

不同牛粪施用量对矮象草产草量、营养物质含量及干物质降解率的影响

何余湧¹, 石庆华², 谢国强¹

(¹江西农业大学动物科学技术学院, 南昌 330045; ²江西农业大学农学院, 南昌 330045)

摘要: 【目的】阐明不同牛粪施用量对矮象草产量、营养物质含量及干物质降解率的影响, 旨在通过合理施用牛粪提高矮象草的营养价值、降低牛粪中氮、铁、锌和铜等物质对环境的污染。【方法】试验设置不施牛粪(0 kg 鲜牛粪/10 kg 土)、低量牛粪(3 kg 鲜牛粪/10 kg 土)和高量牛粪(6 kg 鲜牛粪/10 kg 土)3组处理, 采用盆栽试验和肉牛瘤胃降解试验测定了在不同牛粪施用量下矮象草的产草量、营养物质含量及营养物质降解率的变化。【结果】施用低量和高量牛粪均能极显著的($P < 0.01$)提高矮象草的茎和叶干物质产量, 其中茎干物质产量分别比不施牛粪提高45.5%和54.5%, 叶干物质产量分别提高85.7%和121.4%; 施用低量和高量牛粪矮象草叶蛋白质含量和中性洗涤纤维含量也显著地($P < 0.05$)高于不施牛粪, 其中叶蛋白质含量分别提高13.3%和20.9%。矮象草植株中锌和铜累积能力均表现为: 根>叶>茎。有机物在瘤胃内尼龙袋中的降解率随牛粪施用量的增加和在瘤胃内的停留时间的延长而增加。【结论】增加牛粪施用量可提高矮象草的产草量、营养物质含量及干物质在瘤胃内的降解率, 从而提高矮象草的饲用价值, 减少日粮中蛋白质饲料和微量元素添加剂的使用量, 但牛粪的适宜施用量还有待于进一步深入研究。

关键词: 牛粪施用量; 矮象草; 产草量; 营养价值; 降解率

Study on the Effect of Different Application Rate of Beef Cattle Feces on Yields and Nutrients Level of Dwarf Elephant Grass and on the Degradation Rate of Dry Matter

HE Yu-yong¹, SHI Qing-hua², XIE Guo-qiang¹

(¹College of Animal Science and Technology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

²College of Agriculture Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: 【Objective】 An experiment was conducted to study the effect of different application rate of fresh cattle feces on dwarf elephant grass yield, nutrients content and dry matter degradation rate in order to find a measure to increase nutritive values of dwarf elephant grass and decrease the pollution of nitrogen, ferrus, zinc and copper of feces on environment by the way of reasonable application with cattle feces.【Method】Dwarf elephant grass was treated with fresh beef cattle feces at three application rates: control, low application rate (3 kg fresh cattle feces/10 kg soil) and high application rate (6 kg fresh cattle feces/10 kg soil), respectively. The effect of cattle feces on yield, nutrients content and dry matter degradation rate of dwarf elephant grass was studied, the trial of planting dwarf elephant grass was carried out with plastic pot and the trial of degrading dry matter in rumen with nylon bag. 【Result】 These results indicated that low and high application rates of fresh cattle feces significantly ($P < 0.01$) increased the dry matter yield of stem and leaf, the yield of stem dry matter was 45.5% and 54.5% higher than that of control, the yield of leaf dry matter was 87.5% and 121.4% higher than the control, respectively. Low and high application rates of fresh cattle feces significantly ($P < 0.05$) increased the level of leaf protein and neutral detergent fibre of dwarf elephant grass, the content of leaf protein in two

收稿日期: 2007-01-25; 接受日期: 2007-06-28

基金项目: 中澳国际合作项目(AS9835)

作者简介: 何余湧(1969-), 男, 江西上犹人, 副研究员, 研究方向为动物营养与牧草资源开发利用。Tel: 0791-3813510; E-mail: hyy1012@tom.com。通讯作者谢国强(1964-), 男, 江西都昌人, 研究员, 研究方向为牧草育种、栽培和利用。Tel: 0791-3813510; E-mail: Guoqingxie@163.com

application rates was 13.3% and 20.9% higher than that of control, respectively. The ability of accumulating Zn and Cu ranked as follows: root>leaf>stem. Degradation rate of dry matter increased with the increase of application rate of feces and duration of sample in rumen. 【Conclusion】 The yield, nutrient contents and dry matter degradation rate of dwarf elephant grass increased with the application rate of feces increased, much more works are still needed to be done for the optimum application rate of feces used for planting dwarf elephant grass. To plant dwarf elephant grass with cattle feces is a good method of increasing the level of N, Zn and Cu of dwarf elephant grass and alleviating pollution of feces to environment.

Key words: Application rate of cattle feces; Dwarf elephant grass; Yield; Nutritive value; Degradation rate

0 引言

【研究意义】随着饲料工业及畜牧业的快速发展,动物排泄物污染环境的状况日趋严重,特别是排泄物中的氮、磷、铁、锌和铜对环境的污染尤为严重。因上述物质污染的环境效应具有长期累积性,当它们在环境中积累到一定程度时,不仅会导致土壤退化,农作物产量和品质下降,而且还可以通过径流、淋失作用污染地表水和地下水,对生态环境造成极大的危害。为此,许多科研工作者都在积极探索防止和解决动物排泄物污染环境的新思路和办法^[1~7]。矮象草(*Pennisetum purpureum*)是一种适于红壤地区种植的禾本科优质高产新饲草品种,在发展节粮型草地畜牧业中有很大的作用^[8,9],叶量大,一般占到总量的60%~75%,每公顷产鲜草75~180 t。其主要特点有:分蘖多,再生能力强,产量高;品质好,叶量多,饲喂效果好;适应性广,抗逆性强;多年生,多年利用;覆盖强度大,密封地面快,拦截泥沙能力强,种植后,在较短时间内就能起到固土保水、保堤护坡,防淤减积的作用。【前人研究进展】研究发现利用矮象草并添加一定量的精料饲喂杂交肉牛,可获得较理想的日增重和经济效益^[10,11],同时,矮象草在矿山废弃地植被的恢复与重建中表现良好^[12]。【本研究切入点】目前,对人工建植牧草的营养价值、生产能力、元素含量和积累特征及相关性等已均有研究^[13~15],但有关不同营养素施用量对矮象草产草量及营养物质含量的影响报道不多。【拟解决的关键问题】采用盆栽试验和肉牛瘤胃降解试验研究不同牛粪施用量对红壤地上矮象草产量、营养物质含量及干物质降解率的影响并探索如何在矮象草的种植过程中通过合理施用牛粪来提高矮象草的营养价值并降低牛粪中氮、铁、锌和铜这4种物质对环境的污染。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在江西农业大学百喜草基础园和百喜草果园进行,该地地处江西省的中北部,距南昌7 km左右,东经116°00',北纬28°22'。土壤为第四纪红壤,含全氮1.18 g·kg⁻¹、全磷(P₂O₅)0.41 g·kg⁻¹、全钾(K₂O)15.73 g·kg⁻¹、有效P 4.83 mg·kg⁻¹、速效钾58.59 mg·kg⁻¹,土壤pH(水)为5.30。气候属典型亚热带季风气候,表现为降雨量丰富,但周年分布不均,无霜期长,有效积温高,冬季天寒风猛,夏季高温干旱,春季湿润多雨,夏秋连续干旱等特点,无霜期280 d,降雨量1596.4 mm,70%集中在春季和春夏之交季节,日照时数为1903.9 h·a⁻¹,≥10°C有效积温为5569.1°C。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组设计,3处理,5重复。3处理分别为不施牛粪(CK)、低量牛粪(3 kg 鲜牛粪/10 kg 土)和高量牛粪(6 kg 鲜牛粪/10 kg 土)。

1.3 试验材料的准备

试验前在江西农业大学果园旁取153 kg红壤土,将土样搅拌、混匀,分别称取处理后的土样10 kg于15只塑料桶(直径为32.0 cm、高33.5 cm)中,剩余的土样放入105°C烘箱烘干至衡重,经研磨后过2 mm尼龙筛,收集土壤样品,待测。

1.4 不同施肥水平下矮象草产草量研究

于2005年4月3日将15个装有10 kg土的塑料桶随机分成3组,采用抽签的方式随机确定3组桶的处理情况。对照组不施牛粪,低量组每桶施3 kg牛粪,高量组施6 kg牛粪,将牛粪和泥土混合均匀,每桶种二节矮象草种茎。鲜牛粪的营养成分见表1。试验期间除定时浇水外,不施任何肥料。

当矮象草生长到100 cm时进行刈割、称重,然后将矮象草的茎、叶进行分离并分别称重,分别记录

表1 鲜牛粪中营养物质含量

Table 1 Composition of fresh cattle feces (mg·kg⁻¹)

干物质 DM	氮 N	铁 Fe	铜 Cu	锌 Zn
167000	39601	1093.8	131.7	81.8

茎、叶的重量。最后一次刈割后，分别将试验组和对照组矮象草的根从桶中取出，除去泥土后称重。在整个试验期间，不施牛粪组矮象草刈割了 3 次，低量和高量牛粪组矮象草各刈割了 4 次。

1.5 土壤和牧草成分分析

1.5.1 样品处理 每次刈割后分别对茎、叶进行取样，先用自来水冲洗，再用去离子水洗净，烘干，用不锈钢粉碎机粉碎，收集样品，待测。

1.5.2 分析测试项目及方法 分析测试项目为干物质、氮、磷、钙、粗纤维、中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、铁、锌、铜和干物质降解率。土壤样品采用 HNO_3 - HCl - HClO_4 - HF 四酸消煮法，待测液中铁、铜、锌的测定采用原子吸收分光光度法（火焰法或石墨炉法）。植物样品铁、铜、锌的测定采用原子吸收分光光度法（火焰法或石墨炉法），常规营养物质的分析方法按国家饲料标准规定的方法进行^[16]，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的测定按《饲料分析及饲料质量检测技术》中的方法进行^[17]。

1.6 干物质降解率测定

选用 3 头装有瘻管的杂交肉牛进行干物质在瘤胃内的降解率研究试验，用尼龙袋法进行测定^[18]。

1.7 数据处理

用 SAS 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同牛粪施用量对矮象草平均产量的影响

表 2 数据表明，不同牛粪施用量对矮象草茎、叶产量影响较大，随牛粪施用量的增加，叶片比例增加。

低量和高量牛粪组茎的干物质产量分别极显著地 ($P < 0.01$) 高于不施牛粪组茎的干物质产量，而低量和高量牛粪组之间茎的干物质产量差异不显著 ($P > 0.05$)；高量牛粪组叶的干物质产量显著地 ($P < 0.05$) 高于低量牛粪组，低量和高量牛粪组叶的干物质产量分别极显著地 ($P < 0.01$) 高于不施牛粪组。

表 2 不同牛粪施用量对矮象草平均产量的影响

Table 2 Effect of different application rates of fresh cattle feces on the average yields of dwarf elephant grass

鲜牛粪施用量 Application rate of fresh cattle feces (kg/10 kg soil)	干物质重 Yield of drymatter (kg)		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
0	0.06±0.01a	2.2±0.06B	2.8±0.02Bc
3	0.06±0.02a	3.2±0.02A	5.2±0.01Ab
6	0.07±0.01a	3.4±0.05A	6.2±0.01Aa

相同字母间差异不显著 ($P > 0.05$)，不同字母间差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母间差异极显著 ($P < 0.01$)。下同
Same letters marked showing the difference is not significant ($P > 0.05$); different non-capitalized letters showing the difference of 5% level ($P < 0.05$); different capitalized letters showing the difference of 1% level ($P < 0.01$). The same as below

2.2 不同牛粪施用量对矮象草中营养物质平均含量的影响

表 3 数据表明，根和茎的粗蛋白含量各处理间差异不显著 ($P > 0.05$)，叶的粗蛋白含量低量和高量牛粪组显著地 ($P < 0.05$) 高于不施牛粪组、低量和高量牛粪组之间差异不显著 ($P > 0.05$)。这说明，在所设置的牛粪施用量范围内，随着牛粪施用量的增加，矮象草中氮的含量趋向于增加。

表 3 不同牛粪施用量处理中矮象草营养物质平均含量

Table 3 The average content of nutrients of dwarf elephant grass applied with different rates of fresh cattle feces (%)

项目 Item	牛粪施用量 Application rate of fresh cattle feces (kg/10kg soil)								
	0			3			6		
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
干物质 DM	12.70±0.10 a	15.20±0.22 a	12.90±0.18 a	11.90±0.31 a	14.40±0.10 a	12.60±0.20 a	11.40±0.05 a	13.50±0.09 a	11.90±0.12 a
粗蛋白 CP	3.30±0.03 a	3.60±0.17 a	10.50±0.21 b	3.50±0.10 a	3.80±0.32 a	11.90±0.19 a	3.80±0.13 a	4.20±0.10 a	12.70±0.20 a
粗纤维 CF	34.60±0.23 a	32.70±0.17 a	31.50±0.22 a	34.20±0.16 a	32.30±0.20 a	30.70±0.03 a	33.70±0.20 a	31.20±0.08 a	30.30±0.27 a
中性洗涤纤维 NDF	50.40±0.14 a	53.20±0.21 c	59.60±0.06 b	49.50±0.19 a	54.70±0.23 b	60.10±0.07 a	50.80±0.01 a	56.30±0.12 a	60.80±0.26 a
酸性洗涤纤维 ADF	42.70±0.31 a	41.50±0.24 a	39.80±0.13 b	42.30±0.26 a	40.90±0.18 a	39.70±0.06 b	43.00±0.07 a	40.20±0.22 a	38.50±0.19 a
钙 Ca	0.54±0.04 a	0.46±0.20 a	0.41±0.17 a	0.50±0.15 a	0.50±0.04 a	0.39±0.17 a	0.48±0.11 a	0.48±0.17 a	0.40±0.02 a
磷 P	0.24±0.01 a	0.27±0.08 a	0.28±0.01 a	0.22±0.10 a	0.23±0.08 a	0.32±0.01 a	0.27±0.10 a	0.33±0.08 a	0.34±0.02 a

2.3 氮、铁、锌、铜在土壤和矮象草中的含量分布

表 4 结果表明, 种植矮象草后对照组土壤各种营养素的含量均降低, 低量和高量牛粪组土壤中除氮素含量增加外, 其它营养素均表现为降低趋势; 随着牛

粪施用量的增加, 根中铁的含量呈下降趋势, 锌、铜含量则呈上升趋势; 茎和叶中锌、铜含量也分别呈上升趋势, 铁的含量总体呈下降趋势。根、茎、叶累积锌和铜的能力均表现为: 根>叶>茎。

表 4 氮、铁、锌、铜在土壤和矮象草中的含量

Table 4 Contents of N, Fe, Zn and Cu in dwarf elephant grass and soil (mg·kg⁻¹)

项目 Item	牛粪施用量 Application rate of fresh cattle feces (kg/10 kg soil)											
	0				3				6			
	氮 N (mg·kg ⁻¹)	铁 Fe (mg·kg ⁻¹)	锌 Zn (mg·kg ⁻¹)	铜 Cu (mg·kg ⁻¹)	氮 N (mg·kg ⁻¹)	铁 Fe (mg·kg ⁻¹)	锌 Zn (mg·kg ⁻¹)	铜 Cu (mg·kg ⁻¹)	氮 N (mg·kg ⁻¹)	铁 Fe (mg·kg ⁻¹)	锌 Zn (mg·kg ⁻¹)	铜 Cu (mg·kg ⁻¹)
种植前土壤 Soil before plantation	1344	25147	263	171	1344	25147	263	171	1344	25147	263	171
牛粪 Feces	-	-	-	-	19840	548	66	41	39680	1096	133	82
种植后土壤 Soil after plantation	385	17489	157	98	8369	17962	216	133	11362	18136	241	172
根 Root	5274	1436	19	15	5589	1340	23	17	6054	1282	28	23
茎 Stem	5997±0.03a	361±0.08a	14±0.10a	11±0.01a	6011±0.07a	332±0.04a	18±0.03a	14±0.05a	6710±0.02a	587±0.02a	26±0.05a	17±0.02a
叶 Leaf	16800±0.02a	438±0.07a	17±0.08a	12±0.01a	19035±0.06a	402±0.02a	26±0.02a	18±0.07a	20311±0.01a	377±0.02a	30±0.05a	21±0.04a

2.4 干物质降解率

表 5 数据表明, 随着牛粪施用量的增加, 茎中干物质在瘤胃内尼龙袋中的降解率增加, 叶中干物质的降解率也表现同样的趋势。

表 5 干物质的降解率

Table 5 Degradation rate of dry matter in rumen (%)

牛粪施用量 Application rate of fresh cattle feces (kg/10 kg soil)	停留时间 Incubation time	干物质降解率 DM (%)	
		茎 Stem	叶 Leaf
0	24h	27.7±0.02a	33.6±0.05c
	48h	49.1±0.08b	65.2±0.01c
3	24h	28.5±0.05a	36.2±0.01ab
	48h	52.7±0.01a	67.7±0.10b
6	24h	29.2±0.01a	37.4±0.09a
	48h	53.5±0.04a	70.1±0.06a

3 讨论

3.1 试验表明, 开发红壤荒地进行牧草生产, 必须施肥, 只有施入适量的 N、P、K、Mg、Zn 及 Cu 等才可维持牧草的持续高产, 合理的施肥可以满足牧草对养分的需求, 提高牧草产量, 改善牧草品质, 使其质嫩、叶片多、蛋白质含量高, 适口性好, 结果与徐明

岗等^[19]、李德荣等^[20]、宁堂元^[21]的研究结果相一致。

3.2 蛋白质含量是评价禾本科牧草饲用价值的一个重要指标, 禾本科牧草没有固氮能力, 完全依靠其根系从土壤中吸收氮素来维持它们生长发育所需要的氮素, 故生产中常需要施入氮肥以提高禾本科牧草中的蛋白质含量^[22-24]。牛粪中含有较高的氮, 是一种很好的有机肥, 种植矮象草时施用一定量的牛粪可改善土壤中的氮营养, 从而提高矮象草中的氮含量。

3.3 中性洗涤纤维是瘤胃内产生挥发性脂肪酸的主要底物, 是防止瘤胃内淀粉迅速发酵的一种有效缓冲剂, 可刺激咀嚼和反刍并促进唾液分泌增加。试验结果表明: 低量和高量牛粪组的中性洗涤纤维含量分别显著地 ($P<0.05$) 高于不施牛粪组, 高量牛粪组茎的中性洗涤纤维含量显著地 ($P<0.05$) 高于低量牛粪组, 而低量牛粪组茎的中性洗涤纤维含量又显著地 ($P<0.05$) 高于不施牛粪组。低量和高量牛粪组地上部分的酸性洗涤纤维含量显著地低于 ($P<0.05$) 不施牛粪组。这说明提高牛粪施用量可增加矮象草地上部分的中性洗涤纤维含量。

3.4 南方红壤是在高温多雨气候下形成的具有明显脱硅富铝化特征的土壤, 土壤风化淋溶强烈, 矿物质元素大量淋失, 有机质强烈分解, 使牧草赖以生存的 N、P 和矿物质养分如 K、Ca、Mg、Cu、Zn 等大量损失,

通过施粪肥可提高土壤中磷等营养素的含量^[25], 从而改善土壤肥力。

土壤中氮、磷、铁、锌和铜这些养分的缺乏, 不但直接使牧草的生长期发育受阻, 产草量下降, 而且导致牧草的品质变差, 矿质元素贫乏, 进一步影响到牲畜的生产力和繁殖力。

本试验表明, 随着牛粪施用量的增加, 土壤中氮、铁、锌和铜的含量相应增加, 这说明土壤肥力得到了改善, 肥力的提高可显著提高矮象草的产量(表 2), 同时也提高了矮象草中氮、铁、锌和铜的含量(表 4), 从而直接提高了矮象草的营养价值及饲喂价值。在本试验牛粪施用量范围内, 随着牛粪施用量的增加, 收割矮象草后土壤中上述各种营养素的含量均增加, 但与种植前比较, 除氮的含量明显增加外, 其它各种营养素均表现不同程度的减少或持平, 说明种植矮象草后能带走牛粪中所含有的微量元素, 从而避免这些微量元素在土壤中富集而引起环境污染。每年大量施用牛粪, 土壤肥力会得到提高, 但也会对环境造成污染, 特别是氮素污染所引起的水体富营养化, 今后将进行牛粪适宜施用量的研究。

3.5 提高牛粪施用量可提高矮象草的产草量、营养物质含量和干物质在瘤胃内的降解率, 但牛粪中铁、铜和锌经粪-草-牛生产链后在牛肉产品中的沉积情况还有待于进一步深入研究。

4 结论

4.1 牛粪是一种很好的肥料, 它不仅含有较高的氮元素, 还含有矮象草生长所需的锌和铜等微量元素, 能弥补红壤地中这些营养素的不足, 满足矮象草的生长所需的营养物质。

4.2 使用牛粪作肥料种植矮象草, 可降低牛粪中氮、锌和铜对环境的污染, 提高牧草中氮、锌和铜的含量, 从而提高矮象草的饲用价值, 减少日粮中蛋白质饲料和微量元素添加剂的使用量, 获得较好的经济效益和生态效益, 但牛粪的的适宜施用量还有待于进一步深入研究。

References

[1] 倪才英, 陈英旭, 骆永明. 土壤-植物系统铜污染与修复的研究进展. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(3): 237-243.
Ni C Y, Chen Y X, Luo Y M. Recent advances in research on copper pollution and remediation of soil-plant system. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2003, 29(3): 237-243. (in

Chinese)
[2] 曾悦, 洪华生, 陈伟琪, 郑域. 畜禽养殖区磷流失对水环境的影响及其防治措施. 农村生态环境, 2004, 20(3): 77-80.
Zeng Y, Hong H S, Chen W Q, Zheng Y. Impact of phosphorus loss on water environment in intensive livestock rearing areas and the countermeasures. *Rural Eco-environment*, 2004, 20(3): 77-80. (in Chinese)
[3] 张怀渝, 王化新, 吴素琼, 任光燥, 杨正清, 陈志渝. 微量元素锌在土壤-植物-动物生态系统中的循环转移与利用 I. 微量元素锌在土壤植物系统中的转移与再利用. 四川农业大学学报, 1999, 17: 374-377.
Zhang H Y, Wang H X, Wu S Q, Ren G Z, Yang Z Q, Chen Z Y. Study on transfer and reutilization for microelement zinc in plant-soil ecosystem. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1999, 17: 374-377. (in Chinese)
[4] 廖新伟, 骆世明, 吴银宝, 汪植三. 人工湿地植物筛选的研究. 草业学报, 2004, 13(5): 39-45.
Liao X D, Luo S M, Wu Y B, Wang Z S. Plant selection for constructed wetlands. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(5): 39-45. (in Chinese)
[5] Hunt P G, Matheny T A, Szogi A A. Denitrification in constructed wetlands used for treatment of swine wastewater. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 2: 727-734.
[6] Choi E, Kim D, Eum Y, Yun Z, Min K. Full-scale experience nitrogen removal from piggery waste. *Water Environment Research*, 2005, 4: 381-389.
[7] Quinn B. Tackling animal waste. *Pollution Engineering*, 2002, 4: 36-37.
[8] 沈子仪. 发展草食家畜和鱼的宝草--矮象草. 江西农业科技, 1995, (5): 38.
Shen Z Y. Dwarf elephant grass—the best feed of developing ruminant and fish. *Jiangxi Agricultural Technology*, 1995, (5): 38. (in Chinese)
[9] 任继周. 节粮型草地畜牧业大有可为. 草业科学, 2005, 22(7): 44-48.
Ren J Z. The great potential of the model of saving food grassland animal husbandry. *Pratacultural Science*, 2005, 22(7): 44-48. (in Chinese)
[10] 何余湧, 谢国强, 石庆华, 程树芳. 矮象草补充不同比例米糠和棉粕对生长肥育牛生产性能和经济效益影响的研究. 草业科学, 2006, 23(4): 59-62.
He Y Y, Xie G Q, Shi Q H, Cheng S F. Study on the growth of beef bulls offered dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum*) supplemented with or without crop by-products (rice bran and or cottonseed meal). *Pratacultural Science*, 2006, 23(4): 59-62. (in Chinese)

- [11] 谢国强, 何余湧, 程树芳, 石庆华. 几种热带牧草喂肉牛效果的研究. *中国草地学报*, 2006, 28(1): 51-53.
Xie G Q, He Y Y, Cheng S F, Shi Q H. The nutritive value of four improved tropical forages for smallholder farming systems in the red-soils region of southern China. *Chinese Journal of Grassland*, 2006, 28(1): 51-53. (in Chinese)
- [12] 杨 修, 高 林. 德兴铜矿矿山废弃地植被恢复与重建研究. *生态学报*, 2001, 21(11): 1932-1940.
Yang X, Gao L. A study on re-vegetation in mining wasteland of Dexing Copper Mine, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1932-1940. (in Chinese)
- [13] 袁 敏, 铁柏清, 唐美珍, 孙 健. 四种草本植物对铅锌尾矿土壤重金属的抗性 with 吸收特性研究. *草业学报*, 2005, 14(6): 57-62.
Yuan M, Tie B Q, Tang M Z, Sun J. Resistance and uptake of heavy metals by four herbaceous plants from soil polluted lead / zinc mine tailings. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(6): 57-62. (in Chinese)
- [14] 杜占池, 樊江文, 钟华平. 红三叶和鸭茅矿质元素含量的相关性研究. *草业学报*, 2005, 14(6): 34-40.
Du Z C, Fan J W, Zhong H P. The correlation of mineral element contents in *Trifolium pratense* and *Dactylis glomerata*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(6): 34-40. (in Chinese)
- [15] 杜占池, 钟华平. 红三叶人工草地群落营养元素积累量的分配与动态特征. *草业科学*, 2002, 19(6): 24-26.
Du Z C, Zhong H P. The characteristics of allocation and dynamic on accumulated amount of nutrient elements in community of *Trifolium pratense* sown grassland. *Pratacultural Science*, 2002, 19(6): 24-26. (in Chinese)
- [16] 中国标准出版社第一编辑室. 中国农业标准汇编·饲料卷. 北京: 中国标准出版社, 2001: 92-113.
China Standard Publishing Company. *Collection of China Agriculture Standard (Feed Volume)*. Beijing: The Standard Publish House of China, 2001: 92-113. (in Chinese)
- [17] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 66-70.
Zhang L Y. *Technique of Feed Analysis and Feed Quality Inspection*. Beijing: China Agricultural University Press, 2005: 66-70. (in Chinese)
- [18] Olaisen V, Mejdell T, Volden H, Nesse N. Simplified *in situ* method for estimating ruminal dry matter and protein degradability of concentrates. *Journal of Animal Science*, 2003, 2: 520-528.
- [19] 徐明岗, 张久权, 文石林. 南方红壤丘陵区牧草的肥料效益与施肥. *草业科学*, 1997, 14(6): 21-23.
Xu M G, Zhang J Q, Wen S L. The fertilizer effects and fertilization of herbage in red soil hilly regions of southern China. *Pratacultural Science*, 1997, 14(6): 21-23. (in Chinese)
- [20] 李德荣, 舒俭民, 程建峰, 董闻达, 梅宗焕, 刘柏根. 氮磷钾配施对百喜草干物质积累及其动态变化的影响. *草业学报*, 2005, 13(5): 60-65.
Li D R, Shu J M, Cheng J F, Dong W D, Mei Z H, Liu B G. Effects of N, P, K and their combinations on dry matter accumulation of *Paspalum notatum*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 13(5): 60-65. (in Chinese)
- [21] 宁堂元, 苏 琳, 焦念元, 曹铭忠, 赵 春, 李增嘉. 不同施氮水平下春夏玉米套作对全株饲用营养价值的影响. *中国农业科学*, 2006, 39: 2042-2047.
Ning T Y, Su L, Jiao N Y, Cao M Z, Zhao C, Li Z J. Effects of relay intercropping of spring-sown and summer-sown maize on the nutritive values of whole-crop forage at different nitrogen levels. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39: 2042-2047. (in Chinese)
- [22] 赵俊晔, 于振文. 施氮量对小麦强势和弱勢籽粒氮素代谢及蛋白质合成的影响. *中国农业科学*, 2005, 38: 1547-1554.
Zhao J Y, Yu Z W. Effects of nitrogen fertilizer rate on nitrogen metabolism and protein synthesis of superior and inferior wheat kernel. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 1547-1554. (in Chinese)
- [23] 钟小仙, 江海东, 顾洪如. 氮肥水平和刈割间隔对杂交狼尾草根活力和粗蛋白含量的影响. *草业学报*, 2005, 13(6): 60-64.
Zhong X X, Jiang H D, Gu H R. Effect of nitrogen fertilizer application and defoliation intervals on root vigour and crude protein in hybrid *Pennisetum*. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 13(6): 60-64. (in Chinese)
- [24] Burner D M, Mackown C T. Nitrogen effects on herbage nitrogen use and nutritive value in a meadow and loblolly pine alley. *Crop Science*, 2006, 3: 1149-1155.
- [25] Toth J D, Dou Z X, Ferguson J D, Galligan D, Ramb C F. Nitrogen-vs. phosphorus based dairy manure application to field crop: nitrate and phosphorus leaching and soil phosphorus accumulation. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 6: 2302-2312.

(责任编辑 吴晓丽, 郭银巧)