

红壤地区草-牛-沼生态系统中养分循环利用的研究

刘经荣 石庆华 谢国强 张美良*

(江西农业大学 南昌 330045)

摘要 在中度熟化的红壤岗地上采取种植黑麦草和玉米饲喂肉牛,牛粪尿沼气发酵后的沼肥与化肥配施养草的方式,并以单施化肥养草喂牛的方式为对照,进行 2a 试验研究草-牛-沼生态系统中的养分循环。结果表明,沼肥与化肥配施玉米植株的产量和养分积累量都高于单施化肥,而黑麦草都稍低于单施化肥,但由于配施沼肥可节省一半的化肥投入,其效益都很显著。牛对不同施肥的同种饲草中养分的消化率差异不显著,牛粪尿对养分的回收率也差异不明显,但不同种或同种而收获期不同的饲草消化率和回收率都差异明显。牛粪尿经沼气发酵后回收的养分量可节约饲草生产中近一半的化肥投入。且沼肥施用后土壤肥力得以保护和改善,为后续的饲草生产提供了较好的土壤条件,从而有利于养分循环利用。

关键词 红壤岗地 种草养牛 沼气发酵 沼肥配施 养分循环利用

Nutrient cycling and utilization in a forage cultivation-cattle raising-biogas fermentation ecosystem in red soil regions.

LIU Jing-Rong, SHI Qing-Hua, XIE Guo-Qiang, ZHANG Mei-Liang (Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China), *CJEA*, 2007, 15(2): 29~32

Abstract Rye grass and maize cultivated in mid-mellow hilly red soil were harvested to feed beef cattle. In the process of forage cultivation and cattle raising, two treatments were set, one of which was that forage was fertilized with chemical fertilizer only and was harvested to feed beef cattle (CK); another was that cattle feces and urine fermented in biogas pool was mixed with chemical fertilizer and the biogas-tank sludge, and applied to forage fields to grow animal feed. The results of two-year experiments show that the yield and nutrient accumulation of maize plants with the mixed application of biogas-tank sludge, are higher than those with chemical fertilizer only, but on the contrary, those of rye grass are lower. The application of mixed biogas-tank sludge can save chemical fertilizer by 1/2. There is little difference among cattle's digestion and recovery rate of nutrient of the same forage with different fertilization compositions, but there is significant difference among those of varieties and with different harvesting times of the forage. Most nutrients in the cattle's excrements can be recovered after biogas fermentation, saving about half of the input of the chemical fertilizer. The mixed application of biogas-tank sludge can maintain and improve the soil fertility, which provides better soil conditions for the sustainable production of forage.

Key words Hilly red soil, Forage cultivation and cattle raising, Biogas fermentation, Mixed application of biogas-tank sludge, Nutrient cycling and utilization

(Received Jan. 15, 2006; revised April 16, 2006)

我国南方红壤地区水热资源丰富,荒丘草坡分布广阔,随着农业产业结构的调整该地区种草养牛取得了迅猛发展。但产生的大量畜粪尿,如不进行无害化和资源化处理,不仅浪费资源,还可能造成环境污染^[1]。当前除了一些规模较大或畜牧业较为集中的地区有条件利用畜粪尿生产商品有机肥料外,在广大农村易于推行的方法是进行畜粪尿沼气发酵,用发酵后的沼肥肥地养草,达到无害化和资源化的双重目的。因此种草养牛地区,建立“草-牛-沼”生态系统具有十分广阔的应用前景。本研究着重探讨了 N、P、K、Ca 等营养元素在该生态系统中的循环利用效应。

1 材料和方法

饲草田间试验。供试土壤为中度熟化的红黏土红壤岗地,土壤质地重壤,pH 5.23,有机质 26.1g/kg,全 N 1.39g/kg,碱解氮 100.2mg/kg,有效磷 18.01mg/kg,速效钾 168.8mg/kg,交换性钙 677.1mg/kg。2 年连

* 中澳合作“种草养牛”项目(赣科发科学字 2001118)资助

收稿日期:2006-01-15 改回日期:2006-04-16

续轮种黑麦草(“赣选 1 号”,秋末播)和玉米(“油优 1 号”,夏初播),均设 2 个处理,其中 T₁ 为单施化肥,T₂ 为沼肥+化肥(按 N、P、K 计沼肥和化肥各一半)。小区面积 100m²,4 次重复,随机排列。按每 hm² 施 N150kg、P50kg、K150kg。化肥为尿素、氯化钾、钙镁磷肥。沼肥为沼液,平均含 N 0.53g/kg、P 0.15g/kg、K 0.47g/kg,其用量按全 N 含量计算,不足的 P、K 用化肥补足。除钙镁磷肥用作基肥外,尿素、氯化钾和沼肥均用作追肥。黑麦草冬前施用 1/3,春初施用 2/3,开花结实期和孕穗期收割喂牛。玉米于苗期和拔节期各追肥 1/2,初穗期收割喂牛。饲草收割时按小区测产,按处理采取植株地上部分混合样品,每年试后按处理采取耕层土壤混合样品,留待分析。

肉牛养殖。选择健康、体重相近的三元杂交公牛 6 头,分成 2 组,单栏饲养,每年分 2 期分别饲喂不同施肥处理的黑麦草和玉米植株,每期饲喂 1 周(饲养期中不配喂精料)。试验期中,在牛栏地面铺添双层地塑,将牛尿引入栏外桶中,并逐日分别记录采食量、牛粪和牛尿的排泄量,同时取样并冷藏处理留待测定。随牛尿带出的粪经取样离心机分离后计入牛粪中。结合生产将 6 头牛排出的粪尿,逐日全部投入同一沼气池内(20m³),同时计量牛粪尿的排泄量,按周定期取样冷藏,制成混合样品,留待进行养分测定。牛粪尿沼气发酵 3 个月后即供施用,每次施用时记录用量,同时取样留待测定。

饲草、牛粪、牛尿和沼肥均采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消化,蒸馏法测 N、钼黄法测 P、火焰光度法测 K,采用干式灰化-原子吸收分光光度法测 Ca。土壤交换性 Ca²⁺ 采用乙酸铵交换-原子吸收分光光度法测定。土壤有机质用外热重铬酸钾氧化法,土壤全 N 用开氏法,土壤有效磷用碳酸氢钠法,速效钾用乙酸铵交换-火焰光度法^[2]。

2 结果分析

2.1 不同施肥黑麦草和玉米植株的产量及养分的积累量

通过 2a 的试验(表 1)证明,黑麦草的产量和养分积累量均以单施化肥处理稍高,比配施沼肥增产 3.4%~4.7%。而玉米植株的产量和养分的积累量则以沼肥配施化肥较高,约增产 3.8%~10.6%。N、P、K、Ca 养分积累量均随产量的增加而不同程度地提高。增产原因与气候密切相关,因为黑麦草生长期大部分处于冬春低温时节,沼肥的供肥效率较化肥低,而玉米生长正处于夏季高温时节,有利于玉米对沼肥的吸收利用。同时沼肥含水量很高,养分全面,施用后既能减少夏季干旱不利的影响,又有利于对玉米营养的供应。因此,配施沼肥比单施化肥有利于玉米的生长。2003 年由于夏季长期高温干旱,玉米植株严重减产,不及头年的 1/2,其所积累的养分量减少的幅度更大,这与土壤在缺水条件下,根际土壤的养分状况恶化密切相关^[3]。但玉米茎叶的产量配施沼肥仍比单施化肥高出 10%以上。从资源的利用和经济效益看,即使配施沼肥黑麦草产量稍低,但由于节约了 1/2 的化肥投入,效益并未降低。种植玉米的效益则更高。

表 1 不同施肥对黑麦草和玉米植株产量及养分积累量的影响

Tab. 1 Effects of different fertilizers on yield and nutrient accumulation of rye grass and corn

年 份 Years	处 理 Treatments	干草 Dry grass		养分积累量/kg·hm ⁻² Nutrient accumulation				
		产量/kg·hm ⁻² Yield	相对产量/% Relative yield	N	P	K	Ca	
2002	黑 麦 草	T ₁	4331.3	100	65.08	14.16	95.56	24.92
		T ₂	4185.3	96.6	63.84	13.80	95.16	24.15
	玉 米 植 株	T ₁	5812.4	100	104.49	26.02	114.97	26.17
		T ₂	6034.5	103.8	107.42	26.51	117.44	27.39
2003	黑 麦 草	T ₁	4910.7	100	88.39	17.41	96.00	18.99
		T ₂	4680.0	95.3	81.81	17.08	91.09	18.96
	玉 米 植 株	T ₁	2613.1	100	38.85	9.95	42.22	15.29
		T ₂	2891.0	110.6	43.34	10.77	47.21	16.91

2.2 肉牛及其粪尿对饲草中养分的消化率和回收率

根据牛的日采食量、食入养分量、粪中排出的养分量,按照动物饲养学计算饲料消化率的公式^[4]:

$$\text{饲料中某营养成分的消化率}\% = \frac{\text{食入的某营养成分} - \text{粪中的某营养成分}}{\text{食入的某营养成分}} \times 100 \quad (1)$$

按上式计算出肉牛对饲草中 N、P、K、Ca 的消化率(表 2)。由表 2 可知肉牛对两种施肥处理的同种饲草

中的同种养分元素的消化率差异不显著,相差1%左右;而不同种的饲草,因为种质的差异其消化率差异明显。同种饲草由于收割期的不同,不仅养分的含量差异很大,而且牛对其中N、P、K的消化率的差异也很大,过于老熟的饲草消化率显著降低。如黑麦草开花结实期(2002年),其中N、P、K的消化率分别约为64%~65%、58%~60%和79%~80%,而孕穗期(2003年)分别约为81%~83%、68%~69%和83%~87%,前者比后者分别约降低18%、9.5%和5%。Ca的消化率受收割期的影响较小,这可能与其在生物体内活性较低有关。牛对黑麦草和玉米植株中4种营养元素的消化率都存在一个共同的趋势,即 $N \approx K > P > Ca$,这也可能是N、K在生物体内活性较大的影响。

表2 肉牛及其粪尿对黑麦草、玉米植株养分的消化率和回收率

Tab.2 Degestion rate and recovery rate of nutrients of cow to ray grass and corn

年 份 Years	处 理 Treatments		养分消化率/%				养分回收率/%			
			Degestion rate of nutrients				Recovery rate of nutrients			
			N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
2002	黑 麦 草	T ₁	64.71	58.02	79.85	49.80	80.01	44.71	70.53	50.97
		T ₂	63.87	60.21	80.41	49.07	82.04	42.25	68.14	51.67
	玉 米 植 株	T ₁	68.50	44.92	69.04	57.90	71.53	58.42	77.41	42.71
		T ₂	69.25	45.88	68.79	55.73	70.51	57.47	78.02	44.89
2003	黑 麦 草	T ₁	82.98	68.21	86.71	51.30	43.22	40.25	67.95	53.72
		T ₂	81.27	68.76	83.19	52.16	44.76	40.82	66.07	53.54
	玉 米 植 株	T ₁	72.10	56.87	65.35	49.29	46.06	43.36	78.43	61.70
		T ₂	72.22	55.31	62.54	47.69	44.80	44.95	80.59	63.07

牛粪尿对饲草中养分的回收率是指养分经牛消化吸收后残留在粪尿中的养分占饲草养分的百分比例。它不同于消化率,既包含未经消化吸收而残留在粪中的养分,又包含经消化吸收参加血液循环后随尿排出的养分^[8]。从表2也可以看出,牛粪尿对两种施肥处理的同种饲草中的同种养分元素的回收率都差异不大,但因收割期不同而差异很大,其效应除Ca外均与消化率正好相反。将试验中不同施肥处理的不同饲草的消化率和回收率,按养分元素分别进行相关分析,证明消化率和回收率呈显著或极显著的负相关,其r值($n=6$)N、P、K分别为 -0.8569^{**} 、 -0.7258^{*} 、 -0.9748^{**} ,说明两者存在不可分割相互关联。两年试验结果还证明,牛粪尿对不同饲草中4种养分元素的回收率虽互有高低,但多数都在50%左右,因此牛粪尿是一宗非常宝贵而巨大的肥料资源,其中特别是K素的回收率多在70%以上,我国钾肥矿藏资源贫缺^[5],这一特性显得更为重要。

2.3 牛粪尿沼气发酵养分的回收率和沼肥的改土效果

表3 牛粪尿沼气发酵后养分的回收率*

Tab.3 Recovery rate of nutrients in the cattle's excrements after biogas fermentation

养 分 Nutrients	牛粪尿养分量/kg Nutrients of excrements	沼肥养分量/kg Nutrients of biogas tank sludge	养分的回收率/% Recovery rate of nutrients
N	94.73	73.32	77.40
P	24.28	22.88	94.23
K	107.46	91.35	85.01
Ca	37.00	33.42	90.32

* 表中养分量为2003年6头牛的排泄物及其所产沼肥的养分量

回收率最高达60%以上,其余也都接近50%,也就是说采用沼气发酵一般可以就地节约饲草生产近一半的化肥投入,而K素节约可以超出6成。

沼肥回收了牛粪尿中大部分养分,其中养分全面、迟速兼备,能及时供应饲草生长的需要,促进饲草生长,且施入土壤后残留大于损失^[8],因而能保持或改善土壤肥力。从表4可见,经过2a试验,沼肥和化肥配

从表3可以看出牛粪尿经沼气发酵,其所含养分大部分都可以回收。根据2003年的计量和测定,6头牛的排泄物共计39420kg,发酵后沼肥对P、K、Ca的回收率均在85%以上,N亦达77.4%,而堆肥发酵方法要损失一半^[6],其中N、P、K的回收率与有关报道基本一致^[7]。结合牛粪尿对饲草养分的回收率(平均值),计算饲草-牛粪尿-沼肥系统中养分的总回收率,N、P、K、Ca分别为46.72%、43.85%、62.83%和47.69%,其中K的

施的土壤有机质、全 N 和速效钾与试前土壤基本保持平衡或略有增长,碱解氮和有效磷亦略有增长,交换性钙显著增长,土壤 pH 值略有提高,而单施化肥各项土壤养分指标均比沼肥配施化肥处理低。由于配施沼肥土壤中养分得以平衡或增长,为后季饲草生产提供了较好的土壤养分基础,从而进一步促进了养分的循环利用。

表 4 土壤养分的变化

Tab.4 Changes of nutrients in soil after the application of chemical fertilizer and its mixture with biogas-tank sludge

处 理 Treatments	有机质 /g·kg ⁻¹ Organic matter	全 N /g·kg ⁻¹ Total N	碱解氮 /mg·kg ⁻¹ Alk. hydr. N	有效磷 /mg·kg ⁻¹ Available P	速效钾 /mg·kg ⁻¹ Available K	交换性钙 /mg·kg ⁻¹ Exchange- able Ca	pH (H ₂ O)	
试前	26.10	1.39	100.2	18.0	168.8	677.1	5.23	
2002 年	T ₁	23.51	1.30	100.7	14.7	146.3	574.5	5.05
	T ₂	26.00	1.39	100.8	18.3	168.6	863.0	5.37
2003 年	T ₁	23.70	1.35	108.2	15.9	155.0	603.2	5.10
	T ₂	26.52	1.43	110.0	18.6	169.6	885.4	5.41

3 小 结

2 年的试验证明黑麦草的产量均以单施化肥处理稍高(增产 3.4%~4.7%),而玉米产量则以沼肥和化肥配施较高(增产 3.8%~10.6%),其养分积累量均随产量提高而不同程度增加。从资源利用和效益看,即使配施沼肥处理的黑麦草产量稍低,但因节约了 1/2 的化肥,其效益仍是可观的。牛对不同施肥处理的同一种饲草养分的消化率差异不大,而不同种饲草间差异明显。同种饲草收割期不同,其养分含量和消化率的差异亦很大。牛粪尿对不同处理的同一种饲草养分的回收率也差异不大。不同种饲草养分的回收率差异较明显。同种饲草因收割期不同其养分回收率差异很大,且与消化率正好相反。经相关分析,牛对饲草养分的消化率和牛粪尿对饲草养分的回收率呈显著或极显著的负相关。肉牛排泄的粪尿经沼气发酵,其回收的养分可节约饲草生产近一半的化肥投入。且施用沼肥后,土壤肥力得以保持和改善,为后续的饲草生产提供了好的土壤条件。

参 考 文 献

- 1 李 远,单正军,徐德徽.我国畜禽养殖业的环境影响与管理政策初探.中国生态农业学报,2002,10(2):136~138
- 2 鲁如坤.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,2000.147~197
- 3 李春俭.土壤与植物营养研究新动态(第四卷).北京:中国农业出版社,2001.24~29
- 4 韩友文.饲料与饲养学.北京:中国农业出版社,1997.12
- 5 李庆远,朱兆良,于天仁.中国农业持续发展的肥料问题.南昌:江西科学技术出版社,1999.158~160
- 6 刘更另,金维续.中国有机肥料.北京:农业出版社,1991.87~95
- 7 刘经荣,张德远,吴建福,等.稻田养分循环利用模式的研究.江西农业大学学报,1995,17(2):105~109,115
- 8 Liu J.R., Ten Berge H.M., Zhang M.L., et al. Nitrogen cycling in an ecological farming system of milk vetch culture-pig-raising-biogas fermentation-rice culture. Plant Production Science, 2002, 5(1): 65~70