

# 北京市通州区果园土壤盐碱化特征

王晨晨<sup>1</sup>, 孙向阳<sup>1</sup>, 于雷<sup>2</sup>, 李素艳<sup>1</sup>, 岳宗伟<sup>1</sup>, 查贵超<sup>1</sup>, 魏宁娴<sup>1</sup>

(1.北京林业大学 林学院, 北京 100083; 2.北京市通州区园林绿化资源调查和监测中心, 北京 101100)

**摘要:** [目的] 探究京郊土地利用方式改变后土壤含盐量、盐分分布及碱化特征, 为该区及类似地区土壤盐渍化改良利用和果树经济效益的提升提供科学依据。[方法] 以北京市通州区原农田调整为果园(梨、樱桃、葡萄、苹果、桃)土壤为研究对象, 测定土壤 0—20 cm 和 20—40 cm 深处全盐量、主要离子组成、pH 值、电导率、碱化度等指标, 利用描述性统计、相关性分析方法进行数据分析。[结果] ① 研究区土壤阳离子以  $\text{Na}^+$  为主, 阴离子以  $\text{HCO}_3^-$  为主, 全盐含量 0.83~5.39 g/kg, pH 值 7.45~8.23, 碱化度 1.52%~12.77%, 电导率 0.1~2.37 mS/cm。② 水平方向主要为中等强度变异, 垂直方向无显著差异。③ 全盐量与电导率呈极显著的线性正相关关系 ( $R^2=0.864$ )。[结论] 北京市通州区果园土壤盐分离子呈表聚积累, 总体呈碱性, 应及时采取相应措施提升土壤肥力, 形成生态良性循环。

**关键词:** 盐碱化特征; 果园土壤; 土壤盐分; 北京市通州区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)06-0223-07

中图分类号: S156.4

**文献参数:** 王晨晨, 孙向阳, 于雷, 等. 北京市通州区果园土壤盐碱化特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 223-229. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.06.028; Wang Chenchen, Sun Xiangyang, Yu Lei, et al. Characteristics of soil salinization at orchards of Tongzhou District, Beijing City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 223-229.

## Characteristics of Soil Salinization at Orchards of Tongzhou District, Beijing City

Wang Chenchen<sup>1</sup>, Sun Xiangyang<sup>1</sup>, Yu Lei<sup>2</sup>, Li Suyan<sup>1</sup>, Yue Zongwei<sup>1</sup>, Zha Guichao<sup>1</sup>, Wei Ningxian<sup>1</sup>

(1. School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Tongzhou District Landscaping Resources Survey and Monitoring Center, Beijing 101100, China)

**Abstract:** [Objective] The soil salt content, salt distribution and alkalization characteristics after the change of land use patterns in Beijing suburbs were studied in order to provide scientific basis for the improvement and utilization of soil salinization and the improvement of economic benefits of fruit trees in this area and similar areas. [Methods] The study areas were located at Tongzhou District, Beijing City, where the soil type has shifted from farmland to orchards (pear, cherry, grape, apple, peach). The salinity distribution and salinization characteristics (including total salinity, main ion composition, pH value, electrical conductivity, and alkalinity degree) for two soil depths (0—20 cm and 20—40 cm) were measured. Data were analyzed by descriptive statistics and correlation analysis. [Results] ① The soil cations in the study area were dominated by  $\text{Na}^+$ , and the anions were dominated by  $\text{HCO}_3^-$ . The total soil salt content, pH value, alkalinity, and electrical conductivity ranges were 0.83—5.39 g/kg, 7.45—8.23, 1.52%—12.77%, and 0.1—2.37 mS/cm, respectively. ② Variation in the horizontal direction was mainly of moderate intensity, while there was no significant variation in the vertical direction. ③ The total salt content and electrical conductivity exhibited a significant positive linear correlation, and the relationship was expressed as linear function ( $R^2=0.864$ ). [Conclusion] Soil salt ions in the orchards of Tongzhou District, Beijing City showed surface accumulation and were generally alkaline. Corresponding measures should be taken in time to improve soil fertility and form a virtuous ecological cycle.

**Keywords:** salinity characteristics; orchard soil; soil salinity; Tongzhou District of Beijing City

收稿日期: 2022-04-23

修回日期: 2022-05-30

资助项目: 科技部科技基础资源调查专项“高精度数字森林土壤数据库构建”(2021FY100802)

第一作者: 王晨晨(1997—), 女(蒙古族), 辽宁省阜新市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤生态。Email: 1763955906@qq.com。

通讯作者: 孙向阳(1965—), 男(汉族), 北京市人, 博士, 教授, 主要从事森林土壤生态方面的研究。Email: sunxy@bjfu.edu.cn。

土壤盐渍化造成世界性的土壤退化,是农林业生产的主要问题之一<sup>[1-2]</sup>。盐渍土作为我国主要的中低产土壤类型之一,总面积达到  $3.60 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,占全国可利用土地面积的 4.88%<sup>[3-4]</sup>,主要集中在滨海地区<sup>[5]</sup>、西北干旱地区<sup>[6]</sup>、河套地区等<sup>[7]</sup>。引起土壤盐分含量及分布规律差异的因素,一方面是地形、气候、母岩及水文地质特征的差异<sup>[8]</sup>,另一方面人类活动的干扰对土壤盐分的空间分布也起一定影响<sup>[9]</sup>。其中,土地利用方式的改变会导致耕种、施肥、灌溉等措施不同,改变土壤水盐运移规律<sup>[10]</sup>。

北京市通州区属华北平原北隅的一部分,属海河流域,分北运河和潮白河两个水系,有大小河流 13 条,自古有“九河之梢”之称。该区域地貌形态特征独特,在河流的交互沉积以及剥蚀沉积的影响下形成了微度起伏的地形,致使降水在地面上重新分配,并聚集于局部洼地,自然形成水盐汇集区。土壤盐碱化已成为该区域的主要限制因子之一,盐碱性限制土壤总面积达到  $3\,517.96 \text{ hm}^2$ ,占耕地总面积的 8.82%<sup>[11]</sup>。自改革开放后,京郊土地利用方式发生巨大变化,种植作物的类型从原来的粮食作物发展为以果树、蔬菜等经济作物为主。不同种植结构的养分需求不同<sup>[12]</sup>,肥料投入从品种到用量都在增加。此外,灌溉方式也从沟灌改为穴灌、喷灌,这些措施对土壤物质组成产生巨大影响<sup>[13-14]</sup>。

土壤盐分分布规律的研究多针对干旱地区或滨海地区,而对于内陆河流域土壤和以经济林木为植被的土壤盐碱化特征研究较少。通州区经济林木以果树为主,果园沿潮白河、北运河周边分布,该区土壤盐分一方面受河流影响<sup>[15]</sup>,另一方面受土壤养分、作物品种及需肥规律变化的影响,易发生次生盐渍化。为了防治土壤盐渍化,提高土地生产力和果园产量,本文基于通州区的水文条件,开展对该区土地盐分状况的调查,对掌握土壤资源状况的意义重大。因此,本文以北京市通州区果园土壤为研究对象,通过采样调查与分析,研究北京市通州区果园土壤的全盐量、离子分布特征及相关关系与碱化特征,并综合分析了土壤盐碱化的成因,旨在了解北京市通州区果园土壤的盐碱化特征、离子空间分布、运移规律,其结果可为类似地区土壤盐渍化的改良利用及果树经济效益的提升方面提供依据。

## 1 调查地区概况

### 1.1 调查地区自然概况

北京市通州区地处京杭大运河北端,自西北向东南倾斜,地势低洼,水资源丰富,植被类型以落叶阔叶

林为主。选择北京市通州区为研究区 ( $39^{\circ}36' - 40^{\circ}02' \text{ N}$ ,  $116^{\circ}32' - 116^{\circ}56' \text{ E}$ ),该区属温带大陆性季风气候区,年平均气温为  $13.8^{\circ} \text{ C}$ ,年平均太阳辐射为  $554.27 \text{ kJ/cm}$ ,年平均降水量为  $620.9 \text{ mm}$ ,65% 的降水集中在 7—8 月,历年平均蒸发量为  $1\,895 \text{ mm}$ 。共有 4 个土类,分别是潮土、褐土、风砂土和沼泽土。研究区域有机质含量  $20.63 \text{ g/kg}$ ,碱解氮含量  $71.50 \text{ mg/kg}$ ,有效磷含量  $82.40 \text{ mg/kg}$ ,速效钾含量  $252.43 \text{ mg/kg}$ 。主要经济树种有樱桃 (*Prunus pseudocerasus*)、苹果 (*Malus pumila*)、梨 (*Pyrus sp.*)、葡萄 (*Vitis vinifera*)、桃 (*Prunus persica*) 等,林下草本主要有蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*)、苔草 (*Carex sp.*)、诸葛菜 (*Orychophragmus violaceus*)、狗尾草 (*Setaria viridis*) 等。

### 1.2 样地调查

2021 年 4 月上旬,在北京市通州区选取立地条件相似的果园 18 个,其中梨园 4 个,樱桃园 5 个,葡萄园、苹果园和桃园各 3 个。

## 2 数据与方法

### 2.1 样品采集与处理

在每个样地随机选取 3 个样点,用土钻分别取 0—20 cm 和 20—40 cm 土层土壤样品,获取土壤样品 108 个。将采集所得土壤样品放入袋中,标注采样时间和深度,并用数码相机记录周围环境信息。土壤风干后,去除植物残根、大块颗粒物等,过 1 mm 土壤筛。

### 2.2 分析项目与方法

按水土质量比 5 : 1 混合,震荡 3 min 过滤,过滤后的清液用于测定土壤可溶性盐离子含量:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  用 EDTA 络合滴定法测定;  $\text{K}^{+}$  和  $\text{Na}^{+}$  采用火焰光度法测定;  $\text{Cl}^{-}$  用硝酸银(莫尔法)滴定法测定;  $\text{HCO}_3^{-}$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  用双指示剂中和滴定法测定;土壤全盐量粗略计为阳离子和阴离子的质量分数之和;土壤 pH 值、电导率的测定采用水土质量比 5 : 1 的土壤悬浊液,pH 采用通用型 pH 计(OHAUS Starter 3C, USA)测定;电导率采用 MP521 型电导率仪测定。

残余碱度(RA, cmol/L)计算公式为

$$\text{RA} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^{-}) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (1)$$

钠吸附比(SAR)是评价土壤盐碱化程度的重要指标,计算公式为

$$\text{SAR} = \text{Na}^{+} / \left[ \frac{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

碱化度(ESP, %)采用经验公式<sup>[16]</sup>进行计算,计算公式为

$$ESP = -55.5 + 7.25pH + 0.866SAR + 7.7RA \quad (3)$$

### 2.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2018 软件进行作图和制表分析。用 Pearson 相关系数表征全盐量、离子间的相关性。采用 IBM SPSS 18.0 进行相关数据的分析和处理,并建立回归方程,通过比较方程的精度判别方程适用性。

## 3 结果与分析

### 3.1 土壤盐碱化量化特征

由表 1—2 可知,研究区果园土壤的盐分离子组成和含量差异较大。从盐分离子组成来看,研究区果园土壤中阴离子以  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Cl}^-$  为主,  $\text{CO}_3^{2-}$  极少,可忽略不计。 $\text{HCO}_3^-$  含量 0.08 ~ 1.04 g/kg,  $\text{Cl}^-$  含量 0.06 ~ 0.48 g/kg,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量 0.02 ~ 1.07 g/kg, 土壤中  $\text{HCO}_3^-$  含量较高。

表 1 研究区不同土层盐碱化指标分析

树种	样地号	土层/ cm	pH 值	电导率 EC/ ( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	碱化度 ESP/%	全盐	
梨	GY <sub>1</sub>	0—20	7.95	0.18	0.44	0.15	0.31	0.18	0.03	0.05	0.16	6.33	1.32	
		20—40	7.99	0.14	0.43	0.11	0.32	0.13	0.03	0.06	0.04	6.35	1.13	
	GY <sub>2</sub>	0—20	7.85	0.23	0.39	0.48	0.21	0.08	0.03	0.06	0.13	4.68	1.38	
		20—40	7.88	0.23	0.36	0.48	0.24	0.21	0.03	0.05	0.15	4.96	1.49	
	GY <sub>3</sub>	0—20	7.88	0.12	0.37	0.18	0.04	0.29	0.03	0.05	0.03	4.08	0.99	
		20—40	7.92	0.11	0.34	0.18	0.09	0.24	0.04	0.04	0.03	4.31	0.96	
	GY <sub>4</sub>	0—20	7.78	0.19	0.39	0.11	0.29	0.16	0.04	0.04	0.37	4.55	1.40	
		20—40	7.66	0.29	0.36	0.08	0.42	0.02	0.05	0.07	0.07	3.43	1.06	
櫻桃	GY <sub>5</sub>	0—20	7.90	0.20	0.33	0.20	0.07	0.23	0.03	0.04	0.29	4.13	1.19	
		20—40	7.80	0.15	0.36	0.20	0.11	0.09	0.03	0.04	0.25	3.87	1.07	
	GY <sub>6</sub>	0—20	7.84	0.16	0.30	0.34	0.16	0.28	0.03	0.05	0.14	3.73	1.30	
		20—40	7.79	0.20	0.36	0.28	0.21	0.25	0.03	0.05	0.12	4.03	1.30	
	GY <sub>7</sub>	0—20	8.23	2.37	1.04	0.29	1.87	1.07	0.15	0.25	0.73	12.77	5.39	
		20—40	7.80	0.70	0.43	0.22	0.34	0.17	0.06	0.09	0.03	4.20	1.35	
	GY <sub>8</sub>	0—20	7.96	0.30	0.51	0.07	0.37	0.62	0.04	0.05	0.40	7.03	2.06	
		20—40	8.01	0.22	0.34	0.06	0.17	0.20	0.03	0.05	0.24	5.34	1.09	
	GY <sub>9</sub>	0—20	7.55	0.50	0.35	0.23	0.09	0.22	0.05	0.05	0.05	1.52	1.04	
		20—40	7.45	1.11	0.41	0.35	1.45	0.67	0.09	0.14	0.22	3.69	3.32	
	葡萄	GY <sub>10</sub>	0—20	7.49	1.16	0.50	0.31	1.05	0.44	0.09	0.15	0.07	3.59	2.59
			20—40	7.63	0.85	0.38	0.29	0.75	0.62	0.08	0.11	0.03	3.38	2.28
GY <sub>11</sub>		0—20	7.99	0.16	0.34	0.31	0.45	0.44	0.03	0.02	0.14	7.11	1.72	
		20—40	7.97	0.16	0.36	0.33	0.43	0.35	0.03	0.03	0.08	6.95	1.60	
GY <sub>12</sub>		0—20	7.85	0.13	0.08	0.39	0.33	0.29	0.04	0.01	0.22	3.51	1.36	
		20—40	7.87	0.14	0.29	0.36	0.24	0.26	0.04	0.01	0.24	4.72	1.44	
苹果	GY <sub>13</sub>	0—20	7.94	0.27	0.19	0.42	0.50	0.19	0.04	0.05	0.13	5.02	1.51	
		20—40	7.95	0.21	0.28	0.36	0.29	0.25	0.03	0.05	0.05	5.00	1.31	
	GY <sub>14</sub>	0—20	7.84	0.26	0.33	0.10	0.20	0.27	0.03	0.07	0.36	3.95	1.36	
		20—40	7.95	0.17	0.35	0.12	0.16	0.17	0.03	0.05	0.13	4.93	1.01	
	GY <sub>15</sub>	0—20	7.99	0.10	0.24	0.19	0.20	0.09	0.02	0.03	0.07	4.97	0.83	
桃	GY <sub>16</sub>	0—20	7.89	0.13	0.32	0.22	0.12	0.10	0.02	0.04	0.06	4.28	0.89	
		20—40	7.88	0.14	0.28	0.25	0.25	0.12	0.03	0.04	0.04	4.45	1.02	
	GY <sub>17</sub>	0—20	7.95	0.11	0.33	0.30	0.08	0.21	0.03	0.05	0.36	4.40	1.36	
		20—40	7.91	0.13	0.24	0.24	0.04	0.20	0.03	0.05	0.22	3.25	1.01	
	GY <sub>18</sub>	0—20	7.77	0.12	0.32	0.27	0.04	0.25	0.05	0.05	0.32	2.73	1.28	
		20—40	7.92	0.19	0.34	0.30	0.05	0.22	0.08	0.07	0.39	3.57	1.45	

表 2 典型剖面土壤盐碱化统计特征参数

深度/cm	统计值	pH 值	电导率 EC/ (mS·cm <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	碱化度 ESP/%	全盐量
0—20	最大值	8.23	2.37	1.03	0.48	1.87	1.06	0.14	0.25	0.72	12.77	5.38
	最小值	7.49	0.10	0.08	0.07	0.03	0.07	0.02	0.01	0.03	1.52	0.83
	平均值	7.87	0.37	0.37	0.25	0.35	0.29	0.04	0.06	0.22	4.91	1.61
	方差	0.16	0.54	0.18	0.1	0.43	0.22	0.02	0.05	0.17	2.33	1
	变异系数	2.00	145	49.8	42.9	122	76.1	67.7	87.1	77.8	47	62.1
20—40	最大值	8.01	1.11	0.43	0.48	1.45	0.67	0.09	0.14	0.39	6.95	3.32
	最小值	7.45	0.10	0.24	0.06	0.04	0.02	0.03	0.01	0.03	3.25	0.84
	平均值	7.85	0.29	0.34	0.24	0.32	0.24	0.04	0.06	0.13	4.50	1.37
	方差	0.14	0.28	0.05	0.11	0.32	0.16	0.02	0.03	0.1	0.97	0.57
	变异系数	2.00	96	15.2	44.9	100	67.1	50.4	52.4	77.2	22	41.5

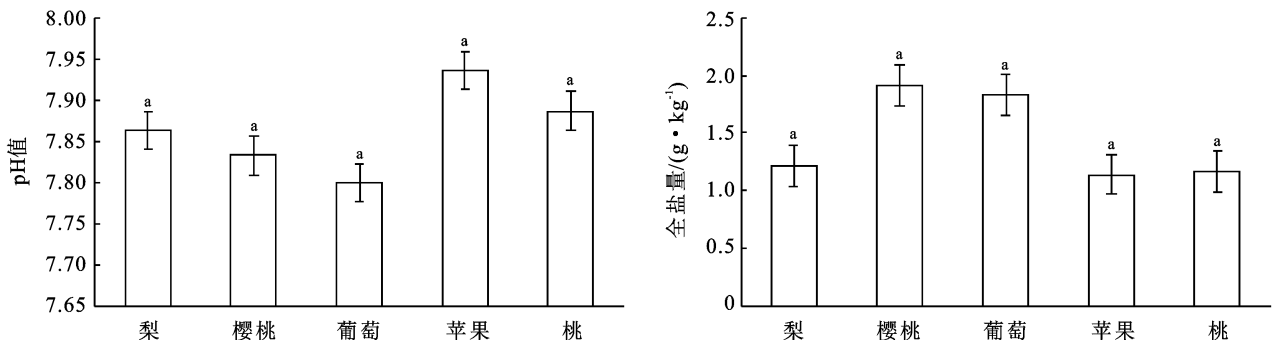
本研究测定阳离子主要有 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup>。Na<sup>+</sup> 含量 0.04~1.87 g/kg, K<sup>+</sup> 含量 0.03~0.73 g/kg, Ca<sup>2+</sup> 含量 0.01~0.25 g/kg, Mg<sup>2+</sup> 含量 0.02~0.15 g/kg。Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 含量较高, Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 含量较低。Na<sup>+</sup> 含量最高时占水溶性阳离子总量的 44%。pH 值、电导率、碱化度受土壤溶液中离子的含量和组成影响,是目前国内外比较公认的判断土壤盐渍化风险及盐碱化趋势的重要指标,它们能很好地反映土壤盐化和碱化情况。吴刚等<sup>[17]</sup>将土壤中水溶性钙含量小于 0.09 g/kg 的土壤列为低钙土壤,研究区除 GY<sub>7</sub> 外,均属低钙土壤。研究区土壤 pH 值在 7.45~8.23 之间,电导率在 0.1~2.37 mS/cm 之间,碱化度在 1.52%~12.77% 之间。由于其他碱化指标受离子含量和组成变化影响强烈,以 pH 值作为研究区碱化评价指标。根据土壤酸碱性<sup>[18]</sup>分类,7.5<pH≤8.5 为碱性土可知,研究区土壤总体呈碱性。根据盐分数据,对其土壤盐渍化类型和程度进行评价,依据土壤盐渍化分类和分级标准,研究区主要为硫酸盐—氯化物型<sup>[3,19]</sup>,将土壤分为非盐渍土(含盐量小于 2 g/kg),轻度盐渍土(含盐量 2~3 g/kg)、中度盐渍土(含盐量 3~6 g/kg),研究区土壤全盐含量 0.83~

5.39 g/kg, GY<sub>8</sub> 和 GY<sub>10</sub> 为轻度盐渍化, GY<sub>7</sub> 和 GY<sub>9</sub> 为中度盐渍化,其余土壤均为非盐渍化。GY<sub>7</sub> 的 0—20 cm 层土壤盐碱化指标最高,全盐含量达到 5.39 g/kg,这与采样时树木间距较大、地表覆草稀疏,同时地表有少量结盐现象一致。

### 3.2 土壤盐碱化空间特征

从土壤剖面垂直方向来看(图 1), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 Ca<sup>2+</sup> 在表层积累, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 无明显的差异, Mg<sup>2+</sup> 含量较低,无明显差异。电导率有随土层加深而降低的趋势,碱化度和 pH 值没有显著变化,说明促使土壤呈碱性的主要离子层间变化不明显。盐分随降雨、灌溉水和地下水的运动上下移动,研究区土壤的易溶性盐分在上行过程中,硫酸盐的表聚性强于氯化物,在土壤盐分淋溶的过程中,硫酸盐的淋溶速度小于氯化物。由此可以推断研究区内的盐分离子运动趋势以上行为主。

从种植种类来看,比较 5 种果园土壤的全盐量和 pH 值发现,不同树种之间土壤全盐量和 pH 值无显著差异( $p < 0.05$ )。这表明本研究中果园的不同树种对土壤中盐分离子的吸收无显著区别,最后的富集效果未产生显著差异。



注:小写字母表示不同树种之间差异显著( $p < 0.05$ )。

图 1 不同树种土壤全盐量和 pH 值比较

水平方向的变化特点用变异系数表征。变异系数是反映变异离散程度的重要指标,在一定程度上揭示变量的空间分布特性<sup>[20]</sup>。整体来看,研究区土壤剖面盐分离子的变异系数为15.2%~122%, $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ 和全盐量在0—20 cm层剖面土壤中的变异系数分别为49.8%,43.0%,122%,76.2%,67.8%,87.1%,77.9%和62.1%,在20—40 cm层剖面土壤中的变异系数分别为15.2%,44.9%,100%,67.2%,50.4%,52.4%,77.2%,41.5%。pH值、电导率、碱化度在0—20 cm层剖面土壤中的变异系数分别为2%,145%和47%,在20—40 cm层剖面土壤中的变异系数分别为2%,96%,22%。根据变异系数的划分标准<sup>[21]</sup>: $C_v < 10\%$ ,弱变异性; $C_v = 10\% \sim 100\%$ ,中等变异性; $C_v > 100\%$ ,强变异性。 $\text{Na}^+$ 在0—20 cm,20—40 cm层剖面土壤中均具有强变异性,其他离子在0—20 cm,20—40 cm层剖面土壤中均呈中等强度的空间变异性。 $\text{Cl}^-$ 在两层土壤间变异系数相近,其他离子20—40 cm层土壤变异系数均低于0—20 cm层土壤。pH值在0—20 cm和20—40 cm层间变异系数相同,属于弱变异。电导率在0—20 cm具有强变异性,在20—40 cm具有中等变异性。碱化度在0—40 cm均呈现中等变异性。碱化度和电导率在0—20 cm的变异系数呈现大于20—40 cm的趋势。

### 3.3 土壤盐碱化指标的相关性

土壤电导率因土壤盐分离子的种类、浓度、组成

不同而变化,土壤全盐含量测定的难度和误差较大,通常用土壤电导率来表示土壤的盐渍化程度,但是不同地区、不同类型土壤的电导率和全盐含量关系式不同<sup>[22-23]</sup>。对研究区土壤的全盐量( $y$ )与电导率( $x$ )进行拟合发现,全盐量与电导率间呈极显著线性相关,关系式为: $y = 1.773 4x + 0.904 (R^2 = 0.864)$ ,电导率可代替土壤含盐量用来评价土壤盐化情况。了解土壤盐离子间的相关性,是进一步认识土壤盐分组成规律的基础,可以更有效地指导土壤盐渍化的预防和改良<sup>[24]</sup>。5种果园土壤的全盐量与 $\text{Cl}^-$ 无显著相关性,说明在这种土壤条件下 $\text{Cl}^-$ 不是影响土壤盐分变化的主要因素,与其他离子均呈显著或极显著相关,阳离子中 $\text{Na}^+$ 与全盐量相关性最高,说明 $\text{Na}^+$ 是促进土壤盐分变化的主导因素,其次是 $\text{Ca}^{2+}$ ;阴离子中 $\text{SO}_4^{2-}$ 与全盐量相关性最高,其次是 $\text{HCO}_3^-$ ,研究区内土壤盐分主要以苏打—硫酸盐为主。在各土层中 $\text{SO}_4^{2-}$ 均与全盐量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),0—20 cm土层中, $\text{SO}_4^{2-}$ 与全盐量的相关系数为0.917,在20—40 cm土层中, $\text{SO}_4^{2-}$ 与全盐量的相关系数为0.901,相关系数随土层深度的增加而减少,说明硫酸盐在土壤表层积聚强烈,在灌溉和降雨时盐分随水分运动,受到水势梯度的影响在剖面垂直方向呈上行运动。在各层土壤中, $\text{Cl}^-$ 与其他离子的相关性较小。 $\text{SO}_4^{2-}$ 与 $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 呈极显著相关,其中与 $\text{Na}^+$ 相关性较大,相关系数为0.812(表3)。

表3 土壤盐离子间的相关性

项目	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{K}^+$	全盐
$\text{HCO}_3^-$	1							
$\text{Cl}^-$	-0.122	1						
$\text{Na}^+$	0.688**	0.212	1					
$\text{SO}_4^{2-}$	0.686**	0.160	0.812**	1				
$\text{Mg}^{2+}$	0.710**	0.154	0.807**	0.754**	1			
$\text{Ca}^{2+}$	0.825**	0.063	0.868**	0.734**	0.899**	1		
$\text{K}^+$	0.531**	-0.043	0.337*	0.517**	0.445**	0.419*	1	
全盐 Total salt	0.799**	0.249	0.936**	0.910**	0.855**	0.884**	0.582**	1

注:\*表示显著相关( $p < 0.05$ );\*\*表示极显著相关( $p < 0.01$ )。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

通过对通州区果园土壤盐碱化特征分析发现,果园土壤0—20 cm深度范围内的全盐量略高于20—40 cm深度范围内的全盐量,与杨楚焯等研究结果相同<sup>[25]</sup>。出现这种情况的主要原因有两种:一是水文和气候条件,通州区属温带大陆性季风气候,处于永定

河、潮白河冲积洪积平原,且永定河流量变化很大,又时常干旱,研究区内土壤主要为壤质土,表层有机质含量丰富,易形成团粒结构,活动强度低的养分离于不易向下淋失,在蒸发作用和冻融交替的影响下,盐分随水分借助毛管孔隙的作用力上升并聚集在土壤表层<sup>[26-27]</sup>;二是果园不合理的经营管理措施,如过量施用硫酸盐肥料造成硫酸根的增加,硫酸根在土壤中迁移转化率较低导致其在表层积累<sup>[28]</sup>,不合理灌溉也

可能增加土壤次生盐渍化的风险<sup>[29]</sup>。研究区  $\text{Ca}^{2+}$  含量较低,可能由于农作物种植转变为果树种植,土壤中根系呼吸强度、土壤表层水热条件等的变化导致土壤中  $\text{Ca}^{2+}$  的迁移溶解动因发生显著变化,李鹏等<sup>[30]</sup> 研究表明,长期种植果树将导致土壤水溶性钙退化。对不同树种果园的土壤全盐量和 pH 值进行显著性分析,均没有显著差异。这与赵新风等<sup>[31]</sup> 的研究结果不同,一方面是果树品种的区别未对土壤盐分含量和酸碱性造成影响;另一方面不同果园间的经营管理措施基本相同,人为活动未使土壤盐碱化性质产生显著差异。

土地利用方式影响土壤盐碱化特征。土壤平均含盐量为 1.49 g/kg,与景宇鹏等<sup>[32]</sup> 的研究结果近似。在相关性分析中, $\text{Na}^+$  与  $\text{K}^+$  相关性相对较低,而其他盐分离子均呈极显著正相关,可能因为果树对土壤溶液中  $\text{Na}^+$  和  $\text{K}^+$  的吸收存在一定的拮抗作用,这与郭全恩等<sup>[33]</sup> 对果园土壤盐分离子相关性的研究有相似之处。阴离子中, $\text{SO}_4^{2-}$  与全盐量相关性最高,但其在土壤中的含量没有显著高于  $\text{HCO}_3^-$ ,刘洪波等<sup>[34]</sup> 通过对耕地土壤的研究,发现了耕地土壤  $\text{SO}_4^{2-}$  含量显著高于  $\text{HCO}_3^-$ ,与本文结果不一致。本文研究林下土壤,而后者以棉田土壤为主。造成差异的原因,一方面是研究区的气候、微地貌和地下水矿化度不同引起的,另一方面是棉田较果园施肥频繁,果园以有机无机肥料配合施用为主,翻耕次数较少,土体紧实,无机肥料对表层土壤影响较棉田土壤小。此外,林地的郁闭度和凋落物等显著高于以农作物为主的土壤,减少了地表蒸发作用,抑制盐分在表层积累<sup>[35]</sup>。研究区内  $\text{Na}^+$  在不同层次剖面中均具有强变异性,原因是其分布完全受随机因素决定;其他盐分含量和碱化指标具有较强的空间变异性,0—20 cm 变异系数较 20—40 cm 大,原因是表层土壤灌溉、翻耕以及肥料的施用等措施对盐分离子含量影响较大;随着土层深度的增加,这些因素对土壤盐分含量的影响逐渐降低,因此在垂直方向上的变异强度逐渐减弱。

陈兵林等<sup>[36]</sup> 研究指出,土壤可溶性阳离子以  $\text{Na}^+$  为主,钠盐具有主导作用。本研究亦得出相似结论,不同之处在于本研究土壤可溶性阴离子中  $\text{SO}_4^{2-}$  与  $\text{HCO}_3^-$  占绝对优势, $\text{Cl}^-$  含量相对较低,这可能是滨海盐碱土与本研究中的陆域平原盐碱土不同类型造成的。首先,海水较河水含有更多的  $\text{Cl}^-$ ,其在水中的溶解度较大,水分的运动带动盐分离子向土体迁移。其次,滨海盐碱土更易受自然因素影响, $\text{Cl}^-$  与土壤亲和性较弱<sup>[37]</sup>,很少参与土壤溶液中的吸附和解离,又难以形成性质稳定的化合物<sup>[38]</sup>。海水的浸润侧

渗使地下水盐分与土壤盐分间频繁交换,其含量随之升高或降低。而在本研究中,采样点虽处于河流附近,但河水较海水流动速度低、波及范围小、冲击程度轻,因此,对土壤的扰动更小,河水中的  $\text{Cl}^-$  相较于海水不易随水而来,也不易沉积。

根据上述研究结果,北京市通州区果园土壤盐化的同时伴随着碱化现象。由于地表已有果树覆盖,可将果树的枯枝败叶收集进行园林废弃物堆肥再返还给土壤,有效增加有机质含量,减少因施用硫酸肥料而产生的盐分表层聚集现象。另外,可进行土壤施钙、幼果喷钙等措施防治由于缺钙引起的果树生理失调症;其次,可在树木间栽种耐盐草种(如紫花苜蓿、碱茅等),翻压入土可提升土壤肥力,增加经济效益,形成生态良性循环。

## 4.2 结论

北京市通州区果园土壤以碱性为主,土壤阳离子在 0—40 cm 的深度范围内均以  $\text{Na}^+$  为主,阴离子均以  $\text{HCO}_3^-$  为主, $\text{Ca}^{2+}$  含量偏低。土壤盐化与碱化相互影响,pH 值、碱化度、电导率最高依次为 8.22, 12.77, 2.37,基本可以满足果树的生长条件。盐分空间变异性在 0—20 cm 强于 20—40 cm,有表聚现象,但差异不显著。5 种果园间盐分含量差异不显著。相关性分析表明,与全盐量相关性最强的阴离子是  $\text{SO}_4^{2-}$ ,相关系数为 0.910, $\text{Cl}^-$  无显著相关性;相关性最强的阳离子是  $\text{Na}^+$ ,相关系数为 0.936,可以用于指导果园施肥。全盐量与电导率呈极显著正相关关系( $R^2=0.864$ )。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 张巍,冯玉杰.松嫩平原盐碱土理化性质与生态恢复[J].土壤学报,2009,46(1):169-172.
- [2] Amundson R, Berhe A A, Hopmans J W, et al. Soil and human security in the 21st century [J]. Science, 2015, 348(6235):1261071.
- [3] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [4] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [5] 王合云,李红丽,董智,等.滨海盐碱地不同造林树种林地土壤盐碱化特征[J].土壤学报,2015,52(3):706-712.
- [6] 杨国荣,孟庆秋,王海岩.松嫩平原苏打盐渍土数值分类的初步研究[J].土壤学报,1986,23(4):291-298.
- [7] 景宇鹏,段玉,妥德宝,等.河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J].土壤学报,2016,53(6):1410-1420.
- [8] 王玉刚,李彦,肖笃宁.土地利用对天山北麓土壤盐渍化的影响[J].水土保持学报,2009,23(5):179-183.
- [9] 李宝富,熊黑钢,张建兵.不同耕种时间下土壤剖面盐分

- 动态变化规律及其影响因素研究[J].土壤学报,2010,47(3):429-438.
- [10] 李立平,邢维芹,成永霞,等.华北平原中部典型农区不同土地利用方式下的土壤性质比较[J].土壤通报,2020,51(6):1275-1281.
- [11] 金丽华,郑雅莲,张世文.通州土壤资源及其高效利用[M].北京:中国农业科学技术出版社,2014.
- [12] 张森,赵书岗,耿丽平,等.缺磷对不同作物根系形态及体内养分浓度的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(3):577-585.
- [13] 张春霞,郝明德,谢佰承.不同化肥用量对土壤碳库的影响[J].土壤通报,2006,37(5):861-864.
- [14] 孙瑶,马金昭,张培莘,等.土壤调理剂与灌溉互作对酸化苹果园产量、品质和土壤化学性质的影响[J].果树学报,2021,38(10):1681-1690.
- [15] 刘迁迁,苏里坦,刘广明,等.伊犁察南灌区土壤盐分时空变异特征与运移机理研究[J].农业机械学报,2017,48(12):221-228.
- [16] 万洪富,杨劲松,俞仁培.黄淮海平原土壤碱化度计算方法的探讨[D].1991.
- [17] 吴刚,李金英,曾晓舵.土壤钙的生物有效性及与其它元素的相互作用[J].土壤与环境,2002,11(3):319-322.
- [18] 黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000:171-179.
- [19] 高宗军,任晓辉,吴玺,等.张掖盆地北部地下水溢出带土壤盐分特征分析[J].土壤通报,2020,51(4):853-859.
- [20] 李传华,赵军,师银芳,等.基于变异系数的植被 NPP 人为影响定量研究:以石羊河流域为例[J].生态学报,2016,36(13):4034-4044.
- [21] 王玉刚,肖笃宁,李彦.流域尺度绿洲土壤盐分的空间异质性[J].生态学报,2007,27(12):5262-5270.
- [22] 蔡阿兴,陈章英,蒋正琦,等.我国不同盐渍地区盐分含量与电导率的关系[J].土壤,1997(1):54-57.
- [23] 周文志,孙向阳,李素艳,等.生物炭和园林废弃物堆肥对滨海盐碱土淋溶的影响[J].中国水土保持科学,2019,17(3):23-30.
- [24] 李彬,王志春,梁正伟,等.苏打碱化土壤盐分离子与相关性分析[J].土壤通报,2007,38(4):653-656.
- [25] 杨楚焯,王立,苏芳莉,等.辽河口湿地翅碱蓬群落及其交错区土壤盐分特征[J].中国水土保持科学,2019,17(1):117-123.
- [26] 何兴潼,袁淑杰,谷晓平,等.贵州省喀斯特区域土壤水分持续上升时期气象要素对土壤水分的影响[J].水土保持通报,2018,38(2):87-94.
- [27] 秦焱鹤,姚鹏伟,韩秋静,等.不同施肥措施对烟株生长发育及土壤盐分的影响[J].中国烟草学报,2019,25(1):67-76.
- [28] 薛彦东,杨培岭,任树梅,等.再生水灌溉对土壤主要盐分离子的分布特征及盐碱化的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):234-240.
- [29] 李鹏.渭北苹果园土壤钙素演化趋势及其对苹果品质的影响研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [30] 张金锦,段增强.设施菜地土壤次生盐渍化的成因、危害及其分类与分级标准的研究进展[J].土壤,2011,43(3):361-366.
- [31] 赵新风,徐海量,阎江平,等.塔里木河下游灌区灌溉方式转变对农田及其防护林土壤水盐动态的影响[J].土壤学报,2011,48(6):1116-1124.
- [32] 景宇鹏,李跃进,高娃,等.不同利用方式河套平原盐碱土盐分特征[J].水土保持研究,2020,27(1):372-379.
- [33] 郭全恩,王益权,郭天文,等.半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究[J].土壤,2009,41(4):664-669.
- [34] 刘洪波,丁邦新,白云岗,等.典型干旱区绿洲春季土壤盐分空间分布特征分析[J].土壤通报,2021,52(2):279-285.
- [35] 徐义刚,周光益,骆士寿,等.广州市森林土壤水化学和元素收支平衡研究[J].生态学报,2001,21(10):1670-1681.
- [36] 陈兵林,李建亮,张贺,等.滨海棉田土壤盐分时空分布特征及对棉花产量品质的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):182-187.
- [37] 温以华.不同质地和容重对  $\text{Cl}^-$  在土壤中运移规律的影响[J].水土保持研究,2002,9(1):73-75.
- [38] 周丽,王玉刚,李彦,等.盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J].干旱区地理,2013,36(2):285-291.