
Растительные экстракты как ингибиторы коррозии меди. Обзор. Часть 2

С. Билгич

Университет Анкары, факультет естественных наук, отдел химии, 06100, Анкара,
Турция

E-mail: bilgic@science.ankara.edu.tr

Аннотация

Один из методов предотвращения коррозии заключается в добавлении в агрессивную среду химических соединений, называемых ингибиторами. Ингибиторы могут представлять собой неорганические или органические соединения. Однако эти соединения могут быть опасны для здоровья человека и окружающей среды из-за своего токсичного действия. К тому же добыть их может быть сложно и дорого. По этой причине в последние годы предметом многих исследований являются нетоксичные, биосовместимые, безвредные для здоровья человека и окружающей среды ингибиторы коррозии, которые можно легко и дешево получить. Многие исследователи сосредоточились на новом классе ингибиторов, таких как растительные экстракты, экстракты фруктов и овощей и эфирные масла. Растительные экстракты представляют собой наиболее изученный класс этих ингибиторов, называемых зелеными ингибиторами. Защитное действие растительных экстрактов обусловлено адсорбцией их молекул на поверхности металла. Они обеспечивают металл защитной пленкой, блокируя активные центры. Формирование пленки обеспечивает металлической поверхности физический барьер от агрессивных сред и обеспечивает защитный эффект от коррозионных воздействий. Медь — благородный металл, и благодаря этому свойству она устойчива к коррозии. Однако определенные условия могут вызвать коррозию меди, например, загрязненный воздух, окисляющие кислоты, окисляющие соли тяжелых металлов, сернистый аммиак и некоторые соединения серы и аммиака. Поэтому исследование коррозии меди имеет важное значение. В данном обзоре обобщены исследования экстрактов растений, оказывающих ингибирующее действие на коррозию меди.

Ключевые слова: коррозия, медь, ингибитор, растительные экстракты.

Поступила в редакцию 22.10.2024 г.; После доработки 29.10.2024 г.; Принята к публикации 11.11.2024 г.

doi: [10.61852/2949-3412-2024-2-4-1-19](https://doi.org/10.61852/2949-3412-2024-2-4-1-19)

Исследования в кислой среде

В сернокислотной среде

Авторы [1] сообщили об эффективности ингибирования коррозии меди экстрактом листьев *Azadirachta indica* в растворе 0,5 М H_2SO_4 . Ингибирующие свойства изучали с использованием методов потери веса и электрохимической поляризации. Установлено, что эффективность ингибирования Z увеличивается с повышением концентрации экстракта. Максимальная эффективность экстракта Z , определенная измерениями поляризационного сопротивления, составила 86,4%. Адсорбция *Azadirachta indica* на меди описывается уравнением изотермы Фрумкина. Кофеин [2] исследовался как ингибитор коррозии меди в 0,1 М растворах H_2SO_4 . Методами ПДП, СЭИ, измерения угла смачивания, СЭМ, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) детально исследовано адсорбционное и ингибирующее действие кофеина на меди в аэрированных 0,1 М растворах H_2SO_4 . Согласно полученным данным, кофеин ведет себя как ингибитор катодного типа и адсорбируется на поверхности меди согласно изотерме Темкина. Максимальная эффективность ингибирования составила 71%.

Влияние экстракта растения конопли [3] на коррозию меди в 0,5 М H_2SO_4 было проиллюстрировано с использованием методов потери массы металла, оптической микрофотографии, ПДП и СЭИ. С помощью этих методов обнаружено, что эффективность ингибирования увеличивается с повышением концентрации экстракта. Потенциодинамическим методом определена максимальная эффективность $Z = 96,0\%$, а при СЭИ она была 91%. Было обнаружено, что изотермы Ленгмюра, Флори-Хаггинса и кинетическая термодинамическая модель применимы для соответствия данным адсорбции экстракта конопли на поверхности меди.

Бозорг и др. [4a], используя методы гравиметрии, ПДП, СЭИ, АСМ и СЭМ указали на ингибирующие свойства *Myrtus communis* в растворе H_2SO_4 по отношению к меди. Установлено, что эффективность ингибирования возрастает с повышением времени погружения в серную кислоту. Установлено, что адсорбция экстракта *Myrtus communis* на поверхности меди соответствует изотерме адсорбции Ленгмюра. Еще одно исследование *Myrtus communis*, который является эффективным ингибитором коррозии меди в сернокислой среде, было проведено Дахмани и др. [4b]. Влияние этого масла на коррозию меди было установлено экспериментальными исследованиями ПДП и СЭИ, а также завершились теоретическими расчетами. Эфирное масло *Myrtus communis* анализировали с помощью газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ/МС). Кроме того, погруженная поверхность меди была идентифицирована с помощью СЭМ в сочетании с энергодисперсионным рентгеновским анализом (СЭМ/ЭДС) и атомно-силовой микроскопии АСМ. Эффективность ингибирования увеличивалась с повышением $C_{\text{ин}}$. Максимальная эффективность ингибирования $Z = 93,5\%$ при $C_{\text{ин}} = 2,0$ г/л.

Каруппасами и др. [5] указали на ингибирующее действие *Phyllanthus amarus* и на коррозию меди и латуни в 2 М H_2SO_4 с использованием метода потери массы. Установлено, что скорость коррозии и эффективность ингибирования более благоприятны для *Aegle marmelos*. Самая высокая эффективность ингибирования $Z = 95,71\%$. Линейная зависимость уравнения Ленгмюра подтверждает адсорбцию ингибиторов на поверхности меди. Ингибирование коррозии меди экстрактом итальянского бессмертника в условиях имитации кислотных дождей определяли с помощью электрохимических методов [6]. Результаты показали повышение эффективности ингибирования коррозии при увеличении $C_{\text{ин}}$ экстракта этого бессмертника. Термодинамические расчеты показали, что адсорбцию имеет физическую природу и описывается изотермой Фрейндлиха.

Авторы [7] определили, что эфирное масло *Allium sativum* ингибирует коррозию Cu в 0,5 М H_2SO_4 . Были применены методы ПДП и СЭИ. Полученные результаты показали, что эффективность ингибирования зависит от $C_{\text{ин}}$ и температуры. Максимальная величина $Z = 97\%$ при $C_{\text{ин}} 1 \text{ г/л}$.

Newbouldia laevis [8a,b] была проиллюстрирована как ингибитор коррозии меди в среде H_2SO_4 . Океома [8a] объяснил влияние магнитных полей на процесс торможения с помощью химических квантовых расчетов. Показано увеличение эффективности ингибирования в присутствии магнитных полей. В другом исследовании экстракт листьев *Newbouldia laevis* и магнитное поле на коррозию меди в 0,5 М растворе H_2SO_4 были опубликованы Океомой в [8b] с использованием метода гравиметрии и теоретического квантово-химического расчета. Оказалось, что присутствие *Newbouldia laevis* и магнитного поля способствует снижению скорости коррозии. Эффективность защиты возрастала с повышением $C_{\text{ин}}$ экстракта. Магнитное поле вызывало большее увеличение Z . Его величина снижается с повышением температуры. Среди протестированных изотерм адсорбции лучше всего экспериментальные данные описываются уравнением Ленгмюра.

В таблице 4 показаны экстракты нескольких растений, которые эффективны как ингибиторы коррозии меди при разных концентрациях H_2SO_4 .

Таблица 4. Различные растительные экстракты как ингибиторы коррозии меди в средах H_2SO_4 .

Экстракт	Среда	Методы	Изотерма адсорбции	Максимальная Z , %	Литер. ссылка
<i>Morinda tinctoria</i>	0,25 М H_2SO_4	Гравиметрия, электрохимические	Фрейндлиха	64,5	[9]
<i>Alhagi maurorum</i>	0,5 М H_2SO_4	Гравиметрия, ПДП и СЭИ	Лэнгмюра, Флори - Хиггинса	79,8	[10]

Fenugreek	2,0 M H ₂ SO ₄	Гравиметрия, СЭМ, электрохимические	Лэнгмюра	85,6	[11]
Arghel	0,5 M H ₂ SO ₄	ПДП, СЭИ, СЭМ, измерение Θ_c и оценка поверхности	Лэнгмюра	93,3	[12]
Montelukast sodium	0,5 M H ₂ SO ₄	Гравиметрия, СЭМ, электрохимические, AFM, теор.расчеты	Лэнгмюра	99,5	[13]
Myrianthus arboreus	2,0 M H ₂ SO ₄	Гравиметрия	Фрейндли- ха, Темкина	97,67	[14]
Symphytum Officinale (Comfrey)	0,5 M H ₂ SO ₄	Гравиметрия, ПДП, термометрия, СЭИ	Лэнгмюра	94,0	[15]
Papaya leaves	0,5 M H ₂ SO ₄	ПДП, СЭИ, FT-IR, AFM	Темкина	95,5	[16]
Davidia involucrata	0,5 M H ₂ SO ₄	РФЭС, FT-IR, СЭМ, АЕМ, теоретич. расчеты	Темкина	95,65	[17]
Papain	0,5 M H ₂ SO ₄	Гравиметрия, элект- рохимическ., СЭМ, морфология повер- хности, AFM, РФЭС, теорет. расчеты	Темкина	91,10	[18]
Idesia polycarpa Maxim fruits	0,5 M H ₂ SO ₄	СЭИ, РФЭС, СЭМ, квантовохимич. расчеты	Лэнгмюра	80,58	[19]

Ву и др. [20] выявили эффективность ингибирования коррозии меди в 0,5 М H₂SO₄ экстрактом листьев *Psidium guajava* Linn. При исследовании применялись электрохимические эксперименты, квантово-химические расчеты. Кроме того, для определения активных функциональных групп экстракта листьев *Psidium guajava* Linn была проведена инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FT-IR). Электрохимические эксперименты показали, что антикоррозионная способность экстракта этих листьев возрастает с увеличением его концентрации в определенном интервале. Квантово-химические расчеты подтвердили экспериментальные результаты. Анализ топографии поверхности и моделирование молекулярной динамики (MDS) также показывают, что экстракт листьев *Psidium guajava* Linn ингибирует коррозию меди.

Тан и др. [21] определили, что два пищевых ароматизатора являются экологически чистыми ингибиторами коррозии меди в 0,5 М H_2SO_4 . Проведены экспериментальные и теоретические исследования. Согласно электрохимическим данным, эти ингибиторы предотвращают коррозию меди на 99,0 – 99,5%. Адсорбция этих ингибиторов на границе раздела Cu /раствор соответствовала изотерме адсорбции Ленгмюра. Об ингибирующем эффекте эфирного масла корицы в 0,5 М H_2SO_4 сообщили авторы [22]. В этой работе использовали методы ПДП и СЭИ. Масло экстракта корицы анализировали методами газовой хроматографии (ГХ) и газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС). Установлено, что процесс растворения меди протекает под диффузионным контролем, а экстракт эфирного масла ведет себя как ингибитор катодного типа. Фэнг и др. [23] показали антикоррозионное действие экстракта корня *Veratrum* как зеленого ингибитора коррозии меди в H_2SO_4 . В этом исследовании проводили как электрохимические эксперименты, так и квантово-химические расчеты. Результаты электрохимических измерений показали, что экстракт корня *Veratrum* действует как смешанный ингибитор коррозии. При концентрации экстракта корня *Veratrum* 200 мг/л максимальная величина Z достигает 97%. Квантово-химические расчеты подтверждают экспериментальные результаты.

Сян и Хэ [24] проверили наличие ингибирующих свойств экстракта листьев *Citrus reticulata* в отношении коррозии меди в среде H_2SO_4 , используя экспериментальные методы и теоретические расчеты. Электрохимические испытания показали, что при концентрации экстракта листьев *Citrus reticulata* 500 мг/л $Z=97,3\%$. Ли с соавт. [25] изучили экстракт цветной капусты в качестве ингибитора коррозии меди в 0,5 М H_2SO_4 . Типичные эксперименты по электрохимии и метод сканирующих вибрирующих электродов (SVET) доказали, что этот экстракт является ингибитором коррозии меди в среде H_2SO_4 . Установлено, что самая высокая величина $Z=99\%$ через 48 часов испытаний. По результатам анализа состава поверхности на меди образуется защитная пленка экстракта цветной капусты.

Семена пальмы (*Phoenix dactylifera*) [26], экстракт листьев *Saccharum Officinarium* [27], экстракт листьев *Morinda citrifolia* Linn [28], экстракт листьев *Luffa cylindrica* Gaertn [29], экстракт листьев *Dimocarpus longan* Lour [30], *Passiflora edulis* Sims [31], экстракт плодов *Gardenia jasminoides* [32] и экстракт листьев *Rosa laevigata* [33] были изучены в качестве экологически чистых ингибиторов коррозии Cu в среде H_2SO_4 .

Защитные свойства экстракта *Leonurus japonicus* Houtt от коррозии меди в среде 0,5 М H_2SO_4 были выявлены авторами [34]. Электрохимические испытания и морфологические характеристики показали превосходные антикоррозионные свойства экстракта *Leonurus japonicus* Houtt. Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR) и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) показали, что экстракт адсорбируется на границе раздела $\text{Cu}/\text{H}_2\text{SO}_4$ за счет химической связи. Электрохимические эксперименты показали, что эффективность

ингибирования экстракта с концентрацией 400 мг/л достигает 90% при 298, 308 и 318 К. Экстракт адсорбируется по изотерме Ленгмюра.

Дахмани и др. [35] опубликовали антикоррозионное действие экстракта *Pistacia lentiscus* на коррозию Cu в 0,5 М H_2SO_4 . Авторы применили как электрохимические, так и теоретические исследования. Полученные результаты свидетельствуют о том, что экстракт *Pistacia lentiscus* действует как хороший ингибитор меди в 0,5 М H_2SO_4 . Эффективность ингибирования возрастает с увеличением концентрации экстракта и достигает 94% при $C_{\text{ин}} = 2$ г/л. Погруженная поверхность меди была идентифицирована с помощью СЭМ/ЭДС, АФМ-спектроскопии и измерений угла смачивания каплей воды Θ_c . Экспериментальные и спектроскопические исследования проводились с использованием теории функционала плотности (DFT) и молекулярно-динамического (MD) моделирования.

Авторы [36] определили эффективность ингибирования коррозии экстракта листьев с помощью электрохимических и теоретических методов. Информация о связи между функциональными группами и Cu после погружения в раствор H_2SO_4 была охарактеризована методами FTIR и РФЭС. Морфологию Cu исследовали методами СЭМ и АСМ. Антикоррозионный механизм экстракта листьев *Wood hibiscus* на Cu был определен теоретическими расчетами и моделированием Монте-Карло. Обнаружено, что эффективность ингибирования $Z = 92\%$ при 298 К для экстракта с концентрацией 160 мг/л, а адсорбция экстракта соответствует изотерме Ленгмюра. Теоретические расчеты подтверждают экспериментальные результаты.

Ингибирующая эффективность красных водорослей *Gelidium* против коррозии Cu в 1,0 М серной кислоте была определена авторами [37]. В этом исследовании были применены гравиметрический и электрохимические методы. Ингибирующая эффективность красных водорослей возрастает с увеличением их концентрации. Максимальная величина Z составила 93,75% при $C_{\text{ин}} = 1$ М. Термодинамические и кинетические исследования позволяют предположить, что адсорбция протекает по типу изотермы Ленгмюра. Испытания с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM), инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR) и УФ-видимой спектроскопии показали наличие ингибиторных защитных слоев на поверхности Cu.

Сан и др. [38] экспериментальными методами и теоретическими исследованиями показали антикоррозионное действие экстракта жимолости на Cu в 0,5 М H_2SO_4 . Для определения морфологии поверхности меди применялись различные методы, такие как FT-IR, РФЭС и СЭМ. Экспериментальные данные показывают, что наибольшая эффективность ингибирования коррозии $Z = 90\%$, а величина Z оставалось стабильной при различных температурах. Адсорбция экстракта жимолости описывается уравнением изотермы Ленгмюра.

Рачед и др. [39] опубликовали способность экстракта *Mentha Pulegium L* ингибировать коррозию меди в 0,5 М H_2SO_4 . Для её определения авторы использовали методы ПДП и СЭИ. По потенциодинамическим поляризационным кривым максимальная эффективность ингибирования $Z = 91,0\%$ для концентрации

экстракта 1,0 г/л. Эта величина, измеряемая при той же концентрации экстракта методом СЭИ, была немного ниже $Z = 90,4\%$. Изображения СЭМ и результаты микроанализа энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX) подтверждают результаты электрохимических измерений.

В среде фосфорной кислоты

Мунир и др. [40a] исследовали экстракт масла полыни против коррозии меди в 2 М растворе H_3PO_4 , содержащем NaCl в различных концентрациях. Методы потери массы меди, электрохимической поляризации и СЭИ использовали при различных температурах для определения скорости коррозии без экстракта масла полыни и с ним. Полученные результаты показали, что скорость коррозии меди в H_3PO_4 увеличивается с повышением концентрации хлоридов от 10^{-3} до $3 \cdot 10^{-1}$ М. Установлено, что наиболее агрессивной средой является 2 М $\text{H}_3\text{PO}_4 + 3 \cdot 10^{-1}$ М NaCl. Скорость коррозии меди снижалась в присутствии ингибитора. Влияние температуры на коррозионное поведение меди указывает на то, что эффективность ингибирования природного вещества несколько снижается с повышением температуры. Теми же авторами опубликовано влияние экстракта растения полыни [40b] на коррозию меди как ингибитора коррозии в 2 М H_3PO_4 , содержащем 0,3 М NaCl. Авторы использовали методы гравиметрический, ПДП и СЭИ. Значительное снижение скорости коррозии меди отмечено в присутствии экстракта растения полыни. По данным метода ПДП установлено, что экстракция относится к смешанному типу ингибиторов. Методы импеданса показали, что сопротивление переносу заряда увеличивается, а емкость двойного слоя уменьшается с повышением концентрации экстракта.

Мунир и др. [41] проверили действие масла Cosmotic Argan в качестве ингибитора коррозии меди в 2 М H_3PO_4 , содержащем 0,3 М NaCl. Они применяли методы измерения потери массы меди, ПДП и СЭИ. Было показано, что защита от коррозии маслом Cosmotic Argan увеличивается с $S_{\text{ин}}$ и Z достигает 97%.

Мунир и др. [42] определяли защитное действие трех ингибиторов (арганового масла, косметического арганового масла и экстракта аргановой шелухи) против коррозии меди в растворе 2 М H_3PO_4 , содержащем 0,3 М NaCl. Они для этого использовали методы гравиметрии, ПДП и СЭИ. Эффективность ингибирования увеличивается с добавлением всех этих ингибиторов с повышением $S_{\text{ин}}$. Поляризационные измерения показали, что все ингибиторы предотвращают растворение меди и действуют как ингибиторы коррозии смешанного типа. Максимальная эффективность ингибирования исследованных ингибиторов наблюдалась при концентрации 6 г/л и величины Z для выше указанных ингибиторов составили 89%, 72% и 90%, соответственно.

Фауда и др. [43] выявили ингибирующее действие экстракта Tamarix Boveana на коррозию меди в 1,0 М смеси $\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$. В этой работе использовались методы потери массы, ПДП, СЭИ и электрохимической частотной модуляции (ЭЧМ). Эффективность ингибирования увеличивалась при повышении концентрации

экстракта, но снижалась при росте температуры, поэтому сделан вывод, что экстракт физически адсорбировался на поверхности меди. Эффективность ингибирования зависит от концентрации экстракта и достигает $Z = 73,59\%$ при 300 мг/л. Результаты ПДП показали, что экстракт действует как ингибитор смешанного типа. Анализ поверхности позволил сделать вывод, что компоненты экстракта адсорбируются на меди, образуя тонкую защитную пленку.

В нейтральной среде NaCl

Сцендо [44] проверил влияние концентрации пурина на коррозию меди в 1,0 М растворе NaCl (pH 6,8). В этой работе использовались несколько методов, таких как гравиметрия, методы электрохимического кварцевого микровзвешивания (EQCM) и СЭМ. Установлено, что эффективность ингибирования возрастает с повышением концентрации пуринового экстракта. Показано, что этот экстракт химически адсорбируется на поверхности меди, а его адсорбция описывается уравнением изотермы Лэнгмюра.

Рани и Сельварандж [45] проиллюстрировали ингибирующее действие *Vitis vinifera* (виноград) на коррозию меди в естественной морской воде в разное время, при разных температурах и концентрациях экстракта семян и кожицы винограда. Эффективность ингибирования возрастала с повышением $C_{ин}$, но снижалась с ростом температуры и продолжительности воздействия морской воды. Адсорбция экстракта семян и кожуры *Vitis vinifera* на меди соответствует изотерме адсорбции Лэнгмюра. Те же авторы [46] показали, что экстракт (AMLA) можно использовать в качестве ингибитора коррозии меди в природной морской воде. Они использовали метод потери массы в разное время и при различных температурах. Эффективность ингибирования возрастала с увеличением концентрации этого экстракта, но снижалась с повышением температуры и во времени. Согласно экспериментальным данным, ингибирование коррозии может быть обусловлено самопроизвольной физической адсорбцией растительных компонентов на поверхности меди. Адсорбция экстракта листьев *Emblica officinalis* может быть описана уравнением Лэнгмюра или Темкина.

С.Гудич и др. [47a], Фаллавена и др. [47b], Мессауди и др. [47c], авторы [48], Р. Ухриб и др. [49] и авторы [50] опубликовали ингибирующие эффекты кофеина [47a–c], натурального меда [48], шафрана [49], *mimurops elengi* [50], листьев оливы [51], листьев *Xanthosoma Spp* [52], *Azadirachta indica* [53], *Ziziphus Lotus* [54], чай мате [55] и *Rhizophora mucronata* [56] на коррозию меди в среде NaCl, соответственно.

Дуиби и др. [57] доказали антикоррозионное действие эфирных масел розмарина и мирта на медь в 3% NaCl. Для изучения обоих ингибиторов эфирного масла использовались методы измерения потенциала разомкнутой цепи, ПДП и СЭИ. Экстракты эфирных масел исследовали с помощью газовой хроматографии/масс-спектрологии (ГХ/МС) и инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR). Согласно экспериментальным данным, эфирное масло мирта действует как катодный ингибитор, и его эффективность увеличивается при добавлении эфирного

масла розмарина и дальнейшего повышения его концентрации. Эфирное масло розмарина имеет немного лучшие характеристики по сравнению с эфирным маслом мирта.

Эскевель-Лопес и др. [58] опубликовали ингибирующее действие экстракта стеблей хвоща полевого на коррозию меди. Электрохимические испытания проводились с использованием потенциодинамических поляризационных кривых, СЭИ и метода линейной поляризации сопротивления при комнатной температуре. Морфологические характеристики меди показаны без и с ингибитором с помощью СЭМ. Химический состав ингибитора определяли методами инфракрасной Фурье-спектроскопии (FTIR) и газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией (ГХ-МС). Электрохимические результаты показали, что *Equisetum arvense* ведет себя как ингибитор смешанного типа. По измерениям СЭИ максимальная эффективность ингибирования $Z = 87,5\%$.

Возможность ингибирования биокоррозии меди экстрактом кожуры репы было указано Фекри с соавторами в статье [59]. Методы ПДП и СЭИ были использованы для определения коррозионной стойкости меди в 3,5% растворе NaCl. Анализ СЭМ-ЭДС был применен для демонстрации морфологии поверхности и идентификации элементов поверхности меди. Максимальный защитный эффект оказался почти 92%.

Касапович и др. [60] получили экстракт цветков малины (*Rubus idaeus* L.) в этаноле методом ультразвуковой экстракции. Значительное содержание полифона было определено в экстракте цветков малины методом УФ/ВИД-спектрометрического анализа. Результаты, полученные методами тафелевской экстраполяции, потенциодинамической поляризации и СЭИ, показали, что скорость коррозии снижается в присутствии экстракта цветков малины. Согласно поляризационным измерениям, наибольший защитный эффект был выявлен при концентрации экстракта $0,0332 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$. Однако при использовании метода СЭИ эта же величина была проиллюстрирована при концентрации экстракта $0,08033 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$.

Активные антикоррозионные соединения, полученные из кожуры *Durio zibethinus* путем экстракции этанолом, были исследованы Лю с соавторами [61], которые доказали это экспериментально и теоретически, изучая коррозию меди в искусственной морской воде. Ингибирующее действие экстракта кожуры *Durio zibethinus* было подтверждено методами электрохимического и поверхностного анализа. По данным потенциодинамических экспериментов, экстракт кожуры *Durio zibethinus* уменьшает коррозию меди за счет замедления анодной и катодной реакций. Результаты измерения СЭИ выявили наличие усиления области пассивации меди. Самая высокая эффективность ингибирования $Z = 93,04\%$ при $C_{\text{ин}} = 0,9 \text{ г/л}$ и 298 К. Адсорбция экстракта кожуры *Durio zibethinus* на медной поверхности соответствует изотерме Лэнгмюра.

Здравкович и др. [62] опубликовали влияние экстракта листьев ежевики на коррозионное поведение меди в 0,5 М NaCl. Авторы использовали электрохимические методы, такие как ПДП, СЭИ и электрохимическая частотная

модуляция (ЭЧМ). Результаты экспериментов показали, что экстракт листьев ежевики действует как ингибитор смешанного типа при максимальной величине ингибирования $Z = 97,19\%$.

Алемнежад и др. [63] показали ингибирующие свойства экстракта листьев *Carpobrotus edulis* в отношении коррозии меди в 3,5 мас.% растворе NaCl. Исследователи изучили химический состав *Carpobrotus edulis* с помощью жидкостной хроматографии в сочетании с детектором масс-спектропии. Для измерения скорости коррозии меди в отсутствие и в присутствии экстракта были применены методы потери массы меди, электрохимической поляризации и СЭИ. Концентрацию экстракта выбирали в пределах 2,5–20 мас.%. Наивысшая эффективность ингибирования $Z = 87\%$ при измерении СЭИ и концентрации экстракта 20%. Обнаружено, что эта величина по методу гравиметрии составляет 90,37% при той же концентрации экстракта. Для оценки морфологии поверхности меди и проведения элементного анализа поверхности авторы использовали СЭМ и энергодисперсионную спектроскопию (ЭДС). В исследовании влияния температуры в диапазоне 298–338 К (с шагом 10 К) определяли влияние температуры на эффективность ингибирования при оптимальной концентрации экстракта. Показано, что эта величина не превышает 57% при 338 К. Адсорбция экстракта на меди может быть описана уравнением изотермы Ленгмюра.

Шен с соавторами [64] определили ингибирующие свойства самоорганизующихся монослоев (САМ) экстракта *Ginkgo biloba* на меди в 3,0% растворе NaCl. Они использовали методы ПДП и СЭИ. Метод СЭМ проводили для определения эффективности ингибирования самоорганизующихся монослоев. Кроме того, для подтверждения экспериментальных результатов были проведены квантово-химические расчеты. Электрохимические результаты подтверждают, что САМ экстракта *Ginkgo biloba* демонстрируют хорошую ингибирующую способность, которая увеличивается с повышением концентрации экстракта, времени сборки и температуры. Предполагается, что пленка проявляет антикоррозионные свойства для медной подложки с наибольшей величиной $Z = 97,86\%$. Модель изотермы адсорбции САМ экстракта *Ginkgo biloba* на меди соответствует изотермам Ленгмюра и Темкина. Квантово-химические расчеты показывают превосходное согласованность с экспериментами.

В щелочных средах

Онен и др. [65] определили ингибирующее действие экстракта корня *Cassia siamea* Lam на коррозию меди в 0,5 М растворах NaOH. Авторы использовали метод разницы адсорбции при 30°C и 40°C. Установлено, что экстракт ингибирует коррозию меди в 0,5 М растворах NaOH, причем эффективность ингибирования увеличивается до максимума $78,3 \pm 2,3\%$ с повышением его концентрации, но снижается с ростом температуры. Адсорбция экстракта корня *Cassia siamea* Lam на поверхности меди описывается уравнением изотермы адсорбции Ленгмюра.

Навафле и др. [66] исследовали ингибирующее действие экстракта *Inula viscosa* на коррозию меди в 1,0 М NaOH. Метод гравиметрии применялся при температурах от 298 до 328 К. Полученные этим методом результаты доказали, что экстракт *Inula viscosa* является ингибитором коррозии меди в щелочной среде, а его эффективность возрастает с увеличением концентрации экстракта. Однако замечено, что величина Z снижается с повышением температуры при всех $C_{\text{ин}}$. Самая высокая эффективность ингибирования составила 86,49% при температуре 298 К. Адсорбция экстракта *Inula viscosa* соответствует уравнению изотермы Ленгмюра.

Джарайаман и Энтони [67] сообщили о действии экологически чистого экстракта *Citrus reticulata* как ингибитора коррозии меди в растворе 1,0 М NaOH. Авторы использовали метод гравиметрии при различных температурах от 298 до 328 К и показали, что защитные свойства экстракта *Citrus reticulata* усиливаются с повышением $C_{\text{ин}}$.

Алию и Онъедикачи [68] доказали ингибирующее действие фенольного экстракта *Gnetum africana* на коррозию меди в 1,0 моль/л гидроксида аммония. Для определения параметров коррозии использовали методы гравиметрический (по потере веса) и ПДП. Показано, что эффективность ингибирования возрастает с увеличением концентрации экстракта.

Как в кислой, так и в щелочной среде

Из анализа литературы видно, что существует только одно исследование, показывающее ингибирующее действие на коррозию меди как в кислой, так и в щелочной среде. Исследование было проведено Рагхавендра и Бхат [69] изучили ингибирующее действие экстракта зрелой шелухи ореха Арека на коррозию меди в средах 0,5 М HCl и 0,5 М NaOH. Они применяли химические и электрохимические методы для определения ингибирующих характеристик этого экстракта. Результаты исследования гравиметрическим методом показывают, что максимальная эффективность ингибирования коррозии меди экстрактами в кислой и в щелочной среде обнаружена при 303К с продолжительностью контакта образцов с этими растворами 1 час, $Z=97,75\%$ в 0,5 М HCl и $Z=90,00\%$ в 0,5 М NaOH. Адсорбционные характеристики экстракта соответствуют уравнению изотермы адсорбции Ленгмюра. Это показывает образование монослоя ингибитора на поверхности электродов. Результаты изучения коррозии меди в 0,5 М растворе NaOH методом потенциодинамической поляризации подтверждают, что экстракт зрелой шелухи ореха арека действует как эффективный ингибитор анодного типа, но в остальных случаях он является ингибитором смешанного типа. Из результатов изучения СЭИ авторы сделали вывод, что увеличение площади вдавненного полукруга с повышением концентрации этого экстракта свидетельствует об ингибирующей роли растительных экстрактов на коррозию меди. Дальнейшие методы инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FT-IR) и СЭМ показали способность экстракта образовывать защитную пленку на поверхности меди.

В кислых, нейтральных и щелочных средах.

Ингибирующее действие плодов *Citrillus colocynthis* на коррозию меди в 1 М растворах H_2SO_4 , NaCl и NaOH было опубликовано Аль Докхейли и др. [70]. Авторы провели исследования с использованием методов гравиметрии и ПДП. Согласно результатам, экстракты являются эффективными и отличными ингибиторами в кислой, нейтральной и щелочной среде. Потенциодинамические кривые показали, что экстракты плодов *Citrillus colocynthis* действуют как ингибиторы смешанного типа на всех изученных средах. Экстракт плодов *Citrillus colocynthis* показал лучшую эффективность защиты в кислой среде, чем в щелочной и нейтральной среде. Например, экстраполяции Тафеля дали максимальную эффективность ингибирования $Z = 98,4\%$ для H_2SO_4 , $97,0\%$ для NaOH и $86,3\%$ для среды NaCl при 303 К и 0,075 г/л. Результаты эксперимента соответствовали изотерме адсорбции Лэнгмюра.

Выводы

В этом обзоре обобщены свойства и защитное действие различных растительных экстрактов на коррозию меди в различных кислых средах, таких как HCl , HNO_3 , H_2SO_4 и H_3PO_4 , нейтральном растворе NaCl и щелочных средах, таких как NaOH и NH_4OH . Как можно понять из рассмотрения обзора, в высокой эффективности защиты от коррозии исследуемых растительных экстрактов важны такие параметры, как агрессивные среды, концентрация экстракта и температура. Однако необходимо провести гораздо больше исследований по использованию растительных экстрактов против коррозии в промышленных условиях.

Литература

1. L. Valek and S. Martinez, Copper corrosion inhibition by Azadirachta indica leaves extract in 0.5 M sulphuric acid, *Mater. Lett.*, 2007, **61**, 148–151. doi: [10.1016/j.matlet.2006.04.024](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2006.04.024)
2. F.S. de Souza, C. Giacomelli, R.S. Gonçalves and A. Spinelli, Adsorption behavior of caffeine as a green corrosion inhibitor for copper, *Mater. Sci. Eng.*, 2012, **32**, 2436–2444. doi: [10.1016/j.msec.2012.07.019](https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.07.019)
3. B.A. Abd-El-Nabey, A.M. Abdel-Gaber, M.E.L.S. Ail and S. El-Housseiny, Inhibition Action of Cannabis Plant Extract on the Corrosion of Copper in 0.5 M H₂SO₄, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2013, **8**, 5851–5865. doi: [10.1016/S1452-3981\(23\)14727-4](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)14727-4)
4. a. M. Bozorg, T.S. Farahani, J. Neshati, Z. Chaghazard and G.M. Ziarani, Myrtus communis as a green inhibitor for copper corrosion in sulphuric acid, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2014, **53**, 4295–4303. doi: [10.1021/ie404056w](https://doi.org/10.1021/ie404056w); b. K.S. Dahmani, M. Galai, M. Ouakki, A. Elgendy, R. Ez-Zriouli R. Lachhab, S. Briche and M. Cherkaoui, Corrosion inhibition of copper in sulfuric acid via environmentally friendly inhibitor (Myrtus Communis): Combining experimental and theoretical methods, *J. Mol. Liq.*, 2021, **347**, 117982. doi: [10.1016/j.molliq.2021.117982](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117982)
5. P. Karupphasamy, M. Ganesan, T. Rajendran and V.K. Sivasubramanian, The Inhibition Effect of the Extract of Naturally Occuring Compounds on the Corrosion of Copper and Brass in Acid medium, *J. Appl. Chem.*, 2014, **3**, 1789–1796
6. Z. Pilic and I. Martinovic, Effect of Helichrysum italicum on the corrosion of copper in simulated acid rain solution, *Chem. Biochem. Eng. Q.*, 2019, **33**, 449–457. doi: [10.15255/CABEQ.2019.1614](https://doi.org/10.15255/CABEQ.2019.1614)
7. K. Mzioud, A. Habsaoui, M. Ouakki, M. Galai, S. El Fartah and M. Ebn Touhami, Inhibition of copper corrosion by the essential oil of Allium sativum in 0.5 M H₂SO₄ solution, *SN Appl. Sci.*, 2020, **2**, 1611. doi: [10.1007/s42452-020-03393-8](https://doi.org/10.1007/s42452-020-03393-8)
8. a. B.K. Okeoma, Computational and Experimental studies on the inhibitive effects of Newboildia laevis extract and magnetic fields on copper corrosion in aqueous acidic media, *Int. Lett. Chem., Phy. Astron.*, 2015, **54**, 135–142. doi: [10.56431/p-y44pia](https://doi.org/10.56431/p-y44pia) b. B.K. Okeoma, M.H. Bejeka, C.S. Akajiaku and C.F. Eze, Experimental and Computational studies on the inhibitive effects of Newbouldia laevis extracts and magnetic fields on copper corrosion in aqueous acidic media, *Adv. Environ. Geol. Sci. Eng.*, 2015, **8**, 384–392
9. K. Krishnaveni and J. Ravinchandran, A study on the inhibition of copper corrosion in sulphuric acid by aqueous extract of leaves of Morinda tinctoria, *J. Fail. Anal. Prev.*, 2015, **15**, 711–721. doi: [10.1007/s11668-015-0002-0](https://doi.org/10.1007/s11668-015-0002-0)
10. B.A. Abd-El-Nabey, S. El-Housseiny, G.A. El-Naggar, E.A. Matter and G. Esmail, Inhibitive Action of Alhagi maurorum plant Extract on the Corrosion of copper in 0.5 M H₂SO₄, *Physical Chemistry*, 2015, **5**, 49–62. doi: [10.5923/j.pc.20150503.01](https://doi.org/10.5923/j.pc.20150503.01)

11. M. Ali and H.A. Allehaibi, The inhibitive performance of Fenugreek for corrosion of copper and nickel in sulfuric acid, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2016, **11**, 953–966. doi: [10.1016/S1452-3981\(23\)15897-4](https://doi.org/10.1016/S1452-3981(23)15897-4)
12. A. Hefnawy and S.F. Abdellah, Arghel Extract: a Promising Green corrosion Inhibitor, *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 2017, **53**, 1120–1124
13. Tan, S. Zhang, Y. Qiang, L. Feng, C. Liao, Y. Xu and S. Chen, Investigation of the inhibition effect of Montelukast sodium on the copper corrosion in 0.5 mol/L H₂SO₄, *J. Mol. Liq.*, 2017, **248**, 902–910. doi: [10.1016/j.molliq.2017.10.111](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.10.111)
14. G.I. Udom, G.A. Cookey and A.A. Abia, Corrosion Inhibition and Adsorption Characteristics of Myrianthus arboreus Leaves Extract on Copper in Sulphuric Acid Solution, *Chem. Sci. Int. J.*, 2018, **23**, 1–13
15. B.U. Ugi and M.E. Obeten, Inhibitory Impact of Crude Physiochemical Compounds of Symphytum Officinale (Comfrey) Leaves on the Corrosion of Copper by Hydrogen Tetraoxosulphate (IV) H₂SO₄ Acid Solution, SSRG, *Int. J. Appl. Chem.*, 2018, **5**, 22–32.
16. B. Tan, B. Xiang, S. Zhang, Y. Qiang, L. Xu, S. Chen and J. He, Papaya leaves extract as a novel eco-friendly corrosion inhibitor for Cu in H₂SO₄ medium, *J. Colloid Interface Sci.*, 2020, **582**, 918–931. doi: [10.1016/j.jcis.2020.08.093](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.08.093)
17. X. Zhang, W. Li, X. Zuo, B. Tan, C. Xu and Sh. Zhang, Investigating the inhibitive effect of Davidia involucrata leaf extract as a biological eco-friendly inhibitor for copper in acidic medium, *J. Mol. Liq.*, 2020, **395**, 115214. doi: [10.1016/j.molliq.2020.115214](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115214)
18. L. Gao, S. Peng, X. Huang and Z. Gong, A combined experimental and theoretical study of Pccpain as a biological eco-friendly inhibitor for copper corrosion in H₂SO₄ medium, *Appl. Surf. Sci.*, 2020, **511**, 145446. doi: [10.1016/j.apsusc.2020.145446](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145446)
19. X. Zhang, W. Li, G. Yu, X. Zuo, W. Luo, J. Zhang, B. Tan, A. Fu and S. Zhang, Evaluation of Idesia polycarpa Maxim fruits extract as a natural green corrosion inhibitor for copper in 0.5 M sulfuric acid solution, *J. Mol. Liq.*, 2020, **318**, 114080. doi: [10.1016/j.molliq.2020.114080](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114080)
20. Y. Wu, L. Guo and Y. She, Insight on the corrosion inhibition performance of psidium guajava linn leaves extract, *J. Mol. Liq.*, 2022, **346**, 117858. doi: [10.1016/j.molliq.2021.117858](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117858)
21. B. Tan, S. Zhang, X. Cao and A. Fu, Insight into the anti-corrosion performance of two food flavors as eco-friendly and ultra-high performance inhibitors for copper in sulfuric acid medium, *J. Colloid Interface. Sci.*, 2021, **609**, 838–851. doi: [10.1016/j.jcis.2021.11.085](https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.11.085)
22. K.S. Dahmani, M. Galai, M. Cherkaoui, A. Elhasnaoui and A. El Hessni, Cinnamon essential oil as a novel eco-friendly corrosion inhibitor of copper in 0.5 M Sulfuric acid medium, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2017, **8**, 1676–1689
23. Y. Feng, J. He, Y. Zhan, J. An and B. Tan, Insight into the anti-corrosion mechanism Veratrum root extract as a green corrosion inhibitor, *J. Mol. Liq.*, 2021, **334**, 116110. doi: [10.1016/j.molliq.2021.116110](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116110)

24. Q. Xiang and J. He, Combining theoretical and experimental researches to insight the anti-corrosion nature of Citrus reticulata leaves extract, *J. Mol. Liq.*, 2021, **325**, 115218. doi: [10.1016/j.molliq.2020.115218](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115218)
25. H. Li, S. Zhang and Y. Qiang, Corrosion retardation effect of a green cauliflower extract on copper in H₂SO₄ solution: Electrochemical and theoretical explorations, *J. Mol. Liq.*, 2021, **321**, 114450. doi: [10.1016/j.molliq.2020.114450](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114450)
26. E.A. Şahin, Y.A. Dursun, M. Tunç, I.H. Geçibesler and R. Solmaz, Investigation of the Inhibition Effect of Palm (Phoenix dactylifera) Seed to the Corrosion of Copper, *Turkish J. Natur. Sci.*, 2021, **10**, 258–264.
27. Z. Gao, P. Sun, L. Du, X. Zhang, J. Bai, H. Xing and Y. Yan, Saccharum Officinarum Leaf Extract as Corrosion Inhibitor of Copper Corrosion in Sulphuric Acid Solution: Experiments and Theoretical Calculations, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2021, **16**, 211126. doi: [10.20964/2021.11.16](https://doi.org/10.20964/2021.11.16)
28. J. He, D. Yu, Q. Xu, G. Li, G. Chen, J. An, J. Yang and W. Li, Combining experimental and theoretical researches to insight into the anti-corrosion property of Morinda citrifolia Linn leaves extracts, *J. Mol. Liq.*, 2021, **325**, 115145. doi: [10.1016/j.molliq.2020.115145](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.115145)
29. S. Yu, Y. Qiang, A. Fu and B. Tan, Luffa cylindrica roem leaves extract as the environmental-friendly inhibitor for copper in sulfuric acid environment, *J. Mol. Liq.*, 2021, **343**, 117619. doi: [10.1016/j.molliq.2021.117619](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117619)
30. L. Cao, Dimocarpus longan Lour leaf Extract as Green Corrosion Inhibitor for Copper in Sulfuric Acid Solution, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2022, **17**, 220743. doi: [10.20964/2022.07.42](https://doi.org/10.20964/2022.07.42)
31. B. Tan, W. Lan, S. Zhang, H. Deng, Y. Qiang, A. Fu, Y. Ran, J. Xiong, R. Marzouki and W. Li, Passiflora edulia Sims leaves extract as renewable and degradedable inhibitor for copper in sulfuric acid solution, *Colloids Surf., A.*, 2022, **645**, 128892. doi: [10.1016/j.colsurfa.2022.128892](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2022.128892)
32. C. Xiu, W. Li, B. Tan, X. Zuo and S. Zhang, Adsorption of Gardenia jasminoides fruits extract on the interface of Cu/H₂SO₄ to inhibit Cu corrosion: Experimental and theoretical studies, *J. Mol. Liq.*, 2022, **345**, 116996. doi: [10.1016/j.molliq.2021.116996](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116996)
33. X. Zhang, L. Yang, Y. Zhang, B. Tan, X. Zheng and W. Li, Combined electrochemical/surface and theoretical assessments of Rosa laevigata extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for copper in acidic medium, *J. Taiwan Ins. Chem. Eng.*, 2022, **136**, 104408. doi: [10.1016/j.jtice.2022.104408](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2022.104408)
34. C. Xu, B. Tan, S. Zhang and W. Li, Corrosion inhibition of copper in sulfuric acid by Leonurus japonicus Houtt extract as a green corrosion inhibitor: Combination of experimental and theoretical research, *J. Taiwan Ins. Chem. Eng.*, 2022, **139**, 104532. doi: [10.1016/j.jtice.2022.104532](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2022.104532)
35. K. Dahmani, M. Galai, A. Ech-Chebab, M. Ouakki, L. Kadiri, A. Elgendy, R. Ez-Zrioli and M. Cherkaoui, Pistacia lentiscus extract as a green inhibitor for copper corrosion in 0.5 M of H₂SO₄: electrochemical characterization and theoretical investigations, *J. Appl. Electrochem.*, 2022, **52**, 1629–1646. doi: [10.1007/s10800-022-01732-8](https://doi.org/10.1007/s10800-022-01732-8)

-
36. Z. Xu, B. Tan, S. Zhang, J. Chen and W. Li, Exploring of an ecological corrosion inhibitor of wood hibiscus leaf extract for the Cu/H₂SO₄ system based on experimental study and theoretical calculations, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 2023, **143**, 104686. doi: [10.1016/j.jtice.2023.104686](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104686)
37. N. Rhazzane, A. Imiai, R. el Brychy and H. Zejli, Corrosion Inhibition Potential of a Green Inhibitor ‘‘Red Algae’’ for Copper in 1 M Sulfuric Acid Solution Determined by Electrochemical Measurement, Weight Loss Technique, UV-Visible, FTIR Spectroscopy and Complemented with Surface, *J. Bio- and Tribo-Corros.*, 2023, **9**, 31. doi: [10.1007/s40735-023-00747-8](https://doi.org/10.1007/s40735-023-00747-8)
38. Y. Sun, Y. Zhang, C. Xu, B. Tan, W. Li, X. Z Heng and A. Brahmia, Honeysuckle extract as an environment-friendly corrosion inhibitor for copper in sulfuric acid medium, *Ind. Crops Prod.*, 2023, **197**, 116551. doi: [10.1016/j.indcrop.2023.116551](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116551)
39. S. Rached, K. Mzioud, A. Habsaoui, M. Galai, K. Dahmani, M. Ouakki, S. EL Fartah, N. Dkhireche and M.E. Tauhami, Inhibition of Copper Corrosion in Sulfuric Acid by Mentha Pulegium L, *Port. Electrochim. Acta*, 2024, **42**, 137–153. doi: [10.4152/pea.2023420205](https://doi.org/10.4152/pea.2023420205)
40. a. F. Mounir, S. El Issami, Lh. Bazzi, R. Salghi, L. Bammou, L. Bazzi, A. Ceddine and O. Jbara, Copper Corrosion Behaviour in Phosphoric Acid Containing Chloride and its Inhibition by Artemisia Oil, *Int. J. Res. Rev. App. Sci.*, 2012, **13**, 574–587 b. F. Mounir, S. El Issami and L. Bazzi, Inhibition Action of Artemisia Plant Extract on the Copper Corrosion in Phosphoric Acid, *J. Adv. Chem.*, 2014, **8**, 1692–1699. doi: [10.24297/jac.v8i3.6610](https://doi.org/10.24297/jac.v8i3.6610)
41. F. Mounir, S.El Issami, L. Bazzi and A.C. Eddine, Application of cosmetic Argan oil as green corrosion inhibitor for copper in phosphoric acid medium, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2014, **5**, 2478–2483
42. F. Mounir, S. El Issami, Lh. Bazzi, R. Salghi, N. Abidi, S. Jodeh, L. Bazzi and A.C. Eddine, Green Approach to Corrosion Inhibition of Copper by two Oils of Argania Spinosa (L) in Phosphoric acid, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2015, **6**, 2066–2075
43. A.S. Fouda, F.I. El-Dossoki and A. El-Hussein, Inhibition of Copper in Binary Acid Mixtures (HNO₃+H₃PO₄) Using Tamarix Boveana Plant Extract, *Prot. Met. Phys. Chem. Surf.*, 2019, **55**, 1173–1181. doi: [10.1134/S2070205119060133](https://doi.org/10.1134/S2070205119060133)
44. M. Scendo, The effect of purine on the corrosion of copper in chloride solutions, *Corros. Sci.*, 2007, **49**, 373–390. doi: [10.1016/j.corsci.2006.06.022](https://doi.org/10.1016/j.corsci.2006.06.022)
45. D. Rani and S. Selvaraj, Inhibitive Action of Vitis vinifera (Grape) on Copper and Brass in Natural Sea Water environment, *Rasayan J. Chem.*, 2010, **3**, 473–482.
46. D.Rani and S.Selvaraj, Emblica officinalis (AMLA) leaves extract as corrosion inhibitor for copper and its alloy (Cu-27Zn) in natural sea water, *Arch. Appl. Sci. Res.*, 2010, **2**, 140–150.

-
47. a. S. Gudić, E.E. Oguzie, A. Radonic, L. Visalovic, L. Smoljko and M. Kliskic, Inhibition of copper corrosion in chloride solution by caffeine isolated from black tea, *Maced. J. Chem. Chem. Eng.*, 2014, **33**, 13–25. doi: [10.20450/mjcce.2014.441](https://doi.org/10.20450/mjcce.2014.441); b. T. Fallavena, M. Antonow and R.S. Gonçalves, Caffeine as non-toxic inhibitor for copper in aqueous solutions of potassium nitrate, *Appl. Surf. Sci.*, 2006, **253**, 566–571; c. H. Messaoudi, F.Djazi, M. Litim, B. Keskin, M. Slimane and D. Bekhiti, Surface analysis and adsorption behavior caffeine as an environmentally friendly corrosion inhibitor at the copper /aqueous chloride solution interface, *J. Adhes. Sci. Technol.*, 2020, **34**, 2216–2244. doi: [10.1080/01694243.2020.1756156](https://doi.org/10.1080/01694243.2020.1756156)
48. M. Emad and M. Al-Rasheedi, Nigella Sativa and Natural Honey as Corrosion Inhibitors for Copper in Cooling Water System, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2014, **6**, 201–206.
49. R. Oukhrib, S. El Issami, A. Chaouay, K. El Mouaden, A. Jmiai, B. El Ibrahimi, L. Bazzi, L. Bammou and M. Hilali, The inhibitory effect of Saffron extract (*Crocus sativus*, L) on copper corrosion in seawater, *Chem. Sci. Rev. Lett.*, 2015, **4**, 241–251.
50. P. Deivanayagam, I. Malarvizhi, S. Selvaraj and P. Deeparani, Corrosion inhibition efficiency of ethanolic extract of mimusops elengi leaves (MEL) on copper in natural sea water, *Inter. Multidiscip. Res. Develop.*, 2015, **2**, 100–107.
51. C. Rahai, M. Masmoudi, R. Abdelhedi, R. Sabot, M. Jeannin, M. Bouaziz and P. Refait, Olive leaf extract as natural corrosion inhibitor for pure copper in 0.5 M NaCl solution: a study by voltammetry around OCP, *J. Electroanal. Chem.*, 2016, **769**, 53–61. doi: [10.1016/j.jelechem.2016.03.010](https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2016.03.010)
52. G.H. Kalada, K.O. Okorosaye and O.J. Abosede, Corrosion Inhibition of Copper in Seawater by Xanthosoma Spp Leaf Extract (XLE), *Int. J. Adv. Res. Chem. Sci.*, 2016, **3**, 34–40. doi: [10.20431/2349-0403.0312005](https://doi.org/10.20431/2349-0403.0312005)
53. B.S. Swaroop, S.N. Victoria and R. Manivannan, Azadirachta indica leaves extract as inhibitor for microbial corrosion of copper by *Arthrobacter sulfureus* in neutral pH conditions-A remedy to blue green water problem, *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 2016, **64**, 269–278. doi: [10.1016/j.jtice.2016.04.007](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.04.007)
54. R. Oukhrib, El Issami, B.El Ibrahimi, K. El Mouaden, L. Bazzi, L. Bammou, A. Chaouay, A. Salghi, S. Jodeh, B. Hammouti and A. Amin-Hami, Ziziphus lotus as green inhibitor of copper corrosion in natural sea water, *Port. Electrochim. Acta*, 2017, **35**, 187–200. doi: [10.4152/pea.201704187](https://doi.org/10.4152/pea.201704187)
55. A.M. Derna, C.M. Mendez, L.M. Gassa and A.E. Ares, Green extract of Mate Tea as Corrosion Inhibitor of Copper and Aluminium, *In book: Proceedings of the 3rd Pan American Materials Congress*, 2017. doi: [10.1007/978-3-319-52132-9_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52132-9_14)
56. A. Agi, R. Junin, M. Rasol, A. Gbadamosi and R.G. Gunaji, Treated *Rhizophora mucronata* tannin as a corrosion inhibitor in chloride solution, *PloS One*, 2018, **13**, e0200595. doi: [10.1371/journal.pone.0200595](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200595)
57. I. Dhouibi, F. Masmoudi, M. Bouaziz and M. Masmoudi, A study of the anti-corrosive effects of essential oils of rosemary and myrtle for copper in chloride media, *Arabian J. Chem.*, 2021, **14**, 102961. doi: [10.1016/j.arabjc.2020.102961](https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.102961)

-
58. A. Esquivel-Lopez, C. Cuevas-Arteaga and M.G. Valladares-Cisneros, Study of the corrosion inhibition of copper in synthetic seawater by Equisetum arvense as green corrosion inhibitor, *Rev. Mex. Ing. Quim*, 2020, **19**, 603–616. doi: [10.24275/rmiq/Mat629](https://doi.org/10.24275/rmiq/Mat629)
59. M. H. Fekri, F. Omidali, M.M. Alemnezhad and A. Ghaffarinejad, Turnip peel extract as green corrosion bio-inhibitor for copper in 3.5% NaCl solution, *Mater. Chem. Phys.*, 2022, **286**, 126150. doi: [10.1016/j.matchemphys.2022.126150](https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.126150)
60. D. Kasapovic, F. Korai and F. Bikic, Testing the effectiveness of raspberry flower extract as an inhibitor of copper's corrosion in 3% NaCl, *Zast. Mater.*, 2022, **63**, 115–121. doi: [10.5937/zasmat2202115K](https://doi.org/10.5937/zasmat2202115K)
61. Y. Liu, Y. Hu, H. Hao and X. Zheng, Electrochemical and theoretical Studies of Corrosion Inhibition Effect of Durio zibethinus Peel Extract on Copper in the Artificial Seawater, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2022, **17**, 220343. doi: [10.20964/2022.03.27](https://doi.org/10.20964/2022.03.27)
62. M. Zdrackovic, V. Grekulavic, J. Suljagic, D. Stankovic, S. Savic, M. Radovanovic and U. Stamenkovic, Influence of blackberry leaf extract on the copper corrosion behavior in 0.5 M NaCl, *Bioelectrochemistry*, 2023, **151**, 108401. doi: [10.1016/j.bioelechem.2023.108401](https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2023.108401)
63. M.M. Alemnezhad, A. Ghaffarinejad and F. Omidali, Carpobrotus edulis leaf extract as green corrosion inhibitor for copper in 3.5% NaCl solution, *J. Adhes. Sci. Techol.*, 2023. doi: [10.1080/01694243.2023.2203302](https://doi.org/10.1080/01694243.2023.2203302)
64. S. Chen, H. Zang, Y. Qiang, B. Tan, Y. Wu and S. Chen, Self Assembled monolayers of Ginkgo biloba exocarp extract for corrosion protection of copper, *J. Mol. Liq.*, 2023, **382**, 121941. doi: [10.1016/j.molliq.2023.121941](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.121941)
65. A. Onen, B.T. Nwifo and E. Ebenso, The Effects of Cassia Siamea Lam Root Extract on the Corrosion and Kinetics of Corrosion Process on Copper in Alkaline Solutions, *E-J. Chem.*, 2011, **8**, 1708–1713. doi: [10.1155/2011/372903](https://doi.org/10.1155/2011/372903)
66. M. Nawafleh, M. Irshedat, T. Bataineh, R. Muhaidat, M.A. Al-Qudah and A. Alomary, The Effects of Inula viscosa Extract on corrosion of copper in NaOH Solution, *Res. J. Chem. Sci.*, 2012, **2**, 37–41.
67. Y. Jarayaman and N. Antony, Ecofriendly extract of Citrus reticulata as corrosion inhibitor for copper in NaOH Solution, *Int. J. Chem. Chem. Res.*, 2015, **91**, 102–106.
68. A. Aliyu and E. Onyedikachi, Corrosion Inhibition Effect of Phenolic Extract of Gnetum africana on copper in 1.0 mol/dm³ Ammonium Hydroxide, *Am. Chem. Sci. J.*, 2014, **4**, 952–962. doi: [10.9734/ACSJ/2014/11661](https://doi.org/10.9734/ACSJ/2014/11661)
69. N. Raghavendr and J.I. Bhat, Chemical components of mature areca nut husk extract as a potential corrosion inhibition for mild steel and copper in both acid and alkali media, *Chem. Eng. Commun.*, 2018, **205**, 145–160. doi: [10.1080/00986445.2017.1370709](https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1370709)
70. M.E. Al-Dcokheily, H.M. Kredy and R.N. L-Jakery, Inhibition of Copper Corrosion in H₂SO₄, NaCl and NaOH Solutions by Citrullus colocynthis Fruit Extract, *J. Nat. Sci. Res.*, 2014, **4**, 60–73.

Plant extracts as corrosion inhibitors against copper corrosion – An overview. Part II.

S. Bilgiç

Ankara University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 06100, Ankara, Turkey

E-mail: bilgic@science.ankara.edu.tr

Abstract

One of the corrosion prevention methods is to add chemical compounds called inhibitors in corrosive environments. Inhibitors can be inorganic or organic compounds. However, these compounds are dangerous for human health and environment because of their toxicity effects. In addition to obtain them is difficult and expensive. For this reason, corrosion inhibitors that are non-toxic, biocompatible, not harmful to human health and the environment, and which can be obtained easily and cheaply, are the subject of many researches in recent years. Scientists have focused on a new class of inhibitors such as plant extracts, fruit and vegetable extracts and essential oils. Plant extracts are the most studied class of these inhibitors, called green inhibitors. The protection effects of plant extracts are due to the adsorption of their molecules on the metal surface. They provide the metal with a protective film by blocking the active sites. The formation of film provides the metal surface with a physical barrier from corrosive media, and supplies protection effects from corrosive attacks. Copper is noble metal and as a result of this property, it shows to resist against to corrosion. However, certain conditions can cause corrosion on copper, such as polluted air, oxidizing acids, oxidizing heavy metal salts, sulfur ammonia and some sulfur and ammonia compounds. Therefore, the investigation of copper corrosion is significant. In this review, studies are summarized with plant extracts, which have an inhibitory effect on the corrosion of copper.

Keywords: *corrosion, copper, inhibitor, plant extracts.*