

引用格式:

聂鑫, 鲁艳红, 廖育林, 程会丹, 曹卫东, 聂军. 氮钾减施下紫云英翻压量对双季稻产量及氮素利用的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2021, 47(6): 684–691.

NIE X, LU Y H, LIAO Y L, CHENG H D, CAO W D, NIE J. Effects of the incorporation of various amounts of Chinese milk vetch with nitrogen and potassium reduction on double cropping rice yield and nitrogen utilization[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2021, 47(6): 684–691.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



氮钾减施下紫云英翻压量对双季稻产量及氮素利用的影响

聂鑫^{1,2}, 鲁艳红^{1,3}, 廖育林^{1,3}, 程会丹^{1,2}, 曹卫东⁴, 聂军^{1,2,3*}

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

摘 要:采用 11 年(2008—2018 年)绿肥定位试验,研究氮钾减施 20%下紫云英不同翻压量(15 000、22 500、30 000、37 500 kg/hm²)对双季稻产量、氮素利用率及土壤氮素的影响。结果表明:与不施肥相比,施肥处理的早、晚稻产量显著增加,产量可持续指数提高,且减施氮钾 20%翻压紫云英处理和单施化肥处理间的 11 年平均产量和产量可持续指数差异均无统计学意义;通过分析 2018 年的数据,与当地的常规施肥处理相比,减施氮钾 20%翻压紫云英 30 000 kg/hm²能显著提高早稻生物量、氮素积累量、化肥氮素吸收利用效率(回收利用效率、农学利用效率、偏生产力)和晚稻稻草生物量、稻谷氮素积累量、总投入氮素吸收利用效率(回收利用效率、农学利用效率、生理利用率、偏生产力);适量氮钾减施翻压紫云英可提高土壤全氮和碱解氮质量分数,有效提升土壤肥力。在本研究中,氮钾减施 20%时翻压紫云英 30 000 kg/hm²较适宜。

关 键 词: 双季稻; 紫云英; 氮钾减施; 产量; 氮素利用效应; 土壤氮素

中图分类号: S511.4⁺26.2; S142⁺.1 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2021)06-0684-08

Effects of the incorporation of various amounts of Chinese milk vetch with nitrogen and potassium reduction on double cropping rice yield and nitrogen utilization

NIE Xin^{1,2}, LU Yanhong^{1,3}, LIAO Yulin^{1,3}, CHENG Huidan^{1,2}, CAO Weidong⁴, NIE Jun^{1,2,3*}

(1.Soil and Fertilizer Institute of Hunan Province, Changsha, Hunan 410125, China; 2.Long Ping Branch, Graduate School of Hunan University, Changsha, Hunan 410125, China; 3.Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation(Hunan), Ministry of Agriculture, Changsha, Hunan 410125, China; 4.Agricultural Resource and Agricultural Division Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: An 11-year(from 2008 to 2018) green fertilizer experiment was conducted to study the effects of different application amounts(15 000, 22 500, 30 000, 37 500 kg/hm²) of Chinese milk vetch with 20% N and K reduction on double cropping rice yield, nitrogen use efficiency and soil nitrogen. The results showed that compared with no fertilization treatment, the yields of early and late rice were significantly increased by fertilization, and the yield sustainability indexes were increased. There was no statistical significance in the 11-year average yield and yield sustainability index between the treatments of 20% N and K reduction with Chinese milk vetch and the single fertilizer application treatment. Through the analysis of the data from 2018, compared with the treatment of the conventional fertilization of local, the treatment of the N and K reduction with 30 000

收稿日期: 2020-04-29

修回日期: 2020-06-08

基金项目: 国家重点研发计划“粮食丰产增效科技创新”重点专项(2017YFD0301504、2018YFD03006); 现代农业产业技术体系建设专项(绿肥, CARS-22); 湖南省农业科学院科技创新项目(2019LS03-1)

作者简介: 聂鑫(1995—), 男, 湖南溆浦人, 硕士研究生, 主要从事绿肥生产与利用研究, nixin995@163.com; *通信作者, 聂军, 博士, 研究员, 主要从事土壤与施肥原理研究, niejun197@163.com

kg/hm² Chinese milk vetch significantly increased the early rice biomass and N accumulation, fertilizer N uptake and utilization efficiency(recycling and utilization efficiency, agronomic utilization efficiency, partial productivity), and late rice straw biomass, the amounts of accumulated N of rice, total N uptake and utilization efficiency(recycling and utilization efficiency, agronomic utilization efficiency, physiological efficiency, partial productivity). Applying Chinese milk vetch with appropriate N and K reduction could increase soil total N and alkali-hydrolyzable N, and effectively improve soil fertility. In summary, the treatment of 20% N and K reduction with 30 000 kg/hm² Chinese milk vetch was optimal for the double cropping rice yield and nitrogen utilization.

Keywords: double cropping rice; Chinese milk vetch; nitrogen and potassium reduction; yield; nitrogen utilization effect; soil nitrogen

化肥是粮食的“粮食”，在保障粮食安全和农业生产发展中具有不可替代的作用^[1]。然而，由于化肥的过量施用、盲目施用等问题，带来粮食生产成本增加、环境污染风险提高、土壤肥力下降等系列问题^[2-4]。这些问题已引起国家和社会各界的关注。为此，国家农业部 2015 年下发《到 2020 年化肥使用量零增长行动方案》^[5]。有机肥和无机肥配合施用是能减少化肥施用量、提高肥料利用率的重要措施^[6]。绿肥是一种纯天然的有机肥，能提供作物养分，提高粮食产量，促进优质农产品生产，具有减少肥料投入、阻控面源污染、节能减耗、固定大量 CO₂ 等作用^[7]。种植绿肥是合理用地、养地的重要措施，因此，现代绿色农业发展呼吁恢复发展绿肥生产。

中国南方稻田冬季闲置时间长，为发展绿肥提供了空间。紫云英是南方稻田最主要的绿肥作物，其自身氮素含量较高，可替代部分化肥的养分^[8]。与化肥相比，紫云英腐解的挥发、分解时效较长，养分释放缓慢。王建红等^[9]的研究表明，翻压 45 000 kg/hm² 紫云英并减量配施化肥可维持水稻高产，同时能显著提高氮肥的利用效率。马艳芹等^[10]的研究也发现，与常规单施化肥相比，减施氮肥条件下翻压紫云英可提高氮肥回收效率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力。高菊生等^[11]的研究发现，与冬闲对照相比，种植翻压紫云英显著提高了稻谷产量、增产潜力和产量可持续性指数。然而，这些研究大多基于短期试验取得的结果。长期定位试验可全面评价肥料的单项效应、复合效应及连续施用后的累加效应和平均效应及土壤质量变化规律，越来越被世界各国土壤农化科学工作者所重视。本研究中，探索连续 11 年氮钾减施下紫云英不同翻压量对双季稻产量、氮素利用率及土壤氮素的影响，旨在为推动化肥减量增效和农业可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

早稻品种为中早 25；晚稻为黄华占；紫云英品种为湖南省土壤肥料研究所选育的湘紫 1 号。翻压紫云英鲜草含水量为 88.9%，紫云英干基养分 N、P、K 质量分数分别为 37.5、3.50、37.2 g/kg。供试土壤为湖积物发育的紫潮泥。试验开始前测得 0~20 cm 土层土壤的 pH 为 7.7，有机质、全氮、全磷、全钾质量分数分别为 47.4、3.28、1.26、21.7 g/kg，碱解氮、有效磷、有效钾质量分数分别为 251、15.6、98 mg/kg。N、P、K 化肥品种分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾。

1.2 试验设计

试验开始于 2008 年，持续 11 年。试验地位于湖南省南县(N29°11'、E112°18')。试验地海拔高度 30 m，属洞庭湖双季稻区，季风湿润气候，年平均气温 16.6 °C，年平均降水量 1238 mm，年日照时间 1775 h。

设当地的常规施肥量处理为 T0，其 N、P₂O₅、K₂O 分别为 150、75、120 kg/hm²；设 4 个减氮、钾肥翻压紫云英还田处理，其氮、钾肥用量为常规施肥量的 80%，磷肥不变，紫云英用量分别为 15 000、22 500、30 000、37 500 kg/hm²(分别记为 T1、T2、T3、T4)，即紫云英氮素投入量相当于 62.4、93.7、124.9、156.1 kg/hm² 化肥氮；以不施肥为空白对照(CK)。共 6 个处理。每个处理随机排布，重复 3 次。各试验小区长 5 m、宽 4 m。小区间用高 20 cm、宽 30 cm 的田埂覆膜隔离。每个小区有单独的排灌系统。晚稻收割前 10~15 d 在小区内均匀播撒紫云英种子，播种量为 22.5 kg/hm²，不施任何肥料。早稻于每年 3 月底育秧，4 月中、下旬移栽，移栽前 10 d

左右将紫云英称质量翻压还田,浅水湿润腐解。晚稻于6月中旬育秧,7月中、下旬移栽。晚稻无紫云英翻压,各处理早稻、晚稻化肥施用量相同。尿素50%作基肥于移栽前1d施入;另外50%在分蘖盛期作追肥施入;磷肥和钾肥均在移栽前作基肥施入。基肥施入后用铁耙翻入5cm深的土层中。早晚两季水稻收获后,稻草移走不还田。

1.3 样品采集与测定

早稻、晚稻成熟后各小区单打单晒,分别称质量测产。各小区采集5株有代表性的水稻植株整样,用于考种和养分含量测定。晚稻收获后,采用五点取样法,从每个小区采集0~20cm土层的土样。土样经风干、磨样、过筛后保存,备用。采用常规方法^[12]测定土壤全氮和碱解氮质量分数。

参考文献[13]的方法,计算产量稳定性和产量可持续性的相关指标:产量稳定性用统计学中的变异系数(CV)表示,用CV衡量早稻、晚稻在不同年份不同处理的平均产量间的变异程度,其值越小,产量稳定性越高;产量可持续性用可持续产量指数(SYI)表示,SYI值越高,代表系统可持续性越好。参考文献[14]的方法,计算氮素利用率相关指标,包括稻谷氮素积累量、稻草氮素积累量、水稻氮素积累量、氮素回收利用率、氮素农学利用效率、氮素偏生产力、氮素生理利用率。由于紫云英含有大量的氮,本研究中将紫云英所含氮素视为投入土壤中总氮素的一部分来计算,因此,计算中的氮素施入量为化肥氮投入量与紫云英氮投入量之和。

1.4 数据处理

数据、图表采用IBM SPSS Statistic 20.0和Microsoft Excel进行处理;数据进行单因素方差分析,用Duncan新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮钾减施翻压紫云英对双季稻产量及稳定性的影响

从图1、图2、图3可知,早季、晚季及全年的水稻产量呈锯齿状波动,施肥处理的早季、晚季及全年的水稻产量均显著高于CK的。在同一年份不同施肥处理间产量变化趋势基本一致,但同一处理不同年份间水稻产量波动较大,这可能是各年份

之间气候、降水等环境因素差异引起的。

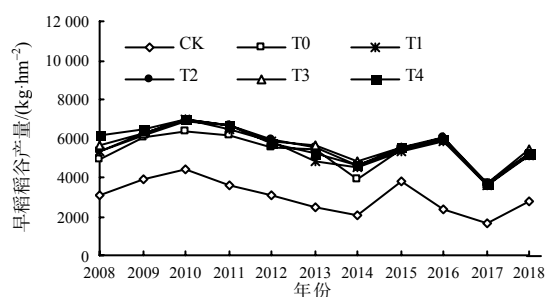


图1 氮钾减施翻压紫云英处理连续11年的早稻产量

Fig.1 The yield of early rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction for 11 years

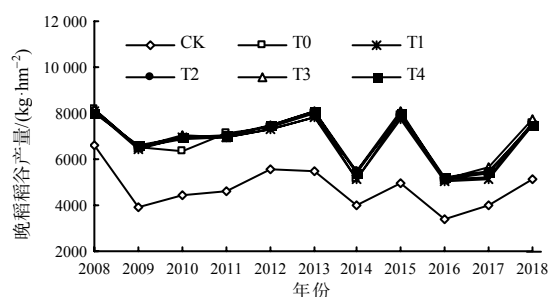


图2 氮钾减施翻压紫云英处理连续11年的晚稻产量

Fig.2 The yield of early rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction for 11 years

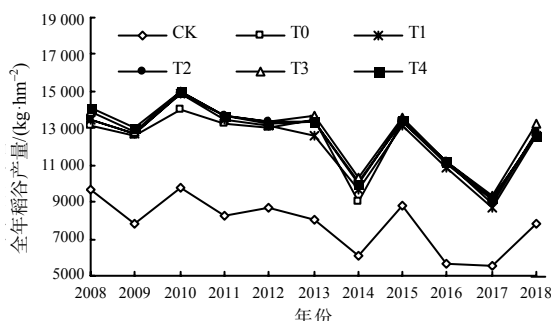


图3 氮钾减施翻压紫云英处理连续11年全年的水稻产量

Fig.3 The yield of annual rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction for 11 years

由表1可知,与CK相比,单施化肥和减施氮钾翻压紫云英处理都显著提高了早季、晚季及全年的水稻产量,分别增长了81.4%~90.3%、43.1%~47.1%、58.3%~63.5%;施肥处理的产量间的差异无统计学意义;随着紫云英翻压量的增大,减施氮钾翻压紫云英处理的水稻产量先呈上升趋势,T3时产量最高,随着紫云英翻压量继续增大,水稻产量反而降低,说明翻压紫云英达到一定量时,其所含氮钾养分可替代被减施的20%氮钾化肥维持水稻产量。各处理早季、晚季及全年的水稻产量CV分别

为 15.7%~28.7%、15.5%~19.6%、13.4%~18.9%，其中，早稻和全年产量 CV 以 T3 的最低，而晚稻以 T4 的最低。各处理早季、晚季及全年水稻的 SYI 分别为 48.5%~70.6%、58.0%~72.0%、64.8%~75.0%；与 CK 相比，施肥处理提高了早季、晚季和全年的

SYI；在减施氮钾翻压紫云英处理中，早稻和全年的 SYI 随紫云英翻压量增大到 30 000 kg/hm² 时最大，继续增加紫云英的翻压量，SYI 反而下降，而晚稻的 SYI 随紫云英翻压量的增大逐渐增加。

表 1 氮钾减施翻压紫云英处理 11 年的平均水稻产量和产量变异系数及产量可持续指数

Table 1 The average yield, yield variation coefficient and yield sustainability index of double cropping rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction for 11 years

稻季	处理	平均产量/(kg·hm ⁻²)	增长率/%	产量变异系数/%	产量可持续性指数/%
早稻	CK	(2996±861)b		28.7	48.5
	T0	(5435±872)a	81.4	16.3	70.6
	T1	(5465±953)a	82.4	17.3	64.8
	T2	(5589±920)a	86.5	16.5	68.2
	T3	(5700±897)a	90.3	15.7	68.4
	T4	(5654±952)a	88.7	16.8	67.2
晚稻	CK	(4739±930)b		19.6	58.0
	T0	(6971±1154)a	47.1	17.2	69.1
	T1	(6783±1137)a	43.1	16.9	69.4
	T2	(6812±1088)a	43.7	16.0	70.7
	T3	(6945±1110)a	46.5	16.0	71.0
	T4	(6884±1068)a	45.3	15.5	72.0
全年	CK	(7735±1791)b		18.9	64.8
	T0	(12 406±2026)a	60.4	14.2	75.0
	T1	(12 248±2090)a	58.3	14.7	70.5
	T2	(12 401±2008)a	60.3	14.0	72.4
	T3	(12 645±2007)a	63.5	13.4	73.5
	T4	(12 538±2020)a	62.1	14.0	72.3

同一稻季平均产量数据后不同字母示处理间差异有统计学意义(P<0.05)。

2.2 氮钾减施翻压紫云英对双季稻氮素吸收的影响

通过分析 2018 年植株产量(表 2)发现，施肥对水稻产量影响显著，晚稻的稻谷和稻草产量明显高于早稻的。与 CK 相比，各施肥处理的早稻、晚稻稻谷产量显著增加，增幅分别为 86.8%~99.4%和

45.4%~51.5%。与 T0 相比，除 T3 显著提高了早稻稻谷产量外，其他施肥处理的稻谷产量间的差异均无统计学意义；随着紫云英翻压量的增加，稻谷产量也增加，到 T3 时最大，但紫云英翻压量继续增大，水稻产量又有减少的趋势。稻草在早稻、晚稻的产量趋势和稻谷的相似，施肥也显著提高了稻草的产量。

表 2 2018 年氮钾减施翻压紫云英处理的双季稻生物量

Table 2 The biomass of double cropping rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction in 2018 kg/hm²

处理	早稻生物量		晚稻生物量	
	稻谷	稻草	稻谷	稻草
CK	2737c	1941c	5120b	4031c
T0	5178b	3646b	7540a	5984b
T1	5113b	3551b	7510a	5822b
T2	5230b	3903a	7563a	6251a
T3	5457a	3870a	7757a	6410a
T4	5183b	3526b	7447a	6365a

同列不同字母示处理间差异有统计学意义(P<0.05)。

从表 3 可知，晚稻的稻谷和稻草氮素积累量高于早稻的；与 CK 相比，施肥处理显著提高了稻草、稻谷氮素积累量；与 T0 相比，减施氮钾翻压紫云英处理显著提高了稻谷氮素积累量，早稻、晚稻的增幅分别为 8.7%~18.6%、4.8%~11.0%；早稻稻谷氮素积累量随紫云英翻压量的增加而增加，而晚稻稻谷的氮素积累量先随紫云英翻压量的增加而增大，T3 的积累量最大，随后继续增加紫云英翻压量，氮素积累量反而减少；早稻稻草的氮素积累量变化和稻谷的相似，减施氮钾翻压紫云英处理的氮素积

累量显著高于 CK 和 T0 的,增幅分别为 138.1%~176.2%和 16.7%~35.4%,而晚稻稻草氮素积累量除 T1 的较低外,其他 3 个减施氮钾翻压紫云英处理与 T0 间的晚稻稻草氮素积累量差异无统计学意义。

表 3 2018 年氮钾减施翻压紫云英处理的双季稻氮素积累量

Table 3 The nitrogen accumulation of double cropping rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction in 2018

处理	早稻氮素积累量			晚稻氮素积累量		
	稻谷	稻草	合计	稻谷	稻草	合计
CK	34.8d	12.6e	47.4d	64.9d	28.8c	93.7c
T0	63.5c	25.7d	89.2c	96.0c	58.4a	154.4b
T1	69.0b	30.2c	99.2b	101.2b	56.1b	157.3b
T2	72.7a	33.4b	106.1a	102.6ab	58.5a	161.1ab
T3	74.3a	34.8a	109.1a	106.6a	60.6a	167.2a
T4	75.3a	30.0c	105.3a	100.6b	60.5a	161.1ab

同列不同字母示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 氮钾减施翻压紫云英对双季稻氮素利用率的影响

2.3.1 对总投入氮素利用率的影响

从表 4 可知,从氮素回收利用率和偏生产力分析,早稻季 T1 的氮素回收利用率最高, T0 的氮素偏生产力最高,在减施氮钾 20%条件下,除 T2 的回收利用率外,总投入氮素的回收利用率和偏生产力均随着紫云英翻压量的增加而显著降低,与 T0 相比,偏生产力降幅为 18.8%~45.5%;晚稻变化趋势与早稻的相反, T0 的氮素回收利用率和偏生产力最低,减施氮钾 20%条件下氮素回收利用率和偏生产力先随着紫云英翻压量的增加而增大, T3 时氮素回收利用率和偏生产力均最大,随后继续增加紫云英翻压量,氮素回收利用率和偏生产力反而减小,与 T0 相比,氮素回收利用率和偏生产力的增幅分别为 30.5%~51.0%、23.5%~28.6%。从氮素农学利用效率和生理利用率分析,早稻 T0 的氮素农学利用效率和生理利用率均显著高于其他处理的,除 T1 外,减施氮钾 20%翻压紫云英处理的氮素农学利用效率和生理利用率均随着紫云英翻压量的增加呈下降趋势,与 T0 相比,氮素农学利用效率和生理利用率的降幅分别为 19.3%~50.0%、18.3%~33.0%;与 T0 相比,晚稻减施氮钾 20%翻压紫云英处理显著提高了氮素农学利用效率,晚稻 T3 和 T4 显著提

高了氮素生理利用率,且氮素农学利用效率和生理利用率先随紫云英翻压量的增加而增大, T3 时最大,随后继续增加紫云英翻压量,氮素农学利用效率和生理利用率反而减小。

表 4 2018 年氮钾减施翻压紫云英处理的双季稻总投入氮素吸收利用效率

Table 4 The total nitrogen uptake and utilization efficiency of double cropping rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction in 2018

稻季	处理	回收利用率/%	农学利用效率/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	生理利用率/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	偏生产力/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
早稻	T0	27.8ab	11.4a	40.9a	34.5a
	T1	28.3a	8.4b	31.1c	28.0b
	T2	27.4ab	9.2b	33.4b	24.5c
	T3	25.2b	7.9b	31.3c	22.3d
	T4	21.2c	5.7c	27.4d	18.8e
晚稻	T0	40.6c	13.0c	15.5b	50.3b
	T1	53.0b	14.9b	18.1ab	62.6a
	T2	56.2b	18.5a	18.5ab	63.1a
	T3	61.3a	19.8a	19.8a	64.7a
	T4	56.3b	19.5a	19.5a	62.1a

同一稻季同列不同字母示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.3.2 对早稻化肥氮素利用率的影响

从表 5 可知,在早稻季,与 T0 相比,除 T4 的化学氮素农学利用效率外,减施氮钾翻压紫云英处理显著提高了化学氮素的吸收利用效率;在相同化肥施用量下,随着紫云英翻压量的增加,化学氮素的回收利用率和偏生产力呈先增加的趋势, T3 时最高,随后继续增加紫云英翻压量,回收利用率和偏生产力反而降低,且 T4 的偏生产力显著低于 T3 的;化学氮素的农学利用效率则是 T2 和 T3 的显著高于 T1 和 T4 的,且 T2 的最高。

表 5 2018 年氮钾减施翻压紫云英处理的早稻化学氮素吸收利用效率

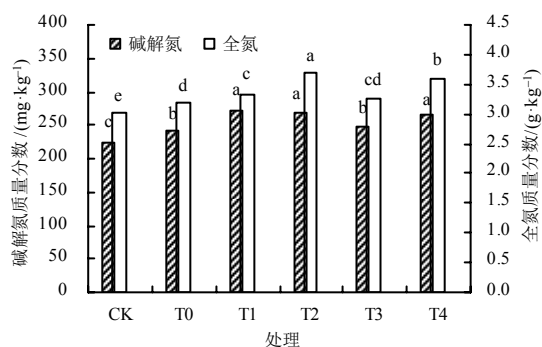
Table 5 The chemical N uptake and utilization efficiency of early rice applied Chinese milk vetch with N and K reduction in 2018

处理	回收利用率/%	农学利用效率/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	偏生产力/($\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
T0	27.8c	11.4c	34.5c
T1	43.0b	13.4b	42.6b
T2	48.9a	16.4a	43.6b
T3	51.4a	16.1a	45.5a
T4	48.2a	13.2bc	43.2b

同列不同字母示处理间差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.4 氮钾减施翻压紫云英对土壤氮素的影响

由图 4 可知,除 T3 外,与 CK 和 T0 相比,减施氮钾 20%翻压紫云英处理均显著提高了土壤中全氮和碱解氮质量分数;T2 的土壤全氮质量分数最高,T1 的土壤碱解氮质量分数最高;在减施氮钾 20%翻压紫云英处理中,T3 的土壤全氮和碱解氮质量分数最低,但与 T0 的差异无统计学意义。



图柱上不同字母表示处理间碱解氮或全氮质量分数的差异有统计学意义($P < 0.05$)。

图 4 2018 年氮钾减施翻压紫云英处理中土壤氮素养分含量

Fig.4 The nitrogen contents of soil applied Chinese milk vetch with N and K reduction in 2018

3 结论与讨论

适量紫云英还田可在一定程度上减少化肥的施用量,还能保证水稻产量不降低,甚至有显著提高^[15]。本研究中,紫云英氮素投入量相当于 62.4~156.1 kg/hm² 化肥氮,通过分析连续 11 年双季水稻产量可知,与 CK 相比,减施氮钾翻压紫云英能显著提高早、晚稻及全年水稻产量,且减施氮钾翻压紫云英处理与 T0 间的水稻产量差异无统计学意义,随紫云英翻压量的增大水稻产量先增加,以 T3 处理的增产效果最好,随后继续增加紫云英翻压量,水稻产量反而降低,这与李双来等^[16]、张丽霞等^[17]的研究结果相似。与 CK 相比,减施氮钾翻压紫云英处理降低了稻谷产量变异系数,同时提高了产量可持续指数。在 20%减肥量的条件下,江西双季稻区翻压紫云英 15 000~37 500 kg/hm² 显著提高了双季稻产量^[14]。徐昌旭等^[18]研究发现,翻压 20%~40% 紫云英替代等量养分含量的化肥不会降低水稻产量。高菊生等^[19]研究也表明,与冬闲相比,双季稻紫云英轮作种植可显著提高稻谷产量,同时提高了

水稻增产潜力和产量可持续性指数。本研究结果也与这些研究结果类似。

通过比较早、晚稻养分投入量和全年氮素累积量发现,由于紫云英中氮素的投入,早稻 T0 氮素投入量在施肥处理中最低,氮钾减施翻压紫云英处理的氮素投入量随着紫云英翻压量的增大逐渐增大,早稻季氮素的积累量和投入量呈正相关,且 T3 的积累量最大;晚稻季常规施肥的氮素投入量最大,减施氮钾翻压紫云英处理的氮素投入量减少了 20%,但氮素积累量的变化趋势仍和早稻季一致,以 T3 的积累量最大,这说明早稻紫云英的氮素在晚稻季发挥了作用,紫云英带入的养分也是水稻高产的一个重要原因。

本研究中,在早稻季减施氮钾翻压紫云英,提高了化肥氮素的吸收利用率,减少了氮素的损耗流失;在减施氮钾后翻压紫云英的总投入氮素利用率并没有显著提高,反而在早稻季时,氮素的回收利用率、农学利用效率、生理利用率和偏生产力随紫云英翻压量的增加呈下降趋势。这与陈静蕊等^[14]研究的早稻季翻压紫云英降低了氮素利用率的结果一致。在晚稻季,所有施肥处理的氮素的回收利用率、农学利用效率和偏生产力及 T3、T4 的氮素生理利用率均显著高于 T0 的,且此 4 个指标均为先随着紫云英翻压量的增加呈增大趋势,T3 时最大,随后继续增加紫云英翻压量,各指标又略降低。虽然早稻季减施氮钾翻压紫云英处理的总投入氮素利用率都较低,有氮素流失的风险,但就晚稻的氮素利用率来看,这部分氮素被固定到了土壤中,并在晚稻季发挥了后效作用,供水稻吸收利用,提高了晚稻季植株的产量。紫云英翻压量为 37 500 kg/hm² 的氮素吸收利用率和产量均小于紫云英翻压量为 30 000 kg/hm² 的。可见,过量翻压紫云英不利于氮素的吸收利用,还会造成养分浪费。

长期试验对土壤氮素的影响表明,除 T3 外,与 CK 和 T0 相比,氮钾减施翻压紫云英处理显著提高了土壤碱解氮和全氮质量分数,虽然在翻压紫云英量为 30 000 kg/hm² 时土壤全氮和碱解氮质量分数低于其他氮钾减施翻压紫云英处理的,但与 T0 土壤碱解氮和全氮质量分数的差异无统计学意义。

这可能是 T3 为了稳定高产,从土壤中吸收了大量的氮素,导致其土壤碱解氮和全氮质量分数低于其他氮钾减施翻压紫云英处理的;同时早稻季紫云英分解后储存在土壤中的氮素起到补充作用,晚稻收获后土壤中全氮和碱解氮含量仍维持在较高水平,与 T0 间的差异无统计学意义。

综合考虑减施氮钾下紫云英翻压量对双季稻产量、氮素利用效应及土壤氮素养分水平的影响,在减施氮钾 20%条件下翻压紫云英量为 30 000 kg/hm² 左右较适宜。

参考文献:

- [1] 陈惠哲,朱德峰,杨仕华,等.我国南方稻区水稻产量差异及增产潜力[J].中国稻米,2004,10(4):9-10.
CHEN H Z, ZHU D F, YANG S H, et al. Yield difference and potential in southern China[J]. China Rice, 2004, 10(4): 9-10.
- [2] 王爱荣.控制化肥过量施用保护农业生态环境[J].农业环境与发展,2007,24(3):95-96.
WANG A R. Control excessive fertilizer application to protect agricultural ecological environment[J]. Agro-Environment & Development, 2007, 24(3): 95-96.
- [3] 赵秉强.传统化肥增效改性提升产品性能与功能[J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):1-7.
ZHAO B Q. Modification of conventional fertilizers for enhanced property and function[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(1): 1-7.
- [4] 王博,徐志宇,王楷,等.1961—2015年各国化肥消费量与人均GDP相关性分析[J].农业资源与环境学报,2019,36(6):718-727.
WANG B, XU Z Y, WANG K, et al. Correlation of GDP per capita and chemical fertilizer consumption of different countries from 1961 to 2015[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2019, 36(6): 718-727.
- [5] 白由路.我国肥料产业面临的挑战与发展机遇[J].植物营养与肥料学报,2017,23(1):1-8.
BAI Y L. Challenges and opportunities of fertilizer industry in China [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, 23(1): 1-8.
- [6] 白由路.粮食安全与环境安全的肥料发展双目标[J].中国农业信息,2017(4):32-35.
BAI Y L. Food safety and environmental safety of fertilizer development dual goal[J]. China Agricultural Information, 2017(4): 32-35.
- [7] 刘钦普.中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J].中国农业科学,2014,47(18):3596-3605.
LIU Q P. Distribution of fertilizer application and its environmental risk in different provinces of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(18): 3596-3605.
- [8] 曹卫东,包兴国,徐昌旭,等.中国绿肥科研60年回顾与未来展望[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1450-1461.
CAO W D, BAO X G, XU C X, et al. Reviews and prospects on science and technology of green manure in China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2017, 23(6): 1450-1461.
- [9] 王建红,曹凯,张贤.紫云英翻压量对单季晚稻养分吸收和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2014,20(1):156-163.
WANG J H, CAO K, ZHANG X. Effects of incorporation amounts of Chinese milk vetch on nutrient uptake and yield of single cropping late rice[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2014, 20(1): 156-163.
- [10] 马艳芹,钱晨晨,邓丽萍,等.紫云英配施氮肥对双季稻产量、干物质量及氮素吸收利用的影响[J].核农学报,2017,31(12):2399-2407.
MA Y Q, QIAN C C, DENG L P, et al. Effects of combining Chinese milk vetch with nitrogen fertilizer on grain and dry matter yield, nitrogen absorption and utilization of double-cropping rice[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(12): 2399-2407.
- [11] 高菊生,曹卫东,李冬初,等.长期双季稻绿肥轮作对水稻产量及稻田土壤有机质的影响[J].生态学报,2011,31(16):4542-4548.
GAO J S, CAO W D, LI D C, et al. Effects of long-term double-rice and green manure rotation on rice yield and soil organic matter in paddy field[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4542-4548.
- [12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
LU R K. Methods for Soil Agrochemical Analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [13] 黄晶,张杨珠,刘淑军,等.水稻产量对长期不同施肥和环境的响应[J].中国生态农业学报,2015,23(11):1367-1376.
HUANG J, ZHANG Y Z, LIU S J, et al. Response of rice yield to different long-term fertilization regimes and the environment[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(11): 1367-1376.
- [14] 陈静蕊,秦文婧,王少先,等.化肥减量配合紫云英

- 还田对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(6): 280–287.
- CHEN J R, QIN W J, WANG S X, et al. Effects of reduced chemical fertilizer combined with Chinese milk vetch(*Astragalus sinicus* L.) incorporation on rice yield and nitrogen use efficiency in double-rice cropping system[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(6): 280–287.
- [15] 刘春增, 刘小粉, 王守刚, 等. 种植紫云英不还田对水稻农艺性状、产量和经济效益的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(3): 68–71.
- LIU C Z, LIU X P, WANG S G, et al. Effects of planting Chinese milk vetch without straw return on rice agronomic traits, yield, and economic efficiency[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014(3): 68–71.
- [16] 李双来, 李登荣, 胡诚, 等. 减施化肥条件下翻压不同量紫云英对双季稻生长和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(1): 69–73.
- LI S L, LI D R, HU C, et al. Impact of reducing chemical fertilizer combined with Chinese milk vetch on growth and yield of double cropping rice[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2012(1): 69–73.
- [17] 张丽霞, 潘兹亮, 鲁鑫, 等. 紫云英与化肥配施对水稻植株生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(25): 13767–13769.
- ZHANG L X, PAN Z L, LU X, et al. Effect of the Chinese milk vetch planting and fertilization on the rice growth and yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(25): 13767–13769.
- [18] 徐昌旭, 谢志坚, 彭春瑞, 等. 化肥与紫云英不同配比对水稻养分吸收及产量的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(11): 119–121.
- XU C X, XIE Z J, PENG C R, et al. Effects of combined application of chemical fertilizer and *Astragalus sinicus* on nutrient absorption and yield of rice[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(11): 119–121.
- [19] 高菊生, 徐明岗, 董春华, 等. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量及土壤肥力的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(2): 343–349.
- GAO J S, XU M G, DONG C H, et al. Effects of long-term rice-rice-green manure cropping rotation on rice yield and soil fertility[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(2): 343–349.

责任编辑: 邹慧玲
英文编辑: 柳 正