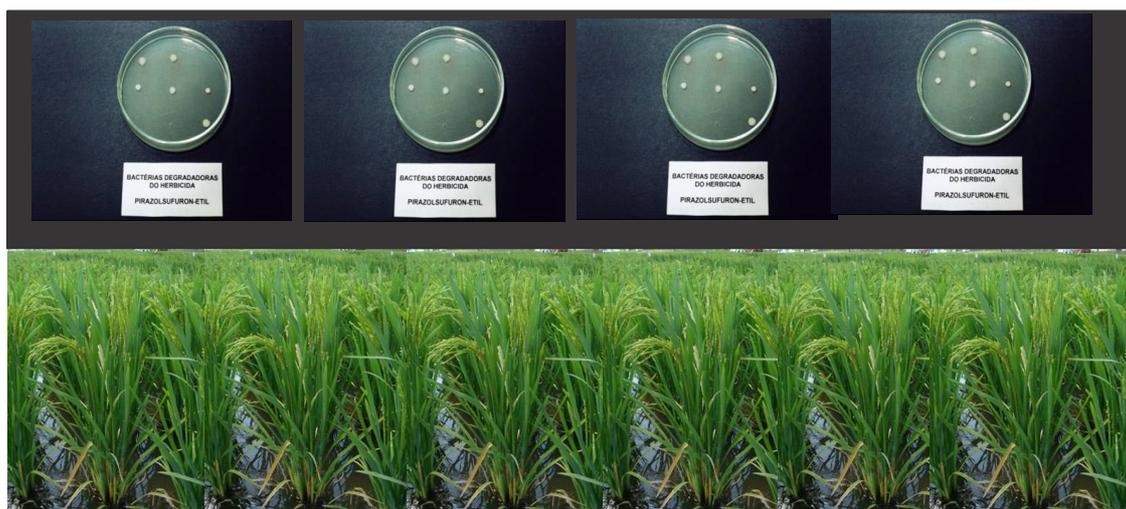


**Características Microbianas
e Degradação do Pirazosulfuron-etil
em um Solo Cultivado com Arroz no
Sistema Pré-germinado**



ISSN 1981-5980

Dezembro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da agricultura, Pecuária e abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 120

versão
ON LINE

Características Microbianas e Degradação do Pirazosulfuron-etil em um Solo Cultivado com Arroz no Sistema Pré-germinado

*Maria Laura Turino Mattos
André Andres*

Pelotas, RS
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado
Endereço: BR 392 Km 78
Caixa Postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8199
Fax: (53) 3275-8219 - 3275-8221
Home page: www.cpact.embrapa.br
E-mail: sac@cpact.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Ariano Martins de Magalhães Júnior

Secretária-Executiva: Joseane Mary Lopes Garcia

Membros: Márcia Vizzotto, Ana Paula Schneid Afonso, Giovani Theisen, Luis Antônio Suita de Castro, Flávio Luiz Carpena Carvalho, Christiane Rodrigues Congro Bertoldi, Regina das Graças Vasconcelos dos Santos.

Suplentes: Isabel Helena Vernetti Azambuja, Beatriz Marti Emygdio

Supervisão editorial: Antônio Heberlê

Revisão de texto: Antônio Heberlê

Normalização bibliográfica: Graciela Olivella Oliveira

Editoração eletrônica e capa: Juliane Nachitgall (estagiária)

Foto da capa: Maria Laura Turino Mattos

1ª edição

1ª impressão (2010): 50 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Mattos, Maria Laura Turino

Características microbianas e degradação do Pirazosulfuron-etil em um solo cultivado com arroz no sistema pré-germinado [recurso eletrônico] / Maria Laura Turino Mattos, André Andres. -- Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009.

(Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1981-

5980 ; 120)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <<http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/catalogo/tipo/online/boletim.php>>

Título da página Web (acesso em 30 dez. 2010)

1. Herbicida. 2. Arroz. 3. Solo – Movimento de herbicida. I. Andres, André. II. Título. III. Série.

CDD 632.954

© Embrapa 2010

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Considerações finais	19
Agradecimentos.....	20
Referências	21

Características Microbianas e Degradação do Pirazosulfuron-Etil em um Solo Cultivado com Arroz no Sistema Pré-germinado

Maria Laura Turino Mattos¹

André Andres²

RESUMO

Este trabalho refere-se a estudos de campo e laboratório realizados em Rio Grande e Pelotas, RS, Brasil, de 1998 a 2002, para determinar a influência do sistema de cultivo de arroz pré-germinado (SPG) sobre as características microbianas e degradação do herbicida pirazosulfuron-etil, em um GLEYSSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico do ecossistema de arroz irrigado por inundação. Analisaram-se amostras de solo obtidas de SPG comercial tratadas com o herbicida. A evolução de CO₂ do solo foi medida antes (outubro/2000) e após a aplicação do herbicida (novembro/2000), e após a colheita (maio/2001). Nas três épocas de medição constatou-se uma tendência linear negativa de evolução de CO₂ do solo. O aumento da atividade microbiana, após a colheita, sugere a presença de microrganismos decompositores da matéria orgânica. Os resultados evidenciam a importância da adição de matéria orgânica no solo para a manutenção da diversidade microbiana. Em laboratório, avaliou-se quanto da degradação do pirazosulfuron-etil é influenciada pelo SPG. Bactérias isoladas de arrozais cresceram na presença de pirazosulfuron-etil como única fonte de carbono e energia. Os isolados compreenderam seis espécies de *Pseudomonas* e uma *Raoultella* planticola e cresceram em concentração de pirazosulfuron-etil maior do

¹ Eng. Agrôn., Dra., Pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. maria.laura@cpact.embrapa.br

² Eng. Agrôn., MSc., Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. andre.andres@cpact.embrapa.br

que a existente em solo (200 mg.L^{-1}). Portanto, é possível que exista um grande potencial genético para biodegradação deste herbicida na natureza. Os dados apresentados demonstram a suscetibilidade de pirazosulfuron-etil para ser utilizado por uma flora microbiana diversa. encontradas as maiores proporções da fração mais estável da matéria orgânica (humina) do solo.

Termos para indexação: substâncias húmidas, sistemas de uso, solo de várzea.

Microbial Characteristics and Degradation of Pirazolsufuron-ethyl in a Soil Cultivated with Pre-germinated Rice.

Maria Laura Turino Mattos

André Andres

ABSTRACT

Field and laboratory studies were conducted from 1998 to 2002 to determine the influence of water seeded rice system (PGS) on microbial characteristics and pyrazolsufuron-ethyl degradation, in a Typic Umbraqualfs Soil. Soil samples obtained from PGS commercial, were analyzed. The evolution of CO₂ from field plots was measured before and after pyrazolsufuron-ethyl-treated paddy rice and after harvest. Negative linear tendency was observed of CO₂ evolved from the soil, in the times three measured. After the harvest, the increase microbial activity suggested the presence of decomposed microorganisms of the organic material and significance on nutrients ciclycal. The results suggesting the importance of in put organic material in soil for maintenance microbial diversity. A laboratory study assessed the degradation of pyrazolsufuron-ethyl as influenced by water seeded rice system. Bacterial isolated from paddy rice was capable of growth on herbicide as the sole carbon and energy source. The isolated comprise six Pseudomonas species and an Raoultella planticola. Thus, the seven-member community was capable of growing at pirazosulfuron-ethyl concentration which was greater (200 mg.L⁻¹) than the living in the soil. It may be, therefore, that a much wider genetic potential for biodegradadation does exist in nature. The data presented here demonstrate the susceptibility of pyrazolsufuron-ethyl to utilized by a diverse microbial flora.

Index terms: *Oryza sativa*, environmental fate, pesticides, bacteria, biodegradation

Introdução

Pirazosulfuron-etil [etil-5-(4,6-dimetoxiprimidin-2-il-carbomoil sulfamoil)-1-metil pirazole-4-carboxilato] é um herbicida do grupo das sulfoniluréias, usado no controle de ciperáceas em lavouras de arroz pré-germinado, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, Brasil. Herbicida sistêmico seletivo aplicado em pós-emergência é absorvido principalmente pelo sistema radicular, translocando-se pelo xilema, das raízes à parte aérea. A persistência média no solo varia de 7 a 15 dias, sendo adsorvido aos colóides e apresentando lixiviação reduzida (RODRIGUES; ALMEIDA, 1995). A degradação microbiana e a hidrólise química são consideradas os principais mecanismos de transformação de herbicidas sulfoniluréias, no solo e na água (BRUSA et al., 2001).

No solo, a persistência e a mobilidade dos herbicidas são muito influenciadas pelas condições ambientais, tais como: temperatura, umidade e características físico-químicas e microbianas do solo. Porém, o comportamento no campo pode variar entre os diferentes tipos de solo e épocas de aplicação, considerando que a principal via de degradação dos herbicidas é a microbiana.

Também os sistemas de manejo podem afetar as características químicas, físicas e biológicas do solo. Solos pouco revolvidos têm mais resíduos de plantas sobre a superfície, maior conteúdo de umidade, melhor estrutura e agregação, quando comparados com solos manejados no sistema convencional (LOCKE; BRYSON, 1997). Elevada atividade microbiana e enzimática são observadas em solos cultivados no sistema de plantio direto, que podem promover a biodegradação de compostos orgânicos sintéticos como atrazina (LEVANON et al., 1994).

A microflora do solo participa na biotransformação de herbicidas por vários processos, incluindo o co-metabolismo, o metabolismo, a polimerização e a mineralização (BOLLAG; LIU, 1990). A atividade de enzimas microbianas na polimerização e na adsorção de herbicidas à matéria

orgânica são os mecanismos primários de redução do movimento dos herbicidas sob condições de reduzido revolvimento do solo (LEVANON et al., 1994).

Como o sistema pré-germinado caracteriza-se pelo revolvimento do solo, havendo, a necessidade da formação de lama, envolvendo aração, gradagem, aplainamento e alisamento do terreno, com a utilização de pranchões de madeira (SOSBAI, 2007), não há deposição de resíduos e matéria orgânica na superfície do solo que, em hipótese, poderiam criar pontos adicionais de adsorção de herbicidas, reduzindo a biodisponibilidade para a degradação pelos microrganismos, aumentando a persistência no solo.

Embora o sistema pré-germinado apresente benefícios para o controle de arroz vermelho, principal planta invasora da lavoura de arroz irrigado, o efeito deste sistema de cultivo sobre as características microbianas de GLEYSSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico tem sido pouco estudado. Perante esta situação, o objetivo deste trabalho foi examinar o efeito do sistema pré-germinado (SPG), em conjunto com pirazolsufuorn-etil, aplicado em pós-emergência, sobre as características microbianas e degradação deste herbicida.

Material e Métodos

Características da área experimental

O estudo de campo foi conduzido em lavoura de arroz irrigado de granja orizícola localizada no município de Rio Grande, RS, Brasil (Figura 1), sendo a área experimental constituída de três quadras de arroz cultivar Supremo 1, denominadas de Q5, Q6 e Q19. O solo é classificado como GLEYSSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico (SANTOS et al., 2006). A área foi sistematizada e cultivada com arroz no sistema pré-germinado. O herbicida pirazosulfuron-etil, utilizado para o controle das ciperáceas em pós-emergência, foi aplicado na dosagem de 75 mL ha⁻¹, na primeira quinzena de dezembro das safras agrícolas de 1999/2000 e 2000/2001.



Foto: Maria Laura Turino Mattos

Figura 1. Lavoura de arroz cultivado no sistema pré-germinado. Granja Orizícola, Rio Grande, RS. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

População microbiana

Estimou-se a população microbiana em amostras de solo (200 g) coletadas, em outubro e novembro de 1999, antes e após a inundação na quadras Q5 e Q6 de arroz pré-germinado, na faixa de profundidade de 0-10 cm, sendo cada amostra composta por 15 subamostras. Imediatamente após a coleta, as amostras foram armazenadas sob refrigeração a +4°C. Para cada amostra de solo foram preparadas diluições decimais sucessivas de 10⁻¹ a 10⁻⁵, partindo de 10 g de solo em 90 mL de água destilada. De cada diluição, foram semeadas quatro placas, por meio da técnica de espalhamento, utilizando-se o meio de cultura de Thornton's para bactérias. As placas foram incubadas por 24, 48 e 72 horas a 28°C, avaliando-se a população de bactérias neste período.

Atividade microbiana

A atividade microbiana foi determinada em amostras de solo, na faixa de profundidade de 0-10cm, da rizosfera do arroz irrigado, na Q19, em outubro (pré- aplicação do herbicida) e novembro (pós-aplicação) de 2000, e maio de 2001 (após a colheita da lavoura), sendo cada amostra composta por 10 subamostras. A análise da evolução do C-CO₂ foi determinada segundo o método descrito por (STOTZKY, 1965). O ensaio foi instalado em casa de vegetação em frascos de vidro hermeticamente fechados, com cinco repetições (Figura 2). A respiração do solo foi determinada após 7, 14, 21, 28 e 35 dias de incubação.

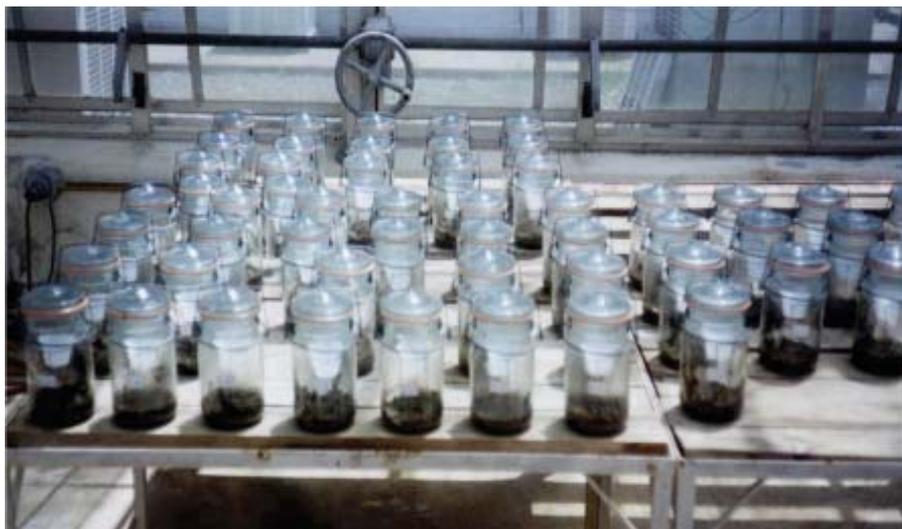


Foto: Maria Laura Taurino

Figura 2. Ensaio de evolução de C-CO₂, em microcosmos, segundo o método descrito por (STOTZKY, 1965). Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

Degradação de pirazosulfuron-etil

O efeito do sistema pré-germinado sobre a degradação do herbicida pirazosulfuron-etil foi avaliado em laboratório. Empregou-se a técnica de enriquecimento do solo com o herbicida para o isolamento dos microrganismos, com capacidade para utilizar o pirazosulfuron-etil como única fonte de carbono e energia. Um volume de 100 mL de caldo sais minerais (KAUFMAN; KEARNEY, 1965) foi transferido para frascos erlenmeyers de 500 mL. Após autoclavagem dos frascos e esfriamento à temperatura ambiente, foi adicionado o pirazosulfuron-etil, na concentração de 200 mg L⁻¹ e 1,0 g de solo, em cada frasco. Os frascos foram incubados em um agitador orbital (180 rpm) a 28°C. Após dez dias de incubação, foi transferido 1,0 mL dessa cultura para um novo caldo mineral. Esta cultura foi incubada por dez dias e o procedimento repetido. Culturas turvas foram observadas, após o procedimento de enriquecimento, indicando que alguns microrganismos estão degradando os herbicidas. Bactérias foram isoladas dessa cultura pelo método de espalhamento em placas com meio sais minerais (8) suplementado com pirazolsufuon-etil (200 mg L⁻¹) (SMP200) e em meio de Thornton's

(MT). Para cada frasco foram feitas quatro repetições de placas, incubadas por 72 horas a 28°C.

Resultados e Discussão

População microbiana:

A população bacteriana antes da aplicação do herbicida pirazosulfuron-etil, na Q6 ($1,80 \times 10^5$ ufc mL⁻¹), apresentou uma pequena diferença em relação à da Q5 ($2,12 \times 10^5$ ufc mL⁻¹), após a aplicação do herbicida, apesar de ambas terem recebido o herbicida pirazosulfuron-etil na mesma época. Não foi observado um crescimento acelerado da população bacteriana após a aplicação do herbicida. É provável que pirazosulfuron-etil tenha causado um efeito inibitório para determinados membros da população bacteriana. Considerando que o uso deste herbicida é prática comum no cultivo de arroz no sistema pré-germinado no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, é relevante também obter informações dos seus efeitos sobre a população de fungos, actinomicetos e cianobactérias fixadoras ou não de nitrogênio (N₂).

Atividade microbiana:

A liberação de CO₂, medida antes e após a aplicação do herbicida pirazosulfuron-etil e após a colheita, encontra-se na Figura 3. Observou-se uma tendência linear negativa da liberação de CO₂, ao longo do período de incubação, nas três épocas de avaliação. Houve um efeito estimulatório temporário da população microbiana após a aplicação do herbicida, durante os primeiros sete dias de incubação. Após, ocorreu uma acentuada diminuição na liberação de CO₂, resultado de um possível esgotamento das fontes de energia no solo ou perda da viabilidade de microrganismos mais sensíveis ao herbicida, neste caso, provocando um impacto ambiental negativo. Após a colheita, em função do aporte de material orgânico no solo, resultado do cultivo, a atividade microbiana foi maior nos primeiros quatorze dias de incubação, em relação às

medidas realizadas antes e após aplicação do herbicida, para o mesmo período. Este comportamento indica a presença de microrganismos decompositores da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes na população microbiana deste solo. Os resultados ressaltam a importância do input de material orgânico no solo, visando a manutenção da diversidade microbiana.

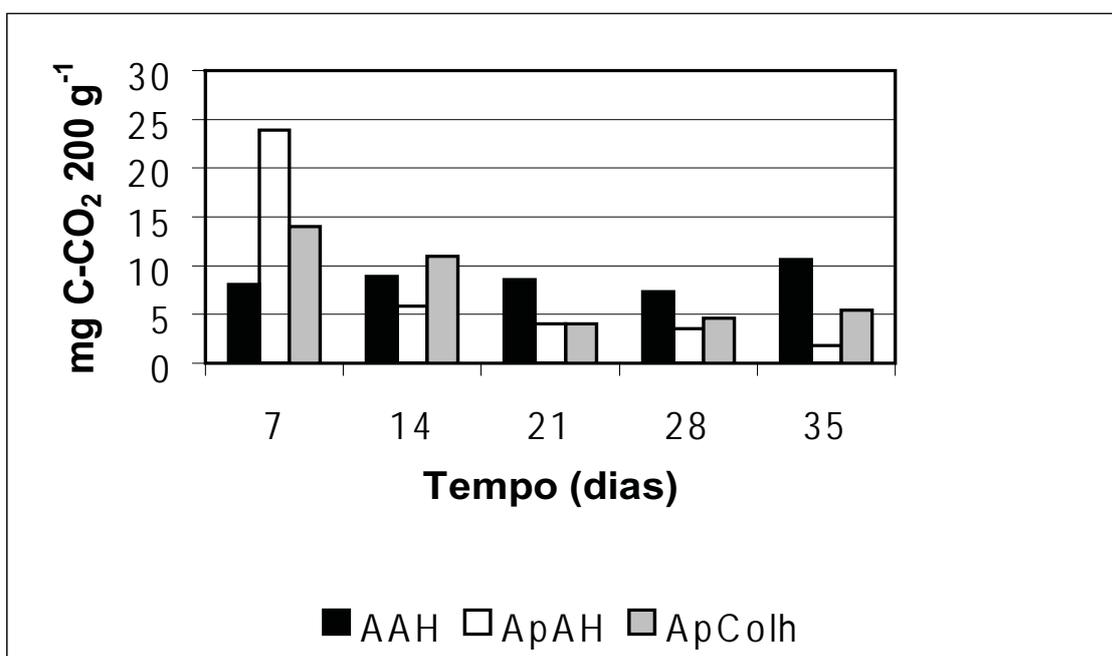


Figura 3. Atividade microbiana em um solo cultivado com arroz irrigado pré-germinado, com a utilização do pirazosulfuron-etil, antes (AAH) e após a aplicação do herbicida (ApAH), e após a colheita (ApColh). Rio Grande, RS, 2001. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

Degradação de pirazosulfuron-etil

Houve recuperação de bactérias degradadoras em placas com SMP200, no entanto, observou-se maior diversidade de bactérias em placas com MT. O número de bactérias com características coloniais distintas foi maior na presença de manitol como fonte de carbono (MT) do que na presença do herbicida como única fonte de carbono. Considerando que pirazosulfuron-etil foi seletivo para determinados grupos de bactérias, possivelmente seja uma fonte de carbono de difícil assimila-

ção pelas mesmas. Isolados bacterianos foram selecionados nestes meios de acordo com as características morfológicas das colônias. Os acessos denominados de SMP1, SMP2, SMP3, SMP4, SMP5, SMP6 e SMP7, apresentaram características distintas. Esses acessos encontram-se preservados na Coleção de Culturas de Microrganismos Multifuncionais da Embrapa Clima Temperado (CCMMECT) (Figura 4).

Realizaram-se testes taxonômicos que revelaram as seguintes características morfológicas das colônias:

1.Acesso SMP 1: creme, circular, elevada no centro, margem ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 3,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes regulares, isolados e em pares.

2.Acesso SMP 2: branca, circular, convexa, margem inteira, textura superficial lisa e diâmetro de 3,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e em pares.

3.Acesso SMP 3: creme, irregular, convexa baixa, margem ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 3,0-5,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e filamentos curtos.

4.Acesso SMP 4: creme translúcida, circular, convexa baixa, margem ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 2,0-3,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e em pares.

5.Acesso SMP 5: creme, circular, convexa baixa, margem ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 1,0-2,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e em pares

6.Acesso SMP 6: creme translúcida, circular, elevada, margem ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 1,5-2,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e em pares.

7.Acesso SMP 7: creme, irregular, convexa baixa, margem levemente ondulada, textura superficial lisa e diâmetro de 2,0-3,0 mm.

Morfologia celular: bastonetes curtos, isolados e em pares.



Foto: Maria Laura taurino

Figura 4. Acessos SPM1, SPM2, SPM3, SPM4, SPM5, SPM6 e SPM7 preservados na CCMMECT. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

Realizaram-se testes bioquímicos para a caracterização dos grupos bacterianos, a fim de compor parâmetros para enquadramento no Manual Bergey's (HOLT et al., 1994) de classificação sistemática para bactérias (Tabela 1). Houve a predominância de bactérias Gram negativo, onde são enquadradas bactérias da família Pseudomonaceae. Bactérias do gênero *Pseudomonas* podem usar cerca de 90 compostos orgânicos diferentes como única fonte de carbono e energia (STANIER et al., 1987).

Os testes moleculares foram efetuados na Fundação André Tosello, Campinas, SP, confirmando a indicação dos testes bioquímicos, exceto a cepa SMP3 que foi identificada como *Raoultella planticola* (Tabela 2). Xu et al. (2008) isolaram de solo contaminado com esse herbicida dois acessos de *Pseudomonas* sp. e um de *Bacillus* sp., capazes de degradar pyrazosulfuron-etil. O principal produto da degradação foi detectado e identificado como 5-(N-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoil)sulfamoil)-1-methyl-1H-pyrazole-4-carboxylic acid, baseado nos dados do espectro de massas e no padrão de fragmentação.

Tabela 1. Características bioquímicas dos acessos bacterianos degradadores do herbicida pyrazolsufuron-etil. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

Acessos	Testes Bioquímicos														
	Reação Gram	Reação Catalase	Aerobiose	Endósporos	Lipase	Utilização de Citrato	Fermentação de Açúcares	Hidrólise de Caseína	Hidrólise de Gelatina	Cresc. Agar Nutritivo pH 4,5	Cresc. YDC	Cresc. King A	Cresc. King B	Cresc. Agar Cetrimide	Cresc. Agar Sangue
SMP1	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
SMP2	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
SMP3	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
SMP4	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
SMP5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-
SMP6	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
SMP7	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-

Cresc. = crescimento

+ Positivo

- Negativo

Tabela 2. Identificação molecular de bactérias degradadoras do herbicida pirazosulfuron-etil, por meio de sequenciamento e análise Filogenética de DNAR 16S. Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS. 2009.

Acessos	Identificação
SMP1	<i>Pseudomonas</i> sp.
SMP2	<i>Pseudomonas</i> sp.
SMP3	<i>Raoultella planticola</i> <i>Basônimo: Klebsiella planticola</i>
SMP4	<i>Pseudomonas</i> sp.
SMP5	<i>Pseudomonas</i> sp.
SMP6	<i>Pseudomonas</i> sp.
SMP7	<i>Pseudomonas</i> sp.

(1)Basônimo: nome original de uma nova combinação.

Os resultados demonstraram uma pobre diversidade de microrganismos degradadores indígenas, predominando bactérias do mesmo gênero. Porém, bactérias do gênero *Pseudomonas* têm a capacidade de utilizar um grande número de compostos orgânicos complexos e raros como fonte de carbono e energia. Além disso, *Pseudomonas* são capazes de rapidamente desenvolver novas atividades metabólicas em resposta a mudanças nas condições ambientais (BARBIERI, 1990).

Xu et al. (2008) verificaram que, após um enriquecimento de três meses, 39 culturas puras resistentes a pirazosulfuron-etil foram isoladas de amostras de solo de acordo com a sua morfologia. Desses isolados, três bactérias capazes de degradar pirazosulfuron-etil foram obtidas e selecionadas para estudos subsequentes. Os resultados das análises moleculares mostraram que os acessos eram espécies de *Pseudomonas* e *Bacillus*. Esses gêneros são os principais na população microbiana de ambientes poluídos.

Raoultella planticola (Basônimo: *Klebsiella planticola*) são isoladas principalmente de ambientes botânicos, aquáticos e solo. Algumas cepas de *K. planticola* apresentam capacidade fixar nitrogênio (HOLT et al., 1994). Um acesso que apresenta alta resistência ao cádmio (Cd) foi identificado como *Klebsiella planticola* cepa Cd-1, sendo uma excelente

opção para biorremediação acelerada de sistemas contaminados com altas concentrações desse metal (SHARMA et al., 2000).

Estudos de degradação microbiana do herbicida pirazolsulfuron-etil são muitos escassos no mundo. Em especial, utilizando culturas puras. Contudo, os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com os estudos de Xu et al. (2008) que avaliaram a degradação desse herbicida por espécies puras de *Pseudomonas* e *Bacillus*.

Embora pirazosulfuron-etil tenha sido escolhido como uma fonte de carbono modelo, diferenças na degradação deste herbicida devido ao sistema de manejo podem ser usadas como um indicador para características de outros herbicidas em um GLEYSSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico.

Considerações Finais

1. Os resultados indicam que pirazosulfuron-etil provoca um efeito estimulatório temporário sobre a atividade dos microrganismos.

2. Bactérias degradadoras do pirazosulfuron-etil são recuperadas, no entanto, há predominância de espécies do gênero *Pseudomonas*, indicando que o herbicida é seletivo para outros gêneros.

3 *Raoultella planticola* (Basônimo: *Klebsiella planticola*) é um germoplasma microbiano com potencial para bioprospecção de características de interesse agrônomo e industrial.

4. A adoção do sistema de cultivo de arroz pré-germinado, como prática para a redução da infestação de arroz vermelho em GLEYSSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, pode ter um efeito limitado sobre as características microbianas e a biodegradação de herbicidas aplicados neste solo.

Agradecimentos

Ao Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil [PRODETAB (convênio 077-1998)], pelo apoio financeiro, a Granja Orizícola, pela cedência da área experimental do trabalho, e aos funcionários da Embrapa Clima Temperado, Hamilton Martins Pereira, pelo auxílio nas coletas de amostras ambientais, e Patrícia Valente (in memoriam), pelo apoio nas análises laboratoriais.

Referências

- BARBIERI, S. M. Regulation and expression of degradative plasmids in *Pseudomonas*. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 5-6, p. 317-24, maio/jun. 1990.
- BOLLAG, J. M.; LIU, S. Y. Biological transformation processes of pesticides. CHENG, H. H. (Ed.). **Pesticides in the soil environmental: processes, impacts and modeling**. Madison: Soil Science Society of America, 1990. v. 2, p. 169-211.
- BRUSA, T.; FERRARI, F.; BOLZACCHINI, E.; RINDONE, B. Study on the microbiological degradation of bensulfuron-methyl. **Annals of Microbiology**, Milan, v. 51, n. 2, p. 189–199, 2001.
- HOLT, J. G.; KRIEGE, N. R.; SNEATH, P. H. A.; STALEY, J. T.; WILLIAMS, S. T. **Bergey's manual of determinative bacteriology**. Baltimore: Williams & Wilkins, 1994. 824 p.
- KAUFMAN, D. D.; KEARNEY, P. C. Microbial degradation of isopropyl N-3-chlorophenyl carbamate and 2-chloroethyl N-3-chlorophenylcarbamate. **Applied Microbiology**, Washington, v. 13, n. 3, p. 443-446, 1965.
- LEVANON, D.; MEISINGER, J. J.; CODDING, E. E. Impact of tillage on microbial activity and the fate of pesticides in the upper soil. **Water Air Soil Pollution**, Dordrecht, v. 72, n. 1-4, p. 179-189, Jan. 1994.
- LOCKE, M. A.; BRYSON, C. T. Herbicide-soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. **Weed Science**, Champaign, v. 45, n. 2, p. 307-320, Mar./Apr. 1997.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina, 1995. 696 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRE-RAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SHARMA, P. K.; BALKWIL, D. L.; FRENKEL, A.; VAIRAVAMURTHY, M. A. A new *Klebsiella planticola* strain (Cd-1) grows anaerobically at high cadmium concentrations and precipitates cadmium sulfide. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 66, n. 7, p. 3083–3087, July 2000.

SOSBAI. **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Pelotas, 2007. 154 p.

STANIER, R. Y.; INGRAHAM, J. L.; WHEELIS, M. L.; PAINTER, R. P. **General microbiology**. London: Macmillan Education, 1987. 688 p.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v. 2, p. 1550-1572.

XU, J.; LI, X.; XU, Y.; QIU, L.; PAN, C. Biodegradation of pyrazosulfuron-ethyl by three strains of bacteria isolated from contaminated soils. **Chemosphere**, London, v. 74, n. 5, p. 682–687, Feb. 2008.