеводства. Таллин, 1985, 53—55.
- Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. — В кн.: Биогеохимические циклы в биосфере. М., 1976, 19—85.
- Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1968.
- Лархер В. Экология растений. М., 1978.
- Любименко В. Н. Фотосинтез и хемосинтез в растительном мире. Т. 1. Киев, 1963.
- Мандре М. А. Влияние моделированного загрязнения на физиолого-биохимическое состояние системы растение—паразит. — В кн.: Актуальные задачи физиологии и биохимии растений в ботанических садах СССР. Пушкино, 1984, 114—115.
- Мандре М. Цементная пыль как влияющий на развитие растений антропогенный фактор. 2. Влияние на поражаемость мучнистой росой, рост и продуктивность растений. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1986, 35, № 2, 122—130.
- Мандре М., Кангур А. Цементная пыль как влияющий на развитие растений антропогенный фактор. 1. Воздействие на условия произрастания и метаболизм травянистых растений. — Изв. АН ЭССР. Биол., 1986, 35, № 1, 39—51.
- Мировая окружающая среда 1972—1982. ЮНЕП, 1984.
- Мэннинг У., Федер У. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений. Л., 1985.

* Данные Эстонского Республиканского управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды.

- Ничипорович А. А. Хлорофилл и фотосинтетическая продуктивность растений. — В кн.: Хлорофилл. Минск, 1974, 49—62.
- Нобл Р., Такемото В. Влияние двуокиси серы на фотосинтез. — В кн.: Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Ч. II. Таллин, 1982. 9—25.
- Озолина И. А., Мочалкин А. И. О защитной роли каротиноидных пигментов в растении. — Изв. АН СССР. Сер. биол., 1975, № 3, 387—397.
- Перельман А. И. Геохимия биосферы. М., 1973.
- Перельман А. И. Геохимия биосферы и ноосферы. — В кн.: Биогеохимические циклы в биосфере. М., 1976, 86—97.
- Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. М., 1968.
- Развитие народного хозяйства Эстонской ССР за 1981—1985 гг. Таллин, 1986.
- Руководство по анализам кормов. М., 1982.
- Сергейчик С. А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды. Минск, 1984.
- Сеферович Ё. Прогнозы развития мирового химического производства. — Химия и жизнь, 1974, № 10, 24—29.
- Суслова В. В., Николаевский В. С. Влияние кислых газов на пигментный состав листьев древесных и газонных растений. — В кн.: Газоустойчивость растений. Вып. II. Пермь, 1971, 93—132.
- Третьякова Н. Н. Практикум по физиологии растений. М., 1982.
- Трубецкова О. М., Татаренко Н. Ф. Фотоколориметрический метод определения сульфат-иона в присутствии фосфата. — Физиол. раст., 1971, 18, № 1, 219—222.
- Шацкая Р. Н. Влияние промышленной среды на содержание азотистых соединений в древесных растениях. — Автореф. канд. дисс. Кишинев, 1983.
- Шевякова Н. И. Метаболизм серы в растениях. М., 1979.
- Шлык А. А. Развитие исследований метаболической гетерогенности фотосинтетических мембран. Итоги первого этапа. — В кн.: Биосинтез и состояние хлорофиллов в растении. Минск, 1975, 104—160.
- Acidification Today and Tomorrow. Uppsala, Swedish Ministry of Agriculture, 1982.
- Brändle, R., Shyder, I. Abtransport von Schwefelverbindungen aus Bohnenprimärblättern (Phaseolus vulg.) nach Beeinflussung mit H₂S. — Experimentia, Basel, 1970, 26, 112—123.
- Cortelyou, C. G. The cost of air pollution and its control. — In: Proc. 1972 Clean Air Conference. Melbourne, 1972, 128—133.
- Effects of SO₂ on Plants. Moscow, 1984.
- Environmental Quality. The Fifth Annual Report of the Council on Environmental Quality. Washington, 1974.
- Furrer, O. J. The amount of sulphur dioxide absorbed by plants from the atmosphere. — In: Isotopes in Plant Nutrition and Physiology. Vienna, 1967, 403—407.
- Garrec, J. P., Oberlin, J. C., Ligeon, E., Bisch, A. M., Fourcy, A. Fluoride-calcium interaction in polluted fir needles. — Fluoride, 1974, 7, N 2, 78—84.
- Liebera, W. H., Ziegler, H., Ziegler, I. Förderung der Hill-Reaktion und der CO₂-Fixierung in isolierten Spinat-Chloroplasten durch niedere Sulfit-Konzentrationen. — Planta, 1973, 109, N 3, 269—280.
- Pelz, E. Poskozen leso kourem a prachem. — Lesnictvi, 1964, 1—2.
- Rabe, R., Kreeb, K. Bioindication of air pollution by chlorophyll destruction in plant leaves. — Oikos, 1980, 34, N 2, 163—167.
- Vernon, L. P. Spectrophotometric determination of plant extracts. — Anal. Chem., 1960, 32, N 9, 1144—1150.

Таллинский ботанический сад
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
20/II 1986

Malle MANDRE, Jüri MARTIN, Alla KANGUR,
Liivi LAUR, Elvi PIHLAKAS

FUSIOLOGILIS-BIOKEEMILISTEST ASPEKTIDEST POLLUKULTUURIDE REAGEERIMISEL TEHNOGEENSELE KOORMUSELE

Põllukultuuride saak on oluliselt sõltuv mulla agrokeemilisest koostisest, sademete hul-
gast vegetatsiooniperioodil ja paljudest muudest teguritest. Tööstusrajoonides on
atmosfääri ingredientide muutus sageli põllukultuuride produktsiooni vähenemise põh-

juseks. Uurimistulemused põlevkivikeemia-, tsemendi- ja mineraalväetisete haste mõju-
piirkonnas kasvavate mitmete põllukultuuride füsioloogilis-biokeemilise seisundi kohta
näitasid, et kvantitatiivselt ja kvalitatiivselt erinev tehnogeenne koormus muudab —
sõltuvalt taime liigist — fotosünteesis osalevate pigmentide (klorofüllid a ja b, karo-
tiin), lämmastikainevahetuse parameetrite (üldlämmastik, aminohapped, lahustuvad val-
gud) ja mineraalainete sisaldust. Olulisteks kriteeriumideks peetakse suhete Chl a/Chl b
ja $SO_4^{2-}/SH-$ muutumist taimedes tehnogeenne koormuse tingimustes. Teraviljadel tähel-
dati pidurdust kasvus ja biomassi vähenemist võrreldes kontrolltaimedega. Erandiks
osutus ristik ('Viola'); mille kasv ja biomass põlevkivi tootmise ja töötlemise rajoonis
ületas kontrolltaimede vastavad näitajad.

*Malle MANDRE, Jüri MARTIN, Alla KANGUR,
Liivi LAUR, Elvi PIHLAKAS*

ON PHYSIOLOGICAL-BIOCHEMICAL ASPECTS OF THE REACTION OF FIELD CROPS ON THE INDUSTRIAL LOAD

The yield of field crops depends essentially on the agrochemical composition of soil, the
quantity of outfalls during the vegetation period, and on several other factors. On
industrial territories the change in the ingredients of the atmosphere often causes
a decrease in the yield of field crops. Experiments with rye, barley and clover were
carried out near the oil shale, cement and mineral fertilizer factories in small plots
that were subjected to the influence of pollutants. Deviations from the normal metabo-
lism of those plants were stated. The ratio Chl a/Chl b and the change of $SO_4^{2-}/SH-$
in plants can be used as indicators of the state of plants on industrial territories.