

## 紫云英利用后减施化肥对水稻产量和产值及土壤碳氮含量的影响

周兴<sup>1,2</sup>, 李再明<sup>3</sup>, 谢坚<sup>1,4</sup>, 廖育林<sup>1,4</sup>, 杨曾平<sup>1,4</sup>, 鲁艳红<sup>1,4</sup>, 聂军<sup>1,4\*</sup>, 曹卫东<sup>5</sup>

(1.湖南省土壤肥料研究所, 湖南 长沙 410125; 2.中南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 3.云溪区农业发展局, 湖南 岳阳 414009; 4.农业部湖南耕地保育科学观测实验站, 湖南 长沙 410125; 5.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

**摘要:**通过大田定位试验, 研究连续5年紫云英利用后不同化肥施用量对水稻产量和稻谷经济效益及土壤碳、氮含量的影响。试验共设6个处理, 处理CK: 不施紫云英和化肥(对照); 处理CF: 不施紫云英, 施100%化肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O施用量分别为150、75、120 kg/hm<sup>2</sup>); 处理A<sub>1</sub>: 紫云英(22 500 kg/hm<sup>2</sup>, 下同)+100%化肥+100%磷肥; 处理A<sub>2</sub>: 紫云英+80%氮、钾肥+100%磷肥; 处理A<sub>3</sub>: 紫云英+60%氮、钾肥+100%磷肥; 处理A<sub>4</sub>: 紫云英+40%氮、钾肥+100%磷肥。结果表明: 施肥可以显著提高水稻产量, 紫云英利用后化肥的增产效果更为显著, 与CF相比, 处理A<sub>2</sub>的早稻产量提高了7.7%, 处理A<sub>3</sub>的水稻产量基本持平; 紫云英利用后适当减少化肥用量可以增加水稻产值, 与CF相比, 处理A<sub>1</sub>的水稻产值增加了5.92%, 处理A<sub>2</sub>的水稻产值的增加效果次之, 增加了4.08%; 处理A<sub>4</sub>提高水稻土壤有机碳和全氮含量的效果明显优于处理CF, A<sub>2</sub>处理的土壤有机碳、全氮含量比CF显著降低。综合以上研究结果, 认为翻压紫云英可以代替部分化肥, 增加水稻产量, 减少生产成本, 提高养分利用效率。

**关键词:**紫云英; 化肥施用量; 水稻; 产量; 经济效益; 土壤碳氮含量

中图分类号: S142<sup>+</sup>.1; S143.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)03-0225-06

### Effect of reducing chemical fertilizer on rice yield, output value, content of soil carbon and nitrogen after utilizing the milk vetch

ZHOU Xing<sup>1,2</sup>, LI Zai-ming<sup>3</sup>, XIE Jian<sup>1,4</sup>, LIAO Yu-lin<sup>1,4</sup>, YANG Zeng-ping<sup>1,4</sup>, LU Yan-hong<sup>1,4</sup>, NIE Jun<sup>1,4\*</sup>, CAO Wei-dong<sup>5</sup>

(1.Soil and Fertilizer Institute of Hunan Province, Changsha 410125, China; 2.Longping Branch of Central South University, Changsha 410125, China; 3.Agricultural Development Bureau of Yunxi Area, Yueyang, Hunan 414009, China; 4.Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation (Hunan), Ministry of Agriculture, Changsha 410125, China; 5.Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** A located field experiment was carried out to study the effects of different amount of chemical fertilizer usage on rice yield, economic benefits of rice, soil carbon(C) and total nitrogen (TN) under ploughing back of Chinese milk vetch for 5 consecutive years. Six treatments were included in the experiment, they are CK (unfertilized), CF (100% chemical fertilizer with the amount of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O being 150, 75, 120 kg/hm<sup>2</sup> respectively), A<sub>1</sub> (22 500 kg/hm<sup>2</sup> Chinese milk vetch and 100% chemical fertilizer), A<sub>2</sub> (Chinese milk vetch and 80% nitrogen and potassium fertilizer and 100% phosphate fertilizer), A<sub>3</sub> (Chinese milk vetch and 60% nitrogen and potassium fertilizer and 100% phosphate fertilizer), A<sub>4</sub> (Chinese milk vetch and 40% nitrogen and potassium fertilizer and 100% phosphate fertilizer). The results were as

收稿日期: 2013-11-30

基金项目: 农业公益性行业科研专项(201103005-08); 国家“十二·五”科技支撑计划项目(2012BAD05B05-3); 国际植物营养研究所科研项目(Hunan-16)

作者简介: 周兴(1986—), 男, 湖南韶山人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与施肥研究, evenxing@sina.cn \*通信作者 junnie@foxmail.com

follows: application of fertilizer could increase the yield of rice, while Chinese milk vetch combined with fertilizer application had a much more increase effect in rice yield. Under the condition of milk vetch application with 22 500 kg/hm<sup>2</sup>, the early rice yield of the treatment A<sub>1</sub> was significantly increased by 7.7% compared with that of CF. And the yield of treatment A<sub>3</sub> was basically identical to or slight increase in comparison with that of CF. Decreasing amount of fertilizers could improve output value of rice in the case of the utilization of Chinese milk vetch. The treatment A<sub>1</sub> increased output value of rice by 5.92% in comparison of CF, and treatment A<sub>2</sub> was by 4.08% in the next. Treatment A<sub>4</sub> showed much better effect in increasing soil organic carbon and total nitrogen in the paddy soil than those of treatments applying mineral fertilizer only. There was a significant reduction on soil organic carbon and TN in treatment A<sub>2</sub> in comparison with that of CF. In general, amount of application of milk vetch with 22 500 kg/hm<sup>2</sup> could replace chemical fertilizer partially, it also could improve rice yield, decrease the production cost, and raise the utilization efficiency of nutrients.

**Key words:** Chinese milk vetch; chemical fertilizer amounts; rice; yield; economic benefits; content of soil C and total N

湖南省是绿肥生产大省<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代,湖南省绿肥播种面积近 200 万 hm<sup>2</sup>。20 世纪 80 年代,受化肥大规模应用、农业产业结构调整、农村劳动力转移以及缺乏政策扶持等因素<sup>[2-5]</sup>的影响,绿肥播种面积急剧减少。紫云英(*Astragalus sincus*)是中国南方稻田最主要的绿肥作物。紫云英翻压还田能够提高土壤肥力,减少化肥施用量,改良土壤,提升水稻产量和稻米品质,对农业生产可持续发展具有重要意义<sup>[1,6-8]</sup>。笔者探讨连续 5 年(2008—2012 年)翻压紫云英定位试验后,2012 年减少化肥(氮肥和钾肥)用量对水稻产量、稻谷经济效益以及水稻土壤有机质、全氮含量的影响,旨在更好地了解紫云英在双季稻生产中发挥的作用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

2012 年早稻品种为‘两优 25’,晚稻品种为‘金优 163’。

### 1.2 试验点概况

湖南省南县三仙湖乡万元桥村(北纬 29°13',东经 112°28',海拔高度 30 m)位于中亚热带到北亚热带的过渡区,属季风湿润气候,年平均气温 16.6 °C,年平均降水量 1 237.7 mm,年日照时间 1 775.7 h。供试土壤为河流沉积物发育的紫潮泥。试验土壤 pH 为 7.7,有机质含量为 48.4 g/kg,全氮、全磷、全钾含量分别为 3.28、1.28、22.2 g/kg,碱解氮、有效磷、有效钾含量分别为 261、15.6、98 mg/kg。

### 1.3 试验设计

2008—2012 年连续 5 年翻压紫云英。2012 年 3

月底播种早稻,4 月中、下旬移栽。晚稻于 6 月中旬播种,7 月中、下旬移栽。试验共设 6 个处理(表 1)。

表 1 各处理的肥料施用方案

处理	单位面积肥料施用量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	紫云英
CK 不施肥	0	0	0	0
CF 100%化肥	150	75	120	0
A <sub>1</sub> 紫云英+100%化肥+100%磷肥	150	75	120	22 500
A <sub>2</sub> 紫云英+80%N、K 肥+100%磷肥	120	75	96	22 500
A <sub>3</sub> 紫云英+60%N、K 肥+100%磷肥	90	75	72	22 500
A <sub>4</sub> 紫云英+40%N、K 肥+100%磷肥	60	75	48	22 500

N、P、K 化肥品种分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。基肥于移栽前 1 d 施入;追肥在分蘖盛期施入;磷肥和钾肥均在移栽前作基肥施入。基肥施入后立即用铁耙耖入 5 cm 深的土层中。紫云英于早稻移栽前 5 d 翻压入田,用浅水湿润腐解。小区面积 20 m<sup>2</sup>。重复 3 次,随机区组排列。各处理早稻、晚稻化肥施用量相同。在水稻整个生育期内,各处理农田管理措施完全一致。2012 年收获时,按小区单打单晒,扬净后测定各小区稻谷产量。收获后,在各小区田块中采用“S”形采集 0~15 cm 土壤样品。

### 1.4 测定指标及方法

土壤碳含量采用浓硫酸-重铬酸钾外加热法测定;土壤全氮含量采用浓硫酸消煮-凯氏定氮法<sup>[9]</sup>测定。

### 1.5 数据处理

用 Excel 2003 软件进行数据处理;用 SPSS 19.0 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 各处理水稻的产量

#### 2.1.1 早稻产量

由表 2 可见, 处理 CF 与 CK 早稻稻谷产量间的差异无统计学意义。导致 CF 处理减产的可能原因是, 2012 年春季连续低温多雨, 整个早稻生育期仅有 6~8 个晴天, 水稻生长受到严重影响。这说明在灾害性气候条件下, 单施化肥并不能保证早稻产量。与 CK 相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 处理的增产幅度较大, 分别增产 22.1%、16.9%, 增产效果显著( $P<0.05$ ), 表明在紫云英利用的基础上, 施用 100% 化肥和 80%N、K 肥可以维持早稻稳产或增产。

表 2 2012 年各施肥处理早稻稻谷的产量

处理	产量		kg/hm <sup>2</sup>	
	比 CK 增产	增幅/%	比 CF 增产	增幅/%
CK	4 998.2b			
CF	5 423.4b	425.2	8.5	
A <sub>1</sub>	6 102.3a	1 104.1	22.1	678.9
A <sub>2</sub>	5 841.2a	843.0	16.9	417.8
A <sub>3</sub>	5 416.0ab	417.8	8.4	-7.4
A <sub>4</sub>	5 042.9b	44.7	0.9	-380.5

表 2 结果表明, 与 CF 处理相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 的早稻产量增产幅度较大, 分别增产 12.5%、7.7%; A<sub>3</sub> 基本与 CF 平产; A<sub>4</sub> 表现出一定程度的减产。这表明, 在维持稻田平产或增产的前提下, 翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 可只施用 60%~80%N、K 肥, 即紫云英施用可大幅度降低水稻生产成本, 增加水稻生产效益。

#### 2.1.2 晚稻稻谷的产量

由表 3 可见, CK 晚稻平均产量 6 266.7 kg/hm<sup>2</sup>, 说明紫潮泥水稻田土壤晚稻基础产量较高。这可能是由于夏季温度的升高, 紫潮泥土壤养分释放较多, 因而表现出基础生产力较高。处理 CF 和处理 A<sub>1</sub>~A<sub>4</sub> 的晚稻平均产量为 7 085.0 kg/hm<sup>2</sup>, 相比 CK 增产 13.1%。与 CF 相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 处理的晚稻产量略有增产; A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub> 处理略有减产, 但差异均无统计学意义( $P<0.05$ )。以上结果表明, 在紫潮泥稻田, 早稻移栽前翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 对晚稻具有一定的后续肥效, 在晚稻生产中可以只施用 60%~80% 的 N、K 肥。

表 3 2012 年各施肥处理晚稻稻谷的产量

处理	产量		kg/hm <sup>2</sup>	
	比 CK 增产	增幅/%	比 CF 增产	增幅/%
CK	6 266.7b			
CF	7 166.7a	900.0	14.4	
A <sub>1</sub>	7 400.0a	1 133.3	18.1	233.3
A <sub>2</sub>	7 241.7a	975.0	15.6	75.0
A <sub>3</sub>	6 891.7ab	625.0	10.0	-275.0
A <sub>4</sub>	6 725.0ab	458.3	7.3	-441.7

#### 2.1.3 两季稻谷的总产量

由表 4 可见, CF 和 A<sub>1</sub>~A<sub>4</sub> 处理年平均总产量为 12 650.2 kg/hm<sup>2</sup>, 相比 CK 增产 12.3%, 增产效果显著( $P<0.05$ )。

表 4 2012 年各处理两季稻谷的总产量

处理	平均产量		kg/hm <sup>2</sup>	
	比 CK 增产	增产/%	比 CF 增产	增产/%
CK	11 264.9c			
CF	12 590.1ab	1 325.2	11.8	
A <sub>1</sub>	13 502.3a	2 237.4	19.9	912.2
A <sub>2</sub>	13 082.8a	1 818.0	16.1	492.8
A <sub>3</sub>	12 307.6abc	1 042.8	9.3	-282.4
A <sub>4</sub>	11 767.9bc	503.0	4.5	-822.2

从表 4 看出, 与 CF 相比, A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 两季水稻总产量分别增产 7.2%、3.9%, 但增产效果不明显( $P<0.05$ ); A<sub>3</sub>、A<sub>4</sub> 均表现出略有减产, 但减产幅度无统计学意义。A<sub>1</sub>、A<sub>3</sub> 较 A<sub>4</sub> 分别增产 1 779.1、1 359.6 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅分别达 15.2%、11.6%。两季水稻的总产量表明, 在翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 施用 40%~80%N、K 肥能够维持水稻产量, 其中以施用 80%N、K 肥的效果最优。

## 2.2 各处理水稻稻谷的经济效益

不计农药、灌溉等成本, 仅考虑投入化肥、紫云英种子和紫云英播种与施肥劳动力成本以及稻谷收入, 分析各处理水稻稻谷的经济效益。紫云英种子、肥料及稻谷价格以 2012 年价格(紫云英种子 18 元/kg; N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 肥分别为 4.67、5.2、5.47 元/kg; 早、晚稻稻谷价格分别为 2.54、2.60 元/kg) 为准; 劳动力成本按 2012 年工价(120 元/d) 计算。试验结果表明, 与 CK 相比(表 5), CF 和 A<sub>1</sub>~A<sub>4</sub> 处理早稻的平均收入减少了 3.76%, 这是由于早稻受

到了灾害性气候的影响。与 CF 相比(表 5),  $A_1$  的早稻收入最高, 增收幅度达 9.18%; 其次是  $A_2$ , 增收幅度达 5.92%;  $A_3$  处理早稻收入与 CF 基本持平;

$A_4$  减收 6.42%。综上分析可知, 翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 后, 施用 60%~80%N、K 肥能明显提高早稻收入。

表 5 各处理水稻的经济效益

处理	单位面积产值			单位面积成本		增收额		增收率/%	
	早稻	晚稻	合计	早稻	晚稻	比 CK	比 CF	增收率/%	
								比 CK	比 CF
CK	12 695.43	16 293.42	28 988.85	0.00	0.00				
CF	13 775.44	18 633.42	32 408.86	1 746.90	1 746.90	-73.79		-0.25	
$A_1$	15 499.84	19 240.00	34 739.84	2 366.90	1 746.90	1 637.19	1 710.99	5.65	5.92
$A_2$	14 836.65	18 828.42	33 665.07	2 095.52	1 475.52	1 105.18	1 178.97	3.81	4.08
$A_3$	13 756.64	17 918.42	31 675.06	1 824.14	1 204.14	-342.07	-268.28	-1.18	-0.93
$A_4$	12 809.22	17 485.00	30 294.22	1 552.76	932.76	-1 180.15	-1 106.36	-4.07	-3.83

与 CK 相比, CF、 $A_1$ ~ $A_4$  处理晚稻的平均收入增收效果优于早稻(表 5), 增收 706.39 元/hm<sup>2</sup>, 增收幅度达 4.34%。各施肥处理晚稻经济效益的增收趋势与早稻基本相同, 增收效果不如早稻。与 CF 相比,  $A_1$  的晚稻增收效果最好, 增收 606.58 元/hm<sup>2</sup>, 增收幅度达 3.58%;  $A_2$  略有增收;  $A_3$ 、 $A_4$  略有减产。以上结果表明, 早稻翻压紫云英对晚稻增收有一定效果。

由表 5 可见, CF 和  $A_1$ ~ $A_4$  处理两季水稻的平均收入与 CK 基本持平。与 CF 相比,  $A_1$  处理两季水稻的增收效果最好, 增收 5.92%; 其次是  $A_2$ , 增收 4.08%;  $A_3$  处理基本与 CF 持平;  $A_4$  减收 3.83%。

## 2.3 各处理水稻成熟期耕层土壤的有机碳含量

### 2.3.1 早稻成熟期耕层土壤的有机碳含量

试验前土壤有机碳含量为 27.9 g/kg。图 1 结果表明, CK 土壤有机碳含量较试验前土壤有机碳含量有一定增长, 这可能与每年水稻根茬等残留物、径流或灌溉水以及气候条件等相关。与 CK 相比,  $A_4$  和 CF 的土壤有机碳含量分别提高了 6.1%、4.6%, 差异均达到了显著水平( $P<0.05$ ); 其次是  $A_1$  略有提高, 但差异无统计学意义;  $A_3$  和  $A_2$  分别下降了 12.4%、22.6%, 差异均达到显著水平( $P<0.05$ )。其原因可能是翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 条件下, 80%或 60%N、K 肥用量能够有效激发土壤有机碳的矿化, 使有机碳含量下降。 $A_1$  和  $A_4$  处理早稻成熟期土壤有机碳含量与 CF 间的差异均无统计学意义;  $A_2$  和  $A_3$

分别比 CF 降低了 26.0%, 16.2%, 差异均达到显著水平( $P<0.05$ ), 表明翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup>, 5 年后 80%和 60%N、K 肥用量不利于紫潮泥早稻土壤有机碳含量积累。以上结果表明, 在翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 后, 早稻成熟期耕层土壤有机碳含量随着 N、K 肥施用量从 100%降至 40%呈先降后升趋势变化, 其中 80%N、K 肥用量土壤有机碳的积累最少。

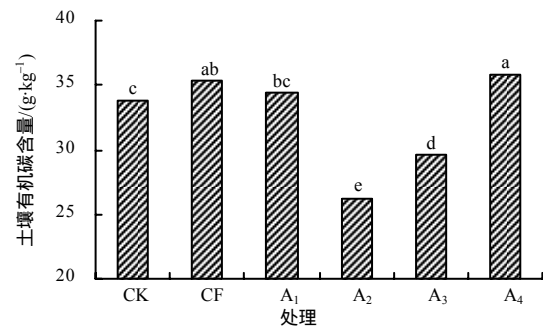


图 1 2012 年各处理早稻成熟期的土壤有机碳含量

Fig.1 Soil organic C content of early rice in mature stage under different treatments in 2012

### 2.3.2 各处理晚稻成熟期耕层土壤的有机碳含量

由图 2 可见, 各处理晚稻成熟期土壤的有机碳含量较早稻均有提高。与 CK 相比,  $A_4$  土壤有机碳含量提高了 5.6%, 差异显著( $P<0.05$ ); CF、 $A_1$  和  $A_3$  与 CK 间的差异均无统计学意义;  $A_2$  下降了 17.8%, 差异显著。早稻紫云英利用后,  $A_1$  和  $A_3$  晚稻成熟期土壤有机碳含量与 CF 基本持平;  $A_2$  的土壤有机碳积累最少, 比 CF 降低了 17.7%,  $A_4$  提高了 5.8%, 差异均达到显著水平。

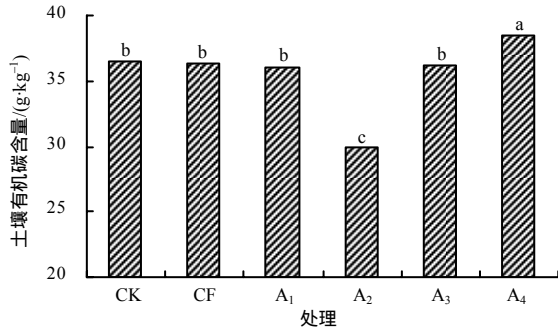


图 2 2012 年不同处理晚稻成熟期土壤的有机碳含量  
Fig.2 The soil organic C content of late rice in mature stage under different treatments in 2012

2.4 不同处理水稻成熟期耕层土壤的全氮含量

2.4.1 不同处理早稻成熟期耕层土壤的全氮含量

由图 3 可见，与 CK 相比，除了 CF 土壤全氮含量与 CK 间的差异无统计学意义外，其余处理土壤全氮含量与 CK 间的差异均达显著水平，A<sub>4</sub>、A<sub>1</sub> 分别提高了 15.8%、6.6%；A<sub>3</sub>、A<sub>2</sub> 分别下降了 4.7%、19.5%。与 CF 相比，各施肥处理土壤全氮含量均与之存在显著差异，A<sub>1</sub> 处理增加了 4.7%，表明在相同化肥处理下，翻压紫云英 22 500 kg/hm<sup>2</sup> 能够显著提高紫潮泥稻田早稻成熟期耕层土壤全氮含量；A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub> 分别下降了 21.0%、6.5%；A<sub>4</sub> 提高了 13.7%。以上结果表明，紫潮泥稻田早稻翻压紫云英耕层土壤全氮含量随 60%~100%N、K 肥用量的变化趋势与早稻有机碳含量的变化趋势类似，其中 80%N、K 肥施用量土壤的有机碳含氮量最低。

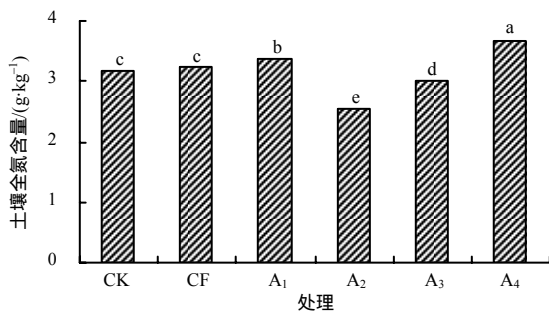


图 3 2012 年不同处理早稻成熟期土壤的全氮含量  
Fig.3 Soil total N content of early rice in mature stage under different treatments in 2012

2.4.2 不同处理晚稻成熟期耕层土壤的全氮含量

图 4 结果表明，各处理土壤的全氮含量中只有 A<sub>2</sub> 与 CK 间的差异达到显著水平(P<0.05)，A<sub>2</sub> 降低了 13.9%，表明早稻翻压紫云英，晚稻 80%N、K 肥施用量不利于土壤全氮积累。晚稻成熟期土壤全氮

含量 A<sub>1</sub> 比 CF 提高了 5.5%，A<sub>2</sub> 比 CF 降低了 12.5%，其余处理与 CF 间的差异均无统计学意义。以上结果表明，晚稻成熟期各处理耕层土壤全氮含量的变化趋势与早稻各处理的基本相似。

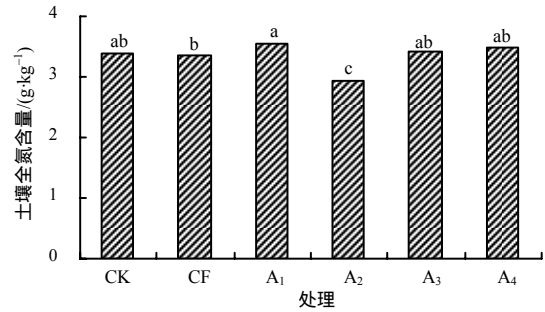


图 4 2012 年不同处理晚稻成熟期土壤的全氮含量  
Fig.4 Soil total N content of late rice in mature stage under different treatments in 2012

3 结论与讨论

在作物生产中，绿肥利用后，较常规施肥减量 15%~40% 化肥或氮肥处理的产量与常规施肥处理持平或有显著提高<sup>[10-12]</sup>。紫云英与化肥配施，一方面能够满足水稻对速效养分的利用需求；另一方面因紫云英养分释放缓慢，可持续不断为水稻生长提供所需养分，维持水稻产量。本试验中，常规施肥条件下，翻压紫云英能够促进水稻稳产或增产；等量紫云英翻压下，80%N、K 肥施用量有增产趋势，60%N、K 肥施用量都能够维持水稻稳产。从经济效益和生态效益的可持续发展来看，与单施化肥处理相比，翻压紫云英的 100% 化肥处理能够提高水稻生产的收入，80%N、K 肥施用量的处理能够维持水稻生产的收入。

有机肥和无机肥配施条件下，直接向土壤输入外援有机质能够显著增加土壤的有机碳含量<sup>[8,13-15]</sup>。本试验中，单施化肥能够有效增加土壤的有机碳含量，这是由于施用化肥能够促进作物根系生长，增加作物地下部分的生物量，即外源有机质的进入显著提高了土壤有机碳含量。这与 A. Mandal 等<sup>[16]</sup>和尹云峰等<sup>[17]</sup>的研究结果类似。单施化肥虽然能够促进作物根系的增加，但也引起土壤碳氮比值降低。土壤碳氮比值降低不仅会导致根系增加的有机碳分解，而且会造成原始有机碳的活化分解，不利于土壤有机碳的积累<sup>[13,18]</sup>，因此，施用化肥对土壤有机碳含量的影响是比较复杂的，这与作物、土壤性

质、土壤矿化条件等多种因素有关。

本试验中,紫云英利用后100%化肥处理的土壤有机碳、全氮含量较100%化肥处理的无明显增加,这可能与土壤性质、作物种类、土壤矿化条件和试验周期等有关。在紫云英利用下,土壤有机碳、全氮含量随N、K肥施用量从100%降至40%呈“凹”形变化趋势,水稻产量则呈递减趋势,其中80%N、K肥施用量处理土壤有机质、全氮含量最低,而且显著低于不施紫云英和化肥处理。这说明在一定紫云英利用下,土壤有机碳、全氮含量与N、K肥施用量和水稻产量有一定的相关性,具体原因有待研究。

#### 参考文献:

- [1] 焦彬,顾荣申,张学上.中国绿肥[M].北京:农业出版社,1986.
- [2] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000(1):1-6.
- [3] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等.施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J].生态环境,2004(4):656-660.
- [4] 孙彭力,王慧君.氮素化肥的环境污染[J].环境污染与防治,1995(1):38-41.
- [5] 高祥照,马文奇,杜森,等.我国施肥中存在问题的分析[J].土壤通报,2001(6):258-261.
- [6] 王琴,潘兹亮,吕玉虎,等.紫云英绿肥对土壤养分的影响[J].草原与草坪,2011(1):58-60.
- [7] 王允青,张祥明,刘英,等.施用紫云英对水稻产量和土壤养分的影响[J].安徽农业科学,2004(4):699-700.
- [8] 杨曾平,徐明岗,聂军,等.长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J].水土保持学报,2011(3):92-97.
- [9] 鲁如坤.土壤农化分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [10] 赵娜,郭熙盛,曹卫东,等.绿肥紫云英与化肥配施对双季稻区水稻生长及产量的影响[J].安徽农业科学,2010(36):20668-20670.
- [11] 金昕,朱萍,汪明,等.绿肥茬水稻化肥减量技术研究[J].上海农业学报,2006(1):50-52.
- [12] 郭云周,尹小怀,王劲松,等.翻压等量绿肥和化肥减量对红壤旱地烤烟产量产值的影响[J].云南农业大学学报:自然科学版,2010,25(6):811-816.
- [13] 曾骏,郭天文,包兴国,等.长期施肥对土壤有机碳和无机碳的影响[J].中国土壤与肥料,2008(2):11-14.
- [14] 谭长银,吴龙华,骆永明,等.不同肥料长期施用下稻田镉、铅、铜、锌元素总量及有效态的变化[J].土壤学报,2009(3):412-418.
- [15] 孟磊,丁维新,蔡祖聪,等.长期定量施肥对土壤有机碳储量和土壤呼吸影响[J].地球科学进展,2005(6):687-692.
- [16] Mandal A,Patra A K,Singh D,et al.Effect of long-term application of manure and fertilizer on biological and biochemical activities in soil during crop development stages[J].Bioresource Technology,2007,98(18):3585-3592.
- [17] 尹云锋,蔡祖聪.不同施肥措施对潮土有机碳平衡及固碳潜力的影响[J].土壤,2006(6):745-749.
- [18] 张贵龙,赵建宁,宋晓龙,等.施肥对土壤有机碳含量及碳库管理指数的影响[J].植物营养与肥料学报,2012(2):359-365.

责任编辑:王赛群  
英文编辑:王 库