

FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS FORRAJEROS CON INHIBIDORES DE LA NITRIFICACIÓN

FERTILIZATION OF FORAGE CROPS WITH THE INCORPORATION OF NITRIFICATION INHIBITORS

M.D. BÁEZ, C. GILSANZ, M. I. GARCÍA Y J. CASTRO

Dpto. de Pastos y Cultivos. CIAM-INGACAL. Apdo. 10, 15080, A Coruña (España).

dolores.baez.bernal@xunta.es

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar desde el punto de vista productivo y de calidad forrajera la incorporación de inhibidores derivados del 3,4 dimetil pirazol estabilizados como fosfato (DMPP) o ácido succínico (DMPSA), en disolución o con fertilizantes granulados. Para ello se establecieron dos ensayos experimentales en dos cultivos forrajeros con gran presencia en las explotaciones gallegas: raigrás italiano y maíz, y se aplicaron siete y ocho tratamientos de fertilización, respectivamente, que incluían el uso o no de los inhibidores con purín de vacuno (PV) y fertilizantes minerales.

En un cultivo de raigrás italiano la incorporación del inhibidor DMPP con el PV inyectado en aportes de otoño puede incrementar la producción y extracción de nitrógeno (N) en el corte efectuado al finalizar el invierno. Cuando se fertilizó con PV en otoño y nitrato amónico cálcico (NAC) en primavera, el uso del inhibidor con el PV, con el NAC (estabilizado con DMPSA), o con ambos, incrementó los valores de recuperación aparente de N obtenidos con el tratamiento sin inhibidor. En lo que respecta al cultivo de maíz el uso de ENTEC (nitrosulfato amónico estabilizado con DMPP) provocó ligeros incrementos en las recuperaciones aparentes de N. En ningún caso las diferencias productivas debidas al uso del inhibidor resultaron significativas estadísticamente. A la vista de los resultados, es conveniente ampliar el estudio con más de un ciclo de cultivo y, establecer la relación coste/beneficio valorando conjuntamente al aspecto productivo aquellos beneficios ambientales que pudieran derivarse de su utilización.

Palabras clave: Raigrás italiano, maíz, purín de vacuno, DMPP, DMPSA.

SUMMARY

In the present work, the effects of nitrification inhibitors (NIs) such as 3,4-dimethyl pyrazole phosphate (DMPP) or succinic acid (DMPSA) on forage yield and quality were studied. For that purpose, two field experiments with italian ryegrass and maize crops were established and several treatments, which included the use or not of NIs with cattle slurry (CS) and mineral fertilizers (ENTEC, CAN-DMPSA), were compared. The incorporation of DMPP with CS applied in autumn may increase the forage yield and forage nitrogen (N) removal by the crop in the first cut made in late winter. In terms of apparent N recovery, the use of NIs in autumn with CS, or in spring with calcium ammonium nitrate (CAN-DMPSA), increased N recoveries with respect to the treatment without inhibitor. With respect to maize, the use of ENTEC slightly increased apparent N recoveries by the crop. In any case the productive differences due to the use of inhibitor were significant statistically. In view of the results, the study should be continue and include more than one growing cycle and also it is necessary to assess more accurately the cost/benefit ratio of NIs use including environmental benefits.

Key words: Italian ryegrass, maize, cattle slurry, DMPP, DMPSA.

INTRODUCCIÓN

La especialización e intensificación ganadera en las explotaciones de vacuno de Galicia ha provocado un elevado consumo de fertilizantes que en la mayoría de los casos genera un superávit de nutrientes en suelo que pueden contribuir a la contaminación de las aguas, el suelo y la atmósfera. Hoy en día la sociedad se enfrenta al reto de conseguir la sostenibilidad, y la política agraria en la Unión Europea se está enfocando cada vez más a una agricultura protectora del medio ambiente. Las subvenciones de la Unión Europea han dejado de ser una ayuda directa a la producción para convertirse en ayudas por la realización de prácticas respetuosas con el medio ambiente, entre ellas está la reducción de la dosis de fertilizantes nitrogenados y la utilización de fertilizantes más eficientes. Está descrito que la aplicación conjunta de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación (IN) puede mitigar ciertos problemas ambientales como emisiones de óxido nitroso y lixiviación de nitratos. Estos compuestos permiten prolongar la disponibilidad del N para los cultivos en forma amoniacal y existen varios estudios que demuestran que los IN pueden aumentar la eficiencia del N por el cultivo, obteniéndose mayores producciones con las mismas dosis de fertilizante o con un número menor de aplicaciones lo que permite una mayor flexibilidad en la fecha de aplicación de los mismos (Trenkel, 1997). En el año 2001 apareció en

el mercado el 3,4 dimetilpirazol fosfato (DMPP), (Zerulla et al., 2001) con buenos resultados agronómicos. El DMPP es formulado en fertilizantes granulados nitrogenados o complejos y también puede ser incorporado a fertilizantes líquidos y orgánicos como purines. En la actualidad, técnicos, agricultores y ganaderos demandan información sobre el uso de IN con fertilizantes minerales y orgánicos, y cuestiones como su repercusión en la producción vegetal deben ser esclarecidas. El objetivo del trabajo es evaluar la utilización de IN derivados del 3,4 dimetil pirazol (DMPP y DMPSA: 3,4 dimetil pirazol ácido succínico) junto a aplicaciones de purín de vacuno o fertilizantes minerales, en la producción, extracción de N y evolución de la calidad nutritiva del forraje producido en dos cultivos forrajeros con gran presencia en las explotaciones gallegas: raigrás italiano y maíz.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se inició en otoño de 2012 en una parcela experimental del CIAM (Abegondo, A Coruña, zona costera atlántica de Galicia a 97 m de altitud, latitud 43° N, longitud: 8°O) con la siembra el 16/11/2012 de raigrás italiano alternativo anual (*Lolium multiflorum Lam.*), cv Promenade, como cultivo de invierno a dosis de siembra de 40 kg/ha. El análisis inicial del suelo (0-10 cm) presentó una textura franco limosa con un pH de 6,0 (ext. 1:2,5 en agua), contenido en MO de 80,3 g/kg de MS, de N de 3,1 g/kg de MS y

una relación C/N de 11. El diseño experimental fue en bloques al azar con 3 repeticiones y un tamaño de parcela elemental de 8 m x 15 m. Los tratamientos aplicados resultaron de la combinación de PV y NAC 27%, con y sin inhibidor de la nitrificación, en dos aportes (15/11/2012 y 18/04/2013). En la tabla 1 se presentan los tratamientos y el N total aplicado y en la tabla 2 la composición química de los purines utilizados en el experimento. Para la aplicación de PV se utilizó una cisterna que inyectaba el purín a 25-30 cm en la primera aplicación y a 5 cm en la segunda aplicación. El inhibidor DMPP se incorporó al purín a una dosis de 1 kg DMPP/ha y en la segunda aplicación se utilizó NAC-estabilizado con el inhibidor DMPSA (3,4 dimetilpirazol-ácido succínico, EuroChem Agro). Se realizaron tres cortes de forraje (14/03/2013, 17/04/2013 y el 21/05/2013).

Para determinar la producción de biomasa se registró el peso en verde de dos bandas de 0,8 m x 9 m en cada parcela y de cada una de ellas se recogieron sub-muestras de planta donde se determinó la materia seca (MS) mediante secado en estufa de aire forzado (80 °C durante 16 h). En cada muestra fue analizado el contenido en materia orgánica (MO), proteína bruta (PB), y otros parámetros relacionados con la calidad del forraje como fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y el contenido de carbohidratos solubles en agua (CSA) mediante la técnica de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo próximo (Foss NIR-System) y el programa Win ISI 1.5 (Infrasoft International, USA, 2000).

En una segunda parcela se sembró maíz (cv LG 33.85) a una densidad de 98 000 plantas/ha. Una siembra tardía (3/06/2013), y

Tabla 1. Tratamientos de fertilización nitrogenada en el raigrás italiano.

Tratamiento	Fertilizantes		Dosis de N (kg N ha ⁻¹)		
	15/11/2012	18/04/2013	15/11/2012	18/04/2013	N Total
T1	-	-	0	0	0
T2	PV	PV	59	93	152
T3	PV+DMPP	PV+DMPP	62	82	144
T4	PV	NAC 27	61	70	131
T5	PV	NAC 27+DMPSA	62	70	132
T6	PV+DMPP	NAC 27	81	70	151
T7	PV+DMPP	NAC 27+DMPSA	58	70	128

PV: Purín de vacuno; DMPP: 3,4-dimetil pirazol fosfato; NAC: Nitrato amónico cálcico; DMPSA: 3,4-dimetil pirazol ácido succínico.

Tabla 2. Composición química de los purines utilizados en los experimentos.

Ensayo	Fecha Aplicación	Densidad g/cm ³	pH	MS %	¹ MO	¹ N	¹ P	¹ K	¹ Ca	¹ Mg
Raigrás	15/11/2012	1,095	8,42	7,47	811,5	43,0	6,1	41,4	27,8	5,6
Raigrás	18/04/2013	1,020	8,43	6,65	763,6	42,0	8,6	46,1	22,5	6,5
Maíz	28/05/2013	1,220	8,44	7,64	798,6	39,4	9,0	42,1	20,7	5,9

¹Valores expresados en g/kg de MS

la sequía acontecida en los meses de julio y agosto redujo la germinación obteniéndose una densidad final de 75 000 plantas/ha. La capa de suelo de 0-10 cm se caracterizó por una textura franco limosa con un pH de 5,9 (ext. 1:2,5 en agua), contenido en MO de 49,6 g/kg de MS, de N de 1,8 g/kg de MS y una relación C/N de 10,6. En este caso los tratamientos aplicados se muestran en la tabla 3, dispuestos en el experimento en un diseño de bloques al azar y cuatro repeticiones. La parcela elemental fue 120 m² en los tratamientos de purín y de 60 m² en los tratamientos mineral y control. El purín de vacuno (PV) fue inyectado a 25-30 cm de profundidad y aplicado previo a la siembra con el

resto de fertilizantes (28/05/2013). La composición química de los purines empleados aparece en la tabla 2. Previamente a la siembra se igualaron en todos los tratamientos los aportes de P y K a 100 kg P₂O₅/ha y 250 kg K₂O/ha, respectivamente. En el momento de la cosecha (1/10/2013, estado del grano pastoso-vítreo), se muestrearon en dos líneas centrales una longitud de 8 m. En campo, se pesó la producción en fresco y se tomó una muestra de 10 plantas de cada línea que fueron procesadas de forma independiente. En el laboratorio se separó la mazorca de la parte verde (tallos, hojas y espigas) picando las dos fracciones por separado y se mantuvieron en estufa a 80 °C durante 16 h,

Tabla 3. Tratamientos de fertilización nitrogenada en el maíz forrajero.

Tratamiento	Fertilizantes		Dosis de N (kg N ha ⁻¹)		N Total
	28/05/2013	23/07/2013	28/05/2013	23/07/2013	
T1	-	-	-	-	0
T2	PV	-	275	-	275
T3	PV+DMPP	-	275	-	275
T4	PV	NAC 27	139	100	239
T5	PV	ENTEC 26	139	100	239
T6	PV+DMPP	ENTEC 26	139	100	239
T7	NPK 15-15-15	NAC 27	100	100	200
T8	ENTEC 24-8-7	-	200	-	200

PV: Purín de vacuno; DMPP: 3,5-dimetil pirazol fosfato; NAC: Nitrato amónico cálcico; ENTEC: incorpora 1% DMPP relativo al NH₄⁺-N del nitrosulfato amónico.

con el fin de calcular la producción de MS total, de mazorca y de parte verde. Parámetros de calidad del forraje (MO, PB, FAD, FND, carbohidratos totales no estructurales, y almidón) fueron determinados en el laboratorio en las muestras secas y molidas utilizando la técnica de espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo próximo (NIRS, Win ISI 1.5).

En ambos cultivos se calculó la recuperación aparente del N aplicado (RAN) para cada tratamiento teniendo en cuenta el N extraído por el cultivo en cada tratamiento, la extracción de N en el tratamiento T1 (0 N) y el N aplicado. El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo mediante análisis de la varianza (GLM) utilizando el paquete estadístico SPSS versión 15.0 y para la separación de medias se utilizó el test de Duncan utilizando un nivel de significación $p < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cultivo de raigrás italiano

En la tabla 4 se muestran las producciones de materia seca y composición química del raigrás en cada corte. El cultivo se desarrolló durante un otoño-invierno bastante lluvioso con elevadas precipitaciones en los meses de enero y marzo. En cuanto a las temperaturas fueron ligeramente superiores a la media de los 10 años anteriores durante el invierno, y por el contrario, la primavera resultó algo más fría. Las lluvias acontecidas

tras el primer corte, impidieron hasta el mes de abril la entrada de la maquinaria en la zona de ensayo, por este motivo, previo a la segunda fertilización hubo un segundo corte de forraje (Tabla 4, corte 17/04/2013). La incorporación del inhibidor DMPP con el PV en el corte de marzo (Tabla 4, tratamientos T3, T6 y T7) incrementó significativamente la producción y extracción de N respecto al tratamiento PV (Tabla 4, tratamientos T2, T4 y T5).

El aporte con NAC (con o sin inhibidor, T4, T5, T6 y T7) en el corte de mayo incrementó significativamente, respecto al aporte con purín (tratamientos T2 y T3), la producción de MS en 1,88 t MS/ha y la extracción de N en 38,56 kg N/ha. A diferencia de lo observado tras la primera aplicación, no se observó efecto del inhibidor al incorporarlo con el PV, ni en producción, ni en extracción de N (Tabla 4, comparando los tratamientos T2 y T3), hecho muy probablemente relacionado con escasas diferencias en los contenidos de nitratos y amonios en la capa de suelo de 0-10 cm (datos no mostrados) durante los meses de abril y mayo. El uso del inhibidor con NAC (tratamientos T5 y T7) se tradujo tan sólo en ligeros incrementos productivos y de extracción de N respecto a los tratamientos que no llevaron inhibidor (T4 y T6). En lo que respecta a la composición química, los valores más elevados de PB se encontraron en T5, T6 y T7 en el corte de mayo, tratamientos que corres-

Tabla 4. Producción de biomasa, extracción de nitrógeno y composición química del raigrás italiano.

Fecha corte	Trat	Biomasa			Composición química, %MS					
		% MS	Kg MS/ha	Kg N/ha	MO	PB	FND	FAD	CSA	DMOIV
14/03/2013	T1	18,1ab	381c	5,8b	90,8	9,4	37,7	19,7	32,2	85,6b
	T2,T4,T5	18,9a	716b	10,6b	91,1	9,2	36,8	19,0	34,4	87,4a
	T3,T6,T7	17,6c	1147a	17,4a	91,2	9,4	37,6	19,4	33,0	86,2ab
	Media	18,2	852	12,8	91,1	9,3	37,3	19,3	33,7	86,6
	¹Sig	*	***	***	ns	ns	ns	ns	ns	*
17/04/2013	T1	14,7	360b	5,9b	89,0	10,3a	47,5a	26,6a	24,7b	77,7b
	T2,T4,T5	15,4	591a	8,7a	89,7	9,2b	45,2b	24,8b	28,4a	81,0a
	T3, T6, T7	15,3	650a	9,9a	89,3	9,5b	46,3ab	25,7ab	26,6a	79,8a
	Media	15,3	583	8,8	89,4	9,5	46,0	25,4	27,1	80,0
	Sig	ns	*	*	ns	*	*	*	**	**
21/05/2013	T1	18,5a	713c	7,9b	91,7	6,9b	43,0c	23,2c	36,1a	83,5a
	T2	17,5a	1689b	19,9b	91,9	7,4b	42,7c	23,3c	36,2a	83,0a
	T3	17,5a	1567b	17,4b	90,8	6,9b	41,2c	23,2c	36,9a	84,0a
	T4	14,3b	3464a	54,0a	91,6	9,7ab	45,3b	24,9b	29,5b	79,5b
	T5	14,5b	3614a	66,7a	91,5	11,4a	46,6ab	25,9ab	26,3b	77,3b
	T6	14,2b	3466a	63,0a	91,5	11,5a	47,2ab	25,8ab	25,7b	76,7b
	T7	14,6b	3523a	66,6a	91,6	11,7a	47,6a	26,2a	25,2b	76,3b
	Media	15,9	2576	42,2	91,5	9,4	44,8	24,6	30,8	80,0
Sig	***	***	***	ns	**	***	***	**	***	

MS: materia seca; MO: materia orgánica; PB: proteína bruta; FND y FAD: fibra neutro y ácido detergente; CSA: carbohidratos solubles en agua; CNET: Carbohidratos no estructurales totales; DMOIV: digestibilidad in vitro de la MO (%). ¹Sig.:*** (p<0,001); ** (p<0,01); * (p<0,05); ns, no sig. Para cada parámetro valores seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes a p<0,05 test de Duncan.

ponden a la combinación de fertilización orgánica y mineral con incorporación de inhibidor en uno de los aportes o en los dos.

La recuperación aparente del N (RAN) en el ciclo completo del raigrás, presentó valores de: 13%, 17%, 40%, 51%, 50% y 55%, para los tratamientos T2, T3, T4, T5, T6 y T7, respectivamente. Por tanto, se observan ciertos incrementos en la recuperación de N en los tratamientos T5, T6 y T7 que incorporaron inhibidor junto al NAC

(T5), al PV (T6) o con los dos (T7), respecto a T4 que corresponde a una fertilización con PV y NAC sin inhibidores. Cuando las dos fertilizaciones implicaron aporte de PV, el uso del inhibidor proporcionó un ligero incremento de la RAN (T3 frente a T2), incremento bastante menor que los resultados obtenidos en otros estudios para un cultivo de raigrás (Fangueiro et al., 2009), donde utilizaron inhibidores (DMPP y dicianidamida) junto al PV aplicado en superficie.

Cultivo de maíz

La fertilización afectó significativamente los rendimientos de MS y extracción de N en el maíz (Tabla 5), y por separado en mazorca y parte verde. Los tratamientos con PV en una única aplicación (T2 y T3) fueron los más productivos, obteniendo un valor medio de 14,45 t MS/ha. Teniendo en cuenta los tratamientos con aporte de PV en siembra y mineral en cobertera (T4, T5 y T6), no se observaron incrementos significativos debidos al uso del DMPP, aunque los resultados sugieren cierta mejora productiva y de extracción de N cuando se incorporó el inhibidor DMPP. La misma situación se dio en aquellos tratamientos que sólo recibieron fertilización mineral (T7 y T8), no se observaron diferencias estadísticas entre el aporte con ENTEC en una sola aplicación en siembra y una aplicación convencional NPK en

siembra y NAC en cobertera. El tratamiento T7 obtuvo la menor DMO. La composición química de la parte verde no fue afectada por el tipo de fertilización (datos no mostrados), aunque se observó la misma tendencia en la composición de PB de la parte verde que lo observado en mazorca.

El cálculo de recuperación de N en el cultivo de maíz presentó valores de 25%, 24%, 14%, 21%, 18%, 15% y 22% para T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8 respectivamente. Parece que hubo una mayor asimilación del N con PV en única aplicación independientemente del uso del inhibidor. Se pueden apreciar ciertos efectos beneficiosos al utilizar DMPP, muy probablemente relacionados con la reducción de pérdidas de N como lixiviación de nitratos y emisiones de N₂O, y una nutrición amoniacal temporal que mejora la asimilación de N por la planta.

Tabla 5. Rendimientos de MS (kg MS/ha) y extracciones de N (kg N/ha) en la mazorca, parte verde y total para los diferentes tratamientos de fertilización en el maíz.

Trat.	Kg MS/ha			Kg N/ha		
	Mazorca	Parte Verde	Total	Mazorca	Parte Verde	Total
T1	4104c	3835c	7939c	34,6c	21,3c	55,9b
T2	7730a	6983a	14713a	73,0ab	52a	124,9a
T3	7327ab	6853ab	14180ab	76,5a	49,5ab	126,1a
T4	5855abc	4778bc	10633bc	57,5ab	32,7bc	89,9ab
T5	6279ab	5593ab	11872ab	64,0ab	41,9ab	105,8a
T6	6330ab	5815ab	12145ab	61,3ab	37,3abc	98,7a
T7	5456bc	4992bc	10448bc	51,4bc	34,0abc	85,4ab
T8	5994bc	5359abc	11353abc	61,6ab	39,0abc	100,6a
Media	6047	5437	11484	59,4	37,9	97,2
¹ Sig.	*	*	*	*	*	*

¹Sig.:*** (p<0,001); ** (p<0,01); * (p<0,05); ns, no sig. Para cada parámetro valores seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes a p<0,05 test de Duncan.

Tabla 6. Valor nutritivo de la mazorca.

Trat.	Mazorca, % MS							
	MO	PB	FAD	FND	DMO	CNET	CSA	ALM
T1	98,4a	5,3b	12,7	31,1	80,7bc	61,1	7,9	49,4
T2	98,2abc	5,9a	12,0	31,7	82,9a	59,7	6,9	52,0
T3	98,0c	6,5a	12,1	31,3	81,6ab	59,9	7,1	50,6
T4	98,1bc	6,1a	11,9	30,4	81,5ab	62,0	6,7	51,1
T5	98,0bc	6,4a	12,3	32,5	81,8ab	59,3	7,3	50,5
T6	98,1bc	6,1a	11,8	30,8	82,4a	61,0	6,9	51,6
T7	98,2ab	5,9a	14,3	34,9	79,5c	56,9	7,9	45,9
T8	98,0c	6,5a	11,5	31,1	82,3ab	61,7	7,1	52,0
Media	98,4	6,1	12,3	31,8	81,6	60,2	7,2	50,4
¹ Sig.	*	**	ns	ns	**	ns	ns	ns

MO: Materia Orgánica; PB: Proteína bruta; FAD y FND: Fibra ácido y neutro detergente; DMO: Digestibilidad de la MO in Vitro; CNET: Carbohidratos no estructurales totales; CSA: Carbohidratos solubles en agua; ALM: Almidón. ¹Sig.:*** (p<0,001); ** (p<0,01); * (p<0,05); ns, no sig. Para cada parámetro valores seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes a p<0,05 test de Duncan.

CONCLUSIONES

En un cultivo de raigrás italiano la incorporación del inhibidor DMPP con el purín de vacuno inyectado en aportes de otoño puede incrementar la producción y extracción de N en el corte efectuado al finalizar el invierno. Cuando se fertilizó con PV en otoño y NAC en primavera, el uso del inhibidor en el PV, en el NAC (estabilizado con DMPSA), o en ambos, incrementó los valores de recuperación aparente de N obtenidos con el tratamiento sin inhibidor. En lo que respecta al cultivo de maíz el uso de EN-TEC provocó ligeros incrementos en las recuperaciones aparentes de N. En ningún caso las diferencias productivas debidas al uso del inhibidor resultaron significativas estadísticamente. A la vista de los resultados, es conveniente ampliar el estudio con más de un ciclo de cultivo y, establecer la relación coste/beneficio valorando conjuntamente al aspecto productivo aquellos beneficios ambientales que pudieran derivarse de su utilización.

AGRADECIMIENTOS

A la “Xunta de Galicia, Consellería do Medio Rural e do Mar”, proyecto FEADER 2012/23. A Euro Chem Ago y PROGANDO por la colaboración y suministro de inhibidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FANGUEIRO D., FERNANDES A., COUTINHO J., MOREIRA N. Y TRINDADE H. (2009) Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40, 3387-3398.

ZERULLA W., BARTH T., DRESSEL J., ERHARDT K., LOCQUENGIEN K.H., PASDA G., RADLE M., WISSEMIER A.H. (2001) 3,4-Dimethyl phosphate (DMPP)-a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol Fertil Soils* 34, 79-94.