植物营养与肥料学报 2014,20(1):156-163
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0117

紫云英翻压量对单季晚稻养分吸收和产量的影响

王建红,曹 凯,张 贤
(浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所,浙江杭州 310021)

摘要:通过2年田间试验,研究了不同紫云英翻压量对单季晚稻养分吸收、养分利用效率和产量的影响,并以此确定紫云英鲜草的最佳翻压量。试验设CK(不施肥),CF(常规施化肥)和4个紫云英鲜草翻压量(30、60、90、120 t/hm^2)共6个处理。结果表明,在所有紫云英翻压处理中,稻谷中氮、磷、钾吸收量,水稻氮、磷、钾的养分农学利用效率和稻谷产量均以翻压紫云英鲜草60 t/hm^{2}处理最高。与不施肥处理相比,施化肥和紫云英翻压处理分别增加稻谷产量11.8% 和7.4%~13.5%。将紫云英作为单季晚稻的唯一肥源不会产生僵苗现象,并可获得高产。

关键词:紫云英;单季晚稻;养分吸收;产量;养分利用效率
中图分类号:S511.4$^+$1;S142$^+$.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-505X(2014)01-0156-08

Effects of incoporation amounts of Chinese milk vetch on nutrient uptake and yield of single cropping late rice

WANG Jian-hong, CAO Kai, ZHANG Xian
(*Institute of Environmental Resources and Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to explore effects of different application rates of Chinese milk vetch on nutrient uptakes, nutrient use efficiencies, and yields of single cropping late rice and to determine the optimal application rate of fresh Chinese milk vetch in the Jiangtang Agricultural Experiment Station, Jinhua city, Zhejiang province in 2011-2012. There were six treatments, CK (no fertilizers), CF (conventional fertilization), and 4 levels (30, 60, 90, and 120 t/ha) of Chinese milk vetch. Experimental results show that in all the treatments of application of Chinese milk vetch, the maximum increases of N, P and K uptakes by rice plants, agronomic use efficiencies of N, P and K, and rice grain yields are obtained from the treatment with 60 t/ha fresh Chinese milk vetch. Compared with CK, the applications of chemical fertilizers and the incoporation of Chinese milk vetch increase rice grain yields by 11.8% and 7.4% - 13.5%, respectively. In the cropping system of Chinese milk vetch-single cropping late rice, Chinese milk vetch turned into the soil before the planting of rice seedlings will not result in the runt seedling, leading to a higher yield.

Key words: Chinese milk vetch; single cropping late rice; nutrient uptake; yield; nutrient use efficiency

紫云英(*Astragalus sinicus* L.)是我国南方稻区冬季稻田主栽绿肥,将其翻压腐解后可以为后季水稻生长提供氮、磷、钾等速效养分,从而达到在水稻生长期少施化肥或不施化肥而确能获得较高产量的目的[1-6]。在上世纪末以前,紫云英-水稻的耕作方式以紫云英-双季稻为主,研究也主要集中在紫云英对早稻生长影响的相关技术上[7-11],而很少涉及紫云英对单季稻生长的影响。21世纪以来,随着市场经济的发展和劳动力成本的不断增加,种植双季稻的经济效益低下,从而使单季稻特别是单季晚稻种植面积不断增加。2010年浙江省水稻种植面积102.8万公顷,其中单季晚稻的种植面积达67.8万公顷,占总面积的66.0%[12]。

随着有机稻米生产技术的提出,绿肥-水稻耕

收稿日期:2013-04-26 **接收日期**:2013-10-23
基金项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(201103005);浙江省重大科技专项重点农业项目(2009C12001)资助。
作者简介:王建红(1971—),男,浙江淳安人,硕士,副研究员,从事土壤改良与草业开发利用研究。E-mail:jianhong1203@sina.com

作制已成为有机稻米生产的重要耕作制，其中紫云英－单季晚稻耕作制是生产有机稻米最佳模式[13-15]。目前以紫云英为唯一肥源生产有机稻米对单季晚稻的产量和养分吸收的影响并不清楚，因此研究单季晚稻生产中紫云英最适宜用量以及水稻养分吸收规律具有重要的现实意义。在早稻生产中紫云英的合理翻压量以及与化肥的配施技术前人已有明确研究结果[1,7-9]，但紫云英在单季晚稻生产中的适宜翻压量未做深入研究。

南方稻区主栽中、迟熟品种紫云英，鲜草产量较高。在紫云英－早稻耕作中，紫云英的翻压期在4月上旬，此时紫云英鲜草还没有达到最高产量。该耕作制中的紫云英鲜草产量一般为30 t/hm^{2}左右。紫云英－单季晚稻耕作中，由于晚稻栽培一般要到6月中旬，因此紫云英有充分生长时间（盛花期，4月中旬）达到最高产量。李昱等[16]研究显示，合理的施肥技术可以使中熟种闽紫5号紫云英的鲜草产量达到63.2 t/hm^2，葛天安等[17]研究认为高产栽培的迟熟宁波大桥种紫云英的最高鲜草产量可以达到66.8 t/hm^2，即使常规管理下的宁波大桥种的鲜草产量也可达到45～60 t/hm^2[18]。紫云英鲜草达到最高产量时全量翻压还田是否会对单季晚稻生长产生不利影响，目前并无定论。王建红等[19]研究显示，以紫云英为唯一肥源，4月中旬翻压，6月中旬移栽单季晚稻，翻压量在75.0 t/hm^{2}时的单季晚稻仍能正常生长。研究表明，紫云英在早稻生产中的鲜草适宜翻压量为22.5～30.0 t/hm^2[1]，过高翻压量会对早稻秧苗生长产生毒害、出现僵苗等状况[20]。紫云英－单季晚稻耕作中，紫云英翻压期与水稻移栽期之间的间隔时间为60 d左右。单季晚稻移栽时的土壤养分环境条件与早稻有很大差异，因此较高的紫云英翻压量是否会对单季晚稻的生长产生不利影响有待进一步试验验证。施用化肥和紫云英翻压的养分释放特点不同，因此水稻养分的吸收特点也不同。本研究旨在探讨在紫云英－单季晚稻耕作制中紫云英不同翻压量对单季晚稻养分吸收和产量的影响，并以此来确定紫云英鲜草的最佳翻压量，以期为利用紫云英为唯一肥源生产单季晚稻提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验点在金华市婺城区蒋堂农业科学试验站（119°32′12″E，29°04′8″N），海拔62.5 m，属中亚热带季风气候，四季分明，年温适中，热量丰富。全年平均日照时数约1 700 h，平均降水量约1 500 mm，平均气温约17.9℃。

试验地土壤类型为红壤黄筋泥土发育而成的水稻土，试验前土壤基础肥力为：有机质含量21.5 g/kg，全氮1.45 g/kg，速效氮248.2 mg/kg，速效磷25.0 mg/kg，速效钾34.4 mg/kg，pH 5.38。试验选用的紫云英品种为当地主栽的宁波大桥，翻压试验采用紫云英盛花期地上部分鲜草，试验测得翻压时鲜草水分含量为92.1%，氮、磷、钾含量分别为3.82 g/kg、0.39 g/kg、3.61 g/kg。供试水稻品种为当地主栽的籼粳杂交晚稻甬优9号。

1.2　试验设计

试验在2011年4月至2012年10月间进行。采用大田小区试验，试验设6个处理：CK（不施肥）；CF（常规施化肥）；GM_{30}（翻压30 t/hm^{2}紫云英鲜草）；GM_{60}（翻压60 t/hm^{2}紫云英鲜草）；GM_{90}（翻压90 t/hm^{2}紫云英鲜草）；GM_{120}（翻压120 t/hm^{2}紫云英鲜草）。每处理4次重复，小区面积20 m^2，随机排列。试验期间各小区用硬田埂并包覆塑料膜隔开，独立排灌。2011年4月15日选择前作为单季晚稻的冬闲田且养分状况相对均一的田块做小区，4月18日将紫云英处理的小区按设计要求翻压紫云英鲜草（为了减少紫云英根系对土壤养分的影响，本试验采用紫云英鲜草异地还田的方式），然后各小区淹水常规管理。

水稻于5月8日播种，6月18日移栽到各小区。试验选用分蘖2～3个且长势相对一致的秧苗植株，移栽密度为25.0×10^{4}clump/hm^2。常规施肥处理（CF）于6月17日施基肥碳酸氢铵525.0 kg/hm^2，过磷酸钙375.0 kg/hm^2；6月28日施分蘖肥尿素187.5 kg/hm^2，氯化钾112.5 kg/hm^2；8月9日施孕穗肥尿素75.0 kg/hm^2，氯化钾75.0 kg/hm^2。不同处理的养分投入量见表1。10月28日水稻统一收获，各小区单打单收，并测定稻谷和稻草产量。2011年水稻收获后各小区冬闲，2012年在水稻生长季按2011年的方法再重复一次试验。

1.3　取样和测定方法

供试样品的采集：在做小区时随机取1000 g 0—20 cm耕层土样用于测定土壤基础肥力。水稻移栽后在各小区中间位置固定选取15丛水稻作观测和考种植株，在水稻分蘖期结束后（8月4日）测定单株分蘖数，水稻收获时（10月28日）测定单株

表1 不同处理氮、磷、钾养分投入量(kg/hm²)

Table 1 Nutrient input rates of N, P and K for different treatments

处理 Treatment	养分投入量 Nutrient input		
	N	P	K
CK	0	0	0
CF	210.0	23.1	93.4
GM_{30}	114.6	11.7	108.3
GM_{60}	229.2	23.4	216.6
GM_{90}	343.8	35.1	324.9
GM_{120}	458.4	46.8	433.2

有效穗数、穗长、每穗实粒数、结实率等水稻农艺性状指标,并将这部分植株用于测定水稻收获期稻谷、稻草氮、磷、钾养分含量。另外,在8月4日水稻分蘖终期和9月24日水稻乳熟期分别于各小区任选20丛水稻全株,洗净后杀青、烘干后供植株和稻穗以及稻草氮、磷、钾养分含量的测定;10月28日水稻收获时采收稻谷和稻草样品,测定其氮、磷、钾含量。

土壤有机质含量用重铬酸钾容量法;全氮用硫酸-双氧水消煮—蒸馏滴定法;速效氮用碱解扩散法;速效磷用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾用醋酸铵浸提—火焰光度法;土壤pH用电位法测定。水稻植株中全氮含量采用浓硫酸-双氧水消煮—奈氏比色法;全磷采用浓硫酸-双氧水消煮—钒钼黄比色法;全钾采用浓硫酸-双氧水消煮—火焰光度法测定[21]。

1.4 水稻养分利用效率等参数的计算

水稻养分(氮、磷、钾)农学利用效率(Nutrient agronomy use efficiency,kg/kg)=[施肥区作物经济产量(kg/hm²)-无肥区作物经济产量(kg/hm²)]/施肥量(kg/hm²),表示施入的每千克养分(如N、P、K等)增加作物经济产量的能力[22-24];养分内部利用效率(Internal nutrient use efficiency,kg/kg)=经济产量(kg/hm²)/养分吸收量(kg/hm²),表示吸收单位重量养分(如N、P、K等)所生产稻谷的重量,即为养分生理利用效率[25]。

试验数据采用Excel 2003和SAS 9.0作图和方差分析,并采用Duncan'S新复极差法(LSR)进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 农艺性状和产量

苗期田间观察表明,所有紫云英翻压处理均未发现因紫云英翻压而产生的僵苗现象。从表2可以看出,与不施肥处理(CK)相比,所有施肥处理均显著增加有效穗数,而对千粒重没有显著影响,施化肥显著增加了每穗实粒数。紫云英翻压处理中,除了GM_{30}与CK处理没有明显差异外,其余处理均显著减少了每穗实粒数。所有施肥处理均比CK显著增加稻谷和秸秆产量,施化肥和紫云英翻压分别增加稻谷产量11.8%和7.4~13.5%,其中GM_{60}处理的产量最高(10672 kg/hm²)。

水稻产量由单位面积有效穗数、每穗粒数与千粒重三要素构成。由此可以看出,施化肥处理增加稻谷产量主要是增加了有效穗数和每穗实粒数,而紫云英翻压则完全归因于有效穗数的增加。

有效穗数随紫云英翻压量的增加而增加,而每穗实粒数则随紫云英翻压量的增加而减少。紫云英翻压量对千粒重没有显著影响。稻谷产量随紫云英翻压量的增加而增加,但翻压量超过90 t/hm²后稻谷产量有下降趋势。秸秆产量也随紫云英翻压量的增加而增加,当紫云英翻压量超过90 t/hm²时又随翻压量的增加而减少。从水稻成熟期看,随着紫云英翻压量的增加,成熟期明显推迟。

2.2 植株和稻谷养分含量

由表3可以看出,在分蘖终期不同紫云英翻压量处理中水稻植株氮含量随翻压量的增加而增加,但翻压量超过90 t/hm²后植株氮含量增加不显著,不同翻压量处理植株磷、钾的变化规律不明显;乳熟期稻穗氮含量GM_{30}~GM_{90}处理间差异不显著,GM_{120}处理有下降趋势,磷含量各处理变化规律不明显,钾含量随翻压量增加有增加趋势;乳熟期秸秆氮含量随翻压量增加而增加,磷、钾的变化规律不明显;成熟期稻谷氮含量随翻压量的增加而增加,但翻压量超过60 t/hm²后增加趋势并不显著,磷、钾在翻压量超过90 t/hm²后有下降趋势;成熟期秸秆氮含量随翻压量增加显著增加,而磷随翻压量增加有显著下降趋势,钾的变化规律并不明显。此外,测定结果也显示,紫云英翻压处理与CK和CF比较,不同生育期水稻氮、磷、钾含量的变化规律并不一致。

表 2　不同紫云英翻压量对单季晚稻农艺性状和产量的影响(2011 和 2012 年的平均值)

Table 2　Effects of different incoporation amounts of Chinese milk vetch on agronomic characteristics and yields of single cropping late rice(average values in 2011 and 2012)

处理 Treatment	每丛分蘖数 TNPC (No./clump)	有效穗 EPN ($\times10^4$ clump/hm^2)	每穗实粒数 FGNPP (No./panicle)	结实率 SSR (%)	千粒重 1000-GW (g)	稻谷产量 Grain yield (kg/hm^2)	秸杆产量 Straw yield (kg/hm^2)	成熟期 Mature (m/d)
CK	8.0 d	177.5 d	157.2 b	94.2 a	27.8 a	9191 d	6294 c	10/19
CF	11.3 ab	250.0 a	174.4 a	87.4 c	27.4 a	10 272 b	7393 a	10/26
GM_{30}	8.8 c	202.5 c	157.5 b	92.8 ab	27.3 a	9873 c	7198 b	10/22
GM_{60}	10.3 b	225.0 b	148.6 c	92.4 b	27.2 a	10672 a	7517 a	10/24
GM_{90}	11.2 ab	245.0 a	150.8 c	91.0 b	27.1 a	10602 a	7410 a	10/26
GM_{120}	12.5 a	250.0 a	150.2 c	92.5 b	26.9 a	10427 ab	7080 b	10/27

注(Note): TNPC—Tiller number per clump; EPN—Effective panicles number; FGNPP—Filled grain number per panicle; SSR—Seed setting rate; 1000-GW—1000-Grain weight. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

表 3　不同紫云英翻压量对水稻不同生育期植株中氮、磷、钾含量的影响(2011 和 2012 年的平均值)(g/kg)

Table 3　Effects of different incoporation amounts of Chinese milk vetch on the contents of N, P, and K in rice plants at different growth stages(average values in 2011and 2012)

项目 Item		处理 Treatment					
		CK	CF	GM_{30}	GM_{60}	GM_{90}	GM_{120}
分蘖终期植株 Plant in final stage of the tillering	N	9.02 d	17.90 ab	15.82 c	17.04 b	18.63 a	19.18 a
	P	4.35 c	4.80 b	4.59 bc	5.29 a	4.61 bc	4.96 ab
	K	20.75 ab	22.08 a	17.26 bc	18.76 b	16.52 c	18.26 b
乳熟期稻穗 Panicle at the milk stage	N	8.57 c	10.31 a	9.27 b	9.20 b	9.47 b	8.75 c
	P	2.39 bc	2.35 c	2.69 a	2.30 c	2.55 b	2.49 b
	K	2.49 c	4.48 a	2.36 c	2.79 bc	3.29 b	3.49 b
乳熟期秸秆 Straw at the milk stage	N	6.40 c	13.23 a	7.39 c	9.92 b	9.74 b	10.52 b
	P	3.07 bc	4.72 a	3.43 b	2.89 c	2.61 c	3.17 bc
	K	18.84 b	19.42 a	18.59 b	17.85 c	15.36 d	17.81 c
成熟期稻谷 Grain at the maturity	N	9.56 bc	9.82 b	9.22 c	10.61 a	10.82 a	10.74 a
	P	2.55 a	2.15 b	2.03 b	2.21 b	1.91 bc	1.61 c
	K	3.54 a	3.44 a	2.54 bc	2.79 b	2..52 bc	2.39 c
成熟期秸秆 Straw at the maturity	N	4.65 c	6.77 b	4.40 cd	4.06 d	6.94 ab	7.53 a
	P	0.55 b	1.03 a	0.45 bc	0.38 c	0.34 cd	0.26 d
	K	17.85 a	15.27 c	18.01 a	17.10 b	17.43 ab	17.51 ab

注(Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

2.3 养分吸收

由表1可知,紫云英各处理氮、磷、钾养分投入量除GM_{30}外均高于CF处理,GM_{30}处理的氮、磷投入量明显低于CF,钾素投入与CF处理相差不多。由于紫云英处理氮、磷、钾养分的供应比例与CF差异较大,导致高量紫云英翻压时氮、钾养分投入量明显高于CF。

表4显示,稻谷中氮、磷、钾素累积量随紫云英翻压量增加有先增后降的趋势,但氮累积量下降不明显,而磷、钾的累积量有显著下降趋势;稻草中氮、磷、钾累积量随紫云英翻压量的增加,氮有增加趋势,磷有下降趋势,钾则变化不明显;水稻地上部氮、磷、钾养分总累积变化与稻谷相似,都表现为先增后降,但氮、钾的变化趋势较缓,而磷的下降则比较明显。与CK相比,较高的紫云英翻压量能显著增加水稻地上部氮素的累积,磷则下降,钾的变化不明显。与CF相比,较高的紫云英翻压量也能增加水稻地上部氮素的累积,且差异显著,磷则显著下降,钾的变化差异不大。

2.4 养分农学利用效率和内部利用效率

从表5可以看出,紫云英翻压量从30 t/hm^{2}增加到60 t/hm^{2}可以提高水稻氮、磷的农学利用效率,但不能提高水稻钾的农学利用效率($P < 0.05$)。随着紫云英翻压量的增加,水稻的氮、磷和钾的农学利用效率急剧降低($P<0.05$)。紫云英翻压量为120 t/hm^{2}的处理(GM_{120}),氮、磷、钾的农学利用效率分别比翻压量为30 t/hm^2(GM_{30}处理)降低了54.8%、54.7%和54.5%。

表4 不同紫云英翻压量对单季晚稻养分吸收的影响(2011和2012年的平均值)(kg/hm^2)

Table 4 Effect of different incoporation amounts of Chinese milk vetch on the nutrient uptakes of single cropping late rice (average values in 2011 and 2012)

处理 Treatment	稻谷 Grain			秸秆 Straw			合计 Total		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	87.9 d	23.4 a	32.5 b	29.3 b	3.46 b	112.3 b	117.1 c	26.9 b	144.9 c
CF	100.9 b	22.1 ab	35.3 a	50.1 a	7.61 a	112.9 b	150.9 b	29.7 a	148.2 b
GM_{30}	91.0 c	20.0 b	25.1 e	31.7 b	3.24 b	129.6 a	122.7 c	23.3 c	154.7 a
GM_{60}	113.2 a	23.6 a	29.8 c	30.5 b	2.86 c	128.5 a	143.7 b	26.4 b	158.3 a
GM_{90}	114.7 a	20.2 b	26.7 d	51.4 a	2.52 c	129.2 a	166.1 a	22.8 c	155.9 a
GM_{120}	112.0 a	16.8 c	24.9 e	53.3 a	1.84 d	124.0 ab	165.3 a	18.6 d	148.9 b

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

表5 不同紫云英用量对水稻养分农学利用效率和内部利用效率的影响(kg/kg)

Table 5 Effects of different incoporation amounts of Chinese milk vetch on nutrient agronomy efficiencies and internal use efficiencies of rice

处理 Treatment	养分农学利用效率 Nutrient agronomy use efficiency			养分内部利用效率 Internal nutrient use efficiency		
	N	P	K	N	P	K
CK	0	0	0	78.5a	341.7 d	63.4 b
CF	5.14 b	46.8 b	11.6 a	68.1b	345.9 d	69.3 ab
GM_{30}	5.95 ab	58.3 ab	6.29 b	80.5 a	423.7 bc	83.8 a
GM_{60}	6.46 a	63.3 a	6.83 b	74.3 ab	434.2 bc	67.4 b
GM_{90}	4.10 c	40.2 c	4.34 c	63.8 b	465.0 b	68.0 ab
GM_{120}	2.69 d	26.4 d	2.86 c	63.1 b	560.6 a	70.0 ab

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatment at the 5% level.

水稻氮素内部利用效率随紫云英翻压量的增加而降低，但紫云英翻压量增加到 90 t/hm^2 后，水稻氮素的内部利用效率不再降低。水稻磷素的内部利用效率随紫云英翻压量的增加而增加，其中紫云英翻压量为 120 t/hm^2 的处理（GM_{120}）最高，并与其它处理间达到显著水平（$P<0.05$）。在翻压紫云英的处理中，钾的养分内部利用效率除 GM_{30} 较高外，其他处理间的差异不显著。

在所有紫云英翻压处理中，水稻的氮、磷和钾的农学利用效率以 GM_{60} 处理最高，内部利用效率氮、钾以 GM_{30} 处理较高，磷则以 GM_{120} 最高。

3　讨论

3.1　紫云英翻压量对单季晚稻生长的影响

本研究表明，以紫云英为唯一肥源，紫云英翻压量达到 120 t/hm^2 时，单季晚稻仍能正常生长，没有出现象紫云英－双季稻耕作制中紫云英翻压量超过 30 t/hm^2 就对早稻秧苗产生毒害的现象。尽管如此，仍发现因紫云英翻压过量而使单季晚稻成熟期推迟的现象。GM_{120} 处理的水稻成熟期迟于 CF 处理 1 d（表2）。丁昌璞等[16]认为，紫云英翻压腐解的初期会造成土壤还原性物质的积聚，导致 Eh 下降，Fe^{2+} 浓度增加，有机酸积聚，从而对水稻秧苗生长产生毒害作用。林多胡等[1]也证实，早稻移栽时紫云英适宜翻压量为 22.5 ～ 30.0 t/hm^2，增加翻压量会对早稻秧苗生长产生毒害作用。看来，这种毒害作用仅发生在紫云英翻压期与水稻移栽期比较接近的紫云英与早稻轮作的耕作制中。

研究证实，紫云英与早稻轮作的鲜草适宜翻压量并不适用于紫云英与单季晚稻轮作的耕作制中，这主要与紫云英翻压轮作早稻与紫云英翻压轮作单季晚稻的茬口时间间隔长短有关，前者时间间隔只有 7 d 左右，而后者一般在 60 d 左右。刘威[26]，王飞[27]等人对紫云英鲜草翻压腐解的养分释放规律研究结果显示，紫云英鲜草翻压后需要 30 d 才能将绝大部分有机物矿化成无机物，在南方地区紫云英鲜草翻压的适宜时期在 4 月上、中旬，早稻移栽一般在 4 月中旬，而单季晚稻移栽一般要到 6 月中旬。紫云英翻压与单季晚稻移栽间较长的茬口间隔已使紫云英腐解初期的土壤养分环境发生深刻改变，这就可以解释为什么较高的紫云英翻压量不会对单季晚稻生长产生毒害的原因。

试验结果也表明，紫云英作为唯一肥源时，单季晚稻的水稻产量随翻压量的增加出现一个先增加后下降的过程，这说明一味地增加紫云英鲜草翻压量并不会使单季晚稻产量无限提高，过高的翻压量，其腐解产生的过量养分会导致单季晚稻的养分农学利用效率降低（表5），同时还会使稻谷和稻草产量下降（表2）。

3.2　紫云英翻压量对单季晚稻不同生育期植株养分含量的影响

从本研究看出，紫云英翻压量对单季晚稻不同生育期植株养分含量的影响有一定差异，增加紫云英翻压量，在水稻分蘖期会增加植株的氮含量，但对磷、钾的含量影响并不明显；在乳熟期，水稻秸秆中的氮含量会增加，磷、钾含量无明显变化规律，水稻稻穗中的氮、钾含量会增加，磷含量无明显变化规律；在成熟期，水稻秸秆氮含量显著增加，磷含量显著降低，钾含量变化不明显，稻谷氮、钾的含量变化不明显，但磷有下降趋势（表3）。综合上述变化特征，说明以紫云英为唯一肥源，增加紫云英翻压量，在水稻成熟期，水稻营养体部分的氮含量会显著增加，导致水稻生育期延长，但籽实体部分氮含量变化差异并不明显，因此以紫云英为唯一肥源生产单季晚稻，其翻压量只要达到一定水平就可以了，过量翻压只会造成水稻营养体部分徒长，而不利于稻谷产量的提高。

3.3　紫云英翻压量对单季晚稻氮、磷、钾养分吸收的影响

徐昌旭等[7]研究了翻压 22.5 t/hm^2 紫云英鲜草配施不同比例化肥对早稻稻谷和稻草氮、磷、钾养分吸收的影响，认为紫云英翻压并配施 80% 的常规化肥最有利于早稻稻谷和稻草对氮、磷、钾养分的吸收。本试验结果表明，增加紫云英翻压量可促进单季晚稻稻谷和稻草中氮素的吸收，但会降低磷的吸收量，这种变化特征在稻草中表现更加明显，而不同紫云英翻压量对稻谷和稻草中钾含量的变化影响并不明显。

本研究表明，以紫云英为唯一肥源利用单季晚稻生产有机稻米，在适宜紫云英翻压量（60 ～ 90 t/hm^2）条件下也可以实现水稻高产（表2）。此时，紫云英翻压处理与 CK 和 CF 相比，稻谷氮素的累积量提高，钾的吸收量降低，但对磷的吸收影响不明显；稻草的氮素吸收量与 CF 相近，但显著高于 CK，而磷的吸收量显著低于 CK 和 CF，钾累积量则略高于 CK 和 CF；水稻地上部分氮素总吸收量与 CF 处理相当，但显著高于 CK，磷的累积量低于 CK 和 CF 处理，钾的累积量则高于 CK 和 CF 处理。目前单季

晚稻收获中,机械收割基本上实现了稻草还田,人工收割则稻草一般回收它用。

在所有紫云英翻压处理中,稻谷对氮、磷、钾的吸收量以 GM_{60} 处理最高,而稻草和水稻地上部氮吸收量则以 GM_{90} 和 GM_{120} 处理最高。稻谷的氮、磷、钾吸收量以 GM_{60} 处理最高,与该处理的稻谷产量一致。说明水稻过高的氮素吸收量并不能提高稻谷产量,只会造成氮素养分的浪费。

3.4 紫云英翻压量对水稻养分农学利用效率和内部利用效率的影响

本研究结果表明,紫云英翻压量在 60 t/hm^2 时可提高氮、磷、钾的养分农学利用效率,而翻压量为 90 ~ 120 t/hm^2 时显著降低了氮、磷、钾的农学利用效率(表 5),这是由于 GM_{90} 和 GM_{120} 两个处理的氮、磷、钾投入量分别是 GM_{30} 处理的 3 倍和 4 倍所致。翻压 90 ~ 120 t/hm^2 的紫云英会降低水稻氮、磷、钾养分的内部利用效率的效应并不明显。说明评价紫云英的肥效,使用养分农学利用效率指标比使用养分内部利用效率指标更直观、更可靠。

4 结论

在紫云英 - 单季晚稻耕作制中,紫云英鲜草翻压 60 d 后移栽单季晚稻不会对水稻生长产生毒害。以紫云英为唯一肥源,适宜的紫云英翻压量也可以实现单季晚稻的高产。本试验条件下,紫云英翻压量达到 60 t/hm^2 时比较合理,翻压量过低,养分供应不足,导致单季晚稻减产,翻压量过高,氮、钾养分投入过量,只会导致单季晚稻营养体部分徒长,并不能增加稻谷产量,还会增加水稻病虫害的风险。

以紫云英为唯一肥源改变了水稻对氮、磷、钾养分吸收的规律和养分累积量,对稻田土壤养分循环和总量平衡的长期影响还有待进一步研究。

参考文献:

[1] 林多胡, 顾荣申. 中国紫云英[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2000. 8-11, 218-251, 286-292.
Lin D H, Gu R S. Milk vetch in Chinese[M]. Fuzhou: Fujian Science Technology Press, 2000. 8-11, 218-251, 286-292.

[2] 高菊生, 曹卫东, 董春华, 等. 长期稻 - 稻 - 绿肥耕作对水稻产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(6): 672-676.
Gao J S, Cao W D, Dong C H *et al*. Effect of long-term rice-rice-green manure rotation on rice yield[J]. Chin J. Rice Sci. 2010, 24(6): 672-676.

[3] 袁嫚嫚, 刘勤, 张少磊, 等. 太湖地区稻田绿肥固氮量及绿肥还田对水稻产量和稻田土壤氮素特征的影响[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 797-803.
Yuan M M, Liu Q, Zhang S L *et al*. Effects of biological nitrogen fixation and plow-down of green manure crop on rice yield and soil nitrogen in paddy field[J]. Acta Pedol. Sin., 2011, 48(4): 797-803.

[4] 王允青, 曹卫东, 郭熙盛, 等. 不同还田条件下紫云英腐解特征研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(34): 19388 - 19389, 19391.
Wang Y Q, Cao W D, Gou X S *et al*. Study on the streptococcal debridement decompose characteristics of *Astragalus sinicus* under different return-to-field conditions[J]. J. Anhui Agri. Sci., 2010, 38(34): 19388-19389, 19391.

[5] 王琴, 张丽霞, 吕玉虎, 等. 紫云英与化肥配施对水稻产量和土壤养分含量的影响[J]. 草业科学, 2012, 29(1): 92-96.
Wang Q, Zhang L X, Lu Y H *et al*. Effects of application of Chinese milk vetch and fertilizer on rice yield and soil nutrient content[J]. Prat. Acul. Sci., 2012, 29(1): 92-96.

[6] 莫淑勋, 钱菊芳. 红壤地区紫云英中氮素的转化及其对水稻有效性的研究[J]. 土壤学报, 1983, 20(1): 12-24.
Mo S X, Qian J Y. Studies on the transformation of nitrogen of milk vetch in red earth and its availability to rice plant[J]. Acta Pedol. Sin., 1983, 20(1): 92-96.

[7] 徐昌旭, 谢志坚, 许政良, 等. 等量紫云英条件下化肥用量对早稻养分吸收和干物质积累的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(10): 13-15.
Xu C X, Xie Z J, Xu Z L *et al*. Effects of applying mineral fertilizer reasonably on nutrient absorption and dry matter accumulation of early rice under applying equivalent *Astragalus sinicus*[J]. Acta Agric. Jiangxi, 2010, 22(10): 13-15.

[8] 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有产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 20668-20670.
Zhao N, Gou X S, Cao W D *et al*. Effects of green manure Milk Vetch and fertilizer combined application on the growth and yield of rice in double-cropping rice areas[J]. J. Anhui Agric. Sci., 2010, 38(36): 20668-20670.

[9] 李双来, 李登荣, 胡诚, 等. 减施化肥条件下翻压紫云英对双季稻生长和产量的影响[J]. 中国土壤肥料, 2012, (1): 69 - 73.
Li S, 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 Fert. Sci. China, 2012, (1): 69-73.

[10] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 双季稻区冬季覆盖物残茬还田对水稻生物学特性和产量的影响[J]. 江西农业大学学报, 2012, 34(2): 213-219.
Tang H M, Tang W G, Xiao X P *et al*. Effects of straw recycling of winter covering crop on biological characteristics of plants and yield of rice in paddy field[J]. Acta Agric. Univ. Jiangxiensis, 2012, 34(2): 213-219.

[11] 高菊生, 曹卫东, 李冬初, 等. 长期双季稻绿肥耕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 Ecol. Sin., 2011, 31(16): 4542-4548.

[12] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011. 239.
Statistics Bureau of Zhejiang Province. Zhejiang statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011. 239.

[13] 金连登. 我国有机稻米生产现状及发展对策研究[J]. 中国稻米, 2007, (3): 1-4.
Jing L D. Organic rice production status and development countermeasure research in china[J]. China Rice, 2007, (3): 1-4.

[14] 张莉侠, 张建明, 王维君, 等. 有机稻米生产效益分析及其发展对策[J]. 上海农业学报, 2011, 27(1): 94-97.
Zhang L X, Zhang J M, Wang W J *et al*. The benefit cost analyses and development countermeasures of organic rice production[J]. Acta Agric. Shanghai, 2011, 27(1): 94-97.

[15] 吴旦良, 周奶弟, 朱贵平, 等. 仙居县有机稻米生产技术规程[J]. 农业科技通讯, 2010, (6): 144-146.
Wu D L, Zhou N D, Zhu G P *et al*. Xianju county organic rice production technology regulation[J]. Bull. Agric. Sci. Techn., 2010, (6): 144-146.

[16] 李昱, 何春梅, 杨仁仙, 等. 氮磷钾对紫云英产量、养分累积及种植后土壤养分的影响[J]. 江西农业学报, 2010, 22(11): 112-114.
Li Y, He C M, Yang R X *et al*. Effects of N, P, K fertilizer on yield, nutrition accumulation of milk vetch and soil nutrition after planting milk vetch[J]. Acta Agric. Jiangxi, 2010, 22(11): 112-114.

[17] 葛天安, 叶梅蓉, 张昌杰, 等. 紫云英高产栽培技术[J]. 草业科学, 2005, 22(7): 23-24.
Ge T A, Yie M R, Zhang C J *et al*. High-yield cultivation techniques of *Astragalus sinicus*[J]. Prat. Acul. Sci., 2005, 22(7): 23-24.

[18] 张彭达, 周亚娣, 何国平, 等. 紫云英奉化大桥种的特征特性及留种技术[J]. 浙江农业科学, 2006, (2): 162-163.
Zhang P D, Zhou Y D, He G P *et al*. Characteristics and planting technology of Fenghuadajiao *Astragalus sinicus* [J]. Zhejiang Acad. Agric. Sci., 2006, (2): 162-163.

[19] 王建红, 曹凯, 张贤. 紫云英腐解对土壤速效养分动态变化和单季稻产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(3): 587-592.
Wang J H, Cao K, Zhang X. Effects of Chinese milk vetch decomposing on soil available nutrient dynamic changes and yields of single season rice [J]. Acta Agric. Zhejiangensis, 2013, 25(3): 587-592.

[20] 丁昌璞, De Nobili M, Geccanti B. 绿肥分解产物中水溶性有机质的伏安行为及其影响因素[J]. 土壤学报, 1989, 26(4): 331-335.
Ding C P, De Nobili M, Geccanti B. Voltammetric behavior of water-soluble organic substances in decomposition products of green manures and its effecting factors[J]. Acta Pedol. Sin., 1989, 26(4): 331-335.

[21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 25-97.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[22] Jagadeeswaran R, Murugappan V, Govindaswamy M. Effect of slow release NPK fertilizer sources on the nutrient use efficiency in turmeric (*Curcuma longa* L.)[J]. World J. Agric. Sci., 2005,1 (1): 65-69.

[23] 霍竹, 付晋锋, 王璞. 秸秆还田和氮肥施用对夏玉米氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2005, 37 (2): 202-204.
Huo Z, Fu J F, Wang P. Effects of application of N fertilizer and crop residues as manure on N-fertilizer recovery rate of summer maize[J]. Soils, 2005, 37 (2): 202-204.

[24] 吴萍萍, 刘金剑, 周毅, 等. 长期不同施肥制度对红壤稻田肥料利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(2): 277-283.
Wu P P, Liu J J, Zhou Y *et al*. Effects of different long term fertilizing systems on fertilizer use efficiency in red paddy soil [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14 (2): 277-283.

[25] Gerloff G C. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. Plant adaptation to mineral stress in problem soils [M]. New York: Cornell University Press, 1997. 161-173.

[26] 刘威, 鲁剑巍, 潘福霞. 绿肥在现代农业发展中的探索与实践[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011. 218-228.
Liu W, Lu J W, Pan F X. Exploration and practice of green manure in the development of modern agriculture[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2011. 218-228.

[27] 王飞, 林诚, 李清华, 等. 亚热带单季稻区紫云英不同翻压量下有机碳和养分释放特征[J]. 草业学报, 2012, 21(4): 319-324.
Wang F, Lin C, Li Q H *et al*. A study on organic carbon and nutrient releasing characteristics of different *Astragalus sinicu* manure use levels in a single cropping region of subtropical China [J]. Acta Prat. Cult. Sin., 2012, 21(4): 319-32.