

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.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.05.010

不同种类绿肥养分积累比较及其对水稻产量的影响

王 琳¹, 管永祥², 陈 震², 周 影¹, 魏启舜¹, 黄 莹¹, 郭成宝¹

(1.江苏丘陵地区南京农业科学研究所,江苏 南京 210046; 2.江苏省农业技术推广总站,江苏 南京 210036)

摘要: 为了确定江苏丘陵地区适宜与粳稻套播轮作的绿肥种类,通过大田试验研究了4种不同绿肥(箭筈豌豆、光叶紫花苕、肥田油菜、黑麦草)的生物量与养分积累量以及对后茬水稻产量影响。结果表明,常规播种量条件下,与水稻套播轮作,不同绿肥生物量差异较大,生物量由高到低为:黑麦草>光叶紫花苕>肥田油菜>箭筈豌豆,不同种类绿肥有机碳含量没有显著差异,氮、磷、钾含量有所差异,光叶紫花苕的氮含量最高,黑麦草氮含量最低,但有机碳和钾养分积累量最高。相较冬季休耕,冬种绿肥有助于提高后茬水稻产量,其中种植黑麦草和光叶紫花苕能显著提高后茬水稻产量,显著高于其他处理,种植箭筈豌豆和肥田油菜,水稻产量提高不显著。后茬水稻产量与绿肥生物量显著相关。说明在江苏丘陵地区黑麦草和光叶紫花苕都可以被推荐与粳稻进行轮作。

关键词: 绿肥; 黑麦草; 光叶紫花苕; 生物量; 水稻产量

中图分类号: S142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)05-1139-05

Comparison of nutrient accumulation of different green manures and the effects on rice yield

WANG Lin¹, GUAN Yong-xiang², CHEN Zhen², ZHOU Ying¹, WEI Qi-shun¹, HUANG Ying¹, GUO Cheng-bao¹

(1.Nanjing Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Hilly Area, Nanjing 210046, China; 2.Agricultural Technology Extension Station of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China)

Abstract: In order to determine the suitable green manure for rotation of *japonica* rice in hilly areas of Jiangsu province, the biomass and nutrient accumulation of four green manures (*Vicia sativa*, light leaf vetch, oilseed rape, ryegrass) and their effects on the yield of later rice were studied by field experiments. The results showed that the biomass of different green manures was significantly different under the condition of conventional seeding rate. The biomass followed the order of ryegrass > light leaf vetch > oilseed rape > *Vicia sativa*. The organic carbon content of different green manures had no significant difference, but the contents of nitrogen, phosphorus and potassium were different. The light leaf vetch had the highest nitrogen content. The nitrogen content in was ryegrass the lowest, however, the contents of organic carbon and potassium were the highest. Compared with winter fallow, planting green manure crop in winter was helpful to increase the yield of rice in next rotation. The yield of later rice could be improved significantly by planting ryegrass and light leaf vetch. The yield of later rice was significantly correlated with the biomass of green manure. In summary, ryegrass and light leaf vetch can be

recommended for rotation with *japonica* rice in hilly areas of Jiangsu province.

Key words: green manure; ryegrass; light leaf vetch; biomass; rice yield

收稿日期:2020-03-11

基金项目:江苏现代农业(水稻)产业技术体系项目[JATS(2019)336];2020年南京市生态循环农业项目

作者简介:王 琳(1980-),女,江苏泰州人,博士,副研究员,主要从事农业废弃物资源化利用、土壤肥料等方面研究。(E-mail) wanglin0421nj@163.com

通讯作者:郭成宝, (E-mail) gchengbao@163.com

水稻是江苏省最重要的粮食作物,长期大量的化肥投入,导致面源污染加重,耕地质量持续退化,生产

和生态不协调发展。绿肥作为一种重要的有机肥源,具有提高土壤肥力、改善土壤环境质量、促进作物生长等功能^[1-4]。稻肥轮作模式,历来是南方地区的主要种植模式之一,兼有养地、绿色生产、环境友好的特点,上世纪 80 年代前曾经在江苏省大面积推广应用。近年来,随着耕地、河湖等资源束缚趋紧,自然灾害频发,农业生态功能逐步被重视,稻肥轮作模式在江苏省沿江丘陵、太湖流域等地区再次引起重视和应用。发展绿肥是建立良好农业生态系统的一项重要环节^[5]。但是不同绿肥在不同地区的适应性、养分含量及对土壤改良作用等方面差异较大^[6-8]。目前,江苏地区在绿肥作物与配套栽培技术应用中,仍存在绿肥种类与种植条件和耕作制度不适应的情况,为了探索适宜江苏地区种植的绿肥种类,本研究通过冬闲期间种植光叶紫花苕、箭筈豌豆、肥田油菜、黑麦草 4 种绿肥作物与水稻轮作,以冬闲休耕为对照,研究不同的绿肥的生物量、养分积累及对土壤养分及后茬水稻生产量的影响,旨在筛选出适宜江苏丘陵地区水稻轮作的绿肥种类。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试绿肥种类共 4 个,包括豆科野豌豆属 2 个(光叶紫花苕、箭筈豌豆),十字花科 1 个(本地肥田油菜)、禾本科 1 个(黑麦草)。

1.2 试验设计

试验于 2018-2019 年在江苏丘陵地区句容市茅山风景区墓东村潘庄实施,土壤 pH 5.71,有机质为 19.89 g/kg,全氮为 1.47 g/kg,速效磷 8.63 mg/kg,速效钾 144.73 mg/kg,将田块分成 5 个大区,每个大区面积为 0.133 hm²,大区间用田埂隔开。

分别设置箭筈豌豆(T1)、光叶紫花苕(T2)、肥田油菜(T3)、黑麦草(T4)与水稻轮作,以冬季休耕为对照(CK),共 5 个处理。绿肥在 2018 年 10 月 23 日与晚稻套播,共生期 20 d,采用撒播方式,光叶紫花苕、箭筈豌豆、油菜、黑麦草播种量分别为:45 kg/hm²、45 kg/hm²、15 kg/hm²、60 kg/hm²。春季追施一次复合肥,N、P₂O₅、K₂O 用量均为 45 kg/hm²。绿肥生长期间根据气候情况和土壤水分状况进行排灌管理,2019 年 4 月 25 日花期取样调查各种绿肥的生长状况和养分含量。2019 年 5 月 1 日绿肥翻压还田。2019 年 5 月 28 日种植水稻南粳 5055,采

用直播方式,不同处理田间管理水平一致。2019 年 10 月 29 日调查水稻产量。

1.3 植株生物量测定

于 2019 年 4 月 25 日花期取样调查绿肥生长状况。各处理随机取 3 次 1 m²样方的植株,去除根部土壤称质量并推算出每亩的鲜质量。干质量测量:植株洗净,然后用吸水纸吸干,放置于 65 ℃烘箱中烘 48 h 后称质量即为干质量。

1.4 植株养分含量测定

植株全碳含量采用重铬酸钾容量法-外加热法测定;样品经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,微量凯氏定氮法测定氮含量;钼锑抗比色法测定磷含量,火焰光度计法测定钾含量。养分积累量=干物质量×养分含量。检测方法参照 NY/T 2017-2011。

1.5 水稻产量测定

每个处理随机取 3 次 1 m²的水稻,考种测产。

1.6 数据处理与统计分析

运用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS17.0 软件进行数据处理、统计及相关性分析。Duncan's 法多重比较,显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同绿肥生物量

如表 1 所示,不同绿肥生物量差异较大,生物量由高到低为黑麦草>光叶紫花苕>肥田油菜>箭筈豌豆,油菜和箭筈豌豆的生物量差异不显著,其他绿肥种类之间差异达显著水平($P < 0.05$)。黑麦草的生物量鲜质量和干质量分别为 88 450 kg/hm² 和 11 540 kg/hm²,显著高于其他种类绿肥。不同种类绿肥适应性差异较大,黑麦草和光叶紫花苕生长旺盛,而套播情况下,肥田油菜和箭筈豌豆的长势较差,生物量偏低。

2.2 不同绿肥养分含量和积累量

由表 2 可知,不同种类绿肥之间的养分含量除有机碳之外也有差异,豆科植物因为根瘤菌的固氮作用,植株中的氮含量显著高于十字花科的肥田油菜和禾本科作物黑麦草,豆科作物光叶紫花苕和箭筈豌豆之间氮含量没有显著差异。黑麦草氮含量最低。光叶紫花苕、黑麦草和箭筈豌豆之间全磷含量差异不显著,并且都显著大于肥田油菜($P < 0.05$)。光叶紫花苕和黑麦草之间钾含量差异不显著,均显著大于箭筈豌豆和肥田油菜($P < 0.05$)。

表 1 水稻套播不同种类绿肥生物量

Table 1 The biomass of different green manures interplanted with rice

绿肥种类	生物量 (kg/hm ²)	
	鲜质量	干质量
箭筈豌豆	23 883±2 273c	3 995±219c
光叶紫花苕	61 773±6 158b	8 931±754b
肥田油菜	33 270±2 973c	5 711±516c
黑麦草	88 450±1 615a	11 540±520a

同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 2 不同绿肥的养分含量

Table 2 Nutrient content of different green manures

绿肥种类	C (g/kg)	N (g/kg)	P ₂ O ₅ (g/kg)	K ₂ O (g/kg)
箭筈豌豆	482.8±24.9a	29.18±1.61a	3.82±0.28a	15.68±0.80b
光叶紫花苕	498.0±25.7a	30.39±0.28a	4.70±0.25a	23.08±0.79a
肥田油菜	509.9±21.6a	21.51±0.71b	2.69±0.41b	10.76±0.59c
黑麦草	526.0±10.5a	12.64±0.63c	3.86±0.40a	23.27±0.79a

同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

由表 3 可知,不同种类绿肥的养分积累量与生物量和养分含量相关,有机碳积累量由高到低分别为黑麦草>光叶紫花苕>肥田油菜>箭筈豌豆,且差异显著 ($P<0.05$)。尽管黑麦草生物量最高,但由于植株的氮含量最低,氮积累量显著低于光叶紫花苕。光叶紫花苕氮积累量最高,箭筈豌豆和肥田油菜的氮积累量差异不显著,但均显著小于黑麦草。光叶紫花苕和黑麦草的磷积累差异不显著,都显著大于箭筈豌豆和肥田油菜 ($P<0.05$)。钾积累量由高到低分别为:黑麦草>光叶紫花苕>箭筈豌豆>肥田油菜,黑麦草和光叶紫花苕钾积累量显著大于箭筈豌豆和肥田油菜 ($P<0.05$),豌豆和油菜差异不显著。

表 3 不同绿肥的养分积累量

Table 3 Nutrient accumulation of different green manures

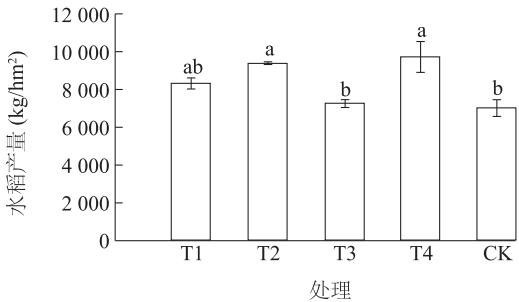
绿肥种类	C (kg/hm ²)	N (kg/hm ²)	P ₂ O ₅ (kg/hm ²)	K ₂ O (kg/hm ²)
箭筈豌豆	1 928.9±99.5d	116.6±6.4c	15.3±1.1b	62.7±3.2c
光叶紫花苕	4 955.1±255.5b	301.8±2.8a	46.7±2.5a	229.2±7.8b
肥田油菜	2 912.2±123.6c	122.9±4.1c	15.4±1.4b	61.5±3.4c
黑麦草	6 070.0±1209.8a	145.9±7.3b	44.5±4.6a	268.6±9.1a

同一列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 不同绿肥处理对水稻产量的影响

不同绿肥处理的后茬水稻产量都高于冬季休耕

对照,种植黑麦草后水稻产量最高,与光叶紫花苕处理差异不显著。黑麦草和光叶紫花苕处理的水稻产量均显著高于其他 2 个处理及对照,肥田油菜和箭筈豌豆处理的水稻产量与冬季休耕对照差异不显著 (图 1)。



T1:箭筈豌豆与水稻轮作;T2:光叶紫花苕与水稻轮作;T3:肥田油菜与水稻轮作;T4:黑麦草与水稻轮作;CK:冬季休耕。不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

图 1 与不同绿肥轮作后水稻产量

Fig.1 Rice yield after rotation with different green manures

经过 SPSS17.0 的 Pearson 相关性分析 (表 4) 可知,绿肥的养分积累量除了氮之外,有机碳、磷和钾的养分积累均与绿肥生物量极显著相关 ($P<0.01$),水稻产量与绿肥生物量也显著相关,相关系数为 0.611。水稻产量与绿肥有机碳和钾积累量显著相关 ($P<0.05$)。

表 4 水稻产量与绿肥生物量及养分积累量的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of rice yield with biomass and nutrient accumulation of green manure

项目	绿肥有机 碳积累量	绿肥氮 积累量	绿肥磷 积累量	绿肥钾 积累量	绿肥 生物量
绿肥氮积累量	0.469				
绿肥磷积累量	0.887 **	0.714 **			
绿肥钾积累量	0.966 **	0.569	0.956 **		
绿肥生物量	0.931 **	0.398	0.843 **	0.911 **	
水稻产量	0.582 *	0.325	0.496	0.634 *	0.611 *

* 表示显著相关 ($P<0.05$); ** 表示极显著相关 ($P<0.01$)。

3 讨论

江苏地区是一年两熟制农区,绿肥作物生育进程与绿肥种类、抗逆性、群体大小有一定关系。冬前相对较小的生长群体无法保障绿肥作物的安全越冬。本研究中采用与晚稻套播的方式种植绿肥,黑麦草生物量显著高于其他种类的绿肥,其原因可能与其早发优势明显,冬前相对群体大,开春后生长迅

速有一定关系。肥田油菜采用套播方式,冬前与禾本科等杂草竞争中处于劣势,因此后期生物量也较低,进而影响了养分积累量。张贤等^[9]在红壤生地上种植不同的绿肥,发现黑麦草适应性较好,地上部地下部的生长均显著优于其他种类绿肥。王飞^[10]比较了3种冬闲绿肥(黑麦草、光叶紫花苕和紫云英)的生物量,黑麦草生物量也是显著高于其他2种绿肥。说明黑麦草适应性抗逆性较好,耐迟播,与水稻套播过程中仍能保持较好的生长。陈震等^[11]比较了长江下游农区8种不同豆科绿肥的生物量,发现光叶紫花苕的生物量最高,本研究中光叶紫花苕的生物量也是仅次于黑麦草。李红燕等^[12]发现绿肥麦后播种生物量高于麦田套种,种植方式会影响绿肥的生物量,一方面套种撒播有些绿肥种子很难与土壤有紧密接触,出苗少,另外套种情况下光照和养分存在竞争。但是在江苏地区晚粳稻种植面积较大,收获迟,绿肥大都只能采用套种方式,绿肥在该种植方式下,具有较强的适应性,保持了较高生物量。

不同种类绿肥的养分含量差异较大,黑麦草有机碳含量最高,但是它的氮含量与其他种类绿肥比较低,碳氮比较高。黑麦草具有生物量大的优势,因此养分积累量仍然优势明显。辛国荣等^[13]报道水田冬种黑麦草使土壤有机质增加了66%,全氮、全磷、全钾分别增加了26%、32%、14%。相较于其他冬种绿肥,黑麦草更能有效改善土壤的物理和化学性质,提高土壤肥力^[14]。而光叶紫花苕属于豆科作物,根部有根瘤,在根瘤菌的共生固氮作用下对氮的积累较高,且光叶紫花苕在生物量上仅次于黑麦草,在氮、磷养分积累上优势比较明显。吴永成等^[15]报道了豆科绿肥光叶紫花苕全量翻压还田,种植后茬作物时可以不追施氮肥。赵彩衣等^[16]在云南旱地红壤地研究光叶紫花苕翻压的养分还田量为125.32~274.49 kg/hm²,约占玉米季施用化肥总养分的26.95%~59.03%。

绿肥翻压还田后,通过腐解作用转变为有机质并释放出养分,培肥地力,改变土壤理化结构,提高土壤酶活性,从而影响后茬作物的生长,提高产量。本研究中种植绿肥光叶紫花苕和黑麦草的后茬水稻产量比冬季休耕对照的水稻产量显著提高,水稻产量与绿肥生物量显著相关。

不同种类绿肥对不同区域、不同类型的土壤适

应性不同,相同种类绿肥在不同地区种植,生物量差异较大^[17]。比如箭筈豌豆是湘西州绿肥种植比较适宜的对象,与玉米轮作能提高玉米产量和改善土壤性状^[18]。张明发等^[19]的试验结果表明,光叶紫花苕、箭筈豌豆和黑麦草对旱土土壤酶活性和肥力影响较紫云英有优势。不同种类绿肥与土壤综合肥力因子之间的关系具有区域性与特殊性^[20-21]。在江西红壤稻区,紫云英对双季水稻产量和病虫害控制的综合效果最好^[22]。湖南地区,稻田冬种黑麦草有利于促进早稻产量的稳定性和可持续性提高^[23]。

4 结论

不同土壤条件、气候环境、种植方式下,不同绿肥生长差异较大,结合环境条件,筛选合适种类的绿肥具有重要意义。本研究条件下,江苏丘陵地区绿肥与晚稻套播轮作,黑麦草生长旺盛,生物量和养分积累量较高,其次为光叶紫花苕。与冬季休耕对照相比,冬种绿肥能够提高下茬水稻产量,其中种植黑麦草和光叶紫花苕使后茬水稻产量显著提高。水稻产量与绿肥的生物量显著相关。黑麦草和光叶紫花苕都适合在江苏丘陵地区与粳稻进行套播轮作。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 唐海明,唐文光,肖小平,等.冬季覆盖作物对南方稻田水稻生理生化及生长特性的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(6):1176-1182.
- [3] 李子双,廉晓娟,王薇,等.我国绿肥的研究进展[J].草业科学,2013,30(7):1135-1140.
- [4] XIAO H D, NAN S, MILIANG Z, et al. Effects of green manure on physical and chemical properties of tobacco planting soils[J]. Tobacco Science & Technology, 2017, 50(3):23-30.
- [5] 焦彬.绿肥在我国农业生产中作用的简述[J].土壤肥料,1980(5):16-18.
- [6] 焦彬,顾荣申,张学上,等.中国绿肥[M].北京:农业出版社,1986.
- [7] 姜新有,周江明.不同绿肥养分积累特点及地力培肥效果研究[J].浙江农业科学,2012(1):45-47.
- [8] 席莹莹.绿肥种类和种植方式对水稻产量、养分吸收及土壤肥力的影响[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [9] 张贤,曹凯,徐静,等.8个绿肥在红壤生地上种植的适应性[J].浙江农业科学,2019,60(11):2117-2118.
- [10] 王飞.翻压不同冬闲绿肥对植烟土壤特性及烤烟产质量的影响

- 响[D].福州:福建农林大学,2018.
- [11] 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.
- [12] 李红燕,胡铁成,曹群虎,等.旱地不同绿肥品种和种植方式提高土壤肥力的效果[J].植物营养与肥料学报,2016,22(5):1310-1318.
- [13] 辛国荣,岳朝阳,李雪梅,等.“黑麦草-水稻”草田轮作系统的根际效应Ⅱ.冬种黑麦草对土壤物理化学性状的影响[J].中山大学学报(自然科学版),1998,37(5):78-82.
- [14] 杨滨娟,黄国勤,王超,等.稻田冬种绿肥对水稻产量和土壤肥力的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1209-1216.
- [15] 吴永成,李梦颖,杨云飞,等.光叶紫花苜蓿生物固氮能力及其还田氮素对玉米的当季有效性[J].华北农学报,2019,34(S1):183-189.
- [16] 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.
- [17] 康俊梅,杨青川,郭文山,等.北京地区10个紫花苜蓿引进品种的生产性能研究[J].中国草地学报,2010,32(6):5-10.
- [18] 田明慧,张明发,田峰,等.不同绿肥翻压对玉米产量及土壤肥力的影响[J].中国农学通报,2016,32(9):41-46.
- [19] 张明发,田峰,王兴祥,等.翻压不同绿肥品种对植烟土壤肥力及酶活性的影响[J].土壤,2017,49(5):903-908.
- [20] 于淑慧,朱国梁,董浩,等.桃园种植不同绿肥对土壤肥力的影响[J].山东农业科学,2019,51(2):72-75.
- [21] 常春丽,王盼盼,李金秋,等.高寒地区不同绿肥的腐解特征及其对土壤养分的影响[J].江苏农业科学,2019,47(5):260-263.
- [22] 谭景艾,李保同,潘晓华,等.冬种绿肥对早稻病虫害发生及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(4):179-184.
- [23] 张帆.冬季作物-双季稻轮作种植模式氮、磷、钾养分循环与产量可持续性特征[J].中国生态农业学报,2019,27(5):705-716.

(责任编辑:陈海霞)