



Диалог с растением

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ РАСТЕНИЯМИ

Гиль А.Т., "Адонис К", Крым, г.Ялта

В каждом растении для поддержания своей жизнедеятельности постоянно происходит водный обмен. Одна из составных частей этого процесса выглядит так: вода поглощается корнями, проводится стеблем (ксилемный поток) и через листья выводится наружу (транспирация). С этим явлением связаны практически все процессы, происходящие внутри растения. Поэтому оценивая влагоперенос в растении, можно, как по анализу крови или кардиограмме у человека, видеть состояние растения.

Нетрудно заметить общую тенденцию развития методов функциональной диагностики растений в направлении неповреждающего, непрерывного мониторинга. Подобная тенденция вызвана внутренней логикой развития физиологии растений с одной стороны, с другой стороны она определяется практическими нуждами. Действительно, в условиях стремительно нарастающего дефицита воды во всем мире, перед сельским хозяйством, потребляющим около 80% всей расходуемой пресной воды, в первую очередь возникает проблема строгой экономии и рационального использования водных ресурсов. Неслучайно в орошаемом земледелии все большее распространение получают локальные способы орошения, одним из преимуществ которых является возможность строгой дозировки и полной автоматизации полива. В связи с этим наиболее перспективными из физиологических методов контроля водного режима виноградников представляются те, на основе которых возможно создание систем автоматизированного управления орошением. Этим условиям отвечают экспериментальные методы и алгоритмы фитомониторинга.

Под фитомониторингом понимают совокупность неповреждающих методов и специальных информационно-измерительных систем, позво-

ляющих получать непрерывно и одновременно информацию о разных сторонах жизнедеятельности интактного растения и регистрировать динамику изменения показателей жизнеспособности в ответ на действия тех или иных экзогенных или эндогенных факторов.

В современных системах орошения до настоящего времени используются агрометеорологические параметры среды. Лучших результатов можно достичь при использовании самого растения в качестве индикатора состояния плантации, т.е. ДАТЧИКА! При орошении, осуществляемом на основе полученной картины, учитывается действительно реальная потребность растений в воде с учетом ее доступности из любых источников (дождь, родник и пр.), а также дифференциальная физиологическая способность растения использовать воду.

Влагоперенос в системе почва-растение-атмосфера происходит по градиенту водного потенциала: от корневой системы через тело растения в атмосферу. По разработанным методам фитомониторинга этот процесс достаточно полно характеризуется показаниями датчиков диаметра, скорости ксилемного потока и разности температур, установленными на корень, штамп, побеги, лист и другие органы. Однако до недавнего времени в рамках методологии фитомониторинга не существовало методов количественной оценки транспирационных расходов в растении, столь необходимой для построения современных систем автоматического управления орошением и для решения биологических задач.

Наиболее подходящим для решения поставленной задачи в теоретическом отношении является метод теплового баланса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод теплового баланса успешно применяется при изучении количественных характеристик влагопереноса в стволах деревьев, в зеленых побегах и стеблях. Сложная структура тепловых потоков в многолетних частях растения затрудняет измерение ксилемного расхода. Обычно наилучшие результаты имеют место при хорошей оводненности ткани в месте измерения.

В соответствии с теорией по методу теплового баланса количественно массу воды, пройденную через рассматриваемый фрагмент стебля, можно выразить следующим уравнением:

$$F = (Q - \lambda A_u \Delta T_u / \Delta x - \lambda A_d \Delta T_d / \Delta x - k \Delta T_s) / c \Delta T_f,$$

где **F** - скорость водного потока в стебле [Кг/с];

Q - тепловая энергия нагревателя [Вт];

c - удельная теплоемкость воды [Дж/Кг°С];

ΔT_f - разность температур выше и ниже нагревателя [°С];

ΔT_u и **ΔT_d** - разность температур верхнего и нижнего датчиков теплопроводности стебля соответственно [°С];

λ - удельная теплопроводность стебля [Вт/м°С];

A_u и **A_d** - поперечное сечение нагретого фрагмента сверху и внизу соответственно [м²];

k - коэффициент, связанный с теплопроводностью резины, с формой и размером датчика [Вт/°С];

ΔT_s - разность температур между внутренней и внешней сторонами датчика [°С];

Δx - участок измерения теплопроводности стебля [мм*10⁻³].

Все разности температур измеряются с помощью термомпар и непрерывно регистрируются в компьютере. Остальные величины являются посто-

янными коэффициентами. Тогда для вычисления можно использовать преобразованную формулу при условии $\lambda A / \Delta x = n$:

$$F = [Q - n(\Delta T_u + \Delta T_d) - k \Delta T_s] / c \Delta T_f$$

Для биологической калибровки следует провести модельный эксперимент. Растение высаживают в вегетационный сосуд, пригодный для взвешивания вместе с растением. Выполняется одновременное взвешивание и измерение методом теплового баланса. Для измерения величины потока через штамп его очищают от верхнего слоя коры и устанавливают датчик теплового баланса.

Разности температур, необходимые для вычисления величины потока, измеряются при помощи медь-константановых термопар. Тепловая энергия нагревателя определяется как произведение величины тока на напряжение и является величиной постоянной.

Как показано выше, для вычисления величины потока по методу теплового баланса, достаточно непрерывно измерять разности температур ΔT_f , ΔT_u , ΔT_d , ΔT_s . Остальные вели-

чины либо измеряются один раз в начале эксперимента, либо являются константами.

Для практической реализации этих теоретических представлений был разработан датчик, состоящий из стеклотекстолитового корпуса, четырех медь - константановых термопар,

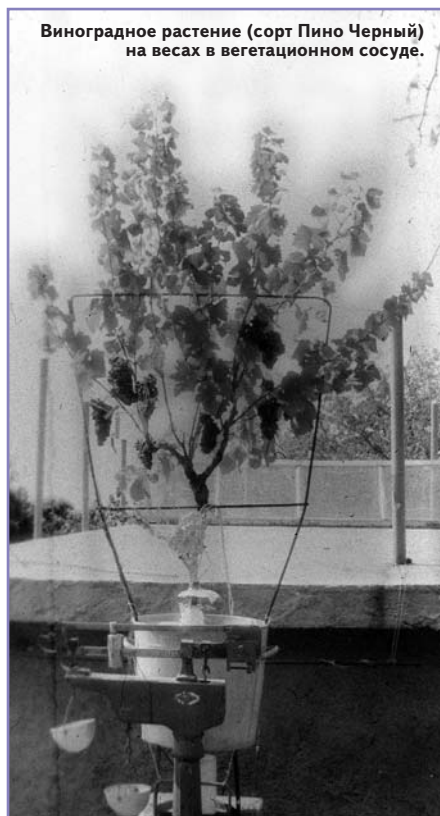


Датчик для измерения ксилемного потока.

нагревателя и теплоизолирующего экрана. Для измерения ксилемного потока на винограде датчик необходимо устанавливать на многолетней части, лучше всего на штамбе. При этом транспирационный расход растения можно определять путём измерения величины ксилемного потока, осуществляемого методом теплового баланса.

Основу системы компьютерной регистрации составляет 8-канальный модуль АЦП i-7018, производства компании ICP_DAS, Тайвань. Именно эта модель хорошо известного семейства i-7000 предназначена для работы с термопарами. Входной диапазон от ± 15 мВ, наличие канала компенсации холодного спая, линеаризация целого ряда стандартных термопар и, естественно, стоимость, вот что предопределило выбор i-7018. Для сопряжения с компьютером был использован модуль-преобразователь интерфейса i-7520, подключаемый к COM-порту RS-232. И еще одна составляющая системы - источник питания. Датчик, два модуля серии i-7000 и блок питания были смонтированы непосредственно на "объекте" (виноградной лозе).

При создании программного обеспечения комплекса использовалась программа DDE-сервер, поставляемая вместе с модулями. Регистрируемые данные формировались в виде электронной таблицы, а собственно вычисления выполнялись просто в Microsoft Excel.



Виноградное растение (сорт Пино Черный) на весах в вегетационном сосуде.



Система измерения ксилемного потока "Adonis" на объекте.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью разработанного датчика и системы регистрации были проведены измерения динамики ксилемного потока через фрагмент штамба винограда сорта Пино Черный. Диаметр фрагмента штамба составил 15 мм, длина 17 мм. Мощность нагревателя 0,5 Вт. Эксперименты проводились в лабораторных и полевых условиях.

Ниже приведены сравнительные результаты посуточных измерений ксилемного потока по методу теплового баланса (расчет) через фрагмент штамба растения и с помощью взвешивания (факт) этого растения в вегетационном сосуде. Растение находилось в климатической камере. Был использован датчик ксилемного расхода с наружным разогревом.

дата	факт	расчет
18.04.04	0.870	0.934
19.04.04	1.090	1.014
20.04.04	0.880	0.943
24.04.04	0.600	0.654

Коэффициент корреляции между расчетными и контрольными данными составил $r = 0.95$.

При проведении экспериментов в естественных условиях при использовании датчика с наружным разогревом получены следующие результаты:

Коэффициент корреляции при этом составил $r = 0.983$.

Использование внутреннего разог-

дата	факт	расчет
27.07.04	2.590	2.021
28.07.04	2.850	2.715
29.07.04	1.950	1.795
30.07.04	0.780	0.545
31.07.04	0.840	0.509

рева имеет ряд преимуществ перед наружным, при измерении на многолетних частях растения. Во-первых, само растение выполняет функцию теплоизолятора. Во-вторых, конструкция датчика становится более технологичной и его характеристики более повторяемыми при тиражировании. По этим причинам были проведены эксперименты в естественных условиях при использовании датчика с внутренним разогревом. Результаты эксперимента:

дата	факт	расчет
12.08.04	1.650	1.670
13.08.04	1.650	1.450
20.08.04	0.550	0.510
21.08.04	0.440	0.410
23.08.04	0.630	0.654

Коэффициент корреляции $r = 0.94$.

Типичная величина расхода воды в экспериментах составила: ночью - 5 грамм/час, днем - до 80 грамм/час. Суточный ход почасовых измерений ксилемного потока, рассчитанных описанным выше методом представлен графике. Каждая полоска соот-



тствует величине ксилемного расхода, накопленной за час. В пределах часа скорость расхода не остается постоянной. Так в утренние часы (7 - 8 часов) датчик показывает скорость ксилемного расхода до 130 грамм/час, но это длится лишь несколько минут. В целом за час расход не превышает значения 80 грамм/час.

Коэффициент корреляции между расчетными значениями ксилемного потока, полученными методом тепло-

вого баланса, и результатами посуточных взвешиваний составил 0,97. Это свидетельствует о достоверности оценки транспирационных расходов виноградника средствами фитомониторинга.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты показывают возможность мониторинга за состоянием ксилемного потока растения в искусственных и естественных условиях. Последнее особенно важно, так как в современных технологиях возделывания винограда становится возможным "включение" виноградного растения в общую систему регулирования водного режима виноградника. Такое соединение возможно благодаря широкому внедрению в виноградарстве современных систем микроорошения (в первую очередь, капельного), развитию методологии фитомониторинга в виноградарстве.

Таким образом, методология фитомониторинга располагает средствами для реализации в современных технологиях возделывания винограда целенаправленного воздействия на качество продукции за счет оперативного управления водным режимом растений. Очевидно, подобное оперативное управление позволит успешно разрешать задачи получения высоких урожаев, обеспечивая рентабельность производства винограда с повышением качества винограда и вин.

Как и с человеком, с растением удобно наладить диалог. Диалог осуществляется по принципу: "Хочешь узнать - спроси". Нам же не приходится в голову, например, постоянно кормить ребенка или не давать ему ничего вовсе. Ребенок либо сам просит, либо мы его спрашиваем: "Хочешь?" Аналогично с помощью описанной выше системы можно "спрашивать" растение о потребности в воде.

Устанавливая систему датчиков на несколько растений, равномерно расположенных по всей исследуемой территории, можно достаточно точно аппроксимировать расход воды плантацией.

КОНТАКТЫ:

т. (0654) 23-41-71

e-mail: adonis@yalta.crimea.ua