

长期不同施肥对棕壤微生物量磷及其周转的影响

王晔青, 韩晓日*, 马玲玲, 王玲莉, 赵立勇, 李鑫

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 研究棕壤定位试验 27 年后, 长期不同施肥条件下土壤微生物量磷在玉米生长季内的变化及其对植物营养的贡献。结果表明, 长期施用化学磷肥或有机肥均能增加土壤微生物量磷的含量, 尤以有机肥的作用更显著; 长期单一的施用氮肥降低了微生物量磷的含量。玉米生长季内土壤微生物量磷的动态变化呈先上升后下降的趋势, 其含量最大值出现在玉米生长中后期; 一个生长季后, 各处理微生物量磷的含量都较施肥前有所下降。长期施肥增加了土壤微生物体的供磷量, 微生物体供磷量与玉米产量及吸磷量关系密切, 占玉米植株体吸磷量的 11.79% ~ 34.46%。不同施肥处理土壤微生物量磷的周转期为 0.68 ~ 1.61 年, 施肥延长了微生物量磷的周转期; 但单施氮肥加速了其周转。土壤微生物量磷能反映土壤磷素肥力水平。

关键词: 棕壤; 长期施肥; 土壤微生物量磷; 玉米; 周转

中图分类号: S147.2; S158

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)02-0322-06

Effect of long-term fertilization on the content and turnover of soil microbial biomass P

WANG Ye-qing, HAN Xiao-ri*, MA Ling-ling, WANG Ling-li, ZHAO Li-yong, LI Xin

(College of Land and Environment Sciences, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: Long-term application of chemical P fertilizer and organic fertilizer could increase SMB-P content, especially organic fertilizer, but application of single chemical N fertilizer could decrease SMB-P content. During maize growth periods, SMB-P increased first and then decreased, and showed a peak value at the metaphase or anaphase of maize growth periods. After one growing season, SMB-P content was lower than that before fertilization. Long-term fertilization could increase the P supply amount by SMB-P, there was a significant correlation between P supplying amount by SMB-P with maize yield and P uptake. P supplying amount of SMB-P took up 11.79% ~ 34.46% of plant phosphorus uptake amount. Turnover time of SMB-P was 0.68 - 1.61 year in different fertilization treatments and fertilizer application could extend SMB-P turnover time, but single application of chemical nitrogen fertilizers could accelerate its turnover. There was a significant correlation between SMB-P and soil P fertility.

Key words: brown soil; long-term fertilization; soil microbial biomass phosphorus; maize; turnover

在土壤-植物生态系统中, 土壤微生物作为最活跃和具有决定性影响的组分之一, 积极参与生态系统的物质和能量循环^[1]。土壤微生物量指土壤中体积小于 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ 的生物总量, 是土壤有机质最活跃的部分^[2]。它不仅是土壤有机质和养分(N、P、S等)转化循环的动力, 而且本身就是土壤养分的储

存库, 对土壤中养分的转化和供应起着重要的作用^[3]。土壤微生物量磷是土壤有机磷中最为活跃的部分, 是土壤有效态磷的重要来源。它调节着土壤磷的矿化和固持过程, 在很大程度上能反映土壤活性磷库的容量和周转强度^[4-5]。近几十年来, 随着熏蒸提取法的问世并不断改进^[6-10], 微生物量的研

收稿日期: 2007-04-06 接受日期: 2007-06-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(30671231, 30771291); 国家粮食丰产科技工程(2006BAD02A12)资助。

作者简介: 王晔青(1981—), 内蒙古呼和浩特市人, 硕士, 研究方向为植物营养与土壤肥力。E-mail: wangyeqing1981@163.com

* 通讯作者 E-mail: hanxiaori@163.com

究也更加深入,它对土壤养分转化及有效性调节的作用日益受到重视。研究土壤微生物量对了解土壤肥力、土壤养分的植物有效性以及土壤养分转化、循环具有重要意义。目前,有关微生物量磷在调控土壤磷素肥力中的作用,国内外研究不多,尤其是长期施肥条件下,土壤微生物量磷的动态变化及其对作物供磷的作用研究很少。本研究结合棕壤长期定位试验,探讨在玉米生长季内,长期不同施肥对土壤微生物量磷及其周转的影响,并探讨其对植物营养的贡献,为指导棕壤合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤和肥料

土壤样品采自沈阳农业大学棕壤长期定位试验地,该地从1979年开始布置有机肥和化肥不同配合的试验,采用玉米—玉米—大豆3年一个轮作周期。2005年为大豆,2006年为玉米。试验所用有机肥为猪廐肥(M₁为18.75 t/hm²,M₂为37.5 t/hm²),其平

均有机质119.6 g/kg,全N 5.6 g/kg, P₂O₅ 8.3 g/kg, K₂O 11.9 g/kg。氮肥为尿素,磷肥为过磷酸钙,钾肥为硫酸钾。种植玉米年份施N 120 kg/hm², P₂O₅ 为60 kg/hm², K₂O 为60 kg/hm²;大豆年份施N 30 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 60~90 kg/hm²,所有肥料以基肥形式一次施入。供试土壤(2006年)的基本化学性质见表1。

1.2 试验处理

整个定位试验分为3个区组,即:不施有机肥区组、施低量有机肥区组、施高量有机肥区组,每个区组6个处理,每处理160 m²。本试验从每个区组中选择3个处理,共9个处理,分别如下:不施肥对照(CK),施氮肥(N),施氮、磷肥(NP);施低量有机肥(M₁),低量有机肥与N肥配施(M₁N),低量有机肥与N、P肥配施(M₁NP);施高量有机肥(M₂),高量有机肥与N肥配施(M₂N),高量有机肥与N、P肥配施(M₂NP)。

表1 供试土壤(0—20 cm)的基本化学性质

Table 1 Basic chemical properties of the soil tested (0—20 cm)

处理 Treatments	pH (H ₂ O)	有机碳 Org. C (g/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	有机磷 Org. P (mg/kg)	全钾 Tot. K (g/kg)	有效钾 Avail. K (mg/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	碱解氮 Hydrol. N (mg/kg)
CK ₀	6.50	9.22	0.38	6.1	130.1	20.70	116.1	0.80	105.5
CK	5.43	9.19	0.34	2.3	91.7	9.36	54.9	1.81	91.4
N	5.12	8.12	0.37	2.4	81.0	9.95	46.2	1.86	89.7
NP	5.33	8.30	0.49	21.5	150.4	10.47	52.7	2.01	91.6
M ₁	6.06	10.04	0.64	58.3	195.0	10.08	55.4	2.07	104.2
M ₁ N	5.69	10.58	0.64	70.3	200.3	9.96	54.9	2.09	99.6
M ₁ NP	5.87	10.00	0.74	88.1	215.6	9.65	56.5	2.06	96.4
M ₂	6.06	10.58	0.81	97.8	280.1	9.58	66.7	2.14	101.8
M ₂ N	5.87	11.10	0.77	98.2	298.2	10.27	72.2	2.12	107.6
M ₂ NP	5.69	11.48	1.01	147.7	336.3	9.20	67.5	2.03	100.5

注(Note): CK₀ 为1979年初始土壤 Initial soil in 1979.

1.3 土壤采集和测定项目与方法

2006年4月22日分别采集定位试验地各施肥处理0—20 cm土样,风干过筛,测定土壤全磷、有机磷、速效磷。从施肥前(4月22日)开始,每隔35 d,即5月27日(苗期—拔节期),7月2日(大喇叭口期),8月7日(灌浆期),9月12日(腊熟期),10月20日(收获后),按S型5点取样,采0—20 cm耕层土壤,保持新鲜状态,测定土壤微生物量磷。

土壤微生物量磷的测定:采用氯仿熏蒸浸提

法^[6,11]。新鲜土壤立即处理或保存在4℃冰箱中(<5 d),测定前仔细除去土样中可见植物残体(如茎、叶和根)及土壤动物(蚯蚓等),过筛(孔径2 mm),彻底混匀。称取10 g土样(烘干基重)6份,3份于培养皿,放入底部有少量水和无酒精氯仿[30 mL, 1 mol/L NaOH(20 mL)]的真空干燥器中,抽真空至氯仿沸腾,并持续5 min,关闭阀门后置于25℃黑暗处培养24 h,然后取出氯仿,抽真空至土壤无氯仿气味。取出土样,用0.5 mol/L NaHCO₃(pH 8.5)

溶液浸提(1:4 土水比, 25℃, 30 min, 200 r/min), 另3份未熏蒸土壤同上浸提。浸提液中的磷用钼锑抗比色法测定。微生物量磷(B_p)的计算公式为:

$$B_p = (F - uF) / K_p$$

其中:F为熏蒸土壤浸提的磷,uF为未熏蒸土壤浸提的磷,K_p为浸提的微生物量磷占熏蒸杀死的微生物量磷的比例,取0.40^[6]。

土壤全磷采用NaOH熔融法,有机磷采用灼烧法,速效磷为Olsen法^[12]。

数据处理采用SPSS 11.5和SAS统计软件,用Excel 2003软件计算。

2 结果与讨论

2.1 长期不同施肥对土壤微生物量磷含量的影响

土壤微生物量磷(SMB-P)对环境条件非常敏感,施肥可不同程度的改变其含量^[13-15]。施肥可明显地改变SMB-P的含量,不同处理间差异显著($P = 0.05$)。在整个玉米生长季内,SMB-P的含量范围在0.73~14.49 mg/kg,其大小顺序为:高量有机肥区 > 低量有机肥区 > 单施无机磷肥处理 > 对照 > 单施无机氮肥处理。

表2看出,长期单施氮肥会降低SMB-P的含量,

较对照降低了24.54%,其中除7月2日和8月7日外均达到了显著水平。这可能是因为氮肥的施用促进了作物生长,植物生长量增加,吸收带走较多的磷,使土壤缺磷更加突出,微生物可固定的磷素减少。施磷肥可提高SMB-P的含量,NP处理SMB-P的平均含量为较对照提高了49.27%。说明施磷肥后土壤有效磷增加,一方面对作物的生长产生了积极的作用,另一方面对土壤微生物也产生了直接或间接的影响,使更多的无机磷被同化固持到微生物体内。有机肥及有机无机肥配施对SMB-P的增加作用更加显著,低量有机肥区和高量有机肥区SMB-P较对照分别增加了1.89倍和4.24倍,因为有机肥不仅提供了增加微生物量的能量和营养,也促进了土壤通气性,使微生物大量繁殖将部分有机磷和矿化了的无机磷同化为微生物磷^[5];此外,有机肥本身含有的微生物在施入土壤后会迅速增加,SMB-P的含量也随之增加。有机肥与磷肥配施较单施有机肥对SMB-P的增加幅度大,且达到了显著水平。可见,施用化学磷肥可一定程度的提高SMB-P含量,施有机肥是提高棕壤微生物对养分固持能力的主要途径。

表2 不同施肥处理土壤微生物量磷含量的变化(2006yr)

Table 2 Changes of SMB-P content in different treatments

处理 Treatments	土壤微生物量磷的含量 SMB-P content (mg/kg)						平均 Avg
	22-Apr	27-May	2-Jul	7-Agu	12-Sep	20-Oct	
CK	1.35 g	1.71 f	1.82 g	3.39 f	2.48 g	1.07 h	1.97
N	0.77 h	1.27 ef	1.72 g	3.03 f	1.71 h	0.73 g	1.54
NP	2.52 f	2.52 e	2.84 f	4.11 e	3.06 fg	1.66 f	2.78
M ₁	4.77 e	4.97 d	5.80 e	7.83 d	5.17 d	2.87 d	5.23
M ₁ N	4.80 e	5.24 c	5.17 de	7.64 d	4.25 e	2.46 e	4.93
M ₁ NP	6.07 d	6.55 cd	6.68 cd	11.01 c	6.86 c	4.48 c	6.94
M ₂	8.65 c	10.75 b	13.91 a	12.15 b	9.75 b	4.92 b	10.02
M ₂ N	8.91 bc	10.53 ab	12.62 b	12.43 b	9.37 b	4.73 bc	9.76
M ₂ NP	9.79 a	11.92 a	14.49 a	13.53 a	11.99 a	5.31 a	11.17

注(Note): 不同字母表示差异达5%显著水平,下同。Different letters means significant at 5% level. The same below.

2.2 土壤微生物量磷的季节变化

在玉米生长季内,所有处理SMB-P都呈先上升后下降的趋势,各处理SMB-P在7月2日至9月12日之间维持在较高水平。施肥后各处理SMB-P均增加,其中不施有机肥区和施低量有机肥区各处理SMB-P的最大含量出现在8月7日玉米灌浆期,而高量有机肥区在7月2日玉米大喇叭口期时即形成

高峰,有机肥的大量施用会提前SMB-P到达峰值的时间(表2)。由此可见,土壤微生物量的最大含量出现在玉米生长中后期,此时期作物生长旺盛,根系分泌物多,刺激了微生物数量和活性的增强。此外,此期间温度较高(20~30℃),适宜大多数微生物生长,微生物数量增多,SMB-P的含量也随之增加。从表2还可看出,一个生长季后,各处理SMB-P的含量

都有所下降,说明作物吸收的磷素可能有一部分来源于微生物释放的磷。

2.3 土壤微生物量磷的周转及其对玉米吸收磷的作用

微生物一方面将土壤中无机磷同化结合到体内,另一方面体内的磷素因平衡的需要也在不断向外释放。表 3 看出,有机肥区 SMB-P 的年累加矿化量和累加同化量较对照分别增加了 2.07 倍和 1.00 倍,其年周转量也较对照提高了 1.62 倍,说明有机肥的施入增加了微生物的数量,其同化和矿化的磷素也增多。SMB-P 的年累加矿化量和累加同化量高说明土壤具有很高的保磷和供磷能力,长期施用有机肥可促使微生物在分解土壤有机质和供给作物养分方面的能力增强。无机肥对 SMB-P 的年累加矿化量和累加同化量作用不显著,但 NP 处理 SMB-P 的累加同化量较对照减少,当作物吸收较少,土壤微生物对肥料磷的固持能力又较低时,这部分 P 素容易损失而造成资源浪费和环境污染。

微生物完成自身体内全部磷素更新所需的时间

称为 SMB-P 的周转期。表 3 还看出,施肥延长了 SMB-P 的周转期,除 N 处理较对照短外,其余各处理均长于对照。这是因为施入无机磷肥或有机肥料后,增加了土壤有效磷的含量,为作物生长提供充足的磷素,从而减缓了 SMB-P 的周转强度。施肥后 SMB-P 的含量增加,说明微生物处于保蓄磷素的状态;N 处理由于长期没有磷素的投入,作物吸收的磷素只有靠土壤本身的供给,此时微生物对磷素转化作用的大大加强,无疑为植物利用磷素提供了一条有效的途径。SMB-P 的周转速度决定着微生物量磷库的大小,土壤缺磷时 SMB-P 的周转则显得更为重要。本研究测定的不同施肥区 SMB-P 的周转期为 0.68~1.61 年,这与陈国潮^[16]的研究结果较为接近,他采用同位素标记法测得的室内条件下,三种土壤 SMB-P 的周转期分别为 68、100 和 115 d,如按田间条件下 SMB-P 的周转期是室内条件下的 3.81 倍^[16,17]计算,则 SMB-P 的周转期分别为 0.71、1.04 和 1.20 年。

表 3 不同施肥条件下土壤微生物量磷的年周转量及周转期 (2006yr)

Table 3 The yearly turnover amount and time of soil microbial biomass P in different treatments

处理 Treat.	年累加 矿化量	年累加 同化量	年周 转量	年周转 强度	周转期 Turnover time (a)	微生物体 供磷量	玉米 吸磷量	玉米 经济产量
	Accumulative mineral. P	Accumulative assimil. P	Turnover amount	Turnover intensity (%)		P supplying by SMB-P	P uptake by maize	Yield of maize (t/hm ² , DM)
	[mg/(kg·a)]					(kg/hm ²)		
CK	2.32 f	2.05 fg	4.37 e	110.89 b	0.90 d	4.91 d	15.61	5.06
N	2.30 f	2.26 f	4.56 e	148.13 a	0.68 e	5.13 d	16.42	8.75
NP	2.45 f	1.59 h	4.04 e	72.57 ef	1.38 b	4.55 d	32.02	9.77
M ₁	4.96 e	3.05 e	8.01 d	76.53 de	1.31 bc	9.01 c	35.83	10.52
M ₁ N	5.25 e	2.91 e	8.16 d	82.82 c	1.21 c	9.18 c	32.68	12.37
M ₁ NP	6.53 d	4.94 ab	11.47 c	82.63 c	1.21 c	12.90 b	48.07	11.42
M ₂	8.99 b	5.26 a	14.24 a	71.06 f	1.41 b	16.02 a	30.75	12.09
M ₂ N	7.88 cab	3.71 d	11.59 c	59.37 g	1.68 a	13.04 b	44.53	13.13
M ₂ NP	9.18 a	4.70 b	13.88 a	62.13 g	1.61 a	15.61 a	54.05	13.84

注:年周转量=年累加矿化量+年累加同化量;年周转强度(%)=1/2年周转量×100/年平均微生物量含量;周转期(年)=1/年周转强度;微生物提供磷量(kg/hm²)=年平均微生物量磷/周转期。

Note: Yearly turnover amount = Yearly accumulative mineralization P + Yearly accumulative assimilation P; Yearly turnover intensity (%) = 1/2 Yearly turnover amount × 100 / Yearly average SMB-P amount; Yearly turnover time (year) = 1 / Yearly turnover intensity; P supply amount of SMB-P = Yearly average SMB-P amount / Yearly turnover time.

土壤微生物通过分解有机磷为作物提供可利用磷,而土壤微生物自身的更新、周转矿化出的磷是也可作为作物供磷的重要来源之一。微生物体的年累加矿化量是相当可观的,微生物体矿化释放出的磷

对作物是高度有效的;施有机肥可显著提高 SMB-P 的供磷量,但化肥的作用较小。不同处理 SMB-P 的供磷量在 4.55~16.02 kg/hm²(表 3)。为了进一步说明 SMB-P 对作物的供磷潜能,对 SMB-P 的供磷量

与作物吸磷量进行比较。结果发现,各处理 SMB-P 的供磷量占玉米植株体吸磷量的 11.79%~34.46%。其中 NP 处理所占比例最小,为 14.20%,其他处理在 25.16%~34.46% 之间,说明 NP 处理植物主要是直接吸收土壤有效磷,而通过吸收经微生物转化释放的磷相对较少。当然,上述计算中 P 并非全部能被作物吸收(有的被直接传给下代微生物,有的被土壤固定等),但这一数值表明了 SMB-P 对植物吸收的贡献潜力。对 SMB-P 的供磷量与玉米经济产量及植株体吸磷量进行相关分析看出,两者相关系数(r)分别为 0.821 和 0.800($n=8$, $r_{0.05}=0.632$, $r_{0.01}=0.765$)均达到了极显著水平。说明玉米产量及吸磷量与 SMB-P 的供磷量关系密切, SMB-P 的供磷量越大,玉米植株体的吸磷量越多,其产量也越高。

2.4 土壤微生物量磷与土壤磷素养分的关系

相关性分析表明,土壤微生物量磷与土壤全磷、有机磷、速效磷均呈极显著的相关性,相关系数(r)分别为 0.964、0.992 和 0.967。说明微生物量磷与棕壤磷素肥力指标因子关系密切,可以作为衡量棕壤磷素养分状况的生物学指标之一。由此可见,提高土壤磷素养分的利用率,可通过提高棕壤微生物量磷,即通过刺激微生物繁殖,提高微生物活性,从而加强微生物对磷的转化利用来实现^[6]。

据测定,本试验在施肥前土壤的 SMB-P 占全磷的 0.21%~1.15%,占有机磷的 0.95%~3.09%,这与吴金水等人在旱地土壤的测定结果相似^[10]。施肥后该比例随微生物量磷的增加而增大,尤其是施入有机肥,不仅增大了土壤全磷、有机磷和微生物量磷,同时也增大了微生物量磷在全磷和有机磷中的比例。长期施肥可提高土壤磷的生物有效性,使土壤中潜在的难溶性磷库活化,提高磷肥的利用率。微生物活动能加快有机磷的分解,促进土壤中有机磷的有效化和对植物的可供性。

3 结论

1) 长期施用磷肥和有机肥均可增加土壤微生物量磷的含量,尤以有机肥和有机肥与化肥配施作用显著;长期单一的施用氮肥会降低微生物磷的含量。

2) 在玉米生长季内,土壤微生物量磷总体上呈先上升后下降的趋势,其最大含量出现在玉米生长中后期,有机肥的大量施用会提前微生物量磷到达峰值的时间。一个生长季后,土壤微生物量磷会比

施肥前降低。

3) 长期施肥增加了微生物体的供磷量,不同处理微生物量磷的供磷量占玉米植株体吸磷量的 11.79%~34.46%;微生物量磷的周转期在 0.68~1.61 年,施肥延长了微生物量磷的周转期,但无机氮肥单施加速了其周转。

4) 土壤微生物量磷与土壤全磷、有机磷、有效磷呈极显著相关性,说明棕壤微生物量磷与土壤磷素肥力关系密切,可以反映土壤磷素水平。

参考文献:

- [1] 薛冬,姚槐应,黄昌勇. 植茶年龄对茶园土壤微生物特性及酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 84-87.
Xue D, Yao H Y, Huang C Y. Effect of planting tea ages on soil microbial properties and enzyme activities in tea gardens[J]. J. Soil Water Conserv., 2005, 19(2): 84-87.
- [2] 陈文新. 土壤与环境微生物学[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1990. 18-43, 70-90.
Chen W X. Soil and environment microbiology[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1990. 18-43, 70-90.
- [3] 胡曰利,吴晓芙. 土壤微生物生物量作为土壤质量生物指标的研究[J]. 中南林学院学报, 2002, 22(3): 51-53.
Hu Y L, Wu X F. Study on soil microbial biomass as a bio-index of soil quality[J]. J. Central South For. Univ., 2002, 22(3): 51-53.
- [4] Gyaneshwar P, Naresh K G, Parekh L J *et al.* Role of soil microbial in improving P nutrition of plants[J]. Plant Soil, 2002, 245: 83-93.
- [5] 黄敏,吴金水,黄巧云,李学垣. 土壤磷素微生物作用的研究进展[J]. 生态环境, 2003, 12(3): 366-370.
Huang M, Wu J S, Huang Q Y, Li X Y. Progress on microbiological action of soil phosphorus[J]. Ecol. Environ., 2003, 12(3): 366-370.
- [6] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil[J]. Soil Biol. Biochem., 1982, 14: 319-329.
- [7] 陶水龙,林启美,赵小蓉. 土壤微生物量研究方法进展[J]. 土壤肥料, 1998(5): 15-18.
Tao S L, Lin Q M, Zhao X R. Progress in the research method of soil microbial biomass[J]. Soils & Fert., 1998(5): 15-18.
- [8] 何振立. 土壤微生物量的测定方法、现状和展望[J]. 土壤学进展, 1994, 22(4): 36-44.
He Z L. Measurement, status and forecast of soil microbial biomass[J]. Prog. Soil Sci., 1994, 22(4): 36-44.
- [9] 陈国潮. 土壤微生物量测定方法现状及其在红壤上的应用[J]. 土壤通报, 1999, 30(6): 284-287.
Chen G C. Status and application on red soil of determination of soil microbial biomass[J]. Chin. J. Soil Sci., 1999, 30(6): 284-287.
- [10] 吴金水,肖和艾,陈桂秋,黄敏. 旱地土壤微生物磷测定方法研究[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 70-78.
Wu J S, Xiao H A, Chen G Q, Huang M. Measurement of microbial biomass P in upland soils in China[J]. Acta Pedol. Sin., 2003, 40

- (1):70-78.
- [11] 韩晓日,邹德乙,郭鹏程,陈恩凤. 长期施肥条件下土壤微生物量氮的动态变化及其调控氮素营养的作用[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1):16-22.
Han X R, Zou D Y, Guo P C, Chen E F. Changes of soil biomass - N and its role in adjusting controlling nitrogen nutrition under long-term fertilization conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1996, 2(1):16-22.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Analysis of soil and agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [13] 徐阳春,沈其荣,冉伟. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物量碳、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 manure on soil microbial biomass C, N, and P after sixteen years of cropping[J]. Acta Pedol. Sin., 2002, 39(1):89-96.
- [14] 刘守龙,肖和艾,童成立,吴金水. 亚热带稻田土壤微生物量碳、氮、磷状况及其对施肥的反应特点[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(4):278-283.
Liu S L, Xiao H A, Tong C L, Wu J S. Microbial biomass C, N and P and their responses to application of inorganic and organic fertilizers in subtropical paddy soils[J]. Res. Agric. Moderniz., 2003, 24(4):278-283.
- [15] 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[J]. 植物营养与土壤肥料, 2004, 10(5):546-549.
Lai L, Hao M D, Wang Y G. Changes of long-term rotation and fertilization on soil microbial phosphorus under dryland in loess plateau [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(5):546-549.
- [16] 陈国潮. 红壤微生物量碳、磷及其周转,以及与土壤肥力关系的研究[D]. 杭州:浙江大学博士学位论文, 2000.
Chen G C. Study on microbial biomass P and its turnover in red soils, and its relationships with soil fertility[D]. Hangzhou: Ph. D thesis of Zhejiang University, 2000.
- [17] Jenkinson D S, Hart P B S, Rayner J H. Modelling the turnover of organic matter in longterm experiments at Rothamsted[J]. INTECOL Bul., 1987, 15:1-8.