

# 湖北利川耕地土壤氯离子含量及空间分布

王朝东<sup>1\*</sup>, 李刚<sup>2</sup>, 陈固<sup>3</sup>, 罗耀书<sup>1#</sup>, 周富忠<sup>3</sup>

<sup>1</sup>利川市凉雾乡农业服务中心, 湖北 利川

<sup>2</sup>利川市元堡乡农业服务中心, 湖北 利川

<sup>3</sup>利川市土壤肥料工作站, 湖北 利川

收稿日期: 2023年5月21日; 录用日期: 2023年6月20日; 发布日期: 2023年6月28日

## 摘要

本文采集、检测、统计并分析了湖北省利川市288个耕地土样的氯离子含量。结果表明, 氯离子点位均值 $28.17 \pm 79.90$  mg/kg, 为低量水平, 变幅0.37~754.46 mg/kg。近90%含量低或特低, 特高仅4个点。区域分布特征明显, 东部的团堡镇最高154.62 mg/kg (高量); 其次分别是最南端的文斗镇、齐跃山脉东麓的南坪乡、汪营镇, 为低量水平; 其它乡镇氯离子含量特低。团堡镇耕地氯离子在6个级中较均匀分布, 各级占比在10%~25%之间, 属乡镇特例; 其它乡镇80%以上或全部分布在特低水平。二高山、高山耕地氯离子含量相当, 为32 mg/kg, 略高; 低山特低8.71 mg/kg。水田(22.95 mg/kg)低于旱地(29.87 mg/kg)。不同成土母质发育的不同土类耕地氯离子含量差异较大, 石英砂岩(96.29 mg/kg) > 碳酸盐岩(33.84 mg/kg) > 河流冲积物(27.29 mg/kg) > 泥质砂页岩(20.26 mg/kg) > 第四纪黏土(19.60 mg/kg) > 紫色页岩(12.30 mg/kg); 棕壤(58.75 mg/kg) > 石灰土(50.09 mg/kg) > 潮土(38.23 mg/kg) > 黄棕壤(32.57 mg/kg) > 水稻土(见水田) > 紫色土(11.35 mg/kg) > 黄壤(10.91 mg/kg)。从统计学意义上看, 利川耕地氯离子与土壤pH呈显著正相关, 与全氮、有效磷、速效钾呈极显著正相关, 与交换性钙镁、容重呈显著负相关, 与有机质、阳离子交换量、交换性盐基总量、有效铁、有效锰相关性不显著。

## 关键词

湖北利川, 耕地, 氯离子, 空间分布, 相关性

# Soil Chloride Ion Content and Spatial Distribution in Lichuan, Hubei Province

Chaodong Wang<sup>1\*</sup>, Gang Li<sup>2</sup>, Gu Chen<sup>3</sup>, Yaoshu Luo<sup>1#</sup>, Fuzhong Zhou<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Lichuan Liangwu Township Agricultural Service Center, Lichuan Hubei

<sup>2</sup>Lichuan Yuanbao Township Agricultural Service Center, Lichuan Hubei

<sup>3</sup>Lichuan Soil and Fertilizer Workstation, Lichuan Hubei

\*第一作者。

#通讯作者。

## Abstract

The chloride ion content of 288 cultivated land soil samples in Lichuan City, Hubei Province was collected, tested, and statistically analyzed in this paper. The results show that the average chloride ion site is  $28.17 \pm 79.90$  mg/kg, which is a low level with a range of 0.37~754.46 mg/kg. Nearly 90% of the content is low or extremely low, with only 4 points being extremely high. The regional distribution characteristics are obvious, with the highest concentration of 154.62 mg/kg (high) in Tuanbao Town in the east; next is the southernmost town of Wendou, Nanping Township at the eastern foot of the Qiyue Mountains, and Wangying Town, which is at a low volume level; the chloride ion content in other towns is particularly low. The distribution of chloride ions in the cultivated land of Tuanbao Town is relatively uniform among six levels, with a proportion of 10% to 25% at each level, which is a special case of the township; more than 80% or all of the other townships are distributed at extremely low levels. The chloride ion content in the two high mountains and high mountain cultivated land is equivalent, slightly higher at 32 mg/kg; low mountain and extremely low at 8.71 mg/kg. Paddy fields (22.95 mg/kg) are lower than dry lands (29.87 mg/kg). The content of chloride ions in cultivated land of different soil types developed from different soil-forming parent materials varies greatly. Quartz sandstone (96.29 mg/kg) > carbonate rock (33.84 mg/kg) > river alluvium (27.29 mg/kg) > argillaceous sand shale (20.26 mg/kg) > quaternary clay (19.60 mg/kg) > purple shale (12.30 mg/kg); brown soil (58.75 mg/kg) > lime soil (50.09 mg/kg) > chao soil (38.23 mg/kg) > yellow brown soil (32.57 mg/kg) > rice soil (see paddy fields) > purple soil (11.35 mg/kg) > yellow soil (10.91 mg/kg). From a statistical perspective, chloride ions in Lichuan cultivated land are significantly positively correlated with soil pH, extremely significantly positively correlated with total nitrogen, available phosphorus, and available potassium, and significantly negatively correlated with exchangeable calcium, magnesium, and bulk density. There is no significant correlation with organic matter, cation exchange capacity, total exchangeable base, available iron, and available manganese.

## Keywords

Hubei Lichuan, Cultivated Land, Chloride Ion, Spatial Distribution, Relevance

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

氯是植物必需的营养元素，而且是7种微量元素中含量最高的一种，需要量与铁大体相等[1]。在植物体内，氯主要以离子形式存在，参与光合作用中的希尔反应、促进细胞伸长、有助于膨压形成和电解质平衡、调节细胞渗透压及气孔开放，并刺激酶活性等[2]。作物缺氯会导致生长发育迟缓，易造成根系吸水能力降低，出现营养不良；叶缘萎蔫，幼叶失绿，根系伸长强烈受阻，根系细短，侧根稀少。当氯离子浓度长时间过高时，也会抑制作物正常生长，产生氯毒，降低产量及品质，甚至绝收；主要症状有：发芽率降低、敏感作物出现烧苗烂根、生长受抑制、叶绿素含量降低、叶色灰白、生长点坏死、引发大量落叶和落果等。重点表现在三个方面[3]：一是不利于糖转化为淀粉，块根、块茎淀粉含量降低，品质

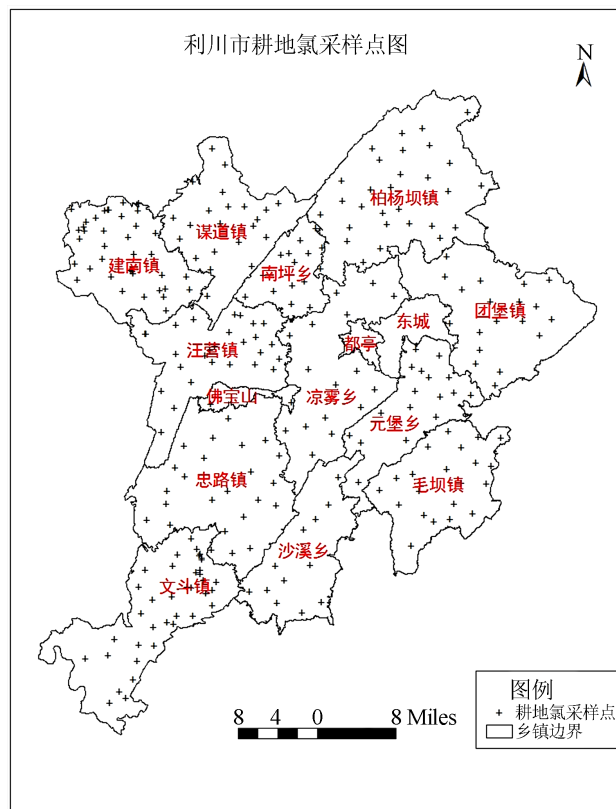
变差；二是促进碳水化合物水解，导致果树、蔬菜等果实含糖量降低、酸度提高，风味欠佳；三是影响烟草的香味和燃烧性能，卷烟易熄火。

耕地是作物氯营养的主要来源，土壤中氯的丰缺直接关系到作物的产量和品质，不足或过多都会对作物产生不良影响。氯在地壳中的含量只有 0.05%，土壤平均含氯 100 mg/kg 左右[4]。我国农用地土壤氯平均 59.4 mg/kg，大致分布规律是长江流域以南、东北地区以及云、贵高原的黄壤含氯量较低；长江以南的主要土壤含氯量 34.2 mg/kg，变幅 30.0~40.0 mg/kg；贵州、云南等地区的黄壤含氯量 6.6 mg/kg，变幅 0.0~37.0 mg/kg；东北三省的土壤含氯量 31.8 mg/kg，变幅 25.0~35.0 mg/kg；华北地区的土壤含氯量中等，平均 69.5 mg/kg；西北地区的含氯量较高，平均 126.0 mg/kg；所有的盐渍土及海相或海潮沉积土含氯量高，平均 366.0 mg/kg [5]，易对作物产生氯危害。湖北利川耕地氯含量及分布研究报道较少，邹焱[6]等对利川植烟土壤的氯含量有过研究，但点位少，代表性不强，不足以反映利川耕地的全面情况。因此，全面研究耕地氯含量及空间分布对利川市特色农业的发展意义重大，可正确指导烟农、药农、茶农、菜农、果农等对“忌氯作物”科学施用含氯肥料，降低肥料投入，促进节本增效。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 土壤样品来源

2022 年，利川市耕地质量等级评价项目所采土壤样品共计 288 个，其中水田 71 个、旱地 217 个，覆盖全市 12 个乡镇(见图 1)，都亭、东城 2 个办事处和佛宝山开发区耕地面积较小，未采样。采样时间为 3~5 月，作物播种或移栽前。以自然田块为采样单元，按 NY/T 1121.1-2006 要求采集耕层土样。



**Figure 1.** Distribution of chlorine sampling points on cultivated land in Lichuan City  
**图 1.** 利川市耕地氯采样点分布图

## 2.2. 土样检测方法

土样委托湖北省地矿局恩施实验室检测, 氯离子含量按 NY/T 1121.17-2006 规定测定。称取过 2 mm 风干土样 50 g (精确到 0.01 g) 放入 500 ml 大口塑料瓶中, 加入 250 ml 无二氧化碳蒸馏水(土水比 1:5), 振荡 3 分钟后过滤, 吸取滤液 25.00 ml 于 150 ml 三角瓶中, 滴加 5% 铬酸钾指示剂 8 滴, 在不断摇动下用 0.02 mol/L 硝酸银标准溶液滴定, 至出现砖红色沉淀且经摇动不再消失为止, 同时作空白试验。铬酸钾指示剂的用量与滴定终点到来的迟早有关, 经计算 25 ml 待测液中加 8 滴指示剂为宜; 滴定过程中溶液出现稳定的砖红色时, 银离子已微过量, 因此滴定终点颜色不宜过深; 待测液的 pH 必须保持在 6.5~10.0, 因低于 6.5 时, 铬酸银会溶解, 高于 10.0 时, 则会生成氧化银黑色沉淀, 滴定前可用碳酸氢钠溶液调节待测液 pH。

另外, 还检测了耕地土样的 pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾、阳离子交换量(CEC)、交换性盐基总量、交换性钙、交换性镁、有效铁、有效锰、容重等项目。检测方法及标准见表 1。

**Table 1.** Soil sample testing standards and methods

**表 1.** 土样检测标准与方法

序号	检测项目	检测标准	检测方法
1	pH	NY/T 1121.2-2006	酸度计法
2	有机质	NY/T 1121.6-2006	重铬酸钾 - 硫酸处理, 容量法
3	全氮	NY/T 1121.24-2012	自动定氮仪法
4	有效磷	NY/T 1121.7-2014	氟化铵 - 盐酸溶液浸提, 分光光度计法
5	速效钾	NY/T 889-2004	醋酸铵浸提, 火焰光度法
6	CEC	LY/T 1243-1999	1 mol/L 乙酸铵交换, 半微量开氏蒸馏法
7	交换性盐基总量	LY/T 1244-1999	1 mol/L 乙酸铵交换、蒸干、灼烧, 容量法
8	交换性钙、镁	NY/T 1121.13-2006	乙酸铵浸提, 原子吸收分光光度法
9	有效铁、锰	NY/T 890-2004	DTPA 浸提, 原子吸收分光光度法
10	容重	NY/T 1121.4-2006	环刀法

## 2.3. 评价依据及数据统计分析

江泽普等报道[7], P.R. Fixeg 把美国南达科他洲土壤氯含量划分为低量(<5 mg/kg)、中量(5~10 mg/kg)、高量(>10 mg/kg) 3 个等级; 我国多将植烟土壤氯离子含量[8] [9]划分为很低(<10 mg/kg)、偏低(10~20 mg/kg)、适宜(20~30 mg/kg)、偏高(30~45 mg/kg)和很高(> 45 mg/kg) 5 个等级; 毛知耘等[5]将土壤氯离子含量划分为特低(<25 mg/kg)、低(25~50 mg/kg)、中下(50~100 mg/kg)、中上(100~150 mg/kg)、高(150~300 mg/kg)和特高(> 300 mg/kg) 6 个级。本文按此 6 级标准对土壤氯离子进行评价, 均值皆为点位算术平均值。

按雷志栋等[10]的<10%为弱变异性、10%~100%为中等变异性、>100%为强变异性的等级划分标准评价变异系数。用《县域耕地资源管理信息系统》绘制采样点图, 用 Excel 进行数据统计分析及相关性分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 利川耕地氯离子含量及行政空间分布

利川耕地氯离子(表 2)平均  $28.17 \pm 79.90$  mg/kg, 处于低量水平, 变幅 0.37~754.46 mg/kg, 变异系数 283.67%, 强变异。均值区域分布特征明显, 地处东部的团堡镇最高(154.62 mg/kg), 达到高量水平; 其次分别是最南端的文斗镇, 中西部齐跃山脉东麓的南坪乡、汪营镇, 3 个乡镇处于低量水平; 以上 4 个

乡镇高于全市平均水平。再次分别是齐跃山以西的谋道镇、正中部的凉雾乡、西南部的忠路镇、正北部的柏杨坝镇、东南端的毛坝镇、中东部的元堡乡、正西部的建南镇、正南端的沙溪乡，这 8 个乡镇处于特低水平。极高值和极低值都出现在汪营镇的两个相邻村(最大值在石朝门村、最小值在十户场村)。变异系数由高到低分别为：汪营镇、文斗镇、凉雾乡、谋道镇、忠路镇、南坪乡、柏杨坝镇、建南镇，以上 8 个乡镇为强变异；接着为团堡镇、沙溪乡、毛坝镇、元堡乡这 4 个乡镇为中等变异。

利川耕地氯离子整体水平低，85%以上的点位处于特低水平，近 5%为低水平，中、高及特高水平的仅占 10%略多，大于 300 mg/kg 的特高水平仅 4 个点，分别分布在汪营镇的石朝门村、文斗镇堰塘村、团堡镇的石板岭村和大垭村。团堡镇耕地氯离子在 6 个级中较均匀分布，各级占比在 10%~25%之间，属乡镇中特例；其它乡镇 80%以上为特低水平，元堡和沙溪 2 个乡镇全部在特低水平(表 3)。

**Table 2.** Statistical analysis of chloride ion content in cultivated land of various towns and towns in Lichuan City  
**表 2.** 利川市各乡镇耕地氯离子含量统计分析表

乡镇	样品数 (个)	均值 (mg/kg)	位次	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	极差 (mg/kg)	标准差	变异系数 (%)
利川市	288	28.17		754.46	0.37	754.09	79.90	283.67
柏杨坝镇	29	12.70	8	87.17	4.16	83.00	15.92	125.40
建南镇	43	8.10	11	37.18	1.39	35.79	8.98	110.90
凉雾乡	14	17.29	6	153.04	1.03	152.01	40.66	235.14
毛坝镇	22	11.86	9	32.52	6.43	26.09	5.41	45.64
谋道镇	19	22.12	5	195.59	1.19	194.39	46.64	210.85
南坪乡	14	29.34	3	160.68	4.34	156.34	45.29	154.36
沙溪乡	12	7.29	12	16.31	3.47	12.85	3.81	52.33
团堡镇	16	154.62	1	476.58	12.18	464.40	138.09	89.31
汪营镇	44	29.05	4	754.46	0.37	754.09	113.18	389.54
文斗镇	39	43.81	2	694.70	1.50	693.20	121.83	278.10
元堡乡	15	11.79	10	22.87	4.10	18.78	5.36	45.46
忠路镇	21	16.00	7	141.98	1.27	140.72	33.19	207.40

**Table 3.** Classification statistics of chloride ion content in cultivated land of various towns and towns in Lichuan City  
**表 3.** 利川市各乡镇耕地氯离子含量分级统计表

乡镇	样品数		≤25 mg/kg		25~50		50~100		100~150		150~300		>300	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
利川市	288	100.00	246	85.42	13	4.51	10	3.47	6	2.08	9	3.13	4	1.39
柏杨坝	29	10.07	26	89.66	2	6.90	1	3.45	0	0.00	0	0.00	0	0.00
建南镇	43	14.93	40	93.02	3	6.98	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
凉雾乡	14	4.86	12	85.71	1	7.14	0	0.00	0	0.00	1	7.14	0	0.00
毛坝镇	22	7.64	21	95.45	1	4.55	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
谋道镇	19	6.60	16	84.21	1	5.26	1	5.26	0	0.00	1	5.26	0	0.00
南坪乡	14	4.86	11	78.57	1	7.14	0	0.00	1	7.14	1	7.14	0	0.00
沙溪乡	12	4.17	12	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
团堡镇	16	5.56	3	18.75	2	12.50	3	18.75	2	12.50	4	25.00	2	12.50
汪营镇	44	15.28	39	88.64	2	4.55	2	4.55	0	0.00	0	0.00	1	2.27
文斗镇	39	13.54	32	82.05	0	0.00	2	5.13	2	5.13	2	5.13	1	2.56
元堡乡	15	5.21	15	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
忠路镇	21	7.29	19	90.48	0	0.00	1	4.76	1	4.76	0	0.00	0	0.00

### 3.2. 利川耕地氯离子不同海拔空间分布

利川习惯按海拔高度分区,海拔低于 800 m 的为低山、800~1200 m 的为二高山、1200 m 以上的为高山,耕地主要分布在二高山和高山地区,低山、二高山、高山耕地比例约为 10%、40%、50%。低山氯离子  $8.71 \pm 7.33$  mg/kg ( $n = 50$ ),处于特低量水平,变幅 1.76~37.18 mg/kg,变异系数 84.15%,中等变异;二高山  $32.21 \pm 89.47$  mg/kg ( $n = 177$ ),处于低量水平,变幅 0.37~754.46 mg/kg,变异系数 277.77%,强变异;高山  $32.38 \pm 81.43$  mg/kg ( $n = 61$ ),处于低量水平,变幅 1.19~476.58 mg/kg,变异系数 251.46%,强变异;二高山和高山地区氯离子含量基本相当,是低山的近 4 倍(表 4)。

低山耕地氯离子全部处于低到特低水平,且特低占 96%;二高山特低水平占 80%以上,其它各级较均匀分布,大于 300 mg/kg 的特高水平 2 个点在汪营镇石朝门村、文斗镇堰塘村;高山特低水平占 85%,其它各级较均匀分布,大于 300 mg/kg 的特高水平 2 个点在团堡镇相邻的石板岭村和大垭村(表 5)。

**Table 4.** Statistical analysis of chloride ion content in cultivated land at different altitude regions

**表 4.** 不同海拔区域耕地氯离子含量统计分析表

海拔	样品数(个)	均值(mg/kg)	最大值	最小值	极差	标准差	变异系数%
低山 $\leq 800$ m	50	8.71	37.18	1.76	35.42	7.33	84.15
二高山	177	32.21	754.46	0.37	754.09	89.47	277.77
高山 $> 1200$ m	61	32.38	476.58	1.19	475.39	81.43	251.46

**Table 5.** Classification statistics of chloride ion content in cultivated land at different altitude regions

**表 5.** 不同海拔区域耕地氯离子含量分级统计表

海拔	样品数		$\leq 25$ mg/kg		25~50		50~100		100~150		150~300		$> 300$	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
低山	50	17.36	48	96.00	2	4.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
二高山	177	61.46	146	82.49	10	5.65	6	3.39	5	2.82	8	4.52	2	1.13
高山	61	21.18	52	85.25	1	1.64	4	6.56	1	1.64	1	1.64	2	3.28

### 3.3. 利川耕地氯离子不同土类空间分布

利川土壤有 9 类,水田为水稻土,旱地有按海拔呈垂直地带分布的棕壤(1500 m 以上)、黄棕壤(800~1500 m)、黄壤(800 m 以下),呈微域分布的石灰土、紫色土,分布于河流两岸的潮土,以及高寒地带的草甸土和沼泽土,后两类为非耕地,面积小未采样。各土类面积占比为:黄壤 3.75%、黄棕壤 57.05%、棕壤 16.83%、紫色土 14.59%、石灰土 2.03%、潮土 0.04%、水稻土 5.69%、草甸土 0.01% (739 亩)、沼泽土 0.00% (200 亩),其中耕地面积占比分别为:黄壤 3.54%、黄棕壤 42.18%、棕壤 6.56%、紫色土 9.48%、石灰土 1.81%、潮土 0.27%、水稻土 36.15%。

按耕地利用类型划分(表 6、表 7),水田氯离子  $22.95 \pm 88.58$  mg/kg ( $n = 71$ ),处于特低水平,变幅 1.67~754.46 mg/kg,变异系数 386.05%,强变异;旱地  $29.87 \pm 76.99$  mg/kg ( $n = 217$ ),处于低量水平,变幅 0.37~694.70 mg/kg,变异系数 257.71%,强变异;水田除 1 个点离群为最高值外,其它点位都处于低至特低水平,且 87% 以上为特低水平;旱地近 85% 处于特低水平,其它各级较均匀分布。旱地比水田高,但差异不大。

按土类划分(表 6、表 7),不同土类耕地氯离子含量差异较大,棕壤  $>$  石灰土  $>$  潮土  $>$  黄棕壤  $>$  水稻土  $>$  紫色土  $>$  黄壤。棕壤  $58.75 \pm 115.94$  mg/kg ( $n = 10$ ),中下水平,变幅 2.14~373.42 mg/kg,变异

系数 197.34%，强变异；石灰土  $50.09 \pm 110.37$  mg/kg ( $n = 30$ )，中下水平，变幅 1.50~476.58 mg/kg，变异系数 220.35%，强变异；潮土  $38.23 \pm 54.53$  mg/kg ( $n = 6$ )，低量水平，变幅 2.28~141.98 mg/kg，变异系数 142.64%，强变异；黄棕壤  $32.57 \pm 83.41$  mg/kg ( $n = 105$ )，低量水平，变幅 0.37~694.70 mg/kg，变异系数 256.14%，强变异；水稻土(见水田)，已在利用类型中叙述；紫色土  $11.35 \pm 20.72$  mg/kg ( $n = 54$ )，特低水平，变幅 1.27~129.96 mg/kg，变异系数 182.57%，强变异；黄壤  $10.91 \pm 3.61$  mg/kg ( $n = 12$ )，特低水平，变幅 7.19~19.38 mg/kg，变异系数 33.11%，中等变异。棕壤 70%的点位处于特低水平，20%处于中下水平，10%处于特高水平；石灰土 80%以上为特低水平，其余为高和特高水平；潮土 2/3 处于特低水平，其余点位处于中等水平；黄棕壤 80%以上处于特低水平，其余各级都有分布；紫色土 90%以上处于特低水平，其余为低至中等水平；黄壤全部为特低水平。

**Table 6.** Statistical analysis of chloride ion content in different soil types

**表 6.** 不同土类氯离子含量统计分析表

土壤类型	样品数 (个)	均值 (mg/kg)	位次	最大值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	极差 (mg/kg)	标准差	变异系数 (%)
水稻土/水田	71	22.95	5	754.46	1.67	752.80	88.58	386.05
旱地	217	29.87		694.70	0.37	694.33	76.99	257.71
棕壤	10	58.75	1	373.42	2.14	371.28	115.94	197.34
石灰土	30	50.09	2	476.58	1.50	475.09	110.37	220.35
潮土	6	38.23	3	141.98	2.28	139.70	54.53	142.64
黄棕壤	105	32.57	4	694.70	0.37	694.33	83.41	256.14
紫色土	54	11.35	6	129.96	1.27	128.70	20.72	182.57
黄壤	12	10.91	7	19.38	7.19	12.19	3.61	33.11

**Table 7.** Classification statistics of chloride ion content in different soil types

**表 7.** 不同土类氯离子含量分级统计表

土壤类型	样品数		$\leq 25$ mg/kg		25~50		50~100		100~150		150~300		$>300$	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
水稻土/水田	71	24.65	62	87.32	8	11.27	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	1.41
旱地	217	75.35	184	84.79	5	2.30	10	4.61	6	2.76	9	4.15	3	1.38
棕壤	10	3.47	7	70.00	0	0.00	2	20.00	0	0.00	0	0.00	1	10.00
石灰土	30	10.42	25	83.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00	4	13.33	1	3.33
潮土	6	2.08	4	66.67	0	0.00	1	16.67	1	16.67	0	0.00	0	0.00
黄棕壤	105	36.46	87	82.86	2	1.90	6	5.71	4	3.81	5	4.76	1	0.95
紫色土	54	18.75	49	90.74	3	5.56	1	1.85	1	1.85	0	0.00	0	0.00
黄壤	12	4.17	12	100.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00

### 3.4. 利川耕地氯离子不同成土母质空间分布

利川土壤成土母质(母岩)主要分为碳酸盐岩、泥质砂页岩、紫色页岩、石英砂岩、第四纪黏土、河流冲积物等 6 大类，发育的土壤占比分别为：51.86%、17.32%、16.21%、12.89%、1.08%、0.64%；其中，旱地占比分别为：60.22%、15.30%、14.86%、6.44%、2.77%、0.42%；水田占比分别为：17.43%、21.55%、28.43%、13.61%、8.53%、10.44%。旱地 60%以上为碳酸盐岩发育，泥质砂页岩和紫色页岩发育的各占

15%左右;各成土母质发育的水田较均匀分布,紫色页岩发育的约占30%,其它母质发育的在8%~22%之间。

不同成土母质发育的耕地氯离子含量差异较大(表8、表9),石英砂岩 > 碳酸盐岩 > 河流冲积物 > 泥质砂页岩 > 第四纪黏土 > 紫色页岩。石英砂岩  $96.29 \pm 224.66$  mg/kg ( $n = 19$ ),处于中下水平,变幅1.50~754.46 mg/kg,变异系数233.32%,强变异;碳酸盐岩  $33.84 \pm 80.97$  mg/kg ( $n = 99$ ),处于低量水平,变幅1.03~476.58 mg/kg,变异系数239.27%,强变异;河流冲积物  $27.29 \pm 43.34$  mg/kg ( $n = 10$ ),处于低量水平,变幅1.03~141.98 mg/kg,变异系数158.81%,强变异;泥质砂页岩  $20.26 \pm 44.41$  mg/kg ( $n = 41$ ),处于特低水平,变幅1.19~249.99 mg/kg,变异系数215.48%,强变异;第四纪黏土  $19.60 \pm 31.15$  mg/kg ( $n = 48$ ),处于特低水平,变幅0.37~160.68 mg/kg,变异系数158.93%,强变异;紫色页岩  $12.30 \pm 18.76$  mg/kg ( $n = 71$ ),处于特低水平,变幅1.27~129.96 mg/kg,变异系数152.52%,强变异。

石英砂岩发育的耕地氯离子近70%处于特低水平,低和特高水平各占10%多,中下和高水平各占5%多;碳酸盐岩发育的近85%处于特低水平,其它各级基本均匀分布;河流冲积物发育的80%处于特低水平,中等水平占20%;泥质砂页岩发育的90%以上处于特低水平,其余较均匀分布于低量、中上和高水平;第四纪黏土发育的85%以上处于特低水平,其余较均匀分布在低量、中下、中上和高水平,特高水平无分布;紫色页岩发育的近90%处于特低水平,近10%分布于低量水平,中等水平有少量分布。

**Table 8.** Statistical analysis of chloride ion content in different soil-forming parent materials

**表 8.** 不同成土母质氯离子含量统计分析表

母质	样品数(个)	均值(mg/kg)	位次	最大值	最小值	极差	标准差	变异系数(%)
石英砂岩	19	96.29	1	754.46	1.50	752.96	224.66	233.32
碳酸盐岩	99	33.84	2	476.58	1.03	475.55	80.97	239.27
河流冲积物	10	27.29	3	141.98	2.28	139.7	43.34	158.81
泥质砂页岩	41	20.61	4	249.99	1.19	248.8	44.41	215.48
第四纪黏土	48	19.60	5	160.68	0.37	160.31	31.15	158.93
紫色页岩	71	12.30	6	129.96	1.27	128.69	18.76	152.52

**Table 9.** Classification statistics of chloride ion content in different soil-forming parent materials

**表 9.** 不同成土母质氯离子含量分级统计表

母质	样品数		$\leq 25$ mg/kg		25~50		50~100		100~150		150~300		$> 300$	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
石英砂岩	19	6.60	13	68.42	2	10.53	1	5.26	0	0.00	1	5.26	2	10.53
碳酸盐岩	99	34.38	84	84.85	2	2.02	4	4.04	1	1.01	6	6.06	2	2.02
河流冲积物	10	3.47	8	80.00	0	0.00	1	10.00	1	10.00	0	0.00	0	0.00
泥质砂页岩	41	14.24	37	90.24	1	2.44	0	0.00	2	4.88	1	2.44	0	0.00
第四纪黏土	48	16.67	41	85.42	2	4.17	3	6.25	1	2.08	1	2.08	0	0.00
紫色页岩	71	24.65	63	88.73	6	8.45	1	1.41	1	1.41	0	0.00	0	0.00

### 3.5. 利川耕地氯离子与土壤有机质、pH 等的相关性分析

运用 Excel 中 CORREL 函数求相关系数( $r$ ),用公式  $z = r\sqrt{N-1}$  计算统计量  $z$  值( $n > 30$ ),再运用给定概率正态分布的区间点函数 NORMINV (分布概率为 0.05/2、0.01/2,算术平均值为 0,标准差为 1)求  $z$



的 95%、99% 临界值, 对 288 个耕地土样氯离子含量与 pH、有机质、CEC、交换性盐基总量、交换性钙、交换性镁及土壤容重进行相关性分析, 结果见表 10。

从统计学意义上看, 利川耕地氯离子含量与土壤 pH 呈显著正相关, 与全氮、有效磷、速效钾呈极显著正相关, 与交换性钙、交换性镁、容重呈显著负相关, 与有机质、CEC、交换性盐基总量、有效铁、有效锰相关性不显著。

**Table 10.** Correlation analysis of chloride ion content in cultivated land with its pH, organic matter, etc.

**表 10.** 耕地氯离子含量与其 pH、有机质等的相关性分析表

项目	r	z	项目	r	z
pH	0.1256	2.1279*	有机质	0.1064	1.8031
全氮	0.3800	6.4382**	CEC	0.0051	0.0868
有效磷	0.2327	3.9429**	交换性盐基总量	-0.0863	-1.4616
速效钾	0.4948	8.3831**	有效铁	0.0571	0.9670
交换性钙	-0.1326	-2.2465*	有效锰	-0.0658	-1.1139
交换性镁	-0.1324	-2.2435*	容重	-0.1378	-2.3343*

注: 用 NORMINV 计算  $z_{0.05}$ 、 $z_{0.01}$  分别为 -1.95996、-2.57583。\*、\*\* 分别表示相关性显著、极显著。

## 4. 讨论

### 4.1. 氯元素在土壤中的残留

氯元素是作物必须的微量元素之一, 氯在土壤中多以离子形态存在, 容易随雨水、灌溉流失, 在土壤中残留量极少[11]。江泽普等[12]报道, 日本在 52 种土壤上试验, 46 种无残留, 只有 6 种黏质土有少量残留, 仅占当年施氯量的 4%~5%; 湖北荆州的棉田两年连续施用氯化铵, 20 cm 耕作层氯离子由 29 mg/kg 提升到 35 mg/kg, 仅 6 mg/kg 残留; 广西农科院土肥所连续 4 年亩使用含氯肥料 204 kg (每年 51 kg), 降雨多的年份残留少, 反之亦反, 土壤含氯量仅增加 15~17 mg/kg。

### 4.2. 影响土壤氯离子含量的因素

较多研究表明, 土壤母质、土壤类型、地形因子以及人类活动等均对土壤氯含量有明显影响[13] [14]。殷杰[15]的研究表明, 土壤的水溶性氯含量黄壤 > 石灰土 > 黄棕壤 > 紫色土 > 水稻土, 且土壤氯含量变化对烟株含氯量有明显影响。唐树梅等[16]认为, 不同土壤类型间氯含量差异主要与成土母岩存在密切关系。王勇[17]认为, 地形因子对土壤氯离子含量影响较大, 半阴坡土壤中的氯离子含量最高, 且随着坡度的增加呈递减趋势。此外, 李丹丹等[18]指出, 除了自然因素, 含氯肥料施用、灌溉等田间管理措施对土壤氯含量的影响也不容忽视。

### 4.3. 作物对氯离子敏感程度分级

不同作物对氯离子的需求和耐受量差异较大, 陶世秋等[19]把主要农作物对氯的敏感程度分为 5 级: 1 级特耐氯(不敏感), 耐氯值 > 1000 mg/kg; 2 级强耐氯(略敏感), 耐氯值 600~1000 mg/kg; 3 级中耐氯(中度敏感), 耐氯值 450~600 mg/kg; 4 级低耐氯(敏感), 耐氯值 300~450 mg/kg; 5 级弱耐氯(高度敏感), 耐氯值 150~300 mg/kg; 一般把 4~5 级低、弱耐氯作物视为“忌氯作物”。忌氯作物是对氯敏感或高度敏感作物的简单描述, 并非不需要氯营养, 不能“闻氯色变”、“望氯止步”。土壤氯离子含量过低, 就需要补施含氯肥料, 植烟土壤氯含量低于 50 mg/kg 就可以施用含氯肥料[6]。在氯含量低至特低的土壤上,

降水较多的季节, 或是对氯不敏感的作物上施用含氯肥料, 多数作物产量和品质都会有所提高。

#### 4.4. 含氯肥料对土壤的不良影响

但长期施用含氯肥料(包括氯化铵、氯化钾、含氯复合肥等), 会对土壤造成以下危害: 一是**土壤酸化板结**。含氯肥料多为生理酸性肥料, 会引起土壤变酸, 抑制有益微生物活动; 氯还与土壤中的钙结合生成氯化钙, 易溶解导致钙盐随水流失, 钙是土壤结构形成的必须元素, 大量流失会破坏土壤结构, 导致板结。二是**激活有毒离子**。氯与土壤中阳离子结合, 形成有害的氯化物, 对作物造成毒害。如易激活土壤中的铝、锰等金属元素产生毒害, 在石灰性土壤中形成氯化钙, 对作物生长不利。三是**诱导养分缺乏**。土壤中氯离子浓度过高会增高土壤渗透势, 限制氮、硫等养分的吸收, 从而导致作物缺素。四是**产生盐害**。在降水较少的北方地区, 高氯造成土壤中的盐分过高, 影响作物根系正常吸收水分和养分, 导致烧根和烧苗。随着国内氯化铵和氯化钾生产量的逐渐增加, 施用含氯化肥的面积不断扩大, 因方法不当、用量过高等对作物引起的氯毒害现象时有发生。土壤供氯浓度过大, 含氯量达到 5000 mg/kg 时, 对所有作物都有不同程度的危害[13]。

### 5. 结论

1) **利川耕地氯离子平面区域分布特征明显**。点位均值  $28.17 \pm 79.90$  mg/kg ( $n = 288$ ), 低量水平, 变幅 0.37~754.46 mg/kg。85% 以上处于特低水平(<25 mg/kg), 近 5% 处于低水平(25~50 mg/kg), 中、高及特高水平的仅占 10% 略多, 大于 300 mg/kg 的特高水平仅 4 个点, 分别分布在汪营镇的石朝门村、文斗镇堰塘村、团堡镇的石板岭村和大垭村。东部的团堡镇最高(154.62 mg/kg), 达到高量水平(150~300 mg/kg); 其次分别是最南端的文斗镇, 中西部齐跃山脉东麓的南坪乡、汪营镇, 处于低量水平; 再次分别是齐跃山以西的谋道镇、正中部的凉雾乡、西南部的忠路镇、正北部的柏杨坝镇、东南端的毛坝镇、中东部的元堡乡、正西部的建南镇、正南端的沙溪乡, 处于特低水平。极高值和极低值都出现在汪营镇, 并属相邻的两个村。团堡镇耕地氯离子在 6 个级中较均匀分布, 各级占比在 10%~25% 之间, 在乡镇中属特例; 其它乡镇 80% 以上分布在特低水平, 元堡和沙溪 2 个乡全部在特低水平。

2) **利川耕地氯离子垂直分布差异较大**。二高山和高山相当, 是低山的近 4 倍。低山(800 m 以下)  $8.71 \pm 7.33$  mg/kg ( $n = 50$ ), 变幅 1.76~37.18 mg/kg; 全部处于低到特低水平, 且特低水平占 96%。二高山(800~1200 m)  $32.21 \pm 89.47$  mg/kg ( $n = 177$ ), 变幅 0.37~754.46 mg/kg; 特低水平占 80% 以上, 其它各级较均匀分布, 大于 300 mg/kg 的特高水平 2 个点在汪营镇石朝门村、文斗镇堰塘村。高山(1200 m 以上)  $32.38 \pm 81.43$  mg/kg ( $n = 61$ ), 变幅 1.19~476.58 mg/kg; 特低水平占 85%, 其它各级较均匀分布, 特高水平 2 个点在团堡镇相邻的石板岭村和大垭村。

3) **水旱不同利用类型氯离子含量差异较小**。水田  $22.95 \pm 88.58$  mg/kg ( $n = 71$ ), 处于特低水平, 变幅 1.67~754.46 mg/kg; 旱地  $29.87 \pm 76.99$  mg/kg ( $n = 217$ ), 处于低量水平, 变幅 0.37~694.70 mg/kg; 水田除 1 个点为最高值外, 其它点位都处于低至特低水平, 且 87% 以上为特低水平; 旱地近 85% 处于特低水平, 其它各级较均匀分布。

4) **不同土类耕地氯离子含量差异较大**。棕壤(58.75 mg/kg) > 石灰土(50.09 mg/kg) > 潮土(38.23 mg/kg) > 黄棕壤(32.57 mg/kg) > 水稻土(见水田) > 紫色土(11.35 mg/kg) > 黄壤(10.91 mg/kg), 与殷杰研究的宜宾市植烟土壤差异较大。棕壤均值处于中下水平, 70% 的点位处于特低水平, 20% 处于中下水平, 10% 处于特高水平; 石灰土均值处于中下水平, 80% 以上为特低水平, 其余为高和特高水平; 潮土均值处于低量水平, 2/3 处于特低水平, 其余处于中等水平; 黄棕壤均值处于低量水平, 80% 以上处于特低水平, 其余各级都有分布; 紫色土均值处于特低水平, 90% 以上处于特低水平, 其余处于低至中等水平; 黄壤

全部处于特低水平。

5) 不同母质发育的耕地氯离子含量差异较大。石英砂岩(96.29 mg/kg) > 碳酸盐岩(33.84 mg/kg) > 河流冲积物(27.29 mg/kg) > 泥质砂页岩(20.26 mg/kg) > 第四纪黏土(19.60 mg/kg) > 紫色页岩(12.30 mg/kg)。石英砂岩发育的耕地氯离子近 70% 处于特低水平, 低和特高水平各占 10% 多, 中下和高水平各占 5% 多; 碳酸盐岩发育的近 85% 处于特低水平, 其它各级较均匀分布; 河流冲积物发育的 80% 处于特低水平, 中等水平占 20%; 泥质砂页岩发育的 90% 以上处于特低水平, 其余较均匀分布于低量、中上和高水平; 第四纪黏土发育的 85% 以上处于特低水平, 其余较均匀分布在低量、中下、中上和高水平, 无特高水平; 紫色页岩发育的近 90% 为特低水平, 近 10% 为低量水平, 中等水平有少量分布。

6) 耕地氯离子与其它土壤指标的相关性。从统计学意义上看, 利川耕地氯离子含量与土壤 pH 呈显著正相关, 而蔡雅楠等[20]的研究结论为不相关; 与全氮、有效磷、速效钾呈极显著正相关, 这应与利川耕地施肥习惯有关, 常规施肥中含氯复合肥、配方肥用量占比大, 氯离子施入量相对较多, 有一定量残留和积累; 与交换性钙、交换性镁、容重呈显著负相关; 与有机质、CEC、交换性盐基总量、有效铁、有效锰相关性不显著。

利川耕地氯离子含量普遍较低, 降雨量大且集中在较多作物生长季节, 所有作物都可根据耐氯水平适量施用含氯肥料。大量的试验结果证明, 对特、强耐氯作物完全可以按常量施肥水平正常施用含氯肥料; 中、低、弱耐氯作物可减量施用, 分别按常量施肥水平的 80%、60%、40% 适量施用。科学施用含氯肥料不仅能使作物高产优质, 还能降低肥料投入, 是农业节本增效、实现绿色高质量发展的有效措施。

## 参考文献

- [1] [日本]高井康雄, 等, 编. 植物营养与技术[M]. 敖光明, 梁振兴, 译. 北京: 中国农业出版社, 1988: 271-272.
- [2] 孙慧敏. 农田土壤氯离子累积与迁移机理[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2004.
- [3] 尚道文. “忌氯作物”忌氯的原因[J]. 化学教学, 1995(8): 36.
- [4] 涂书新, 郭智芬, 孙锦荷. 土壤氯研究的进展[J]. 土壤, 1998(3): 125-130.
- [5] 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.
- [6] 邹焱, 袁家富, 章新军, 陈明辉, 王瑞, 彭成林. 鄂西南烤烟叶片含氯状况及施氯效果[J]. 湖北农业科学, 2000(6): 40-42.
- [7] 江泽普, 黄玉溢, 雷一军, 等. 广西耕地土壤氯含量分析与评价[J]. 广西农业科学, 1993(6): 269-272.
- [8] 陈海生, 王光华. 豫中烤烟种植区烟叶氯质量分数与土壤肥力空间变异特性研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2014, 41(2): 195-202.
- [9] 姜超强, 李德成, 王火焰. 亳州烟区烤烟不同品种和产区间烟叶钾氯含量的差异分析[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(1): 120-128.
- [10] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, G.瓦肖尔. 土壤特性空间变异性初步研究[J]. 水利学报, 1985(9): 10-21.
- [11] 成延鳌, 伍仁军, 吴纯奎, 等. 四川烤烟区土壤氯的动态与施氯量的确定[J]. 中国烟草学报, 1995(2): 21-28.
- [12] 江泽普, 黄玉溢, 雷一保, 邓军. 广西耕地土壤氯含量分析与评价[J]. 广西农业科学, 1993(6): 269-272.
- [13] Tang, Z., Chen, L., Chen, Z., et al. (2020) Climatic Factors Determine the Yield and Quality of Honghe Flue-Cured Tobacco. *Scientific Reports*, **10**, Article No. 19868.
- [14] López-Chuken, U.J., López-Chuken, U.J., López-Domínguez, U., Parra-Saldivar, R., et al. (2012) Implications of Chloride-Enhanced Cadmium Uptake in Saline Agriculture: Modeling Cadmium Uptake by Maize and Tobacco. *International Journal of Environmental Science and Technology*, **9**, 69-77. <https://doi.org/10.1007/s13762-011-0018-2>
- [15] 殷杰. 宜宾市植烟土壤氯素营养状况及烟叶增氯技术研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2009.
- [16] 唐树梅, 漆智平, 黎成厚, 等. 贵州主要土壤类型氯的背景值[J]. 耕作与栽培, 1991(5): 54-55.
- [17] 王勇. 中山区植烟土壤主要肥力因子空间变异特征及地形因素研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 四川农业大学,

2008.

- [18] 李丹丹, 毕庆文, 许自成, 等. 湖北兴山烟区土壤养分和烟叶质量特点分析[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(3): 455-459+475.
- [19] 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.
- [20] 蔡雅楠, 詹芷叶, 陈前火, 甘晖. 福建某滨海湖泊周边土壤氯含量空间分布研究[J]. 福建轻纺, 2020(3): 45-50.