

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.03.012

董青君, 董玉兵, 李卫红, 等. 不同绿肥对土壤肥力及后茬水稻养分吸收的影响. 土壤, 2023, 55(3): 554–561.

不同绿肥对土壤肥力及后茬水稻养分吸收的影响^①

董青君, 董玉兵, 李卫红, 谢昶琰, 李传哲, 张 苗, 陈 川, 章安康*

(江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所, 江苏淮安 223001)

摘 要: 为筛选适合研究区种植的绿肥品种, 选取 7 种不同绿肥(紫云英、白三叶草、金花菜、光叶苕子、箭筈豌豆、油菜、二月兰), 以冬闲田(CK)为对照, 在苏北地区进行了大田试验, 分析了不同绿肥品种的生长性状、养分含量及对土壤肥力和后茬水稻产量、养分吸收等的影响。结果表明: 不同的绿肥作物品种存在着不同的生长差异, 综合来看以光叶苕子、箭筈豌豆的生物量最高, 分别为 46.07、38.74 t/hm², 二者养分含量及累积量显著高于其他绿肥品种。种植绿肥促进土壤养分累积, 具有提高土壤肥力的潜力, 其中, 箭筈豌豆翻压还田后土壤 pH 相较 CK 处理提高 0.71%, 光叶苕子翻压还田后土壤有机质、全氮含量相较 CK 处理提高 1.56%、8.86%。绿肥翻压还田后显著增加了后茬水稻秸秆和籽粒的氮、磷、钾含量及其累积量, 其中以箭筈豌豆的综合效果最好, 与 CK 处理相比, 翻压还田水稻秸秆全氮、全磷累积量分别提高了 15.18%、14.98%, 水稻籽粒全氮、全钾累积量分别提高了 9.98%、15.02%, 水稻地上部全氮、全磷总累积量分别提高了 14.75%、20.42%。综上, 光叶苕子、箭筈豌豆的生物量、养分累积量较高, 光叶苕子翻压还田后对土壤肥力有一定的提高作用, 箭筈豌豆能够促进水稻养分含量及养分累积量, 二者是适合研究区种植的绿肥品种。

关键词: 绿肥; 土壤; 水稻; 养分

中图分类号: S158; S511; S5 **文献标志码:** A

Effects of Different Green Manures on Soil Fertility and Nutrient Uptake of Rice

DONG Qingjun, DONG Yubing, LI Weihong, XIE Changyan, LI Chuanzhe, ZHANG Miao, CHEN Chuan, ZHANG Ankang*
(Huaiyin Institute of Agricultural Sciences of Xuhuai Region in Jiangsu, Huai'an, Jiangsu 223001, China)

Abstract: In order to screen out the suitable green manures for the study area, seven green manure varieties, with the winter idle field (CK) as the control, were used in a field experiment conducted to analyze the growth characters, yields and nutrients of different green manures and their effects on soil fertility, yields and nutrient absorption of rice after turning over in the northern Jiangsu region. The results showed that different green manures were different in growth. On the whole, *Vicia villosa* var. and *Vicia sativa* L. had the highest biomass and nutrient contents, which were 46.07 t/hm² and 38.74 t/hm² respectively, their nutrient contents and accumulation were significantly higher than those of other green manures. Planting green manure had the potential to promote soil nutrient accumulation and had a positive role in improving soil fertility. Among other, soil pH of *Vicia sativa* L. after turning over was 0.71% higher than CK, and the contents of soil organic matter and total nitrogen of *Vicia villosa* var. after turning over were 1.56% and 8.86% higher than CK. After green manure turning over, nitrogen, phosphorus, potassium contents and accumulation of rice straws and grains were significantly increased, among them, *Vicia sativa* L. had the best comprehensive effect. Compared with CK, after the *Vicia sativa* L. was turned over, the total nitrogen and total phosphorus accumulation of rice straws were increased by 15.18% and 14.98% respectively, total nitrogen and total potassium accumulation of rice grains were increased by 9.98% and 15.02% respectively, and total nitrogen and total phosphorus accumulation above the ground were increased by 14.75% and 20.42% respectively. In conclusion, the biomass and nutrient accumulation of *Vicia villosa* var. and *Vicia sativa* L. are higher, and *Vicia villosa* var. can improve soil fertility to a certain extent, while *Vicia sativa* L. can promote nutrient contents and accumulation of rice, they both are suitable green fertilizer varieties for planting in the research area.

Key words: Green manure; Soil; Rice; Nutrient

①基金项目: 绿肥种质资源的收集、筛选及多功能利用项目(HNY202020)和江苏省现代农业(水稻)产业技术体系项目(JATS [2021] 207)资助。

* 通讯作者(13905239366@139.com)

作者简介: 董青君(1995—), 女, 山东菏泽人, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向为土壤肥料及农业资源化利用。E-mail: 1512660056@qq.com

中国农业发展史中,化肥在保障粮食安全方面作出了巨大贡献,但盲目、过量的化肥施用并没有使作物产量不断地增加,反而对土壤功能造成一定的破坏,从而引发土壤质量下降、水体富营养化、温室气体排放等生态环境问题^[1-4]。因此,减施化肥农药和增施有机物料被认为是当下农业绿色生产的有效途径^[5]。而绿肥作为传统的有机物料,是一种环境友好型作物品种,在改良土壤、保持水土、抑制杂草、提高作物生产力等方面具有重要意义。研究表明,利用绿肥能够有效改善土壤氮含量,活化土壤中的磷、钾等成分,促进土壤微生物的活动,增加土壤有机碳储量,从而改善土壤的理化性质^[6-7]。Yang 等^[8]研究表明,冬季长期种植油菜、紫云英、黑麦草 3 种绿肥,显著增加了土壤的全碳、全氮含量,改善了土壤团聚体结构。Jeon 等^[9]研究表明,绿肥作物的种植能够提高土壤的孔隙度及有机质含量,同时还能显著增加水稻产量,对土壤质量和农业系统的可持续性发挥着重要的作用。高嵩涓等^[10]研究表明,种植绿肥后土壤微生物特性明显改善,土壤微生物生物量碳、氮和微生物熵有了明显的提高。

中国是世界上利用绿肥历史最悠久的国家之一,至今已逾 3 000 年,漫长的绿肥利用发展史决定了绿肥的种质资源也在不断地丰富^[11-12]。由于气候和土壤类型的多样性,促使我国的绿肥种质资源有很大的不同,这就促使不同的地区具有不同的适宜种植的绿肥品种^[13]。绿肥通常分为豆科、禾本科、十字花科、菊科等,不同的绿肥品种在植物功能性状上存在差异,进而对土壤生态功能也产生不同的影响。因此,本研究选取了 7 种不同的绿肥品种,通过比较不同绿肥之间的生长差异及其在翻压还田后对土壤性质和后茬水稻养分、产量的影响,筛选适合研究区种植的绿肥品种,以为研究区绿肥的利用与推广提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在江苏省淮安市淮阴区三树镇新星村进行。该区属于暖温带季风气候,年均温 14.2 °C,年降雨量 910 mm。供试土壤类型为黄棕壤,基本理化性质为:pH 7.86,有机质 32.38 g/kg,全氮 1.90 g/kg,全磷 0.95 g/kg,有效磷 19.61 mg/kg,速效钾 211 mg/kg。

1.2 供试材料

供试绿肥:绿肥品种共 7 个,分别为紫云英(豆科黄耆属)、白三叶草(豆科三叶草属)、金花菜(豆科

苜蓿属)、光叶苕子(豆科野豌豆属)、箭筈豌豆(豆科野豌豆属)、油菜(十字花科芸薹属)、二月兰(十字花科诸葛菜属)。

供试水稻:品种为淮稻 6779。

供试肥料:45% 复合肥(N-P-K=15-15-15),聚氨基包膜尿素(释放期 3 个月,含 N 量为 460 g/kg)。

1.3 试验设计

试验于 2020 年 11 月 3 日撒播绿肥,2021 年 4 月 21 日将绿肥翻压还田,2021 年 5 月 11 日播种水稻,2021 年 10 月 13 日收割水稻。共设 8 个处理,包括 7 个绿肥品种处理和 1 个冬闲处理作为对照,每个处理 3 个重复,随机区组排列,每个小区面积 220 m²。具体处理如表 1 所示。

表 1 不同处理的具体描述
Table 1 Descriptions of different treatments

处理代号	处理描述	绿肥品种	播种量 (kg/hm ²)
CK	冬闲	-	-
L1	紫云英种植、翻压还田	信紫一号	45.00
L2	白三叶草种植、翻压还田	海法	15.00
L3	金花菜种植、翻压还田	楚雄南苜蓿	22.50
L4	光叶苕子种植、翻压还田	苏早苕	60.00
L5	箭筈豌豆种植、翻压还田	苏箭 4 号	60.00
L6	油菜种植、翻压还田	丰油 10 号	7.50
L7	二月兰种植、翻压还田	江苏普通种	22.50

根据每种绿肥推荐的最佳播种量进行播种,采用均匀撒播的方式种植,于绿肥盛花期时进行翻压还田。绿肥撒播前需旋耕土壤,撒播后开沟、浇水。

水稻种植采用“种肥同播”方式,即播种的同时施肥。播种方式为直播,45% 复合肥(施入量为 337.5 kg/hm²)和包膜尿素(施入量为 165 kg/hm²)均作为基肥一次性施入,后期不进行追肥。田间管理和除草等按照当地常规农事操作进行。

1.4 样品采集与测定

于 2021 年 4 月 21 日(绿肥盛花期)和 2021 年 10 月 13 日(水稻收获期)分别进行土壤样品和植株样品的采集。相关指标测定均按照常规方法^[14]。

土壤样品:采用多点混合采样法取样,部分样品置于-20 °C 冰箱保存用于测定土壤铵态氮、硝态氮含量,部分样品过筛 20 目用于测定土壤 pH、有效磷和速效钾含量,部分样品过筛 100 目用于测定土壤有机质、全氮、全磷含量。土壤容重采用环刀法测定。

绿肥植株样品:绿肥盛花期时,每个小区随机选取一个样方(1 m×1 m)测定其地上部生物量计产,选

取部分植株样置于烘箱内 105 °C 杀青 30 min, 随后 70 °C 烘干至恒重, 磨碎, 用于测定绿肥的养分含量。

水稻植株样品: 水稻收获期时, 每个小区随机选取一个样方(1m×1m)测定其地上部生物量和有效株数。每个样框内随机选取 10 株水稻, 用于考种, 并测定水稻品质; 另选取 10 株进行杀青、烘干、粉碎, 用于测定水稻植株的养分含量。

1.5 数据统计与分析

绿肥养分累积量(kg/hm²)=绿肥养分含量(g/kg)×绿肥生物量(t/hm²)。

植株各部位养分累积量(kg/hm²)=植株各部位养分含量(g/kg)×相应部位的生物量(t/hm²)^[15]。

水稻地上部养分总累积量(kg/hm²)=水稻秸秆养分累积量(kg/hm²)+水稻籽粒养分累积量(kg/hm²)。

试验数据采用 Excel 2016 进行处理和图表制作, 采用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析和显著性检验($P<0.05$)。图表中数据为平均值 ± 标准误。

2 结果与分析

2.1 不同绿肥的株高、地上部生物量

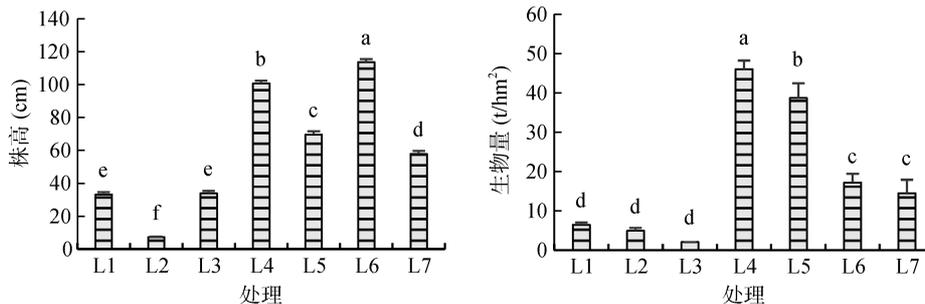
由图 1 可知, 不同绿肥作物之间的株高、地上部生物量有明显的差异。其中, 十字花科的油菜(L6)株高最大, 豆科的光叶苕子(L4)次之, 白三叶草(L2)的株高最小, 仅 7.33 cm, 不同绿肥作物之间均形成显著性差异。光叶苕子的生物量达到最高, 为 46.07 t/hm², 其次是箭筈豌豆(L5), 为 38.74 t/hm², 而紫云英(L1)、白三叶草、金花菜(L3)的生物量较低, 与其他绿肥相比差异较大, 形成显著性差异。整体上, 株高和生物量之间具有正相关性, 其中豆科的光叶苕子、箭筈豌豆和十字花科的油菜、二月兰(L7)表现良好, 紫云英、白三叶草、金花菜表现较差。

株高最大, 豆科的光叶苕子(L4)次之, 白三叶草(L2)的株高最小, 仅 7.33 cm, 不同绿肥作物之间均形成显著性差异。光叶苕子的生物量达到最高, 为 46.07 t/hm², 其次是箭筈豌豆(L5), 为 38.74 t/hm², 而紫云英(L1)、白三叶草、金花菜(L3)的生物量较低, 与其他绿肥相比差异较大, 形成显著性差异。整体上, 株高和生物量之间具有正相关性, 其中豆科的光叶苕子、箭筈豌豆和十字花科的油菜、二月兰(L7)表现良好, 紫云英、白三叶草、金花菜表现较差。

2.2 不同绿肥的养分含量和累积量

不同绿肥作物之间的养分含量和累积量不同。从表 2 可以看出, 光叶苕子的全氮含量最高, 为 34.60 g/kg, 其次是箭筈豌豆, 二者与其他绿肥形成显著性差异; 白三叶草的全氮含量最低, 但该绿肥品种的全磷含量最高, 达 3.40 g/kg, 箭筈豌豆、光叶苕子全磷含量次之; 对于全钾含量, 光叶苕子最高, 箭筈豌豆次之, 油菜最低, 仅为 28.95 g/kg。

不同绿肥的全氮累积量差异较大, 光叶苕子的全氮累积量最高, 达 158.61 kg/hm², 而金花菜全氮累积量最低, 仅为 7.66 kg/hm², 二者之间相差 150.95 kg/hm²; 全磷、全钾累积量与全氮累积量趋势相同, 均以光叶苕子和箭筈豌豆最高和次高, 金花菜最低。



(图中不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$); 下同)

图 1 不同绿肥作物之间株高、生物量的差异

Fig. 1 Differences in plant heights and biomass among different green manures

表 2 不同绿肥的养分含量和累积量差异

Table 2 Differences in nutrient contents and accumulation among different green manures

处理	养分含量(g/kg)			养分累积量(kg/hm ²)		
	N	P	K	N	P	K
L1	18.77 ± 0.95 bc	1.57 ± 0.19 c	43.48 ± 1.5 ab	16.34 ± 0.96 b	1.36 ± 0.16 b	38.10 ± 3.6 de
L2	13.45 ± 1.21 c	3.40 ± 0.38 a	34.17 ± 6.88 bc	13.30 ± 1.58 b	3.37 ± 0.47 b	33.81 ± 7.27 de
L3	21.77 ± 1.16 b	1.48 ± 0.12 c	31.19 ± 0.6 c	7.66 ± 0.68 b	0.52 ± 0.01 b	10.94 ± 0.50 e
L4	34.60 ± 3.32 a	2.42 ± 0.38 b	50.05 ± 0.39 a	158.61 ± 22.05 a	11.37 ± 2.86 a	228.74 ± 20.89 a
L5	33.96 ± 0.51 a	2.50 ± 0.08 b	48.54 ± 4.59 a	135.91 ± 20.55 a	9.90 ± 1.13 a	189.86 ± 15.36 b
L6	14.00 ± 2.25 c	1.30 ± 0.14 c	28.95 ± 1.79 c	44.95 ± 3.94 b	4.29 ± 0.69 b	95.35 ± 10.54 c
L7	16.08 ± 0.37 c	1.36 ± 0.07 c	31.48 ± 1.51 c	33.69 ± 4.82 b	2.83 ± 0.37 b	67.27 ± 14.23 cd

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$); 下同。

2.3 不同绿肥对土壤养分含量的影响

由表 3 可知,箭筈豌豆土壤的铵态氮含量(NH₄⁺-N)最高,达 19.41 mg/kg,二月兰土壤次之,其余绿肥土壤均低于对照。光叶苕子土壤的硝态氮含量(NO₃⁻-N)最高,达 32.24 mg/kg,并与其余处理形成显著差异。白三叶草、金花菜、二月兰土壤的速效钾含量高于对照,其余绿肥作物土壤均有降低的趋势。同时,不同绿肥作物生长对土壤 pH、容重、有机质、全氮、全磷的影响均未达到显著性水平。

2.4 不同绿肥对水稻产量和品质的影响

由图 2 可知,不同绿肥作物翻压还田后对后茬水稻产量的影响表现为箭筈豌豆>光叶苕子>油菜>金花菜>紫云英>对照>白三叶草>二月兰,其中箭筈豌豆翻压还田后的水稻产量最高,达 7.40 t/hm²,光叶苕子次之,为 7.25 t/hm²,但所有处理之间无显著性差异。这可能因为绿肥仅种植 1 年,在对后茬水稻产量影响方面还有待进一步探究。

利用冬闲田种植绿肥,是提高水稻品质的重要措施之一。由表 4 可以看出,各绿肥处理之间水稻的食味值、水分含量均无显著性差异。但翻压还田紫云英处理水稻的蛋白质含量最高,达 8.97%,翻压还田金花菜处理最低,二者之间差异性显著。与对照处理相比,箭筈豌豆、光叶苕子处理的直链淀粉含量增加

8.49%、7.57%,但三者之间无显著性差异。综合来看,与对照处理相比,翻压还田不同种类的绿肥并未使水稻食味值、蛋白质、直链淀粉含量有所提升,但不同绿肥品种之间相比,翻压还田紫云英能够促使水稻蛋白质含量提高,翻压还田金花菜能够促使水稻直链淀粉含量提高。

2.5 不同绿肥对水稻养分含量及累积量的影响

由图 3A~3C 可知,紫云英翻压还田处理的水稻秸秆全氮含量最高,箭筈豌豆处理次之,二者与对照处理相比增幅分别为 5.87%、4.84%;箭筈豌豆翻压还田处理的水稻秸秆全磷含量最高,为 2.52 g/kg,油

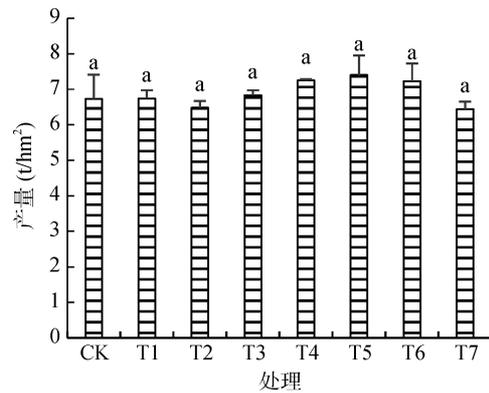


图 2 不同绿肥作物对水稻产量的影响
Fig. 2 Effects of different green manures on rice yield

表 3 不同绿肥对土壤养分含量的影响
Table 3 Effects of different green manures on soil nutrient contents

处理	pH	容重 (g/cm ³)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)
CK	8.06 ± 0.01 a	1.03 ± 0.06 a	27.67 ± 3.09 a	1.70 ± 0.03 a	0.89 ± 0.04 a
L1	8.07 ± 0.04 a	1.06 ± 0.01 a	28.41 ± 0.77 a	1.74 ± 0.04 a	0.78 ± 0.16 a
L2	7.97 ± 0.01 a	0.84 ± 0.03 a	31.61 ± 3.24 a	1.82 ± 0.06 a	0.95 ± 0.02 a
L3	8.03 ± 0.05 a	1.00 ± 0.03 a	29.96 ± 4.19 a	1.75 ± 0.06 a	0.93 ± 0.04 a
L4	8.12 ± 0.04 a	1.01 ± 0.09 a	34.50 ± 8.13 a	1.78 ± 0.08 a	0.92 ± 0.03 a
L5	8.03 ± 0.05 a	0.99 ± 0.02 a	30.46 ± 1.34 a	1.81 ± 0.05 a	0.95 ± 0.06 a
L6	8.03 ± 0.04 a	1.01 ± 0.05 a	29.66 ± 1.06 a	1.84 ± 0.06 a	0.95 ± 0.01 a
L7	8.10 ± 0.06 a	0.99 ± 0.02 a	27.20 ± 4.57 a	1.76 ± 0.06 a	0.97 ± 0.04 a
处理	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	
CK	18.48 ± 1.66 ab	25.96 ± 2.03 b	28.22 ± 0.11 a	302.40 ± 9.13 a	
L1	16.29 ± 1.40 abc	22.39 ± 2.42 bc	25.29 ± 0.91 ab	276.46 ± 37.59 ab	
L2	13.17 ± 1.39 c	22.00 ± 0.31 bc	24.52 ± 1.12 ab	304.68 ± 13.99 a	
L3	17.13 ± 1.03 abc	21.03 ± 0.73 bc	18.68 ± 0.46 d	304.55 ± 21.62 ab	
L4	16.68 ± 2.13 abc	32.24 ± 2.47 a	23.35 ± 1.86 bc	252.86 ± 14.38 ab	
L5	19.41 ± 1.16 a	24.89 ± 0.89 b	23.16 ± 2.46 bc	217.40 ± 4.21 b	
L6	13.36 ± 1.5 bc	18.39 ± 1.42 c	19.47 ± 0.75 cd	296.26 ± 18.43 a	
L7	19.21 ± 1.96 a	24.61 ± 1.55 b	23.61 ± 0.27 b	307.89 ± 33.94 a	

表 4 不同绿肥对水稻品质的影响
Table 4 Effects of different green manures on rice quality

处理	食味值	蛋白质 (%)	水分 (%)	直链淀粉 (%)
CK	81.00 ± 0.58 a	8.73 ± 0.07 abc	14.30 ± 0.15 a	14.13 ± 0.34 b
L1	81.00 ± 1.53 a	8.97 ± 0.24 a	14.07 ± 0.33 a	14.47 ± 0.23 ab
L2	83.00 ± 0.58 a	8.37 ± 0.15 bc	14.07 ± 0.09 a	14.97 ± 0.32 ab
L3	83.33 ± 0.67 a	8.30 ± 0.06 c	13.97 ± 0.23 a	16.33 ± 0.26 a
L4	80.33 ± 1.33 a	8.60 ± 0.15 abc	14.47 ± 0.38 a	15.20 ± 0.96 ab
L5	81.33 ± 0.33 a	8.77 ± 0.17 abc	14.40 ± 0.12 a	15.33 ± 0.86 ab
L6	82.33 ± 0.33 a	8.73 ± 0.12 abc	13.87 ± 0.03 a	14.67 ± 0.41 ab
L7	80.67 ± 1.20 a	8.90 ± 0.31 ab	14.10 ± 0.26 a	14.33 ± 0.77 b

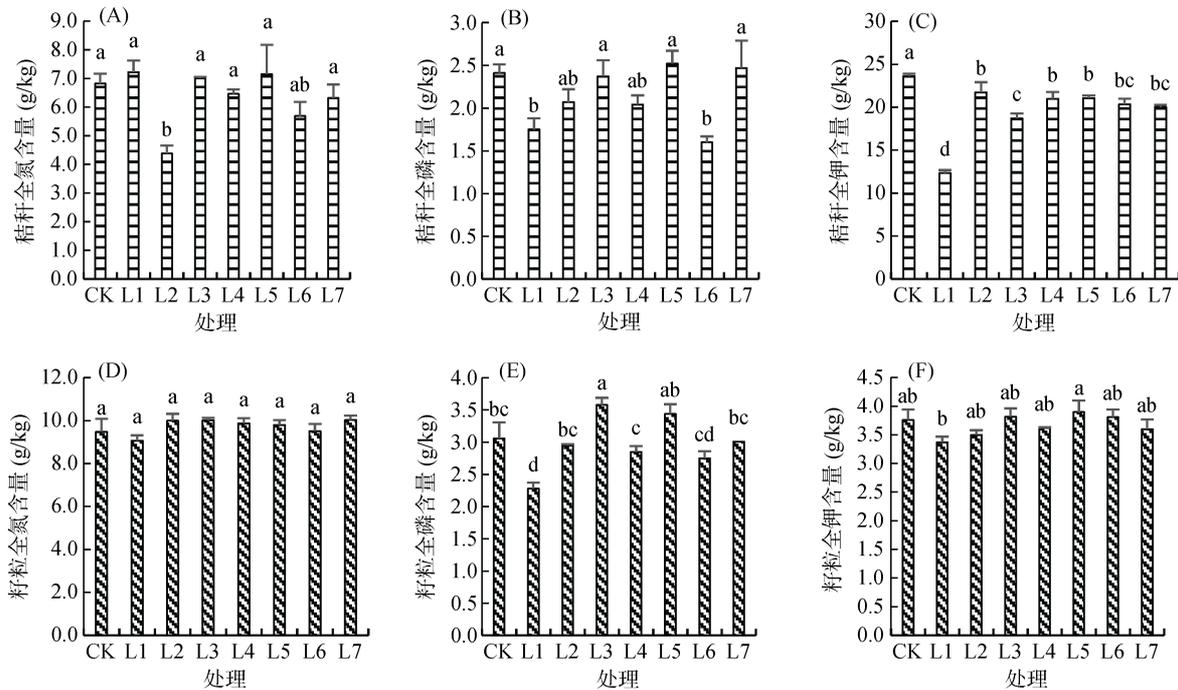


图 3 不同绿肥对水稻养分含量的影响

Fig. 3 Effects of different green manures on nutrient contents of rice

菜处理最低,二者相差 0.92 g/kg;对于水稻秸秆全磷含量,不同绿肥翻压还田均表现出降低的趋势。由图 3D~3F 可知,水稻籽粒全氮含量各处理之间差异未达到显著性水平;金花菜翻压还田处理的水稻籽粒全磷含量最高,箭筈豌豆次之,且与紫云英、光叶苕子、油菜处理形成显著性差异;箭筈豌豆翻压还田处理的水稻籽粒全钾含量比对照处理高 3.72%,且达到最高。整体来看,不同种类的绿肥翻压还田对水稻秸秆和籽粒的养分含量产生不同的影响,其中翻压还田箭筈豌豆总体促进水稻秸秆和籽粒养分含量的提高。

由图 4A~4C 可知,不同绿肥品种翻压还田对后茬水稻秸秆全氮累积量的表现为箭筈豌豆>紫云英>金花菜>光叶苕子>对照>油菜>二月兰>白三叶草,尤其以箭筈豌豆处理的水稻秸秆全氮累积量最高,比对照处理高 15.18%,白三叶草处理最低。除箭筈豌豆处理

的水稻秸秆全磷累积量比对照处理高 14.98% 外,其余处理均没有表现出较好的效果。由图 4D~4F 可看出,金花菜、光叶苕子、箭筈豌豆、二月兰翻压还田后均能够显著促进水稻籽粒全氮累积量的增加,与对照处理相比增幅分别为 7.18%、17.37%、9.98%、13.97%,尤其以光叶苕子、二月兰、箭筈豌豆最优;金花菜、箭筈豌豆翻压还田后能够显著促进水稻籽粒全磷累积量的增加,其中箭筈豌豆处理最优;金花菜、光叶苕子、箭筈豌豆、二月兰翻压还田能够提高水稻籽粒全钾累积量,尤其以箭筈豌豆处理最优,较对照处理增幅为 15.02%。整体上,绿肥翻压还田后,能够有效促进水稻籽粒养分累积,水稻秸秆养分累积量虽有一定的提升,但效果不显著。无论是秸秆养分累积量还是籽粒养分累积量,均以箭筈豌豆处理的综合效果最好,说明箭筈豌豆翻压还田后能够有效促进水稻养分累积。

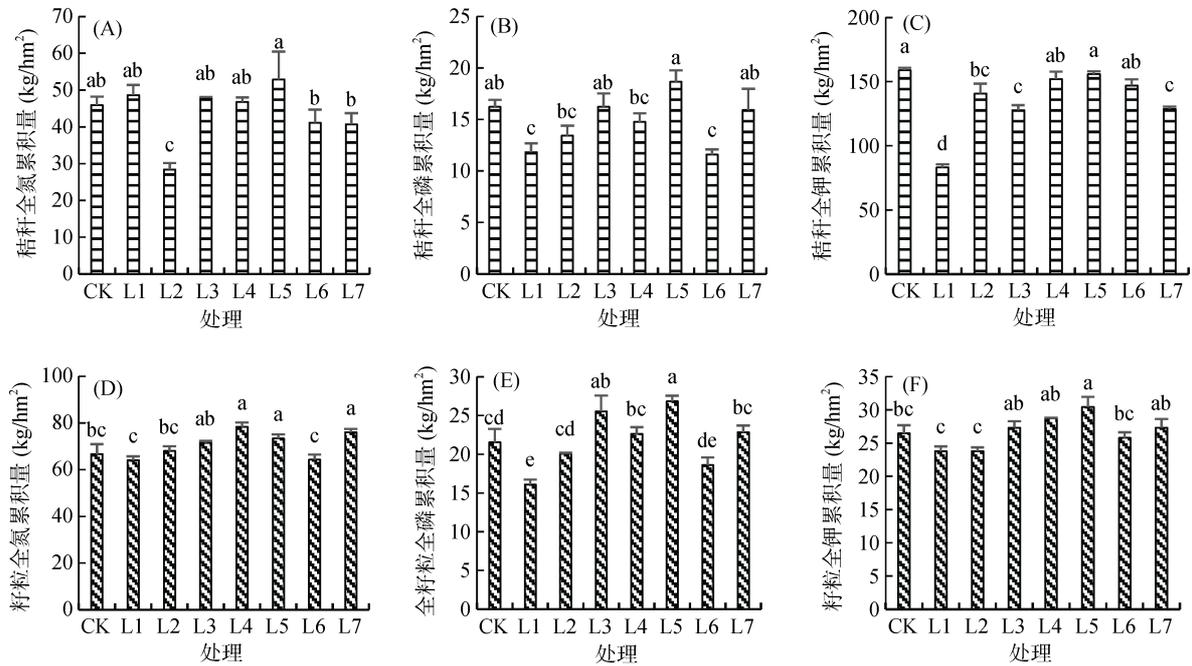


图 4 不同绿肥对水稻养分积累量的影响
Fig. 4 Effects of different green manures on nutrient accumulation of rice

图 5 为不同绿肥翻压还田对后茬水稻地上部养分总积累量的影响。从图 5 可看出，光叶苕子、箭筈豌豆处理的水稻地上部全氮总积累量显著高于对照处理，增幅分别为 11.09%、14.75%；全磷总积累量的表现为箭筈豌豆>金花菜>二月兰>对照>光叶苕子>白三叶草>油菜>紫云英，箭筈豌豆处理与其余处理形成显著性差异，达 45.47 kg/hm²；对于全钾总积累量，箭筈豌豆、对照、光叶苕子 3 个处理较高，分别为 186.32、185.48、180.81 kg/hm²，但 3 个处理之间差异未达显著性水平。整体来看，绿肥翻压还田对水稻全氮总积累量、全磷总积累量影响较大，对全钾总积累量并没有表现出较好的效果。箭筈豌豆处理的综合表现良好，其全氮、全磷总积累量均为最高，说明箭筈豌豆翻压还田能够促进水稻地上部养分的累积。

2.6 不同绿肥翻压还田对稻季土壤养分含量的影响

不同绿肥翻压还田后对稻季土壤养分含量具有不同的影响。由表 5 可知，水稻季各处理土壤的 pH 有了一定的增高，以箭筈豌豆处理最高，并与其他处理形成显著性差异。所有处理的容重范围在 1.00 ~ 1.09 g/cm³，各处理之间无显著性差异。稻季土壤有机质含量范围在 22.49 ~ 27.26 g/kg，以光叶苕子处理最高，并与金花菜、箭筈豌豆、二月兰处理形成显著性差异。光叶苕子翻压还田的土壤全氮、全磷、铵态氮含量最高，其中全氮含量与其他处理形成显著性差异。土壤有效磷含量以紫云英处理为最高，二月兰处理最低。土壤速效钾含量以光叶苕子处理为最高，达 238.84 mg/kg。

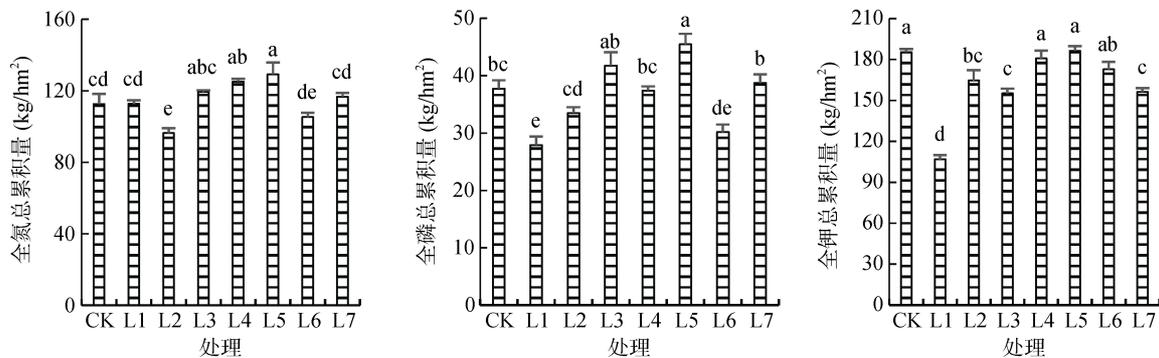


图 5 不同绿肥对水稻地上部养分总积累量的影响
Fig. 5 Effects of different green manures on total nutrient accumulation in above ground of rice

表 5 不同绿肥对稻季土壤养分含量的影响
Table 5 Effects of different green manures on soil nutrient contents in rice season

处理	pH	容重 (g/cm ³)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)
CK	8.43 ± 0.01 b	1.02 ± 0.02 a	26.84 ± 0.23 a	1.58 ± 0.08 ab	0.88 ± 0.07 a
L1	8.16 ± 0.02 f	1.06 ± 0.05 a	25.61 ± 0.19 a	1.50 ± 0.05 b	0.88 ± 0.03 a
L2	8.35 ± 0.01 d	1.02 ± 0.02 a	26.34 ± 0.31 a	1.47 ± 0.05 b	0.85 ± 0.03 a
L3	8.37 ± 0.01 cd	1.01 ± 0.04 a	23.16 ± 1.20 b	1.47 ± 0.07 b	0.86 ± 0.02 a
L4	8.40 ± 0.03 bc	1.01 ± 0.03 a	27.26 ± 0.27 a	1.72 ± 0.05 a	0.93 ± 0.03 a
L5	8.49 ± 0.00 a	1.08 ± 0.03 a	23.47 ± 0.67 b	1.54 ± 0.05 b	0.88 ± 0.01 a
L6	8.29 ± 0.01 e	1.00 ± 0.01 a	26.94 ± 0.09 a	1.53 ± 0.02 b	0.80 ± 0.07 a
L7	8.38 ± 0.00 cd	1.09 ± 0.03 a	22.49 ± 0.26 b	1.54 ± 0.04 b	0.86 ± 0.03 a

处理	铵态氮 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
CK	8.51 ± 0.61 c	26.85 ± 1.27 a	23.39 ± 2.27 ab	229.91 ± 16.74 ab
L1	11.39 ± 0.42 abc	26.00 ± 0.68 a	25.88 ± 1.93 a	215.33 ± 7.47 ab
L2	11.40 ± 0.06 abc	27.90 ± 2.68 a	17.99 ± 2.22 bc	214.86 ± 18.21 ab
L3	12.95 ± 2.05 ab	32.26 ± 1.52 a	18.49 ± 0.48 bc	194.33 ± 15.31 b
L4	14.51 ± 1.97 a	27.57 ± 1.53 a	20.32 ± 1.82 abc	238.84 ± 5.33 a
L5	12.21 ± 1.31 abc	29.99 ± 1.79 a	17.10 ± 0.96 bc	201.65 ± 2.86 ab
L6	10.49 ± 0.51 bc	26.34 ± 2.72 a	17.96 ± 2.35 bc	200.48 ± 9.02 ab
L7	10.94 ± 0.55 abc	30.51 ± 2.66 a	15.84 ± 2.99 c	206.00 ± 7.44 ab

3 讨论

不同的绿肥品种存在着不同的生长差异。本研究表明,豆科的光叶苕子、箭筈豌豆,十字花科的油菜、二月兰的株高较大,这决定了这几种绿肥的生物量也较大,其中以光叶苕子、箭筈豌豆的生物量最高,分别为 46.07、38.74 t/hm²,均高于绿肥的鲜草产量标准^[16-17];而其他绿肥的株高、生物量均没有表现出良好的优势,这可能是因为这几种绿肥受当年温度影响比较严重,春季返青后没有得到充足的水热条件所导致。因此,在选择绿肥品种时,应根据当地的气候、水热条件来确定^[18]。本研究中,豆科绿肥作物的全氮、全磷、全钾含量高于十字花科绿肥,其中以光叶苕子、箭筈豌豆的养分含量及养分累积量最高。这可能是由于这两种绿肥品种的根部具有根瘤,在根瘤菌的共生固氮作用下氮的累积比较高所导致。王琳等^[19]研究表明,不同种类绿肥的生物量及氮、磷、钾含量均有所差异,其中光叶紫花苕子的生物量大于箭筈豌豆,本研究结果与之一致。

种植绿肥具有降低土壤容重、增加土壤养分含量的潜力,可促进原有的有机质的矿化与更新^[20]。Coombs 等^[21]研究表明,覆盖作物能够提高土壤有机碳含量,同时增加 7% 的有机碳库。绿肥翻压还田

对土壤肥力的影响是一个复杂的过程,是绿肥-土壤-微生物-气候共同作用的结果。本研究中,绿肥翻压还田后能够增加部分处理的土壤 pH、有机质、全氮、铵态氮、有效磷、速效钾含量,其中以光叶苕子翻压还田处理的综合效果最高,这与高菊生等^[22]、吴科生等^[23]的试验结果一致。但要探究绿肥翻压还田对土壤肥力的长期影响,需要进一步的试验来验证。

以往研究表明,种植绿肥可能促进后茬经济作物的产量,也可能对后茬作物的增产作用并不明显^[24-25]。本研究中,不同绿肥作物翻压还田虽然对水稻产量有一定的增加作用,但均未达显著水平,可见 1 年种植绿肥并不能对后茬作物产生显著的影响,需要进一步的长期试验来验证。但种植绿肥能够增加水稻秸秆、籽粒的养分含量及累积量,水稻的品质也有不同程度的改善,这可能是由于绿肥翻压还田腐解后为土壤提供了一定的氮源、磷源、钾源,促进了作物的生长,从而提高了作物的养分吸收量,这与赵彩衣等^[26]及赵娜^[27]的研究结果一致。

4 结论

1)不同的绿肥作物存在着不同的生长差异。其中,箭筈豌豆、光叶苕子的生物量均显著高于其他绿肥品种,油菜、二月兰的生物量表现中等水平,紫云

英、白三叶草、金花菜的生物量较低。除白三叶草全磷含量较高外,其余绿肥的养分含量及累积量均不如箭筈豌豆、光叶苕子。

2)绿肥翻压还田后对水稻产量、品质没有显著影响,但水稻秸秆和籽粒的氮、磷、钾含量及其累积量有了显著增加。其中以紫云英在提升水稻秸秆全氮、金花菜在提升水稻籽粒全磷含量方面较为明显,同时箭筈豌豆翻压还田后水稻全氮、全磷累积量均为最高,能促进水稻地上部养分总累积量的提升。

3)种植绿肥具有促进土壤养分累积、提高土壤肥力的潜力。其中,箭筈豌豆翻压还田后能够显著增加土壤的pH,光叶苕子翻压还田能够增加土壤的有机质、全氮、全磷、铵态氮、速效钾含量,在改良土壤肥力方面具有积极作用。

4)综合本研究结果,推荐箭筈豌豆、光叶苕子作为研究区的绿肥品种。

参考文献:

- [1] 李圆宾,李鹏,王舒华,等. 稻麦轮作体系下有机肥施用对作物产量和土壤性质影响的整合分析[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3231-3239.
- [2] 赵彩衣. 不同水肥处理对云南/山东绿肥和主作物生长及土壤肥力的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [3] 李圆宾,王舒华,徐璐瑶,等. 中美肥料施用及产出效益对比分析[J]. 中国土壤与肥料, 2021(5): 252-259.
- [4] Li P, Li Y B, Xu L Y, et al. Crop yield-soil quality balance in double cropping in China's upland by organic amendments: A meta-analysis[J]. Geoderma, 2021, 403: 115197.
- [5] 薛文凤. 不同绿肥植物功能性状差异及其对土壤生态功能的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [6] Aghili F, Gamper H A, Eikenberg J, et al. Green manure addition to soil increases grain zinc concentration in bread wheat[J]. PLoS One, 2014, 9(7): e101487.
- [7] Kaspar, Bakker. Biomass production of 12 winter cereal cover crop cultivars and their effect on subsequent no-till corn yield[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2015, 70(6): 353-364.
- [8] Yang Z P, Zheng S X, Nie J, et al. Effects of long-term winter planted green manure on distribution and storage of organic carbon and nitrogen in water-stable aggregates of reddish paddy soil under a double-rice cropping system[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(8): 1772-1781.
- [9] Jeon W T, Choi B, El-Azeem S A, et al. Effect of different seeding methods on green manure biomass, soil properties and rice yield in rice-based cropping systems[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10: 2024-2031.
- [10] 高嵩涓,曹卫东,白金顺,等. 长期冬种绿肥改变红壤稻田土壤微生物生物量特性[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 902-910.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 陈子英,孙小凤,韩梅,等. 国内外绿肥研究进展[J]. 青海农林科技, 2020(3): 54-58.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 李其胜,赵贺,汪志鹏,等. 有机肥替代部分化肥对稻麦轮作土壤养分利用和酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 912-919.
- [16] 陈子英,常单娜,韩梅,等. 47份箭筈豌豆品种(系)在青海作秋绿肥的能力评价[J]. 草业学报, 2022, 31(2): 39-51.
- [17] 陈子英,常单娜,韩梅,等. 50份毛叶苕子品种(系)在青海作秋绿肥的能力评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(4): 701-714.
- [18] 陈震,还静,管永祥,等. 长江下游农区不同豆科绿肥作物生育进程·形态及产量性状比较[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(30): 149-151, 154.
- [19] 王琳,管永祥,陈震,等. 不同种类绿肥养分积累比较及其对水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(5): 1139-1143.
- [20] 王媛媛. 基于光叶紫花苕子和二月兰的水肥管理对土壤肥力和活性有机碳组分和结构的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2020.
- [21] Coombs C, Lauzon J D, Deen B, et al. Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems[J]. Field Crops Research, 2017, 201: 75-85.
- [22] 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.
- [23] 吴科生,车宗贤,包兴国,等. 长期翻压绿肥对提高灌漠土土壤肥力和作物产量的贡献[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(6): 1134-1144.
- [24] Schipanski M E, Barbercheck M, Douglas M R, et al. A framework for evaluating ecosystem services provided by cover crops in agroecosystems[J]. Agricultural Systems, 2014, 125: 12-22.
- [25] 李富翠,赵护兵,王朝辉,等. 渭北旱地夏闲期秸秆还田和种植绿肥对土壤水分、养分和冬小麦产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1861-1871.
- [26] 赵彩衣,王媛媛,董青君,等. 不同水肥处理对苕子和后茬玉米生长及土壤肥力的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 161-166, 269.
- [27] 赵娜. 夏闲期种植豆科绿肥对旱地土壤性质和冬小麦生长的影响及其机制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.