

УДК 631.4

Э. А. РЕППО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ СПОСОБОМ ИЗМЕРЕНИЙ ГУТТАЦИИ РАСТЕНИЙ В ФАЗЕ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Предложен новый способ определения диапазонов почвенной засухи, засушливого, субоптимального, оптимального обильного и избыточного увлажнения почвы.

В настоящее время существует много методов количественного определения интервалов различных категорий доступной растениям влаги [22]. Все они подразделяются на непосредственные вегетационные, основанные на измерении реакции индикаторной культуры на различную влажность, и косвенные, в которых о доступности влаги растениям судят по ее подвижности в почве.

Наиболее подробно позволяют оценить различную влажность почвы вегетационные методы, особенно метод относительной транспирации [31]. Их недостатком, однако, является длительность выполнения и трудоемкость, обусловленные как необходимостью ухода за индикаторными растениями, так и трудностями, возникающими при создании контролируемых условий в почве.

Косвенные методы, в том числе и наиболее перспективный, основанный на измерении потенциала почвенной влаги [20, 30], нуждаются в проверке и калибровке показателей. При этом следует отметить, что гистерезисность явления [10] и близкое совпадение численных значений потенциала, уменьшающее различия между разными почвами, как правило, затрудняют сравнение оцениваемых объектов по элементам их физического плодородия. Поэтому термодинамический подход, а равно электрические, радиометрические, изотопные и другие методы, являющиеся несомненно высокоэффективными при диагностике водообеспеченности растений и автоматическом назначении поливов в конкретной производственной ситуации, не заменяют вегетационного теста для биогеофизической характеристики почвы.

Совершенствование вегетационных методов оценки увлажнения почвы и использование их при изучении доступности почвенной влаги растениям по-прежнему заслуживает серьезного внимания исследователей. Нами проведена оценка увлажнения пахотного слоя по росту и измерению гуттации ячменя в фазе прорастания семян, что позволяет сократить срок полного анализа одного образца до четырех суток.

Сущность нового метода и недостатки существующих. Предлагаемый метод основан на измерении ростовых реакций и интенсивности гуттации прорастающих семян. В контролируемых условиях эти явления строго связаны с доступностью почвенной влаги растениям. Отношение семян к почвенной влаге изучалось многими исследователями. Методика же для оценки доступности почвенной влаги прорастающим семянам с распространением полученных результатов и на взрослые растения предложена впервые Богдановым [3]. Он пользовался для теста разбухшими, но еще ненаклюнувшимися семянами, которые высевал в серию почвенных проб с различной влажностью. Эта

методика позволяет выделить диапазоны недоступной и доступной для прорастания семян влаги. В ней имеется также указание на возможность дальнейшего разделения состояния сухости почвы по изменению массы непроросших семян.

Способ Богданова не нашел широкого применения, хотя часто упоминается в соответствующей литературе. Заметим, что неконтролируемость параметров технологического режима и несоответствие их оптимальным уровням (колеблющаяся между 12—18° комнатная температура, отсутствие описания техники замачивания семян, их биологическая разнокачественность, недостаточная аэрация закрытых эксикаторов с прорастающими семянами, случайный световой режим) значительно снижают точность и воспроизводимость результатов, получаемых методом Богданова.

Очень ценную информацию о достаточном увлажнении почвы дает гуттация растений — явление, хорошо изученное фитофизиологами уже в течение 300 лет. По их работам известно, что в условиях недостаточного увлажнения почвы гуттацию растений вызвать невозможно. Знание этой простой закономерности позволило Гонзалезу (Gonzalez [38]) разработать оригинальный метод определения нижней границы оптимального увлажнения почвы по прекращению гуттации всходов кукурузы. Недостатком указанного метода является длительность выполнения, неоднородность в световой установке и большом объеме почвенной пробы, неравномерное распределение влаги в пробе, а также малое количество получаемой информации. Предусмотренные методикой технические приемы сводятся к альтернативному учету гуттации, и найденное значение влажности позволяет установить влажностную границу лишь между диапазонами достаточного и недостаточного увлажнения почвы.

Замена альтернативного учета точным измерением интенсивности гуттации индикаторных растений значительно расширяет информативность способа. Это легче всего сделать в фазе стебелькования зерновых культур. Заметим, что гуттация ростков широко распространена в природе. Выделяемая стебельками жидкость действует в качестве смазки, способствующей их продвижению через посевной слой на поверхность почвы. В ряду проб с увеличивающейся влажностью капли гуттата можно обнаружить впервые там, где скорость нагнетания воды корнями уже превышает ее расход на заполнение растягивающихся клеток колеоптиля и полости ксилемы, т. е. при наступлении достаточного увлажнения почвы. Интенсивность гуттации стебельков увеличивается с увеличением влажности почвы и, достигнув определенного уровня, начинает ослабевать. Это свидетельствует о том, что на первоначальное увеличение доступности почвенной влаги накладывается снижение ее усвояемости растениями при обильном увлажнении почвы. Гуттационные капли долго висят на колеоптиле, что позволяет собрать и измерить их массу.

Изложенное послужило основой для совершенствования способа определения доступности почвенной влаги растениям. Новая разработка отличается от способа Гонзалеза тем, что вместо альтернативного подсчета гуттирующих растений измеряется интенсивность их гуттации в фазе прорастания семян. От метода Богданова предлагаемый способ отличается большей детальностью программы выполнения наблюдений, включающей кроме измерения корешка регистрацию выхода стебелька и прекращения прорастания, причем для теста используются наклонившиеся семена, более одинаковые по размерам и биологической ценности.

Лабораторная техника нового способа определения диапазонов влажности почвы. В алюминиевые стаканчики высотой 6—7 и диаметром 4—5 см помещают серию проб исследуемой почвы с различной влажностью, включающую варианты от максимальной гигроскопичности до нижней границы текучести через интерва-

лы, обеспечивающие заданную точность. Увлажненные пробы выдерживаются в течение одних или более суток в гидротермостате, насыщенном парами воды. Для биотеста можно пользоваться также пробами с ненарушенной структурой, отобранными регулярно буриком Литвинова в алюминиевые стаканчики (боксы) для исследования динамики влажности и плотности сложения подсыхающего весной пахотного слоя и храняемыми до выполнения биотеста на холоду.

В подготовленные пробы сажают одинаковое количество одинаковых по размерам и биологической ценности наклюнувшихся семян. Семена сажают в вертикальном положении на глубину семени апикальным концом вровень с поверхностью почвы. Если целью анализа поставлено более подробное изучение почвенной влажности, то в вариантах проб с низкой влажностью семена перед посадкой взвешивают.

Параметры режима проращивания (сроки, температура и влажность воздуха в гидротермостате, световая, температурная и химическая стимуляция индикаторных растений, необходимые для вызова гуттации) устанавливаются для семян индикаторной культуры (сорта) предварительно, подбирая их так, чтобы количество выделяемой стебельками гуттационной жидкости коррелировало с влажностью почвы по вариантам биотеста. Слишком обильная гуттация хотя и облегчает определение нижней границы оптимального увлажнения, но затрудняет в то же время определение ее верхней границы. Часть капель может стечь в почву, нарушив таким образом плавность динамики.

Для ярового ячменя достаточно 4 биологически полноценных семян на сосуд. Семена проращивают в темноте в течение двух суток в гидротермостате, насыщенном парами воды при свободном доступе воздуха и температуре, колеблющейся в интервале 21—24°.

Для вызова гуттации стебельков озимой пшеницы в таких же условиях требуется трое суток, причём в последние сутки проростки выдерживают при температуре 15°. В пробы почвы из малоплодородных горизонтов необходимо внести питательный раствор и продлить срок проращивания при пониженной температуре воздуха. На слабогуттирующие растения (овес) положительно действует световая стимуляция.

Готовые к осмотру сосуды с проростками перемещают из гидротермостата в стеклянную смотровую камеру с увлажненным воздухом и отмечают наличие в них стебельков с гуттационными каплями и без них. Гуттационную жидкость собирают воздушно-сухими полосками фильтровальной бумаги, окрашенной 10%-ным раствором медного купороса. Количество собранной жидкости определяют либо взвешиванием, либо по размеру пятен, оставшихся на полосках после их высыхания. В последнем случае капли собирают так, чтобы они соприкасались и образовывали одно пятно на сосуд. Самое большое пятно соответствует верхней границе оптимального увлажнения. Если необходимо повторить измерение, сосуды со стебельками ставят на 2—4 час. (в зависимости от интенсивности гуттации) обратно в гидротермостат и проводят повторный сбор гуттационной жидкости. В некоторых случаях второй сбор дает более отчетливую кривую интенсивности гуттации. Если гуттация отсутствует во всей серии проб, как это наблюдается при слишком плотном заполнении сосудов почвой или при наличии токсичной для растений пробы, анализ повторяют после устранения причин, препятствующих гуттации.

Из сосудов, где стебельки не появились, семена вынимают и, если они были взвешены, их взвешивают снова. Затем отмечают варианты, в которых образовались корешки длиной более семени. Из всех сосудов удаляют верхнюю часть почвы с проростками, а в оставшейся пробе определяют влажность.

Для еще большей экономии времени анализ можно выполнить в два приема. Сначала готовят серию проб с большими интервалами влаж-

ности, например, через 2%. После анализа первой серии составляют вставочную серию проб, при помощи которой дополняют основную до заданной точности в интервалах между влажностями отрицательной и положительной реакции диагностического признака.

Диагностические признаки диапазонов увлажнения. Полученные данные влажности в серии сопоставляют с результатами наблюдений и измерений над ростовыми реакциями и интенсивностью гуттации. На основе этого выделяют границы искомых диапазонов увлажнения. При оценке увлажнения руководствуются следующими диагностическими признаками.

1. Почвенная засуха:

сильная

попавшие в почву наклюнувшиеся семена не прорастают и быстро теряют часть предварительно поглощенной ими воды;

слабая

наклюнувшиеся семена находятся в равновесии с почвенной влагой и не образуют корешков длиннее семени.

2. Недостаточное увлажнение:
засушливое

наблюдается образование корешков длиной больше семени, стебельки не выходят;

субоптимальное

наблюдается выход и рост стебельков пропорционально влажности почвы.

3. Достаточное увлажнение:
оптимальное

наблюдается гуттация стебельков, интенсивность которой возрастает с повышением влажности почвы; с повышением влажности почвы наблюдается понижение интенсивности гуттации.

обильное

4. Избыточное увлажнение:
умеренное
сильное

наклюнувшиеся семена дальше не прорастают; диагностические признаки не разработаны.

За искомую границу влажности принимают среднюю влажность проб в двух соседних по значению сосудах с наличием диагностических признаков и без них. Если рассматриваемый диагностический признак наблюдается у 50% ростков, то значение границы влажности приравнивают влажности пробы в этом сосуде.

Оценка нового способа. Преимущество описанного способа перед другими вегетационными методами сводится к тому, что в фазе прорастания семян растения наиболее чувствительны как к неблагоприятным, так и благоприятным почвенным условиям, причем само определение выполнимо на малом объеме почвы без нарушения условий нормального роста и развития первичных корешков, а заданная влажность сохраняется в гидротермостате в течение всего опыта.

В фазе прорастания семян легко соблюдать оптимальное соотношение и всех других факторов роста и развития, а внешние признаки водопотребления хорошо различимы. Использование для посадки наклюнувшихся семян позволяет отобрать для биотеста более однородную фракцию семян и сократить срок анализа.

Так как семена прорастают в темноте, то отпадает необходимость в дорогостоящих осветительных установках. Заметим еще, что в вегетационных опытах с растениями в последующих фазах роста и развития их корни стелются войлоком между почвой и стенкой сосуда, что нарушает условия для нормальной гуттации. Кроме того, при поливе вода

распределяется неравномерно по объему почвы, в связи с чем получаемые данные характеризуют реакцию растений не на различную доступность почвенной влаги, а на количество поступившей с поливом воды, которая в большей части заполняет пустоты в дренажной прослойке и легкодоступна любому растению [24].

Следует напомнить также, что фаза прорастания семян является наиболее ответственной фазой развития и роста сельскохозяйственных культур. Неблагоприятные условия водоснабжения посевов в эту фазу невозможно компенсировать лучшими условиями в последующих фазах развития [34]. Это, по-видимому, связано с тем, что водные потоки могут нести информацию [14], необходимую для «программирования» урожая в молодых растениях. Поэтому изучение доступности почвенной влаги прорастающим семенам имеет также самостоятельное значение.

Разумеется, что при перенесении результатов оценки доступности почвенной влаги растениям, полученных при помощи измерения интенсивности роста и гуттации 2—3-дневных ростков индикаторной культуры, на взрослые растения возникает некоторая условность из-за возможной неполной адекватности соответствующих реакций. Установить степень этой неадекватности при помощи лабораторно-вегетационных методов, хотя бы приблизительно, невозможно.

В связи с этим весьма важно начинать исследования по предложенной здесь методике в первую очередь на участках, имеющих достаточно длинные временные ряды наблюдений над режимом влажности, напряжением метеорологических факторов и над формированием урожая сельскохозяйственных культур. Поскольку взрослые растения поглощают воду из горизонтов с разными свойствами, то биогидрофизическую оценку желательно выполнять послойно во всем объеме корнеобитаемой толщи почвы. Сопоставление реакции полевых культур и динамики влажности почвы с ее биогидрофизической оценкой при обязательном учете всех других характеристик водного питания позволяет в конечном счете уточнить как диагностические признаки, так и интерпретацию оцениваемых диапазонов увлажнения почвы по доступности содержащейся в ней влаги растениям.

Обсуждение диапазонов увлажнения и терминологии. Для проверки способа были проанализированы образцы пахотного слоя (0—20 см) различных типов почв. Гидрофизическая характеристика этих образцов с приведением результатов определения основных диапазонов увлажнения приведена в табл. 1.

Известно, что численные значения параметров доступности почвенной влаги связаны как между собой, так и со всеми остальными величинами физических и других свойств почвы. Следовательно, наличие и характер корреляции, особенно ее теснота, могут служить мерой ценности информации рассматриваемых здесь новых показателей и их применимости в качестве пределов оцениваемых диапазонов увлажнения. Поэтому все данные подвергали корреляционному и регрессионному анализу на ЭВМ. В результате такой обработки была получена биометрическая характеристика изучаемой выборки (табл. 2).

Из установленных закономерностей наиболее существенным является то, что все величины влажности, определенные методом прорастания и гуттации семян ячменя, проявляют строго стереотипную зависимость от механического состава и содержания гумуса. Коэффициенты корреляции Пирсона для прочно связанной влаги колеблются между 0,90—0,99, для содержания физической глины от 0,62 до 0,85 и для гумуса от 0,66 до 0,95 с 99%-ной вероятностью. Это делает перспективным составление уравнений регрессии для косвенного определения диапазонов влажности либо по механическому составу и содержанию гумуса, либо по максимальному содержанию прочно связанной влаги.

Таблица 1

Агрогидрологическая характеристика почвенных образцов

Почвы *	Содержание, %		Коэффициент дисперсности Качинского	Параметры, выраженные в весовых % влажности почвы ***											
	гумуса	физической глины		гидрофизические						биогидрофизические					
				Мав	МГ	ВРК	ММВ	НВ	КВ	ВЗ	НВП	НВС	НВГ	ВМГ	ПВП
Почвы Эстонии															
Дерново-карбонатные:															
типичная легкосуглинистая	5,0	25,1	19,4	2,2	5,1	10,6	24,0	27,1	46,3	6,6	7,6	11,8	19,0	31,7	35,6
типичная тяжелосуглинистая	4,0	43,2	11,4	2,3	7,4	12,9	20,0	20,6	39,9	10,1	10,7	14,4	19,2	25,9	31,7
выщелоченная	3,2	29,0	18,3	1,2	3,8	10,9	20,4	21,1	35,3	5,5	5,6	9,1	15,6	21,1	27,3
оподзоленная	2,8	30,6	13,4	1,7	3,8	9,1	19,3	20,8	35,7	5,2	7,0	9,3	15,3	23,9	27,5
Дерново-подзолистые:															
песчаная	1,5	7,9	25,8	0,6	1,8	6,0	7,4	17,0	28,2	Не опр.	3,5	6,2	11,8	15,0	23,7
супесчаная	1,7	15,4	11,1	1,0	3,1	7,4	14,3	16,9	30,9	»	3,9	6,5	9,9	20,4	25,3
легкосуглинистая	2,6	20,7	10,0	1,0	2,8	6,5	17,3	15,9	29,8	»	4,2	7,0	11,1	17,8	23,5
глинистая (эродированная)	2,6	74,2	16,6	4,6	7,9	13,4	25,6	27,7	29,5	»	14,9	17,8	31,1	35,5	36,3
Дерново-глеявая, низинно-болотная, за- пескованная	4,6 31,5	64,2 29,5	28,0 14,1	3,3 9,8	10,0 19,9	13,7 46,4	26,3 65,9	31,5 116,6	37,6 132,1	13,6 30,4	18,3 25,8	19,1 42,9	26,3 66,2	30,5 94,6	38,0 105,2
Почвы других республик и областей															
Темно-серая лесная. Томск	5,1	40,2	9,4	3,1	6,7	15,8	24,8	25,1	50,4	Не опр.	11,0	15,4	19,1	23,3	33,7
Чернозем. Курск **	5,3	52,1	5,4	4,1	9,1	16,0	23,0	25,9	46,3	16,3	16,4	22,3	27,6	33,8	37,9
Серозем обыкновенный. Алма-Ата	1,3	25,8	31,7	1,2	3,3	7,8	13,5	17,1	28,4	4,3	6,1	7,5	13,2	17,4	21,0
Желтоземно-подзолистая. Ленкорань	0,9	34,7	30,4	5,0	9,6	12,9	21,7	23,7	42,3	Не опр.	14,1	18,2	25,9	28,9	33,2
Краснозем (целинный). Чаква	9,1	55,8	4,7	6,9	15,0	24,4	43,8	40,2	64,9	20,7	27,5	33,5	38,8	41,3	67,7

* Почвы идентифицированы и образцы отобраны следующими авторами: почвы Эстонии — Э. А. Репло; темно-серая лесная — М. Г. Танзыбаев; чернозем — Е. М. Музычкин; серозем — М. И. Рубинштейн; желтозем — А. Г. Алиев; краснозем — Д. Е. Давитадзе.

** Образец отобран непосредственно в разрезе, описанном в путеводителе экскурсии X Междунар. конгр. почвов. по маршруту Москва — Сочи.

*** Объяснения символов см. в тексте.

Таблица 2

Матрикс корреляций (r) значений изученных признаков

Гидрофизическая характеристика	Содержание фракции, %; размер частиц, мм*						Гидрофизические характеристики**						Кoeffици- ент дис- персности Калянского				
	1,0—0,5		0,5—0,25		0,25—0,05		0,05—0,01		0,01—0,005		0,005—0,001			<0,001		<0,01	
	МВ	НВ	ММВ	ВРК	МГ	МДВ	НВ	КВ	Гумус, %								
НВП	-0,56	-0,50	-0,68	0,07	0,48	0,68	0,81	0,93	0,95	0,82	0,85	0,70	0,71	0,66	-0,24		
НВС	-0,53	-0,49	-0,66	0,13	0,48	0,61	0,76	0,98	0,99	0,94	0,94	0,85	0,87	0,83	-0,29		
НВГ	-0,55	-0,49	-0,71	0,06	0,61	0,73	0,85	0,97	0,96	0,97	0,96	0,93	0,91	0,89	-0,18		
МВГ	-0,29	-0,38	-0,76	0,14	0,63	0,73	0,80	0,90	0,90	0,97	0,95	0,98	0,96	0,96	-0,20		
ПВП	-0,32	-0,32	-0,55	0,06	0,39	0,55	0,62	0,92	0,94	0,98	0,98	0,96	0,96	0,95	-0,28		

Критические значения коэффициента корреляции Пирсона

$$r_{10} = 0,46 \quad r_{06} = 0,53 \quad r_{01} = 0,66$$

$$r_{10} = 0,44 \quad r_{06} = 0,51 \quad r_{01} = 0,64$$

* По данным изученной совокупности, за исключением торфяно-болотной почвы.

** По данным всей изученной совокупности.

Установленные статистические связи находятся на примере специально подобранной нами совокупности в полном соответствии с теоретическими соображениями о закономерностях взаимоотношенности и взаимосвязи изученных нами гидрофизических свойств почвы. Это дает полное основание заключить, что установленные при помощи измерения прорастания семян и гуттации стебельков границы влажности не являются искусственными, а реально существуют в объективной действительности и, следовательно, заслуживают более подробного изучения и наименования. Ниже более подробно рассматриваются выделенные выше диапазоны увлажнения почвы по доступности влаги растениям в таком порядке, как они формируются в процессе подсыхания почвы.

Диапазон избыточного увлажнения почвы характеризуется в настоящей работе нижней влажностной границей, отделяющей его от обильного увлажнения. Этот диапазон можно назвать предельной почвенной влажностью прорастания семян (ПВП). Верхняя граница диапазона при этом совпадает с максимально возможным содержанием влаги в временно увлажняемой толще почвы. Параметры избыточного увлажнения почвы изучены почвоведом слабо. Специальные биотесты для их определения, по-видимому, не разработаны. Имеющиеся в литературе данные получены растениеводами при наблюдении за посевами на переувлажненных землях.

Из числа гидрофизических параметров для выделения границы между избыточным и обильным увлажнением Ф. Е. Колясевым предложена максимальная капиллярная влагоемкость. С. И. Долгов проводит эту границу еще выше без конкретных диагностических признаков ее определения. Судя по прорастанию семян, эти положения верны только для глинистых почв. В почвах легкого и среднего механического состава влага превращается в избыточную для семян уже на более низком уровне.

Избыточно увлажненная почва содержит много легкодоступной для растений влаги. Однако усвояемость последней растениями низка из-за сор-

бированных на корнях водных пленок, препятствующих проникновению в них кислорода [28]. Прорастание попавших в такую почву семян задерживается в этой фазе.

ПВП больше других предельных значений влажности зависит от агрегатного состояния исследуемой почвы и содержания гумуса. Поэтому при определении ПВП недопустимо какое-либо распыление образца при подготовке его к анализу. Необходимое крошение желательнее выполнять в свежем состоянии.

У распыленной сероземной почвы с малым содержанием гумуса избыточное увлажнение наблюдается уже при относительно низком содержании влаги (при 21% от веса). В дерново-подзолистой песчаной почве с более легким механическим составом, но содержащей вдвое больше гумуса, указанная граница проходит на несколько процентов выше. Наибольшие значения характерны для хорошо оструктуренного высокогумусового краснозема из Чаквы (67,7%) и торфяно-болотной запескованной почвы (105,2%). В среднем ПВП составляет 84% от капиллярной влагоемкости, и только у дерново-глеевой глинистой почвы и краснозема численные значения обеих величин близки.

Диапазон обильного увлажнения представляет собой переходное состояние от оптимального увлажнения к избыточному, при котором увеличение запасов почвенной влаги сопровождается понижением ее усвояемости растениями. Граница между обильным и оптимальным увлажнением в среднем совпадает с наименьшей влагоемкостью и rF 2,7 [4, 7]. В фазе прорастания растения отзываются на обильное увлажнение отрицательно (за исключением фазы набухания). В последующих фазах вегетативного роста растения к нему уже приспособлены.

Характерным для этого диапазона является повышение усвояемости доступной для растений влаги по мере подсыхания почвы. Это отражается и на интенсивности гуттации, которая приобретает большее значение при нижней границе диапазона. Поэтому определяемая при помощи гуттации граница между диапазонами обильного и оптимального увлажнения может быть названа почвенной влажностью максимальной гуттации растений (ВМГ). КВ.

Из числа других вегетационных способов эту границу влажности, по-видимому, можно определить по наибольшей влажности почвы, обеспечивающей относительную транспирацию, равную единице [19]; при условии полной обеспеченности индикаторных растений всеми другими факторами роста и отсутствия атмосферной засухи.

Согласно данным табл. 1, увлажнение пахотного слоя дерново-подзолистой песчаной почвы оценивается обильным в интервале влажности от 15 до 24%. В суглинистых почвах ВМГ колеблется в пределах от 17,8% для распыленного алма-атинского серозема до 31,7%, установленных для дерново-карбонатной почвы северной Эстонии. Более высокими значениями границ диапазона отличается чаквинский краснозем (41,3—67,7%). Образец курского чернозема ввиду меньшего содержания гумуса проявляет состояние обильного увлажнения при влажности почвы от 33,8 до 37,9%. Для торфяно-болотной запескованной почвы характерен быстрый переход от оптимального увлажнения к избыточному при соотношении массы воды и субстрата, близкому 1:1.

Диапазон оптимального увлажнения является состоянием, достижение или сохранение которого поставлено основной задачей при регулировании режима влажности любой почвы. В условиях такой влажности все почвенные процессы протекают на оптимальных уровнях, обеспечивающих наивысшую активность водного и минерального питания растений.

Доступность влаги в пределах диапазона оптимального увлажнения неодинакова. Она уменьшается по мере уменьшения влажности почвы, о чем свидетельствует ослабление интенсивности гуттации стебельков в

ВРК
условиях пониженной транспирации. Меняется также и усвояемость ее растениями, которая зависит от таких факторов, как возраст и физиологическое состояние растений, обеспеченность их питательными веществами, плотность слоения почвы, ее температуры и т. д. Исходя из техники определения, значение граничной влажности между оптимальным и недостаточным увлажнением можно назвать наименьшей почвенной влажностью гуттации растений (НВГ). Для ее значений характерна самая высокая сила связи с содержанием в почве прочно связанной воды ($r=0,97$).

Для определения границы влажности между оптимальным и недостаточным увлажнением почвы, называемой часто ее критической влажностью, предложено самое большое количество различных способов. Из числа биологических тестов наиболее разработано определение указанной границы по замедлению роста растений [1, 26], гуттации [38], «плачу» [33] и прекращению нутации стебля [12].

Сюда входят также все остальные физиологические, физические и биохимические способы, разработанные для диагностики влагообеспеченности растущих растений по концентрации клеточного сока [6], соковой силе клеток [35], изменению аминокислотного состава [27], скорости ксилемного тока воды [14], электрическому сопротивлению листьев [13, 32] и т. д. при условии, что эти тесты сопровождаются определением влажности почвы, соответствующей наступлению критического состояния рассматриваемого признака.

В качестве гидрофизического критерия определения нижней границы оптимальной влажности почвы Абрамовой и Роде [24] предложен показатель почвенной влажности разрыва капиллярной связи (ВРК). Часто это значение принимают равным 70% от наименьшей влагоемкости (НВ) [2].

ВРК рекомендуется определять в полевых условиях либо методом изолированных призм [1], либо по многолетним данным ряда влажности почвы под чистым паром. В районах, где часто выпадают осадки, призмы покрывают защитными коробами [16]. Из лабораторных вариантов определения ВРК разработаны солевой способ [18], способ индикаторной прослойки [11] и бактериального фильтра [8]. Поскольку рF различных почв при ВРК колеблется около 3,0, то с некоторой погрешностью значения этой величины можно снять с кривых потенциала почвенной влаги.

Согласно результатам наших исследований, значения ВРК, определенные солевым методом для мелкозема, всегда ниже ММВ (максимальной молекулярной влагоемкости), полученной методом Литвинова. Судя по реакции стебельков ячменя, значения ВРК близки нижней границе оптимального увлажнения только в песчаных почвах. В глинах НВГ хорошо совпадает с ММВ. Для торфяно-болотных почв тоже установлено совпадение критической влажности почвы с ее ММВ [7].

ММВ обычно определяют с помощью пресса Литвинова с применением влагоемких сред. Предложен также полевой вариант метода для быстрого определения запасов почвенной влаги сверх «критической» [21].

Из данных НВГ по исследованным 15 образцам, приведенным в табл. 1, видно, что при одном и том же содержании физической глины (25%) малогумусный распыленный алма-атинский серозем оценивается оптимально увлажненным в интервале весовой влажности 13,2—17,4%, в то время как с большим содержанием гумуса и с более устойчивой микроструктурой дерново-карбонатная типичная почва Эстонии получает такую же оценку при более высоком содержании влаги (19,0—31,7%). При высоком расположении диапазона он более узок у красозема Чаквы и наиболее широк для образца торфяно-болотной почвы Эстонии.

Подсыхание почвы ниже НВГ обуславливает формирование недостаточного увлажнения почвы. В зависимости от развития стресса оно может быть подразделено на субоптимальное и засушливое (или весьма недостаточное) увлажнение почвы.

Диапазон субоптимального увлажнения охватывает интервал влажностей от НВГ до наименьшей влажности, при которой можно наблюдать выход стебелька ячменя из-под покрова семян. Исходя из рассматриваемого диагностического признака, можно этот параметр нижней границы диапазона субоптимального увлажнения назвать наименьшей почвенной влажностью стебелькования (НВС).

Другие критерии и методы для определения влажностной границы между субоптимальным и засушливым увлажнением не разработаны. Принципиально можно для этой цели использовать кривые транспирации или же снять с кривых потенциала почвенной влаги, если предварительно будут установлены вероятные значения соответствующих рF. Совпадают ли с НВС значения показателя почвенной влажности прекращения роста, найденные некоторыми исследователями [23, 29] в интервале влажностей между ВРК и ВУЗ, требует экспериментальной проверки.

В литературе для обозначения диапазона субоптимального увлажнения используется также понятие «умеренно недостаточное увлажнение». Численные значения нижней границы влажности диапазона субоптимального увлажнения для почв, изученных нами в качестве примера, приведены в графе НВС (табл. 1). В пределах рассматриваемой совокупности НВС колеблется в пределах 7,0—42,9%, превышая в среднем в 5,7 раза содержание прочно связанной влаги и в 2,3 раза МГ.

Диапазон засушливого увлажнения почвы представляет собой переходное состояние от субоптимального увлажнения к почвенной засухе. Из-за низкой доступности ничтожных запасов влаги корешки прорастающих в почве семян растут медленно, а стебельки не выходят из-под их покровов, что и служит основным диагностическим признаком указанного диапазона при рассматриваемой методике. Поэтому определяющий в данном случае нижнюю границу параметр целесообразно назвать наименьшей почвенной влажностью прорастания семян (НВП).

Сравнение численных значений НВП с данными, полученными для влажности почвы при завядании растений, показало, что влажность завядания (ВЗ) близко и в преобладающих случаях меньше НВП. Показатель ВЗ был определен в вегетационной камере при относительной влажности воздуха 75—80% и температуре 20—22° при 18-часовом дне.

Для изученной совокупности почв НВП колеблется в пределах 3,5—27,5%. Наиболее высокие значения получены для торфа и краснозема. В среднем для совокупности значения НВП равны 4-кратному значению максимального содержания в почве прочно связанной воды и 1,5-кратной максимальной гигроскопичности.

В литературе указанное состояние недостаточного увлажнения названо также сублетальным дефицитом.

Диапазон почвенной засухи формируется при подсыхании почвы ниже НВП. При такой сухости почвы незакаленные растения начинают завядать даже при отсутствии атмосферной засухи, а прорастание наклюнувшихся семян прекращается.

В пределах диапазона засухи доступность почвенной влаги по мере высыхания быстро снижается. При слабой почвенной засухе увядшие растения способны, хотя бы частично, восстановить свой тургор без полива в условиях отсутствия транспирации. При сильной почвенной засухе (ниже ВУЗ) наблюдается увядание корневой системы. Поэтому в диапазоне сильной почвенной засухи растения оправляются лишь после поступления в почву капельножидкой влаги путем полива. Ха-

рактрным является возможность поступления в почву воды через растения из более увлажненных горизонтов почвы или насыщенного парами воздуха [24, 36].

При еще большем подсыхании, близком максимальному содержанию в почве прочно связанной влаги (pF свыше 4,8), вода становится недоступной для транспирации, и растение погибает [4, 37]. Наблюдаемая более ранняя гибель растений связана в основном с недостаточным количеством воды, поступающей в растение очень медленно [24].

Из параметров почвенной засухи исследователями наибольшее внимание уделено определению почвенной влажности устойчивого завядания растений [16, 5, 9, 24, 25, 37, 39]. Тем не менее в указанном понятии очень много неопределенного как относительно содержания и объема, так и критериев диагностических признаков выделения. Основными критериями вегетационного метода Бриггсом и Шанцом оно определено как наибольшее содержание в почве влаги, недоступной для роста растений. Заметим, однако, что общий рост растения в длину прекращается уже до фазы наступления завядания [23, 29], тогда как отдельные органы продолжают свой рост за счет перераспределения воды даже после устойчивого завядания или даже гибели надземных частей.

О недостаточной для лабораторной техники унификации критериев свидетельствуют неэквивалентные значения ВУЗ, приведенные в литературе. Это хорошо видно из предложенных косвенных методов определения по максимальной гигроскопичности с использованием различных переводных коэффициентов — 1,34 [25], 1,47 [37], 1,50 [15]. В некоторых случаях это соотношение зависит также от свойств конкретных почв. Так, например, при определении в совершенно одинаковых условиях для высокозольных образцов торфа и образцов, смешанных с минеральным материалом из подстилающего грунта, указанное соотношение составило $1,44 \pm 0,10$, в то время как для нормальнозольных образцов — $1,77 \pm 0,06$ [40].

Выводы

1. Рост, развитие и интенсивность гуттации ячменя в фазе прорастания семян тесно коррелируют с уровнем увлажнения почвы. Это позволяет использовать ростовые реакции и интенсивность гуттации для установления диапазонов увлажнения почвы по доступности содержащейся в ней влаги растениям.

2. Резкие изменения в доступности почвенной влаги растениям наблюдаются при наименьшей почвенной влажности прорастания (НВП), наименьшей влажности стебелькования (НВС), наименьшей влажности гуттации (НВГ), а также при влажности максимальной гуттации (ВМГ) и предельной влажности прорастания (ПВП) семян ячменя. Эти уровни разделяют весь диапазон доступной для растений влаги соответственно на диапазоны почвенной засухи, засушливого, субоптимального, оптимального, обильного и избыточного увлажнения.

3. Новый способ оценки увлажнения почвы по доступности содержащейся в ней влаги растениям, включающий посев наклюнувшимися семенами, измерение ростовых реакций и интенсивности гуттации ростков, сокращает расход времени на полный анализ диапазонов увлажнения до четырех суток при более точных и воспроизводимых результатах.

Литература

1. Агрофизические методы исследования почв. М., 1966.
2. Алпатьев А. М. Влагооборот культурных растений. М., Гидрометеоздат, 1954.
3. Богданов С. Отношение прорастания семян к почвенной воде. Университетские известия, Киев, 1889, № 5—8.
4. Вериго С. А., Разумова П. А. Почвенная влага. Л., 1973.

5. *Виноградова Г. В.* Сравнительное изучение методов определения почвенной влажности устойчивого завядания растений. В кн.: III делегатский съезд почвоведов. «Наука», 1968.
6. *Гильдиев С. А.* Диагностирование сроков поливов хлопчатника и люцерны по концентрации клеточного сока. В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1974.
7. *Гнида Е. С.* Критическая влажность торфяных почв. Автореф. дис. Киев, 1968.
8. *Грамматикати О. Г., Дворникова Л. Д.* Методы определения скорости передвижения воды к корневой системе растений. В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1974.
9. *Долгов С. И.* Исследование подвижности почвенной влаги и ее доступности для растений. Изд. АН СССР, 1948.
10. *Долгов С. И.* Две основные концепции почвенной влаги. IV Всес. делегатский съезд почвов., II ч., I, Алма-Ата, 1970.
11. *Долгов С. И., Виноградова Г. Б.* Почвенная влажность разрыва капиллярной связи, ее практическое значение и новый метод определения. Почвоведение, 1970, № 1.
12. *Ермаков Е. И.* Влияние влажности почвы на суточные движения растения. Тез. докл. III съезда почвов. СССР. Тарту, 1966.
13. *Кайбийянен Л. К., Тихов П. В.* Электрокинетические явления и движение пасоки в киселеме древесных растений. В сб.: Вопросы лесоведения и лесоводства в Карелии. Петрозаводск, 1975.
14. *Карманов В. Г., Лялин О. О., Машулашвили Г. Г., Мелещенко С. Н., Никитин В. А., Радченко С. С.* Динамика водного обмена высшего растения и ее информационная роль. Физиология и биохимия растений. Киев, 1974, т. 6, вып. 1.
15. *Качинский Н. А.* Физика почвы, ч. 2. М., 1970.
16. *Ковтун А. П.* Подвешенная влага в суглинистых почвогрунтах с однородным профилем. Почвоведение, 1975, № 4.
17. *Кушниренко М. Д., Курчатова Г. П.* Определение сроков полива растений по величине электрического сопротивления тканей листьев. В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1966.
18. *Мацкевич В. Г.* Быстрый метод определения ВРК почвы. Тез. докл. III съезда почвов. Тарту, 1966.
19. *Муромцев Н. А.* Влияние краткосрочных почвенных засух на доступность влаги для растений и на их развитие. Вестн. МГУ, 1972, № 2.
20. *Муромцев Н. А.* Об использовании термодинамического потенциала почвенной влаги в исследованиях по гидрофизике почв и растений. Почвоведение, 1976, № 3.
21. *Неговелов С. Ф., Жулид Л. П.* Определение в почве доступной растениям влаги в полевых условиях. Почвоведение, 1965, № 9.
22. *Ревут И. Б.* Физика почв. Л., 1972.
23. *Реппо Э., Залетаева Ю.* Влияние режима влажности почвы на рост и развитие тюльпанов. В сб. научных тр. Эст. НИИ земледелия и мелиорации. Таллин, 1971, т. 22.
24. *Роде А. А.* Основы учения о почвенной влаге, ч. 1. М., 1965, ч. 2. М., 1969.
25. Руководство по определению агрогидрологических свойств почв на гидрометеостанциях. Л., 1956.
26. *Рыжов С. Н.* Скорость передвижения и отдачи почвенной воды как фактор ее доступности растениям. В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1957.
27. *Слухай С. И., Опанасенко О. П.* Динамика содержания свободных аминокислот в листьях озимой пшеницы при переменной влажности почвы. Физиология и биохимия культурных растений, 1974, т. 6, вып. 1.
28. *Смоляк Л. П., Реуцкий В. Г., Филостович В. Г., Сазонова Л. С., Козлова Ж. И.* Влияние уровней грунтовых вод на содержание углекислоты и кислорода в воздухе торфяной и песчаной почв. В сб.: Эколого-биологические исследования растительных сообществ. Минск, 1975.
29. *Соколовская Н. А., Ермаков Е. И.* Исследование динамики транспирации и роста кукурузы на различных агрегатных фракциях. Сб. тр. по агрономической физике, 1969, вып. 19.
30. *Судницын И. Н.* Новые методы оценки водно-физических свойств почв и влагообеспеченности леса. М., 1966.
31. *Судницын И. И., Муромцев Н. А.* Способ определения потенциальной транспирации в полевых условиях. Вестн. МГУ, 1974, № 4.
32. *Феодорова Г. М.* Изменение электрического сопротивления растительных тканей как показатель реакции растений на условия водоснабжения. В сб.: Биологические основы орошаемого земледелия. М., 1966.
33. *Филиппов Л. А.* О критической для растений влажности почвы. Научн. тр. Ин-та физиол. раст., 1959, № 20.
34. *Халлер Э. К.* Влияние условий внешней среды в период прорастания семян на урожай полевых культур. В сб.: Проблемы интенсификации растениеводства. Таллин, 1975.
35. *Шардаков В. С.* Основы определения сроков полива хлопчатника по величине со-
сущей силы листьев. Вопросы физиологии хлопчатника и трав, вып. 1, 1972, № 3.

36. Шейн Е. В. О возможности потребления влаги растениями из насыщенного влагой воздуха. Вестн. МГУ. Сер. биол., почвов., 1974, № 4.
37. Briggs S. J., Shantz H. L. The Wilting Coefficient for Different Plants and its Indirect Determination U. S. Depart of Agricult. Bureau of Plant Industry — Bull, No. 230, 1912.
38. Gonzalez F., Gonzalez C. Water Stress and Guttation in Maize. Anales de Edafologia y agrobiologia, 1967, v. 26, No. 5—6.
39. Methods of Soil Analysis. Part 1 and 2. Madison, Wiscousin, USA, 1965, 1972p.
40. Tomberg U., Reppo E. Kultuuristamise mõju turvasmuldade hüdrof üüsilistele omadustele. Сб. научн. тр. Эст. НИИ земледелия и мелиорации. Таллин, 1976, т. 39.

Эстонский НИИ
земледелия и мелиорации

Дата поступления
3.XII.1976 г.

E. A. REPPU

DETERMINATION OF SOIL MOISTURE BY THE METHOD OF PLANT GUTTATION IN THE PHASE OF SEED GERMINATION

A new method is suggested for determination of the ranges of soil dryness and of dry, suboptimal, optimal, abundant and surplus moistenings of the soil.
