

不同耕作方式下覆草旱作稻田土壤肥力的特征*

王 栋 李辉信 胡 锋[†]

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要 通过始建于 2003 年中国南方季节性干旱区(江西省余江县)的双季稻田定位试验,于 2005 年~2007 年研究了水稻覆草旱作和免耕覆草旱作对稻田土壤理化性质和生物学性质的影响。结果表明,覆草旱作、免耕覆草旱作的耕层土壤容重和总孔隙度与常规水作的差异不显著。与常规水作相比,免耕覆草旱作显著提高土壤有机质、全氮、碱解氮和土壤基础呼吸;与常规水作相比,覆草旱作和免耕覆草旱作均显著提高土壤微生物量碳含量、脲酶和蔗糖酶活性。由此可知,覆草旱作和免耕覆草旱作可以作为该区积极推行的具有培肥地力作用的节水型稻作栽培模式。

关键词 水稻旱作; 免耕; 稻草覆盖; 双季稻田; 土壤肥力

中图分类号 S318; S157.42; S151.93; S154.2 **文献标识码** A

双季稻轮作(早稻一晚稻)是我国南方稻区的主要种植制度,并实行以高耗水量的传统淹水栽培为主。由于受到季节性干旱和近些年的农业生产用水量紧张等因素的影响,该区的晚稻生产常出现用水供需矛盾,导致了晚稻产量的不稳定;加之该区不合理的频繁耕作,以及在“双抢”时期因农民就地焚烧早稻秸秆而引起秸秆资源的处置不当等问题,进一步限制了该区双季稻的生产与可持续发展。因此,为了有效维持和提高该区双季稻轮作系统的作物生产力和推动双季稻田的可持续发展,积极寻求合理的水资源和秸秆资源配置的水稻栽培措施势在必行^[1]。有关研究表明,翻耕和免耕条件下水稻覆草旱作是该区发展抗旱节水和稳产的一种有效的节水型稻作栽培模式^[1-2]。

土壤肥力是土壤物理、化学和生物学性质的综合表现,而不同农业管理措施下农田土壤肥力的高低状况可以用来衡量不同农业管理措施之间的优劣。土壤微生物量、基础呼吸和土壤酶活性等生物学性状较土壤有机质和养分等理化性状更能敏感和迅速地反映出不同类型农业管理措施引起的土壤性质变化^[3]。土壤微生物量既是土壤有机质和土壤养分转化与循环的动力,又可以作为土壤中植物有效养分的储备库,其对土壤环境的改变极为敏感。土壤基础呼吸可用于衡量土壤微生物活性和土壤肥力的变化。土壤酶是土壤物质循环和能量流动的重要参与者,可作为农业土壤质量和生态系统功能的生物活性指标。近些年来,人们着重研究了基于翻耕条件下水稻覆盖旱作(覆草旱作和覆膜旱作)在稻麦轮作和单季稻田上的土壤肥力和 NPK 平衡的变化情况^[4-8],以及蔡昆争等^[9]研究了华南双季稻轮作上水稻主要生育期内覆膜旱作稻田土壤肥力的变化情况。这些研究结果表明,由于受到试验年限、覆盖材料和农业轮作制度等因素的影响,水稻覆盖旱作与传统淹水水稻栽培在土壤肥力指标上存在着较大的差异性变化。此外,秸秆还田和免耕等措施具有提高农田土壤有机质和养分含量,以及提高土壤微生物量和土壤酶活性的作用^[10]。然而,有关翻耕覆草旱作和免耕覆草旱作对我国南方季节性干旱区双季稻田土壤肥力影响的研究报道很少。

* 国家 863 计划节水农业重大专项项目(2002AA2Z4331)资助

[†] 通讯作者, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

作者简介: 王 栋(1981-),男,安徽岳西人,博士研究生,主要研究旱作稻田土壤肥力演变特征。E-mail: njau_wangdong@yahoo.com.cn

收稿日期: 2010-04-25; 收到修改稿日期: 2011-01-09

因此, 本文以我国南方丘陵季节性干旱区(江西省鹰潭市余江县)双季稻轮作系统上的田间定位试验地(始于2003年)为材料, 以常规水作为对照, 研究了翻耕和免耕条件下覆草旱作稻田土壤容重、土壤有机质和养分含量, 以及土壤微生物生物量碳、基础呼吸和土壤酶活性的变化情况。主要究目的是阐明翻耕覆草旱作和免耕覆草旱作是具有培肥地力作用的节水型稻作栽培模式。

1 材料与方 法

1.1 供试材料和实验处理

田间定位试验设置在江西省鹰潭市余江县(N 28°15', E 116°55')邓家埠水稻原种场。该区属于典型的中亚热带低丘岗地区, 晚稻生长期常出现季节性干旱。供试土壤为河流冲积土发育而成的潴育型水稻土, 试前土壤的基本理化性质为: 土壤有机质 25.5 g kg⁻¹, 全氮 1.54 g kg⁻¹, 碱解氮 95.1 mg kg⁻¹, 有效磷 16.1 mg kg⁻¹, 速效钾 34.2 mg kg⁻¹, pH 5.5。

实验始于2003年晚稻生长季, 以“早稻—晚稻—冬闲”为基础, 共设5个处理: (1) 常规水作(CF), 即翻耕与传统淹水栽培; (2) 覆草旱作(SM), 翻耕与水稻旱作, 晚稻田的稻草覆盖量为5000 kg hm⁻²; (3) 裸地旱作(ZM), 翻耕与水稻旱作; (4) 免耕覆草旱作(N-SM), 免耕与水稻旱作, 晚稻田的稻草覆盖量为5000 kg hm⁻²; (5) 免耕裸地旱作(N-ZM), 免耕与水稻旱作。各处理的面积为30 m², 3次重复, 随机区组排列。各处理田块周围均埋置双层塑料薄膜防止处理间的水分侧渗, 其薄膜入土深35 cm左右。在肥料施用方面, 整地前施用基肥(由尿素、过磷酸钙和氧化钾混合组成), 施用量分别为N 112.5 kg hm⁻², P₂O₅ 90 kg hm⁻², K₂O 75 kg hm⁻²; 在分蘖和抽穗期以前两次施用追肥, 用量分别为N 45 和 67.5 kg hm⁻²。本文中各处理的水分设置、耕作措施和田间农艺管理等信息请详见参考文献[11]。

1.2 样品采集与测定方法

于2005年和2006年晚稻成熟期, 每小区随机选取9个代表性样点, 采集耕层(0~15 cm)土壤得到混合样品, 挑出水稻根系和石砾, 过2 mm和1 mm筛后备用。于2007年晚稻成熟期, 每小区随机选取3个代表性样点, 用环刀采集0~5、5~10和10~15 cm土层的土壤样品。土壤基本理化性状采用常规分析法测定^[12]。土壤容重用环刀法测定, 土壤总孔隙度通过土壤容重和土粒密度进行计算^[13], 土粒密度采用估计值为2.65 g cm⁻³。土壤微生物生物量碳(MBC)采用氯仿—K₂SO₄浸提法^[14-15]。土壤基础呼吸采用室内密闭培养法测定^[16]。土壤酶活性的测定依据关松荫^[17]的方法。

1.3 数据分析与处理

试验数据采用SPSS11.5软件进行统计分析。表中数据为3个重复的平均值。

2 结果与讨论

2.1 不同耕作方式下覆草旱作对稻田土壤容重和总孔隙度的影响

土壤容重是土壤重要的物理性状, 可以反映出土壤结构的稳定状态和通气性状况, 并影响土壤水肥气热和作物根系在土壤中的穿插。由表1可知, 裸地旱作较常规水作显著降低5~10 cm土层土壤容重和显著提高该层土壤总孔隙度, 这表明裸地旱作明显改善稻田土壤通气性。分析其原因可能是与常规水作使得淹水条件下土壤水稳性团粒被分散开有关^[18]。而覆草旱作、免耕裸地旱作和免耕覆草旱作较常规水作对稻田耕层(0~15 cm)土壤容重和土壤总孔隙度没有产生明显影响。在本研究中, 覆草旱作与常规水作的土壤容重和土壤总孔隙度在0~5 cm、5~10 cm和10~15 cm土层均无显著性差异, 这与范明生^[13]的研究结果相似, 即在四川省温江县稻麦轮作系统上, 覆麦秸旱作较常规

水作对 0~12 cm 和 12~24 cm 土层的土壤容重和土壤总孔隙度的影响不大。

表 1 不同耕作方式下覆草旱作对稻田耕层土壤容重和总孔隙度的影响

Table 1 Soil bulk density and total porosity in the soil profile (0~15 cm depth) as affected by upland rice cultivation with straw mulching and tillage (Year 2007)

处理 Treatment	容重 Bulk density (g cm ⁻³)			总孔隙度 Total porosity (%)		
	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm
CF	1.22a	1.31a	1.46abc	53.92a	50.58b	45.08ab
ZM	1.13a	1.19b	1.35c	57.28a	55.14a	48.90a
SM	1.14a	1.24ab	1.49a	57.08a	53.14ab	43.88b
N-ZM	1.16a	1.30a	1.47ab	56.27a	50.94b	44.56b
N-SM	1.16a	1.29a	1.36bc	56.43a	51.15b	48.69a

注：同一列数据中带有字母不同者表示处理间差异达到显著性水平 ($p < 0.05$, 邓肯氏法) Note: Data with different letters are significantly different ($p < 0.05$, Duncan's test) in the same column

2.2 不同耕作方式下覆草旱作对稻田土壤有机质和养分含量的影响

土壤有机质和养分含量状况能反映出土壤肥力水平的高低。由表 2 可知, 在 2005 年, 与常规水作相比, 裸地旱作和覆草旱作对土壤有机质和养分含量的影响不显著; 而在 2006 年, 裸地旱作的土壤有机质和碱解氮含量显著低于常规水作, 以及覆草旱作的全氮和速效钾含量显著高于常规水作。在 2005 年和 2006 年, 免耕覆草旱作的土壤有机质、全氮和碱解氮含量均显著高于常规水作 (表 2)。由此可知, 在南方季节性干旱区的双季稻轮作系统下, 与传统淹水栽培相比, 晚稻田实施免耕覆草旱作和连续长期实施的覆草旱作能明显提高土壤肥力, 而连续长期的裸地旱作有可能耗减稻田土壤肥力。在本文中, 双季稻轮作系统下实施的连续 4 年后的覆草旱作与常规水作在土壤有机质和养分含量上所存在的差异性趋势, 与 Liu^[4]、Fan^[5]、李勇^[8]等研究结果相似, 也就是长期连续覆盖农作物残茬 (稻草、麦秸) 能提高稻作系统土壤肥力。此外, 长期连续覆盖麦秸旱作较常规水作可以提高稻作系统土壤 NPK 平衡的盈余量^[4, 13]。

表 2 不同耕作方式下覆草旱作对稻田土壤有机质、养分含量和 pH 的影响 (2005 年和 2006 年)

Table 2 Effects of upland rice cultivation with straw mulching and tillage on soil organic matter, soil nutrients and pH of the field (Year 2005 and 2006)

年份 Year	处理 Treatment	有机质 OM (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	碱解氮 Alkalystic N (mg kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	有效磷 Olsen-P (mg kg ⁻¹)	速效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	pH (1:2.5 soil/water)
2005	CF	27.62bc	1.53b	119.6b	0.44a	12.04a	40.32a	5.78b
	ZM	27.27c	1.51b	118.1b	0.42a	12.94a	35.51a	6.09a
	SM	28.66ab	1.54ab	136.8a	0.45a	13.78a	42.83a	5.94ab
	N-ZM	27.64bc	1.55ab	124.0b	0.40a	12.17a	36.49a	6.13a
	N-SM	28.87a	1.60a	139.2a	0.43a	12.95a	42.35a	6.09a
2006	CF	28.64bc	1.54b	149.1b	0.59a	20.95ab	32.63bc	5.84a
	ZM	27.37d	1.52b	129.1c	0.58a	19.63b	32.03bc	6.03a
	SM	29.49b	1.60a	155.9b	0.61a	25.73a	37.83a	5.97a

N-ZM	28.03cd	1.55b	156.2b	0.57a	20.45b	29.57c	5.96a
N-SM	30.61a	1.64a	198.0a	0.63a	24.77ab	34.63ab	5.91a

注：同一年份同一列数据中带有字母不同者表示处理间差异达到显著性水平 ($p < 0.05$, 邓肯氏法), 下同 Note: Data with different letters are significantly different ($p < 0.05$, Duncan's test) in the same column and the same year. The same below

在本研究中, 2005 年和 2006 年 4 种旱作栽培模式的土壤全磷和有效磷含量均与常规水作表现出差异不显著 (表 2)。分析其原因可能是: (1) 稻田通过长期施用磷肥而使得土壤全磷和有效磷含量的背景值增大; (2) 外源施入的稻草秸秆本身的含磷量较少。在 2005 年, 与常规水作相比, 连续 3 年的裸地旱作、免耕裸地旱作和免耕覆草旱作显著提高土壤 pH, 这或许是与本试验中旱作处理在早稻季实施淹水并在晚稻季实施旱作的水分管理形成的水旱轮作有关^[19]。而在 2006 年, 连续 4 年的所有水稻旱作处理的土壤 pH 与常规水作的差异不显著。本文中 pH 的变化情况与 Liu^[4]和 Fan^[5]在稻麦轮作系统上的研究结果相似。

2.3 不同耕作方式下覆草旱作对稻田土壤微生物生物量碳和基础呼吸的影响

土壤微生物生物量碳不仅是土壤有机质中活性较高的部分, 而且是土壤养分转化的活性库或源, 以及在很大程度上能反映土壤微生物的数量; 土壤基础呼吸可以反映土壤微生物群体的生物活性^[3]。由表 3 可知, 在 2005 年和 2006 年, 与常规水作相比, 裸地旱作显著降低土壤微生物生物量碳含量, 这说明裸地旱作明显减少土壤微生物数量。这一结果与 Li^[6]在浙江省 5 个不同生态区的单季稻上实施的裸地旱作与常规水作的研究结果相似。分析其原因主要是微生物量与土壤水分有着密切关系, 即在一定范围内土壤微生物量随着土壤含水量的增加而增加^[20], 干旱可以导致土壤微生物生物量碳和生物量氮含量的减少^[21]。

表 3 不同耕作方式下覆草旱作对稻田土壤微生物生物量碳、基础呼吸和土壤酶活性的影响 (2005 年和 2006 年)

Table 3 Effects of upland rice cultivation with straw mulching and tillage on soil microbial biomass organic carbon (MBC), basal respiration (BR) and soil enzyme activities of the field (Year 2005 and 2006)

年份 Year	处理 Treatment	微生物生物 量碳 MBC (mg kg ⁻¹)	基础呼吸 BR (mg CO ₂ -C kg ⁻¹ h ⁻¹)	过氧化氢酶 Catalase (×10 ⁻² KMnO ₄ ml g ⁻¹ 20 min ⁻¹)	脲酶 Urease (mg NH ₄ ⁺ -N g ⁻¹ 24 h ⁻¹)	蔗糖酶 Saccharase (mg glucose g ⁻¹ 24 h ⁻¹)
2005	CF	523.4c	1.71bc	13.05c	1.19b	6.11c
	ZM	457.4d	1.57c	13.48bc	1.21b	5.75d
	SM	572.2b	1.82ab	14.66a	1.58a	6.39b
	N-ZM	492.5cd	1.72bc	14.05ab	1.18b	5.82d
	N-SM	679.8a	1.95a	14.28ab	1.56a	6.67a
2006	CF	561.5b	1.88b	15.36a	1.39b	6.21b
	ZM	526.1c	1.81b	15.51a	1.27b	5.81c
	SM	600.9a	1.93b	15.83a	1.52a	6.54a
	N-ZM	537.3bc	1.87b	15.49a	1.20c	5.91c
	N-SM	625.3a	2.18a	16.20a	1.58a	6.75a

由表 3 可知, 在 2005 年和 2006 年, 与常规水作相比, 覆草旱作显著提高土壤微生物生物量碳, 免耕覆草旱作显著提高土壤微生物生物量碳和基础呼吸。加之由表 4 所示, 土壤微生物生物量碳和基础呼吸均分别与有机质、全氮和碱解氮呈显著的正相关关系。这一结果表明, 与传统淹水栽培相比, 覆草旱作和免耕覆草旱作均能明显提高稻田土壤微生物数量, 进而提高稻田土壤肥力。分析其

原因主要是, 稻草还田和免耕措施为土壤微生物提供了大量的碳源, 以及营造了适宜的土壤微生物生长环境^[22]。本文中, 裸地早作、覆草早作与常规水作在土壤微生物生物量碳含量上的差异性趋势与李勇^[8]的研究结果相似。

2.4 不同耕作方式下覆草早作对稻田土壤酶活性的影响

土壤酶是由土壤微生物、动植物活体分泌及动植物残体分解释放于土壤中的一类具有催化能力的生物活性物质^[17]。土壤过氧化氢酶广泛存在于植物体和土壤中, 它是由生物呼吸过程和有机物的生物化学氧化反应产生的。土壤中真菌、细菌和植物根系均能分泌过氧化氢酶, 将过氧化氢分解为水和氧, 从而解除过氧化氢的毒害。由表 3 可知, 2005 年覆草早作和免耕覆草早作的过氧化氢酶较常规水作显著增加, 这在一定程度上说明, 与传统淹水栽培相比, 覆草早作和免耕覆草早作能减轻过氧化氢对稻田土壤微生物活性的毒害作用, 增强土壤微生物的活性。

土壤脲酶是一种酰胺酶, 直接参与尿素形态转化过程, 能酶促有机质分子中肽键的水解, 其活性高低可以反映出土壤供氮水平, 以及土壤脲酶活性与微生物数量、土壤有机质、全氮和速效氮有着密切关系^[23]。这一密切关系在本文中也得到了体现, 即土壤脲酶活性与土壤微生物生物量碳、基础呼吸、有机质、全氮和碱解氮均呈现显著正相关(表 4)。由表 3 可知, 在 2005 年和 2006 年, 覆草早作和免耕覆草早作较常规水作均显著提高土壤脲酶活性。由此可知, 与传统淹水栽培相比, 覆草早作和免耕覆草早作可通过提高土壤脲酶活性, 使得土壤中稳定性较高的有机氮朝向有效氮转化, 从而明显增强稻田土壤供氮能力。

土壤蔗糖酶(或转化酶)是参与土壤有机碳循环的酶, 其活性强弱可以反映出土壤熟化程度和肥力高低水平, 对增加土壤中易溶性营养物质起着重要作用^[23]。由表 3 可知, 在 2005 年和 2006 年, 与常规水作相比, 裸地早作显著降低土壤蔗糖酶活性。分析其原因可能主要是与裸地早作条件下土壤处于干旱胁迫状态而导致土壤微生物的数量和活性降低有关^[24]。在本文中, 与常规水作相比, 覆草早作和免耕覆草早作均显著提高土壤蔗糖酶活性(表 3), 说明覆草早作和免耕覆草早作能明显促进稻田土壤有机碳的转化, 进而提高土壤肥力。

本文中覆草早作和免耕覆草早作较常规水作的土壤脲酶和蔗糖酶活性显著提高, 分析其原因在于, (1) 施入的稻草秸秆经过分解后可为土壤微生物提供充足的能源和碳源, 加速微生物繁殖与生长, 同时秸秆本身也含有一定数量的酶; (2) 免耕稻草覆盖措施不仅提高土壤有机质和养分含量, 而且能有效改善土壤水肥气热, 营造出良好的微生物生境, 提高土壤微生物数量和活性, 从而提高了土壤脲酶和蔗糖酶活性^[10]。此外, 本文中裸地早作与常规水作在过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶上的差异变化, 与蔡争昆等^[9]的研究结果有所不同, 可能是与试验处理和取样时期等因素有关。

2.5 土壤微生物量和土壤酶活性与土壤养分的相关性分析

土壤微生物生物量和土壤酶活性与土壤化学性质之间存在着极为密切的关系, 土壤有机质和养分含量高低在很大程度上制约着土壤微生物量及土壤酶活性, 与此同时, 土壤微生物生物量及土壤酶活性又反过来影响着土壤有机质和养分含量的变化, 两者之间存在着相互调节和转化的关系, 因此分析它们之间的关系极为重要^[10]。由此, 本文将 2005 年和 2006 年测得的土壤化学性质与微生物生物量碳、基础呼吸和土壤酶活性进行 Pearson 相关分析(表 4)。通过分析可知, 土壤微生物生物量碳、基础呼吸、过氧化氢酶、脲酶和蔗糖酶均分别与土壤有机质、全氮、碱解氮之间呈显著的正相关关系(表 4)。结合表 2 和表 3 可知, 在 2005 年和 2006 年, 土壤微生物生物量碳、脲酶和蔗糖酶较土壤有机质和土壤养分更能敏感反映出不同水稻栽培措施引起的土壤肥力的变化。由此得出, 土壤微生物生物量碳、脲酶和蔗糖酶与土壤肥力关系紧密, 可以用来评价长期不同节水型稻作栽培模式下稻田土壤质量变化的生物学指标^[3]。

表 4 土壤生物学与化学指标之间的相关性分析

Table 4 The correlation analyses of soil biological and chemical properties during year 2005 and 2006 (n=30)

	有机质 OM	全氮 Total N	全磷 Total P	碱解氮 Alkalystic N	有效磷 Olsen-P	速效钾 Available K	pH	脲酶 Urease
微生物生物量碳 MBC	0.742**	0.724**	0.329	0.564**	0.345	0.376*	-0.085	0.775**
基础呼吸 BR	0.823**	0.805**	0.613**	0.872**	0.565**	0.043	-0.190	0.690**
过氧化氢酶 Catalase	0.652**	0.522**	0.852**	0.721**	0.812**	-0.301	0.001	0.439*
脲酶 Urease	0.759**	0.704**	0.253	0.562**	0.291	0.382*	-0.096	1.000
蔗糖酶 Saccharase	0.820**	0.737**	0.324	0.602**	0.384*	0.395*	-0.144	0.824**

注：*，**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关性达到显著水平 Note: *, ** show that correlations are significant at the 0.05 and 0.01 level, respectively

2.6 覆草旱作和免耕覆草旱作的今后研究展望

依据上述分析结果，在我国南方季节性干旱区双季稻轮作系统上，晚稻生长季实行水稻覆草旱作和免耕覆草旱作或许可以替代传统淹水水稻栽培而成为具有培肥地力和合理利用秸秆资源的节水型稻作模式。其原因是，一方面，免耕覆草旱作和长期实施的覆草旱作较当地常规淹水栽培能明显提高稻田土壤肥力；另一方面，覆草旱作和免耕覆草旱作通过早稻茬秸秆归还覆盖于晚稻田的措施，避免了该区农民在“双抢”时期由于抢种晚稻和劳动力少而就地燃烧大量早稻茬秸秆所造成的大气环境污染，从而合理有效地利用了早稻茬秸秆资源。由于本文仅对土壤肥力性状进行了测定分析，所以今后有必要从整个双季稻轮作的角度出发，结合覆草旱作和免耕覆草旱作水稻的吸肥特性，通过阐明这两种栽培模式下稻田土壤 NPK 养分平衡的变化状况，更进一步地为培育和提升覆盖旱作稻田土壤肥力（或质量）提供理论依据。

3 结 论

与常规水作相比，覆草旱作和免耕覆草旱作对耕层土壤容重和总孔隙度的影响不显著。裸地旱作较常规水作显著降低 5~10 cm 土层土壤容重和显著提高该层土壤总孔隙度。与常规水作相比，免耕覆草旱作显著提高土壤有机质、全氮、碱解氮含量和土壤基础呼吸；覆草旱作和免耕覆草旱作均显著提高土壤微生物生物量碳、土壤脲酶和蔗糖酶活性。裸地旱作较常规水作显著降低土壤微生物生物量碳含量和蔗糖酶活性。土壤微生物生物量碳、脲酶和蔗糖酶，可以作为评价旱作稻田土壤肥力（质量）变化的生物学指标。

参 考 文 献

- [1] 秦江涛. 水稻不同栽培模式的节水效应、生产力特征及土壤微生物学性状研究. 南京: 南京农业大学资源与环境科学学院, 2007. Qin J T. Water use efficiency, crop productivity and soil microbial characteristics under different water-saving rice cultivation systems (In Chinese). Nanjing: College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, 2007
- [2] Wang D, Li H X, Qin J T, et al. Growth characteristics and yield of late-season rice under no-tillage and non-flooded cultivation with straw mulching. *Rice Sci*, 2010, 17(2): 141—148
- [3] 唐玉姝, 魏朝富, 颜廷梅, 等. 土壤质量生物学指标研究进展. *土壤*, 2007, 39(2): 157—163. Tang Y S, Wei C F, Yan T M, et al. Biological indicator of soil quality: A review (In Chinese). *Soils*, 2007, 39(2): 157—163
- [4] Liu X J, Wang J C, Lu S H, et al. Effects of non-flooded mulching cultivation on crop yield, nutrient uptake and nutrient balance in rice-wheat cropping systems. *Field Crops Res*, 2003, 83: 297—311
- [5] Fan M S, Liu X J, Jiang R F, et al. Crop yields, internal nutrient efficiency, and changes in soil properties in rice-wheat rotations under non-flooded mulching cultivation. *Plant Soil*, 2005, 277: 265—276

- [6] Li Y S, Wu L H, Lu X H, et al. Soil microbial biomass as affected by non-flooded plastic mulching cultivation in rice. *Biol Fertil Soils*, 2006, 43: 107—111
- [7] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, et al. Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition. *Soil Tillage Res*, 2007, 93: 370—378
- [8] 李勇. 种稻方式对稻麦轮作系统中作物产量、氮肥利用和土壤肥力的影响. 南京: 南京农业大学资源与环境科学学院, 2007. Li Y. Effects of different rice cultivation on crop yield, nitrogen use efficiency and soil fertility in rice-barely rotation system (In Chinese). Nanjing: College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, 2007
- [9] 蔡昆争, 骆世明, 方祥. 水稻覆膜旱作对根叶性状、土壤养分和土壤微生物活性的影响. *生态学报*, 2006, 26(6): 1 903—1 911. Cai K Z, Luo S M, Fang X. Effects of film mulching of upland rice on root and leaf traits, soil nutrient content and soil microbial activity (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(6): 1 903—1 911
- [10] 孙建, 刘苗, 李立军, 等. 免耕与留茬对土壤微生物量 C、N 及酶活性的影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5 508—5 515. Sun J, Liu M, Li L J, et al. Influence of non-tillage and stubble on soil microbial biomass and enzyme activities in rain-fed field of Inner Mongolia (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5 508—5 515
- [11] 王栋, 李辉信, 李小红, 等. 覆草旱作对稻田土壤活性有机碳的影响. *中国农业科学*, 2011, 44(1): 75—83. Wang D, Li H X, Li X H, et al. Soil labile organic carbon as affected by non-flooded rice cultivation with straw mulching under different tillages (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(1): 75—83
- [12] 鲍士旦. 土壤化学分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25—108. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000: 25—108
- [13] 范明生. 水旱轮作系统养分资源综合管理研究. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2005. Fan M S. Integrated plant nutrient management for rice-upland crop rotation system (In Chinese). Beijing: College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, 2005
- [14] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol Biochem*, 1987, 19: 703—707
- [15] Joergensen R G. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the K_{EC} value. *Soil Biol Biochem*, 1996, 28(1): 25—31
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986: 294—329. Guan S Y. Soil enzyme and its research methods (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1986: 294—329
- [18] Yang C M, Yang L Z, Ouyang Z. Organic carbon and its fractions in paddy soil as affected by different nutrient and water regimes. *Geoderma*, 2005, 124: 133—142
- [19] 曾家玉, 熊楚国, 吴平, 等. 稻田免耕水旱轮作对作物产量及土壤生态效应的影响. *湖南农业科学*, 2009(8): 34—36. Zeng J Y, Xiong C G, Wu P, et al. Effects of no-tillage and upland rotation on crop yield and soil ecology (In Chinese). *Hunan Agricultural Sciences*, 2009(8): 34—36
- [20] 翟瑞常, 张之一, Kachanoski R G K, 等. 耕作对土壤生物碳动态变化的影响. *土壤学报*, 1996, 33(2): 201—210. Zhai R C, Zhang Z Y, Kachanoski R G K, et al. Effects of tillage on dynamics of soil biomass carbon (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(2): 201—210
- [21] Jensen K D, Beier C, Michelsen A, et al. Effects of experimental drought on microbial processes in two temperate heathlands at contrasting water conditions. *Appl Soil Ecol*, 2003, 24: 165—176
- [22] Kushwaha C P, Tripathi S K, Singh K P. Variations in soil microbial biomass and N availability due to residue and tillage management in a dryland rice agroecosystem. *Soil Tillage Res*, 2000, 56: 153—166
- [23] 严昶升. 土壤肥力研究方法. 北京: 农业出版社, 1988. Yan C S. Research methods of soil fertility (In Chinese). Beijing: Agriculture Press, 1988

- [24] Sardans J, Peñuelas J. Drought decreases soil enzyme activity in a Mediterranean *Quercus ilex* L. forest. *Soil Biol Biochem*, 2005, 37: 455—461

EFFECTS OF MULCHING AND TILLAGE ON SOIL FERTILITY OF UPLAND RICE FIELD

Wang Dong Li Huixin Hu Feng[†]

(*College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract A field experiment was carried out during the period from 2005 to 2007 to investigate effects straw mulching and tillage on soil physical, chemical and biological properties of upland rice field that has been under the double-rice cropping system since 2003 in the seasonal arid region of South China (Yujiang County, Jiangxi Province). Results show that no significant difference was found between the treatments, i.e. conventional flooded rice cultivation (CF), upland rice cultivation with straw mulching (SM), and non-tillage upland rice cultivation with straw mulching (N-SM) in soil bulk density and total porosity in 0~ 15 cm depth soil layer. But Treatment N-SM significantly increased soil organic matter, total N, alkalystic N and soil basal respiration, and both Treatments SM and N-SM significantly increased soil microbial biomass carbon content and the activities of urease and saccharase, as was compared with Treatment CF. Therefore, the findings suggest that upland rice cultivation with straw mulching and non-tillage upland rice cultivation with straw mulching may be cited as novel water-saving and fertility building rice cultivation models for extrapolation in this region.

Key words Upland rice cultivation; Non-tillage; Straw mulching; Double-rice cropping system; Soil fertility