

# 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价

刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 张洪程\*

(扬州大学江苏省作物遗传生理重点实验室, 扬州 225009)

**摘要:** 该文通过大田小区和网室水泥池微区 3 年的定位试验, 比较研究了稻麦两熟条件下免耕套播秸秆覆盖 NTS、免耕套播高茬 NT、翻耕秸秆还田 CTS、翻耕秸秆不还田 CK 共 4 个处理对土壤肥力的影响, 并运用数值化方法综合评价土壤肥力。结果表明: 免耕和秸秆还田可提高土壤有机质、速效磷、速效钾等土壤养分含量, 且主要是 0~7 cm 增加造成的。土壤肥力数值化综合评价表明, 土壤肥力免耕秸秆覆盖好于免耕高茬, 翻耕秸秆还田好于翻耕不还田, 不同处理养分肥力指标以翻耕秸秆覆盖处理最高, 翻耕不还田最低; 但综合肥力指标却以翻耕秸秆还田最高, 免耕高茬最低, 主要受土壤容重影响。从不同层次看, 综合肥力指标和养分肥力指标均以上层 0~7 cm 较高, 下层 14~21 cm 较低, 尤其免耕秸秆覆盖和免耕高茬处理。

**关键词:** 稻麦两熟; 土壤耕作; 秸秆还田; 土壤肥力; 综合评价

**中图分类号:** S513.06

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-5-0051-06

刘世平, 陈后庆, 聂新涛, 等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 51-56.

Liu Shiping, Chen Houqing, Nie Xintao, et al. Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 51-56.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

稻麦免耕套种与秸秆还田是稻麦生产的一种新方式, 近年来正在稻麦两熟地区示范推广应用, 并取得了较好的社会、经济和生态效益<sup>[1-3]</sup>。20 世纪 70 年代以前, 稻套麦由于物质投入不足、管理粗放、配套技术跟不上等原因, 产量较低, 被视为“懒种麦”。20 世纪 80 年代后期到 90 年代, 稻套麦免耕栽培方式的高产配套技术得到完善, 并可抗湿播种, 产量水平有了大幅度的提高; 同时开展了麦套稻免耕栽培技术的研究, 目前, 其配套技术也基本成熟, 推广面积不断扩大。

免耕与秸秆还田对土壤理化性质影响研究较多<sup>[4-7]</sup>, 但对土壤肥力还缺乏综合评价。土壤肥力是土地生产力的基础, 水、肥、气、热是构成土壤肥力的重要因素。一般在生产应用上, 常用 N、P、K 和有机质等养分含量的多少来衡量土壤肥力的高低。由于肥力因素众多, 且此消彼长, 很难全面清楚地看出土壤肥力真正的水平高低。曹承绵<sup>[8]</sup>首先提出用数值化综合评价黑土肥力的方法。近年来, 越来越多的研究者把聚类分析、因子分析、主成份分析和模糊数学等应用于土壤肥力的综合评价<sup>[9-13]</sup>, 得出反映土壤肥力高低的综合性指标, 衡量耕地

的持续生产力。本文根据 3a 的试验资料, 对免耕套种与秸秆还田的土壤肥力进行评价, 旨在进一步阐明免耕与秸秆还田对土壤肥力的影响, 为进一步推广稻麦免耕套种与秸秆还田技术, 促进稻麦两熟地区农业的可持续发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试地点

试验于 2001 年 10 月开始在扬州大学江苏省作物遗传生理实验室试验田进行, 供试土壤为砂壤土, 稻麦两熟, 分大田小区和网室微区试验。供试土壤的主要化学性状见表 1。

表 1 供试土壤的主要化学性状

Table 1 Soil chemical properties of experimental soil

项目	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	全氮 /g · kg <sup>-1</sup>	碱解氮 /mg · kg <sup>-1</sup>	速效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	速效钾 /mg · kg <sup>-1</sup>
大田	14.7	0.97	87.9	30.8	75.5
网室	15.7	1.13	93.2	49.3	87.6

### 1.2 试验设计

试验设 4 个处理: ①免耕套播秸秆覆盖 (No-tillage, inter-planting and straw mulching, NTS), 稻季覆盖麦秸, 麦茬高 25~30 cm, 麦季覆盖稻秸, 稻茬高 20~25 cm, 每季还田秸秆量为 4500 kg/hm<sup>2</sup>; ②免耕套播高茬 (No-tillage, inter-planting and high stubble remaining, NT), 麦茬高 25~30 cm, 稻茬高 20~25 cm, 麦稻各季还田秸秆量为 3000 kg/hm<sup>2</sup>; ③翻耕秸秆还田 (Conventional tillage and straw returning, CTS), 耕深 20 cm, 秸秆稻季翻埋麦季覆盖, 每季还田秸秆量为 3000 kg/hm<sup>2</sup>; ④翻耕秸秆不还田 (Conventional tillage, CT), 为对照 (CK)。还

收稿日期: 2007-04-26 修订日期: 2008-01-13

基金项目: 国家农业科技成果转化基金 (02EFN3200230); 科技部重点攻关项目 (2004BA520A03); 科技部国家科技支撑计划 (2006BAD02A03); 农业部重大研究专项 (060305B)

作者简介: 刘世平 (1963-), 男, 江苏如东人, 副教授, 博士, 主要从事土壤耕作和农业生态研究。扬州 扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 225009。Email: lsp123@yzu.cn

\*通讯作者: 张洪程, 教授, 博士生导师, 主要从事作物轻型栽培与耕作技术研究。扬州 扬州大学 江苏省作物遗传生理重点实验室, 225009。

Email: qgdai@yzu.edu.cn

田秸秆为机收切碎的秸秆, 长度为 10 cm 左右。大田小区面积为 50 m<sup>2</sup>, 网室小区面积 2 m<sup>2</sup>, 随机排列, 均重复 3 次。

### 1.3 供试品种与种植方式

#### 1) 供试品种

小麦品种为扬麦 11 号, 水稻品种为华粳 3 号。

#### 2) 种植方式

免耕小麦 10 月底套播, 套播后 2 d 内收割水稻, 翻耕田 11 月初播种, 小麦播量 135 kg/hm<sup>2</sup>。水稻 5 月 15 日~17 日秧田落谷, 同时免耕处理套种水稻, 播量 90 kg/hm<sup>2</sup>, 播后灌水一次, 小麦 5 月 28 日~30 日收获, 共生期 14~15 d; 翻耕处理 6 月 10 日~11 日移栽水稻, 行株距 25 cm×13.3 cm, 双本栽插。稻季和麦季均施基肥复合肥 750 kg/hm<sup>2</sup> (N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: K<sub>2</sub>O 为 15%: 15%: 15%), 稻季追尿素 245 kg/hm<sup>2</sup>, 整个水稻生育期折施纯 N 225 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥与穗肥比例为 6:4; 麦季追尿素 147 kg/hm<sup>2</sup>, 整个小麦生育期折施纯 N 180 kg/hm<sup>2</sup>, 基肥与穗肥比例为 7:3。

### 1.4 测定项目及方法

在小麦、水稻收获后分 0~7, 7~14, 14~21 cm 共 3 层取样测定耕层土壤容重和土壤有机质、全氮与速效氮磷钾等理化性质。土壤容重用环刀法测定, 土壤有机质用重铬酸钾外加热法测定, 全氮用开氏法测定, 土壤速效 N 用碱解扩散法测定土壤碱解 N; 速效 P 用

0.5NNaHCO<sub>3</sub> 浸提钼锑抗比色测定; 速效 K 用 NH<sub>4</sub>OAc 浸提火焰光度法测定。以 2002 年 5 月~2005 年 5 月 3 年试验测定值的平均值作为该处理的指标值, 应用模糊数学 (Fuzzy) 综合评判法对大田和网室、稻后和麦后的土壤肥力分别进行综合评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作方式与秸秆还田对土壤肥力指标值的影响

由表 2 可见, 大田麦后耕层 (0~21 cm) 土壤肥力 NTS、NT、CTS 3 处理有机质、速效磷和速效钾均比 CT 提高, 以速效磷和速效钾增加最明显, 主要是 0~7 cm 提高造成的, 而对耕层全氮和碱解氮含量影响不明显或略有下降, NTS 和 NT 处理的土壤容重均比 CTS 和 CT 要大。网室除速效磷外, 其他指标与大田有同样趋势, 可能与网室土壤速效磷含量较高有关。

由表 3 可见, 大田稻后耕层 (0~21 cm) 土壤肥力 NTS、CTS 两处理有机质、速效磷和速效钾均比 CT 提高, NT 处理速效磷和速效钾也比 CT 处理增加, 主要是 0~7 cm 提高造成的, 以速效钾增加最为明显, 达到了显著水平。

而对耕层全氮、碱解氮影响不明显或略有下降, NTS 和 NT 处理的土壤容重均比 CTS 和 CT 要大。网室除 NTS、NT、CTS 比 CT 处理的有机质增加显著和各处理速效磷差异不大外, 其他与大田有同样趋势。

表 2 不同耕作方式麦后土壤肥力指标值  
Table 2 Soil fertility indices after wheat harvest under different tillage treatments

项目	处理	大田				网室			
		0~7 cm	7~14 cm	14~21 cm	0~21 cm	0~7 cm	7~14 cm	14~21 cm	0~21 cm
有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	NTS	23.56a	19.02a	16.53b	19.70a	24.56a	19.78a	17.23a	20.53a
	NT	22.37a	19.12a	16.86b	19.45a	23.57a	19.60a	17.77a	20.31a
	CTS	22.39a	19.82a	17.91a	20.04a	22.09b	20.51a	16.54a	19.72a
	CT	20.16b	19.30a	18.34a	19.26a	18.89c	18.36b	17.64a	18.30b
全氮 /g · kg <sup>-1</sup>	NTS	1.22a	1.00a	0.87a	1.03a	1.22a	1.03a	0.96a	1.07a
	NT	1.10ab	0.98a	0.69b	0.92a	1.19a	1.09a	0.95a	1.07a
	CTS	1.16ab	0.92a	0.78ab	0.95a	1.23a	1.09a	0.97a	1.09a
	CT	1.05b	0.98a	0.90a	0.98a	1.09b	1.01a	0.96a	1.02a
碱解氮 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	98.69a	82.24b	69.86b	83.60a	98.90a	77.85b	75.76b	84.17a
	NT	98.53a	81.53b	69.81b	83.29a	97.94a	87.54a	80.60ab	88.69a
	CTS	99.07a	90.68a	66.80b	85.52a	104.1a	87.59a	72.74b	88.15a
	CT	95.91a	84.70b	79.25a	85.79a	95.23a	89.38a	85.35a	89.99a
速效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	36.22ab	35.02a	35.29a	35.51a	51.71a	49.52a	47.64c	49.63ab
	NT	35.78ab	33.84a	31.41b	33.67ab	48.44c	49.69a	48.13c	48.75b
	CTS	38.21a	34.25a	31.86b	34.78a	50.28b	48.67a	51.62b	50.19ab
	CT	32.14b	29.42b	34.28a	31.95b	48.94c	48.88a	56.11a	51.31a
速效钾 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	150.5a	96.9b	84.9a	110.8a	142.4a	88.5b	79.6b	103.5b
	NT	150.9a	82.3c	76.7b	103.3ab	143.4a	94.4b	74.2b	104.0b
	CTS	139.2b	102.4a	74.0b	105.2a	144.0a	115.0a	100.2a	119.7a
	CT	113.9c	96.0b	75.5b	95.2b	121.2b	87.1b	95.0a	101.1b
土壤容重 /g · cm <sup>-3</sup>	NTS	1.32a	1.34a	1.43a	1.36a	1.30a	1.31a	1.35a	1.32a
	NT	1.33a	1.35a	1.44a	1.37a	1.31a	1.32a	1.36a	1.33a
	CTS	1.30a	1.28b	1.36b	1.32b	1.24b	1.27b	1.35a	1.29b
	CT	1.29a	1.28b	1.37b	1.31b	1.25b	1.26b	1.36a	1.29b

注: 同一列内同一项目中相同字母表示差异未达到 0.05 的显著水平, 不同字母表示差异达到 0.05 的显著水平。下同。

表 3 不同耕作方式稻后土壤肥力指标值  
Table 3 Soil fertility indices after rice harvest under different tillage treatments

项目	处理	大田				网室			
		0~7 cm	7~14 cm	14~21 cm	0~21 cm	0~7 cm	7~14 cm	14~21 cm	0~21 cm
有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	NTS	23.02a	18.74ab	15.95b	19.24a	24.95a	20.37a	17.48a	20.93a
	NT	22.01a	17.68b	16.26b	18.65a	23.41b	19.26b	17.23a	19.96b
	CTS	20.05b	20.24a	17.56a	19.28a	22.28b	19.36b	16.28b	19.31b
	CT	20.05b	19.66a	17.54a	19.08a	20.39c	17.85c	16.24b	18.16c
全氮 /g · kg <sup>-1</sup>	NTS	1.22a	0.90b	0.81b	0.98a	1.25a	0.99b	0.94a	1.06a
	NT	1.16ab	0.97ab	0.82b	0.98a	1.27a	1.07a	0.89a	1.07a
	CTS	1.10b	1.03a	0.90a	1.01a	1.17b	1.09a	0.92a	1.06a
	CT	1.09b	1.05a	0.89a	1.01a	1.12b	1.08a	0.95a	1.05a
碱解氮 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	103.7a	76.13b	64.27ab	81.37a	100.10a	83.87a	75.48a	86.48a
	NT	95.39b	79.94b	62.00b	80.22a	94.87ab	85.97a	76.67a	85.83a
	CTS	90.79b	76.74b	69.54a	79.02a	92.80b	82.18a	77.45a	84.14a
	CT	91.60b	85.27a	69.03a	81.97a	96.67ab	81.18a	79.68a	85.84a
速效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	33.76a	36.98a	36.10a	35.61a	53.97a	54.74a	51.17a	53.29a
	NT	35.42a	33.67a	36.79a	35.29a	50.17a	50.33a	50.19a	50.23a
	CTS	33.51a	32.61a	37.92a	34.68a	48.09a	54.72a	54.26a	52.36a
	CT	26.93b	33.77a	33.30a	31.33a	52.19a	55.36a	54.36a	53.97a
速效钾 /mg · kg <sup>-1</sup>	NTS	148.1a	99.9b	76.0b	108.0 a	126.7a	103.6b	82.4b	104.2ab
	NT	140.1ab	89.5c	85.9a	105.2a	117.3b	98.0b	78.4b	97.9bc
	CTS	132.2bc	113.4a	82.5a	109.4a	114.9b	115.3a	100.5a	110.3a
	CT	123.7c	94.0bc	73.5b	97.1b	100.1c	98.8b	83.8b	94.2c
土壤容重 /g · cm <sup>-3</sup>	NTS	1.33a	1.33a	1.43a	1.36a	1.30a	1.39a	1.42a	1.37a
	NT	1.32a	1.34a	1.44a	1.37a	1.32a	1.38a	1.42a	1.37a
	CTS	1.32a	1.22b	1.23c	1.26b	1.22b	1.28b	1.32b	1.27b
	CT	1.30a	1.34a	1.35b	1.29b	1.20b	1.32b	1.35b	1.29b

2.2 对评价指标值的处理

由于各肥力因素对土壤整体肥力水平的影响作用不同，其实测值的量纲也各异，所以在求算土壤肥力综合指标时，不能将各单项肥力指标简单地直接相加，而应经过一定的数学处理。

首先，对土壤中各因素建立相应的隶属度函数，计算其隶属度值，以此来表示各肥力指标的状态值。我们选择土壤有机质、全 N、碱解 N、速效 P、速效 K 等 5 个土壤养分因素和土壤容重 1 个土壤环境因素共 6 个指标进行评价。因在一定的范围内，作物对土壤养分的效应曲线均呈现为 S 型，所以其隶属度函数也采用 S 型曲线（图 1），相应的隶属度函数为：

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

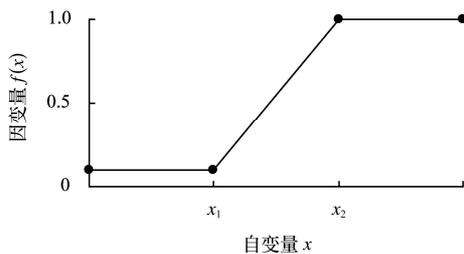


图 1 S 型隶属度函数曲线

Fig.1 Curve of S-type membership function

根据前人研究结果<sup>[14,15]</sup>，各单项肥力丰缺指标对于不同的作物和土壤是有差异的，根据本文研究的对象，结合我们试验土壤的具体实际，确定 S 型隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表 4 所示。

表 4 S 型隶属度函数曲线转折点取值  
Table 4 Value of turning point in S-type membership function

转折点	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	全 N /g · kg <sup>-1</sup>	碱解 N /g · kg <sup>-1</sup>	速效 P /g · kg <sup>-1</sup>	速效 K /g · kg <sup>-1</sup>
x <sub>1</sub>	15	0.75	60	20	50
x <sub>2</sub>	25	1.5	120	50	150

土壤容重是土壤紧实的度量，土壤过松过紧均不利于作物的生长，作物效应曲线呈抛物线型，因此，隶属度函数也采用抛物线型（图 2），相应的隶属度函数为：

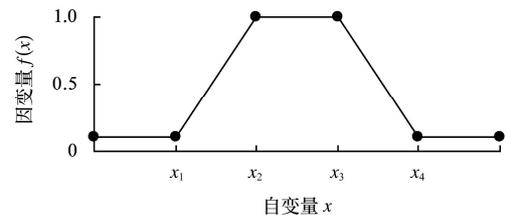


图 2 抛物线型隶属度函数曲线

Fig.2 Curve of parabola-type membership function

$$f(x)=\begin{cases} 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3)+0.1 & x_3 < x \leq x_4 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x > x_4 \end{cases}$$

根据本文试验土壤的具体实际，确定抛物线型隶属度函数曲线中转折点的相应取值如表 5 所示。由此可以计算出各项肥力指标的隶属度值，这些值在 0.1~1.0 范围之内，其值的大小反映了其隶属的程度，最大值 1.0 表示土壤肥力的最良好状态完全适宜作物的生长，最小值 0.1 表示土壤肥力严重缺乏，这样，可消除各参数指标间的量纲差异。

表 5 抛物线型隶属度函数曲线转折点取值

Table 5 Value of turning point in parabola-type membership function

转折点	土壤容重/g·cm <sup>-3</sup>
x <sub>1</sub>	1.10
x <sub>2</sub>	1.25
x <sub>3</sub>	1.30
x <sub>4</sub>	1.50

### 2.3 单项肥力权重的确定

由于各肥力指标影响土壤整体肥力的作用不同，即各指标对土壤肥力的贡献不一样，故对各项指标应给予一定的权重。权重的确定是肥力综合评价中的一个关键问题，为了避免人为主观因素的影响，应根据土壤肥力本身的内在关系作出正确的选择。由于大田和网室试验处理相同，对土壤主要肥力的影响趋势基本一致，因此，可对大田和网室数据统一分析，确定权重。采用多元统计中的主因子分析法，运用 matlab 统计软件分析计算公

因子方差，其值大小表示该项肥力指标对土壤肥力总体变异的贡献，由此求得各项肥力指标的权重值（表 6）。

表 6 土壤肥力指标公因子方差和权重值

Table 6 Estimated communality and weight value of indexes of soil fertility

指标类型	指标名称	公因子方差	权重值
养分状况	有机质	0.8559	0.1938
	全氮	0.9212	0.2086
	碱解氮	0.8448	0.1913
	速效磷	0.9950	0.2253
物理环境	速效钾	0.7988	0.1809
	土壤容重	0.995	1

### 2.4 土壤肥力综合指标值计算

根据模糊数学中的加乘法原则，把 5 项养分指标和 1 项物理环境指标之间采用加法合成，求得土壤养分肥力指标值 (NFI) 和作物所处的物理环境肥力指标 (EFI)，然后在相互独立的养分肥力指标值和环境肥力指标值之间采用乘法合成，求得土壤肥力综合评价指标 IFI (Integrated Fertility Index)。计算公式为：

$$IFI = NFI \times EFI$$

$$NFI = \sum W(N) \times f(N) \quad (1)$$

$$EFI = \sum W(E) \times f(E)$$

式中  $W(N)$  和  $W(E)$ ——土壤养分指标和环境指标的权重系数； $f(N)$  和  $f(E)$ ——养分指标和环境指标的隶属度值。由此计算得到不同耕作栽培方式土壤肥力指标（表 7）。

表 7 不同耕作栽培方式土壤肥力的综合评价

Table 7 Comprehensive evaluation of soil fertility in different treatments

地点	处理	土层/cm	麦 后			稻 后		
			养分肥力指标	环境肥力指标	综合肥力指标	养分肥力指标	环境肥力指标	综合肥力指标
大田	NTS	0~7	0.750	0.910	0.683	0.737	0.873	0.643
		7~14	0.474	0.820	0.389	0.446	0.861	0.384
		14~21	0.346	0.415	0.144	0.294	0.424	0.125
		0~21	0.524	0.730	0.382	0.493	0.719	0.354
	NT	0~7	0.696	0.865	0.602	0.678	0.910	0.617
		7~14	0.437	0.775	0.339	0.416	0.820	0.341
		14~21	0.281	0.370	0.104	0.318	0.370	0.118
		0~21	0.466	0.685	0.319	0.473	0.700	0.331
	CTS	0~7	0.712	1.000	0.712	0.590	0.901	0.532
		7~14	0.495	1.000	0.495	0.499	0.814	0.406
		14~21	0.296	0.730	0.216	0.383	0.904	0.346
		0~21	0.501	0.910	0.456	0.500	1.000	0.500
CT	0~7	0.553	1.000	0.553	0.530	1.000	0.530	
	7~14	0.442	1.000	0.442	0.494	0.825	0.408	
	14~21	0.388	0.775	0.301	0.333	0.775	0.258	
	0~21	0.450	0.920	0.423	0.453	1.000	0.453	

续上表

地点	处理	土层/cm	麦 后			稻 后		
			养分肥力指标	环境肥力指标	综合肥力指标	养分肥力指标	环境肥力指标	综合肥力指标
网室	NTS	0~7	0.850	1.000	0.850	0.840	1.000	0.840
		7~14	0.566	0.955	0.541	0.612	0.573	0.351
		14~21	0.471	0.775	0.365	0.491	0.462	0.226
		0~21	0.633	0.910	0.576	0.648	0.677	0.439
	NT	0~7	0.813	0.955	0.776	0.789	0.910	0.718
		7~14	0.618	0.910	0.562	0.609	0.640	0.390
		14~21	0.486	0.730	0.355	0.470	0.460	0.216
		0~21	0.637	0.865	0.551	0.622	0.670	0.417
	CTS	0~7	0.825	0.940	0.776	0.721	0.820	0.591
		7~14	0.659	1.000	0.659	0.633	1.000	0.633
		14~21	0.502	0.775	0.389	0.500	0.910	0.455
		0~21	0.665	1.000	0.665	0.623	1.000	0.623
	CT	0~7	0.665	1.000	0.665	0.677	0.718	0.486
		7~14	0.563	1.000	0.563	0.575	0.890	0.511
		14~21	0.548	0.730	0.400	0.485	0.761	0.369
		0~21	0.596	1.000	0.596	0.579	1.000	0.579

由表 7 可见, 大田耕层 (0~21 cm) 土壤综合肥力指标 (IFI) 以 CTS 处理最高, 其次为 CT, NTS 较低, NT 最低。不同处理养分肥力指标 (NFI) 以 NTS 处理最高, CTS 处理较高, NT 略低, CT 处理最低; IFI 翻耕高于免耕, 主要受土壤容重影响, 免耕土壤紧实。说明免耕虽然养分含量高, 潜在肥力好, 但不一定能很好地被作物吸收。从不同土壤层次看, 上层 0~7 cm NFI 和 IFI 两指标均较高, 下层 14~21 cm 较低, 尤其 NTS、NT 处理上层富集明显, 而 NTS 和 NT 处理下层肥力较低。网室小区高于大田小区, 各处理间趋势与大田基本一致。

### 3 结论与讨论

1) 免耕和秸秆还田可提高土壤有机质、速效磷、速效钾等土壤养分含量, 且主要是 0~7 cm 土层增加造成的, 以速效钾提高最为明显, 而对耕层全氮、碱解氮含量影响不明显或略有下降; 同时, 免耕秸秆覆盖和免耕高茬两处理的土壤容重均比翻耕要大。

2) 土壤肥力数值化综合评价表明, 土壤肥力免耕秸秆覆盖还田好于免耕高茬, 翻耕秸秆还田好于翻耕不还田, 不同处理养分肥力指标以翻耕秸秆覆盖还田处理最高, 翻耕不还田最低; 但综合肥力指标却以翻耕秸秆还田最高, 免耕高茬最低, 主要受环境条件土壤容重的影响。从不同层次看, 综合肥力指标和养分肥力指标均以上层 0~7 cm 较高, 下层 14~21 cm 较低, 尤其免耕秸秆覆盖、免耕高茬上层养分明富集, 而下层肥力较低。

综合肥力指标是耕地现实持续生产力的标志, 养分肥力指标是耕地潜在持续生产力的标志。翻耕秸秆还田处理耕地现实持续生产力最好, 免耕秸秆覆盖还田有较高的耕地潜在持续生产力, 在生产实践中, 可通过合理轮耕, 充分发挥不同耕法的效应, 结合秸秆还田, 使耕

地潜在生产力变为现实生产力, 实现稻麦持续高产稳产高效的目标。

土壤肥力是作物生长的基础, 而土壤肥力是土壤的养分状况以及土壤在供应植物生理所需物质时所处环境条件这两者的有机结合<sup>[9]</sup>。关于土壤肥力综合评价时, 土壤养分转折点的选择, 不同土壤、不同地点转折点肯定是不一样的, 对评价结果会有一定影响, 如何根据不同地点、土壤, 确定合理的转折点, 更好地反映当地稻麦两熟土壤肥力的实际, 还有待进一步研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 章秀福, 王丹英. 我国稻麦两熟种植制度的创新与发展[J]. 中国稻米, 2003, (2): 3-5.
- [2] 杜永林. 江苏秸秆全量还田少免耕稻作技术及其应用探讨[J]. 耕作与栽培, 2005, (5): 47-50.
- [3] 刘世平, 聂新涛, 张洪程, 等. 稻麦两熟条件下不同土壤耕作方式与秸秆还田效用分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 49-52.
- [4] 劳秀荣, 吴子一, 高燕春. 长期秸秆还田对土壤肥力的影响[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 49-52.
- [5] 张志国, 徐 琪. 长期秸秆覆盖免耕对土壤某些理化性质和玉米产量的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(3): 384-391.
- [6] 徐阳春, 沈其荣, 雷宝坤. 水旱轮作下长期免耕和施用有机肥对土壤某些肥力性状的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 849-852.
- [7] 庄恒扬, 曹卫星, 沈新平, 等. 麦一稻两熟集约生产土壤养分平衡与调控研究[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 766-770.
- [8] 曹承绵. 关于土壤肥力数值化综合评价的探讨[J]. 土壤通报, 1983, (4): 13-15.
- [9] 孙 波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362-369.

- [10] 骆伯胜, 钟继洪, 陈俊坚. 土壤肥力数值化综合评价研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 104-106.
- [11] 吕晓男, 陆允甫, 王人潮. 浙江低丘红壤肥力数值化综合评价研究[J]. 土壤通报, 2000, 31(3): 107-110.
- [12] 唐晓平. 四川紫色土肥力的 Fuzzy 综合评判[J]. 土壤通报, 1997, 28(3): 107-109.
- [13] 郑立臣, 宇万太, 马强, 等. 农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 156-161.
- [14] 陆允甫, 吕晓男. 中国测土施肥的进展和展望[J]. 土壤学报, 1995, 32(3): 241-251.
- [15] 沈汉. 土壤评价中参评因素的选定与分级指标的划分[J]. 华北农学报, 1990, 5(3): 63-69.

## Comprehensive evaluation of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system

Liu Shiping, Chen Houqing, Nie Xintao, Dai Qigen, Huo Zhongyang, Xu Ke, Zhang Hongcheng\*

(Key Laboratory of Crop Genetics and Physiology of Jiangsu Province, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

**Abstract:** An experiment of four treatments (no-tillage + straw mulching, NTS; no-tillage + high stubble remaining, NT; conventional tillage + straw incorporation, CTS and conventional tillage + no straw returning, CK) was designed to investigate the effect of tillage and straw returning on soil fertility in a wheat-rice double cropping system. The experiment was conducted under field condition and micro-plots in isolated concrete ponds for three consecutive years. Results show that no tillage plus straw returning significantly increases the nutrients content of soil organic matter, available P and K, especially for those at the 0~7 cm soil layer. Compared with CK treatment, the NTS and NT increase soil bulk density. The comprehensive evaluation of soil fertility indicates that nutrient fertility index (NFI), is the highest under NTS, and the lowest under CT. However, affected by bulk density, integrated fertility index (IFI) is the highest under CTS treatment, and the lowest under NT treatment. Viewed from layers, IFI and NFI are higher in the upper layer(0~7 cm), lower at 14~21 cm layer, especially for those NTS and NT treatment.

**Key words:** wheat-rice double cropping; tillage; straw returning; soil fertility; comprehensive evaluation