

Ю. Е. НОВИЦКАЯ

**ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ**

В течение 50 лет в физиологии растений господствовала теория физиологической сухости холодных почв, выдвинутая Шимлером (1898). Согласно этой теории, при низких температурах почвы поступление воды в корни растений невозможно несмотря на достаточное количество ее.

Разносторонние исследования В. П. Дадыкина (1952) по изучению водного режима растений Крайнего Севера показали несостоятельность теории физиологической сухости холодных почв. Автором установлена значительная абсолютная величина транспирации как у естественной, так и культурной флоры. Благодаря специально сооруженной термо-вегетационной установке ему удалось показать отсутствие затруднений в водопоглощении, сколько-нибудь существенных для жизнедеятельности растений при низкой температуре почвы. Работами В. П. Дадыкина (1952), В. П. Дадыкина с сотрудниками (1953) показано, что причиной отставания в росте и развитии растений, выращиваемых на холодной почве, является затруднение с использованием питательных веществ, нарушение синтетической деятельности в корнях.

Исследования М. Н. Гончарик (1960), также проведенные в условиях Крайнего Севера, подтвердили выводы В. П. Дадыкина. Автор установил, что картофельное растение на Енисейском Севере расходует воды приблизительно столько, сколько тратится в условиях средних широт. В условиях Игарки интенсивность транспирации у картофеля выше, чем в условиях средних широт, и приближается к интенсивности в условиях юга.

В работе А. И. Коровина (1958), проведенной на Соликамской опытной станции, показано, что температура почвы в пределах от 6 до 20° не оказывает существенного влияния на интенсивность транспирации таких культур, как озимая рожь, пшеница, ячмень и овес, в то время как у теплолюбивых растений (кукуруза, огурцы) при пониженных температурах почвы транспирация снижается.

Целью наших исследований было изучение особенностей водного режима растений, возникающих под влиянием пониженных температур почвы (6—8, 10—12°), свойственных условиям Карелии в весенние и осенние месяцы. Работа выполнялась в 1957—1959 гг. на экспериментальной базе Института биологии Карельского филиала АН СССР. Исследования проводились с ячменем, овсом, пшеницей, картофелем и кукурузой в термовегетационном домике.

Растения выращивались в почвенных, песчаных и водных культурах. Опыты с почвенными и песчаными культурами проводились в сосудах вагнеровского типа на 5,5 и 9 кг сухой почвы, опыты с водными

культурами — в трехлитровых стеклянных сосудах на питательной смеси Кюпа.

Пониженная температура почвы для опытных растений создавалась путем пропускания через ванны с сосудами родниковой воды. Скорость движения воды регулировалась, и таким образом в сосудах поддерживалась температура почвы 8—10° для зерновых и картофеля и 10—12° для кукурузы. Контрольные растения выращивались при температуре почвы 15—20°.

Изучалось влияние пониженной температуры почвы на ряд показателей водного режима растений и урожай.

Для характеристики водного режима растений учитывались интенсивность транспирации, оводненность листьев, содержание свободной и связанной воды, общее количество воды, израсходованное растениями за весь вегетационный период, транспирационный коэффициент.

Оводненность листьев определялась высушиванием до постоянного веса при 105°. Свободная вода устанавливалась по методу А. Ф. Маринчик (1957), связанная — по разности между общей и свободной водой.

Интенсивность транспирации определялась тремя методами: в почвенных и песчаных культурах — методом быстрого взвешивания листьев на торсионных весах [Иванов, 1952 (шестиминутная экспозиция)] и взвешиванием сосудов с растениями и без них (двухчасовая экспозиция); в водных культурах — взвешиванием целого растения, помещенного в цилиндры 100 и 200 см³ с олетыми на них железными чехлами и хорошо подогнанными пробками. Чтобы не повредить корневую систему при переноске, для сосудов применялись специальные деревянные крышки с выпиленными секторами, которые в нужный момент вынимались, и растения легко можно было достать и перенести в цилиндры. Во всех случаях соблюдалась трехкратная повторность.

Общее количество воды, израсходованное за весь вегетационный период, учитывалось при выращивании растений в вегетационных сосудах, которые были защищены от испарения воды с поверхности почвы плотно пригнанными железными крышками с отверстиями для растений. Контролем служили сосуды без растений. Полив проводился ежедневно по весу, до 60% от полной влагоемкости. Количество доливаемой воды учитывалось точно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для получения общего представления об обеспеченности растения влагой в зависимости от температуры почвы проводился учет интенсивности транспирации. Изучалась транспирация листьев ячменя, овса, картофеля и кукурузы. Одновременно учитывалась относительная влажность почвы и воздуха, температура почвы, интенсивность света.

Поскольку определения транспирации проводились в вегетационном домике и больших колебаний в перечисленных показателях не было, они здесь не приводятся. Приводим более характерные данные по интенсивности транспирации, полученные для отдельных культур в разные годы. Они в основном совпадают (рис. 1, 2, 3, 4, 5).

При рассмотрении этих данных следует отметить прежде всего довольно высокий уровень интенсивности транспирации у растений, произрастающих как на теплой, так и холодной почве.

Из сопоставления наблюдений по интенсивности транспирации у листьев ячменя, овса и картофеля на теплой и холодной почвах видно, что у них испарение воды меняется как в течение суток, так и по фазам развития; температура почвы не вызывает существенного снижения

интенсивности транспирации у этих культур. Ячмень, например, в фазу трубкования в дневные часы и в фазу цветения во все часы определенно транспирирует интенсивнее на охлажденной, в фазу 3-х листьев и колошения — на неохлажденной почве.

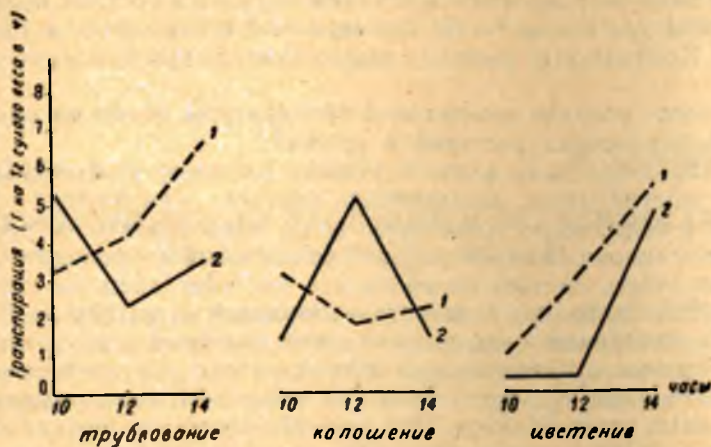


Рис. 1. Влияние температуры почвы на интенсивность транспирации листьев ячменя.

—— тепло, — — — холод

Суточный ход транспирации листьев, представленный на рис. 2, показывает, что для ячменя характерна одновершинная кривая с максимумом транспирации в 10 ч утра. Существенной разницы в суточном ходе транспирации на холодной и теплой почвах не наблюдается.

У овса в фазу кушения интенсивнее транспирируют растения, выращенные на теплой почве, в фазы трубкования и метелки охлаждение почвы не сказывается на интенсивности транспирации.

Картофель при пониженной температуре почвы не только не снижает интенсивности транспирации, а наоборот, больше испаряет воды на холодной почве. Лишь в фазу цветения транспирация идет почти одинаково на охлажденной и неохлажденной почвах.

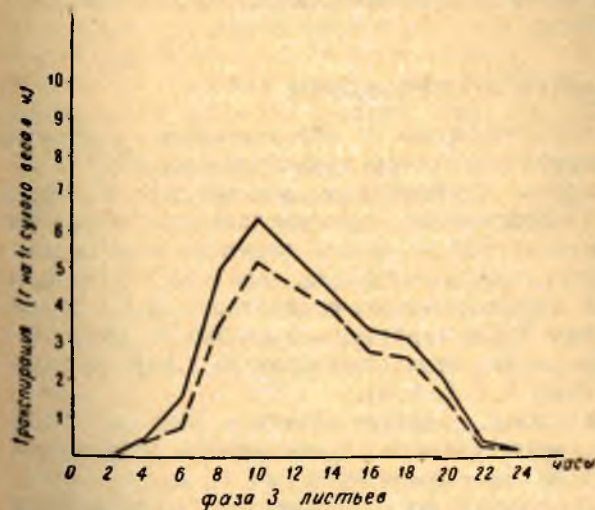


Рис. 2. Влияние температуры почвы на суточный ход интенсивности транспирации листьев ячменя.

—— тепло, — — — холод

Суточный ход интенсивности транспирации листьев картофеля (рис. 4) выражается многовершинной кривой с максимумами транспирации в 10 и 10 ч. Растения, выращенные на холодной почве, транспирируют в основном сильнее, чем на теплой. Эти данные не подтверждают существующее мнение о том, что при достаточной

влажности почвы и отсутствии причин, мешающих нормальному водопоглощению, суточный ход транспирации выражается одновершинной кривой с максимумом около полудня; при недостаточном водоснабжении

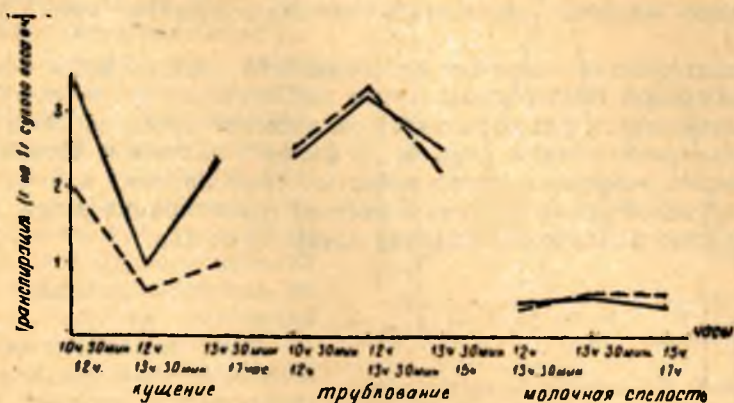


Рис. 3. Влияние пониженной температуры почвы на интенсивность транспирации овса.
 — тепло, — — — холод

растений наблюдается двухвершинная кривая суточного хода транспирации.

Несмотря на наличие многовершинной кривой суточного хода транспирации более высокая интенсивность транспирации листьев растений, выращенных на холодной почве, не позволяет сделать заключения о наличии затруднений в нормальном обеспечении растении водой.

Пульсирующая кривая транспирации может быть результатом ряда причин. Значительные колебания интенсивности транспирации в течение дня могут вызываться изменением состояния коллоидов плазмы, изменением солнечной радиации, относительной влажности и т. д.

Нельзя согласиться с Г. И. Поплавской (1948), которая падение транспирации между 13 и 16 ч объясняет физиологической сухостью почвы.

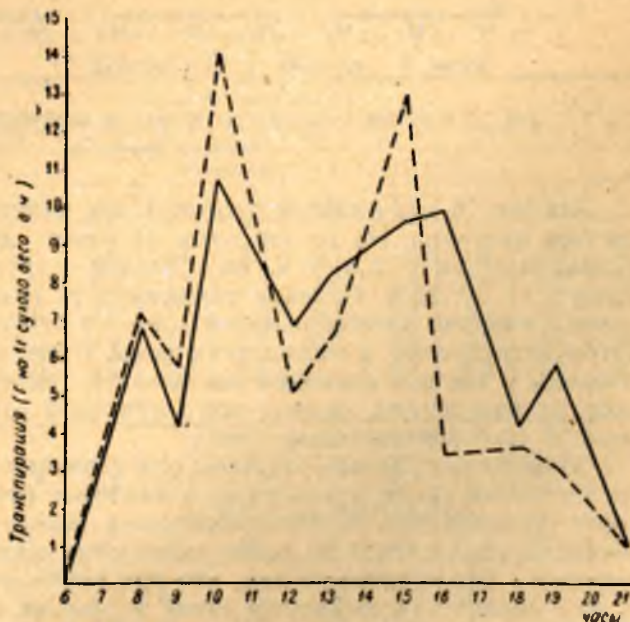


Рис. 4. Влияние температуры почвы на суточный ход интенсивности транспирации листьев картофеля.
 — тепло, — — — холод

Ослабление транспирации в жаркие часы суток очень часто наблюдается у мезофитных растений. Как отмечает В. П. Дадькин (1952), это можно считать нормальным явлением в суточном ритме физиологических отправления растительного организма, подобно тому, как нормальное появление водного дефицита в листьях в дневные часы (Максимов, 1948).

В наших опытах снижение интенсивности транспирации под влиянием пониженной температуры почвы наблюдалось у кукурузы. У нее на всех изучавшихся фазах развития охлаждение почвы до 10—12° ведет к снижению транспирации (рис. 5). В фазах 5 листьев и метелки кукуруза обладает невысокой интенсивностью транспирации как на холодной, так и теплой почве. В фазе 6 листьев транспирация выше, и более ярко выражено влияние охлаждения почвы на ее ход.

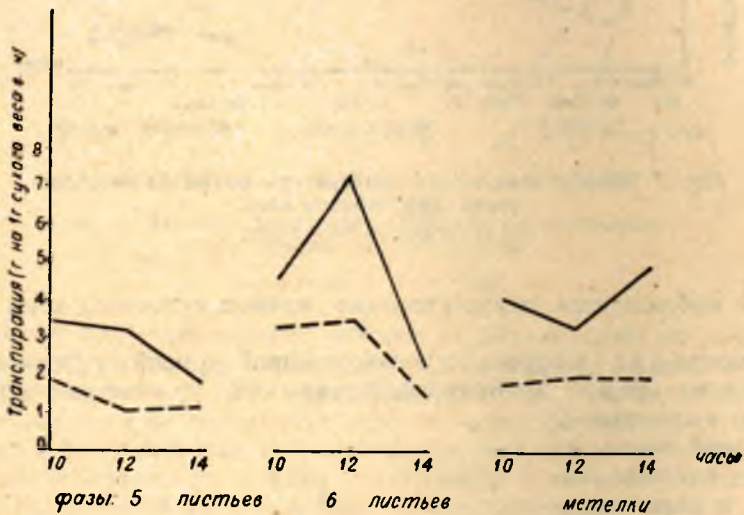


Рис. 5. Влияние температуры почвы на интенсивность транспирации листьев кукурузы

На рис. 6 представлен суточный ход интенсивности транспирации листьев кукурузы. На теплой почве он имеет двухвершинную кривую с максимумами в 13 и 16 ч., на холодной — трехвершинную с максимумами в 11, 13, 15 ч. Падение интенсивности транспирации на холодной почве и наличие многовершинной кривой у кукурузы могут быть результатом затруднений в поступлении воды. Падение интенсивности транспирации у нее под влиянием пониженной температуры почвы объясняется, на наш взгляд, прежде всего природой самой кукурузы, ее повышенной требовательностью к теплу.

Интересные данные получены при перемещении сосудов с растениями из теплой среды в холодную и наоборот (рис. 7, а). У картофеля сорта Берлихинген, приспособленного к северным условиям, перемещение сосудов с тепла на холод ведет к снижению интенсивности транспирации. Это объяснимо тем, что при пониженной температуре почвы в зоне корней задерживается отток углеводов и аминокислот. За счет этого повышается содержание связанной воды и падает количество свободной воды, а это, в свою очередь, ведет к снижению интенсивности транспирации. На задержку оттока углеводов и аминокислот при пониженной температуре почвы указывает Р. Л. Винокур (1957).

Перемещение сосудов с растениями из холодной среды в теплую не вызвало у картофеля существенных изменений в ходе транспирации (рис. 7,б).

У ячменя перемещение растений с тепла на холод вызвало небольшое падение интенсивности транспирации. Перемещение растений с холода на тепло, в отличие от картофеля, у ячменя повлекло за собой повышение транспирации во все дни определений (исследования проводились на одних и тех же растениях в течение нескольких дней).

Такая же закономерность, как у ячменя, наблюдалась у кукурузы при перемещении сосудов с растениями из холодной среды в теплую и наоборот (рис. 8). Однако у кукурузы были более значительные изменения.

Кроме исследований по интенсивности транспирации, проведенных в вегетационном домике, изучался суточный ход транспирации ячменя, овса, кукурузы, клевера, тимофеевки в естественных условиях. Полученные данные представлены в табл. 1.

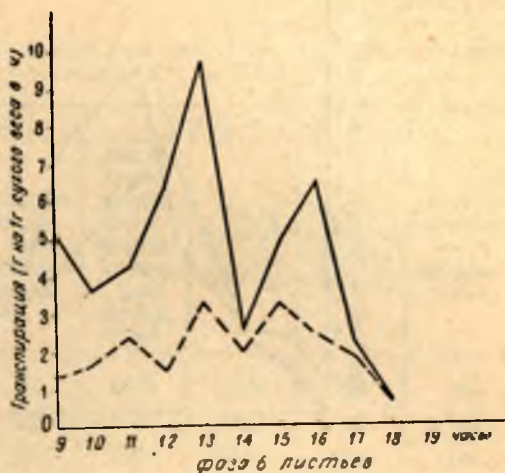


Рис. 6. Влияние пониженной температуры почвы на суточный ход интенсивности транспирации листьев кукурузы

Таблица 1

Суточный ход интенсивности транспирации листьев различных культур в естественных условиях (г на 1 г сухого веса за 1 ч)

Наименование культуры и фаза	Часы суток (10, VII)							11, VII	
	10 ч	12 ч	16 ч	18 ч	20 ч	22 ч	23 ч	6 ч	8 ч
	температура воздуха (°C)								
	18	20	15	16	15	13	12	11,5	13
Ячмень; 3 листа	6,1	6,6	3,0	3,2	2,1	1,2	1,5	3,9	5,9
Овес; 3 листа	5,2	9,2	2,3	3,5	1,6	1,3	0,9	6,5	9,5
Кукуруза; 3 листа	4,6	4,3	1,5	1,3	0,4	0,0	0,9	3,6	2,4
Клевер; 3 листа	4,0	2,9	2,0	2,7	0,8	0,5	1,9	4,8	5,6
Тимофеевка; колошение	3,0	2,6	2,0	2,5	—	0,7	0,3	5,7	4,7

Наименование культуры и фаза	Часы суток (10, VII)								
	6 ч	8 ч	10 ч	12 ч	14 ч	16 ч	18 ч	20 ч	22 ч
	температура воздуха (°C)								
	14	16	26	26	26	26	25,5	21,5	16
Ячмень; трубкование	2,0	4,9	10	7,7	7,9	5,3	4,9	1,6	1,9
Овес; трубкование	2,4	6,2	11	14,2	15,6	10,2	8,5	1,1	0,8
Кукуруза; 4 листа	1,8	4,5	6,5	7,7	8,2	6,8	4,7	2,1	0,8
Клевер; бутонизация	3,3	7,1	9,6	10,8	11,8	14,8	7,8	1,0	1,7
Тимофеевка; цветение	3,1	6,2	4,3	6,4	5,8	5,7	5,1	1,1	0,4

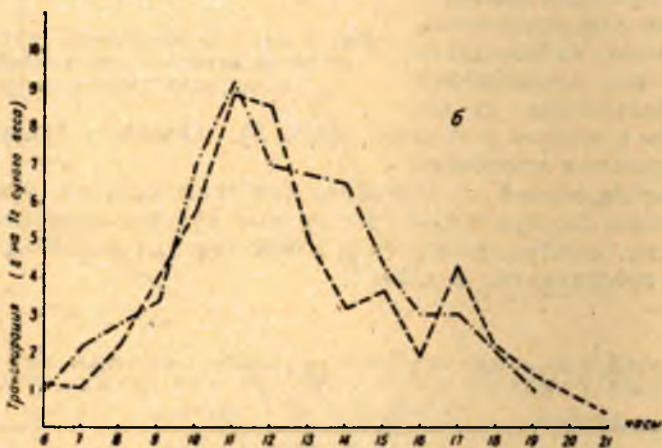


Рис. 7. Влияние перестановки растений из теплой среды в холодную (а) и наоборот (б) на суточный ход интенсивности транспирации листьев картофеля.

а — — — тепло, - - - с тепла на холод; б — — — холод, - . - . с холода на тепло

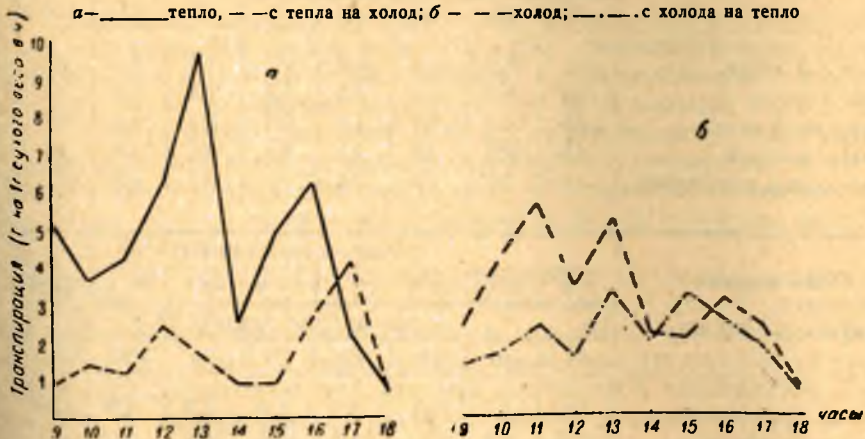


Рис. 8. Влияние перемещения растений из теплой среды в холодную (а) и наоборот (б) на интенсивность транспирации листьев кукурузы.

а — — — тепло, - - - с тепла на холод; б — — — холод, - . - . с холода на тепло

Таблица 2

Влияние температуры почвы на продуктивность транспирации, транспирационный коэффициент и урожай растений

Культура	Теплая почва (15 — 20°)				Холодная почва (8 — 10°)			
	кол-во израсходов. воды за вегетационный период (см ³)	общий урожай (г на сосуд)	продуктивность транспирации	транспирационный коэффициент	кол-во израсходов. воды за вегетационный период (см ³)	общий урожай (г на сосуд)	продуктивность транспирации	транспирационный коэффициент
Пшеница	16160	62,65	3,8	257	6450	34,28	5,3	188
Ячмень	9118	34,8	3,8	263	4321	32,5	7,5	132
Овес	8565	33,5	3,9	255	2660	24,2	9,9	101
Кукуруза	11700	80,3	6,8	146	915	7,3	8,1	123

10 июля определение транспирации было начато в 10 ч утра, когда стояла жаркая солнечная погода. Интенсивность транспирации у всех перечисленных культур была высокая. Около 13 ч налетела туча, прошел дождь, небо заволочло тучами. Несмотря на то, что температура воздуха оставалась высокой, изменение в освещении сказалось на транспирации очень сильно. Она была резко снижена у всех культур. На следующее утро (11/VII) несмотря на то, что температура воздуха была низкая (11,5—13°), интенсивность транспирации у всех культур была выше, чем накануне. Это явилось результатом яркого солнечного освещения.

При определении интенсивности транспирации в жаркий солнечный день 30/VII установлены высокие абсолютные величины транспирации. Суточный ход транспирации у всех изучавшихся культур, за исключением тимофеевки, выражается одновершинной кривой с максимумами в разное время: у ячменя в 10 ч утра, у овса и кукурузы в 14 ч, клевера — в 16 ч, тимофеевки — в 12 ч. дня.

Таким образом, данные по интенсивности транспирации различных культур, полученные при различных температурах почвы и в естественных условиях, показывают, что растения обладают высокой интенсивностью транспирации и понижение температуры почвы не вызывает существенных изменений в ходе транспирации у ячменя, овса и картофеля.

Неясным остается вопрос с кукурузой.

Учет показал, что в течение вегетационного периода растения на холодной почве расходуют воды значительно меньше, чем на теплой. Транспирационный коэффициент у них ниже.

Продуктивность транспирации у этих растений выше, так как на охлажденной почве на продуцирование 1 г сухого веса урожая растения расходуют воды меньше, чем на неохлажденной. Это косвенно указывает на то, что у растений на холодной почве потребность в воде меньше и они не испытывают общего недостатка в ней. О том же свидетельствуют и данные по общей оводненности листьев ячменя, пшеницы, карто-

феля и кукурузы (табл. 3). Как видно из этой таблицы, существенной разницы в содержании воды в листьях растений, выращиваемых на теплой и холодной почвах, при одинаковой влажности, не наблюдается. В отдельных случаях у растений, выращиваемых на охлажденной почве, оно даже повышается на 1—2%.

Таблица 3

Влияние температуры почвы на % содержания воды в листьях различных культур при одинаковой влажности почвы

Варианты опыта	Дата определений					
	17/VII		22/VII		29/VII	
Ячмень:						
1) теплая почва (15—20°)	82,1		82,3		75,5	
2) холодная почва (6—10°)	84,1		81,6		74,8	
	19/VII	24/VII	13/VIII	15/VIII	26/VIII	28/VIII
Кукуруза:						
1) теплая	82,8	83,5	81,0	79,9	74,8	75,8
2) холодная	83,9	85,9	80,1	83,2	76,5	77,2
	17/VII		24/VII		16/VIII	
Картофель:						
1) теплая	82,0		84,3		83,8	
2) холодная	84,7		84,2		82,0	
	18/VII			2/VIII		
Пшеница:						
1) теплая	72,3			71,8		
2) холодная	73,1			72,3		

По имеющимся литературным данным, обобщенным А. М. Алексеевым (1948), при достаточной влажности почвы и возможности для растений использовать почвенную влагу содержание воды в листьях подвергается небольшим колебаниям. Данные В. П. Дадыкина (1952), полученные для Крайнего Севера, свидетельствуют о высокой оводненности листьев как диких, так и культурных растений. В опытах А. И. Коровина (1958) оводненность листьев на холодной почве была на несколько процентов выше, чем на теплой. Работами А. М. Алексеева (1948), А. М. Алексеева и Н. А. Гусева (1949) показано, что активность воды в растении зависит не от общего количества ее, а от соотношения двух фракций воды: свободной и связанной, обладающих различными свойствами и имеющих различное значение в жизни растений.

Оценивая физиологическую роль свободной воды, А. М. Алексеев отмечает, что она определяет активность физиологических процессов, тогда как связанная вода — агрегативную устойчивость коллоидов, что обуславливает стойкость организма против неблагоприятных условий внешней среды.

Н. А. Гусев в монографии «Некоторые закономерности водного режима растений» (1959) говорит, что степень активности воды в листе оказывает сильное влияние на интенсивность транспирации. Об этом свидетельствует обратная зависимость транспирации от сосущей силы клеток, осмотического давления клеточного сока, степени гидратации коллоидов протоплазмы и прямая зависимость от содержания свободной воды в листе.

Г. В. Поруцкий и Т. Т. Демиденко (1953), М. С. Миллер (1955) также указывают, что благоприятное соотношение свободной и связанной воды имеет значение для нормального функционирования растения.

Таблица 4

Влияние температуры почвы на содержание свободной и связанной воды в листьях ячменя и кукурузы

Содержание воды Фазы анализа	Теплая почва (15 — 20°)			Холодная почва (6 — 10°)		
	общее	свободной	связанной	общее	свободной	связанной
Ячмень						
3 листа	82	21,9	60,1	82	22,5	59,5
Трубкавание	80	25,3	54,7	81	19,8	61,2
Колошение	83	25,8	57,2	80	29,9	50,1
Цветение	80	25,3	54,7	80	28,5	51,5
Кукуруза						
3 листа	87	11,6	75,4	82	9,3	72,7
5 листьев	82	21,6	60,4	82	19,3	62,7
6 листьев	79	27,4	51,6	78	20,4	57,6
Метелка	79	26,8	52,2	78	20,1	57,9

Автор этой статьи проводил определение содержания свободной и связанной воды в листьях ячменя и кукурузы при выращивании растений на теплой и охлажденной почве. Полученные данные представлены в табл. 4. Из нее видно, что содержание свободной воды как у ячменя, так и кукурузы значительно ниже, чем связанной воды, особенно в начальный период роста и развития растений (фаза 3-х листьев).

У ячменя на теплой почве содержание свободной воды подвержено небольшим изменениям в связи с фазами развития. На холодной почве оно падает в фазе трубкавания, затем повышается в фазе колошения и снова снижается при цветении.

У кукурузы очень низкое содержание свободной воды в фазу 3-х листьев; начиная с фазы 5-ти листьев больших изменений в этом не наблюдается.

При сравнении данных, полученных для кукурузы на теплой и холодной почве, следует отметить, что пониженная температура почвы снижает количество свободной и повышает количество связанной воды.

Из литературных данных, в частности работ А. М. Алексева, А. М. Алексева и Н. А. Гусева, известно, что увеличение связанной воды, особенно в ущерб свободной, снижает темпы роста и накопле-

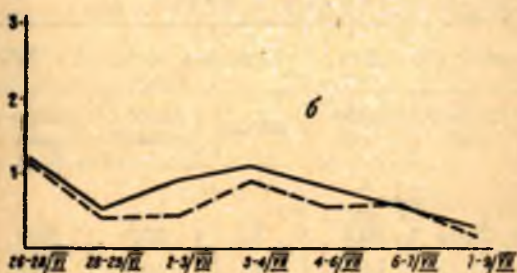


Рис. 9. Влияние перемещения растений из холодной среды в теплую (а) и наоборот (б) на интенсивность транспирации ячменя.

а — --- — холод, -.-.- — с холода на тепло; б — — — тепло, --- — с тепла на холод

ния органического вещества, хотя и повышает стойкость растений к неблагоприятным условиям среды. Это особенно ярко видно на кукурузе.

Наши данные по водному режиму согласуются с показателями урожая (табл. 2). Увеличение связанной воды за счет свободной, снижение интенсивности транспирации соответствуют падению урожая. Так, более холодостойкий ячмень, не испытывающий на холодной почве постоянного угнетения в ходе физиологических процессов, снизил урожай незначительно (34,8 г на сосуд на теплой и 32,5 г на холодной почве).

Кукуруза, обладающая сниженной интенсивностью транспирации и уменьшенным количеством свободной воды, дала и самый низкий уро-

жай (80,3 г на сосуд на теплой и 8,1 г на холодной почве — почти в 10 раз меньше).

ВЫВОДЫ

1. Пониженная температура почвы (6—8°) не оказывает существенного влияния на оводненность и интенсивность транспирации листьев ячменя, овса и картофеля. Для данных растений на холодной почве установлена высокая оводненность и значительная абсолютная величина транспирации.

2. На холодной почве на продуцирование 1 г сухого веса урожая расходуется воды меньше, чем на неохлажденной. Это косвенно указывает на то, что у растений на холодной почве потребность в воде меньше и они не испытывают недостатка в ней.

3. Соотношение свободной и связанной воды у ячменя значительным изменениям в зависимости от температуры почвы не подвержено.

4. Данные по водному режиму для листьев ячменя, овса, картофеля указывают, что при пониженных температурах почвы физиологические процессы в этих культурах проходят нормально. Это полностью подтверждает вывод В. П. Дадыкина о несостоятельности теории физиологической сухости холодных почв.

5. Под влиянием пониженной температуры почвы у кукурузы падает интенсивность транспирации, снижается содержание свободной и увеличивается содержание связанной воды, резко падает урожай.

Вопрос водного режима для кукурузы остается неясным.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. М. Водный режим растений и влияние на него засухи. Казань, 1948.
- Алексеев А. М., Гусев Н. А. Влияние состояния воды в листьях на процесс транспирации. ДАН СССР, 1950, т. 71, № 4.
- Винокур Р. Л. Влияние температуры корневой среды на деятельность корней, интенсивность транспирации и фотосинтез листьев у растений лимона. «Физиология растений», 1957, т. 4, вып. 3.
- Гончарик М. Н. Вопросы питания, роста и развития культурных растений в условиях Енисейского Севера. Доктор. дисс., М., 1960.
- Гусев Н. А. Некоторые закономерности водного режима растений. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Дадыкин В. П. О водном режиме и питании растений на холодных почвах. ДАН СССР, 1950, т. 20, вып. 6.
- Дадыкин В. П. Особенности поведения растений на холодных почвах. М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Дадыкин В. П. О жизни растений в условиях Севера. Изд-во «Знание», 1954.
- Дадыкин В. П., Горбунова Г. С., Торговкина Е. Е., Никитин Г. П. Вопросы влияния низкой температуры почвы на жизнедеятельность растений. Вопросы агрономической физики. Л., 1957.
- Дадыкин В. П., Шалицкая В. Д., Матерных Л. Ф. О влиянии температуры почвы на содержание аминного азота в растениях. ДАН СССР, 1955, т. 101, № 2.
- Иванов Л. А. К истории методики определения транспирации в условиях естественного произрастания. «Бот. журн.», 1953, т. 38, № 2.
- Коровин А. И. Особенности формирования урожая в условиях Севера в связи с пониженными температурами. «Тр. Соликамской с.-х. опыт. ст.», т. 2, 1958.
- Коровин А. И. Методы изучения пониженной температуры почвы на растения. «Физиология растений», 1958, т. 5, вып. 1.
- Коссович П. С. Влияние развития растений при низкой температуре в первый период роста на испаряющую способность. «Журн. опыт. агрономии», 1906, кн. 7.
- Максимов П. А. Избранные работы по засухоустойчивости и зимостойкости растений. т. 1. Изд-во АН СССР, 1952.
- Маричик А. Ф. Биологические основы орошаемого земледелия. Изд-во АН СССР, 1957.
- Миллер М. С. Влияние калия на урожай и оводненность тканей ячменя при действии почвенной засухи. «Уч. зап. Ленингр. пед. ин-та им. А. И. Герцена», т. 109, 1955.
- Поплавская Г. И. Экология растений. М., Изд-во «Советская наука», 1948.
- Поруцкий Г. В., Демиденко Т. Т. Изменение состояния воды в растениях картофеля с различной интенсивностью роста. ДАН СССР, 1953, т. 90, № 5.