

两种测定土壤微生物量氮方法的比较初探

黄懿梅¹, 安韶山², 曲东¹, 李盟军¹

(1 西北农林科技大学资环学院, 陕西杨凌 712100;

2 中国科学院水利部、西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘要: 用氯仿熏蒸- 0.15mol/L 的 K₂SO₄ 直接浸提, 280nm 紫外比色法和熏蒸- 淹水培养法测定了 20 种有机质、全氮和速效氮差异较大的土样的土壤微生物量 N。研究结果表明, 两种方法测得 20 种土样的土壤微生物量 N 数值呈极显著正相关; 280nm 紫外比色法操作步骤简单、产生误差的环节少、测定所需时间短、且测定数据比熏蒸- 淹水培养法有更好的重现性。初步认为, 280nm 紫外比色法来反映土壤微生物量的大小。结果还表明, 两种方法的测定结果都与土壤的全氮含量呈极显著正相关关系, 与有机碳含量有一定的正相关关系, 与速效氮无明显的相关关系; 但在不同的土壤类型上, 与全氮、有机碳和速效氮的相关性有所不同。用 280nm 紫外比色法测定两种土壤的新鲜和风干样的微生物生物量的结果说明, 可用风干土经预培养后测定土壤微生物生物量。风干土样的预培养时间初步确定为 10 天。

关键词: 土壤微生物量氮; 熏蒸- 淹水培养法; 熏蒸- 280nm 紫外比色法; 土壤呼吸

中图分类号: S154I.2

文献标识码: A

文章编号: 1008- 505X(2005)06- 0830- 06

Comparison between two methods of determination soil microbial biomass nitrogen

HUANG Yimei¹, AN Shaoshan², QU Dong¹, LI Mengjun¹

(1 Dept. of Resource and Environmental Science, Northwest Agric. and For. Univ., Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Inst. of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: Two techniques were compared that uses the UV absorbance at 280nm of 0.15mol/L K₂SO₄ extracts of fumigated and unfumigated soils and fumigation- waterlogged incubation to estimate the concentrations of nitrogen in the SMB. Using 20 Ningxia and Shaanxi soils, with a wide range of organic carbon (51.16~ 241.6g/kg), total nitrogen (0.175~ 2.166 g/kg) and available nitrogen (25.17~ 119.10 mg/kg), it was demonstrated that the increase in UV absorbance at 280nm after soil fumigation was strongly correlated with the soil microbial biomass N (SMBN, r= 0.179), as determined by fumigation- waterlogged incubation method. The 280nm UV absorbance technique has the advantages as followed, simple steps, less error, less time needed and better repeatability than fumigation/waterlogged incubation method. The SMBN determined by two methods all have remarkably positive correlations with total nitrogen, have positive correlation with organic carbon and no obviously relation with available nitrogen. In different soil types, it showed different correlation with total nitrogen, organic carbon and available nitrogen. In addition, the microbial biomass in fresh and dry soil were measured by 280nm UV absorbance technique, the results also showed that dry soil can be used to measure the microbial biomass after pre-cultivate, and the cultivating period is 10 days.

Key words: soil microbial biomass; fumigation- waterlogged incubation; fumigation- 280nm ultraviolet absorbance; soil respiration

收稿日期: 2004- 10- 08 修改稿收到日期: 2005- 04- 18

基金项目: 国家自然科学基金(40461006); 西北农林科技大学青年专项基金(04ZX011)资助。

作者简介: 黄懿梅(1971), 女, 四川大竹人, 讲师, 在职博士研究生, 主要从事农业环境保护的教学与研究。

正确评价土壤微生物量碳(SMBC)、氮(SMBN)、磷(SMBP)对于研究土壤中养分循环和有机物降解转化等土壤过程, 监测和了解土壤质量变化等非常重要^[1]。70年代以前, 多采用平板计数法测定土壤微生物体数量, 再根据其数量计算土壤微生物量碳, 该方法繁琐且不利于常规分析。而后, Anderson 和 Bomsch 提出了基质诱导法^[2], 通过给土壤加入易矿化碳源, 以诱导产生的微生物呼吸作用的大小估测土壤微生物量。这一方法操作虽简单, 但受土壤 pH、水分等状况的影响大。1976年 Jenkinson 和 Powlson^[3,4]提出了氯仿熏蒸培养法(FI), 即根据熏蒸与未熏蒸土壤培养期间释放 CO₂ 之差及杀死微生物体碳的矿化率(K_c)估计土壤生物量碳。并随之提出根据熏蒸及未熏蒸土壤培养结束后浸提的矿质氮之差(F_N)及生物体氮的矿化率(K_N)来计算土壤微生物量氮的方法。一些学者还用熏蒸培养法研究土壤微生物量氮的矿化率, 提出了不同条件下土壤的 K_N 值^[1,4,6]。Brookes 等^[7]发现, 熏蒸培养期间释放的矿质氮既可被微生物利用, 又可发生反硝化和 NH₃ 的挥发, 引起氮素损失, 而影响测定结果, 因此提出了氯仿熏蒸直接提取法(F_E)。后来, 不少学者对此法测定时的影响因子(土壤湿度、预培养、灭菌时间及温度等)进行了研究^[8], 使氯仿熏蒸-直接浸提法测定微生物量氮日趋完善。Jenkinson 对土壤微生物量的测定方法进行了总结, 提出了熏蒸提取法(F_E)中的 K_{EC} 为 0.145、K_{EN} 为 0.145、K_{EP} 为 0.140^[9]。李世清等^[11]认为, Inubushi 等提出熏蒸淹水培养

法^[10]水分条件易控制, 又无 NH₃ 的挥发损失, 比通气培养法更加优越。土壤易分解有机物质少或微生物量氮含量低时, 选用熏蒸淹水培养法测定误差小。

1989年, Ladd and Amato 提出用 260nm 紫外光下测定的吸光度的增量来反映土壤微生物量(SMB)的大小, 在 1998年 Nunman 等对此方法进行了改进, 改为测定 280nm 紫外光下的吸光度的增量(即用熏蒸和未熏蒸土壤浸提液的紫外吸光度的差值来衡量微生物量碳、氮、磷。该方法操作简便、快速, 具有可重复性, 测定结果与传统方法相关性较高^[12], 但国内还未见用此方法的报道。为此, 本试验采用熏蒸淹水培养法和熏蒸-280nm 紫外比色法测定 20种植被与肥力不同的土样中的土壤微生物量 N。探讨熏蒸-280nm 紫外比色法在植被、有机质、全氮和速效氮差异比较大的土壤上的适应性及精确度; 并初步探讨了新鲜土和风干土样在测定土壤微生物量上的差异性。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本试验采用原采自陕西杨凌、宁夏固原和云雾山的土样 20 种, 土壤的风干土样有机质、全氮、速效氮和 C/N 比等有较大差异(风干时间为半年, 含水量为 11.32%~21.85%, 表 1); 采自杨凌相应地点的麦田、草地和果园 3 种不同利用方式的土样, 新鲜土壤过 3mm 筛后, 分成两份, 一份鲜样在 4 e 冰箱保存, 一份风干(风干时间为一周, 含水量为 21.80%~31.33%)供测定用。

表 1 供试土壤耕层(0) 20cm) 的养分含量

Table 1 Nutrients contents in 0) 20cm layer of selected soil

采样地点 Site	样本数 No.	土壤类型 Soil types	有机碳 (g/kg) Organic C	全氮 (g/kg) Total N	速效氮 (mg/kg) Avail. N	C/N
宁夏云雾山 Yuwu Mountain	7	灰褐土 Ustic Isohumosols	181.00 ? 51.41 (81.96 ~ 241.59)	21.10 ? 01.60 (11.05 ~ 21.77)	1201.07 ? 371.76 (531.77 ~ 1701.25)	81.57 ? 01.39 (81.15 ~ 91.25)
宁夏固原 Guyuan Ningxia	6	黄绵土 Orthic Primosols	91.56 ? 21.89 (51.16 ~ 121.30)	11.23 ? 01.36 (01.75 ~ 11.65)	411.97 ? 211.15 (251.74 ~ 721.13)	71.73 ? 01.60 (61.88 ~ 81.52)
陕西杨凌 Yangling Shaanxi	7	土 Orthic Anthrosols	111.17 ? 21.01 (91.08 ~ 141.55)	11.91 ? 01.49 (01.99 ~ 21.39)	481.28 ? 121.89 (321.66 ~ 651.13)	61.14 ? 11.61 (41.72 ~ 91.20)

1.1.2 土壤呼吸的测定

选用改进的室内密闭培养法^[13]。称取 50g 土样于 500mL 有盖的可密封的塑料瓶中, 并将土壤均匀地平铺于瓶底部, 根据土壤含水量调节土壤含水量为田间持水量的 50%; 将盛有 5mL 0.11mol/L

NaOH 溶液的吸收小瓶悬挂在土壤的上方。培养瓶密封后于 25 ? 1 e 恒温培养 24h, 用煮沸除去 CO₂ 的蒸馏水冲洗 4 次 NaOH 于 100mL 三角瓶中, 加入 2mL 1mol/L BaCl₂ 和酚酞指示剂 2 滴, 用标准盐酸 0.105mol/L 滴定至红色消失。同时, 以 20mL 蒸馏水

代替土壤的空白为对照。每个处理 3 次重复。

113 土壤微生物量 N 的测定

11311 预培养 调节各供试土壤的含水量为田间持水量的 50%，并在 25 ? 1 e 下通气培养 10d^[14]。预培养的目的是为了减少熏蒸后培养期间有机氮矿化的干扰，减少采样时土壤水分和温度的差异，使各土壤测定结果有可比性。

11312 土壤样品熏蒸 每个土样各称取 61 000g(相当于烘干土重 51 000g) 12 份，分别置入 25mL 小瓶中，6 份熏蒸，6 份不熏蒸。采用 Jenkinson 和 Powlson 法^[3, 11]，将欲熏蒸土样置于内径 29cm 可抽气的干燥器内隔板上，干燥器底部放置装有 30mL 无乙醇氯仿的 100mL 烧杯，并另外放置 1 个装有蒸馏水的小烧杯，使熏蒸时土壤含水量不变。随之抽气，直到氯仿出现气泡沸腾后持续 5min，停止抽气，紧接着密闭干燥器，并将其置于室温(14~ 16 e)与黑暗处。24h 后取出土样，在通气良好的地方放置 2~ 3h，使残留土壤中的氯仿尽可能挥发。不熏蒸的土样置于另一干燥器中，用蒸馏水代替氯仿，与用氯仿熏蒸一样处理，作为不熏蒸对照。

11313 熏蒸- 淹水培养法 土样熏蒸后，对 3 份熏蒸和 3 份未熏蒸的土样分别加 01 024g 同一鲜土(接种)和 121 5mL 蒸馏水后，拧紧盖子，在(40 ? 1) e 下培养 7d^[11, 15]。培养结束后，将其转入 100mL 三角瓶中，加 01 625 mol/L K₂SO₄ 50mL(使浸提液中 K₂SO₄ 浓度为 01 5mol/L)，振荡 30 min 后过滤^[4]，用靛酚兰比色法测定滤液中铵态氮。熏蒸和未熏蒸的铵态氮之差，即为熏蒸所造成的氮增量(F_N)^[4, 11]。微生物体氮的矿化系数(K_N)为 01 25，表示矿化出来的微生物量氮(即氮增量 F_N)是微生物体总氮(B_N)的 01 25 倍。即：F_N = 01 25B_N；B_N = 4F_N。

11314 熏蒸 280nm 紫外比色法 另取 3 份熏蒸和 3 份未熏蒸的土样，转入 100mL 三角瓶中，加 50mL 01 5mol/L K₂SO₄，振荡 30 min 后，过滤，立即在 280nm 紫外光下测定吸光度。熏蒸和未熏蒸作相同处理^[11]。用单位土中的吸光度增量表示，即：v/g，烘干土 = (abs_熏/G_熏) - (abs_未/G_未)，其中：abs 代表 280nm 紫外光下的吸光度，G 代表称的土重相当的烘干土重。

11315 土壤理化性质测定的方法 土壤水分用烘干法；土壤呼吸用酸碱中和滴定法^[13, 16]；土壤有机质用重铬酸钾 外加热法容量法；全氮用凯氏消解蒸馏滴定法；速效氮用碱解扩散法^[17]。各项指标均重复 3 次，结果以烘干土重表示。

2 结果分析

211 土壤预培养时间的确定

土壤呼吸强度能反映土壤中有有机物的分解和土壤有效养分状况。土壤微生物呼吸是土壤呼吸的最主要来源^[18]。测定土壤呼吸随时间变化的强弱可以反映土壤有机物质的矿化速率，判断微生物活性的大小。当呼吸强度趋于恒定时，可以认为微生物的活性趋于稳定。

对来自宁夏、陕西的 3 种风干土样的培养结果(图 1)看出，呼吸强度都随着培养时间的延长而降低，尤其是培养前 3d，呈直线下降。随后有些波动，基本上在 10d 后趋于稳定。土壤不同，变化过程也略有不同，但基本趋势一致。

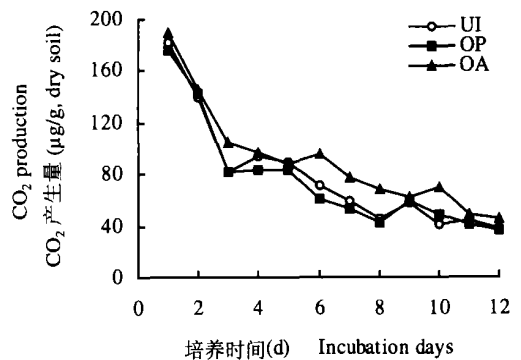


图 1 风干土不同培养时间呼吸强度的变化

Fig. 1 The respiration intensity of air-dry soil

with different incubation days

(UI: 山地灰褐土 Ustic Isohumosols;

OP: 黄棉土 Orthic Primosols;

UA: 土 Orthic Anthrosols)

麦田、草地和果园新鲜土和风干土培养结果(图 2)显示，新鲜土的呼吸强度始终高于风干土。说明新鲜土样中微生物的活性高于风干土样，因而有机物质矿化速率始终比风干土高。新鲜土样在培养第 2d，麦田、草地和果园土样分别下降了 5119%、6417%和 7218%。至第 5d 降至最低，随后又有波动，直到第 10d 仍未达到稳定。另外，植被对新鲜土样的呼吸强度影响较大，果园土壤的呼吸强度始终高于麦田和草地。风干土样培养后降低幅度较平缓，基本上在第 5d 后稳定，而且植被的影响不大。因此，初步确定用风干土测定土壤微生物量的预培养天数为 10d。

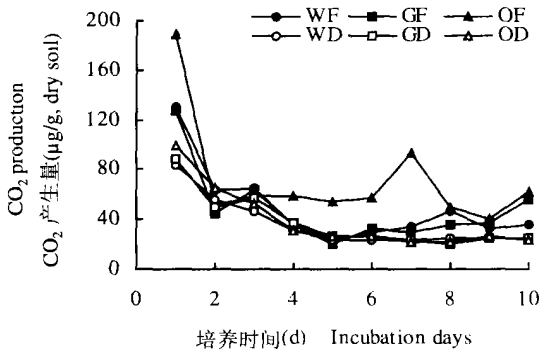


图2 不同植被风干与新鲜土不同培养时间呼吸强度的变化

Fig. 2 The respiration intensity of air- dry and fresh soil

in different crop patterns during incubation period

(WF, GF, OF: 表示采自麦田、草地、果园新鲜土 Fresh soil sampled from wheat, grassland and orchard field; WD, GD, OD 表示采自麦田、草地、果园风干土 Air- dry soil sampled from wheat, grassland and orchard field)

风干和再次湿润处理常被认为会引起培养过程中 CO_2 产生量的快速增加。而且认为风干土再次湿润时产生 CO_2 的量与风干土壤的风干程度有关, 风干程度越大, 产生量越高^[19 20]。在预培养试验中, 三种风干时间较长、风干程度较大的风干土在培养的头几天产生 CO_2 的量较高, 而风干时间较短、程度较低的风干土产生 CO_2 的量较低, 与他们的研究结果一致。

212 风干与新鲜土样对土壤微生物量氮的影响

用 280nm 紫外比色法测定同一土壤的风干和新鲜土样的微生物量, 结果看出, 麦田、草地两种不同植被的土样单位土的吸光度增量新鲜土分别为 $(24178 \pm 7116) \times 10^{-3}/\text{g}$ 、 $(30146 \pm 7134) \times 10^{-3}/\text{g}$, 烘干土, 略高于风干土的吸光度增量 $[(21187 \pm 3132) \times 10^{-3}/\text{g}$ 、 $(25133 \pm 1194) \times 10^{-3}/\text{g}$, 烘干土]。初步说明用风干土也可以在一定程度上反映土壤中的微生物量的变化。

213 土壤微生物量氮测定方法的比较

对两种方法在 20 种土壤中所测得的 SMBN 值 (表 3) 进行相关分析, 结果 (图 3) 表明, 两种方法的相关系数 $r = 0.17885$ ($r_{0.01(20)} = 0.1537$), 两种方法的测定结果呈极显著正相关关系, 说明两种方法在反映土壤微生物量的大小方面基本一致。

不同类型土壤用两种测定方法所测得的土壤微生物量 N 结果进行相关分析看出, 在山地灰褐土中 ($n = 7$) 相关系数为 0.15838, 虽有一定的相关关系, 但

不显著; 在黄绵土中 ($n = 6$) 相关系数为 0.18069, 呈显著正相关关系; 在 土中 ($n = 7$) 相关系数为 0.19459, 呈极显著正相关关系。可见, 不同的土壤类型对两种测定方法有一定影响, 但两种测定方法在反映土壤微生物量方面还是具有一定的一致性, 初步说明可以用操作简便的 280nm 紫外比色法替代操作繁琐的熏蒸淹水培养法来测定黄绵土和 土的微生物量。

两种方法精密度进行分析 (表 3) 显示, 熏蒸 280nm 紫外比色法所测数据的变异系数 CV (%) 为 11.04~12.177; 熏蒸淹水培养法所测数据的变异系数 CV (%) 为 4.174~9.3199。可能是熏蒸 280nm 紫外比色法的操作步骤简单, 产生误差的环节较熏蒸淹水培养法少。另外, 熏蒸 280nm 紫外比色法所需的测定时间也较短, 更有利于大量样品的分析。

紫外比色法尽管操作简便、重现性较好, 但在有机碳变化范围较广的土壤中的适应性、与土壤中微生物的相关性等仍然有待于进一步系统地研究。

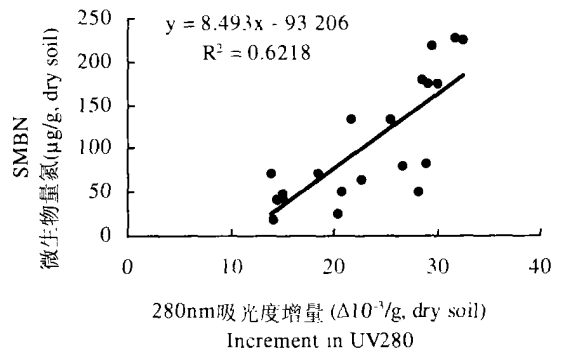


图3 两种测定方法的相关性

Fig. 3 The correlation of two techniques

214 土壤微生物量与土壤有机质、全氮和速效氮的关系

对不同土壤类型用两种测定方法所得的土壤微生物量 (N) 与有机质、全氮和速效氮进行相关分析, 结果如表 4 所示。在所测的 20 个土样中, 熏蒸-280nm 紫外比色法测得的吸光度增量, 与土壤有机碳含量有一定正相关关系、与全氮含量有极显著的正相关关系、与速效氮含量无相关关系; 在山地灰褐土中, 与有机碳、全氮和速效氮含量都呈显著正相关关系; 在黄绵土和 土中, 都与有机碳有一定 (显著) 正相关关系、与全氮成显著正相关关系、与速效氮无明显相关关系。

表 3 两种测定方法的结果比较

Table 3 The result comparison of two techniques

编号 Code	熏蒸- 280nm 紫外比色 Fumigation- 280nm ultraviolet absorbance		熏蒸- 淹水培养 Fumigation- waterlogged incubation	
	($\mu\text{v} @10^{-3}/\text{g}$, dry soil)	CV (%)	(Lg/ g, dry soil)	CV (%)
	YW- 5	141.0	21.49	171.4
YW- 3	201.3	51.18	261.3	291.56
YW- 8	261.6	71.94	801.6	61.55
YW- 2	281.1	41.61	501.3	221.30
YW- 6	211.8	51.56	1321.5	371.02
YW- 4	291.1	11.04	1741.0	431.43
YW- 7	181.4	51.84	721.0	501.30
GY- 7	151.1	121.37	421.8	321.08
GY- 6	141.5	71.74	421.0	71.43
GY- 2	151.0	51.84	481.9	531.26
GY- 4	291.0	71.88	811.8	221.39
GY- 1	201.8	31.80	501.7	151.52
GY- 5	311.9	61.05	2261.3	611.51
YL- 1	131.9	121.77	721.0	341.23
YL- 14	221.7	61.34	641.6	171.16
YL- 12	251.6	31.94	1321.3	931.99
YL- 10	281.6	21.67	1781.4	131.64
YL- 13	321.5	11.23	2231.8	441.17
YL- 16	301.2	41.78	1741.0	231.70
YL- 19	291.5	11.05	2161.9	751.33

表 4 两种方法测定结果与不同土壤的有机质、全氮和速效氮含量的相关性

Table 4 The correlation of determined results by two techniques to organic matter, total N and available N contents of soils

项目 Item	测定方法 Method	总体土样 Total samples (n= 20)	灰褐土 Ustic Ischumosols (n= 6)	黄绵土 Orthic Primosols (n= 6)	土 Orthic Anthrosols (n= 7)
有机碳 Organic C	熏蒸- 280nm 紫外比色	01.3108	01.8124*	01.6807	01.7104*
全氮 Total N	fumigation- 280nm	01.6484	01.7987*	01.8289*	01.9427**
速效氮 Available N	ultraviolet absorbance	01.0360	01.6771	01.2681	01.2095
有机碳 Organic C	熏蒸- 淹水培养法	01.2147	01.8770**	01.5495	01.8285*
全氮 Total N	fumigation-	01.5587	01.8372**	01.6761	01.7850*
速效氮 Available N	waterlogged incubation	01.0916	01.7728*	01.3655	01.0894

*、** 分别表示达到显著和极显著相关 Means significant and very significant correlation.

淹水培养法在所测的 20 个土样中测得的 SMBN 含量, 与土壤有机碳含量无明显正相关关系、与全氮含量有极显著的正相关关系、与速效氮含量无相关关系; 在山地灰褐土中, 与有机碳和全氮含量都呈极显著正相关关系、与速效氮含量有显著正相关关系; 在黄绵土中, 与有机碳和全氮有一定正相关关系、与速效氮无明显相关关系; 在土中, 与有机碳和全氮含量有极显著正相关关系、与速效氮无明显相关关系。可见, 土壤微生物量与土壤有机碳和全

氮的含量有正相关关系, 只是不同的土壤, 相关性不同。

3 结论

1) 土壤预培养试验的结果表明, 风干土培养至第 10d 时, 土壤微生物的活性基本稳定。初步确定用风干土测定土壤微生物量时, 预培养时间为 10d。

2) 用熏蒸 280nm 紫外法对两种土壤的风干和新鲜样的土壤微生物量测定结果表明, 新鲜样的结

果略高于风干土。初步认为, 风干土样在一定程度上也可以反映土壤微生物量。

3) 熏蒸 280nm 紫外法与淹水培养法所测的 SMBN 量呈极显著正相关关系, 说明两种方法在反映土壤微生物量的大小方面基本一致。在测定的精确度方面, 280nm 紫外比色法的重复性较好, 且操作简便, 误差的产生环节较少。因此, 可以用操作简便的 280nm 紫外比色法来测定土壤的微生物量 N。

4) 两种方法测得的土壤微生物量氮都与土壤的全氮含量呈极显著正相关关系; 与有机碳含量有一定的正相关关系; 与速效氮无明显的正相关关系。且在不同的土壤类型上, 与全氮、有机碳和速效氮的相关性不同。

参考文献:

- [1] Jenkinson D S. Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil [A]. Wilson J R (ed.). Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems [M]. Wallingford: C. A. B. International, 1988: 368-386
- [2] Anderson J P E, Domsch K H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils [J]. Soil Biol. Biochem., 1978, 10: 215-221
- [3] Jenkinson D S, Powlson D S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soils. V. A method for measuring soil biomass [J]. Soil Biol. Biochem., 1976, 8: 209-213
- [4] Shen S M, Pruden G, Jenkinson D S. Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen [J]. Soil Biol. Biochem., 1984, 16 (5): 437-444
- [5] Carter M R, Rennie D S. Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage for spring wheat, using ^{15}N urea [J]. Plant and Soil, 1984, 76: 157-164
- [6] Voroney R P, Paul E A. Determination of K_c and K_n in situ for calibration of chloroform fumigation-incubation method [J]. Soil Biol. Biochem., 1984, 16 (1): 9-14
- [7] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil [J]. Soil Biol. Biochem., 1985, 17: 837-842
- [8] 俞慎, 李振高. 熏蒸提取法测定土壤微生物量研究进展 [J]. 土壤学进展, 1994, 22(6): 42-49
- Yu S, Li Z G. The progress of determining soil microbial biomass by fumigation extraction method [J]. Progress in soil science, 1994, 22(6): 42-49
- [9] Jenkinson D S, Brookes P C, Powlson D S. Measuring soil microbial biomass [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36: 5-7
- [10] Inubushi K, Wada H, Takai Y. Determination of microbial biomass nitrogen in submerged soil [J]. Soil Sci. Plant Nutr., 1984, 30(3): 455-459
- [11] 李世清, 李生秀. 土壤微生物体氮测定方法的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 75-81
- Li S Q, Li S X. Study on the methods for measuring microbial biomass nitrogen in soils [J]. plant Nutrition and Fertilizer Science, 2000, 6(1): 75-81
- [12] Tumer B L, Britow A W, Haygarth P M. Rapid estimation of microbial biomass in grassland [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2001, 33: 913-919
- [13] 孙波, 车玉萍, 林心雄. 测定土壤有机质中 ^{12}C 及 ^{14}C 分解速率的密闭培养法 [J]. 土壤, 1997(1): 51-53
- Sun B, Che Y P, Lin X X. The sealed incubation method of measuring the degradation rate of ^{12}C and ^{14}C in soil organic matter [J]. Soils, 1997(1): 51-53
- [14] Ross D J. Measurement of microbial biomass C and N in grassland soils by fumigation-incubation procedures: Influence of inoculum size and control [J]. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 289-294
- [15] Keeney D R, Bremner J M. Comparison and evaluation of laboratory method of obtaining an index soil nitrogen availability [J]. Agron. J., 1996, 58: 498-503
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 238-240
- Lu R K. Soil agricultural chemical analytical method [M]. Beijing: Chinese agricultural technical press, 2000. 238-240
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 30-34, 42-48, 56-57
- Bao S D. Soil agricultural chemical analysis (third ed.) [M]. Beijing, Chinese agricultural press, 2000. 30-34, 42-48, 56-57
- [18] 郑洪元. 生态系统研究中土壤呼吸、土壤酶活性及土壤生物量的测定 [J]. 生态学杂志, 1986, 5(1): 50-53
- Zheng H Y. Determination of soil respiration rate, enzyme activity and microbial biomass in ecosystems studying [J]. Chinese Journal of Ecology, 1986, 5(1): 50-53
- [19] Wu J, Brookes P C. The proportional mineralization of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37: 507-515
- [20] West A W, Sparling G P, Speir T W, Wood J M. Dynamics of microbial C, N-flush and ATP, and enzyme activities of gradually dried soils from a climosequence [J]. Australian Journal of Soil Research, 1988, 26: 519-530