

不同水稻土对双季稻光合特性及产量的影响

程凯凯^{1,2}, 唐海明², 汤文光², 李超², 汪柯², 肖小平^{1,2*}

(1.中南大学研究生院隆平分院, 湖南 长沙 410125; 2.湖南省土壤肥料研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要:以湘早籼45号为早稻材料、丰源优299为晚稻材料,在马铃薯-双季稻种植模式下,研究麻沙泥、灰泥、紫泥、红黄泥、黄泥、河沙泥6种不同水稻土对双季稻光合特性及产量的影响。结果表明:成熟期,河沙泥处理早稻叶片的SPAD值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率较高,河沙泥处理早稻的产量较高,3年平均产量为6806.49 kg/hm²,显著高于紫泥田(6210.70 kg/hm²),但与其他处理的差异不明显;各处理3年晚稻的平均产量差异不明显;各处理双季稻的总产量为13432.91~14838.89 kg/hm²,最高的是河沙泥处理,最低的是紫泥田处理,2处理之间的差异达显著水平。

关键词:双季稻;水稻土;光合特性;产量

中图分类号: S511.4⁺2

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2018)01-0007-05

Effect of different paddy soils on photosynthetic characteristics and yield of double cropping rice

CHENG Kaikai^{1,2}, TANG Haiming², TANG Wenguang², LI Chao², WANG Ke², XIAO Xiaoping^{1,2*}

(1.Longping Branch of Graduate School, Central South University, Changsha, Hunan 410125, China; 2.Hunan Soil and Fertilizer Institute, Changsha, Hunan 410125, China)

Abstract: Under the mode of potato-double cropping rice, Xiangzaoxian45 and Fengyuangyou299 were used as early rice and late rice respectively, six soil treatments (mashing mud, stucco, purple mud, red yellow mud, yellow mud and river sand mud) were conducted to study the effects of different paddy soils on photosynthetic characteristics and yield of double cropping rice. The results showed that the SPAD value, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of the early rice treated with river sand mud were higher at mature stage. The yield of the treatment was the highest, with a 3-year average yield of 6806.49 kg/hm², which was significantly higher than that of purple soil (6210.70 kg/hm²), but was not significant difference with other treatments. The difference of three years average yield of late rice among the six soils treatments was not significant. The range of total output of double-cropping rice was from 13432.91 to 14838.89 kg/hm², which the yield of river sand mud treatment was the highest, and purple mud field treatment was the lowest, the difference between the two treatments reached significant level.

Keywords: double rice; paddy soils; photosynthetic characteristics; yield

不同母质在成土过程中对土壤理化性质有较大的影响。研究^[1-4]表明,土壤性质对水稻产量影响明显。目前,关于水稻产量及光合规律的研究,多集中在施肥^[5-6]、水分管理^[7-8]、耕作措施^[9-11]等方面。于天一等^[12]研究不同水稻土对双季稻产量的影响,结果表明不同水稻土本身理化性质的差异是

造成双季稻稻谷产量不同的主要原因。熊洪等^[13]采用四川省水稻主产区的10种不同类型土壤和生态条件,研究不同土壤养分与稻谷产量之间的关系,结果表明不同土壤的养分供给差异是稻谷产量差异的重要原因。杨曾平^[14]通过长期冬种绿肥对红壤性水稻土质量和生产力可持续性影响的研究发

收稿日期: 2017-03-25

修回日期: 2017-12-21

基金项目: 湖南双季稻三熟区耕地培肥与合理农作制构建集成研究与示范(201503123); 中南大学硕士生自主创新项目(2016zzts587)

作者简介: 程凯凯(1989—),男,山东菏泽市人,硕士研究生,主要从事耕作生态与农作制研究,593958591@qq.com; *通信作者,肖小平,研究员,主要从事耕作生态与农作制研究, hntfsxxping@163.com

现,长期冬种绿肥可明显改善红壤性水稻土土壤物理、化学和生化性质,从而提高了土壤的综合质量。唐海明等^[15]研究表明,冬季覆盖作物能明显提高双季稻的光合特性。本研究中,以湘早籼 45 号为早稻材料,以丰源优 299 为晚稻材料,在马铃薯-双季稻种植模式下,研究不同水稻土对水稻光合特性及产量的影响,现将结果报道如下。

1 试验区概况

试验地在湖南省土壤肥料研究所(28°11'N、113°04'E)网室内。试验地年降水量 1 200~1 700 mm,年平均气温 16~18℃,全年日照 1 295.9 h,无霜期 260~310 d,属于典型的亚热带季风湿润气候。

2 材料与方法

2.1 材料

供试早稻品种为湘早籼 45 号,晚稻品种为丰源优 299。

2.2 方法

试验在长期定位试验的第 9 至 12 年(2013—2015 年)进行。设 6 种水稻土(均为湖南双季稻区典型母质发育的水稻土):处理 1 为花岗岩风化物发育的麻沙泥,采自长沙县青山铺镇;处理 2 为石灰岩风化物发育的灰泥田,采自祁阳县文富市镇官山坪村;处理 3 为紫色页岩风化物发育的紫泥田,采自衡山县贺家乡农科村;处理 4 为第四纪红色黏土发育的红黄泥,采自长沙县干杉镇;处理 5 为板、页岩风化物发育的黄泥田,采自衡山县长口镇石子村;处理 6 为河流冲积物发育的河沙泥,采自汨罗市新市镇新市村。随机区组设计。4 次重复。早稻于每年 4 月初播种;5 月初翻耕、施肥、插秧(株距 30 cm,行距 20 cm);7 月中旬收获。早稻基肥施用尿素 155.6 kg/hm²,过磷酸钙 370 kg/hm²,氯化钾 111.3 kg/hm²,插秧 7 d 后追施尿素 108.9 kg/hm²。收获早稻后,将早稻秸秆还田。晚稻于每年 6 月中旬播种;7 月中旬移栽,株行距为 30 cm×20 cm,10 月中旬收获。晚稻基肥施用尿素 199.1 kg/hm²,过磷酸钙 370.6 kg/hm²,氯化钾 111.3 kg/hm²;插秧 7 d 后追施尿素 132.8 kg/hm²。水分管理采用前期浅水灌溉、中期烤田和后期干湿交替,其他管理同常规大田试验。收获后种植马铃薯,晚稻稻草覆盖马铃薯。

2.3 测定项目与方法

2013—2015 年,水稻成熟期,选择有代表性 5 穴水稻用于调查穗粒数、结实率、单株产量、千粒质量等;每个小区全部收获后测定实际产量。

2015 年,分别于早、晚稻的分蘖盛期、齐穗期和成熟期,用 SPAD-502 仪测定水稻叶片 SPAD 值。每小区测定 5 株,数据取平均值。

2015 年,分别于早、晚稻的齐穗期和成熟期,每小区选具代表性的 5 片剑叶,于晴天 09:00—11:30 采用 Li-6400 测定净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,测定时光强为 1 000 μmol/(m²·s)。

2.4 数据处理

运用 DPS 和 Excel 等软件分析处理数据。

3 结果与分析

3.1 不同水稻土对早、晚稻叶片 SPAD 值的影响

由表 1 可知,分蘖期,各处理早稻叶片 SPAD 值差异不明显;齐穗期和成熟期,早稻以河沙泥处理的 SPAD 值最高,分别为 47.37、37.78。分蘖期,晚稻各处理叶片 SPAD 值差异不明显,齐穗期,红黄泥处理晚稻叶片的 SPAD 值低于其他处理的,为 40.80;成熟期,叶片 SPAD 值以河沙泥处理的最高,为 36.70,与麻沙泥、灰泥田、紫泥田、黄泥田处理的差异达显著水平。

表1 不同水稻土种植下供试水稻叶片的SPAD值

Table 1 SPAD values of rice leaves tested under different paddy soils

稻别	水稻土	SPAD 值		
		分蘖期	齐穗期	成熟期
早稻	麻沙泥	37.66	44.15c	33.08c
	灰泥	37.60	44.83bc	32.96c
	紫泥	37.54	45.20bc	33.40c
	红黄泥	38.56	45.95ab	36.08b
	黄泥	38.18	47.17a	35.64b
	河沙泥	38.58	47.37a	37.78a
晚稻	麻沙泥	38.64	42.08ab	33.66d
	灰泥	38.90	42.68ab	34.08cd
	紫泥	38.90	43.28a	35.00bc
	红黄泥	39.40	40.80b	36.02ab
	黄泥	38.80	43.60a	35.36b
	河沙泥	39.48	43.30a	36.70a

同列不同字母示同一季别不同处理间差异显著。

3.2 不同水稻土对早、晚稻叶片净光合速率的影响

从表 2 中可以看出,齐穗期,早稻以紫泥田处理的净光合速率最低,为 $19.90 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,灰泥田、黄泥田及河沙泥处理的水稻叶片净光合速率较高,分别比紫泥田的高 14.07%、13.21%、15.93%;成熟期,红黄泥和河沙泥处理叶片的净光合速率分别为 17.07 、 $17.30 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,显著高于麻沙泥处理。齐穗期,黄泥田处理晚稻叶片净光合速率最高,显著高于灰泥田、紫泥田及河沙泥处理;成熟期,河沙泥处理晚稻叶片的净光合速率最高,为 $16.47 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,比灰泥田处理的叶片净光合速率高 10.69%,这说明红黄泥、河沙泥能使早、晚稻成熟期叶片净光合速率保持较高水平。

表2 不同水稻土种植下供试水稻叶片的净光合速率
Table 2 Net photosynthetic rate of rice leaves from different paddy rice under test $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

水稻土	paddy rice under test $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$			
	早稻叶片的净光合速率		晚稻叶片的净光合速率	
	齐穗期	成熟期	齐穗期	成熟期
麻沙泥	21.93ab	14.60b	20.52ab	15.99ab
灰泥	22.70a	16.07ab	18.74cd	14.88c
紫泥	19.90c	15.23ab	18.20d	15.41bc
红黄泥	21.07bc	17.07a	20.59ab	15.59bc
黄泥	22.53a	16.20ab	20.80a	15.67b
河沙泥	23.07a	17.30a	19.67bc	16.47a

同列不同字母示差异显著。

3.3 不同水稻土对早、晚稻叶片气孔导度的影响

从表 3 中可以看出,齐穗期,早稻以河沙泥处理的叶片气孔导度最高,为 $2.02 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,麻沙泥、紫泥田及红黄泥处理水稻叶片气孔导度较低,分别比河沙泥处理低 16.83%、18.81%、16.83%,晚稻叶片气孔导度以灰泥田处理的最低,河沙泥处理的最高,2 个处理差异显著;成熟期,黄泥田和

表3 不同水稻土种植下供试水稻叶片的气孔导度

水稻土	different paddy soils $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$			
	早稻叶片的气孔导度		晚稻叶片的气孔导度	
	齐穗期	成熟期	齐穗期	成熟期
麻沙泥	1.68c	1.12b	1.78b	1.09ab
灰泥	1.81b	1.31ab	1.55a	1.25a
紫泥	1.64c	1.09b	1.71b	1.01bc
红黄泥	1.68c	1.11b	1.78b	0.97bc
黄泥	1.85b	1.60a	1.74b	0.93c
河沙泥	2.02a	1.50a	1.98b	0.99bc

同列不同字母示差异显著。

河沙泥处理早稻的叶片具有较高的气孔导度;齐穗期,以灰泥田处理晚稻叶片的气孔导度最高,显著高于除麻沙泥外的其他各处理。

3.4 不同水稻土对早、晚稻叶片蒸腾速率的影响

由表 4 可知,齐穗期,以河沙泥处理早稻叶片的蒸腾速率最高,达到 $10.69 \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,除黄泥田外,显著高于其他处理;成熟期,以黄泥田、河沙泥处理叶片蒸腾速率较高,显著高于其他各处理。齐穗期,各处理晚稻叶片的蒸腾速率差异不明显;成熟期,以红黄泥处理晚稻叶片的净光合速率最高,达到 $6.05 \text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,比麻沙泥、灰泥田、紫泥田、黄泥田和河沙泥处理分别高 19.09%、4.1%、14.15%、9.80%、1.34%。

表4 不同水稻土种植下供试水稻叶片的蒸腾速率

水稻土	paddy soils $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$			
	早稻叶片的蒸腾速率		晚稻叶片的蒸腾速率	
	齐穗期	成熟期	齐穗期	成熟期
麻沙泥	9.07c	5.47c	8.07	5.08c
灰泥	8.92c	6.59b	8.33	5.85a
紫泥	8.98c	6.38b	7.85	5.30bc
红黄泥	9.39bc	6.64b	8.12	6.05a
黄泥	10.11ab	8.44a	8.61	5.51b
河沙泥	10.69a	8.41a	8.74	5.97a

同列不同字母示差异显著。

3.5 不同水稻土对早、晚稻产量构成的影响

表 5 表明,红黄泥、河沙泥处理早稻的有效穗数较高,各处理间早稻的穗粒数、结实率及千粒质

表5 不同水稻土种植下早、晚稻产量的构成因素

稻别	水稻土	different paddy soils			
		有效穗数/ ($\times 10^4\cdot\text{hm}^{-2}$)	穗粒数	结实率/%	千粒 质量/g
早稻	麻沙泥	313.49bc	109.09	73.44c	24.81a
	灰泥	303.49b	103.22	79.53a	24.35ab
	紫泥	309.85abc	107.30	78.40ab	24.14ab
	红黄泥	339.56a	111.00	74.15bc	23.63b
	黄泥	318.34ab	113.42	73.8c	24.33ab
	河沙泥	345.93a	107.76	77.47ab	23.94b
晚稻	麻沙泥	283.08a	122.78b	66.45b	25.81
	灰泥	257.58bc	136.57a	69.12a	25.75
	紫泥	256.98c	138.38a	61.40c	26.42
	红黄泥	283.46a	136.78a	68.84a	26.48
	黄泥	263.62ab	131.64ab	66.245ab	26.32
	河沙泥	268.85ab	133.28ab	67.37ab	26.31

表中数据为 2013—2015 年的平均值,同列不同字母示差异显著。

量差异不明显。各处理晚稻的千粒质量差异不明显；红泥田和麻沙泥的有效穗数较高；灰泥田、紫泥田和红泥田处理的穗粒数较高；灰泥田和红泥田处理的结实率较高。

3.6 不同水稻土对早、晚稻产量的影响

从表6可以看出,3年中,河沙泥处理的早稻产量均保持较高水平。河沙泥处理早稻的3年平均产量显著高于紫泥田处理。各处理3年晚稻的平均产量差异不明显。各处理双季稻的总产量变幅为13 432.91~14 838.89 kg/hm²。

表6 不同水稻土下早、晚稻的产量

Table 6 Early and late rice yields under different paddy soils				
年份	水稻土	产量/(kg·hm ⁻²)		
		早稻	晚稻	双季总产
2013	麻沙泥	7 308.70a	8 041.90	15 350.60ab
	灰泥	7 217.67a	8 443.61	15 661.28ab
	紫泥	6 440.82b	7 958.52	14 399.35b
	红黄泥	7 577.26a	8 605.82	16 183.08a
	黄泥	7 524.16a	8 799.85	16 324.01a
	河沙泥	7 747.19a	8 188.94	15 936.14ab
2014	麻沙泥	5 709.50	8 349.00ab	14 058.49
	灰泥	5 893.08	7 820.25b	13 713.34
	紫泥	5 924.96	8 074.13ab	13 999.09
	红黄泥	5 635.16	8 262.38ab	13 897.50
	黄泥	5 618.46	8 741.25ab	14 359.72
	河沙泥	6 111.58	8 982.38a	15 093.94
2015	麻沙泥	6 255.72	6 255.09ab	12 510.80ab
	灰泥	6 287.58	6 675.23a	12 962.82ab
	紫泥	6 266.34	5 633.98b	11 900.30b
	红黄泥	6 663.86	6 674.74a	13 338.61a
	黄泥	6 012.95	6 420.80ab	12 433.77ab
	河沙泥	6 560.69	6 925.88a	13 486.58a
3年平均	麻沙泥	6 424.63ab	7 548.66	13 973.30ab
	灰泥	6 466.11ab	7 646.37	14 112.48ab
	紫泥	6 210.70b	7 222.21	13 432.91b
	红黄泥	6 625.42ab	7 847.65	14 473.06ab
	黄泥	6 385.20ab	7 987.30	14 372.50ab
	河沙泥	6 806.49a	8 032.40	14 838.89a

同列不同字母示同一年份、不同处理间差异显著。

4 结论与讨论

研究^[16-17]表明,水稻产量与叶片光合速率呈正相关。凌启鸿等^[18]则认为,如果要使水稻产量达到11~12 t/hm²,主要靠抽穗之后的干物质积累。也有

研究^[19-20]认为齐穗后较高的剑叶光合速率有利于双季稻取得高产。徐国伟等^[21]研究认为轻度干湿交替灌溉,可以创造良好的光合性状,提高水稻光合生产能力,从而促进水稻高产。本研究结果表明,齐穗期,红黄泥、黄泥及河沙泥处理水稻叶片的光合速率、蒸腾速率和气孔导度较高,在抽穗至成熟期尤为明显,因为红黄泥、黄泥田及河沙泥耕层深厚,保水、保肥能力强,促进水稻健壮生长并具有较强的光合能力。而麻沙泥质地松散,保水、保肥能力弱,灰泥田、紫泥田质地黏重,土壤结构差,培肥提质难度较大,水稻生长比红黄泥、黄泥田及河沙泥处理的差,光合能力相对较弱。6种水稻土经过多年的马铃薯-双季稻轮作复种和秸秆全量还田等耕作培肥措施,土壤肥力得到大幅度提升。但是,由于土壤本身的差异,在相同培肥条件下,不同土壤的肥力水平还不能达到一致,水稻生长还存在一定的差异,导致叶片光合速率的差别。

本研究结果表明,河沙泥处理的产量较高,这与王丽宏等^[23]关于不同水稻土河沙泥有利于促进水稻产量增加的结果一致,与唐海明等^[24]关于双季稻区6种不同稻田土壤对晚稻产量的影响,红黄泥处理产量最高的结果不同。研究^[12]表明,不同类型水稻土理化性质的不同是造成土壤酶差异的主要原因,进而影响土壤质量。本试验是马铃薯-双季稻种植模式长期定位试验,随着试验时间的增加,6种水稻土的理化性状出现一定程度的差异,进而影响了水稻生物产量的形成。

参考文献:

- [1] 王唯道,刘小军,田永超,等.不同土壤水分处理对水稻光合特性及产量的影响[J].生态学报,2012,32(22):7053-7060. DOI:10.5846/stxb201110121503.
- [2] 曾祥明,韩宝吉,徐芳森,等.不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J].中国农业科学,2012,45(14):2886-2894. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.14.011.
- [3] 王秋菊.黑龙江地区土壤肥力和积温对水稻产量、品质影响研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2012.
- [4] 何万云.黑龙江省土壤[M].北京:中国农业出版社,1992.
- [5] 向秀媛,刘强,荣湘民,等.有机肥和无机肥配施对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(1):72-77.
- [6] 徐国伟,王贺正,翟志华,等.不同水氮耦合对水稻

- 根系形态生理、产量与氮素利用的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 132-141. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.10.018.
- [7] 陈冬林, 屠乃美, 关广晟, 等. 水稻免耕栽培技术的研究及应用[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2006, 32(5): 567-574. DOI: 10.3321/j.issn: 1007-1032.2006.05.026.
- [8] INTHAPAN P, FUKAI S. Growth and yield of rice cultivars under sprinkler irrigation in south-eastern Queensland .2. Comparison with maize and grain sorghum under wet and dry conditions[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1988, 28(2): 243. DOI: 10.1071/ea9880243.
- [9] XU Y, NIE L, BURESH R J, et al. Agronomic performance of late-season rice under different tillage, straw and nitrogen management[J]. Field Crops Research, 2010, 115(1): 79-84. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.10.005.
- [10] 刘艳, 孙文涛, 宫亮, 等. 不同耕作措施对水稻土耕层理化性质及水稻产量的影响[J]. 辽宁农业科学, 2013(6): 16-18.
- [11] 薛建福. 耕作措施对南方双季稻田碳、氮效应的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [12] 于天一, 逢焕成, 唐海明, 等. 不同母质发育的土壤对双季稻产量及养分吸收特性的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(5): 896-904. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2013.00896.
- [13] 熊洪, 唐玉明, 任道群, 等. 不同土壤类型、不同气候条件与稻米品质的关系研究[J]. 西南农业学报, 2004, 17(4): 445-449. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4829.2004.04.009.
- [14] 杨曾平. 长期冬种绿肥对红壤性水稻土质量和生产力可持续性影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [15] 唐海明, 肖小平, 汤文光, 等. 冬季覆盖作物对双季稻光合特性的影响[J]. 杂交水稻, 2011, 26(2): 64-68. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3956.2011.02.022.
- [16] YOSHIDA H, HORIE T, SHIRRAIWA T. A model for explaining genotypic and environmental variation in vegetative biomass growth in rice based on observed LAI and leaf nitrogen content[J]. Field Crops Research, 2008, 108(3): 222-230. DOI: 10.1016/j.fcr.2008.05.004.
- [17] 童平, 杨世民, 马均, 等. 不同水稻品种在不同光照条件下的光合特性及干物质积累[J]. 应用生态学报, 2008, 19(3): 505-511.
- [18] 凌启鸿, 张洪程, 蔡建中, 等. 水稻高产群体质量及其优化控制探讨[J]. 中国农业科学, 1993, 26(6): 1-11.
- [19] 刘利成, 敬礼恒, 李蓉, 等. 不同栽培方式对双季稻株两优 4024 与 H 优 159 产量形成及光合特性的影响[J]. 杂交水稻, 2014, 29(5): 70-73.
- [20] 彭建伟, 刘强, 荣湘民, 等. 氮磷钾配比及氮用量对水稻光合特性及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2004, 30(2): 123-127. DOI: 10.3321/j.issn: 1007-1032.2004.02.008.
- [21] 徐国伟, 陆大克, 王贺正, 等. 干湿交替灌溉与施氮量对水稻叶片光合性状的耦合效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(5): 1225-1237. DOI: 10.11674/zwyf.17067.
- [22] 王丽宏, 曾昭海, 杨光立, 等. 六种稻田土壤冬季种植黑麦草功能效应研究[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 1972-1976. DOI: 10.3321/j.issn: 0496-3490.2007.12.009.
- [23] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 双季稻区 6 种不同稻田土壤类型对晚稻产量及稻米品质的影响[J]. 农业现代化研究, 2012, 33(5): 628-631. DOI: 10.3969/j.issn.1000-0275.2012.05.025.

责任编辑: 尹小红
英文编辑: 梁和