

网络出版时间:2018-09-06 17:30

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2019.03.011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180906.1723.022.html>

不同含氯肥料用量对黄土区苹果产量、品质及 氯素分布的影响

王兴梅,杨莉莉,高义民,同延安

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】探究含氯肥料对苹果产量、品质及土壤、树体 Cl^- 含量分布的影响,为苹果园合理利用含氯肥料资源提供参考依据。【方法】以黄土高原地区旱地和水浇地两种水分条件不同的 8 年生红富士苹果园为研究对象,在田间设 5 个含氯肥料用量处理:CK(0 kg/hm² Cl^-)、T1(113 kg/hm² Cl^-)、T2(226 kg/hm² Cl^-)、T3(763 kg/hm² Cl^-)和 T4(1 300 kg/hm² Cl^-),每处理 3 次重复,随机区组排列,各处理 N、P、K 养分投入量一致,于成熟期测定苹果产量、品质及叶片和果实中 Cl^- 含量,并且测定 0~200 cm 土层 Cl^- 含量。【结果】无论是旱地还是水浇地苹果园,不同处理苹果产量、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖、维生素 C 含量均无显著差异。随着肥料中 Cl^- 用量的增加,旱地和水浇地苹果树果实和叶片中 Cl^- 含量均有所提高,且 T4 处理 Cl^- 均显著高于 CK($P<0.05$),其中旱地苹果园中 T4 处理果实和叶片 Cl^- 含量分别较 CK 显著增加了 62.16%和 311.02%($P<0.05$),水浇地苹果园中 T4 处理果实和叶片 Cl^- 较 CK 分别显著增加了 20.11%和 46.55%。含氯肥料用量的增加促进了不同果园土壤中 Cl^- 的累积,而旱地和水浇地果园土壤 Cl^- 含量垂直分布规律明显不同,其中旱地苹果园土壤 Cl^- 主要分布在 0~100 cm 土层,而水浇地果园土壤 Cl^- 主要分布在 100~200 cm 土层。【结论】在黄土高原地区,无论是旱地还是水浇地苹果园,肥料中 Cl^- 用量的增加均提高了苹果叶片、果实及土壤 Cl^- 含量,但中短期施用不会对苹果产量及品质产生不良影响,因此适量低成本的含氯肥料(氯化铵、氯化钾)可在黄土区苹果园中短期施用,且水浇地果园表现优于旱地。

【关键词】 苹果;含氯肥料;氯素分布;黄土区

【中图分类号】 S143.7⁺9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2019)03-0077-08

Effects of chlorine-containing fertilizer dosage on yield, quality of apple and Cl^- distribution in Loess Area

WANG Xingmei, YANG Lili, GAO Yimin, TONG Yan'an

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract:【Objective】The objective of this study was to investigate the effects of chlorine-containing fertilizers on yield and quality of apple and Cl^- distribution in soil and tree, so as to provide basis for proper utilization of chlorine-containing fertilizers in apple orchards. 【Method】Two 8-year-old Red Fuji apple orchards with different moisture conditions in arid and irrigated areas of the Loess Plateau were selected and five treatments with different chloride amounts including CK (0 kg/hm² Cl^-), T1 (113 kg/hm² Cl^-), T2 (226 kg/hm² Cl^-), T3 (763 kg/hm² Cl^-) and T4 (1 300 kg/hm² Cl^-) were designed. Each treatment had three replicates and all treatments were arranged randomly with same N, P and K inputs. The yield and quality of apple and Cl^- content in leaves and fruits were measured at maturity stage, and contents of Cl^- in

【收稿日期】 2018-01-09

【基金项目】 国家重点研发计划项目“果园/菜地肥料氮去向、损失过程与可调控原理”(2017YFD0200106)

【作者简介】 王兴梅(1992—),女,山东日照人,硕士,主要从事果树营养与肥料研究。E-mail: wyxjm77@163.com

【通信作者】 同延安(1956—),男,陕西华县人,教授,博士,博士生导师,主要从事植物营养与施肥研究。

E-mail: tongyanan@nwsuaf.edu.cn

the soil depth of 0—200 cm were determined.【Result】 There were no significant differences in apple yield, soluble solids, titratable acidity, soluble sugar, and vitamin C between different treatments in irrigated orchards and dry orchards. With the increase of Cl^- input in fertilizers, the Cl^- contents in fruits and leaves of apple tree increased in dry and irrigated fields, and Cl^- contents of T4 treatment were significantly higher than CK ($P < 0.05$). Cl^- contents of T4 in fruits and leaves of dry orchards increased significantly by 62.16% and 311.02% compared to CK, and those in irrigated land significantly increased by 20.11% and 46.55%, respectively. Cl^- accumulation in different orchard soils was increased with the increasing application of chlorine-containing fertilizers, while the vertical distribution of Cl^- in soil was significantly different in dry land and irrigated fields. The concentration of Cl^- in the dry orchard soil was mainly distributed in the layer of 0—100 cm, while the Cl^- concentration in the irrigated orchard soil was mainly distributed in the layer of 100—200 cm.【Conclusion】 The Cl^- content in apple leaves, fruits and soil improved with the increase of Cl^- input in both dry land and irrigated land in the Loess Plateau. Short-term application did not adversely affect the yield and quality of apple. Therefore, low cost chlorine-containing fertilizers such as ammonium chloride and potassium chloride could be applied with moderate dose in apple orchards for short-term, and irrigated orchards performed better than dry land.

Key words: apple; chlorine-containing fertilizer; Cl^- distribution; Loess Area

氯作为植物必需的营养元素^[1],在 7 种必需的微量元素中,植物对氯的需要量最多^[2]。当植株含氯量低于 100 mg/kg 时,易发生缺氯症^[3]。氯是植物进行光合作用的重要元素,对植物碳循环有着重要影响,有生命元素之称^[4]。已有研究表明,适量施用含氯肥料有利于植物从环境中吸收更多的水分^[3],促进作物的生长发育,提高水稻、小麦的产量和品质^[5-6],增加苹果果树干周^[7]。含氯肥料主要有氯化铵、氯化钾以及含有氯化铵和氯化钾的复混肥料,由于氯化钾具有天然的低成本优势^[8],施用氯化钾及其复混肥料不仅可降低生产成本和种植成本,同时也为市场发展提供新思路。但长期以来,由于很多果农受苹果是忌氯作物观念的影响,简单地拒绝施用含氯肥料,严重限制了含氯肥料在苹果等果树上的应用^[9]。

近年来,陶世秋等^[10]根据对氯的敏感程度,将苹果划分为对氯敏感、耐氯力弱的果树。同时国内外一些学者在研究苹果钾素营养时发现,在等量钾素供应条件下,KCl 和 K_2SO_4 对苹果产量的影响效应相当,并无显著差异^[11-12]。因为 Cl^- 作为非反应性离子,有显著随水迁移特性^[13],不会在土壤中大量残留,杨云马等^[14]也报道,草本作物长期施用含氯肥料后并未导致土壤中 Cl^- 的明显积累。由此可见,要准确判断苹果施用含氯肥料的施用效果,不仅要考虑肥料中氯素的含量多少,还要考虑灌溉条件等因素。

中国学者早前对 Cl^- 长期大量投入农田是否对

土壤、环境及作物造成影响开展了一些长期定位试验研究^[2],但大都集中在粮食作物及蔬菜上^[5-6,14]。近几年在果树上仅杨莉莉^[15]针对几乎不施用含氯肥料且灌水量大的猕猴桃进行含氯肥料用量试验,结果表明,施用含氯肥料并不会影响猕猴桃的产量和品质。国外学者也在农田作物上做了大量氯离子盐害试验^[6,16-17],关于氯离子对柑橘盐害机理^[18]及对橄榄营养^[19]和品质^[20]的影响也有报道,但在苹果上的研究则鲜有报道。

鉴于目前国内外关于含氯肥料用量对苹果产量、品质及 Cl^- 在苹果树不同器官分布的影响还鲜有报道。为探索含氯肥料在苹果生产中的施用空间,降低苹果生产成本,本试验同时选取黄土高原地区水浇地和旱地两种水分条件下的苹果园作为研究对象,同步对其进行含氯肥料用量试验,以期含氯肥料在苹果园的安全、高效、合理施用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2016 年在旱地和水浇地苹果园同步进行。旱地苹果园位于陕西省咸阳市长武县洪家镇凤口村,水浇地苹果园位于陕西省宝鸡市扶风县杏林镇三官庙村。其中旱地供试果园属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降水 580 mm,且主要集中在 7—8 月份,年均气温 9.1 °C,无霜期 171 d,地下水位 50~80 m。试验开始前测得 0~200 cm 土层中

从上到下每 20 cm 土层 Cl^- 含量依次为 62.03, 77.34, 70.67, 87.16, 82.29, 66.75, 63.92, 74.62, 85.08, 95.84 mg/kg。水浇地供试果园属大陆性湿润季风气候,年平均气温 12.4℃,年均降雨量 592 mm,无霜期 209 d,以井水为灌溉水源,试验期间测

得灌水中 Cl^- 平均含量为 14.73 mg/kg,试验开始前测得果园 0~200 cm 土层中从上到下每 20 cm 土层 Cl^- 含量依次为 32.33, 32.38, 38.09, 39.78, 45.39, 46.57, 46.06, 48.51, 46.01, 45.16 mg/kg。试验地果园土壤(0~40 cm)基础理化性质见表 1。

表 1 试验地果园土壤(0~40 cm)基础理化性质
Table 1 Basic properties of the two tested soils(0—40 cm)

试验地 Test location	硝态氮/(mg·kg ⁻¹) NO ₃ ⁻ -N	速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium	有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus	有机质/(g·kg ⁻¹) Soil organic matter content	pH
旱地 Dry land	16.22	215.39	30.67	15.31	8.25
水浇地 Irrigated area	9.83	203.16	23.53	18.38	8.33

1.2 试验设计

每个试验果园设 5 个处理,每个处理均按当地高产果园所需施入足量氮、磷、钾肥,且氮、磷、钾肥施用量相同,分别为: N 480 kg/hm², P₂O₅ 300 kg/hm², K₂O 600 kg/hm²。其中氮肥以氯化铵(含 N 24%, Cl 61%)和尿素(含 N 46%)为来源,磷肥以磷酸二铵(含 N 18%, P₂O₅ 46%)为来源,钾肥以硫酸钾(含 K₂O 51%)或氯化钾(含 K₂O 62%, Cl 23%)为来源。所有处理所需 Cl^- 由氯化铵和氯化钾作为来源。各处理施肥方案为:CK 不施氯, T1 Cl^- 用量 113 kg/hm², T2 Cl^- 用量 226 kg/hm², T3 Cl^- 用量 763 kg/hm², T4 Cl^- 用量 1 300 kg/hm²。连续 6 株树作为一个小区,每处理重复 3 次,随机区组排列。旱地和水浇地苹果树均生长良好且长势均匀,树龄均为 8 年,砧木旱地为矮砧秋富 6 号,水浇地为矮砧海棠,品种均为红富士,株行距均为 2.5 m×4 m。

两试验点作为平行试验同步进行,所有肥料 50%于春天(3 月初)施入,剩余 50%于膨大初期(5 月下旬)施入。施肥方式采用沟施后覆土(树下两侧距离果树 50 cm 绕树挖深 30 cm 沟,肥料均匀施用后覆土)。除草、修剪等其他田间管理措施与农民习惯一致。水浇地果园本年度从 3—7 月共计灌水 4 次,合计 2 600 m³/hm²。旱地果园全年无灌水。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶片 Cl^- 含量测定 于果实成熟后,选择生长中等、无病虫害的当年生枝条,取中部第 7~9 片成熟叶片,从树冠东南西北四个方向对称采集,每处理采集 100 片左右,组成混合样。洗净后置于 105℃鼓风干燥箱中杀酶 15~20 min,再保持在 75~80℃条件下恒温烘干,磨细过孔径 0.25 mm 尼龙筛,贮存备用。 Cl^- 含量测定用莫尔法^[21]。

1.3.2 果实 Cl^- 含量测定 每处理果树上、中、下、

内、外部均匀采摘果实 15 个以上,洗净后将果实切成小块,充分混匀用四分法缩分至所需的数量,干燥、磨细,贮存备用, Cl^- 含量测定方法同叶片。

1.3.3 果实品质指标测定 收获 3 d 后测定(苹果果实可溶性糖、可溶性固性物、维生素 C、可滴定酸),其中可溶性糖用蒽酮比色法,可溶性固形物用 ATAGO PAL-1 型糖度计直接测定, Vc 含量采用 2,6-二氯酚酚滴定法(GB/T 6195—1986),可滴定酸用酸碱滴定法^[22]。

1.3.4 土壤 Cl^- 含量测定 于果实采收后采集 0~200 cm 土层的土样(每 20 cm 为 1 层取样),在每个小区沿树行横向分别在树冠下无肥区、施肥区和树行正中部位设置 3 个采样点,将每层 3 个点的土样混匀,按四分法留出所需的土样带回实验室,自然风干后,研磨过孔径 1 mm 筛装袋待测,采用流动分析仪测定土壤 Cl^- (本方法与离子色谱测定结果相关性达到 99%)。

1.4 数据处理

试验数据采用 EXCEL 和 SPSS Statistics 17 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 含氯肥料用量对苹果产量及单果质量的影响

不同含氯肥料用量对苹果产量及单果质量的影响结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,旱地各处理苹果产量 42.57~47.38 t/hm²,单果质量 224.67~240.67 g;水浇地各处理产量 32.78~36.78 t/hm²,单果质量 244.79~257.10 g。无论是旱地还是水浇地果园,各处理间产量和单果质量差异均未达到显著性水平($P>0.05$),表明旱地和水浇地条件下, Cl^- 用量从 0 增加到 1 300 kg/hm² 时均未显著影响苹果的产量和单果质量。旱地果园由于树形、挂果量和管理水平均优于水浇地果园,因此其产量较高。

表 2 不同含氯肥料用量对苹果产量及单果质量的影响

Table 2 Effect of different Cl⁻ dosages on fruit weight and yield of Fuji apple

处理 Treatment	产量/(t·hm ⁻²)Yield		单果质量/g Weight	
	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land
CK	47.38 a	32.78 a	235.33 a	244.79 a
T1	42.57 a	36.78 a	224.67 a	250.06 a
T2	43.56 a	36.22 a	234.00 a	257.10 a
T3	43.58 a	34.85 a	238.00 a	254.25 a
T4	43.01 a	33.67 a	240.67 a	249.31 a

注:同列数据后标相同字母表示处理间差异不显著($P>0.05$),不同字母表示处理间差异达显著性水平($P<0.05$),下表同。
Note:Same letters indicate insignificant difference between treatments ($P>0.05$),while different letters indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

2.2 含氯肥料用量对苹果品质的影响

于成熟期对不同处理苹果品质进行测定,结果见表 3。由表 3 可知,施用含氯肥料并未对苹果品质造成显著影响,其中旱地果园中,CK 处理可溶性固形物含量最高,可滴定酸最低;CK、T4 处理维生素 C 含量最高。水浇地果园,与 CK 相比,T1、T2 处理可溶性固形物和可溶性糖含量均有所提高;T2

处理维生素 C 含量高于 CK,T1 处理可滴定酸含量略低于 CK,T1 处理的糖酸比显著高于 T3、T4 处理($P<0.05$)。无论是旱地还是水浇地果园,不同处理间可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖、维生素 C 含量均无显著性差异,这表明 Cl⁻ 用量未明显影响苹果的品质。

表 3 不同用量氯肥对苹果品质的影响

Table 3 Effect of different Cl⁻ dosages on fruit inner quality of Fuji apple

处理 Treatment	可溶性固形物/% Soluble solids		可滴定酸/% Titratable acidity		维生素 C/(mg·kg ⁻¹) Vc		可溶性糖/% Soluble sugar		糖酸比 Sugar-acid ratio	
	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land	旱地 Dry land	水浇地 Irrigated land
CK	13.83 a	13.81 a	0.28 a	0.25 a	5.80 a	4.67 a	10.27 a	11.75a	37.21 a	46.78 ab
T1	13.54 a	14.39 a	0.30 a	0.23 a	4.42 a	4.38 a	9.82 a	13.28 a	32.82 a	57.47 a
T2	12.97 a	14.14 a	0.28 a	0.28 a	3.37 a	5.01 a	10.05 a	13.40 a	36.97 a	47.61 ab
T3	12.87 a	13.48 a	0.30 a	0.28 a	4.44 a	3.08 a	11.58 a	11.92 a	39.33 a	42.22 b
T4	13.76 a	13.76 a	0.30 a	0.27 a	5.79 a	3.47 a	11.08 a	11.76 a	37.63 a	44.24 b

2.3 含氯肥料用量对果实和叶片中 Cl⁻ 含量的影响

于成熟期采集苹果叶片和果实测定其 Cl⁻ 含量,得出旱地苹果园 CK、T1、T2、T3、T4 处理叶片和果实 Cl⁻ 平均含量分别为 10.65,16.79,13.93,36.83,43.77 mg/kg 和 60.87,53.67,75.16,74.69,98.71 mg/kg;水浇地苹果园 CK、T1、T2、T3、T4 处理叶片和果实 Cl⁻ 平均含量分别为 151.02,153.50,154.36,154.16,181.40 mg/kg 和 61.06,66.53,67.20,65.99,89.48 mg/kg。其中旱地 T4 处理叶片和果实 Cl⁻ 平均含量显著高于其余处理($P<0.05$),较 CK 分别提高 62.16% 和 311.02%;水浇地 T4 处理叶片和果实中的 Cl⁻ 含量分别较 CK 显著增加 20.11% 和 46.55% ($P<0.05$),其余处理间叶片和果实中 Cl⁻ 含量差异均不显著。

对叶片和果实中 Cl⁻ 含量与肥料中 Cl⁻ 用量的相关性进行线性拟合,结果见图 1。图 1 表明,旱地

和水浇地果园 Cl⁻ 用量与叶片和果实中 Cl⁻ 含量均符合线性相关关系,相关系数均达到显著或极显著水平。这表明随着肥料中 Cl⁻ 用量的增加,旱地和水浇地苹果叶片和果实中 Cl⁻ 含量均明显增加。

图 1 还显示,在旱地和水浇地苹果园中,Cl⁻ 在果实和叶片中的分配规律不同。在旱地果园中,果实中 Cl⁻ 含量是叶片的 2~5 倍,而水浇地叶片中 Cl⁻ 含量是果实的 2 倍多。

2.4 含氯肥料用量对土层中 Cl⁻ 含量分布的影响

图 2 显示,旱地果园中,0~200 cm 土层 Cl⁻ 含量 36.11~185.78 mg/kg,其中,CK 处理土壤 Cl⁻ 含量为 36.11~74.96 mg/kg,平均为 53.36 mg/kg;T1 处理土壤 Cl⁻ 含量在 39.28~100.29 mg/kg,平均为 73.85 mg/kg;T2 处理土壤 Cl⁻ 含量 46.85~113.40 mg/kg,平均为 72.86 mg/kg;T3 处理土壤 Cl⁻ 含量 107.97~180.67 mg/kg,平均为 99.26 mg/kg;T4 处理土壤 Cl⁻ 含量则 97.47~185.78 mg/kg,平均为 113.88 mg/kg。可知 T3、

T4 处理土壤中 Cl^- 含量明显高于其他处理,且土壤表层 Cl^- 下移作用最为明显,在 60~80 cm 土层 Cl^- 含量出现了明显的累积峰,在 140~200 cm 土层各处理间受施肥影响的程度变小, Cl^- 含量差异

随土层深度增加而逐渐减小。CK、T1、T2、T3、T4 处理 0~100 cm 土层 Cl^- 平均含量依次为 56. 91, 91. 83, 88. 17, 144. 44, 145. 85 mg/kg, 这与对应处理叶片 Cl^- 含量排序规律一致。

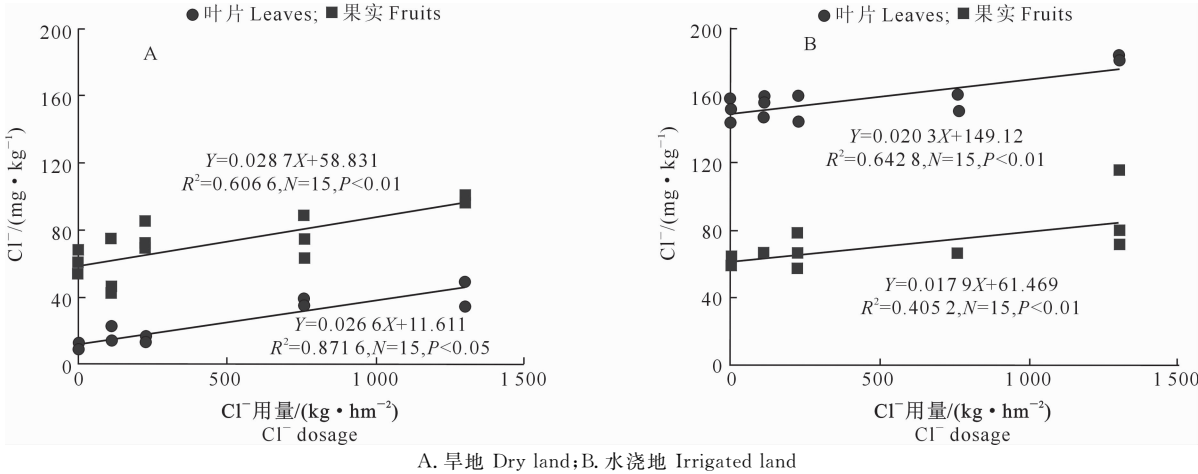


图 1 含氯肥料用量对苹果成熟期叶片、果实中 Cl^- 含量的影响

Fig. 1 Effect of chlorine-containing fertilizers on Cl^- contents in leaves and fruits of apples

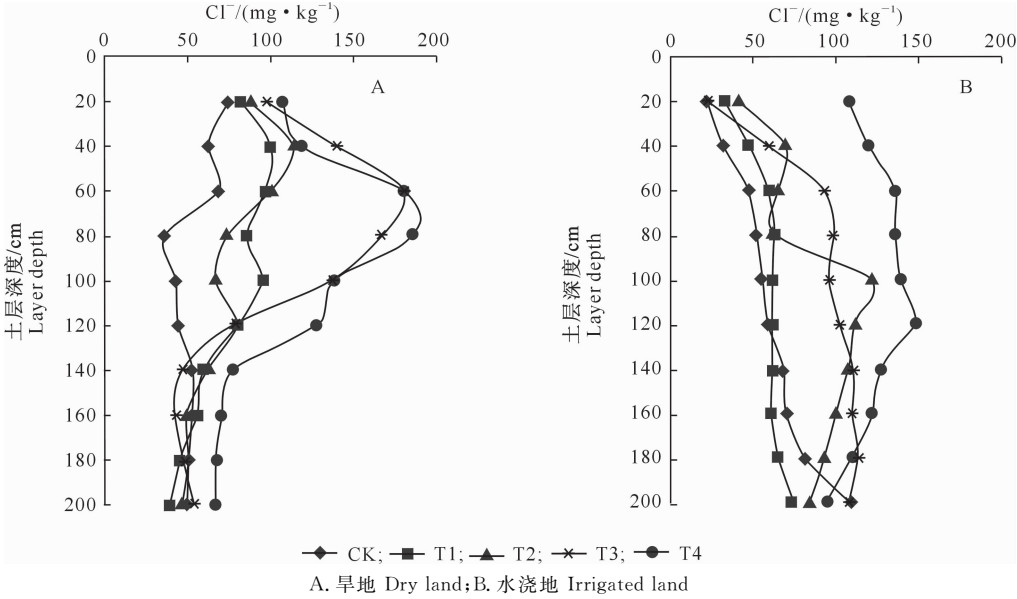


图 2 含氯肥料用量对苹果园土壤中 Cl^- 含量的影响

Fig. 2 Effects of chlorine-containing fertilizer on Cl^- content in soil of apple orchards

图 2 还显示,水浇地果园中,各处理 0~200 cm 土层 Cl^- 含量 22. 16~147. 71 mg/kg。土壤 Cl^- 含量总体上随着 Cl^- 用量的增加而增大,处理间差异明显。各处理 Cl^- 含量变化和平均值依次为:CK. 21. 82~108. 84 和 59. 32 mg/kg; T1. 32. 68~73. 93 和 58. 51 mg/kg; T2. 40. 82~121. 32 和 85. 48 mg/kg; T3. 22. 16~113. 00 和 90. 95 mg/kg; T4. 107. 97~147. 71 和 123. 90 mg/kg。在 0~180 cm 土层,T4 处理 Cl^- 含量明显高于其他处理。CK、T1、T2、T3、T4 处理 0~100 cm 土层的 Cl^- 平均含

量依次为 41. 46, 52. 60, 72. 03, 73. 49, 127. 76 mg/kg, 这与 Cl^- 用量排序一致,与植株成熟叶片和果实中的 Cl^- 含量排序也基本吻合。

从图 2 还可以看出,在 0~120 cm 土层,不同含氯肥料用量处理的 Cl^- 含量较 CK 均有所增加,且总体上随着 Cl^- 用量的增加而增大。旱地果园中,所有处理成熟期 0~100 cm 土层 Cl^- 累积量占 0~200 cm 土层的 60% 以上,可知 Cl^- 主要分布在 0~100 cm 土层,表明 Cl^- 在旱地苹果整个生育期受到水分的淋洗效应仍主要作用在 0~100 cm 土层。在

水浇地果园,所有处理 100~200 cm 土层 Cl^- 累积量占 0~200 cm 土层的 60%,可见水浇地对 Cl^- 淋洗作用更强,淋洗深度更深, Cl^- 主要在深层土壤累积,不会被植株大量吸收。

3 讨 论

3.1 氯肥用量对苹果产量及品质的影响

本试验结果表明,在其他栽培管理措施一致、N、P、K 养分投入完全相同的情况下,不同氯肥用量处理的苹果产量和品质在旱地和水浇地果园差异均不显著。这与前人在番茄^[23]和茼蒿^[24]上的研究结果相类似,也与周金梅^[25]在玉米等作物上的研究结果一致。前人研究发现,作物对氯的奢侈吸收阶段相当宽,氯对作物的毒害浓度范围较大不易界定。毛知耘等^[26]以所获产量为对照产量 90%~80% 的处理对应的施氯浓度为轻度氯中毒浓度,所获产量为对照产量 50% 的处理对应的施氯浓度为严重氯中毒浓度。本试验旱地果园中,T1、T2、T3、T4 处理的苹果产量分别为 CK 的 89.83%,91.93%,91.97%,90.77%,表明苹果树有轻度氯中毒趋势,据此可以判断若继续增加氯肥用量(氯用量大于 1 300 kg/hm²)可能会有中度氯中毒的风险,故含氯肥料在水分少的旱地中需谨慎施用^[27]。而在水浇地果园中,T1、T2、T3、T4 处理苹果产量分别是 CK 的 112.20%,110.50%,106.32%,102.70%,表明水浇地苹果树无氯素中毒风险。已有研究也表明,施用氯化铵对提高水稻、棉花、甘蔗上等需水量大的作物产量有很好的效果^[28],因此含氯肥料可能更适宜在水浇地条件下施用。

3.2 氯肥用量对苹果树体 Cl^- 吸收及分配的影响

本试验结果表明,苹果叶片及果实中 Cl^- 含量随着氯肥用量的增加而呈显著增大趋势,这与肖丽等^[29]在氯对白菜幼苗的生长影响中研究结果一致。但 Cl^- 在不同器官中的分配比例受多个因素的影响。一般而言, Cl^- 在蒸腾量少的器官含量极低,如在农作物中 Cl^- 在茎叶分布多,而在籽粒中少^[2]。孙慧敏等^[30]研究表明, Cl^- 在小麦地上部分分配取决于蒸腾强度。杨莉莉^[15]在灌水量高的猕猴桃施氯试验中也发现,叶片 Cl^- 含量要高于果实。而本研究在水浇地和旱地苹果园中发现:虽水浇地和旱地果实 Cl^- 含量接近,但 Cl^- 在叶片和果实中的分布规律却相反,水浇地中叶片 Cl^- 含量远高于果实,而旱地中叶片 Cl^- 含量明显低于果实。推测 Cl^- 分配规律的不同可能与砧木有关,本研究中旱地苹果

树砧木为秋富 6 号,水浇地苹果树砧木为海棠。因有研究显示,砧木对 Cl^- 胁迫响应存在基因型差异,所以树体对 Cl^- 适应机制有所不同,从而影响到 Cl^- 吸收与分配^[31],而且根据姚峰先等^[32-33]对不同砧木的纽荷尔脐橙所做的氯肥试验结果也表明, Cl^- 在脐橙各个器官中的分配状况因砧木不同而差异明显。

Cl^- 在苹果树叶片和果实中分配状况的不同会导致果园 Cl^- 携出量差异明显。本试验中,水浇地苹果果实收获及叶片凋落清理出园区后,会携出大量 Cl^- ,从而使得更少的 Cl^- 留在土壤,降低 Cl^- 在土壤中的含量;而旱地果园中,叶片及果实带走的 Cl^- 含量较少,加之水分来源少淋洗量少,投入的 Cl^- 更多的留在了土壤。因此从这一角度也可以判断出含氯肥料更适宜在灌溉条件充足的水浇地施用。

3.3 氯肥用量对苹果园土壤 Cl^- 含量垂直分布的影响

苹果树 90% 以上的根系集中在 0~80 cm 土层^[34],若大量 Cl^- 存于果园土壤中,会对苹果根系产生高盐胁迫,使树体产生渗透胁迫和离子毒害^[35]。高艳敏等^[12]针对幼树进行的盆栽苹果耐氯能力研究结果表明,土壤中 Cl^- 含量在 200 mg/kg 以内为安全含量, Cl^- 含量高于 400 mg/kg 以上为毒害浓度。本研究中,旱地和水浇地苹果树均为 8 年生,且不同氯肥用量处理土壤中 Cl^- 含量均在 190 mg/kg 以下,均在安全范围内,因此不会对苹果正常生长造成不良影响。

Cl^- 在土壤中具较强的移动性。果园土壤中 Cl^- 的垂直分布受到施肥、降雨、植株吸收等因素影响^[13]。本研究中,旱地果园土壤 Cl^- 含量垂直分布波动较大,氯肥用量越高土壤中 Cl^- 含量越高,且 Cl^- 主要累积在 0~100 cm 土层,虽受到水分的淋洗作用,但淋洗深度浅。水浇地土壤中 Cl^- 含量垂直分布相对均匀,不同氯肥用量处理间差异明显, Cl^- 含量随着氯肥用量的增加而增大,灌水后对 Cl^- 淋洗作用明显,主要分布在 100~200 cm 土层,不会在根层大量残留 Cl^- ,说明在灌水条件下,可降低表层土壤中的 Cl^- 残留,降低植株对 Cl^- 吸收,这与程奕等^[36]研究结果一致。

4 结 论

1)黄土高原地区的旱地和水浇地苹果园中,投入 0~1 300 kg/hm² Cl^- 后,随着 Cl^- 用量的增加,

苹果叶片和果实中的 Cl^- 含量均明显增加,但其增加幅度在旱地和水浇地不一致。

2)随着 Cl^- 用量的增加,旱地和水浇地苹果园的 Cl^- 含量在 0~200 cm 土层垂直分布存在明显差异,由于受水分影响,水浇地果园土壤中 Cl^- 下移作用明显强于旱地果园。

3)施用中低量(0~763 kg/hm²) Cl^- 后, Cl^- 对旱地及水浇地苹果产量、品质均没有不良影响,更高用量的 Cl^- 还需谨慎施用,尤其在旱地苹果园中。适量低成本的含氯肥料(氯化铵、氯化钾)可在苹果园中短期施用,且施用量相同条件下水浇地表现优于旱地。

[参考文献]

[1] Broyer T C,Carlton A B,Johnson C M,et al. Chlorine:a micro-nutrient element for higher plants [J]. *Plant Physiology*,1954,29(6):526.

[2] 陆景陵.植物营养学:上册 [M]. 北京:中国农业大学出版社,2003:13-27.

Lu J L. Plant nutrition:1 [M]. Beijing:China Agricultural University Press,2003:13-27.

[3] 程明芳,金继运,李春花,等. 氯离子对作物生长和土壤性质影响的研究进展 [J]. *浙江农业科学*,2010(1):12-14.

Cheng M F,Jin J Y,Li C H,et al. The review about the impact of chloride ion on crop growth and soil properties [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*,2010(1):12-14.

[4] 余金龙,陈若星,王玉帅,等. 施氯量对烤烟生长及品质的影响 [J]. *中国烟草科学*,2011,32(6):60-62.

Yu J L,Chen R X,Wang Y S,et al. Effects of chlorine application rate on growth and quality of flue-cured tobacco [J]. *Chinese Tobacco Science*,2011,32(6):60-62.

[5] 沈 浦,李冬初,高菊生,等. 长期施用含硫与含氯肥料对水稻产量及其构成要素的影响 [J]. *中国农业科学*,2010,43(2):322-328.

Shen P,Li D C,Gao J S,et al. Effects of long-term application of sulphur-containing and chloride-containing chemical fertilizers on yield and its components of rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2010,43(2):322-328.

[6] Freeman K W,Girma K,Mosali J,et al. Response of winter wheat to chloride fertilization in sandy loam soils [J]. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*,2006,37:1947-1955.

[7] 姜安夫,白玉阁,孙绍长. 含氯三元复合肥肥效试验 [J]. *北方果树*,1995(3):15.

Jiang A F,Bai Y G,Sun S C. The test of chlorine ternary compound fertilizer effect [J]. *Northern Fruits*,1995(3):15.

[8] 毛知耘,李家康,何光安,等. 中国含氯化肥 [M]. 北京:中国农业出版社,2001.

Mao Z Y,Li J K,He G A,et al. The chloride fertilizer of China [M]. Beijing:China Agricultural Press,2001.

[9] 宁安忠,刘 学,孙万宝,等. 氯化钾在苹果上的应用试验 [J]. *山西果树*,2000(3):46-47.

Ning A Z,Liu X,Sun W B,et. al. The application test of potassium chloride on apple tree [J]. *Shanxi Fruits*,2000(3):46-47.

[10] 陶世秋,陈绍荣,邵建华,等. 中国主要农作物营养套餐施肥技术 [M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2013.

Tao S Q,Chen S R,Shao J H,et al. Main crop nutrition fertilizer application and technology of China [M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press,2013.

[11] Szewczuk A,Komosa A,Gudarsowska E. Effect of soil potassium levels and different potassium fertilizers on yield, microelement and chloride nutrition status of apple trees in full fruiting period [J]. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*,2011,10(1):83-94.

[12] 高艳敏,栾本荣,辛贵金,等. 果树施用氯化钾的效应 [J]. *北方果树*,1995(3):6-8.

Gao Y M,Luan B R,Xin G J,et al. The effect of potassium chloride on apple tree [J]. *Northern Fruits*,1995(3):6-8.

[13] 郭全恩,王益权,郭天文. 半干旱地区果园土壤 Cl^- 迁移积累与环境因子的关系 [J]. *核农学报*,2009,23(5):853-857.

Guo Q E,Wang Y Q,Guo T W. Relationship between chlorine ion transfer accumulation and environmental factors in orchards soil of semi-arid region [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*,2009,23(5):853-857.

[14] 杨云马,李廷瑞,孙彦铭,等. 盐渍化棉田施用含氯肥料对土壤及棉花产量的影响 [J]. *华北农学报*,2014,29(S1):339-343.

Yang Y M,Li T R,Sun Y M,et al. Effect of chlorine fertilizer application in saline soil on soil Cl^- and cotton yield [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*,2014,29(S1):339-343.

[15] 杨莉莉. 不同肥料对猕猴桃产量、品质及果园养分含量的影响 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2016.

Yang L L. Effect of different fertilizer application on kiwifruit yield,quality and the orchard nutrient [D]. Yangling,Shaanxi:Northwest A&F University,2016.

[16] Zenda T,Yao D,Duan H,et al. Sulphur and chlorine effects on yield and quality in fresh corn [J]. *International Journal of Plant & Soil Science*,2017,18(1):1-10.

[17] Sutradhar A K,Kaiser D E,Behnken L M. Soybean response to broadcast application of boron, chlorine, manganese, and zinc [J]. *Agronomy Journal*,2017,109(3):1048-1059.

[18] Rodríguez J. Influence of salinity on pip gene expression in citrus roots and its relationship with root hydraulic conductance, transpiration and chloride exclusion from leaves [J]. *Environmental & Experimental Botany*,2012,78(1):163-166.

[19] Saúde C,Barros T,Mateus T,et al. Effect of chloride salts on the sensory and nutritional properties of cracked table olives of the Macanilha Algarvia cultivar [J]. *Food Bioscience*,2017,19:73-79.

[20] Bautista-Gallego J,Arroyo-López F N,López-López A,et al. Effect of chloride salt mixtures on selected attributes and mineral content of fermented cracked Aloreña olives [J]. *LWT-Food Science and Technology*,2011,44(1):120-129.

- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agro-chemistry analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [22] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.
Cao J K, Jiang W B, Zhao Y M. The physiological and biochemical experiment instruction of postharvest fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [23] 杨皓宇, 邓洪波, 郭燕梅, 等. 含氯专用肥料对番茄产量及品质影响初探 [J]. 四川农业科技, 2016(7): 42-44.
Yang H Y, Deng H B, Guo Y M, et al. Chlorine special fertilizer on tomato yield and quality impact study [J]. Journal of Sichuan Agricultural Science and Technology, 2016(7): 42-44.
- [24] 李楠, 邓兰生, 涂攀峰, 等. 叶用莴苣对氯的吸收和累积规律研究 [J]. 热带作物学报, 2015, 36(4): 656-659.
Li N, Deng L S, Tu P F, et al. The law of chlorine absorption and accumulation in lettuce [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2015, 36(4): 656-659.
- [25] 周金梅. 长期施用含氯化肥在 Cl^- 土壤中的迁移及其对土壤理化性质的影响 [D]. 辽宁沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
Zhou J M. The migration of Cl^- in the soil and its effects on the physical and chemical properties of the soil after the long-term use of chloride-containing fertilizers [D]. Shenyang, Liaoning: Shenyang Agricultural University, 2008.
- [26] 毛知耘, 周则芳, 石孝均, 等. 植物氯素营养与含氯化肥科学施用 [J]. 中国工程科学, 2000, 2(6): 64-66.
Mao Z Y, Zhou Z F, Shi X J, et al. Chlorine nutrition of plant and application of chlorine-containing fertilizers [J]. Engineering Science, 2000, 2(6): 64-66.
- [27] Megda M X V, Mariano E, Leite J M, et al. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2014, 72: 84-87.
- [28] Megda M X V, Trivelin P C O, Otto R, et al. Agronomic efficiency of nitrogen fertilizers on green harvesting sugarcane ratoon [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2013, 47(12): 1681-1690.
- [29] 肖丽, 孙宁波, 隋方功. 氯对白菜幼苗的生长及养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 608-612.
Xiao L, Sun N B, Sui F G. Effects of chlorine on the growth and nutrient absorption of *Brassica campestris* L. ssp. *Pekinensis* (Lour) Olsson [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2008, 14(3): 608-612.
- [30] 孙慧敏, 王益权, 刘军, 等. 氯离子在土壤水分与作物生长关系研究中的指示作用 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(11): 2302-2306.
Sun H M, Wang Y Q, Liu J, et al. Indicating role of Cl^- in the relation between soil water and crop growth [J]. Acta Botanica Boreo-Occident Sinica, 2006, 26(11): 2302-2306.
- [31] Sykes S R. Chloride and sodium excluding capacities of citrus rootstock germplasm introduced to Australia from the People's Republic of China [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 128(4): 443-449.
- [32] 姚锋先, 管冠, 刘桂东, 等. 不同砧木组荷尔脐橙幼苗对氯离子胁迫响应研究初报 [J]. 园艺学报, 2015, 42(S1): 26-34.
Yao F X, Guan G, Liu G D, et al. Preliminary study on the response of chloroplast to chloride stress in different stocks of newhall navel orange seedlings [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(S1): 26-34.
- [33] 姚锋先, 管冠, 谢金招, 等. 不同氯水平对两种脐橙砧穗组合幼苗的影响 [J]. 湖北农业科学, 2016(19): 5018-5020.
Yao F X, Guan G, Xie J Z, et al. Study the effect of different chloride levels on two levels orange scion-rootstock combination seedlings [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016(19): 5018-5020.
- [34] 张劲松, 孟平, 尹昌君. 果农复合系统中果树根系空间分布特征 [J]. 林业科学, 2002, 38(4): 30-33.
Zhang J S, Meng P, Yin C J. Spatial distribution characteristics of apple tree roots in the apple-wheat intercropping [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(4): 30-33.
- [35] 高光林, 姜卫兵, 俞开锦, 等. 盐胁迫对果树光合生理的影响 [J]. 果树学报, 2003, 20(6): 493-497.
Gao G L, Jiang W B, Yu K J, et al. A review of studies on effect of salt stress on photosynthesis in fruit crops [J]. Journal of Fruit Science, 2003, 20(6): 493-497.
- [36] 程奕, 张玺, 李玉华, 等. 蔬菜作物长期施用含氯肥料对土壤相关性质的影响 [J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1487-1494.
Cheng Y, Zhang X, Li Y H, et al. Study on effects of long-term application of chloride-contained fertilizer to vegetables on related soil properties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(7): 1487-1494.