

## ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *TRIFOLIUM REPENS* С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДСКИХ КРЫШ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ЭФФЕКТА ТЕПЛООВОГО ОСТРОВА

Т.С. Демчук

Научный руководитель профессор Н.В. Барановская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Примерно 32 % всех горизонтальных поверхностей в городах могут представлять площади крыш [1]. Тенденция покрытия крыш растительностью (что было названо впоследствии «зелёные крыши») появилась как один из способов использования экосистемных услуг. В городской среде они способны выполнять следующие функции: эвапотранспирация, эстетическая, экономическая, очищение воздуха. Экокрыши могут обеспечить термическую защиту и сократить тепловые потери зданий. Они также продляют срок использования покрытий, сокращают эффект теплового острова, что порождает значительную разницу температур между близлежащими территориями. Например, средняя годовая температура воздуха в городе с количеством жителей более 1 миллиона человек может быть от 1 до 3°C выше, чем в местности за городом, при этом разница температур ночью может достигать 12°C [3, 4]. В Европе зелёные крыши уже были опробованы в Норвегии, Германии и Дании. Есть несколько примеров зелёных крыш в России, установленные в рамках научных исследований.

*Trifolium repens* – это один из потенциальных видов, который может быть использован в качестве покрытия для зелёных крыш – методу, набирающему популярность для борьбы с эффектом теплового острова в городах. Мы провели анализ параметров фотосинтеза, транспирации и биомассы данного вида в зависимости от разных типов и высоты почвенного субстрата. Полученные результаты демонстрируют, что факторы по-разному влияют на исследуемые параметры, что предполагает применение анализа компромисса (trade-off) между функциями зелёных крыш и выполняемыми ими экосистемными услугами

Материалы и методика

Первая часть исследований была реализована с августа 2013 года по январь 2014 года на экспериментальной площадке в теплицах Центра исследований экспериментальной и превентивной экологии CEREP в Иль-де-Франс (Centre de Recherche en Ecologie Expérimentale et Prédictive, Ile-de-France). Целью исследования являлось изучение 400 растений, принадлежащих 20 видам (5 семей, 2 рода, 2 вида в каждом роду) на двух различных почвенных основах, названных FJ и SP (SP – «искусственная» почва на основе пццолана, FJ – натуральный почвенный песочно-илистый субстрат). Высота почвенного слоя составляла 10 и 30 см.

Необходимо было изучить условия развития растений, степень выполнимости экосистемных функций в условиях их произрастания на зелёных крышах, к которым, в том числе, относятся транспирация растений и их биомасса.

Результаты экспериментального анализа

### 1. Транспирация и фотосинтез

Измерение коэффициентов фотосинтеза и листовой транспирации осуществлялись с помощью анализатора «LI-6400XT». Эта система позволяет измерять обмен CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O между листом и камерой измерений [2]. Условия освещения в камере варьируются в PAR (Photosynthetically available radiation) от 0 до 1200 моль фотонов/м<sup>2</sup>/секунду. Измерения проводились при интенсивностях света: 1200, 900, 600, 300 и 0  $\mu$ mol.

LI-6400 XT не позволяет считать газовый обмен, если площадь листа неизвестна. Этот параметр был просчитан с помощью программного обеспечения по обработке и анализу изображений «ImageJ» и Excel.

Статистический анализ был проведён для всех 400 растений. Только вид FJ на 10 см удерживает значительно больше воды по сравнению с другими.

2. Для установления взаимосвязи между высотой/типом почвы и биомассой *Trifolium repens* мы отделили и взвесили 3 части каждого растения: общая биомасса, биомасса подземной и надземной части. Наибольший объём надземной части биомассы соответствует высоте в 30 см для почвы SP.

3. Статистический анализ на установление корреляции между фотосинтезом / транспирацией / биомассой / влажностью и высотой почвы, типом почвы и обоими параметрами был проведён с помощью программы «R» для проведения анализа вариации и «Excel» для составления графиков. Значения P в таблице характеризуют вероятность принять гипотезу (о том, что зависимость есть), в то время как она не верна. Жирным шрифтом выделены значения P, попавшие в промежутки от 0 до 5 %.

Связь с высотой почвы более значительна для фотосинтеза и для биомассы. Тип почвы связан также с фотосинтезом и с транспирацией, два фактора связаны с возможностью поглощать воду.

Таблица

Анализ статистических данных в «R» (освещение 1200  $\mu$ mol)

	Фотосинтез	Транспирация	Наземная биомасса	Общая биомасса	Потери воды
Высота почвы	<b>0,048001</b>	<b>0,30404</b>	<b>0,0002806</b>	<b>0,0009099</b>	<b>0,38721</b>
Тип почвы	<b>0,00705</b>	<b>0,01851</b>	<b>0,1612697</b>	<b>0,2198731</b>	<b>0,63293</b>
Два параметра	<b>0,93616</b>	<b>0,97981</b>	<b>0,3282792</b>	<b>0,3755573</b>	<b>0,01618</b>

Статистические результаты представлены графически на рисунках 1 и 2, где также обозначены вероятность стандартного отклонения в значениях фотосинтеза и транспирации. Буквы над гистограммами соответствуют результатам теста Turkey.

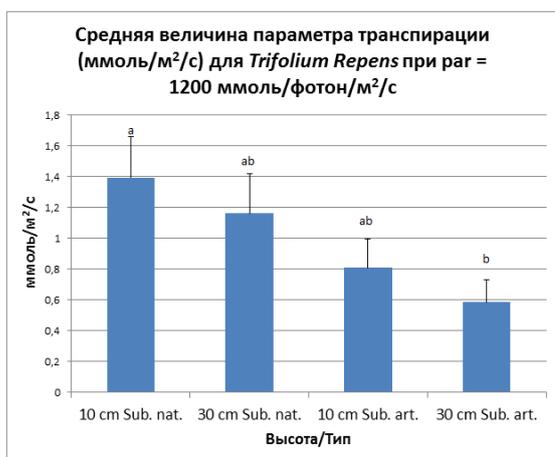


Рис. 1. Значение транспирации при  $PAR=1200$

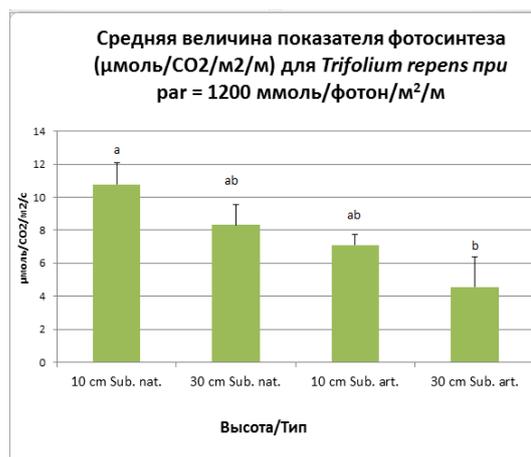


Рис. 2. Значение фотосинтеза при  $PAR=1200$

Результаты, полученные в ходе эксперимента, позволяют сделать следующие выводы:

1. Для изучаемого вида фотосинтез как способность испаряться (и охлаждать) достигает наибольших показателей в почве FJ 10 см при всех показателях освещения

2. Анализ потерь воды показывает, что способность удерживать влагу выше так же для субстрата FJ на 10 см для всех 400 видов растений. Это позволяет рассматривать взаимосвязь между этим параметром и фотосинтезом, что может являться ключевым фактором для развития применения зелёных крыш.

3. Биомасса составляет наибольший объём на почве высотой 30 см. Этот показатель был наиболее важен, чем тип субстрата; очевидно, что высота в 10 см не позволяет достичь большой биомассы. При этом высота почвенного слоя на зелёных крышах зачастую меньше чем 10 см.

Рекомендации для дальнейших исследований

Вторая часть исследований будет реализована в 2014-2016 году (проект CDCBiodiversité 2013-2016 «Toitures végétalisées: fonctionnement et dynamique des services écosystémiques associés») и направлена на изучение взаимосвязи/взаимодействий между условиями произрастания/функциями/экосистемными услугами в масштабах сообщества на возможность их эффективного применения на зелёных крышах в реальных условиях. Учитывая приведённые выше выводы, необходимо включить в следующую часть исследования несколько дополнительных направлений.

1. Осуществить дополнительные замеры параметров фотосинтеза и эвапотранспирации. Необходимо выяснить, зависит ли действие фотосинтеза от временных или климатических параметров. Необходимо интегрировать как долгосрочный, так и краткосрочный эксперимент.

2. Пронаблюдать эволюцию значимости и реализации функций (услуг) во времени и развитие биомассы в зависимости от условий произрастания и вида.

3. Анализ показал, что у *Trifolium repens* показатель транспирации достигает максимума в различных условиях, но где его биомасса наиболее высока. Таким образом, первый случай эффективен в борьбе с эффектом теплового острова в городе, в то время как второй благоприятствует развитию эстетического фактора и в целом совокупности экологических функций, связанных с их стабильностью. Возможно, необходимо найти компромисс рядом функций: биомасса/стабильность/эстетизм и фотосинтез / эвапотранспирация. Компромисс (англ. trade-off) подразумевает такое соответствие между параметрами, где качественная потеря одного компенсируется возрастанием мощности другого.

4. Определить более точно, почему фотосинтез наиболее эффективен на почве FJ. Является ли тому причиной гомогенность/гетерогенность почвы или наличие микроорганизмов и нутриентов. В теории фотосинтез может увеличиваться в неблагоприятных условиях для компенсации негативных факторов.

#### Литература

1. Dusza Y., Pacteau C., Abbadie L. Toitures végétalisées et services écosytémiques. Presses Universitaires de Laval à paraître.
2. LI-6400XT Licor System: Photosynthesis, Fluorescence, Respiration, manual.
3. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, 2008, United States Environmental Protection Agency.
4. Tikhomirov A.A. Spectral compositions of light and growing of plants in controlled environments // International Lighting in Controlled Environments Workshop / ed. T.W. Tibbitts. – NASA-CP-95-3309, 1994. – P. 25-29.