

苏丹草-黑麦草轮作中不同施肥措施对饲草产量及土壤性质的影响

李小坤¹, 鲁剑巍^{1*}, 陈防², 李文西¹, 赵慧星¹

(¹ 华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070; ² 中国科学院武汉植物园, 湖北武汉 430074)

摘要: 在盆栽试验条件下研究了苏丹草-黑麦草轮作中不同施肥措施对饲草产量、养分吸收及土壤性质的影响。结果表明: 各施肥处理均可显著提高饲草产量, 整个轮作期, 单施化肥(NPK)、石灰和化肥配施(NPK + Lime)、有机肥和化肥配施(NPK + OM)处理的鲜草产量分别比不施肥处理(CK)增加6.1倍、6.8倍和7.3倍; 在化肥基础上配合施用石灰和有机肥, 鲜草分别增产9.5%和17.2%。养分吸收结果显示, 不同施肥处理明显提高饲草N、P、K含量并促进饲草对养分的吸收。土壤养分分析结果表明, 与CK及NPK处理相比, 增施石灰和有机肥提高酸性土壤pH值, 促使其向中性靠近; 在NPK基础上配合施用石灰, 轮作结束时土壤有效钙含量比NPK处理提高了20.7%, 有效铁和有效锰含量降低了26.5%和41.2%; 在NPK基础上增施有机肥, 能显著提高了壤中的N、P、K养分含量。

关键词: 饲草轮作; 化肥; 石灰; 有机肥; 产草量; 养分吸收; 土壤性质

中图分类号: S156.2; S344.14; S812.4 文献标识码: A 文章编号: 1008-505X(2008)02-0581-06

Effects of different fertilization treatments on forage yield and soil properties in sudangrass-ryegrass rotation

LI Xiao-kun¹, LU Jian-wei^{1*}, CHEN Fang², LI Wen-xi¹, ZHAO Hui-xing¹

(¹ Resources and Environment College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

² Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Sudangrass and ryegrass rotation was adopted and developed as a new cultivation technique in many pisciculture regions in south China. Because cultivated soil had low pH, poor soil fertility and extensive cultivation with poor soil management, forage yield was insufficient and hindered the development of the productive forces in forage-fish system. A pot experiment was carried out in Hubei Province, central area of China and the objective was to determine the effects of soil amendments including fertilizers (NPK), lime and organic matter (OM) application on forage yield and soil properties in sudangrass-ryegrass rotation. The results showed that the application of soil amendments increased forage yield significantly. In the whole rotation, forage yield in NPK, NPK + Lime, and NPK + OM were 6.1, 6.8 and 7.3 times higher than that in the control (CK), respectively. Based on NPK treatment, the application of lime and OM increased yield by 9.5% and 17.2%. Nutrients uptake results demonstrated that different fertilization treatments significantly increased N, P, K content of forages and promoted nutrient uptakes. N, P and K uptake amounts of sudangrass and ryegrass in NPK treatment increased by 6.3 times, 7.7 times and 7.0 times, respectively, when compared with that in CK, and NPK + Lime treatment increased by 6.5 times, 8.6 times and 7.4 times, and NPK + OM treatment increased by 6.2 times, 9.2 times and 7.4 times, respectively. The soil analysis results showed that the application of lime and OM increased pH value in the acidic soil compared with that of CK and NPK treatments after the experiment. Based on NPK treatment, lime application increased soil available Ca by 20.7%, and decreased soil available Fe and Mn by 26.5%

收稿日期: 2007-04-09

接受日期: 2007-06-11

基金项目: 国际植物营养研究所(IPNI)国际合作项目(Hub-22); 华中农业大学科技创新项目(A016)资助。

作者简介: 李小坤(1979—)男, 湖北襄樊人, 博士研究生, 主要从事作物营养施肥与生态环境方面的研究。

E-mail: lixiaokun@webmail.hzau.edu.cn * 通讯作者 E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn

and 41.2%, respectively. Based on NPK treatment, OM application improved soil available N, P and K content significantly.

Key words: forage rotation; chemical fertilizer; lime; organic manure; forage yield; nutrient uptake; soil properties

湖北省地处中国腹地,位于长江平原,境内水网纵横,素有“鱼米之乡”美誉^[1]。近年来,随着退耕还湖力度加大和农业结构的调整,淡水渔业生产有了空前的发展。由于鱼池面积的扩大和养鱼水平的提高,每年需要投入大量的鱼饲料,为了节约成本和利用本地资源优势,种草养鱼越来越得到农民的青睞^[2]。

苏丹草-黑麦草轮作是当地最为普遍的鱼用饲草种植模式。苏丹草[*Sorghum sudanense* (piper) stapf]原产北非,是当前世界各国栽培最普遍的一年生禾本科牧草,它具有高度的适应性,适口性好,再生性强,在养鱼产区被誉为“养鱼青饲料之王”^[3]。黑麦草(*Lolium multiflorum*)是越年生禾本科黑麦草属饲用植物,具有分蘖力强、生长快、产量高、品质好等优点,草质柔软多汁,营养丰富,也是养鱼的好饲料^[4]。调查研究表明,饲草产量的高低对淡水渔业影响很大,草鱼每增重 1 kg 需投喂鱼草 20~30 kg,因此鱼草产量的高低直接影响着鱼的产量和经济效益^[5]。

然而,在湖北省养鱼主产区,种植鱼草的土壤多是质地粘重、偏酸、肥力低下,同时由于鱼草对农民而言是一种全新的作物,种植过程中缺乏正确的养分管理措施,常导致鱼草产量潜力不能得到正常发挥而难于满足养鱼需求^[5]。另外,由于施肥结构不合理,一些过量的养分如氮等会直接从田间流向鱼池及水网中,导致环境污染严重^[6]。针对这种地力状况偏差,养分管理不合理的情况,我们利用包括化肥、石灰、有机肥等土壤改良物质,研究苏丹草-黑麦草轮作条件下,不同施肥措施对饲草产量及土壤理化性质的影响,为农民种草养鱼科学施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验在华中农业大学资源与环境学院实验基地进行,地处湖北省武汉市洪山区(北纬 30°28'26",东经 114°20'49")。供试土壤为花岗片麻岩母质发育的水稻土,基本理化性状(采用系统研究法进行分析^[7])为:pH 5.95,有机质 8.20 g/kg,铵态氮 42.48 mg/L,速效磷 9.76 mg/L,速效钾 48.22 mg/L。供试牧草品种为乌拉特 1 号(Wulate number 1)苏丹草和

特高(Tetragold)多花黑麦草。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理,分别为不施肥(CK),化肥(NPK),化肥+石灰(NPK+Lime)和化肥+有机肥(NPK+OM),每个处理 4 次重复。

试验用 24 L 的塑料桶,每桶装土 15 kg。N、P、K 分别以分析纯尿素(含 N 46%)、 NaH_2PO_4 (含 P_2O_5 45.5%)、KCl(含 K_2O 60%)为肥源;石灰采用分析纯 CaCO_3 (含 Ca 40%);有机肥由猪粪和泥炭发酵而成(含 N 2.78%、 P_2O_5 2.61%、 K_2O 1.92%,有机质 62.96%)。

苏丹草全生育期每 kg 土施用 N 0.24 g、 P_2O_5 0.27 g、 K_2O 0.29 g、Ca 0.23 g,有机肥 4.0 g。氮、钾肥 1/2 基施,余下的 1/2 分 2 次平均追施,磷肥、石灰和有机肥全部基施;石灰和有机肥施入 3 d 后,再将基施用的化肥与土壤拌匀后装盆,追肥时将氮、钾肥用去离子水溶解后施入。苏丹草收获后,处理不变,在同一塑料桶中轮作种植黑麦草,黑麦草季各肥料用量为每 kg 土施用 N 0.36 g、 P_2O_5 0.27 g、 K_2O 0.43 g,施肥方法同苏丹草,本季不再施用石灰和有机肥。

1.3 试验管理

苏丹草于 2004 年 5 月 28 日播种,播种量为 2.5 g/pot,先浇水 3 L,然后将苏丹草种均匀地撒播在塑料桶表面,覆土,5 月 31 日齐苗,7 月 3 日第 1 次刈割,8 月 8 日第 2 次刈割,10 月 2 日第 3 次刈割,然后倒出土壤于其它容器中,取出根系。不改变施肥处理,于 2004 年 10 月 18 日种植黑麦草,先拌肥,在原桶中装土,再浇水、播种(播种量为 1.0 g/pot),覆土,11 月 4 日齐苗,2005 年 2 月 21 日第 1 次刈割,4 月 4 日第 2 次刈割,5 月 6 日第 3 次刈割,生物试验结束后收集根系,并将每盆土壤混合均匀后取样。

1.4 分析方法

土壤样品分析按照中-加合作土壤测试实验室系统研究法(ASI)进行^[7];苏丹草、黑麦草地上部的鲜样在 105℃烘箱内杀青 30 min,然后在 60℃条件下烘干,称重、粉碎。地下部粉碎前在 60℃条件下烘 2 h。所有植物样品用浓 H_2SO_4 - HClO_4 硝化后采用靛酚蓝比色法测氮,钼锑抗比色法测磷,火焰光度法测钾^[8]。

养分积累量 = 干物质产量 × 养分含量

用最小显著法 (LSD) 检验试验数据的差异显著性水平 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施对饲草产量的影响

轮作前季苏丹草 3 次刈割, 不同施肥措施均可显著提高其产量 (表 1), NPK、NPK + Lime、NPK + OM 处理的鲜草产量分别是 CK 的 4.7 倍、5.2 倍和 6.0

倍。后季黑麦草的鲜草产量与苏丹草具有类似的结果, NPK、NPK + Lime、NPK + OM 处理的产量分别是 CK 的 14.7 倍、15.8 倍和 15.5 倍。

整个轮作期, NPK 处理的鲜草产量是 CK 的 7.1 倍, NPK + Lime 与 NPK 相比增产 9.5%, NPK + OM 与 NPK 相比增产 17.2%, 增产效果均达显著水平。说明石灰在酸性土壤上具有改良土壤的作用, 可提高作物产量, 有机肥与无机肥配合施用的肥效显著高于单施化肥处理。

表 1 不同施肥措施对苏丹草和黑麦草鲜草产量的影响 (g/pot)

Table 1 Effect of different fertilization treatments on fresh forage yield of sudangrass and ryegrass

处理 Treatment	苏丹草 Sudangrass				黑麦草 Ryegrass				总产 Total yield
	1st	2nd	3rd	小计 Sum	1st	2nd	3rd	小计 Sum	
CK	61.3	107.5	34.0	202.8 ± 8.7 c	11.5	22.5	29.9	63.9 ± 6.9 b	266.6 ± 13.5 c
NPK	492.5	257.5	204.0	954.0 ± 134.8 b	212.5	386.3	338.8	937.5 ± 36.6 a	1891.5 ± 145.4 b
NPK + Lime	483.8	282.5	295.5	1061.8 ± 120.9 ab	201.3	452.5	356.3	1010.0 ± 48.0 a	2071.8 ± 102.2 a
NPK + OM	562.5	383.8	279.7	1225.9 ± 120.2 a	226.3	478.8	285.0	990.0 ± 93.9 a	2215.9 ± 100.9 a

注 (Note): 1st、2nd、3rd 分别表示第 1 次刈割、第 2 次刈割和第 3 次刈割 1st, 2nd and 3rd indicated 1st scythe, 2nd scythe and 3rd scythe, respectively. 同列数值后不同字母表示各处理在 $P < 0.05$ 水平有显著差异, 下同 Value followed by different letters in the same column indicated significant difference at $P < 0.05$ level, and the same symbol was used for other tables.

苏丹草、黑麦草干物质产量如表 2 所示。化肥、石灰、有机肥的施用能够显著提高饲草地上部干物质产量, 这与鲜草产量具有相同的趋势。不同施肥措施对饲草根系生物量也有明显的促进作用, 整个轮作期, NPK、NPK + Lime、NPK + OM 的根系干物质量分别是 CK 的 4.68 倍、4.98 倍和 4.52 倍, 说明鱼草高产是建立在强大根系的基础之上。

从表 2 还可看出, 轮作前季苏丹草各处理地上

部干物质产量与地下部的比例为 3.12:1 ~ 8.79:1, 后季黑麦草各处理地上部干物质产量与地下部的比例为 6.07:1 ~ 19.03:1, 尽管各施肥措施显著增加了两种饲草根系的绝对量, 但地上部干物质产量与地下部的比例并未因此而下降, 说明饲草的干物质大部分集中在地上部, 且各施肥措施更能促进地上部饲草产量的提高。

表 2 不同施肥措施对苏丹草和黑麦草干物质产量的影响

Table 2 Effect of different fertilization treatments on dry matter yield of sudangrass and ryegrass

处理 Treatment	苏丹草 Sudangrass (g/pot)		黑麦草 Ryegrass (g/pot)		总干物质产量 Dry matter yield (g/pot)	相对值 Relative value
	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root		
	CK	43.2 ± 2.6 b	13.9 ± 2.6 c	10.3 ± 1.0 c		
NPK	161.3 ± 34.1 a	18.4 ± 7.5 bc	129.0 ± 6.0 a	14.8 ± 0.7 a	290.3 ± 35.6 a	468
NPK + Lime	182.9 ± 27.7 a	28.9 ± 8.1 a	122.6 ± 9.6 a	10.0 ± 5.0 b	305.6 ± 37.8 a	498
NPK + OM	187.7 ± 26.8 a	24.9 ± 7.5 ab	94.7 ± 8.8 b	5.0 ± 1.4 c	282.4 ± 24.8 a	452

2.2 不同施肥措施对饲草养分含量的影响

苏丹草和黑麦草各刈割 3 次, 将地上部按干物质产量比例混合均匀, 测定其养分含量, 由表 3 可以看出, NPK、NPK + Lime、NPK + OM 处理与 CK 相比均可提高苏丹草 N、P、K 养分含量, 且对 P、K 含量的提

高达到了显著水平; 地下部 N、P 含量变化不大, 但可明显提高 K 的含量。各施肥处理也可显著提高黑麦草地上部 N、P、K 养分的含量; 与 NPK 处理相比, NPK + OM 可显著提高 P 和 K 的含量, 而对 N 含量无明显影响。

表 3 不同施肥措施对苏丹草和黑麦草养分含量的影响 (%)

Table 3 Effect of different fertilization treatments on nutrient contents of sudangrass and ryegrass

养分 Nutrient	处理 Treatment	苏丹草 Sudangrass		黑麦草 Ryegrass	
		地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
N	CK	1.09 ± 0.06 b	0.64 ± 0.11 a	1.45 ± 0.17 b	1.51 ± 0.22 ab
	NPK	1.15 ± 0.15 b	0.70 ± 0.24 a	2.46 ± 0.17 a	1.28 ± 0.24 bc
	NPK + Lime	1.24 ± 0.14 ab	0.50 ± 0.22 a	2.41 ± 0.09 a	1.12 ± 0.16 c
	NPK + OM	1.38 ± 0.16 a	0.66 ± 0.20 a	2.58 ± 0.34 a	1.74 ± 0.18 a
P	CK	0.15 ± 0.01 c	0.11 ± 0.02 b	0.33 ± 0.04 c	0.25 ± 0.03 b
	NPK	0.19 ± 0.03 b	0.14 ± 0.03 ab	0.51 ± 0.09 b	0.19 ± 0.04 b
	NPK + Lime	0.20 ± 0.01 b	0.13 ± 0.01 b	0.57 ± 0.07 b	0.27 ± 0.05 b
	NPK + OM	0.26 ± 0.03 a	0.20 ± 0.08 a	0.68 ± 0.07 a	0.45 ± 0.12 a
K	CK	1.02 ± 0.05 b	0.04 ± 0.01 c	2.21 ± 0.07 d	0.56 ± 0.24 a
	NPK	1.43 ± 0.16 a	0.62 ± 0.26 a	2.34 ± 0.05 c	0.37 ± 0.33 ab
	NPK + Lime	1.35 ± 0.13 a	0.40 ± 0.19 ab	2.54 ± 0.06 b	0.25 ± 0.11 b
	NPK + OM	1.47 ± 0.19 a	0.30 ± 0.13 bc	3.18 ± 0.11 a	0.50 ± 0.16 a

2.3 不同施肥措施对饲草养分吸收的影响

表 4 表明,施用化肥能显著提高苏丹草和黑麦草对 N、P、K 养分的吸收,整个轮作期中,NPK 处理饲草对 N、P₂O₅、K₂O 的吸收量分别是 CK 处理的 7.3 倍、8.7 倍和 8.0 倍。在化肥的基础上增施石灰,可

以提高饲草对养分的吸收,但与 NPK 处理无明显差异。而在化肥的基础上增施有机肥,不但可以提高养分吸收量,且对 P₂O₅、K₂O 的吸收量与 NPK 处理相比差异达显著水平。

表 4 不同施肥措施对苏丹草和黑麦草养分吸收量的影响 (g/pot)

Table 4 Effect of different fertilization treatments on nutrient uptakes of sudangrass and ryegrass

养分 Nutrient	处理 Treatment	苏丹草 Sudangrass		黑麦草 Ryegrass		养分吸收总量 The total amount of nutrient uptake
		地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	
N	CK	0.47 ± 0.02 c	0.09 ± 0.02 b	0.15 ± 0.02 c	0.03 ± 0.02 c	0.73 ± 0.02 b
	NPK	1.84 ± 0.40 b	0.12 ± 0.03 ab	3.18 ± 0.27 a	0.19 ± 0.03 a	5.33 ± 0.36 a
	NPK + Lime	2.27 ± 0.43 ab	0.14 ± 0.04 ab	2.95 ± 0.26 ab	0.11 ± 0.03 b	5.46 ± 0.17 a
	NPK + OM	2.56 ± 0.12 a	0.16 ± 0.04 a	2.46 ± 0.54 b	0.09 ± 0.03 b	5.26 ± 0.44 a
P ₂ O ₅	CK	0.15 ± 0.01 c	0.04 ± 0.01 c	0.08 ± 0.01 b	0.01 ± 0.01 c	0.27 ± 0.01 c
	NPK	0.70 ± 0.12 b	0.06 ± 0.02 bc	1.50 ± 0.18 a	0.09 ± 0.01 a	2.34 ± 0.31 b
	NPK + Lime	0.85 ± 0.16 b	0.09 ± 0.02 ab	1.60 ± 0.12 a	0.06 ± 0.02 b	2.59 ± 0.29 ab
	NPK + OM	1.11 ± 0.16 a	0.11 ± 0.05 a	1.46 ± 0.14 a	0.05 ± 0.01 b	2.74 ± 0.23 a
K ₂ O	CK	0.53 ± 0.04 c	0.01 ± 0.01 b	0.28 ± 0.03 b	0.01 ± 0.01 b	0.82 ± 0.05 c
	NPK	2.74 ± 0.34 b	0.12 ± 0.04 a	3.63 ± 0.17 a	0.06 ± 0.06 a	6.55 ± 0.15 b
	NPK + Lime	2.96 ± 0.26 ab	0.13 ± 0.03 a	3.75 ± 0.21 a	0.03 ± 0.02 ab	6.86 ± 0.28 ab
	NPK + OM	3.29 ± 0.26 a	0.08 ± 0.04 a	3.62 ± 0.24 a	0.03 ± 0.02 ab	7.03 ± 0.37 a

2.4 不同施肥措施对土壤养分的影响

试验结束后的土壤养分测定结果见表 5。由表 5 可以看出 (1)除 NPK 处理的 pH 值较原土略有降低外,其他处理 pH 值均有所提高,与 CK 和 NPK 处理相比,NPK + Lime 和 NPK + OM 处理的土壤 pH 值均向中性靠近。(2)不同施肥措施对土壤有机质含

量影响不是很大,除 NPK + Lime 处理略有增加外,其他处理均有所降低。(3)各处理 NH₄⁺-N、速效 K 含量与原土相比均有大幅度降低,NPK + Lime 处理的降低幅度比 CK 大,除 CK 处理的 P 含量比原土有所降低外,其它各施肥处理的土壤速效 P 含量均大幅度上升,比较 NPK 处理和 NPK + Lime 处理,表明

施用石灰能提高酸性土壤的有效磷含量。(4)施用石灰后,土壤中的有效钙含量明显提高,与 CK 相比差异达显著水平,而与其它处理的差别不大;土壤

中的有效铁、有效锰含量显著降低,与 NPK 和 NPK + OM 处理相比差异均达显著水平,这对缓解酸性土壤上作物普遍存在的铁、锰毒害有重要作用。

表 5 不同施肥措施对土壤养分的影响

Table 5 Effect of different fertilization treatments on soil nutrients

处理 Treatment	pH	有机质 OM (g/kg)	铵态氮 NH_4^+-N (mg/L)	速效磷 Available P (mg/L)
CK	6.09 ± 0.16 c	6.00 ± 0.82 a	15.89 ± 4.43 a	5.69 ± 0.61 c
NPK	5.94 ± 0.10 c	7.50 ± 2.00 a	15.95 ± 3.35 a	68.63 ± 9.81 b
NPK + Lime	6.95 ± 0.13 a	8.13 ± 2.39 a	10.36 ± 2.68 b	90.44 ± 14.68 b
NPK + OM	6.48 ± 0.08 b	6.63 ± 1.25 a	13.70 ± 3.65 ab	154.85 ± 31.06 a

处理 Treatment	速效钾 Available K (mg/L)	有效钙 Available Ca (mg/L)	有效铁 Available Fe (mg/L)	有效锰 Available Mn (mg/L)
CK	14.68 ± 3.73 c	917.34 ± 141.66 b	113.95 ± 22.03 c	17.70 ± 5.83 bc
NPK	39.11 ± 8.45 ab	1094.18 ± 114.70 ab	215.69 ± 34.81 a	26.46 ± 5.37 a
NPK + Lime	31.28 ± 5.54 b	1320.63 ± 306.47 a	158.49 ± 12.51 b	15.56 ± 2.43 c
NPK + OM	44.98 ± 11.73 a	1160.81 ± 84.88 ab	191.38 ± 28.59 ab	22.48 ± 3.14 ab

3 讨论与结论

湖北省是我国最大的淡水养鱼基地,种草养鱼是主要模式之一,但主产区土壤障碍因子多,例如土壤偏酸及肥力水平低等严重制约了生产的进一步发展,为了解决主产区鱼草供不应求等问题,包括施用化肥在内的土壤改良措施越来越广泛地运用于生产实际^[9]。本研究结果表明,不同施肥措施对鱼用饲草产生了显著的增产效果,与 CK 相比,单施化肥(NPK)处理的鲜草产量增加了 6.1 倍,化肥和石灰配合施用(NPK + Lime)处理增产 6.8 倍,化肥和有机肥配合施用(NPK + OM)处理增产 7.3 倍。

化肥在种植业中使用的目的是为了补充土壤中的养分不足以满足作物高产优质的需要。大量的研究和实践已经证实,科学施用化肥不但能显著提高作物产量,而且能明显改善作物品质,并且可维持土壤肥力。本研究表明,NPK 处理与 CK 相比显著提高轮作周期饲草产量,也提高了饲草养分含量,其中氮含量的提高就是蛋白质含量的提高,而磷是饲草养分中的重要组分,钾也是鱼类生长不可缺少的矿物质,因此,从一定角度上讲化肥的施用提高了饲草的品质。土壤养分测定结果表明,经过一个轮作周期后,NPK 处理的土壤各养分含量与 CK 相比基本上都有一个较大幅度的提高,尤其是土壤有效磷和有效钾含量。但是土壤有机质含量两处理基本相同,并均明显低于试验前土壤,这可能与两季种植后均将所有根系取出有关,其它处理也有类似的现象。

试验结果显示,NPK 处理的苏丹草和黑麦草根系干物质质量分别是 CK 的 1.32 倍和 8.71 倍,若这些根系残留在土壤中将是土壤有机质的重要来源。

石灰是酸性土壤上常用的改良物质,它不仅以中和部分 H^+ 改良土壤的物理性状,而且还可增加土壤钙的含量及调节其他养分的有效性,并能减轻作物病虫害^[10-11]。本试验结果表明,化肥与石灰配合施用后,土壤 pH 值升高接近中性,土壤偏酸状况得到缓和,土壤中的有效钙含量明显提高,这与其它研究一致^[12]。且能显著降低土壤中的有效铁和有效锰含量,而在酸性土壤上活性铁、锰含量过高易对作物产生毒害作用^[13],说明石灰的施用可有效降低铁、锰活性,对防止作物发生毒害起到积极的作用。研究还表明,石灰的施用可以提高作物对 N、P、K 养分的吸收量,整个轮作中,饲草吸收的 N、P、K 与 NPK 处理相比分别提高了 2.5%、10.9% 和 4.7%,因而提高了化肥的利用率。

有机肥也是重要的土壤改良剂,长期施用能提高土壤有机质含量,改善土壤理化性质,与化肥配合施用能有效地提高化肥的利用率^[14]。本研究表明,有机肥与化肥配合施用,提高了土壤中的氮、磷、钾养分含量,与其它处理相比,差异达显著水平,同时也显著地促进了饲草对磷、钾养分的吸收。这与有机肥与化肥配施在其他作物上的研究结果一致^[15]。

随着土壤改良剂在农业和生态环境中的广泛应用,国内外土壤改良物质的新产品也越来越多^[9]。化肥在农作物生产中占据着举足轻重的地位,但在

实际应用中,由于使用不科学也带来了很大的环境污染^[6]。本研究通过一个轮作周期的试验,结果表明单施化肥基本上可以维持土壤有机质和氮、磷水平,单施化肥与化肥配合有机肥处理的作物产量基本相当。但是,有研究表明单施化肥处理使土壤腐殖质含量降低,分子缩合程度和芳构化度增大,“老化”作用增强^[16],而有机肥具有增加土壤养分、增强土壤微生物活性及降低污染土壤重金属毒性等功能,与化肥配合施用后可以减少单施化肥产生的负作用,提高肥效^[17-18],因此,在大力强调“生态农业”的今天,采用有机肥与化肥配合施用是一种必然趋势,在鱼草生产中也不应例外。

参考文献:

- [1] 湖北省人民政府研究室. 湖北省粮棉主产区经济发展的调查与思考[J]. 中国农村经济, 1994(8): 25-28.
Peoples' Government Research Group in Hubei Province. Survey and thoughts on the economy development of the main grain and cotton production area in Hubei province[J]. Chin. Rural Econ., 1994, (8): 25-28.
- [2] 樊锦春, 朱风华, 钱泽岭. 种草养鱼及其综合效益分析[J]. 科学养鱼, 1995(4): 12-13.
Fan J C, Zhu F H, Qian Z L. Evaluation of supplying fish feed by planting grasses and integrated benefits[J]. Sci. Fish Farm., 1995, (4): 12-13.
- [3] 徐玉鹏, 武之新, 赵忠祥. 苏丹草的适应性及在我国农牧业生产中的发展前景[J]. 草业科学, 2003, 20(7): 23-25.
Xu Y P, Wu Z X, Zhao Z X. The adaptability and the developing foreground of Sudan grass in the produce of agriculture and animal husbandry in China[J]. Pratacul. Sci., 2003, 20(7): 23-25.
- [4] 姚明久, 李元华, 谢永良, 等. “特高”宽叶型一年生黑麦草栽培管理及利用[J]. 四川畜牧兽医, 1999, 26(7): 35.
Yao M J, Li Y H, Xie Y L *et al.* Cultural management and utilization of annual ryegrass—Tetragold[J]. Sichuan Anim. Veterin Sci., 1999, 26(7): 35.
- [5] 鲁剑巍, 李小坤, 梁友光, 等. 平衡施肥对黑麦草生长及产量的影响[J]. 水利渔业, 2004, 24(2): 20-22.
Lu J W, Li X K, Liang Y G *et al.* Effect of balanced fertilization on the growth and yield of ryegrass[J]. Reserv. Fish., 2004, 24(2): 20-22.
- [6] 吕殿青, 同延安, 孙本华, Ove Emteryd. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8-15.
Lu D Q, Dong Y A, Sun B H, Ove Emteryd. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollutior[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1998, 4(1): 8-15.
- [7] 金继运, 张宁, 梁鸣早, 等. 土壤养分状况系统研究法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 8-15.
Jin J Y, Zhang N, Liang M Z *et al.* Systematic approach for soil nutrient status evaluation and its use in fertilizer recommendation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1996, 2(1): 8-15.
- [8] 鲍士旦. 土壤农业化学分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agriculture chemistry analysis[M]. Beijing: Chinese Agriculture Publishing Company, 2000.
- [9] 张黎明, 邓万刚. 土壤改良剂的研究与利用现状[J]. 华南热带农业大学学报, 2005, 11(2): 32-34.
Zhang L M, Deng W G. Research on the soil corrective and its current applicatio[J]. J. South China Univ. Trop. Agric., 2005, 11(2): 32-34.
- [10] Scott B J, Conyers M K, Poile G J, Cullis B R. Subsurface acidity and liming affect yield of cereal[J]. Austr. J. Agric. Res., 1997, 48(6): 843-854.
- [11] Lukin V V, Epplin F M. Optimal frequency and quantity of agricultural lime application[J]. Agric. Syst., 2003, 76(3): 949-967.
- [12] Demchik M C, Sharpe W E. Forest floor plant response to lime and fertilizer before and after partial cutting of a northern red oak stand on an extremely acidic soil in Pennsylvania, USA[J]. Forest Ecol. Manag., 2001, 144(1-3): 239-244.
- [13] Coventry D R, Slattery W J, Burnett V F, Ganning G W. Longevity of wheat yield response to lime in Southeastern Australia[J]. Austr. J. Exper. Agric., 1997, 37(5): 571-575.
- [14] 牟长明, 孙爱华, 唐宇红. 浅谈化肥与有机肥混用的好处[J]. 中国农村小康科技, 2005, (6): 48.
Mou C M, Sun A H, Tang Y H. The benefits of mineral fertilizer combined with organic manur[J]. Chin. Countr. Well-off Techn., 2005, (6): 48.
- [15] 郑兰君, 曾广永, 王鹏飞. 有机肥、化肥长期配合施用对水稻产量及土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2001, 17(3): 48-50.
Zheng L J, Zeng G Y, Wang P F. Effect of long-term mineral fertilizer application combined with organic manure on the yield of soil and nutrients content of soil[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2001, 17(3): 48-50.
- [16] 吕家珑, 张一平, 王旭东, 等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 569-572.
Li J L, Zhang Y P, Wang X D *et al.* Effect of long-term single application of chemical fertilizer on soil properties and crop yield[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2001, 12(4): 569-572.
- [17] 张建国, 聂俊华, 杜振宇. 复合生物有机肥在烤烟生产中的应用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 424-428.
Zhang J G, Nie J H, Du Z Y. Response of flue-cured tobacco to compound bio-organic fertilizer[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(4): 424-428.
- [18] Bhadoria P B, Prakash Y S. Relative influence of organic manures in combination with chemical fertilizer in improving rice productivity of lateritic soil[J]. J. Sust. Agric., 2003, 23(1): 77-87.