

李朝英,郑 路. 总有机碳分析仪测定植物总有机碳含量的方法[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):155-158.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.043

总有机碳分析仪测定植物总有机碳含量的方法

李朝英¹, 郑 路^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600; 2. 广西友谊关森林生态系统国家定位观测研究站, 广西凭祥 532600)

摘要:为了摸索 TOC(总有机碳)分析仪测定植物 TOC 含量的方法、保证植物碳素研究获得准确可靠数据提供参考,对不同进样量和不同类型植物样品 TC(总碳)、IC(无机碳)含量的测定结果进行分析探讨。结果表明,不同进样量测定的 TC 含量存在不同差异,进样量在 45~55 mg,TC 含量的精密度与准确性较高。植物的 IC 含量为 0,TC = TOC。TC 含量在 1.89~29.12 mg,TC 的回归方程为 $Y_{TC} = 133.7X + 77.431$ ($r^2 = 0.999$),回收率为 101.24%; IC 的回归方程为 $Y_{IC} = 108.5X + 56.307$ ($r^2 = 0.9995$),回收率为 99.24%。以上述方法测定植物 TOC 的方法准确高效,适用于不同类型、不同含量的植物样品的 TOC 测定。

关键词:总有机碳(TOC)分析仪;植物;TOC;碳素研究;进样量;回收率

中图分类号: Q94-334 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0155-03

植被为大气 CO₂ 重要的碳汇,其碳汇功能对碳收支平衡起着不可替代的作用^[1-2],目前,植被碳储量成为气候变化科学研究领域和国际社会关注的热点^[3-4]。植被作为陆地生态系统一大碳库,其积累和分解变化直接影响全球的碳平衡,其研究成为国内外学术热点。植物有机碳含量是研究植被碳储量的关键因素之一^[5]。目前国内实验室测定有机碳的常规化学方法是重铬酸钾外加热法^[6-8],这种方法不仅对环境有污染,还常受加热条件难控制、人为操作误差大等因素干扰而产生一定偏差^[9-11]。TOC(总有机碳)分析仪法自动化程度高,误差小,检测准确稳定^[12]。在国内,TOC 分析仪多用于测定水体介质有机物总量等^[13-15];在在固体碳素测定运用方面,可见 TOC 分析仪测定土壤、污泥碳素的报道^[16-17],未见植物碳素测定方法的报道。植物与土壤的结构特性有差异,两者以 TOC 分析仪测定 TOC 含量的方法是否因此而有不同的问题无从参考。因此,试验采用 TOC 分析仪测定乔木、灌木、草本植物的 TC(总碳)、IC(无机碳的含量),以 TC-IC 含量得到 TOC 含量,讨论进样量、样品粒度对 TC、IC 含量测定的影响,检验测定方法的精密度及准确性,以期建立 TOC 分析仪测定植物 TOC 的可靠方法,为植物碳素研究提供有力支持。

1 材料与方法

1.1 试剂与仪器

25%磷酸,优级纯葡萄糖、碳酸氢钠。电子分析天平(BSA124S-CW,赛多利斯科学仪器公司);TOC 分析仪(Japan SHIMADZU TOC-L SSM5000A);精密鼓风干燥箱(BPG-9240A,上海一恒科技有限公司);植物粉碎机

(DWF-90,河北省黄骅县科研仪器厂)

1.2 样品与试剂处理

2014 年 8—9 月于中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波实验场采集格木(*Erythrophloeum fordii*)的枝、混合草叶 2 个植物样品;在夏石大山采集马尾松(*Pinus massoniana*)、米老排(*Mytilaria laosensis*)的叶、枝、皮、干、根,林下灌木的叶、枝、根,林下草本的叶、根,林下的凋落物,共计 19 个样品。植物样品在干燥箱中 65℃烘干后粉碎过 60 目筛,检测前植物样品在烘箱中以 65℃烘至恒质量后在干燥器中冷却存放。TC 标准物葡萄糖 105℃烘 2 h 后放入干燥器中冷却存放。IC 标准物碳酸氢钠 270℃烘 3 h 后放入干燥器中冷却存放。

1.3 试验原理

样品分别放入高温燃烧腔和低温反应腔中,高温燃烧腔的样品经 900℃燃烧,所含有机碳及无机碳氧化生成 CO₂;低温反应腔中的样品加入磷酸后,在 200℃条件下促进无机碳酸盐分解生成 CO₂。以上 2 种情况所产生的 CO₂ 分别导入非分散式红外线分析仪(NDIR)光谱定量检测出 TC、IC,由差减式 TC-IC 得出 TOC 含量^[18-20]。

1.4 试验方法

1.4.1 进样量的选择 分别称取过 0.25 mm 筛的植物样品格木叶(植物样 1)、混合草叶(植物样 2)25.0、35.0、45.0、55.0、65.0、75.0、85.0、95.0 mg,分别测定 TC、IC,重复 3 次。

1.4.2 标准曲线建立 称取葡萄糖 5、25、65、75、80、90 mg,分别测 TC 含量,建立 TC 含量标准曲线。称取碳酸氢钠 5、45、85、125、165、205、245 mg,分别测定 IC 含量,建立 IC 含量标准曲线。

1.4.3 回收率试验 根据“1.3”部分 2 种选择的进样量,称取植物样品格木叶(植物样 1)12 份,3 份加葡萄糖 2.7 mg(含 TC 1 mg),3 份加 13.7 mg(含 TC 5 mg)测定 TC。3 份加碳酸氢钠 6.99 mg(含 IC 1 mg),3 份加碳酸氢钠 34.9 mg(含 IC 5 mg)测定 IC 含量。

1.4.4 实际样品测定 “1.2”节所述夏石大山的 19 个植物样品按“1.4.1”确定的进样量分别测定 TC、IC 含量,并求

收稿日期:2016-02-26

基金项目:广西自然科学基金(编号:2013GXNSFAA019106)。

作者简介:李朝英(1971—),女,实验师,主要从事土壤检测研究。

Tel:(0771)8585023;E-mail:lzying1877@sina.com。

通信作者:郑 路,博士,高级工程师,主要从事森林生态研究。Tel:

(0771)8585023;E-mail:rlsys@sina.com。

TOC 含量,每个样品重复 3 次。

1.5 数据分析

经 Excel 软件进行数据处理,采用 SPSS 19.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同进样量的 TC 含量测定

由图 1 可知,植物 1 的进样量在 25 ~ 45 mg 时 TC 含量呈增长趋势,进样量在 45 ~ 55 mg 时 TC 含量趋于平稳,进样量大于 55 mg 时 TC 含量出现明显升降。植物 2 的进样量在 25 ~ 45 mg 时 TC 含量呈增长趋势,进样量在 45 ~ 75 mg 时 TC 含量趋于平稳,进样量大于 75 mg 时 TC 含量呈继续增长趋势。

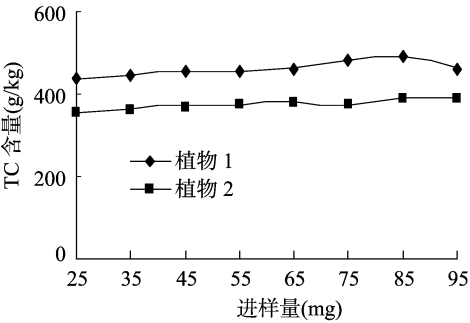


图1 不同进样量的 TC 含量

由表 1 可知,植物 1 进样量为 25 ~ 55 mg、植物 2 进样量为 25 ~ 75 mg 时,检测峰正常;植物 1 进样量为 65 ~ 95 mg、植

物 2 进样量为 85 ~ 95.0 mg 时,检测峰异常,峰顶呈平顶。TC 的量(mg) = 进样量(mg) × 样品 TC 含量(g/kg)/1 000 计算,植物 1 进样量 65 mg 的 TC 的量为 30.35 mg,植物 2 进样量 85 mg 的 TC 的量为 32.95 mg。可见样品进样量偏大,TC 量大于 30 mg 时的检测峰异常,这是因为待测气体浓度高出检测器量程^[21]。所以植物 1 可选用进样量范围为 25 ~ 55 mg,植物 2 可选用进样量范围为 25 ~ 75 mg。由表 1 还可知,植物 1、植物 2 进样量小于 45 mg 的 TC 含量偏小,且 CV 随着进样量增加有降低趋势;植物 1 进样量为 45 ~ 55 mg,植物 2 进样量在 45 ~ 75 mg 范围内的 TC 含量的 CV 小于 1%,说明植物 1 进样量为 45 ~ 55 mg 时,植物 2 进样量在 45 ~ 75 mg 时的精密度高于进样量小于 45 mg 时。

综上可知,植物样品的 TC 量大于 30 mg 时,则超出检测器量程。植物 1 进样量在 45 ~ 55 mg 之间,植物 2 进样量在 45 ~ 75 mg 之间,样品代表性强,检测结果趋于稳定,精密度高,是适宜进样量。植物 2 的 TC 含量低于的植物 1 的,植物 2 适用的进样量范围大于植物 1,但进样量在 45 ~ 55 mg 范围,同时适用植物 1、植物 2。

2.2 不同进样量的 IC 含量测定

由表 2 可知,植物 1、植物 2 以 25、35、45、55、65、75、85、95 mg 进样量加入 25% 磷酸 0.5 mL,测得 IC 含量均为 0,说明植物 1、植物 2 不含含碳酸盐,TC 含量 = TOC 含量。由于 45 ~ 55 mg 进样量有一定的代表性,所以本试验建议测定 IC 含量可采用的进样量为 45 ~ 55 mg。

表 1 不同进样量的 TC 含量及检测状态 (n=3)

| 进样量 (mg) | 植物 1 | | | | | 植物 2 | | | | |
|-------------|-----------------|---------------|---------------|-----------|------|-----------------|---------------|---------------|-----------|------|
| | TC 含量 (g/kg) | TC 的量 (mg) | 标准差 (g/kg) | CV (%) | 检测状态 | TC 含量 (g/kg) | TC 的量 (mg) | 标准差 (g/kg) | CV (%) | 检测状态 |
| 25 | 434.21 | 10.86 | 13.06 | 3.01 | 正常 | 356.67 | 8.92 | 6.20 | 1.74 | 正常 |
| 35 | 448.73 | 15.71 | 9.11 | 2.03 | 正常 | 368.15 | 12.89 | 6.81 | 1.85 | 正常 |
| 45 | 456.65 | 20.55 | 2.11 | 0.44 | 正常 | 372.14 | 16.75 | 3.16 | 0.85 | 正常 |
| 55 | 458.70 | 25.23 | 4.45 | 0.97 | 正常 | 374.56 | 20.60 | 1.95 | 0.52 | 正常 |
| 65 | 466.92 | 30.35 | 9.04 | 1.93 | 平顶峰 | 378.20 | 24.58 | 3.03 | 0.43 | 正常 |
| 75 | 479.94 | 36.00 | 10.97 | 2.29 | 平顶峰 | 376.80 | 28.26 | 6.71 | 0.81 | 正常 |
| 85 | 492.63 | 41.87 | 12.62 | 2.56 | 平顶峰 | 387.61 | 32.95 | 8.71 | 2.25 | 平顶峰 |
| 95 | 466.56 | 44.32 | 14.21 | 3.05 | 平顶峰 | 394.01 | 37.43 | 9.35 | 2.37 | 平顶峰 |

表 2 植物不同进样量测定 IC 的结果 (n=3)

| 样品 | 不同进样量下的 IC 含量(g/kg) | | | | | | | |
|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 25 mg | 35 mg | 45 mg | 55 mg | 65 mg | 75 mg | 85 mg | 95 mg |
| 植物 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 植物 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

2.3 标准曲线及线性范围

由图 2 可知,以绝对碳含量(mg)为 X 轴,峰面积为 Y 轴,得到 TC 标准曲线 $Y = 0.135\ 2X - 132.53$,相关系数 $r^2 = 0.999\ 8$ 。葡萄糖取 5 ~ 80 mg 时,TC 量为 1.82 ~ 29.12 mg,检测峰正常,回归方程 $Y_2 = 133.7X + 77.43$ ($r^2 = 0.999$),线性良好;葡萄糖取 5 ~ 90 mg 时,TC 量为 1.82 ~ 32.76 mg,回归方程 $Y_1 = 128.7X + 127.7$ ($r^2 = 0.995$),线性欠佳。其中,葡萄糖为 90 mg,TC 量为 32.76 mg,检测峰异常。由图 3 可知,以绝对碳含量为 X 轴,峰面积为 Y 轴,碳酸氢钠取 5 ~

205 mg 时,IC 量为 0.715 ~ 29.315 mg,检测峰正常,回归方程 $Y_2 = 108.5X + 56.30$ ($r^2 = 0.999$),线性良好;碳酸氢钠取 5 ~ 245 mg,IC 量为 0.715 ~ 32.76 mg,回归方程 $Y_1 = 105.5X + 87.15$ ($r^2 = 0.998$),线性降低。碳酸氢钠 245 mg,IC 量为 32.76 mg 时,检测峰异常。综上可知,TC 量在 1.82 ~ 29.12 mg、IC 量在 0.715 ~ 29.315 mg 时,碳含量(mg)和峰面积线性良好,检测准确性高。

2.4 方法的精密度与准确度

由表 3 可知,TC 的回收率为 98.07% ~ 99.23%,RSD 小

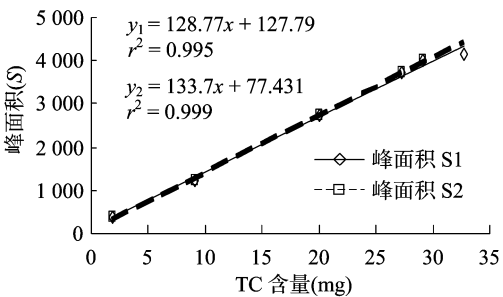


图2 TC 的标准曲线

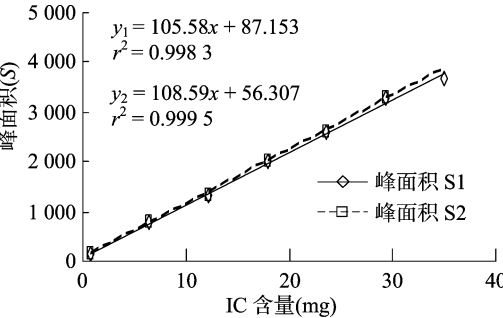


图3 IC 标准曲线

表 3 植物 1 样品加标回收率及 RSD

| 指标 | 加标量 (mg) | 平均回收率 (%) | RSD (%) |
|----|-------------|--------------|------------|
| TC | 1 | 98.07 | 2.15 |
| | 5 | 98.97 | 1.82 |
| IC | 1 | 99.23 | 2.05 |
| | 5 | 98.54 | 2.39 |

于 3%。IC 的回收率为 98.54% ~ 99.23%，RSD 小于 3%。说明检测方法具良好的精密性与准确度。

2.5 不同类型植物样品的检测

由表 4 可知，19 个植物样品的 TC 含量为 117.2 ~ 523.67 g/kg，包含了高、中、低 TC 含量样品。19 个植物样品包含了乔木、灌木、草植物的叶、枝、皮、干、根器官样品及凋落物样品。19 个植物样品测定 TC 的检测峰正常，CV 均小于 3%，精密度良好；19 个植物样的 IC 均为 0，说明 19 个不同类型植物样均未检出碳酸盐，所以植物 TC 含量 = TOC 含量，这与“2.1”所述一致。

采取“2.2”节所述进样量测定，19 个样品均未超出线性范围，其中 TC 含量最高的马尾松叶的 TC 量为 28.80 mg。本试验提出的进样量适用于多类型植物。从表 4 可知，不同树种的 TOC 含量经比较表现如下规律针叶树 > 阔叶树 > 灌木 > 草本 > 凋落物。

3 结论

植物样品进样量在 45 ~ 55 mg(即 50 mg + 5 mg)之间，可克服样品不均匀等干扰，有一定的代表性，测定结果精密性与准确性良好，能满足检测需求。植物光合作用过程将大量的 CO₂ 转化为有机碳，植物从土壤吸收极其微量的无机碳参与生长代谢。所以植物样品 IC 为 0，TC 含量 = TOC 含量。本试验采用针叶、阔叶、灌木、草本的不同器官及凋落物等多类样品所测得 TOC 含量在 117.20 ~ 523.67 g/kg，包含 TOC 含

表 4 不同类型植物样品的 TC、IC 含量 (n = 3)

| 样品号 | 样品 | TC 含量 (g/kg) | | RSD (%) | IC 含量 (g/kg) | TOC 含量 (g/kg) |
|-----|-------|--------------|------|------------|-----------------|------------------|
| | | 平均值 | 标准差 | | | |
| 1 | 马尾松叶 | 523.67 | 6.61 | 1.26 | 0 | 523.67 |
| 2 | 马尾松枝 | 482.87 | 5.69 | 1.18 | 0 | 482.87 |
| 3 | 马尾松皮 | 506.40 | 3.39 | 0.67 | 0 | 506.40 |
| 4 | 马尾松干 | 495.93 | 4.62 | 0.93 | 0 | 495.93 |
| 5 | 马尾松根 | 470.70 | 5.61 | 1.19 | 0 | 470.70 |
| 6 | 米老排叶 | 500.47 | 4.69 | 0.94 | 0 | 500.47 |
| 7 | 米老排枝 | 478.00 | 2.86 | 0.60 | 0 | 478.00 |
| 8 | 米老排皮 | 441.67 | 9.74 | 2.21 | 0 | 441.67 |
| 9 | 米老排干 | 485.13 | 2.68 | 0.55 | 0 | 485.13 |
| 10 | 米老排根 | 474.87 | 8.64 | 1.82 | 0 | 474.87 |
| 11 | 灌木叶 | 472.77 | 7.53 | 1.59 | 0 | 472.77 |
| 12 | 灌木枝 | 481.00 | 4.38 | 0.91 | 0 | 481.00 |
| 13 | 灌木根 | 448.30 | 1.84 | 0.41 | 0 | 448.30 |
| 14 | 草叶 | 414.57 | 4.46 | 1.08 | 0 | 414.57 |
| 15 | 草根 | 427.20 | 7.74 | 1.81 | 0 | 427.20 |
| 16 | 凋落物 1 | 435.63 | 4.07 | 0.93 | 0 | 435.63 |
| 17 | 凋落物 2 | 387.75 | 2.05 | 0.53 | 0 | 387.75 |
| 18 | 凋落物 3 | 301.90 | 6.18 | 2.05 | 0 | 301.90 |
| 19 | 凋落物 4 | 117.20 | 1.41 | 1.21 | 0 | 117.20 |

量高、中、低样品，TOC 含量在 1.82 ~ 29.12 mg 范围内，线性良好。由 TC 的量 (mg) = 进样量 × 样品 TC 含量 (g/kg) 计算，TC (TOC) 含量 580 g/kg 植物样品进样量 50 mg 时的 TC 量为 29 mg，在线性范围内，而植物 TOC 含量通常高达 550 g/kg^[22]，所以 50 mg + 5 mg 的进样量适用于植物 TOC 含量的测定，且没有超出线性范围。

不同树种 TOC 含量大小所呈现的规律为针叶树 > 阔叶树 > 灌木 > 草本 > 凋落物，与有关研究结果^[22-23]一致。本试验提出的 TOC 分析仪测定植物 TOC 含量的方法准确可靠，为实验室日常检测分析植物碳素提供指导参考。

4 讨论

植物 TOC 含量多在 200 ~ 550 g/kg 之间^[22]，进样量大，则可能出现待测气体浓度易超出仪器检测量程的问题。因此，植物 TOC 含量的适宜进样量为 50 mg + 5 mg，远小于测定土壤、污泥 TOC 含量所用的 100 ~ 250 mg 进样量^[9,16-17]。土壤的 TOC 含量低，多在 50 g/kg 以下，进样量小，峰面积小，易受基线波动影响，进样量达到一定量才有利于避免检测干扰，保证检测稳定。可见，植物与土壤 2 类样品碳素含量差异较大，进样量的选择也不同。

参考文献：

[1] 沈 彪,党坤良,武朋辉,等. 秦岭中段南坡油松林生态系统碳密度[J]. 生态学报,2015,35(6):1798-1806.
[2] 齐 光,王庆礼,王新闻,等. 大兴安岭林区兴安落叶松人工林植被碳贮量[J]. 应用生态学报,2011,22(2):273-279.
[3] 黄松殿,吴庆标,廖克波,等. 观光木人工林生态系统碳储量及其分布格局[J]. 生态学杂志,2011,30(11):2400-2404.
[4] 王效科,冯宗炜,欧阳志云. 中国森林生态系统的植物碳储量和碳密度研究[J]. 应用生态学报,2001,12(1):13-16.

付宇阳,高立鹏,白云峰,等. 山羊乳成分分析及变化规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):158-162.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.09.044

山羊乳成分分析及变化规律

付宇阳^{1,2}, 高立鹏², 白云峰^{1,2}, 杨丽², 严少华²

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095; 2. 江苏省农业科学院六合动物科学基地, 江苏南京 210014)

摘要:为研究山羊产后0~9周乳中营养物质含量及变化规律,将试验动物健康无病的波杂母羊(波尔山羊×徐淮山羊)分为不同胎次(2~5胎)、不同泌乳周(0~9周),随机采集116头份泌乳期在0~9周的山羊乳,并对100份乳中的蛋白质、灰分、干物质、脂肪、乳糖、氨基酸、矿物质含量及变化规律进行分析。结果表明:羊乳中蛋白质、灰分、干物质、脂肪、氨基酸、矿物质含量整体上随泌乳周龄的增加呈现下降趋势,且产后0周各种营养物质(除乳糖)的含量显著高于其他各周($P < 0.05$);乳糖含量在1周后出现显著下降趋势($P < 0.05$);所测的17种氨基酸中,谷氨酸的含量最高,其次是脯氨酸、亮氨酸;所测的6种矿物质中,钙、磷含量较为丰富,4种微量元素的含量排序为锌>铁>铜>锰。由此可见,山羊乳中营养物质含量随泌乳期的延长呈现规律变化,这就为泌乳期山羊泌乳生理的研究提供了理论依据,并为羔羊断奶策略和补饲料的生产提供了一定的指导意义。

关键词:波杂山羊;羊乳;营养成分;变化规律

中图分类号: S827.4+5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)09-0158-05

随着养羊业向现代化、集约化、规模化的转变,养殖过程中出现了许多问题,其中初生羔羊死亡率高是制约当前山羊饲养经济的一个主要问题^[1]。据统计,羔羊死亡率最高可达到38.4%^[2-3],而缺乳饥饿是引起羔羊死亡的一个重要因

素,因此近年来有关山羊乳成分、羔羊代乳粉和早期开口料的研究成为热点之一。众所周知,羔羊代乳粉及开口料的配制都是以羊乳中营养物质含量为基础的,而乳成分因受到品种、环境、胎次、营养水平、饲养条件等因素的影响不尽相同^[4]。买买提伊明·巴拉提等研究表明,初乳中蛋白质、脂肪、乳糖、矿物质、维生素的含量均显著高于常乳^[5]。马友记等研究表明,绵羊乳中蛋白质、非脂固形物含量和酸度均呈现前期快速下降、中期减缓下降、后期缓慢上升的趋势,乳糖则呈现先缓慢上升后下降的趋势^[6]。Menéndez-Buxadera等研究5163份山羊乳表明,山羊乳中的蛋白质、脂肪、干物质含量与泌乳日龄存在负相关^[7]。在乳成分变化规律的研究中,有关绵羊产后不同周龄乳成分变化规律的研究较多^[8-9],而有关山羊

收稿日期:2016-06-21

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(15)1003];公益性行业(农业)科研专项(编号:201203050-4)。

作者简介:付宇阳(1992—),女,河南周口人,硕士研究生,主要从事家畜营养生态学研究。E-mail:1263162896@qq.com。

通信作者:白云峰,博士,研究员,硕士生导师,主要从事家畜营养生态学研究。Tel:(025)57686106;E-mail:blinkeye@126.com。

[5]刘华,雷瑞德. 我国森林生态系统碳储量和碳平衡的研究方法及进展[J]. 西北植物学报,2005,25(4):835-843.

[6]张全军,于秀波,钱建鑫,等. 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征[J]. 生态学报,2012,32(12):3656-3669.

[7]郭泉水,康义,赵玉娟,等. 三峡库区消落带氮磷钾、pH值和有机质变化[J]. 林业科学,2012(3):7-10.

[8]鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000.

[9]庞奖励,张健,黄春长. High TOC II分析仪快速测定土壤和黄土样品中的有机碳[J]. 分析仪器,2003(1):34-37.

[10]刘凤枝. 农业环境监测实用手册[M]. 北京:中国标准出版社,2001.

[11]郝冠军,黄懿珍,赵晓艺,等. 重铬酸钾外加热法测定土壤有机质的不确定度评定[J]. 上海农业学报,2011,27(3):103-109.

[12]李小涵,李富翠,王朝辉. 影响TOC有机碳分析仪测定土壤碳含量的因素[J]. 分析仪器,2011(5):8-12.

[13]王戎,彭辉,路神通,等. 总有机碳测定仪TOC-5000A与Aurora 1030W性能的比较[J]. 中国环境监测,2008,24(6):52-56.

[14]徐涛,高玉成,叶振忠,等. 水质TOC分析仪器的现状及其检

测技术的新进展[J]. 仪器仪表学报,2002(增刊3):224-227.

[15]施银桃,夏东升,李海燕,等. 总有机碳的测定及其在染料废水监测中的应用[J]. 中国环境监测,2003,4(19):39-42.

[16]余天,邱忠平,付春霞,等. 填埋垃圾中TOC含量的测定方法优化[J]. 环境工程学报,2012,6(9):3313-3317.

[17]卢宝光,陈婷婷. 城市污水厂脱水污泥中TOC含量的测定[J]. 中国给水排水,2006,22(2):87-89.

[18]王秀萍. 总有机碳分析仪及其常见故障的排除[J]. 实验技术与管理,2008,25(8):80-82.

[19]杨丹,潘建明. 总有机碳分析技术的研究现状及进展[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版),2008,31(4):441-444.

[20]汤晓,黄绪光. 用TOC分析仪测定复混肥料中有机质的含量[J]. 高师理科学刊,2006,26(2):57-59.

[21]许文. 仪器检出限和方法检出限[J]. 地质实验室,1993,9(4):244-248.

[22]邓帷婕,包维楷,辜彬,等. 陆生高等植物碳含量及其特点[J]. 生态学杂志,2007,26(3):307-313.

[23]涂洁,刘琪璟. 亚热带红壤丘陵区湿地松人工林生态系统碳素贮量与分布研究[J]. 江西农业大学学报,2007,29(1):48-54.