

# 水旱轮作后免耕水稻土微生物数量 和生物量的变化特征研究<sup>①</sup>

熊鸿焰, 李廷轩\*, 张锡洲, 余海英

(四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014)

**摘要:** 土壤微生物数量和生物量能迅速反映土壤肥力和土壤质量的演变趋势。通过野外调查和室内分析, 研究了水旱轮作后, 不同免耕年限土壤微生物数量和生物量的变化特点。结果表明: 水旱轮作后, 免耕耕层 (0~20 cm) 土壤微生物数量、生物量 P 和生物多样性显著低于常规耕作, 而微生物生物量 C 和 N 显著高于常规耕作; 随着免耕年限延长, 生物多样性、微生物生物量 C 和 N 在免耕 7~8 年时最低; 免耕 0~5 cm 土壤微生物数量和生物量显著高于 5~10 cm, 而常规耕作 0~5 cm 和 5~10 cm 土壤微生物数量和生物量无显著差异。

关键词： 稻-油轮作；免耕；微生物数量；微生物生物量

中图分类号： S154.3

免耕栽培是一种省时、省工、保持水土、节约能源的新型耕作法，在现代农业生产中占有十分重要的地位<sup>[1]</sup>。免耕栽培主要靠作物根系和微生物活动来创造作物生长的耕层土壤结构，调节土壤肥力水平，为作物的良好生长提供较好的条件<sup>[2-3]</sup>。土壤微生物对有机质的分解、腐殖质的形成和土壤养分的转化等都发挥着重要作用，是构成土壤肥力的重要因素<sup>[4]</sup>。同时，土壤微生物也是维持土壤质量的重要组成部分，在土壤质量演变过程中，可以作为灵敏的反映指标，较早地预测土壤有机物的变化，表征土壤质量的演变趋势<sup>[5-6]</sup>。

随着免耕技术的发展,我国形成了旱地免耕、水田免耕和水旱轮作免耕等3大免耕体系。国内外对免耕土壤微生物数量、群落组成和微生物生物量等已做了较多研究,但主要集中在旱地和水田土壤<sup>[7-13]</sup>,较少涉及水旱轮作<sup>[14]</sup>。水旱轮作构成了一个特殊的农田生态系统<sup>[15]</sup>,实行免耕对土壤微生物数量及生物量的影响尚鲜见报道。因此,本文以名山县为典型区域,初步探讨了水旱轮作后,免耕水稻土微生物数量和生物量的变化特点,以期为该区土壤肥力和土壤质量的评价提供生物学指标,同时也为合理耕作提供科学依据。

## 1 材料与方法

## 1.1 研究区域概况

名山县从20世纪80年代开始推广稻-油轮作免耕

①基金项目：四川省教育厅重点项目（2006A098）、四川省教育厅青年基金项目（2004A003）、四川省教育厅青年基金项目（2005）资助。丘陵平原区具有一定的代表性和典型性。该区域位于湘西南原西南边缘98°东经103°20'和108°26'北纬29°58'从事土壤微生物研究30°16'，属亚热带季风气候区，海拔600~650 m，土壤类型以水稻土为主。常规耕作和免耕均采用水稻-油菜轮作种植制度。

## 1.2 土样的采集与制备

在水稻收获期（9月中旬），根据实际调查，采集免耕2~3年、5~6年、7~8年和10年以上的土壤样品，每个年限段选5~7个田块，每个田块按“S”型布点，分别采集0~5 cm、5~10 cm、10~20 cm及0~20 cm 4层的混合土样。常规耕作（CK）土壤样品的采集与免耕相同。土样均用无菌袋收集，保存于4℃冰箱。测定时将土样分为两部分，一部分鲜土直接用于微生物数量的测定，另一部分过2 mm筛，用于微生物生物量的测定。同时，分析耕层（0~20 cm）土壤部分理化性质（见表1）。

### 1.3 测试项目及方法

微生物数量的测定：采用稀释平板法。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基，放线菌采用改良高氏一号培养基，真菌采用马丁氏（Martin）培养基<sup>[16]</sup>。

微生物生物量的测定：采用氯仿熏蒸浸提法<sup>[17]</sup>。

理化性质的测定：采用常规分析方法。有机质的测定采用重铬酸钾外加热法，pH的测定采用酸度计法(土:水=1:2.5)，体积质量(容重)的测定采用环刀法<sup>[18]</sup>。

2

基金项目：四川省教育厅重点项目（2006A008、2004A003）、四川省教育厅青年基金项目（2006B009）、四川省青年基金（06ZQ026-020）和四川农业大学校科技青年创新基金（2005）资助

\* 通讯作者 (litinx@263.net)

②③基金项目: 四川省教育厅重点项目(2006A008、2004A003)、四川省教育厅青年基金项目(2006B009)、四川省青年基金(06ZQ026-020)和四川农业大学校科技青年创新基金(2005)资助。

\* 通讯作者(litinx@263.net)

表1 不同免耕年限耕层(0~20 cm)土壤部分理化性质

作者简介: 熊鸿焰(1981—), 女, 四川乐山人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物研究。E-mail: hongyanxiong323@126.com  
Table 1 Soil physiochemical properties of plough layer(0~20 cm) in different no-tillage years

测试项目	CK	2~3年	5~6年	7~8年	>10年
有机质(g/kg)	35.55	39.97	56.86	48.28	52.19
pH	5.64	5.33	5.22	5.13	5.22
体积质量(兆/g/cm <sup>3</sup> )	1.46	1.49	1.51	1.61	1.41

### 1.3 测试项目及方法

微生物数量的测定: 采用稀释平板法。细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌采用改良高氏一号培养基, 真菌采用马丁氏(Martin)培养基<sup>[16]</sup>。

微生物生物量的测定: 采用氯仿熏蒸浸提法<sup>[17]</sup>。

理化性质的测定: 采用常规分析方法。有机质的测定采用重铬酸钾外加热法, pH的测定采用酸度计法(土:水=1:2.5), 容重的测定采用环刀法<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤微生物数量的变化

#### 2.1.1 不同免耕年限耕层土壤微生物数量的变化

土壤微生物的生长和活动受土壤环境如有机质、通气性、pH、外界干扰等的影响, 其数量可敏感地指示土壤环境和肥力水平的变化<sup>[19~20]</sup>。由表1分析可知, 免耕免除了一切机械扰动, 使土壤体积质量增加, 通气性降低, 土壤微生物数量较常规耕作显著降低, 降幅为14%~41%, 而不同免耕年限间, 无显著差异(表2)。

示土壤环境和肥力水平的变化<sup>[19~20]</sup>。由表1分析可知, 免耕免除了一切机械扰动, 使土壤体积质量增加, 通气性降低, 土壤微生物数量较常规耕作显著降低, 降幅为14%~41%, 而不同免耕年限间, 无显著差异(表2)。

表2 不同免耕年限耕层(0~20 cm)土壤微生物数量变化( $\times 10^3$  cfu/g)(—D—以干土重计)

Table 2 Amount changes of soil microorganism in plough layer in different no-tillage years

土壤微生物	CK	2~3年	5~6年	7~8年	>10年
细菌	70.69 a A	47.80 b B	52.94 ab AB	55.03 ab AB	65.34 a AB
真菌	0.40 a A	0.41 a A	0.23 e C	0.34 ab AB	0.28 be BC
放线菌	30.52 a A	18.64 b BC	19.40 b B	9.06 c C	22.17 b AB
总数	101.61 a A	65.85 b B	72.57 b B	64.43 b B	87.79 b B

注: 同一行数据小写字母不同表示在p<0.05水平上差异显著, 大写字母不同表示在p<0.01水平上差异极显著。

由表2分析可知, 免耕土壤细菌、真菌、放线菌数量较常规耕作显著降低, 降幅分别为8%~42%、15%~43%和27%~70%, 其中放线菌数量的降幅最大。不同免耕年限间, 土壤细菌、真菌、放线菌数量亦发生相应的变化。土壤细菌数量随免耕年限的延长呈逐渐增加的趋势, 免耕10年以上土壤细菌数量比免耕2~3年增加60%。土壤真菌数量随免耕年限的延长而降低, 免耕10年以上土壤真菌数量比免耕2~3年下降32%。土壤放线菌数量则呈先降低再增加的趋势, 免耕7~8年土壤放线菌数量最低, 仅为常规耕作的30%左右, 免耕10年以上土壤放线菌数量有所增加, 与常规耕作

无显著差异。相关分析表明, 土壤放线菌数量与土壤pH和体积质量分别呈极显著正相关( $r=0.775^{**}$ )和显著负相关( $r=-0.587^*$ ), 表明免耕土壤pH的降低和体积质量的增加是放线菌数量显著低于常规耕作的主要原因。

2.1.2 不同土层土壤微生物数量的变化 免耕不但降低了耕层土壤微生物的数量, 对不同土层微生物的数量也有较大影响。由表3分析可知, 免耕显著影响了细菌和放线菌在土层中的垂直变化。常规耕作0~5 cm土壤细菌数量与5~10 cm无显著差异, 而免耕0~5 cm土壤细菌数量比5~10 cm增加14%~95%, 差

异显著。其原因在于常规耕作土壤在水稻和油菜收获后都会进行一系列的翻耕, 作物残茬较为均匀地分布在在整个耕层; 而免耕则免除了一切机械扰动, 作物残茬均留在表层, 为土壤细菌的生长提供了较为丰富的基质。放线菌在土层中的垂直变化与细菌基本一致。常规耕作土壤放线菌的数量在 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 土层没有显著差异, 免耕 0~5 cm 土壤放线菌数量显著高于 5~10 cm 和 10~20 cm, 免耕 7~8 年 0~5 cm 土壤放线菌数量是 5~10 cm 的 2 倍。免耕对真菌在土层中的垂直变化影响较小, 免耕与常规耕作 0~5 cm 土壤真菌数量均显著高于 5~10 cm 和 10~20 cm。这与真菌好氧的生长特性有关, 表层土壤通气状况良好, 为土壤真菌的生长提供了有利条件。

## 2.2 不同免耕年限耕层土壤微生物生物多样性的变化

生物多样性指数是描述生物类型和均匀度的指标, 在一定程度上可反映生物群落物种的丰富度及各类型间的分布比例<sup>[21]</sup>。从表 4 分析可知, 免耕年限对微生物群落的丰富度、均一性等都有影响, 免耕耕层土壤 4 种多样性指数均较常规耕作降低。免耕 7~8 年 Simpson (J)、Shannon (H)、均匀度和 McIntosh 指数显著低于常规耕作及其他免耕年限处理。其主要原因是免耕 7~8 年土壤 pH 降低、体积质量增加(表 1), 真菌大量繁殖和放线菌数量减少, 导致微生物间比例失调, 多样性指数显著降低。因此, 免耕 5~6 年后应

表 3 不同土层土壤微生物数量的变化 ( $\times 10^3$  cfu/g) (以干土重计) —DW—

Table 3 Amount changes of soil microorganism in different soil layers

土壤微生物	土层 (cm)	CK	2~3 年	5~6 年	7~8 年	>10 年
细菌	0~5	100.20 A	58.34 A	74.87 A	40.57 A	67.28 A
	5~10	100.00 A	42.30 B	65.89 B	31.91 B	42.75 B
	10~20	45.43 B	27.22 C	27.51 C	30.63 B	33.83 C
真菌	0~5	0.73 A	0.71 a A	0.32 A	1.34 A	0.49 a A
	5~10	0.31 B	0.38 b A	0.24 A	0.28 B	0.28 b A
	10~20	0.03 C	0.03 c C	0.03 C	0.03 C	0.03 c B
放线菌	0~5	39.21 a A	24.88 A	27.63 A	14.92 A	23.03 a A
	5~10	33.82 a A	16.94 B	17.35 B	6.44 B	17.69 b B
	10~20	26.92 b A	16.94 B	15.21 B	6.41 B	10.75 c B

土壤微生物	土层 (cm)	CK	2~3 年	5~6 年	7~8 年	>10 年
细菌	0~5	100.20 a A	58.34 a A	74.87 a A	40.57 a A	67.28 a A
	5~10	100.00 a A	42.30 b B	65.89 b B	31.91 b B	42.75 b B
	10~20	45.43 b B	27.22 c C	27.51 c C	30.63 b B	33.83 c C
真菌	0~5	0.73 a A	0.71 a A	0.32 a A	1.34 a A	0.49 a A
	5~10	0.31 b B	0.38 b A	0.24 ab A	0.28 b B	0.28 b A
	10~20	0.03 c C	0.03 c C	0.03 c C	0.03 c C	0.03 c B
放线菌	0~5	39.21 a A	24.88 a A	27.63 a A	14.92 a A	23.03 a A
	5~10	33.82 a A	16.94 b B	17.35 b B	6.44 b B	17.69 b B
	10~20	26.92 b A	16.94 b B	15.21 b B	6.41 b B	10.75 c B

注: 同一处理不同土层间数据小写字母不同表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著, 大写字母不同表示在  $p < 0.01$  水平上差异极显著。

## 2.2 不同免耕年限耕层土壤微生物生物多样性的变化

生物多样性指数是描述生物类型和均匀度的指标, 在一定程度上可反映生物群落物种的丰富度及各类型间的分布比例<sup>[21]</sup>。从表 4 分析可知, 免耕年限对微生物群落的丰富度、均一性等都有影响, 免耕耕层土壤 4 种多样性指数均较常规耕作降低。免耕 7~8 年 Simpson (J)、Shannon (H)、均匀度和 McIntosh 指数显著低于常规耕作及其他免耕年限处理。其主要原因是免耕 7~8 年土壤 pH 降低、体积质量增加(表 1), 真菌大量繁殖和放线菌数量减少, 导致微生物间比例失调, 多样性指数显著降低。因此, 免耕 5~6 年后应对土壤进行适时耕

翻, 以保持土壤微生物生物多样性。

表 4 不同免耕年限耕层 (0~20 cm) 土壤微生物多样性指数的变化  
Table 4 Changes of diversity indices of microbes in the plough layer in different no-tillage years

多样性指数	CK	2~3 年	5~6 年	7~8 年	>10 年
Simpson (J)	0.4283 a-A	0.4446 a-A	0.4021 a-A	0.2522 b-B	0.3859 a-A
Shannon (H)	0.9483 a-A	0.9484 a-A	0.8339 a-A	0.6263 b-B	0.8437 a-A
均匀度	0.5767 a-A	0.5984 a-A	0.5470 a-A	0.3952 b-B	0.5323 a-A
McIntosh	0.2678 a-A	0.2873 a-A	0.2532 a-A	0.1523 b-B	0.2391 a-A

注: 同一行数据小写字母不同表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著, 大写字母不同表示在  $p < 0.01$  水平上差异极显著。

对土壤进行适时耕翻, 以保持土壤微生物生物多样性。

## 2.3 土壤微生物生物量的变化

### 2.3.1 不同免耕年限耕层土壤微生物生物量的变化

土壤微生物生物量 C 是土壤有机质中活性较高的部分, 它是土壤养分重要的源, 本研究表明土壤有机质与微生物生物量 C 呈极显著正相关 ( $r = 0.7420^{**}$ )。免耕减少了有机质的矿化, 为土壤微生物提供了较多的 C 源, 土壤微生物生物量 C 显著高于常规耕作 (图 1)。随着免耕年限延长, 土壤微生物生物量 C 呈先增加再降低的趋势。免耕 2~3 年土壤微生物生物量 C 为 425.51 mg/kg, 比常规耕作土壤增加 135.05 mg/kg, 差异显著。免耕 5~6 年土壤微生物生物量 C 最高为 514.41 mg/kg, 比常规耕作和免耕 2~3 年分别增加 223.95 和 88.90 mg/kg。免耕 7~8 年土壤微生物生物量 C 迅速降低, 与常规耕作无显著差异, 比免耕 2~3 年和 5~6 年分别降低 113.04 和 201.94 mg/kg, 差异显著。免耕 10 年以上土壤微生物生物量 C 增加, 比免耕 7~8 年高 138.66 mg/kg, 与免耕 2~3 年和 5~6 年无显著差异, 其变化趋势与土壤有机质含量的变化一致。

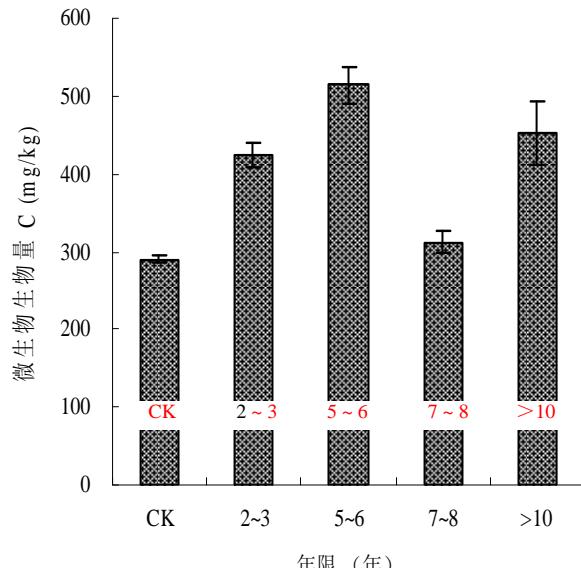


图 1 不同免耕年限耕层土壤微生物生物量 C 碳的变化  
Fig. 1 Changes of microbial biomass C in the plough layer in different no-tillage years

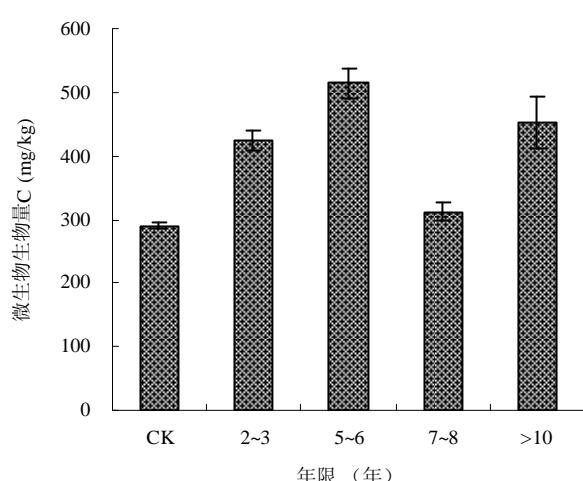


图 1 不同免耕年限耕层土壤微生物生物量碳的变化

Fig. 1 Changes of microbial biomass C in the plough layer

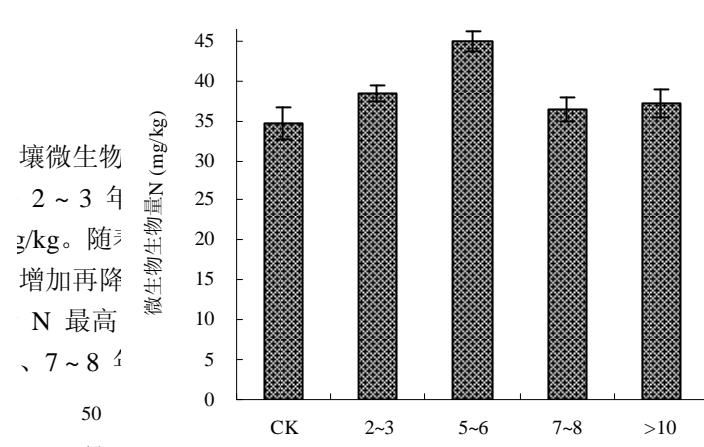


图 1

土壤微生物生物量 N (mg/g)

微生物生物量 N (mg/g)

25 30 35 40 45

10 15 20 25 30 35 40 45

10 15 20 25 30 35 40 45

Fig. 1 Changes of microbial biomass N in the plough layer

in different no-tillage years

耕作降低 16% 和 23%, 差异显著。随着免耕年限延长, 免耕 7~8 年和 10 年以上土壤微生物生物量 P 增加, 与常规耕作及其他免耕年限无显著差异。

2~3 5~6 7~8 >10

8.55、10.24、6.45、8.55 和 7.72 mg/kg, 差异显著。免耕 7~8 年和 10 年以上土壤微生物生物量 N 比常规耕作分别增加 1.69 和 2.52 mg/kg。水旱轮作后, 免耕土壤微生物生物量 N 高于常规耕作, 表明免耕土壤有较多的 N 素通过微生物的同化作用转入微生物体内暂时固定, 相应地减少了通过  $\text{NH}_3$  挥发和  $\text{NO}_3^-$  淋失以及反硝化脱氮等途径造成的 N 素损失, 对环境保护和农业的可持续利用有积极作用。(图 2 放在该段后面)

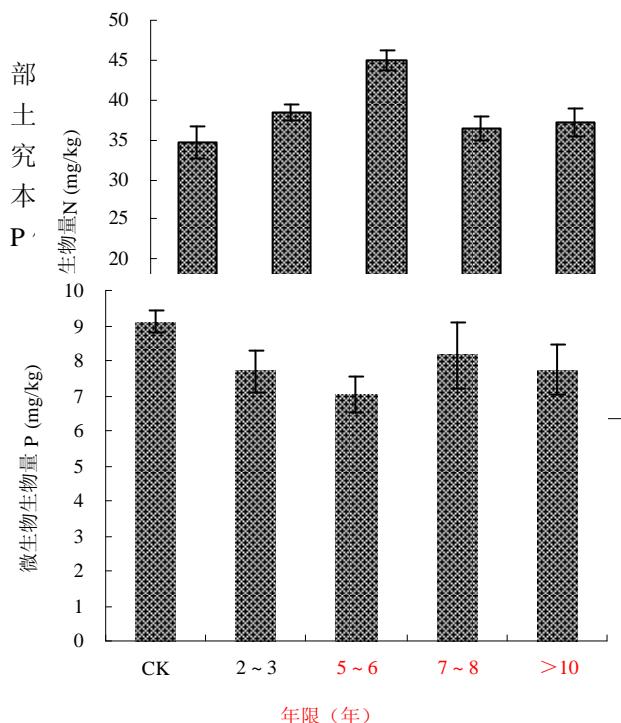


图 3 不同免耕年限耕层土壤微生物生物量 P 的变化

Fig. 3 Changes of microbial biomass P in the plough layer

in different no-tillage years

是否有天还需进一步研究。免耕 2~3 年和 5~6 年土壤微生物生物量 P 分别为 7.69 和 7.04 mg/kg, 比常规

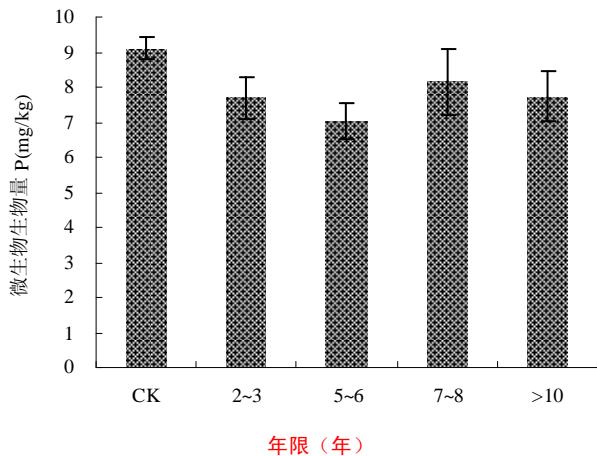


图 3 不同免耕年限耕层土壤微生物生物量 P 的变化

Fig. 3 Changes of microbial biomass P in the plough layer  
in different no-tillage years

**3.2 不同土层土壤微生物生物量的变化** 由表分析可知, 土壤微生物生物量 C、N、P 的含量因层不同而异, 常规耕作和免耕条件下均为 0~5 cm 5~10 cm>10~20 cm。其主要原因是植物的枯枝落及有机质等集中在土壤表层, 且土壤表层通气状况好, 有利于微生物的活动与繁殖<sup>[25]</sup>。常规耕作 0~5 cm 土壤微生物生物量 C 比 5~10 cm 高 21%, 无显著差异, 而免耕 0~5 cm 土壤微生物生物量 C 显著于 5~10 cm。免耕 2~3 年、5~6 年和 7~8 年 0~5 cm 土壤微生物生物量 C 比相应年限 5~10 cm 分别高 45%、32% 和 52%。产生这种差异的原因在于土壤微生物以异养种群为主, 其生命活动过程需要消耗一定的能量, 免耕不扰动土层, 植物残体及施入的肥料主要积累在土壤表层, 相应地可供微生物维持生命活动的能量充足。但在常规耕作中, 植物残体和施入的肥料则随机械耕翻而均匀地分布于 0~20 cm 的耕作层中, 由于稀释效应使 0~5 cm 土壤有机 C 含量较免耕土壤低, 从而导致该层中土壤微生物生物量 C 显著低于免耕<sup>[12]</sup>。免耕 10 年以上者因农民采

取了一些翻耕措施, 0~5 cm 土壤微生物生物量 C 略高于 5~10 cm, 但无显著差异。10~20 cm 土层, 免耕与常规耕作土壤微生物生物量 C 没有明显差异, 这与其他学者的研究结论一致<sup>[26]</sup>。

土壤微生物生物量 N 在土层中的垂直变化与微生物生物量 C 一致。0~5 cm 免耕土壤微生物生物量 N 比常规耕作高 14%~26%。而 5~10 cm 土壤微生物生物量 N 随着免耕年限延长呈降低的趋势, 免耕 7~8 年土壤微生物生物量 N 最低, 比常规耕作降低了 43%, 差异达极显著水平。免耕 10~20 cm 土壤微生物生物量 N 略高于常规耕作。这与高亚军等<sup>[13]</sup>对水

旱轮作区的研究一致。

常规耕作土壤微生物生物量 P 在 0~5 cm、5~10 cm 和 10~20 cm 土层无显著差异, 而免耕 0~5 cm 土壤微生物生物量 P 比 5~10 cm 和 10~20 cm 分别高 17%~37%、25%~37%, 差异显著。其原因是免耕土壤没有机械拌和的过程, 使土表集中了较丰富的基质, 改善了表层土壤结构、通气状况和持水特性等, 促进了土壤微生物的生长<sup>[12]</sup>。5~10 cm 土层, 除免耕 2~3 年土壤微生物生物量 P 显著低于常规耕作, 其余免耕年限与常规耕作无显著差异。10~20

表 5 不同土层土壤微生物生物量的变化 (mg/kg)

Table 5 Changes of microbial biomass in the different soil layers

项目	土层 (cm)	CK	2~3 年	5~6 年	7~8 年	>10 年
微生物生物量 C	0~5	499.96 A	682.10 A	640.09 a A	464.07 a A	540.23 A
	5~10	411.53 A	469.22 B	485.16 b A	304.91 b B	503.85 A
	10~20	264.70 B	275.36 C	466.19 b A	228.58 b C	380.22 B
微生物生物量 N	0~5	49.59 A	62.60 a A	56.63 A	62.69 A	48.80 a A
	5~10	44.88 A	42.31 b A	37.41 B	25.69 B	32.78 b A
	10~20	26.42 B	27.29 c B	31.63 B	27.36 B	34.53 b A
微生物生物量 P	0~5	9.89 A	8.10 A	9.68 a A	10.08 A	9.65 A
	5~10	8.26 A	6.75 B	7.09 b AB	8.33 B	7.54 B
	10~20	9.93 A	6.44 B	6.98 b B	7.59 B	7.74 B

项目	土层 (cm)	CK	2~3 年	5~6 年	7~8 年	>10 年
微生物生物量 C	0~5	499.96 a A	682.10 a A	640.09 a A	464.07 a A	540.23 a A
	5~10	411.53 a A	469.22 b B	485.16 b A	304.91 b B	503.85 a A
	10~20	264.70 b B	275.36 c C	466.19 b A	228.58 b C	380.22 b B
微生物生物量 N	0~5	49.59 b A	62.60 a A	56.63 a A	62.69 a A	48.80 a A
	5~10	44.88 a A	42.31 b A	37.41 b B	25.69 b B	32.78 b A
	10~20	26.42 b B	27.29 c B	31.63 b B	27.36 b B	34.53 b A
微生物生物量 P	0~5	9.89 a A	8.10 a A	9.68 a A	10.08 a A	9.65 a A
	5~10	8.26 a A	6.75 b B	7.09 b AB	8.33 b B	7.54 b B
	10~20	9.93 a A	6.44 b B	6.98 b B	7.59 b B	7.74 b B

注: 同一处理不同土层间数据小写字母不同表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著, 大写字母不同表示在  $p < 0.01$  水平上差异极显著。

cm 土层, 免耕土壤微生物生物量 P 较常规耕作显著降低, 降幅为 22% ~ 35%, 是免耕耕层土壤微生物生物量 P 低于常规耕作土壤的主要原因之一。

### 3 结论

(1) (1) 水旱轮作后, 免耕耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤微生物数量和生物多样性显著低于常规耕作。免耕耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤微生物数量比常规耕作降低了 14% ~ 41%, 其中细菌、真菌、放线菌数量分别降低了 8% ~ 42%、15% ~ 43%、27% ~ 70%, 生物多样性在免耕 7 ~ 8 年时显著低于常规耕作及其他免耕年限土壤。因此, 在农业生产中, 免耕 5 ~ 6 年后应适当耕翻, 以保持较高的微生物活性及生物多样性。

(2) (2) 水旱轮作后, 免耕耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤微生物生物量 C 和 N 显著高于常规耕作, 而微生物生物量 P 则相反。免耕耕层土壤微生物生物量 C 和 N 比常规耕作分别增加了 8% ~ 77% 和 5% ~ 12%, 二者随着免耕年限的延长呈先增加再降低的趋势, 在免耕 7 ~ 8 年时最低; 而微生物生物量 P 较常规耕作土壤降低了 11% ~ 23%, 随着免耕年限的延长, 不同免耕年限间无显著差异。

(3) (3) 水旱轮作后, 免耕 0 ~ 5 cm 土壤细菌、真菌和放线菌数量及微生物生物量 C、N、P 显著高于 5 ~ 10 cm, 而常规耕作土壤 0 ~ 5 cm 和 5 ~ 10 cm 无显著差异。

### 参考文献:

- [1] 杨学明, 张晓平, 方华军, 梁爱珍, 齐晓宁, 王洋. 北美保护性耕作及对中国的意义. 应用生态学报, 2004, 15(2): 335~340
- [2] 谢德体, 曾觉廷. 水田水旱轮作免耕土壤孔隙状况研究. 西南农业大学学报, 1990, 12(4): 394~397
- [3] 庄恒扬, 刘世平, 沈新平, 陈后庆, 陆建飞. 长期少免耕对稻麦产量及土壤有机质与容重的影响. 中国农业科技, 1999, 32(4): 39~44
- [4] 吴建峰, 林先贵. 土壤微生物在促进植物生长方面的作用. 土壤, 2003, 35(1): 18~21
- [5] 唐玉妹, 魏朝富, 颜廷梅, 杨林章, 慈恩思. 土壤质量生物学指标研究进展. 土壤, 2007, 39(2): 157~163
- [6] 郑昭佩, 刘作新. 土壤质量及其评价. 应用生态学报, 2003, 14(1): 131~134
- [7] 肖剑英, 张磊, 谢德体, 魏朝富. 长期免耕稻田的土壤微生物与肥力关系研究. 西南农业大学学报, 2002, 24(2): 82~85
- [8] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究. 中国农业科学, 1994, 27(6): 41~49
- [9] 高云超, 蔡作新, 朱文珊. 秸秆覆盖免耕对土壤氮素转化细菌区系的影响. 生态科学, 2003, 22(2): 150~152
- [10] 陈强, 李登煌, 张先婉. 旱地聚土免耕土壤微生物特性研究. 土壤农化通报, 1998, 13(4): 49~52
- [11] 陈蓓, 张仁陟. 免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(6): 634~638
- [12] 殷士学, 宋明芝, 封克. 免耕法对土壤微生物和生物活性的影响. 土壤学报, 1992, 29(4): 370~377
- [13] 张磊, 肖剑英, 谢德体, 魏朝富. 长期免耕水稻田土壤的生物特征研究. 水土保持学报, 2002, 16(2): 111~115
- [14] 高亚军, 黄东迈, 朱培立, 王志明, 李生秀. 水旱轮作地区免耕的肥力效应. 耕作与栽培, 2000(5): 2~3, 7
- [15] 吕世华, 刘学军, 张福锁. 水旱轮作与土壤肥力. 中国农业科学学报, 1999, 1(4): 46~52
- [16] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985
- [17] Vance ED, Brookes PC, Jenkinson DS. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology & Biochemistry, 1987, 19: 703~707
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [19] 尹睿, 张华勇, 黄锦法, 林先贵, 王俊华, 曹志洪. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 57~62
- [20] 谭周进, 肖启明, 祖智波. 旅游踩踏对张家界国家森林公园土壤微生物区系及活性的影响. 土壤学报, 2007, 44(1): 184~187
- [21] 杨勇华, 姚健, 华晓梅. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响. 微生物学杂志, 2000(2): 23~25
- [22] 周建斌, 陈竹君, 李生秀. 土壤微生物量氮含量、矿化特性及其供氮作用. 生态学报, 2001, 21(10): 1718~1724
- [23] 来璐, 郝明德, 王永功. 黄土高原旱地长期轮作与施肥土壤微生物量磷的变化. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(5): 546~549
- [24] 牛灵安, 郝晋珉. 曲周试验区施肥与耕作对土壤微生物生物量及作物产量的影响. 河北农业大学学报, 1994, 17(S1): 34~38
- [25] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. 土壤学报, 2002, 39(1): 89~96
- [26] Aslam T, Choudhary MA, Saggar S. Tillage impact on soil microbial biomass C, N, and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. Soil & Tillage research, 1999, 51: 103~111

## Amount Changes of Microorganism and Microbial Biomass of No-tillage Paddy Soil After Paddy-Upland Rotation

XIONG Hong-yan, LI Ting-xuan, ZHANG Xi-zhou, YU Hai-ying

(College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

**Abstract:** The amount of soil microorganism and microbial biomass can reflect the evolution of soil fertility and quality quickly. The research studied the amount changes of soil microorganism and microbial biomass in soils under different no-tillage years through the investigation and laboratory analyses. The results indicated that: the amount of microorganism, microbial biomass P, diversity indices of plough layer of paddy-upland rotation of no-tillage were lower than that of conventional tillage, but the microbial biomass C and N increased. Diversity indices and microbial biomass C and N decreased to lowest in 7 ~ 8 no-tillage years. The amount of microorganism and microbial biomass in 0 ~ 5 cm layer of no-tillage soil were significantly higher than that of 5 ~ 10 cm layer, but the differences were not significant in the conventional tillage soil.

**Key wWords:** Paddy-upland, No-tillage, Amount of microorganism, Microbial biomass