

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2024.11.009

离子色谱法测定种植土壤中8种水溶性阴离子

刘健¹ 明荔莉¹ 陈巧兰² 廖佳¹ 郭海灵¹

(1. 拱北海关技术中心, 广东 珠海 519015; 2. 珠海市食品药品检验所, 广东 珠海 519015)

摘要 对土壤中水溶性阴离子进行测定,可监测土壤盐渍化的类型和程度,为改良、治理及科学施肥提供参考。土壤样品经风干研磨过0.15 mm筛,以去离子水萃取,0.22 μm微孔滤膜过滤,用碳酸钠和碳酸氢钠溶液等度洗脱,离子色谱仪同时测定土壤萃取液中F⁻、BrO₃⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻等8种水溶性阴离子含量。结果表明:8种阴离子在0.2~10.0 mg/L曲线线性关系良好,相关系数大于0.999;土壤样品阴离子检出限为0.6~7.0 mg/kg;进行3浓度水平加标实验,回收率为65.6%~120%,相对标准偏差为0~8.9%,表明方法具有较高的精密度和准确度。方法用于蔬菜种植基地、农田、绿化带土壤及养殖塘泥检测,结果显示,样品中检出F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻和SO₄²⁻,浓度为5.0~1 090.6 mg/kg,均未检出BrO₃⁻。各类型土壤阴离子浓度差异较大,蔬菜种植基地土壤中含有较高的Cl⁻、NO₃⁻或SO₄²⁻,可能与长期施用特定类型的化肥有关,农田土壤和塘泥长时间处于水中,水溶性阴离子已充分溶解,各阴离子含量较低;绿化带土壤未充分开垦,阴离子浓度接近于该类型土壤本底值。

关键词 离子色谱法;土壤;阴离子;盐渍化;电导检测器

中图分类号:O657.7⁺5;X833 文献标志码:A 文章编号:2095-1035(2024)11-1537-07

Determination of 8 Kinds of Water-soluble Anion in Planting Soil by Ion Chromatography

LIU Jian¹, MING Lili¹, CHEN Qiaolan², LIAO Jia¹, GUO Hailing¹

(1. Gongbei Customs District Technical Center, Zhuhai, Guangdong 519015, China;

2. Zhuhai Institute for Food and Drug Control, Zhuhai, Guangdong 519015, China)

Abstract The determination of water-soluble anions in soil can monitor the type and degree of soil salinization, as well as provide reference for its improvement, management, and scientific fertilization. The soil samples were ground to pass 0.15 mm sieve after air-dried, the water-soluble anions were extracted by deionized water, then filtered by 0.22 μm membrane, the F⁻, BrO₃⁻, Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ and SO₄²⁻ were separated by Na₂CO₃ and NaHCO₃ solution as isocratic elution, then determined by ion chromatography. The results showed that, the calibration curves of 8 kinds of anion had a good linearity in concentration ranges of 0.2—10.0 mg/L, and the correlation coefficient were more than 0.999; The detection limits for anions in soil samples were 0.6—7.0 mg/kg. Spiked test was made at 3 concentration

收稿日期:2024-01-18 修回日期:2024-04-28

基金项目:拱北海关科研项目(2023GK017);珠海市科技计划项目(ZH22036201210115PWC)

作者简介:刘健,男,工程师,主要从事化工品、消费品及环境样品理化分析研究。E-mail:ljian2690@163.com

引用格式:刘健,明荔莉,陈巧兰,等.离子色谱法测定种植土壤中8种水溶性阴离子[J].中国无机分析化学,2024,14(11):1537-1543.

LIU Jian, MING Lili, CHEN Qiaolan, et al. Determination of 8 Kinds of Water-soluble Anion in Planting Soil by Ion Chromatography[J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2024, 14(11): 1537-1543.

levels, with the recoveries were 65.6%—120%, and RSDs were 0.2%—9.8%, which indicated that the method was high precision and accuracy. This method was used to detect the soil from vegetable planting base, farmland, green belt and pond silt. Results showed that F^- , Cl^- , NO_2^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} and SO_4^{2-} were detected, and the concentration were within 5.0—1 090.6 mg/kg, while BrO_3^- was not detected. There were significant differences in the concentration of anions among different types of soil. The soil in vegetable planting bases contained higher levels of Cl^- , NO_3^- , or SO_4^{2-} , which might be related to the long-term application of specific types of fertilizers. Farmland soil and pond silt were in water for a long time, and water-soluble anions had been fully dissolved, resulting in lower levels of anions. The soil in the green belt had not been fully cultivated, and the anion concentration was closed to the background value of this type of soil.

Keywords ion chromatography; soil; anion; salinization; conductivity detector

土壤水溶性盐通常指土壤中可溶于水的盐类总和,通常由碱金属或碱土金属阳离子及无机阴离子组成,包括钠盐、钾盐、镁盐或盐酸盐、硫酸盐、硝酸盐、碳酸盐等^[1],是衡量土壤盐渍化程度的重要依据^[2]。土壤水溶性盐中既含有植物生长必不可少的营养成分,过量的盐分又会对其产生毒害^[3-4],盐分含量增大,会降低土壤的水势,导致植物不能有效吸水,引起植物生长异常,不同种类的盐类,还会存在拮抗作用,对植物的生产具有重要影响^[5-6]。土壤中水溶性盐除自然形成外,化肥的过量使用,也是造成土壤盐分积累的重要因素。因此,对土壤中水溶性盐的种类和含量进行监测,可有效了解土壤盐渍化的类型和程度,为盐渍土的改良、治理、科学施肥提供重要参考^[7]。

水溶性盐通常由阴阳离子配对组成,对水溶性盐中阴离子的检测可以较大程度上了解水溶性盐的类型和含量,是土壤质量监测的重要参数。阴离子常见的测定方法有滴定法^[8]、重量法^[9]、离子选择电极法^[10]、离子色谱法^[11-12]等,亦有液相色谱质谱法^[13]的报道,其中离子色谱法因其灵敏度高、操作简单、线性范围广、可同时测定多种元素等特点,已被广泛应用于水质^[14]、废气^[15]等环境样品中阴离子的检测,由于土壤水溶性盐以水为提取载体,可参考水质的检测方式,用离子色谱仪对水溶性阴离子的种类和含量进行测定。

本工作采用离子色谱法同时测定种植土壤中的 F^- 、 BrO_3^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 等 8 种水溶性阴离子,对比不同测量条件和前处理方式对测定结果的影响,提出了种植土壤中水溶性阴离子的测定方法,并对几种常见种植土壤的阴离子含量进行了测定。该方法操作简单、结果准确可靠,可满足土壤水溶性阴离子的监测要求,为土壤非

金属无机元素的测定提供参考。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

883 型离子色谱仪(瑞士万通公司,配有电导检测器,MSM 化学抑制器),BP110S 型电子天平(Sartorius 公司),HS260 型往复振荡摇床(IKA 公司),K280R-2 型离心机(Centurion 公司),超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司),Medium Touch-RS90UVF 型超纯水机(上海和泰仪器有限公司),XMTD-8222 型烘箱(上海精宏实验设备有限公司),0.22、0.45 μm 微孔滤膜(津腾公司)。

F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 等 7 种阴离子混合标准溶液(100 mg/L,国家有色金属及电子材料分析测试中心),溴酸钾(优级纯,科密欧试剂),无水碳酸钠(基准级,科密欧试剂),碳酸氢钠(优级纯,西亚试剂),硫酸(优级纯,广州化学试剂厂),去离子水(电阻率不小于 18.2 $M\Omega \cdot cm$)实验室自制)。

BrO_3^- 标准溶液(1 000 mg/L):称取 0.130 5 g 经 105 $^{\circ}C$ 烘干的溴酸钾,用去离子水溶解并定容至 100 mL。

8 种阴离子混合标准溶液(10.0 mg/L):分别移取 7 种阴离子混合标准溶液 10 mL 和 BrO_3^- 标准溶液 1 mL 于 100 mL 容量瓶中,用去离子水定容。

5.0 mmol/L Na_2CO_3 和 1.0 mmol/L $NaHCO_3$ 溶液淋洗液:称取 0.523 0 g 基准级无水碳酸钠和 0.084 g 优级纯碳酸氢钠于 1 L 容量瓶中,用去离子水溶解后定容,用 0.22 μm 滤膜抽滤。

1.2 仪器工作条件

SUPP5 型阴离子交换柱,250 mm \times 4.0 mm \times 5 μm , SUPP5 型阴离子保护柱,淋洗液流量

0.7 mL/min, 等度洗脱, 定量环 20 μL , 化学抑制器, 再生液 60 mmol/L H_2SO_4 溶液。

1.3 实验方法

将土壤风干、研磨全部通过 150 μm 筛, 称取 0.5 g (精确至 0.1 mg) 土壤样品至 100 mL 三角锥形瓶中, 加入 50 mL 去离子水, 以 150 r/min 频率振荡 30 min, 全部转移至离心管中, 以 5 000 r/min 离心 15 min, 取上清液过 0.45 μm 滤膜后, 用离子色谱仪测定, 以保留时间定性, 峰面积定量。

2 结果与讨论

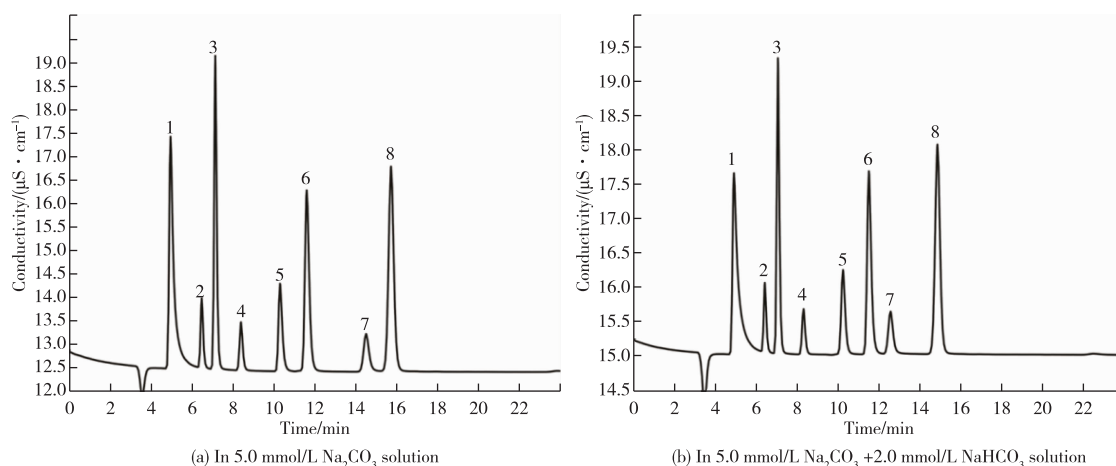
2.1 淋洗液浓度及流速

为考察不同浓度和比例 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 淋洗液条件下 8 种阴离子的色谱行为。以碳酸钠溶液作为淋洗液, 浓度依次为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10.0 mmol/L 递增, F^- 和 SO_4^{2-} 分别为首末洗脱物, 随着碳酸钠浓度的增加, 8 种阴离子的分离效果逐渐变差, 保留时间提前, 这是由于碳酸根浓度增加, 淋洗液洗脱能力增强, 当碳酸钠溶液浓度为 6.0 mmol/L 及以上时, 8 种阴离子无法有效分离, 浓度为 2.0 mmol/L 时, SO_4^{2-} 保留时间超过 40 min, 效率较低。在浓度为 5.0 mmol/L 时, 各阴离子分离度达到 1.5, SO_4^{2-} 保留时间在 20 min 以内, 此条

件下分离效果和保留时间最佳。

由于碳酸钠溶液容易吸收空气中二氧化碳生成碳酸氢钠, 导致碳酸根浓度降低, 洗脱能力下降, 造成保留时间的波动, 考虑在淋洗液中加入碳酸氢钠来保持淋洗液中碳酸根离子的稳定性, 且 HCO_3^- 的洗脱能力弱于 CO_3^{2-} , 不会改变阴离子的洗脱顺序。以 5.0 mmol/L 碳酸钠溶液为基底, 依次配制含 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0 mmol/L 碳酸氢钠的混合淋洗液, 结果显示, 随着碳酸氢钠浓度的升高, 除 PO_4^{3-} 外, 其余阴离子保留时间无明显变化, PO_4^{3-} 保留时间随着 HCO_3^- 浓度的增加提前, 在碳酸氢钠浓度为 2.0 mmol/L 及以上时与 NO_3^- 逐渐重合无法有效分离, 故加入 1.0 mmol/L 碳酸氢钠为宜。同时为防止溶液吸收空气中二氧化碳, 还可在淋洗液瓶口加装碱石灰管。

考察了淋洗液流速在 0.4~0.8 mL/min 条件下 8 种阴离子的色谱行为, 随着流速增加, 阴离子的保留时间均提前, 峰形变窄, 各阴离子分离度无明显变化, 流速为 0.8 mL/min 及以上时系统压力超过 14 MPa, 接近 SUPP5 型阴离子交换柱耐压 15 MPa 上限, 为保证系统稳定及提高测定效率, 选取 0.7 mL/min 的淋洗液流速。8 种阴离子的色谱图见图 1。



1— F^- ; 2— BrO_3^- ; 3— Cl^- ; 4— NO_2^- ; 5— Br^- ; 6— NO_3^- ; 7— PO_4^{3-} ; 8— SO_4^{2-}

图 1 不同淋洗液中的阴离子色谱图

Figure 1 Chromatogram of anions in different eluent.

2.2 样品前处理方式

实验考察土壤水溶性阴离子的溶出, 测试结果与样品的前处理方式有关, 主要受土水比例、振摇频率、振摇时间、超声、提取次数、土壤粒度的影响, 采用单一变量的方式进行考察。

2.2.1 土水比例

考察土水比为 1:20、1:50、1:100、1:200 时萃取液中阴离子浓度, 表 1 结果表明, 萃取液中阴离子浓度随着土水比例的扩大而降低, 当土水比为 1:200 时, 萃取液中 Cl^- 无法检出, 计算

结果表明,土壤样品中 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 含量逐渐增大, NO_3^- 、 SO_4^{2-} 含量无显著影响,土壤中未检出 BrO_3^- 和 Br^- 。土水比少于 1:20 时,则无法保证萃取液的有效振动和获取足量萃取溶液,综合考量,选取土水比 1:100 作为本工作萃取条件。

2.2.2 振摇频率、时长与超声

固定 150 r/min 的振荡频率,考察振摇时长为 10~120 min 条件下萃取液中阴离子含量;固定 30 min 的振摇时长,考察振摇频率 100~200 r/min 条件下萃取液中阴离子含量。结果表明,已检出的

各阴离子浓度无明显差异,证明土壤中阴离子能够快速溶出,结果见表 2。

考察超声方式下阴离子的溶出情况,以 90% 功率超声 5~30 min,已检出的各阴离子浓度无明显差异,超声提取方式与振摇提取方式结果无显著差异。超声提取的样品,较难用微孔滤膜过滤,考虑是超声使土壤释放大量悬浮颗粒,无法有效离心,过滤时极易堵塞滤膜。

在保证土壤溶液能够充分振荡的情况开,综合效率的因素,可选择 150 r/min 振摇 30 min,或者超声 10 min。

表 1 不同土水比例条件下土壤阴离子测试结果

Table 1 Test results of anion by different soil-water rate

Soil-water rate	Anions in soil/(mg · kg ⁻¹)							
	F ⁻	BrO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
1:20	11.9	-	6.1	4.9	-	1 114.4	18.3	84.1
1:50	15.9	-	9.2	7.3	-	1 088.8	37.9	75.4
1:100	23.3	-	13.3	11.0	-	1 077.4	69.0	79.2
1:200	32.0	-	-	19.2	-	1 089.6	86.4	81.8

表 2 不同提取方式阴离子测试结果

Table 2 Test results of anion by different extraction method

Extraction conditions	Anions in soil extract/(mg · L ⁻¹)								
	F ⁻	BrO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	
Oscillation time	10 min	0.272	-	0.156	0.154	-	11.177	0.542	0.783
	30 min	0.273	-	0.162	0.156	-	11.270	0.630	0.806
	60 min	0.281	-	0.168	0.157	-	11.730	0.616	0.840
	120 min	0.211	-	0.179	0.165	-	11.201	0.586	0.811
	RSD/%	12.5	-	5.9	3.1	-	2.3	6.6	2.9
Oscillation rate	100 r/min	0.280	-	0.181	0.163	-	10.559	0.404	0.832
	120 r/min	0.269	-	0.172	0.162	-	10.461	0.480	0.828
	150 r/min	0.262	-	0.171	0.163	-	10.478	0.485	0.831
	180 r/min	0.276	-	0.167	0.162	-	10.586	0.429	0.803
	200 r/min	0.198	-	0.194	0.158	-	10.494	0.494	0.823
	RSD/%	14.3	-	6.9	1.4	-	0.50	6.2	1.5
Ultrasonic time	5 min	0.274	-	0.177	0.181	-	10.858	0.511	0.806
	10 min	0.201	-	0.179	0.186	-	10.851	0.477	0.817
	20 min	0.280	-	0.184	0.194	-	10.759	0.535	0.813
	30 min	0.267	-	0.167	0.186	-	10.735	0.545	0.804
	RSD/%	14.4	-	4.0	2.9	-	0.60	5.8	0.70

2.2.3 土壤粒度

考察不同粒度土壤样品的阴离子溶出情况,将样品制样后全部通过 2、1 和 0.15 mm 的筛网,结果表明,随着粒度的增加, F^- 、 NO_2^- 、 PO_4^{3-} 和 SO_4^{2-}

的浓度降低,测试结果受到明显影响,考虑粒度较大时,样品存在土壤团粒,均匀性受影响,在称样量较少时,导致测定结果的不稳定,制样时需全部通过 0.15 mm 以下,结果见表 3。

表 3 不同粒度土壤阴离子测试结果

Table 3 Test results of anion by different soil size

Granularity	Anions in soil/(mg · kg ⁻¹)							
	F ⁻	BrO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
≤0.15 mm	0.273	-	0.162	0.156	-	11.270	0.630	0.806
≤1 mm	0.261	-	0.174	0.123	-	10.119	0.377	0.810
≤2 mm	0.224	-	0.161	-	-	11.514	-	0.632

2.2.4 萃取次数

分别按照土水比 1:100、1:50、1:50 分次萃取同一份样品,考察每次萃取液中阴离子浓度。结果表明,第二次萃取液中,除 F^- 和 PO_4^{3-} 外,其余检出的阴离子浓度均明显降低,第三次萃取中各阴离子均未检出,考虑由于 F^- 和 PO_4^{3-} 为弱酸根,尤其 PO_4^{3-} 为多元弱酸根,可形成缓冲体系,影响解离效果。一次萃取已能将大部分阴离子溶解,满足测试要求,结果见表 4。

2.3 标准曲线、检出限和定量限

移取 8 种阴离子混合标准溶液适量,配制成

F^- 、 BrO_3^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 浓度均为 0.20、0.50、1.0、2.0、5.0、10.0 mg/L 的标准系列,用离子色谱仪测定。以浓度为横坐标(x),峰面积为纵坐标(y)绘制标准曲线。结果表明,8 种阴离子在 0.20~10.0 mg/L 曲线相关系数大于 0.999,线性关系良好。

在空白吸收液中加入极低含量的 8 种阴离子混标溶液,连续测定 8 次,计算标准偏差,以 $t_{(n-1,0.99)}$ 倍标准偏差,取样量 0.5 g,萃取液体积 50 mL 计算检出限^[16],结果见表 5。结果显示,8 种阴离子的检出限为 0.6~7.0 mg/kg。

表 4 不同萃取次数土壤阴离子测试结果

Table 4 Test results of anion by different time of extraction

Extraction time	Anions in soil extract/(mg · L ⁻¹)							
	F ⁻	BrO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
First time	0.286	-	0.159	0.166	-	11.134	0.629	0.791
Second time	0.191	-	-	-	-	0.494	0.610	0.124
Third time	-	-	-	-	-	-	-	-

表 5 标准曲线和检出限

Table 5 Standard curves and detection limits

Anion	Curve equation	Correlation coefficient	Detection limit/(mg · kg ⁻¹)
F ⁻	$y=0.00909207x-0.0154904$	0.999 6	4.0
BrO ₃ ⁻	$y=0.00154843x-0.00167054$	0.999 9	0.6
Cl ⁻	$y=0.00682705x-0.0145460$	0.999 6	7.0
NO ₂ ⁻	$y=0.00392285x-0.00526475$	0.999 9	0.7
Br ⁻	$y=0.00276459x-0.00193010$	0.999 9	1.7
NO ₃ ⁻	$y=0.00369119x-0.00108609$	0.999 9	4.5
PO ₄ ³⁻	$y=0.00183792x-0.00570463$	0.999 9	2.8
SO ₄ ²⁻	$y=0.00462439x-0.00251170$	0.999 9	2.7

2.4 精密度和加标回收实验

在土壤样品中加入混合标注溶液,进行 3 水平加标实验,每个浓度水平重复测定 6 次,计算相对标准偏差 RSD 和加标回收率,结果见表 6。结果表明,加标回收率为 65.6%~120%,相对标准偏差 RSD 为 0.0%~8.9%,表明该方法具有较高的精密度和准确度,满足测试要求。

2.5 实际样品分析

分别采集珠海地区若干类型的种植土壤,按方

法分析测试,结果见表 7。结果显示,土壤中检出 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 SO_4^{2-} ,浓度为 5.~1 090.6 mg/kg,均未检出 BrO_3^- 。其中蔬菜种植基地土壤中含有较高的 Cl^- 、 NO_3^- 或 SO_4^{2-} ,各阴离子浓度差异较大,可能与长期施用特定类型的化肥有关,农田土壤和塘泥长时间处于水中,水溶性阴离子已充分溶解,各阴离子含量较低;绿化带土壤充分开垦,阴离子浓度接近于该类型土壤本底值。

表 6 加标回收实验结果
Table 6 Results of recovery test

Anion	Background/(mg · kg ⁻¹)	Additon/(mg · kg ⁻¹)	Measured value/(mg · kg ⁻¹)	Recoveries/%	RSD/%
F ⁻	23.2	50	57.1	67.8	2.5
		100	91.2	68.0	3.9
		200	162.0	69.4	2.9
BrO ₃ ⁻	-	50	56.4	113	6.8
		100	102.9	103	0.60
		200	205.3	103	0.80
Cl ⁻	16.5	50	61.2	89.4	1.0
		100	107.6	91.1	0.50
		200	201.7	92.6	0.80
NO ₂ ⁻	16.6	50	63.5	93.8	0.20
		100	110.9	94.3	0.40
		200	209.4	96.4	1.2
Br ⁻	-	50	50.0	100	2.1
		100	100.4	100	1.2
		200	201.6	101	2.4
NO ₃ ⁻	1 092.7	200	1 332.5	120	1.9
		500	1 617.9	105	0.10
		1 000	2 135.2	104	0.0
PO ₄ ³⁻	50.4	50	83.2	65.6	8.9
		100	117.5	67.1	5.2
		200	197.4	73.5	7.6
SO ₄ ²⁻	78.5	50	128.2	99.4	0.70
		100	176.2	97.7	0.70
		200	278.1	99.8	1.1

表 7 土壤样品测试结果
Table 7 Test results of soil samples

Number	Soil sample	Anions/(mg · kg ⁻¹)							
		F ⁻	BrO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
1	Gray soil from vegetable planting base 1	19.7	-	956.5	-	-	95.5	-	1 016.4
2	Gray soil from vegetable planting base 2	19.6	-	16.2	16.8	-	1 090.6	49.2	78.0
3	Gray soil from farmland 1	17.1	-	14.2	-	-	179.4	-	173.5
4	Gray soil from farmland 2	33.3	-	16.9	-	-	11.2	39.0	33.6
5	Red soil from green belt 1	25.5	-	69.2	-	5.0	78.9	-	435.2
6	Red soil from green belt 2	-	-	-	-	-	244.2	-	64.3
7	Pond silt	-	-	15.4	-	-	73.1	-	75.7

3 结论

以去离子水为萃取剂,采用振荡方式提取土壤中的水溶性阴离子,通过优化仪器测试条件,用离子色谱仪同时测定种植土壤水萃取液中的 8 种阴离子,对方法的前处理方式、检出限、准确度和精密度进行了验证。方法准确度高、前处理便捷、稳定性好,可用于种植土壤中的 8 种阴离子的检测,为了解土壤盐渍化程度、优化施肥方式提供帮助和参考。

参考文献

[1] 王昊,张生银,张顺存,等.干旱-半干旱区不同地质背

景区典型灌区土壤盐分特征及成因对比分析[J].地球与环境,2023,51(6):620-632.

WANG Hao,ZHANG Shengyin,ZHANG Shuncun, et al. Soil salinity characterization and causes in irrigation areas with different geological backgrounds in arid and semi-arid regions[J]. Earth and Environment, 2023, 51(6): 620-632.

[2] 王洪波,薄其馨,侯书国,等.生物法修复盐渍化土壤研究进展[J/OL].山东建筑大学学报:1-10[2024-01-18].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1449.TU.20231221.1318.004.html>.

WANG Hongbo, BO Qixin, HOU Shuguo, et al. Research progress on biological remediation of saline

- soil[J/OL]. Journal of Shandong Jianzhu University;1-10 [2024-01-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1449.TU.20231221.1318.004.html>.
- [3] 刘庚炜,高雅琪,邵泽璇,等.土壤盐渍化修复技术研究进展[J].黑龙江农业科学,2024(1):99-107.
LIU Gengwei, GAO Yaqi, SHAO Zexuan, et al. Research progress of soil salinization-alkalization remediation technology [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2024(1):99-107.
- [4] 黄建,赵晓强,孟嗣杰,等.离子色谱法测定土壤有效硫含量[J].中国土壤与肥料,2021(4):347-353.
HUANG Jian, ZHAO Xiaoliang, MENG Sijie, et al. Determination of available sulfur in soil by ion chromatography [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(4):347-353.
- [5] 杨劲松,姚荣江,王相平,等.中国盐渍土研究:历程、现状与展望[J].土壤学报,2022,59(1):10-27.
YANG Jinsong, YAO Rongjiang, WANG Xiangping, et al. Research on salt-affected soils in china: history, status quo and prospect [J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59(1):10-27.
- [6] 赵宣,韩霖昌,王欢元,等.盐渍土改良技术研究进展[J].中国农学通报,2016,32(8):113-116.
ZHAO Xuan, HAN Jichang, WANG Huanyuan, et al. Research progress of saline soil improvement technology [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(8):113-116.
- [7] 陈璐.离子色谱法快速测定土壤中氨氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的方法研究[J].山东化工,2020,49(3):71-73,76.
CHEN Lu. Rapid determination of ammonia nitrogen, nitrite nitrogen and nitrate nitrogen in soil by ion chromatography [J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(3):71-73,76.
- [8] 杨娜,王若男,蒋侃俊,等.自动蒸馏装置-滴定法测定土壤中水解性氮[J].化学分析计量,2021,30(12):58-62.
YANG Na, WANG Ruonan, JIANG Kanjun, et al. Determination of hydrolytic nitrogen in soil by automatic distillation unit-titration [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2021, 30(12):58-62.
- [9] 刘丽丽,马会芳,占国艳,等.重量法测定土壤水溶性盐总量的优化[J].中国无机分析化学,2023,13(6):661-670.
LIU Lili, MA Huifang, ZHAN Guoyan, et al. Optimization of water-soluble salt in soil by gravimetric method [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(6):661-670.
- [10] 苏睿,苑锋,吴俊锋,等.离子选择电极阵列测定土壤中硝态氮[J].中国无机分析化学,2022,12(1):91-96.
SU Rui, YUAN Feng, WU Junfeng, et al. Determination of nitrate nitrogen in soil by ion-selective electrode array [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(1):91-96.
- [11] 段媛媛,贾亮亮.超声提取-离子色谱法测定土壤易溶盐中的氯离子和硫酸根离子[J].化学分析计量,2017,26(1):79-81.
DUAN Yuanyuan, JIA Liangliang. Determination of chloride and sulfate dissolvable salt in soil sample by ultrasound-assisted extraction ion chromatography [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2017, 26(1):79-81.
- [12] 杜维莎,景博文,付菲,等.离子色谱法快速测定秦陵土遗址中无机阴、阳离子含量[J].中国无机分析化学,2023,13(10):1097-1103.
DU Weisha, JING Bowen, FU Fei, et al. Rapid determination of inorganic anions and cations in earthen site of Qinshihuang's Mausoleum by ion chromatography [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2023, 13(10):1097-1103.
- [13] 李媛,陈鸿剑,樊成,等.高效液相色谱-串联质谱法测定土壤中的氯酸盐和高氯酸盐[J].分析科学学报,2023,39(4):439-444.
LI Yuan, CHEN Hongjian, FAN Cheng, et al. Determination of chlorate and perchlorate in soil by LC-MS/MS high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Analytical Science, 2023, 39(4):439-444.
- [14] 高嵩.离子色谱法同时测定饮水中 9 种阴离子[J].化学分析计量,2023,32(10):35-38,61.
GAO Song. Simultaneous determination of nine anions in drinking water by ion chromatography [J]. Chemical Analysis and Meterage. 2023, 32(10):35-38,61.
- [15] 生态环境部.固定污染源废气 溴化氢的测定 离子色谱法:HJ 1040—2019[S].北京:中国环境出版集团,2019.
Ministry of Ecology and Environment. Stationary source emission: determination of hydrogen bromide-Ion chromatography: HJ 1040—2019 [S]. Beijing: China Environmental Publishing Group, 2019.
- [16] 生态环境部.环境监测分析方法标准制订技术导则:HJ 168—2020[S].北京:中国环境出版集团,2020.
Ministry of Ecology and Environment. Technical guideline for the development of environmental monitoring analytical method standards: HJ 168—2020 [S]. Beijing: China Environmental Publishing Group, 2020.