

半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子相关性研究^①

郭全恩^{1,2}, 王益权^{1*}, 郭天文³, 刘军¹, 南丽丽⁴

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070;

3 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 兰州 730070; 4 甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

摘要: 以甘肃省秦安县兴国镇郑川村果园土壤为研究对象, 利用统计分析的方法对 500 个土样盐分离子含量的相关性进行了研究。结果表明: 该研究区土壤阴离子主要是 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} , 阳离子主要是 Na^+ 。 CO_3^{2-} 与 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 之间存在着显著的负相关, 与 Na^+ 之间存在着极显著的正相关; HCO_3^- 与 Cl^- 之间存在着极显著的负相关, 与 Mg^{2+} 之间存在着极显著的正相关; Cl^- 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间存在着显著的正相关, 其中与 Ca^{2+} 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关; Ca^{2+} 与 K^+ 之间存在着极显著的正相关, 与 Na^+ 之间存在着显著的负相关; Mg^{2+} 与 K^+ 之间存在着显著的负相关; K^+ 与 Na^+ 之间存在着极显著的负相关。通过对盐分离子的聚类分析发现, Cl^- 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 和 HCO_3^- 在该区土壤中有相似或相近的运移特征。对相关分析和偏相关分析这两种分析方法所得结果进行了对比分析, 它们之间存在着明显的差异, 偏相关分析能进一步消除由于其他变量的影响, 因而能够更加准确地刻化多元变量其中的两个变量之间的相关性。

关键词: 盐分离子; 相关性; 半干旱盐渍化地区

中图分类号: S156.4+1; S161

干旱、半干旱地区土壤盐渍化是一个世界性问题。全世界约有 10 亿 hm^2 的盐渍土, 约占世界陆地面积的 7.6%。我国盐渍土面积为 3665.8 万 hm^2 ^[1], 相当于我国耕地面积的 30.2%。甘肃省目前受盐渍化影响的土壤面积接近 0.03 亿 hm^2 , 约占全国盐渍土面积的 8.2%, 约占全省总耕地面积的 87.2%, 主要分布在河西走廊地区北部和景泰盆地一带。但近年来甘肃省中东部半干旱地区由于受多年干旱的影响, 用高矿化度的地下水灌溉, 引起土壤次生盐渍化, 对地上部分果树生长已产生了严重的影响, 且土壤次生盐渍化的面积在逐年增大。

目前, 在土壤盐渍化研究方面, 国内外已有大量资料报道^[2-14], 但在盐分离子之间相关性研究方面报道较少^[15]。由于不同地区成土母质及盐渍化成因不同, 土壤总体盐分状况、盐基离子组成的差异, 而且随时间和季节的不同而变化。为此, 我们对半干旱盐渍化地区果园土壤盐分离子之间的相关性进行了研究, 旨在探讨半干旱气候条件下果树-土壤生态系统中盐分离子运移携同的关系, 为土壤次生盐渍化的防治提供

科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品的采集

试验地点设在典型的有代表性的甘肃省半干旱地区秦安县兴国镇的郑川村。选择 5 个有代表性的果园, 进行定点定位采样, 测定土壤剖面 0~2、2~5、5~10、10~15、15~20、20~25、25~40、40~60、60~80、80~120 cm 土层盐分离子的含量。测定时间于 2005 年 4 月中旬开始, 大约每半月测定 1 次, 测定到 10 月中旬结束, 共采集不同土层土样 500 份。

1.2 分析方法

土壤浸提液用 1:5 土水比提取, 全盐的测定用电导法, 八大离子的测定分别为: K^+ 、 Na^+ 用火焰光度计测定, CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 用标准 H_2SO_4 滴定法测定, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法测定, SO_4^{2-} 用 EDTA 络合滴定法测定, Cl^- 用标准 AgNO_3 滴定法测定^[16]。

1.3 数据处理

利用 SPSS 16.0 统计软件进行统计分析。

①基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(0803KJZA040)、国家科技成果重点推广项目(2005EC000335)和甘肃省科技厅事业费项目(QS031-C31-23)资助。

*通讯作者(soilphysics@163.com)

作者简介: 郭全恩(1974—), 男, 甘肃天水人, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事环境因素对盐分离子迁移的影响研究。E-mail: qnguo@sina.com

2 结果与讨论

2.1 土壤盐渍化类型分析

根据土属划分标准及盐化度的分级^[17], 从表 1 可

以看出, 试验区土壤剖面 0~40 cm 土层, 属硫酸盐-氯化物类型, 40~80 cm 土层, 属氯化物-硫酸盐类型, 80~120 cm 土层, 属硫酸盐类型。且土壤整个剖面按照盐化度的分级, 都属于轻度盐渍化以下和轻度盐化土壤。

表 1 果园土壤盐渍化类型及盐化程度

Table 1 Types of soil salinization and salinization degrees in orchard

土层深度 (cm)	土属划分标准		盐化度的分级	
	Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻ 当量比	盐渍化类型	含盐量(g/kg)	盐化程度
0~20	1.2	硫酸盐-氯化物	0.58	轻度盐渍化以下
20~40	1.1	硫酸盐-氯化物	0.73	轻度盐渍化以下
40~60	0.6	氯化物-硫酸盐	0.87	轻度盐渍化以下
60~80	0.9	氯化物-硫酸盐	0.93	轻度盐渍化以下
80~120	0.5	硫酸盐	1.17	轻度盐化

2.2 土壤中水溶性盐分离子统计分析

频数分布能反映样本在总体中的分布情况。对不同时期果园土壤水溶性盐分离子含量进行统计分析(图 1), 从图 1 中可以看出不同盐分离子含量的变异规律, 虽然各盐分离子之间有一定的差异, 但它们的频数分布大致都呈对称或不完全对称的单峰分布。其中 HCO₃⁻ 的含量接近正态分布, CO₃²⁻、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺、Na⁺ 的含量是正偏(不对称, 右偏), 且具有比正态分布曲线更尖锐的峰态。同时, 从图 1 中每个盐分离子平均值的大小可以看出该区土壤的盐分离子组成, 阴离子主要是 HCO₃⁻, 含量为 6.52 mmol/kg ± 1.63 mmol/kg, 占阴离子总量的 61.8%, 其次是 SO₄²⁻, 含量为 2.10 mmol/kg ± 1.88 mmol/kg, 占阴离子总量的 19.9%; 阳离子主要是 Na⁺, 含量为 57.38 mmol/kg ± 68.66 mmol/kg, 占阳离子总量的 82.1%。该地区土壤盐分中这种离子组成的差别, 主要是受土壤母质和地下水中盐分离子组成的影响。

2.3 土壤中水溶性盐分离子之间的相关性分析

研究土壤盐分中离子与离子之间的运移关系, 可以为盐渍化土壤的预防和改良提供科学依据。为此, 对果园土壤盐分离子之间的相关性进行分析(表 2), CO₃²⁻ 与 HCO₃⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ 之间存在着极显著的负相关; 与 Na⁺ 之间存在着极显著的正相关, 说明土壤中 CO₃²⁻ 的含量随着 HCO₃⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ 含量的升高而降低, 随着 Na⁺ 含量的升高而升高。这是因为土壤溶液中 HCO₃⁻ 浓度升高, 土壤溶液酸性增强, H⁺ 增多, CO₃²⁻ 与 H⁺ 结合生成 HCO₃⁻, 导致 CO₃²⁻ 含量降低; 另外土壤溶液中 Ca²⁺、Mg²⁺ 含量的增加, CO₃²⁻ 与 Ca²⁺、

Mg²⁺ 容易形成碳酸盐的沉淀, 降低其浓度。由于土壤溶液中存在着同离子效应, K⁺ 能抑制 HCO₃⁻ 的解离生成 H⁺ 和 CO₃²⁻, 所以 K⁺ 浓度的增加会导致 CO₃²⁻ 浓度的减小。HCO₃⁻ 与 Cl⁻ 之间存在着极显著的负相关, 与 Na⁺ 之间存在着显著的负相关, 与 Mg²⁺ 之间存在着极显著的正相关, 说明土壤中 HCO₃⁻ 的含量随着 Cl⁻、Na⁺ 含量的升高而降低, 随着 Mg²⁺ 含量的升高而升高。Cl⁻ 与 SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺ 之间存在着极显著的正相关关系。SO₄²⁻ 与 Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺ 之间存在着极显著的正相关关系, Ca²⁺ 与 Mg²⁺、K⁺ 之间存在着极显著的正相关关系, Mg²⁺ 与 Na⁺ 之间存在着极显著的正相关关系, K⁺ 与 Na⁺ 之间存在着极显著的负相关关系。因此, 这些结果提供的信息反映了土壤溶液中的不同盐分离子之间确实存在着一定程度的相关性, 与人们的普遍认识基本一致, 例如果树对土壤溶液中 K⁺ 与 Na⁺ 的吸收存在着拮抗作用, 所以 K⁺ 与 Na⁺ 之间存在着极显著的负相关关系。

2.4 土壤中水溶性盐分离子之间的偏相关分析

在多元相关分析中, 由于受到其他变量的影响, Pearson 相关系数只是从表面上反映两个变量相关的性质, 往往不能真实地反映变量间的线性相关程度, 偏相关系数才是真正反映两个变量相关关系的统计量。为此, 对土壤中 8 大盐分离子在相关分析的基础上, 进行偏相关分析(表 3), CO₃²⁻ 与 HCO₃⁻、Mg²⁺ 之间存在着显著的负相关关系, 与 Na⁺ 之间存在着极显著的正相关关系; HCO₃⁻ 与 Cl⁻ 之间存在着极显著的负相关关系, 与 Mg²⁺ 之间存在着极显著的正相关关系; Cl⁻ 与 SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺ 之间存在着显著的正相关

关系,其中与 Ca^{2+} 、 Na^{+} 之间存在着极显著的正相关关系; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 之间存在着极

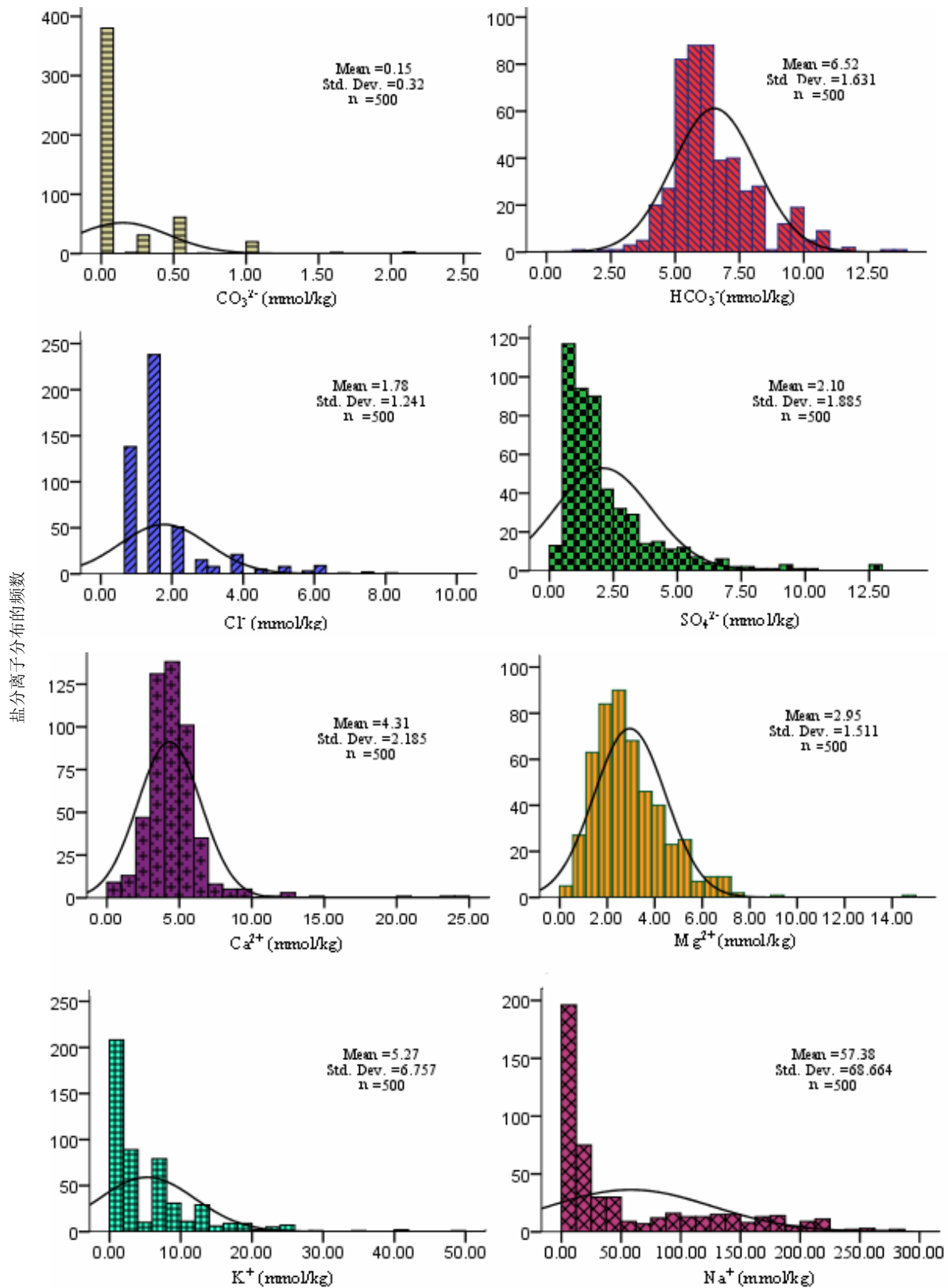


图 1 盐分离子的频数分布

Fig. 1 Frequency distribution of salt ions

表 2 各盐分离子的相关矩阵 (n = 500)

Table 2 Correlation coefficients between various salt ions

	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
CO ₃ ²⁻	1.000	-0.206**	0.052	-0.024	-0.251**	-0.166**	-0.232**	0.366**
HCO ₃ ⁻		1.000	-0.224**	-0.008	0.019	0.310**	-0.027	-0.112*
Cl ⁻			1.000	0.648**	0.367**	0.311**	-0.057	0.634**
SO ₄ ²⁻				1.000	0.370**	0.431**	-0.026	0.593**
Ca ²⁺					1.000	0.336**	0.302**	-0.021
Mg ²⁺						1.000	-0.019	0.172**
K ⁺							1.000	-0.309**
Na ⁺								1.000

注：* 显著性水平在 p<0.01 下，认为标记的相关系数是显著的； ** 显著性水平在 p<0.05 下，认为标记的相关系数是显著的；下同。

表 3 变量之间的偏相关系数 (DF = 492)

Table 3 Partial correlations coefficients between variables

		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
CO ₃ ²⁻	偏相关系数	1.000	-0.174**	-0.132**	-0.157**	-0.054	-0.046	-0.061	0.395**
	双尾显著性概率	-	0.000	0.003	0.000	0.230	0.310	0.177	0.000
HCO ₃ ⁻	偏相关系数		1.000	-0.315**	0.014	0.019	0.352**	-0.048	0.097*
	双尾显著性概率		-	0.000	0.750	0.678	0.000	0.285	0.031
Cl ⁻	偏相关系数			1.000	0.215**	0.313**	0.139**	0.009	0.486**
	双尾显著性概率			-	0.000	0.000	0.002	0.834	0.000
SO ₄ ²⁻	偏相关系数				1.000	0.226**	0.245**	0.079	0.438**
	双尾显著性概率				-	0.000	0.000	0.079	0.000
Ca ²⁺	偏相关系数					1.000	0.154**	0.235**	-0.282**
	双尾显著性概率					-	0.001	0.000	0.000
Mg ²⁺	偏相关系数						1.000	-0.088	-0.070
	双尾显著性概率						-	0.050	0.122
K ⁺	偏相关系数							1.000	-0.223**
	双尾显著性概率							-	.000
Na ⁺	偏相关系数								1.000
	双尾显著性概率								-

显著的正相关关系；Ca²⁺与K⁺之间存在着极显著的正相关关系，与Na⁺之间存在着显著的负相关关系；Mg²⁺与K⁺之间存在着显著的负相关。K⁺与Na⁺之间存在着极显著的负相关。

2.5 土壤中水溶性盐分离子的聚类分析

反映同一事物特点的变量有很多，我们往往难以找出彼此独立的有代表性的变量而影响对问题的进一步认识和研究。为此，本研究依据最短距离法对土壤水溶性盐分离子的 8 个量化指标之间的关系进行了聚类分析 (R型聚类)。从图 2 可以看出，按照距离系数阈值为 4.5 作为分类标准，8 大盐分离子可以分为 3 类：I 类：Cl⁻、Mg²⁺、CO₃²⁻、Ca²⁺、K⁺和HCO₃⁻； II类：

SO₄²⁻； III类：Na⁺。因此，根据聚类分析的结果，在样

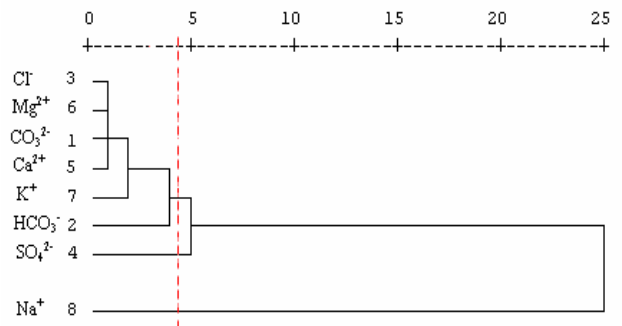


图 2 聚类分析龙骨图

Fig.2 Dendrogram of clustering analysis based on correlation coefficients using furthest neighbor linkage method

本数较大的情况下,为了减少工作量而又不失去有用的信息,通常可以对 3 种离子进行分析,就能反映该区果园土壤水溶性盐分离子的变化情况,即 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Na^+ 。这一结果与汪珊等^[18]报道的土壤全盐量的衰减主要取决于 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 略有不同,可能与不同地区土壤盐渍化类型不同有关。

3 结论与讨论

盐渍化土壤积盐强度以及占优势的盐类组成随生物气候、地带性土壤的发生过程不同差异很大。该研究区土壤盐分中 NaHCO_3 和 Na_2SO_4 是主要的两种盐分,其中 NaHCO_3 的存在对该区土壤造成了碱化或钠质(化)碱化现象。而从土壤盐分含量来看,土壤的含盐量变化在 0.58 ~ 1.17 g/kg 之间,含盐量并不高,根据土壤盐渍化的划分标准,不属于盐渍化土壤或属于轻度盐渍化土壤,但对果树生长已产生了严重的危害。据翁永玲和宫鹏^[2]报道,植物根系活动层或表土层所聚盐分数量是否对作物生育产生抑制作用,是区分非盐渍化与盐渍化土壤的标准。

在多元相关分析中,相关分析和偏相关分析之间存在着明显的差异。偏相关分析能进一步消除由于其他变量的影响,因而能够更加准确地刻化两个变量之间的相关性。例如:在相关分析中, CO_3^{2-} 与 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 之间存在着极显著的负相关;而在偏相关分析中, CO_3^{2-} 仅与 HCO_3^- 、 Mg^{2+} 之间存在着显著的负相关,剔除了 Ca^{2+} 、 K^+ 。又如, Cl^- 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间在相关分析中存在着极显著的正相关,而在偏相关分析中, Cl^- 与 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间存在着显著的正相关,其中仅与 Ca^{2+} 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关,剔除了 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 。

HCO_3^- 与 Cl^- 之间存在着极显著的负相关,与 Mg^{2+} 之间存在着极显著的正相关; SO_4^{2-} 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 之间存在着极显著的正相关; Ca^{2+} 与 K^+ 之间存在着极显著的正相关,与 Na^+ 之间存在着显著的负相关; Mg^{2+} 与 K^+ 之间存在着显著的负相关; K^+ 与 Na^+ 之间存在着极显著的负相关。且通过对盐分离子的聚类分析发现, Cl^- 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 和 HCO_3^- 在该区土壤中有相似或相近的运移特征。

参考文献:

[1] 张建锋. 中国盐碱地造林绿化的理论与实践 // 刘小京, 刘孟

雨. 盐生植物利用与区域农业可持续发展. 北京: 气象出版社, 2002: 221-225

- [2] 翁永玲, 宫鹏. 黄河三角洲盐渍土盐分特征研究. 南京大学学报(自然科学), 2006, 42(6): 602-610
- [3] 刘广明, 杨劲松, 姚荣江. 影响土壤浸提液电导率的盐分化学性质要素及其强度研究. 土壤学报, 2005, 42(2): 247-252
- [4] 张征云, 孙贻超, 孙静, 邵晓龙, 李红柳. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价. 农业环境科学学报, 2006, 25(4): 954-957
- [5] 任加国, 郑西来, 许模, 李甲亮. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究. 土壤, 2005, 37(6): 635-639
- [6] Dehaan RL, Taylor GR. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(3): 406-417
- [7] Shi Z, Cheng JL, Huang MX, Zhou LQ. Assessing reclamation levels of coastal saline lands with integrated stepwise discriminant analysis and laboratory hyperspectral data. Pedosphere, 2006, 16(2): 154-160
- [8] Wang HQ, Hsieh YP, Harwell MA, Huang WR. Modeling soil salinity distribution along topographic gradients in tidal salt marshes in Atlantic and Gulf coastal regions. Ecological modeling, 2007, 201: 429-439
- [9] 罗廷彬, 任崑, 李彦, 王宝军. 咸水灌溉条件下干旱区盐渍土壤盐分变化研究. 土壤, 2006, 38(2): 166-170
- [10] 刘庆生, 刘高焕, 薛凯, 宋红伟. 近代及现代黄河三角洲不同尺度地貌单元土壤盐渍化特征浅析. 中国农学通报, 2006, 22(11), 353-359
- [11] 樊自立, 马英杰, 马映军. 中国西部地区耕地土壤盐渍化评估及发展趋势预测. 干旱区地理, 2002, 25(2): 97-102
- [12] 王水献, 董新光, 杜卫东. 新疆阿瓦提灌区土壤盐渍化现状及特征分析. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 170-175
- [13] 杜鹏飞, 李虹, 海春兴. 阴山北麓春季土壤含盐量及其与电导率的关系研究. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版), 2006, 35(2): 234-237
- [14] 刘广明, 杨劲松, 李冬顺. 地下水蒸发规律及其与土壤盐分的关系. 土壤学报, 2002, 39(3): 384-389
- [15] 李彬, 王志春, 梁正伟, 迟春明. 苏打碱化土壤盐分离子与相关性分析. 土壤通报, 2007, 38(4): 653-656
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 80-89
- [17] 中国土壤学会盐渍土专业委员会. 中国盐渍土分类分级文集. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989, 29: 3-35
- [18] 汪珊, 张宏达, 汪林. 宁夏青铜峡灌区水土盐量的衰减和积聚进程分析. 水利学报, 2005, 36(3): 1-8

Correlation of Soil Salt Ions in Orchard in Semiarid Saline Regions

GUO Quan-en^{1,2}, WANG Yi-quan¹, GUO Tian-wen³, LIU Jun¹, NAN Li-li⁴

(1 *College of Resources and Environmental, Northwest Sci-Tech University of Agricultural and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;*

2 *Soil Fertilizer and Water-Saving Institute, GAAS, Lanzhou, 730070, China;* 3 *Dry Land Agriculture Institute, GAAS, Lanzhou 730070, China;*

4 *College of Grass and Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China*)

Abstract: The object of this study was orchard soil in Zhengchuan Village of XinGuo Town in Qin'an County of Gansu Province, statistical analysis was applied to explore the correlation of soil salt ions of a test site in semiarid saline area, 500 samples collected from 0 ~ 120 cm layer of soil were analyzed in laboratory. The results showed that the predominant anions in soil salt were HCO_3^- and SO_4^{2-} while the predominant cation was Na^+ . CO_3^{2-} showed a significantly negative correlation with HCO_3^- and Mg^{2+} but an extremely significantly positive correlation with Na^+ ; HCO_3^- showed a significantly negative correlation with Cl^- but an extremely significantly positive correlation with Mg^{2+} ; Cl^- showed a significantly positive correlation with SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ and an extremely significantly positive correlation with Ca^{2+} and Na^+ ; SO_4^{2-} showed an extremely significantly positive correlation with Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+ ; Ca^{2+} showed an extremely significantly positive correlation with K^+ but a significant negative correlation with Na^+ ; a significant negative correlation existed between Mg^{2+} and K^+ , an extremely significant negative correlation existed between K^+ and Na^+ . Similar characters of movement of Cl^- , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , K^+ and HCO_3^- were found by clustering analysis. The analytical results of correlation analysis and partial correlation analysis were compared and significant differences were found between the two methods. Partial correlation analysis could eliminate more the effect of others variable, thus could depict more exactly the correlation of multivariate analysis between two variables.

Key words: Salt ions, Correlation, Semiarid saline regions