

不同复种模式对双季稻田 生态服务功能的影响

孙卫民, 黄国勤

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 优化南方双季稻田复种方式, 有利于增加农田生物多样性和生态服务功能趋于完善。通过 3 年的大田定位试验, 对比研究“冬季休闲-双季稻”和“冬季作物-双季稻种植”模式下水稻生态服务功能价值的优劣, 探讨不同复种模式对双季稻田生态服务功能的影响。结果表明: (1) “冬季作物-双季稻”的复种模式比冬季休闲模式的生态服务功能优越, 在农产品供给、气体调节、净化空气、水分保持功能价值方面都有明显优势。(2) “冬季作物-双季稻”复种模式的服务总价值均大于冬季休闲复种模式, 其中冬季种植蚕豆模式(F 处理)的服务总价值最高。

关键词: 双季稻田; 不同冬季作物; 稻田生态服务功能; 复种模式

中图分类号: S511.4⁺2; X171.3 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)06-1105-07

Effects of Different Multiple Cropping Patterns on Ecology Service from Double-cropping Paddy Field

SUN Wei-ming, HUANG Guo-qing

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: Optimization of multiple cropping patterns is advantageous to the perfection of farmland biodiversity and ecological service functions in southern China double-cropping paddy field. Field experiments were conducted in 2008 - 2011 to compare the ecological service functions between winter fallow and winter cropping in double cropping rice, and analyze the effects of the different winter crop planting models on ecology service functions. The main results were as follows: (1) Compared with the winter fallow-double cropping rice system, all winter crops-double cropping rice patterns were superior in ecological service functions, and showed superiority in the agricultural production supply, gas regulation, air purification and water conservation. (2) The values of agro-ecosystem ecological services in all winter crops-double cropping rice systems were more than that of the winter fallow system, and the winter faba bean-double cropping rice system had the biggest values of agro-ecosystem ecological services among all the cropping systems.

Key words: double-cropping paddy field; different winter crops; ecological service function; multiple cropping patterns

近年来, 南方双季稻田过量的化学氮肥施用导致的环境问题引起了关注, 中国氮肥的施用量比其他国家高出 75%, 过量的施氮导致了一些严重的环境问题, 如水体富营养化, 温室气体的排放和土壤酸化等。另一方面, 冬闲-稻-稻的种植制度的持续连作, 再加上冬季由于浸水时间长又未翻耕晒垡, 造成

收稿日期: 2012-10-26 修回日期: 2012-11-02

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B18-03)

作者简介: 孙卫民(1964—), 男, 助理研究员, 博士生, 主要从事生态农业研究, E-mail: swm6412@163.com。

土壤耕层板结、变浅,土壤有机质含量下降,理化性状变劣,水、肥、气、热失调,甚至出现次生潜育化,已成为水稻提高产量的限制因子^[1-2]。南方稻区过量化肥的投入和冬季休闲导致的稻田生态服务功能退化并严重制约了该区域农业的可持续发展。

面对双季稻田生态环境的恶化,许多学者从理论和实证的不同视角开始研究稻田的生态服务功能问题。一方面研究人类稻作活动对稻田生态服务功能价值影响。大部分研究表明冬季作物的种植以及秸秆还田均有利于水稻的增产^[3]。农田冬季作物不仅能够充分利用稻田冬春季的光热资源,还有利于提高土壤有机质含量、改善土壤质量和土壤养分利用效率、减少土壤侵蚀,并且能够抑制田间杂草和水稻病虫害^[4]。另一方面开始计量研究稻田生态服务功能价值。高旺盛和董孝斌^[5]以典型黄土高原丘陵沟壑区安寨县为例,将农业生态系统服务价值分为产品服务价值、土壤保持价值、涵养水分价值、固定 CO₂ 和释放 O₂ 价值、维持营养物质循环价值、净化环境价值等项目,然后运用市场价值法、替代工程法、影子价格法、机会成本法等行了评价,发现在脆弱生态区,农业生态系统承担了重要的生态服务功能,为其经济生产力提供了巨大的生态服务。随着研究不断的深入,国内农业生态系统服务功能方面的研究主要集中在耕地生态服务价值^[6]、农田生态功能及其服务价值^[7]、农田生态服务价值的影响因素分析^[8]、农田生态服务价值评估方法研究^[9]等方面。尹飞等^[10]研究认为稻田生态系统服务功能是生态系统功能的具体体现,作为一种半自然的人工生态系统,人类活动对生态系统服务功能产生着重要的影响。

稻田生态系统是半自然的生态系统,它的服务功能和价值具有特殊性,但目前对于稻田生态系统服务的价值评估尚无公认的标准与方法,国内关于不同种植模式的稻田生态系统服务价值的评估案例也较少^[11]。对于稻田冬季作物种植条件下的水稻生态系统服务价值暂未见报道。江西,作为我国南方重要的水稻生产区,2011年水稻种植面积占粮食作物总播种面积超过九成,水稻产量占粮食总产量的比重也超过九成,可见稻田在江西农业生产中占有重要地位和作用。为提高江西省双季稻田生产力,寻求双季稻田合理的种植系统中的能流和生态功能价值,本文希望通过借鉴传统的双季稻田冬季作物种植制度,利用现代科学技术和新的稻田耕作方式,比较分析江西省双季稻田种植不同冬季作物对稻田生态服务功能的影响,为江西省双季稻田种植制度优化提供理论和实践依据。

1 研究设计与方法

1.1 稻田生态指服务功能指标选取

2008—2011年,连续4年在江西省余江县农科所进行大田定位试验探讨双季稻田不同冬季作物种植对稻田生态系统服务功能价值的影响。稻田的生态服务功能价值评价指标选取:农产品供给、气体调节、净化空气、肥力保持、水分保持等5项指标。

1.2 材料与方法

1.2.1 研究区概况 本试验从2007年11月开始,至2011年11月底止,在江西省余江县农科所试验田进行。该地属亚热带湿润季风气候,其特点是四季分明,气候温和,雨水充沛,日照充足。近50年来年平均气温为17.6℃,其中1月份平均气温5.2℃,7月平均气温29.3℃。年极端最高气温为41.12℃,年极端最低气温-15.12℃。年平均降水量1788.8mm,最多年份降水量2543.0mm,最少年份降水量980.7mm,其中4—6月平均降水量844.8mm,7—9月平均降水量350.9mm。太阳年辐射总量为454.0kJ/cm²,生理辐射年总量为264.0kJ/cm²,4—10月光合有效辐射总量为158.6kJ/cm²。试验地土壤为酸红壤,pH值为5.61,耕层有机质含量28.6g/kg,全氮1.55g/kg,碱解氮74.15g/kg,有效磷27.94g/kg,速效钾45.67g/kg。

1.2.2 试验材料 三年稻田定位试验采用同一组合材料品种。冬季绿肥紫云英品种为余江大叶籽,早稻品种为“中选181”,晚稻为“鹰优晚3号”。早玉米为“赣糯一号”,蚕豆品种为余江县本地品种,豌豆品种为中豌4号,大麦为“赣大麦1号”,油菜为“湘优15号”,大豆、肥田萝卜为农家自留种。

1.2.3 田间试验设计 试验小区面积为66.7m²,试验设7个处理,各处理均设4个重复,采用随机区组设计,共28个小区。其中处理A、处理B为2年连作处理,其他处理为年际间的轮作处理,田间试验种植方式设计处理:A:冬闲—早稻—晚稻;B:绿肥—早稻—晚稻;C:混播绿肥—早稻—晚稻;D:油菜—早稻—晚稻;E:大麦—早稻—晚稻;F:蚕豆—早稻—晚稻;G:豌豆—早稻—晚稻。

双季稻田冬季作物于每年 10 月 26 日播种。紫云英、混播绿肥(紫云英 + 油菜 + 肥田萝卜)播种后,立即灌水,保持浅水层 2 d,其他冬种作物生长期进行除草施肥等常规田间管理工作。水稻秧田各处理施肥量与施肥时间相同,管理方法按常规进行,并且各处理均匀一致。早晚稻均为抛秧处理,用 434 孔径塑盘,用盘 975 个/hm²,实际抛秧 40.04 万丛/hm²,出苗至 1 叶 1 心期,用 20% 甲基立枯灵对水喷雾,以防立枯病;2 叶 1 心期施促苗肥,3 叶 1 心以后,每长 1 叶追施 1 次肥,以清粪水为主,配搭少量化肥。

早稻的抛秧于 4 月 24 日抛下田。秧苗长到 3 叶时及时覆水,保持水层深度 3~4 cm,以促分蘖;5 叶到 6 叶期轻晒田,7 叶到 8 叶期重晒田,控制无效分蘖。孕穗期至抽穗期田间保持浅水层,灌浆结实期间歇灌溉,干湿交替,养根保叶,收割前 5~7 d 断水,7 月 22 日收获测产。晚稻抛秧于 7 月 28 日下田,田间管理与早稻一致,当年 11 月 5 日收获。

早稻和晚稻均施纯氮量 150 kg/hm²,施用肥料为尿素(含氮量为 46%)。在施肥过程中,磷肥均作为基肥(紫云英除外),施钙镁磷 225 kg/hm²,水稻田施用氯化钾 15 kg/hm²,按 W(分蘖肥):W(孕穗肥):W(抽穗肥)=6:2:2 施用。各处理的施肥量与施肥时间相同,紫云英不施肥。其他管理措施完全按照当地常规生产进行。

1.2.4 取样与测定方法 (1) 农产品供给价值的计算。农产品供给价值利用市场价值法^[27]。

$$\text{供给价值(元/hm}^2\text{)} = \text{作物经济产量(kg/hm}^2\text{)} \times \text{市场平均价格(元/kg)} \quad (1)$$

(2) 气体调节功能的计算。根据生态系统内吸收或释放气体对环境的正效应(释放甲烷,氧化亚氮等的负效应本文不作考虑),计算各种气体价值的总和,包括释放氧气和固定二氧化碳,即为大气调节功能价值^[26]。

$$\text{释放氧气的价值} = 1.62 \times \text{作物生物量(kg/hm}^2\text{)} \times \text{造氧成本(元/kg)} \quad (2)$$

$$\text{固定二氧化碳的价值} = 1.20 \times \text{作物生物量(kg/hm}^2\text{)} \times \text{固碳成本(元/kg)} \quad (3)$$

(3) 净化空气功能的计算。根据文献[28,29],稻田净化空气指标主要选择吸废弃物 SO₂、HF、NO_x、削减粉尘。计算公式如下(不同类型作物修正系数是根据不同种植模式的生育期长短的比值):

$$\text{系统净化空气的价值} = \sum(\text{农田吸收各污染气体量(kg/(hm}^2 \cdot \text{a})) \times \text{相对应的处理成本(元/kg)} \times \text{相对应的作物校正系数}) \quad (4)$$

(4) 肥力保持功能的计算。稻田养分的持留量能动态反应稻田生态系统营养物质循环功能。运用机会成本法将农田系统土壤养分持留量价值化,从而评价农田生态系统保持土壤肥力、提高养分的价值。参考文献[21,25,29],其肥力保持功能价值公式为:

$$\text{肥力保持的价值} = \text{水稻种植面积(hm}^2\text{)} \times \text{耕层土壤厚度(m)} \times \text{土壤容重} \times \sum(\text{土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量(g/kg)}) \times \text{相对应的肥料价格(元/kg)} \quad (5)$$

(5) 水分保持功能的计算。关于水分保持功能,已经报道的计算方法较多。本文采用盛婧等^[23]报道的静态持水量研究方法计算。土壤涵养水分的作用主要是土壤非毛管孔隙在发挥作用。农田生态系统中土壤涵养水分的价值采用替代市场法计算,利用土壤非毛管孔隙静态蓄水量法计算农田生态系统土壤水分涵养量,然后根据水库的蓄水成本 1.36 (元/t)^[30]求得该功能的价值量。其计算公式为:

$$\text{土壤涵养水分价值} = \text{农田面积(hm}^2\text{)} \times \text{土厚(m)} \times \text{非毛管孔隙度} \times \text{水容重(t/m}^3\text{)} \times \text{水库蓄水成本(元/t)} \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 不同种植模式中的生态系统服务价值

(1) 冬季复种模式下的农产品供给价值明显高于冬季休闲模式。从表 1-3 来看,冬季休闲种植模式的农产品价值为 21 610 元/(hm²·a),而冬季复种模式下的农产品价值均有一定的增加,其中 F 处理的农产品供给价值达到了 30 340 元/(hm²·a) 增加了 40.40%,其他增幅由大到小依次为 D、G、E、C、B,分别增加了 32.58%、17.31%、16.51%、11.99% 和 9.12%。冬季复种连作(B 处理)模式提供的农产品价值为 23 580 元/(hm²·a) 相比之下,冬季复种轮作(C-G 处理)模式提供的农产品价值均有一定程度的升高趋势,其中升高幅度最大的为 F 处理,升高了 28.67%,其他处理增幅由大到小依次为

D、G、E、C。

(2) 冬季复种模式下气体调节功能价值均大于冬季休闲种植模式。气体调节主要关注了作物在生长期进行光合作用过程中会吸收 CO₂ 释放 O₂ 这些气体对大气组成具有调节作用。从表 1-3 来看,冬季休闲种植模式的气体调节功能价值为 21 880 元/(hm²·a) ,而冬季复种模式下 F 处理的气体调节功能价值为 30 790 元/(hm²·a) ,相比冬季休闲模式增加了 40.70%。其他冬季复种模式增加幅度大小依次为 D、G、C、E、B ,分别增加了 34.07%、32.37%、25.38%、24.62%和 22.20%。另一方面,冬季复种连作模式的气体调节功能价值为 26 740 元/(hm²·a) ,相比之下,冬季复种轮作模式下的气体调节功能价值均有所增加,其中增幅最大的为 F 处理,增加了 15.14% ,其他处理增幅由大到小依次为 D、G、C、E ,分别增加了 9.71%、8.32%、2.60%和 1.98%。

(3) 冬季复种模式下的净化空气价值均大于冬季休闲模式。净化空气功能价值主要体现在作物对二氧化硫、氮氧化物、氟化物和粉尘的吸收。从表 1-3 来看,冬季休闲模式下的净化空气功能价值为 300 元/(hm²·a) ,而由于冬季作物的种植,冬季复种模式下的净化空气价值均大于冬季休闲模式,B、C、D、E 处理下的该价值均增加了 77.00% ,F 和 G 处理分别增加了 52.00%和 39.00%。冬季复种连作模式的净化空气功能价值为 540 元/(hm²·a) ,采取冬季复种轮作模式下的净化空气功能价值与连任模式没有显著变化,F 和 G 处理均出现了降低的结果,这可能与冬季作物的生育期有关。

(4) 冬季复种模式下的肥力保持功能价值和冬季休闲模式没有明显的差异。农田系统中的肥力水平是关系到农产品产量和质量的重要因素,本研究中肥力保持主要考虑到土壤有机质、氮、磷和钾共 4 个主要的养分成分。从表 1-3 来看,稻田系统肥力保持功能价值较大,冬季休闲模式下的肥力保持价值达到 126 680 元/(hm²·a) 。冬季复种模式下的肥力保持功能价值和冬季休闲模式相比没有明显的差异,B 和 E 处理下的该价值较冬季休闲模式下降了 0.26%和 0.09% ,其他处理有一定的增加趋势,大小依次为 G、F、D、C。冬季复种连作 B 处理的肥力保持功能价值为 126 350 元/(hm²·a) ,冬季复种轮作模式下的肥力保持价值较复种连作均有一定的增加,其中 G 处理的达到 138 110 元/(hm²·a) 增加了 9.31% ,其他处理大小顺序依次为 F、D、C、E。

表 1 稻田不同种植模式中生态系统服务功能价值(2008—2011 均值)

Tab.1 Value of ecosystem services under different cropping patterns in paddy field(2008—2011 mean value)

种植模式 Cropping patterns	农田生态系统服务功能价值/[10 ³ 元·(hm ² ·a) ⁻¹]					
	Service value evaluation of agricultural ecosystem					
	农产品供给 Primary production	气体调节 Gas regulation	净化空气 Air cleaning	肥力保持 Soil conservation	水分保持 Water resource conservation	服务总价值 Total value of service
A	21.61	21.88	0.30	126.68	0.28	170.76
B	23.58	26.74	0.54	126.35	0.28	177.49
C	24.20	27.44	0.54	129.07	0.31	181.55
D	28.65	29.34	0.54	129.15	0.31	187.98
E	25.19	27.27	0.54	126.56	0.34	179.90
F	30.34	30.79	0.46	135.64	0.32	197.55
G	25.35	28.97	0.42	138.11	0.29	193.14

(5) 冬季复种模式下的水分保持功能价值比较高。农田生态系统中的水分保持也是一个重要的系统服务功能。从表 1-3 来看,冬季休闲模式的水分保持功能价值为 280 元/(hm²·a) ,C、D、E、F、G 处理下的水分保持功能价值较冬季休闲模式均有增加,其中 E 处理增加了 21.43%。冬季复种连作模式下的水分保持功能价值是 280 元/(hm²·a) ,冬季复种轮作模式下的该价值较冬季复种连作均有增加的趋势,增加幅度的大小为 E < F < C = D < G。

表2 稻田冬季复种模式下的农田生态系统服务功能价值(2008—2011均值)

Tab.2 Value of ecosystem services under winter cropping patterns in paddy field(2008—2011 mean value)

种植模式 Cropping patterns	农田生态系统服务功能增加率/% Service value evaluation of agricultural ecosystem					
	农产品供给 Primary production	气体调节 Gas regulation	净化空气 Air cleaning	肥力保持 Soil conservation	水分保持 Water resource conservation	服务总价值 Total value of service
	A	0	0	0	0	0
B	9.12	22.20	77.00	-0.26	0.00	3.94
C	11.99	25.38	77.00	1.89	10.71	6.32
D	32.58	34.07	77.00	1.95	10.71	10.09
E	16.57	24.62	77.00	-0.09	21.43	5.35
F	40.40	40.70	52.00	7.07	14.29	15.69
G	17.31	32.37	39.00	9.02	3.57	13.11

表3 稻田冬季复种轮作模式下的农田生态系统服务功能价值(2008—2011均值)

Tab.3 Value of ecosystem services under winter cropping with rotation patterns in paddy field
(2008—2011 mean value)

种植模式 Cropping patterns	农田生态系统服务功能增加率/% Service value evaluation of agricultural ecosystem					
	农产品供给 Primary production	气体调节 Gas regulation	净化空气 Air cleaning	肥力保持 Soil conservation	水分保持 Water resource conservation	服务总价值 Total value of service
	B	0	0	0	0	0
C	2.63	2.60	0.00	2.15	10.71	2.29
D	21.50	9.71	0.00	2.22	10.71	5.91
E	6.83	1.98	0.00	0.17	21.43	1.36
F	28.67	15.14	-14.12	7.35	14.29	11.30
G	7.51	8.32	-21.47	9.31	3.57	8.82

(6) 冬季复种模式下农田生态系统服务总价值远高于冬季休闲模式。本试验中农田生态系统服务总价值是综合前面的五个主要农田生态系统服务功能价值。从表1-3来看,相比于冬季休闲模式,冬季复种模式下的服务总价值均有显著差异,其中F处理的服务总价值为182140元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)增加了13.98%,其他处理的增幅由大到小依次为G、D、C、E、B。冬季复种连作模式下的系统服务总价值为164110元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),冬季复种轮作模式下的服务总价值也都有增加的趋势,其中F处理增加了10.99%,其他处理的增幅由大到小依次为G、D、C、E。从农田生态系统服务总价值来看,冬季复种轮作模式均具有较好的价值,特别是冬闲种植蚕豆的模式(F处理)。

2.2 分析讨论

农产品供给功能是农田生态系统首要的功能。农业是社会生产的基础,农田生态系统是植物生长和生物生产的基地。本研究中的双季稻田不同复种模式下的农产品供给功能价值最低为21610元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) (按实验期国家水稻保护价格1.70元/kg换算),而土地肥沃、光热丰富的江苏省水稻-小麦轮作农田生态系统所提供的单位面积农产品供给功能价值为19539.22元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$) (其中实验期水稻国家保护价格是1.78元/kg^[12]),一定程度上说明江西的双季稻田系统的种植管理良好,水稻产量较高,具有一定的代表性。本试验研究中所有双季稻田冬季复种模式下的农产品供给价值均大于冬季休闲种植模式,这主要是由于双季稻田冬闲期将近5个月,种植冬季作物也能收获一定的产品,从而能够一定程度上提高系统内的农产品供给价值。除此以外,另一个原因可能是由于冬季作物秸秆的还田,提

高了土壤的养分,有利于水稻的生长和获得较高的产量。不同的双季稻田复种模式所获得的农产品供给价值也有一定的不同,除了不同种植模式下水稻的产量有差异,不同的农作物产品市场价格也不一样,因而导致不同农作物产品所产生的供给价值也不一样。本研究结果发现,冬闲时期种植蚕豆(F处理)所获得的农产品供给功能价值最大,主要原因是由于蚕豆的市场价格较高,达到3.4元/kg,是水稻市场平均价格的2倍。综合来看,双季稻田冬季种植合适的农作物品种是促进水稻增产,提高农田生态系统农产品供给价值的有效途径。

本研究中的气体调节功能关注了作物的二氧化碳固定和氧气的释放。具体到不同的双季稻复种模式,由于作物种类和大小均不一样,所固定的二氧化碳和释放的氧气均存在一定的差异。本试验中关于气体调节功能价值的计算是采用的造林成本法,根据光合作用方程式(每形成1.0g干物质,需要1.62g CO₂,释放1.20g O₂),计算不同种植模式下的农田生态系统释放O₂和吸收固定CO₂的总量。研究结果中气体调节功能价值最低为21880元/(hm²·a),最高价值的F处理达30790元/(hm²·a)。采用相同计算方法的江苏稻麦轮作系统中气体调节功能价值约为17556元/(hm²·a)^[13],四川稻麦轮作最好模式的气体调节功能价值为11602元/(hm²·a)^[14],均低于本试验中的双季稻种植模式下的气体调节功能价值。根据采用的计算方法不同复种模式下的作物干物质质量来换算的,双季稻田复种模式下作物的干物质质量均大于冬季休闲模式,因而双季稻田复种模式下的气体调节功能价值均较大。综合来看,可以通过调整种植模式,充分利用土地和光热资源,固定更多的二氧化碳,增加农田土壤碳汇,增加农田生态系统中的气体调节功能价值。

农田生态系统净化大气功能价值的评估是利用替代费用法,以稻田不同种植模式中作物吸收SO₂、HF、NO_x和粉尘的能力换算处理相当重量污染物所需要的成本作为净化大气功能价值^[15]。根据评估方法,不同的复种模式净化大气功能价值的大小主要与农田作物的生育期相关,农田中作物覆盖的时间越长,那么吸收的污染物就越多,从而创造的价值就越大^[15]。双季稻田冬季复种模式下冬季作物的种植延长了作物吸收大气污染物的时间,从而能够获得比双季稻田冬季休闲模式下更大的净化空气功能价值。双季稻田冬季复种轮作模式下冬季作物的生育期相比绿肥紫云英的生育期均没有增加,有些甚至比紫云英的生育期短,导致了冬季复种轮作模式下净化空气功能价值低于冬季复种连作模式下的产生的净化空气功能价值。作物生物量的大小、种植密度、生育期长短对大气污染物的吸收影响很大。为了获得更大的净化空气功能价值,水稻的合理密植和冬季作物的选择都很重要。

稻田养分的持留量能动态反应稻田生态系统营养物质循环功能^[15]。本试验研究中运用机会成本法将农田系统土壤耕作层中有机质、氮、磷和钾持留量价值化,从而评价农田生态系统保持土壤肥力保持价值。本研究中不同种植模式下的肥力保持功能价值都较高,最低的B处理为126350元/(hm²·a),最高的C处理为138110元/(hm²·a),肥力保持功能价值占生态服务总价值的比例均超过60%,土壤肥力相对较高,有利于水稻种植的可持续发展。冬季复种模式下的肥力保持功能价值和冬季休闲模式没有明显的差异,说明冬季作物的种植并没有明显降低土壤肥力。但是相比双季稻田冬季复种连作,稻田冬季复种轮作模式下的土壤肥力保持功能价值均有增加,土壤肥力有一定的增加。土壤肥力保持功能价值的增加的原因可能是由于冬季作物进行轮作的效果,有研究报道表明麦-稻-稻和油菜-稻-稻与绿肥-稻-稻进行轮作使土壤中有机质及氮磷钾等养分的含量亦均有提高。除此以外,秸秆还田一定程度上也能促进稻田土壤养分的增加^[16]。随着现代农业的不断发展,如果保持土壤的肥力条件下,减少养分的流失是一个重要的研究课题。综合本文的研究结果,双季稻田复种轮作在一定程度上能增加土壤肥力保持功能价值,减少养分流失的风险,有利于维持稻田土壤的可持续健康发展。

本试验中农田生态系统涵养水分的价值采用替代市场法来评估。本试验研究结果表明,双季稻田冬季复种模式下的水分保持功能价值均大于冬季休闲种植模式。这主要是由于水分保持功能价值的大小与土壤非毛管孔隙度密切相关,相比于冬季休闲种植模式,双季稻田冬季作物的种植一定程度上增大了土壤孔隙度,意味着能涵养更多的水分,因而提高了土壤水分保持。本研究中水分保持功能价值280~340元/(hm²·a),有文献报道利用相同方法评估的稻麦轮作模式中水分保持价值达到680元/(hm²·a)^[17],这主要是本试验中土壤的非毛管孔隙度比较小造成的。综合来看,冬季作物的种植有利于提高农田生态系统中的水分保持功能价值,减少水分流失的风险。

从试验结果来看,双季稻田冬季复种模式下的农田生态系统服务功能的总价值在为 177 490 ~ 197 550 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$),也就意味着如果减少 1 hm^2 农田,要想获得与现在相同的功能价值,政府每年至少需要投入 177 490 元/ hm^2 。本试验中的农田生态系统服务总价值是前面 5 个项目功能价值的总和,还有如消纳废弃物、防洪等功能价值没有考虑在内,农田生态系统实际服务总价值应该更大。从农田生态系统服务价值结构来看,双季稻田种植模式下的农田生态系统对环境的贡献远大于对经济的贡献,产品供给功能价值占服务总价值的比例不超过 20%,农田生态系统对土壤肥力的保持和生态环境的保护发挥了重要作用,这充分体现了农田生态系统不仅仅是一个人工系统,为人类提供农作物产品,它仍然保持了自然生态系统的属性,能够提供很多自然生态服务。

3 结 论

(1) 本研究在余江县农科所进行的试验结果表明双季稻田中冬季作物的种植,能够增加农田生态系统的全年农产品供给价值。双季水稻冬闲时期种植蚕豆不仅能多收一季蚕豆,还能促进水稻的增产,农产品供给价值比双季稻田冬季休闲种植模式升高了 40.40%,有利于稻田生态系统的可持续发展。

(2) 双季稻田冬季复种模式下的总服务价值均大于冬季休闲种植模式,其中,相比于稻田冬季复种连作模式,冬季复种轮作模式下气体调节、肥力保持和水分保持功能价值更大。农田生态系统中作物生长可吸收大量温室气体 CO_2 ,有效减缓全球气候变暖进程,施用氮、磷肥可提高土壤肥力,作物生长还可减少水土流失。相比于稻田冬季休闲模式,冬季复种模式下气体调节、净化空气、水分保持功能价值都增加了,肥力保持功能价值中的 G、F、C 和 D 处理也有所增加,所有冬季复种轮作模式下的净化空气功能价值相对于冬季复种连作模式均没有增加,但是从总服务价值来看,双季稻田冬季复种轮作模式均大于冬季复种连作。

(3) 双季稻田冬闲时期种植蚕豆或豌豆是比较合理的稻田多熟种植模式,有利于提高稻农的种植积极性,减少水土流失,保护农田环境,实现可持续发展。综合来看,冬季作物的种植,更加充分利用了自然资源,均能在一定程度上增加农田生态系统中的服务价值。不同的冬季作物之间也存在一定的差异,从生态服务价值来看,种植经济作物产生的价值大于种植绿肥。

参考文献:

- [1]高菊生,曹卫东,李本荣,等.充分利用冬闲稻田大力发展绿肥生产[J].耕作与栽培,2009(2):1-3.
- [2]王丹英,彭建,徐春梅,等.油菜作绿肥还田的培肥效应及对水稻生长的影响[J].中国水稻科学,2011,26(1):85-91.
- [3]唐海明,汤文光,肖小平,等.双季稻区冬季覆盖物作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.
- [4]段华平,牛永志,卞新民.耕作方式和秸秆还田对直播稻田土壤有机碳及水稻产量的影响[J].水土保持通报,2012,32(3):23-27.
- [5]高旺盛,董孝斌.黄土高原丘陵沟壑区脆弱农业生态系统服务评价:以安塞县为例[J].自然资源学报,2003,18(2):182-188.
- [6]车裕斌.论耕地资源的生态价值及其实现[J].生态经济,2004(S1):224-228.
- [7]李加林,童亿勤,杨晓平,等.杭州湾南岸农业生态系统土壤保持功能及其生态经济价值评估[J].水土保持研究,2005,12(4):202-205.
- [8]谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J].中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.
- [9]王瑞雪,颜廷武.条件价值评估法本土化改进及其验证:来自武汉的实证研究[J].自然资源学报,2006,21(6):879-887.
- [10]尹飞,毛任钊,傅伯杰,等.农田生态系统服务功能及其形成机制[J].应用生态学报,2006,17(5):929-934.
- [11]孙新章,周海林,谢高地.中国农田生态系统的服务功能及其经济价值[J].中国人口·资源与环境,2007,17(4):55-61.
- [12]陈源泉,高旺盛.中国粮食主产区农田生态服务价值总体评价[J].中国农业资源与区划,2009,30(1):33-39.
- [13]盛婧,陈留根,朱普平.稻麦轮作农田生态系统服务功能价值评估[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1541-1545.
- [14]李向东,陈尚洪,陈源泉,等.四川盆地稻田多熟高效保护性耕作模式的生态系统服务价值评估[J].生态学报,2006,26(11):3782-3788.
- [15]马新辉,孙根年,任志远.西安市植被净化大气物质量的测定及其价值评估[J].干旱区资源与环境,2002,16(4):83-86.
- [16]马力,杨林章,肖和艾,等.长期施肥和秸秆还田对红壤水稻土氮素分布和矿化特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):898-905.
- [17]黄国勤,熊云明,钱海燕,等.稻田轮作系统的生态学分析[J].生态学报,2006,26(4):1159-1164.