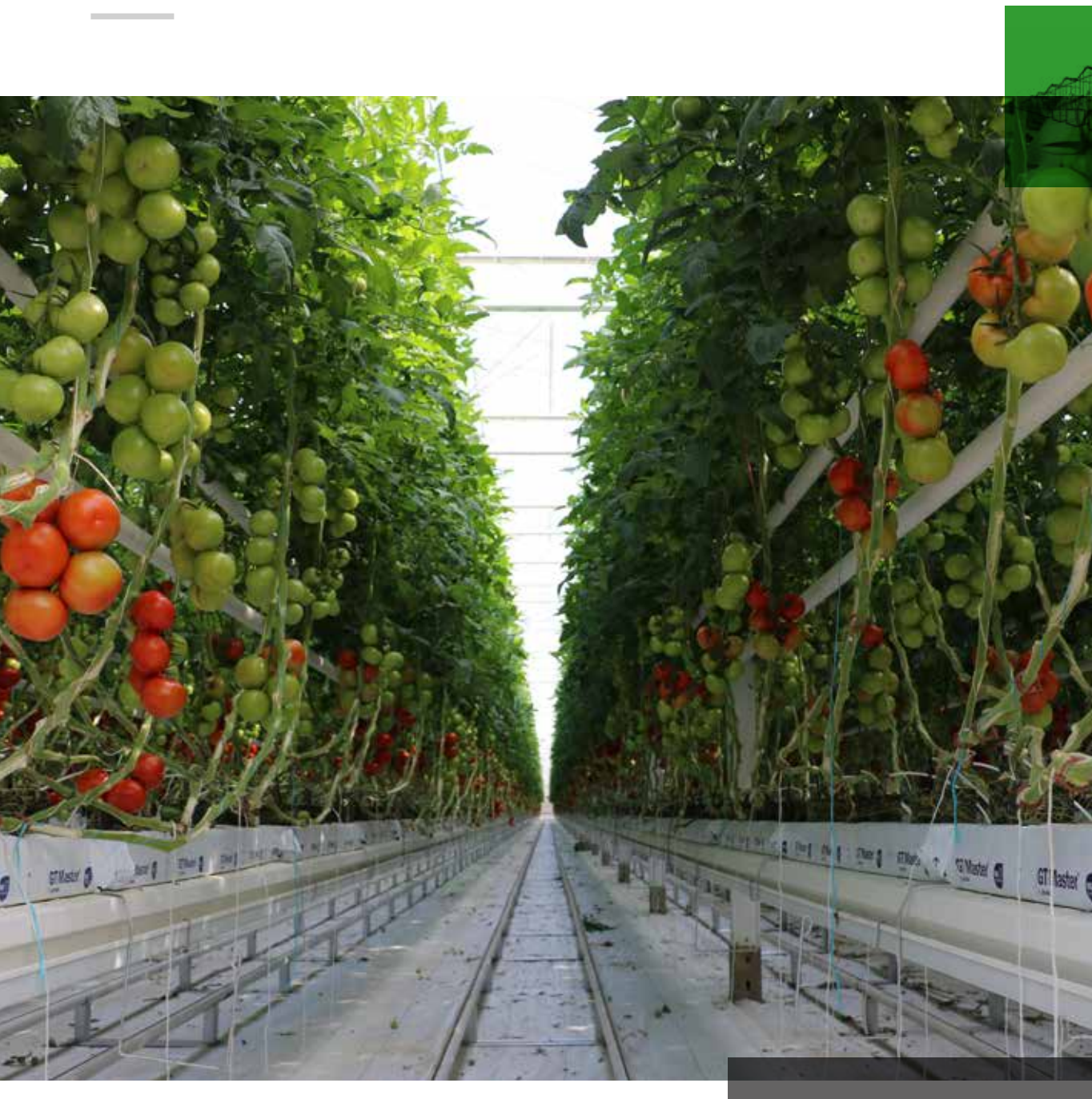


Движение воды по растениям

Как растения используют воду, и о взаимодействии корней и воздушной среды.



Введение

В этой статье специалист Grodan Эндрю Ли (Andrew Lee) рассказывает о физиологии поглощения воды растениями и описывает, как взаимодействуют корневая система и воздушная среда, что даёт возможность агрономам управлять этими процессами в теплице.

Движение воды по растениям

Вода движется по растениям от корней к листьям по ксилемным сосудам за счёт транспирации. Около 90% поглощённой растением воды уходит на транспирацию и 10% используется для роста.

Чтобы лучше это представить, кубический метр воздуха в теплице при 20° вмещает 17г воды. Активно растущая культура выделяет с транспирацией до 4.5 л/м² воды в солнечный день с накоплением 2000 Дж/см². Вода, испаряясь с листьев, охлаждает теплицу как туманообразователи.

Действительно, температура активно транспирирующего листа может быть на 2-6° ниже температуры не транспирирующего. Поэтому важно летом иметь хорошую корневую систему

и оптимальный индекс листовой поверхности для достаточной охлаждающей способности, максимального урожая и поддержания качества плодов. Однако, транспирация порой создаёт проблемы из-за увеличения влажности воздуха за рамки желаемых значений в периоды сырой и пасмурной погоды или при ограниченной вентиляции. Чтобы не возникли проблемы с болезнями растений и качеством плодов важно правильно управлять корневой зоной, в периоды влажного и неактивного климата в теплице.

Понимание, как взаимодействуют корневая и воздушная среда – фундаментальная необходимость для любого агронома. Максимальный результат возможен только когда эти среды сбалансированы.



Рисунок 1.
Понимание корневой среды – это фундаментальная необходимость каждого агронома.

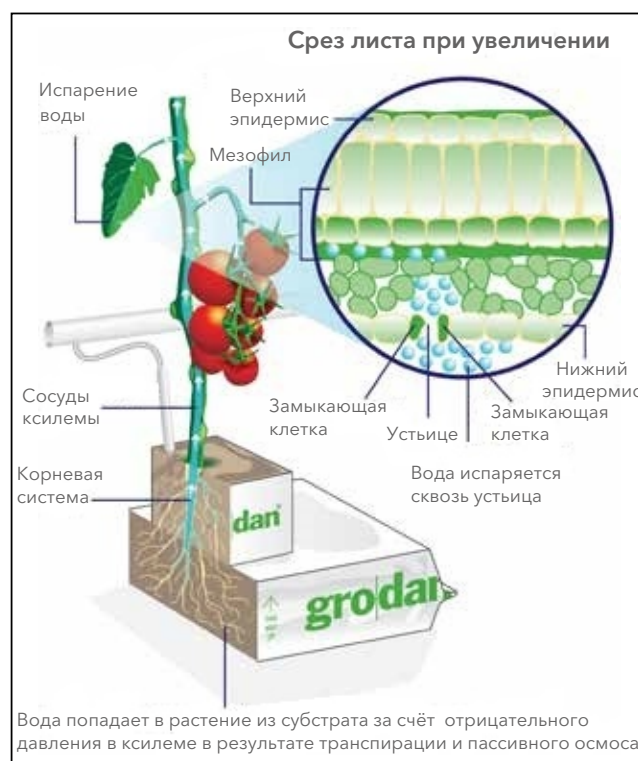


Рисунок 2.
Важно управлять корневой средой правильно.

Транспирация

Транспирация начинается с испарения воды через устьица – крошечные поры с обратной стороны листа, открытые для обмена CO₂ и O₂ во время фотосинтеза. Испарённая вода замещается водой из клеток сразу за устьицами. Она поступает в них из сосудов ксилемы, расположенных внутри листа. Вода попадает в лист и вслед за собой по цепочке подтягивает столб воды в ксилеме от самого корня. Это вдавливают стенки ксилемы внутрь и создаёт отрицательное давление, приводящее к поступлению воды в корень и движению вверх к листьям.

Рисунок 3
Увеличенный срез листа



Роль устьиц в транспирации

Испарение через открытые устьица - главный источник потерь воды растением. Устьица должны открываться для обмена CO_2 и O_2 для фотосинтеза, однако должен соблюдаться баланс между получением CO_2 и потерями воды. Растения добиваются баланса, регулируя степень открытия устьиц.

Открытие и закрытие устьиц, а значит и транспирация, зависят от света. Кроме того, на скорость транспирации влияют тепло и относительная влажность воздуха или, что важнее для растения, дефицит давления водяного пара (ДДВП - VPD, англ.), определяемый как разница между давлением пара внутри устьица и давлением пара в воздухе теплицы. Следовательно, изменения в воздушной среде теплицы - свет, тепло и влажность будут влиять на начало и активность транспирации в течение дня.

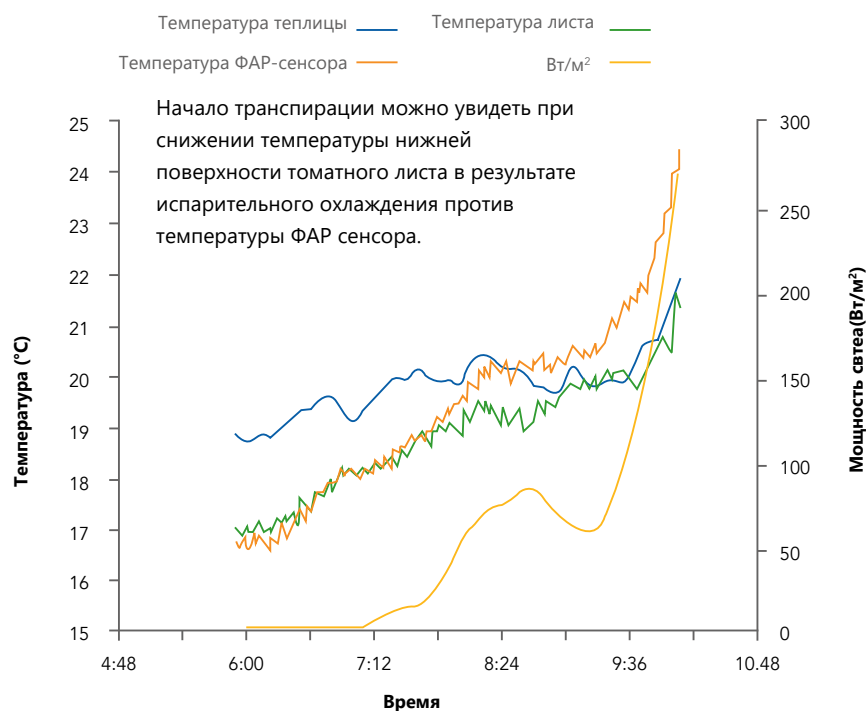
График 1.
Зависимость между температурой томатного листа, температурой датчика активности растений (ФАР-сенсор) и внешней радиацией (источник: Питер Страдиот, Инногрин - Peter Stradiot, Innogreen).

Это влияет на управление корневой зоной.

Устьица открываются утром, когда свет падает на поверхность листа. В условиях теплицы транспирация или активность растений начинаются при интенсивности радиации снаружи $150\text{-}200 \text{ Вт/м}^2$. Это можно увидеть на графике 1 по разнице температур поверхности охлаждающегося транспирацией листа и не транспирирующего датчика. Первый полив должен быть приурочен к этим значениям радиации. Начало транспирации связано со стратегией минимальной температуры труб по утрам. Проницательные читатели уже поняли, почему минимальная температура труб снижается не по времени, а по интенсивности света в пределах $200\text{-}400 \text{ Вт/м}^2$,

в зависимости от типа теплицы. Использование труб при радиации выше 400 Вт/м^2 в этих условиях приведёт только к лишним тратам, поскольку растения уже активны за счёт Солнца. Однако, есть важное исключение. Когда корневая среда холодная, к примеру 12° , то транспирация может отставать до двух часов по сравнению с корневой средой при температуре 17° . В таком случае нужно скорректировать время первого полива и стратегию минимальной температуры труб.

Скорость транспирации будет зависеть от активности климата в теплице, или чем выше температура и ниже влажность, тем выше скорость транспирации. Дальше я кратко опишу две противоположные ситуации.



Солнечный день

Если в течение дня поглощение воды будет меньше, чем расход на транспирацию, клетки потеряют тургор и устьица закроются, предотвращая завядание. Это мгновенно снизит скорость транспирации и фотосинтеза, что приведёт к потерям урожая и качества плодов. Температура растений и воздуха будут расти, вместе с расходами на дыхание пока растение себя не сожжет. Поэтому важно поддерживать качество корневой системы, особенно для растений, переживших зиму и встречающих весну. При активном Солнце

(>1000 Дж/см² в день) рекомендуем связать поливы и сумму накопленной радиации (График 2).

В нормальных условиях значения будут в районе 2.5-3 мл/Дж в зависимости от типа теплицы и влажности воздуха снаружи, если растениям достаточно воды. Действительно, в экстремальную жару можно использовать водопотребление как индикатор производительности культуры и адаптировать стратегию работы шторами и СИОД. Важно понимать, что эти инструменты не должны снижать водопотребление.

Экраны и СИОД используют для помощи растению и корням выдерживать высокую интенсивность Солнца. Чрезмерное использование туманообразования ослабляет растения, а излишнее зашторивание снижает проникание света, а свет даёт урожай. Угол наклона кривой влажности субстрата указывает на активность растений за счёт скорости транспирации. Сравните период с 6:00 до 9:00 за два дня ниже на графике (График 3.0).

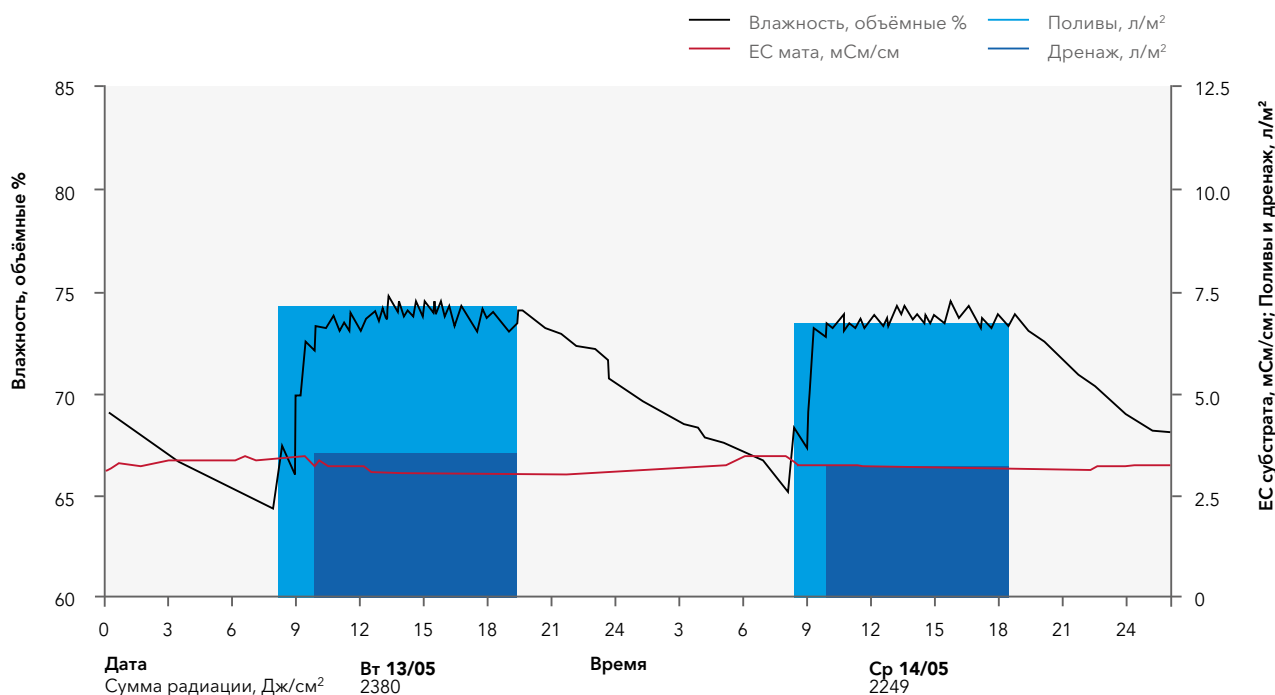


График 2

Поливы культуры перца за два солнечных дня в Голландии. Данные получены с приборов Grosens. Влажность - черная линия, ЕС субстрата - красная линия, Синие колонки - объём вылитой воды и дренаж.

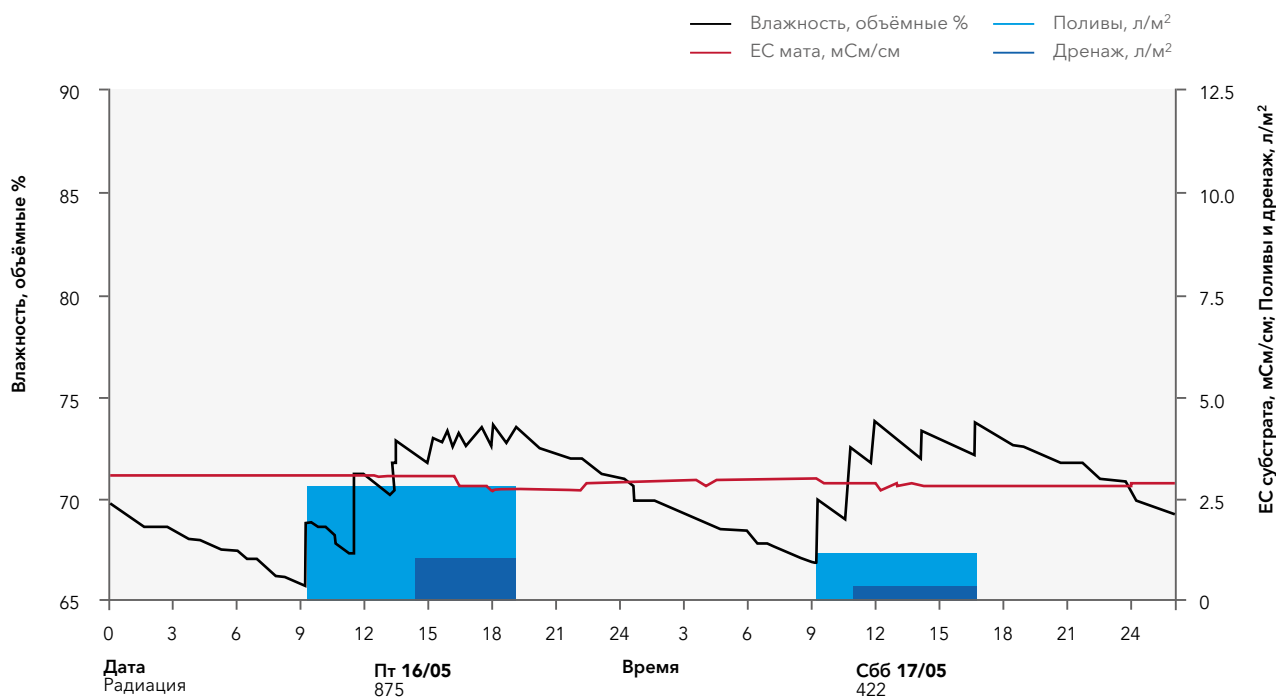


График 3

Поливы культуры перца за два пасмурных дня в Голландии. Данные получены с приборов Grosens. Влажность - черная линия, ЕС субстрата - красная линия, Синие колонки - объём вылитой воды и дренаж.

Пасмурный день

В пасмурные дни будет меньше транспирации, поэтому скорректируйте время начала и окончания поливов. Это легко сделать на современных климатических компьютерах в сочетании с инструментами мониторинга Grosens. В пасмурные дни после полудня несколько часов используйте минимальную температуру труб 50-60° вместе с приоткрытыми форточками для стимулирования активности растений. Это даст растениям поток необходимых элементов питания и поддержит генеративное развитие. Я подробнее расскажу, как использовать корневую среду для управления балансом растений в статье «Понимание и управление корневой зоной в соответствии с шестью фазами развития растений». Тем временем, клиентам Grodan доступна информационная рассылка с рекомендациями о поливах в разные фазы развития растений «модель 6 фаз». Важно не переборщить со стимулированием растений горячими трубами. Часто это приводит к увеличению

влажности за счёт ускорения транспирации и увеличению риска ослабления культуры. Для контроля влажности достаточно минимальной температуры труб в 40°, а учитывая растущие цены на энергоносители и тенденцию к сокращению расходов, то для контроля влажности не следует повышать минимальную температуру труб выше 45°. Например, задайте минимальную температуру труб в 35° с поправкой +10° при увеличении влажности в пределах 80-90%. Если вы не согласны с этими значениями прошу проверить это следующей зимой или весной. На графиках климатического компьютера взгляните на зависимость влажности воздуха и температуры труб. Я ожидаю, что влажность теплицы не изменится при увеличении температуры труб от 40 до 60°. Единственная разница будет в расходе газа! Важно помнить, что самый быстрый способ избавиться от влажности - это открыть форточки, поэтому для сохранения активного климата в такие дни важно держать

температуру обогрева и вентиляции достаточно близко друг к другу. Избегайте агрессивной вентиляции, когда на улице холодно, и свяжите вентиляцию с внешними условиями, поскольку при падении на макушки растений холодный воздух (<13°) снизит транспирацию. Важно помнить, что в пасмурные дни поливы будут срабатывать по максимальному времени ожидания между поливами (График 3). В комбинации с поздним началом, ранним окончанием поливов и минимальной температурой труб убедитесь, что максимальное время ожидания достаточно большое. Это поможет избежать пятнистого окрашивания и растрескивания. Вы поймёте, что максимальное время ожидания слишком большое, по снижению ЕС в субстрате, в то время как в пасмурные дни хотелось бы наоборот небольшого повышения ЕС. Я подробно опишу эти процессы в статье «Принятие обоснованных решений о поливах и управлении ЕС».

Роль активного корневого потребления

Даже когда нет транспирации растение поглощает воду. Это называется активное корневое потребление и проявляется в корневом давлении.

Максимальное корневое давление бывает ночью, когда нет транспирации или при низкой активности растений.

Что вызывает корневое давление?

На поверхности корней есть одиночный слой клеток, содержащий транспортные белки. Это позволяет ионам (например Ca^{2+} и K^+) проникать из раствора в клетки корня. Этот процесс тратит энергию, накопленную во время фотосинтеза, и создаёт концентрированный раствор сахаров в клетках корня. Вода стремится разбавить более концентрированный раствор в клетках и за счёт осмоса проникает внутрь. Растение не может остановить этот процесс, однако агроном, управляя корневой зоной, может предотвратить возможные негативные последствия для растения и плодов, например растрескивание и последующие инфекции. Более детально проблемы

качества плодов и роль управления корневой зоной разобраны в статье «Управление корневой зоной и влияние на качество плодов». Для предотвращения корневого давления я всегда рекомендую заканчивать поливы до заката и избегать агрессивного снижения ЕС на подаче при увеличении радиации (Вт/м^2). Это позволяет избежать низкого ЕС, когда транспирация снижается, ведь высокое ЕС в субстрате ограничивает осмотический поток воды в клетки корня. Я всегда напоминаю, что ЕС в субстрате должно быть минимальным, когда радиация максимальна! На корневое давление влияет много факторов, и я собрал ниже (Таблица 1).

| Фактор | Причина |
|--------------------------|---|
| Прививка | Корневая система больше |
| Тёплый субстрат | Более активное дыхание корневой системы создаёт большой поток ионов |
| Низкая нагрузка плодами | Меньше буферной способности растения |
| Сырая и пасмурная погода | Меньше транспирации |
| Низкое ЕС в мате | При снижении транспирации в конце дня низкое ЕС позволяет большему количеству воды проникнуть в корень за счёт осмоса |

Таблица 1
Факторы, влияющие на корневое давление



Заключение

Корневую систему можно описать как машинное отделение растения. Корни в хорошем состоянии позволят растению больше транспирировать. Однако начало и скорость транспирации зависит от условий в воздушной среде. Поэтому условия в корневой зоне должны соответствовать условиям в воздушной среде для поддержания баланса растений, качества плодов и скорости развития растений. Этого можно добиться пониманием, как работает субстрат и как агроном может его использовать при разработке стратегии полива на климатическом компьютере. За многие годы Grodan собрал большой объем знаний в этой области.

Об авторе
Эндрю Ли (Andrew Lee) защитил свою диссертацию Университете Лондона, Англия. Он работает в Grodan 20 лет оказывая техническую поддержку клиентам по всему миру.

Grodan поставяет инновационные и экологичные субстраты из каменной ваты для профессионального растениеводства по принципам Точного выращивания. Наши субстраты широко применяются для выращивания овощей и цветов. Помимо субстратов из каменной ваты, Grodan также предлагает индивидуальные рекомендации и инструменты для поддержки точного выращивания, способствуя экологичному производству здоровой, безопасной и вкусной продукции для потребителей.

Rockwool BV / Grodan

Industrieweg 15
P.O. Box 1160, 6040 KD Roermond
The Netherlands

t +31 (0)475 35 30 20
f +31 (0)475 35 37 16
e info@grodan.com
i www.grodan.com
in www.linkedin.com/company/grodan
➤ www.twitter.com/grodan
@ [@grodaninternational](https://www.instagram.com/grodaninternational)

ROCKWOOL® и Grodan®
зарегистрированные торговые марки
ROCKWOOL Group.

Grodan -
единственный
поставщик субстратов
из каменной ваты
сертифицированный
EU-Eco label.



EU Ecolabel: NL/048/001