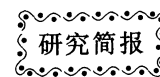


DOI: 10.3724/SP.J.1006.2009.01350



苏丹草-黑麦草轮作制中施肥对饲草产量、养分吸收与土壤性质的影响

李文西¹ 鲁剑巍^{1,*} 鲁君明² 李小坤¹ 戴志刚¹ 杨娟¹

¹ 华中农业大学资源与环境学院, 湖北武汉 430070; ² 湖北省荆州市大同湖管理区农技中心, 湖北荆州 434300

摘 要: 大田试验条件下采用苏丹草(*Sorghum sudanense*)与黑麦草(*Lolium L.*)轮作, 分别设 CK(不施肥)、NP(施氮磷肥)、NK(施氮钾肥)、PK(施磷钾肥)、NPK(施氮磷钾肥) 5 个处理研究施肥对饲草产量、养分吸收及土壤养分的影响。结果表明, 氮磷钾肥配施显著提高苏丹草与黑麦草鲜草产量, 2005—2006 年与 2006—2007 年两季饲草分别为 162.7 t hm⁻²、114.9 t hm⁻², 分别比同期 PK、NK、NP 处理增产 312.9%、26.9%、17.9%和 338.5%、20.3%、17.2%。施肥影响饲草的氮、磷、钾含量, 且氮磷钾配施可以改善饲草养分吸收, 2005—2006 年 NPK 处理的饲草 N、P、K 吸收量分别为 500 kg hm⁻²、91 kg hm⁻²和 997 kg hm⁻², 2006—2007 年 NPK 处理的饲草 N、P、K 吸收量分别为 312 kg hm⁻²、56 kg hm⁻²和 402 kg hm⁻²。轮作系统中, 氮磷钾肥配施条件下氮、磷盈余最少, 而钾亏缺。在苏丹草-黑麦草轮作制中, 随着种植次数的增多, 各施肥处理土壤有机质、全氮均有不同程度上升, 施磷(NPK、NP、PK)处理的速效磷、施钾(NPK、NK、PK)处理的速效钾均有上升, 而 NK 处理的速效磷、NP 处理的速效钾略有下降。

关键词: 苏丹草-黑麦草轮作; 施肥; 养分吸收; 土壤养分; 江汉平原

Effect of Fertilization on Yield of Forage Grass, Nutrient Uptake and Soil Properties under Sudangrass and Ryegrass Rotation Regime

LI Wen-Xi¹, LU Jian-Wei^{1,*}, LU Jun-Ming², LI Xiao-Kun¹, DAI Zhi-Gang¹, and YANG Juan¹

¹ College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; ² Agricultural Research Institute, Datonghu Administration District of Jingzhou City, Jingzhou 434300, China

Abstract: Sudangrass and ryegrass rotation is a new type of growth system in Jiangnan Plain, which had developed very fast in recent years. So it is highly essential to propose an optimum nutrient management practice for increasing forage grass yield, improving soil fertilization and assuring sustainable development in this new system. Effect of fertilization on yield of forage grass, nutrient uptake and nutrition in soil under Sudangrass and ryegrass rotation regime was studied for two years through the field experiments in Honghu City of Jiangnan Plain. The results showed that the application of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) combination obviously improved fresh yield of Sudangrass and ryegrass, with a total forage yield of 162.7 t ha⁻¹ in 2005–2006, which was 312.9%, 26.9%, 17.9% higher than those of PK, NK, NP treatments, respectively. The total forage yield was 114.9 t ha⁻¹ in 2006–2007, and 338.5%, 20.3%, 17.2% higher than those of PK, NK, NP treatments, respectively. Fertilization affected nutrient content of forage grass, and N fertilizer increased N content of grass, and K fertilizer increased K content of grass. NPK combination also promoted nutrient uptake of forage grass, with the higher nutrient uptake than other treatments. The total N, P, K uptake of forage grass was 500 kg ha⁻¹, 91 kg ha⁻¹, 997 kg ha⁻¹ in 2005–2006, and 312 kg ha⁻¹, 56 kg ha⁻¹, 402 kg ha⁻¹ in 2006–2007, respectively. In this rotation, the surplus of N and P₂O₅ in NPK treatment was the least, compared with that in NP, NK and PK treatments. However, K₂O surplus in NPK treatment was the negative. In Sudangrass and ryegrass rotation, organic matter and total nitrogen in soil in all treatments, available phosphorus in soil in NPK, NP, and PK treatments and available potassium in soil in NPK, NK, and PK treatments increased with crop rotation times. But available phosphorus in soil in NK treatment and available potassium in soil in NP treatment slightly degraded, respectively.

Keywords: Sudangrass and ryegrass rotation; Fertilization; Nutrient uptake; Soil nutrition; Jiangnan Plain

本研究由国际植物营养研究所(IPNI)国际合作项目(Hubei-22)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 鲁剑巍, E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn

第一作者联系方式: E-mail: lwc@webmail.hzau.edu.cn; Tel: 027-63967014

Received (收稿日期): 2008-11-17; Accepted (接受日期): 2009-03-18.

施肥是保障作物高产优质的一项重要管理措施。大量的定位试验表明^[1-5], 合理施肥不仅可以提高农作物产量, 还可以改善土壤的肥力状况。在土壤-作物生产系统中, 施肥在增加作物地上生物量的同时也促进了作物根系的生长, 进而作用于土壤, 土壤-植物的相互作用影响着作物生产与土壤的可持续发展。

江汉平原地处长江中下游, 丰富的雨热资源保障了该地区渔业的发展。苏丹草(*Sorghum sudanense*)、黑麦草(*Lolium L.*)是当地重要的鱼草, 且种植面积在不断扩大, 苏丹草与黑麦草轮作已成为当地一种新型的种植制度。这两种饲草每年多次收获, 收获频度与强度较大, 因此养分消耗量远高于一般的农田作物^[6-7]。然而, 生产中养分资源管理措施并不合理, 种植过程中偏重于氮肥施用, 导致肥料利用效率低, 饲草产量也较低, 长期养分投入、支出的不平衡, 引起土壤肥力的下降, 进而造成周围环境的负面影响, 影响草业及土地生产力发展的可持续性^[8-14]。因此, 我们在江汉平原大同湖农场开展了苏丹草-黑麦草轮作制中氮磷钾肥配合施用试验, 研究轮作体系中不同施肥措施下饲草生产、养分吸收以及土壤养分的变化, 以期为提高饲草产量、改善土壤肥力及保障土地可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

江汉平原洪湖市大同湖农场属亚热带湿润季风气候, 四季分明, 光照充足, 年降水量 1 100~1 300 mm。试验布置在鱼池旁边的塘埂上, 供试土壤为长江冲积物发育潮土, 土壤 pH 6.93, 含有机质 18.50 g kg⁻¹、全氮 1.05 g kg⁻¹、碱解氮 121.7 mg kg⁻¹、速效磷 12.0 mg kg⁻¹、速效钾为 121.7 mg kg⁻¹^[15]。

1.2 材料与设计

采用苏丹草与黑麦草轮作种植, 供试牧草品种为“盐池”苏丹草(*Sorghum sudanense* cv. Yanchi)和“邦德”一年生黑麦草(*Lolium multiflorum* cv. Abundant)。设 5 个处理, 分别为 CK(不施肥)、NP(施氮、磷肥)、NK(施氮、钾肥)、PK(施磷、钾肥)、NPK(施氮、磷、钾肥)。4 次重复, 随机区组排列, 小区面积 15 m² (2.0 m×7.5 m)。苏丹草试验期施用 N 450 kg hm⁻²、P₂O₅ 180 kg hm⁻²、K₂O 300 kg hm⁻²; 肥料种类为尿素(N 46%, 湖北枝江产), 过磷酸钙(12% P₂O₅, 湖北阳新产), KCl (60% K₂O, 加拿大产); 试验期氮肥和钾肥总用量的 1/3 和 1/2 作基肥, 其余分 3 次在刈割后追施, 磷肥全部基施。黑麦草试验期施用 N 225 kg hm⁻²、P₂O₅ 135 kg hm⁻²、K₂O 150 kg hm⁻²; 肥料种类同苏丹草试验; 试验期氮、钾肥总用量的 1/2 作基肥, 其余分 2 次在刈割后追施, 磷肥全部基施。

2005—2006 年, 苏丹草于 2005 年 4 月 24 日播种(撒播), 播量为 112.5 kg hm⁻²。于 6 月 4 日、6 月 30 日、7 月 31 日、8 月 31 日和 10 月 1 日共刈割 5 次。黑麦草于 2005 年 10 月 3 日播种(撒播), 播量为 37.5 kg hm⁻²。于次

年 3 月 6 日、4 月 16 日和 5 月 6 日共刈割 3 次。

2006—2007 年, 苏丹草于 2006 年 5 月 20 日播种(撒播), 播量为 112.5 kg hm⁻²。于 7 月 4 日、7 月 29 日、8 月 25 日、9 月 26 日共刈割 4 次。黑麦草于 2006 年 10 月 10 日播种(撒播), 播量为 37.5 kg hm⁻²。于次年 1 月 5 日、2 月 3 日、3 月 4 日、3 月 28 日共刈割 4 次。

1.3 测定与计算方法

各小区饲草的实收产量记为鲜草产量。刈割前在各小区随机取 20 cm×20 cm 样方地上部鲜样, 称重。将草样于 105 ℃ 烘箱中杀青 30 min 后, 置于 60 ℃ 条件下烘 48 h, 称干重。

将烘干的饲草粉碎, 用浓 H₂SO₄-HClO₄ 消化, 用流动注射分析仪测定氮和磷, 火焰光度法测定钾^[15]。

采用重铬酸钾-外加加热法测定土壤有机质, 采用半微量凯氏法测全氮, 采用 NaOH 碱溶-流动注射法测全磷, 采用 NaOH 碱溶-火焰光度法测全钾, 采用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃-钼锑抗比色法测速效磷, 采用 1 mol L⁻¹ NH₄OAc-火焰光度法测速效钾^[15]。

养分吸收量(kg hm⁻²) = 干物质(kg hm⁻²)×养分含量(%)÷100

养分平衡(kg hm⁻²) = 某养分投入量(kg hm⁻²) - 该养分的饲草吸收量(kg hm⁻²)

1.4 数据处理

用 LSD 法检验 $P < 0.05$ 水平上试验结果的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 饲草产量

产量结果表明(图 1 和图 2), 2005—2006 年与 2006—2007 年中 NPK 处理的饲草鲜草总产量在各个处理中均最高, 分别为 162.7 t hm⁻²、114.9 t hm⁻², 分别比同期 PK、NK、NP 处理增产 312.9%、26.9%、17.9%和 338.5%、20.3%、17.2%, 且增产效果显著。

两个年度中, CK 与 PK 处理的饲草鲜草总产量基本相当, 远低于其他处理, 其中 2005—2006 年 CK、PK 处理饲草总产量分别仅为 NPK 处理的 22.2%、24.2%, 2006—2007 年分别仅为 21.8%和 22.8%。这说明氮素是该试验条件下的养分障碍因素, 施氮能够显著提高饲草产量。

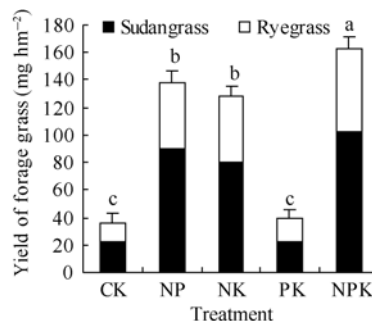


图 1 2005—2006 年度苏丹草与黑麦草产量

Fig. 1 Yield of Sudangrass and ryegrass in 2005—2006

不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Different letters indicate significant difference at the 0.05 probability level.

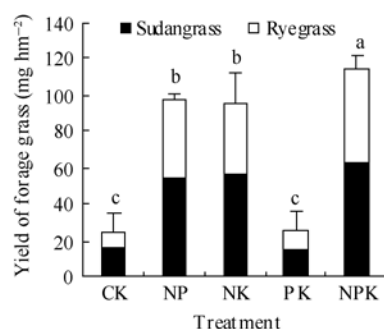


图 2 2006—2007 年度苏丹草与黑麦草产量
Fig. 2 Yield of Sudangrass and ryegrass in 2006–2007
不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

Different letters indicate significant difference at the 0.05 probability level.

2.2 饲草养分吸收

2.2.1 养分含量 整体上, 两个年度氮肥处理(NPK、NP、NK)的饲草 N 含量明显高于 PK、CK 处理, 说明氮肥可以增加饲草的氮素含量。两个年度中氮肥处理的苏丹草 P 含量低于 PK、CK 处理, 这可能是因为氮肥处理的饲草旺盛生长引起饲草体内磷的稀释造成的; 而黑麦草生长期, 两个年度中 NP、NPK 处理的饲草 P 含量整体上高于 CK、PK、NK 处理。苏丹草生长期中, 两个年度 NPK、PK、NK 处理的饲草 K 含量整体上高于 NP 处理, 钾肥施用可以增加苏丹草的钾素含量; 而黑麦草生长期, NK 处理的饲草 K 含量高于其他处理, 其中 NP 处理略高于 CK、PK 处理。

表 1 施肥对饲草养分含量的影响
Table 1 Effect of fertilization on nutrient content of forage grass (%)

项目 Item	年度 Period	处理 Treatment	苏丹草 Sudangrass					黑麦草 Ryegrass			
			1st	2nd	3rd	4th	5th	1st	2nd	3rd	4th
N	2005/2006	CK	1.11 b	1.47 c	1.72 ab	1.37bc	1.34 a	2.04 a	1.04 c	1.34 b	—
		NP	2.18 a	1.89 b	2.11 a	1.66 ab	1.52 a	2.12 a	1.55 b	2.52 a	—
		NK	2.05 a	2.07 ab	1.99 ab	1.69 ab	1.51 a	2.54 a	1.53 b	2.20 a	—
		PK	0.96 b	1.33 c	1.52 b	1.18 c	1.12 a	1.53 b	1.07 c	1.02 b	—
		NPK	2.06 a	2.39 a	1.93 ab	1.81 a	1.43 a	2.05 a	2.84 a	2.15 a	—
	2006/2007	CK	0.66 c	0.72 b	0.73 b	0.88 a	—	1.32 c	1.32 b	1.42 c	1.19 b
		NP	1.09 a	1.54 a	1.14 a	0.88 a	—	3.90 a	2.90 a	3.29 a	3.64 a
		NK	1.04 ab	1.69 a	1.21 a	0.86 a	—	3.27 b	3.04 a	3.34 a	3.65 a
		PK	0.81 ab	0.79 b	0.66 b	0.95 a	—	1.39 c	1.45 b	1.45 c	1.52 b
		NPK	1.08 a	1.53 a	1.35 a	0.95 a	—	3.49 ab	2.61 a	2.33 b	3.45 a
P	2005/2006	CK	0.31 ab	0.49 a	0.48 a	0.49 a	0.58 a	0.33 b	0.38 c	0.53 a	—
		NP	0.31 ab	0.33 b	0.32 bc	0.40 b	0.51 ab	0.55 a	0.49 ab	0.45 ab	—
		NK	0.27 b	0.27 b	0.27 c	0.33 b	0.44 b	0.37 b	0.37 c	0.32 c	—
		PK	0.35 a	0.48 a	0.46 a	0.56 a	0.56 a	0.38 b	0.42 bc	0.51 a	—
		NPK	0.30 b	0.32 b	0.34 b	0.36 b	0.46 ab	0.55 a	0.51 a	0.38 bc	—
	2006/2007	CK	0.33 b	0.45 a	0.40 a	0.39 a	—	0.24 b	0.24 b	0.43 b	0.50 b
		NP	0.27 c	0.29 b	0.25 b	0.25 b	—	0.36 a	0.38 a	0.63 a	0.59 ab
		NK	0.24 c	0.26 b	0.24 b	0.23 b	—	0.24 b	0.27 b	0.47 b	0.37 c
		PK	0.38 a	0.48 a	0.41 a	0.39 a	—	0.29 b	0.25 b	0.49 b	0.58 ab
		NPK	0.27 c	0.30 b	0.23 b	0.23 b	—	0.36 a	0.35 a	0.65 a	0.59 a
K	2005/2006	CK	3.20 ab	2.72 a	2.56 b	2.83 b	2.96 a	5.01 cd	4.71 b	5.21 ab	—
		NP	2.52 b	2.00 b	2.76 ab	3.34 ab	2.66 a	5.69 bc	5.74 ab	5.52 a	—
		NK	3.63 a	2.57 ab	3.22 ab	3.27 ab	2.85 a	6.35 ab	6.05 a	5.96 a	—
		PK	3.85 a	2.90 a	3.08 ab	2.99 b	2.89 a	4.71 d	5.68 ab	5.21 ab	—
		NPK	3.78 a	2.56 ab	3.39 a	3.65 a	2.75 a	6.82 a	5.66 ab	4.12 b	—
	2006/2007	CK	2.08 b	2.87 ab	2.02 a	1.91 a	—	2.10 b	2.08 b	3.93 a	3.93 b
		NP	2.12 b	1.43 c	0.94 c	1.32 bc	—	2.52 b	2.56 b	4.19 a	3.71 b
		NK	2.47 a	2.43 abc	1.49 b	1.10 c	—	3.22 a	3.90 a	4.00 a	5.27 a
		PK	2.35 ab	3.41 a	2.06 a	1.66 ab	—	2.47 b	2.31 b	3.94 a	4.15 b
		NPK	2.52 a	2.00 bc	1.27 bc	1.29 bc	—	3.23 a	3.51 a	4.21 a	3.96 b

1st、2nd、3rd、4th 和 5th 分别表示收获次数。同列不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

1st, 2nd, 3rd, 4th, and 5th mean the order of harvest time. Values followed by different letters within the same column are significantly different at the 0.05 probability level.

2.2.2 养分吸收量 表 2 显示, 不同施肥措施下饲草 N 素吸收存在显著差异。2005—2006 年与 2006—2007 年中氮磷钾配施处理(NPK)的 N 素总吸收量分别为 500 kg hm⁻²、312 kg hm⁻², 分别比同期其他施氮处理(NP、NK)增加 17.4%、30.5%与 7.6%、18.6%, 说明氮磷钾配施可以提高饲草的氮素吸收。还可以看出, CK、PK 处理的 N 素吸收量基本相当, 两个年度的 N 素吸收量均低于其他处理, 说明氮素的缺乏影响饲草的养分吸收。

同 N 素一样, 氮磷钾配施也可以改善苏丹草与黑麦草的磷素吸收(表 2)。2005—2006 年与 2006—2007 年中 NP K 处理的饲草 P 总吸收量分别为 91 kg hm⁻²、56 kg hm⁻², 分

别比同期 PK、NK、NP 处理高 167.6%、49.2%、7.0%和 133.3%、43.6%、12.0%。2005—2006 年 CK、PK 处理的饲草 P 总吸收量分别为 30 kg hm⁻²、34 kg hm⁻², 2006—2007 年度分别为 21 kg hm⁻²、24 kg hm⁻², 均低于同期其他施氮处理(NP、NK、NPK), 说明氮肥缺乏影响饲草的磷素吸收。

表 3 显示, 2005—2006 年与 2006—2007 年 NPK 处理的饲草 K 素吸收在各个处理中均最高, 分别为 997 kg hm⁻²、402 kg hm⁻², 分别比同期 NP、NK 处理增加 30.2%、22.9%与 36.7%、9.8%。同 N、P 一样, 两个年度 CK、PK 处理的饲草 K 素吸收量相当, 且均低于其他处理, 说明氮肥缺乏条件下施用磷钾肥并没有促进饲草的钾素吸收。

表 2 施肥对饲草养分吸收的影响
Table 2 Effect of fertilization on nutrient uptake of forage grass (kg hm⁻²)

项目 Item	处理 Treatment	2005-2006			2006-2007		
		苏丹草 Sudangrass	黑麦草 Ryegrass	合计 Total	苏丹草 Sudangrass	黑麦草 Ryegrass	合计 Total
N	CK	70 c	34 a	104 d	29 c	16 c	45 c
	NP	297 a	129 b	426 b	125 ab	165 a	290 a
	NK	246 b	137 b	383 c	132 b	131 b	263 b
	PK	60 c	35 c	95 d	30 c	24 c	54 c
	NPK	323 a	177 a	500 a	147 a	165 a	312 a
P	CK	21 c	9 d	30 c	15 b	6 c	21 c
	NP	51 a	34 b	85 a	26 a	24 a	50 a
	NK	37 b	24 c	61 b	25 a	14 b	39 b
	PK	22 c	12 d	34 c	16 b	8 c	24 c
	NPK	52 a	39 a	91 a	29 a	27 a	56 a
K	CK	146 c	118 c	264 c	85 c	47 d	132 d
	NP	394 b	372 b	766 b	138 b	156 c	294 c
	NK	399 b	412 ab	811 b	193 b	173 b	366 b
	PK	166 c	151 c	317 c	93 c	59 d	152 d
	NPK	527 a	470 a	997 a	198 a	204 a	402 a

同列不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著。
Values followed by different letters within the same column are significantly different at the 0.05 probability level.

2.3 轮作制中养分平衡

从氮素平衡来看, 施氮处理(NP、NK、NPK)的氮素平衡均处于盈余。2005—2006 年与 2006—2007 年 NPK 处理的 N 盈余量分别为 175 kg hm⁻²、364 kg hm⁻², 分别比同期 NP、NK 少盈余 42.3%、66.9%与 5.5%、17.0%, 氮磷钾肥配施有利于减少氮素在土壤中盈余。

同氮素一样, 施磷肥也是维持土壤磷素平衡的重要措施。两个年度 NPK 处理的 P 素盈余量均低于同期 PK、NP 处理, 分别少 125.7%、15.2%与 30.8%、5.1%, 氮磷钾肥配施促进饲草磷素吸收, 减少磷素在土壤中盈余。

2005—2006 年, 各处理(除 PK 外)的钾素均处于亏缺状态, 其中不施钾处理(NP)的钾素(K₂O)亏缺达 919 kg hm⁻², 而 NPK 处理的钾素(K₂O)仍亏缺 746 kg hm⁻²。2006—2007 年钾素亏缺状况与 2005—2006 年基本一致,

其中 NP 处理的钾素(K₂O)亏缺达 352 kg hm⁻², NPK 处理钾素(K₂O)亏缺为 47 kg hm⁻², 而 NK 处理基本维持平衡。这说明在苏丹草-黑麦草轮作制中两种作物对钾素的需求均比较大。

表3 轮作制中氮磷钾素平衡
Table 3 N, P, and K balance in rotation regime (kg hm⁻²)

处理 Treatment	2005-2006			2006-2007		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	-104	-70	-317	-46	-50	-158
NP	249	121	-919	384	208	-352
NK	292	-139	-522	426	-83	18
PK	-95	237	70	-54	259	286
NPK	175	105	-746	364	198	-47

2.4 土壤性质

2.4.1 有机质与全氮 图 3 显示, 随着苏丹草与黑麦草种植季次的增加, 整体上各个处理的土壤有机质均呈上升趋势, 但同期各处理间没有达到显著差异。还可以看出, 苏丹草季后土壤有机质略有上升, 而黑麦草季后土壤有机质基本稳定。

图 4 显示, 两个年度苏丹草-黑麦草轮作中, 各处理土壤全氮的变化较小, 其中 CK 处理的全氮略有下降, 而 NP、NK、NPK 处理的土壤全氮略有上升, PK 处理基本稳定。

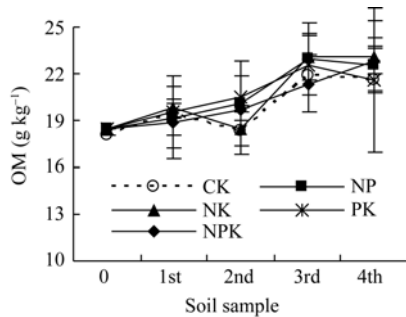


图 3 有机质变化

Fig. 3 Changes of organic matter

0 表示原始土样, 1st 和 2nd 分别表示 2005—2006 年苏丹草、黑麦草季后土样, 3rd 和 4th 分别表示 2006—2007 年苏丹草、黑麦草季后土样。

0 mean original soil; 1st and 2nd mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2005–2006; 3rd and 4th mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2006–2007, respectively.

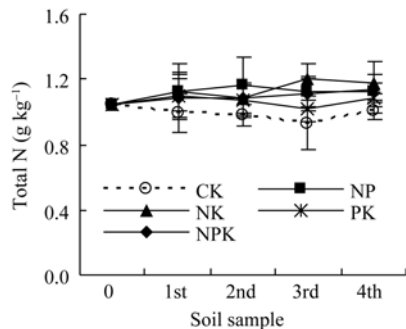


图 4 全氮变化

Fig. 4 Change of total nitrogen

0 表示原始土样, 1st 和 2nd 分别表示 2005—2006 年苏丹草、黑麦草季后土样, 3rd 和 4th 分别表示 2006—2007 年苏丹草、黑麦草季后土样。

0 mean original soil; 1st and 2nd mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2005–2006; 3rd and 4th mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2006–2007, respectively.

2.4.2 速效磷与速效钾 图 5 表明, 苏丹草-黑麦草轮作制中, NP、PK、NPK 处理的土壤速效磷含量上升, 而 CK、NK 处理的土壤速效磷下降。2006/2007 年度黑麦草季后, PK 处理的速效磷含量最高, 为 22 mg kg^{-1} , NP、NPK 处理次之, 而 CK、NK 处理最低, 且三者差异达到显著水平。两个年度中 NK 处理的土壤速效磷均低于同期其他处理, 说明 NK 肥施用加速了饲草从土壤中吸收磷素。

图 6 表明, 在苏丹草-黑麦草轮作制中, 除 PK 外,

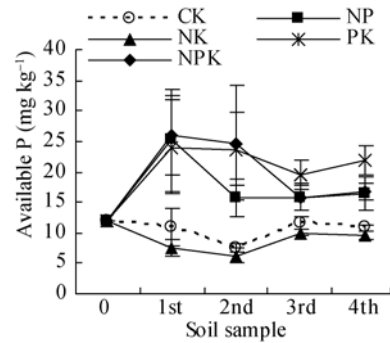


图 5 速效磷变化

Fig. 5 Change of available phosphorus

0 表示原始土样, 1st 和 2nd 分别表示 2005—2006 年苏丹草、黑麦草季后土样, 3rd 和 4th 分别表示 2006—2007 年苏丹草、黑麦草季后土样。

0 mean original soil; 1st and 2nd mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2005–2006; 3rd and 4th mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2006–2007, respectively.

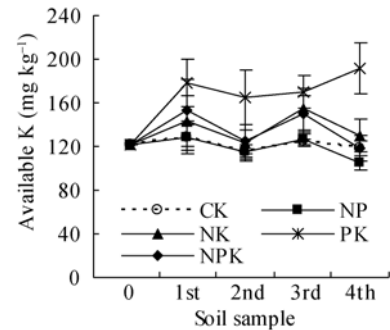


图 6 速效钾变化

Fig. 6 Change of available potassium

0 表示原始土样, 1st 和 2nd 分别表示 2005—2006 年苏丹草、黑麦草季后土样, 3rd 和 4th 分别表示 2006—2007 年苏丹草、黑麦草季后土样。

0 mean original soil; 1st and 2nd mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2005–2006; 3rd and 4th mean soil after growing Sudangrass and ryegrass in 2006–2007, respectively.

其他处理变化趋势一致, 苏丹草种植后土壤速效钾上升, 而黑麦草种植后土壤速效钾下降。PK 处理的土壤速效钾含量在同期各处理中最高, 整体上呈上升趋势。NP 处理的土壤速效钾均低于同期其他处理, 说明施用 NP 肥加速了饲草从土壤中吸收钾素。

3 讨论

作物产量的稳定性受作物生长环境条件的影响, 气候(温度、光照、水分)、栽培条件、管理措施等严重影响作物生产和产量提高^[16-19]。孙本普等^[20]研究指出, 在一定的地区范围内及相似栽培条件下, 冬小麦产量因不同年份气候条件的变化而变化。张钰仁等^[21]研究指出温度、降水、热量等气候因素与牧草产量密切相关, 总体上降水越多、气温越高, 牧草产量越高。本试验条件下, 各处理的牧草产量年际间存在着差异, 2006—2007 年度干旱等气候因素影响苏丹草的正常生长, 首次刈割时间较往年推迟一个月, 苏丹草生育期也随之缩短, 因此苏丹草试验期产量较低。生育期的缩短及产量的降低进一步影响牧

草养分吸收的时期与吸收量, 造成试验中氮磷钾吸收量及养分平衡的年际差异。但是, 试验中仍然发现, 两个年度的 NPK 处理饲草产量在各个处理中均最高, 说明氮磷钾肥配施是苏丹草-黑麦草轮作体系中饲草获得高产的重要措施。NPK 处理的养分吸收量在各个处理中也最高, 且土壤中氮、磷盈余量均低于其他施肥处理, 这有利于养分资源利用效率的提高, 减少过多养分进入环境带来的威胁。因此合理施用化肥在江汉平原饲草种植系统中应是一项重要任务。

植物地上部与地下部是一个统一的整体, 地上部分不仅对地下部分的生长有着重要的影响, 而且是地下部分生长发育的能量来源, 又依靠地下部吸收其生长所需的水分和营养物质^[22]。气候因素也影响植物地下部分的积累, 降水量的年季变化直接影响地下生物量的年季变化, 而积温的多少又直接影响自然界可提供的能量, 从而决定了地下生物量形成的能量基础^[23], 可见, 植物地上部、地下部在物质交换、能量流动方面密切相关。苏丹草是一种夏季型牧草, 黑麦草是一种越冬型牧草, 且苏丹草是一种 C₄ 作物, 生长优势高于 C₃ 作物黑麦草^[24], 因此苏丹草地下部分的生长优势也较黑麦草高, 苏丹草季后更多的根系残茬留在土壤中, 可能导致苏丹草种植后土壤有机质上升, 而黑麦草种植后有机质基本稳定。本试验也发现, 苏丹草种植后土壤速效钾含量上升, 而黑麦草种植后土壤速效钾略下降。这是由于苏丹草的钾素吸收量高于黑麦草的钾素吸收量, 但相差较小, 然而苏丹草试验期钾肥的投入量远高于黑麦草试验期, 同时两种饲草生育期气候、根系生长均不相同。

References

- [1] Zhang C-X(张春霞), Hao M-D(郝明德), Xie B-C(谢佰承). Effect of application amounts of different chemical fertilizers on soil carbon pool. *Chin J Soil Sci* (土壤通报), 2006, 37(5): 861–864 (in Chinese with English abstract)
- [2] Lü J-L(吕家珑), Zhang Y-P(张一平), Wang X-D(王旭东), Zhao G-X(赵高霞), Zhang C-H(张春惠). Effect of long-term single application of chemical fertilizer on soil properties and crop yield. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, 12(4): 569–572(in Chinese with English abstract)
- [3] Shi H-R(史鸿儒), Zhang W-Z(张文忠), Xie W-X(解文孝), Yang Q(杨庆), Zhang Z-Y(张振宇), Han Y-D(韩亚东), Xu Z-J(徐正进), Chen W-F(陈温福). Analysis of matter production characteristics under different nitrogen application patterns of japonica super rice in North China. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(11): 1985–1993(in Chinese with English abstract)
- [4] Miglierina A M, Iglesias J O, Landriscini M R, Galantini J A, Rosell R A. The effects of crop rotation and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina 1: Soil physical and chemical properties. *Soil Till Res*, 2000, 53: 129–135
- [5] Kong H-M(孔宏敏), He Y-Q(何圆球), Wu D-F(吴大付), Li C-L(李成亮). Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility of upland red soil. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2004, 15(5): 782–786(in Chinese with English abstract)
- [6] Lu J-W(鲁剑巍), Chen F(陈防), Liang Y-G(梁友光), Lu J-M(鲁君明). Effect of phosphorus and potassium fertilizer on economic benefit and yield of forage grass. *Reservoir Fish* (水利渔业), 2003, 23(2): 58–59(in Chinese)
- [7] Lu J-W(鲁剑巍), Li X-K(李小坤), Liang Y-G(梁友光), Lu J-M(鲁君明), Chen F(陈防). Effect of balance fertilization on growth and yield of Ryegrass. *Reservoir Fish* (水利渔业), 2004, 24(2): 20–22(in Chinese)
- [8] Wang J-Q(王激清), Liu Q-Q(刘全清), Ma W-Q(马文奇), Jiang R-F(江荣凤), Zhang F-S(张福锁). Utilization and rational control measures of nutrient resources in China. *Resour Sci* (资源科学), 2005, 27(3): 47–53(in Chinese with English abstract)
- [9] Liu Z-H(刘兆辉), Jiang L-H(江丽华), Zhang W-J(张文君), Zheng F-L(郑福丽), Wang M(王梅), Li H-T(林海涛). Evolution of fertilization and variation of soil nutrient contents in greenhouse vegetable cultivation in Shandong. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 2008, 45(2): 296–303(in Chinese with English abstract)
- [10] Zhu Z-L(朱兆良). Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction. *Soil Environ Sci* (土壤与环境), 2000, 9(1): 1–6(in Chinese with English abstract)
- [11] Buciene A, Svedas A, Antanaitis S. Balances of the major nutrients N, P and K at the farm and field level and some possibilities to improve comparisons between actual and estimated crop yields. *Eur J Agron*, 2003, 20: 53–62
- [12] Haefele S M, Wopereis M C, Schloebom A M, Wiechmann H. Long-term fertility experiments for irrigated rice in the West African Sahel: Effect on soil characteristics. *Field Crops Res*, 2004, 85: 61–77
- [13] Zeng Y-J(曾勇军), Shi Q-H(石庆华), Pan X-H(潘晓华), Han T(韩涛). Effects of nitrogen application amount on characteristics of nitrogen utilization and yield formation in high yielding early hybrid rice. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(8): 1409–1416(in Chinese with English abstract)
- [14] Xu G-W(徐国伟), Yang L-N(杨立年), Wang Z-Q(王志琴), Liu L-J(刘立军), Yang J-C(杨建昌). Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on absorption and utilization of nitrogen, phosphorus, and potassium in rice plants. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(8): 1424–1434(in Chinese with English abstract)
- [15] Bao S-D(鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis (土壤农业化学分析). Beijing: China Agriculture Press, 2000(in Chinese)
- [16] Huang Q-R(黄欠如), Hu F(胡锋), Li H-X(李辉信), Lai T(赖涛), Yuan Y-H(袁颖红). Crop yield response to fertilization and its relations with climate and soil fertility in red paddy soil. *Acta Pedol Sin* (土壤学报), 2006, 43(6): 926–933(in Chinese with English abstract)

- [17] Zhang W-X(张卫星), Zhu D-F(朱德峰), Xu Y-C(徐一成), Lin X-Q(林贤青), Zhang Y-P(张玉屏), Chen H-Z(陈惠哲), Zhao Z(赵致). Grain morphological traits measured based on vision detection technology and their relation to grain weight in rice under different water condition. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2008, 34(10): 1826–1835(in Chinese with English abstract)
- [18] Fan X-D(樊晓东), Sun Z-H(孙在红), Qian Z-H(钱珍华). Factors that affect pasture biomass production. *Pratacult Sci* (草业科学), 2003, 20(10): 33–36 (in Chinese with English abstract)
- [19] Wassenaar T, Lagacherie P, Legros J P, Rounsevell M D A. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. *Climate Res*, 1999, 11: 209–220
- [20] Sun B-P(孙本普), Wang Y(王勇), Li X-Y(李秀云), Liu F(刘锋), Wang J-H(王继浩), Zhang B-M(张宝民), Sun Z-G(孙在刚), Qu B-S(曲百收), Yuan X-C(袁训成), Li M(李萌). The influence of climate and cultivation on the yield components of winter wheat in different years. *J Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2004, 24(2): 83–87(in Chinese with English abstract)
- [21] Zhang T-R(张钦仁), Yan L-D(颜亮东), Zhang F(张峰), Li C-S(李朝生), Dong Z-H(董章杭), Chai X-M(柴秀梅), Li Z-Z(李自珍). The impacts of climate change on the natural pasture grass in Qinghai Province. *Plateau Meteorol* (高原气象), 2007, 26(4): 724–731(in Chinese with English abstract)
- [22] Wang X-L(王小利), Zhang L(张力), Zhang D-G(张德罡), Gan Y-M(干友民), Xu G-P(徐广平), Yang Y-H(杨予海), Miao X-L(苗小林), Zhou X-H(周学辉), Deng C-H(邓春辉), Guan-Que Z-X(官却扎西). Quantitative characters of reproductive organs of natural *El ymus excelsus* population in Songnen Plains of China. *Grassland and Turf* (草原与草坪), 2006, (4): 15–21(in Chinese with English abstract)
- [23] Yu W-T(宇万太), Yu Y-Q(于永强). Advances in the research of underground biomass. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2001, 12(6): 927–932(in Chinese with English abstract)
- [24] Wang C-Y(王春乙), Guo J-P(郭建平), Wang X-L(王修兰), Xu S-H(徐师华), Cui D-C(崔读昌), Liang H(梁红). The experimental study of the effects of CO₂ concentration enrichment on physiological feature of C₃ and C₄ crops. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2000, 26(6): 813–817(in Chinese with English abstract)