

Л. А. Аракелова

ИСПАРЕНИЕ С РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОЙ ГИДРОПОНИКИ

Экспериментальное изучение испарения с растительного покрова в условиях открытой гидропоники в Армении впервые было начато автором в 1967г. и продолжалось в течение четырех лет (1967-1970гг.) на гидропонической экспериментальной станции Института агрохимических проблем и гидропоники АН АрмССР под руководством академика Г. С. Давтяна. Гидропоническая экспериментальная станция расположена среди орошаемых полей, занятых виноградниками, плодовыми насаждениями и овоще-бахчевыми культурами.

Для изучения испарения с растительного покрова автором была оборудована специальная водно-испарительная площадка с весами и испарителями, площадью 2000 см², глубиной 25 см, наполненными различными наполнителями (вулканич. шлак, пемза, почва, гравий и смесь (гравий 70% + вулканич. шлак 30%). Размеры фракций наполнителя от 2 до 20 мм. Общий вид испарителей с растениями и без растений показан на рис. 1. Описание методики измерения испарения приведено в ранее опубликованной работе /2/.

Испарение с водной поверхности определялось испарителем ГТИ-3000, осадки измеряли наземным дождемером.

При изучении сезонного хода суммарного испарения (Е мм/сутки) с растительного покрова (базилик обыкновенный и редис) и испарения с наполнителей без растений с уровнем подпитывания $h = 2$ см (рис.2) установлено, что наибольшее суммарное испарение с растительного покрова наблюдается в период их активной вегетации. Ход испарения изменяется в зависимости от метеорологических условий. Так, в 1969г. наибольшее испарение с редиса получено в первой декаде октября - 7,5, наименьшее - в третьей декаде октября - 5,0 мм/сутки. В 1970г. наибольшее испарение получено в третьей декаде сентября - 6,3, наименьшее - во второй декаде октября - 4,5 мм/сутки. Испарение с базилика было наибольшим во второй и третьей декадах июля - 7,9, наименьшее в первой декаде сентября - 7,0 мм/сутки.

Расходы воды на испарение за весь вегетационный период одних и тех же культур также меняются в значительных пределах, что можно объяснить большим влиянием метеорологических факторов на испарение в условиях открытой гидропоники, чем биологических особенностей культур.

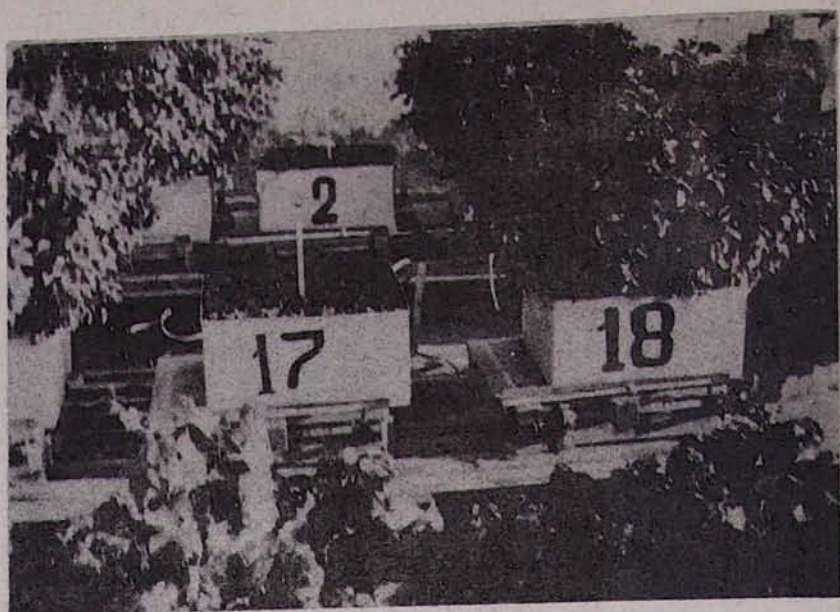


Рис. 1. Общий вид испарителей с растениями и без растений.

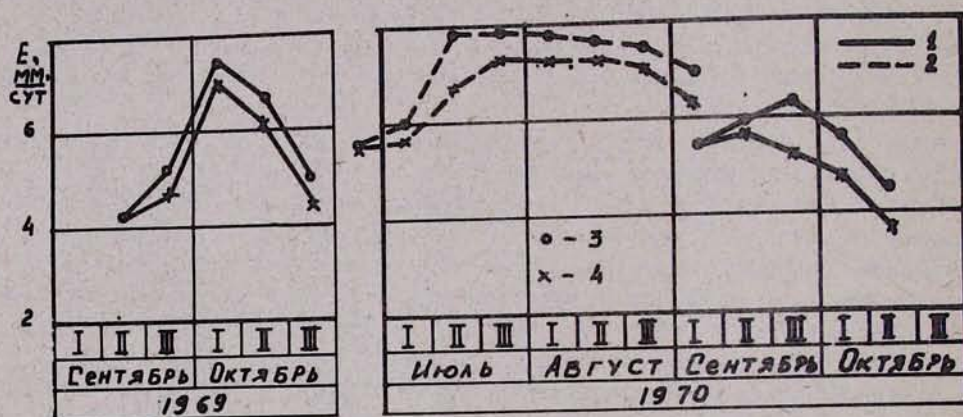


Рис. 2. Сезонный ход суммарного испарения (E мм/сутки) редиса и базилика и испарения с наполнителей без растений. 1 - редис; 2 - базилик; 3 - с растениями; 4 - без растений. ($h = 2$ см).

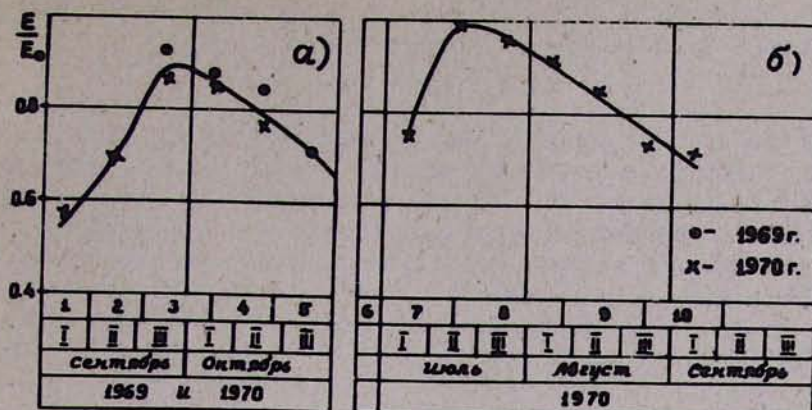


Рис. 3. Биологическая кривая водопотребления редиса (а) и базилика (б) ($h = 2$ см.). 1—фаза посев-всходы; 2—образование корневой системы; 3—листообразование; 4—образование корнеплодов; 5—цветение (редис); 6—фаза посев-прорастание; 7—образование корневой системы; 8—листообразование; 9—цветение; 10—плодоношение (базилик).

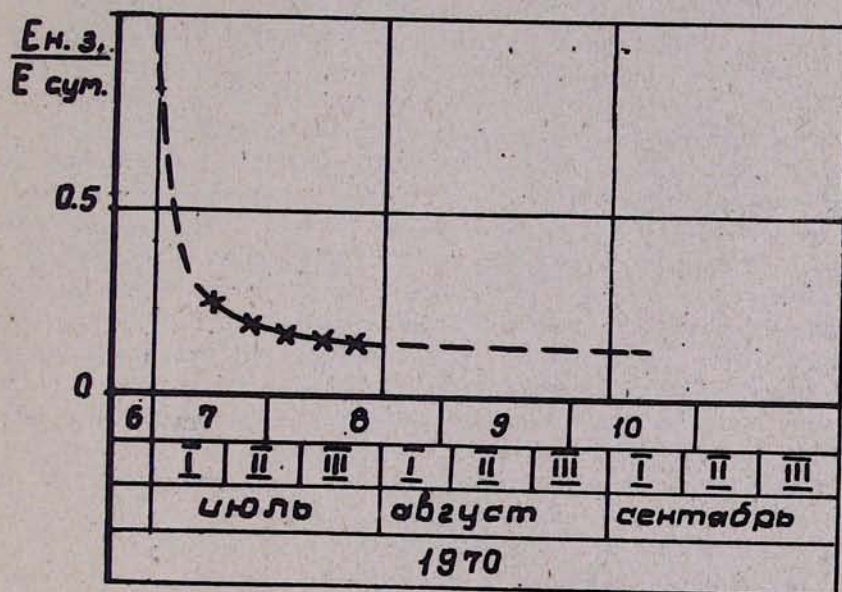


Рис. 4. Соотношение между испарением с затененного наполнителя ($E_{н.з.}$) и суммарным испарением ($E_{сум.}$). Культура базилик. Обозначения межфазных периодов те же, что и на рис. 3.

Связь водопотребления с определяющими факторами может быть записана, как функция погодных условий E_0 (испаряемость), влагозапасов почвы W и биологических свойств B , т.е.

$$E = f(E_0, W, B)$$

Транспирация сомкнутого растительного покрова в период активной вегетации при достаточном увлажнении почвы близка к испаряемости. В течение вегетационного периода отношение суммарного испарения к испаряемости изменяется в широких пределах и имеет вполне закономерный характер. Эта закономерность впервые с достаточной четкостью была сформулирована в работе /1/, где изменение указанного отношения со временем названо биологической кривой испарения и дано объяснение ее характера биологическими особенностями развития растений. Режим потребления воды по фазам развития можно понимать как результат совокупного влияния ритмов развития, с одной стороны, и экологических условий – с другой, а потому можно расчленить общую кривую на две составляющие кривые, из которых одна будет представлять "биологическую", а другая – "экологическую" кривую.

На рис.3. представлен сезонный ход биологического водопотребления базилика и редиса при разных наполнителях с уровнем подпитывания $h = 2$ см. Как показано нами ранее /3/, величины испарения с растений (определенные методом теплового баланса) несколько ниже (примерно на 15%) измеренных величин испарения с испарителей с растениями ($E_{\text{сум.}}$). Это происходит потому, что в наших опытных установках имеет место адекватный приток тепла к испарителям с растениями, несколько превышающий естественные тепловые ресурсы испарения ($E_{\text{сум.}}$) в месте их установки. На гидропонических полях больших размеров этого эффекта может не быть. Поэтому в приведенных выше расчетах, с целью повышения репрезентативности значений измеренного испарения, его величины уменьшались на 15%. Важной характеристикой условий произрастания растений и, особенно, их водопотребления является испаряемость. Характер изменения биологической кривой базилика и редиса показывает, что в начале вегетации потребление воды меньше испаряемости. В этом случае транспирационная способность растений большая, но растительная масса мала, и она не может исчерпать потенциально возможный влагообмен с атмосферой, определяемый тепловыми ресурсами, а также интенсивностью турбулентного обмена в приземном слое воздуха. А при образовании развитой растительной массы, потребление воды начинает достигать испаряемости. При этом прирост растительной массы происходит намного быстрее, чем растет потребление воды растениями. В это время начинается процесс старения растительного организма и падение транспирационной способности растений.

Исследование испарения с растительного покрова с учетом уровня подпитывания (табл. 1) показывает, что наибольшее испарение с испарителей с растениями 9,1 мм/сутки получено со шлаком с уровнем подпитывания 2 см ниже поверхности наполнителя, а 7,3 мм/сутки с уровнем 4 см. Шлак испаряет почти вдвое больше, чем гравий. Испарение с пемзы и шлака примерно одинаково. И здесь чем ниже уровень подпитывания в испарителях, тем меньше испарение. Как и в упомянутых

Средние величины испарения и температуры испарителей с растениями при различных наполнителях и различном уровне подпитывания за период с 25/У1 - по 5/1Х-1970г.

(Культура - базилик)

Наименование наполнителей	2 см ниже поверхности наполнителя					4 см ниже поверхности наполнителя				
	Шлак	Смесь (70%гравий+ 30%шлак)	Гравий	Пемза	Почва	Почва	Гравий	Смесь (70%гравий+ 30%шлак)	Шлак	
Испарение (Е мм/сутки)	9,1	7.0	4.6	8.3	7.6	6.0	3.3	5.3	7.3	
Температура (°C)	25.3	27.3	28.2	26.1	26.7	27.3	32.3	27.8	26.0	

Сопоставление суммарного испарения (Е сум.), испарения с наполнителей без растений (Е нап.) и величин испарения, измеренных с помощью водных испарителей ГТИ-3000 (Ег) в условиях гидропоники по пятидневкам в мм/сутки за 1970г.

Культура	Дата и месяц	Е сум.	Е нап.	Ег
Базилик	26/У1 - 30/У1	5.7	5.5	7.2
	1/УП - 5/УП	6.2	6.0	8.3
	6/УП - 10/УП	5.9	5.2	6.9
	11/УП - 15/УП	7.8	6.3	8.4
	16/УП - 20/УП	8.0	7.2	8.9
	21/УП - 25/УП	8.0	7.8	9.1
	26/УП - 31/УП	7.8	7.2	8.9
	1/УШ - 5/УШ	7.8	7.2	8.7
	6/УШ - 10/УШ	7.8	7.2	8.8
	11/УШ - 15/УШ	7.7	7.2	8.4
	16/УШ - 20/УШ	7.7	7.3	8.6
	21/УШ - 25/УШ	7.7	7.2	9.0
	26/УШ - 31/УШ	7.3	6.7	8.5
	1/1Х - 5/1Х	7.0	6.3	7.9
Редис	6/1Х - 10/1Х	5.5	5.4	7.8
	11/1Х - 15/1Х	6.0	6.0	7.9
	16/1Х - 20/1Х	6.0	5.5	6.9
	21/1Х - 25/1Х	6.0	5.1	5.9
	26/1Х - 30/1Х	6.5	5.2	6.8
	1/Х - 5/Х	6.0	5.2	6.0
	6/Х - 10/Х	5.3	4.3	4.9
	11/Х - 15/Х	4.5	3.7	4.5
Среднее		6.5	5.9	7.4

выше испарителях со шлаком с уровнем 2 и 4 см, аналогичная картина получена в испарителях с почвой (7.6 и 6.0 мм), смесью (7.0 и 5.3 мм) и гравием (4.6 и 3.3 мм). Результаты эти характеризуют нарастание изоляционных свойств наполнителей (по отношению к испарению) по мере роста толщины его слоя над уровнем подпитывания. Наивысшая температура поверхностного слоя смеси оказалась в тех испарителях, испарение с поверхности которых было наименьшее.

Если мы сопоставим величины испарения в условиях гидропоники с растений и наполнителей (без растений), то можно заметить (табл. 2), что суммарное испарение с растений несколько превосходит величину испарения с наполнителя (примерно на 10%). Вместе с тем количество поглощенной наполнителями солнечной радиации часто превосходит подобную величину, поглощенную растениями. Тот факт, что последние испаряют все же больше, может быть объяснен большим при-

ходом адвективного тепла к растениям, являющимся одновременно и вертикальной стенкой на пути воздушного потока, и элементом шероховатости, о чем уже говорилось ранее /3/.

Величины испарения с растений в начале вегетации растительного покрова имеют малые значения, а по мере увеличения транспирирующей массы, которая все в большей и большей мере поглощает солнечную радиацию и адвективный приток тепла, расходуемого на испарение, имеет место повышение интенсивности испарения, продолжающееся до начала массового созревания растений и отмирания листьев. Средние значения измеренного испарения с водной поверхности по ГТИ-3000 на 15 - 20% превосходят значения суммарного испарения ($E_{\text{сум.}}$). Это можно объяснить влиянием малой площади водной поверхности (в данном случае $0,3 \text{ м}^2$) на интенсивность испарения, что вполне согласуется с оценкой краевого эффекта, данного в работах /4,5/.

В наших исследованиях частично было использовано затенение при измерении испарения с почвы (наполнителя) под растительным покровом. Растения срезались и в обычном положении (как это имеет место в природе) подвешивались над испарителем с наполнителем для создания действительно естественных условий затенения. В результате этих исследований получено соотношение между испарением с затененного наполнителя ($E_{\text{н.з.}}$) и суммарным испарением ($E_{\text{сум.}} = E_{\text{н.з.}} + E_{\text{т}}$) для базилика (рис. 4). В период от посева до всходов суммарное испарение ($E_{\text{сум.}}$) равнялось испарению с наполнителя, т.к. транспирация растений в этот момент еще отсутствовала. Затем по мере роста растений и усиления эффекта затенения наполнителей, испарение с последних снижается до величин 15 - 20% от суммарного испарения за все оставшееся время вегетации, вплоть до уборки базилика. Ход кривой $\frac{E_{\text{н.з.}}}{E_{\text{сум.}}}$, снятой с этого рисунка, был использован при расчете

величины транспирации ($E_{\text{т}}$). Транспирация растений определена как разность между суммарным испарением и испарением с почвы (наполнителя), затененной растениями (т.е. с помощью испарителей, затененных срезанными растениями). Итак, проведена сравнительная оценка (путем эксперимента) транспирации и испарения с наполнителей между стеблями растений. Показано, что при сомкнутом травостое величина испарения с наполнителя опускается ниже 20% от суммарного испарения. Использование этого соотношения позволило построить биологическую кривую не только для суммарного водопотребления, но и для транспирации базилика. На рис. 5 представлена биологическая кривая, рассчитанная по транспирации базилика. На процесс транспирации кроме метеорологических условий влияет также видовой и сортовой состав растений, их возраст, влажность почвы (или состав питательного раствора). Суммарное испарение при сомкнутом растительном покрове и достаточном увлажнении почвы (наполнителя) находится в тесной связи с испаряемостью, рассчитанной по методу теплового баланса ($E_0 = \frac{R}{L}$, где R - радиационный баланс, а L - скрытая теплота испарения). Поэтому имеется довольно тесная связь транспирации с испаряемостью, определяемой комплексом метеорологических элементов.

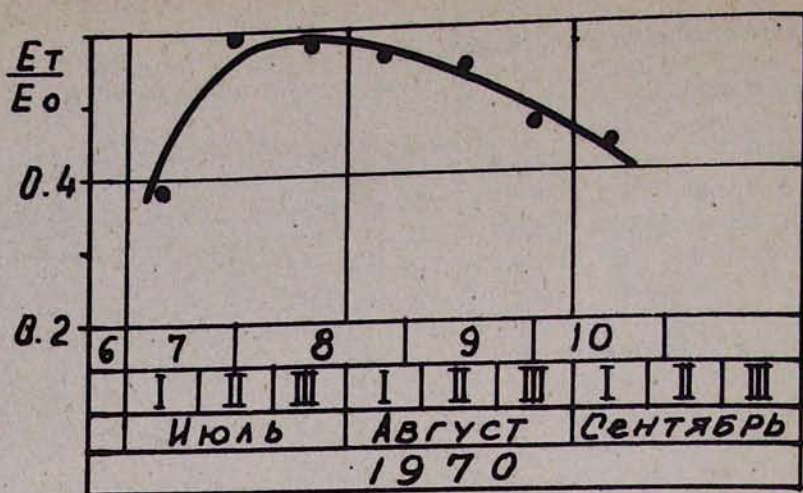


Рис. 5. Биологическая кривая, рассчитанная по транспирации базилика. Обозначения межфазных периодов те же, что и на рис. 3.

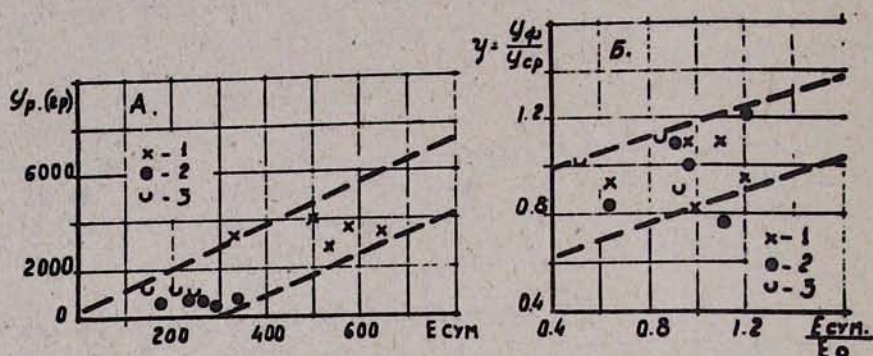


Рис. 6. А - связь урожая с водопотреблением. Б - связь относительного урожая с водопотреблением, приходящимся на единицу испаряемости. 1 - базилик 1970г., 2 - редис 1969г., 3 - редис 1970г.

В условиях гидропоники, где влагозапасы не ограничены, водопотребление зависит, кроме погодных условий, еще и от вида растений, фазы их развития и состояния. Только при хорошем состоянии растений, их водопотребление, а следовательно и прирост растительной массы, максимальны. Для сопоставления урожайности редиса и базилика их величины на рис. 6Б отнесены к средним значениям урожайности, т.е. положено, что $Y = \frac{Y_p}{Y_{ср}}$. Значительный разброс экспериментальных то-

чек свидетельствует о том, что урожайность в условиях гидропоники определяется не только водопотреблением растений, но и рядом других факторов (биологическими особенностями культуры, качеством питательного раствора и т.д.). Положение об увеличении урожая с рос-

мсом водопотребления целиком подвергается экспериментальными данными, приведенными на рис. 6А, где отчетливо прослеживается тенденция роста урожайности с ростом водопотребления, характеризующаяся огибающими пунктирными кривыми. Общее положение об увеличении урожая с ростом водопотребления на сельскохозяйственных полях и здесь вполне подтверждается.

Լ. Ա. Առաքելովա

ԲՈՒՍԱԿԱՆ ԾԱԿԿՈՒԹՅՈՒՆ ԳՈՂՈՐԾԻԱՑՈՒՄԸ ԲԱՑ-
ՕՐԾԱ ՀԻԴՐՈՊՈՆԻԿԱՅԻ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Աշխատանքում բերված են բացօթյա հիդրոպոնիկայի պայմաններում բուսածառն ծածկույթից գոլորշիացման արդյունքները, Պարզված է, որ բույսերից գոլորշիացման մեծությամբ փոխվում է ավելի շատ օդերևութաբանական պայմաններին կախված, քան նրանց կենսաբանական առանձնահատկություններից: Հաստատված է բույսերի կենսաբանական առանձնահատկությունների ազդեցությունը նրանց ջրօգտագործման վրա: Այն արտահայտում է ջրօգտագործման կորով, որը բնորոշվում է վեգետացիոն շրջանի ընթացքում բույսերից գոլորշիացման և գոլորշիանկության հարաբերության փոփոխությամբ: Կապ է հաստատված բացօթյա հիդրոպոնիկայի պայմաններում որոշ բույսերի բերքատվության և ջրօգտագործման միջև: Անփոփոխ սննդարար լուծույթի և օպտիմալ ջրօգտագործման շնորհիվ բերքատվությունը ուղիղ համեմատական է ջրօգտագործմանը:

L. A. Arakelova

EVAPORATION FROM THE VEGETATION COVER IN OPEN-AIR HYDROPONIC CONDITIONS

Summary

Studies have shown that the extent of evaporation from the plants changes depending mostly on the climatic conditions, rather than their biological characteristics with their water consumption. The link between the crop-yield and water consumption shows that the former is proportional to the latter under conditions of unchangeable nutrient solution and optimal water supply.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Алпатыев А. М. Влагооборот культурных растений. Л. Гидрометеиздат, 1954, 247 с.
- 2 Аракелова Л. А. Режим испарения с поверхности различных удобрений, применяемых в гидропонике. Сообщения Института агрохимических проблем и гидропоники АН АрмССР, № 12, 1972, с. 101-107.

3 Аракелова Л. А. Определение испарения и составляющих теплового баланса гидропонического поля. Сообщения Института агрохимических проблем и гидропоники АН АрмССР, № 15, 1976, с. 155 - 167.

4 Константинов А. Р. Испарение в природе. 2-е изд., перераб. и доп. Л, Гидрометеиздат, 1968, с. 531.

5 Влаго- и теплообмен над водоемами и сушей в горных условиях. (Под ред. А. М. Мхитаряна), Л, Гидрометеиздат, вып. 29 (35), 1969, с. 209.