

# A CULTURA DE COBERTURA DE INVERNO E SEU PERÍODO DE MANEJO INTERFEREM NA NODULAÇÃO E CRESCIMENTO DA SOJA COINOCULADA

WINTER COVER CROP AND ITS MANAGEMENT PERIOD AFFECT NODULATION AND GROWTH OF COINOCULATED SOYBEAN

**Thomas Martin**

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.  
Doutor em Agronomia. E-mail: martin.ufsm@gmail.com

**Matheus Martins Ferreira**

Centro Universitário Faema, UNIFAEMA, Ariquemes, RO, Brasil.  
Doutor em Agronomia. E-mail: math.ferreira10@yahoo.com.br  
<https://orcid.org/0000-0002-4555-7852>

**Fernando Sintra Fulaneti**

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.  
Mestre em Agronomia. E-mail: fernando.sintrafulaneti@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-1434-2813>

**Rosana Taschetto Vey**

Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria, RS, Brasil.  
Doutora em Agronomia. E-mail: rosanatasvey@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0003-1434-2813>

Submissão: 20-11-2023

Aceite: 17-07-2024

**RESUMO:** Os resíduos das culturas de cobertura do solo e a inoculação da soja com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* podem melhorar a nodulação e o crescimento da cultura. Depende da interação dos resíduos das culturas de cobertura e das bactérias. As coberturas do solo e o período de manejo da biomassa tem influência nessa interação. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito das culturas de cobertura de inverno, do período de manejo da biomassa da planta de cobertura na nodulação e crescimento da soja coinoculada. O Experimento foi conduzido em vasos com os tratamentos representados por três plantas de cobertura: TG, trigo (*Triticum aestivum* L.), NB, nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), EV, ervilhaca (*Vicia sativa* L.) e TS, testemunha, três períodos de manejo da biomassa: 60, 45 e 30 dias e dois tipos de inoculação: inoculação com *Bradyrhizobium* (inoculação) e inoculação mista de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium* (coinoculação). Foram avaliados o



número e massa seca de nódulos, massa seca da raiz e parte aérea no estágio R1. O número e massa seca de nódulos, massa seca de raiz e parte aérea foram beneficiados com o cultivo do TG, NB e EV, principalmente, na biomassa manejada aos 30 dias antes da semeadura da soja. No entanto, o número de nódulos da soja foi 23% superior para TG e a coinoculação em relação ao NB. O tipo de inoculação e o período de manejo da biomassa causaram menor alteração na nodulação e crescimento da soja quando o TG foi utilizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. inoculação mista. *Glycine max*. plantas de cobertura.

**ABSTRACT:** Cover crop residues and inoculation of soybeans with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum brasilense* can improve crop nodulation and growth. It depends on the interaction of cover crop residues and bacteria. Soil cover and biomass management period influence this interaction. The objective of the research was to evaluate the effect of winter cover crops, the cover crop biomass management period on the nodulation and growth of coinoculated soybeans. The experiment was conducted in pots with treatments involving three cover crops: TG, wheat (*Triticum aestivum* L.), NB, forage radish (*Raphanus sativus* L.), EV, vetch (*Vicia sativa* L.) and TS, control, three periods of biomass management: 60, 45 and 30 days and two types of inoculation: inoculation with *Bradyrhizobium* (inoculation) and mixed inoculation of *A. brasilense* and *Bradyrhizobium* (coinoculation). The number and dry mass of nodules, dry mass of the root and aerial part at the R1 stage were evaluated. The number and dry mass of nodules, dry mass of roots and shoots benefited from the cultivation of TG, NB and EV, mainly in the biomass managed 30 days before soybean sowing. However, the number of soybean nodules was 23% higher in TG and coinoculation compared to NB. The type of inoculation and the period of biomass management caused less change in soybean nodulation and growth when TG was used.

**KEYWORDS:** *Azospirillum brasilense*. *Bradyrhizobium*. mixed inoculation. *Glycine max*. cover crops.

## Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merr.] é a quarta cultura mais cultivada no mundo, sendo a principal fonte de proteína utilizada para alimentação humana e animal (FAO, 2021). No Brasil, a soja é a cultura mais cultivada, com uma área de 38,5 milhões de hectares na safra 2020/21 (CONAB, 2021). E o principal sistema de cultivo da cultura no país é o plantio direto (PD), sem o revolvimento do solo e uso de plantas cobertura na entressafra (FEBRAPDP, 2021).

No manejo conservacionista do solo, PD, de 30% a 90% dos resíduos da cultura anterior são mantidos na superfície do solo (CTIC, 2021). Em ambientes tropicais e subtropicais, a manutenção dos resíduos na superfície do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola. A semeadura sobre a palhada pode melhorar consideravelmente o uso do N no ambiente cultivado (ZHANG *et al.*, 2020), aumentar a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) em leguminosas (TORABIAN *et al.*, 2019).

A cobertura vegetal pode influenciar diretamente no crescimento da soja e no desenvolvimento das bactérias simbióticas, que também são necessárias para o crescimento

da cultura (TORABIAN *et al.*, 2019). A palhada formada após a manejo da biomassa das plantas de cobertura diminui a perda de umidade (RIBEIRO *et al.*, 2016), a temperatura do solo (RODRIGUES *et al.*, 2018) e fornece nutrientes (LIMA FILHO *et al.*, 2014). Em soja coinoculada, verificou-se maior nodulação quando a umidade do solo estava entre 56 e 96% (DEAK *et al.*, 2019).

As gramíneas são as culturas mais utilizadas como cobertura do solo para semeadura direta de culturas de grãos leguminosas (LIMA FILHO *et al.*, 2014). Devido à grande parte do N estar imobilizado e ser liberado lentamente, a contribuição da FBN é maior (GELFAND; ROBERTSON, 2015). Na Região Sul do Brasil, diversas plantas sendo utilizadas antecedendo à soja, com destaque para o nabo forrageiro e a ervilhaca. As principais vantagens do nabo forrageiro são a alta eficiência de penetração das suas raízes, que atua na redução da compactação do solo (CHEN; WEIL, 2010), e a ciclagem de nutrientes (LIMA FILHO *et al.*, 2014). A ervilhaca é importante, principalmente, no fornecimento de N (ACOSTA *et al.*, 2014).

As melhorias do ambiente edáfico proporcionadas pelas plantas de cobertura para as bactérias e a soja são evidentes na literatura. No entanto, quando é realizada a inoculação consorciada de bactérias na soja, o tipo de planta de cobertura utilizada e o período de manejo da biomassa podem ser determinantes. As diferenças na produção de biomassa, composição química da biomassa, sistema radicular, relação carbono/nitrogênio, e que também dependem do período de manejo da biomassa, podem afetar a relação entre as bactérias e a soja.

Algumas plantas de cobertura podem influenciar na resposta de algumas culturas de grãos quando é inoculado o *A. brasilense* (GITTI *et al.*, 2012; PORTUGAL *et al.*, 2017). Por exemplo, o uso de nabo forrageiro como planta de cobertura e a inoculação do milho com *A. brasilense* reduziu produtividade de grãos da cultura (LIMA, 2020). Por outro lado, quando foram utilizadas gramíneas como plantas de cobertura, a inoculação de *A. brasilense* em milho e arroz foi positiva em relação as coberturas não gramíneas (GITTI *et al.*, 2012; PORTUGAL *et al.*, 2017). Na cultura da soja, no entanto, faltam dados para saber se o tipo de planta de cobertura e a inoculação mista de bactérias podem afetar a nodulação e o crescimento das plantas.

Aproximadamente 78% da área cultivada com soja no Brasil recebe inoculação anualmente com *Bradyrhizobium* com base nas doses vendidas (ANPII, 2018), sendo que, o *A. brasilense* é a principal bactéria utilizada em consórcio, devido a sua contribuição no crescimento das raízes (CASSÁN *et al.*, 2015; HUNGRIA; MENDES, 2015). Nesse tipo de inoculação verifica-se aumento na nodulação da soja (DEAK *et al.*, 2019). No entanto, quando se utiliza bactérias consorciadas, o ambiente precisa ser favorável a todos os microrganismos para não ocorrer efeito antagônico e prejudicar a planta (VACHERON *et al.*, 2013). O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes culturas de cobertura de inverno, períodos de manejo da biomassa dessas culturas e tipo de inoculação (*Bradyrhizobium* isolado e em consórcio com *A. brasilense*) na nodulação e crescimento da soja.

## Metodologia

O experimento foi conduzido em vasos no período de junho a dezembro de 2020. Os vasos foram alocados em casa de vegetação não climatizada, localizada no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, nas coordenadas geográficas, 29°43'04" de

latitude sul, 53°43'57" de longitude oeste e 116 metros de altitude. O solo utilizado foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico (EMBRAPA, 2018).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com os tratamentos distribuídos em um fatorial 4 x 3 x 2, com três repetições. Os tratamentos envolveram quatro coberturas de solo de inverno: trigo (TG) (*Triticum aestivum* L.), nabo forrageiro (NB) (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca comum (EV) (*Vicia sativa* L.) e testemunha (TS) sem cobertura, três períodos de manejo da cultura de cobertura antes da semeadura da soja: 60, 45 e 30 dias, e dois tipos de inoculação: *Bradyrhizobium* (inoculação) e consórcio de *A. brasilense* e *Bradyrhizobium* (coinoculação).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos apresentou as seguintes características físico-químicas: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,4 e M.O = 3,4%; Argila = 22%; P = 43,5 mg dm<sup>-3</sup>; K = 184 mg dm<sup>-3</sup>; Ca = 5,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 2,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H + Al = 8,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC<sub>pH7</sub> = 17,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% = 50,2%. Foi feita uma adubação básica para vasos com 300 e 150 mg/dm<sup>3</sup> de P e K, respectivamente (NOVAIS *et al.*, 1991). O solo foi misturado com os nutrientes e, então cada vaso foi preenchido com 6 dm<sup>3</sup> de solo previamente adubado.

Na primeira quinzena de junho foram semeadas as culturas de cobertura nos vasos. A densidade de sementes para o trigo, nabo forrageiro e ervilhaca foi ajustada para 350, 250 e 150 sementes m<sup>-2</sup>, respectivamente. As plantas de cobertura foram cultivadas nos vasos até os 60, 45 e 30 dias antes da semeadura da soja, quando ocorreu o manejo da biomassa. Em cada um dos períodos, as plantas foram cortadas rente ao solo e a biomassa das plantas retirada e seca em estufa por 72 h. Após esse tempo, a biomassa seca foi pesada e novamente adicionada nos vasos. A quantidade de biomassa foi ajustada para 5 T/ha.

Para semeadura da soja foi utilizada a cultivar NS 5959 IPRO de ciclo precoce e crescimento indeterminado. Nos tratamentos com a inoculação apenas de *Bradyrhizobium*, as sementes da soja foram misturadas com 2 ml kg<sup>-1</sup> de bioinsumo contendo as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5x10<sup>9</sup> UFC ml<sup>-1</sup>). Para os tratamentos com inoculação de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense*, as sementes de soja foram misturadas com 2 ml kg<sup>-1</sup> bioinsumo contendo as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA5079 e SEMIA5080 na concentração de 5x10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>) e 2 ml kg<sup>-1</sup> de semente contendo as estirpes de *A. brasilense* (Ab-V5 e Ab-V6, na concentração 2x10<sup>8</sup> UFC ml<sup>-1</sup>). A semeadura da soja foi realizada no dia 21/10/2020. Foram semeadas 6 sementes vaso<sup>-1</sup>, e após a emergência foi realizado o desbaste deixando duas plantas por vaso.

Por ocasião da semeadura da soja foram coletadas amostras de todos os vasos para uma quantificação geral da população naturalizada de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* do solo utilizado. Foi obtida a quantidade de unidades formadoras de colônias para *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* por grama de solo. A população média naturalizada de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum spp.* no solo utilizado nos vasos foi de 6,8 x 10<sup>6</sup> e 3,5 x 10<sup>4</sup> UFC/g de solo, respectivamente.

No estágio de desenvolvimento R2 da soja (FEHR; CANIVES, 1977), as plantas foram retiradas dos vasos para quantificação do número de nódulos por planta (NNP), massa seca de nódulos por planta (MSNP), massa seca de raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). O número de nódulos foi obtido pela contagem dos nódulos destacados das raízes. Posteriormente, os nódulos, as raízes e parte aérea foram secados em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C,

por 72 h, para então serem pesados visando a quantificação da massa seca (BRANDELERO *et al.*, 2009).

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação da normalidade e homogeneidade da variância, respectivamente. Após o atendimento dos pressupostos da ANOVA, os dados das variáveis resposta foram submetidos à análise de variância com  $p < 0,05$ , por meio do teste F. Quando identificada diferença significativa, foi realizado o teste de Scott-Knott, com  $p < 0,05$ . O software R foi utilizado para as análises estatísticas.

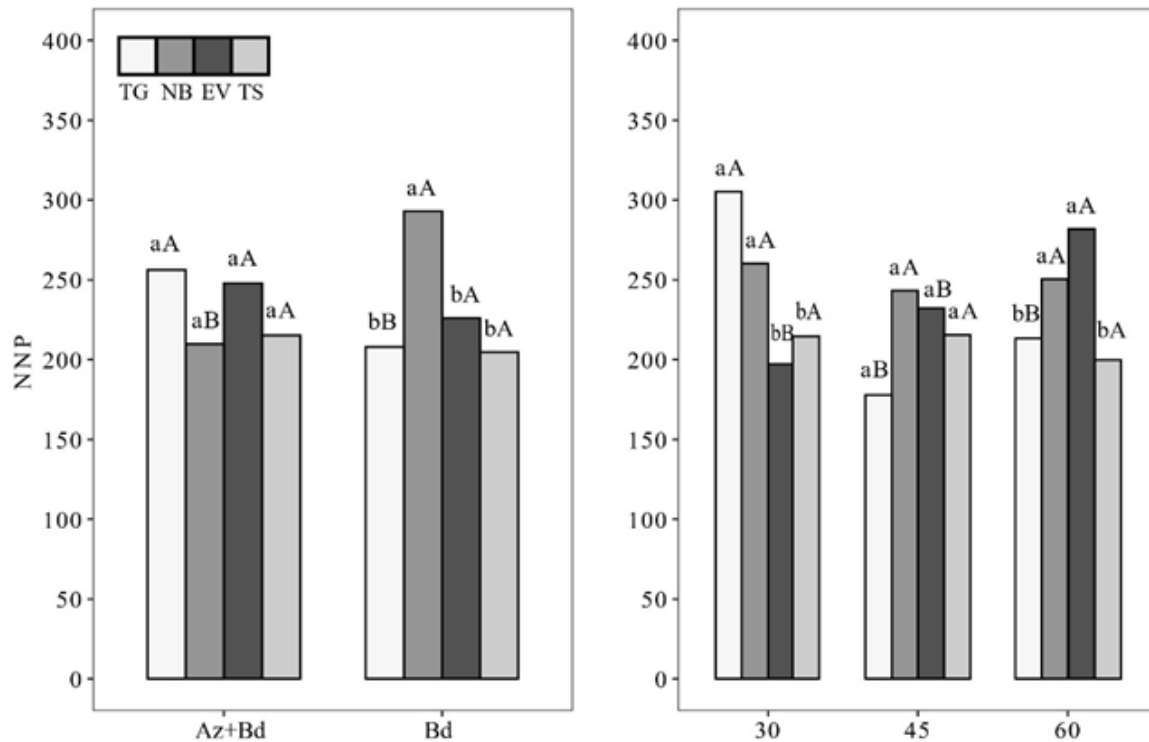
## Resultados e discussões

O NNP de soja foi influenciado pela interação entre as plantas de cobertura e os tipos de inoculação ( $p < 0,01$ ) e pela interação das plantas de cobertura e períodos de manejo da biomassa das plantas de coberturas antes da semeadura da soja ( $p < 0,01$ ). Para a MSN houve interação das plantas de cobertura e os períodos de manejo da biomassa ( $p < 0,01$ ). A MSR de soja foi influenciada pela interação entre as plantas de cobertura e os tipos de inoculação ( $p < 0,01$ ) e pela interação das plantas de cobertura e períodos de manejo da biomassa das plantas de coberturas antes da semeadura da soja ( $p < 0,01$ ). Para a MSPA houve interação das plantas de cobertura e os períodos de manejo da biomassa ( $p < 0,01$ ).

As diferentes culturas de cobertura cultivadas no inverno não influenciaram o NNP quando foi realizada a coinoculação na soja (Figura 1 a). No entanto, quando foi realizada a inoculação isolada e utilizou o nabo forrageiro, a soja produziu 292,8( $\pm 34,8$ ) nódulos por planta, um aumento de 43% em relação à testemunha. O NNP com o cultivo do trigo e a coinoculação foi de 256 ( $\pm 46$ ), cerca de 23% maior em relação ao trigo e a inoculação (Figura 1 a). Por outro lado, a utilização de nabo forrageiro e a coinoculação proporcionaram 209 ( $\pm 36$ ) nódulos, sendo cerca de 28% menor do que a inoculação isolada. A ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 1 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 dias antes da semeadura da soja, o trigo e o nabo forrageiro proporcionaram o maior NNP (Figura 1 b). No manejo da biomassa aos 45 dias não houve diferença no NNP entre as plantas de coberturas. Já no manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 60 dias antes da semeadura, o nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram o maior NNP. Quando a biomassa do trigo foi manejada aos 30 dias antes da semeadura da soja houve um aumento no NNP de 71 e 43% em relação a biomassa manejada aos 45 e 60 dias, respectivamente. Os períodos de manejo da biomassa do nabo forrageiro e a testemunha não influenciaram o NNP da soja. O melhor período para a manejo da biomassa da ervilhaca foi aos 60 dias antes da semeadura da soja, que proporcionou 282 ( $\pm 45$ ) nódulos por planta (Figura 1 b).

Figura 1. Número de nódulos por planta (NNP) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria, RS.



As implicações do TG e NB na nodulação da soja dependeram do tipo de inoculação. O uso do NB e a inoculação da soja aumentaram o NNP e a MSNP da soja em relação ao TG. Porém, o NB reduziu o NNP quando foi realizada a coinoculação, o que não aconteceu com o TG (Figura 1 a). O TG e a coinoculação aumentaram o NNP da soja comparado a inoculação. Essas evidências sugerem que para realizar a inoculação ou coinoculação na soja, o cultivo anterior deve ser considerado.

A coinoculação pode aumentar a nodulação da soja em relação a inoculação isolada (HUNGRIA; MENDES, 2015; MORETTI *et al.*, 2020; MORETTI *et al.*, 2021). No estudo, essa resposta foi observada para o NNP quando utilizou o TG (Figura 1 a). As causas desses resultados podem ser devido à melhoria na troca de sinais entre o *Bradyrhizobium* e a soja, que é favorecida pelos fitohormônios produzidos pelo *A. brasilense* (PUENTE *et al.*, 2017). No entanto, um efeito negativo também foi observado na nodulação para a coinoculação (Figura 1 a), levantando novas hipóteses da interação desses microrganismos e as plantas de cobertura cultivadas antes da soja, tais como o NB.

Os resíduos das plantas de cobertura podem interferir no efeito do *A. brasilense* inoculado nas culturas subsequentes. Resultados negativos da inoculação de *A. brasilense* foram observados nos componentes produtivos do arroz (GITTI *et al.*, 2012) e milho (PORTUGAL *et al.*, 2017; LIMA, 2020) cultivados sob a biomassa de diferentes plantas coberturas. As culturas de cobertura

que possuíam maior potencial de liberação de nitrogênio foram prejudiciais quando foi realizada a inoculação com *A. brasilense*. Entretanto, quando a biomassa na superfície do solo foi de gramíneas, o *A. brasilense* não prejudicou os componentes produtivos dessas culturas.

O tipo de planta cultivada na área pode beneficiar ou prejudicar a abundância de um determinado grupo de microrganismos (FINNEY *et al.*, 2017). Isso pode influenciar na interação positiva ou negativa de alguns microrganismos com as plantas (PHILIPPOT *et al.*, 2013). O nabo forrageiro pode ter proporcionado um ambiente mais favorável ao desenvolvimento do *A. brasilense*, o que pode ter gerado maior competição entre as bactérias, vindo a causar redução do número de nódulos.

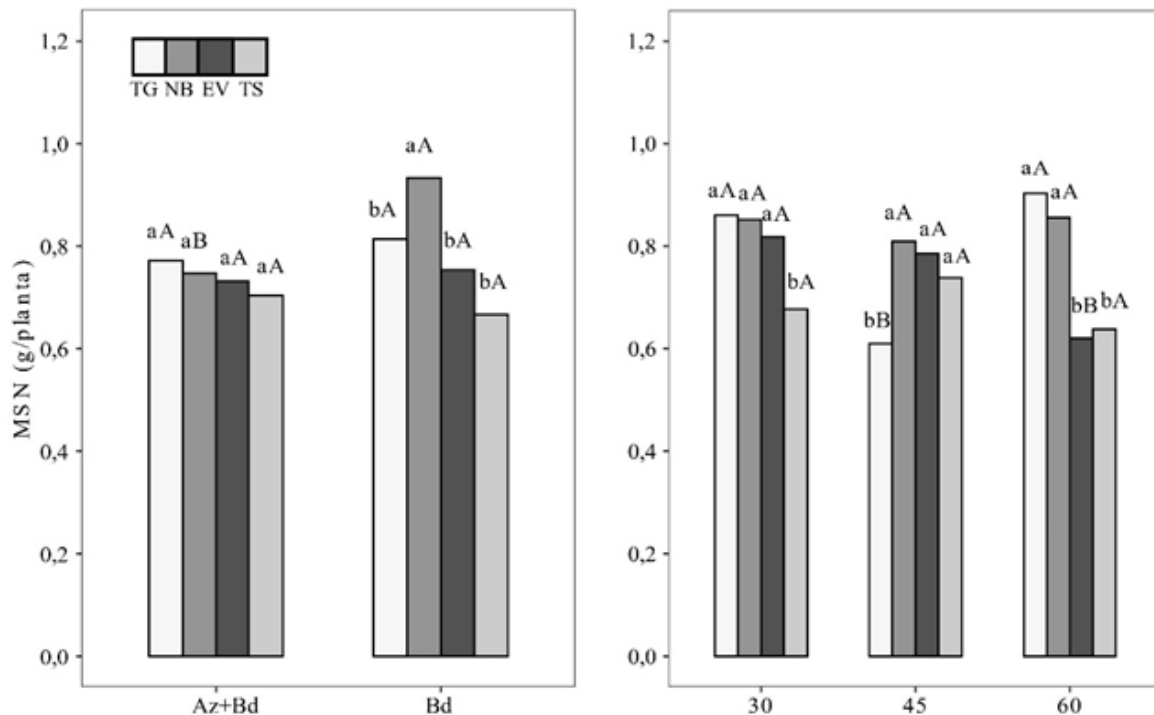
O período de manejo da biomassa do trigo mais próximo da semeadura da soja (30 dias) melhorou a nodulação da cultura (Figura 1 b). Esse menor tempo de decomposição dos resíduos no manejo aos 30 dias pode ter sido favorável às bactérias inoculadas na soja. De acordo com Akhtar *et al.* (2019), uma maior quantidade de palhada de trigo na superfície do solo pode proporcionar maiores valores para o número de nódulos da soja. No entanto, dependendo das características da cultura de cobertura (relação C/N, concentração de N na biomassa, teor de lignina), o manejo da biomassa próximo da semeadura da soja pode causar efeito deletério na nodulação.

O manejo da ervilhaca aos 30 dias antes da semeadura da soja reduziu o NNP em relação ao manejo aos 45 e 60 dias (Figura 1 b). A ervilhaca possui menor relação C/N comparado ao trigo (LIMA FILHO *et al.*, 2014) e apresenta maior velocidade de liberação de nitrogênio logo após o manejo da biomassa (AITA; GIACOMINI, 2003). O aumento do N disponível no solo pode reduzir a formação e causar senescência precoce dos nódulos (NISHIDA *et al.*, 2018). Contudo, a baixa disponibilidade de N no solo induz a maior nodulação das raízes da soja (GELFAND; ROBERTSON, 2015).

As diferentes culturas de cobertura cultivadas no inverno não influenciaram a MSN quando foi realizada a coinoculação da soja (Figura 2 a). Já quando foi realizada a inoculação isolada, o nabo forrageiro foi a melhor cultura de cobertura de solo, com a soja apresentando 0,93 ( $\pm 0,09$ ) g por planta, um aumento de 41% em relação à testemunha e 26% em relação a coinoculação. O trigo, ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 2 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 dias antes da semeadura da soja, o trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram a maior MSN (Figura 2 b). No entanto, no manejo da biomassa aos 45 dias, o trigo apresentou a menor MSN. Já no manejo da biomassa das culturas de cobertura aos 60 dias antes da semeadura, o trigo e o nabo forrageiro proporcionaram a maior MSN. O nabo forrageiro e a testemunha não diferiram entre os períodos de manejo da biomassa. A ervilhaca terminada aos 30 e 45 dias e o trigo aos 30 e 60 dias antes da semeadura da soja proporcionaram a maior MSN (Figura 2 b).

Figura 2. Massa seca de nódulos por planta (MSN) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria, RS.

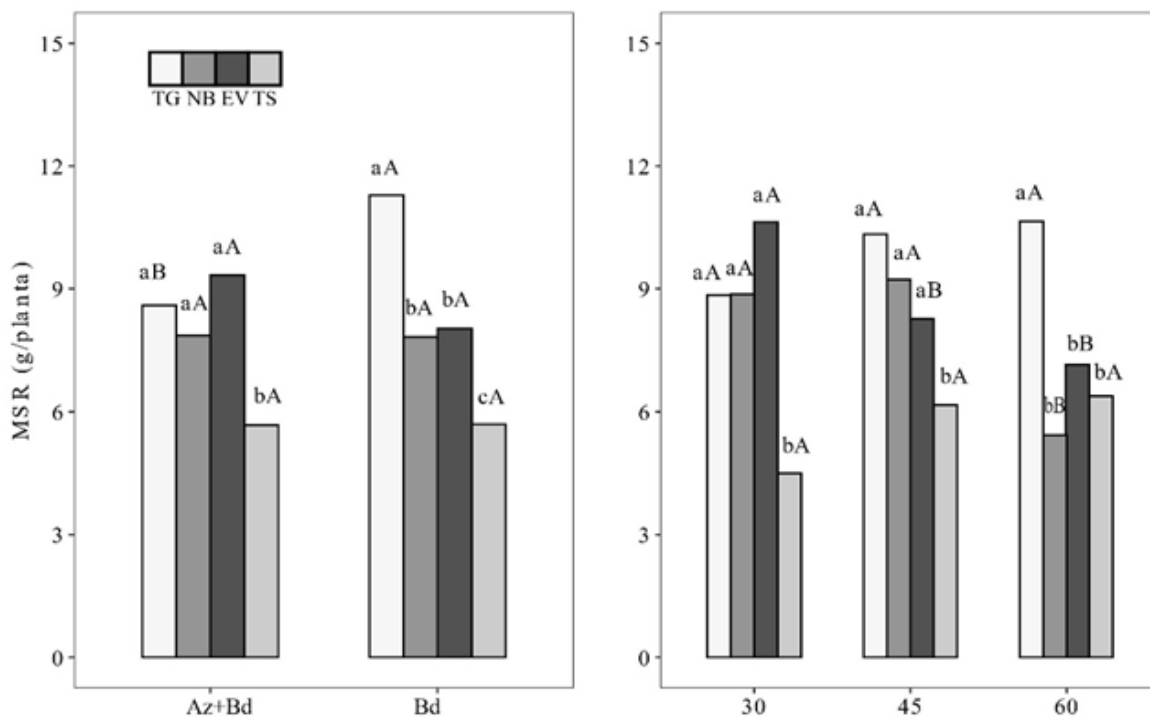


As três culturas de cobertura cultivadas no inverno aumentaram em média 51% a MSR da soja comparado à testemunha quando foi realizada a coinoculação (Figura 3 a). Já quando foi realizada a inoculação isolada, o trigo foi a melhor cultura de cobertura de solo, proporcionando 11,3 (±1,7) g de MSR de soja, um aumento de 99% em relação a testemunha. A maior MSR de soja foi encontrada quando o trigo foi cultivado no inverno e realizada a inoculação. O nabo forrageiro, ervilhaca e a testemunha não diferiram entre os tipos de inoculação (Figura 3 a).

Quando as biomassas das culturas de cobertura foram manejadas aos 30 e 45 dias antes da semeadura da soja, o trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca proporcionaram a maior MSR (Figura 3 b). No entanto, no manejo da biomassa aos 60 dias, o trigo proporcionou a maior MSR da soja. O trigo e a testemunha não diferiram entre os períodos de manejo da biomassa. O manejo da biomassa da ervilhaca aos 30 dias e do nabo forrageiro aos 30 e 45 dias antes da semeadura da soja proporcionaram a maior MSR (Figura 3 b).



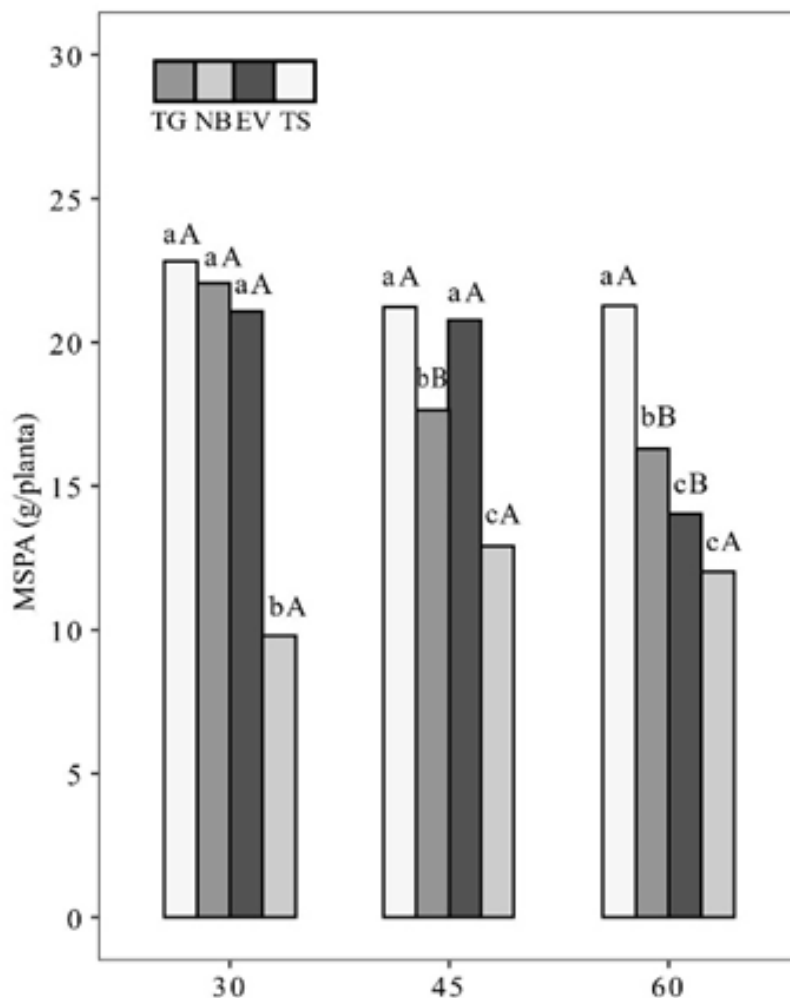
Figura 3. Massa seca de raiz (MSR) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e o tipo de inoculação (a) e interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja (b). Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro cada tipo de inoculação e período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os tipos de inoculação e período de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha; Az+Bd, coinoculação; Bd, inoculação, Santa Maria, RS.



Os fitohormônios produzidos pelo *A. brasilense* podem estimular a iniciação da raiz lateral e adventícias, divisão celular, alongamento do caule, raiz (CASSÁN *et al.*, 2015) e a nodulação da soja (PUENTE *et al.*, 2017). No entanto, a MSR e MSPA da soja não aumentou com a coinoculação, o que não era esperando, visto que, o principal efeito do *A. brasilense* na planta é a promoção do crescimento. Resposta semelhante foi observada por Moretti *et al.* (2019), que não verificaram aumento na massa seca da raiz e parte aérea com a coinoculação em relação a inoculação isolada na cultura da soja.

O manejo da biomassa do trigo, nabo forrageiro e ervilhaca aos 30 dias antes da semeadura da soja aumentaram em média 124% a MSPA da cultura em relação à testemunha (Figura 4). No manejo realizado aos 45 dias antes da semeadura, o trigo e a ervilhaca proporcionaram a maior MSPA da soja em relação ao nabo forrageiro e testemunha. Já no manejo da biomassa aos 60 dias, o trigo proporcionou a maior MSPA da soja em relação as demais culturas de cobertura. A MSPA da soja não diferiu entre os períodos de manejo da biomassa do trigo e a testemunha. Já quando o nabo forrageiro foi manejado aos 30 dias antes da semeadura da soja e a ervilhaca aos 30 e 45 dias, a MSPA foi maior (Figura 4).

Figura 4. Massa seca da parte aérea (MSPA) de soja em função da interação entre as plantas de cobertura e os períodos de manejo das culturas de coberturas antes da semeadura da soja. Barras com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. Letras minúsculas comparam as coberturas dentro período de manejo da biomassa, e as letras maiúsculas comparam as coberturas entre os períodos de manejo. TG, trigo; NB, nabo forrageiro; EV, ervilhaca; TS, testemunha, Santa Maria, RS.



As culturas de cobertura aumentaram a MSR e MSPA da soja em relação à testemunha. O trigo foi a única cultura de cobertura que não reduziu a massa seca da parte aérea e raiz da soja quando o manejo da biomassa foi realizado aos 60 dias antes da semeadura. Isso pode estar relacionado com a menor taxa de decomposição do trigo em relação as demais culturas utilizadas (CRUSCIOL *et al.*, 2008).

Para o nabo forrageiro e a ervilhaca, o manejo da biomassa aos 30 dias antes da semeadura da soja é importante, pois o manejo aos 60 dias pode resultar em menor quantidade de biomassa na superfície do solo e reduzir a massa seca da raiz e parte aérea da cultura. O manejo tardio das culturas de cobertura ajuda a manter uma maior umidade e menor flutuação da temperatura do solo durante os cultivos subsequentes, devido a maior quantidade de material vegetal na superfície (SICZEK; LIPIEC, 2011).

## Considerações finais

O NNP, MSN, MSR e MSPA da soja foram beneficiados com o cultivo sobre a biomassa das plantas de cobertura trigo, nabo forrageiro e a ervilhaca em relação à testemunha. No entanto, ficou evidente a importância do período de manejo da biomassa das culturas de coberturas, em especial para o nabo forrageiro e a ervilhaca. Exceto para a ervilhaca no número de nódulos, o manejo da biomassa das culturas de coberturas aos 30 dias antes da semeadura da soja proporcionou os melhores resultados. A coinoculação foi melhor para o número de nódulos quando se utilizou o trigo como planta de cobertura.

## Referências

- ACOSTA, J. A de A. *et al.* Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014005000002>
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n.4, p. 601-612, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400004>
- AKHTAR, K. *et al.* Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 16-25, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.09.031>
- ANPII - Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes. **Levantamento do uso de Inoculantes no Brasil (2018)**. Disponível em:<http://www.anpii.org.br/estatisticas/>. Acesso: 30 nov. 2021.
- BRANDELERO, E. M. *et al.* Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 30, n. 3, p. 581-588, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n3p581>
- CASSÁN, F. D. *et al.* Handbook for *Azospirillum*. **Springer**, v. 10, p. 978-3, 2015. Disponível em:<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-06542-7?noAccess=true#toc>. Acesso: 12 set. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7>
- CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v. 331, n. 1, p. 31-43, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0223-7>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. **Conab**, v. 8, p. 1-108, 2021. Disponível em:<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso: 27 set. 2021.

CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 481-489, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200024>

CTIC - National Crop Residue Management Survey. Disponível em: <https://www.ctic.org/CRM>. Acesso: 30 nov. 2021.

DEAK, E. A. *et al.* Effects of soil temperature and moisture on biological nitrogen fixation in soybean crop. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 8, p. 1327, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.08.p1739>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2018. 356p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Crops and Livestock Products**. 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso: 18 out. 2021.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/download/14588evolucao-pd-no-basil-2021-jpg.jpg>. Acesso: 30 nov. de 2021.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 15p. (Special Report, 80).

FINNEY, D. M. *et al.* Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 72, n. 4, p. 361-373, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361>

GELFAND, I; ROBERTSON, G. P. A reassessment of the contribution of soybean biological nitrogen fixation to reactive N in the environment. **Biogeochemistry**, v. 123, n. 1-2, p. 175-184, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-014-0061-4>

GITTI, D. D. C. *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em arroz de terras altas no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 509-517, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000002>

HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Nitrogen fixation with soybean: the perfect symbiosis?. In: DE BRUIJN, F. J. **Biological nitrogen fixation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. Cap.99, p.1009-1024.

LIMA, C. dos S. **Rendimento da cultura do milho em resposta à inoculação com *Azospirillum brasilense* associado às diferentes doses de nitrogênio e plantas de cobertura**. 2020. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

LIMA FILHO, O. F. *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília: Embrapa, 2014. 512p.

MORETTI, L. G. *et al.* Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 1, p. 418-428, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>

MORETTI, L. G. *et al.* Beneficial microbial species and metabolites alleviate soybean oxidative damage and increase grain yield during short dry spells. **European Journal of Agronomy**, v. 127, p. 126293, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126293>

NISHIDA, H. *et al.* A NIN-LIKE PROTEIN mediates nitrate-induced control of root nodule symbiosis in *Lotus japonicus*. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02831-x>

PHILIPPOT, L. *et al.* Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. **Nature Reviews Microbiology**, v. 11, n. 11, p. 789-799, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3109>

PORTUGAL, J. R. *et al.* Coberturas vegetais, doses de nitrogênio e inoculação com *Azospirillum brasilense* em milho no Cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 639, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170074>

PUENTE, M. L. *et al.* The benefits of foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* in soybean are explained by an auxin signaling model. **Symbiosis**, v. 76, n. 1, p. 41-49, dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13199-017-0536-x>

RIBEIRO, L. Da S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, set. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900071>

RODRIGUES, G. A. *et al.* Oscilações da temperatura do solo em função de quantidades de palha e horários ao longo do dia. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 1, p. 293-304, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31510/inf.v15i1.353>

SICZEK, A.; LIPIEC, J. Soybean nodulation and nitrogen fixation in response to soil compaction and surface straw mulching. **Soil and Tillage Research**, v. 114, n. 1, p. 50-56, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.04.001>

TORABIAN, S. *et al.* Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. **Soil and Tillage Research**, v. 185, p. 113-121, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>

VACHERON, J. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 356, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00356>

ZHANG, Y. *et al.* Conservation tillage practices reduce nitrogen losses in the sloping upland of the Three Gorges Reservoir area: No-till is better than mulch-till. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 300, p. 107003, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107003>