

ПИТАТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР. КОРРЕКТИРОВКА ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

При беспочвенном выращивании овощных растений вода служит одновременно растворителем (для удобрений) и средой (для развития корневой системы). Ее качество при использовании метода гидропонной культуры является важным фактором.

Поэтому важно знать химический состав используемой в хозяйстве воды. Это необходимо как для расчета количества солей и кислот в питательном растворе, так и при его коррекции.

Используемая поливная вода имеет определенный химический состав, что следует учитывать еще на стадии проектирования систем капельного полива.

Различная по происхождению вода представляет собой сложный раствор, содержащий химические элементы в виде простых и сложных ионов, комплексных соединений, растворенных или газообразных молекул, стабильных и радиоактивных изотопов.

Сложность состава определяется присутствием большого числа химических элементов, различным содержанием и разнообразием форм каждого из них.

В воде отмечается шесть основных групп химических компонентов:

- 1) главные ионы (макроэлементы) – K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} ;
- 2) растворенные газы – кислород, азот, сероводород, углекислота;
- 3) биогенные вещества – соединения N, P, Fe, Si;
- 4) органические вещества – органические кислоты, сложные эфиры, фенолы, гумусовые вещества;
- 5) микроэлементы;
- 6) загрязняющие вещества.



Суммарное содержание минеральных веществ называется *минерализацией* воды, которая выражается в мг/дм³, г/дм³, г/кг, ‰ (промилле).

По степени ее минерализации различают: *пресная* (1 ‰), *солончатая* (1–25 ‰), *соленая* (25–50 ‰), *очень соленая* (более 50 ‰). Для капельного орошения лучше использовать воду с содержанием минеральных веществ не более 0,5–1 ‰.



При высоком содержании солей возможно не только засоление субстрата, но и при выпадении в осадок соли выводят из строя капельницы.

Существует следующая градация качества воды (**мСм/см**): 0,75 – хорошая, 0,75–1,50 – пригодная для полива, 1,5–2,5 – малоприспособная (высокое содержание солей), больше 2,25 – не пригодная вода (очень высокое содержание солей).

При анализе воды ее результаты могут выражаться в различных единицах:

- главные ионы при общей минерализации больше 1 г/л выражаются в **г/кг** или в **‰** (промилле), а при минерализации меньше 1 г/л – в **мг/л**;
- растворенные газы – O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 – выражаются в **мг/л**;
- биогенные вещества – соединения **N**, **P**, **Si** – в **мг/л**;
- микроэлементы – в **мг/л**.

Часто содержание тех или иных элементов в воде или питательном растворе выражают в **молях, миллимолях, микромолях**. Понятие молярности распространяется на любые виды реальных (молекулы, атомы, ионы, электроны, радикалы) и условных частиц.

Единицей молярной концентрации является **моль/л**.

Миллимоль – это 0,001 моль; микромоль – 0,000001 моль.

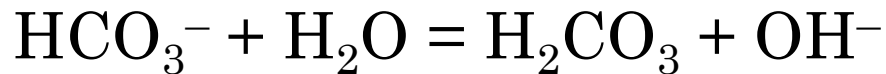
Содержание основных макроэлементов в воде выражают в миллимолях/литр (мм/л), микроэлементов – в микромолях/л (мкм/л).



Гидрокарбонатные (HCO_3^-) и карбонатные (CO_3^{2-}) ионы являются важнейшими составными частями природной воды:



Бикарбонаты, содержащиеся в воде, определяют ее нейтральную или слабощелочную среду для гидролиза:



Распределение в воде CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} зависит от величины рН.

При $\text{pH} < 5$ концентрация гидрокарбонатных ионов (HCO_3^-) практически равна нулю, так как в кислых водах происходит следующая реакция:



В анаэробных условиях, при застаивании воды, накапливается CO_2 и происходит увеличение кислотности почвенного раствора.




В нейтральных и щелочных водах преобладают гидрокарбонатные (бикарбонатные) ионы. При гидропонном способе выращивания овощных растений вода должна содержать **не более 4 мМ/л HCO_3 (244 мг/л)**, иначе потребуется большое количество кислот для нейтрализации.

Ионы CO_3^{2-} присутствуют в природной воде редко, так как карбонаты Ca и Mg – слабо растворимы.

По величине рН вода бывает: сильнокислой (< 3), кислой (3–5), слабокислой (5–6,5), нейтральной (6,5–7,5), слабощелочной (7,5–8,5), щелочной (8,5–9,5), сильнощелочной (> 9,5).

Содержание в воде растворимых бикарбонатов, хлоридов, сульфатов Ca^{2+} и Mg^{2+} определяет ее **жесткость**. Выражается она в градусах: $1^\circ = 10$ мг CaO в литре воды.



Для капельного полива при малообъемном способе выращивания жесткую воду применять не следует, так как при высоком содержании ионов кальция и магния отмечается подавление поглощения калия.

Содержание кальция и магния в воде должно быть ниже, чем в питательных растворах.

Различают три класса воды по анионам: гидрокарбонатные; сульфатные; хлоридные; и три класса по катионам: кальциевые; магниевые; натриевые.

Следует обращать внимание и на содержание в воде микроэлементов. Вода для капельного полива при малообъемном способе выращивания должна содержать не более 0,3 мг/л бора (< 30 мкМ/л), 1 мг/л (< 18 мкМ/л) железа, 0,5 мг/л (10 мкМ/л) марганца, 0,5 мг/л (< 8 /л) цинка.


Для приготовления сбалансированного питательного раствора необходимо учитывать качество воды, и поэтому перед началом выращивания культуры проводят полный анализ поливной воды и определяют: электропроводность (ЕС), рН, содержание Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , Fe^{2+} (суммарное); микроэлементы – Mn^{2+} , Zn^{2+} , B^{3+} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , Br^{3+} .

Для малообъёмного выращивания в отдельных регионах вода без дополнительной доработки непригодна для непосредственного использования, если имеют место следующие параметры: ЕС – 1–1,5 мСм/см, Na – 70–100 мг/л, Cl – 100–160 мг/л и более высокое



При малообъёмном методе выращивания культур необходимо контролировать буферность воды и дренажа, т. е. содержание свободных ионов HCO_3^- , общее количество которых в растворах не должно превышать суммы ионов Ca^{+2} и Mg^{+2} . Обычная норма гидрокарбонатов 0,5–1 мМ/л.

Питательный раствор обязательно корректируется на содержание присутствующих в воде K , Ca , Mg , SO_4^{2-} , NO_3 . Реакция его доводится до оптимального уровня рН, который для большинства культур составляет 5,5–6,0. Так как вода чаще всего слабощелочная или щелочная, для снижения рН используют ортофосфорную (H_3PO_4) или азотную (HNO_3) кислоты. Количество кислоты рассчитывается по содержанию бикарбонатов (HCO_3). На 1 мМоль HCO_3 в воде необходимо наличие 1 мМоль кислоты.



Содержание бикарбонатов, превышающих суммарное содержание ионов кальция и магния, вызывает значительное повышение рН корнеобитаемой среды. Их нейтрализуют путем внесения ортофосфорной или азотной кислот.

При этом нейтрализуют не все бикарбонаты. Оставляют свободным около 1 мэкв HCO_3 (61 мг/л), чтобы обеспечить буферность раствора. Когда используют физиологически кислые соли или соли, которые при гидролизе подкисляют раствор, свободным оставляют дополнительно еще 1 мэкв HCO_3 , т. е. всего 2 мэкв HCO_3 (122 мг/л).



Кислоты и бикарбонаты взаимодействуют в эквивалентных количествах, т. е. 1 мэкв H_3PO_4 (соответственно HNO_3) реагирует с 1 мэкв HCO_3 :

$$1 \text{ мэкв } \text{HCO}_3 = 61 \text{ мг,}$$

$$1 \text{ мэкв } \text{H}_3\text{PO}_4 = 98 \text{ мг,}$$

$$1 \text{ мэкв } \text{HNO}_3 = 63 \text{ мг.}$$

Учитывая, что 61 мг/л HCO_3 реагирует с 98 мг/л 100 %-ной H_3PO_4 или с 63 мг/л HNO_3 , находим, что количество фосфорной кислоты в 1,6 раза, а азотной – в 1,03 раза больше количества бикарбонатов, которое надо

нейтрализовать:

$$\text{мг/л } \text{HCO}_3 \times 1,6 = \text{мг/л } 100 \text{ \%-ной } \text{H}_3\text{PO}_4 ,$$

$$\text{мг/л } \text{HCO}_3 \times 1,03 = \text{мг/л } 100 \text{ \%-ной } \text{HNO}_3 .$$



Для расчета необходимого количества кислоты можно также использовать следующие формулы:

Для ортофосфорной кислоты:

$$A_1 = a \times 98/61 \times 100/K, \quad (17),$$

где: A_1 — количество ортофосфорной кислоты (мг/л); a — количество нейтрализуемых бикарбонатов (мг/л); K — концентрация применяемой кислоты (%).

Для азотной кислоты:

$$A_2 = a \times 63/61 \times 100/K, \quad (18),$$

где: A_2 — количество азотной кислоты (мг/л); a — количество нейтрализуемых бикарбонатов (мг/л); K — концентрация применяемой кислоты (%).



В практике используют более разбавленные кислоты и соответственно расходуют большее их количество: при 77 %-ной концентрации – в 1,3 раза, при 45 %-ной – в 2,2 и при 37 %-ной – в 2,7 раза по сравнению с 100 %-ной кислотой:

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 2,08 = \text{мг/л 77 \% -ной H}_3\text{PO}_4,$$

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 3,52 = \text{мг/л 45 \% -ной H}_3\text{PO}_4,$$

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 4,32 = \text{мг/л 37 \% -ной H}_3\text{PO}_4,$$

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 1,33 = \text{мг/л 77 \% -ной HNO}_3,$$

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 2,27 = \text{мг/л 45 \% -ной HNO}_3,$$

$$\text{мг/л HCO}_3 \times 2,78 = \text{мг/л 37 \% -ной HNO}_3.$$



Пример 1. Вода, используемая для приготовления питательного раствора, содержит 99,2 мг/л HCO_3 (1,6 мэкв). Необходимо нейтрализовать $99,2 - 61 = 38,2$ мг/л

HCO_3 . В зависимости от концентрации кислоты рассчитывают ее количество, необходимое для нейтрализации. При работе с 77 %-ной H_3PO_4 или 45 %-ной HNO_3 получают:

$38,2 \text{ мг/л } \text{HCO}_3 \times 2,08 = 79,5 \text{ мг/л } 77 \text{ \% -ной } \text{H}_3\text{PO}_4$ или

$38,2 \text{ мг/л } \text{HCO}_3 \times 2,27 = 86,7 \text{ г/л } 45 \text{ \% -ной } \text{HNO}_3$.

Таким образом, для приготовления 1000 л маточного раствора, во 100 раз более концентрированного, чем рабочий, необходимо 7,95 кг 77 %-ной H_3PO_4 или 8,67 кг 45 %-ной HNO_3 .



Пример 2. Если вода содержит 230,3 мг/л HCO_3 (3,8 мэкв), нужно нейтрализовать $230,3 - 61 = 169,3$ мг/л HCO_3 . Тогда 91,5 мг/л (1,5 мэкв) бикарбонатов нейтрализуют ортофосфорной кислотой, а остальные 77,8 мг/л (1,3 мэкв) – азотной:

$$91,5 \text{ мг/л } \text{HCO}_3 \times 2,08 = 190,3 \text{ мг/л } 77 \text{ \% -ной } \text{H}_3\text{PO}_4,$$

$$77,8 \text{ мг/л } \text{HCO}_3 \times 2,27 = 176,6 \text{ мг/л } 45 \text{ \% -ной } \text{HNO}_3.$$



Пример 3. Необходимо нейтрализовать 2,4 мМ HCO_3
– (146 мг/л).

1,5 мМ нейтрализуем ортофосфорной кислотой и 0,9
мМ – азотной.

$1,5 \text{ мМ/л} \times 61 = 91,5 \text{ мг/л}$ – количество бикарбонатов,
которые требуется нейтрализовать ортофосфорной
кислотой;

$0,9 \text{ мМ/л} \times 61 = 54,9 \text{ мг/л}$ – количество бикарбонатов,
которые требуется нейтрализовать азотной кислотой.

В наличии имеется 65 %-ная ортофосфорная кислота и
59 %-ная азотная. Рассчитываем их количество по
приведенным формулам.

Для H_3PO_4

$$A_1 = 91,5 \times 98/61 \times 100/65 = 226 \text{ мг/л.}$$

Для HNO_3

$$A_2 = 54,9 \times 63/61 \times 100/59 = 96 \text{ мг/л.}$$



Для приготовления 1000 л маточного раствора, в 100 раз более концентрированного, чем рабочий, необходимо взять: 65 %-ной ортофосфорной кислоты – $226 \text{ мг} \times 1000 \times 100 = 22,6 \text{ кг}$; 59 %-ной азотной кислоты – $96 \text{ мг} \times 1000 \times 100 = 9,6 \text{ кг}$.

Для перевода массы кислот в литры необходимо знать их плотность.

Чтобы легче регулировать рН рабочего раствора, крепкие кислоты нужно предварительно разбавлять в 5–10 раз.



Если вода содержит около 60 мг/л HCO_3 , рН не корректируют для сохранения буферности раствора.

При содержании бикарбонатов менее 60 мг/л подкисление раствора происходит очень быстро. Тогда в чистую воду добавляют бикарбонат калия, карбонат калия или гидроксид кальция.



Количество ортофосфорной и азотной кислот, необходимое для коррекции рН в зависимости от содержания нейтрализуемых бикарбонатов

HCO ₃		H ₃ PO ₄				HNO ₃			
МЭКВ	МГ/Л	77 %-ная		37 %-ная		77 %-ная		37 %-ная	
		КГ	Л	КГ	Л	КГ	Л	КГ	Л
0	0	–	–	–	–	–	–	–	–
0,5	30,5	6,3	3,9	13,2	10,6	–	–	–	–
1,0	61,0	12,7	7,9	26,5	21,2	–	–	–	–
1,5	91,5	19,0	11,9	39,7	31,8	–	–	–	–
2,0	122,0	19,0	11,9	39,7	31,8	6,9	5,4	8,5	6,9
2,5	152,5	19,0	11,9	39,7	31,8	13,8	10,8	17,0	13,8
3,0	183,0	19,0	11,9	39,7	31,8	20,8	16,8	23,5	20,7
3,5	213,5	19,0	11,9	39,7	31,8	27,7	21,6	34,0	27,6
4,0	244,0	19,0	11,9	39,7	31,8	34,6	27,0	42,5	34,5



Два раза в год, необходимо проводить полный анализ воды по следующим показателям: рН, электропроводность (ЕС), содержание солей натрия, калия, кальция, азота (N-NH_4 , N-NO_3), магния, хлора, сульфатов, бикарбонатов, железа, марганца, цинка, бора, меди, молибдена, кобальта.

Один раз в месяц воду анализируют по сокращенной схеме: рН, электропроводность, содержание HCO_3 , Ca, Mg, Cl.



Питательные растворы готовят путем растворения различных удобрений в воде.

Для каждой культуры и для определенных фаз их роста и развития концентрация питательного раствора различна.

Концентрация раствора – количество растворенного вещества (граммы) на единицу объема (литры или миллилитры) раствора.

Концентрацию раствора определяют двумя способами: весовым (сухой остаток) и измерением удельной электропроводности раствора (ЭП). Обычно ее выражают через удельную электропроводность (ЕС) в миллисименсах (мСм/см), где $1 \text{ мСм/см} = 700 \text{ мг соли на } 1 \text{ л}$ или $3 \text{ мСм/см} = 1 \text{ атм. осмотического давления}$.



Растворы макро- и микроудобрений составляют с учетом химического состава поливной воды, вида культуры и состояния растений в данный период. Для предотвращения выпадения в осадок отдельных элементов питания маточные концентрированные растворы для долгосрочного использования разделяют на два основных – А и Б. Растворы готовят в емкостях по 1,5 – 2 м³ каждый (рис. 37).

Рабочий раствор рекомендуется получать разведением маточного раствора водой в соотношении 1:100, допустимо 1:50 или 1:200. Растворы А и Б подают одновременно и разбавляют водой до заданной электропроводности рабочего раствора (ЕС).



Расчет необходимого количества солей.

Для выражения содержания элементов питания в растворе наиболее удобны единицы ppm и мэкв; ppm означает «частей на миллион» (part per million). 1 ppm = мг/л или мг/кг.

Мэкв (миллиграмм–эквивалент) – количество массы элемента, которое соединяется с единицей массы водорода (1,008) или замещает такое же его количество.



Составить питательный раствор можно двумя способами: на основе комплексных удобрений, или используя исключительно простые. Очень важно при подборе удобрений учитывать, что они должны быть полностью водорастворимыми и не содержать

балластных примесей. Если используются простые отечественные удобрения, обязательно надо предусмотреть приобретение комплексона ОЭДФ (оксиэтилидендифосфоновая кислота). Эта кислота используется в небольших количествах (400–800 г/ 1000 л маточного раствора, в зависимости от химического состава поливной воды) и выполняет четыре функции:

облегчает усвояемость растениями элементов питания (выступает в роли хелатирующего реагента);

способствует растворимости удобрений;

позволяет повышать концентрацию маточного раствора (важно в летний период);

препятствует отложению минеральных солей в капельницах и трубопроводах (продлевает срок службы системы полива).

Пример. Приготовление 1000 л концентрированного (маточного) раствора (100×) для выращивания томатов на минеральной вате.

Коррекция рН. Вода содержит 99,2 мг/л HCO_3 . Нужно нейтрализовать $99,2 - 61 = 38,2$ мг/л HCO_3 . Следовательно: $38,2 \times 2,08 = 79,5$ мг/л 77% H_3PO_4 , т. е. 7,95 кг 77 %-ной H_3PO_4 .



Пример расчета питательного раствора для культуры томата:

Нужно приготовить 1000 л маточного раствора с последующим разбавлением в 100 раз, то есть до получения рабочего раствора.

Данные химического состава поливной воды следующие: рН – 7,3; плотный остаток 204 мг/л, ЭП – 0,25 мСм/см, содержание в мг/л: HCO_3^- – 104, Р – 0,1, NO_3^- – 2,0; SO_4^{2-} – 16,3, СГ – 7,8, Ca^{++} – 49,0; Mg^{++} – 12,0; Na^+ – 10,0; Fe – 0,38.

Оптимальный состав питательного раствора для культуры томата: рН – 5,5, ЭП – 2,2 мСм/см; содержание, мг/л: N – 154, Р – 46,5, К – 292,5, Mg – 24, Са – 150, S – 60, Fe – 0,5, Mn – 0,5, В – 0,2, Си – 0,03, Zn – 0,25, Мо – 0,05.



Реакция раствора. Чтобы довести рН до уровня наиболее благоприятного для развития растений, вносят ортофосфорную кислоту. В воде содержится 104 мг/л бикарбонатов (HCO_3). 1 мэкв HCO_3 (61 мг/л) оставляют для обеспечения буферности раствора, нейтрализовать необходимо $104 - 61 = 43$ мг/л HCO_3 .

Это количество бикарбонатов нейтрализуют ортофосфорной кислотой, количество которой должно быть в 1,6 раза больше, чем содержание бикарбонатов при использовании 37 %-ной кислоты и в 1,25 раза больше при использовании 77%-ной кислоты;
 $43 \text{ мг/л } \text{HCO}_3 \times 1,6 = 68,8 \text{ мг/л } 37\text{-ной } \text{H}_3\text{PO}_4$, то есть на 1000 л концентрированного раствора необходимо внести 6,9 кг 77%-ной H_3PO_4 .



Фосфор. С ортофосфорной кислотой, содержащей 24% P, внесено 1,65 кг P, что составляет 16,5 мг/л рабочего раствора. Чтобы уровень фосфора достиг 46,5 мг/л, необходимо дополнительно внести:


$$46,5 - 16,5 = 30 \text{ мг/л фосфора, или } 3 \text{ кг на } 1000 \text{ л маточного раствора.}$$

Вносят это количество в виде однозамещенного фосфата калия (23% P и 28% K), что составит 12,6 кг. При отсутствии этого удобрения применяют вытяжку из суперфосфата с соответствующим перерасчетом на содержание фосфора.



Кальций. В воде содержится 49 мг/л кальция, чтобы довести его количество до оптимального уровня (150 мг/л), вносят: $150 - 49 = 101$ мг/л кальция, или 10,1 кг кальция на 1000 л маточного раствора, что составит 64 кг кальциевой селитры (22 % Ca).

Азот. С кальциевой селитрой (15 % N) внесено 96 мг/л азота, в воде содержится 2 мг/л нитратов, или 0,5 мг/л азота. Чтобы довести количество азота до уровня 154 мг/л, необходимо внести еще 57,5 мг/л, или 5,75 кг на 1000 л маточного раствора. Для этого используют 13%-ю калийную селитру – 44,2 кг.



Калий. С 44,2 кг KNO_3 , содержащим 38% калия, внесено 16,7 кг калия, что составляет 167 мг этого элемента на 1 л рабочего раствора. Кроме того, с однозамещенным фосфатом калия внесено 3,5 кг калия, или 35 мг/л. Таким образом, чтобы довести его количество до уровня 292,5 мг/л, необходимо взять 90,5 мг/л ($292,5 - 167 - 35$) калия. Это количество вносят с 20 кг 45% сернокислого калия.

Магний. В воде содержится 12 мг/л магния. Следовательно, дополнительно нужно внести $(24 - 12)12$ мг/л магния, или 1,2 кг на 1000 л маточного раствора. Вносим 12 кг 10% сернокислого магния.



Сера. Сера внесена с двумя солями – 3,6 кг с 20 кг сернокислого калия и 1,5 кг с 12 кг сернокислого магния, то есть 5,1 кг на 1000 л рабочего раствора. В воде содержится 7,5 мг/л. Этого количества серы вполне достаточно.

Железо. В воде содержится 0,38 мг/л железа, до оптимального количества нужно добавить 0,12 мг/л, для чего используют хелат железа (Fe ЭДТА), содержащий 14% Fe. Вносят 0,09 кг.

Чтобы обеспечить оптимальный уровень других микроэлементов, берут 0,156 кг сернокислого марганца (32% Mn), 0,182 кг буры (11 % B), 0,011 кг сернокислой меди (26% Си), 0,109 кг сернокислого цинка (23 % Zn), 0,09 кг молибдата аммония.



Возможное отклонение в сторону подщелачивания корректируют внесением небольшого количества азотной кислоты, а при отклонении в сторону подкисления добавляют немного йодистого калия.

