

УДК 581.116.087.9

МОДИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ГИП-7М И ГИП-10 МБ2 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТРАНСПИРАЦИИ В ТОКЕ ВОЗДУХА ¹

Н. Н. ТРЕТЬЯКОВ, Б. Н. СОСНИН, Е. И. КОШКИН, М. В. МОТОРИНА
(Кафедра физиологии растений)

Использование приборов для записи бы-
стротечных изменений каких-либо функций
в ответ на внешнее воздействие позволяет
изучать физиологические процессы без на-
рушения целостности живого организма и

без существенных изменений в окружаю-
щей среде.

В настоящее время в лабораторных и по-
левых исследованиях применяются ИК-га-
зоанализаторы, при помощи которых мож-
но вести непрерывное измерение и автома-
тическую регистрацию поглощения, выде-
ление CO_2 [1, 3, 4, 10, 11] и выделения па-
ров воды [12, 13]. Кроме того, для опре-

¹ Конструктивные изменения ИК-газо-
анализаторов произведены инженером
Б. Н. Сосниным.

деления потерь воды растением с успехом используются соединенные с электронными самописцами датчики влажности, учитывающие изменение сопротивления влагочувствительного слоя [10, 14], а также приборы, регистрирующие изменения диэлектрических свойств потока воздуха [8, 9]. Принципиально возможно использование для измерения транспираций растений прибора УДРОВ — устройства для дистанционного измерения и регистрации относительной влажности воздуха [6].

Названные типы гигрометров после соответствующей градуировки позволяют вести непрерывный учет транспирации в потоке воздуха, проходящего мимо интактного листа или целого растения, в лаборатории или, при возможности дистанционного измерения, в поле.

Наиболее перспективными приборами для подобного рода исследований являются ИК-газоанализаторы. Хорошо зарекомендовали себя газоанализаторы «URAS» (ФРГ), «Инфралит» (ГДР), предназначенные для регистрации CO_2 или паров воды в токе воздуха. В нашей стране выпускаются ИК-газоанализаторы только для измерения концентрации CO_2 и нет аналогичных приборов для измерения паров воды в токе воздуха.

Наша работа посвящена изучению возможности использования для дистанционного измерения относительной влажности воздуха и интенсивности транспирации приборов ГИП-7М и ГИП-10 МБ2 производства НПО «Химвтоматика», предназначенных для измерения CO_2 . Для этого в газоанализаторе ГИП-10 МБ2 со шкалой 0,005 % CO_2 (ламповый вариант) были сделаны следующие изменения:

1 — повышен коэффициент усиления усилителя, исключена работа усилителя в режиме ограничения при больших сигналах (уменьшены сеточные токи и анодные нагрузки);

2 — уменьшено напряжение накала излучателей с целью смещения излучения в сторону длинных волн;

3 — вместо лучеприемника, заполненного смесью CO_2 с азотом, установлен оптико-акустический приемник (ОАП), содержащий пары аммиака, который позволяет осуществлять избирательный анализ паров воды.

В схему выпускавшегося ранее прибора ГИП-7М со шкалой 0,05 % CO_2 внесены следующие изменения:

1 — полностью отключена схема компенсации (вторичный усилитель, реверсивный двигатель РД-0,9), убрана компенсационная заслонка;

2 — на выходе первичного усилителя включен переменный резистор «установка шкалы» (около 5 кОм);

3 — в схему питания излучателей включен переменный резистор «репер», сопротивление которого устанавливается при градуировке шкалы прибора и фиксируется; в дальнейшем подключение этого резистора тумблером параллельно одному из излучателей позволяет производить проверку шкалы прибора без использования контрольных смесей паров воды в воздухе;

4 — установлен ОАП, заполненный парами аммиака. Регистрация показаний производится потенциометром КСП-4, подключенным к выходу усилителя.

Градуировка шкалы газоанализаторов в

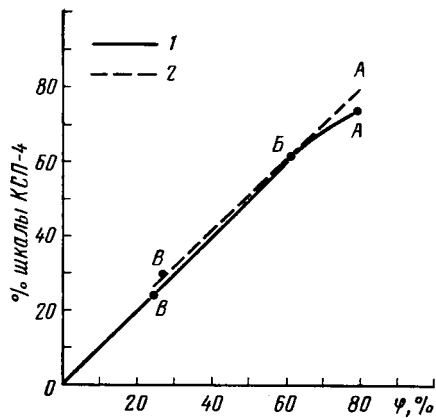


Рис. 1. Калибровочная кривая прибора на базе ГИП-7М (1) и УДРОВ (2) для измерения транспирации.

пределах 0—80 % относительной влажности воздуха (ϕ) проводилась одновременно на приборах ГИП-7М и УДРОВ по четырем точкам (рис. 1). Нулевая точка устанавливалась путем одновременного пропускания осушенного воздуха 40 л/ч через обе кюветы газоанализатора. Затем в сравнительную кювету подавался осушенный воздух, а в рабочую кювету — воздух, относительная влажность которого (78,7 %) создавалась путем пропускания его по замкнутой системе над раствором H_2SO_4 . После установки точки А (78,7 %) проверялась и корректировалась нулевая точка. Затем в сравнительную кювету вновь подавался осушенный воздух, а в рабочую — воздух с относительной влажностью 59,0 % (точка Б) и устанавливалась точка, соответствующая этой влажности. Точка В устанавливалась по данным психрометра Ассмана при подаче воздуха из камеры. Подача осушенного и влажного воздуха осуществлялась микрокомпрессорами МК-1. В помещении климатической камеры лаборатории искусственного климата Тимирязевской академии, где производилась градуировка шкалы газоанализатора, поддерживалась постоянная температура 20°.

При высокой относительной влажности воздуха наблюдается нелинейность шкалы ГИП-7М (рис. 1).

Присутствие в анализируемом воздухе небольших количеств CO_2 не сказывалось на показаниях прибора, так как в зоне ИК-спектра с длиной волн 6,3 мкм, в которой работает лучеприемник ОАП, нет линии поглощения CO_2 . Действительно, у аммиака максимум поглощения в ИК-спектре находится в области 6,2 мкм, у воды — 6,3, а у CO_2 — 4,3 мкм. Таким образом, отсутствует перекрестная чувствительность к CO_2 и NH_3 , что позволяет обходиться без химических поглотителей CO_2 , которые могут существенно исказить результаты анализа.

Для пересчета показаний, полученных по шкале прибора в процентах относительной влажности, в абсолютное количество воды T , испаряемой растением, использована формула, взятая из [6]:

$$T = (B_{\text{опт}} - B_{\text{исх}}) \cdot E \cdot V / S, \text{ мг } \text{H}_2\text{O} \cdot \text{дм}^{-2} / \text{ч}^{-1},$$
 где $B_{\text{исх}}$ — исходное состояние при пода-

Зависимость транспирационного отношения от условий освещенности (температура 22°, относительная влажность 76 %)

Освещенность, Вт/м ²	Интенсивность фотосинтеза, мг СО ₂ · дм ⁻² × ч ⁻¹	Интенсивность транспирации, мг Н ₂ О · дм ⁻² × ч ⁻¹	Н ₂ О:СО ₂
60	7,62 ± 0,24	558 ± 31	73
30	4,05 ± 0,14	456 ± 30	113

че одинаковых потоков воздуха в обе кюветы прибора (нулевая точка), % шкалы; $V_{оп}$ — то же в момент определения транспирации; E — количество воды при полном насыщении при той температуре и том давлении воздуха, которые наблюдаются в момент опыта, г/см³; V — расход воздуха в системе, л/ч; S — площадь листа, дм².

Сравнительные испытания газоанализаторов указанных модификаций проводились в лаборатории искусственного климата с ноября 1981 г. по март 1982 г. и показали, что газоанализатор ГИП-10 МБ2 отличается более медленной реакцией по сравнению с ГИП-7М. Время начала реагирования указанных приборов составляет соответственно 60 и 15 с, а время выхода на показания — 120 и 30 с. Это объясняется тем, что у первого прибора больше объем кюветы (630 см³), чем у второго (130 см³), в результате воздух, подающийся из щипки (объем 19 см³) в кювету прибора ГИП-10 МБ2, многократно разбавляется. Изменение температуры анализируемого воздуха от 10 до 35° не влияет на показания газоанализаторов, так как их кюветы термостатированы при температуре 40°.

В связи с поисками условий, обеспечивающих наивысшую продуктивность растений, в частности повышение эффективности использования воды на создание сухого вещества, особый интерес представляют взаимосвязь между фотосинтезом и транспирацией и способы их регуляции в растительном организме. Внешние и внутренние факторы, оказывая влияние на транспирацию и фотосинтез, меняют и их соотношение ($\Delta H_2O : \Delta CO_2$). При рассмотрении растительного организма как саморегулирующейся системы нужно знать те регуляторные механизмы, которые обеспечивают приспособление растений к меняющимся условиям среды. Изучение характера ответных реакций, которые при изменении условий среды приводят клетки в новое равновесное состояние, является важным источником данных о регуляторных системах.

Наряду с отработкой методических вопросов изучения транспирации с помощью ГИП-7М в настоящей работе сделана попытка количественно оценить транспирационное отношение на интактных растениях фасоли в стационарных условиях (при постоянстве факторов внешней среды) и в динамике, во время переходного процесса, возникающего при быстром изменении водного режима растения, вызванного срезанием черешка листа, и транспирацию у неот-

деленных листьев при изменении скорости тока воздуха.

Значения интенсивности транспирации получены на приборе ГИП-7М, а интенсивности фотосинтеза — на ГИП-10 МБ2. В таблице приведены данные, относящиеся к опытам по сравнительному измерению фотосинтеза и транспирации при различном сочетании факторов внешней среды, и результаты расчетов транспирационного отношения ($H_2O : CO_2$). В качестве объекта исследования служили листья 60-дневной фасоли, выращиваемой в водной культуре.

Следует отметить, что абсолютные значения фотосинтеза и транспирации заметно меняются при изменении освещенности. Однако относительное падение транспирации при снижении освещенности с 20 до 30 Вт/м² меньше, чем снижение поглощения углекислоты. В результате этого транспирационное отношение возрастает с 73 до 113.

Представляет интерес регистрация транспирации при внезапных воздействиях на лист или целое растение. Имеются данные об изменении транспирации в ответ на срезание листа в воздухе [4, 6, 7]. В этом случае наблюдается кратковременная активация транспирации, подобная активации фотосинтеза [2, 5, 6].

На рис. 2 приведены типичные кривые хода фотосинтеза и транспирации листа фасоли в ответ на срезание. Обращает на себя внимание, во-первых, однозначность изменений в фотосинтезе и транспирации: вначале наблюдается подъем, а затем спад поглощения СО₂ и выделения паров воды; во-вторых, параллелизм в разворачивании процессов во времени, особенно при срезании в сухом воздухе (во влажном он незначительно нарушается, т. е. ход транспирации замедлен по сравнению с фотосинтезом).

При регистрации в токе воздуха важно выявить особенности влияния скорости воздуха на интенсивность транспирации. В данном опыте скорость тока воздуха была незначительной и изменялась от 5,4 до 18 см/с, что соответствует нормам расхода от 30 до 100 л/ч. С увеличением скорости ветра интенсивность транспирации возрастает (рис. 3). Эта зависимость сохраняется как в сухом, так и во влажном воздухе. В условиях нашего опыта при освещенности 60 Вт/м² температура листьев, видимо, несколько ниже температуры воздуха. Увеличение скорости тока воздуха в указанных пределах приводит к повышению конвективного теплообмена между листом и воздухом, температуры листа и понижению его водного потенциала. В результате наблюда-

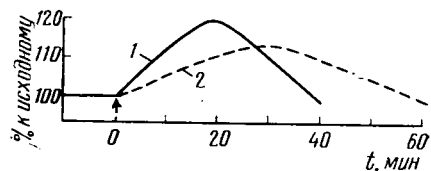


Рис. 2. Временной ход фотосинтеза (1) и транспирации (2) листа фасоли после перерезания черешка в воздухе (относительная влажность во время опыта 35 %). Стрелкой указан момент срезания.

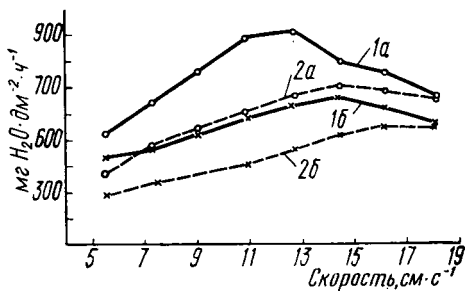


Рис. 3. Транспирация листьев фасоли при увеличении (1) и уменьшении (2) скорости тока воздуха. Освещенность во время измерений 60 (а) и 30 Вт/м² (б).

ется усиление транспирации, но только до скоростей порядка 10–12 см/с. Затем начинается постепенное падение интенсивно-

сти транспирации. Уменьшение скорости воздуха с 18 до 5,4 см/с способствует снижению интенсивности транспирации. Аналогичная тенденция наблюдается и при снижении освещенности до 30 Вт/м², однако в этом случае интенсивность транспирации ниже и крутизна кривых менее выражена.

Для того чтобы оценить объективность данных транспирации, полученных указанным способом, мы сравнивали их с результатами весового метода. Из 10 сравнительных измерений значения транспирации у листьев кукурузы по показаниям газоанализатора составили $960 \pm 40,5$, а по данным весового метода — $1080 \pm 40,7$ мг H₂O на 1 дм²·ч. Мы находим это совпадение достаточно удовлетворительным.

Таким образом, испытания показали перспективность применения ИК-газоанализаторов отечественного производства после соответствующих модификаций при изучении процесса транспирации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликов П. С., Моторина М. В., Куркова Е. Б. Опыт применения инфракрасного газоанализатора (ГИП-5) для определения интенсивности фотосинтеза. — Изв. ТСХА, 1960, вып. 3, с. 32–39. — 2. Беликов П. С., Моторина М. В., Куркова Е. Б. Кратковременная активация фотосинтеза как проявление раздражимости у растений. — Изв. ТСХА, 1962, вып. 1, с. 47–60. — 3. Карпушкин Л. Т. Применение инфракрасного газоанализатора для изучения CO₂-газообмена растений. — В кн.: Биофизич. методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971, с. 44–71. — 4. Малофеев В. М., Авакимова Л. Г. Фотосинтез, транспирация и некоторые оптические свойства отрезанного листа фасоли. — Изв. ТСХА, 1969, вып. 2, с. 13–21. — 5. Моторина М. В., Карманов В. Г., Беликов П. С. Сопряженность интенсивности видимого фотосинтеза с движением воды

по растению. — Докл. ТСХА, 1965, вып. 115, с. 171–176. — 6. Моторина М. В., Невская Р. И. Прибор для измерения транспирации в токе воздуха. — Докл. ТСХА, 1971, вып. 161, с. 101–105. — 7. Brun W. A. — Plant Physiol., 1965, vol. 40, N 5, p. 794–802. — 8. Falk S. O. — Z. Pflanzenphysiol., 1966, Bd 55, N 1, S. 31–37. — 9. Gauhl E., Bjorkman O. — Planta (Berl.), 1969, vol. 88, N 1, p. 187–191. — 10. Louwerse W., Oorschot I. L. P. van. — Photosynthetica, 1969, N 4, p. 305–315. — 11. Nilwik H. I. M., Bohmer H. Ten. — Meded. Landbouwhogeschool, Wageningen, 1981, N 4, S. 9. — 12. Polster H., Fuschs S. — Biologische Central Blatt, 1960, Bd 75, H. 4, S. 465–479. — 13. Raschke K. — Ber. Deutsch. Bot. Gesell., 1961, Bd 80, N 2, S. 138–144. — 14. Wallihan E. F. — Pl. Physiol., 1964, vol. 39, N 1, p. 86–90.

Статья поступила 2 августа 1982 г.

SUMMARY

The article describes a modification of infrared gas analyzer GIP-7M and GIP-10 MB-2 for measuring transpiration and photosynthesis, respectively, in the flow of air. The articles gives the results of experiments studying responsive reactions of plants to leaf cut-off on the basis of transpiration and photosynthesis, and revealing the dependence of transpiration on the air flow speed in the chamber and on the value of transpiration under different intensity of plant illumination.