

双季稻田改制对作物生长及土壤养分的影响

曾希柏¹, 孙楠², 高菊生², 王伯仁², 李莲芳¹

(¹ 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境与全球气候变化重点实验室, 北京 100081;

² 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 【目的】探讨红壤地区双季稻田改制对作物生长及土壤养分变化的影响, 为灌溉条件较差稻田种植制度改革提供有效模式。【方法】利用田间定位试验方法, 研究了双季稻田改种牧草、水旱轮作及早作等模式对作物生长、产量和经济效益的影响, 并分析了土壤有机质和养分含量的变化。【结果】按各处理生产产品的市场价格进行折算, 稻田改制可增加产值、提高产投比。各处理比较, 以水旱轮作产值最高, 分别比对照、牧草和旱作处理增加 34.7%、21.4% 和 2.2%, 且牧草和旱作处理也分别较对照增加了 11.0% 和 31.8%; 牧草、水旱轮作和旱作处理产投比值分别比对照高 0.9、0.6 和 0.3。种植牧草对提高土壤有机质和全氮、全磷及速效磷含量有较好效果, 但各处理土壤碱解氮、全钾、速效钾的含量均有一定幅度下降, 说明在本研究的施肥水平下, 有必要增加氮素、特别是钾素养分的投入。【结论】在当前红壤地区双季稻田肥力状况、气候及作物栽培管理条件下, 对灌溉条件较差的稻田进行改制是可行的, 其中, 种植牧草或实行水旱轮作对提高经济效益、提升土壤肥力有较好效果。

关键词: 种植制度; 作物生长; 经济效益; 土壤养分

Effects of Cropping System Change for Paddy Field with Double Harvest Rice on the Crops Growth and Soil Nutrient

ZENG Xi-bai¹, SUN Nan², GAO Ju-sheng², WANG Bo-ren², LI Lian-fang¹

(¹ Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081; ² Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】 This paper aimed to determine the effects of cropping system change for red soil paddy field with double harvest rice on crops growth and soil nutrient. It also aimed to provide with optimum pattern for cropping system reform under bad irrigation condition. 【Method】 Through located field experiments, effects on crops growth, yield and economic benefit were studied under different cropping systems. These included systems from paddy field with double harvest rice to pasture, paddy-upland rotation, upland cropping et al, and the change of related soil organic matter and nutrient content under various cultivation systems was also investigated. 【Result】 The results proved that economic benefit and the ratio of output to input were all increased in terms of the market price for the crops under various treatments. The greatest economic benefit occurred in the treatment of paddy-upland rotation, and the corresponding economic benefit was increased by 34.7%, 21.4% and 2.2% in comparison with equivalent of control (rice-rice-astragali), pasture, upland cropping treatments. The economic benefit from pasture, upland cultivation treatments was increased by 11.0% and 31.8% respectively compared to the equivalent of control. The ratio of output to input under pasture, paddy-upland rotation, upland cropping treatments was enhanced 0.9, 0.6 and 0.3, respectively, in comparison with that of control. It is acceptable to plant pasture grass for improving soil fertility since the contents of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and available phosphorus were all enhanced obviously. However, the concentrations of soil available nitrogen, total potassium, available potassium was somewhat reduced for all the treatments, suggesting that increasing the input of nitrogen, particularly potassium, was necessary under present fertilization level. 【Conclusion】 Based on the condition of the fertility, climate,

收稿日期: 2006-08-24; 接受日期: 2007-01-31

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2001BA507A17, 2004BA516A19)及国家“十五”科技支撑计划(2006BAD05B01)项目

作者简介: 曾希柏(1965-), 男, 河南双峰人, 研究员, 博士, 研究方向为耕地质量退化与修复、农业环境质量变化及其调控机制。Tel: 010-62119689; E-mail: zengxb@cjac.org.cn

cultivation and management in red soil paddy with double harvest rice regions, it is feasible to change the cultivation system of paddy fields with bad irrigation conditions. In particular, such cultivation systems as Pasture and Paddy-Upland Rotation were worth adopting for better economic benefit and improvement of soil fertility in the purpose region.

Key words: Cropping system; Crop growth; Economic benefit; Soil nutrient

0 引言

【研究意义】进入新阶段后, 中国农业结构调整慢、农民增收难的矛盾逐渐显现, 广大农村正面临着新一轮耕作制度变革的新的态势^[1,2]。在拥有“湖广熟, 天下足”美称的湖南, 长期以来形成的以三熟制为主体、双季稻为中心的稻田耕作制度, 对实现粮食供应从长期不足向基本自给、丰年有余的历史性转变发挥了十分重要的作用。但是, 部分灌溉条件较差的水稻田, 因水分供应不足等原因, 导致水稻产量低、生产效益不高, 已严重制约了农业和农村经济的发展, 急需对其种植制度进行改革^[2-4]。【前人研究进展】近年来, 国内外关于稻田改制的研究很多, 如刘巽浩、陈阜等^[5,6]对轮作制给出了较明确的定义, 钟武云^[2]研究了湖南稻田耕作制度改革的形势与对策, 段红平^[1]对中国南方地区耕作制度变革所面临的现状与主要问题进行了系统分析, 刘更另、陈永安等^[4,7]先后对红壤地区科学、合理的耕作制度进行了探讨。在稻田轮作制的研究中, 以水旱轮作的研究较多, 王人民等^[8-11]研究了稻田改制对作物生长、产量和经济效益等影响, 王子芳、曾希柏、Prasad. R 等^[12-22]对稻田不同耕作制下土壤养分含量的变化等进行了系统研究。黄国勤等^[23-27]的研究结果认为, 稻田轮作的生态效应显著, 具有改善土壤理化性状、调节土壤肥力、提高系统生产力、减轻作物病虫害、增加土壤微生物数量、降低农田污染等优点。但是, 受研究条件等的影响, 大多数研究均局限于 1~2 种植制度, 且试验时间相对较短。【本研究切入点】本研究从湖南衡阳灌溉条件较差的红壤双季稻田种植结构调整入手, 根据该地区土壤、气候特点和农业利用方式, 结合新阶段下种植制度改革的需要, 系统探讨现有双季稻耕作制度下, 改变种植制度对作物产量、经济效益及土壤有机质和养分含量的影响。【拟解决的关键问题】通过本研究, 探讨灌溉条件差的红壤双季稻田改制为牧草、亚麻或洋葱-中稻(水旱轮作)、高粱或玉米-马铃薯(旱作)等种植制度时, 作物生产量和经济效益的变化, 为双季稻田改制、提高单位耕地的产量和经济效益、促进农民增收提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2002 年 12 月 5 日至 2005 年 10 月 10 日在中国农业科学院祁阳红壤试验站进行, 供试土壤为第四纪红壤发育的水稻土, 土壤肥力中等偏上, 但供水条件相对较差。供试土壤基本性质为: pH 5.3, 有机质含量 $28.4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全量氮磷钾含量分别为 1.52、0.47 和 $15.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $137.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 $15.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $80.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

试验小区面积为 $16 \text{ m}\times 7 \text{ m}=112 \text{ m}^2$, 处理设置为: (1) 对照(稻-稻-紫云英); (2) 牧草(牛鞭草, 常年种植、适时收割); (3) 水旱轮作(亚麻或洋葱-中稻); (4) 旱作(高粱或玉米-马铃薯)。试验各处理均重复 3 次, 随机区组排列。各处理施肥量均按复合肥(纯 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量均为 16%) $750 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 作基肥在作物移栽或种植前一次施入。其中牧草处理按上述数量每年施用一次复合肥, 并在每次刈割后追施尿素 $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。晚稻、中稻、高粱、玉米均在移栽后 10 d 左右追施尿素 $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 。

各处理作物品种, 早稻为 V402, 晚稻为新香 80, 亚麻为双亚 5 号, 中稻为两优培 9, 高粱为湘两优糯粱 1 号, 秋玉米为掖单 13 号, 马铃薯第 1 年为脱毒马铃薯, 第 2 年为本地马铃薯, 牧草为牛鞭草, 其余作物均选用当地常规品种。各种作物的种植密度为: 早稻 $20 \text{ cm}\times 20 \text{ cm}$, 即 $35\times 80=2\ 800$ 株/ 112 m^2 , 晚稻 $25 \text{ cm}\times 20 \text{ cm}$, 即 $28\times 80=2\ 240$ 株/ 112 m^2 , 中稻 $30 \text{ cm}\times 25 \text{ cm}$, 即 $23\times 64=1\ 472$ 株/ 112 m^2 , 洋葱 $30 \text{ cm}\times 25 \text{ cm}$, 即 $23\times 64=1\ 472$ 株/ 112 m^2 , 高粱 $40 \text{ cm}\times 20 \text{ cm}$, 即 $18\times 80=1\ 440$ 株/ 112 m^2 , 秋玉米 $100 \text{ cm}\times 40 \text{ cm}$, 即 $7\times 40=280$ 株/ 112 m^2 , 马铃薯 $40 \text{ cm}\times 30 \text{ cm}$, 即每个小区开 4 厢(厢宽 1.6 m), 每厢播 $4\times 53=212$ 兜, 合 848 兜/ 112 m^2 。紫云英播种量为 $37.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 亚麻播种量为 $112.5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 均为均匀撒播。

各处理在作物生长期间的田间管理如中耕、灌溉等措施, 均参照当地大田进行。

1.2 试验取样和测产

各处理在作物生长期间, 均对各种作物进行了生

育期记录和测产, 同时在作物收割后按“S型”每个小区取5兜(穴)样品考查各种作物的经济性状。在试验开始前, 按“S型”每个小区6点取耕层(0~20 cm)和犁底层(20~40 cm)土壤混合样; 试验结束后, 按同样方法取各处理耕层和犁底层混合样。

1.3 土壤有机质及养分分析方法

土壤有机质分析采用油浴加热- $K_2Cr_2O_7$ 容量法测定; 土壤全氮采用开氏法测定; 土壤全磷采用碱熔-钼锑抗比色法测定; 土壤全钾采用碱熔-火焰光度法测定; 土壤水解性氮采用碱解扩散法测定; 土壤速效磷采用 $0.5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法测定; 土壤速效钾采用 $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度法测

定^[28]。

2 结果与分析

2.1 不同处理的土地利用情况

由于不同处理种植的作物类型不同, 因此, 作物的生长发育时期、生长状况等均有较大差异, 其对土壤的覆盖状况也不尽相同。本研究中各处理比较, 牧草为多年生草本植物, 在试验期间尽管因生长及收获等原因, 其覆盖度不一, 但整个试验期内均有植被覆盖, 故以其土地覆盖率为100计算, 以此作为基准, 计算其它处理的土地覆盖率(表1)。

从表1结果可以看出, 不同处理的土地利用时间

表1 不同处理土地利用情况比较

Table 1 Comparison of land use status under different cropping system treatments

处理 Treatment	年度 Year	土地利用期 Land use period (d)		总土地利用期 Total growth period (d)	土地利用率 Land use efficiency (%)
对照 CK		早稻 Early rice	晚稻 Late rice	紫云英 Astragali	92
	2003	79	76	130	
	2004	82	81	130	
	2005	83	77	130	
牧草 Pasture		牧草 Pasture		940	100
	2003	365			
	2004	365			
	2005	210			
水旱轮作 Paddy-upland rotation		中稻 Middle rice	亚麻 / 洋葱 [#] Flax / Onion	806	86
	2003	104	158		
	2004	105	168		
	2005	108	163 [#]		
旱作 Upland cropping		高粱 / 玉米 [#] Sorghum / Maize	马铃薯 Potato	715	76
	2003	165	139		
	2004	164	140		
	2005	107 [#]			

标记#数据为标记#作物的对应值 Data signed by # means the corresponding values signed by # crops

(即有作物覆盖的天数)间存在较大差距, 且按牧草、对照、水旱轮作和旱作的顺序依次递减。其中, 旱作处理的土地利用时间最短, 3年合计仅为715 d; 水旱轮作处理土地的利用时间亦较短, 仅为806 d。与之相对应的是: 不同处理下的土地利用效率也与作物生长天数呈现出相同的变化趋势, 与种植牧草处理比较, 旱作处理的土地利用效率最低, 仅为76%; 水旱轮作处理的土地利用效率亦较低, 仅为86%; 对照(稻-稻-紫云英)处理的土地利用效率尽管相对较高, 但因早稻收割与晚

稻移栽期间有一个间隔期, 故土地利用效率亦仅92%。显而易见, 旱作和水旱轮作的土地休闲率较高, 这样在一定程度上有利于土地的地力恢复, 特别是有利于满足中稻分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期和灌浆乳熟期等对水热与光照的需求, 进而可能使水旱轮作获得高产。

2.2 不同处理对作物产量和经济效益的影响

不同处理下, 尽管作物生产有较大的差异, 但是, 由于种植的作物类型差异很大, 其收获部位、收获指

数也不相同, 因此, 不便将其产量直接进行比较。在本研究中, 笔者根据不同处理作物的收获物产量, 按照当地相应产品的平均价格, 计算出各处理的收入,

结合各处理种子、肥料及人工等投入情况, 最后得出不同处理的经济效益(表 2)。

从表 2 结果可以看出, 双季稻田改制后各处理的

表 2 不同处理下的作物产量和经济效益比较

Table 2 Comparison of crops yield and economic benefit under different cropping system treatments

处理 Treatment	作物 Crops	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)			2003~2005 年总产值 Total output value in 2003-2005 (yuan/ha)	2003~2005 年总投入 Total input in 2003-2005 (yuan/ha)	产投比 Ratio of output/input
		2003	2004	2005			
对照	早稻(干重, DW) Early rice	5249.5	5284.0	5791.5	136412.1	94467.4	1.4
CK	晚稻(干重, DW) Late rice	5892.0	5786.5	6218.3			
	紫云英(鲜重, FW) Astragali	12509.5	13082.0	14241.8			
牧草 Pasture	牧草(鲜重, FW) Pasture	46401.5	118760.5	130652.3	151358.1	65048.6	2.3
水旱轮作	中稻(干重, DW) Middle rice	6443.5	7539.5	7510.5	183735.6	92037.4	2.0
Paddy-upland of rotation	亚麻(干重, DW) Flax	2135.5	2515.5				
	洋葱(鲜重, FW) Onion			18960.0			
旱作	高粱(鲜重, DW) Sorghum	4427.0	5492.0		179766.6	103337.8	1.7
Upland cropping	玉米(干重, DW) Maize			3546.8			
	马铃薯(干重, FW) Potato		24997.5	11657.3			

各处理 2003~2005 年总产值为各种作物的经济产量与销售价格乘积之和, 早稻、晚稻、牧草、中稻、亚麻、洋葱、高粱、玉米、马铃薯销售价分别为 1.4、1.6、0.2、1.6、1.2、2.0、1.6、2.0、1.2 元/公斤; 投入包括种子、肥料和劳工费用

Total output value is referred to sum of production weight multiplying price. The price of early season rice, late season rice, pasture, middle season rice, flax, onion, sorghum, maize and potato is 1.4, 1.6, 0.2, 1.6, 1.2, 2.0, 1.6, 2.0, 1.2 yuan/kg respectively, which includes the expense of seeds, fertilizer and labor

总产值均呈现出不同程度的增加趋势, 产投比也相应具有不同程度的提高。本研究中不同处理 3 年的总产值比较, 对照处理仅 136 412.1 yuan/ha, 是所有处理中最低的; 而牧草、旱作和水旱轮作 3 个处理则分别达到 151 358.1、179 766.6 和 183 735.6 yuan/ha, 其增加幅度分别为 11.0%、31.8%和 34.7%。不同处理的产出投入比比较, 对照处理仅为 1.4, 而牧草、旱作和水旱轮作 3 处理则分别达到 2.3、1.7 和 2.0, 即如果按产投比计算, 种植牧草处理是各处理中最高的, 这与该地区近年大力发展畜牧业, 牧草的销售价格相对较高是有较大关系的; 水旱轮作处理中, 由于种植了经济价值较高的亚麻、洋葱等经济作物, 故其产投比也较高。上述结果说明, 由于作物种植结构的差异, 将在很大程度上影响单位土地的投入产出比, 或者说, 从获得较高投入产出比的角度出发, 应种植价值较高的经济作物。但是, 对于传统的双季稻-绿肥种植制度来说, 如何计算其经济效益, 特别是如何计算绿肥回田后节省氮肥、提高耕地质量的效益, 这可能是该地区值得深入研究和广泛宣传的一个问题。

根据表 2 的结果, 利用 SPSS 10.0 软件进行方差分析, 其结果表明, 各处理的 3 个重复间没有显著差异 ($F=2.26 < F_{0.05}$), 但各处理中稻、晚稻的产量年度

间有显著差异(中稻: $F=7.26 > F_{0.05}$; 晚稻: $F=20.50 > F_{0.05}$), 说明由于年度间气候条件等的差异, 导致水稻产量出现显著差异, 这种结果也进一步表明对南方双季稻区排灌条件较差的稻田进行改制是十分必要的。同时, 从牧草和水旱轮作 2 个处理作物产量的年际变化还可以发现, 尽管由于试验期间不同年份的气候差异可能对作物生长及产量具有一定的影响, 但本研究中水田改旱地初期, 由于土壤水分状况、土壤结构、土壤养分状况等均与旱地有一定的差异, 因而使旱地作物的生长受到一定的影响, 其产量也相应较低。此后, 随着土壤水分、养分及通气性等性质的变化, 牧草与水旱轮作处理的中稻和旱作产量也相应有所提高。这种结果提醒我们, 在水田改种旱地作物后, 必须加强水分管理, 使土壤的理化性质尽快由水田状况向旱地转变。同时, 水旱轮作种植制度下也可能有利于水稻生长, 从而提高其产量。

2.3 不同处理下土壤有机质及养分含量的变化

各处理在试验前后土壤有机质及养分等的变化如表 3 所示。

从表 3 结果可以看出, 各处理连续种植相应作物 3 年后, 土壤有机质及氮磷钾含量与试验前比较, 无论是耕作层还是犁底层土壤, 其 pH 值除种植牧草处

理外, 其余各处理土壤的变化幅度均较小。但各处理土壤有机质及氮磷钾的含量变化则均呈现出一定的差异, 与试验前比较, 不同处理的有机质含量均有一定幅度的提高, 其中耕作层土壤中以水旱轮作和牧草处理提高的幅度较大, 分别达 2.5 和 2.1 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 增加幅度达到 8.80% 和 7.39%; 增加幅度最小为对照 (稻-稻-紫云英) 处理, 仅提高 0.01 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 与试验前基本持平。犁底层有机质含量的变化趋势亦与耕作层相类似,

且增加幅度较耕作层大, 其中最大为种植牧草和水旱轮作两处理, 最小为对照 (稻-稻-紫云英) 处理。土壤有机质的这种变化趋势说明: 在红壤地区土壤、气候条件下, 由于高温高湿等气候条件的影响, 种植牧草或进行水旱轮作, 可能有利于土壤中有有机质的积累, 但在传统的稻-稻-紫云英和旱作条件下, 则土壤有机质的变化幅度反而不大, 其原因尚待进一步研究。

从各处理试验前后耕作层土壤中氮磷钾等养分的

表 3 不同处理试验前后土壤养分含量比较

Table 3 Comparison of soil nutrient before sown and after harvest under different treatments

处理 Treatments	层次 Layer (cm)	pH	有机质 OM ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷 Total P ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全钾 Total K ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碱解氮 Avail. N ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 Avail. P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾 Avail. K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
试验前土壤 Before experiment	耕作层 Cultivated horizon	5.3	28.4	1.52	0.47	15.2	137.3	15.3	80.0
	犁底层 Plow pan	6.2	15.2	0.90	0.30	14.1	99.8	9.7	70.3
对照 CK	耕作层 Cultivated horizon	5.7	28.5	1.49	0.47	14.1	119.0	8.7	45.7
	犁底层 Plow pan	6.0	20.9	1.04	0.39	14.9	97.9	7.9	40.8
牧草 Pasture	耕作层 Cultivated horizon	5.9	30.5	1.54	0.56	12.4	126.5	19.7	60.2
	犁底层 Plow pan	5.6	24.6	1.15	0.45	13.7	99.4	11.8	33.5
水旱轮作 Paddy-upland rotation	耕作层 Cultivated horizon	5.2	30.9	1.45	0.51	14.5	124.2	16.8	53.0
	犁底层 Plow pan	6.1	22.1	1.16	0.40	15.0	93.4	9.8	36.0
旱作 Upland cropping	耕作层 Cultivated horizon	5.4	30.2	1.52	0.40	14.4	128.8	10.1	45.7
	犁底层 Plow pan	6.1	21.1	1.07	0.34	10.6	84.3	8.9	33.5

变化情况看, 牧草处理中全氮、全磷和速效磷含量的增加幅度均较大, 分别为 0.02 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、0.09 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 4.4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 该处理速效钾含量的下降幅度亦是所有处理中较小的, 为 19.8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 但全钾含量下降幅度则较大, 达到 2.8 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。说明种植牧草由于在一定程度上增加了植物覆盖, 且牧草根系发达、对养分的活化能力较强等, 因此, 在一定程度上可使土壤有机质和部分养分的含量增加; 但与其同时, 牧草又是喜钾植物, 对钾素的需要量较大, 如果不增加钾素养分的投入, 则可能会在一定程度上加速土壤中钾素的亏缺。而在旱作及对照 (稻-稻-紫云英) 条件下, 土壤中全量和速效磷钾的含量均相对较低, 这可能在一定程度上与耕作、施肥等的影响有关。各处理耕层土壤碱解氮含量均出现不同程度的下降, 但试验结束后各处理间差异不大。种植旱作条件下, 耕层土壤中全磷含量出现下降, 可能与旱地作物对磷素的需求量相对较大等有关。

再从犁底层土壤氮磷钾含量的变化看, 尽管各处理全量氮磷含量均有不同程度的增加, 但其增加幅度亦以牧草处理较大, 且该处理碱解氮含量基本维持试

验前水平、速效磷含量还有一定幅度增加, 而其它处理碱解氮和速效磷钾含量则大多呈下降趋势; 各处理全钾、速效钾含量则均呈现出不同程度的下降。上述不同处理下土壤养分变化的结果说明, 在本试验按照测土配方施肥所设计的施肥量水平下, 由于作物类型的差异, 最终导致了土壤养分含量的较大差异, 因此, 根据土壤养分状况、作物对养分的需要等进行合理施肥, 不仅是必要的, 也是十分必需的。

3 讨论

3.1 双季稻田改制的可能性与可行性

在农产品供应不足、居民粮食需求得不到充足供应的年代, 中国政府提倡“以粮为纲”, 大力发展粮食生产, 这种政策对促进国家粮食生产的发展、确保粮食安全起到了十分重要的作用, 可以说, 这也是一个时期的历史的产物。但是, 随着中国改革开放的不断深入, 粮食产量稳步增长并逐步实现了主要农产品供给基本平衡、丰年有余的历史性转变, 调整农业产业结构、增加农民收入、提高农业综合生产能力已成为当前农业生产的主要任务。如何适应这种变化, 这

是摆在每一个农业科学工作者面前的十分重要和紧迫的任务。

近年来,随着中国农业结构调整的不断深入,国内关于稻田改制的研究也较多^[1,3,8-27]。尽管不同地区的人文状况、经济发展水平、土壤气候条件、种植模式、轮作方式等各不相同,但大多数研究结果均认为:稻田改制无论是在调节土壤结构、改善土壤肥力状况和促进作物生长发育、增加作物产量、提高经济效益方面,还是在提高农业生态系统的生产力、减轻农作物病虫害、增加土壤微生物数量、降低农田环境污染等方面,都具有十分显著的效果。如邹长明等^[3]的研究认为,在稻-稻-紫云英种植模式下,作物产量高,经济效益好。在发展水旱轮作研究方面,近年来的研究相对较多,如黄冲平、王人民等^[10,16]的研究认为,水旱轮作有利于作物生长和增加产量,王人民等^[16]经过 5 年的定位研究,发现稻田年内水旱轮作(二水一早的麦-玉米-稻)的晚稻产量比连作(一早二水的麦-稻-稻)晚稻产量显著增加,增产幅度达 6.54%~15.87%,平均达 10.75%,并认为其增产的原因主要是稻田年内水旱轮作不仅可促进晚稻分蘖早、分蘖快、数量多,使晚稻有效穗数明显增加,从而促进晚稻高产。

笔者在稻田改制已有研究基础上,研究了牧草、亚麻或洋葱-中稻(水旱轮作)、高粱或玉米-马铃薯(旱作)3种稻田改制模式,并与对照处理常规耕作制(稻-稻-紫云英)进行了比较,其结果认为,种植牧草模式具有省时、省工等优点,且产投比相对较高,再加上其可以促进当地畜牧业发展、增加肉蛋奶供应和提高人民生活水平,对调整农业产业结构具有十分重要的意义,因而是一种很好的稻田改制模式,建议当地推广。其次,水旱轮作模式增产和增值的效果均较好,产投比也相对较高,且土地休闲较长,也是一种较好的稻田改制模式。在旱作模式下,只要选择适宜当地种植和市场需求的作物,也可以获得较高的产量和较好的经济效益,同样是一种较好的稻田改制模式。

尽管稻田改制对获得较高经济效益和提高土壤肥力等具有一定的效果,但是也必须注意,稻-稻-肥(紫云英)种植制度是在长期实践基础上发展起来的适合南方亚热带地区的耕作制,同时,当前中国粮食生产形势仍然十分严峻,因此,稻田改制工作必须在稳定粮食生产的前提下全面、系统部署和规划,不能一头热。其次,应该认识到稻田改制不是南方地区耕作制

的全面改革,而只是对部分灌溉条件较差、不能满足双季稻需水要求、仅占双季稻面积 5%左右的稻田而言,因而只是局部的改制,不会对中国粮食安全造成影响。第三,在当前牧草、旱作种植不很普遍的南方地区,如何加强改制稻田的作物管理,可能是今后一段时期内值得研究的重要课题。

3.2 双季稻田改制后的田间管理等相关问题

由于不同作物对水分的需求数量、养分的需要量及比例、土壤理化性质等的要求不同,其田间管理、施肥等方式也有较大差异。因此,耕作制度的变化将同时带来施肥、田间管理方式等的变化,并对当地农民的思维甚至劳动和生活方式产生相应的影响,所以,在很大程度上也可以说是一场变革。对习惯于种植双季稻或双季稻绿肥的南方地区,将部分灌溉条件较差、水分供应不能完全满足种稻要求的农田进行改制,尽管可获得较高的经济效益并在一定程度上提高土壤肥力,但由于作物类型和环境条件发生改变,因此,在田间管理和施肥等方面也要求作相应的调整和完善,使其更快更好地向有利于稻田改制后作物生长的方向发展,这也是下一步必须继续深入研究的问题。

其次,长期以来,南方广大地区以种植水稻为主,以稻米为主导的销售和消费市场发育已经完全,当地居民的饮食习惯也主要是围绕稻米进行的,如果改种玉米、高粱、马铃薯等作物,一方面可用于发展畜牧业,但直接作为食物则对当地居民的饮食习惯可能是一个挑战。特别是种植牧草,因为其同时必须通过发展养殖业来消化,这种方式是否会被当地农民所接受,可能必须从农民的思想意识、生产习惯等方面做文章。而且,改种亚麻、洋葱等作物尽管能获得较好的经济效益,但由于其产品销售受市场的影响很大,因此,必须加快市场的培育。

4 结论

4.1 稻田改制有利于增加产值、提升产投比。本研究的不同处理中,以水旱轮作处理的产值最高,达到 183 735.6 yuan/ha,较对照增加 34.7%;旱作处理较对照增加 31.8%,但比水旱轮作处理低 2.9 个百分点;牧草处理较对照增加 11.0%;而对照处理则仅为 136 412.1 yuan/ha。各处理的产投比由高到低的顺序依次为牧草、水旱轮作、旱作和对照,分别为 2.3、2.0、1.7 和 1.4。旱作在稻田改制 3 种模式中产投比最低,仅略高于对照处理。

4.2 稻田改制对土壤有机质及养分含量等均具有一定的影响。不同处理比较,种植牧草处理耕作层的土壤有机质、全氮、全磷和速效磷含量分别较试验前增加 $2.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.02\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $0.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $4.4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 是所有处理中增加幅度较大的;犁底层土壤有机质及养分含量的变化趋势与耕作层亦大致相同。

4.3 稻田改制对土地的覆盖率也具有一定的影响。本试验中,旱作和水旱轮作条件下土地的休闲率较高,分别为 14% 和 24%,这可能在一定程度上有利于土地的休养。

4.4 在当前红壤地区双季稻田肥力状况、气候条件及作物栽培管理条件下,对灌溉条件较差、不能满足双季稻生产要求的稻田进行改制不仅是可行的、也是十分必要的。根据本研究的结果,建议在相应地区优先考虑改制为种植牧草或水旱轮作。

References

- [1] 段红平. 中国南方耕作制度面临的主要问题与研究现状. 耕作与栽培, 2000, (6):1-7.
Duan H P. Major problems and research status on cropping system in southern China. *Cultivation and Planting*, 2000, (6): 1-7. (in Chinese)
- [2] 钟武云. 湖南稻田耕作制度改革的形势与对策. 作物研究, 2003, 17(3):114-116.
Zhong W Y. Condition and strategy on paddy cropping system reform in Hunan. *Crop Research*, 2003, 17(3): 114-116. (in Chinese)
- [3] 邹长明, 陈福兴, 张马祥, 秦道株. 湘南红壤稻田不同轮作制度的土壤培肥和经济效益研究. 湖南农业科学, 1995, (6): 33-35.
Zou C M, Chen F X, Zhang M X, Qing D Z. Investigation on soil fertility and economic benefit of red soil under different rotation system in the south of Hunan Province. *Hunan Agricultural Science*, 1995, (6): 33-35. (in Chinese)
- [4] 刘更另. 论科学的耕作制度. 红壤丘陵区农业发展研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 201-205.
Liu G L. *Discussion on Scientific Cropping System*. Investigation on agricultural development in the upland region of red soil. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1995: 201-205. (in Chinese)
- [5] 刘巽浩. 农作学. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 15-22.
Liu X H. *Cropping Systems*. Beijing: Chinese Agricultural University Press, 2005: 15-22. (in Chinese)
- [6] 刘巽浩, 陈 阜. 中国农作制. 北京: 中国农业出版社, 2005: 85-94.
Liu X H, Chen F. *Chinese Cropping Systems*. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2005 : 85-94. (in Chinese)
- [7] 刘更另, 陈永安, 陈福兴. 双季稻绿肥轮作制度下的施肥体系. 红壤丘陵区农业发展研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 141-145.
Liu G L, Chen Y Z, Chen F X. *Fertilization Systems under Rice-rice-green Manure Rotation Cropping System*. Investigation on the agricultural development in the upland region of red soil. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1995: 141-145. (in Chinese)
- [8] 王人民, 丁元树, 陈锦新. 稻田年内水旱轮作对晚稻产量及生长发育的影响. 浙江农业大学学报, 1996, 22: 412-417.
Wang R M, Ding Y S, Chen J X. Effect on growth-development and yield of late japonica rice of the Paddy-Upland Yearly Rotation in paddy. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22: 412-417. (in Chinese)
- [9] 高菊生, 刘更另, 秦道珠, 邹长明, 黄平娜. 红壤稻田不同轮作方式对水稻生长发育的影响. 耕作与栽培, 2002, (2):1-2.
Gao J S, Liu G L, Qing D Z, Zou C M, Huang P N. Effects of cropping rotation in red soil paddy field on rice growth. *Cultivation and Planting*, 2002, (2): 1-2. (in Chinese)
- [10] 黄冲平, 丁鼎良. 水旱轮作对作物产量和土壤理化性状的影响. 浙江农业学报, 1995, 7(6): 448-450.
Huang C P, Ding D L. The effects of Paddy-Upland rotation on crop yield and soil physical and chemical characteristic. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 1995, 7(6): 448-450. (in Chinese)
- [11] 熊云明, 黄国勤, 王淑彬, 刘隆旺. 稻田轮作对土壤理化性状和作物产量的影响. 中国农业科技导报, 2004, (4): 42-45.
Xiong Y M, Huang G Q, Wang S B, Liu L W. Effect of crop rotation in paddy field on soil physical and chemical characteristics and crop yield. *Review of China Agricultural Science and Technolgy*, 2004, (4): 42-45. (in Chinese)
- [12] 曾希柏, 关光复. 稻田不同耕作制下有机质和氮磷钾的变化研究. 生态学报, 1999, 19(1): 90-55.
Zeng X B, Guan G F. The change of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium nutrient in the different cropping system. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 19(1): 90-55. (in Chinese)
- [13] 王子芳, 高 明, 秦建成, 慈 恩. 稻田长期水旱轮作对土壤肥力的影响研究. 西南农业大学学报, 2003, 25: 514-517, 521.
Wang Z F, Gao M, Qin J C, Ci E. Effect of long-term paddy-upland rotation on soil fertility of paddy fields. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science)*, 2003, 25: 514-517, 521. (in Chinese)
- [14] 王伯仁. 水旱轮作对红黄泥理化性质影响研究. 湖南农业科学, 1992, (3): 31-33.
Wang B R. Investigation on the effects of Paddy- Upland Rotation on the physical and chemical quality of reddish yellow paddy soil. *Hunan Agricultural Science*, 1992, (3):31-33. (in Chinese)

- [15] 陈福兴, 张马祥, 邹长明, 秦道珠. 不同轮作方式对培肥地力的作用. 土壤通报, 1996, 27(2): 70-72.
Chen F X, Zhang M X, Zou C M, Qin D Z. Role of different crop rotation on fostering soil fertility. *Chinese Journal of Soil Science*, 1996, 27(2): 70-72. (in Chinese)
- [16] 王人民, 丁元树. 稻田年内水旱轮作对土壤肥力的影响. 中国水稻科学, 1998, 12 (2): 85-91.
Wang R M, Ding Y S. Effect of the Paddy-Upland Yearly Rotation on the soil fertility. *Chinese Journal of Rice Science*, 1998, 12(2): 85-91. (in Chinese)
- [17] 丁元树, 王人民, 陈锦新. 稻田年内水旱轮作对土壤微生物和土壤速效养分的影响. 浙江农业大学学报, 1996, 22 (6): 561-565.
Ding Y S, Wang R M, Chen J X. Effect on microorganism and quick-acting nutrients in soil of Paddy-Upland Yearly Rotation in paddy. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22 (6): 561-565. (in Chinese)
- [18] 杨东方, 李学恒. 水旱轮作条件下土壤有机无机复合状况的研究. 土壤学报, 1998, 26 (1): 1-8.
Yang D F, Li X H. Study of soil organic and inorganic in the Paddy-Upland Rotation in paddy. *Acta Pedologica Sinica*, 1998, 26 (1): 1-8. (in Chinese)
- [19] Prasad R, Gangaiah B. Effect of crop residue management in rice-wheat cropping system on growth and yield of crops and on soil fertility. *Experimental Agriculture*, 1999, 34: 427-435.
- [20] Phillips I R. Phosphorus availability and sorption under alternating waterlogged and drying conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1999, 29(19/20): 3045-3059.
- [21] Phillips I R. Nitrogen availability and sorption under alternation waterlogged and drying conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1999, 30(1/2): 1-20.
- [22] Nguyen my hoa, Upendra Singh. Potassium supplying capacity of some lowland rice soils in the Mekong Delta. *Better Crops International*, 1998, 12(1): 11-15.
- [23] 黄国勤, 熊云明, 钱海燕, 王淑彬, 刘隆旺, 赵其国. 稻田轮作系统的生态学分析. 土壤学报, 2006, 23: 69-78.
Huang G Q, Xiong Y M, Qian H Y, Wang S B, Liu L W, Zhao Q G. Ecological analysis of crop rotation systems in paddy field. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 23: 69-78. (in Chinese)
- [24] 王淑彬, 黄国勤, 黄海泉, 刘隆旺. 稻田水旱轮作的生态经济效应研究. 江西农业大学学报(自然科学版), 2002, 24: 757-761.
Wang S B, Huang G Q, Huang H Q, Liu L W. Studies on effects of ecology and economy on Paddy-Upland Rotation. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2002, 24: 757-761. (in Chinese)
- [25] 王淑彬, 黄国勤, 刘隆旺. 稻田水旱轮作(第2年度)对农田杂草的影响. 江西农业大学学报, 2002, 24: 20-23.
Wang S B, Huang G Q, Liu L W. The effects of Paddy-Upland Rotation (the second year) on weeds growth in paddy field. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2002, 24: 20-23. (in Chinese)
- [26] 王淑彬, 黄国勤, 李年龙, 刘隆旺. 稻田水旱轮作(第3年度)的土壤微生物效应. 江西农业大学学报, 2002, 24: 320-323.
Wang S B, Huang G Q, Li N L, Liu L W. The effects of Paddy-Upland Rotation microorganisms of soil (the third year). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2002, 24: 757-761. (in Chinese)
- [27] 徐春梅, 章秀福, 王丹英, 符冠富, 韩 勃. 不同稻作前茬对水稻产量及植株形态、生理的作用效应, 见: 中国农学会耕作制度分会编, 现代农业与农作制度建设. 南京: 东南大学出版社, 2006: 361-365.
Xu C M, Qin X F, Wang D Y, Fu G G, Han B. Effects of former stubble under different rice systems on rice yield, plant shape and physiological role. In: Cropping System Branch of Chinese Agronomy Committee. *Modern Agriculture and Construction of Cropping Systems*. Nanjing: Southeast China University Press, 2006: 361-365. (in Chinese)
- [28] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989: 67-119.
Professional Committee of Agriculture Chemistry in Chinese Soil Society. *Regular Analytical Method of Agriculture Chemistry of Soil*. Beijing: Science Press, 1989: 67-119. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)