



HORTUS BOTANICUS

Международный электронный журнал ботанических садов

17 / 2022



Информационно-аналитический центр Совета ботанических садов России
при Ботаническом саде Петрозаводского государственного университета

HORTUS BOTANICUS

Международный электронный журнал ботанических садов

17 / 2022

ISSN 1994-3849

Эл № ФС 77-33059 от 11.09.2008

Главный редактор

А. А. Прохоров

Редакционный совет

П. Вайс Джексон
Лей Ши
Йонг-Шик Ким
Т. С. Мамедов
В. Н. Решетников

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
Е. М. Арнаутова
А. В. Бобров
Ю. К. Виноградова
Е. В. Голосова
Е. Ф. Марковская
Ю. В. Наумцев
Е. В. Спиридович
К. Г. Ткаченко
А. И. Шмаков

Редакция

Е. А. Платонова
С. М. Кузьменкова
А. Г. Марахтанов

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20, каб. 408.

E-mail: hortbot@gmail.com

<http://hb.karelia.ru>

© 2001 - 2022 А. А. Прохоров

На обложке:

Драконовы деревья в ботаническом саду 'Vieta-i-Klaviho', о-в Гран Канария (фото А. Прохорова, 15.12.2011)

Разработка и техническая поддержка

Отдел объединенной редакции научных журналов ПетрГУ, РЦ НИТ ПетрГУ,
Ботанический сад ПетрГУ

Петрозаводск

2022

Циркадные ритмы температуры листьев драконова дерева и количество выпадающей на них росы

ПРОХОРОВ
Алексей Анатольевич

Петрозаводский государственный университет,
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, 185910, Россия
alpro@onego.ru

Ключевые слова:

гипотеза, эксперимент, САМ-растения, точка росы, температура листьев, транспирация, тепловое излучение, самоорошение

Аннотация:

Сопоставление циркадных ритмов температуры листьев растения и точки росы, позволяет выделить интервалы времени, когда и с какой интенсивностью осуществляется выпадение росы. На примере драконова дерева (*Dracaena draco* L.) показано, что САМ-растение в аридных условиях способно конденсировать и поглощать в течение ночи до ½ литра воды с 1 м² поверхности листьев, охлажденных ниже точки росы. Предполагается, что снижение температуры листьев связано с сопряженным действием двух факторов – теплового излучения и транспирационного охлаждения. В ходе экспериментов получены данные, свидетельствующие о существовании особого периода в начале светового дня, когда температура поверхности листьев снижается на 5-10°С ниже точки росы. Совпадение максимума температуры воздуха и минимума температуры листьев позволяет считать испарение росы с поверхности листьев наиболее вероятной причиной охлаждения и выпадения большого количества росы в утренние часы. Использование всей охлажденной поверхности листа для конденсации атмосферной влаги и поглощение выпавшей росы с помощью открытых в ночное время устьиц и поглощающих воду тканей в пазухах листьев – паразитическая адаптация к условиям недостатка водных ресурсов, включающая морфологические, анатомические и физиологические изменения.

Получена: 10 декабря 2022 года

Подписана к печати: 08 января 2023 года

Введение

Дождь и почвенная влага – независимые от растений источники воды, однако если их недостаточно, то всегда доступен воздух, из которого растение может получить росу, снизив температуру листьев, а не дожидаясь ненадежного тумана.

В предыдущих работах были приведены доказательства охлаждения поверхности растений ниже точки росы в широком диапазоне климатических условий (Прохоров, 2015а), для многих видов растений (Прохоров, 2015б; Карпун и др., 2015), что подтвердило выдвинутую ранее гипотезу (Прохоров, 2013), состоящую в том, что растения активно конденсируют атмосферную влагу на своей поверхности, за счет снижения температуры поверхности (T_L) листьев ниже

точки росы (T_D), при температуре воздуха $T_A > T_D$, т. е. при отсутствии тумана. Эволюционное значение этого явления проявляется в морфологических, анатомических и физиологических адаптациях растений, способствующих увеличению эффективности конденсации и поглощения влаги.

Явление снижения температуры живых листьев растений описано более полувека назад (Lange & Lange, 1963), и обычно объясняется транспирационным охлаждением (Gates, 1968), физическая природа которого соответствует [испарительному охлаждению](#). Однако существует значительная группа растений, использующих [САМ-фотосинтез](#) или «кислотный метаболизм толстянковых». Преимущество механизма САМ-фотосинтеза состоит в том, что растение может держать свои устьица закрытыми в жаркие дневные часы, существенно снижая потери воды через транспирацию, и запасать углекислый газ ночью, при значительно более выгодной температуре и влажности. Высокая эффективность использования воды САМ-растениями, по сравнению с фотосинтезирующими растениями С3 и С4, делает некоторые растения с высокой продуктивностью привлекательными альтернативами продовольственным и биоэнергетическим культурам на полусасушливых землях (Cushman, 2017). Можно предположить, что САМ-растения позволят оценить эффект совокупного транспирационного и радиационного охлаждения растения в ночное время.

Среди них есть представители семейства *Asparagaceae*, для которых атмосферная влага является важным источником воды, и часто имеющие розеточную форму роста (Рис. 1). Показана эффективность такой морфологии в отношении сорбции тумана (Martorell & Ezcurra, 2007). Общее количество тумана, перехваченного розеточными растениями, росло с увеличением общей площади листьев, за счет того, что многочисленные узкие листья максимизировали эффективность перехвата на единицу площади. Наблюдалась тенденция к развитию «синдрома узколистности», по мере приближения ареала вида к районам, где часто бывает туман.



Рис. 1. А. Драконовы деревья (*Dracaena draco* L., Asparagaceae) – редкие и лекарственные эндемики Канарских островов в ботаническом саду 'Viera-i-Klaviho', о-в Гран Канария. В. Сеянцы *Dracaena draco* в возрасте 7 лет в климатической камере. (фото А. Прохорова).

Fig. 1. A. Dragon trees (*Dracaena draco* L., Asparagaceae), rare and medicinal endemics of the Canary Islands in the 'Viera-i-Klaviho' botanical garden, Gran Canaria. B. 7 years old seedlings of *Dracaena draco* in a climatic chamber (photo by A. Prokhorov).

Эксперименты по поливу пазух листьев драконова дерева – *Dracaena draco* L. (Nadezhdina & Nadezhdin, 2017) подтвердили гипотезу о том, что драцены способны направлять атмосферную воду через пазухи своих листьев в ствольные ткани. Этот механизм представляет собой альтернативный способ поглощения воды растениями и, по мнению авторов, особенно важен в туманных районах засушливого и полусушливого климата.

Также показано (Jura-Morawiec, Marcinkiewicz, 2020), что поверхность листьев *Dracaena draco* может впитывать воду. Толстая базальная часть листа работает как резервуар для воды, объем которого изменяется при увлажнении растений. Зрелые листья розетки более смачиваемы, чем молодые. Вода может поглощаться как через адаксиальную, так и через абаксиальную поверхности.

Данные представления о "смачиваемости" поверхности листьев вида, адаптированного к аридным условиям, противоречат наблюдаемым явлениям формирования капель воды и стекания влаги на гидрофобных поверхностях растений, обусловленных "эффектом лотоса" (Barthlott & Ehler, 1977). Скорее, вертикальная розеточная форма и гидрофобная поверхность, позволяют влаге быстро стекать к пазухам, где и происходит поглощение воды (Nadezhdina & Nadezhdin, 2017).

Сравнение микроморфологии устьиц (Klimko, Wiland-Szymańska, 2008) группы видов драконовых деревьев (*D. draco*, *D. cinnabarii*, *D. ombet* и *D. schizantha*) показало различия в строении кутикулы и восковых структур. Из приведенных авторами фотографий видно, что замыкающие клетки у *D. draco* менее защищены. Следовательно, замыкающие клетки устьиц, как обладающие наиболее гидрофильной поверхностью, могут являться центрами образования микрокапель росы. Кроме того, устьица *D. draco* равномерно распределены рядами на адаксиальной и абаксиальной сторонах листа, что имеет существенное значение для конденсации и поглощения воды.

Осталось понять, что является главным источником влаги для драцены - ненадежный туман или роса, ежедневно выпадающая на охлажденных листьях?

Объекты и методы исследований

Жарким летом 2018 года (Рис. 2) в Карелии сложились необходимые (сходные с весной на Канарах) условия для изучения циркадных ритмов температуры поверхности листьев драконова дерева – *Dracaena draco* L. – солнце, жара и наличие объекта исследований. В этих условиях (Рис. 3) туман наблюдался не каждую ночь, и был обычно кратковременным, а температура листьев снижалась ниже точки росы постоянно и особенно сильно после рассеивания тумана.

Таблица 1. Символы и термины, используемые в диаграммах и тексте

Table 1. Symbols and terms used in diagrams and text

Параметр	Легенды диаграмм	Символы в тексте и формулах
температура воздуха	Air Temperature, °C	T_A
температура почвы	Soil temperature, °C	T_S
точка росы	Dew point, °C	T_D
температура стебля	Stem IR-temperature, °C	T_{St}

температура листьев	Leaf IR-temperature, °C	T_L
относительная влажность воздуха	Relative Humidity, %	RH
отклонение температуры поверхности листа от точки росы	Leaf °C Dewpt. dist.	ΔT_{L-D} ; ΔT_{D-L}
отклонение температуры поверхности стебля от точки росы	Stem °C Dewpt. dist.	ΔT_{St-D}
отклонение температуры воздуха от точки росы	Air °C Dewpt. dist.	ΔT_{A-D}
отклонение температуры воздуха от температуры поверхности листа	Air - Leaf °C temp. dist.	ΔT_{A-L}
уровень солнечной радиации	Solar Radiation, Вт/м ²	

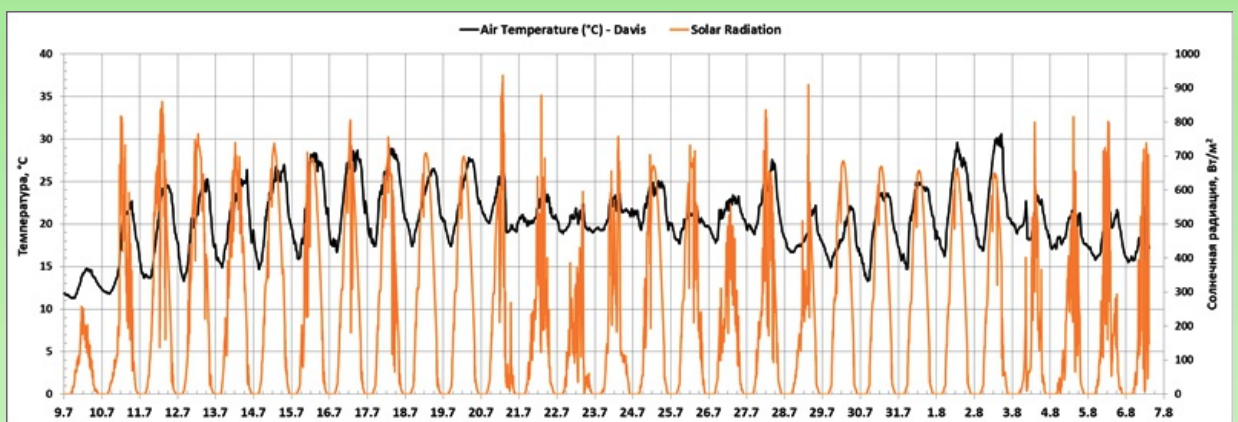


Рис. 2. Температура воздуха (°C) и уровень солнечной радиации (Вт/м²) по данным метеостанции Vantage Pro2 Plus в период с 9 июля по 7 августа 2018 г.

Fig. 2. Air temperature (°C) and solar radiation level (W/m²) according to the Vantage Pro2 Plus weather station from July 9 to August 7, 2018.

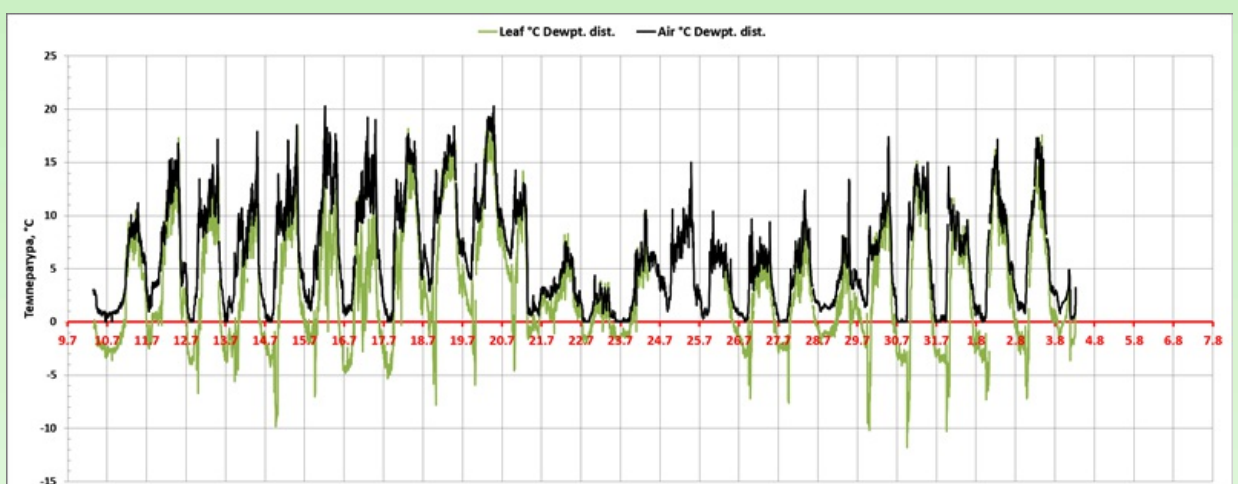


Рис. 3. Отклонение температуры воздуха и температуры поверхности листьев *D. draco* (ΔT_{A-D} , ΔT_{L-D}) от точки росы в период с 9 июля по 3 августа 2018 г.

Fig. 3. Deviation of air temperature and leaf surface temperature of *D. draco* (ΔT_{A-D} , ΔT_{L-D}) from the dew point in the period from July 9 to August 3, 2018.

Для исследований были выбраны два сеянца *D. draco*, высотой 60 и 80 см, культивируемые в контейнерах в климатической камере в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета с 2012 года (Рис.1В). Семена были собраны в районе Playa del Ingles (Gran Canaria, Spain) в 2011 году.

Полевые эксперименты

Исследования проводились с 9:00 24.08.2018 до 9:30 05.09.2018 под навесом из полиэтиленовой пленки для защиты от дождя. Полиэтилен был выбран в качестве защитного покрытия в связи с его прозрачностью в области окна прозрачности атмосферы 8 - 15 мкм, т.е. в диапазоне теплового излучения Земли.

Одно растение использовалось в период с 9 июля по 23 июля, второе с 25 июля по 3 августа 2018 г. За неделю до начала опыта и во время измерений полив растений не осуществлялся.

С помощью метеостанции Vantage Pro2 Plus (DAVIS Instruments), установленной непосредственно рядом с объектом исследований на высоте 3,5 метра над уровнем почвы, фиксировались следующие климатические параметры: температура воздуха - T_A (°C); относительная влажность воздуха - RH (%); точка росы - T_D (°C); количество осадков (мм/час); уровень солнечной радиации ($Вт/м^2$) с интервалом времени 5 минут.

Данные о температуре (°C) воздуха - T_A , почвы в контейнере - T_S , поверхности листьев - T_L , точке росы - T_D , отклонения температуры поверхности листа от точки росы ($\Delta T_{L-D}=T_L-T_D$), а также, относительной влажности (%) воздуха - RH, получены с помощью инфракрасного термометра с интегрированным модулем влажности Testo 835-H1 (Testo) с выводом данных на компьютер с интервалом 5 минут. Параллельные измерения температуры поверхности стебля - T_{St} осуществлялись с помощью инфракрасного термометра DT-8855. В тестовых экспериментах отклонения показаний инфракрасных термометров друг от друга не превышали $\pm 0,5^\circ C$.

ΔT_{L-D} и остальные, приведенные в диаграммах, отклонения температур рассчитывались из экспериментальных данных.

Из результатов измерений исключены единичные ошибки в измерении RH и параметров, рассчитанных на ее основе (T_D , ΔT_{L-D}), вызванные порывами ветра или другими случайными факторами, действовавшими на протяжении одного 5-минутного цикла измерений и вызывавшие отклонения значений RH более чем на 10%.

При измерении T_L и T_{St} использовался коэффициент эмиссии инфракрасных термометров - 0,95. Приборы располагались на высоте 0,6 метра от поверхности земли и были защищены от солнечного излучения пенопластовыми панелями. Расстояние до объекта 1 метр, диаметр пятна измерений – 20 мм. Выбор пятна измерений осуществлялся с помощью лазерных целеуказателей на обращенной к северу стороне растения.

В тексте, при описании наблюдаемых явлений, используются общепринятые названия или символы; в легендах на диаграммах используются обозначения, принятые в программном обеспечении "testo EasyClimate" для инфракрасного термометра Testo 835H1, или их аналоги для расчетных параметров или данных других приборов (таблица 1).

Эксперименты в климатической камере

Климатическая камера с полезным объемом 3,8 куб. метра и площадью 2 кв. метра, толщина

стен и пола 10 см (пенопласт, стены покрыты изнутри влагостойкой зеркальной пленкой, пол – пленкой серого цвета), накрытая сверху стеклопакетом толщиной 2 см. Над стеклопакетом установлено 4 пары светодиодных светильников УСС БИО с максимумами излучения на 660 и 450 нм, включение и отключение которых осуществлялось последовательно, согласно установленной программе с интервалом 1,5 часа. Продолжительность светового дня – 12 часов. T_A и RH менялись спонтанно, сопряженно с изменением освещенности. Во время эксперимента T_A в помещении, до включения освещения климатической камеры, составляла 9–10°C. Освещенность контролировалась в верхней точке кроны растения с помощью люксметра ET-965 (Flus). Измерения осуществлялись с помощью инфракрасного термометра с интегрированным модулем влажности Testo 835-H1 (Testo) и инфракрасного термометра DT-8855 для параллельных измерений T_{St} .

Загрузка данных с приборов производилась программными средствами производителей оборудования. Построение диаграмм осуществлялось с помощью MS Excel.

Результаты и обсуждение

Открытый грунт

Для анализа полученных результатов был выбран период с 29 июля по 3 августа (Рис. 3) – пять идеальных солнечных дней и звездных ночей. Восход солнца 29.07.2018 – 4:35, заход – 21:25, по данным датчиков солнечной радиации.

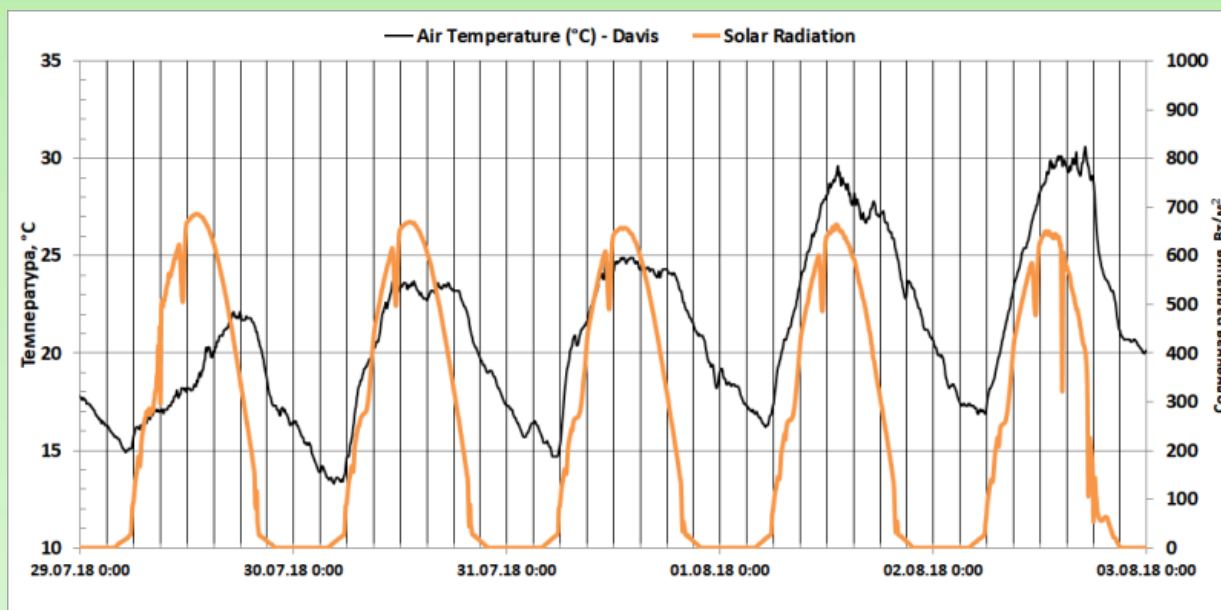


Рис. 4. Температура воздуха (°C) и уровень солнечной радиации (Вт/м²) по данным метеостанции Davis Vantage Pro2 Plus в период с 29 июля по 3 августа 2018 г.

Fig. 4. Air temperature (°C) and solar radiation (W/m²) according to the Davis Vantage Pro2 Plus weather station from July 29 to August 3, 2018.

Данные метеостанции (Рис. 4) демонстрируют постепенное увеличение T_A по мере прогрева нижних слоев атмосферы. Однако непосредственно рядом с растениями (Рис. 5) наблюдаются максимумы T_A в 7 и 19 часов и T_S в 9 часов утра. Боковое солнечное освещение на рассвете и на закате вызывало быстрый нагрев припочвенного слоя воздуха и контейнеров с растениями.

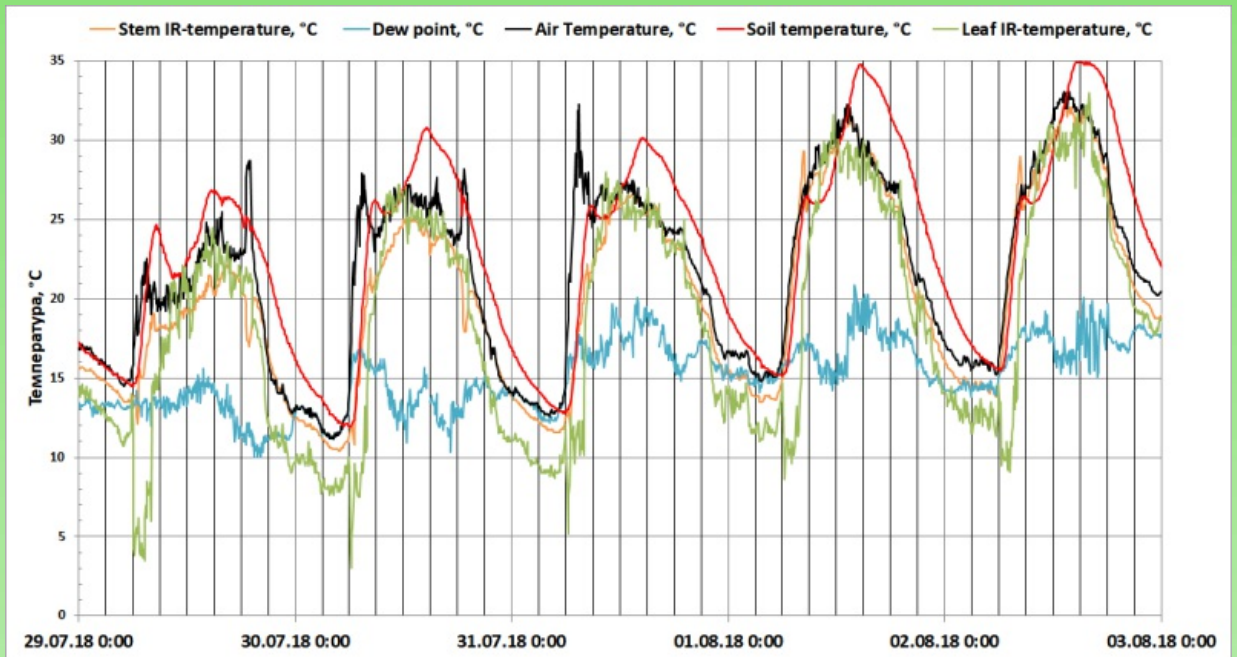


Рис. 5. Точка росы (°C), температуры воздуха на высоте кроны объекта, почвы в контейнере, листьев (по данным инфракрасного термометра Testo 835-H1) и стебля *Dracaena draco* (по данным инфракрасного термометра DT-8855).

Fig. 5. Dew point (°C), air temperatures at the height of the crown of the object, soil in the container, *Dracaena draco* leaves (according to infrared thermometer Testo 835-H1) and stem (according to infrared thermometer DT-8855).

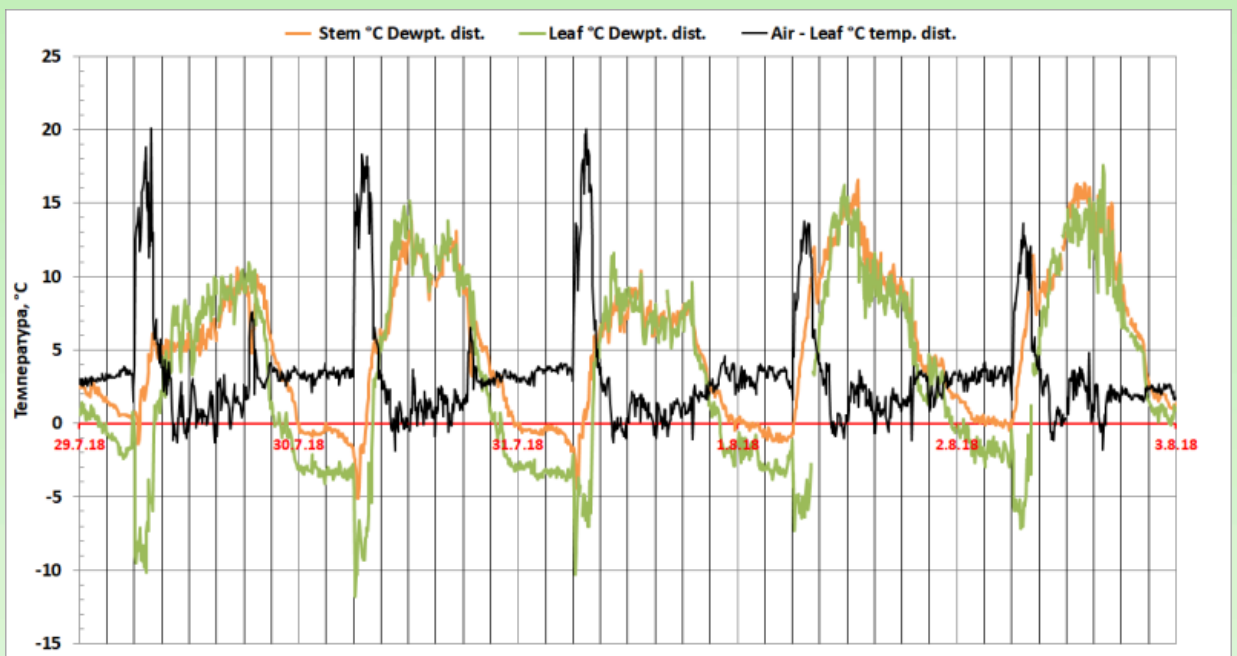


Рис. 6. Отклонения температуры поверхности листьев и стебля *Dracaena draco* от точки росы ($\Delta T_{L-D} = T_L - T_D$, $\Delta T_{St-D} = T_{St} - T_D$) и отклонения температуры воздуха от температуры листьев ($\Delta T_{A-L} = T_A - T_L$).

Fig. 6. *Dracaena draco* leaf and stem surface temperature deviations from dew point ($\Delta T_{L-D} = T_L - T_D$, $\Delta T_{St-D} = T_{St} - T_D$) and air temperature deviations from leaf temperature ($\Delta T_{A-L} = T_A - T_L$).

ΔT_{A-L} составляла около $0-1^{\circ}\text{C}$ с 10:00 до 18:00, $3-4^{\circ}\text{C}$ с 22:00 до 6:00, $13-20^{\circ}\text{C}$ с 6 до 9 часов утра (Рис. 6).

Основной параметр, интересующий нас в данном исследовании – ΔT_{L-D} , разница между температурой поверхности листа (T_L) и точкой росы (T_D). Именно он определяет количество росы, которая выпадает на поверхности листа (Рис. 6) в единицу времени. И этот параметр ведет себя с одной стороны предсказанно, а с другой – удивительно.

Ожидаемо, что $T_D > T_L$ ночью, когда устьица у САМ-растения открыты и на тепловое излучение накладывается испарительное охлаждение. Однако в 6 утра, при быстром увеличении T_A , вызванной ростом солнечной радиации, T_L стремительно снижается еще на $10-17^{\circ}\text{C}$, снижая T_L на $7-8^{\circ}\text{C}$ ниже T_D с 6 до 9 часов утра. На 4 день эффект уменьшается, но не исчезает.

Совпадение максимума T_A и минимума T_L , позволяет считать испарение росы с поверхности листьев, наиболее вероятной причиной сильного охлаждения листьев в утренние часы. Совпадение указанных экстремумов приводит к значительному увеличению выпадения росы в это время, компенсирующему затраты воды на испарение.

Результаты опытов в открытом грунте не позволяют сделать однозначный вывод о соотношении физических механизмов охлаждения листьев *D. draco*, для этого необходимо сопоставить их с результатами исследований в климатической камере.

Климатическая камера

На диаграмме (Рис. 7) приведены циркадные ритмы T_D ($^{\circ}\text{C}$), T_A , T_S , T_L и T_{St} *Dracaena draco* в период с 7.03 по 13.03 2018.

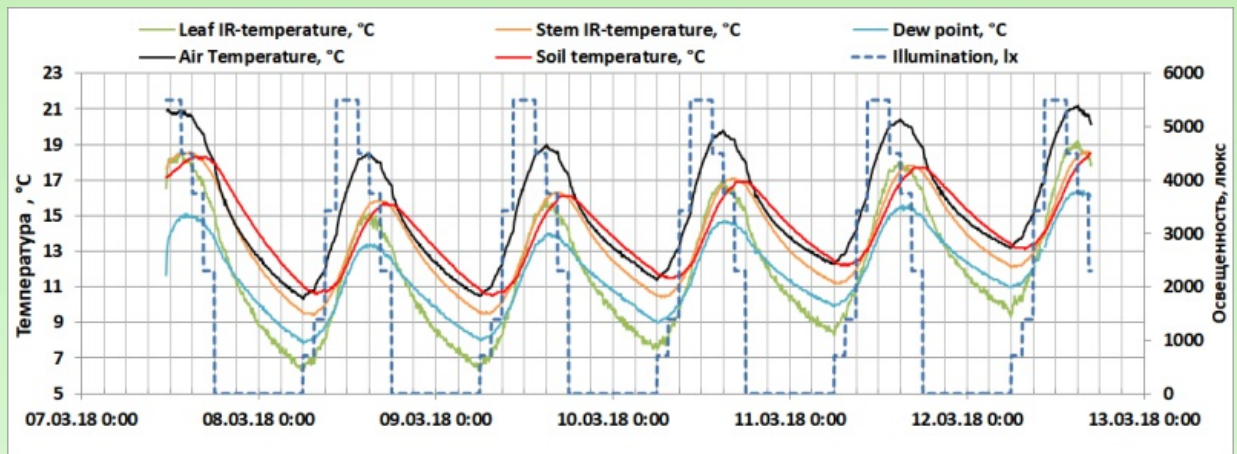


Рис. 7. Освещенность (люкс), точка росы ($^{\circ}\text{C}$), температура воздуха, почвы в контейнере, листьев (по данным инфракрасного термометра Testo 835-H1) и стебля *Dracaena draco* (по данным инфракрасного термометра DT-8855).

Fig. 7. Illumination (lux), dew point ($^{\circ}\text{C}$), temperature of air, soil in the container, leaves (according to infrared thermometer Testo 835-H1) and stem of *Dracaena draco* (according to infrared thermometer DT-8855).

Ключевым отличием климатической камеры от открытого грунта является практически полное отсутствие естественного теплового излучения, что не позволяет растениям остывать

столь же интенсивно, как в полевом эксперименте, когда $\Delta T_{L-D} = -3^{\circ}\text{C}$. В ночное время температура поверхности стеклопакета снижается до температуры воздуха в помещении ($\sim 10^{\circ}\text{C}$) и в климатической камере, где T_A снижается медленнее, создаются условия для незначительного теплового излучения с поверхности растений.

Даже в этих условиях, в ночное время, создается длительный (~ 15 часов) период самоорошения *D. draco* (Рис. 8), когда ΔT_{L-D} достигал 0°C через 1,5 часа после выключения света при $T_L \sim 12-14^{\circ}\text{C}$ и снижался до $\Delta T_{L-D} = -1,5^{\circ}\text{C}$.

Кроме того, в климатической камере светодиодное освещение не дает всплеска инфракрасного излучения, сопутствующего началу светового дня в открытом грунте. В данных условиях экстремальное снижение T_L , наблюдавшееся в открытом грунте с 6:00 до 9:00, после включения освещения в 6:00 в климатической камере не обнаружено. Характер изменений температурных характеристик среды (T_A , T_S) был монотонным, и следовал за искусственным суточным ритмом освещенности и температуры. Таким образом, получено косвенное подтверждение интенсивного испарительного охлаждения растений в начале светового дня на открытом воздухе при высоком уровне выпадения росы в ночное время.

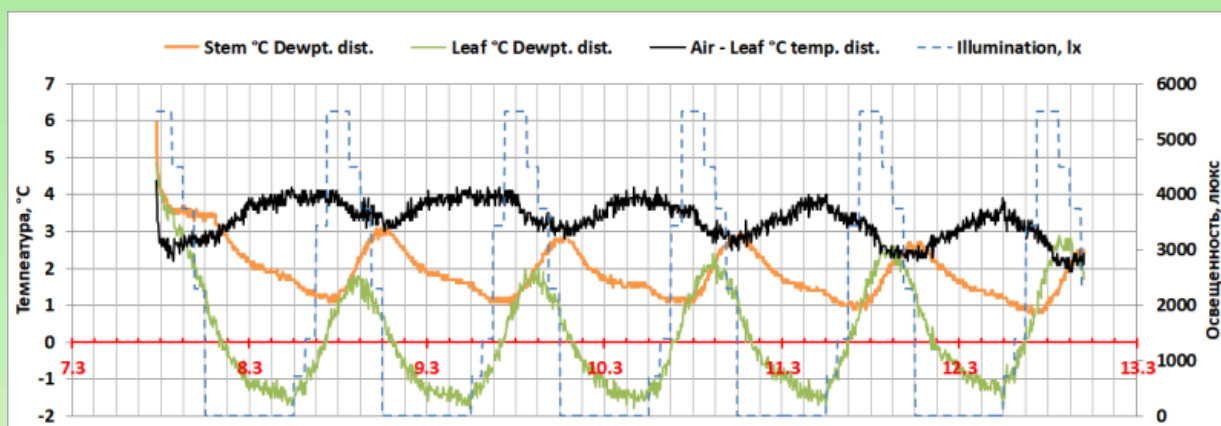


Рис. 8. Отклонения температуры поверхности листьев и стебля *Dracaena draco* от точки росы ($\Delta T_{L-D} = T_L - T_D$) и отклонения температуры воздуха от температуры листьев ($\Delta T_{A-L} = T_A - T_L$) в климатической камере.

Fig. 8. *Dracaena draco* leaf and stem surface temperature deviations from dew point ($\Delta T_{L-D} = T_L - T_D$) and air temperature deviations from leaf temperature ($\Delta T_{A-L} = T_A - T_L$) in the climate chamber.

Расчет количества росы

В 2019 году нами опубликованы результаты экспериментальных исследований (Прохоров, Пяскин, 2019) в результате которых получены значения коэффициента конденсации (K_C) воды на охлажденной поверхности термоэлемента, позволяющие количественно оценить эффективность самоорошения растений. Для оценки количества конденсируемой влаги на поверхности растений необходимы данные о площади поверхности (S_L), отклонениях температуры поверхности от точки росы ($\Delta T_{D-L} = T_D - T_L$) и продолжительности периода времени при которой фиксируются отрицательные значения данного параметра.

Расчет объема выпадающей росы (V_D) велся на основе определенных нами коэффициентов конденсации (Прохоров, Пяскин, 2019) по формуле:

$$V_D = K_C \times \Delta T_{D-L} \times t \times S_L$$

— где коэффициент конденсации, $K_C = 1,25 \text{ мкл}/(\text{см}^2 \times \text{час} \times \text{град})$ – для условий $RH \geq 80\%$ и $T_A \leq 20^\circ\text{C}$; ΔT_{D-L} - отклонение температуры поверхности от точки росы; t - продолжительность времени конденсации (период измерения 5 минут); S_L – площадь поверхности листьев.

Согласно (Marrero, Almeida Perez, 2012) длина листа *D. draco* составляет $79,7 \pm 13,02$ см, а ширина $3,3 \pm 0,4$ см, что дает среднюю суммарную площадь абаксиальной и адаксиальной поверхности одного листа (S_L) $\sim 500 \text{ см}^2$. На диаграмме (Рис. 9) приведены результаты расчета количества росы, выпадающей на 1 м^2 поверхности (~ 20 листьев *D. draco*) каждые 5 минут в открытом грунте.

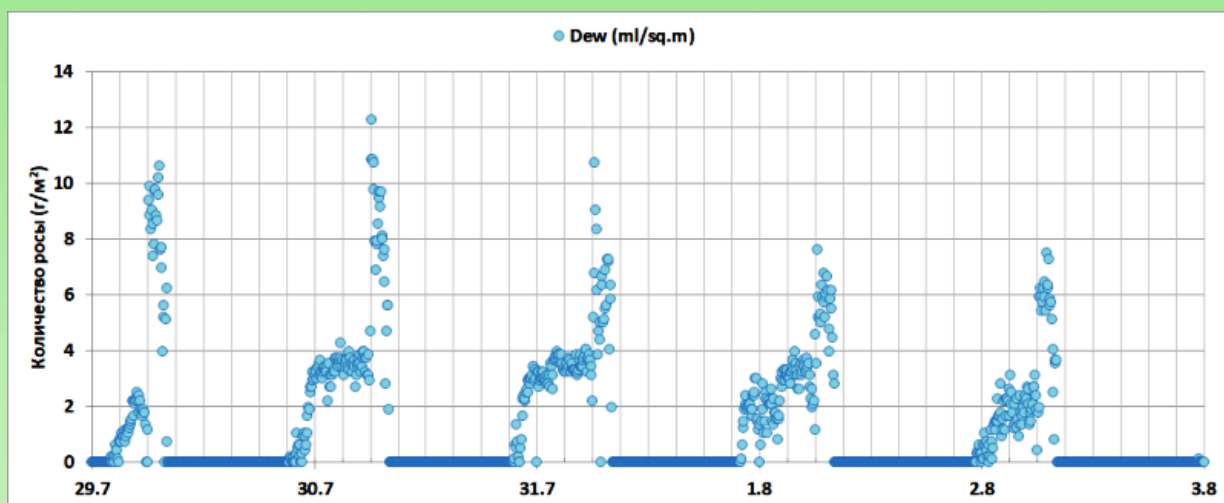


Рис. 9. Расчетное количество росы, выпадающей на 1 м^2 поверхности листьев в течение 5 минут.

Fig. 9. Estimated amount of dew falling on 1 м^2 of leaf surface for 5 minutes.

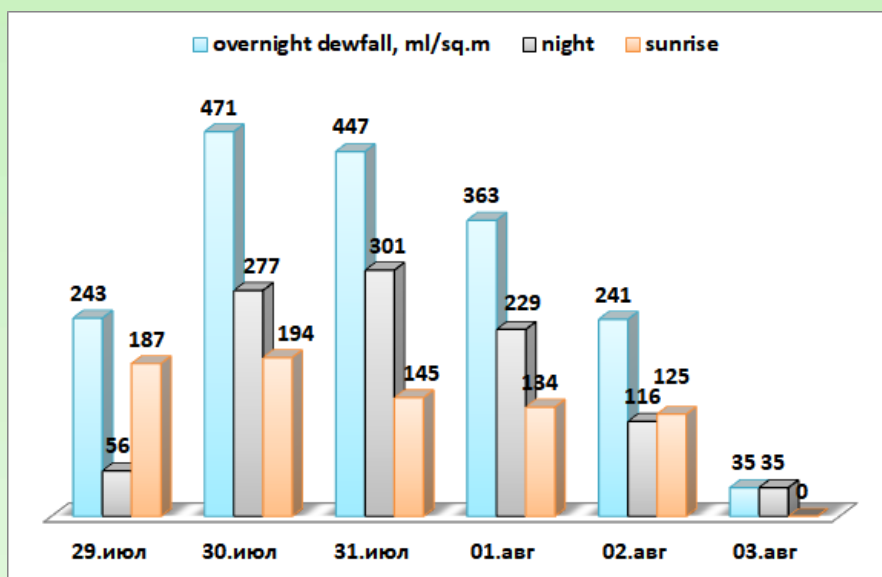


Рис. 10. Расчетное количество росы (мл), выпадающей за сутки на 1 м^2 поверхности листьев, в т.ч. в ночное время и в утренние часы.

Fig. 10. Estimated amount (ml) of dew falling per day per 1 m² of leaf surface.

Общий объем росы (рис.10) состоит из двух компонент: при ясной погоде с 22:00 до 6:00 утра в интервале ΔT_{D-L} 0-4°C конденсируется более половины всего объема росы, с 6:00 до 9:00 в интервале ΔT_{D-L} 0-10°C выпадает от 1/2 до 2/3 ночного объема.

В климатической камере при $\Delta T_{D-L}=1,5^\circ\text{C}$ растение конденсирует около 200 мл росы за 12-14 часов, с максимальным выпадением росы 1,8 мл/м² за 5 минут (рис.11).

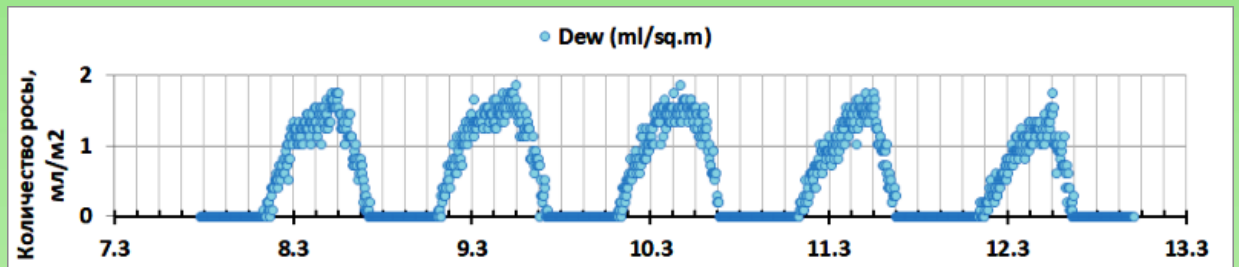


Рис. 11. Расчетное количество росы, выпадающей на 1 м² поверхности листьев в течение 5 минут в климатической камере.

Fig. 11. Estimated amount of dew falling on 1 m² of leaf surface for 5 minutes in the climate chamber.

Выводы и заключение

- На примере драконова дерева (*Dracaena draco* L.) показано, что САМ-растение в аридных условиях способно конденсировать и поглощать в течение ночи воду, добываемую за счет снижения температуры листьев на 3-4°C ниже точки росы с 22:00 до 6:00.
- Сопоставление результатов исследования в открытом грунте и в климатической камере не позволяют сделать однозначный вывод о вкладе теплового излучения и транспирационного охлаждения в снижение температуры листьев. Можно предположить, что в обоих случаях в ночной период имеет место транспирация САМ-растения, охлаждающий эффект которой в открытом грунте усилен тепловым излучением.
- В ходе экспериментов получены данные, свидетельствующие о существовании особого периода в начале светового дня, когда температура поверхности листьев снижается на 5-10°C под открытым небом, сопряженно с быстрым ростом температуры воздуха. В климатической камере такой период отсутствует. Совпадение максимума T_D и минимума T_L позволяет считать испарение росы с поверхности листьев наиболее вероятной причиной сильного охлаждения листьев в утренние часы. Совпадение указанных экстремумов приводит к значительному увеличению выпадения росы (в 3 раза), компенсирующему затраты воды на испарение.
- Рассчитанное количество росы конденсируемое каждым квадратным метром поверхности листьев драконова дерева после захода солнца, составляет около 0,3 - 0,5 литра за 11 часов при T_D в диапазоне 12-15°C и RH>80% в открытом грунте.

Автор всегда недоумевает, когда устьица рассматриваются как орган, отвечающий исключительно за газообмен. В тех случаях, когда устьица открыты, а поверхность листа покрыта росой (дистиллированной водой), они будут функционировать как орган, поглощающий воду по градиенту осмотического давления. Как видно из приведенных экспериментальных данных (Рис. 6, Рис. 8) для САМ-растений такая ситуация типична в ночное время.

А если учесть, что замыкающие клетки у *D. draco* менее защищены восками и расположены рядами (Klimko, Wiland-Szymańska, 2008), то они, как обладающие наиболее гидрофильной

поверхностью, могут являться центрами образования микрокапель росы. Вода поглощается по градиенту осмотического давления устьицами и вполне вероятно, что ночью невозможно наблюдать формирование крупных капель воды. Потерями воды на испарение в ночное время можно пренебречь, следовательно, роса, выпадающая в ночной период, поглощается листьями драконова дерева.

Роса, выпадающая в утренние часы при быстром росте температуры, в значительной степени испаряется, однако ее количество сильно возрастает за счет роста градиента температуры между поверхностью листа и точкой росы. В это время устьица САМ-растения должны быть закрыты. Формирующиеся на поверхности замыкающих клеток капли росы быстро увеличиваются в размере и роса стекает в пазухи листьев, как и капли росы, формирующиеся на участках поверхности, лишенных устьиц.

Использование всей охлажденной поверхности листа для конденсации атмосферной влаги и поглощение выпавшей росы с помощью открытых в ночное время устьиц и поглощающих воду тканей в пазухах листьев - поразительная адаптация к условиям недостатка водных ресурсов, включающая морфологические, анатомические и физиологические приспособления, позволяющие целесообразно использовать многочисленные законы природы и уникальные свойства воды.

Явление самоорошения растений может быть использовано для повышения урожайности культивируемых САМ-растений – ананас, агава, алоэ и др. рост которых связан с накоплением воды в тканях. Оседающая ночью и утром на листьях холодная роса может являться хорошим источником CO₂ для растений, ввиду его большей растворимости при низких температурах.

Благодарности

Это исследование не получило специального гранта от какого-либо фонда в государственном, коммерческом или некоммерческом секторах. Вместе с тем автор искренне благодарен Министерству науки и образования РФ за субсидии 2016-2018 гг., которые позволили нам закупить оборудование, необходимое для научных исследований.

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors. However, the author is sincerely grateful to the Russian Ministry of Science & Education for the funds to universities botanical gardens allowed to buy the equipment needed for research.

Литература

Карпун Ю. Н., Коннов Н. А., Кувайцев М. В., Прохоров А. А. Активная конденсация атмосферной влаги как механизм самоорошения почвопокровных растений // Hortus bot. 2015. Т. 10, с. 11–17. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2802>. DOI: 10.15393/j4.art.2015.2802

Прохоров А. А. Точка росы - неизученный фактор в экологии, физиологии и интродукции растений // Hortus bot. 2015b. Т. 10, с. 4–10. <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801>. DOI: 10.15393/j4.art.2015.2801

Прохоров А. А. Оптимальные климатические условия для конденсации атмосферной влаги на поверхности растений // Hortus bot. 2015a. Т. 10, с. 18–24. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3143>, <https://doi.org/10.15393/j4.art.2015.3143>

Прохоров А.А. Активная конденсация воды растениями // Принципы экологии. ПетрГУ. 2013. № 3. С. 58—61. DOI: 10.15393/j1.art.2013.2921.

- Barthlott, W., & Ehler N. (1977). Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermatophyten. *Tropische Und Subtropische Pflanzenwelt*, p. 105.
- Cushman J. (2017) CAM Plants in *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition) Vol. 1*, pp. 60-77.
- Gates D. M. (1968). Transpiration and Leaf Temperature. *Annual Review of Plant Physiology*, 19, 211–238.
- Jura Morawiec J., Marcinkiewicz J. (2020) Wettability, water absorption and water storage in rosette leaves of the dragon tree (*Dracaena draco* L.) // *Planta* 252:30 <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03433-y>
- Klimko M., Wiland-Szymańska J. (2008): Scanning electron microscopic studies of leaf surface in taxa of genus *Dracaena* L. (*Dracaenaceae*). *Rocz. AR Pozn. 387, Bot.-Stec. 12*: 117-127.
- Lange O. L., & Lange R. (1963). Untersuchungen über Blattemperaturen, Transpiration und Hitzeresistenz an Pflanzen mediterraner Standorte (Costabrava, Spanien). *Flora*, 153, 387–425.
- Marrero A., Almeida Perez R.S. (2012) A new subspecies, *Dracaena draco* (L.) L. subsp. *caboverdeana* Marrero Rodr. & R. Almeida (*Dracaenaceae*) from Cape Verde Islands // *International Journal of Geobotanical Research*, Vol. N.2. pp. 35-40
- Martorell C., & Ezcurra E. (2007). The narrow-leaf syndrome: A functional and evolutionary approach to the form of fog-harvesting rosette plants. *Oecologia*, 151(4), 561–573. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0614-x>
- Nadezhdina N., & Nadezhdin V. (2017). Are *Dracaena* nebulophytes able to drink atmospheric water? *Environmental and Experimental Botany*, 139, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.005>

Circadian rhythms of dragon tree leaf temperature and the amount of dew falling on them

PROKHOROV
Alexey Anatolievich

Petrozavodsk state university,
Leninskiy av., 33, Petrozavodsk, 185910, Russia
alpro@onego.ru

Key words:

hypothesis, experiment, CAM-plants, dew point, leaf temperature, transpiration, thermal radiation, self-watering, dewfall

Summary: Comparison of circadian rhythms of plant leaf temperature and dew point makes it possible to identify time intervals of dew falls. Using the dragon tree (*Dracaena draco* L.) as an example, it was shown that under arid conditions a CAM plant is able to condense and absorb up to ½ liter of water from 1 m² of leaf surface cooled below the dew point during the night. It is assumed that the decrease in leaf temperature is associated with the conjugated action of two factors, thermal radiation and transpiration cooling. During the experiments, data were obtained indicating the existence of a special period at the beginning of daylight hours, when the temperature of the leaf surface drops by 5-10 °C below the dew point. The coincidence of the maximum air temperature and the minimum temperature of the leaves allows us to consider the evaporation of dew from the surface of the leaves as the most likely cause of the strong cooling of the leaves and the precipitation of a large amount of dew in the morning. Using the entire chilled leaf surface to condense atmospheric moisture and absorb the fallen dew with the help of stomata open at night and water-absorbing tissues in the axils of the leaves is a striking adaptation to the conditions of a lack of water resources, including morphological, anatomical and physiological adaptations.

Is received: 10 december 2022 year

Is passed for the press: 08 january 2023 year

References

- Barthlott, W., & Ehler N. (1977). Raster-Elektronenmikroskopie der Epidermis-Oberflächen von Spermaphyten. *Tropische Und Subtropische Pflanzenwelt*, p. 105.
- Cushman J. (2017) CAM Plants in *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)* Vol. 1, pp. 60-77.
- Gates D. M. (1968). Transpiration and Leaf Temperature. *Annual Review of Plant Physiology*, 19, 211–238.
- Jura Morawiec J., Marcinkiewicz J. (2020) Wettability, water absorption and water storage in rosette leaves of the dragon tree (*Dracaena draco* L.) // *Planta* 252:30 <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03433-y>
- Karpun Yu. N., Konnov N. A., Kuvajtsev M. V., Prokhorov A. A. Active condensation of the atmospheric moisture as a self-irrigation mechanism for the ground-covering plants// *Hortus bot.* 2015. V. 10, p. 11–17. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2802>. DOI: 10.15393/j4.art.2015.2802
- Klimko M., Wiland-Szymańska J. (2008): Scanning electron microscopic studies of leaf surface in taxa of genus *Dracaena* L. (*Dracaenaceae*). *Rocz. AR Pozn. 387, Bot, Stec.* 12: 117-127.
- Lange O. L., & Lange R. (1963). Untersuchungen über Blattertemperaturen, Transpiration und Hitzeresistenz an Pflanzen mediterraner Standorte (Costabrava, Spanien). *Flora*, 153, 387–425.

Marrero A., Almeida Perez R.S. (2012) A new subspecies, *Dracaena draco* (L.) L. subsp. *caboverdeana* Marrero Rodr. & R. Almeida (Dracaenaceae) from Cape Verde Islands // *International Journal of Geobotanical Research*, Vol. N.2. pp. 35-40

Martorell C., & Ezcurra E. (2007). The narrow-leaf syndrome: A functional and evolutionary approach to the form of fog-harvesting rosette plants. *Oecologia*, 151(4), 561–573. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0614-x>

Nadezhdina N., & Nadezhdin V. (2017). Are *Dracaena* nebulophytes able to drink atmospheric water? *Environmental and Experimental Botany*, 139, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.005>

Prokhorov A. A. Dewpoint - unstudied factor in ecology, physiology and plant introduction// *Hortus bot.* 2015b. V. 10,., P.4–10. <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=2801>. DOI: 10.15393/j4.art.2015.2801

Prokhorov A. A. Ideal climatic conditions for condensation of atmospheric moisture on the plants' surface// *Hortus bot.* 2015a. V. 10, p. 18–24. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=3143> , <https://doi.org/10.15393/j4.art.2015.3143>

Prokhorov A. Active condensation of water by plants// *Printsipy ekologii. PetrGU.* 2013. No. 3. P. 58—61. DOI: 10.15393/j1.art.2013.2921.

Цитирование: Прохоров А. А. Циркадные ритмы температуры листьев драконова дерева и количество выпадающей на них росы // *Hortus bot.* 2022. Т. 17, 2022, стр. 4 - 18, URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8605>. DOI: [10.15393/j4.art.2022.8605](https://doi.org/10.15393/j4.art.2022.8605)

Cited as: Prokhorov A. A. (2022). Circadian rhythms of dragon tree leaf temperature and the amount of dew falling on them // *Hortus bot.* 17, 4 - 18. URL: <http://hb.karelia.ru/journal/article.php?id=8605>