

分析测试经验介绍 (118 ~ 124)

红外吸收-热导法测定土壤中有有机碳和全氮的含量

王 勇, 施宗友, 崔青青

(攀西钒钛检验检测院, 国家钒钛制品质量检验检测中心, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 土壤中的有机碳和全氮是评定土壤肥力的关键因素, 快速准确测定土壤中的有机碳和全氮对于评价土壤肥力、研究碳氮与植物生长代谢关系、进一步提高作物产量与质量有重要的意义。针对目前土壤中有有机碳和全氮测量时间长、批量测试效率低的问题, 采用红外吸收-热导法同时测定土壤中有有机碳和全氮的含量, 进一步提高了分析效率。讨论了样品量、燃烧催化剂、无机碳干扰对有机碳和全氮测定的影响。结果表明, 试验最优条件为样品质量 0.12 g, 0.04 g 氧化铜为燃烧催化剂, 4 mol/L 盐酸消除无机碳干扰。以土壤标准样品建立仪器标准曲线, 碳和氮的定量限分别为 0.008 2%、0.043%。方法应用于实际土壤样品测量, 方法精密度小于 3.0%, 测量结果与标准方法对比, 测量值在标准允许误差范围内。

关键词: 红外吸收-热导法; 土壤; 有机碳; 氮

中图分类号: O659.2

文献标志码: B

文章编号: 1006-3757(2024)02-0118-07

DOI: 10.16495/j.1006-3757.2024.02.007

Measurement of Organic Carbon and Nitrogen Content in Soil by Infrared Absorption-Thermal Conductivity Method

WANG Yong, SHI Zongyou, CUI Qingqing

(Panxi Institute of Vanadium and Titanium Inspection and Testing, National Quality Supervision and Testing Center of Vanadium and Titanium Products, Panzhihua 617000, Sichuan China)

Abstract: The organic carbon and total nitrogen in soil are the key factors for evaluating soil fertility. Rapid and accurate determination of organic carbon and total nitrogen in soil is of great significance for evaluating soil fertility, studying the relationship between carbon and nitrogen and plant growth metabolism, and further improving crop yield and quality. To solve the current problem of long measurement time and low efficiency batch testing of organic carbon and total nitrogen in soil, the infrared absorption-thermal conductivity method was adopted to simultaneously measure the content of organic carbon and total nitrogen in soil, further improving the analysis efficiency. The effects of sample size, combustion catalyst, and inorganic carbon interference on the determination of organic carbon and total nitrogen were discussed. The results showed that the optimum conditions were 0.12 g of sample mass, 0.04 g of copper oxide as combustion catalyst and 4 mol/L hydrochloric acid to eliminate inorganic carbon interference. When the instrument standard curve was established with soil standard samples, the limits of quantification for carbon and nitrogen were 0.008 2% and 0.043%, respectively. The method was applied to measure actual soil samples, with a precision of less than 3.0%. Compared with the standard method, the measured values of this method were within the allowable error range of the standard.

Key words: infrared absorption-thermal conductivity method; soil; organic carbon; nitrogen

收稿日期: 2024-01-29; 修订日期: 2024-03-15.

作者简介: 王勇(1984-), 高级工程师, 本科, 从事产品质量检验领域研究工作, E-mail: 414089420@qq.com

通信作者: 施宗友(1982-), 高级工程师, 本科, 从事检测检验工作, E-mail: 277988638@qq.com.

土壤中的有机碳和全氮是评定土壤肥力的关键因素, 是植物健康生长必需的营养素^[1-2]。此外, 碳氮比影响农作物的生长代谢及产量^[3-5]。因此, 快速准确测定土壤中的有机碳和全氮对于评价土壤肥力、研究碳氮与植物生长代谢关系, 进一步提高作物产量与质量有重要的意义。

目前土壤中有机碳和全氮的测定普遍采用《土壤有机碳的测定 重铬酸钾氧化-分光光度法》(HJ 615—2011)^[6], 《土壤有机碳的测定 燃烧氧化-滴定法》(HJ 658—2013)^[7], 《土壤有机碳的测定 燃烧氧化-非分散红外法》(HJ 695—2014)^[8], 《土壤质量 全氮的测定 凯氏法》(HJ 717—2014)^[9], 上述方法虽然测量数据准确度高, 但测定速度比较慢。唐娟等^[10]介绍了高频红外碳硫仪在土壤有机碳测定中的应用, 赵一帆等^[11]利用高频燃烧红外吸收光谱法, 采用差减法的方式测定郑州市郊中土壤有机碳的含量, 为土壤中有机碳测定提供了一种新的思路。上述方法均是对土壤中有机碳和氮的分别测定, 对于大批量试样测定时间较长。《土壤与生物样品中有机碳含量与碳同位素比值、全氮含量与氮同位素比值的测定 稳定同位素比值质谱法》(GB/T 42490—2023)^[12], 采用同位素质谱法同时测定土壤中有机碳和氮的含量, 方法准确快速, 但对设备要求较高, 测量成本相应增加。随着光学技术和数据处理技术的发展, 焦德晓^[13]、章海亮等^[14]采用近红外光谱技术结合数据建模测定土壤中有机碳和氮, 为土壤中有机碳和氮的测定提供了新方法, 但大规模应用于实际还需要一定过程。

本试验使用稀盐酸消除样品中的无机碳, 再将试样经过高温炉在氧气氛围中燃烧, 使有机碳氧化为二氧化碳并用红外吸收法检测, 同时将氮转化成氮气用热导法检测。通过在试样中加入催化剂的方式, 确保试样中碳、氮完全快速氧化, 用土壤标准样品拟合仪器标准曲线, 建立了红外吸收-热导法同时检测土壤中的有机碳和全氮含量。相比于目前广泛采用的滴定法、分光光度法等, 具有操作便捷、测量速度快等优点, 尤其对大批量试样检测具有明显优势。

1 试验部分

1.1 试验原理

如图 1 所示, 将封装好的试样由进样器投入主燃烧室燃烧, 试样中的有机碳和氮在 950 °C 的主燃

烧室内氧化生成二氧化碳和氮氧化物, 再进入次燃烧室进一步氧化, 同时去除粉尘、硫化物及卤化物, 净化后的气体被收集在储气罐中。储气罐中的气体由载气携带进入定量腔, 碳以二氧化碳的形式, 由 CO₂ 红外池检测, 氮氧化物被还原为氮气, 用热导检测器检测。

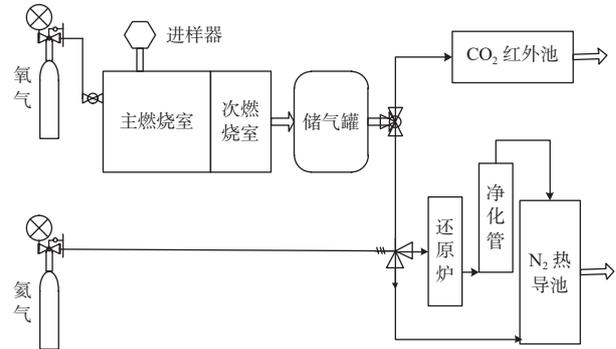


图 1 红外吸收-热导分析流程图

Fig. 1 Flowchart of infrared absorption-thermal conductivity

1.2 仪器与试剂

1.2.1 主要仪器与测试条件

5E-CHN2200 元素分析仪(长沙开元仪器股份有限公司), 仪器检测条件: 主燃烧室温度 950 °C, 次燃烧室温度 850 °C, 还原炉温度 700 °C, 储气罐温度 50 °C, 分析吹扫时间 2.0 min, 燃烧时间 1.5 min, 分析时间 6.0 min. METTLER AE200 电子天平(梅特勒), 称量精度 0.1 mg.

1.2.2 试剂和标准物质

氮气(攀钢梅塞尔气体产品有限公司, 99.996%); 锡箔纸(长沙开元仪器股份有限公司, 25 mm×25 mm); 氧化铜(天津市申泰化学试剂有限公司, 分析纯); 浓盐酸(成都市科隆化学品有限公司, $\rho=1.19$ g/mL); 4 mol/L 盐酸(取 34 mL 浓盐酸, 加入到 66 mL 蒸馏水中, 混匀)。

试验选用土壤标准样品为 502-062-1018、502-697-1000、502-697-1001(美国 LECO 公司), AEB 2152、AEB2188、AEB2176、AEB2186、AR4025(美国 Alpha Resources 公司), MCS-1353、RMU077a、RMU074(东莞市精析标物计量科技有限公司), RMH-A149、RMH-A074(武汉卓研华标科技有限公司), 各元素的标准值如表 1 所列。

1.3 测量方法

1.3.1 试样制备

将土壤样品置于风干盘中, 平摊成 2~3 cm 厚

表1 标准品中各元素含量
Table 1 Contents of element in standard samples /%

标准品编号	标准值		
	全碳(TC)	有机碳(TOC)	全氮(TN)
502-062-1018	0.924±0.012	—	0.093±0.005
502-697-1000	3.82±0.05	—	0.323±0.015
502-697-1001	3.79±0.05	—	0.328±0.015
AEB2152	1.65±0.05	—	0.14±0.02
AEB2188	5.40±0.05	—	0.35±0.02
AEB2176	15.95±0.10	—	1.30±0.05
AEB2186	2.75±0.05	—	0.302±0.020
MCS-1353	—	0.74±0.02	—
RMU077a	—	1.93±0.08	—
RMH-A149	—	3.27±0.05	—
RMH-A074	—	—	0.135±0.018
AR4025	—	—	0.46±0.02
RMU074	—	—	1.74±0.05

的薄层,先剔除植物、昆虫、石块等,然后用研磨棒压碎土块,自然风干.采用四分法分取风干试样,将缩分后的试样过2 mm(10目)土壤筛,取10~20 g过筛样品,研磨至全部通过0.097 mm(160目)筛,装入棕色具塞玻璃瓶中.

1.3.2 试样中无机碳消除

取1.3.1中制备好的试样1.0~2.0 g(精确到0.000 1 g),置于陶瓷舟中(提前于900 °C马弗炉中烧至恒重),记录陶瓷舟和样品的重量,缓慢加入4 mol/L盐酸溶液至试样无气泡冒出(消除无机碳干扰),充分混合后静置4 h,于60~70 °C下烘干16 h,取出放入干燥器中冷却至室温后称重,按公式(1)计算残重率:

$$w_1 = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

公式(1)中: w_1 表示风干土壤样品经4 mol/L盐酸处理后样品的残重率,%; m_1 表示样品经4 mol/L盐酸处理并烘干后的质量,g; m_0 表示样品未加入4 mol/L盐酸时的质量,g.

1.3.3 空白测试

测量前,检查仪器气密性,待仪器达到使用要求后,开始空白测试.向锡箔纸中加入0.04 g氧化铜封装后,按1.2.1项下仪器测试条件进行至少3

次测量,当空白测试标准偏差小于0.1%,进行空白校正.

1.3.4 样品测量

样品分析前,选择合适的土壤标准样品对标准曲线进行漂移校正.称取1.3.2中制备的样品0.12 g及0.04 g氧化铜用锡箔纸封装后,按1.2.1项下条件进行测量.根据仪器所测得的碳和氮的质量分数,用公式(2)计算出风干土壤样品中有机碳和全氮的质量分数:

$$w = \frac{w_1 \times w_2}{100} \quad (2)$$

公式(2)中: w 表示风干土壤样品中有机碳和全氮的质量分数,%; w_1 表示按公式(1)计算得到样品的残重率,%; w_2 表示仪器测得的样品中碳或氮的质量分数,%.

2 结果与讨论

2.1 样品质量对测试结果的影响

采用红外吸收-热导法测定碳、氮时,称样质量对碳、氮测试结果的准确性和稳定性有一定影响.为探究样品质量对碳、氮测试的影响,选择土壤样品(502-697-1001),保持其他分析条件不变,改变样品质量(0.04、0.06、0.08、0.10、0.12、0.16、0.18 g),每个样品重复测试3次,试验数据如表2所列.从表中可以看出,随着样品质量增加,碳、氮测得平均值逐渐升高,相对标准偏差(RSD)逐渐降低.当样品质量为0.12 g时,碳、氮测量数据稳定、准确度较佳,当样品量大于0.16 g,碳略有降低.造成上述现象的原因可能是由于仪器最佳称量范围为80~100 mg,当样品量过小时,易造成数据稳定性变差,尤其是对于低碳、氮含量样品.样品量过大,试样燃烧不完全,导致测试结果偏低,影响测试数据的准确性.因此样品质量选择0.12 g.

2.2 无机碳干扰及消除

土壤样品中碳包括有机碳和无机碳,无机碳主要是指土壤中各种负价态的含碳无机化合物,包括土壤溶液中的碳酸根离子(CO_3^{2-} 、 HCO_3^-)、土壤中的钙镁碳酸盐沉积物以及空气中的 CO_2 ^[15].其中土壤溶液中的碳酸根离子和空气中的 CO_2 在样品风干过程中分解、挥发.因此对有机碳的测定干扰主要是碳酸盐,如碳酸钾(分解温度约270 °C)、碳酸镁(分解温度约540 °C)、碳酸钙(分解温度约900 °C),

表2 不同样品质量对碳、氮测试结果的影响
Table 2 Effect of different sample masses on carbon and nitrogen tests

样品质量/g	C				N			
	重复测量数据/%	平均值/%	RSD/%	平均值与真实值差值	重复测量数据/%	平均值/%	RSD/%	平均值与真实值差值
0.04	3.58, 3.74, 3.62	3.64	2.3	-0.15	0.302, 0.294, 0.281	0.292	3.6	-0.036
0.06	3.68, 3.77, 3.66	3.70	1.6	-0.09	0.301, 0.296, 0.312	0.303	2.7	-0.025
0.08	3.74, 3.69, 3.79	3.74	1.3	-0.05	0.306, 0.314, 0.301	0.307	2.1	-0.021
0.10	3.76, 3.82, 3.74	3.77	1.1	-0.02	0.313, 0.319, 0.323	0.318	1.6	-0.010
0.12	3.79, 3.73, 3.81	3.78	1.1	-0.01	0.325, 0.321, 0.331	0.326	1.5	-0.002
0.16	3.81, 3.70, 3.76	3.76	1.5	-0.03	0.327, 0.335, 0.323	0.328	1.9	0
0.18	3.72, 3.67, 3.76	3.72	1.2	-0.07	0.334, 0.323, 0.334	0.330	1.9	0.002

这些碳酸盐在高温燃烧时会分解出 CO_2 , 导致有机碳测定偏高. 试验采用 4 mol/L 盐酸溶液溶解上述无机碳酸盐^[7], 以消除其对有机碳测定干扰. 具体实施方法按 1.3.2 项下操作步骤.

2.3 燃烧催化剂对碳、氮测定的影响

土壤样品自身不易燃烧, 虽然提高燃烧温度有利于氧化, 但温度过高会影响燃烧炉使用寿命. 为使试样中有机碳及铵态氮、硝态氮充分氧化生成 CO_2 和 NO_x , 加入催化剂能使试样在较低温度下燃烧, 提高反应速率, 使样品充分氧化. 李国傲等^[16] 在土壤有机碳含量测定方法评述及最新研究进展指出, 以过渡金属氧化物为催化剂(如 Cr_2O_3 、 CoO 、 CuO), 有助于有机碳的氧化, 但对氮的氧化效果未提及. 为考察上述催化剂对氮化物催化氧化效果, 试验以土壤标准样品 AEB2186 为例, 其他测试条件保持不变, 催化剂质量分别为 0、0.02、0.03、0.04、0.05、0.06、0.07 g, 每组平行测定 5 次, 考察上述 3 种催化剂对碳、氮氧化效果的影响, 结果如表 3 所列. 从表中碳、氮测试数据可以看出, 未加入催化剂时, 碳、氮测量值呈负偏差, 随着催化剂加入量增加, 碳、氮测量值缓慢增大, 当催化剂加入质量为 0.04 g 时, 碳氮测量值最接近土壤标准样品的认定值. 从 3 种催化剂的测试数据可以看出, 均有一定的催化效果, 但相比之下 CuO 对氮催化效果更佳, 因此试验选择 0.04 g CuO 为燃烧催化剂.

2.4 标准曲线建立及方法定量限

试验选择不同含量土壤标准样品(编号分别为 502-062-1018、AEB2152、502-697-1000、AEB2188、

表3 不同催化剂对碳、氮氧化的催化效果 ($n=5$)
Table 3 Catalytic effect of different catalysts on carbon and nitrogen oxidation ($n=5$)

催化剂质量/g	Cr_2O_3		CoO		CuO	
	C/%	N/%	C/%	N/%	C/%	N/%
0	2.70	0.282	2.72	0.283	2.71	0.281
0.02	2.72	0.285	2.73	0.285	2.74	0.285
0.03	2.74	0.289	2.76	0.291	2.76	0.292
0.04	2.75	0.292	2.74	0.298	2.78	0.305
0.05	2.78	0.302	2.79	0.312	2.80	0.314
0.06	2.77	0.304	2.80	0.309	2.79	0.309
0.07	2.79	0.303	2.79	0.311	2.80	0.313

AEB2176). 以碳、氮的质量分数为横坐标(x), 相应碳、氮质量分数下仪器所测信号强度为纵坐标(y), 建立碳、氮标准曲线. 碳、氮的线性方程分别为: $y=1.182x-0.29\times 10^{-2}$ ($r=0.9995$), $y=1.076x-0.98\times 10^{-3}$ ($r=0.9993$). 按 1.3.3 项下的分析步骤做空白 10 次, 碳、氮空白标准偏差(S)分别为 0.000 82%、0.004 3%, 根据检出限计算公式($\text{LOD}=t_{(n-1, 0.99)}\times S$, 查询 t 分布 $t_{(n-1, 0.99)}$ 为 2.746)计算得到方法碳、氮的检出限(质量分数)分别为 0.002 3%、0.012%, 按 10 倍标准偏差^[17] 计算得碳、氮的定量限(质量分数)分别为 0.008 2%、0.043%.

2.5 精密度与准确度试验

按照试验方法对土壤样品(1#、2#)及土壤有机碳标准样品(MCS-1353、RMU077a、RMH-A149)、土壤总氮标准样品(RMH-A074、AR4025、RMU074)

重复测量5次.同时有机碳与标准方法(HJ 658—2013^[7])对比(如表4所列),全氮与标准方法(HJ 717—2014^[9])对比(如表5所列),考察方法的精

密度与准确度.从表4、5试验数据可以看出,方法精密性小于3.0%,土壤标准样品中有机碳和全氮测定值在允许误差范围内,准确度较好.

表4 土壤样品中有机碳测试结果

Table 4 Measured results of organic carbon in soil samples

/%

样品	测试结果			
	有机碳	平均值	RSD	标准方法
土壤1#	4.25, 4.28, 4.22, 4.20, 4.27	4.24	0.8	4.17
土壤2#	6.72, 6.68, 6.75, 6.74, 6.71	6.72	0.4	6.79
MCS-1353	0.73, 0.72, 0.74, 0.72, 0.73	0.73	1.1	0.75
RMU077a	1.91, 1.92, 1.88, 1.91, 1.87	1.90	1.1	1.95
RMH-A149	3.23, 3.27, 3.28, 3.32, 3.29	3.28	1.0	3.31

表5 土壤样品中全氮测试结果

Table 5 Measured results of total nitrogen in soil samples

/%

样品	测试结果			
	全氮	平均值	RSD	标准方法
土壤1#	0.51, 0.50, 0.52, 0.50, 0.52	0.51	2.0	0.52
土壤2#	1.24, 1.23, 1.27, 1.25, 1.26	1.25	1.3	1.22
RMH-A074	0.128, 0.134, 0.129, 0.137, 0.132	0.132	2.8	0.130
AR4025	0.45, 0.44, 0.45, 0.46, 0.45	0.45	1.6	0.46
RMU074	1.72, 1.75, 1.73, 1.77, 1.74	1.74	1.1	1.71

3 结论

试验基于红外吸收-热导检测原理的元素分析仪测定土壤中有机碳和全氮的含量.用4 mol/L 盐酸溶液消除土壤中无机碳,当样品质量为0.12 g,以0.04 g 氧化铜为催化剂,能使土壤中碳和氮快速氧化成相应气体氧化物.以土壤标准样品建立仪器标准工作曲线,对仪器测量结果通过计算公式转换成土壤样品中有机碳和全氮含量,建立了红外吸收-热导法同时测定土壤样品中有机碳和全氮.此方法与目前使用的方法相比,节约了人力和材料成本,进一步提高了分析效率,尤其适用于大批量样品的测定.碳、氮的检出限分别为0.0023%、0.012%,方法精密性小于3.0%,对不同含量的土壤质控样品进行测试,有机碳和全氮测试结果均满足要求.

参考文献:

- [1] 王秋彬,于卫昕,王年一,等.吉林省主要旱田土壤有机碳·氮和碳氮比的空间分布特征[J].安徽农业科学,2022,50(23):40-42. [WANG Qiubin, YU Weixin, WANG Nianyi, et al. Spatial distribution characteristics of soil organic carbon, nitrogen and carbon-nitrogen ratio in main drylands of Jilin Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50 (23): 40-42.]
- [2] 王敬宽,吕鹏超,张楷悦,等.不同土地利用方式对盐碱地土壤团聚体及碳氮含量的影响[J].山东农业科学,2023,55(10):86-94. [WANG Jingkuan, LV Pengchao, ZHANG Kaiyue, et al. Effects of different land use patterns on soil aggregates and carbon and nitrogen contents in saline and alkali land[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55 (10): 86-94.]

- [3] 杨伊玲,刘根红,薛垠鑫,等.不同施氮量对麦后复种蔬菜生长及碳氮比的影响[J].甘肃农业大学学报,2023,58(6):56-65. [YANG Yiling, LIU Genhong, XUE Yinxi, et al. Effects of different nitrogen dosage on the growth and carbon-nitrogen ratio of the wheat compound vegetables[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2023, 58 (6): 56-65.]
- [4] 黄庄,黑杰,刘旭阳,等.互花米草入侵对滨海湿地不同质地土壤碳氮磷及其生态化学计量比的影响[J].土壤,2023,55(2):340-347. [HUANG Zhuang, HEI Jie, LIU Xuyang, et al. Effects of spartina alterniflora invasion on soil carbon, nitrogen and phosphorus and their ecological stoichiometric ratios in coastal wetlands of different textures[J]. Soils, 2023, 55 (2): 340-347.]
- [5] 张瑞香,李强,冯雪琦,等.黄河下游4种典型草本植物与土壤碳、氮含量的关系研究[J].河南农业大学学报,2023,57(1):65-72,95. [ZHANG Ruixiang, LI Qiang, FENG Xueqi, et al. Relationship of carbon and nitrogen content of four typical herbs and soil in the lower reaches of the Yellow River[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2023, 57 (1): 65-72, 95.]
- [6] 中华人民共和国环境保护部.土壤有机碳的测定重铬酸钾氧化-分光光度法:HJ 615—2011[S].北京:中国环境科学出版社,2011. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Soil-determination of organic carbon-potassium dichromate oxidation: HJ 615 —2011[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.]
- [7] 中华人民共和国环境保护部.土壤有机碳的测定燃烧氧化-滴定法:HJ 658—2013[S].北京:中国环境科学出版社,2013. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Soil -determination of organic carbon-combustion oxidation - titration method: HJ 658—2013[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2013.]
- [8] 中华人民共和国环境保护部.土壤有机碳的测定燃烧氧化-非分散红外法:HJ 695—2014[S].北京:中国环境科学出版社,2014. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Soil-determination of organic carbon-combustion oxidation nondispersive infrared absorption method: HJ 695—2014[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2014.]
- [9] 中华人民共和国环境保护部.土壤质量全氮的测定凯氏法:HJ 717—2014[S].北京:中国环境科学出版社,2015. [Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Soil quality-determination of total nitrogen-modified Kjeldahl method: HJ 717—2014[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2015.]
- [10] 唐娟,严妍.高频红外碳硫仪在耕地质量调查土壤有机质含量测定中的应用[J].安徽农业科学,2022,50(20):170-173. [TANG Juan, YAN Yan. Application of high frequency infrared carbon sulfur instrument to determination of soil organic matter content in cultivated land quality investigation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50 (20): 170-173.]
- [11] 赵一帆,毛香菊,张宏丽,等.高频燃烧红外吸收光谱法测定郑州市郊土壤有机碳的含量[J].中国无机分析化学,2023,13(10):1077-1082. [ZHAO Yifan, MAO Xiangju, ZHANG Hongli, et al. Determination of organic carbon in suburb soil of Zhengzhou by high frequency combustion infrared absorption spectrometry[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13 (10): 1077-1082.]
- [12] 国家市场监督管理总局,国家标准化委员会.土壤质量土壤与生物样品中有机碳含量与碳同位素比值、全氮含量与氮同位素比值的测定稳定同位素比值质谱法:GB/T 42490—2023[S].北京:中国标准出版社,2023. [State Administration for Market Regulation, National Standardization Management Committee. Soil quality-determination of total content and isotope ratio of organic carbon and nitrogen of soil and biological samples-Stable isotope ratio mass spectrometry: GB/T 42490 —2023[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.]
- [13] 焦德晓.应用不同预处理方法建模测定土壤有机质和总氮含量[D].济南:山东大学,2019. [JIAO Dexiao. Determination of soil organic and total nitrogen by modeling with different spectral pretreatment methods[D]. Jinan: Shandong University, 2019.]
- [14] 章海亮,谢潮勇,田彭,等.基于可见/近红外光谱和数据驱动的机器学习方法测量土壤有机质和总氮[J].光谱学与光谱分析,2023,43(7):2226-2231. [ZHANG Hailiang, XIE Chaoyong, TIAN Peng, et al. Measurement of soil organic matter and total nitrogen based on visible/near infrared spectroscopy and data-driven machine learning method[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2023, 43 (7): 2226-2231.]
- [15] 黄巧云,林启美,徐建明.土壤生物化学[M].北京:高等教育出版社,2015. [HUANG Qiaoyun, LIN Qimei, XU Jianming. Soil biochemistry[M]. Beijing:

- Higher Education Press, 2015.]
- [16] 李国傲, 陈雪, 孙建伶, 等. 土壤有机碳含量测定方法评述及最新研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(5): 22-26. [LI Guoao, CHEN Xue, SUN Jianling, et al. Review and latest research progress on determination methods of soil organic carbon content[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45 (5): 22-26.]
- [17] 贾云海, 孙晓飞, 张帆. 用相对标准偏差和相对极差及测量极值比例确定分析检出限和定量限[J]. 冶金分析, 2021, 41(1): 1-12. [JIA Yunhai, SUN Xiaofei, ZHANG Fan. Determination of LOD and LOQ with relative standard deviation and relative range or ratio of maximum and minimum[J]. Metallurgical Analysis, 2021, 41 (1): 1-12.]
-

声明

我部近日接到作者反映, 有不法机构冒充我部编辑, 将作者所投论文截留并收取审理费用. 在此郑重声明, 我部在稿件审理阶段是不收取任何费用的, 待收到录用通知和校对清样后, 才会收取版面费, 敬请广大作者周知!

投稿请登录我部官方网站 (<http://www.fxcsjssyyq.net>) 进行, 若有疑问, 请拨打我部电话: (0931)4968280, 13109326463.

《分析测试技术与仪器》编辑部

通讯地址: 兰州市天水中路 18 号 中国科学院兰州化学物理研究所

邮政编码: 730000

E-mail: fxcs@licp.cas.cn

联系人: 魏丽萍