

不同利用年限菜地土壤有机碳矿化动态和酶活性变化^①

路磊^{1,2}, 李忠佩^{1,2*}, 车玉萍¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过田间采样分析并结合室内培育试验, 观测了不同利用年限菜地土壤有机碳矿化和酶活性变化特征。结果表明, 蔬菜地土壤由于大量化肥的施用, 导致 NO_3^- -N 的积累。即使大量施用有机肥, NO_3^- -N 的积累也较明显。随着利用年限延长, 培养前期的菜地土壤有机碳矿化率有下降趋势; 脲酶和转化酶活性下降, 磷酸酶活性因大量 P 肥使用造成 P 的积累而呈上升趋势。土壤磷酸酶和转化酶活性与土壤有机 C 和全 N 含量呈显著相关关系。不同利用年限菜地土壤酶活性变化幅度较大, 能够更为敏感的指示土壤质量的变化。

关键词: 土壤有机碳; 矿化; 酶活性; 菜地; 利用年限

中图分类号: S154.2

我国的城市化进程正以前所未有的速度推进, 为了满足日益增长的城市人口对蔬菜的大量需求, 菜地面积大幅增长, 2001 年已达农作物播种总面积的 10%^[1-2], 成为影响人类生活和生态环境变化的重要土地类型。

菜地的管理以高复种指数和大量施用化学肥料为主要特点, 是我国典型的高度集约利用方式。由于肥料的大量施用以及高强度利用, 菜地土壤的养分长期处于富余状态, 肥料结构并不合理, 养分失衡的状况比较突出。随着菜地利用年限的延长, 土壤的物理、化学和生物学性状均发生了很大变化, 土壤质量退化问题比较明显, 蔬菜品质也受到严重影响。近年来, 关于菜地土壤质量退化问题已经引起广泛注意, 特别是施肥与蔬菜品质关系, 以及种植蔬菜后土壤的一些理化性质变化, 已经进行了大量的研究。研究表明^[2-6], 长期利用的菜地土壤, 由于长期高量的化肥和有机肥的投入, 使得土壤中有有机质、全 N 和速效 P 含量丰富, 但由于化肥施用配比不合理, K 的亏缺明显; 由于 N 肥的长期高量投入, 造成了以硝酸盐积累为主要特征的次生盐渍化现象比较严重, N 肥在微生物的硝化作用下形成 NO_3^- -N, 导致土壤 pH 下降趋势显著, 土壤酸化; 土壤微生物种群组成和活性也发生明显变化。但目

前的研究主要针对具体的理化和生物学指标开展分析, 而关于土壤代谢过程的变化尚报道不多, 特别是随着菜地利用年限的延长, 土壤生物学指标的动态变化特征尚不清楚。

本项研究通过田间采样分析, 结合室内培育试验, 观测不同利用年限菜地土壤有机 C 矿化和酶活性变化特征, 结果可为正确了解菜地土壤的质量性状变化特征和制订合理的管理利用措施提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 样地概况及土壤样品采集

采样地点位于江苏省常熟市梅李镇珍北村, 是该市的蔬菜生产基地。每个蔬菜大棚长约 15 m, 面积约为 0.01 hm^2 。年施复合肥 4500 kg/hm^2 , 硫酸 6000 kg/hm^2 。主要蔬菜品种为番茄、黄瓜和豆类。在实地调查的基础上, 考虑本底土壤的相对一致性和大棚利用的代表性, 在相距不到 150 m 的范围内, 经比较后选择棚龄分别为 17 年、7 年和 1 年的蔬菜大棚 (以 2003 年为基准) 各 1 个, 于 2003 年 8 月在每个大棚内按一定间距随机选择 3 个样点, 按 0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm 分层取样。土壤为发育于长江冲积物上的灰潮土^[7]。

①基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-417) 资助。

* 通讯作者 (zhpli@mail.issas.ac.cn)

作者简介: 路磊 (1981—), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事土壤生物化学的研究。E-mail: llul@issas.ac.cn

长江三角洲地区进行农业结构调整时, 果园也是一种非常重要的利用类型。为了比较不同利用方式之间的影响, 在江苏省吴江市芦墟镇选择了利用年限相近的蔬菜地和葡萄园进行采样分析。蔬菜地和葡萄园均改自水稻田后利用了 4~6 年。葡萄园起垄约 25 cm, 垄宽约 35 cm。起垄种植葡萄前, 施用了大量的菜饼和猪粪作为基肥。其后, 每年以追肥方式施用一定量的化肥。此外, 还选择了作为有机食品基地的蔬菜地, 以了解大量施用商品有机肥的影响。土壤为发育于河湖相沉积物的黄泥土^[7]。在选择蔬菜地和葡萄园地上, 随机采集 3 个样点 0~10 cm 的土壤样品。

样品经挑根处理后, 部分过 20 目并保持新鲜状态保存在 4℃下供培育试验用。其他样品风干、磨细以供化学分析。

1.2 土壤有机 C 矿化动态的培育试验

采用室内恒温培养、碱液吸收法测定土壤有机 C 的矿化量^[8]。称取 20 g 新鲜土壤于 500 ml 培养瓶中平铺于瓶底部, 根据土壤含水量及土壤最大持水量计算出最大持水量 60% 时的需水量, 均匀地加入铺于瓶底的土壤中。然后, 将盛有 5 ml 0.1mol/L NaOH 溶液的 10 ml 特制容量瓶小心地置于培养瓶内, 将培养瓶加盖密封好, 于 28℃ ± 1℃ 的恒温箱中培养。在培养期间, 定期取出容量瓶 (每处理均 3 次重复), 将其中碱液全部转移至三角瓶中, 加入 1 mol/L BaCl₂ 溶液 1 ml, 加两滴酚酞指示剂, 用标准酸滴定至红色消失。根据 CO₂ 的释放量计算培养期内土壤有机 C 的矿化量。

1.3 化学分析

土壤有机 C 含量采用丘林法测定, 全 N 采用凯氏法测定, NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 采用 MgO-代氏合金蒸馏法测定^[9]。

脲酶采用靛酚比色法测定, 其活性以 24 h 后土壤中生成的 NH₄⁺-N 量表示; 中性磷酸酶采用磷酸苯二钠测定法, 其活性用水解基质所生成的苯酚的量来表示; 转化酶采用比色法测定, 其活性根据培养过程中葡萄糖的产生量来表示^[10]。

各处理之间的差异显著性采用 SPSS 统计软件进行分析检验。

2 结果与讨论

2.1 土壤 C、N 含量变化

2.1.1 不同利用年限菜地土壤 C、N 含量变化
本项研究所选择的蔬菜地, 是该地区的蔬菜生产基地。其中, 17 年利用的地块, 期间曾短期改种大田作物, 并不是连续种植 17 年蔬菜, 但仍可表示较长时间种植蔬菜的情况。结果表明 (表 1), 由于供试的土壤黏粒含量较低 (约 100 g/kg 左右)^[7], 其有机 C 和全 N 含量已处于相对丰富水平, 施用有机肥和化肥对土壤有机 C 和全 N 含量的影响较小。但随利用年限延长, 菜地土壤有机 C 和全 N 含量有升高趋势。

与利用时间较短 (1 年) 的菜地相比, 利用时间较长 (7 年、17 年) 的菜地土壤中无机 N 含量显著提高, 而且土壤中累积的 NO₃⁻-N 含量均显著高于 NH₄⁺-N 的含量, NO₃⁻-N 含量占无机 N 含量的比例增加。利用时间较短 (1 年) 的菜地土壤 0~10 cm 土层 NO₃⁻-N 含量占无机 N 总量的 60.9%, 而利用

表 1 不同利用年限菜地土壤 C、N 含量变化

Table 1 Soil C and N contents in soils different in duration of vegetable plantation

利用年限 (年)	土层深度 (cm)	有机 C (g/kg)	全 N (g/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)
1	0~10	8.8Aa	0.51Aa	68.00Aa	105.7Aa
	10~20	8.8Aa	0.44Ab	18.17Cc	69.80Cd
	20~40	5.9Cd	0.32Bc	20.20Cc	70.00Cd
7	0~10	8.7Aa	0.63Aa	110.93Bb	361.87Bc
	10~20	7.8Ac	0.48Ab	33.73Cc	154.53Aa
	20~40	5.2Cd	0.36Bc	22.87Cc	145.77Aa
17	0~10	10.2Ab	0.56Aa	84.63Aa	198.43Ab
	10~20	9.9Ab	0.53Aa	30.67Cc	93.7Cd
	20~40	6.0Cd	0.31Bc	18.20Cc	73.23Cd

注: 土壤为常熟市珍北村的灰潮土。表中数据均为 3 次重复的平均值, 不同的大写字母表示差异达到极显著水平 (P<0.01), 不同小写字母表示差异达到显著水平 (P<0.05), 下同。

时间较长(7年、17年)的菜地占76.5%和70.1%。这说明由于大量施用肥料,无机N尤其是 NO_3^- -N在菜地土壤中明显累积。

由于肥料主要施于表层,随利用年限延长, NO_3^- -N在表层富集趋势明显。利用时间较短(1年)的菜地土壤 NO_3^- -N含量在0~10、10~20、20~40 cm土层的比例为:1:0.66:0.66,而利用时间较长(7年、17年)的菜地土壤相应值分别为1:0.43:0.40和1:0.47:0.37。

NO_3^- -N是蔬菜吸收的主要N素形态,土壤中大量的 NO_3^- -N会造成其在蔬菜中累积,降低蔬菜品质,并可能危害人体健康。由于菜地土壤中作物根系分布较浅,残留的 NO_3^- -N被淋洗到40 cm以下后,就难以重新利用,同时, NO_3^- -N不易被土壤胶体吸附,这些未被吸收利用的 NO_3^- -N在雨水和灌溉水的淋洗作用下,向土壤深层迁移,污染菜区地下水

环境^[2]。

2.1.2 不同利用方式土壤C、N含量变化 由表2可以看出,不同利用方式下的土壤有机C和全N含量均达到该地区黄泥土的较高水平。与作为菜地利用的土壤相比,葡萄园土壤中无机N含量显著提高,尤其是 NO_3^- -N含量比菜地土壤有极显著增加,这可能是由于:①葡萄园起垄种植使得表层肥土堆积;②葡萄园在建园前施用了大量有机肥;③葡萄是多年生藤本植物,当季N素吸收量较小,而且采样时为葡萄收获季节,此时葡萄利用无机N的量很低。

作为有机食品生产基地的蔬菜地,每年施用商品有机肥30000 kg/hm²。虽然没有施用化肥,同样可以显著提高土壤中 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N的含量,甚至肉眼可见表层大量的盐分积累。因此,大量施用有机肥造成的 NO_3^- -N积累和盐渍化现象亦应引起足够重视。

表2 不同利用方式0~10 cm土壤C、N含量变化

Table 2 Soil C and N contents in soils different in land use

利用方式	有机C (g/kg)	全N (g/kg)	NH_4^+ -N (mg/kg)	NO_3^- -N (mg/kg)
蔬菜地	18.2Aa	0.84Aa	50.35Aa	93.63Aa
葡萄园	15.5Ab	0.82Aa	138.63Bb	231.5Bb
有机食品基地(蔬菜地)	19.2Aa	0.99Ab	94.67Ac	748.67Cc

注:土壤为吴江市芦墟镇的黄泥土。表中数据均为3次重复的平均值。

2.2 土壤有机C的矿化动态

2.2.1 不同利用年限菜地土壤有机C矿化动态

培养过程中,不同利用年限蔬菜大棚土壤有机C的矿化动态有明显区别。结果表明(图1),随着培养时间的延长,有机C的日均矿化量迅速下降,至第5天降至开始时的30%左右;第16天以后,土壤的日均矿化量趋于稳定,保持在试验开始时的20%左右。可见,土壤有机C矿化过程可分为快速下降和趋于平稳两个阶段。总体来说,培养期间菜地土壤有机C日均矿化量的变化符合对数函数,相关方程式如表3所示,其中Y为土壤有机C日均矿化量(mg/(kg·d)),X为培养时间(天)。

比较表明,不同利用年限菜地土壤有机C矿化量差异主要表现在培养的前期。培养前期(5天),利用年限较长(7年、17年)的菜地,0~10 cm土壤有机C的日均矿化量比利用年限较短(1年)的

菜地土壤低10%和29%,差异检验达到显著水平。培养后期,土壤有机C矿化趋于平稳,不同利用年限菜地之间矿化量和矿化速率差异则主要与有机C总量有关。

表3列出了整个培养期间的土壤有机C矿化总量和矿化率。培养开始的前5天,0~10 cm土层矿化量略低于10~20 cm土层,但此后直到培养结束,0~10 cm土层矿化量均高于10~20 cm土层。总体而言,土壤有机C矿化总量随深度下降而降低,且差异达到显著水平($P<0.05$)。这说明下层土壤有机C的生物有效性比上层土壤低,在田间条件下,由于土壤下层通气状况差,有机C矿化速率可能更低,上下层土壤有机C矿化速率差异应比测定值更大^[11]。80天的培养期内,不同利用年限土壤有机C的矿化率变动在2.89%~4.65%之间。

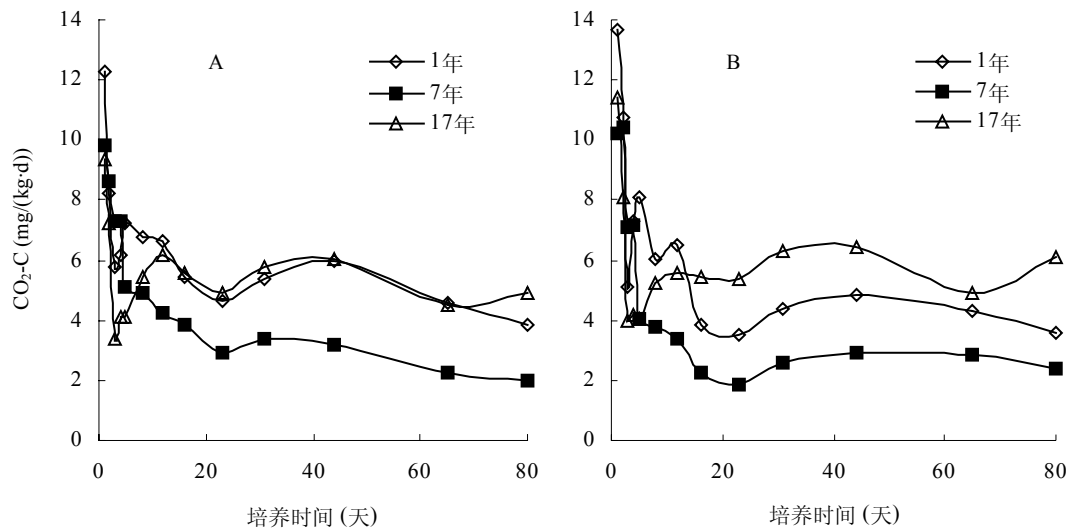


图 1 培养过程中不同利用年限菜地土壤有机 C 日均矿化量变化 (A: 0~10 cm, B: 10~20 cm)

Fig. 1 Daily mineralization of soil organic carbon in soils different in duration of vegetable plantation during incubation

表 3 培养过程中不同利用年限菜地土壤有机 C 矿化动态

Table 3 Mineralization of soil organic carbon in soils different in duration of vegetable plantation during incubation

土层深度 (cm)	利用年限 (年)	矿化量 (mg/kg)	矿化率 (%)	相关方程	相关系数
0~10	1	414.2	4.65	$Y = -1.252\ln(X) + 9.368$	$R^2 = 0.6563^{**}$
	7	250.5	2.89	$Y = -1.760\ln(X) + 9.199$	$R^2 = 0.9351^{**}$
	17	431.2	4.23	$Y = -1.684\ln(X) + 8.536$	$R^2 = 0.7705^{**}$
10~20	1	370.4	4.22	$Y = -1.836\ln(X) + 10.684$	$R^2 = 0.6952^{**}$
	7	240.3	3.16	$Y = -1.897\ln(X) + 9.221$	$R^2 = 0.7595^{**}$
	17	418.3	4.23	$Y = -2.071\ln(X) + 9.616$	$R^2 = 0.6048^{**}$

2.2.2 不同利用方式土壤有机 C 矿化动态 培养过程中不同利用方式土壤有机 C 矿化动态也符合对数关系 (图 2 和表 4)。土壤有机 C 日均矿化量在培养前 5 天迅速下降, 5 天后趋于稳定至培养结束。不同利用方式之间, 菜地土壤有机 C 的矿化总量和矿化率均高于葡萄园土壤。而作为有机食品基地的蔬菜地, 尽管大量施用有机肥, 但土壤有机 C 的矿化速率并不高。

2.3 土壤酶活性

脲酶是一种酰胺酶, 能酶解有机物质分子中的肽键, 是土壤中最活跃的水解酶类之一, 脲酶是唯一一种能够水解尿素肥料的酶, 能够表征土壤氮素状况。土壤磷酸酶是一类催化土壤中有有机 P 化合物矿化的酶, 其活性高低直接反映土壤有机 P 的分解转化和生物有效性。土壤转化酶是反应土壤有机 C

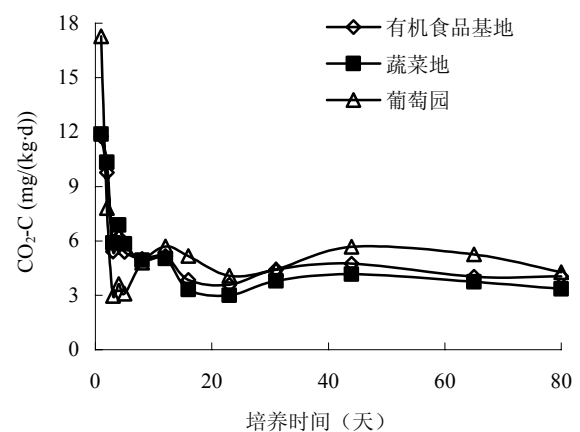


图 2 培养过程中不同利用方式土壤有机 C 日均矿化量变化

Fig. 2 Daily mineralization of soil organic carbon in soils different in land use during incubation

表4 培养过程中不同利用方式土壤有机C矿化动态

Table 4 Mineralization of soil organic carbon in soils different in land use during incubation

利用方式	矿化量 (mg/kg)	矿化率 (%)	相关方程	相关系数
有机食品基地	484.4	2.52	$Y = -1.417\ln(X) + 9.025$	$R^2 = 0.6507^{**}$
蔬菜地	615.1	3.37	$Y = -1.716\ln(X) + 9.643$	$R^2 = 0.7467^{**}$
葡萄园	441.6	2.85	$Y = -2.461\ln(X) + 11.043$	$R^2 = 0.4766^*$

转化的酶。

由图3可以看出,不同利用年限菜地土壤转化酶活性呈现出1年>7年>17年的变化趋势,而脲酶活性则表现为1年>17年>7年,但17年与7年之间没有达到显著差异。可见,不同利用年限菜地土壤的脲酶、转化酶活性有随利用年限的延长而下降的趋势。不同土层的比较还表明,土壤脲酶和转

化酶活性有下层(10~20 cm)高于上层(0~10 cm)的趋势。而土壤磷酸酶有随利用年限的延长而显著增加的趋势,这可能是因为长期施用肥料造成土壤中P素的积累所致。

图4结果表明,对不同利用方式土壤来说,菜地土壤的磷酸酶活性显著高于葡萄园土壤,但脲酶和转化酶没有显著差异。

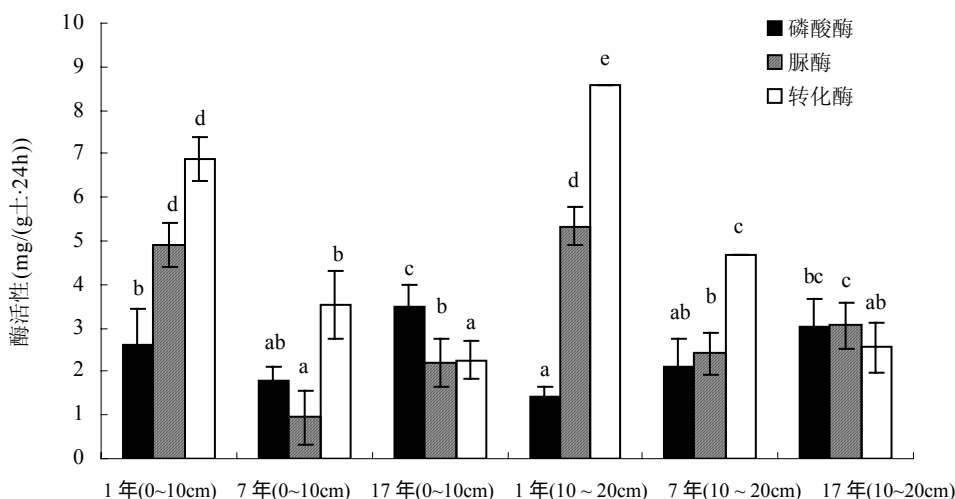


图3 不同利用年限菜地土壤脲酶、磷酸酶和转化酶活性变化

(脲酶单位为 $\text{NH}_4^+\text{-N mg/(g·24 h)}$, 磷酸酶单位为 mg/(g·24 h) , 转化酶单位为 mg/(g·24 h) , 下同)

Fig. 3 Soil enzyme (urease, phosphatase and invertase) activities in soils different in duration of vegetable plantation

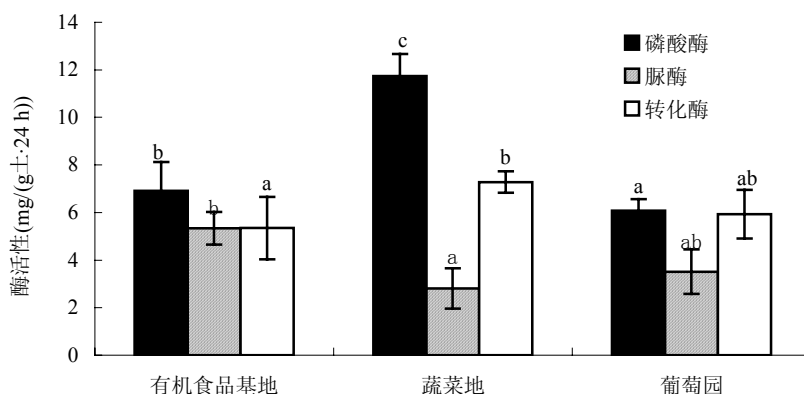


图4 不同利用方式土壤脲酶、磷酸酶和转化酶活性变化

Fig. 4 Soil enzyme (urease, phosphatase and invertase) activities in soils different in land use

3 小结

(1) 蔬菜地土壤由于大量化肥的施用, 导致 NO_3^- -N 的积累。即使大量施用有机肥, NO_3^- -N 的积累也较明显。

(2) 土壤有机 C 矿化与土壤性质有非常密切的关系, 而且影响土壤有机 C 含量水平。不同利用年限菜地土壤的有机 C 矿化率有差异, 培养前期土壤有机 C 矿化速率有随利用年限延长而下降的趋势。

(3) 随着利用年限延长, 菜地土壤的脲酶和转化酶活性下降, 磷酸酶活性因大量 P 肥使用造成 P 的积累而呈上升趋势。

(4) 土壤磷酸酶和转化酶活性与土壤有机 C 和全 N 含量呈显著相关关系。不同利用年限菜地土壤酶活性变化幅度较大, 能够更为敏感地指示土壤质量的变化。

参考文献:

- [1] 丁保华. 近 10 年来我国蔬菜生产的变化特点和发展趋势 // 谢建昌主编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997: 17-21
- [2] 王朝辉, 宗志强, 李生秀, 陈宝明. 蔬菜的硝酸盐累积及菜地土壤的硝态氮残留. 环境科学, 2002, 23 (3): 79-83
- [3] 王朝辉, 李生秀, 田霄鸿. 不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响. 植物营养与肥料学报. 1998, 4 (1): 22-28
- [4] 郭亚芬, 张忠学, 许修宏. 菜园土壤氮磷钾硫养分状况的研究. 东北农业大学学报, 1999, 30 (3): 221-224
- [5] 寇长林, 巨晓棠, 高强. 两种农作体系施肥对土壤质量的影响. 生态学报, 2004, 24 (11): 2548-2556
- [6] 焦坤, 李德成. 蔬菜大棚条件下土壤性质及环境条件变化. 土壤, 2003, 35 (2): 94-97
- [7] 江苏省地方志编纂委员会编. 江苏省志. 土壤志. 南京: 江苏古籍出版社, 2001
- [8] Goyal S, Chander K, Mundra MC, et al. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. Biol. Fertil. Soils., 1999, 29: 196-200
- [9] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [10] 关松荫. 土壤酶及研究法. 北京: 农业出版社, 1986
- [11] 李忠佩, 张桃林, 陈碧云, 尹瑞龄, 施亚琴. 红壤稻田土壤有机质的积累过程特征分析. 土壤学报, 2003, 40 (3): 344-352

Soil Organic Carbon Mineralization and Enzyme Activity in Soils Different in Duration of Vegetable Plantation

LU Lei^{1, 2}, LI Zhong-pei^{1, 2}, CHE Yu-ping¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Through indoor analysis and incubation of soil samples collected from fields in the Yangtze Delta region, differences in soil organic carbon mineralization and enzyme activities between soils different in duration of vegetable plantation were observed. Findings showed that NO_3^- -N content in the soils increased significantly with the duration because of application of large amounts of chemical fertilizer or/and organic manure. Mineralization rate of soil organic carbon, during the early period of incubation, decreased with the increase in duration. Activities of soil urease and invertase also decreased with the increase in duration, while soil phosphatase increased owing to phosphorus accumulation in the soil from application of large amounts of phosphate fertilizer. Soil phosphatase and invertase activities were significantly correlated to soil organic carbon and total nitrogen content. Soil enzyme activity varied obviously with duration of vegetable plantation and could be cited as a sensitive indicator of changes in soil quality.

Key words: Soil organic carbon, Mineralization, Enzyme activity, Vegetable soil, Duration of vegetable plantation