

半干旱山区积盐果园集雨灌溉洗盐效果研究

郭全恩^{1,2}, 马忠明¹, 王益权^{2*}, 郭天文³, 刘 军², 南丽丽⁴, 伏耀龙², 吕军峰³

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 西北农林科技大学资环学院, 陕西, 杨凌 712100;
3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 以甘肃省秦安县兴国镇郑川村盐分胁迫果园土壤为研究对象, 研究了集雨灌溉对果园土壤剖面盐分离子和果树生长的影响。结果表明: 在淋洗前后全盐 ($P=0.001<0.01$) 和水溶性 Na^+ ($P=0.000<0.01$) 有极显著的差异, Cl^- ($P=0.040<0.05$) 和水溶性 Ca^{2+} ($P=0.045<0.05$) 有显著的差异, 而 K^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 在淋洗前后差异不显著。通过果园土壤淋洗, 能够明显改善树体的生长状况, 叶缘焦枯的叶片逐渐恢复正常。

关键词: 集雨灌溉; 果园土壤; 洗盐; 半干旱地区

中图分类号: S156.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)06-0210-05

干旱半干旱地区水源不足严重限制了灌溉农业的发展, 对非优质水资源(微咸水、咸水、碱性水)的灌溉研究已提到议事日程上来^[1]。但是长期利用非优质水进行大水漫灌, 可能引起土壤次生盐渍化, 对作物造成盐碱危害。一个典型的例证——甘肃省秦安县葫芦河流域的果园, 由于该区多年干旱少雨, 利用微咸水灌溉, 导致果园土壤次生盐渍化的发生, 对果树地上部分的危害症状是: 每年 5 月底 6 月初, 苹果叶片的叶缘开始发生焦枯现象, 7、8 月份病情较重, 9 月份, 焦枯脱落的叶片又长出少许新叶, 严重地影响了当地的苹果生产。经笔者研究^[2,3], 认为该地区的苹果叶缘焦枯主要是由于土壤中钠盐含量过高导致苹果叶片钠毒害所致。

为了减轻盐分对作物的胁迫, 土壤淋洗是一个物理和化学过程, 能够实现危险物质的分离、隔离、体积减少和危险物质的无害化转变^[4]。土壤淋洗是通过灌水方法, 把土壤中过多的可溶性盐分淋洗出去或压至底层, 以降低耕层土壤盐分含量, 达到作物正常生长的要求。采用土壤淋洗的方法是改良盐碱地的一项行之有效的措施。

综观国内外有关土壤洗盐方面的文献资料, 一类主要集中在利用矿化水灌溉洗盐^[5~7], 大多配有洗盐排碱沟, 虽然效果好, 但是成本高, 在有些地区, 工程措施的洗盐受到地理条件的限制; 另一类主要集中在室内土柱模拟灌溉洗盐^[8~11], 由于室内模拟, 虽然环境条件容易控制, 但大多利用的是扰动土

样, 土壤剖面原有的层次结构破坏, 所以实验结果不能完全指导大田生产。为此, 本文旨在利用天然降雨的淡水, 通过就地取材, 对自然条件下的土壤盐渍化果园进行定量灌溉, 以期探讨半干旱地区集雨灌溉对土壤—果树系统中盐分及其离子迁移的影响, 为土壤盐渍化的防治、雨水的灌溉利用及果树生产提供重要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于甘肃省秦安县兴国镇郑川村, 属陇中黄土高原梁峁沟壑区, 年平均气温 10.4℃, 年降雨量 507.3 mm 左右, 多集中在七、八、九三个月, 平均蒸发量 1 457.6 mm, 平均日照时数 2 208.1 h, 无霜期 178 d, 是甘肃省典型的中部半干旱山区。

该区属于老果园区种植区, 树龄大多在 15~30 a, 苹果品种主要以金冠和红元帅、新红星、老红星为主, 砧木大多为苹果籽实生苗砧木。果园土壤盐渍化大多都是由于利用微咸水灌溉而引起的。经对项目区域内 5 个地下灌溉水源水质和灌溉用的雨水(Y)水质化验分析(见表 1), 地下水矿化度变化在 2.42~2.82 g/L, pH 变化在 8.0~8.1 之间。按照干旱和半干旱地区灌溉水的盐渍度对作物影响的规范^[12], 这些地下水源对作物都有不同程度的伤害性影响。而灌溉用的雨水(Y)矿化度为 0.76 g/L, pH 为 7.2, 属于优质水源, 适合于灌溉。

收稿日期: 2009-03-20
基金项目: 甘肃省自然科学研究基金项目(0803KJZA040); 甘肃省国际合作项目(090WCGA902); 甘肃省科技厅事业费项目(QS031—C31—23); IPNI 中国项目
作者简介: 郭全恩(1974—), 男, 甘肃天水人, 助研, 博士研究生, 主要从事水盐运移及盐碱土改良等方面的研究。E-mail: qnguo@sina.com。
* 通讯作者: 王益权(1957—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为土壤物理。E-mail: soilphysics@163.com。
(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 项目区灌溉水的化学性质

Table 1 Chemical properties of irrigation water of the project area

编号 Code	矿化度(g/L) Degree of mineralization	pH	阴离子(mmol/L) Anion				阳离子(mmol/L) Cation		
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺
1	2.82	8.1	2.00	8.00	22.00	12.75	5.50	44.00	25.25
2	2.73	8.0	1.00	7.50	25.00	15.75	5.50	17.00	26.75
3	2.65	8.1	2.00	8.50	21.50	10.50	4.50	12.00	26.00
4	2.53	8.1	2.00	7.50	24.50	12.00	6.00	15.00	24.50
5	2.42	8.1	1.50	6.50	19.00	13.50	6.50	10.00	24.00
Y	0.76	7.2	0	4.40	3.60	3.95	2.50	1.00	6.20

1.2 试验方法

试验在秦安县兴国镇郑川村一农户叶缘焦枯果园进行。土壤肥力中等偏上,耕层土壤基本理化性状为:有机质 11.79 g/kg,碱解氮 55.8 mg/kg,速效磷 71.6 mg/kg,速效钾 300 mg/kg, pH8.21,全盐 0.076%,碳酸钙含量为 14.12 g/kg。供试品种为当地种植有代表性的苹果品种——金冠,树龄为 18 a,试验地面积为 240 m²,株行距为 4 m×5 m。试验前对果园进行人工翻耕后起垄,分为 3 个小区,每个小区 4 株树。

于 2005 年 6 月 24 日,利用小型柴油机带动的水泵抽取集雨池中的天然降雨对果园进行灌溉,灌溉定额由灌溉水的流速和灌溉的时间控制。灌溉定额是指计划冲洗土层(一般指作物根系层)中的含盐量冲洗到作物所能允许的含盐程度时,单位面积土地所需要的冲洗水量,以 m³/666.7m² 计。冲洗定额的大小取决于土壤的盐碱化程度、盐分组成及其在土壤中的分布状况,计划冲洗土层厚度。冲洗脱盐标准,还取决于土壤的水分物理性质,地下水出流条件,冲洗技术和冲洗时间。这些关系比较复杂,且相互影响,一般情况要精确计算冲洗定额是比较困难的,最好通过野外试验确定。本研究参考新疆盐碱地改良砂壤土灌水定额为 200~250 m³/666.7m²,壤土灌水定额为 250~350 m³/666.7m²,粘质土灌水定额为 300~450 m³/666.7m²。为此,根据试验区土壤类型,0~60 cm 土层为粘质壤土,60~120 cm 土层为砂壤土,确定灌水定额为 400 m³/666.7m²。

灌水时期适当与否,不仅影响冲洗定额和脱盐效果,还影响到冲洗后的农事活动和脱盐效果的巩固。本研究制定冲洗时间主要考虑三个方面的原因:第一、温度高有利于盐分溶解;第二、冲洗时期保证有足够的冲洗用水,又要满足果树灌溉用水;第三、通过洗盐,减轻盐分对果树生育期的危害,有利于苹果产量的提高。为此,综合以上三个方面的原

因,选择 6~7 月份夏季洗盐(伏洗盐)。灌水方法采取全园灌溉。

分别在灌溉前(6 月 19 日)和灌溉后(7 月 4 日),在 3 个小区的每株果树树冠下东、西、南、北四个方位分别采样,即重复 3 次。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 土层土壤水分、盐分含量及 8 大离子组成。土壤水分的测定用烘干法,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:K⁺、Na⁺用火焰光度计法测定,CO₃²⁻、HCO₃⁻用标准 H₂SO₄ 滴定法测定,Ca²⁺、Mg²⁺用 EDTA 络合滴定法测定,SO₄²⁻用 EDTA 络合滴定法测定,Cl⁻用标准硝酸银滴定法测定^[13]。试验数据的分析采用 SAS 8.0 统计软件。

2 结果与讨论

2.1 淋洗前后土壤剖面水分和盐分含量的变化

土壤水分为土壤盐分的运移提供载体。从图 1 可以看出,淋洗前表层 0~20 cm 土层土壤水分含量比较低,而在剖面 20~120 cm 土层,土壤水分分布比较均匀,大约为 10.0%。而在淋洗后,整个土壤剖面的水分含量较淋洗前有所增加,其中表层土壤 0~10 cm 土层,土壤水分含量接近田间持水量,而在 10 cm 土层以下,土壤水分含量逐渐减小。从图 2 可以看出,淋洗前后果园土壤剖面盐分含量有明显的差别。淋洗前土壤剖面 0~120 cm 土层盐分含量分布并不均匀,在土壤剖面 0~2 cm 土层、15~25 cm 土层和 60~80 cm 土层盐分有明显的累积现象,其中 2~15 cm 土层和 80~120 cm 土层是盐分向上迁移层,25~60 cm 土层是盐分的传导层。经过雨水淋洗后,整个土壤剖面 0~120 cm 土层盐分含量迅速减小,其中 0~80 cm 土层盐分含量相同,都为 0.049%,80~120 cm 土层盐分含量较淋洗前也明显减小。

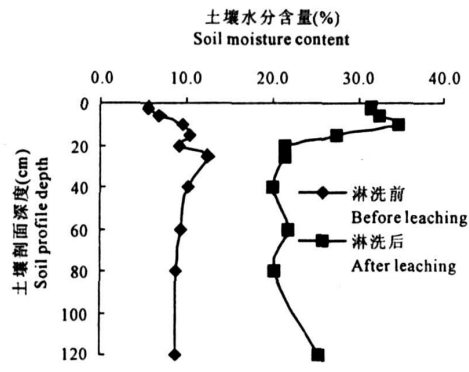


图 1 淋洗前后土壤水分含量的变化

Fig.1 Soil moisture content in soil before and after leaching

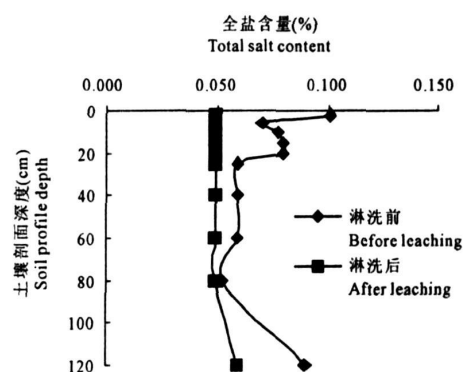


图 2 淋洗前后土壤盐分含量的变化

Fig.2 Soil salt content in soil before and after leaching

2.2 淋洗前后土壤剖面水溶性盐分离子中阴离子含量的变化

淋洗前后土壤剖面水溶性盐分离子中阴离子含量有明显的差异(见图 3)。CO₃²⁻:淋洗前土壤剖面 0~20 cm 土层含量为 0,淋洗后 0~25 cm 土层含量为 0,所以淋洗能使 CO₃²⁻ 向下迁移。另外,淋洗前土壤剖面 CO₃²⁻ 是“Z”型分布,有两个峰值,含量为 0.006%,而淋洗后土壤剖面 CO₃²⁻ 是“W”型分布。HCO₃⁻:淋洗后,大约在土壤剖面 0~40 cm 土

层,HCO₃⁻ 含量较淋洗前有所增加,而大约在 40~90 cm 土层,淋洗后较淋洗前低,而在 90~120 cm 土层,淋洗后较淋洗前高。Cl⁻:淋洗能使土壤剖面 0~70 cm 土层 Cl⁻ 含量较淋洗前明显减少,而在 70~120 cm 土层,淋洗后土壤剖面 Cl⁻ 含量较淋洗前明显增加,这是因为通过雨水淋洗,上层 0~70 cm 土层的 Cl⁻ 的向下迁移在 70~120 cm 土层。SO₄²⁻:淋洗前后土壤剖面 SO₄²⁻ 的含量变化类似于正弦或余弦曲线,不同之处是淋洗后较淋洗前的波峰有所下降。

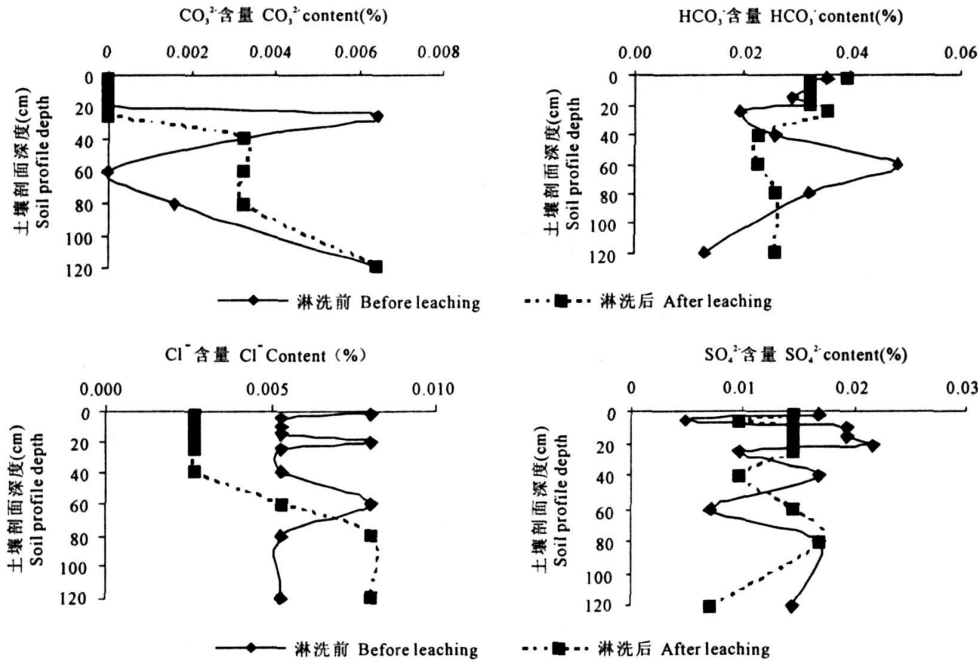


图 3 淋洗前后土壤中阴离子含量的变化

Fig.3 Anions content in soil before and after leaching

2.3 淋洗前后土壤剖面水溶性盐分离子中阳离子含量的变化

从图 4 可以看出,淋洗前后土壤剖面盐分离子

中阳离子含量的变化。Ca²⁺:淋洗后土壤剖面大约 0~40 cm 土层和 60~100 cm 土层水溶性 Ca²⁺ 含量较淋洗前有所降低,而在大约 100~120 cm 土层水

溶性 Ca^{2+} 含量较淋洗前有所增加。 Mg^{2+} :淋洗能促使土壤剖面大约 0~55 cm 土层水溶性 Mg^{2+} 向下迁移,而引起土壤水溶性 Mg^{2+} 的含量 55~120 cm 土层水溶性 Mg^{2+} 的含量有所增加。这说明 Ca、Mg 离子的淋溶迁移不同步,在淋洗过程中出现了离子的分异现象。 K^{+} :淋洗能引起表层土壤 0~15 cm 土层水溶性 K^{+} 含量迅速向下迁移而减少,淋洗前土壤

表层 0~2 cm 土层水溶性 K^{+} 含量为 0.18%,而淋洗后土壤表层 0~2 cm 土层水溶性 K^{+} 含量为 0.03%,较淋洗前降低了 6 倍。同时,从图 4 可以看出,淋洗前土壤剖面水溶性 K^{+} 主要分布在 0~60 cm 土层,而淋洗后 0~120 cm 土层都有分布。 Na^{+} :淋洗能促使整个土壤剖面 0~120 cm 土层水溶性 Na^{+} 含量迅速减小,较淋洗前降低大约 5 倍。

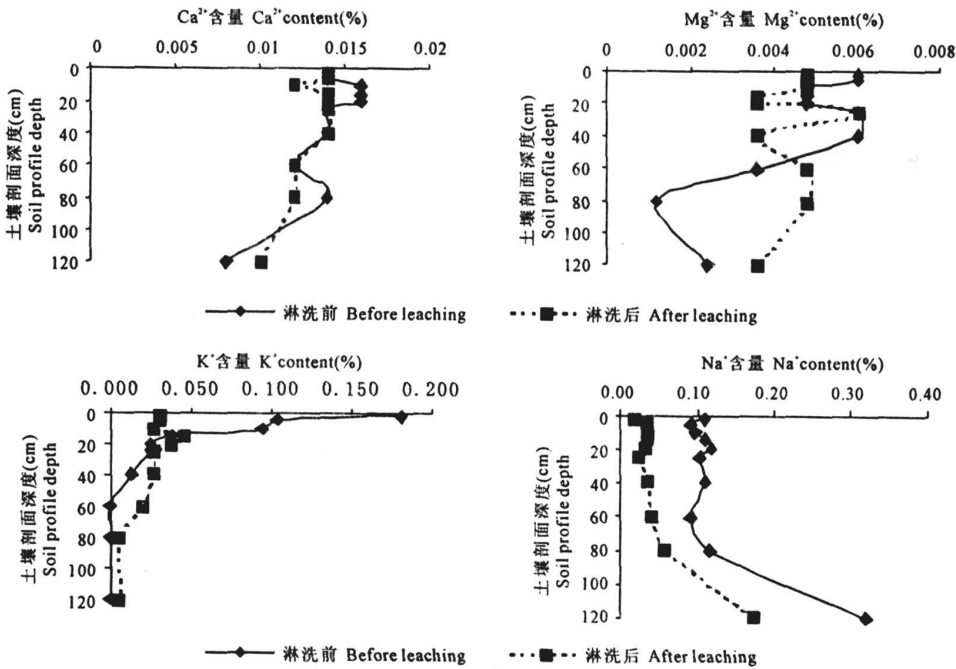


图 4 淋洗前后土壤中阳离子含量的变化

Fig. 4 Cations content in soil before and after leaching

2.4 淋洗前后果园土壤剖面水溶性盐分离子的差异显著性检验

配对样本的 t 检验实际上是先求出每对测量值之间的差值,再对差值求均值,检验配对变量差值的均值与 0 之间是否显著不同。如果差值的均值与 0 没有显著差异,就说明配对变量前后所测得的均值之间没有显著差异。本研究采用 SAS 程序中的 MEANS 过程,计算出淋洗前后果园土壤剖面盐分及水溶性离子含量的差值,再对该差值的平均数进行 t 测验,结果表明(见表 2):全盐含量 ($P=0.001<0.01$)和水溶性 Na^{+} ($P=0.000<0.01$)在淋洗前后有极显著的差异, Cl^{-} ($P=0.040<0.05$)和水溶性 Ca^{2+} ($P=0.045<0.05$)在淋洗前后有显著的差异, K^{+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^{-} 、 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 在淋洗前后没有显著的差异。

表 2 淋洗前后果园土壤剖面盐分及水溶性离子的差异显著性检验

Table 2 t -test of salt and ions content between before and after leaching in orchards soil profile

变量 Variable	平均值(%) Mean	标准偏差 Std Dev	标准误差 Std Error	t 值 t Value	概率值 $Pr> t $
全盐 Total salt	0.023	0.015	0.005	4.850	0.001**
Na^{+}	0.078	0.028	0.009	8.800	0.000**
K^{+}	0.023	0.056	0.018	1.270	0.236
Ca^{2+}	0.002	0.002	0.001	2.330	0.045*
Mg^{2+}	0.000	0.002	0.001	0.220	0.832
HCO_3^{-}	0.000	0.011	0.004	0.000	1.000
CO_3^{2-}	0.000	0.002	0.001	0.210	0.840
Cl^{-}	0.002	0.003	0.001	2.400	0.040*
SO_4^{2-}	0.001	0.006	0.002	0.690	0.508

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著, ** 表示在 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: * denotes a significant difference at $P<0.05$, while ** denotes a significant difference at $P<0.01$.

3 讨论与结论

1). 由于项目区降雨主要集中在七、八、九这三

个月,强降雨(降雨量大于 10 mm)在 5~10 月份都会出现。因此,受降雨季节性的限制,在干旱年份的春季(3~4 月),苹果树萌芽期和花期的灌水不得不用非优质水源(井水)灌溉;而在苹果树对水分最敏感的时期,即新梢迅速生长期、果实膨大期和膨大后期,就可以择机利用优质水源(雨水)灌溉,实现优质水源和非优质水源的交互灌溉。该项技术的推广对于当地苹果产业发展具有重要价值,突破了长期利用非优质水源灌溉的局限,在习惯性地抓地表水、地下水的同时,抓住了天上降水,拓宽了水资源利用领域。

2) 通过灌溉淋洗,土壤剖面的全盐含量和水溶性 Na^+ 含量明显减少。对灌溉前后土壤剖面的盐分及八大离子含量进行差值平均数的 t 检验,全盐含量($P=0.001<0.01$)和水溶性 Na^+ ($P=0.000<0.01$) 在淋洗前后有极显著的差异, Cl^- ($P=0.040<0.05$) 和水溶性 Ca^{2+} ($P=0.045<0.05$) 在淋洗前后有显著的差异, K^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 SO_4^{2-} 在淋洗前后差异不显著。这说明通过果园土壤淋洗,能够明显降低土壤中的盐分含量和水溶性 Na^+ 的含量。

3) 苹果属于对盐碱比较敏感的果树,特别是苹果实生子苗砧木,对盐碱的抵抗能力较差。由于项目区苹果叶缘焦枯主要是由于土壤中钠盐含量过高导致苹果叶片钠毒害所致。为此,本试验通过果园土壤淋洗,能够明显改善树体的生长状况,叶缘焦枯的叶片逐渐恢复正常。

4) 苹果树生育期间土壤洗盐的合理灌水量和

灌溉时间的确定是一个复杂的问题,本研究对此仅进行了探索性的初步研究,它将是今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 曾路生,石元亮,王晶.碱性矿化水淋洗对土壤盐碱化及小麦生长的影响[J].土壤与环境,2000,9(2):120—124.
- [2] 郭全恩,郭天文,南丽丽,等.甘肃省秦安县苹果叶缘焦枯死亡原因的初步研究[J].西北农业学报,2006,15(1):68—70.
- [3] 郭全恩,王益权,郭天文,等.甘肃省秦安县苹果叶缘焦枯死亡原因调查[J].北方园艺,2008,(8):27—29.
- [4] Semer R, Reddy K R. Evaluation of soil washing process to remove mixed contaminants from a sandy loam[J]. J Hazard Mater, 1996, 45: 45—57.
- [5] 王葆芳,杨晓晖,江泽平.引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J].干旱区研究,2004,21(2):139—143.
- [6] 陈冰,蒋平安.不同灌水量对碱化土的影响[J].干旱区地理,2005,28(1):103—106.
- [7] 张妙仙,杨劲松.灌溉入渗条件下农田土壤水盐动态简化模型及应用[J].土壤学报,2002,39(1):81—88.
- [8] 李加宏,俞仁培.矿化灌溉水—土壤系统中离子反应和交换[J].土壤学报,1997,34(4):434—443.
- [9] 李加宏,俞仁培.矿化灌溉水—土壤—作物系统中盐分迁移和循环的分室模型[J].土壤通报,1997,28(5):197—201.
- [10] 马东豪,王全九,苏莹,等.微咸水入渗土壤水盐运移特征分析[J].灌溉排水学报,2006,25(1):62—65.
- [11] 王秉忱,刘贯群,邱汉学,等.引黄灌溉对李井包气带盐分的淋洗[J].工程勘察,2003,(3):19—23.
- [12] [澳]Marshall T J, Holmes J W. 赵诚斋,徐松龄译.土壤物理学[M].北京:科学出版社,1986:275—291.
- [13] 鲁如坤.土壤农业化学分析法[M].北京:中国农业科技出版社,2000:80—89.

Effects of leaching salt on irrigation with harvested rainwater in accumulating salt orchards in semiarid regions

GUO Quan-en^{1,2}, MA Zhong-ming¹, WANG Yi-quan^{2*}, GUO Tian-wen³,
LIU Jun², NAN Li-li⁴, FU Yao-long², LU Jun-feng³

(1. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving, GAAS, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Institute of Dry Land Agriculture, GAAS, Lanzhou, Gansu 730070, China;

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

Abstract: The object of study was the orchard soil in Zhengchuan Village of Xingguo Town in Qin'an County of Gansu Province under salt stress, with which a field irrigation experiment using harvested rainwater was carried out to determine effects of irrigation with harvested rainwater on salt and ions content in orchard soil profile and apple tree growth. The results show that there was a very marked difference between before leaching and after leaching on soil total salt ($P=0.001<0.01$) and water-solubility sodium ($P=0.000<0.01$), and there was a marked difference on chlorine ion ($P=0.040<0.05$) and water-solubility calcium ($P=0.045<0.05$). But there was little difference on water-solubility K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} and SO_4^{2-} between before leaching and after leaching. The leaves that had withered marginally recovered gradually after leaching salt.

Keywords: irrigation with harvested rainwater; orchard soil; leaching salt; semiarid region