### Магний и болезни растений

\*\*Введение\*\*

Содержание и формы магния (Mg), доступные в почве, определяются геологическим происхождением, количеством осадков и наличием калия (K) или других обменных катионов. Высокие уровни K или Ca могут ингибировать поглощение Mg, так же как высокие уровни Mg ингибируют поглощение K, Mn и Ca (Persson и Olsson, 2000). Растения, растущие в кислых почвах, склонны к дефициту Mg из-за нарушенного поглощения этого иона, а также к дефициту Ca, Mo и P.

Магний, являющийся важным элементом в питании растений, является наиболее распространенным двухвалентным катионом в цитозоле растительной клетки (Shaul, 2002). В клеточных системах Mg занимает второе место по распространенности после K и участвует практически во всех метаболических путях (Hartwig, 2001). Магний необходим для поддержания геномной стабильности и участвует в стабилизации структуры ДНК и хроматина, а также в стабилизации макромолекулярных комплексов и мембран. Снижение уровней Mg2+ влияет на регуляцию мембранного транспорта, участвуя в модуляции ионных мембранных потоков (Shaul, 2002). Кроме того, Mg2+ является важным кофактором практически во всех ферментативных системах, участвующих в обработке ДНК (Groisman et al., 2013; Hartwig, 2001). В хлорофилле Mg2+ является центральным атомом. Кроме того, он необходим для синтеза белков, функционируя как соединительный элемент для агрегации субъединиц рибосом (Shaul, 2002). Когда свободные ионы Mg2+ недоступны или их баланс нарушен из-за избыточных уровней K+, рибосомные субъединицы диссоциируют, и синтез белков прекращается (Sperrazza и Spremulli, 1983). Магний необходим для функционирования многих ферментов, включая протеинкиназы, РНК-полимеразы, карбоксилазы, АТФазы и ключевые ферменты хлоропластов (Shaul, 2002). Клеточный Mg2+ секвестрируется в вакуоле, которая является основным органеллой, участвующей в балансе Mg+ (Shaul, 2002).

Структурно Mg является компонентом средней ламеллы. Mg2+ ассоциируется с быстрым ростом, активным митозом, высокими уровнями белков, углеводным метаболизмом и окислительным фосфорилированием в физиологически молодых клетках. Он также участвует в прокариотах в активации формирования полипептидных цепей для активности систем рестрикции-модификации типа I и играет роль в синтезе сахаров, масел и жиров. Нуклеоиды имеют низкую вязкость в присутствии высоких уровней Mg. В отличие от Ca, Mg перемещается из зрелых к активно растущим частям растения (Huber, 1980, 1991).

Дефицит Mg у растений проявляется как интервенальный хлороз, некроз нижних зрелых листьев, плохое развитие плодов и снижение урожайности. Редко избыток Mg напрямую вреден для растения, но избытки могут подавлять поглощение Ca, K и Mn и снижать рост растений. Конкурентное связывание Mg с антибиотиками может снижать их эффективность при болезнях.

Контроль в условиях высокого содержания Mg (Choi и Carr, 1968).

Симптомы горькой пятнистости, вызванные инфильтрацией MgCl2 в целые плоды яблок, могут быть предотвращены путем включения Ca в инфильтрационную среду (Burmeister и Dilley, 1993).

Симптомы дефицита магния легко устраняются путем удобрения доломитовой известью (CaCO3 + MgCO3), которая нейтрализует кислотность почвы и обеспечивает Mg в форме, доступной для усвоения растениями.

Магний не только является важным питательным веществом для растений, но и часто недооценивается в человеческом здоровье (Rosanoff et al., 2012). В последние несколько десятилетий исследования показали, что содержание Mg в зерновых культурах значительно снизилось по всему миру (Fan et al., 2008; Ficco et al., 2009; Murphy et al., 2008). Например, содержание Mg в пшенице снизилось на ~19,6% после 1968 года (Fan et al., 2008). Ученые-нутрициологи часто связывают низкое потребление Mg с сердечно-сосудистыми заболеваниями, аритмией, дисфункцией мышц и синдромом дефицита внимания (Bo и Pisu, 2008; Rosanoff et al., 2010). Кроме того, зерновые культуры являются основным источником потребления Mg для человека (Broadley и White, 2010), особенно в некоторых регионах, где до 75% ежедневного потребления Mg приходится на зерновые культуры (Cakmak, 2013). Поэтому недавние исследования пытались оценить возможное влияние более низких концентраций Mg в культурах на современное общество (Guo et al., 2016; Rosanoff, 2013).

Магний также является важным элементом для роста микробов и был связан с микробной экологией в ранних исследованиях почвенной микробиологии, так как MgCO3, применяемый к определенным почвам, увеличивает размножение почвенных бактерий (Fulmer, 1918). Бактерии могут накапливать высокие концентрации Mg, превышающие другие двухвалентные катионы. При наличии адекватных концентраций Mg способствует быстрому увеличению популяции бактериальных клеток in vitro (Weinberg, 1977) и in vivo (Nayadu и Walker, 1961). Некоторый Mg связан с бактериальными клеточными стенками и был показан, что он стабилизирует сферопласты. Многие бактериальные ферменты активируются Mg. Хотя внутриклеточные концентрации Mg в грамположительных и грамотрицательных бактериях схожи, грамположительные бактерии требуют более высоких концентраций Mg для роста. Дефицит Mg вызывает морфологические изменения в бактериях, при которых клетки подвергаются филаментации, диссоциации рибосомных субъединиц и деградации рибосом. Таким образом, бактериальные клетки, рибосомы которых чувствительны к дефициту Mg, прекращают развитие.

Стрептомицин, антибиотик, используемый в течение многих лет для контроля бактериальных патогенов, таких как Xanthomonas campestris pv. vesicatoria, вызывающий бактериальную пятнистость перца и томата, ингибирует синтез белка, вытесняя Mg из рибосомы (Weinberg, 1977). Антагонизм Mg к стрептомицину был продемонстрирован путем воздействия на чувствительный к стрептомицину штамм X. campestris pv. vesicatoria с увеличивающимися концентрациями Mg и стрептомицина (Woltz и Jones, 1979). Бактериальные клетки, подвергнутые промежуточным концентрациям стрептомицина и высоким концентрациям Mg, все еще могли расти.

Магний и болезни растений

--------------------

Роль Mg в усилении или минимизации развития болезней растений не была так подробно документирована, как роль некоторых других макроэлементов, и существует меньше отчетов, в которых изучалась прямая связь между Mg и болезнями (Таблица 7.1).

Достаточное количество Mg, как и других важных питательных веществ, было показано важным для развития корневой гнили пшеницы, вызванной Gaeumannomyces graminis var. tritici (Huber, 1989), и применение MgCl2 с аммиачными удобрениями к почвам с дефицитом Mg может снизить корневую гниль и увеличить урожайность (Huber, 1981). В то же время применение доломитовой извести (CaCO3 + MgCO3) для нейтрализации кислотности почвы и увеличения доступности Mg также снижает доступность Mn и может увеличить тяжесть корневой гнили пшеницы и нескольких других болезней (Таблица 7.1). Хотя дефицит Mg предрасполагает пшеницу к корневой гнили в горшечной культуре, истощение Mg в почвах с непрерывным выращиванием зерновых культур или использование аммоний-сульфатных удобрений может быть важным фактором в снижении корневой гнили в поле. Авенацин в корневых экссудатах сортов овса с толерантностью к корневой гнили ингибирует использование Mg G. graminis var. tritici, а аммоний или высокие уровни KCl ингибируют усвоение Mg и снижают корневую гниль (Huber, 1989).

Высокие уровни Mg значительно увеличивали развитие бактериальной пятнистости перца и томата (Woltz и Jones, 1979). В обоих случаях болезнь была менее выраженной, когда Mg находился на нижнем пределе нормального питания, чем когда он был на верхнем пределе (Таблица 7.2). В том исследовании перец и томаты выращивались в контейнерах и обрабатывались путем выращивания в почвах, обогащенных Ca(OH)2 и сельскохозяйственным известняком (CaCO3) в количестве 1,56 и 2,35 кг/м3 соответственно, либо дополненных MgSO4 · 7H2O (0 или 0,39 кг/м3).

Бактериальная пятнистость перца увеличивалась как при листовой, так и при почвенной обработке Mg (Cone et al., 1983), по сравнению с обработками, в которых Mg не применялся (Таблица 7.3). Хотя содержание Mg в растительной ткани не сильно различалось между обработками, когда сравнивались побочные эффекты, содержание Mg в растительной ткани с доломитом, который также получал опрыскивание Mg, было вдвое выше (0,86% по сравнению с 0,44% Mg) у растений, выращенных в почве, обогащенной CaCO3, но не получавших листовое удобрение Mg (Рисунок 7.1).

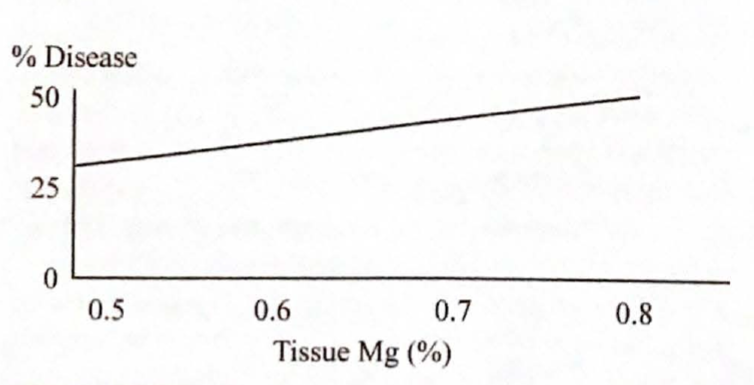
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| \*\*ТАБЛИЦА 7.1. Влияние магния в почве или тканях на болезни растений\*\* | | | | |
|  |  |  |  |  |
| Болезнь | Патоген или причинный агент | Хозяин | Эффект Mg | Ссылки |
| Бактериальный увядание | Xanthomonas campestris pv. malvacearum | Хлопок | Уменьшение | Batson, 1971 |
| Бактериальное пятно | Xanthomonas campestris pv. vesicatoria | Перец, томат | Увеличение | Woltz and Jones, 1979; Jones et al., 1983 |
| Горькая ямка | Экологические агенты | Яблоко | Увеличение | Burmeister and Dilley, 1993 |
| Шоколадное пятно | Botrytis fabae | Вика | Уменьшение | Rabie, 1998 |
| Клубневая гниль | Plasmodiophora brassicae | Брокколи, капуста | Уменьшение | Myers and Campbell, 1985 |
| Черная ножка | Rhizoctonia solani | Крестоцветные | Уменьшение | Haenseler, 1939 |
| Увядание | Почвенный агент | Хлопок | Уменьшение | Young et al., 1991 |
| Ложная мучнистая роса | Peronospora tabacina | Табак | Уменьшение | Tsai and Bird, 1975 |
| Обратный отток Eutypa | Eutypa lata | Виноград | Уменьшение | Horsley et al., 2000 |
| Ожог | Erwinia amylovora | Груша | Уменьшение | Szepessy and Hegedűsne, 1982 |
| Флаговый головневый ринит | Urocystis tritici | Пшеница | Уменьшение | Edreva et al., 1984 |
| Гангрена | Phoma exigua var. foveata | Картофель | Уменьшение | Colrat et al., 1999 |
| Листовой взрыв | Pyricularia oryzae | Рис | Нет | Koseoglu et al., 1996 |
| Листовое пятно | Alternaria spp., Capnodium spp. | Мак | Увеличение | Mulikan, 1939 |
| Плесневые грибы | Cladosporium spp. | Рис | Уменьшение | Olsson, 1984 |
| Пандабласт | Pyricularia grisea | Рис | Увеличение | Debona et al., 2018 |
| Гниль стручка | Fusarium spp. | Арахис | Уменьшение | Thomas and Orellana, 1964 |
| Болезнь пересадки | Pythium spp. | Арахис | Уменьшение | Baba, 1958 |
| Корневая гниль | Rhizoctonia solani | Арахис | Уменьшение | Szepessy and Hegedűsne, 1982 |
| Болезнь сеянцев | Armillaria ostoyae | Сосна | Увеличение | Filippi and Prabhu, 1998 |
| Парша | Streptomyces scabies | Картофель | Увеличение | Halleck and Garren, 1968 |
| Болезнь сеянцев | Pythium spp. | Томат | Увеличение | Csinos and Bell, 1989; Halleck and Garren, 1968 |
| Болезнь сеянцев | Rhizoctonia solani | Календула | Увеличение | Csinos and Bell, 1989; Halleck and Garren, 1968 |
| Корневая гниль | Aphanomyces euteiches | Горох | Нет | Li and Utkhede, 1991 |
| Корневая гниль | Phymatotrichum omnivorum | Хлопок | Нет | Mallett and Maynard, 1998 |
| Корневая гниль | Rhizoctonia solani | Фасоль | Нет | Persson and Olsson, 2000 |
| Корневая гниль | Pythium spp. | Соя | Увеличение | Bell, 1989; Tsai, 1974 |
| Корневая гниль | Fusarium spp. | Картофель | Уменьшение | Bateman, 1965 |
| Корневая гниль | Pythium spp. | Томат | Уменьшение | Castaño and Kemkamp, 1956; Kemkamp et al., 1952 |
| Корневая гниль | Rhizoctonia solani | Рис | Нет | Kristufek et al., 2000 |
| Корневая гниль | Pythium spp. | Рис | Увеличение | Gill, 1972 |
| Корневая гниль | Pythium spp. | Рис | Увеличение | Gill, 1972 |
| Корневая гниль | Fusarium spp. | Рис | Уменьшение | Schurt et al., 2014 |

(продолжение на следующей странице)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ### Таблица 7.1. Продолжение |  |  |  |  |
| Болезнь | Патоген или возбудитель | Хозяин | Эффект Mg | Ссылки |
| Гниль | Erwinia carotovora var. atroseptica | - | - | - |
| Южная пятнистость листьев | Bipolaris maydis | - | - | - |
| Стеблевая головня | Urocystis occulta | - | - | - |
| Стеблевая ржавчина | Puccinia graminis | - | - | - |
| Полосчатая ржавчина | Puccinia striiformis | - | - | - |
| Белая гниль | Gaeumannomyces graminis var. tritici | - | - | - |
| Гниль клубней | Различные грибы | - | - | - |
| Двойной стебель | Sclerotinia sclerotiorum | - | - | - |
| Влажная головня | Неопределенный | - | - | - |
| Увядание | Fusarium oxysporum f. sp. pisi | - | - | - |
| Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici | - | - | - |  |
| Fusarium oxysporum f. sp. conglutinans | - | - | - |  |
| Verticillium albo-atrum | - | - | - |  |
| Желтая сигатока | Mycosphaerella musicola | - | - | - |
| Пятнистость листьев | - | - | - | - |

### Таблица 7.2. Процент дефолиации перца и томатов, вызванный Xanthomonas campestris pv. vesicatoria после обработки магнием в низких и высоких дозах

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Растение | Низкий Mg | Высокий Mg |
| Перец | 1.8 | 8.4 |
| Томат | 2.4 | 13.4 |
|  |  |  |
| - Адаптировано из Woltz и Jones, 1979. С разрешения J.B. Jones-© A.PS. | | |



### Рис. 7.1. Взаимосвязь между увеличением концентрации магния в тканях и развитием бактериального пятна у перца. (Адаптировано из Jones et al., 1983. С разрешения J.B. Jones-© APS.)

### Таблица 7.3. Влияние почвенного и листового применения магния на тяжесть бактериального пятна у перца, инфицированного Xanthomonas vesicatoria, и накопление Ca, K и Mg в листве

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Лечение | Рейтинг болезни | Ca (%) | K (%) | Mg (%) |
| Контроль без добавок | 30.6 b | 2.9 ab | 3.4 a | 0.6 b |
| Листовое применение Mg | 43.4 a | 2.8 ab | 3.4 a | 0.7 a |
| Почвенное применение доломита | 45.6 a | 2.4 a | 3.3 a | 0.7 a |
| Почвенное применение CaCO3 | 27.8 b | 3.2 b | 3.4 a | 0.5 b |
|  |  |  |  |  |
| - Адаптировано из Jones et al., 1983. С разрешения J.B. Jones-© APS. | | | | |
| - Значения, обозначенные одной и той же буквой, не различаются значительно. | | | | |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ### Влияние магния на различные культуры | | |
|  |  |  |
| Культура | Эффект Mg | Ссылки |
| Картофель | Уменьшение | Kelman et al., 1989; McGuire and Kelman, 1986 |
| Кукуруза | Увеличение | Taylor, 1954 |
| Рожь | Увеличение | Tapke, 1948 |
| Зерновые | Увеличение | McNew, 1953 |
| Зерновые | Увеличение | McNew, 1953 |
| Пшеница | Увеличение | Huber, 1981, 1985, 1989 |
|  | Переменный | Huber and McCay-Buis, 1993 |
| Картофель | Уменьшение | Percival et al., 1999 |
| Соя | Увеличение | Muchovej and Muchovej, 1982 |
| Пшеница | Уменьшение | Schutte, 1957 |
| Гвоздика | Уменьшение | Lyakh, 1986 |
| Томат | Увеличение | J. P. Jones et al., 1989 |
| Хлопок | Уменьшение | National Research Council, 1968 |
| Хлопок | Уменьшение | Batson, 1971 |
| Банан | Уменьшение | Freitas, 2016 |

Изменения в концентрации Mg в листовой ткани в результате изменения норм K и N удобрений также коррелировали с развитием бактериального пятна на томатах (Gones et al., 1988). Четыре нормы N и три нормы K были внесены в полевые условия с помощью капельного орошения. Норма азота оказала выраженное влияние на развитие болезни, и была обратная зависимость между тяжестью болезни и содержанием Mg в ткани. По мере увеличения нормы N уровни Mg снижались, а эпифитные популяции X. campestris pv. vesicatoria увеличивались в течение каждого сезона одновременно с уменьшением Mg (McGuire et al., 1991).

В устойчивом к листовой ржавчине генотипе пшеницы применение Mg удобрений было связано с уменьшением концентрации Ca в листовой ткани, но увеличением тяжести листовой ржавчины (Debona et al., 2016; Rodrigues et al., 2017). Листовая ржавчина пшеницы, вызванная Pyricularia oryzae, увеличилась с 11,3 до 39,6%, когда применение Mg увеличилось с 0,25 мМ Mg (MgSO4 · 7H2O) до 4 мМ Mg (3,5 мМ MgCl2 + 0,5 мМ MgSO4 · 7H2O) в питательном растворе (Debona et al., 2016). Аналогично, в исследовании по болезни стеблевой гнили риса, вызванной Rhizoctonia solani, тяжесть болезни увеличилась у двух сортов риса при увеличении концентрации Mg в питательном растворе (Schurt et al., 2014).

Различные соли Mg встречаются в почве, и взаимодействия, которые изменяют эффект других элементов, таких как K, Ca и Mn, являются обычными (Games et al., 1995). Хлоридная соль Mg увеличивает увядание фузариоза томатов, вызванное Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici, и может нейтрализовать пользу Ca в снижении этой болезни (Jones et al., 1989). Магний и K снижали содержание Ca в бобах арахиса и предрасполагали их к разрушению бобов, вызванному видами Pythium и Rhizoctonia. Вредные эффекты MgSO4 или аммония на гниль бобов были компенсированы одновременным применением гипса (Csinos and Bell, 1989). В отличие от этого, Mg почти так же эффективен, как и Ca, в предотвращении мацерации тканей мягкой гнилью.

Percival et al. (1999) предложили использовать воздушные клубни картофеля для семян, так как рост грибков, спорообразование и инфекция были значительно ниже на воздушных клубнях, чем на подземных, при этом их урожайность была сопоставимой. Магний, а также гликоалкалоиды и хлорогеновая кислота, были значительно выше в воздушных клубнях, чем в подземных. Sugawara et al. (1998) наблюдали, что кремний, Mg, Ca, P, S, Cl и K накапливаются в инфекционных очагах мучнистой росы Erysiphe pisi на восприимчивых горохах (Pisum sativum).

Обратная зависимость была обнаружена между шоколадным пятном, вызванным Botrytis fabae, и Ca, Mg и Zn в Vicia faba (Rabie, 1998). Концентрация Mg в перидерме картофеля, в отличие от Ca и P, не была последовательно связана с восприимчивостью к обычной парше (Kristufek et al., 2000). Duffy et al. (1997) связали биологическую активность контроля Trichoderma koningii, грибка, снижающего Mn, против корневой гнили (вызванной G. graminis var. tritici) с высокими уровнями растворимого Mg в почве, хотя это не указывало на предрасположенность почвы к этой болезни. Концентрация Ca и Mg в почвах, подавляющих клубневую гниль, была в три-пятнадцать раз выше, чем в почвах, способствующих этой болезни (Young et al., 1991). Упадок сахарного клена был связан с низким Mg, высоким Mn и насекомыми-дефолиаторами (Horsley et al., 2000). Нет эффекта Mg в Aphanomyces-подавляющих почвах, но уровень Mg снижался по мере увеличения Ca (Persson and Olsson, 2000). Нет корреляции между почвенным Mg и корневой гнилью Armillaria у сосны, вызванной Armillaria ostoyae, в Канаде. Заболеваемость огненным бактериозом грушевых деревьев не зависела от Mg, но болезнь увеличивалась с N и уменьшалась с K и Mn удобрением (Koseoglu et al., 1996). В исследовании в Бразилии концентрация Mg в почве коррелировала с тяжестью болезни желтого сигатока на листьях банана (Guo et al., 2016).

В Малайзии Tajudin et al. (2016) использовали геостатистические методы для определения содержания Ca и Mg в плантациях масличной пальмы, связанных с базальной гнилью ствола (BSR), вызванной Ganoderma spp. Они оценили содержание Ca и Mg в почве и листовой ткани в связи с BSR масличной пальмы. Была только последовательная отрицательная корреляция между содержанием Ca в почве, но не Mg с BSR, но смешанные результаты с содержанием Ca в листовой ткани и отсутствие связи с содержанием Mg (Tajudin et al., 2016).

Не было значительной разницы в Mg (и других минералах) в генетически модифицированных растениях, устойчивых к колорадскому жуку, вирусу листовой скрутки или вирусу картофеля X, по сравнению с их немодифицированными аналогами (Rogan et al., 2000). Снижение доступности P, K, Mg и Ca в почве с уменьшением pH почвы было связано с предрасположенностью саженцев вишни к инфекции Pseudomonas syringae pv. syringae (Melakeberhan et al., 2000). В отличие от этого, устойчивость к панической ржавчине риса положительно коррелировала с тканевым N, P и Mg и отрицательно коррелировала с тканевым K и Ca, которые снижаются Mg (Filippi and Prabhu, 1998).

Сообщалось, что концентрация Mg в тканях изменяется после инфекции растений. Хуанлунбин (HLB) вызывается филоэм-ограниченной бактерией Candidatus Liberibacter spp. (Halbert and Manjunath, 2004). Инфицированные HLB цитрусовые деревья имели значительно более низкое содержание Mg в листовой ткани. В том исследовании авторы предположили, что снижение Mg было вызвано ограничениями поглощения, транспорта или метаболизма питательных веществ, индуцированными инфекцией HLB. Однако природа этого эффекта остается неопределенной (Spann and Schumann, 2009). Исследований по концентрации микроэлементов в растениях после инфекции фитопатогенами проведено мало.

Помимо того, что магний является важным питательным веществом для растений и микробов, магний в наноразмерах (1-100 нм) проявляет антимикробную активность против патогенов растений. Наночастицы оксида магния (MgO) проявляют антибактериальную активность против бактериальных фитопатогенов, включая Ralstonia solanacearum (Cai et al., 2018) и Xanthomonas perforans (Liao et al., 2019a). Liao et al. (2019) оценили антибактериальную способность наночастиц MgO (нано MgO, 20 нм) против устойчивого к меди штамма X. perforans, который является возбудителем бактериального пятнистого заболевания томатов. По сравнению с необработанным водным контролем (P = 0,05), наночастицы MgO (20 нм) в концентрации 200 мкг/мл значительно снизили тяжесть заболевания бактериальным пятнистым заболеванием в полевых условиях (Liao et al., 2019a; Liao et al., 2019b). Наночастицы оксида магния также проявляли прямую противогрибковую активность против грибковых патогенов, таких как Alternaria alternata, Fusarium oxysporum, Rhizopus stolonifer и Mucor plumbeus; наночастицы MgO (~50 ± 10 нм) в концентрациях всего 100 мг/л приводили к высоким уровням ингибирования прорастания грибковых спор в экспериментах in vitro (Wani и Shah, 2012).

Резюме

Магниевое питание может увеличивать некоторые заболевания, такие как бактериальное пятнистое заболевание томатов и перца, и снижать другие заболевания, такие как бактериальная мягкая гниль картофеля. Подобные эффекты наблюдаются при некоторых заболеваниях, независимо от того, поставляется ли Mg в почву в виде доломитовой извести или в виде листовой обработки. Взаимосвязь между Mg и заболеваниями была определена на основе прямых реакций на добавление Mg, сравнения содержания Mg в тканях зараженных и не зараженных растений, сравнения благоприятных и подавляющих почв, а также различий в популяциях патогенов в условиях высокого и низкого содержания Mg (Q. B. Jones et al., 1988; Kelman et al., 1989; McGuire et al., 1991). Нано частицы магния обладают антимикробной активностью и могут снижать тяжесть бактериального пятнистого заболевания томатов в полевых условиях. Магний может повышать устойчивость тканей к мацерации пектолитическими ферментами, вырабатываемыми бактериями мягкой гнили, но, помимо этого наблюдения, информации о прямых эффектах Mg на патогенез мало.