中国生态农业学报 2012 年 2 月 第 20 卷 第 2 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Feb. 2012, 20(2): 158−162

DOI: 10.3724/SP.J.1011.2012.00158

不同施肥量对绿肥产量和养分积累的影响*

潘福霞[1] 鲁剑巍[1**] 李小坤[1] 刘 威[1] 魏云霞[1]
朱德雄[2] 耿明建[1] 曹卫东[3]

(1. 华中农业大学资源与环境学院 武汉 430070; 2. 湖北省武汉市黄陂土肥站 黄陂 430300;
3. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 北京 100081)

摘 要 大田试验条件下研究不同氮、磷、钾肥用量对绿肥[豆科绿肥紫云英(*Astragalus sinicus* L.)和禾本科绿肥看麦娘(*Alopecurus aequalis* Sobol.)]产量及养分积累量的影响。试验结果表明, 施肥能显著增加绿肥产量, 绿肥鲜草产量较不施肥处理增加 42.8%~311.1%, 与缺素处理相比, 氮、磷、钾肥的增产率分别为 57.1%~177.5%、27.8%~178.7%、14.2%~32.4%。两种绿肥的鲜草产量均随氮、磷、钾肥施用量的增加而增加, 中、高水平的氮、磷肥用量下看麦娘的产量均高于紫云英, 所有钾肥处理的看麦娘产量均高于紫云英。绿肥的养分积累量均随施肥量的增加而增加, 中高水平的氮、磷肥用量下看麦娘的氮、磷积累量高于紫云英, 不同钾水平下的看麦娘钾积累量均高于紫云英。氮、磷、钾肥用量分别为 112.5 kg(N)·hm^{-2}、19.7 kg(P)·hm^{-2}、37.5 kg(K)·hm^{-2} 时, 两种绿肥总产量及碳、氮、磷、钾积累量最高, 分别为 49 424 kg·hm^{-2} 和 3 212 kg(C)·hm^{-2}、151 kg(N)·hm^{-2}、19.8 kg(P)·hm^{-2}、156 kg(K)·hm^{-2}。 此时看麦娘产量、碳、氮、磷、钾积累量分别占总量的 59.0%、65.7%、66.3%和 64.4%。紫云英田间自然洒种的看麦娘无成本投入且养分积累量高, 不失为一种优质绿肥。

关键词 施肥量 绿肥 紫云英 看麦娘 产量 养分积累量
中图分类号: S142+.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)02-0158-05

Effect of fertilizer amount on yield and nutrient accumulation of green manures

PAN Fu-Xia[1], LU Jian-Wei[1], LI Xiao-Kun[1], LIU Wei[1], WEI Yun-Xia[1], ZHU De-Xiong[2], GENG Ming-Jian[1], CAO Wei-Dong[3]

(1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Huangpi Soil and Fertilizer Station of Wuhan City, Hubei Province, Huangpi 430300, China; 3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The abundant winter fallow fields in southern China can be used to cultivate green manure crops. It has been demonstrated that returning green manure to farmlands supports sustainable agricultural development. Green manure yield has, however, decreased sharply in recent years, seriously limiting large-scale applications of green manure in agricultural production. A field experiment was conducted to study the effect of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) fertilizers on yield and nutrient accumulation of green manure. The crops considered for use as green manure in this study included *Astragalus sinicus* L. and *Alopecurus aequalis* Sobol., which were studied in 11 treatments. *A. aequalis* was a natural reseeding gramineae grass grown in *A. sinicus* field. For more accurate analysis, 2 types of green manure were separately harvested and weighted. Results showed that fertilizer application significantly increased fresh yield of two plants. Compared with non-fertilizer treatments, yield under fertilizer treatments increased by 42.8%~311.1%. Compared with nutrient deficiency treatment, N, P and K treatments increased yield by 57.1%~177.5%, 27.8%~178.7% and 14.2%~32.4%, respectively. Fresh yields of the 2 green manures increased with increasing application rates of N, P, K. Fresh yield of *A. aequalis* was higher than that of *A. sinicus* under the medium and high application amounts of N and P fertilizers. For all K fertilizer treatments, *A. aequalis* produced higher fresh yield than *A. sinicus*. Green manure nutrient accumulation increased with increasing N, P, K application rate. Under medium and high N and P treatments, N and P accumulations in *A.*

* 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103005)资助
** 通讯作者: 鲁剑巍(1967—), 男, 教授, 主要从事作物养分管理与土壤肥力方面的研究。E-mail: lujianwei@mail.hzau.edu.cn
潘福霞(1985—), 女, 硕士研究生, 研究方向为作物营养施肥与生态环境。E-mail: eary2007@163.com
收稿日期: 2011−05−15 接受日期: 2011−08−31

aequalis were higher than those in *A. sinicus*. However, K accumulation in *A. aequalis* was higher than that in *A. sinicus* for all K treatments. With 112.5 kg·hm^{-2}, 19.7 kg·hm^{-2} and 37.5 kg·hm^{-2} of N, P and K fertilizer application rates, total yield and C, N, P and K accumulations of two plants were maximum, reaching 49 424 kg·hm^{-2}, 3 212 kg·hm^{-2}, 151 kg·hm^{-2}, 19.8 kg·hm^{-2} and 156 kg·hm^{-2}, respectively. Meanwhile, yield and C, N, P and K accumulations in *A. aequalis* accounted for 59.0%, 65.7%, 66.3% and 64.4% of the above total amounts. Those indicated that *A. aequalis* was a high quality green manure with a little input.

Key words　Fertilization rate, Green manure, *Astragalus sinicus* L., *Alopecurus aequalis* Sobol., Yield, Nutrient accumulation
(Received May 15, 2011; accepted Aug. 31, 2011)

20 世纪 80 年代后期, 化肥因具有施用方便、增产效果好等优点而广泛应用, 化肥施用量呈逐年上升趋势[1]。然而氮肥生产能源消耗量大且污染严重, 我国高品位的磷矿资源短缺, 钾肥依赖进口的比例大, 价格逐年攀升, 进而导致农业经济效益降低[2−3]。与此同时, 化肥损失率大和施用不当又对环境构成了威胁[4−5]。因此, 在保证粮食安全条件下减少化肥用量是当前农业生产面临的严峻课题。绿肥是一种养分完全、无污染的有机肥, 可替代部分化肥[6−7], 能够改善土壤理化性质[8−9], 培肥土壤[10]。此外, 冬闲田上种植绿肥能够起到保持土壤水分, 防止土壤侵蚀, 阻截养分地面淋失的作用[11], 绿肥还能通过根系吸收下层养分, 促进表层土壤的养分富集。紫云英(*Astragalus sinicus* L.)是南方稻田的传统冬季绿肥[12], 在不清除田间杂草的自然条件下, 紫云英常与禾本科看麦娘(*Alopecurus aequalis* Sobol.)共生, 尽管传统上将看麦娘看做是一种冬季杂草[13], 但它并不会对后季水稻的生长构成威胁, 而且看麦娘在生长过程中同样积累物质养分, 因此在冬闲田上同样可以作为绿肥作物让其生长[14]。植物生长都需要养分, 绿肥也不例外, 诸多研究表明施肥能够提高作物产量, 但并非施肥量越多产量越高[15], 且不同作物对不同肥料的需求量不同, 明确两种绿肥对化肥的需求量, 对于合理施用化肥从而提高绿肥鲜草产量, 达到“以小肥换大肥”的目的具有重要意义。前人研究仅限于不同氮、磷、钾肥用量下的紫云英产量[16], 而紫云英自然生长状态下田间看麦娘的产量及养分积累量尚少见报道。将看麦娘也作为一种绿肥, 对于绿肥的产量和养分积累量的评估更确切。本文对不同氮、磷、钾肥用量对紫云英和看麦娘物质养分积累的影响进行了研究, 以期了解看麦娘在总产量及养分积累量中的地位及其作为绿肥的价值, 旨在为确定低肥力土壤种植绿肥的合理化肥施用量提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验地点与材料

试验区位于湖北省武汉市黄陂区前川杨垸, 土壤类型为水稻土。试验前取耕层土壤测定其理化性质分别为: pH 5.50, 有机质含量 22.22 g·kg^{-1}, 全氮 1.25 g·kg^{-1}, 速效磷 2.57 mg·kg^{-1}, 速效钾 41.35 mg·kg^{-1}。供试紫云英品种为“弋江种”。

1.2　试验设计

试验设不施肥以及氮、磷、钾肥不同用量共 11 个处理: (1)$N_0P_0K_0$; (2)$N_0P_2K_2$; (3)$N_1P_2K_2$; (4)$N_2P_2K_2$; (5)$N_3P_2K_2$; (6)$N_2P_0K_2$; (7)$N_2P_1K_2$; (8)$N_2P_3K_2$; (9)$N_2P_2K_0$; (10)$N_2P_2K_1$; (11)$N_2P_2K_3$。其中 N_0、N_1、N_2、N_3 分别表示氮肥用量为 0、37.5 kg(N)·hm^{-2}、75.0 kg(N)·hm^{-2}、112.5 kg(N)·hm^{-2}, P_0、P_1、P_2、P_3 分别表示磷肥用量为 0、9.85 kg(P)·hm^{-2}、19.70 kg(P)·hm^{-2}、29.55 kg(P)·hm^{-2}, K_0、K_1、K_2、K_3 分别表示钾肥用量为 0、18.75 kg(K)·hm^{-2}、37.50 kg(K)·hm^{-2}、56.25 kg(K)·hm^{-2}。各处理设 2 次重复, 随机区组排列, 小区面积 20 m^2。紫云英播种量为 37.5 kg·hm^{-2}, 看麦娘为自然生长后洒落的种子。

2009 年 10 月 17 日划小区、施肥, 肥料全部基施。2009 年 10 月 18 日播种, 将紫云英种子与细沙混匀后撒播。绿肥生长期间不进行任何人为管理, 任其自然生长。2010 年 4 月 15 日收获鲜草, 每小区随机取 2 m^2 的样方测产, 将紫云英与看麦娘产量分别计重。两者分别取部分鲜样称重, 105 ℃杀青 30 min, 60 ℃烘干至恒重, 磨碎后待测。

1.3　测定项目及方法

植物样采用重铬酸钾容量法测定全碳含量, 样品采用 H_2SO_4-H_2O_2 法消煮, 流动注射分析仪测定 N、P 含量, 火焰光度计法测定 K 含量[17]。

养分积累量=干物质产量×养分含量　　(1)

数据采用 Excel 和 DPS 软件处理, 用 Duncan 新复极差法(P<0.05 置信水平)检验数据的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　不同施肥处理对绿肥产量的影响

由表 1 可知, 各施肥处理紫云英和看麦娘两种绿肥产量均较不施肥处理有不同程度的增加, 总产量较不施肥处理增加 42.8%~311.1%。不同氮、磷、钾水平下比较, 氮肥的增产率为 57.0%~177.5%, 磷肥的增产率为 27.8%~178.7%, 钾肥的增产率为

14.2%~32.4%。中、高水平氮、磷肥用量下看麦娘的产量均高于紫云英，所有钾肥处理的看麦娘产量均高于紫云英。

紫云英和看麦娘产量的比值位于 0.59~3.23 之间，$N_2P_3K_2$ 处理最低，$N_2P_0K_2$ 处理最高。在不同氮水平下，紫云英和看麦娘产量的比值随施氮量的增加而降低，不同磷水平下的表现亦是如此，且下降幅度高于氮水平，而不同钾肥施用量对两者比值的影响较小，说明随氮、磷肥施用量的增加对看麦娘的增产效果比紫云英高，而两者施用钾肥的增产效果基本相同。

2.2 不同施肥处理对绿肥养分含量及积累量的影响

2.2.1 养分含量

不同施肥量对紫云英和看麦娘两种绿肥养分含量的影响不同。由表 2 可知，不同氮肥用量条件下，紫云英氮含量在 N_2 水平达到最高，而在 N_3 水平略有下降，看麦娘的氮含量始终呈上升趋势。两种绿肥的氮含量比较可以看出，不同氮水平下紫云英的氮含量均高于看麦娘。不同磷肥用量条件下，两种绿肥的磷含量均呈增加趋势，且在 P_0 水平下，看麦娘的磷含量高于紫云英，P_1、P_2 水平下低于紫云英，P_3 水平下两者相同。不同钾肥用量条件下，两种绿肥的钾含量均呈增加趋势，K_0、K_3 水平下看麦娘的钾含量高于紫云英，而在 K_1、K_2 水平下，看麦娘的钾含量低于紫云英。

2.2.2 养分积累量

由图 1 可知，施肥处理的绿肥碳、氮、磷、钾积累量均显著高于不施肥处理。

表 1 不同施肥量对紫云英和看麦娘两种绿肥鲜草产量的影响

Table 1 Effect of fertilizer application amounts on the yield of *A. sinicus* and *A. aequalis*

肥料 Fertilizer	施肥处理 Fertilizer treatment	产量 Yield ($kg \cdot hm^{-2}$)			紫云英与看麦娘产量比值 Yield ratio of *A. sinicus* to *A. aequalis*
		紫云英 *A. sinicus*	看麦娘 *A. aequalis*	总产量 Total yield	
不施肥 No fertilizer	$N_0P_0K_0$	8 275	4 200	12 475	1.97
氮水平 N level	$N_0P_2K_2$	11 613d	6 200d	17 813d	1.87
	$N_1P_2K_2$	15 650c	12 325c	27 975c	1.27
	$N_2P_2K_2$	17 871b	22 988b	40 859b	0.78
	$N_3P_2K_2$	20 274a	29 150a	49 424a	0.70
磷水平 P level	$N_2P_0K_2$	14 050b	4 350d	18 400c	3.23
	$N_2P_1K_2$	15 056b	8 450c	23 506c	1.78
	$N_2P_2K_2$	17 871a	22 988b	40 859b	0.78
	$N_2P_3K_2$	18 932a	32 350a	51 282a	0.59
钾水平 K level	$N_2P_2K_0$	14 250c	19 525b	33 775c	0.73
	$N_2P_2K_1$	16 002bc	22 581a	38 583b	0.71
	$N_2P_2K_2$	17 871ab	22 988a	40 859ab	0.78
	$N_2P_2K_3$	19 229a	25 500a	44 729a	0.75

N_0: 0 $kg(N) \cdot hm^{-2}$, N_1: 37.5 $kg(N) \cdot hm^{-2}$, N_2: 75.0 $kg(N) \cdot hm^{-2}$, N_3: 112.5 $kg(N) \cdot hm^{-2}$; P_0: 0 $kg(P) \cdot hm^{-2}$, P_1: 9.85 $kg(P) \cdot hm^{-2}$; P_2: 19.70 $kg(P) \cdot hm^{-2}$, P_3: 29.55 $kg(P) \cdot hm^{-2}$; K_0: 0 $kg(K) \cdot hm^{-2}$, K_1: 18.75 $kg(K) \cdot hm^{-2}$, K_2: 37.50 $kg(K) \cdot hm^{-2}$, K_3: 56.25 $kg(K) \cdot hm^{-2}$. 同列不同小写字母表示不同氮磷钾处理在 5%水平下差异显著，下同。Different small letters in the same column mean significant difference at 5% level among different NPK treatments. The same below.

表 2 不同施肥量对紫云英和看麦娘两种绿肥养分含量的影响(干基%)

Table 2 Effect of different fertilizer application amounts on the nutrient content of *A. sinicus* and *A. aequalis* (dry matter %)

肥料 Fertilizer	施肥处理 Fertilizer treatment	紫云英 *A. sinicus*				看麦娘 *A. aequalis*			
		C	N	P	K	C	N	P	K
不施肥 No fertilizer	$N_0P_0K_0$	44.59	1.75	0.17	1.51	44.16	1.29	0.21	1.89
氮水平 N level	$N_0P_2K_2$	43.98a	1.77c	0.23b	2.06b	44.55a	1.29b	0.21b	2.09b
	$N_1P_2K_2$	44.37a	2.25b	0.26a	2.13ab	44.77a	1.46b	0.22b	2.10ab
	$N_2P_2K_2$	44.32a	2.46a	0.25ab	2.21a	44.87a	1.76a	0.22b	2.14a
	$N_3P_2K_2$	44.68a	2.44a	0.28a	2.25a	44.89a	1.85a	0.28a	2.14a
磷水平 P level	$N_2P_0K_2$	43.60a	2.25c	0.14c	2.12b	44.64a	1.66a	0.17c	2.08b
	$N_2P_1K_2$	43.37a	2.35b	0.21b	2.17ab	44.64a	1.76a	0.19bc	2.06b
	$N_2P_2K_2$	44.32a	2.46a	0.25ab	2.21a	44.87a	1.76a	0.22b	2.14ab
	$N_2P_3K_2$	44.71a	2.50a	0.27a	2.20a	44.77a	1.75a	0.27a	2.16a
钾水平 K level	$N_2P_2K_0$	44.54a	2.35b	0.23a	1.29c	44.95a	1.76a	0.23b	1.83b
	$N_2P_2K_1$	44.80a	2.35b	0.24a	2.03b	44.07a	1.72a	0.23b	1.94b
	$N_2P_2K_2$	44.32a	2.46a	0.25a	2.21ab	44.87a	1.76a	0.22b	2.14ab
	$N_2P_2K_3$	44.59a	2.38b	0.25a	2.30a	43.69a	1.73a	0.25a	2.37a

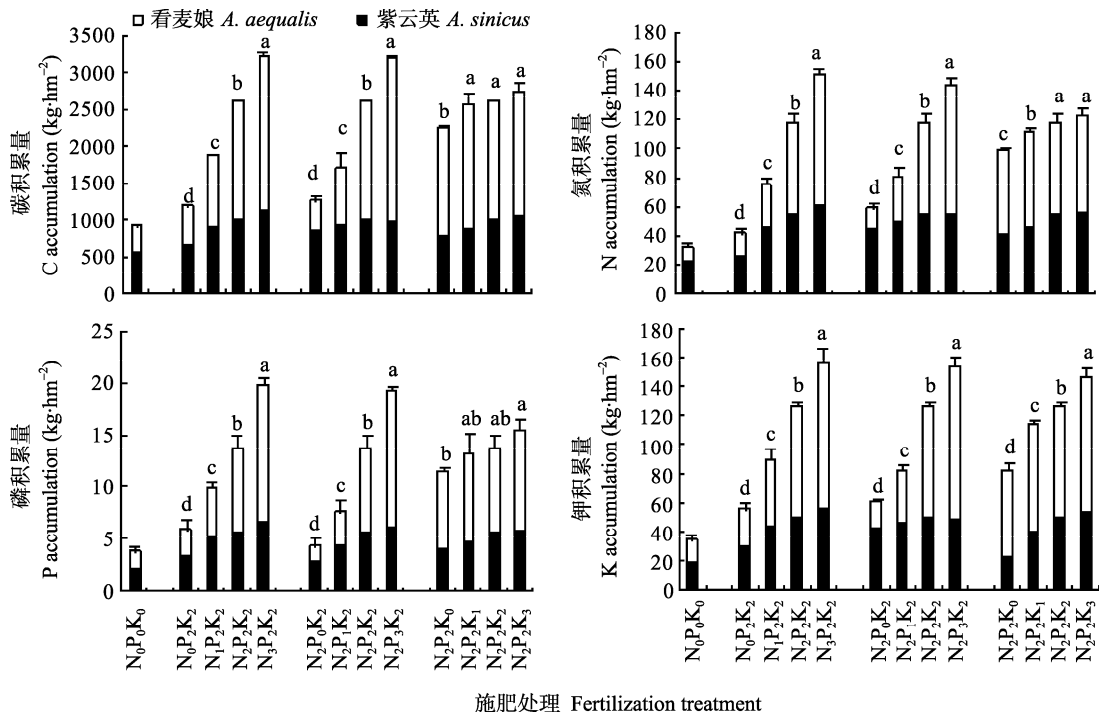


图 1　不同施肥处理对紫云英和看麦娘两种绿肥碳、氮、磷、钾积累量的影响

Fig. 1　Effect of different fertilizer application amounts on C, N, P, K accumulation of *A. sinicus* and *A. aequalis*

绿肥的碳、氮积累量均随氮、磷肥施用量的增加而显著增加, 而随钾肥用量增加而略有增加。施氮、磷、钾肥的绿肥碳积累量较不施氮、磷、钾肥处理分别增加 58.3%~173.2%、36.5%~154.8%和 13.4%~21.8%。而绿肥氮积累量较不施氮、磷、钾肥处理分别增加 83.6%~268.0%、36.7%~143.3%和 13.2%~24.8%。绿肥的磷积累量均随肥料施用量的增加而增加, 施用氮、磷肥增加幅度较大, 施用钾肥增加幅度较小, 施氮、磷、钾肥处理的绿肥磷积累量较不施氮、磷、钾肥处理分别增加 69.2%~238.7%、78.4%~349.4%和 15.3%~34.5%。绿肥的钾积累量均随氮、磷、钾肥施用量的增加而显著增加, 处理间差异显著。施氮、磷、钾肥处理的绿肥钾积累量较不施氮、磷、钾肥处理分别增加 61.2%~184.4%、35.8%~156.4%和 38.7%~78.6%。

2.3　不同施肥处理对绿肥碳氮比的影响

由表 3 可知, 紫云英和看麦娘的碳氮比不同, 紫云英碳氮比较低, 而看麦娘碳氮比相对较高。不施肥、缺氮和 N_1 水平下, 绿肥总量的碳、氮积累量比值均高于 24, 而其余处理的碳氮积累量比值均位于 21~24 之间, 满足腐解的适宜条件, 说明冬季绿肥田中紫云英与看麦娘组成的混合碳氮比更有利于绿肥腐解。

表 3　不同施肥处理紫云英和看麦娘两种绿肥碳氮比的变化

Table 3　Changes of C/N of *A. sinicus* and *A. aequalis* under different fertilizer application amounts

肥料 Fertilizer	施肥处理 Fertilization treatment	紫云英 *A. sinicus*	看麦娘 *A. aequalis*	紫云英+看麦娘 *A. sinicus* + *A. aequalis*
不施肥 No fertilizer	$N_0P_0K_0$	25.45	34.18	28.37
氮水平 N level	$N_0P_2K_2$	24.83	34.86	28.60
	$N_1P_2K_2$	19.71	31.98	24.66
	$N_2P_2K_2$	18.03	25.51	22.05
	$N_3P_2K_2$	18.30	23.17	21.23
磷水平 P level	$N_2P_0K_2$	19.39	26.94	21.28
	$N_2P_1K_2$	18.42	25.73	21.24
	$N_2P_2K_2$	18.03	25.51	22.05
	$N_2P_3K_2$	17.90	25.00	22.29
钾水平 K level	$N_2P_2K_0$	18.95	25.64	22.87
	$N_2P_2K_1$	19.18	25.51	22.92
	$N_2P_2K_2$	18.03	25.51	22.05
	$N_2P_2K_3$	18.76	25.24	22.33

3　讨论

3.1　施肥对两种绿肥的增产效果

施肥是增产的重要措施之一[18], 本研究结果表明, 各施肥处理的绿肥鲜草产量均显著高于不施肥处理, 但氮、磷、钾肥对两种绿肥的增产效果不同, 紫云英施氮增产率最高, 看麦娘施磷增产率最高, 两种绿肥施用钾肥的增产率均较低。不同缺素处理($N_0P_2K_2$、$N_2P_0K_2$、$N_2P_2K_0$)比较可以看出, 缺氮条件下紫云英的鲜草产量最低, 而缺磷和缺钾条件下鲜草产量差异较小, 说明紫云英对氮肥的需求大于磷肥和钾肥。看麦娘在缺磷条件下鲜草产量最低, 其次是缺氮, 表明看麦娘增产对磷肥依赖性大, 其次

是氮肥, 这与前人研究结果一致[19–20]。

不同氮水平下, 看麦娘氮含量均低于紫云英, 这可能与紫云英具有固氮作用有关。P_0 水平下看麦娘磷含量高于紫云英, P_3 水平下两者相同, 而 P_1、P_2 水平下则低于紫云英, 说明看麦娘在低磷和高磷条件下的吸磷能力强于紫云英。不同钾肥水平下也表现出同样的趋势。这在某种程度上表明, 看麦娘对土壤养分条件的适应性优于紫云英。不同氮、磷、钾肥用量能够改变两种绿肥养分积累量比值, 紫云英与看麦娘的氮、磷、钾积累量比值均随氮、磷肥施用量的增加而降低, 即高养分条件下看麦娘的养分积累量高于紫云英。

3.2 对农业生产的指导作用

以“小肥换大肥”是评判绿肥品质好坏的重要指标之一。除 $N_2P_0K_2$、$N_0P_2K_2$、$N_2P_0K_2$ 处理外, 其余处理的氮、钾积累量均高于投入量。除 $N_3P_2K_2$ 处理外, 其余处理的磷积累量均低于投入量, 这与磷肥的施用量较高以及紫云英和看麦娘对磷需求量较小有关。同时, 诸多研究表明, 近年来农田土壤的速效磷含量均较第 2 次土壤普查时有较大提高[21–22], 因此在当前土壤条件下种植绿肥应适当减少磷肥用量。$N_3P_2K_2$ 处理两种绿肥的碳及氮、磷、钾积累量总和最高, 此时绿肥的 N、P、K 总积累量均高于投入量, 而紫云英的养分积累量仅占总量的 35%左右, 说明在相同施肥量下, 看麦娘的生长强于紫云英, 这对于增加绿肥的物质养分积累量具有重要意义。

绿肥生产要求简单易行, 尽量减少劳动力投入。本研究表明, 在撒种紫云英后无任何人工管理的条件下, 适宜肥料用量下紫云英与看麦娘的氮、磷、钾总积累量均大于投入量, 这对于节约劳动力, 减少冬闲田面积, 提高土壤质量具有重要意义。看麦娘为自然洒落的种子, 种子数量无法确切估计, 也是本研究的缺憾, 而另一方面, 当前紫云英种子供不应求导致价格过高, 而看麦娘作为自然洒种的绿肥植物, 无成本投入且养分积累量高, 不失为一种优质绿肥。另外, 看麦娘与紫云英在物质组成上存在差异, 这也会导致看麦娘的腐解及养分释放特征不同于紫云英, 因此, 两者翻压还田后腐解及养分释放特征还有待于进一步研究。

4 结论

在适宜肥料用量下, 看麦娘的产量及养分积累量均较高, 是一种优质绿肥。不同氮、磷、钾肥用量均能提高绿肥鲜草产量, 尤其是氮、磷肥增产幅度较大。紫云英与看麦娘的鲜草产量均随施肥量的增加而增加, 而两者比值则随氮、磷、钾肥施用量的增加而降低。低肥力土壤上种植绿肥的肥料适宜用量分别为 N 112.5 $kg·hm^{-2}$、P 19.7 $kg·hm^{-2}$、K 37.5 $kg·hm^{-2}$, 此时绿肥产量达 49 424 $kg·hm^{-2}$, C、N、P、K 积累量分别为 3 212 $kg·hm^{-2}$、151 $kg·hm^{-2}$、19.8 $kg·hm^{-2}$、156 $kg·hm^{-2}$, 看麦娘产量、碳、氮、磷、钾积累量分别占总量的 59.0%、65.7%、66.3%和 64.4%。

参考文献

[1] 张卫峰, 王雁峰, 马文奇, 等. 中国化肥需求预测方法浅析[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 1–5

[2] 石元亮, 王玲莉, 刘世彬, 等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 852–864

[3] 王激清, 刘全清, 马文奇, 等. 中国养分资源利用状况及调控途径[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 47–53

[4] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915–924

[5] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策. Ⅰ. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008–1017

[6] 许建平, 徐瑞国, 施振云, 等. 水稻–绿肥(蚕豆)轮作减少氮化肥用量研究[J]. 上海农业学报, 2004, 24(4): 86–89

[7] 乔俊, 颜廷梅, 薛峰, 等. 太湖地区稻田不同轮作制度下的氮肥减量研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1): 24–31

[8] 汪汇海, 李德厚. 滇南热区优良绿肥饭豆栽培及其利用研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 127–129

[9] 齐龙波, 周卫军, 郭海彦, 等. 覆盖和间作对亚热带红壤茶园土壤磷营养的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 593–597

[10] 周卫军, 王凯荣, 谢小立. 红壤稻田种植制度的养分平衡特征[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(1): 61–63

[11] 刘晓冰, 宋春雨, Herbert S J, 等. 覆盖作物的生态效应[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 365–368

[12] 林多胡, 顾荣申. 中国紫云英[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2000: 153–160

[13] 戈廷安, 陈水南, 沈龙元, 等. 稻茬轻型栽培麦田杂草发生规律及群落组成调查[J]. 上海农业科技, 2000(1): 31–34

[14] 刘佳. 二月兰的营养特性及其绿肥效应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010

[15] 杨曾平, 张杨珠, 曾希柏, 等. 不合理施肥引起高产稻田土壤退化研究[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2007, 33(2): 225–231

[16] 苏伟, 鲁剑巍, 刘威, 等. 氮磷钾肥用量对紫云英产量效应的研究[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1094–1098

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 265–271

[18] 胡霭堂. 植物营养学[M]. 下册. 第 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 1–2

[19] 尹力初, 蔡祖聪. 长期不同施肥对玉米田间杂草种群组成的影响[J]. 土壤, 2005, 37(1): 56–60

[20] 赵锋, 董文军, 芮雯奕, 等. 不同施肥模式对南方红壤稻田冬春杂草群落特征的影响[J]. 杂草科学, 2009(1): 7–12

[21] 曹宁, 陈新平, 张福锁, 等. 从土壤肥力变化预测中国未来磷肥需求[J]. 土壤学报, 2007, 44(3): 536–543

[22] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63–67