

翻压山豆绿肥与氮肥减施对水稻生长及其养分吸收与产量的影响

周泽弘, 梁 琴, 全紫曼, 漆 燕, 莫 坤, 韩文斌*

(南充市农业科学院, 四川南充, 637000)

摘 要:为探明种植翻压山豆绿肥与减施氮肥下的水稻生产潜力,通过3年田间定位试验,设置冬闲+不施肥(NF)、山豆绿肥(GM)、冬闲+常规氮肥(100%N,CK)、山豆绿肥+80%常规氮肥(GM+80%N)、山豆绿肥+70%常规氮肥(GM+70%N)、山豆绿肥+60%常规氮肥(GM+60%N)6个处理,研究不同处理对水稻生长、养分吸收及产量的影响。结果表明:(1)与CK相比,翻压山豆绿肥并减施氮肥处理均能够显著提升水稻株高、增加水稻分蘖数、提高水稻干物质积累量,其中以GM+70%N施肥处理提升效果最为明显。(2)GM+70%N施肥处理下,不同生育时期水稻株高、有效分蘖数分别较对常规施肥(100%N)提升了13.32%~15.73%和33.98%~59.47%,水稻干物质积累量提高了23.19%~144.18%,且随着生育时期的推进增加速率依次降低。(3)种植翻压山豆绿肥并减施氮肥处理下水稻产量均有所提高,其中GM+70%N和GM+80%N处理显著提高,增产分别达13.84%,7.25%,且GM+70%N处理下水稻植株和籽粒养分吸收更为全面。研究发现,种植翻压山豆并适量减施氮肥能有效促进水稻生长和养分的吸收积累,显著提高水稻产量,说明翻压山豆绿肥可替代稻田30%~40%的氮肥施入量,并可在避免水稻旺长的同时实现水稻高产,是四川水稻种植较好的耕作措施。

关键词:山豆;氮肥减施;水稻生长;养分吸收;产量

中图分类号:Q945.78;S529

文献标志码:A

Effects of Turning Green Manure *Lathyrus sativus* and Reducing Nitrogen Application on Growth, Nutrient Absorption and Yield of Rice

ZHOU Zehong, LIANG Qin, QUAN Ziman, QI Yan, MO Kun, HAN Wenbin*

(Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: In order to explore the potential productivity of rice under the condition of planting green manure *Lathyrus sativus* and reducing nitrogen application, we set up six treatments: winter fallow + no fertilization (NF), green manure *L. sativus* + no nitrogen fertilizer (GM), winter fallow + 100% nitrogen fertilizer (CK), green manure *L. sativus* + 80% nitrogen fertilizer (GM + 80%N), green manure *L. sativus* + 70% nitrogen fertilizer (GM + 70%N), green manure *L. sativus* + 60% nitrogen fertilizer (GM + 60%N), and studied the effects of different treatments on growth, nutrient absorption and yield of rice. The results showed that: (1) compared with CK, turning green manure *L. sativus* and reducing nitrogen application could significantly improve the plant height, tiller number and dry matter accumulation

收稿日期:2021-06-30;修改稿收到日期:2021-11-01

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(绿肥,CARS-22);四川省特色经作创新团队(scextd-2020-12);四川省南充市科技计划项目(21YFZJ0044)

作者简介:周泽弘(1991-),男,硕士,助理研究员,主要从事土壤肥料及绿肥作物种植利用研究。E-mail:pyfzzh@163.com

*通信作者:韩文斌,研究员,主要从事绿肥作物种植利用研究。E-mail:ncnkshwb@163.com

of rice, among which GM + 70%N fertilization treatment had the most obvious effect. (2) Under the GM + 70%N fertilization treatment, the plant height and effective tiller number of rice at different growth stages increased 13.32%–15.73% and 33.98%–59.47%, respectively, compared with the control conventional fertilization (100%N), and the dry matter accumulation increased 23.19%–144.18%, and the increasing rate decreased with the advance of growth stage. (3) The yield of rice was increased under the treatment of turning green manure *L. sativus* and reducing nitrogen fertilizer, The GM + 70%N and GM + 80%N treatments significantly increased the yield of rice by 13.84% and 7.25%, respectively, and the nutrient absorption of rice plants and grains was more comprehensive under the GM + 70%N treatment. The study found that planting *L. sativus* and reducing the application of appropriate amount of nitrogen fertilizer can effectively promote the growth of rice and the absorption and accumulation of nutrients, and significantly improve the yield of rice. It shows that turning green manure *L. sativus* can replace 30%–40% of the nitrogen fertilizer application in the rice field, and can avoid the prosperity of rice and achieve high yield of paddy rice, which is a better tillage measure for rice planting in Sichuan.

Key words: *Lathyrus sativus*; reducing nitrogen application; rice growth; nutrient absorption; yield

水稻是中国重要的粮食作物,种植面积大,分布广。由于传统的农业生产过度依赖化肥,造成耕地质量下降、持续生产能力减弱、稻田生态环境恶化等突出问题^[1-2],严重制约了中国稻田生产的稳定性和可持续性。目前,如何通过改良水稻耕作措施,提升稻田土壤可持续生产力成为研究的热点^[3]。

绿肥是天然的清洁有机肥源,具有固氮吸碳、改善土壤物理性状、提高土壤肥力等作用^[4-5],是中国南方稻区冬季稻田轮作休耕的重要种植作物^[6-7]。四川丘陵区秋季多雨,田间湿度大,时有积水现象,常见绿肥品种如紫云英、光叶苕子耐滞性差,容易造成苗期植株矮小甚至死亡,生物产量低,满足不了田间生产利用^[8];而山黧豆(*Lathyrus sativus*)属于豆科山黧豆属,是抗逆性强,养分含量丰富的绿肥作物,适合稻田生产使用^[8-9]。因此,将山黧豆纳入四川稻区水稻轮作体系中,可实现水稻优质高产和可持续发展。

目前,关于稻田冬绿肥对水稻生长和土壤性状的影响及其作用机制已有大量研究^[10-13]。如:高嵩涓等^[10]通过全国 11 个联合定位试验结果($n=930$)表明,冬种紫云英在不减肥或者减肥 20% 条件下增产效果显著,水稻产量增加幅度分别为 6.53% 和 4.15%,在减施 40% 化肥时可保障水稻与常规施肥相比不减产,同时,紫云英的增产和节肥效应随种植年限的增加而增强。朱强等^[11]研究表明,在减少常规施氮量的 50% 情况下,与稻草单独还田处理相比,稻草和紫云英联合还田可显著增加稻谷氮素累积量、提高水稻产量,而保持常规施氮量和提高施氮量不能增加水稻的氮素吸收和产量。目前,相关研究多集中于翻压紫云英对水稻生产系统的影响,

研究区域多集中于湖南、湖北、安徽、河南等地^[10-13],但有关翻压绿肥(尤其绿肥山黧豆)对四川丘陵区水稻生产的影响鲜有报道。基于此,本研究选用豆科绿肥山黧豆与氮肥减量配施,通过连续 3 年定位试验,探讨种植翻压绿肥山黧豆减施氮肥对水稻生长、养分吸收及产量的影响,为构建四川稻田绿肥轮作制度体系、推动四川水稻产业绿色发展提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

田间试验在四川省南充市西充县青狮镇(105°49'16"E, 31°8'7"N)进行,试验点地处四川盆地浅丘宽谷地貌区,中亚热带湿润季风气候,海拔 386 m,年平均温度 17.5 °C,年降雨量 1 204.5 mm,无霜期约 303 d,年日照 1 353 h,供试土壤为水稻土,试验前土壤 pH 值 8.17,有机质 25.22 g/kg,全氮 1.78 g/kg,有效磷 5.01 mg/kg,速效钾 43.93 mg/kg。

1.2 供试材料

供试水稻品种为‘宜香优 2115’。试验绿肥品种选用南选山黧豆(川审豆 2012008),是一个绿肥、饲料兼用型品种,抗逆性好,适合在四川省丘陵区稻田种植^[8],其全氮、全磷、全钾的质量百分比分别为 0.58%、0.24% 和 0.43%。

1.3 试验设计

试验于 2015 年 9 月~2018 年 9 月进行,共设 6 个处理:①冬闲+不施肥(NF);②种植翻压山黧豆+不施氮肥(GM);③冬闲+常规氮肥(100%N, CK);④种植翻压山黧豆+80%常规氮肥(GM+80%N);⑤种植翻压山黧豆+70%常规氮肥(GM+

70%N);⑥种植翻压山豆+60%常规氮肥(GM+60%N)。供试化肥分别为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)、氯化钾(含K₂O 60%)并配合施用,常规施肥量为尿素 375 kg/hm²、磷肥 750 kg/hm²、钾肥 150 kg/hm²(N:P₂O₅:K₂O=11.5:6.0:6.0)。除无肥对照外其余各处理中磷、钾肥全部作基肥一次性施用,氮肥按照基肥:分蘖肥:孕穗肥=5:3:2分次施用。试验采用随机区组设计,3次重复,共18个小区。小区面积20 m²(5 m×4 m),各小区四周田埂宽30 cm,埂高30 cm,用聚乙烯薄膜覆盖,防止肥水相互渗漏,小区间留50 cm宽沟,便于灌溉排水。

山豆和水稻的播种、收获时间每年基本一致,山豆于9月下旬按照60 kg/hm²的播种量均匀撒播,次年4月中旬盛花期于水稻移栽前10~15 d按照22 500 kg/hm²翻压量定量翻压。水稻于4月下旬划行移栽,栽插密度为15.0 cm×33.3 cm,栽插单株,于8月下旬收割测产。各处理除绿肥还田方式和氮肥施用量不同外,其他田间管理措施保持一致。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生育期 水稻生育时期内,记载分蘖期(tillering stage, TS)、拔节期(elongating stage, ES)、孕穗期(booting stage, BS)、灌浆期(grain filling stage, GFS)、成熟期(mature stage, MS)等主要生育期。

1.4.2 株高、分蘖数及干物质量 在水稻各生育时期,每小区随机选择长势一致的10株水稻进行水稻株高和分蘖数测定,随机刈割5株长势均匀的水稻

植株带回实验室,于105℃进行杀青,并于65℃烘干测量水稻干物质量。

1.4.3 叶绿素含量 采用便携式叶绿素仪(SPAD-502)测定水稻叶片的叶绿素相对含量(SPAD值)。在水稻分蘖期和拔节期,每个小区测定长势一致的倒一展开叶20片;在水稻孕穗期和灌浆期,每小区测定长势一致的剑叶20片。测定时,以每片叶的上、中、下部1/3处SPAD读数的平均值作为该叶片的SPAD值,取20片叶的平均值作为该小区的SPAD值。

1.4.4 植株及籽粒养分含量 将水稻不同生育时期植株茎、叶、穗等器官及成熟时期水稻籽粒烘干称量、粉碎过筛。全氮含量采用Foss-2300全自动定氮仪测定,磷素含量测定采用钼锑抗比色法,钾素含量测定用火焰光度计法^[13]。

1.4.5 水稻产量 在水稻成熟期分小区收获,单打单晒,晾干后测定小区籽粒产量和秸秆产量。

1.5 统计分析

试验结果采用Duncan法进行差异显著性分析,显著性水平为0.05;所有统计分析利用Excel 2016和SPSS 19.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对水稻生长的影响

2.1.1 分蘖数 由表1可知,在不同生育时期,各处理的水稻分蘖数由大到小顺序均表现为GM+70%N、GM+80%N、GM+60%N、100%N(CK)、GM、NF,而且翻压山豆绿肥与氮肥减量配施处

表1 不同施肥处理下水稻主要生育期分蘖数的变化

Table 1 The rice tillers of main growth stages with different fertilization treatments

施肥处理 Treatment	生育时期 Growth stages				
	TS	ES	BS	GFS	MS
NF	3.50±0.25d	7.50±0.25d	8.50±0.25d	7.00±0.25d	6.75±0.25d
GM	5.08±0.76c	9.08±0.76c	11.08±0.76c	9.58±0.76c	9.33±0.76c
100%N(CK)	5.33±0.14c	9.33±0.14c	11.33±0.14c	9.83±0.14c	9.42±0.38c
GM+80%N	6.92±0.38b	10.92±0.38b	12.42±0.38b	10.92±0.38b	10.25±0.25bc
GM+70%N	8.50±1.00a	12.50±1.00a	14.50±1.00a	13.00±1.00a	12.67±1.26a
GM+60%N	6.75±0.50b	10.75±0.50b	12.75±0.50b	11.25±0.50b	10.83±0.14b

注:NF.不施肥;GM.山豆绿肥单施;N.常量氮肥;TS.分蘖期;ES.拔节期;BS.孕穗期;GFS.灌浆期;MS.成熟期;同列不同小写字母表示不同处理间差异在0.05水平具有统计学意义。下同

Note: NF. No fertilization; GM. *Lathyrus sativus* Green manure only; N. common nitrogen fertilizer; TS. Tillering stage; ES. Elongating stage; BS. Booting stage; GFS. Grain filling stage; MS. Mature stage; Different normal letters in the same column indicate that the difference between treatments is statistically significant at the 0.05 level. The same as below

理(GM+70%N、GM+80%N、GM+60%N)显著高于常规施肥(100%N)、单施山豆绿肥(GM),后两者又显著高于不施肥处理(NF);随着生育时期的推进,各处理水稻分蘖数表现出先增长后下降的变化趋势,并均在孕穗期达到最大。与常规施肥处理(100%N)相比,翻压山豆绿肥与减量氮肥配施处理水稻有效分蘖数显著提高了33.98%~59.47%,并以GM+70%N处理最佳,如在水稻成熟期,GM+70%N处理水稻有效分蘖数较100%N处理显著增加了34.50%。可见,翻压山豆绿肥与减施氮肥结合可以有效提高不同生育时期水稻分蘖数。

2.1.2 株高 图1显示,随着生育期推进,水稻株高逐渐增加,与常规施肥(100%N)相比,翻压山豆绿肥减施氮肥处理均显著提高不同生育时期水稻株高,其株高由大到小顺序均表现为GM+60%~80%N、100%N、GM、NF,且在绿肥与减氮配施处理、常规施肥和单施绿肥处理、不施肥处理间大多存在显著性差异;除孕穗期外,GM+80%N处理水稻株高均高于GM+60%和GM+70%,但处理间差异并不显著($P>0.05$)。

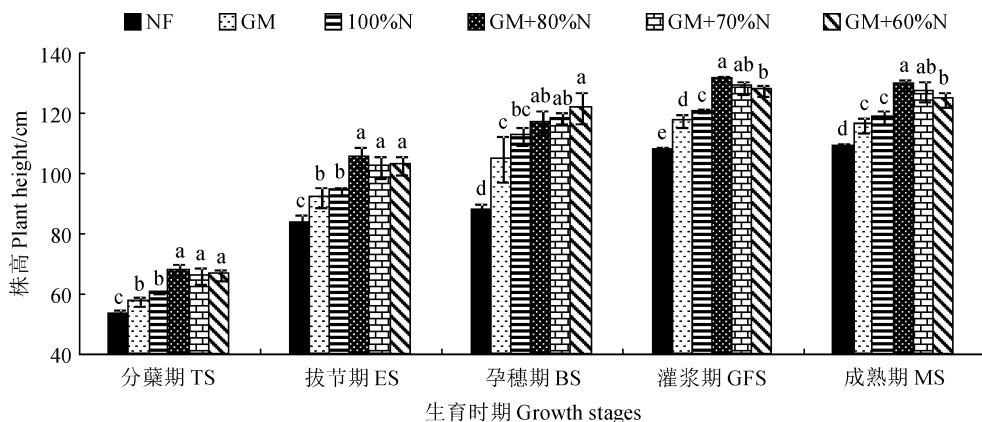


图1 不同施肥处理下水稻各生育期株高的变化

Fig. 1 The plant height of rice at main growth stages with different fertilization treatments

表2 不同施肥处理下水稻各生育期干物质积累量的变化

Table 2 The accumulation of dry matter in rice at main growth stages with different fertilization treatments/(t·hm⁻²)

施肥处理 Treatment	生育时期 Growth stages				
	TS	ES	BS	GFS	MS
NF	1.32±0.03f	4.38±0.32f	6.08±0.26d	7.02±0.25e	8.60±0.98d
GM	2.13±0.07e	5.48±0.10e	7.76±0.17c	10.76±0.93d	11.45±1.28c
100%N(CK)	2.49±0.11d	5.92±0.06d	8.16±0.13c	12.16±0.13c	14.06±1.36bc
GM+80%N	5.61±0.09b	8.85±0.23b	10.27±0.16b	14.42±0.20b	15.18±0.83ab
GM+70%N	6.08±0.05a	9.29±0.08a	11.38±0.42a	15.32±0.34a	17.32±1.83a
GM+60%N	4.87±0.08c	8.13±0.03c	10.52±0.22b	14.42±0.19b	16.80±2.24ab

2.1.3 干物质积累量 由表2可知,与常规施肥(100%N)相比,翻压山豆绿肥减施氮肥均能显著提高不同生育时期水稻干物质积累量,并以GM+70%N处理增幅最大,在水稻分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期和成熟期分别增加了144.18%、56.93%、17.09%、25.99%和23.19%。在水稻分蘖期、拔节期和孕穗期,翻压山豆绿肥与减氮配施处理水稻干物质积累量由大到小顺序均表现为GM+70%N、GM+80%N、GM+60%N,且不同处理间差异达到显著水平($P<0.05$);但在水稻灌浆期和成熟期,水稻干物质积累量在GM+60%N和GM+80%N之间的差异并不显著。而只翻压绿肥山豆(GM)处理下,水稻干物质积累量在分蘖期、拔节期和灌浆期均比常规施肥处理显著下降($P<0.05$)。

2.1.4 叶绿素SPAD值 由图2可知,不同生育时期各处理水稻叶片叶绿素含量由大到小顺序为100%N(CK)、GM+60%~80%N、GM、NF,说明各翻压绿肥处理水稻叶片叶绿素含量有所降低。其中,与常规施肥(100%N)处理相比,翻压绿肥与减施氮肥处理(GM+60%~80%N)水稻叶片叶绿素

含量在水稻拔节期显著降低,但在其余生育期无显著差异($P>0.05$);单施绿肥处理(GM)的叶片叶绿素含量在拔节期和孕穗期比 100%N 处理显著降低,在拔节期和灌浆期无显著差异。此外,在水稻各生育期,叶片叶绿素含量在各翻压绿肥山藜豆与减施不同比例氮肥处理间差异并不显著($P>0.05$)。

2.2 不同施肥处理对水稻养分吸收的影响

2.2.1 植株养分吸收

随着生育时期的推进,水稻植株氮、磷、钾养分吸收量均逐渐增加(表 3)。在氮

素吸收方面,各处理水稻植株氮素吸收量在分蘖期、拔节期、孕穗期、灌浆期由大到小顺序均为 GM+80%N、GM+70%N、GM+60%N、100%N(CK)、GM、NF,而在成熟期表现为 100%N 处理氮素吸收量最高,各翻压山藜豆减施氮肥处理次之,但 100%N 处理与 GM+70%N 处理差异并不显著($P>0.05$);GM 处理氮素吸收量在各生育期始终与 100%N 处理差异显著。在磷素吸收方面,除成熟期外,各处理水稻不同生育期植株磷素吸收量由大

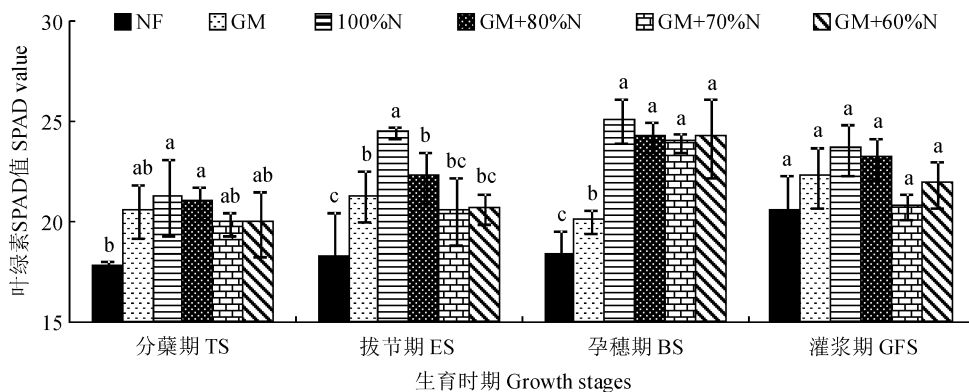


图 2 不同施肥处理下水稻各生育期叶绿素 SPAD 值的变化

Fig. 2 The SPAD value of chlorophyll in rice leaves at main growth stages with different fertilization treatments

表 3 不同施肥处理下水稻各生育期植株养分吸收情况

Table 3 The nutrient uptake of rice plants at main growth stages with different fertilization treatments/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)

养分 Nutrient	施肥处理 Treatment	生育时期 Growth stages				
		TS	ES	BS	GFS	MS
N	NF	6.68±0.50e	27.79±2.17d	46.99±2.42d	54.33±2.93e	72.42±5.73d
	GM	11.91±0.64d	38.21±2.16c	60.47±1.49c	83.87±4.92d	109.47±12.90c
	100%N(CK)	16.87±1.51c	50.19±2.58b	75.55±1.15b	112.81±2.15b	164.81±18.66a
	GM+80%N	33.78±1.82a	66.56±4.13a	85.71±3.25a	120.62±2.44a	131.88±11.87bc
	GM+70%N	32.45±1.44a	61.90±1.94a	85.04±5.49a	114.76±7.54ab	146.22±18.26ab
	GM+60%N	25.21±2.02b	52.65±3.58b	70.49±0.74b	96.86±0.74c	123.55±17.46bc
P	NF	0.40±0.02e	3.30±0.21e	5.21±0.15e	7.06±0.07e	8.77±1.11e
	GM	0.52±0.01e	3.79±0.01e	6.67±0.28d	10.85±0.96d	14.31±1.71d
	100%N(CK)	1.71±0.13d	6.73±0.14d	10.89±0.14c	18.05±0.25c	23.86±2.05c
	GM+80%N	7.34±0.32b	13.78±0.68b	16.82±0.30b	25.80±0.13b	31.39±1.76b
	GM+70%N	8.73±0.04a	15.65±0.14a	19.87±1.04a	29.04±1.06a	38.72±3.99a
	GM+60%N	6.05±0.13c	12.14±0.16c	16.45±0.56b	24.71±0.69b	32.25±4.10b
K	NF	6.70±0.88f	31.18±4.86d	45.14±4.17e	59.07±4.77d	76.73±10.87d
	GM	11.28±0.47e	36.09±1.48d	66.15±1.40d	102.47±9.40c	119.09±9.71c
	100%N(CK)	15.05±1.10d	42.36±1.28c	69.21±1.98d	115.30±3.21c	136.09±16.63c
	GM+80%N	43.85±1.88b	86.86±4.91a	131.44±8.40b	199.29±15.84a	220.56±8.95b
	GM+70%N	46.93±1.70a	85.57±2.23a	143.78±2.04a	208.95±1.75a	257.93±27.22a
	GM+60%N	34.89±1.21c	74.59±2.58b	110.06±3.59c	165.37±6.02b	212.37±32.82b

到小顺序为 GM+70%N、GM+80%N、GM+60%N、100%N(CK)、GM、NF,且同期各处理间大多差异显著;在钾素吸收方面,各处理水稻不同生育期植株钾素吸收量由大到小顺序均为 GM+70%N、GM+80%N、GM+60%N、100%N(CK)、GM、NF,且同期的翻压山黧豆减施氮肥各处理间及其与常规施肥处理间始终差异显著。说明在水稻生育前期,翻压山黧豆减施氮肥有助于水稻植株主要养分氮、磷、钾吸收,但在水稻成熟期翻压山黧豆减施氮肥比例过多或过少时均不利于水稻植株氮素吸收。

2.2.2 籽粒养分吸收 由表 4 可知,不同施肥处理对水稻成熟期籽粒养分吸收存在一定影响,翻压山黧豆减施氮肥降低了籽粒氮吸收量,而提高籽粒磷吸收量和钾吸收量。与常规施肥处理(100%N)相比,GM+70%N 处理水稻籽粒氮吸收量有所下降但未达到显著水平($P>0.05$),而其水稻籽粒磷吸收量和钾吸收量显著提高($P<0.05$);GM+60%N 和 GM+80%N 处理下水稻籽粒氮吸收量分别显著降低 20.67%、19.03%,其磷吸收量和钾吸收量大多显著提高;GM 处理的籽粒氮、磷吸收量均比 100%N 处理显著降低,钾吸收量也明显降低但未达

表 4 不同施肥处理下水稻成熟期籽粒养分吸收情况

Table 4 The nutrient absorption at maturity stage with different fertilization treatments/(kg·hm⁻²)

施肥处理 Treatment	籽粒养分吸收量 Grain nutrient uptake		
	N	P	K
NF	48.25±5.61c	7.61±0.94d	33.95±5.02c
GM	62.34±5.27c	10.51±1.06d	56.65±6.24b
100%N(CK)	104.00±12.12a	19.18±1.98c	64.84±8.43b
GM+80%N	84.21±6.00b	21.46±1.05bc	85.70±5.36a
GM+70%N	102.99±12.49a	25.17±2.79a	96.84±9.92a
GM+60%N	82.50±9.15b	23.43±2.99b	95.02±9.91a

表 5 不同施肥处理水稻产量

Table 5 The rice yield with different fertilization treatments

处理 Treatment	秸秆产量 Straw yield /(t·hm ⁻²)	稻谷产量 Rice yield /(t·hm ⁻²)	谷草比 Grain-straw ratio
NF	4.18±0.11e	4.42±0.20d	1.05±0.04c
GM	5.45±0.24d	6.00±0.38c	1.10±0.03b
100%N(CK)	6.30±0.11c	7.75±0.30b	1.23±0.07a
GM+80%N	8.49±0.13a	8.32±0.26a	0.98±0.04d
GM+70%N	8.49±0.13a	8.83±0.30a	1.04±0.04c
GM+60%N	7.16±0.13b	8.02±0.46ab	1.12±0.08b

到显著水平。可见,在翻压山黧豆减施 30%氮肥时,水稻籽粒养分吸收更为全面,而减施比例过高或者过低则均对水稻氮素吸收有显著的抑制作用。

2.3 不同施肥处理对水稻产量的影响

由表 5 可知,与常规施肥处理(100%N)相比,各翻压山黧豆减施氮肥处理均能提高稻谷产量,增产幅度为 3.45%~13.84%,GM+70%N 和 GM+80%N 处理对稻谷产量的增产效果均达到显著水平,并以 GM+70%N 处理增产效果最好;单独翻压山黧豆绿肥处理(GM)的稻谷产量则显著低于常规施肥处理(100%N)。同时,在不同施肥处理下,水稻的秸秆产量与稻谷产量表现相似,且所有翻压山黧豆减施氮肥处理的增幅(13.65%~34.76%)均达到显著水平;另外,水稻的谷草比在各施肥处理间存在显著差异,并以常规施肥(100%N)处理最高(1.23),并显著高于其他处理;GM+80%N 处理的谷草比最低(0.98),GM、GM+60%N 和 GM+70%N 处理下谷草比分别为 1.10、1.12、1.04,均显著高于 GM+80%N 处理。说明翻压绿肥山黧豆替代 30%~40%氮肥处理的水稻谷草比较优,在避免水稻旺长的同时实现水稻高产。

3 讨论

3.1 翻压山黧豆减施氮肥对水稻生长的影响

促进分蘖成穗和合理的干物质积累与分配是形成水稻优质群体、促进水稻产量形成的物质基础和重要保障^[14]。本研究表明,与常规施肥(100%N)相比,翻压山黧豆与氮肥减施能显著提升水稻株高、增加水稻分蘖数、提高水稻干物质积累量,其中以 GM+70%N 施肥处理提升最为明显,各生育时期水稻株高、有效分蘖数、干物质积累量分别增加了 13.32%~15.73%、33.98%~59.47%和 23.18%~144.18%,且增加速率随着生育时期的推进依次降低。其原因可能是,山黧豆翻压还田后,提高了水稻生育前期土壤供氮能力,从而有利于生长前期水稻生长、养分吸收利用和分蘖早发,确保后期也能维持较高的供肥能力,为水稻后期的生长打好了丰产基础^[15],而且绿肥还田还改善了土壤氮素供应过程,养分释放动态与作物营养特性一致,促进了养分的吸收利用,防止了水稻生长后期早衰,保证了后期光合产物的有效供给,从而提高了群体干物质积累量^[14,16]。同时,本研究还发现,翻压绿肥山黧豆减施氮肥使水稻叶片叶绿素含量有所降低,但降幅并不显著($P>0.05$),这与袁颖红等^[17]的研究有一定

出入,其原因可能是投入的绿肥品种和还田量存在差异,从而导致叶绿素变化规律出现偏差,因此,翻压绿肥山黧豆对水稻光合特性的影响还需要进一步验证。

3.2 翻压山黧豆减施氮肥对水稻养分吸收的影响

植株养分吸收是其生长发育的基础,不同施肥处理对水稻植株及籽粒氮、磷、钾养分吸收产生了明显的影响。本研究结果表明,在只翻压绿肥和不施用肥料处理下,水稻植株和籽粒的氮、磷、钾养分吸收量均比常规施肥处理显著降低,这与黄晶等^[18]研究结果一致,可能是由于这两个处理氮素的投入量较其他处理要小,而影响磷素吸收总量的主导因子不是磷肥而是钾肥和氮肥的原因。在本研究的水稻生育前期,翻压山黧豆减施氮肥有助于水稻植株养分吸收,但在水稻成熟期翻压山黧豆后减施氮肥比例过多或过少时均不利于水稻植株和籽粒氮素吸收。这可能是种植翻压山黧豆后,山黧豆根瘤共生固氮还田后提高了土壤中养分水平,并活化了养分的有效性,使水稻能够吸收利用的氮素总量增加,从而增加了对全氮的吸收总量^[19];本研究进一步表明,翻压山黧豆减施30%氮肥时,水稻植株和籽粒养分吸收更为全面,而减施比例过高或者过低均对水稻氮素吸收有较大影响,这与周兴^[20]、张均华^[21]等研究结果一致,这可能是因水稻地上部氮吸收总量随施氮量增加而显著增加^[22-23],在水稻生育后期,当氮肥用量减少40%时,绿肥山黧豆所带入的氮并不能弥补减少的氮肥用量,导致氮素总投入量减少,从而使得其地上部氮素养分含量降低,最终降低了其地上部全氮吸收累积总量^[19]。

3.3 翻压山黧豆与氮肥减施对水稻产量的影响

水稻产量受自然条件、土壤环境、栽培措施等多方面因素影响,其中栽培措施影响尤为突出^[18]。研

究表明,种植翻压绿肥替代部分化肥后,有利于水稻增产稳产^[20-21]。刘思超等^[24]研究表明,绿肥种植翻压后,可替代40%常规化肥投入量,水稻仍能显著增产;周兴等^[21]研究表明,翻压紫云英并减施氮肥20%~40%的条件下,水稻产量不会降低。本研究发现,翻压绿肥山黧豆减施一定比例氮肥均能有效提高水稻产量,可能是山黧豆植株具有较低的碳氮比,作为绿肥翻压后能够促进土壤微生物的繁殖和有机质分解过程中的养分释放,提高土壤中有效养分含量,促进水稻的生长发育^[24],因此,山黧豆可替代部分化肥氮。但单施绿肥而不施化肥处理的水稻产量有所降低,说明绿肥山黧豆并不能完全替代氮肥,从氮肥替代比例来看,水稻产量出现先增加后降低的趋势,并在替代氮肥30%左右时水稻增产效果最优,其原因可能是在山黧豆还田量较少时,山黧豆养分在水稻生育期逐渐释放和供给,从而持续促进水稻生长并实现增产,但山黧豆还田量较大时,土壤微生物群落增加较大,与水稻植株生长出现养分竞争,从而使水稻增产效果有所下降^[25-26]。

4 结 论

翻压山黧豆与氮肥减施能显著提升水稻株高、增加水稻分蘖数、提高水稻干物质积累量,其中以GM+70%N施肥处理提升效果最为明显。翻压山黧豆减施30%氮肥时,水稻植株和籽粒养分吸收更为全面,减施比例过高或者过低,均对水稻氮素吸收有较大影响。翻压山黧豆和不同减氮处理下,水稻产量均有所提高,其中GM+70%N增幅最大为13.84%。可见,种植翻压山黧豆并适量减施氮肥能有效促进水稻生长,提高水稻产量,促进稻田提质增效的可持续发展,是四川水稻种植较好的耕作措施。

参考文献:

- [1] 任世鑫,李二玲,邓晴晴,等. 中国三大粮食作物化肥施用特征及环境风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(12): 2 936-2 947.
- REN S X, LI E L, DENG Q Q, *et al.* Characteristics of chemical fertilizer application and environmental risk assessment of three major food crops in China[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(12): 2 936-2 947.
- [2] 高菊生,黄晶,董春华,等. 长期有机无机肥配施对水稻产

- 量及土壤有效养分影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 314-324.
- GAO J S, HUANG J, DONG C H, *et al.* Effects of long-term combined application of organic and chemical fertilizers on rice yield and soil available nutrients[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(2): 314-324.
- [3] 唐海明,肖小平,李超,等. 长期施肥对双季稻区水稻植株养分积累与转运的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3): 469-477.
- TANG H M, XIAO X P, LI C, *et al.* Effects of different

- long-term fertilization managements on nutrition accumulation and translocation of rice plant in double cropping paddy field [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2018, **27**(3): 469-477.
- [4] 曹卫东, 黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考 [J]. *中国土壤与肥料*, 2009, (4): 1-3.
CAO W D, HUANG H X. Ideas on restoration and development of green manures in China [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2009, (4): 1-3.
- [5] 程 洋. 稻田不同冬绿肥种植模式的生产效益、养分利用及土壤培肥效应 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [6] ZHOU X, LU Y H, LIAO Y L, *et al.* Substitution of chemical fertilizer by Chinese milk vetch improves the sustainability of yield and accumulation of soil organic carbon in a double-rice cropping system [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, **18**(10): 2 381-2 392.
- [7] 马艳芹, 黄国勤. 紫云英配施氮肥对稻田生态系统服务功能的影响 [J]. *自然资源学报*, 2018, **33**(10): 1 755-1 765.
MA Y Q, HUANG G Q. Effects of combined application of Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) and nitrogen fertilizer on ecological service function of paddy field [J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, **33**(10): 1 755-1 765.
- [8] 梁 琴, 周泽弘, 马雪清, 等. 绿肥翻压与氮肥减施对水稻产量、品质及土壤肥力的影响 [J]. *中国农业科技导报*, 2021, **23**(10): 124-130.
LIANG Q, ZHOU Z H, MA X Q, *et al.* Effects of green manure turning over and nitrogen reducing on rice yield, quality and soil fertility [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, **23**(10): 124-130.
- [9] 韩文斌, 任胜茂, 罗阳春, 等. 播期和播量对橘园间作下山豆产量及农艺性状的影响 [J]. *草业科学*, 2015, **32**(12): 2 089-2 093.
HAN W B, REN S M, LUO Y C, *et al.* Effects of sowing date and sowing rate on yields and agronomic traits of grass pea intercropped with citrus [J]. *Pratacultural Science*, 2015, **32**(12): 2 089-2 093.
- [10] 高嵩涓, 周国朋, 曹卫东. 南方稻田紫云英作冬绿肥的增产节肥效应与机制 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, **26**(12): 2 115-2 126.
GAO S J, ZHOU G P, CAO W D. Effects of milk vetch (*Astragalus sinicus*) as winter green manure on rice yield and rate of fertilizer application in rice paddies in South China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, **26**(12): 2 115-2 126.
- [11] 朱 强, 张 静, 郭再华, 等. 稻草和紫云英联合还田下施氮水平对水稻产量及土壤氮素形态的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2020, **26**(12): 2 177-2 183.
ZHU Q, ZHANG J, GUO Z H, *et al.* Effects of different nitrogen inputs on rice yield and soil nitrogen forms under incorporation of rice straw and Chinese milk vetch [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2020, **26**(12): 2 177-2 183.
- [12] 程会丹, 鲁艳红, 聂 军, 等. 减量化肥配施紫云英对稻田土壤碳、氮的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2020, **39**(6): 1 259-1 270.
CHENG H D, LU Y H, NIE J, *et al.* Effects of reducing chemical fertilizer combined with Chinese milk vetch on soil carbon and nitrogen in paddy fields [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, **39**(6): 1 259-1 270.
- [13] 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.
- [14] 才 硕, 时 红, 潘晓华, 等. 绿肥与稻草联合还田对机插双季稻生长和产量的影响 [J]. *江西农业大学学报*, 2019, **41**(4): 631-640.
CAI S, SHI H, PAN X H, *et al.* Influence of the combination of returning green manure cultivation and rice straw on the growth and yield formation of machine-transplanted early-late season double-cropping rice [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2019, **41**(4): 631-640.
- [15] 卢 萍, 杨林章, 单玉华, 等. 绿肥和秸秆还田对稻田土壤供氮能力及产量的影响 [J]. *土壤通报*, 2007, **38**(1): 39-42.
LU P, YANG L Z, SHAN Y H, *et al.* Influence of returning green manure and wheat straw to paddy soils on soil available N content and rice yield [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, **38**(1): 39-42.
- [16] 陈丽楠, 彭显龙, 刘元英, 等. 养分管理对寒地水稻干物质积累及运转的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2010, **41**(5): 52-56.
CHEN L N, PENG X L, LIU Y Y, *et al.* Effect of nutrient management on dry matter accumulation and translocation of rice in cold area [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, **41**(5): 52-56.
- [17] 袁颖红, 樊后保, 黄欠如, 等. 长期施肥对水稻光合特性及水分利用效率的影响 [J]. *生态学杂志*, 2009, **28**(11): 2 239-2 244.
YUAN Y H, FAN H B, HUANG Q R, *et al.* Effects of long-term fertilization on rice photosynthetic traits and water use efficiency [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**

- (11): 2 239-2 244.
- [18] 黄 晶, 高菊生, 刘淑军, 等. 冬种紫云英对水稻产量及其养分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013, (1): 88-92.
HUANG J, GAO J S, LIU S J, *et al.* Effect of Chinese milk vetch in winter on rice yield and its nutrient uptake[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2013, (1): 88-92.
- [19] 才 硕, 时 红, 潘晓华, 等. 绿肥与稻草联合还田对机插稻光合特性、养分吸收和产量品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(2): 229-240.
CAI S, SHI H, PAN X H, *et al.* Influence of the combination of returning green manure cultivation and rice straw on photosynthetic characteristics and nutrient absorption and yield quality of machine-transplanted double-season rice[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2020, 42(2): 229-240.
- [20] 周 兴, 李再明, 谢 坚, 等. 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[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2014, 40(3): 225-230.
ZHOU X, LI Z M, XIE J, *et al.* Effect of reducing chemical fertilizer on rice yield, output value, content of soil carbon and nitrogen after utilizing the milk vetch[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2014, 40(3): 225-230.
- [21] 张均华, 刘建立, 张佳宝, 等. 施氮量对稻麦干物质转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1 736-1 742.
ZHANG J H, LIU J L, ZHANG J B, *et al.* Effects of nitrogen application rates on translocation of dry matter and utilization of nitrogen in rice and wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(10): 1 736-1 742.
- [22] 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 Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(2): 277-283.
- [23] 张 璐, 黄 晶, 高菊生, 等. 长期绿肥与氮肥减量配施对水稻产量和土壤养分含量的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 106-112.
ZHANG L, HUANG J, GAO J S, *et al.* Effects of long-term green manure and reducing nitrogen applications on rice yield and soil nutrient content[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(5): 106-112.
- [24] 刘思超, 唐利忠, 李 超, 等. 不同混作方式绿肥替代部分基施化学氮肥对双季稻产量形成特性的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(5): 218-225.
LIU S C, TANG L Z, LI C, *et al.* Impact of substitution of green manure under different mixed cropping modes to chemical N fertilizer on yield formation characters of double cropping rice[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2018, 33(5): 218-225.
- [25] 唐海明, 李 超, 肖小平, 等. 不同有机无机肥氮投入比例对双季水稻生理特性与产量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(6): 149-160.
TANG H M, LI C, XIAO X P, *et al.* Impacts of different manure and chemical fertilizer N input ratios on physiological characteristics of leaves and yield of rice under double-cropping rice field[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2020, 22(6): 149-160.
- [26] 吕玉虎, 潘兹亮, 王 琴. 翻压紫云英后化肥用量对稻田养分动态变化及产量效应的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 174-178.
LÜ Y H, PAN Z L, WANG Q. Effects of different amount of chemical fertilizer usage under ploughing down milk vetch on the yield and the dynamics of soil nutrients in rice filed[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(3): 174-178.

(编辑: 裴阿卫)