

Основы техники дезинфекции йодом, *или Оптимистические записки закоренелого скептика*

Александр Муравьев
mau-pr@yandex.ru

О специфических проблемах с дезинфицирующими средствами

Вместе с парой банок солодового экстракта и пластиковым ферментером в жизнь домашнего пивовара обычно входит еще кое-что. Чаще всего «это» имеет вид крупных таблеток белого цвета, с которыми самым непосредственным образом связана печальная необходимость всякий раз заниматься дезинфекцией нехитрого пивного инвентаря. О том, что это за таблетки такие и как они называются, начинающий пивовар, допустим из Барнаула, начинает серьезно думать только когда они закончатся, и перед ним во весь рост встанет проблема, где поблизости можно найти точно такие же. Вскоре выяснится, что это может оказаться не таким уж простым делом. Однако рано или поздно где-то и как-то все же удастся отыскать что-то похожее. Правда, в дальнейшем может оказаться, что в отличие от прежних, эти новые таблетки могут придавать ферментеру удивительно острый и устойчивый запах хлорки, который, кажется, не устраняется абсолютно ничем.

Возможно, пивовар, осознавая недостаток знания о дезинфицирующих таблетках разного рода, проявит любознательность и обратится к серьезной специальной литературе. Там он найдет великое множество весьма замысловатых названий различных средств, которые все до одного используются для дезинфекции, и от такого изобилия возможностей у него может произойти сильная растерянность. Причем она гарантированно случится, если, руководствуясь вполне понятным желанием подобрать что-нибудь подходящее, наш пивовар начнет изучать краткие описания разнообразных полезных свойств, которыми обладают все эти загадочные вещества, о существовании которых он даже и подумать не мог.

У любителей домашнего пива, знакомых с иностранными языками, существует альтернативный вариант обратиться к зарубежным изданиям или Интернет-сайтам для домашних пивоваров. Там отечественный пивовар может обнаружить бойкие рассказы о том, как хорошо и удобно пользоваться тем или иным средством, той или иной фирмы особенно в пол-литровых или литровых канистрах, столь удобных для домашнего применения. Я далек от мысли утверждать, что, скажем, в Барнауле невозможно найти хоть каких-то аналогов из перечня заграничного изобилия. Кое-что, конечно, можно. Только минимальный объем канистры в этом случае будет литров 25–30 и далеко не у каждого может появиться желание тащить это в дом.

Среди разнообразных замысловатых названий дезинфицирующих средств любознательному пивовару наверняка уже где-то встречалось симпатичное слово «йодофор». Причем меж длинных рассуждений о «поверхностно активных веществах, работающих как солибилизаторы», он мог и не обратить внимания на информацию о том, что действующим веществом этих модных препаратов является йод. Да-да, самый обыкновенный йод, который можно купить в любой аптеке за углом. Причем дезинфицирующая способность разных фирменных средств – не больше и не меньше, чем у аптечного йода. Считается, что йодофоры просто удобнее использовать. Но в своих конкретных обстоятельствах отечественный пивовар может не придать значения этим преимуществам, которые в его глазах справедливо померкнут за целым сонмом неразрешимых проблем, связанных с поиском и покупкой недорогих йодофоров в конкретном провинциальном городе (да и в столице тоже).

Страшные подозрения

Понимание того, что йод из аптеки является весьма удобным и эффективным решением проблемы дезинфекции в домашнем пивоварении, к автору этих строк пришло не сразу, хотя о йодофорах написано достаточно много интересных статей [1, 2]. Там в доступной и популярной форме излагается, что йод является хорошим дезинфектантом, эффективным по широкому спектру микроорганизмов. Концентрации рабочих растворов (и, следовательно, расход средств) не велики – всего 10–12 ppm активного йода (10 частей на миллион) [1, 3]. В статьях также можно найти [1], что йоду достаточно 60 секунд, чтобы сделать свое дело по дезинфекции оборудования.

Сейчас уже сложно сказать, почему у меня первоначально сформировалось некоторое неприятие йода как хорошего дезинфектанта. Одно можно утверждать с уверенностью – особые сомнения вызвала проблема ополаскивания. Дело в том, что во многих статьях утверждалось: препараты йода удобны и предпочтительны даже не столько за счет низкого расхода и, следовательно, низкой стоимости обработки, но более всего благодаря тому обстоятельству, что после их использования оборудование не нужно ополаскивать водой [1, 2].

Что послужило источником моего недоверия? Я рассуждал примерно так. И хлор (опыт использования которого у меня уже был), и йод родственные химические элементы – галогены, то есть очень активные и потенциально опасные для здоровья вещества. Почему же после обработки хлоркой ферментер нужно ополоснуть водой, а после йода не нужно. С другой стороны, я, естественно, встречал и какую-то информацию о полезности йода для человеческого организма, чего никогда не слышал о хлоре.

Однако в упомянутых выше статьях для пивоваров и в разделах книг, посвященных йодофорам, которые мне попадались, были приведены настолько скудные сведения о самом йоде, его соединениях, влиянию на живые клетки и человеческий организм, что разобраться досконально в вопросах полезности и вредности оказалось совершенно невозможным делом. Согласитесь, чтобы стать убежденным сторонником идеи не ополаскивать ферментер после его обработки средством, убивающим живые клетки, нужно иметь веские основания.

Не меньшие подозрения вызвали у меня и сообщения о быстродействии йодофоров. По моему глубокому убеждению, заявления о том, что полная дезинфекция ферментера препаратами йода происходит в течение 60 секунд, лишены всяких оснований. Но не будем забегать вперед. Обстоятельный разговор об антимикробной активности нам еще предстоит.

Для того чтобы восполнить пробелы информации в изданиях для пивоваров и хоть как-то разобраться со всеми возникающими вопросами, автор этих строк предпринял собственное небольшое исследование самых разнообразных источников: от научных статей и технических отчетов до учебников по химии. Результаты его усилий изложены ниже.

Йод и человеческий организм

Наверное, каждый знает, по крайней мере, две вещи, что йод в медицинских целях чаще всего применяется наружно и что йодированная соль очень полезна для жителей континентальных районов земного шара, ибо они страдают от нехватки йода в организме. Как ни крути, но сделать из этих двух общеизвестных истин какие-то выводы в отношении правил использования дезинфицирующих растворов йода в домашнем пивоварении довольно сложно. Тут явно требуется какая-то дополнительная информация.

Как уже упоминалось, йод относится к группе веществ, называемых галогенами. С одной стороны, по реакционной способности йод — наименее активный галоген, но он все же галоген и поэтому химически достаточно активен, чтобы в свободном виде в природе не встречаться. Все галогены, и йод в том числе, встречаются в виде солей. В морской воде, например, содержится примерно равное количество иодидов (солей йодоводородной кислоты) и иодатов (солей йодноватой кислоты).

Именно в виде солей йод содержится в пищевых продуктах и в питьевой воде. В йодированной соли, например, йод присутствует чаще всего в виде иодата калия. При этом иодат в процессе готовки продуктов питания, а затем и в пищеварительной системе довольно быстро превращается в иодид, который легко всасывается в передних отделах тонкого кишечника. Из кишечника иодид калия переходит в плазму крови, откуда жадно поглощается щитовидной железой. Считается, что иодат калия в больших дозах менее полезен, чем иодид, но в малых он прекрасно усваивается человеческим организмом [8].

Чистый йод, без сомнения, ядовит. Даже привычная йодная настойка из аптеки при вдыхании ее паров поражает верхние дыхательные пути, а при попадании внутрь вызывает тяжелые ожоги пищеварительного тракта. Большие дозы элементарного йода опасны: доза 2...3 г смертельна.

В то же время в форме иодида (т.е. в своей природной форме) допускается прием внутрь довольно больших доз йода. Если ввести в организм с пищей значительное количество неорганических солей йода, концентрация их в крови может повыситься в 1000 раз, но уже через 24 часа после приема йодное содержание крови придет к норме. Однако большие дозы таких солей не рекомендуется принимать регулярно в течение продолжительного промежутка времени. Установлено, что это может вызвать болезненные изменения щитовидной железы.

В журнале для домашних пивоваров ВУО были приведены [2] дозы ежедневного приема йода, которые могут считаться опасными – 0,75 мг в день. Эксперты ВОЗ (Всемирная организация здравоохранения) предложили считать опасными дозы йода выше 1 мг в сутки. В Великобритании порог опасного потребления начинается с 0,017 мг йода на 1 кг веса или более 1 мг в сутки [8]. Необходимо отметить, что для лиц с клиникой некоторых заболеваний, например, гипертиреоза, указанные дозы чрезмерно велики и могут привести к печальным последствиям.

Многочисленные исследования воздействия соединений йода на человеческий организм чаще всего связаны с проблемой дезинфекции питьевой воды. Оказывается, во многих странах мира для этих целей был выбран именно йод, а не хлор, как в России. Врачи тщательно следили за состоянием здоровья американских солдат, активистов корпуса мира, заключенных, больных, принимающих различные препараты, астронавтов, школьников и других лиц, употреблявших йодированную воду регулярно в течение продолжительного времени. Результаты этих исследований легли в основу приведенной

выше нормы потребления йода, которую можно считать очень хорошо обоснованной [10]. Хотя, как мы уже видели и еще увидим ниже, возможны и некоторые вариации этой нормы.

Кому-то это может показаться странным, но я хочу привести примеры использования йода для дезинфекции оборудования – баков, трубопроводов и их содержимого ... из космической программы США, которая являет собой весьма убедительную картину. Причем и сами приемы дезинфекции, и технические устройства, предназначенные для этой цели, и эволюция этих приемов и устройств на американских космических аппаратах от «Аполлона» до «Шаттла» очень хорошо описаны в различных публикациях НАСА (Национального космического агентства США) [11].

Впервые йод для дезинфекции питьевой воды был использован НАСА в 1969 г. в программе покорения Луны. Баки лунной кабины космического корабля «Аполлон» перед полетом заполнялись водой, обогащенной элементарным йодом – концентрация I_2 составляла 12 мг/л (12 ppm). Пока стартовали, ложились на курс и летели к Луне, концентрация опускалась до 0,5 мг/л. Эту воду и пили астронавты. На космической станции «Skylab» применялась такая же техника, с той лишь разницей, что в воду, поступающую из топливных элементов, добавлялся раствор йода и иодида калия (1:2, с концентрацией йода 30 ppm) и концентрация йода в этой воде поддерживалась на уровне 0,5–6 мг/л.

Примерно также была первоначально устроена система водоснабжения многоразового космического корабля «Shuttle» («Космический челнок»). Однако в 1997 г. эксперты НАСА озаботились состоянием щитовидной железы американских астронавтов и поставили специальные ионообменные и угольные фильтры для удаления всех форм йода из питьевой воды космического корабля. С этого момента рацион питания на борту был подчинен требованию потребления не более 0,5 мг йода в день.

Что же происходило с активным и опасным молекулярным йодом в баках космических кораблей НАСА? Судя по первоначальной концентрации йода, в баки лунной кабины наливали именно дезинфицирующий раствор, способный убить все живое и в баках, и в самой воде. Почему же астронавты остались живы и здоровы? И куда делся йод? Кое-где в статьях для домашних пивоваров можно встретить утверждения о «летучести» йода. Но из баков космического корабля он вряд ли мог «улетучиться», даже если бы и обладал такой способностью. Йод, в отличие, например, от хлора, не очень-то летуч. При нормальных условиях хлор – газ и соответственно может улетучиваться из растворов. Йод при атмосферном давлении и комнатной температуре – твердое вещество и может улетучиваться – возгоняться, – если его хорошо нагреть. Плавится йод при 113,5 °С, кипит при 184 °С.

Для того чтобы разобраться с раствором йода в баках лунной кабины, нам придется немного углубиться в химию. Причем химия эта будет достаточно современной – отдельные результаты, из приведенных ниже, были получены в научных лабораториях на рубеже 1990-х и 2000-х годов.

Немного химии

Известно, что йод плохо растворим в воде, при 25 °С растворимость 0,3395 г/л. Правда, если принять во внимание рабочие концентрации йода в дезинфицирующих растворах 10–25 ppm, то растворимость в воде не кажется такой уж маленькой.

В водном растворе йод участвует в различных химических превращениях. В результате образуется целый набор соединений [4]:

I , I_2 , I_3^- , I_5^- , I_6^{2-} , HOI , OI^- , HI_2O^- , IO_2^- , H_2OI^+ .

Антимикробная активность их различна и до конца не изучена (отсюда вытекает и некоторое различие в рекомендациях о концентрациях и времени уничтожения микробов). Однако главную роль, по мнению многих исследователей, все же играет молекулярный йод – I_2 . Антиспоровое действие I_2 в 2–3 раза выше, чем HOI , но HOI в 40 раз активнее действует по вирусам [6]. Соединения OI^- и другие считаются биологически неактивными [3]. I_3^- , I_5^- представляют собой комплексы иодид иона (I^-) и молекулярного йода (I_2), где антимикробной составляющей также является I_2 .

Концентрации соединений йода в водном растворе зависят от различных факторов, прежде всего от первоначальной концентрации самого йода, рН-фактора и температуры раствора, присутствие в воде иодидов и гидрокарбонатов также оказывает влияние [4]. Для дезинфекции очень важно то, что равновесные концентрации и состав раствора зависят еще и от времени, прошедшего с момента растворения йода. Это связано с тем обстоятельством, что одни химические реакции происходят очень быстро, с бытовой точки зрения – мгновенно. Другие же, наоборот, очень медленно – по химическим представлениям. Точно так же и состав раствора – сразу после растворения один, спустя какое-то время (зависящее от температуры) совершенно другой. На обеих стадиях процесса важную роль играет рН фактор.

Сразу после растворения йода (свежий раствор) [4] при $pH < 6$ присутствуют только I , I_2 и I_3^- . При $pH 8–9$ и низкой концентрации растворов ($c(I_2) < 10^{-5} M$), HOI составляет 90% общей активности. Только при $pH > 10$ начинают преобладать IO^- и I_2OH^- .

Ученые и специалисты НАСА [12] провели сложные компьютерные расчеты (с учетом тринадцати химических реакций) для обеих стадий. В результате было получена следующая картина. Пусть рН фактор воды будет равен 7 (нейтральная реакция). Если в такую воду добавить 2 мг/л йода, то сразу после растворения концентрация активного молекулярного йода (I_2) немного уменьшится, примерно в два раза, и появится соответствующее количество ионов I^- и I_2OH^- . Концентрации других веществ, например йодноватистой кислоты (HOI), будут на уровне 0,001 мг/л. Таким образом, получится вполне приличный дезинфицирующий раствор, способный убивать живые клетки. Спустя какое-то время (продолжительность зависит от температуры) картина изменится. Концентрация активного молекулярного йода упадет до 0,001 мг/л, и в растворе будут присутствовать в основном иодид (I^-) и иодат (IO_3^-) ионы. В сочетании с растворенными в воде солями жесткости (положительно заряженными ионами магния и кальция) получится вполне безобидный раствор, чрезмерное и регулярное употребление которого может привести у здорового человека только к небольшому увеличению щитовидной железы.

Цвет йода – черно-серый с фиолетовым металлическим блеском. Цвет паров – темно-фиолетовый. В разных растворителях йод имеет разный цвет: в воде он желтый, в бензине, тетрахлориде углерода CCl_4 , многих других так называемых «инертных»

растворителях имеет фиолетовый цвет – точно такой же, как у паров йода. Раствор йода в бензоле, спирте и ряде других растворителей имеет буро-коричневый цвет (как у йодной настойки); в водном растворе поливинилового спирта $(-CH_2-CH(OH)-)_n$ йод имеет ярко-синий цвет (этот раствор применяется в медицине в качестве дезинфицирующего средства под названием «иодиол», им полощут горло, промывают раны).

Соли йода – иодиды – вообще бесцветны и выглядят как обычная поваренная соль, лишь некоторые из них имеют слегка желтоватый оттенок. Водные растворы этих солей так же как и растворы йодоводородной и йодноватой кислоты, бесцветны.

Давайте теперь вспомним, что происходит с дезинфицирующим раствором йодофора или настойки йода из аптеки (если у вас уже был опыт их использования)? Да-да, его цвет постепенно бледнеет и вскоре совершенно исчезает. Что же происходит при этом с йодом? С ним происходит то, что и должно происходить и что было показано выше – йод в растворе переходит в нормальную форму своего существования в природе – иодиды и иодаты.

Вот теперь самое время вспомнить о проблеме ополаскивания оборудования после обработки йодом. Как нетрудно видеть, с этим вроде бы все в порядке – йод в водном дезинфицирующем растворе постепенно превращается во вполне удобоваримый для человеческого организма вид – иодид. И то огромное количество воды: 999 975 мг на каждые 25 мг солей йода – может быть вполне нормальным ополаскиванием для ферментера. Во всяком случае 25 мг связанного йода уж точно не хуже, чем 350 мг хлоридов, допустимых санитарными нормами содержания вредных веществ в одном литре питьевой воды. Соли йода даже будут полезны в тех умеренных дозах, в которых они могут остаться на стенках ферментера и попасть в пиво.

Конечно, все эти химические превращения йода происходят не за 30 секунд. Есть данные, что йодноватистая кислота (НОІ) может весьма долго присутствовать в питьевой воде, прошедшей обработку йодом, от 10 до 1000 дней [5]. При этом она способна вступать в реакции с органическим веществом, образуя иодоорганику, с которой часто связывают проблемы аромата и вкуса питьевой воды. Однако равновесные концентрации НІО небольшие, и пиво обладает своими ярко выраженными вкусовыми качествами, поэтому подобных проблем может и не возникнуть, тут все зависит от индивидуальных особенностей потребителя.

Концентрация рабочих растворов и продолжительность дезинфекции

Давайте вернемся к вопросу активности препаратов йода в отношении микроорганизмов. Пивоваров интересуют два вопроса: какая концентрация дезинфицирующего средства и какое время контакта требуются, чтобы на сто процентов убить все вредные для пива микроорганизмы. К сожалению, на этот вопрос нет простого и одновременно верного ответа. Тому есть несколько причин. Самая главная заключается в том, что всякая живая тварь требует индивидуального подхода. Вторая связана с тем, что микроорганизмы-вредители прячутся в различных труднодоступных местах, например в частичках грязи. Третья относится к дезинфицирующим свойствам растворов йода, которые могут зависеть от различных параметров, например рН фактора и температуры раствора.

Приведу пару примеров. На пивных заводах есть такие огромные устройства, называемые туннельными пастеризаторами. Там разлитое в бутылки или бочки пиво выдерживают определенное время при определенной температуре. Это делается для того, чтобы убить в

пиве бактерии и оставшиеся дрожжи. Нормы обработки научно обоснованы. Но вот в чем беда, какая-нибудь бактерия может оказаться в комочке из трупов дрожжей и выживет, да еще и питанием будет обеспечена. Споры диких дрожжей по живучести не идентичны вегетативным клеткам. Есть экспериментальные подтверждения выживаемости этих спор в пастеризаторах, настроенных на живые клетки.

Обратимся к другим примерам. В литературе [7] приведены следующие данные. Cheng & Levin (1970) сообщают, что время для уничтожения 90% спор *Aspergillus niger* составляет 0,86 мин при экспозиции в растворе йодофора с концентрацией йода 20 ppm, pH 3,0 (это близко к заявленным в [1] 60 с.). В растворе гипохлорита натрия той же концентрации подобного результата удалось добиться за 1,31 мин. при pH 7,0. Kurtzman & Hesseltine (1970) приводят данные, что 7 видов плесени и 4 вида дрожжей были уничтожены в растворе хлора с концентрацией 1,25 ppm после 1 мин экспозиции. В этих сообщениях, пожалуй, самое интересное то, что 10% спор могут выжить при смертельных концентрациях дезрастворов в течение более чем минуты. Поэтому для гибели 99,999% клеток или спор может понадобиться более продолжительный отрезок времени. Так, для относительно полного уничтожения некоторой живности (99,999%) в растворе йода с концентрацией 14,6 ppm требуется 10 минут [6].

Таким образом, можно сделать вывод: в течение объявленных в некоторых статьях для домашних пивоваров «60 с.» может остаться в живых определенный процент микроорганизмов одного вида, даже весьма чувствительного к данному химическому препарату. Этот вывод касается «чистых» лабораторных условий в чашках Петри, где микробам негде «спрятаться».

В реальном пивном оборудовании микробы могут «скрываться» в труднодоступных для дезинфекции местах – микропорах старых пробок, под уплотнительной лентой, с помощью которой прикручен кран ферментера, и т.д. По этой причине также не стоит торопиться выливать раствор и заканчивать дезинфекцию слишком быстро. Антимикробному средству может понадобиться какое-то время, чтобы «добраться» до самих микробов. Это время сложно рассчитать точно. Все зависит от того, что вы конкретно дезинфицируете. Можно возразить, что и пиво вряд ли доберется до бактерий, застрявших, например, на слоях уплотнительной ленты. Вероятно, куда-то и не доберется, только не забывайте, что пиво будет находиться в соприкосновении с этим оборудованием неделю, а иногда и существенно больше.

С пробками немного другая история. Трещины в старой резине могут быть плохо доступны для жидкости. Если же кратковременно обработать пробку в дезрастворе, это не даст нужного антимикробного эффекта. Однако эти поры гораздо лучше проницаемы для воздуха, поэтому малейший подсос внешней газовой среды (скажем, при сливе пива из крана ферментера) может вызвать попадание живых микробов, а также их спор из этих убежищ напрямиком в пиво.

Выше речь шла о чувствительных к воздействию йода видах микроорганизмов. Однако встречаются и другие варианты. Споры плесени, называемой *Byssochlamys fulva*, чувствуют себя прекрасно в растворе йода с концентрацией 445 ppm – в течение 40 минут сохраняют жизнеспособность 100% спор и только через час их остается 10%. Примерно так же неэффективен и хлор. *Byssochlamys fulva* не относится, по счастью, к контаминантам пива и не может в нем развиваться, но она достаточно распространена в природе (плесень поражает фрукты). Я привел эти сведения в качестве примера того,

насколько по-разному микроорганизмы могут реагировать на одни и те же дезинфицирующие средства.

По этой причине в различных специальных статьях [13] и книгах можно встретить информацию о том, что йод не относится к стерилизующим средствам и обеспечивает лишь дезинфекцию среднего уровня. Это означает, что йод и его препараты не в состоянии убить все формы микроорганизмов, известные современной науке, причем имеются в виду наиболее устойчивые из них – споры бактерий и плесеней. Это действительно так. Однако для пивоварения йод подходит вполне. Ибо он очень эффективен в отношении микроскопических форм жизни, способных развиваться в пиве. Нельзя забывать, что само пиво – совершенно особая среда, в которой многие формы микроорганизмов, те же плесени и спорообразующие бактерии, просто не развиваются. Плесень нуждается в кислороде, – а в пиве, быстро засеянном большим количеством дрожжей, для развития плесени его будет явно не хватать. Споры бактерий не могут прорасти при значениях рН фактора менее 5 единиц. Так что следите за параметрами пива. Если они в норме, то микробам придется там туго. Но, к сожалению, далеко не всем.

В пивоварении возможны ситуации, когда дезинфекции среднего уровня будет недостаточно. Однако все эти примеры относятся к процессу разведения чистых культур дрожжей, когда из одной дрожжевой клетки выращиваются миллиарды клеток, необходимых для засева суслу. При этом требования к стерильности и чистоте совершенно иные. В этих ситуациях используется совершенно другая техника стерилизации, и, конечно, препараты йода уже не подходят для достижения столь высоких стандартов. Причина уже известна – чрезвычайная устойчивость к йоду спор некоторых видов плесени, которая с успехом может развиваться на поверхности питательных сред в чашках Петри и в пробирках на косых агарах, так как и те, и другие непосредственно контактируют с воздухом.

Техника дезинфекции домашнего оборудования аптечным йодом.

Аптечный раствор йода отпускается в небольших пузырьках объемом 10 мл, что весьма удобно для дезинфекции оборудования, используемого в домашнем пивоварении. В растворе содержится 5% активного молекулярного йода (I_2), полграмма на один пузырек. Этого количества достаточно, чтобы приготовить 40 литров дезинфицирующего раствора с концентрацией I_2 12,5 ppm или 25 л с концентрацией 20 ppm. При выборе объема воды нужно исходить из двух соображений. Во-первых, концентрация йода в растворе не должна быть менее 10–12 ppm. Во-вторых, при растворении йода в нейтральной воде (рН=7) примерно половина активного молекулярного йода сразу же превращается в ионы иодида и иодата, безвредные для бактерий. Поэтому если вы растворите пузырек аптечного йода в 25 л воды, то получите прекрасный дезинфицирующий раствор, способный убить любую опасную для пива живность.

Главное – не лейте йод в горячую воду, иначе вместо дезинфицирующего раствора вы довольно быстро получите безобидный раствор солей йода, в умеренных дозах, правда, очень полезных для здоровья. Комнатная температура или температура холодной воды из-под крана будет вполне подходящей для нужд дезинфекции. Я бы советовал не добавлять йод в только что налитую из водопровода воду, дайте ей отстояться, пусть вначале свободный остаточный хлор немного улетучится, потом уже можно будет добавить йод.

Не торопитесь выливать дезинфицирующий раствор. Подержите его в вашей емкости хотя бы полчаса. Если вы не заполнили ее до краев, то потряхивайте или покачивайте ее регулярно, чтобы раствор постоянно смачивал всю внутреннюю поверхность. Мелкие части оборудования, например, пробки и краны, представляют дополнительную угрозу, там микроорганизмам есть куда «спрятаться». Замачивайте их в дезинфекционном средстве до того, как прикрепить к ферментеру. Ополаскивать оборудование водой после дезинфекции йодом нет необходимости. Оставшийся раствор можно даже попробовать на вкус. Но такой эксперимент лучше проводить на следующий день после растворения йода, и этого ни в коем случае не нужно делать, если у вас имеется какая-то болезнь, связанная со щитовидной железой и ее функцией.

Чтобы получить опасную для щитовидной железы здорового организма дозу соединений йода, нужно «выпивать» по 30 мл дезинфицирующего раствора каждый день (при его концентрации по йоду 25 ppm) на протяжении довольно длительного промежутка времени. Однако если вы пьете пиво ежедневно и в нем содержатся остатки дезраствора, то вы будете получать йод регулярно. Давайте рассмотрим разные варианты. Хотя 30 мл это вроде и не много, всего две столовые ложки, но где они могут «спрятаться»? В бутылке такого количества никто не оставит, как минимум раз в десять-двадцать меньше. Если ферментер обрабатывать дезсредством и потом опорожнять его через край, внутри тоже останется не больше чайной ложки. Если заполнять до краев и сливать через кран, то останется, конечно, больше. Однако если умножить опасную дозу на 24 литра (предположим, что будет выпиваться по литру пива в день и партия имеет такой объем), то нужно оставить 720 мл во всех ферментерах (первичном, вторичном и разливочном), т.е. получается, по 240 мл на каждую обработку. Это стакан! Тоже вряд ли. Даже если в бутылках будет оставаться по два-три миллилитра, трудно набрать опасную дозу.

Но это дозы, опасные для здоровья. Чтобы спать спокойно, нужно оставаться в пределах «полезной» дозы (ведь организм получает йод из других источников – соль, морские продукты). За основу можно взять, например, содержание йода в воде "Новокурьянская ПРЕМИУМ" – 0,04–0,06 мг/л. Это уже в десять раз меньше опасной дозы (и почти совпадает с суточной потребностью организма 100 мкг [8]). Следовательно, при каждой обработке баков должно оставаться не более 24 мл раствора (полторы столовые ложки). Из бутылок тоже лучше все тщательно вылить.

Йод окрашивает дезинфицирующий раствор в желтый цвет, и это хорошо, потому что по интенсивности этой окраски вы скоро сможете определять пригодность растворов для дезинфекции. Йод окрашивает и пластик оборудования, но это не страшно и даже удобно – частички грязи на поверхности ферментера будут иметь более интенсивную окраску, и вы сможете их легко обнаружить и устранить, как потенциальный очаг заражения.

Санитарные правила и нормы требуют, чтобы значение pH-фактора питьевой воды изменялось в пределах $6 \leq \text{pH} \leq 9$. Для дезинфекции с помощью йода требуется вода с нейтральной или слабокислой реакцией (в следующем разделе этот вопрос будет рассмотрен подробнее). Поэтому нужно хотя бы один раз определить pH-фактор вашей водопроводной воды – важно, чтобы он не был заметно больше 7. Для этого вполне может подойти индикаторная бумага. Стоит она очень недорого, и ее можно приобрести в любом магазине лабораторной техники. Если индикаторные полоски остаются желтыми или становятся бледно-зелеными, то у вас все в порядке, если зеленый цвет делается весьма насыщенным, то вода имеет «щелочную» реакцию – такую воду лучше всего «подкислить» любым известным вам способом.

рН дезинфицирующего раствора йода

В статьях и книгах о дезинфекции можно встретить совет подкислять дезинфицирующий раствор йода до рН=5. В статьях про йодофоры в последнее время, наоборот, утверждается, что эти препараты прекрасно работают без подкисления. Что это за разговоры о кислотности? В чем их причина? Она кроется в остаточной концентрации свободного молекулярного йода в водном растворе дезинфицирующего средства. Как уже упоминалась, именно такой йод играет ведущую роль при дезинфекции и его концентрация после растворения в воде весьма чувствительна к значению рН фактора.

Выше была представлена идеальная картина, характерная для строго нейтрального водного раствора йода (рН=7). В этой ситуации сразу после растворения в воде остается достаточно высокая концентрация молекулярного йода (около половины от растворенного количества), и раствор обладает высокой антимикробной активностью. В финале концентрация свободного йода заметно снижается (почти в 1000 раз), и в растворе в основном присутствуют вполне безопасные для здоровья иодиды и иодаты. Именно по этой причине считается, что для дезинфекции питьевой воды лучше всего подходит значение рН фактора, близкое к 7. Йод в таком растворе активно убивает микроорганизмы и в финале самонейтрализуется.

В реальной жизни вода может иметь либо щелочную, либо кислую реакцию. Сразу отметим, что при высоких значениях рН концентрация молекулярного йода сразу после растворения очень сильно снижается и надлежащей антимикробной эффективности от такого раствора ждать не приходится. Значения концентрации молекулярного йода для различных значений рН приведены в таблице (для стартовой концентрации йода в растворе 2 мг/л). В таблице указаны две концентрации – сразу после растворения и равновесная, которая останется в растворе спустя довольно продолжительное (и достаточное для дезинфекции) время, которое зависит от температуры.

Значение рН-фактора	Концентрация I ₂ после растворения, мг/л	Равновесная концентрация I ₂ , мг/л
8	≈10 ⁻¹	10 ⁻⁵
7	1	10 ⁻³
6	≤ 2	10 ⁻¹
5	≈ 2	≈ 1
4	≈ 2	≈ 2

Легко заметить, что с ростом кислотности конечное содержание активного молекулярного йода в растворе стабилизируется и довольно долго может сохранять высокое значение. После завершения дезинфекции в этом случае может возникнуть проблема очистки от активного свободного йода, который способен вызвать у некоторых людей аллергическую реакцию. Предлагаются, например, различные способы удаления йода из сыворотки крови после дезинфекции кровезаменителей или донорской крови растворами йодофоров. Для этих целей используются различные вещества-адсорбенты: крахмал, кукурузное масло и другие [6]. Адсорбенты «взаимодействуют» со свободным остаточным йодом и никак не влияют на содержание солей йода.

Пиво, конечно, – не кровь для переливания, и возможностей вызвать аллергию у него существенно меньше, но любой пивовар все равно вправе задать вопрос: как много

свободного йода останется в пиве, скажем, через месяц после обработки ферментера, и может ли это иметь какие-то вредные последствия?

Давайте вначале посчитаем, сколько I_2 может попасть в пиво после дезинфекции оборудования подкисленным раствором ($pH=6$). Мы уже прикидывали, что в пиво не должно попадать более 0,06–0,10 мг всех форм использованного изначально йода. Расчеты [12] показывают, что при $pH=6$ остаточный свободный йод в растворе составляет примерно 0,1 от первоначального количества. Таким образом, его концентрация в пиве вряд ли превысит значение 0,006–0,001 мг/л, скорее всего, она будет даже меньше.

Напомню, что американских астронавтов на Луне поили не то чтобы напитком, в котором осталось немного дезинфицирующего раствора (0,006 мг/л), а этим самым раствором с остаточной концентрацией молекулярного йода 0,5 мг/л. Домашний пивовар находится все же в более выгодной ситуации, не правда ли. Но и это еще не все. Дело в том, что свободный йод очень активно взаимодействует с различными веществами органического происхождения – вспомните крахмал. Пиво содержит в себе достаточно много веществ подобного рода, способных активно адсорбировать и инактивировать йод.

О влиянии пива на биологическую активность йода свидетельствуют такие эксперименты [14]. Дезинфицирующие растворы девяти различных йодофоров смешивались с небольшим количеством пива, затем проверялось действие полученных композиций на микроорганизмы. Очень часто растворы становились абсолютно безвредными для подопытных дрожжей при добавлении всего 5–6% пива. Иногда требовалось добавить 20–25%. В нашем случае пива будет гораздо больше, а раствора йода существенно меньше. Так что свободный йод будет инактивирован полностью. На этом, пожалуй, можно и закончить, заверив читателей, что никаких неприятных сюрпризов для здоровья дальнейшие эволюции йода не сулят. Результатом этих превращений будут все те же соли йода и их соединения, которые в умеренных дозах прекрасно усваиваются человеческим организмом.

Возможно, кто-то на этом остановиться не захочет. В этом случае можно предложить чрезвычайно чувствительную йодкрахмальную реакцию для исследования собственного пива на предмет содержания в нем остатков активного йода. Эта реакция позволяет обнаружить очень малые количества йода в водных растворах. Для исследования необходимо оставить немного использованного дезсредства и периодически добавлять каплю этой жидкости к водному раствору крахмала. Синяя окраска появится, если в дезрастворе останется даже ничтожное количество йода 1 мкг и менее. То же самое нужно проделать и с каплей пива.

Сравнение антимикробной активности различных препаратов йода и хлора

Пивоварам должно быть особенно интересно, какова активность рекомендованных производителем дезинфицирующих средств в отношении реальных вредителей пива. Такие исследования были проведены. Patricia J. Braithwaite из The Metal Box Co. Ltd. [14] тестировала девять фирменных йодофоров, рекомендованных производителем для дезинфекции в пищевой промышленности. Для изучения их воздействия на микроорганизмы использовался двадцать один штамм реальных диких дрожжей и спор, выявленных на пивоваренных заводах.

Несколько слов о том, как «устроены» йодофоры. В этих препаратах йод слабо соединен с поверхностно активным веществом (ПАВ), которое действует как «курьер» – передает

молекулу йода куда нужно, вследствие чего растворы йодофоров менее агрессивно жгут и красят. Благодаря этой особенности они нашли широкое применение в медицине. Для нужд дезинфекции ПАВы также играют свою положительную роль – способствуют проникновению йода в различные «трудно доступные» места, например комочки грязи. Поэтому считается, что в сочетании с ПАВ препараты йода более эффективны. При этом ПАВы не оказывают влияния на механизмы антимикробного действия йода и его соединений. На микроскопическом уровне все происходит точно так же. Даже химия йода в водных растворах йодофоров подчиняется всем тем закономерностям, которые были описаны выше [4]. Отметим, что в состав коммерческих йодофоров часто входит ортофосфорная кислота, которая обеспечивает необходимую высокую кислотность ($pH \leq 3$) для их стабильности в период хранения.

Эффективность различных дезинфицирующих средств часто сравнивается по «времени десятикратного сокращения» популяции живых микроорганизмов. Оказалось, что для различных йодофоров этот параметр изменяется в очень широких пределах – от 1,2 до 8 секунд (использовались растворы с одинаковой рабочей концентрацией йода 25 ppm). В результате после 50 секунд обработки одними препаратами оставалось «в живых» около 0,01% диких дрожжей, в то время как после применения других – менее 0,001%. Более эффективными оказались хорошо буферизированные фосфорной кислотой средства (вероятнее всего, они просто лучше «сохраняются»). Необходимо отметить, что после быстрого снижения численности живых клеток в первые 20 секунд обработки (от 1 000 до 10 000-кратного) эффективность препаратов падает. Следующие 20 секунд добавляют только еще одно 10-кратное сокращение.

Условия работы – pH и температура раствора – влияют на эффективность препаратов. Ниже в таблице приведено время десятикратного сокращения (в секундах) для одного из йодофоров (при концентрации йода 25 ppm).

Температура / pH	7,0	6,0	3,5
15 ⁰ C	1,8	1,8	1,7
25	1,8	1,8	1,7
45	1,5	1,5	1,3

Эффективность гипохлорита натрия оказалась при такой же концентрации хлора (25 ppm) заметно меньше, что хорошо видно из другой таблицы:

Температура / pH	7,0	6,0
15 ⁰ C	7,3	5,5
25	5,3	3,3
45	2,6	2,25

В отношении спор диких дрожжей и йодофоры и гипохлориты оказываются менее эффективными. Для десятикратного сокращения числа жизнеспособных спор йодофору требуется уже не 1,8 (как в случае с активными клетками), а 18 секунд. После 60 секунд обработки в растворе выживают около 0,1% спор диких дрожжей.

Из приведенных данных видно, что повышение температуры на 20 градусов может существенно повысить антимикробную активность хлора. Для йода температура менее критична, хотя небольшое повышение активности имеет место. Влияние значения pH фактора тоже оказывается заметнее для хлора, йод при pH=6 и pH=7 действует

практически с одинаковой силой, лишь при существенном увеличении кислотности раствора ($\text{pH} \leq 3,5$) немного увеличивается антимикробное действие, что особенно заметно при повышенной температуре. Так что сделанный выше вывод о благоприятных для дезинфекции домашнего оборудования значениях pH (≈ 7) подтверждается и в этом случае.

Почему йод?

После всего сказанного уже, видимо, ни у кого не осталось никаких сомнений в том, что аптечный йод может с большим успехом применяться домашними пивоварами для дезинфекции оборудования. Повторим еще раз, почему это так.

Во-первых, это один из самых доступных препаратов – в любом уголке страны его можно приобрести по весьма демократичной цене, чуть ли не за каждым углом, а его расфасовка как будто специально придумана для дезинфекции ферментера.

Во-вторых, это очень эффективное средство, способное уничтожить любые микроорганизмы, представляющие опасность для производства пива (как показывают исследования, более эффективное, чем соединения хлора), не нужно только проявлять суетность и торопиться выливать дезинфицирующий раствор.

В-третьих, для приготовления растворов подходит практически любая вода, имеющая нейтральную или слабокислую реакцию ($\text{pH} \approx 7$).

В-четвертых, свободный молекулярный йод, который обладает высокой биологической активностью и убивает микробов, постепенно самоустранивается из раствора, превращаясь в соединения, которые хорошо усваиваются человеческим организмом, – иодиды и иодаты; поэтому небольшие остатки дезинфекционного средства и в ферментере, и в бутылках совершенно не опасны для здоровья, и оборудование не нужно ополаскивать.

В заключение, не без некоторого сожаления, надлежит отметить, что за пределами обсуждения остались весьма интересные области. Прежде всего, это удивительный мир биохимии йода, где не утихают споры, присутствуют неразгаданные загадки и много чего другого, чем так привлекательна наука для пытливого ума. Где-то там еще не обнаруженные разгадки антимикробного действия йода, тайны превращений его органических соединений в различных органах и тканях, загадочное воздействие другого очень редкого элемента – селена – на кругооборот йода в организме животных и человека и многое другое. Однако экскурсия в эту обширную и весьма интересную область пока не входит в планы автора данной статьи. «Поездка», конечно, может состояться в обозримом будущем, но это будет уже совсем другая история.

Библиографический список

1. Iodophor, By Robert Arguello.
<http://www.bayareamashers.org/content/maindocs/iodophor.htm>
2. BYO, (Jan, 2003).
<http://www.byo.com/mrwizard/1065.html>

3. Микробиология пива. – 3-е изд. / под ред. Фергюса Дж. Приста и Йена Кэмпбелла. – СПб.: Профессия, 2003.
4. Iodine and disinfection: theoretical study on mode of action, efficiency, stability, and analytical aspects in the aqueous system / W. Gottardi, Arch Pharm (Weinheim). – 1999. – May; 332(5):151-7.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10409102>
5. Hypoiodous acid : Kinetics of the buffer-catalyzed disproportionation / Y.Bichsel, U. von Gunten, Water research. – 2000. – Vol. 34, no12 – P. 3197–3203.
<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=1391134>
6. A Method of inactivating microbes in blood using iodine (WO/1994/006289).
<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=US1993004279&DISPLAY=DESC>
7. The Destruction of *Byssochlamys fulva* asci by Low Concentration of Gaseous Methyl Bromide and by Aqueous Solutions of Chlorine, an Iodophor and Peracetic Acid / K.A. Ito, Marcla L. Seeger, W.H. Lee, J. appl. Bact. – 1972. – 35, 479–483.
<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/120076691/PDFSTART?CRETRY=1&SRETRY=0>
8. О безопасности йода и йодата калия. (Обзор литературы) / Г.А. Герасимов: Принята к публикации журналом «Клиническая тиреоидология», Международный совет по контролю за йододефицитными заболеваниями (МСКЙДЗ/ICCIDD), Москва.
http://www.ceecis.org/iodine/16_rus_doc/08_production/Safety%20of%20iodate_RUS.doc
9. Disproportionation Kinetics of Hypoiodous Acid As Catalyzed and Suppressed by Acetic Acid-Acetate Buffer, E.T. Urbansky, B.T. Cooper, D.W. Margerum. Department of Chemistry, Purdue University, West Lafayette, Indiana 47907-1393. Inorg Chem. – 1997. Mar 26; 36(7), 1338–1344.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11669710>
10. Use of Iodine for Water Disinfection: Iodine Toxicity and Maximum Recommended Dose, Howard Backer.
<http://www.ehponline.org/docs/2000/108p679-684backer/abstract.html>
11. Reduction in the Iodine Content of Shuttle Drinking Water: Lessons Learned, Curt J. Wiederhoeft and John R. Schultz Wyle Laboratories, William F. Michalek UMPQUA Research Company, Richard L. Sauer NASA / Johnson Space Center. UMPQUA Research Company. – 1999.
<http://www.unc.edu/pubs/URC-1999c.pdf>
12. Numerical Simulation of Iodine Speciation in Relation to Water Disinfection Aboard Manned Spacecraft I. Equilibria / James E. Atwater UMPQUA Research Company P.O. Box 609 Myrtle Creek, Oregon 97457, Richard L. Sauer NASA, Lyndon B. Johnson Space Center M/S SD4, Houston, Texas 77058, John R. Schultz KRUG International 1290 Hercules Drive, Houston, Texas 77058. J. Environ. Sci. Health. –1996. – A31(8), 1965-1979.
<http://www.unc.edu/pubs/URC-1996c.pdf>
13. Ракитин А.В. Новые дезинфекционные и стерилизационные технологии на современном этапе.
<http://www.omsksanepid.ru/load/dez.rtf>
14. Iodophors as an aid to sanitation in beer canning plants/Patricia J. Braithwaite. Fd Technol. – 1973. – No 8. – P. 269–281.
<http://www3.interscience.wiley.com/journal/120073770/abstract>