

Место для баллов:

Код:

КАБИНЕТ № 1
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ
(30 баллов)

Продолжительность выполнения задания – 1 час 30 минут (90 минут).

ЗАДАНИЕ 1

Определение водного потенциала по изменению размеров тканей
(11 баллов)

Водный потенциал и его отдельные компоненты оказывают сильное воздействие на процессы фотосинтеза, дыхания и продуктивность сельскохозяйственных растений. Подобно температуре тела человека, он служит хорошим интегральным показателем «здорового» растения. Таким образом, определение водного потенциала растительных клеток имеет важное практическое значение.

Существует 3 механизма поступления воды в растительную клетку: 1) осмотический; 2) коллоидно-химический; 3) электроосмос. Поглощение воды клетками осуществляется преимущественно осмотическим путём, а механизмом транспорта является диффузия. Под осмосом понимают диффузию растворителя через избирательно проницаемую мембрану, каковую представляет собой биологическая мембрана. Молекулы воды диффундируют против градиента концентрации из менее концентрированного раствора в более концентрированный, в результате чего объём концентрированного раствора увеличивается. Вода поступает в клетку за счёт осмоса до тех пор, пока разность потенциалов воды по обе стороны плазмалеммы не станет равной нулю: $\Delta\Psi = 0$.

Следовательно, водный потенциал характеризует способность воды диффундировать, поглощаться или испаряться. Он имеет размерность давления и его величину выражают в атмосферах, барах или Паскалях ($1 \text{ атм.} = 1,013 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$). Малоэластичные клеточные стенки допускают увеличение объёма лишь в малых пределах, поэтому вследствие осмотического поступления воды в клетке быстро возникает гидростатическое давление, называемое тургором или тургорным давлением (Т). Водный потенциал клетки (или ткани) можно выразить в виде уравнения: $\Psi = T - P$.

Следовательно, способность клетки поглощать воду является разностью осмотического (Р) и тургорного давлений (Т): Водный потенциал клетки (ткани) колеблется в пределах от нуля (при погружении клеток (ткани) в чистую воду тургорное давление достигает максимального значения, его величина становится равной осмотическому давлению клеточного сока и водный потенциал оказывается равным нулю) до $\Psi = -P$ (в состоянии завядания или плазмолиза тургорное давление отсутствует и водный потенциал клетки по абсолютной величине равен осмотическому давлению клеточного сока).

Клетки наземных растений, как правило, не бывают насыщены водой, и у них $T < P$, в результате чего вода из почвенного раствора поступает в корневую систему растений. Таким образом, способность клетки поглощать воду зависит от осмотического давления клеточного сока, тургорного давления, которое определяется эластичностью клеточной стенки и содержанием воды в клетке. Водный потенциал клеток (ткани) можно определить в опытах с использованием растворов с различным осмотическим давлением.

В данной работе вам предлагается определить водный потенциал и тургорное давление ткани клубня картофеля.

Для этого из клубня картофеля были вырезаны пластинки толщиной 3–4 мм, шириной 2–3 мм и длиной 40 мм (Рисунок 1). Затем погрузили их по одной в растворы сахарозы следующих концентраций: 1; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0 моль/л.

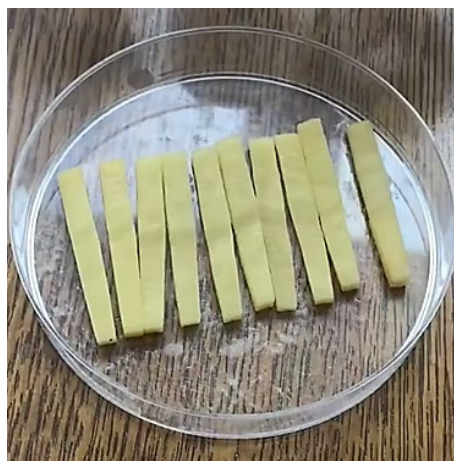


Рисунок 1 – Полоски картофеля для эксперимента по определению водного потенциала

Через 30 минут полоски достали из растворов и повторно измерили их длину (l_n). Результаты всех измерений занесены в Таблицу 1. На основании измерений рассчитайте изменения длины полосок (%) в каждом растворе по формуле:

$$\Delta l = \frac{l_n - l_0}{l_0} \cdot 100\%$$

Полученные данные запишите в четвёртую строку Таблицы 1.

Таблица 1 (2,5 балла: по 0,25 балла за ячейку)

Концентрация растворов, моль/л	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0 (H ₂ O)
Исходная длина полоски, мм (l_0)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Длина полоски через 30 мин, мм (l_n)	36	37	37	37	38	39	40	41	41	42
$\Delta l, \%$	-10	-7,5	-7,5	-7,5	-5	-2,5	0	2,5	2,5	5

Какая из концентраций сахарозы будет изотонической для клеток клубня картофеля? (1 балл)

Ответ: 0,3 моль/л

Для определения зависимости величины водного потенциала от степени насыщения клеток водой рассчитайте водный потенциал, осмотическое и тургорное давления, характеризующие состояние тканей клубня после пребывания их в растворах, и данные (до второго знака после запятой) занесите в Таблицу 2.

Определите гипертонические, гипотонические и изотоническую концентрации наружного раствора по отношению к концентрации клеточного сока клубня картофеля используя уравнение Вант-Гоффа:

$$P = iCRT$$

где i – изотонический коэффициент (для сахарозы он равен 1);

R – универсальная газовая постоянная (0,0821 л·атм/моль·К);

C – концентрация (моль/л); T – абсолютная температура (296 К)

Водный потенциал (Ψ). Поскольку полоски достаточно долго пролежали в растворах и перестали изменяться в длине, считается, что Ψ клеток сравнялся по абсолютной величине с осмотическим давлением соответствующего раствора ($\Psi = -P$). Поэтому водный потенциал клеток вычисляется по уравнению Вант-Гоффа для каждого раствора (Ψ_{1-10}).

Осмотическое давление клеточного сока (P). Для самой короткой полоски характерно отсутствие тургора, следовательно, $T_1 = 0$, а исходя из уравнения $\Psi = T - P$, $\Psi_1 = -P_1$. Остальные полоски имеют все более разбавленный клеточный сок, поэтому P уменьшается обратно пропорционально длине полосок. Таким образом, осмотическое давление (P) вычисляется по формуле:

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot l_1}{l_2}, P_3 = \frac{P_1 \cdot l_1}{l_3} \text{ и т. д.}$$

Тургорное давление клеток (T) находят по формуле $\Psi = T - P$, откуда $T_1 = 0$, $T_2 = P_2 + \Psi_2$, $T_3 = P_3 + \Psi_3$ и т. д.

Таблица 2 (7,5 балла: по 0,25 балла за ячейку)

Концентрация растворов, моль/л	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0 (H ₂ O)
Длина полоски, мм (l_n)	36	37	37	37	38	39	40	41	41	42
Водный потенциал (Ψ), атм	Ψ_1 -24,30	Ψ_2 -19,44	Ψ_3 -17,01	Ψ_4 -14,58	Ψ_5 -12,15	Ψ_6 -9,72	Ψ_7 -7,29	Ψ_8 -4,86	Ψ_9 -2,43	Ψ_{10} 0
Осмотическое давление клеток (P), атм	P_1 24,30	P_2 23,64	P_3 23,64	P_4 23,64	P_5 23,02	P_6 22,43	P_7 21,87	P_8 21,33	P_9 21,33	P_{10} 20,82
Тургорное давление (T), атм	T_1 0	T_2 4,19	T_3 6,63	T_4 9,06	T_5 10,87	T_6 12,71	T_7 14,58	T_8 16,47	T_9 18,9	T_{10} 20,82

Т.к. $\Psi = -P$, то рассчитываем P по формуле $P = iCRT$, и вносим получившиеся значения со знаком – в 3ю строку Таблицы 2.

Т.к. $\Psi_1 = -P_1$, то $P_1=24,30$. Остальные рассчитываются по формуле, приведённой в задании. Полученные значения вносятся в 4ю строку Таблицы 2.

Исходя из текста задания $T_1 = 0$. Остальные значения рассчитываются по формуле из задания. Полученные значения вносятся в 5ю строку Таблицы 2.

ЗАДАНИЕ 2

Осмотический потенциал растений (5 баллов)

Климатические условия на планете Земля очень разнообразны. Современные растения благодаря определённым анатомическим, физиологическим и биохимическим приспособлениям могут расти даже в неблагоприятных местах обитания. Одним из биохимических приспособлений к произрастанию в условиях дефицита или избытка влаги является поддержание определённого осмотического потенциала клетками корней. Осмотический потенциал – одна из компонент водного потенциала клетки (Ψ). Ниже представлены три вида растений, типичных для своей экологической группы.

Растение 1



**Верблюжья колючка
обыкновенная
(*Alhagi pseudalhagi*)**

Растение 2



**Сирень обыкновенная
(*Syringa vulgaris*)**

Растение 3



**Осока острая
(*Carex acuta*)**

У каждого из этих видов был измерен осмотический потенциал клеток корня. Соотнесите значение осмотического потенциала с конкретным видом растения. Также укажите экологическую группу, к которой принадлежит каждое растения по способности адаптироваться к различным условиям обеспеченности водой. Ответы занесите в Таблицу 3

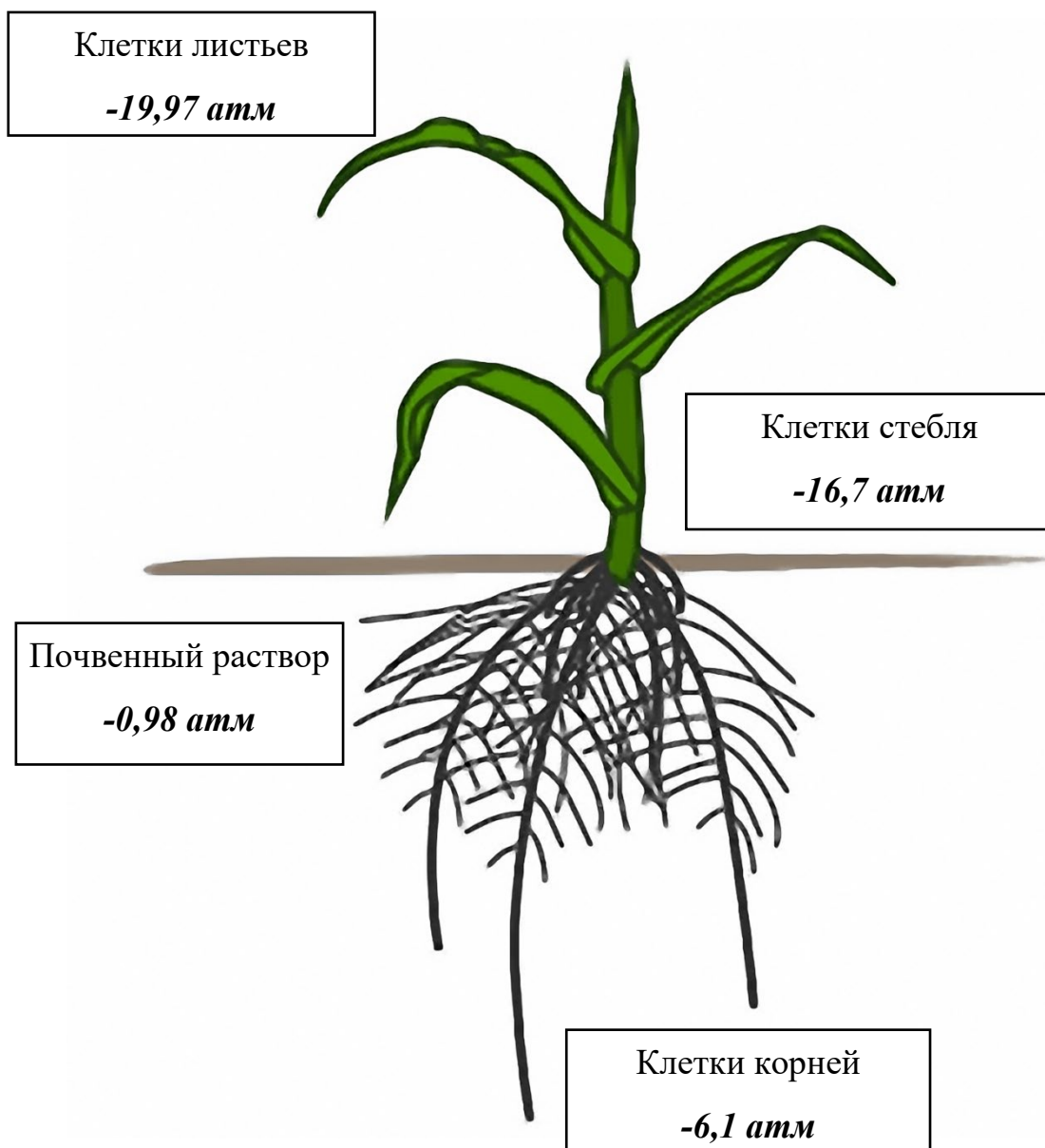
Таблица 3 (3 балла: по 0,5 балла за ячейку)

Осмотический потенциал, атм	№ растения	Экологическая группа
-83	1	Ксерофиты
-3,78	3	Гигрофиты
-16	2	Мезофиты

Известно, что величина водного потенциала изменяется и в пределах одного растения. Ниже представлены значения осмотического потенциала почвенного раствора с места, где произрастала кукуруза (*Zea mays*) и значения осмотического потенциала клеток из её корней, стебля и листьев. Соотнесите значения осмотического потенциала с органами растения и почвенным раствором. Ваши ответы впишите в соответствующие окошки на схеме.

(2 балла за схему: по 0,5 балла за ячейку)

Значения осмотического потенциала, атм			
-6,1	-19,97	-0,98	-16,7



ЗАДАНИЕ 3

Исследование скорости поглощения воды растениями с помощью потометрического метода (14 баллов)

Цель работы: определить скорости поглощения воды растением в зависимости от осмотической силы наружного раствора и оценить вклад верхнего и нижнего концевых двигателей проростков различных сельскохозяйственных культур с помощью потометрического метода.

Для нормального функционирования клетки растения должны быть насыщены водой. Поглощение воды корневой системой и ее передвижение по растению осуществляется по градиенту водного потенциала (0,5 балла). Т.е. вода поступает в корень только в том случае, если данный показатель клеток корней больше / равен / меньше (подчеркните правильный вариант (0,5 балла)) такового(-ому) в почвенном растворе. Например, после дождя почва находится в состоянии полевой влагоёмкости, и вода легко поступает в корни. Понятие полевой влагоёмкости применяется для характеристики максимальных размеров запаса почвенной влаги. Показателем минимальных размеров запаса воды является величина влажности устойчивого увядания. Под влажностью устойчивого увядания понимают такую влажность почвы, при которой растения остаются увядшими пока в почву не поступит вода.

Выделяют несколько форм почвенной влаги, различающиеся по степени доступности для растений. Гравитационная вода, хорошо доступная для растений, заполняет крупные промежутки между частицами почвы. Капиллярная вода, заполняет тонкие капилляры в почве и удерживается силами, легко преодолеваемыми корнями. Вода, удерживаемая на поверхности почвенных частиц силами адсорбции, делится на прочносвязанную (гигроскопическую) недоступную для растений и рыхлосвязанную (пленочную) частично доступную для растений. В среднем легкодоступная для растений влага удерживается в почве с силой до 0,5 атм, среднедоступная – до 1,0–1,2 атм, а труднодоступная – до 2,5–3,0 атм. Количество доступной для растений воды во многом определяет скорость ее поступления в корневую систему растений. Для определения скорости поглощения воды растением используют приборы, называемые потометрами (Рисунок 2).

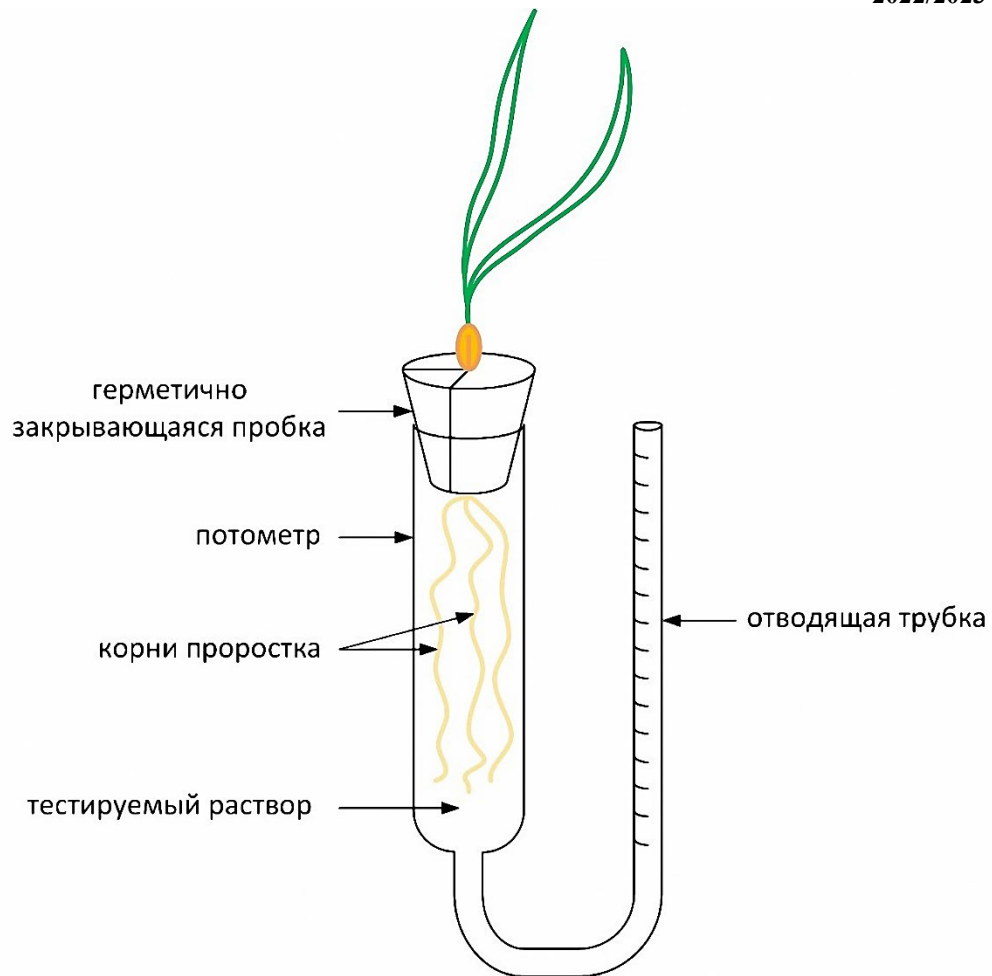


Рисунок 2 – Схема установки для измерения скорости поглощения воды растением (потометр)

Потометр состоит из цилиндрического сосуда, в который помещается корневая система растения, и отходящей от него тонкой U-образной градуированной трубки. При поглощении воды растением, объём воды в сосуде уменьшается, что, согласно закону о сообщающихся сосудах, будет отражаться и на уровне жидкости в отводящей трубке. По количеству поглощённой жидкости можно судить о скорости поглощения воды растением, так 1 деление на отводящей трубке соответствует 1 мл поглощённой воды.

Для изменения осмотической силы наружного раствора в лабораторных экспериментах широко используется полиэтиленгликоль (ПЭГ) либо другие вещества с большой молекулярной массой, например, сахароза. Данные вещества не влияют на транспортные системы клеток корней, они не могут передаваться ни через клеточные стенки, совокупность которых называется **аноласт** (0,5 балла), ни через внутренние содержимые клетки (совокупность протопластов), т.е. **симпласт** (0,5 балла) корня и поэтому верно отражают влияние осмотической силы наружного раствора на величину водного потока.

3.1 Для изучения влияния осмотической силы наружного раствора на скорость поглощения воды растениями были протестированы растворы сахарозы в следующих концентрациях – 0,04; 0,08 и 1 моль/л. В качестве контрольного раствора использовалась кипячёная вода. Все растворы аккуратно заливались внутрь потометров (по 3 на каждый вариант), чтобы внутри системы не формировались пузырьки воздуха, которые могут сильно исказить полученные результаты. Проростки гороха фиксировались в прорезях герметично закрывающейся пробки, после чего корневая система погружалась в тестируемый раствор. Внешний вид полученной установки ранее был представлен на Рисунке 2. Сразу после сборки потометров на отводящих трубках каждого из них отмечалось исходное положение менисков растворов.

Через 30 минут проводился учёт количества раствора, поглощенного проростком, в каждой серии эксперимента. На основе полученных результатов, отмеченных в Таблице 4, рассчитайте скорость поглощения воды растением в зависимости от тестируемого раствора и, используя уравнение Вант-Гоффа: $P = iCRT$, осмотическое давление данных растворов. Результаты занесите в Таблицу 5.

Таблица 4

Экспериментальный раствор	Объём поглощённой жидкости за 30 минут, мл		
	№ 1	№ 2	№ 3
Кипячёная вода	6,1	5,7	5,9
0,04 моль/л раствор сахарозы	4,8	4,6	5,0
0,08 моль/л раствор сахарозы	2,1	1,8	2,1
1 моль/л раствор сахарозы	0	0	0

Таблица 5 (3 балла)

Экспериментальный раствор	Осмотическое давление раствора, атм (по 0,5 балла)	Средняя скорость поглощения воды, мл/ч (по 0,25 балла)
Кипячёная вода	0	11,8
0,04 моль/л раствор сахарозы	0,96–1,0	9,6
0,08 моль/л раствор сахарозы	1,92–2,0	4
1 моль/л раствор сахарозы	23,98–24,0	0

На основе результатов и полученной информации ранее по тексту укажите степень доступности воды для растения в протестированных растворах (1 балл: по 0,25 балла):

Кипячёная вода – *легкодоступная*

0,04 моль/л раствор сахарозы – *среднедоступная*

0,08 моль/л раствор сахарозы – *труднодоступная*

1 моль/л раствор сахарозы – *недоступная*

3.2 Поглощение воды корневой системой и ее передвижение по растению осуществляется за счёт работы верхнего концевой двигателя – транспирация (0,5 балла) и нижнего концевой двигателя – корневое давление (0,5 балла). Вклад данных механизмов в поступление и передвижение воды по растению зависит от многих факторов, как внешних (температура, влажность воздуха, свет), так и внутренних (активность процессов дыхания и фотосинтеза, уровень фитогормонов, период онтогенеза растения), также он может отличаться и в зависимости от вида растения.

Для определения вкладов верхнего и нижнего концевых двигателей в поступление воды в проростки сельскохозяйственных культур были выбраны растения следующих родов – ячмень, горох и кукуруза.

Как и в предыдущей работе, потометры (по 3 для каждого растения) доверху заполнялись охлаждённой кипячёной водой, после чего аккуратно, чтобы не повредить корневую систему, внутрь пробки помещались проростки и все потометры герметично закрывались. На отводящей трубке фиксировался изначальный уровень воды и через 30 минут определялось количество воды, поглощённое проростком.

После учёта объёма поглощённой воды целыми растениями, не разбирая потометры аккуратно удалялась надземная часть растения и, как и в предыдущем случае, через 30 минут определялось количество воды, поглощённое изолированной корневой системой. Полученные результаты по поглощению воды растениями представлены в Таблице 6.

Важно отметить, что все эксперименты проводились в стандартизированных по температуре и влажности условиях. Схема эксперимента представлена на Рисунке 3.

Таблица 6

Объект	Объём поглощённой воды за 30 минут, мл					
	Целое растение			Корневая система		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
Горох	6,1	5,7	5,9	4,2	3,8	4
Ячмень	2,4	2,2	2,6	1	0,9	1,1
Кукуруза	6,3	6,7	6,5	3,3	3,7	3,5

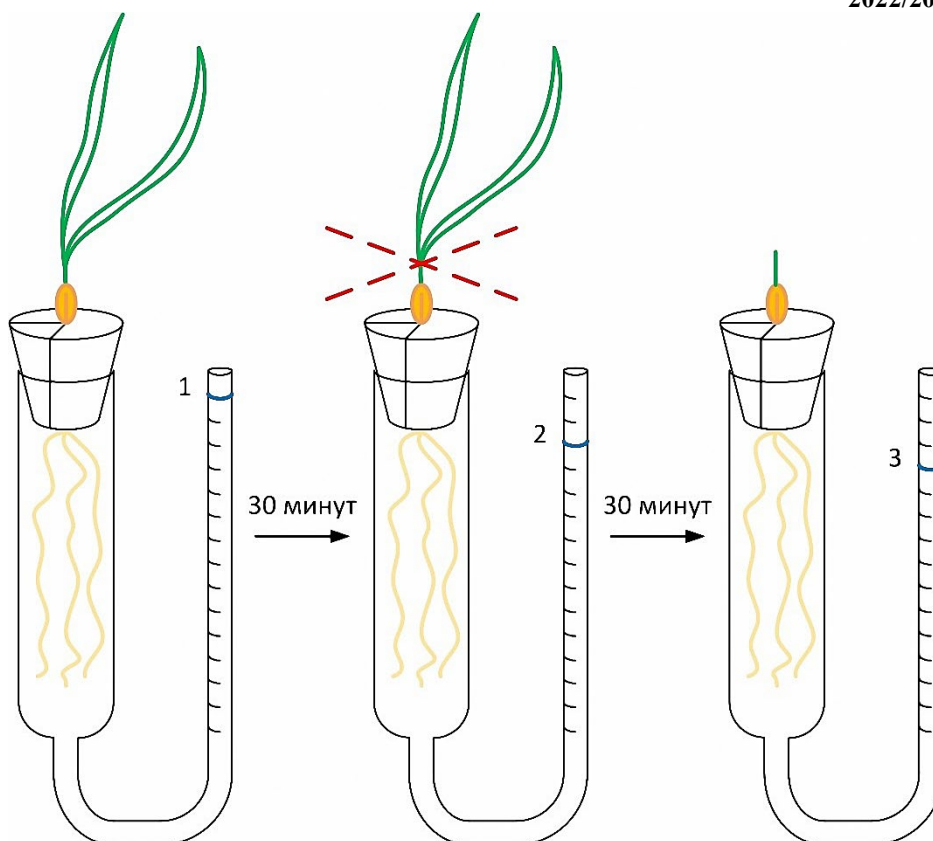


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Используя данные из Таблицы 6 рассчитайте скорость поглощения воды целым растением и изолированной корневой системой, а также определите вклад (%) нижнего (НКД) и верхнего (ВКД) концевых двигателей в поглощение воды растением. Результаты занесите в Таблицу 7.

Таблица 7 (6 баллов)

Объект	Средняя скорость поглощения воды, мл/ч (по 0,25 балла)		Доля поглощённой воды, % (по 0,75 балла)	
	Целое растение	Корневая система	НКД	ВКД
Горох	11,8	8	67,8	32,2
Ячмень	4,8	2	41,67	58,33
Кукуруза	13	7	53,85	46,15

Проанализируйте полученные результаты и учитывая только их укажите, в каком из представленных растений будут лучше всего проходить процессы поступления и транспорта воды в условиях повышенной влажности воздуха? (1 балл)

Ответ: горох