

SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

PRODUÇÃO DE MUDAS DE TOMATEIRO EM SUBSTRATO ORGÂNICO INOCULADO E INCUBADO COM ESTREPTOMICETOS ⁽¹⁾

CARLA DA SILVA SOUSA ⁽²⁾; ANA CRISTINA FERMINO SOARES ⁽³⁾; MARLON DA SILVA GARRIDO ⁽²⁾

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a inoculação e incubação do substrato Plantmax[®] Hortaliças de produção de mudas, com diferentes isolados de estreptomicetos no crescimento de mudas de tomateiro. No primeiro ensaio, avaliou-se a inoculação de quatro isolados de actinomicetos e a testemunha não inoculada, sem incubação e com 20 dias de incubação, em esquema fatorial (5 x 2) e delineamento experimental de blocos casualizados, com 15 repetições. A inoculação e incubação do substrato com os estreptomicetos promoveram o aumento na altura das plantas, a produção de massa seca da parte aérea e raízes e o acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de tomateiro. No segundo ensaio, avaliou-se a inoculação dos dois melhores estreptomicetos na promoção do crescimento das plantas de tomateiro produzidas em substrato orgânico incubado por cinco períodos diferentes (0, 15, 30, 45 e 60 dias), em esquema fatorial 2 x 5 e delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições. Quarenta e três dias foi o melhor período para incubação, provavelmente, por ser o tempo necessário para que os estreptomicetos pudessem colonizar e atuar na decomposição do substrato orgânico, disponibilizando nutrientes para as raízes e permitindo o crescimento vegetal.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum*, mudas, *Streptomyces* sp.

ABSTRACT

TOMATO SEEDLINGS GROWN IN ORGANIC POTTING MIX INOCULATED AND INCUBATED WITH STREPTOMYCETES

This work had the objective of evaluating the effect of inoculation and incubation of a potting soil with streptomycetes in growth promotion of tomato seedlings. The first experiment was conducted with four streptomycete isolates, with and without incubation for 20 days. The experimental design was entirely randomized with 15 replications, in a factorial scheme (5 x 2). The inoculation and incubation of the potting mix promoted a significant increase in plant height, root and shoot dry weight, and plant nutrient levels. In the second experiment, the inoculation with the two best isolates, in five different incubation periods (0, 15, 30, 45 and 60 days) was evaluated for growth of tomato seedlings in the same potting growth mix, using an entirely randomized experimental design with 8 replications and a factorial scheme 3 x 5. Forty three days was considered to be the best incubation period, suggesting that this may be the time necessary for the streptomycete isolates to colonize and act in the decomposition of the organic matter, improving nutrient uptake by the roots, and promoting plant growth.

Key words: *Lycopersicon esculentum*, seedlings, *Streptomyces* sp.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 4 de agosto de 2006 e aceito em 13 de junho de 2008.

⁽²⁾ Doutorandos em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Departamento de Energia Nuclear - UFPE, 50740-540 Recife (PE). Bolsista CNPq, E-mail: cssagro@yahoo.com.br (*) Autora correspondente. garridoms@yahoo.com.br

⁽³⁾ Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Centro de Ciências Agrárias, Biológicas e Ambientais - UFRB, Caixa Postal 082, 44380-000 Cruz das Almas (BA). Bolsista de Produtividade de Pesquisa do CNPq, E-mail: acsoares@ufrb.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o consumo de hortaliças tem aumentado devido à maior conscientização da população em busca de uma dieta alimentar mais rica e saudável. Desse modo, o desenvolvimento de sistemas de cultivo com hortaliças, com vistas ao aumento da produtividade, tem exigido dos agricultores esforços para reduzir ou até mesmo eliminar as deficiências deste setor produtivo (MONTEZANO e PEIL, 2006). A produção de hortaliças de boa qualidade depende, dentre outros fatores, da qualidade do substrato utilizado na fase de produção de mudas (CARNEIRO, 1995) e os substratos orgânicos mais empregados são os compostos basicamente por materiais vegetais, ricos em celuloses e hemiceluloses.

Entretanto, a aplicação de agroquímicos nestes sistemas de produção agrícola tem gerado problemas com o desenvolvimento de resistência dos patógenos aos produtos utilizados e impactos ambientais negativos devido ao seu amplo espectro de ação, atingindo organismos não-alvo e causando riscos à saúde humana e animal. A utilização de microrganismos com ação de biocontrole e/ou promoção de crescimento vem sendo apontada como alternativa viável para sistemas de produção agrícola ecológica e economicamente sustentáveis (COMPANT et al., 2005).

O interesse nos estudos com os actinomicetos tem aumentado devido ao seu potencial para produzir grande variedade de metabólitos secundários, dentre eles antibióticos e enzimas extracelulares (KORN-WENDISCH e KUTZER, 1992). Durante o processo de compostagem, os actinomicetos, principalmente os pertencentes ao gênero *Streptomyces*, compõem importante grupo de bactérias do solo, que atuam na degradação de moléculas complexas e recalcitrantes, especialmente celulose, lignocelulose, xilana e lignina, presentes em abundância na biomassa vegetal (PETROSYAN et al., 2003; DING et al., 2004). Além da atuação na decomposição da matéria orgânica, esses microrganismos possuem grande potencial como agentes de controle biológico de fitopatógenos (HOSTER et al., 2005; THIRUP et al., 2001) devido à produção de antibióticos, sideróforos e enzimas com ação antimicrobiana e favorecem o crescimento das plantas (NASSAR et al., 2003), através da produção de fitormônios (CATTELAN e HARTEL, 2000; CRAWFORD et al., 1993).

A promoção do crescimento vegetal proporcionada pelos actinomicetos também pode ocorrer através de mecanismos indiretos, como a supressão de microrganismos deletérios por competição ou antibiose (NEJAD e JOHNSON, 2000). O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação e do período de incubação do substrato

com isolados de estreptomicetos sobre o crescimento de mudas de tomateiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção do inóculo de estreptomicetos

Os isolados de estreptomicetos estudados foram: *S. thermotolerans* (AC-29), *S. griseus* subsp. *griseus* (AC-92), *S. purpuraceans* (AC-103) e *Streptomyces* sp. (AC-26), provenientes da coleção do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia Agrícola da Escola de Agronomia da UFBA, e previamente selecionados como potenciais agentes de promoção de crescimento. Os isolados foram multiplicados em meio de cultura AGS sólido (POTER et al., 1960). As culturas foram incubadas por um período de dez dias, em câmara de crescimento tipo B.O.D., à temperatura de 25 ± 2 °C. Para o preparo da suspensão dos isolados de estreptomicetos, após 10 dias de cultivo, foram adicionados 15 mL de água destilada e esterilizada em cada placa de Petri contendo as culturas dos microrganismos, e com o auxílio de alça de platina, foi feita a raspagem das colônias, sendo a concentração dessa suspensão ajustada em espectrofotômetro para a densidade ótica de $A_{560} = 0,4$.

Características do substrato

Foi utilizado o substrato Plantmax® Hortaliças, composto por uma mistura orgânica de turfa processada e enriquecida, casca de pinus processada e enriquecida e carvão granulado, cuja composição química é apresentada na tabela 1.

Experimento I - Efeito da inoculação do substrato orgânico com estreptomicetos no crescimento das mudas de tomateiro

Para avaliar o efeito da inoculação e incubação do substrato com diferentes isolados de estreptomicetos, foi instalado um experimento em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 15 repetições, em esquema fatorial 5×2 , com quatro isolados de estreptomicetos e testemunha, com 20 dias de incubação e sem incubação do substrato, antes da semeadura do tomateiro.

A inoculação do substrato com cada isolado foi realizada com 20 mL do inóculo contendo propágulos dos estreptomicetos, para cada 400 cm^3 de substrato. A testemunha foi constituída por substrato não inoculado, irrigado com água destilada. Após a inoculação, foi feita a homogeneização dos substratos correspondentes a cada isolado de

estreptomiceto, com o auxílio de uma espátula de madeira esterilizada, para favorecer a aeração e uniforme distribuição do inóculo e, em seguida, foram incubados em sacos de polietileno com capacidade para 20 L, por 20 dias a 28 ± 2 °C, antes do plantio. Outra parte do substrato foi submetida à inoculação com os estreptomicetos, no dia da semeadura do tomateiro, seguindo a mesma metodologia de inoculação. A semeadura foi realizada no mesmo dia para todos os tratamentos, colocando-se três sementes do tomateiro 'Santa Clara' em cada saco de muda. Uma semana após a emergência, realizou-se o desbaste, deixando-se uma planta por saco. Embora convencionalmente, mudas de tomateiro sejam produzidas em bandejas, no presente trabalho optou-se pela produção em sacos de mudas, por se tratar da avaliação de diferentes isolados de estreptomicetos, evitando deste modo a contaminação dos substratos. Além disso, a produção das mudas em bandejas individuais contendo substrato inoculado com cada isolado de estreptomiceto tornaria inviável a casualização das plantas.

Tabela 1. Composição química do substrato Plantmax Hortaliças

Elemento	Unidade	Valor
N	g kg ⁻¹	5,81*
P	g kg ⁻¹	0,95
K	g kg ⁻¹	4,35
Ca	g kg ⁻¹	14,14
Mg	g kg ⁻¹	1,68
S	g kg ⁻¹	0,31
B	mg kg ⁻¹	27,80
Fe	mg kg ⁻¹	19826,0
Cu	mg kg ⁻¹	0,01
Mn	mg kg ⁻¹	225,0
Zn	mg kg ⁻¹	76,40

* Composição química apresentada na embalagem do produto.

As mudas foram coletadas 30 dias após a semeadura, avaliando-se a altura das plantas e o diâmetro do caule à altura dos cotilédones. A parte aérea e as raízes foram coletadas e em seguida determinado o volume radicular, cujas raízes, após lavagem em água corrente, foram imersas em proveta graduada contendo 100 mL de água destilada. Após esse processo, o excedente de água que ultrapassou o limite da proveta, foi retirado com auxílio de uma pipeta graduada, sendo esse considerado o volume das raízes. Posteriormente, a parte aérea e as raízes das plantas foram lavadas em água destilada e colocadas para secar em estufa com ventilação

forçada a 65 °C, até atingir massa constante. Após a secagem em estufa, determinou-se a massa seca da parte aérea e do sistema radicular. Foram realizadas a moagem e digestão nitroperclórica da parte aérea das plantas para a determinação dos nutrientes: P⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺, Cu⁺⁺ e Mn⁺⁺ (EMBRAPA, 1999). O N⁺ foi determinado após digestão sulfúrica, pelo método de Kjeldahl (EMBRAPA, 1999). Os dados foram analisados pelo programa estatístico SISVAR, sendo realizada a análise de variância e em seguida, a comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Experimento II - Efeito de diferentes períodos de incubação do substrato orgânico com os estreptomicetos no crescimento das mudas de tomateiro

Em função dos resultados do experimento I, realizou-se outro experimento com o objetivo de determinar o melhor período de incubação dos substratos, para os dois melhores isolados, *Streptomyces purpuraceans* (AC-103) e *Streptomyces* sp. (AC-26), do primeiro experimento. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5 (dois isolados de estreptomicetos e cinco períodos de incubação), com oito repetições. O substrato foi submetido à inoculação, conforme metodologia anterior, e incubado em sacos de polietileno com capacidade para 20 L, por períodos de 0, 15, 30, 45 e 60 dias antes do plantio, à temperatura ambiente de 28 ± 2 °C. Após a incubação, foi realizada a semeadura com sementes do tomateiro 'Santa Clara', conforme o primeiro experimento. As plantas foram coletadas 30 dias após o plantio e avaliadas quanto à altura e ao diâmetro do caule à altura dos cotilédones. O mesmo procedimento, descrito anteriormente (experimento I), foi adotado para a determinação da massa seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas. Os dados foram analisados estatisticamente, sendo realizada a análise de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR.

Produção de enzimas extracelulares, ácido indolacético e capacidade de solubilização de fosfatos pelos estreptomicetos

A produção de amilases pelos estreptomicetos foi determinada no meio ágar amido, constituído de 0,2% de amido solúvel como descrito por COON et al., (1957). A produção de quitinase foi determinada de acordo com o método de RENWICK et al., (1991), utilizando quitina coloidal como substrato. A atividade celulolítica e xilanolítica foi avaliada conforme LEWIS (1988), usando meio de sais minerais-ágar (TUIITE, 1969), contendo celulose e xilana como fontes de carbono respectivamente.

A produção de lípases foi avaliada no meio SIERRA (1957), usando Tween 80 como substrato e a produção de ácido indolacético seguindo a metodologia de BRIC et al., (1991). A capacidade de solubilização de fosfatos pelos estreptomicetos, foi determinada segundo o método proposto por KATZNELSON e BOSE (1959).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento I

Para todos os parâmetros avaliados, não foram observadas diferenças significativas na interação entre os períodos de incubação e os isolados, somente para período de incubação e isolados quando avaliados separadamente. Todos os isolados promoveram incrementos

significativos na altura das mudas produzidas apenas nos substratos incubados (Figura 1). Também houve efeito positivo da incubação, exceto para o isolado AC-26, na produção de massa seca da parte aérea. Ainda para esta característica o isolado AC-103 foi o único a superar a testemunha e apenas quando houve incubação. O isolado AC-92, sem diferir dos demais isolados, proporcionou aumento significativo na massa seca das raízes no substrato incubado, enquanto no substrato não incubado ele também foi o melhor, sem diferir apenas de AC-29. Com relação ao diâmetro do caule das mudas, não houve diferença entre os isolados e a testemunha. Houve efeito da incubação para a testemunha e para os isolados AC-92 e AC-103. Para o volume do sistema radicular, os isolados AC-26, AC-29 e AC-103 responderam positivamente à incubação e foram superiores à testemunha nessa condição.

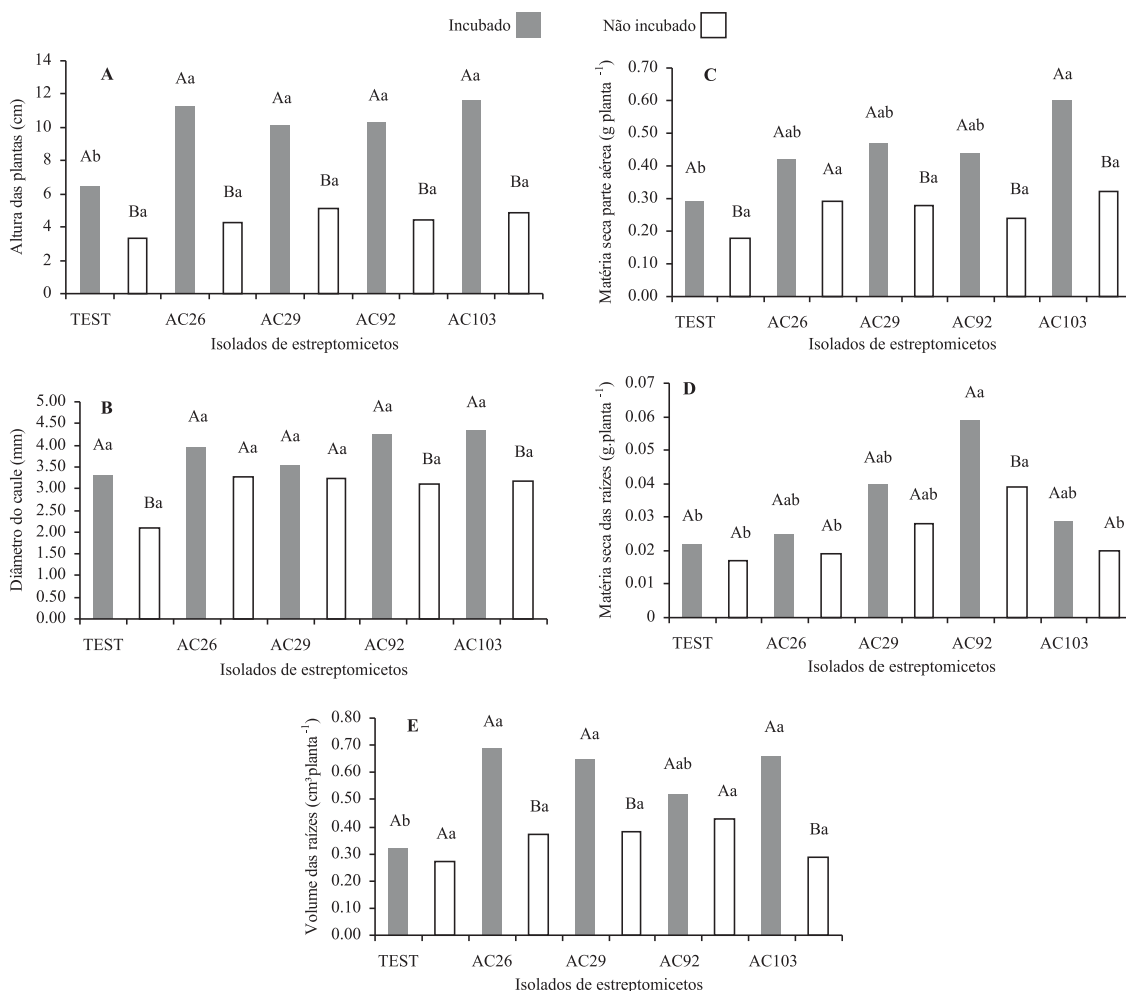


Figura 1. Altura (A), diâmetro do caule (B), massa seca da parte aérea (C) e das raízes (D) e volume radicular (E) de mudas do tomateiro 'Santa Clara' produzidas em substrato orgânico submetido à inoculação com isolados de estreptomicetos, seguido de incubação de 20 dias e sem incubação. Letras maiúsculas comparam o efeito da incubação para cada isolado de estreptomiceto. Letras minúsculas comparam o efeito dos isolados de estreptomiceto entre os substratos incubados e entre os não incubados. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Nos tratamentos em que houve a inoculação dos estreptomicetos seguida de incubação do substrato por 20 dias, os incrementos foram de 96,9% a 165,1% para a altura das plantas, de 8,3% a 37,2% para o diâmetro do caule, de 44,8% a 87,5% para a massa seca da parte aérea, de 31,6% e 51,3% para a massa seca das raízes e de 71% a 127,6% para o volume das raízes, em relação aos tratamentos com inoculação de estreptomicetos sem incubação do substrato. Foram observados aumentos de 95,8%, 58,4%, 61,1%, 29,4%, e 18,5 %, respectivamente, na altura, no diâmetro do caule, na massa seca da parte aérea, massa seca das raízes e no volume das raízes das plantas, quando se comparou a testemunha incubada com a testemunha não incubada. Apenas houve efeito significativo da incubação para as três primeiras características. Observa-se que a incubação do substrato úmido promoveu a atividade da população microbiana nativa, o que favoreceu a mineralização dos nutrientes e, conseqüentemente, a promoção do crescimento das plantas.

Para os tratamentos inoculados, o aumento no crescimento das mudas variou entre 57,3% e 79,9% para a altura das plantas, entre 6,34% e 31,4% para o diâmetro do caule, entre 44,8% e 106,9% para a massa seca da parte aérea, entre 13,6% e 168,2% para massa seca das raízes e entre 62,5% e 115,6% para volume das raízes, quando comparado com as plantas do tratamento testemunha incubado. Observaram-se incrementos que variaram de 28,5% a 56,4% para a altura das plantas; de 6,34% a 31,4% para o diâmetro do caule; de 33,3% a 77,8% para a massa seca da parte aérea; de 64,7% a 129,4% para a massa seca das raízes e 37% a 59,3% para o volume das raízes, nos tratamentos em que houve a inoculação com os estreptomicetos sem incubação do substrato, em comparação com a testemunha sem incubação.

Esses resultados indicam ser necessária a incubação do substrato com os isolados de estreptomicetos para que ocorra o efeito benéfico no crescimento das plantas. Tal período está, possivelmente, associado ao ciclo de vida do estreptomiceto, ao período necessário para a produção de enzimas extracelulares e à degradação dos compostos presentes no substrato. O ciclo de crescimento típico de um estreptomiceto envolve a germinação de esporos, formando hifas filamentosas que crescem na superfície do substrato (fonte de nutriente). A hifa forma ramificações que dão origem ao micélio denso (fase vegetativa). Em seguida, ocorre a segunda fase de crescimento aéreo, acompanhada da produção de metabólitos secundários, como os antibióticos. Nesta fase, as hifas crescem para fora do

micélio, algumas vezes formando estruturas helicoidais e dão origem à cadeia de esporos, que iniciam novamente o ciclo vegetativo (GORIELY e TABOR, 2003). As hifas ramificadas penetram no substrato, metabolizando fontes orgânicas de nutrientes pela ação das enzimas extracelulares, como polissacarídeos (amido, pectina, quitina, celulose) e compostos aromáticos (PADILHA, 1998).

Considerando que o substrato Plantmax[®] Hortaliças é composto por uma mistura orgânica (turfa processada e enriquecida, casca de pinus processada e enriquecida e carvão granulado), a incubação por 20 dias com os estreptomicetos, antes da semeadura do tomateiro, pode proporcionar tempo hábil para que tais microrganismos com elevada capacidade de degradação de moléculas complexas e recalcitrantes (CRAWFORD et al., 1993) promovessem a decomposição dessas substâncias orgânicas, acelerando o processo de mineralização desse material vegetal. Como conseqüência desse processo, houve a disponibilização de nutrientes para serem absorvidos pelas raízes, favorecendo o estado nutricional das plantas, como pode ser constatado pelo acúmulo de nutrientes na parte aérea das mudas de tomateiro (Tabela 2). Segundo JAMES et al. (1991), durante o crescimento de actinomicetos, é comum a liberação de enzimas extracelulares, estando envolvidas na biodegradação e reciclagem de compostos carbonados.

O acúmulo de nitrogênio foi maior nas mudas produzidas no substrato inoculado e incubado com o isolado AC-103 (Tabela 2). Observa-se maior absorção de fósforo pelas mudas produzidas no substrato incubado com o isolado AC-103 e de cálcio nos substratos incubados com os isolados AC-29 e AC-103. Nas mudas de tomateiro produzidas no substrato inoculado e incubado houve maiores acúmulos de K^+ do que aquelas em substrato não inoculado e não incubado. No caso do Mg^{++} foi válido apenas para AC-29, AC-92 e AC-103. Esses resultados evidenciam a maior absorção de nutrientes pelas plantas produzidas nos substratos incubados com estreptomicetos, possivelmente pela maior disponibilidade de nutrientes devido à decomposição dos componentes orgânicos e/ou ao maior desenvolvimento do sistema radicular devido à produção de substâncias reguladoras de crescimento pelos estreptomicetos.

Houve maior acúmulo de Fe^{++} nos substratos incubados com todos os isolados e não houve resposta para o Cu^{++} (Tabela 2). O acúmulo de Mn^{++} na parte aérea das mudas não foi favorecido pela inoculação e incubação do substrato com os estreptomicetos, com exceção do tratamento testemunha.

Tabela 2. Acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas produzidas em substrato inoculado com os isolados de estreptomicetos, incubado por 20 dias (I) e não incubado (NI)

Isolado	N		P		K		Ca		Mg		Fe		Cu		Mn	
	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI	I	NI
Testemunha	4,5 bA	1,3 aA	0,9 bA	0,1 bA	13,0 bA	0,8 bB	5,4 bA	0,3 bB	2,6 bA	0,1 bB	76,1 bA	8,00 bB	4,3 aA	0,2 aB	14,8 aA	1,6 bB
AC-26	9,5 abA	6,3 aA	2,0 abA	1,7 aA	32,5 aA	18,9 aB	9,9 abA	6,9 aA	5,4 abA	2,5 aB	133,5 aA	66,0 abB	5,6 aA	4,9 aA	28,9 aA	51,6 aA
AC-29	10,4 abA	4,5 aB	2,2 abA	1,6 aA	38,2 aA	18,0 abB	11,8 aA	7,4 aA	6,4 aA	2,6 aB	87,2 aA	110,7 abA	8,2 aA	3,2 aB	31,3 aA	47,6 aA
AC-92	11,6 abA	2,2 aB	2,1 abA	1,1 abB	34,0 aA	11,8 abB	10,8 abA	5,0 abB	5,6 aA	1,7 aB	116,6 aA	9,4 bB	7,6 aA	2,7 aB	32,0 aA	20,4 abA
AC-103	14,4 aA	2,6 aB	2,7 aA	1,5 aB	44,5 aA	16,3 abB	13,5 aA	6,8 aB	7,5 aA	2,6 aB	111,0 aA	175,4 aA	9,1 aA	3,9 aB	37,2 aA	46,4 aA

Letras maiúsculas comparam o efeito do mesmo isolado de estreptomiceto nos substratos quando incubados ou não incubados. Letras minúsculas comparam o efeito dos isolados de estreptomiceto entre os substratos incubados e não incubados. Letras iguais não diferem si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O efeito microbiano sobre a absorção de nutrientes pelas plantas pode ser bastante elevado, sendo constatados aumentos até de 200%. Esse efeito positivo pode ter ocorrido devido a vários processos, dentre eles, a solubilização de fosfatos por microrganismos, disponibilizando nutrientes em maior quantidade para as plantas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2000). Os principais mecanismos envolvidos na solubilização de fosfatos pelos microrganismos, dentre eles os actinomicetos, são a produção de CO_2 e ácidos orgânicos, redução do Fe^{+3} para o Fe^{+2} e produção de H_2S sob baixas concentrações de O_2 (MULDER et al., 1969).

O crescimento das mudas de tomateiro no substrato com os isolados de estreptomicetos também pode ser atribuído à produção de substâncias reguladoras de crescimento, dentre elas o ácido indolacético, produzido por todos os estreptomicetos avaliados no presente trabalho (Tabela 3).

A produção de reguladores de crescimento ativos como fitormônios faz parte do metabolismo de diversas espécies de bactérias associadas aos vegetais e podem ser considerados agentes causais da alteração do crescimento e desenvolvimento vegetal (BASHAN e HOLGUIM, 1997). Diversos autores têm observado a promoção de crescimento de plantas, por bactérias promotoras de crescimento, relacionadas à produção de giberelinas, auxinas e ácido láctico e succínico (OLIVEIRA et al., 2003).

Dentre os efeitos proporcionados pelo ácido indolacético no crescimento vegetal, evidencia-se o desenvolvimento de raízes laterais e alongamento das raízes primárias (OLIVEIRA et al., 2003), fato que pode justificar o aumento no volume radicular das mudas cultivadas no substrato inoculado com as estreptomicetos (Figura 1). Além disso, as modificações na morfologia das raízes, promovidas por fitormônios produzidos pelos microrganismos presentes na rizosfera das plantas, proporciona o desenvolvimento do sistema radicular, e conseqüentemente, melhor exploração do solo, tornando as plantas menos suscetíveis ao déficit hídrico e à escassez de nutrientes (CATTELAN e HARTEL, 2000; OLIVEIRA et al., 2003).

Quando sementes de trigo foram submetidas à inoculação com um isolado de *Penicillium radicum*, com capacidade para solubilizar fosfato *in vitro*, houve aumento de 14% na produção de grãos, no experimento de campo, e aumentos na absorção de P (10%) e na produção de grãos (9%), no experimento em casa de vegetação (WHITELAW et al., 1997).

A inoculação de duas cultivares de soja Bragg e EMBRAPA 4, com nove bactérias solubilizadoras de fosfato, proporcionou aumentos nas concentrações de N^+ , P^+ , Fe^{++} , Ca^{++} e Cu^{++} , na parte aérea das plantas (CATELLAN, 1995). Considerando que os isolados de *Streptomyces* sp. AC-103 e AC-92 propiciaram *in vitro* a capacidade de solubilização de fosfatos (Tabela 3), pode-se sugerir que esta também tenha sido uma das causas de promoção de crescimento e melhoria do estado nutricional das mudas de tomateiro.

Com base nesses fatos, pode-se supor que entre os possíveis mecanismos que atuaram na promoção de crescimento das mudas de tomateiro, estão a produção de enzimas líticas e a solubilização de fosfatos pelos isolados de estreptomicetos, atuando na decomposição do substrato e disponibilizando nutrientes para as plantas; a produção de substâncias promotoras de crescimento vegetal, proporcionando melhor desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, maior absorção de nutrientes.

Experimento II

Não foram observadas diferenças significativas entre os dois isolados de estreptomicetos e para a interação entre os períodos de incubação e os isolados. Em todos os parâmetros avaliados, os dados foram ajustados pelas equações quadráticas (isolado AC-103) e lineares (isolado AC-26), que explicam o crescimento das mudas nos substratos submetidos a diferentes períodos de incubação.

A inoculação do substrato, seguida da semeadura (sem incubação), não foi eficiente para o crescimento das mudas de tomateiro, o que comprova a importância do período de incubação para permitir a ação destes microrganismos, acelerando o processo de decomposição do substrato. De acordo com as equações de regressão (Figura 2), o período de incubação que proporcionou maior valor foi de 45 dias para altura das plantas; 41 dias para o diâmetro do caule; 53 dias para massa seca da parte aérea e 49 dias para massa seca das raízes para o isolado AC-103.

Tabela 3. Produção de enzimas extracelulares, ácido indolacético e capacidade de solubilização de fosfatos pelos isolados de estreptomicetos

Isolado de estreptomiceto	Enzimas extracelulares					Produção de ácido indolacético	Solubilização de fosfato
	Quitinase	Celulase	Xilanase	Amilase	Lipase		
AC-26	+	+	-	+	+	+	-
AC-29	+	+	+	+	+	+	-
AC-92	-	-	+	+	+	+	+
AC-103	+	+	+	+	+	+	+

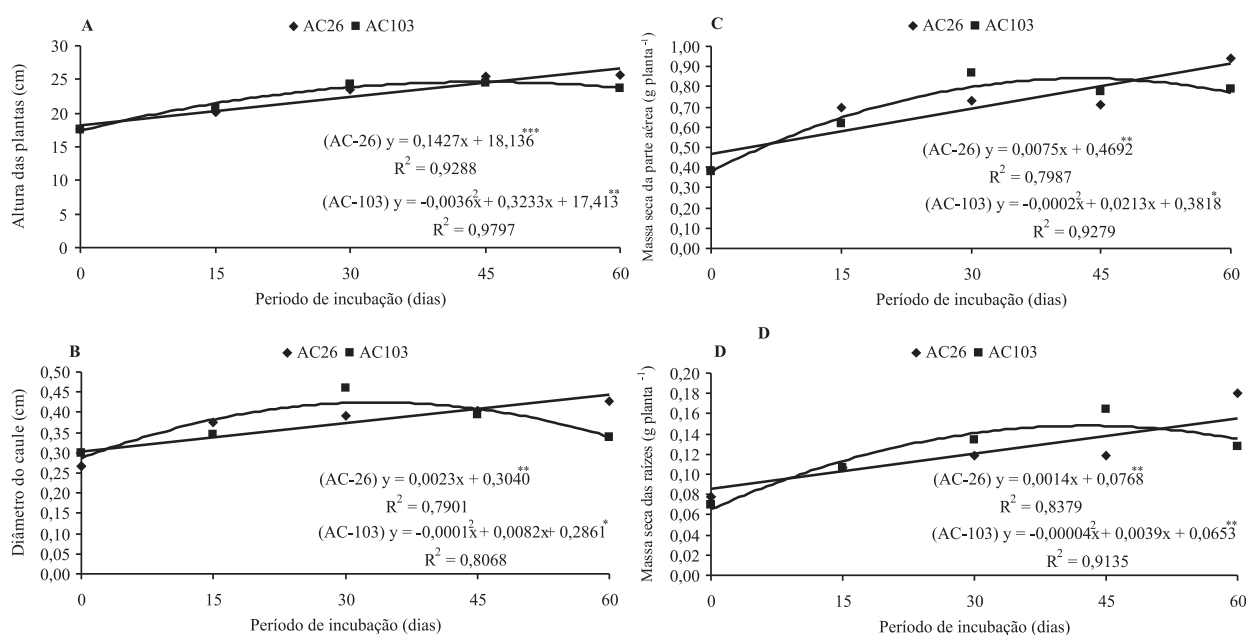


Figura 2. Altura (A), diâmetro do caule (B), massa seca da parte aérea (C) e das raízes (D) das mudas de tomateiro 'Santa Clara', produzidas em substrato, incubado por diferentes períodos, com dois isolados de estreptomicetos.

O crescimento das mudas pode estar associado à produção de substâncias reguladoras de crescimento e aos processos de mineralização e solubilização de nutrientes pelo isolado de estreptomiceto. A redução na altura, diâmetro do caule, massa seca da parte aérea e das raízes nas mudas cultivadas no substrato incubado por 60 dias, possivelmente ocorreu devido à limitação de nutrientes. Com relação ao isolado AC-26, verificou-se incremento de 0,1427 cm dia⁻¹ na altura das plantas; 0,0023 cm/dia⁻¹ no diâmetro do caule; 0,0075 g dia⁻¹ na massa seca da parte aérea e 0,0014 g dia⁻¹ na massa seca das raízes (Figura 2).

A inoculação e incubação de substratos orgânicos com estreptomicetos têm efeito benéfico no crescimento das mudas de tomateiro, sendo mais indicado um período médio entre 41 e 53 dias de incubação com o isolado AC-103. Com relação ao isolado AC-26, torna-se necessária a realização de experimentos futuros para avaliar o melhor período de incubação do substrato. Sugere-se que, durante o período de incubação, os estreptomicetos colonizam o substrato e aceleram o processo de mineralização dos nutrientes, disponibilizando-os para as plantas.

4. CONCLUSÕES

1. O substrato orgânico submetido à inoculação e incubação com isolados de estreptomicetos promove maior crescimento das mudas de tomateiro;

2. A inoculação do substrato com os estreptomicetos sem o período de incubação é menos eficiente para o crescimento de mudas de tomateiro;

3. O crescimento das mudas de tomateiro pode ser atribuído à maior disponibilidade de nutrientes e/ou à presença de substâncias reguladoras de crescimento, promovidas pelos estreptomicetos.

REFERÊNCIAS

- BASHAN, Y.; HOLGUIM, G. *Azospirillum*-plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v.43, p.103-121, 1997.
- BRIC, J. M.; BOSTOCK, R.M.; SILVERSTONE, S.E. Rapid in so assay for indolacético acid production by bacteria immobility on a nitrocellulose membrane. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 57, p. 535-538, 1991.
- CARNEIRO, J.G.A. **Produção e controle de qualidade de mudas vegetais**. Curitiba: UFPR/FUPEL, 1995. 451p.
- CATTELAN, A.J. Desenvolvimento e absorção de nutrientes em plantas de soja inoculadas com bactérias promotoras do crescimento, em casa-de-vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 3., 1995, Londrina. **Anais**. Londrina: IAPAR/EMBRAPA-CNPSO, p.387-392. 1995.
- CATTELAN, A.J.; HARTEL, P.G. Traits associated with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 1, 2000. p. 213-234.
- COMPANT, S.; DUFFY, B.; NOWAK, J.; CLEMENT, C.; BARKA, E.A. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future perspectives. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.71, p. 4951-4959, 2005
- COON, H.J.; JENNISON, M.W.; WEEK, O.B. Routine tests for the identification of bacteria. In: SOCIETY OF AMERICAN BACTERIOLOGISTS. **Manual of Microbiological Methods**. New York: McGraw-Hall, 1957. p.239-262.
- CRAWFORD, D. L.; LYNCH, J.M.; WHIPPS, J.M.; OUSLEY, M. A. Isolation and characterization of actinomycete antagonist of fungal root pathogen. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 59, n. 11, p. 3899-3905, 1993.
- DING, C.H.; JIANG, Z.Q.; LI, X.T.; LI, L.T.; KUSAKABE, I. High activity xylanase production by *Streptomyces olivaceoviridis* E-86. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. Oxford, v.20, p.7-10, 2004.
- EMBRAPA - **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. In: SILVA, F.C. (Org.). Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.
- GORIELY, A.; TABOR, M. Biomechanical models of hyphal growth in actinomycetes. **Journal of Theoretical Biology**, London, v. 22, p.211-218, 2003.
- HOSLER, F.; SCHMITZ, J.E.; DANIEL, R. Enrichment of chitinolytic microorganisms: isolation and characterization of s chitinase exhibiting antifungal activity against phytopathogenic fungi from a novel *Streptomyces* strain. **Applied Microbiology Biotechnology**, Berlin, v.66, p.434-442, 2005.
- JAMES, P.D.; EDWARDS, D.; DAWSON, M.J. The effects of temperature, pH and growth rate on secondary metabolism in *S. thermoviolaceus* grow in chmostat. **Journal General Microbiology**, London, v. 137, p. 1715-1720, 1991.
- KATZNELSON, H.; BOSE, B. Metabolic activity and phosphate-dissolving capability of bacterial isolates from wheat roots, rhizosphere, and non-rhizosphere soil. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 5, p. 79-85, 1959.
- KORN-WENDISCH, F.; KUTZNER, H.J. The family streptomycetaceae. In: BALOWS, A; TRUPER, H.G; SWORKIN, M.; HARDER, W & SCHULEIFER, K.H. (Ed.). **The prokaryotes**. New York: Springer Verlag, 1992. 1027p.
- LEWIS, K.J. **Biological control mechanism of the mycoparasite *Phytium oligandum* Dreschler**. PhD Thesis. Sheffield. University of Sheffield. 1988.

MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA. 2002. 626p.

MONTEZANO, E. M.; PEIL, R.M.N. Sistemas de consórcio na produção de hortaliças. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.2, p. 129-132, 2006.

MULDER, E.G.; LIE, T.A.; WOLDENDORP, J.W. Biology and soil fertility. In: UNESCO. **Soil biology, reviews of research**. Roma, Italia, 1969. p.163-208

NASSAR, A.H.; EL-TARABILY, K.A.; SIVASITHAMPARAM, K. Growth promotion of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a polyamine-producing isolate of *Streptomyces griseoluteus*. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v.40, p.97-106, 2003.

NEJAD, P.; JOHNSON, P.A. Endophytic bacteria induce growth promotion and wilt disease suppression in oilseed rape and tomato. **Biological Control**, San Diego, v. 18, n.3, p.208-215, 2000.

OLIVEIRA, A.L.M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J.I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microorganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. 40 p.

PADILHA, G. Biologia molecular de *Streptomyces* e aplicações industriais. In: MELO, I. S.; AZEVEDO, J. L. (Ed.). **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna: EMBRAPA - CNPMA, 1998. p.327-343.

PETROSYAN, P.; GÁRCIA-VARELA, M.; LUZ-MADRIGAL, A.; HUITRÓN, C.; FLORES, M.E. *Streptomyces mexicanus* sp., a xylanolytic micro-organism isolated from soil. **Internacional Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, Reading, v.53, p.269-273, 2003.

POTER, J.N.; WILHELM, J.J.; TRESNER, H.D. Method for the preferential isolation of actinomycetes from soils. **Applied Microbiology**. v.8, p.174-178, 1960.

RENWICK, A.; CAMPBELL, R. COE, S. Assessment of in vivo screening systems for potencial biocontrol agents o *Gaeumannomyces graminis*. **Plant Pathology**, London, v.40, p. 524-532, 1991.

SIERRA, S.A. Simple method for detection of lipolytic activity of microorganisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 23, p. 15-22, 1957.

THIRUP, L.; JOHNSEN, K.; WINDING, A. Succession of indigenous *Pseudomonas* spp. and actinomycetes on barley roots affected by the antagonistic strain *Pseudomonas fluorescens* DR 54 and the fungicide imazolil. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, p. 1147 - 1153, 2001.

TUITE, J. **Plant Pathological Methods: Fungi and Bacteria**. Minneapolis: Burgess Publishing ,1969. 239 p.

WHITELAW, M.A.; HARDEN, T.J.; BEDER, G.L. Plant growth promotion of wheat inoculated with *Penicilium redicum* sp. Nov. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.35, p.291-300, 1997.