

不同施肥处理对水稻养分吸收和稻田土壤微生物生态特性的影响*

张奇春 王光火 方 斌
(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

摘 要 在水稻长期定位肥料试验条件下研究了不同施肥处理对水稻养分吸收动态变化和土壤微生物生态特性的影响。该长期定位试验设有 CK(不施肥对照)和 PK、NK、NP、NPK 五个肥料处理和常规稻、杂交稻品种对比处理。研究结果表明,水稻产量分别与水稻吸氮总量、吸磷总量和吸钾总量显著相关;在连续种植水稻条件下,水稻对所缺养分的吸收量呈逐年下降趋势,表明缺肥区土壤相应的有效养分库消耗很快。土壤微生物特性测定表明,不平衡施肥降低了土壤微生物量 N,使微生物量 C/N 比增加。与缺肥区相比较,NPK 配施处理促进了土壤微生物的功能多样性,同时增加了土壤微生物总量。可见,土壤中养分不足或供应不平衡,不仅影响水稻养分的吸收,而且对土壤微生物总量和群落多样性产生重要影响。

关键词 水稻; 土壤微生物; 施肥; 多样性
中图分类号 S143 **文献标识码** A

我国是世界上主要的水稻生产国家之一。为了使水稻获得高产,投入适当数量的化肥是必要的。然而,从当前水稻生产实践来看,化肥用量增加,肥效却明显下降。盲目增施化肥不仅造成水稻产量不稳定,土壤结构恶化、肥力下降,农业生产成本上升,亦对生态环境造成严重威胁^[1]。为此,国内许多学者对水稻施肥方法进行了大量的研究,但过去大多数的研究仅局限于施肥措施的增产效应^[1,2],而以长期定位试验的方式来研究稻田养分供应特征及机理涉及较少。

土壤微生物是土壤的重要组成部分。土壤微生物量所含养分占土壤中相应养分总量的比例虽小,但可以非常迅速、活跃地参与养分循环和转化,其作用不容忽视。Sing 和 Stivastava^[3] 研究结果表明:有机无机肥料配合施用后,生物体内固定的氮素在作物生长期间会有很大一部分释放出来供作物吸收利用。张英等^[4] 研究表明连续施用猪粪、秸秆使稻田土壤有机 C、N 显著提高,微生物活性明显增强。因此,如何协调土

壤微生物在养分循环和转化中的作用,使土壤微生物更好的为农业生产服务,是一个值得探讨的科学问题。过去对旱地土壤中的微生物生态特征已经进行过很多研究^[5-7],对水稻田土壤中的微生物生态特征的研究也有一些报道。本研究采用长期定位肥料试验,研究不同施肥处理稻田养分供应特征和土壤微生物生物量及群落功能多样性的变化,试图揭示稻田土壤微生物群落的生态学特征及其与水稻养分吸收、土壤养分供应状况的关系,为科学施肥提供重要参考依据。

1 材料与方 法

1.1 长期定位肥料试验设计

试验区设在浙江省金华市石门农场。金华市位于浙江省中部,属亚热带季风气候,是浙江省重要的水稻产地。供试水稻土壤为河流冲积型壤土,其基本物理化学性质见表 1。

表 1 供试土壤的有关基本性质

Table 1 Physico-chemical properties of the testing soil

| pH ¹⁾ | 全 N Total N (g kg ⁻¹) | 有效 N Available N (mg kg ⁻¹) | 速效 P Olsen's P (mg kg ⁻¹) | 速效 K Available K (mg kg ⁻¹) | 砂粒 Sand (g kg ⁻¹) | 粉粒 Silt (g kg ⁻¹) | 粘粒 Clay (g kg ⁻¹) |
|------------------|---|---|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 4.8 | 2.7 | 123.4 | 16.5 | 54.6 | 278 | 562 | 160 |

1) 土水比 1:1 Soil-water ratio 1:1 (W/W)

* 国际肥料科学协会(IFA)、磷钾研究所(PPD)和国际钾研究所(IPD)资助项目

作者简介:张奇春(1977-),女,博士研究生;研究方向:土壤化学与环境;E-mail:zqc77@126.com

收稿日期:2004-04-01;收到修改稿日期:2004-08-25

长期肥料试验自 1998 年晚稻开始。采用裂区设计, 主区为肥料处理, 设有 CK(不施肥)、PK、NK、NP、NPK 配施 5 个处理。副区为不同水稻品种: 杂交早稻为威优-402, 晚稻为协优 46; 常规早稻为嘉-293, 晚稻为秀水 11。每处理 3 次重复。早晚稻插植密度均为 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 。小区面积为 45 m^2 。氮、磷、钾化肥分别用尿素、过磷酸钙和氯化钾。每季施肥用量和方法: N 肥 150 kg hm^{-2} , 50% 作基肥, 25% 在分蘖前期施, 25% 在幼穗分化期施; P 肥 25 kg hm^{-2} , 全部作为基肥; K 肥 100 kg hm^{-2} , 50% 作基肥, 50% 在幼穗分化期施。

1.2 水稻样品采集和测定

水稻成熟时, 在每个小区中央收割 5 m^2 测产; 同时在测产区外围随机取 12 丛水稻进行考种, 测定稻谷和稻草产量, 分别测定稻谷和稻草氮磷钾养分含量。

1.3 土壤微生物生物量的测定

2002 年晚稻收割后, 采集各处理表层 0~20 cm 的新鲜土样, 去除植物残体、砾石等, 稍干后, 过 2 mm 孔径筛, 置于塑料袋内, 放于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱保存。测定前, 取土样调节含水量至 60% 田间持水量, 在 100% 湿度、 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下, 培养 10 d, 然后测定土壤微生物生物量, 土壤微生物生物量采用氯仿熏蒸- $0.5\text{ mol L}^{-1}\text{ K}_2\text{SO}_4$ 提取法^[8], 提取液中有有机碳用可溶性碳自动分析仪 (Shimadzu TOC-500) 测定, 微生物生物量 C 计算采用转换系数 K_{EC} 为 0.45^[9]。微生物生物量氮采用开氏定氮法, 采用转换系数 K_{EN} 为 0.54^[10]。

1.4 土壤微生物群落功能多样性测试

采用碳源利用法 (BILOG 盘) 来鉴定不同处理

下水稻土微生物群落结构^[11]。将 Biolog GN 平板从冰箱内取出, 预热到 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 。用 200 μL 自动多头移液器取合乎 Biolog GN 系统要求的土壤稀释液 (10^{-4}) 加到 Biolog GN 微平板孔中, 每孔加 150 μL , $28\text{ }^\circ\text{C}$ 培养 7 d, 每隔 12 h 用 Biolog 自动读数装置在 590 nm 下测定其吸光值。以每孔平均吸光度 (Average well color development, 以下简称 AWCD) 作为整体活性的有效指数之一^[12]。

1.5 数据分析

微生物群落结构用 AWCD 作为整体活性的有效指数, 其公式为 $\text{AWCD} = [\sum(C - R)] / 95$, 其中 C 为每孔读数, R 为对照读数。用 Genstat 5.3 (NAG Ltd, Oxford, UK) 软件进行所有的 Biolog 数据分析, 吸光值先用主成分分析 (PCA) 降维后, 再用典型变量分析法 (CVA) 分析^[11]。其他所有数据用 SPSS 10.0 来分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对水稻产量和养分吸收的影响

从表 2 可见, 试验的第一季 (1998 年晚稻), 只有施 N 和不施 N 处理产量表现出明显差异, 施 N 处理中不施 P 或 K 与 NPK 配施产量无明显差异, 施 PK 从第五季 (2000 年晚稻) 起即表现出明显肥效来。与 NPK 全肥区比较, 不施 K 肥 (NP) 区从第三季 (1999 年晚稻) 起, 不施 P 肥 (NK) 区从第八季 (2002 年早稻) 起即出现减产。

表 2 肥料定位试验各处理平均稻谷产量比较 (kg hm^{-2})

Table 2 Comparison in grain yield between different treatments in the long-term fertilization experiment at Jinhua

| 处理 Treatment | 1998 L ¹⁾ | 1999 | | 2000 | | 2001 | | 2002 | | 2003 E |
|-----------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | | E | L | E | L | E | L | E | L | |
| CK | 5073c | 3230b | 3349b | 4266b | 3647c | 3670e | 3313c | 2790c | 3759c | 3204c |
| PK | 5696b | 3569b | 3599b | 4535b | 4013b | 4091d | 4075b | 3163c | 3991c | 3273c |
| NK | 6736a | 4887a | 4407a | 6152a | 6046a | 5740a | 5578a | 4477b | 5391a | 4502b |
| NP | 6495a | 4758a | 2828c | 5938a | 4272b | 4602c | 4392b | 4310b | 4201b | 4115b |
| NPK | 6654a | 5107a | 4328a | 6074a | 5564a | 5107b | 5538a | 4922a | 5090a | 5168a |

注: 同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平 Note: In a column, data followed by the same letters denote LSD less than 5%

1) L= late rice, E= early rice

土壤 N 供应能力 (INS) 为 PK 区水稻植株地上部分所吸收的 N 素总量, P 供应能力 (IPS) 为 NK 区水稻植株地上部分所吸收的 P 素总量, K 供应能力

(IKS) 为 NP 区水稻植株地上部分所吸收的 K 素总量^[13]。从表 3 可以看出, 随着连续种稻季数的增加, INS、IPS 和 IKS 总体呈下降趋势。从 10 季水稻

养分吸收来看, 施 PK 区的吸 N 量高于不施肥区对照, 说明在有 P、K 养分供应的情况下, 水稻对土壤 N

的消耗更大。同样, 施 NK 区比不施肥区消耗更多的 P, 施 NP 区比不施肥区消耗更多的 K。

表3 肥料定位试验中缺肥区植株对土壤养分吸收数量变化 (n= 6)

Table 3 Variation of nutrient uptake of rice in CK in the long-term fertilization experiment (n= 6)

| 季别 ¹⁾ Season | 吸 N 量 N uptake(kg hm ⁻²) | | | | 吸 P 量 P uptake(kg hm ⁻²) | | | | 吸 K 量 K uptake(kg hm ⁻²) | | | |
|----------------------------|---|------|-------|-------|---|------|-------|------|---|-------|--------|-------|
| | CK | S. D | PK | S. D | CK | S. D | NK | S. D | CK | S. D | NP | S. D |
| 1998L | 59.80 | 9.76 | 71.37 | 18.33 | 18.07 | 2.74 | 27.75 | 3.45 | 82.66 | 21.68 | 101.19 | 11.56 |
| 1999E | 32.11 | 5.93 | 36.55 | 4.00 | 9.33 | 1.40 | 15.50 | 1.45 | 74.25 | 9.46 | 100.56 | 19.37 |
| 1999L | 47.58 | 7.46 | 46.54 | 6.79 | 9.57 | 1.45 | 15.77 | 2.40 | 59.49 | 23.93 | 36.48 | 14.74 |
| 2000E | 34.13 | 7.57 | 36.68 | 5.18 | 10.05 | 1.55 | 15.34 | 2.47 | 80.74 | 8.61 | 84.83 | 9.57 |
| 2000L | 32.33 | 5.12 | 33.85 | 2.23 | 8.75 | 2.32 | 14.18 | 1.26 | 45.41 | 11.91 | 39.24 | 7.30 |
| 2001E | 35.92 | 4.17 | 39.54 | 3.57 | 8.42 | 0.81 | 8.85 | 0.81 | 52.94 | 4.72 | 56.04 | 11.26 |
| 2001L | 39.78 | 7.29 | 44.73 | 8.49 | 11.22 | 2.97 | 18.45 | 3.78 | 50.82 | 17.94 | 54.82 | 42.54 |
| 2002E | 44.23 | 5.55 | 44.48 | 5.95 | 9.68 | 1.49 | 14.29 | 2.75 | 54.82 | 7.53 | 69.94 | 16.83 |
| 2002L | 43.57 | 3.13 | 42.46 | 4.25 | 12.23 | 1.17 | 17.40 | 3.62 | 49.08 | 6.29 | 47.02 | 36.64 |
| 2003E | 33.04 | 6.45 | 33.28 | 3.64 | 10.94 | 2.67 | 13.82 | 3.18 | 61.06 | 11.99 | 65.84 | 8.07 |

1) L= late rice, E= early rice

为进一步了解水稻产量与养分吸收的关系, 从 1998 年晚稻开始到 2003 年早稻, 共进行了 10 季水稻产量与养分的相关分析, 如图 1 所示。分析表明水稻产量与其吸氮总量、吸磷总量和吸钾总量显著相关 (R^2 分别为 0.7353^{**}, 0.5461^{**} 和 0.5599^{**}), 其中产量与吸氮总量的相关系数最高。土壤养分供应的丰缺, 直接影响水稻产量的高低。经 5 年 10 季水稻连续种植, 各肥料处理的水稻产量以及养分吸收量已经表现出显著差异, 特别是缺肥区所缺养分的供应能力明显下降, 并对水稻生长及产量构成严重影响。

2.2 不同施肥处理对稻田土壤微生物量 C、N 及 C/N 的影响

土壤微生物量碳的变化反映了微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成而大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程。有研究表明土壤微生物量碳和潜在的土壤可利用态氮之间存在显著正相关^[14,15], 且与土壤肥力和土壤健康有着十分紧密的关系。各肥料处理土壤的微生物碳含量如图 2 所示。经过双因素方差分析表明, 各肥料处理的微生物量碳达极显著差异 ($p < 0.01$)。微生物量碳以配施处理 (PK) 和配施处理 (NP) 最高, 对照 (CK) 其次。

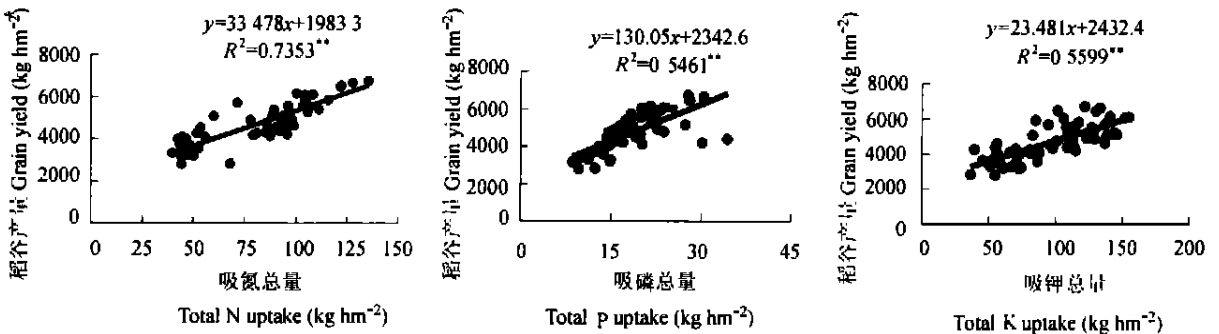


图1 水稻产量与 N、P、K 养分吸收的关系

Fig 1 Relationship between grain yield and nutrient N, P and K uptake

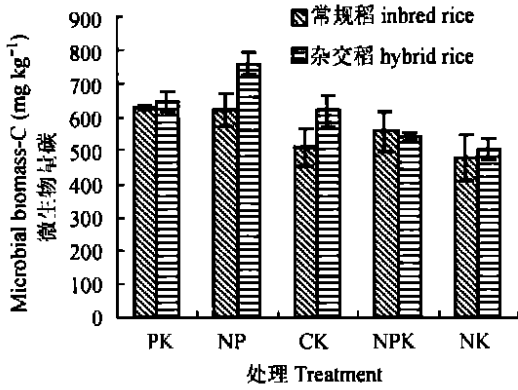


图2 长期肥料试验中不同处理下土壤微生物量碳的变化

Fig 2 Soil microbial biomass-C of different treatments in the long-time fertilization experiment

种植常规稻与杂交稻的土壤微生物量碳含量也达到显著性差异($p < 0.05$), 可见不同水稻品种对微生物量碳的影响也不同。

不同处理土壤中微生物量 N 含量如表 4 所示。双因素方差分析表明, 各肥料处理土壤微生物量氮达到显著性差异($p < 0.05$)。各处理水稻土的微生物量氮变化范围是 $33.78 \sim 70.44 \text{ mg kg}^{-1}$, 其平均值约占土壤全氮的 2.04%。虽然水田土壤微生物量氮只占土壤中相应元素的极小部分, 但因为土壤氮素的养分主要贮备在有机质组分, 特别是腐殖质中, 绝大部分处于稳定和半稳定状态, 有效性均较低, 而微生物量中的氮的转化则非常活跃, 有效性高。对于主要靠化肥增产的水稻田, 微生物量氮在土壤氮素供应中的作用不容忽视。从表 4 可以看出, 不管是种植常规稻还是杂交稻, NPK 处理的微生物量氮明显高于其他各处理。对于常规稻, 以缺 N 处理 (PK) 微生物量 N 最低; 而对于杂交稻以缺 K 配施处理 (NP) 微生物量 N 最低。

表 4 长期肥料试验中不同处理下土壤微生物量氮的变化

Table 4 Soil microbial biomass-N of different treatments in the long-time fertilization experiment

| 处理 Treatment | 土壤微生物量氮 Soil microbial biomass-N (mg kg ⁻¹) | |
|-----------------|--|--------------------|
| | 常规稻 Conventional rice | 杂交稻 Hybrid rice |
| | PK | 33.78d |
| NK | 47.90c | 57.50b |
| CK | 53.61bc | 51.04b |
| NP | 56.08bc | 47.93bc |
| NPK | 67.82a | 70.44a |

注: 同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平 Note:

In a column, data followed by the same letters denote LSD less than 5%

土壤中有有机碳、氮的矿化作用和碳、氮的生物固定作用是互相关联的。微生物量的 C/N 比在一定程度上反映了不同施肥处理对土壤微生物数量和种群结构的影响。在各施肥处理条件下, PK 和 NP 处理的以 C/N 比最高, CK 其次, 而 NK 和 NPK 两个处理的 C/N 比最小(表 5)。

表 5 不同处理下土壤微生物生物量 C/N 比的变化

Table 5 C/N ratios of microbial biomass under different fertilization treatments

| 处理 Treatment | C/N 比 Ratios of C to N | |
|-----------------|---------------------------|--------------------|
| | 常规稻 Conventional rice | 杂交稻 Hybrid rice |
| | NPK | 8.20c |
| NK | 8.99bc | 8.73c |
| CK | 9.96bc | 11.95b |
| NP | 11.06b | 15.83a |
| PK | 18.44a | 12.12b |

注: 同一列中数据后的字母相同表示未达 5% 差异显著水平 Note: In a column, data followed by the same letters denote LSD less than 5%

2.3 不同施肥处理对稻田土壤微生物群落功能多样性的影响

为进一步了解不同施肥处理对稻田土壤微生物生态特征的影响, 本研究采用 Biolog 方法测定了土壤微生物生理轮廓和微生物群落结构的变化^[16]。图 3 反映了 GN 盘中样品的 AWCD 随培养时间的变化情况。在 32h 之内, AWCD 值很小, 几乎没有变化。表明在 32h 之内能源碳基本上未被利用, 此后 AWCD 值不断增加。对比不同处理, 在相同的培养时间点, 以 NPK 配施处理的 AWCD 值最高, 说明长期平衡施用 NPK 肥的水稻田土壤微生物活性强、代谢快。从图 3 中还可以看出, 对照 (CK) 处理在培养后期 AWCD 值增长快, 明显超过施 NP、PK、NK 各处理。当土壤中某种植物必需养分的供应严重缺乏时, 亦可能对土壤微生物群落结构及其活性产生重要影响。

为了进一步分析不同处理下土壤微生物的群落结构, 对培养 78h 的 BIOLOG 数据实施典型变量分析 (Canonical variate analysis), 两个主因子的分析结果见图 4。BIOLOG 数据的因子载荷通常反映了微生物群落的生理轮廓^[11], 是其群落结构和功能多样化的具体体现。CV1 和 CV2 分别解释了常规稻 55.69% 和 31.07% 的变异 (图 4a), 杂交稻 56.20% 和 30.45% 的变异 (图 4b)。PK 和 NK 两个处理的典型变量值无明显差异, 而与其他处理间存在显著差异,

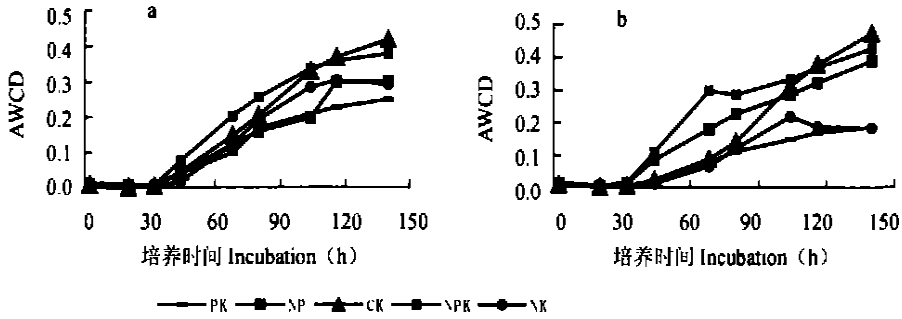


图3 不同肥料处理土壤在 BIOLOG 测试中 AWCD 随培养时间的变化(a. 常规稻; b. 杂交稻)

Fig 3 Variation of AWCD with incubation time in BIOLOG of soils different in fertilization treatment (a convention rice; b. hybrid rice)

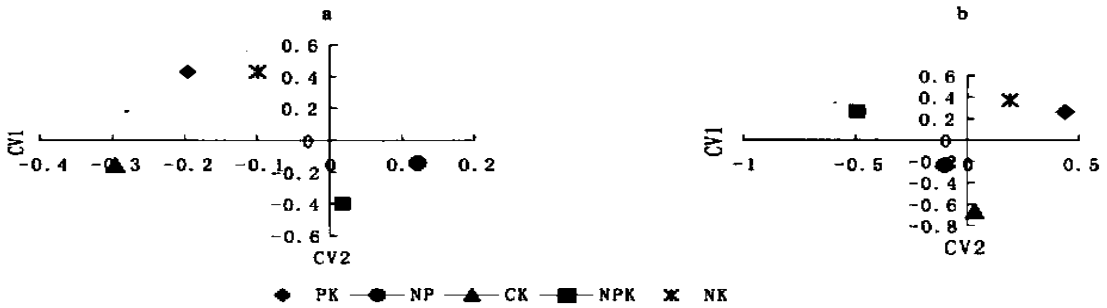


图4 不同肥料处理 BIOLOG 测试中微生物群落结构的典型变量 CV1 和 CV2(a. 常规稻; b. 杂交稻)

Fig 4 Canonical variable, CV1 and CV2, of microfloral structure in BIOLOG test of soils different in fertilization treatment (a convention rice; b. hybrid rice)

这两个水稻品种下是一致的。在两个水稻品种下各处理之间的差异程度不同。从图 2 分析可知,长期的不同化肥配施,可能使土壤微生物群落结构及其功能多样性产生了改变,即产生了代谢变异性,表现为对能源碳的利用选择性发生了改变。此外,与常规稻相比,杂交稻根系发达,活力强,单位产量的杂交稻需要的氮肥较少,而钾肥需要量大,且从土壤中吸收无效钾的能力比常规稻强^[17],杂交稻与常规稻养分积累利用差异也可能对微生物的群落结构产生影响,值得进一步研究。

2.4 水稻养分吸收与土壤微生物生态特征的关系探讨

水稻吸收的养分来源于土壤和施入的肥料。不同施肥方式下由于水稻养分吸收不同,水稻田土壤微生物生态特征也不同。NP 处理没有施入 K 肥,由于每年水稻养分的吸收,到 2002 年晚稻 NP 处理已显示严重缺 K 症状,同样 PK 区处理显示严重缺 N 症状,而土壤磷库相对较丰, NK 处理却并未显示明显缺 P 症状。NPK、NK 处理水稻产量高,养分吸收量大,同时分析表明在长期平衡施用 NPK 肥的水稻

田土壤的微生物活性强、代谢快。这是由于在养分充足的情况下,水稻养分吸收大,水稻生长好,水稻根系分泌物较多,促进了根系微生物的生长,增强了微生物活性对土壤养分的转化效果,这可能是 NPK 处理下水稻产量高的原因之一。

当 N、P、K 供应充足时,如 NK、NPK 处理,其微生物量 C/N 比显著低于其他施肥处理,表明微生物可以从土壤中获得适量的 N 素供应。而当土壤 N 供应严重不足时(PK 处理),土壤微生物亦出现 N 素胁迫,使 C/N 比显著提高。值得注意的是,当土壤出现严重缺 K 时(NP 处理),亦影响微生物对土壤 N 的同化,表现为 C/N 比增高,尤以需 K 量大的杂交稻处理更为突出。这一现象表明土壤养分供应的丰缺和平衡状态影响了土壤微生物量及微生物量 C/N 比。同时,微生物量 C/N 比也可以在一定程度上反映土壤养分供应的丰缺,特别是土壤养分供应的平衡状态。这在土壤养分管理决策及土壤肥力评价上可能具有重要意义。有关土壤养分供应状况对土壤微生物量 C/N 比的影响机理,特别是对土壤微生物种群结构及功能多样性的影响有待进一步研究。

参考文献

- [1] 张绍林,朱兆良,徐银华,等. 关于太湖地区稻草上氮肥的适宜用量. 土壤, 1988, 20: 5~ 9. Zhang S L, Zhu Z L, Xu Y H, *et al.* Optimal application rate of nitrogen fertilizer for rice and wheat in Taihu Lake region (In Chinese). Soils, 1988, 20: 5~ 9
- [2] 赵决建, 赵艳萍. 水稻定时定量施肥研究. 土壤通报, 2002, 33(4): 288~ 292. Zhao J J, Zhao Y P. Research on rice fertilization in timing and quantity (In Chinese). J of Soil Sci., 2002, 33(4): 288~ 292
- [3] Sing J S, Sivastava S C. Microbial biomass acts as a source of plant nutrients in dry tropical forest and savanna. Nature, 1989, 338: 499~ 500
- [4] 张英, 褚秋华, 邱多生, 等. 11 年连续肥料处理对水稻土碳、氮及微生物量的影响. 南京农业大学学报, 2004, 24 (4): 112~ 114. Zhang Y, Zhu Q H, Qiu D S, *et al.* Effect of 11-year continuous fertilizer application on soil carbon, nitrogen and microbial of paddy soil (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 2004, 24 (4): 112~ 114
- [5] 韩晓日, 邹德乙, 郭鹏程等. 长期施肥条件下土壤生物量氮的动态及其调控氮素营养的作用. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 16~ 21. Han X R, Zhou D Y, Guo P C, *et al.* Dynamics and function of soil microbial biomass N in readjusting nitrogen nutrient under long-term fertilization (In Chinese). Plant Nutri. & Fertil., 1996, 2(1): 16~ 21
- [6] 罗明, 文启凯, 陈全家, 等. 不同用量的氮磷化肥对棉田土壤微生物区系及活性的影响. 土壤通报, 2000, 21(2): 66~ 69. Luo M, Wen Q K, Chen Q J, *et al.* Effect of application rate of P and N fertilizers on soil microbiota and microbial activity in cotton field. (In Chinese). J. of Soil Sci., 2000, 21(2): 66~ 69
- [7] 张英, 褚秋华, 邱少生, 等. 11 年连续肥料处理对水稻土碳、氮及微生物量的影响. 南京农业大学学报, 2001, 24(4): 112~ 114. Zhang Y, Zhu Q H, Qiu S S. Effect of 11-year continuous fertilizer application on soil carbon, nitrogen and microbial biomass of paddy soil (In Chinese). J. Nanjing Agri. Uni., 2001, 24(4): 112~ 114
- [8] Bookes P C, Andrea L, Pruden G, *et al.* Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial nitrogen in soil. Soil Biol. Biochem., 1985, 12(6): 837~ 842
- [9] Wu J, Joergensen R G, *et al.* Measurement of soil microbial biomass C—An automatic procedure. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 1167~ 1169
- [10] Joergensen R G, Mueller T. Calibration of the K_{EN} value. Soil Biol. Biochem., 1996, 28(1): 33~ 37
- [11] Zabinski C A, Gannon J E. Effects of recreational impacts on soil microbial communities. Environmental Management, 1997, 21 (2): 233~ 238
- [12] Zak J C. Functional diversity of microbial communities: A quantitative approach. Soil Biol. Biochem., 1994, 26: 1101~ 1108
- [13] Yao H Y, He Z L, Wilson M J, *et al.* Microbial community structure in a sequence of soil with increasing fertility and changing use. Microbial Ecology, 2000, 40: 223~ 237
- [14] Garland J I. Analytical approaches to the characterization of soil microbial communities. Soil Biol. Biochem., 1995, 28: 213~ 221
- [15] Powlson D S, Brookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. Soil Biol., Biochem., 1987, 19: 59~ 64
- [16] Jacobsen B H, Guiking F C T, van der Eijk D, *et al.* A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). Geoderma, 1990, 46: 299~ 318
- [17] 孙羲. 植物营养与肥料. 北京: 农业出版社, 1988. 102~ 155. Sun X. ed. Plant Nutrient and Fertilizer (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1988. 102~ 155

INFLUENCE OF FERTILIZATION TREATMENT ON NUTRIENTS UPTAKE BY RICE AND SOIL ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOIL MICROORGANISM IN PADDY FIELD

Zhang Qichun Wang Guanghuo Fang Bin

(College of Natural Resources and Environmental Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract Investigations were conducted on dynamics of grain yields and nutrients uptake of rice, and ecological characteristics of soil microorganisms in a paddy field under long-term fertilization experiment, which was designed to have five fertilization treatments, CK (control), PK, NK, NP, and NPK, and two crop treatments, conventional rice and hybrid rice. The results show that grain yield of rice was positively correlated with the total uptakes of N, P and K, and the soil available nutrient pool depleted rapidly under consecutive cropping without fertilization. The results also show that balanced N, P and K application improved functional diversity of soil microbes and increased total microbial biomass of the soil. Unbalanced fertilization decreased microbial N but increased C/N ratio of the soil microbial biomass. It is found that soil nutrient deficiency and unbalanced fertilization to rice crops have a negative effect on diversity of microbial communities and total microbial biomass in the soil.

Key words Rice; Soil microorganism; Fertilization; Diversity