

УДК 634.8:632.95.028

**РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПА ФИТОБИОРЕМИДАЦИИ ВИНОГРАДНИКОВ
НА ОСНОВЕ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ
МЕЖДУ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ПОЧВЫ,
ДЕГРАДАЦИЕЙ ПЕСТИЦИДОВ И ТЕХНОГЕННЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ**

Воробьева Т.Н., д-р с.-х. наук, профессор, Волкова А.А., канд. с.-х. наук

*Государственное научное учреждение Северо-Кавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства
(Краснодар)*

Реферат. Определены критерии техногенной нагрузки на ампелоценоз; физико-химический состав почвы; содержание ксенобиотиков в экосистеме виноградных насаждений; биологическая активность почвы; пищевая безопасность продукции. Установлены закономерности и корреляционные взаимосвязи между состоянием почвы, деградацией пестицидов и техногенной нагрузкой виноградных насаждений. Разработаны концепция и принцип фитобиоремедиации почвы, обеспечивающий повышение продуктивности виноградников и качество продукции.

Ключевые слова: ампелоценоз, ксенобиотики, биологическая активность почвы, пищевая безопасность продукции

Summary. It is defined the criterias of ampelocenossis tehnogenic load; physical and chemical composition of soil; the content of xenobiotics in the ecosystem of vineyards; biological activity of soil; food safety of products. The regularities and correlations between the soil state, degradation of pesticides and technogenic load of vineyards are established. The concept and principle of soil phytobioremediation insured the increase of productivity and product quality of vineyards are elaborated.

Key words: ampelocenossis, xenobiotics, biological activity of soil, food safety of products

Введение. Процесс ухудшения качества продуктивных земель продолжается, но несмотря на это они эксплуатируются на пределе возможного. Продолжающееся техногенное загрязнение экосистем в плодоводстве и виноградарстве приближает негативные экологические, социальные и экономические эффекты.

В области экологии биосистем давно возникла проблема снижения активности и биогенности почвы в результате значительных потерь адекватных антропогенному прессингу природных механизмов по ее восстановлению. Одной из причин является высокая токсичность органических химикатов по отношению к микроорганизмам и растениям, что вызвано загрязненностью почвы, подверженной постоянному техногенезу.

Другой причиной можно считать агроприемы сезонного содержания почвы между-рядий винограда по способу «черный пар». Многолетнее применение этого классического приема, вызывает минерализацию органического вещества, распыление ее структуры, смыв плодородного слоя ливневыми потоками, что к тому же усугубляется применением химикатов.

Анализ многочисленных литературных источников показал, что по каждому из обозначенных аспектов выполнено немало работ, заслуживающих исследовательского внимания [1-6]. Вместе с тем, научно-критическое рассмотрение имеющихся данных подтверждает, что до настоящего времени бóльшая часть современных вопросов научного обоснования повышения эколого-экономической эффективности отраслевого производства практически не рассмотрена.

К недочетам в этой области, в первую очередь, относится недостаток разработок аналитических корреляционных взаимосвязей как инструментария теоретически-практического исследования агробиологических процессов в виноградарстве и необходимости их преобразования.

Изучение и установление причинно-следственных связей и корреляционных взаимозависимостей между биологической активностью почвы, деструкцией токсичных соединений, трансформацией исходных токсикантов и техногенной нагрузки позволит подойти к решению данной проблемы. В связи с чем, цель исследований выполненной работы заключается в разработке принципа фитобиоремедиации виноградников, обеспечивающей оздоровление почвы и очищение продукции от ксенобиотиков.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований служили производственные виноградные насаждения столовых (Августин) и технических сортов (Каберне-Совиньон, Шардоне), почва виноградников, виноградные ягоды, пестициды и агроприемы содержания почвы в междурядьях виноградников.

Варианты лабораторно-полевых опытов включали выполнение исследовательских и экспериментальных работ на виноградниках технических и столовых сортов по определению следующих показателей:

- физико-химический состав почвы исследуемых опытных виноградных участков (гумус, подвижные формы NPK, pH водной и солевой вытяжки, содержание водорастворимых солей количество ионов Cl, SO₄, HCO₃ и катионов Na и Ca, Mg);
- биологическая активность почвы по содержанию полезной почвенной микрофлоры (актиномицеты и бактерии);
- аккумуляция токсичных остатков в зеленой биомассе сидератов;
- деградация органических химикатов в почве исследуемых участков;
- корреляционная зависимость исследуемых показателей.

Эколого-токсикологический мониторинг почвы виноградных насаждений выполнялся по методике, разработанной и запатентованной (патент № 2380888) токсикологической лаборатории СКЗНИИСиВ. Определение остатков пестицидов в почве и винограде проводилось по утвержденным методикам (Методы определения микроколичеств пестицидов в продуктах питания, кормах и внешней среде, 1992). Физико-химический и механический состав почвы с использованием «Практикума по почвоведению», 1980 (pH водной суспензии по ГОСТ 26423-85, нитратный азот дисульфифеноловым методом, подвижный фосфор (P₂O₅) и калий (K₂O) (по Мачигину) ГОСТ 26205-91, содержание гумуса по ГОСТ 26213-91).

Биологическая активность почвы определялась по методике, изложенной в «Руководстве к практическим занятиям по сельскохозяйственной микробиологии», 1974.

Расчет выходных данных выполнялся с применением специальных компьютерных программ и современной вычислительной техники [7, 8, 9]. В целях удобства интерпретации результатов изучения остатков пестицидов по данным дисперсионного анализа числового экспериментального материала, в случаях необходимости, вычисляли существенную наименьшую разность.

Обсуждение результатов. Современная традиционная технология возделывания винограда, а именно обработка почвы междурядий, приводит к распылению структуры верхних слоев почвы, созданию аэробных условий, способствующих разложению гумусовых веществ и т.д. Поэтому значительная часть агротехнических приемов по содержанию почвы междурядий и обработке виноградников пестицидами и прочими химикатами негативно сказывается на плодородии почвы, продуктивности растений и качестве выращиваемой продукции. Очевидно, что качество продукции зависит от состояния почвы, где прежде всего должен учитываться показатель степени ее загрязнения опасными химикатами.

Решение указанных проблем возможно при содержании почвы по принципу фитобиоремедиации, основанному на применении «зеленого удобрения» в междурядьях виноградников. В качестве «зеленого удобрения» использовали культуру озимого зернокармального трикале.

Весной следующего года в междурядьях виноградных кустов растения сформировали мощный листостебельный массив, который защищал почву от смыва потоками весенних (особенно ливневых) дождей, а за счет листостебельного покрова обеспечивалось накопление и сохранение влаги в почве виноградников.

В фазе выхода растения в трубку проводилось подкашивание зеленой массы, которая в скошенном состоянии выполняла роль мульчи. Далее растения тритикале сформировали умеренный стеблестой с озерненными колосьями, в это время виноград только вступал в фазу налива ягод, и тритикале не был конкурентом для винограда в потреблении влаги и питательных веществ. Растения в это время задисковывались и заделывались вместе с озерненными колосьями сидератов в почву.

Механическая нагрузка на почву под виноградниками опытных участков при применении классических агроприемов была отмечена ее уплотнением от среднего до сильного (1,55-1,7 г/см³), комковато-зернистой структурой, величиной агрегатов до 10 мм и содержанием гумуса до 1,7 %.

Известно, что накопление гумусного вещества в почве происходит длительно, но произрастающие на ней высшие растения совместно с повышением активности эффективных микроорганизмов способны реанимировать биохимические функции почвенной полезной биоты.

Таблица 1 – Агрохимическая оценка почвы опытного участка после применения элементов агроботехнологии, сорт Каберне-Совиньон, осень 2013 г.

Показатель	Вариант		
	1	2	3
Содержание, мг/кг:			
подвижных форм фосфора	25	22	24
обменного калия (K ₂ O)	450	480	475
подвижной серы	35	40	45
микроэлементов:			
кобальта	0,15	0,10	0,14
марганца	15	20	15
цинка	1,5	1,3	1,5
Гумус, %	2,0	1,75	2,0
Кислотность, рН	8,2	8,0	7,9
Нитрификационная способность (количество N-NO ₃ , мг/кг)	6,0	11,5	12,0

*Примечание: 1 – контроль (почва без обработок), 2 – эталон (традиционные обработки),
3 – посев тритикале

Использование фитобиоремедиационных агроприемов в течение одного трехгодичного цикла показало незначительное повышение гумуса, нитрификационной способности, подвижной серы, микроэлементов (табл. 1).

Наряду с этим эколого-агротехническим положительным эффектом, были отмечены позитивные изменения структурно-агрегатного состава почвы, и ее биологическая активность оценена увеличением водопрочных агрегатов на 5%. Растительные остатки тритикале, оказавшись в междурядьях виноградников, характеризуются высоким содержанием целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина, влияющих на скорость их разложения и дальнейшей гумификации. При этом от различных групп микроорганизмов зависит скорость и полноценность этого процесса. Основными представителями почвенных микроорганизмов являются бактерии, включая актиномицеты, микроскопические грибы и водоросли.

Степень микробиологической эффективности после трехлетнего применения тритикале и разложения его биомассы определялась в почве опытных участков по количеству бактерий и актиномицетов (табл. 2).

Таблица 2 – Количество колоний микроорганизмов (КОЕ / г почвы) после внесения «зеленого» удобрения (лабораторно-полевой опыт, апрель 2013 г)

Варианты опыта (сорт Каберне-Совиньон)	Количество микроорганизмов в 10 г почвы	
	актиномицеты	бактерии
1. Эталон (почва с участка вне виноградников)	6600	39660
2. Контроль (производственный виноградный участок)	500	19830
3. Высев в междурядья тритикале и заделка зеленых удобрений в почву виноградников (июнь 2012-2013 гг.)	510	46900

Количество микроорганизмов увеличилось (актиномицетов на 2 %, бактерий на 7 %). Количество бактерий и актиномицетов в почве с «зелеными удобрениями» увеличилось в сравнении с производственным участком (контроль), что подтверждает ингибирующее действие химикатов на почвенную микрофлору. При этом необходимо учесть, что помимо текущих химических обработок виноградного растения не менее опасны «фоновые» токсиканты, накапливающиеся в почве. Результаты мониторинга в период 2012 г. по окончании сезонных обработок показали наличие в почве сохранившихся «фоновых» токсикантов и дополнившихся их «сезонных» пестицидов в большей степени на опытных участках с производственной системой защитных мероприятий (табл. 3).

Таблица 3 – Токсичные остатки в почве при применении тритикале, 2013 год (средние данные)

Вариант	Содержание пестицидов в почве, мг/кг									
	сорт Каберне-Совиньон									
	весна					осень				
	группы пестицидов									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Контроль	2,7	0,04	0,04	-	-	2,09	0,03	0,02	-	-
Эталон	3,6	0,25	0,015	0,2	0,15	4,9	0,45	0,18	0,35	0,25
Тритикале	2,9	0,02	0,01	0,07	0,02	3,5	0,09	0,05	0,12	0,06
ПДК, мг/кг	3,0	0,1	0,02	0,1	0,1	3,0	0,1	0,02	0,1	0,1

Примечание: Группы пестицидов: 1 – медьсодержащие, 2 – ХОС, 3 – ФОС, 4 – дитиокарбаматы, 5 – бензимидазолы. ПДК – предельно допустимое количество.

Поглотительная способность сидератами почвенных токсичных остатков на этих участках подтвердилась наличием их в зеленой массе: подвижно-активная медь до 4,2 мг/кг; ХОСы до 1,3 мг/кг; ФОСы до 0,19 мг/кг; дитиокарбаматы до 0,15 мг/кг. Зеленое удобрение в виде растений тритикале способствовало ускорению процесса деструкции токсичных остатков «фоновых» опасных химикатов, аккумулялированных в почве.

Посев и культивирование на почве, загрязненной токсичными остатками высших растений, является важным фактором формирования микрофлоры, что повышает скорость перехода растений в органическое удобрение и численность полезной микрофлоры. Обладающая сильной сорбционной способностью, органические удобрения и микроорганизмы являются источником ростовых субстратов и ферментов, катализирующих процессы трансформации и детоксикации пестицидов [10, 11].

Эффективность использования растений, пополняющих почву органикой и полезной микрофлорой, для детоксикации пестицидов обоснована экспериментально. Отмечено, что содержание токсичных остатков в почве уменьшилось (от 76,9 до 90,3 %), и биодegradация почвенных токсичных соединений (хлор- и фосфорорганических, дитиокарбаматов, стробилуринов, карбендазима) оценена ускорением процесса их детоксикации на 12 %, что позволило снизить техногенную нагрузку на 30%.

В винограде с опытных участков сорта Каберне-Совиньон почвенные токсичные остатки в избытке обнаруживались на производственном участке (эталон), без применения «зеленого удобрения» [12] (табл. 4).

Таблица 4 – Почвенные токсичные остатки в винограде сорта Каберне-Совиньон, 2012 г.

Вариант	Содержание пестицидов, мг/кг				
	сорт Каберне-Совиньон				
	группы пестицидов				
	1	2	3	4	5
Эталон	2,25	0,15	0,05	0,17	0,08
Тритикале	2,12	0,08	-	0,04	-
МДУ, мг/кг	5,0	0,4	0,02	0,1	0,05

Примечание: Группы пестицидов: 1 – медьсодержащие, 2 – ХОС, 3 – ФОС, 4 – дитиокарбаматы, 5 – бензимидазолы. МДУ – максимально допустимый уровень.

Пополнение почвы органикой сказалось не только на повышении численности микроорганизмов, деструкции токсичных почвенных остатков, но и на улучшении биохимических показателей виноградного сула.

На участках с тритикале содержание сахара (0,5-0,6 %) и биохимических показателей (витамин С, бактерицидных кислот, аминокислот) было большим, чем в виноградном сусле с производственного участка (эталон).

Отмеченные элементы биологического земледелия отвечают принципам фитобиоремедиации виноградных насаждений. Расчеты результативности производства винограда при различных способах содержания почвы в исследуемый период показали явные преимущества нового способа. Отмечалось:

- увеличение урожайности винограда в среднем на 9,4 ц/га (13,3 %);
- снижение производственных затрат на 1,0 тыс. руб./га (2,6 %);
- прибавка чистой прибыли 1040,7 руб./га (56,5 %).
- очищение почвы от токсичного состава на 15 %;
- уменьшение токсичных остатков в продукции в 2 раза.

Выводы. Установлены корреляционные взаимосвязи между биологической активностью почвы, деградацией пестицидов и техногенной нагрузкой при содержании почвы по принципу фитобиоремедиации одного трехгодичного цикла:

- биологическая активность почвы виноградника оценена увеличением водопрочных агрегатов на 5 %; количество микроорганизмов увеличилось (актиномицетов на 2 %, бактерий на 7 %);

- биодegradация почвенных токсичных соединений (хлор- и фосфорорганических, дитиокарбаматов, стробилуринов, карбендазима) оценена ускорением процесса их детоксикации на 12 %; техногенная нагрузка снижена на 30 %.

Достоверность принципиальной основы фитобиоремедиации виноградников для оздоровления почвы и очищения продукции от ксенобиотиков подтверждена результатами математического анализа экспериментальных данных и апробацией в промышленных насаждениях винограда:

- отрицательной корреляцией между увеличением одних переменных величин (внесение в почву органики и живых микроорганизмов) и уменьшением других переменных величин (рН почвы и техногенной нагрузки);
- положительной корреляцией между увеличением одних переменных величин (внесение в почву органики и живых микроорганизмов) и увеличением других переменных величин (водопрочных агрегатов, почвенных микроорганизмов, процесса деградации пестицидов);
- обоснованием параметрических зависимостей релаксации ампелоценозов в условиях механической и химической нагрузок.

Литература

1. Воробьева, Т.Н. Продуктивность ампелоценозов и агротехнические новации в виноградарстве (изучение, экологизация производства) / Т.Н. Воробьева, Ю.А. Ветер. – Краснодар: ООО «Альфа-полиграф+», 2011. – 200 с.
2. Егоров, Е.А. Научно-практическое руководство: Повышение продуктивности промышленных виноградников ресурсосберегающими приемами отраслевого производства / Е.А. Егоров, Т.Н. Воробьева, Ю.А. Ветер. – Краснодар, 2007. – 60 с.
3. Петров, В.С. Научные основы биологической системы содержания почвы на виноградниках / В.С. Петров. – Новочеркасск, 2003. – 170 с.
4. Жуков, А.И. Система ведения культуры винограда на основе новых агротехнических приемов / А.И. Жуков, Н.Н. Перов. – Анапа, 2001. – 87 с.
5. Руи Казар, Д. Внедрение технологии прямого посева / Д. Руи Казар // Аграрный консультант.– №2.– 2011. – С.11-14.
6. Воробьева, Т.Н. Оздоровление почвы высевом тритикале в междурядья кустов промышленных виноградников / Т.Н. Воробьева, А.Т. Киян, А.А. Волкова, А.Н. Макеева, Ю.А. Ветер // Сельскохозяйственная биология.– №3.– 2009.– С. 110-113.
7. Рекомендации по расчету содержания и динамических параметров агрохимических токсикантов в почве и растениях. – М.: ЦИНАО, 1987. – 37 с.
8. Шнур Дж. Л. Проверка модели поведения и переноса токсикантов / Дж. Л. Шнур // Прогнозирование поведения пестицидов в окружающей среде.- Л.: Гидрометеиздат, 1984.- С.258-286.
9. Вольф, В.Г. Статистическая обработка опытных данных. – М.: «Колос», 1966. – 259 с.
10. Круглов, Ю.В. Микрофлора почвы и пестициды / Ю.В. Круглов.– М.: ВО «Агропромиздат», 1991. – 128 с.
11. Воробьева Т.Н. , Волкова А.Н., Макеева А.Н., Богачева Л.В. Применение хроматографических методов для определения токсичных остатков в виноградовинодельческой продукции // Плодоводство и виноградарство Юга России [Электронный ресурс].– Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. – № 14(2).– С. 106-115. Режим доступа: <http://www.journal.kubansad.ru/pdf/12/02/12.pdf>.
12. Воробьева, Т.Н. Применение методов ВЭЖХ и газовой хроматографии для определения трансформации фунгицидов в системе ампелоценозов / Т.Н. Воробьева, А.А.Волкова, А.Н. Макеева // Плодоводство и виноградарство Юга России [Электронный ресурс].– Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2014. – № 25(1).– С. 134-143. Режим доступа: <http://www.journal.kubansad.ru/pdf/14/01/14.pdf>.