

Capítulo 14

Controle da Podridão de Raiz e Promoção de Crescimento em Hidroponia com Bactérias

Élida Barbosa Corrêa¹ & Wagner Bettiol²

¹FCA/Unesp, 18610-307, Botucatu, SP, Brasil, e-mail: elidabcorrea@yahoo.com.br

²Embrapa Meio Ambiente. CP 69, 13820-000, Jaguariúna, SP, Brasil, e-mail: bettiol@cnpma.embrapa.br. Bolsista do CNPq.

Introdução

O desenvolvimento da agricultura por meio da iriação e do aprimoramento das diversas formas de cultivo é um processo crescente e mundial, devido às necessidades de abastecimento de alimentos e aos vários nichos de mercado. Em 1930, substituiu-se o solo por solução nutritiva, composta por macró e micronutrientes, onde um dos objetivos da nova técnica de cultivo, denominada hidroponia, era evitar doenças causadas por patógenos veiculados ao solo (Zinnen, 1988; Stanghellini & Rasmussen, 1994).

O cultivo hidropônico, principalmente de hortaliças, está se desenvolvendo rapidamente como forma de produção vegetal (Furlani, 2008). A razão para tal aumento são as vantagens proporcionadas por esse tipo de cultivo, como a padronização da produção, a antecipação do ciclo da cultura, a redução no uso da água, a eficiência do uso de fertilizantes, a maior produção por área, a melhor qualidade dos produtos colhidos, a maior ergonomia no trabalho, a maior possibilidade de mecanização e a automatização da produção (Furlani *et al.*, 1999; Furlani, 2008). A principal cultura cultivada em hidroponia no Brasil é a alface. No entanto, outras culturas também são produzidas por esse sistema, em caráter comercial ou experimental, como a rúcula, o agrião, o almeirão, a couve em folhas, o cenourinho, a salsinha, a cebolinha, o salsaão, o tomate, o pepino, o pimentão, o morango, a batata e as plantas ornamentais (Faquin & Furlani, 1999; Moraes & Furlani, 1999; Chatterton *et al.*, 2004; Paulitz *et al.*, 1992; Medeiros *et al.*, 2002). O principal sistema hidropônico empregado no Brasil, para o cultivo de hortaliças folhosas, é o “nutrient film technique” (NFT), que consiste na irrigação de uma fina lâmina de solução nutritiva nos canais de cultivo entre as raízes (Faquin & Furlani, 1999; Furlani, 2008).

Apesar do intuito de se evitar as doenças causadas por patógenos veiculados pelo solo, esses são um grande problema em hidroponia. Patógenos zoospóricos são listados como os mais destrutivos organismos em cultivos hidropônicos (Stanghellini & Rasmussen, 1994). As principais doenças que ocorrem em hidroponia são as podridões radiculares causadas por espécies de *Pythium* (Bates & Stanghellini, 1984; Stanghellini & Rasmussen, 1994; Utkhede *et al.*, 2000; Severino *et al.*, 2005). As razões para que essas sejam as doenças mais importantes nos cultivos hidropônicos, em todo o mundo, estão relacionadas aos fatores ambientais e biológicos das próprias espécies cultivadas. A temperatura e a umidade constantes favorecem a multiplicação do patógeno. As espécies cultivadas em hidroponia não possuem resistência genética à doença, sendo todas moderadamente ou altamente suscetíveis, aliado ao fato de serem cultivadas em elevada densidade. Fatores biológicos importantes no desenvolvimento da doença são a adaptação do patógeno ao ambiente aquático e a baixa diversidade biológica do sistema. No ambiente aquático *Pythium* spp. produz zoósporos, esporos flagelados, altamente eficientes na infecção do hospedeiro, que além de serem transportados pela solução nutritiva, são atraídos pelos exsudados radiculares. A baixa diversidade biológica no ambiente hidropônico, quando comparada ao solo, favorece a ocorrência de epidemias, pois ocorre pouca competição entre *Pythium* e os microrganismos nativos, favorecendo o estabelecimento do patógeno (Stanghellini & Rasmussen, 1994; Sutton *et al.*, 2006).

O controle da podridão de raiz em hidroponia é oneroso e difícil, pois para a eficiente eliminação do patógeno no sistema é necessária a paralisação da produção e a desinfestação de todo o sistema, condição essa não desejada pelo produtor. O controle deve ser preventivo por meio da utilização de mudas saudáveis e de água isenta de patógenos, pois essas são as principais fontes de inóculo. No entanto, o patógeno também pode ser introduzido no sistema por meio de solo contaminado aderido a ferramentas e a calçados, por substratos contaminados e por insetos (Tu *et al.*, 1999; Owen-Going *et al.*, 2003; Rey *et al.*, 1997; Favrin *et al.*, 1988; Goldberg & Stanghellini, 1990; Sutton *et al.*, 2006). O controle químico da doença não é recomendado devido à contaminação do ambiente e das plantas, além da possibilidade de seleção de isolados do patógeno resistentes aos fungicidas (Yang *et al.*, 2004; Stanghellini & Rasmussen, 1994; Nelson, 1998). No Brasil, não existem fungicidas registrados para o controle da doença em hidroponia. Devido a colheita ser realizada diariamente, a utilização de agrotóxicos representa um alto risco de contaminação do produtor e do consumidor, pois na maioria dos cultivos comerciais as plantas de diferentes fases são abastecidas pela mesma solução nutritiva. Outro fator negativo quanto a utilização de agrotóxicos em hidroponia é a possibilidade de ocorrência de fitotoxidez, como observada por Utkhede *et al.* (2000) que ao utilizarem fosetyl-Al e metalaxyl para o controle da podridão de raiz em alface, causada por *Pythium aphanidermatum*, verificaram fitotoxidez nas plantas e o consequente agravamento do problema. A desinfestação da solução nutritiva com radiação UV (Sutton *et al.*, 2000), a filtragem (Goldberg *et al.*, 1992) e a elevação da temperatura da solução nutritiva (Tanaka *et al.*, 2003) podem ser utilizadas como medidas para diminuir o inóculo do patógeno no sistema. Entretanto, não afetam a população do patógeno na zona radicular, não tendo se mostrado como medidas eficientes (Khan *et al.*, 2003).

A manipulação pelo homem de processos biológicos que ocorrem naturalmente como o antagonismo entre os microrganismos, a promoção de crescimento de plantas e a indução de resistência são práticas promissoras de controle da doença. Vários autores demonstraram que é possível controlar biologicamente a podridão de raiz em hidroponia (Bohow, 1992; Sutton *et al.*, 2006; Paulitz *et al.*, 1992; Zheng *et al.*, 2000; Postma *et al.* 2000; Khan *et al.*, 2003; Chatterton *et al.*, 2004; Nemeček *et al.*, 1996; Corrêa *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2007). Determinadas características do cultivo hidropônico que favorecem o patógeno, como a baixa diversidade biológica e as condições constantes de temperatura e umidade, também favorecem o estabelecimento de agentes de controle biológico nesse sistema. A baixa diversidade biológica possibilita a colonização do sistema radicular pelo agente de biocontrole sem competição com os microrganismos nativos. As condições ambientais constantes favorecem o seu estabelecimento e a sua multiplicação. É importante salientar que ambos os microrganismos, patógeno e agente de biocontrole, competem pelos exsudados radiculares, que são as principais fontes de nutrientes orgânicos no sistema (Sutton *et al.*, 2006).

Dentre os diferentes grupos de microrganismos, as bactérias são consideradas como promissores agentes de biocontrole da doença e promotores de crescimento de plantas em hidroponia (Bohow, 1992; Boehme *et al.*, 2005; Chatterton *et al.*, 2004; Garfía *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2003; Liu *et al.*, 2007; Ongena *et al.*, 1999; Paulitz *et al.*, 1992; Utkhede *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2004; Zhou & Paulitz, 1993). Existem no mercado internacional bioprodutos formulados com bactérias, principalmente as Gram (+), devido à maior facilidade de formulação, para o controle da podridão de raiz e a promoção de crescimento em hidroponia, como o Mykoston® (Kemira Agro Oy, Helsinki, Finlândia) formulado com *Streptomyces griseoviridis* para o controle da podridão de raiz (Yang *et al.*, 2004); Companioná® (Growth Products, White Plains, New York, EUA) formulado com *Bacillus* spp. e comercializado como promotor de crescimento (Hydroasis, 2008) e Serenade® (AgraQuest Inc., Davis, Ca, EUA) formulado com *Bacillus subtilis* (isolado QST 713) para o controle da doença (Serenade, 2007). Corrêa *et al.* (2009) discutem amplamente o controle biológico de doenças em sistemas hidropônicos.

Bactérias como Agentes de Controle Biológico da Podridão de Raiz

Bactérias são habitantes naturais dos ecossistemas e agroecossistemas terrestres e aquáticos e desempenham papel importantíssimo no equilíbrio biológico desses sistemas (Neves & Rumjanek, 1998; Melo, 1998; Corrêa *et al.*, 2009; Paulitz *et al.*, 1992). Neves & Rumjanek (1998) discutem a importância das bactérias diazotróficas nos solos tropicais. Melo (1998) descreve os mecanismos das bactérias promotoras de crescimento e seu potencial de uso na agricultura. Paulitz *et al.* (1992) controlaram a podridão de raiz causada por *Pythium aphanidermatum* em pepino hidropônico aplicando *Pseudomonas* sp. isolada da mesma espécie hospedeira na solução nutritiva. Corrêa & Bettiol (2008) isolaram da rizosfera de plantas de manguezal diferentes espécies de *Bacillus* potenciais no controle da podridão de raiz em hidroponia.

A capacidade de controle de doenças de plantas por bactérias é proporcionada por diferentes mecanismos de ação, que podem atuar isoladamente ou em conjunto. Os principais mecanismos são a produção de compostos tóxicos aos patógenos, como enzimas hidrolíticas, biossurfactantes e antibióticos, denominado antibiose; a competição por espaço e nutrientes; a ativação de mecanismos de resistência latentes das plantas, denominado indução de resistência; a produção de compostos com elevada afinidade com o ferro denominados sideróforos, que tornam esse elemento indisponível aos patógenos em condições ambientes de baixa disponibilidade do elemento e a promoção de crescimento, discutida no próximo item (Chatterton *et al.*, 2004; Zheng *et al.*, 2000; Zhou & Paulitz, 1993; Stanghellini & Miller, 1997; Kloepper *et al.*, 1988; Paulitz *et al.*, 1992).

O sucesso da utilização de bactérias como agentes de controle biológico da podridão de raiz em hidroponia é devido à capacidade de adaptação ao ambiente hidropônico e à colonização das raízes das plantas. A colonização das raízes pode proporcionar benefícios diretos para as plantas como a produção de hormônios de crescimento e/ou indiretos, como a exclusão de patógenos devido à ocupação do nicho de atuação. Tu *et al.* (1999) estudaram a relação entre a podridão de raiz causada por *Pythium* e a população de microrganismos em cultivo hidropônico de tomate, empregando lâ de rocha como substrato para a sustentação das plantas, em sistemas com circulação contínua ou sem circulação da solução nutritiva. Os autores verificaram que a elevada população de bactérias no sistema com circulação contínua da solução nutritiva suprimiu a podridão de raiz causada por *Pythium*. Yang *et al.* (2004) verificaram que a adição de *Paenibacillus polymyxa* PKB1, isolado de canola, na concentração de 1×10^6 e 1×10^8 esporos/ml, na solução nutritiva do cultivo hidropônico de pepino, controlou a podridão de raiz causada por *Pythium* e promoveu o crescimento das plantas. A bactéria se estabeleceu no ambiente hidropônico, colonizando as raízes das plantas e a lâ de rocha utilizada como substrato. A produção das plantas tratadas com a bactéria foi significativamente maior do que a testemunha inoculada ou não com *Pythium*. A aplicação dos isolados de *Pseudomonas chlororaphis* (Tx-1 e 63-28) e de *Bacillus cereus* (HY06), na concentração de 10^4 UFC/ml, em solução nutritiva de cultivo de crisântemo, 14 dias antes da inoculação com *Pythium aphanidermatum* ou *Pythium dissotocum*, protegeu as plantas da podridão de raiz causada pelos respectivos patógenos, independentemente da temperatura da solução nutritiva ser alta (32 °C) ou moderada (24 °C) (Liu *et al.*, 2007). Pagliaccia *et al.* (2007) modificaram o ambiente hidropônico radicular por meio da adição dos produtos N-Serve® e Truban® e controlaram a podridão de raiz causada por *Phytophthora capsici* em pimentão e *Pythium aphanidermatum* em pepino. De acordo com os autores, a capacidade de biocontrole dos produtos foi direta, por meio da ação antifúngica do ingrediente ativo dos produtos e indireta, por meio do aumento da população de *Pseudomonas* spp. na solução nutritiva, aumento proporcionado pelo ingrediente inerte do produto.

Predominância do mecanismo de indução de resistência sobre a produção de sideróforos e antibióticos foi verificada na proteção de pepino hidropônico contra a podridão de raiz causada por *Pythium aphanidermatum*, por meio da adição de isolados de *Pseudomonas putida* na solução nutritiva (Ongena *et al.*, 1999). Raízes de pepino tratadas com os isolados de *Pseudomonas putida* BTP1 e seu mutante deficiente na produção de sideróforos tiveram a mesma severidade da doença e não foram

encontrados sideróforos (pioverdinas) na solução nutritiva. A produção de compostos tóxicos por esses isolados não foi verificada por meio do pareamento dos isolados bacterianos com o patógeno em meio de cultura, não havendo inibição do crescimento micelial do patógeno. No entanto, nos tratamentos com os isolados foi observada elevada quantidade de compostos fenólicos na solução nutritiva, em comparação com os outros tratamentos, sendo que determinados compostos fenólicos podem induzir resistência nas plantas. Esses resultados sugerem que compostos fenólicos antifúngicos, induzidos pela inoculação com os isolados bacterianos participam ativamente na proteção das plantas contra *Pythium aphanidermatum*.

Bactérias como Promotoras de Crescimento de Plantas em Hidroponia

A promoção de crescimento de plantas em hidroponia por meio da adição de microrganismos no sistema de cultivo é uma alternativa para acelerar o retorno financeiro e a recuperação dos custos de implantação do sistema hidropônico, assim como para racionalizar o uso de fertilizantes. A promoção de crescimento das plantas mediada por microrganismos pode ser realizada por mecanismos diretos, como a produção de fitohormônios estimuladores do crescimento (Datta *et al.*, 1982), mobilização do fosfato (De Freitas *et al.*, 1997; Datta *et al.*, 1982) ou por mecanismos indiretos, relacionados à eliminação de microrganismos prejudiciais às plantas por meio da produção de sideróforos (Kloepper *et al.*, 1988; Harman *et al.*, 2004), produção de antibióticos (Harman *et al.*, 2004; Luz, 1996), indução de resistência das plantas contra fitopatógenos (Ramamoorthy *et al.*, 2001), eliminação dos microrganismos deletérios e de seus metabólitos tóxicos presentes na zona radicular (Harman *et al.*, 2004) e por proporcionar maior absorção de nutrientes pelas raízes das plantas.

Exemplos de promoção de crescimento e de aumento de produtividade utilizando bactérias em cultivo hidropônico são relatados por Paulitz *et al.* (1992), Garfía *et al.* (2004), Yang *et al.* (2004), McCullagh *et al.* (1996) e Van Peer & Shippers (1988). Paulitz *et al.* (1992) verificaram que, em pepino hidropônico, a aplicação de *Pseudomonas* spp. na solução nutritiva de cultivo, na ausência do patógeno, promoveu o desenvolvimento do sistema radicular em 134%. Também em pepino, Yang *et al.* (2004) verificaram que o isolado PKB1 de *Paenibacillus polymyxa*, aplicado na solução nutritiva de cultivo, aumentou a produtividade das plantas. O isolado de *Pseudomonas fluorescens* (63-49) promoveu o crescimento de plantas de pepino hidropônico e aumentou a sua produtividade na presença ou na ausência de *Pythium aphanidermatum*. Na ausência do patógeno o isolado bacteriano aumentou o número de frutos em 12% e a massa das plantas em 18%. Em plantas inoculadas com *Pythium aphanidermatum* o aumento na produção de frutos foi de 18% (McCullagh *et al.*, 1996). Em tomate hidropônico, Van Peer & Shippers (1988) verificaram que a aplicação de *Pseudomonas* spp. promoveram o crescimento das plantas, aumentando a massa do sistema aéreo e radicular. Garfía *et al.* (2004) verificaram que a adição de suspensões de 10⁸ células/ml de *Bacillus licheniformis* por planta em sistema hidropônico proporcionou aumento na produtividade e no diâmetro dos frutos de tomate.

Controle Biológico da Podridão de Raiz Causada por *Pythium aphanidermatum* com Bactérias

Dois isolados bacterianos de *Bacillus subtilis* (AP-3) e *Paenibacillus lentimorbus* (OG), agentes de controle biológico da brusone do arroz (Bettiol, 1988) e da podridão de raiz causada por *Phytophthora parasitica* e *Phytophthora citrophthora* em plantas de limão 'Cravo' (Amorim & Melo, 2002), respectivamente, foram testados quanto à capacidade de controlar a podridão de raiz em plantas de alface 'Vera' cultivadas em hidroponia, no sistema de fluxo laminar de nutrientes. O controle da doença foi avaliado adicionando-se nos tanques de solução nutritiva o meio de cultura (0,5% de milho-cina + 0,5% de melaço + 0,3% de fosfato monobásico) na concentração de 1%, fermentado ou não pelas bactérias, dois dias antes e quatro dias após a inoculação das plantas com o patógeno. As plantas foram inoculadas artificialmente e naturalmente. A artificial foi realizada mergulhando-se as raízes das plantas em uma suspensão de 1×10^4 zoósporos/ml por 30 min. e a natural foi realizada por meio da disseminação do patógeno a partir das plantas inoculadas artificialmente para as plantas saudáveis na linha de cultivo. O delineamento foi em blocos casualizados, com duas repetições compostas de 20 plantas cada repetição. No final do experimento foram avaliadas as massas das plantas e a incidência do patógeno nas raízes.

Paenibacillus lentimorbus e *Bacillus subtilis* diminuíram a incidência do patógeno nas raízes das plantas inoculadas artificialmente em 67% e 17%, respectivamente. Nas plantas naturalmente inoculadas a diminuição foi de 100% e 60%, respectivamente. As plantas apenas inoculadas com o patógeno (testemunha inoculada) apresentaram o menor desenvolvimento, quando comparadas com as dos demais tratamentos (Figura 1).

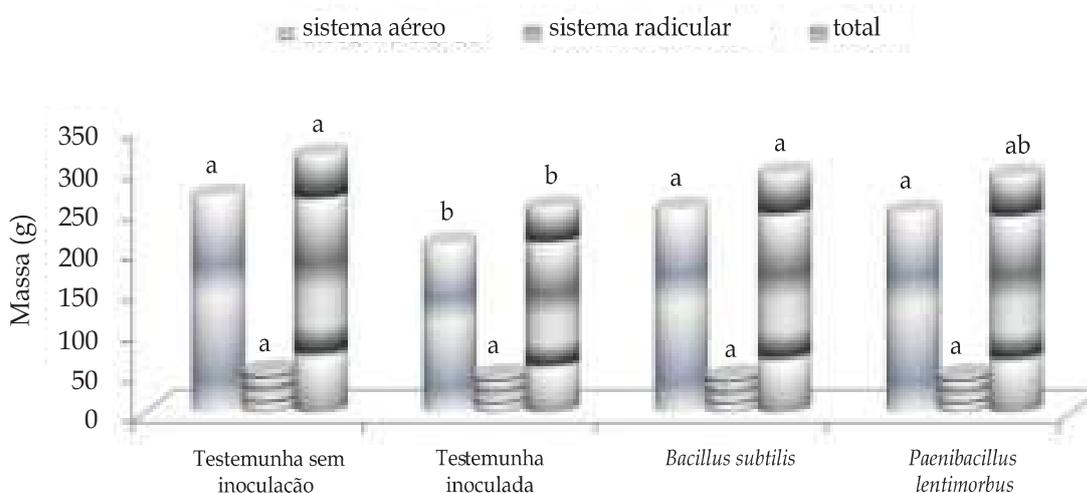


Figura 1. Efeito de *Bacillus subtilis* e *Paenibacillus lentimorbus* na massa fresca de plantas de alface cultivadas em sistema hidropônico, e inoculadas artificialmente com *Pythium aphanidermatum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

Os tratamentos com as bactérias proporcionaram maior desenvolvimento da parte aérea das plantas inoculadas artificialmente e o com *Bacillus subtilis* proporcionou maior desenvolvimento da massa total das plantas (Figura 1). A aplicação do meio fermentado por *Paenibacillus lentimorbus* proporcionou o maior desenvolvimento da massa fresca da parte aérea das plantas inoculadas naturalmente (Figura 2). A proteção das plantas quanto ao subdesenvolvimento proporcionado pela infecção por *Pythium* spp. também foi verificada com a aplicação de *Bacillus subtilis* (BACT-0) (Utkhede *et al.*, 2000) e *Bacillus cereus* (HY06) (Liu *et al.*, 2007).

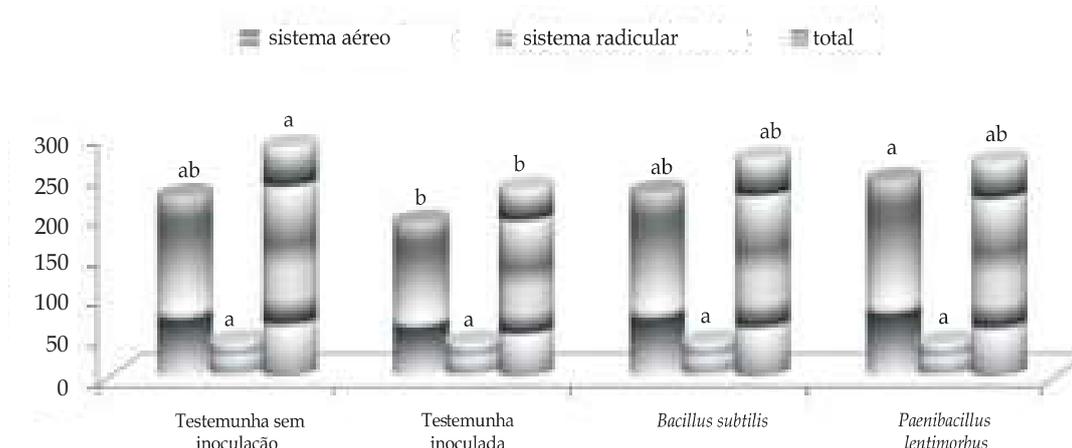


Figura 2. Efeito de *Bacillus subtilis* e *Paenibacillus lentimorbus* na massa fresca de plantas de alfafe cultivadas em sistema hidropônico e inoculadas naturalmente com *Pythium aphanidermatum*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente (Tukey 5%).

Promoção de Crescimento das Plantas por *Bacillus subtilis* e *Paenibacillus lentimorbus*

A avaliação da promoção de crescimento de plantas de alfafe hidropônica cultivar 'Vera' foi realizada no sistema de fluxo laminar de nutrientes adicionando-se meio de cultura (0,5% de milho-ina + 0,5% de melaço + 0,3% de fosfato monobásico) fermentado por *Bacillus subtilis* (AP-3) ou *Paenibacillus lentimorbus* (OG), nas concentrações de 0,1%; 1% e 10%. Além desses tratamentos, foram estudados os efeitos das concentrações de 1% e 10% do meio de cultura não fermentado pelas bactérias nos tanques de solução nutritiva. O meio de cultura fermentado ou não foi acrescentado na solução nutritiva após 24 horas da transferência das plantas para o sistema definitivo. Após 22 dias da transferência das plantas realizou-se a avaliação determinando-se a massa das plantas. A aplicação do meio fermentado ou não por *Bacillus subtilis* na concentração de 10% reduziu significativamente o desenvolvimento (Figura 3). Por outro lado, nas menores concentrações estimulou o desenvolvimento das plantas (Figura 3). A capacidade de isolados de *Bacillus* promoverem o crescimento das plantas em hidroponia também foi demonstrada por Garça *et al.* (2004) e Boehme *et al.* (2005). Garça *et al.* (2004) verificaram que a inoculação de tomate e pepino com *Bacillus licheniformis* incrementou o crescimento das plantas em sementeiras e proporcionou maior produtividade em condições comerciais de cultivo, incluindo o cultivo hidropônico.

Os autores consideram que a produção de hormônios de crescimento como giberelinas pela bactéria foi o mecanismo de ação envolvido. Resultados semelhantes foram observados por Boehme *et al.* (2005) com *Bacillus subtilis* aplicados nas folhas e raízes de pepino desenvolvido em sistema hidropônico com ganhos significativos na produção, sendo a aplicação da bactéria nas raízes mais eficiente.

No ensaio com *Paenibacillus lentimorbus*, a aplicação do meio de cultura na concentração de 10% também causou fitotoxicidade nas plantas, diminuindo o seu desenvolvimento (Figura 4). Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente da testemunha (Figura 4).

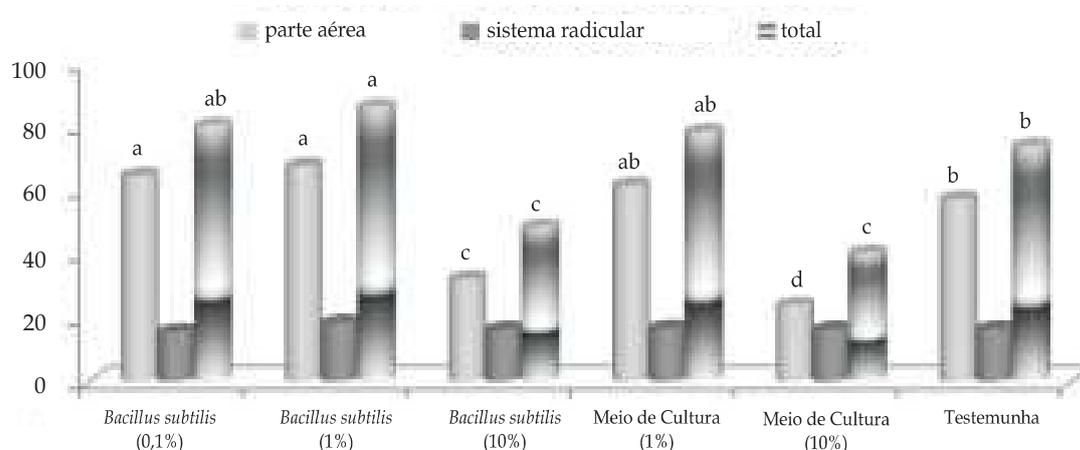


Figura 3. Efeito da aplicação de meio de cultura fermentado ou não por *Bacillus subtilis* na massa fresca (g) de plantas de alface cultivadas em hidroponia. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (Tukey 5%). Dados sem letra não foram significativos no teste F.

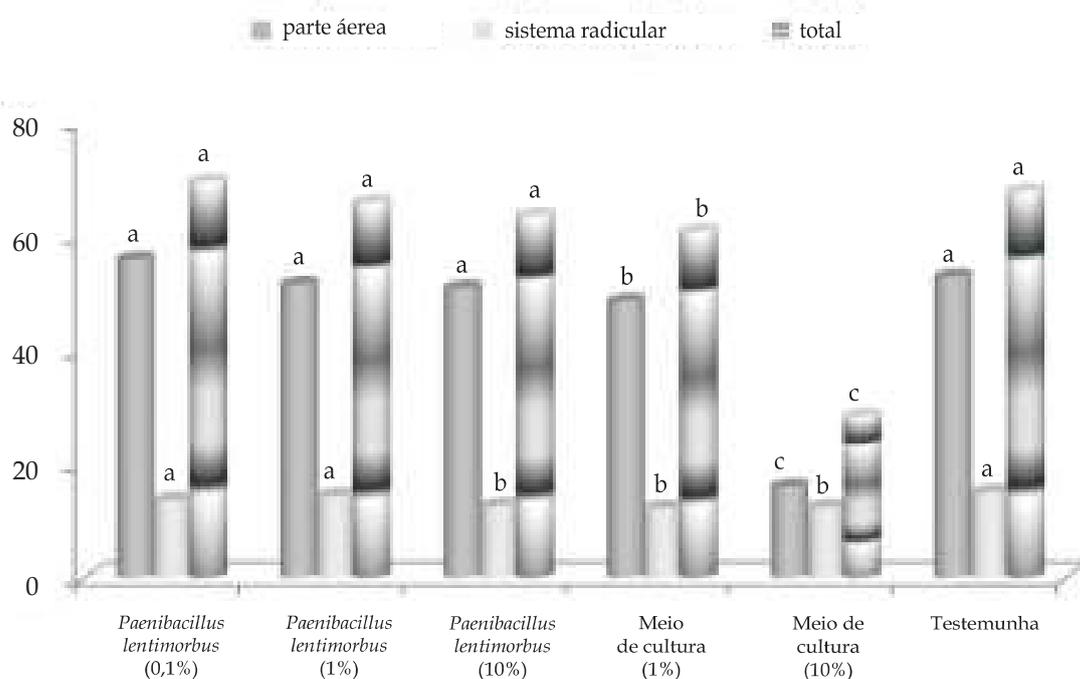


Figura 4. Efeito da aplicação de meio de cultura fermentado ou não por *Paenibacillus lentimorbus* na massa fresca (g) de plantas de alface cultivadas em hidroponia. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%).

Após a avaliação da capacidade do meio fermentado por *Bacillus subtilis* (AP-3) promover o crescimento das plantas avaliou-se a capacidade de células da bactéria em promover o crescimento das plantas cultivadas em hidroponia. Assim, foram adicionadas células nas concentrações de 10^4 , 10^5 e 10^6 /ml de solução nutritiva de cultivo de alface hidropônica, 24 h após a transferência das plantas para o sistema definitivo (NFT).

O tratamento testemunha não recebeu as células da bactéria. A multiplicação de *Bacillus subtilis* foi realizada em placas de Petri contendo meio de cultura Batata-Dextrose-Ágar, por dois dias a 25 ± 2 °C sob luz constante. Após 14 dias da transferência das plantas para o sistema definitivo avaliou-se as massas secas das plantas. O delineamento experimental foi em dois blocos casualizados com quatro tratamentos, e cada parcela experimental foi constituída por 20 plantas. A aplicação de células de *Bacillus subtilis* na solução nutritiva causou efeito positivo no desenvolvimento das plantas, sendo que a concentração de 10^4 células/ml foi a melhor, incrementando a massa da parte aérea das plantas em 17% (Figura 5).

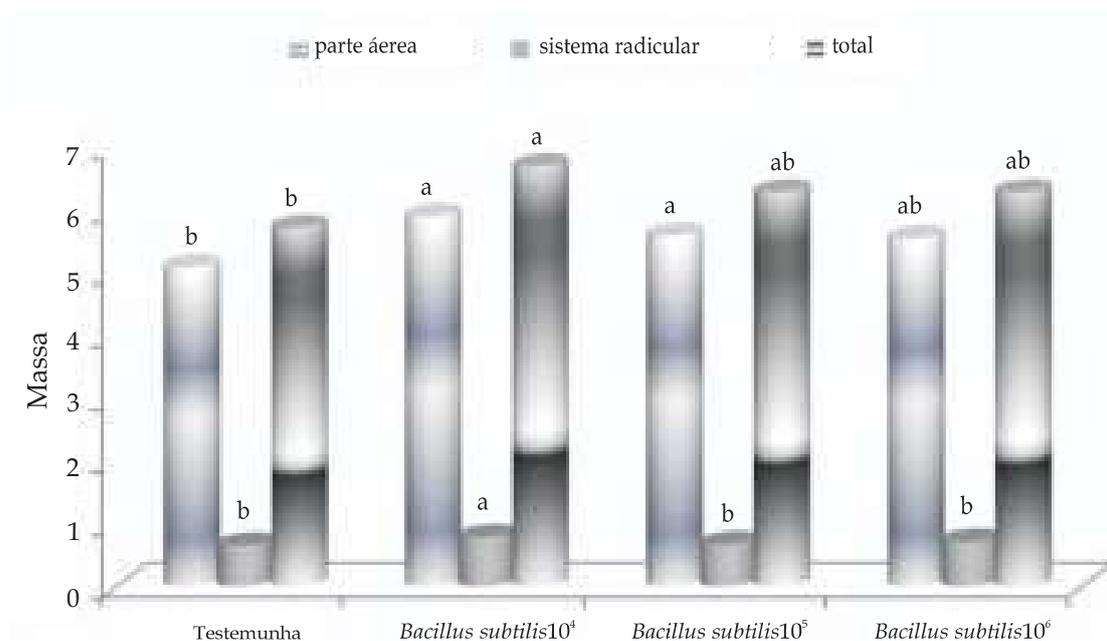


Figura 5. Efeito da aplicação de células de *Bacillus subtilis* na massa seca (g) de plantas de alface cultivadas em hidroponia. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%).

Os resultados encontrados tanto nos ensaios de controle biológico da podridão de raiz (*Pythium aphanidermatum*) como de promoção de crescimento em plantas de alface cultivadas em hidroponia com as bactérias Gram (+) demonstraram a potencialidade de utilização de *Paenibacillus lentimorbus* como agente de controle biológico da doença e de *Bacillus subtilis* como agente de controle biológico e promotor de desenvolvimento das plantas.

Considerações Finais

O controle da podridão de raiz em hidroponia deve enfatizar a planta e a microbiota benéfica que interagem no ambiente hidropônico. Maior atenção deve ser dada à manipulação do ambiente para tornar a planta menos suscetível às podridões radiculares. Esse tipo de manipulação pode ser realizado pelo aumento da oxigenação da solução nutritiva, principalmente nas horas mais quentes do dia; manutenção da solução nutritiva com a condutividade elétrica (CE) adequada para a cultura; eliminação das algas do sistema hidropônico, pois essas podem liberar compostos tóxicos e sequestrarem os nutrientes da cultura e a adoção de medidas que evitem a ocorrência de elevadas temperaturas na solução nutritiva durante o cultivo (Borowitzka, 1995; Sutton *et al.*, 2006). A eliminação das plantas mortas e com murcha do sistema é uma medida importante de sanitização para a diminuição do inóculo no sistema. O aumento da população microbiana, natural ou introduzida, no ambiente hidropônico, pode ser realizado por meio da adição de determinados compostos na solução nutritiva. Por exemplo, Pagliaccia *et al.* (2007) controlaram a podridão de raiz em pepino e pimentão adicionando na solução nutritiva compostos que estimulavam a população de *Pseudomonas*. Stanghellini & Miller (1997) controlaram a podridão de raiz causada por *Phytophthora capsici* em pimentão adicionando óleo de oliva na solução nutritiva. Segundo os autores o óleo fornecia substrato para a produção de biossurfactantes por *Pseudomonas*, que são substâncias de superfície ativa que se ligam à membrana plasmática do zoósporo, causando a sua lise.

Se o frágil estabelecimento e sobrevivência de linhagens capazes de controlarem doenças de plantas e promoverem o seu crescimento constituem um entrave à utilização de bactérias no solo, a sua utilização em hidroponia é ainda mais crítica, devido à maioria dos isolados estudados para o controle de doenças em hidroponia serem originários do solo, o que diminui sua possibilidade de estabelecimento no ambiente aquático (Khan *et al.*, 2003; Corrêa *et al.*, 2005; Pagliaccia *et al.*, 2007). De acordo com Pagliaccia *et al.* (2007), a ineficiência do controle biológico em hidroponia é muitas vezes relacionada à não manutenção da população dos agentes de controle biológico em um nível adequado para suprimir a população do patógeno. É, portanto, fundamental realizar a prospecção de agentes de biocontrole para podridões radiculares em hidroponia nos próprios ambientes hidropônicos ou em ambientes similares a este. Assim, a população do agente de biocontrole, quando introduzida, poderá se manter em níveis adequados para o controle da doença.

Estudos quanto à capacidade de biocontrole de doenças e promoção de crescimento de plantas com bactérias Gram (+) do gênero *Bacillus* e *Paenibacillus* possuem vantagens relacionadas ao desenvolvimento de um produto comercial, quando comparado com bactérias Gram (-), que compreendem o gênero *Pseudomonas*. Essa vantagem é devido à produção de endósporos, esporos resistentes à dessecação e com maior capacidade de sobrevivência quando formulados com polímeros e inertes diversos (Melo, 1998). Como exemplo do maior número de bactérias Gram (+) utilizadas na agricultura pode-se citar o número de microrganismos registrados como biopesticidas na Environmental Protection Agency (EPA) de 1996 a 2008 nos Estados Unidos. Dentre

os isolados bacterianos listados existem 16 de *Bacillus thuringiensis*, dois de *Bacillus subtilis*, um de *Bacillus licheniformes*, um de *Bacillus cereus*, dois de *Bacillus pumilus*, um de *Streptomyces lydicus*, um de *Agrobacterium radiobacter*, um de *Pseudomonas chlororaphis*, um de *Pseudomonas aureofaciens* e dois de *Pantoea agglomerans* (EPA, 2009).

Desde que conhecidos os danos ocasionados pelo uso excessivo de agrotóxicos a sociedade vem procurando por formas de cultivo que impactem menos o ambiente. Dentre as medidas alternativas de manejo de doenças de plantas o controle biológico pode ser utilizado como substituição ao químico ou para diminuir o seu uso, em cultivos no campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia. Devido a essas questões, estudos que visem à seleção de agentes de biocontrole e/ou promotores de crescimento de plantas, bem como o desenvolvimento de técnicas para a implementação do uso desses microrganismos nas diversas formas de cultivo vegetal, vão ao encontro do desejo mundial de uma agricultura sustentável ao ambiente como um todo, incluindo o produtor, o consumidor e os organismos que interagem no agroecossistema.

Referências

- Amorim, E. P. R. & Melo, I. S. Ação antagonista de rizobactérias contra *Phytophthora parasitica* e *Phytophthora citrophthora* e seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citros. Revista Brasileira de Fruticultura 24: 1-7. 2002.
- Bates, M.L. & Stanghellini, M.E. Root rot hydroponically grown spinach caused by *Pythium aphanidermatum* and *Pythium dissotocum*. Plant Disease 68: 989-991. 1984.
- Bettiol, W. Seleção de microrganismos antagonistas a *Pyricularia oryzae* para o controle de brusone do arroz (*Oryza sativa* L.). Tese de Doutorado. Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1988.
- Boehow, H. Phytosanitary effects of *Bacillus subtilis* as biocontrol agent. International Symposium Over Fytofarma Gen-Fytiatrie, 1992, Gent. 57: 387-393. 1992.
- Boehme, M.; Shevtchenko, J. & Pinker, I. Effect of biostimulators on growth of vegetables in hydroponical systems. Acta Horticulturae 697: 337-344. 2005.
- Borowitzka, M.A. Micro-algae as sources of pharmaceutical and other biologically active compounds. Journal of Applied Phycology 7: 3-15. 1995.
- Chatterton, S.; Sutton, J. C. & Boland, G.J. Timing *Pseudomonas chlororaphis* applications to control *Pythium aphanidermatum*, *Pythium dissotocum*, and root rot in hydroponic peppers. Biological Control 30: 360-373. 2004.
- Corrêa, E. B.; Bettiol, W. & Morandi, M. Controle Biológico da podridão de raízes induzida por *Pythium aphanidermatum* em plantas de alface em sistema hidropônico com *Clonostachys rosea*. Fitopatologia Brasileira 30: 91. 2005. (Resumo).
- Corrêa, E.B.; Bettiol, W.; Sutton, J.C. & Sopher, C.R. Controle biológico de doenças em cultivos hidropônicos. In: Melo, I.S. (Ed.) Controle biológico, v.4. No prelo. 2009.
- Datta, M.; Banik, S. & Gupta, K. Studies on the efficacy of a phytohormone producing phosphate solubilizing *Bacillus firmus* in augmenting paddy yield in acid soils of Nagaland. Plant and Soil 69: 365-373. 1982.
- De Freitas, J.R.; Banerjee, M.R. & Germida, J.J. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). Biology and Fertility of Soils 24: 358-364. 1997.
- EPA. Disponível em: <http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/>. Acesso em: 04 de janeiro de 2009.
- Faquin, V. & Furlani, P.R. Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido. Informe Agropecuário 20: 99-104. 1999.

- Favrin, R.J.; Rahe, J.E. & Mauza, B. *Pythium* spp. associated with crown rot of cucumber in British Columbia greenhouses. *Plant Disease* 72: 683-687. 1988.
- Furlani, P.R. Simpósio IV - *Pythium* em sistemas hidropônicos - danos e perspectivas para o controle: Principais sistemas hidropônicos em operação no Brasil. *Summa Phytopathologica* 34: 146-147. 2008.
- Furlani, P.R.; Bolonhezi, D.; Silveira, L.C.P. & Faquin, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. *Informe Agropecuário* 20: 90-98. 1999.
- García, L. J. A.; Probanza, A.; Ramos, B.; Palomino, M.R. & Mañero, F.J.G. Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie* 24: 169-176. 2004.
- Goldberg, N.P. & Stanghellini, M.E. Ingestion-egestion and aerial transmission of *Pythium aphanidermatum* by shore flies (Ephydrinae: *Scatella stagnalis*). *Phytopathology* 90: 1244-1246. 1990.
- Goldberg, N.P.; Stanghellini, M.E. & Rasmussen, S.L. Filtration as a method of controlling *Pythium* root rot of hydroponically grown cucumbers. *Plant Disease* 76: 777-779. 1992.
- Harman, G.E.; Howell, C.R.; Viterbo, A.; Chet, I. & Lorito, M. *Trichoderma* species - opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews - Microbiology* 2: 43-55. 2004.
- Hydroasis. Disponível em: <http://www.hydroasis.com.br>. Acesso em: 03 de maio de 2008.
- Khan, A.; Sutton, J.C. & Grodzinski, B. Effects of *Pseudomonas chlororaphis* and root rot in peppers grown in small-scale hydroponic troughs. *Biocontrol Science and Technology* 13: 615-630. 2003.
- Kloepper, J.W.; Lifshitz, R. & Schroth, M.N. *Pseudomonas* inoculants to benefit plant production. *Animal and Plant Sciences* 60: 64. 1988.
- Liu, W.; Sutton, J.C.; Grodzinski, B.; Kloepper, J.W. & Reddy, M.S. Biological control of *Pythium* root rot of chrysanthemum in small-scale hydroponic units. *Phytoparasitica* 35: 159-178. 2007.
- Luz, W.C. da. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas e de bioproteção. Revisão Anual de Patologia de Plantas 4: 1-49. 1996.
- McCullagh, M.; Utkhede, R.; Menzies, J.G.; Punja, Z.K. & Paulitz, T.C. Evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria for biological control of *Pythium* root rot of cucumbers grown in rockwool and effects on yield. *European Journal of Plant Pathology* 102: 747-755. 1996.
- Medeiros, C.A.B.; Ziemer, A.H.; Daniels, J. & Pereira, A.S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. *Horticultura Brasileira* 20: 110-114. 2002.
- Melo, I.S. Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas: descrição e potencial de uso na agricultura. In: Melo, I. S. & Azevedo, J. L. de. *Ecologia Microbiana*. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 1998. pp. 87-116.
- Moraes, C.A.G. & Furlani, P.R. Cultivo de hortaliças de frutos em hidroponia em ambiente protegido. *Informe Agropecuário* 20: 105-113. 1999.
- Nelson, P. V. *Greenhouse Operation and Management*. 5th Ed. Upper Saddle River. Prentice-Hall. 1998.
- Nemec, S.; Datnoff, L.E. & Strandberg, J. Efficacy of biocontrol agents in planting mixes to colonize plant roots and control root diseases of vegetables and citrus. *Crop Protection* 15: 735-742. 1996.
- Neves, M.C.P. & Rumjanek, N.G. Ecologia das bactérias dizotróficas nos solos tropicais. In: Melo, I. S. & Azevedo, J. L. de. *Ecologia microbiana*. Jaguariúna. Embrapa Meio Ambiente. 1998. pp. 15-60.
- Ongena, M.A.; Daayf, F.B.; Jacques, P.A.; Thonart, P.A.; Benhamou, N.D.; Paulitz, T.C.E.; Cornelis, P.F.; Koedam, N.G. & Belanger, R.R.C. Protection of cucumber against *Pythium* root rot by fluorescent pseudomonads: predominant role of induced resistance over siderophores and antibiosis. *Plant Pathology* 48: 66-76. 1999.
- Owen-Going, N.; Sutton, J.C. & Grodzinski, B. Relationships of *Pythium* isolates and sweet pepper plants in single-plant hydroponic units. *Canadian Journal of Plant Pathology* 25: 155-167. 2003.
- Pagliaccia, D.; Ferrin, D. & Stanghellini, M.E. Chemo-biological suppression of root-infecting zoosporic pathogens in recirculating hydroponic systems. *Plant and Soil* 299: 163-179. 2007.
- Paulitz, T.C.; Zhou, T. & Rankin, L. Selection of rhizosphere bacteria for biological control of *Pythium aphanidermatum* on hydroponically-grown cucumber. *Biological Control* 2: 226-237. 1992.

- Postma, J.; Willemsen-De Klein, M.E.I.M. & Van Elsas, J.D. Effect of the indigenous microflora on the development of root and crown rot caused by *Pythium aphanidermatum* in cucumber grown on rockwool. *Phytopathology* 90: 125-133. 2000.
- Ramamoorthy, V.; Viswanathan, R.; Raguhanan, T.; Prakasan, V. & Samiyappan, R. Induction of systemi resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection* 20: 1-11. 2001.
- Rey, P.; Nodet, P. & Tirilly, Y. *Pythium* Fungus a minor but ubiquitous disease in tomato soilless cultures. *Journal of Plant Pathology* 79: 173-180. 1997.
- Serenade. Disponível em: <http://www.agraquest.com/produtos/serenade/index.html#formulations>. Acesso em: 15 de março de 2007.
- Severino, J.J.; Caixeta, M.P.; Aguiar, R.L.; Tessmann, D.J.; Versignassi, J.R. & Vida, J.B. Podridão de *Pythium* sp. causando severos danos em alface hidropônica. *Fitopatologia Brasileira* 30: 141. 2005. (Resumo).
- Stanghellini, M.E. & Miller, R.M. Biosurfactants: their identify and potential efficiency in the biological control of zoospore plant pathogens. *Plant Disease* 81: 4-10. 1997.
- Stanghellini, M.E. & Rasmussen, S.L. Hydroponics a solution for zoospore pathogens. *Plant Disease* 78: 1129-1138. 1994.
- Sutton J.C.; Yu, H.; Grodzinski, B. & Johnstone, M. Relationships of ultraviolet radiation dose and inactivation of pathogen propagules in water and hydroponic nutrient solution. *Canadian Journal of Plant Pathology* 22: 300-309. 2000.
- Sutton, J.C.; Sopher, C.R.; Owen-Going, T.N.; Liu, W.; Grodzinski, B.; Hall, J.C. & Benhimol, R.L. Etiology and epidemiology of *Pythium* root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. *Summa Phytopathologica* 32: 307-321. 2006.
- Tanaka, M.A.S.; Ito, M. F.; Braga, C.A.S. & Armond, G. Tratamento térmico solar da água para controle de fitopatógenos. *Fitopatologia Brasileira* 28: 386-393. 2003.
- Tu, J.C.; Papadopoulos, X. & Zheng, J. The relationship of *Pythium* root rot and rhizosphere microorganisms in a closed circulating and an open system in rockwool culture of tomato. *Acta Horticulturae* 481: 577-583. 1999.
- Utkhede, R.S.; Lévesque, C.A. & Dinh, D. *Pythium aphanidermatum* root rot in hydroponically grown lettuce and the effect of chemical and biological agents on its controls. *Canadian Journal of Plant Pathology* 22: 138-144. 2000.
- van Peer, R. & Shippers, B. Plant growth responses to bacterization with selected *Pseudomonas* spp. strains and rhizosphere microbial development in hydroponic cultures. *Canadian Journal of Microbiology* 35: 456-463. 1988.
- Yang, J.; Kharbanda, P.D. & Mirza, M. Evaluation of *Paenibacillus polymyxa* PKB1 for biocontrol of *Pythium* disease of cucumber in a hydroponic system. *Acta Horticulturae* 635: 59-66. 2004.
- Zheng, J.; Sutton, J.C. & Yu, H. Interactions among *Pythium aphanidermatum*, roots, root mulage, and microbial agents in hydroponic cucumbers. *Canadian Journal of Plant Pathology* 22: 368-379. 2000.
- Zhou, T. & Paulitz, T.C. *In vitro* and *in vivo* effects of *Pseudomonas* spp. on *Pythium aphanidermatum*: zoospore behavior in exudates and on the rhizoplane of bacteria-treated cucumber roots. *Phytopathology* 83: 872-876. 1993.
- Zinnen, T.M. Assessment of plant diseases in hydroponic culture. *Plant Disease* 72: 96-99. 1988.