

水旱轮作条件下免耕土壤微生物特性研究

熊鸿焰, 李廷轩*, 余海英, 张锡洲

(四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014)

摘要: 通过野外调查和室内分析, 研究了水旱轮作条件下, 不同免耕年限土壤微生物数量和生物量的变化特点及其影响因素。结果发现: (1) 旱作和水作后, 免耕土壤细菌数量显著低于常规耕作。随着免耕年限延长, 旱作后土壤细菌数量呈先降低再增加的趋势, 免耕 5~6 a 时最低; 而水作后, 不同免耕年限间无显著差异。(2) 旱作后, 免耕土壤真菌和放线菌数量显著高于常规耕作, 而水作后, 真菌和放线菌数量较常规耕作显著降低。随着免耕年限的延长, 旱作后土壤真菌数量呈先降低再增加的趋势, 免耕 7~8 a 时最低; 土壤放线菌数量在免耕 5~6 a 后趋于稳定。水作后, 土壤真菌和放线菌数量呈显著负相关。(3) 旱作和水作后, 免耕土壤微生物量碳和氮显著高于常规耕作, 两者呈极显著正相关, 变化趋势一致。随着免耕年限延长, 旱作后, 土壤微生物量碳、氮呈逐渐降低的趋势; 水作后, 土壤微生物量碳、氮呈先增加再降低的趋势。

关键词: 水旱轮作; 免耕; 微生物数量; 微生物量

中图分类号: S154.3

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2009)01-0145-06

Microbial characters in no-tillage soil with paddy-upland rotation

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

(College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014, China)

Abstract: Changes of microorganism number and microbial biomass in soils were investigated with different years of no-tillage under the paddy-upland rotation. Results indicated that: (1) After upland cropping and paddy cropping, the number of microorganisms in no-tillage soil was significantly lower than that in conventional tillage soil. With the increase of no-tillage years, bacteria number decreased, and then appeared an increasing trend after upland cropping. The lowest number of bacteria appeared at 5-6 years of no-tillage after upland cropping treatment. No significant differences were found in soil with different no-tillage year treatment after paddy cropping. (2) After upland cropping, the number of fungi and actinomycetes in no-tillage soil were significantly higher than that in conventional tillage soil, but were lower after paddy cropping treatment. With the increase of no-tillage years, number of fungi had a trend of decreasing and then increasing, with the lowest number in soil under 7-8 year of no-tillage treatment. The amount of actinomycete kept stable after 5-6 year of no-tillage treatment. After paddy cropping, number of fungi had a significant negative relationship with the number of actinomycetes in the soil. (3) After upland and paddy cropping, microbial biomass C and N in no-tillage soil were significantly higher than that in conventional tillage soil, the microbial biomass C and N had positive correlations; with the increase of no-tillage years, microbial biomass C and N decreased after upland cropping, but it showed increasing and then decreasing trend after paddy cropping.

Key words: paddy-upland rotation; no-tillage; number of microorganism; microbial biomass

收稿日期: 2008-01-02 接受日期: 2008-04-30

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); 四川农业大学科技青年创新基金(2005)资助。

作者简介: 熊鸿焰(1981-), 女, 四川乐山人, 硕士研究生, 主要从事农田土壤微生物学研究。E-mail: hongyanxiong323@126.com

* 通讯作者 Tel: 0835-2882216, E-mail: litinx@263.net

土壤是农业生产之本,如何通过合理的耕作措施达到既可高产节源、培肥土壤,又能有效减少环境污染,是当前的重要问题^[1]。免耕不仅能培肥地力,更能保持水土,是发展生态农业的有效途径^[2]。免耕栽培主要依靠作物根系和微生物活动来创造适合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^[3]。大量研究表明,旱地免耕可提高土壤微生物数量^[4-6]及其生物量^[7-9],对真菌群落结构和种群构成有显著影响,秸秆覆盖免耕土壤真菌多样性高于常规耕作^[10]。水田免耕土壤细菌、放线菌、纤维素分解菌和微生物量氮均较常规耕作增加,而真菌数量低于常规耕作^[11-12]。

随着免耕技术的发展,逐渐形成了旱地免耕、水田免耕和水旱轮作免耕等耕作栽培制度。国内外对免耕土壤微生物数量、群落组成和微生物量等已做了较多研究,但主要集中在旱地和水田,较少涉及水旱轮作^[13]。水旱轮作构成了一个特殊的农田生态系统^[14],实行免耕对土壤微生物数量和微生物量的影响尚鲜见报道。名山县自20世纪80年代开始推广水稻-油菜轮作免耕栽培技术,免耕时间长、规模大、影响广,在四川省丘陵、平坝区具有一定的典型性。因此,本文以名山县黑竹镇为研究区域,初步探讨了水旱轮作条件下不同免耕年限土壤微生物数量和微生物量的变化特点,以期为合理耕作与施肥提

供科学依据与理论指导。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

名山县位于川西平原西南边缘,地处东经103°2'~103°23',北纬29°58'~30°16',属亚热带季风气候区,既受西南季风的控制又受南支气流的影响,年平均降雨量为1519.9 mm,年平均温度15.5℃,年日照时数1053.5 h。地貌类型以台状丘陵和缓丘平坝为主,采样区为缓丘平坝,海拔600~650 m。土壤类型较为一致,均为水稻土。种植制度以水稻-油菜轮作为主。

1.2 土样的采集与制备

分别在2006年5月8号(油菜收获期)和2006年9月20号(水稻收获后),根据实际调查,采集常规耕作(CK)、免耕2~3 a、5~6 a、7~8 a和10 a以上的土壤样品。常规耕作和不同免耕年限的土样均选7个田块作为重复,样品总数共计70个。土样为混合土样,用铁锹多点采集耕层(0~20 cm)土壤,每个土样由7个采集点的土壤混合,采集点呈“S”型均匀分布。土样分为2部分,一部分用无菌袋收集,带回实验室保存于4℃冰箱,迅速测定土壤细菌、真菌和放线菌的数量及微生物量碳和氮;另一部分风干,用于土壤理化性质的测定(表1)。

表1 供试土壤理化性质

Table 1 Soil chemical and physical properties

年限 Years (a)	容重 Bulk density (g/cm ³)		有机质 OM (g/kg)		全氮 Total N (g/kg)		速效氮 Avail. N (mg/kg)		速效磷 Avail. P (mg/kg)		pH	
	旱作 Upland	水作 Paddy	旱作 Upland	水作 Paddy	旱作 Upland	水作 Paddy	旱作 Upland	水作 Paddy	旱作 Upland	水作 Paddy	旱作 Upland	水作 Paddy
CK	1.56	1.46	35.14	35.55	1.54	1.91	150.03	189.75	14.33	17.08	5.52	5.61
2~3	1.60	1.49	50.24	39.97	1.92	2.23	170.74	223.05	18.48	19.68	5.06	5.32
5~6	1.64	1.53	44.46	56.86	1.90	2.52	196.41	228.48	22.78	22.12	5.06	5.21
7~8	1.66	1.61	35.31	48.28	1.58	1.95	148.12	213.00	16.44	20.40	4.99	5.13
>10	1.50	1.38	50.61	52.19	2.35	2.48	170.99	223.40	18.13	19.85	5.13	5.20

1.3 测试项目及方法

微生物数量: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^[15]。

微生物生物量:采用氯仿熏蒸-K₂SO₄浸提法^[16-17]。称取4份预培养土样,每份土样25 g(烘干基),其中2份直接用0.5 mol/L K₂SO₄浸提。另2份

放入内盛50 mL的无醇氯仿及稀碱(1 mol/L NaOH)的真空干燥器,用真空泵抽成真空,观察到氯仿剧烈沸腾后开始计时,并让真空泵的压力保持在0.6~0.8 MPa之间持续5 min,关闭真空干燥器的阀门,在25℃黑暗下灭菌24 h。取出氯仿和稀碱,再用真空泵反复抽气,直到土样闻不到氯仿的气味为止。熏蒸的土样除去氯仿后立即浸提。吸取10.0 mL浸提

液,用 $K_2Cr_2O_4-H_2SO_4$ 容量法测定碳含量。另取 15.0 mL 浸提液,用开氏法测定氮含量。以熏蒸土样与未熏蒸土样提取的有机碳、氮的差值分别除以转换系数 $K_C(0.38)$ 、 $K_N(0.54)$,计算土壤微生物量碳、氮的含量。

有机质、全氮、速效氮、速效磷、pH 值和容重的测定均采用常规分析方法^[17]。

2 结果与分析

2.1 土壤细菌数量的变化

旱作土壤细菌数量显著高于水作,前者是后者的 2.76~9.69 倍(图 1)。旱作后,免耕土壤细菌数量较常规耕作显著降低,降幅为 9.1%~66.4%。随着免耕年限延长,土壤细菌数量呈先降低再增加的趋势。免耕 2~3 a 土壤细菌数量略低于常规耕作,比免耕 5~6 a、7~8 a 和 10 a 以上土壤分别高 170.4%、55.5% 和 38.2%。免耕 5~6 a 土壤细菌数量急剧降低,仅为常规耕作的 34.0%,其后土壤细菌数量又有所上升。免耕 7~8 a 和 10 a 以上土壤细菌数量分别为 248.80×10^3 cfu/g, DW 和 292.20×10^3 cfu/g, DW, 比免耕 5~6 a 增加了 73.9% 和 95.0%。水作后,免耕土壤细菌数量比常规耕作显著降低,降幅为 7.6%~42.3%,不同免耕年限间无显著差异。

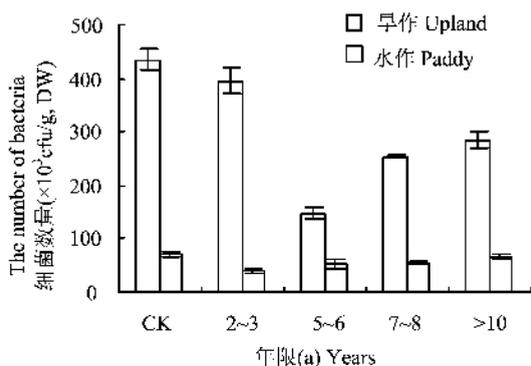


图 1 不同免耕年限土壤细菌数量的变化

Fig.1 Change of the number of bacteria in soils with different no-tillage years

土壤细菌是土壤微生物的主要组成部分,占土壤微生物总数的 70%~90%,其数量主要受有机质、水分、通气性、pH 值等土壤环境的综合影响^[18]。相关分析表明,旱作后,土壤细菌数量与土壤容重、有机质、全氮和速效养分等无显著相关性,而与土壤 pH 值呈显著正相关($r = 0.538^*$)。由表 1 分析可

知,旱作和水作后免耕土壤 pH 值分别比常规耕作降低了 0.39~0.53、0.29~0.48,是免耕土壤细菌数量较常规耕作降低的主要原因之一。水作后,土壤通气性降低,不利于土壤细菌的生长和繁殖,其数量显著低于旱作。

2.2 土壤真菌数量的变化

由图 2 可知,旱作土壤真菌数量显著高于水作。其中,常规耕作条件下,旱作土壤真菌数量是水作的 1.45 倍;免耕条件下,土壤真菌数量显著增加,旱作是水作的 5.74~9.86 倍。旱作后,免耕土壤真菌数量显著高于常规耕作,前者是后者的 3.06~5.09 倍。随着免耕年限延长,土壤真菌数量亦呈先减少再增加的趋势。免耕 7~8 a 土壤真菌数量最低,比免耕 2~3 a、5~6 a 分别降低了 39.7% 和 21.6%,差异显著。免耕 10 a 以后土壤真菌数量有所增加,是常规耕作的 3.71 倍,与其它免耕年限无显著差异。水作后,土壤真菌数量较旱作显著降低。不同免耕年限间,免耕 2~3 a 和 7~8 a 土壤真菌数量与常规耕作无显著差异,免耕 5~6 a 和 10 a 以上土壤真菌数量均较常规耕作土壤显著降低,降幅分别为 42.5%、30.0%。

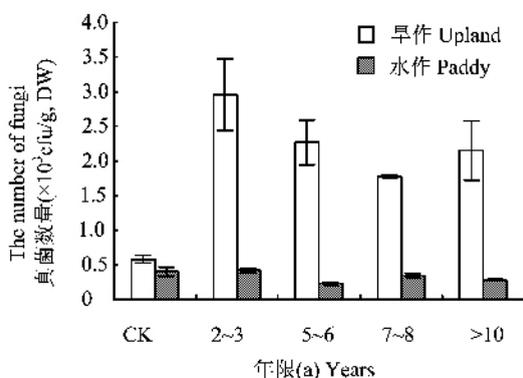


图 2 不同免耕年限耕层土壤真菌数量的变化

Fig.2 Change of the number of fungi in soils with different no-tillage years

相关分析表明,旱作后,土壤真菌数量与 pH 值和有机质之间分别存在极显著负相关($r = -0.698^{**}$)和显著正相关($r = 0.531^*$)关系,这与谭周进^[19]等的研究结果一致。免耕土壤 pH 值降低和有机质增加为土壤真菌的大量繁殖提供了有利条件。国外研究表明,免耕条件下,冷湿的土壤环境及表层丰富的有机质可致使真菌占优势^[20],而真菌的大量繁殖则可导致土壤病原菌增加,加重作物的病害^[21]。水作后,土壤通气性降低,免耕土壤真菌数

量显著降低,能有效抑制土壤病虫害的发生。王玮晶^[14]等研究表明,利用水环境的改变,可以防治顽固性杂草和土壤病虫害。

2.3 土壤放线菌数量的变化

旱作后,免耕土壤放线菌数量较常规耕作显著增加,增幅为 42.7%~151.8%(图 3)。免耕 2~3 a 土壤放线菌数量最高为 19.54×10^3 cfu/g DW,比免耕 5~6 a、7~8 a 和 10 a 以上土壤分别高 68.6%、76.5% 和 62.7%,差异显著。免耕 5~6 a 后土壤放线菌数量基本保持一致,不同免耕年限间无显著差异。水作后,免耕土壤放线菌数量较常规耕作显著降低,降幅为 27.0%~61.1%。随着免耕年限延长,土壤放线菌数量呈先降低再增加的趋势。免耕 7~8 a 土壤放线菌数量最低为 9.06×10^3 cfu/g DW,比免耕 2~3 a、5~6 a 土壤分别降低 51.4% 和 53.3%。免耕 10 a 以上土壤放线菌数量有所上升,比免耕 7~8 a 土壤增加 144.7%,与常规耕作及其它免耕年限间无显著差异。

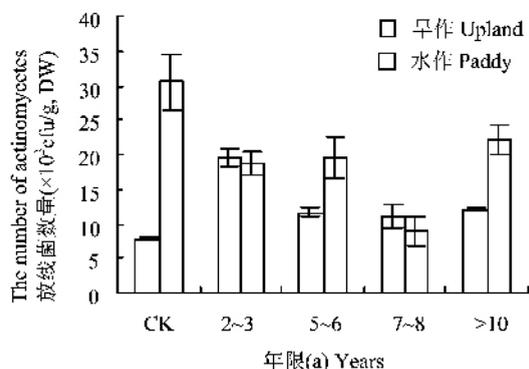


图 3 不同免耕年限土壤放线菌数量的变化

Fig.3 Change of the number of actinomycetes in soils with different no-tillage years

相关分析表明,旱作后,土壤放线菌数量与有机质呈显著正相关($r=0.587^*$),土壤有机质的增加不仅为真菌的繁殖提供了基质,同时也为土壤放线菌数量的增加提供了有利条件。水作后,土壤通气性降低,但土壤放线菌数量并未受到抑制,其原因是水作后土壤真菌数量显著降低,为土壤放线菌的生长和繁殖减小了种间竞争压力。相关分析亦表明,水作后,土壤放线菌与真菌数量呈显著负相关($r=-0.579^*$)。此外,土壤放线菌数量与 pH 值和容重分别呈极显著正相关($r=0.775^{**}$)和显著负相关($r=-0.587^*$)。因此,土壤 pH 值降低和容重增加,是水作后免耕土壤放线菌数量显著低于常规耕作的

主要原因。

2.4 土壤微生物量碳的变化

土壤微生物量碳是土壤有机质中活性较高的部分,是土壤养分重要的源。旱作土壤微生物量碳比水作高 71.2%~161.1%(图 4)。旱作后,免耕土壤微生物量碳较常规耕作显著增加,受免耕年限的影响,其增幅亦不同。免耕 2~3 a 土壤微生物量碳最高为 1056.6 mg/kg,比常规耕作增加 161.1%。随着免耕年限延长,呈逐渐降低的趋势,免耕 10 a 以上土壤微生物量碳比免耕 2~3 a 降低了 26.9%,差异显著。水作后,免耕土壤微生物量碳比常规耕作增加 7.58%~65.4%。随着免耕年限延长,土壤微生物量碳呈先增加再降低的趋势。免耕 5~6 a 土壤微生物量碳最高为 514.4 mg/kg,比常规耕作增加 223.9 mg/kg。免耕 7~8 a 土壤微生物量碳迅速降低,与常规耕作无显著差异,比免耕 2~3 a、5~6 a 和 10 a 以上土壤分别降低 26.6%、39.3% 和 30.7%。免耕 10 a 以上土壤微生物量碳又有所回升,较常规耕作显著增加,增幅为 55.3%,与免耕 2~3 a 和 5~6 a 无显著差异。

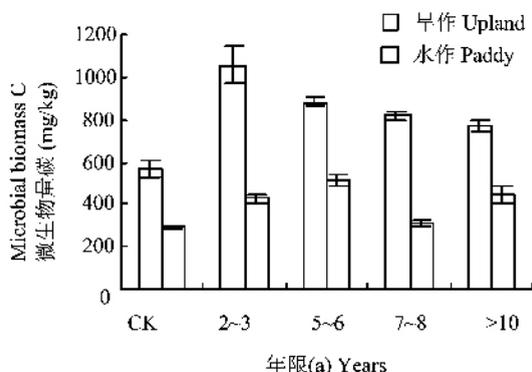


图 4 不同免耕年限土壤微生物量碳的变化

Fig.4 Change of the microbial biomass C in soils with different no-tillage years

土壤微生物量是土壤中除植物残体和大于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ 的土壤动物以外的具有生命活动的有机物的量,其主要生物类群有细菌、真菌、放线菌、藻类和原生动物等。农田生态系统中,土壤微生物量的变化主要受环境因素的影响。旱作后,土壤微生物量碳并未随土壤有机质含量的增加而增加(表 1),这与樊丽琴等^[22]的研究结果一致。相关分析表明,土壤微生物量碳与土壤真菌和放线菌数量分别呈极显著正相关($r=0.885^{**}$ 、 0.881^{**})。因此,旱作后,土壤微生物量碳的增加主要是由于土壤真菌和放线

菌的大量繁殖。水作后,土壤微生物量碳呈先增加再降低的变化趋势,与土壤有机质、全氮和速效氮的变化一致(表1)。相关分析表明,微生物量碳与土壤有机质、全氮和速效氮含量均存在极显著正相关($r = 0.754^{**}, 0.850^{**}, 0.770^{**}$)。因此,水作后,土壤微生物量碳则主要受土壤有机质和养分含量的影响。

2.5 土壤微生物量氮的变化

土壤微生物量氮是土壤微生物对氮矿化与固持作用的综合反映^[23]。水作和旱作后,土壤微生物量氮与微生物量碳均呈极显著正相关($r = 0.846^{**}, 0.755^{**}$)二者变化趋势一致(图5)。旱作后,免耕土壤微生物量氮较常规耕作显著增加,增幅为20.1%~69.7%。随着免耕年限延长,土壤微生物量氮呈逐渐降低的趋势,免耕7~8 a土壤微生物量氮比免耕2~3 a降低29.2%。水作后,免耕土壤微生物量氮比常规耕作增加4.9%~29.5%。随着免耕年限延长,土壤微生物量氮呈先增加再降低的趋势。旱作和水作后,免耕土壤微生物量氮均高于常规耕作,表明免耕土壤有较多的氮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 NH_3 挥发和 NO_3^- 淋失以及反硝化脱氮等途径造成的氮素损失。这对调节土壤氮素供应,提高土壤氮素利用率,保护大气环境,防止水资源污染,保障农业可持续发展等具有积极意义。

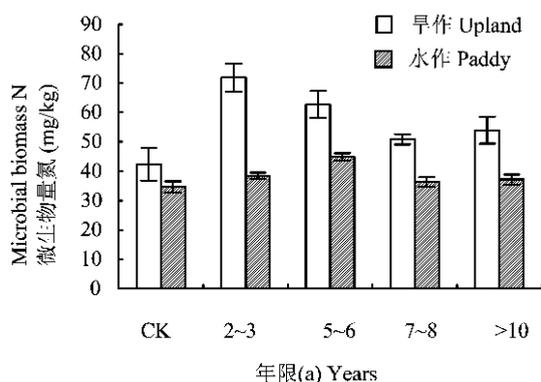


图5 不同免耕年限土壤微生物量氮的变化

Fig.5 Change of the microbial biomass N in soils with different no-tillage years

3 结论

1) 旱作和水作后,免耕土壤细菌数量均较常规耕作土壤显著降低。旱作后,土壤细菌数量随着免耕年限的延长,呈先降低再增加的趋势;水作后,免耕土壤细菌数量在不同免耕年限间无显著差异。

2) 旱作后免耕土壤真菌数量显著高于常规耕作,随着免耕年限延长,呈先降低再增加的趋势;水作后,免耕5~6 a和10 a以上土壤真菌数量较常规耕作土壤显著降低。

3) 旱作后免耕土壤放线菌数量显著高于常规耕作,并随着免耕年限延长,土壤放线菌数量呈降低的趋势;而水作后,免耕土壤放线菌数量低于常规耕作,随着免耕年限延长,土壤放线菌数量呈先降低再增加的趋势。放线菌与真菌数量呈显著负相关。

4) 旱作和水作后,免耕土壤微生物量碳和氮显著高于常规耕作。微生物量碳、氮呈极显著正相关,变化趋势一致。旱作后,免耕土壤微生物量碳和氮随着免耕年限延长,呈逐渐降低的趋势;水作后,免耕土壤微生物量碳和氮均高于常规耕作,并随着免耕年限的延长,微生物量碳、氮均呈先增加再降低的趋势。

参考文献:

- [1] 杨学明,张小平,方华军,等.北美保护性耕作及对中国的意义[J].应用生态学报,2004,15(2):335-340.
Yang X M, Zhang X P, Fang H J et al. Conservation tillage systems in North America and theirs significance for China[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(2):335-340.
- [2] 高亚军,黄东迈,朱培立,等.水旱轮作地区免耕的肥力效应[J].耕作与栽培,2000(5):2-7.
Gao Y J, Huang D M, Zhu P L et al. Fertilization efficiency of No-tillage soil in paddy-upland area[J]. Cultiv. Plant., 2000, (5):2-7.
- [3] 谢德体,曾觉廷.水田自然免耕土壤孔隙状况研究[J].西南农业大学学报,1990,13(4):394-397.
Xie D T, Zeng J T. Study on soil pore space status in paddy field under soil virginization[J]. J. Southwest Agric. Univ., 1990, 12(4):394-397.
- [4] 陈强,李登煜,张先婉.旱地聚土免耕土壤微生物特性研究[J].土壤农化通报,1998,13(4):49-52.
Cheng Q, Li D Y, Zhang X W. Study on microbial characters of upland SNTRCS[J]. Chin. J. Soil Agric. Chem., 1998, 13(4):49-52.
- [5] 陈蓓,张仁陟.免耕与覆盖对土壤微生物数量及组成的影响[J].甘肃农业大学学报,2004,39(6):634-638.
Cheng B, Zhang R Z. Effects of no-tillage and mulch on soil microbial quantity and composition[J]. J. Gansu Agric. Univ., 2004, 39(6):634-638.
- [6] 李彩华,靳学惠,台莲梅.长期定点下不同农业措施对土壤微生物区系的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2006,18(2):19-22.
Li C H, Jin X H, Tai L M. Effects of different agricultural management methods on soil microorganism population in long-term and place-fixing[J]. J. Heilongjiang Aug. First Land Reclam. Univ., 2006, 18

- (2):19-22.
- [7] 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[J]. 中国农业科学,1994,27(6):41-49.
Gao Y C, Zhu W S, Cheng W X. The relationship between soil microbial biomass and the transformation of plant nutrients in straw mulched no-tillage soils[J]. Sci. Agric. Sin., 1994, 27(6):41-49.
- [8] 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[J]. 土壤学报,2002,39(1):89-96.
Xu Y C, Shen Q R, Ran W. Effect of zero tillage and application of manure on microbial biomass C, N and P after sixteen years of cropping[J]. Acta Pedol. Sic., 2002, 39(1):89-96.
- [9] 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[J]. 土壤学报,1992,29(4):370-377.
Ying S X, Song M Z, Feng K. Effect of zero tillage on soil microorganisms and biological activity[J]. Acta Pedol. Sic. 1992, 29(4):370-377.
- [10] 高云超,朱文珊,陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤真菌群落结构与生态特征研究[J]. 生态学报,2001,21(10):1704-1710.
Gao Y C, Zhu W S, Cheng W X. Community structures of saprophytic soil microfungi in three differently cultivated field soils in the North of China[J]. Ecol. Sci., 2001, 21(10):1704-1710.
- [11] 高明,周宝同,魏朝富,等. 不同耕作方式对稻田土壤动物、微生物及酶活性的影响研究[J]. 应用生态学报,2004,15(7):1177-1181.
Gao M, Zhou B T, Wei C F *et al.* Effect of tillage system on soil animal, microorganism and enzyme activity in paddy field[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(7):1177-1181.
- [12] 高明,张磊,魏朝富,谢德体. 稻田长期垄作免耕对水稻产量及土壤肥力的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(4):343-348.
Gao M, Zhang L, Wei C F, Xie D T. Study of the changes of the rice yield and soil fertility on the paddy field under long-term no-tillage and ridge culture conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(4):343-348.
- [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[J]. 水土保持学报,2002,2(16):111-115.
Zhang L, Xiao J Y, Xie D T, Wei C F. Study on microbial characteristics in paddy soil under long-term no-tillage and ridge culture[J]. J. Soil Water Cons., 2002, 2(16):111-115.
- [14] 王玮晶,韩德宏,李国良,姚章村. 水旱田轮作初步研究[J]. 黑龙江水专学报,2003,30(2):23-25.
Wang W J, Han D H, Li G L, Yao Z C. The reach on paddy and drought farmland alternation of culture[J]. J. Heilongjiang Hydr. Engin. coll., 2003, 30(2):23-25.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所微生物室. 土壤微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,1985.
Microbe Lab Institute of Soil Science Chinese Academy of Science Nanjing. Soil microbe analysis[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [16] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass [J]. Soil Biol. Biochem., 1987, 19:703-707.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Lu R K. Soil agrochemical analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002.
- [18] 陈文新. 土壤和环境微生物学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1996.
Chen W X. Soil and environment microbiology[M]. Beijing: Beijing Agriculture University Press, 1996.
- [19] 谭周进,周卫军,张扬珠,等. 不同施肥制度对稻田土壤微生物的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(3):430-435.
Tan Z J, Zhou W J, Zhang Y Z *et al.* Effect of fertilization systems on microbes in the paddy soil[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(3):430-435.
- [20] Wardle D A. Impacts of disturbance on detritus food webs in agro ecosystem of contracting tillage and weed management practices[J]. Adv. Ecol. Res., 1995, 26:105-185.
- [21] 尹睿,张华勇,黄锦法,等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1):57-62.
Yin R, Zhang H Y, Huang J F *et al.* Comparison of microbiological properties between soils of rice-wheat rotation and vegetable cultivation[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(1):57-62.
- [22] 樊丽琴,南志标,沈俞颖,高崇岳. 保护性耕作对黄土高原小麦田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 草原与草坪,2005(4):51-55.
Fan L Q, Nan Z B, Shen Y Y, Gao C Y. Effects of conservation practices on soil microbial biomass carbon in wheat field in the Loess Plateau[J]. Grassl. Turf., 2005, (4):51-55.
- [23] 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[J]. 生态学报,2001,21(10):1718-1724.
Zhou J B, Chen Z J, Li S X. Contents of soil microbial biomass nitrogen and its mineralized characteristics and relationship with nitrogen supplying ability of soil[J]. Ecol. Sci., 2001, 21(10):1718-1724.