УДК 338:504

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ХУРМЫ ВОСТОЧНОЙ (*DIOSPYROS KAKI* L.) И УСЛОВИЯМИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Олег Антонович Ильницкий, Светлана Павловна Корсакова, Юрий Владимирович Плугатарь

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр 298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт. Никита plugatar.y@mail.ru

Применение методологии и приборной базы фитомониторинга позволило найти функциональные зависимости между основными факторами внешней среды и параметрами, характеризующими особенности водного режима хурмы, ростом различных органов растения с целью получения максимальных урожаев.

Найденные закономерности, характеризующие водный режим растения и его взаимосвязь с основными факторы внешней среды, позволяют оптимизировать управление поливом.

Установлены особенности роста плода и побегов растения хурмы. У побегов хурмы восточной (*Diospyros kaki* L.) сорта Хиакуме отсутствует летний прирост, а закладка вегетативных почек осенью начинается после приобретения окраски плода. В это время плод прекращает рост и не изменяется в диаметре вплоть до полного созревания. Во время водного дефицита сначала наблюдается уменьшение диаметра побега, а затем через некоторое время прирост плода выходит на плато. После полива растения сначала реагирует побег, а затем плод. Реакция проявляется в увеличении их линейных размеров. Причем, лаг-фаза между изменением этих параметров, зависит от величины водного стресса.

Полученные результаты позволяют использовать функциональные зависимости между факторами внешней среды и параметрами, характеризующими водный режим растения, особенности роста различных его органов, для построения математических моделей, имеющих прогностическое значение. Погрешность моделей составляет 10—15%, что вполне допустимо для биологических исследований

Ключевые слова: хурма восточная (Diospyros kaki L.); водный режим; рост побегов и плодов; математические модели; управление поливом; фитомониторинг.

Введение

Хурма (*Diospyros* L.) относится к семейству эбеновые (*Ebenaceae*). Родина – Северный и Центральный Китай. В настоящее время растения этого рода выращиваются во многих странах мира: Японии, Франции, Италии, Закавказье, Средней Азии, Краснодарском крае, юге Украины и многих других [13].

Плод хурмы – крупная мясистая ягода, сильно варьирующая по всем своим признакам: размерам, форме, цвету кожицы, консистенции и цвету мякоти. Вес плодов колеблется от 50 до 300 г. Плоды хурмы вкусны и питательны. В свежем виде они содержат от 13 до 25,9% сахаров, в основном это глюкоза и фруктоза [13]. Помимо богатого витаминно-минерального состава (кальций, калий, железо, фосфор, марганец, магний, йод, медь, С, РР, Е, А), хурма является отличным природным антиоксидантом, повышает защитные силы организма, минимизирует риск развития раковых клеток, эффективна при лечении сахарного диабета, сердечно-сосудистых, онкологических, кожных и других серьезных заболеваний [17].

Хурма восточная (*Diospyros kaki* L.) — одна из наиболее распространенных плодовых субтропических культур на Черноморском побережье Российской Федерации [9]. Растения этого вида обладают высокой урожайностью и хорошо приспосабливаются к почвенно-климатическим условиям. Устойчивость к морозам позволяет переносить без повреждения —16...—18°C, при —19...—20°C подмерзает

однолетняя и частично двулетняя древесина, при -22... -25°C – все растение [13]. Хурма восточная отличается также устойчивостью к ветрам и опасным вредителям [3].

К почвенным условиям деревья неприхотливы, заболачивания переносят плохо [13]. Лучшие почвы для хурмы — глубокие сероземы, суглинки, светло-каштановые, желтоземно-подзолистые. Основная масса корней (до 80%) залегает на глубине 10–50 см

Растению за вегетационный период необходимо не менее $3000...3500^{\circ}$ С суммы активных температур (среднесуточные температуры воздуха 10° С и выше). Вегетация начинается при среднесуточной температуре воздуха $+8^{\circ}$ С... $+9^{\circ}$ С. Рост побегов протекает при $+17^{\circ}$ С... $+19^{\circ}$ С. Наиболее благоприятные температуры для цветения $+20^{\circ}$ С... $+22^{\circ}$ С [10, 13]. Растение цветет в мае-июне, реже в июле и продолжается 1-1,5 месяца в зависимости от погодных условий. Продолжительность жизни женского цветка -3-4 дня, мужского 1-2.

Существует много сортов хурмы восточной, которые отличаются по типу цветков, однако все они являются светолюбивыми и влаголюбивыми [10,13]. При недостатке освещения деформируются листовые пластинки, побеги имеют признаки этиолирования, плоды опадают. В затененных местах растения формируют вытянутую редкую крону, снижают урожай [13].

Хурма восточная нуждается в большом количестве влаги, в то же время избыток ее вреден, так как вызывает сильный рост побегов и корней; плоды не получают достаточного количества влаги, питательных веществ и опадают [13]. В период активного роста плодов резкие перепады влажности почвы и воздуха провоцируют осыпание зелёных плодов, в первую очередь партенокарпических [15].

Растениям хурмы свойственно формирование в начале вегетации большей части фотосинтетического потенциала, саморегуляция роста побегов и плодообразования и сбалансированность донорно-акцепторных отношений вегетативных и генеративных органов в продукционном процессе [2]. Характерной особенностью хурмы, не зависящей от условий вегетации, является наличие двух резко выраженных периодов завязей. Особенно сильное сбрасывание генеративных детерминирующее продуктивность хурмы, происходит сразу после цветения, когда растение само как бы производит нормировку нагрузки. Причин может быть несколько: плохое оплодотворение, недостаточный приток пластических веществ к органам плодоношения, неблагоприятные погодные условия во время цветения, наличие болезней и вредителей, недостаток влаги. Во второй период вегетации опадение завязей по мере их роста заметно уменьшается и к началу созревания плодов заканчивается. В засушливые периоды года сбрасывание плодов продолжается и в период налива (сентябрь).

Одним из факторов, оказывающих влияние на продуктивность растений, является влагообеспеченность, поэтому в Крыму, где наблюдается хронический дефицит пресной воды, полив — одно из основных мероприятий по уходу за растениями. В настоящее время известны лишь единичные работы, посвященные проблеме водного режима почв и влагообеспеченности растений хурмы [14, 21]. Исследование реакции растений хурмы на умеренный дефицит орошения (50% от контроля, рассчитанного для полного водопотребления) в один из трех последовательных периодов роста плодов (сразу после цветения, в середине лета и перед созреванием) показало чувствительность на нехватку воды. На рост плодов хурмы и их окончательный вес наибольшее влияние оказал недостаток влаги в летний период (с середины июля до конца августа). Снижение веса плодов заключалось также в том, что умеренный водный дефицит в первый период уменьшал осыпание завязей, что в конечном итоге увеличило количество плодов в сравнении с контролем и снизило

затраты воды на 20% [14, 15, 21]. В условиях дефицита воды в Крыму эта особенность может быть использована для сохранения урожая при невысоком образовании завязей после цветения. В то же время необходимо учитывать, что общее увеличение количества плодов снижает их вес, что в свою очередь снижает их коммерческую стоимость. Таким образом, чтобы определить стратегию применения умеренного водного дефицита, позволяющую повысить эффективность использования орошения без снижения экономической стоимости, актуальны дальнейшие комплексные исследования экофизиологических особенностей культуры хурмы. Учитывая, что измерения относительной скорости водного потока [8, 18, 19, 20, 21] и изменения диаметра стебля [1, 22] объединяют показатели доступной для растения влаги в почве и параметры среды, они могут быть использованы как ирригационный индикатор отклика (реакции) культуры на водоснабжение.

Оптимизация ирригационного управления и физиологических процессов, обеспечивающих высокую продуктивность растений хурмы возможна благодаря применению методологии и приборной базы фитомониторинга [6]. С помощью современных информационно-измерительных систем такие исследования позволяют осуществить комплексную оценку состояния и функций растения, находящихся под влиянием природных факторов среды.

Функции приборной базы фитомониторинга — это непрерывный мониторинг как характеристик растения, так и параметров среды, системный анализ данных и их изменений во времени. Техническая база информационно-измерительного фитомониторного комплекса должна содержать:

- чувствительные датчики для сбора информации о растении и окружающей среде;
 - электронный блок обработки сигналов с датчиков для подачи их на компьютер;
 - специальное программное обеспечение.

Целью наших исследований являлось выявление взаимосвязей между некоторыми экофизиологическими характеристика хурмы восточной (*Diospyros kaki* L.) и условиями внешней среды с целью получения максимальных урожаев.

Объекты и методы исследований

Исследования проводились на плодоносящих растениях хурмы восточной (*Diospyros kaki* L.) сорта Хиакуме в условиях полевого опыта на Южном берегу Крыма (ЮБК) в 2011–2012 гг. Возраст исследуемых растений – 8–10 лет. На участке, где проводились исследования, почвы буровато серые, серые слабокарбонатные.

Для изучения различных процессов жизнедеятельности растений использована методология и приборная база фитомониторинга [4, 5, 6, 7]. Из приборной базы нами была выбрана фитомониторная система LPS-03.

В настоящее время производится несколько различных фитомониторных систем [6]. Практически все производители аппаратуры для фитомониторинга, например Phyto-Sensor Group, Dynamax Inc., Skye Instruments Ltd., Decagon Devices Inc., Spectrum Technologies Inc., PP Systems, Li-Cor Inc., Regent Instruments Inc., Hoogendoorn и другие, предлагают комплектацию их различными датчиками, позволяющими измерять процессы жизнедеятельности растения с одновременной регистрацией параметров внешней среды.

Среди современных систем управления климатом теплиц фирма Hoogendoorn является единственной в мире системой с использованием фитомониторинга, интегрированного в систему управления климатом. GrowLab фирмы Hoogendoorn представляет собой комплекс датчиков, размещаемых на растении или в

непосредственной близости от него и полностью интегрированный в компьютер управления климатом.

Другие фитомониторные системы позволяют регистрировать различные параметры жизнедеятельности растений и условий окружающей среды, а затем при помощи различных программ (например, программа «стресс-детектор» в фитомониторах LPS-03, LPS-05, PM-11) определять физиологическое состояние растений и давать рекомендации по оптимизации их выращивания [6, 12].

Фитомонитор LPS-03 оснащен следующими датчиками:

TIR-3 Датчик интегральной облученности: диапазон измерения – до 1200 вт/м²;

AT-1 Датчик температуры воздуха: диапазон измерения – 5–50°C;

RHS-2 Датчик влажности воздуха: диапазон измерения – 20–95%;

ST-22 Датчик температуры почвы: диапазон измерения – 5–50°C;

Lt-1 Датчик температуры листа: диапазон измерения – 5–50°C;

DT-1 Датчик разности температур лист-воздух: диапазон измерения $-\pm 15$ °C;

SF-5 Датчик относительного сокодвижения: примерный диапазон измерения — ± 3 мл/час:

SD-5 Датчик изменения диаметра стебля: диапазон измерения – 0...5 мм;

FI-3 Датчик прироста плода: диапазон измерения – 0...10 мм;

SMS-1 Датчик влажности почвы: для измерений абсолютной влажности почвы - %.

Программа позволяет выбрать величины и временные интервалы для просмотра их в графическом виде, а также получить детальное описание стрессовых ситуаций текущего дня. Она имеет также несколько тестов, позволяющих определить временные зависимости таких интегральных параметров как рост различных органов растения, транспирацию и др. и показать это графически. Таким образом, программа позволяет:

Диагностировать состояние растений.

Обнаруживать и оценивать стрессовые состояния растений.

Улучшать технологические режимы выращивания растений.

В научном плане программа дает возможность:

Исследовать физиологические процессы в растении.

Изучать влияние внешних факторов на растения.

Выявлять характерные особенности различных видов растений.

При помощи этого оборудования и методологического обеспечения мы попытались решить поставленные перед нами задачи. Датчики для изучения микроклимата внутри кроны растения (температуры воздуха, влажности воздуха, интегральной облученности) устанавливались в средней части кроны.

Для изучения особенностей водного режима растения использовались датчики для измерения относительной скорости водного потока [8, 18, 19, 20] и изменения диаметра стебля [1, 22]. Показания температуры листа и разности температур листвоздух тесно коррелируют с транспирацией листа и водным режимом растения.

Для изучения особенностей динамики роста плодов [11] использовали датчик для измерения линейных размеров (роста) плода, датчик для измерения влажности почвы установлен на глубине 20 см от поверхности почвы под кроной растения. Все датчики для изучения факторов внешней среды и процессов жизнедеятельности растения устанавливались согласно методических указаний [6]. Получение информации от датчиков можно производить с интервалом 1–60 мин. В наших исследованиях время опроса, в основном, составляло 10 мин.

Параметры, характеризующие различные процессы жизнедеятельности растений, в частности особенности их водного режима, измерялись синхронно с факторами внешней среды и ростом плодов растения.

Результаты и обсуждение

Цветение растений в 2011 г. началось в начале июня, а завязывание плодов – в конце июня – начале июля. В 2012 г. эти процессы наблюдались раньше на 7–10 дней.

Известно, что при недостатке почвенной влаги противоположное изменение относительной скорости ксилемного потока в побеге (Vпоб.) и радиальные изменения (dпоб.) его размеров меняется на их синфазное уменьшение [4]. Наши исследования показали, что это явление можно использовать в качестве сигнала к поливу растений.

На рис.1 показан естественный ход данных параметров в начале роста плода – 05.07.1011 г., где:

Vпоб.1 и Vпоб.2 – относительные скорости ксилемных потоков в побегах, от.ед.; dп. и dпоб.1 − радиальные изменения размеров плода и побега в мкм, соответственно.

Стрелкой обозначено начало синфазного уменьшения вышеуказанных параметров – примерно в 13 часов.

Относительная скорость водного потока в ксилеме растений тесно коррелирует с факторами внешней среды.

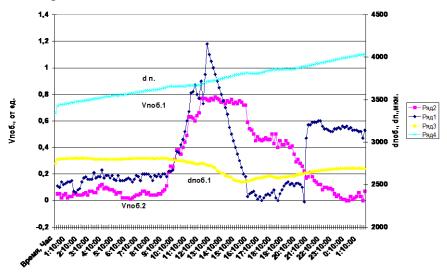


Рис. 1 Естественный ход параметров, характеризующих водный режим растения — 05.07.1011 г. (Vпоб.1 и Vпоб.2 – относительные скорости ксилемных потоков в побегах, dп. и dпоб.1 – радиальные изменения размеров плода и побега в мкм, соответственно)

На рис. 2 приведена зависимость этого параметра — Vпоб. хурмы от интегральной облученности (25.07–30.07.2011 г.). Из рисунка видно, что изменение Vпоб. практически совпадает с изменениями интегральной облученности.

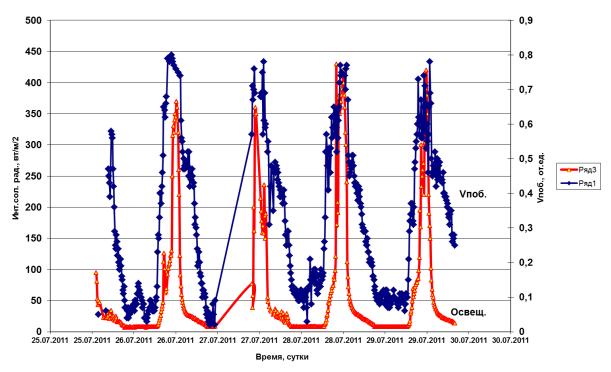


Рис. 2 Зависимость относительной скорости водного потока в побеге – Vпоб. хурмы от интегральной облученности (25.07.—30.07.2011 г.)

Относительная скорость водного потока в побеге — Vпоб. также тесно коррелирует с температурой листа, что видно из рис. 3. Между этими параметрами существует прямая корреляционная зависимость.

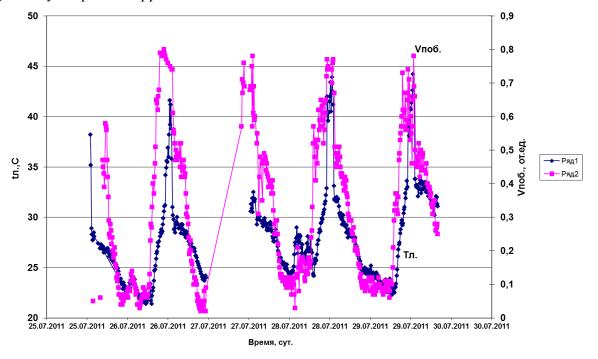


Рис. 3 Зависимость относительной скорости водного потока в побеге – Vпоб. хурмы от температуры листа – (25.07.–30.07.2011 г.)

Радиальные изменения размеров побега также зависят от факторов внешней среды и могут служить характеристикой оводненности растения. На рис.4 приведена

зависимость радиальных размеров побега хурмы от интегральной облученности. Из рисунка видно, что между изучаемыми параметрами существует обратная зависимость.

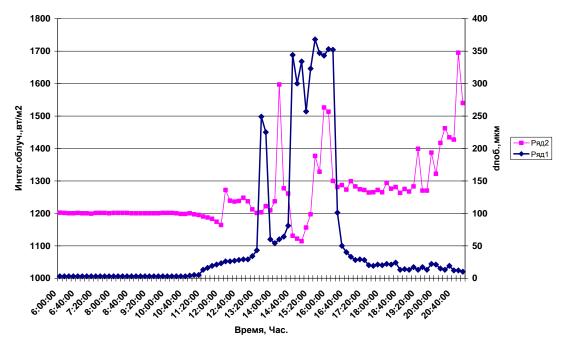


Рис. 4 Реакция линейных размеров побега хурмы на изменение интегральной облученности (26.08.2012 г.)

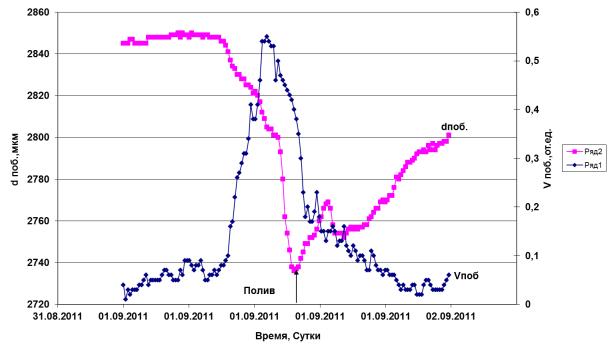


Рис. 5 Реакция параметров, характеризующих водный режим растения хурмы (Vпоб. – относительная скорость ксилемного потока в побеге, dпоб. – радиальные изменения размеров побега) на наступление водного дефицита

Относительная скорость ксилемного потока в побеге и радиальные изменения его размеров достаточно полно характеризуют водный режим растения, и при наступлении водного дефицита происходит их синхронное уменьшение. На рис.5

показана реакция этих параметров на обезвоживание растения и полив. При поливе растения происходит их синхронное увеличение.

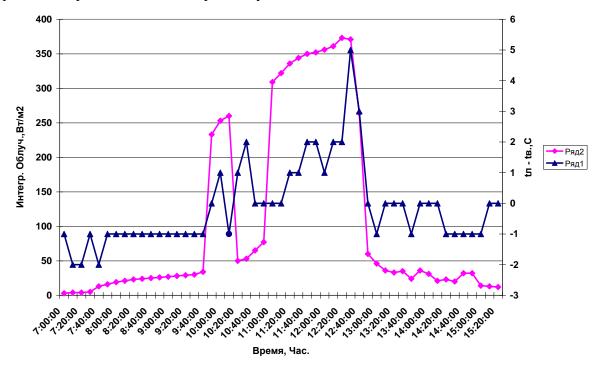


Рис. 6 Зависимость разности температур лист-воздух от интегральной облученности (25.08.2012 г.)

Очень важной характеристикой водного режима растения является интенсивность транспирации листа. Этот параметр тесно коррелирует с разностью температур лист-воздух. На рис.6 показана зависимость разности температур лист-воздух от интегральной облученности.

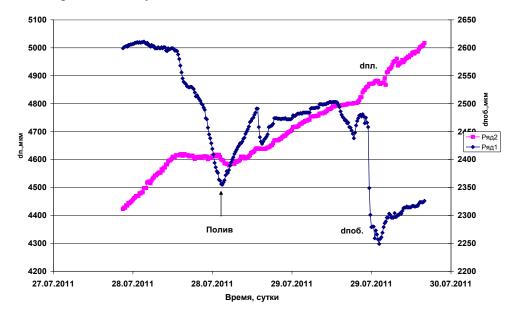


Рис. 7 Реакция параметров, характеризующих водный режим растения хурмы (dn. и dnoб.), на полив при наступлении водного дефицита (28.07.2011 г.)

На рис. 7 показана реакция параметров растения хурмы (dп. и dпоб.) на полив при наступлении водного дефицита (28.07.2011 г.). Водный дефицит, который проявился в снижении радиального размера побега и выхода на плато прироста плода

продолжался до полива растения. Но реакция на него у побега и плода разная – диаметр побега продолжает снижаться до полива растения, а размер плода выходит на плато и не уменьшается до полива. Это свидетельствует о большей защищенности от обезвоживания плода растения. После полива растения диаметр побега резко возрастает, а прирост плода проявляется через некоторое время после полива.

Интенсивность роста плода сильно зависит от режима полива. На рис.8 показана реакция роста плода хурмы на полив (25–27–29.07.2011 г.). Влажность почвы перед поливом во всех вариантах составляла 13%, 14% и 12% (что составляет 35–40% НВ) соответственно, поэтому прирост плода не сильно отличался и за время опыта составлял примерно 200 мкм в сутки.

На рис. 9 показана взаимосвязь между приростом плода хурмы dп и влажностью почвы за более длительный период времени — с 23.08. по 09.09.2011 г. Поливы производились при влажности почвы 13–17%, но их продолжительность была различной. Верхний предел влажности составлял 37%, поэтому крутизна прироста плода различна на разных участках графика. За время опыта прирост плода составил 3,2 мм, а средний ежедневный прирост — 252 мкм.

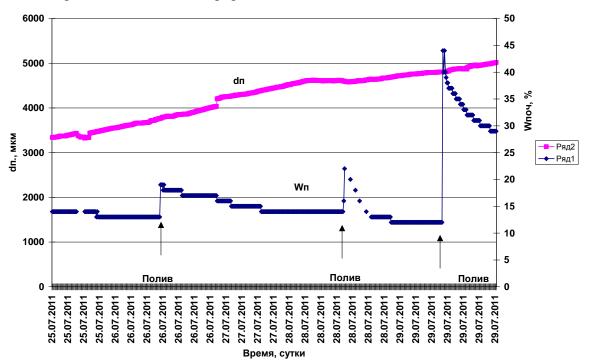


Рис. 8 Влияние полива на рост плода хурмы (25.07. по 29.07.2011 г.)

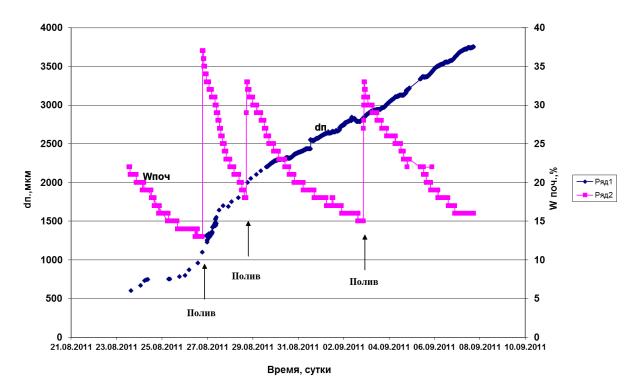


Рис. 9 Взаимосвязь между приростом плода хурмы dп и влажностью почвы Wпоч.,% за период с 23.08 по 09.09.2011 г.

На рис.10 показана динамика изменения диаметра плода и побегов растения хурмы (dп. и dпоб.) за период с 29.08. по 09.09.2011 г. Из рисунка видно, что за это время рост плода составил примерно 1400 мкм, в то время как радиальный рост побегов не наблюдался и даже немного уменьшился (см. линию тренда). Это явление можно объяснить тем, что рост побегов в длину у хурмы начинается в апреле и прекращается перед началом массового цветения [13]. У многих сортов в конце июняначале июля начинается вторичный рост отдельных побегов, заканчивающийся в августе или сентябре [10]. Эти побеги могут не вызреть до зимы, в результате чего формируются ослабленные почки, что в дальнейшем приводит к снижению качества плодов [23]. Побеги хурмы, заканчивающие линейный рост рано, обладают большей способностью закладывать цветочные бутоны, чем те, которые заканчивают его в середине или в последней части периода вегетации [23]. Залогом хорошего урожая хурмы является получение сильного однолетнего прироста, который в свою очередь зависит от обеспеченности деревьев питательными веществами, водой и от обрезки [24].

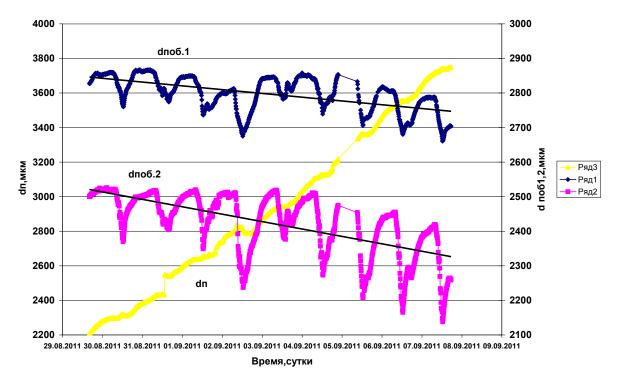


Рис. 10 Динамика изменения диаметра плода и побегов растения хурмы (dn. и dnoб.) за период с 29.08. по 09.09.2011 г.

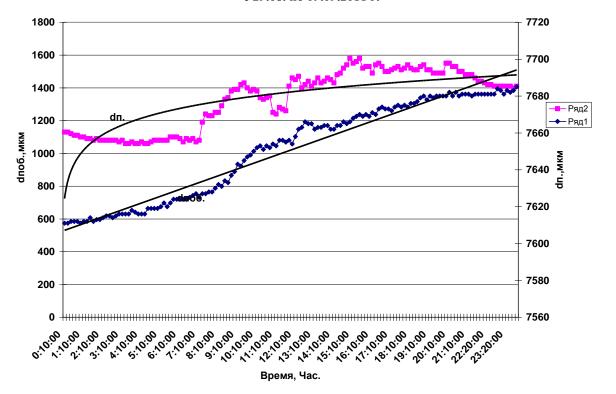


Рис. 11 Естественные изменения линейных размеров плода и побега хурмы при появлении окраски плода (28.09.2012 г.)

На рис. 11 показан процесс окончания роста плода осенью с появлением его окраски и осеннего вызревания побегов (см. линии тренда). Наблюдается плавный выход прироста плода на плато и увеличения диаметра побега. В это же время, очевидно, закладывается вегетативная почка предшествующего цветению года. К

концу зимы вегетативная почка приобретает конусовидную форму, две наружные чешуи закрывают ее на 2/3 длины. В этих почках (как в виноградных) закладывается вся информация для будущей ветки с листьями, цветками. Ранней весной в пазухах этих зачаточных листочков начинается образование и развитие цветочных почек [24]. Цветки весной следующего года будут только из хорошо выполненных почек, располагаемых в конце и середине будущего побега.

Результаты, полученные при проведении исследований дают возможность построить математические модели зависимостей между экофизиологическими характеристиками растения и факторами внешней среды и прогнозировать данные процессы [4]. Для этих целей мы применили уравнение множественной линейной регрессии, где независимыми переменными являлись:

- интегральная облученность E, Bт/м²;
- температуры воздуха tв, °С;
- относительная влажность воздуха f, %;
- температуры почвы tп, °С;
- температуры листа tл, °С;
- разность температур лист-воздух tл- tв, °С;
- влажность почвы Wп, %

Зависимыми переменными были:

- относительная скорость водного потока в побегах растения V, от.ед.;
- изменения диаметра побегов dпоб, мкм;
- изменения диаметра плода dп, мкм.

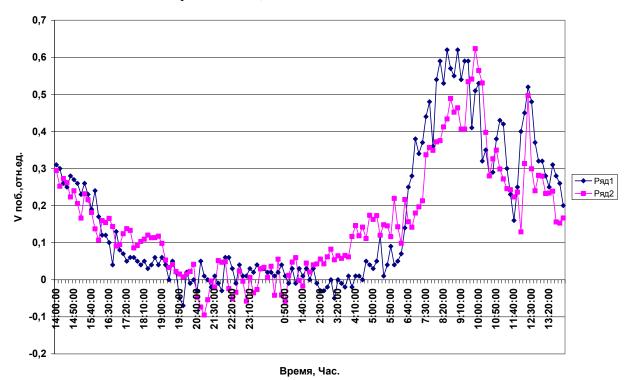


Рис. 12 Суточная динамика изменения относительной скорости водного потока в побеге хурмы 29.08-30.08.2012 г. 1 – экспериментальная зависимость, 2 – теоретическая зависимость

Уравнение имеет следующий вид:

Y = a0 + a1 X1 + a2 X2 + a3 X3 + a4 X4 + a5 X5 + a6 X6 + a7 X7

1)

где: Y — зависимая переменная, a0 — свободный член уравнения, a1 — a7 — коэффициенты при независимых переменных X1-X7.

Для относительной скорости водного потока в побеге хурмы (2):

$$V$$
поб. = $a0 + a1$ Инт.обл. + $a2$ Т воз. + $a3$ Вл.воз. + $a4$ Т поч. + $a5$ Тл. + $a6$ (Тл-Твоз.) + $a7$ Вл.поч.

Решив уравнение линейной регрессии получим:

$$V$$
поб. = 7,155766 + 0,559103 Инт.обл + 12,79866 T воз. + 3,25E-25 Вл.воз. + 6,05025T поч. +8,261282 Тл. +6,05025 (Тл-Твоз.) + 8,261282 Вл.поч. 3)

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	6	3,084495	0,514082	41,93937	8,29E-29
Остаток	138	1,69157	0,012258		
Итого	144	4,776065			

Коэффициент корреляции R = 0,903631.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0.815823$.

На рис.12 показана суточная динамика изменения относительной скорости водного потока в побеге хурмы (29.08–30.08.2012 г.) где приведены:

1 — экспериментальная зависимость, 2 — теоретическая зависимость, рассчитанная по приведенным выше результатам исследований. Погрешность модели составляет 10–15%, что вполне допустимо для биологических исследований.

Подобная модель была построена для увеличения диаметра побега хурмы:

Дисперсионный анализ					
	df	SS	MS	F	Значимость F
Регрессия	6	92115,84	15352,64	150,6365	4,99E-58
Остаток	138	14064,75	101,9185		
Итого	144	106180,6			

Коэффициент корреляции R = 0,931418.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0.867539$.

На рис.13 показана суточная динамика изменения диаметра плода хурмы (29.08–30.08.2012г.) где приведены:

1 — экспериментальная зависимость, 2 — теоретическая зависимость, рассчитанная по приведенным выше результатам исследований. Погрешность модели также не превышает 10-15%.



Рис. 13 Суточные изменения диаметра плода хурмы 29.08—30.08.2012 г. 1 — экспериментальная зависимость, 2 — теоретическая зависимость

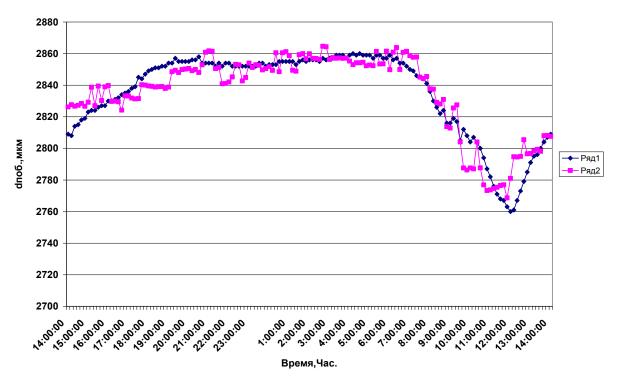


Рис. 14 Суточные изменения диаметра побега хурмы 29.08—30.08.2012 г. 1 – экспериментальная зависимость, 2 – теоретическая зависимость

На рис.14 показана суточная динамика изменения диаметра побега хурмы (29.08-30.08.2012 г.) где приведены:

1 — экспериментальная зависимость, 2 — теоретическая зависимость, рассчитанная по приведенным выше результатам исследований. Погрешность модели также не превышает 10–15%. Подобная динамическая модель была построена для диаметра плода хурмы.

Dп. = 2790,916 + 38,4073 Инт.обл + 72,66628 Твоз. + 7,1E-112 Вл.воз. + 2714,973Т поч. + 2866,859 Тл. + 2714,973 (Тл-Твоз.) + 2866,859 Вл.поч. 5)

Дисперсионны					
	df	SS	MS	F	Значимость <i>F</i>
Регрессия	6	162203,6	27033,94	467,3626	4,65E-89
Остаток	138	7982,417	57,8436		
Итого	144	170186			

Коэффициент корреляции R = 0,976266.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0.953096$.

Анализ полученных результатов исследований позволил найти функциональные зависимости между основными факторами внешней среды и параметрами, характеризующими особенности водного режима хурмы и ростом вегетативных и генеративных органов растения в период вегетации. Это позволило диагностировать состояние растений, обнаруживать и оценивать различные стрессы, вызванные воздействием окружающей среды на растение. Размер плодов хурмы при появлении окраски составлял 7-9 см. Период от завязывания плодов до прекращения их роста равнялся примерно 90±10 дней. На начальном этапе роста суточный прирост диаметра плода составлял примерно 70-100 мкм. В дальнейшем крутизна прироста плода увеличивалась до 100-250 мкм в сутки и сильно зависела от физиологических особенностей сорта, факторов внешней среды, особенно от влажности почвы, освещенности и дефицита влажности воздуха. В конце сентября, начале октября прирост диаметра плодов с появлением их окраски практически прекращался. Из проведенных исследований видно, что прирост плода происходит в дневное и ночное время. Некоторое уменьшение размера плода в середине дня наблюдается из-за напряженности внешних условий. В период роста плода при водном дефиците уменьшение диаметра побегов происходит раньше чем плода, что объясняется его большей защищенностью от обезвоживания (см. рис. 10).

Рост побегов начинался в апреле и прекращался перед началом массового цветения. Цветение начиналось в мае-июне и продолжалось 1–1,5 месяца в зависимости от погодных условий. У некоторых сортов в конце июня — начале июля начинается вторичный рост отдельных побегов, заканчивающийся в августе [13]. У изучаемого нами сорта хурмы Хиакуме такое явление не наблюдалось (см. выше). С появлением окраски плодов возобновлялся радиальный рост побегов, связанный с их вызреванием и закладкой вегетативных почек.

Для определения сроков полива удобно использовать информацию, полученную от датчиков относительной скорости водного потока в побегах растения, Vпоб. И изменения диаметра побегов, dпоб. Суточный ход этих величин отображает такие важные характеристики растений как транспирация, тургесцентность, рост, фотосинтез и дыхание. Синхронное уменьшение данных параметров может служить сигналом к поливу [4].

Температура листа (его перегрев) значительно зависит от интенсивности транспирации, которая, в свою очередь, зависит от водного режима. Разность температур лист-воздух является косвенной характеристикой транспирации. Она

сильно зависит от дефицита влажности воздуха. При высоких температурах с ростом дефицита влажности воздуха увеличивается разность температур лист-воздух, что вызывает перегрев листа и определяет реакцию устьиц на атмосферную засуху. В конечном итоге, это приводит к ухудшению водного режима растения и снижению урожая.

Проведенные исследования позволили использовать функциональные зависимости между факторами внешней среды и параметрами, характеризующими водный режим растения, особенностями роста различных его органов для построения математических моделей, позволяющих прогнозировать эти процессы. Для этих целей мы применили уравнение множественной линейной регрессии и дисперсионный анализ.

Модели были построены для относительной скорости водного потока в побегах растения, Vпоб., диаметра побегов, dпоб. И диаметра плода, dп.

Суточная динамика изменения относительной скорости водного потока в побеге хурмы, диаметра побегов и плодов, полученная в результате эксперимента незначительно отличается от теоретической зависимости, рассчитанной по приведенным выше результатам исследований. Погрешность модели составляет 10–15% [4].

Выводы

Из результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

Применение методологии и приборной базы фитомониторинга позволило найти функциональные зависимости между основными факторами внешней среды и параметрами, характеризующими особенности водного режима хурмы, ростом вегетативных и генеративных органов растения с целью дальнейших исследований для разработки стратегии эффективного использования орошения и получения максимальных урожаев.

Найденные функциональные зависимости между параметрами, характеризующими водный режим растения (Vпоб., dпоб.) и основными факторами внешней среды позволяют оптимизировать управление поливом.

Установлены особенности роста плода и побегов растения хурмы. У побегов отсутствует вторичный летний рост, а закладка вегетативных почек осенью начинается после приобретения окраски плода. В это время плод прекращает рост и не изменяется в диаметре вплоть до полного созревания. Во время водного дефицита сначала наблюдается уменьшение диаметра побега, затем через некоторое время прирост плода выходит на плато. После полива растения сначала реагирует побег, а затем плод. Реакция проявляется в увеличении их линейных размеров. Причем, лаг-фаза между изменением этих параметров, зависит от величины водного стресса.

Полученные результаты позволяют использовать функциональные зависимости между факторами внешней среды и параметрами, характеризующими водный режим растения, особенности роста различных его органов, для построения математических моделей, имеющих прогностическое значение. Погрешность моделей составляет 10–15%.

Список литературы

- 1. *Балыков Н.Г.* Методы и устройства автоматической регистрации 99сситing99 роста древесных растений // Биофизические методы исследований в экофизиологии древесных растений. Л.: Наука, 1979. С.18–34.
- 2. *Гулов С.М.* Физиологические особенности субтропических культур в условиях Таджикистана: Автореф. Дисс. Докт. Биол. Наук. Душанбе, 1998. 50 с.

- 3. *Гусейнова Б.М., Даудова Т.И.* Биохимический состав плодов хурмы, выращиваемой в Дагестане, и его изменение в процессе холодового хранения // Сельскохозяйственная биология. 2011. N $_2$ 5. C. 107–112.
- 4. *Ильницкий О.А., Бойко Н.Ф., Федорчук М.И.* и др. Основы фитомониторинга (мониторинг физиологических процессов в растениях). Херсон, 2005. 345 с.
- 5. Ильницкий O.A., Лищук A.И., Ушкаренко B.A. Фитомониторинг в растениеводстве. Херсон, 1997. 236 с.
- 6. Ильницкий О.А., Ушкаренко В.А., Федорчук М.И., Радченко С.С., Бондарчук С.В. Методология и приборная база фитомониторинга. Учебное пособие. Херсонский государственный аграрный университет. Херсон, 2012. 124 с.
- 7. Ильницкий О.А., Щедрин А.Н., Грамотенко А.П. Экологический мониторинг. Донецк. 2010. 293 с.
- 8. *Карманов В.Г.*, *Рябова Е.П*. Прибор для регистрации относительных изменений скоростей водного потока по растению // Сб. Тр. По агрономической физике. Л., 1968. Вып. 16. C.81–87.
- 9. *Омаров М.Д.* Перспективные гибриды хурмы восточной // Садоводство и виноградарство. -2014. -№ 4. C.26–-27.
- 10. Пасенков А.К. Итоги сортоизучения восточной хурмы в Никитском ботаническом саду // Труды Никит. ботан. сада Ялта. 1970. Т.47. С.5–91.
- 11. Семин В.С., Ильницкий О.А. Исследование суточных колебаний изменений диаметра корней, побегов и плодов алычи в связи с внешними условиями // Физиология и биохимия культурних растений. 1978. Т.10. \mathbb{N} 2. С.308–311.
- 12. *Тон Ю.Д., Клейман Э.И.* Алгоритмические методы в фитомониторинге // Биофизика растений и фитомониторинг. Л.: АФИ, 1990. С.27–33.
- 13. Ядров А.А., Синько Л.Т., Казас А.Н., Шолохова В.А. Орехоплодные и субтропические плодовые культуры. Симферополь: Таврия. 1980. 259 с.
- 14. Badal E., I. Buesa I., Guerra D., Bonet L., Ferrer P., Intrigliolo D.S. Maximum diurnal trunk shrinkage is a sensitive indicator of plant water, stress in *Diospyros kaki* (Persimmon) trees // Agricultural Water Management. − 2010. − № 98. − P.143–147.
- 15. Badal E., Abd El-Mageed T.A., Buesa I., Guerra D., Bonet L., Intrigliolo D.S. Moderate plant water stress reduces fruit drop of "Rojo Brillante" persimmon (*Diospyros kaki*) in a Mediterranean climate // Agricultural Water Management. − 2013. − № 119. − P.154–160.
- 16. *Bellini E*. Cultural practices for persimmon production // In: *Bellini E*. (ed.), *Giordani E*. (ed.). First Mediterranean symposium on persimmon. Zaragoza: CIHEAM, 2002. P.39–52.
- 17. Butt M.S., Sultan M.T., Aziz M., Naz A., Ahmed W., Kumar N., Imran M. Persimmon (Diospyros Kaki) fruit: hidden phytochemical and health claims // EXCLI Journal. 2015. № 14. P.542–561.
- 18. Closs R.L. The heat pulse method for measuring rate of sap flow in a plant stem // New Zeland J. Shi. -1958. V.1. P.281-288.
- 19. *Daum C.R.* A method for determining water transport in trees // Ecology. –1967. V.48. P. 425–431.
- 20. *Huber B.*, *Schmidt E.* Aine Kompensationsmethode zur thermoelektrischen Messung landsamer Saftsrome // Ber. Deut. B.t. Ges. 1937. Bd.55. S.514–529.
- 21. *Intrigliolo D.S.*, *Castel, J.R.* Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation // Agricultural Water Manage. -2006a. N = 83. P. 173-180.
- 22. *Klepper B., Browning V.D., Tauior H.M.* Stem diameter in relation to plant water stress // Plant. Physiol. $-1971. V. 48. N_{2}6. P. 683-685.$

- 23. *Mowat A.D.*, *George A.P.*, *Collins R.J.* Cultivation of persimmon (*Diospyros kaki* L.) under tropical conditions // Acta Hort. $-1995. N_{\odot} 409. P.141-149.$
 - 24. http://www.7dach.ru/gergenkor/hurma-sorta-vyraschivanie-i-uhod-5467.html

Ilnitsky O.A., Korsakova S.P., Plugatar Yu.V. The correlation between some ecophysiological characteristics of Oriental persimmons (*Diospyros kaki* l.) and the environmental conditions //Works of Nikit. Botan. Gard. – 2016. – Vol. 142. – P. 84-101.

Application of phytomonitoring technology allowed finding functional correlations between basic factors of environment and parameters of the persimmon's water regime, the plant organs growth to improve the final productivity and quality. This data made it possible to optimize the irrigation management.

The persimmon features of fruit and shoots growth were determined here. Studies show that Hyakume persimmons has no second growth flush 101ccurring in mid-summer and setting of lateral buds start developing in autumn after fruit colored. During this period a fruit stops growing and does not change its diameter up to the complete ripening. During plant water stress the first symptom is the reduction of shoot diameter and after a while there is a typical plateau patterns of a fruit growth. After plant irrigation shoot reacts the first and then a fruit. They increase linear sizes and lag-phase between the changes of these parameters, depends on how intensive water stress is.

The received results allow use functional correlations between the environment and parameters of water regime, feature of different organs growth to simulate prognostic models of crop growth. The error of models makes 10-15%, that is fully possible for biological researches.

Keywords: persimmon (Diospyros kaki L.), water regime, fruit and shoot growth, simulators, irrigation management, phytomonitoring