

# 湖北利川耕地土壤交换性钙镁含量及空间分布

宋大伦<sup>1\*</sup>, 刘祥林<sup>2</sup>, 冉露<sup>3</sup>, 周富忠<sup>3#</sup>

<sup>1</sup>利川市沙溪乡农业服务中心, 湖北 利川

<sup>2</sup>利川市团堡镇农业服务中心, 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: 2024年2月21日; 录用日期: 2024年3月22日; 发布日期: 2024年3月31日

## 摘要

采集、检测、统计并分析了湖北省利川市338个耕地土样的交换性钙镁含量。结果表明, 交换性钙点位均值 $2151 \pm 1646$  mg/kg, 整体潜在缺乏, 变幅96~9523 mg/kg, 含量丰富以上超过1/4, 潜在缺乏占近1/3, 缺乏以下超过40%; 交换性镁均值 $134 \pm 75$  mg/kg, 极缺水平, 变幅11~454 mg/kg, 丰富水平不足1%, 潜在缺乏近7%, 缺乏以下超过92%。行政区域分布特征明显, 交换性钙呈西北向东南逐渐降低的趋势; 交换性镁东南角的毛坝镇最低, 其它乡镇相当。水旱不同利用类型和海拔垂直分布差异较小, 水田高于旱地, 交换性钙镁水田均值分别为2351 mg/kg、154 mg/kg, 旱地均值分别为2073 mg/kg、127 mg/kg; 交换性钙低山 > 高山 > 二高山, 都在2150 mg/kg上下; 交换性镁二高山 > 低山 > 高山, 在130 mg/kg左右。不同土类和母质发育的耕地交换性钙差异较大、交换性镁则较小, 交换性钙棕壤 > 石灰土 > 水稻土 > 黄棕壤 > 潮土 > 紫色土 > 黄壤, 交换性镁紫色土 > 石灰土 > 水稻土 > 黄棕壤 > 潮土 > 棕壤 > 黄壤; 交换性钙河流冲积物 > 碳酸盐岩 > 第四纪黏土 > 紫色页岩 > 石英砂岩 > 泥质砂页岩, 交换性镁紫色页岩 > 第四纪黏土 > 碳酸盐岩 > 河流冲积物 > 泥质砂页岩 > 石英砂岩。从统计学意义上看, 交换性钙与交换性镁、pH、全氮、速效钾、有机质、有效铜、镉、砷呈极显著正相关, 与有效硼呈显著正相关, 与有效磷、有效铁呈极显著负相关; 交换性镁与pH、有效硼、有效铜呈极显著正相关, 与有效磷、有效铁、硒、汞呈极显著负相关, 与铬呈显著负相关。

## 关键词

湖北利川, 耕地, 交换性钙, 交换性镁, 空间分布, 相关性

## Soil Exchangeable Calcium and Magnesium Content and Spatial Distribution of Cultivated Land in Lichuan, Hubei Province

Dalun Song<sup>1\*</sup>, Xianglin Liu<sup>2</sup>, Lu Ran<sup>3</sup>, Fuzhong Zhou<sup>3#</sup>

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 宋大伦, 刘祥林, 冉露, 周富忠. 湖北利川耕地土壤交换性钙镁含量及空间分布[J]. 农业科学, 2024, 14(3): 337-350. DOI: 10.12677/hjas.2024.143043

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

<sup>2</sup>Lichuan Tuanbao Town Agricultural Service Center, Lichuan Hubei

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

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2024; accepted: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

The exchangeable calcium and magnesium content of 338 arable land samples in Lichuan City, Hubei Province was collected, tested, statistically and analyzed. The results show that the average point of exchangeable calcium is  $2151 \pm 1646$  mg/kg, with an overall potential deficiency, with a variation of 96~9523 mg/kg, with rich content above 1/4, potential deficiency accounting for nearly 1/3, and lacking below 40%; the mean value of exchangeable magnesium is  $134 \pm 75$  mg/kg. Extremely deficient level, variable range 11~454 mg/kg, rich level less than 1%, potential lack of nearly 7%, lack of more than 92%. The distribution characteristics of administrative areas are obvious, and the trend of exchange calcium is gradually decreasing from northwest to southeast; Maoba Town in the southeast corner of exchange magnesium is the lowest, and other townships are the same. Different utilization types and vertical distribution of water and drought are small. The paddy field is higher than the dryland. The average value of exchange calcium and magnesium paddy field is 2351 mg/kg and 154 mg/kg respectively, and the mean value of dryland is 2073 mg/kg and 127 mg/kg respectively. Exchangeable calcium low mountains > high mountains > two high mountains > low mountains > high mountains, about 130 mg/kg. The exchange calcium of arable land developed by different soils and mothers is quite different, and the exchangeable magnesium is small. Exchangeable calcium brown soil > lime soil > rice soil > yellow brown soil > tide soil > purple soil > yellow soil, exchange magnesium purple soil > lime soil > rice soil > yellow brown soil > tidal soil > brown soil > yellow soil; exchange calcium river alluvial > carbonate Rock > Quaternary clay > purple shale > quartz sandstone > mud sand shale, exchangeable magnesium purple shale > Quaternary clay > carbonate > river alluvial > mud sand shale > quartz sandstone. In a statistical sense, exchangeable calcium is significantly positively correlated with exchangeable magnesium, pH, total nitrogen, quick-acting potassium, organic matter, effective copper, cadmium and arsenic, and significantly positively correlated with effective boron, and significantly negatively correlated with effective phosphorus and effective iron; exchangeable magnesium is significantly positively correlated with pH, effective boron and effective copper, and Phosphorus, effective iron, selenium and mercury are significantly negatively correlated, and significantly negatively correlated with chromium.

## Keywords

Hubei Lichuan, Arable Land, Exchangeable Calcium, Exchangeable Magnesium, Spatial Distribution, Correlation

Copyright © 2024 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

钙、镁是植物必需的中量元素，在作物体内的主要作用有以下几个方面[1]：一是构成作物活体的结

构物质及生活物质。如纤维素、半纤维素、木质素及果胶物质等有机体的结构物质，氨基酸、蛋白质、核酸、脂类、叶绿素、酶及辅酶等生活物质。二是加速作物体内代谢的催化元素。钙镁是作物体内代谢的许多酶的辅基或者激化酶活性的活化剂。三是对作物体具有特殊功能的元素。钙镁在作物体内活性强，参加体内的各种代谢作用，调节细胞透性和增强作物抗逆性等。

随着测土配方施肥技术的不断普及，各种复合肥、配方肥等的全面应用，耕地土壤中氮、磷、钾等大量元素逐渐丰富并趋于平衡，甚至出现过剩现象，限制作物产量和品质的因素转向钙、镁、锌、硼等微量元素。作物吸收的钙镁主要来源于土壤，耕地中交换性钙镁的丰缺状况对作物的产量和品质都有重要影响，通过取样检测掌握土壤中钙镁等营养元素的含量水平，是指导科学施肥的最基本方法和手段。全国各地对土壤交换性钙镁含量、分布及与土壤其它指标的相关性研究较多，如姜勇等[2]对沈阳耕地、彭赞文等[3]对广西梧州茶园、张白鸽等[4]对广东珠三角主菜区、杨用钊等[5]对江苏淮安酸性土壤的研究等等；特别是对植烟土壤的研究较多，如蔡凯等[6]对贵州、毛辉等[7]对湖南龙山、郝尚妍等[8]对重庆的烟田等。但未见对湖北利川耕地交换性钙镁含量及分布的系统全面报道，因此，利川市土壤肥料工作站结合 2022 年度县域耕地质量等级评价工作，对采集的耕评土样补充检测了耕地交换性钙镁等指标，并根据行政区域、海拔高度、土地利用类型、土壤类型及成土母岩母质等进行了分类统计分析，充分掌握了湖北利川耕地土壤交换性钙镁的含量水平及分布规律，为指导广大种植业生产者科学施用钙、镁肥料，促进作物高产优质高效提供了技术支撑。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区域概况

利川地处湖北西南边陲，属云贵高原东延部分，巫山余脉和武陵山北上余脉交汇部，清江、郁江发源地。境内山地、峡谷、丘陵、山间盆地及河谷平川相互交错，120 余万亩耕地镶嵌其间，占国土面积的 17.39%。钟灵山、甘溪山、佛宝山呈东西走向，横亘于市境中部，将全境截分为南北两半，北部为利中盆地。四周有齐岳山、寒池山、石板岭、马鬃岭、麻山、钟灵山、甘溪山、佛宝山环抱。城区位于盆地偏东部位，海拔 1079.5 m，高于周边各县市。南部山高坡陡，沟谷幽深，地形复杂。齐岳山为境内最大山，如城墙逶迤西北，成为鄂渝边区重要的地理分界线；寒池山为境内最高山，如擎天巨柱耸峙东北角，海拔 2041.5 米。东南星斗山、人头山、雷音山与西南挂子山、大木峰、九条岭如双龙抢宝，环绕东南、西南边境。西南部郁江出境处为最低点，海拔 315 m。东南接恩施、咸丰，西北与重庆市的奉节、云阳、万州、石柱、黔江、彭水相邻。南北跨越北纬 29°42'~30°39'，长 105 km，属亚热带；东西横跨东经 108°21'~109°18'，宽 92 km，国土面积 4605.53 km<sup>2</sup>。辖 14 个乡镇(办事处)，2021 年户籍总人口 91.75 万，常住人口 71.44 万。是恩施州面积最大、人口最多的县级市。

### 2.2. 土壤样品来源

2022 年度利川市耕地质量等级评价项目所采土壤样品，计 338 个，其中水田 95 个、旱地 243 个，覆盖全市 13 个乡镇(见图 1)，都亭办事处属城区，耕地面积较小，未采样；佛宝山开发区归入汪营镇。采样时间为 2022 年 11~12 月，作物收获后。以自然田块为采样单元，按 NY/T1121.1-2006 要求采集耕层土样，室内风干，并按检测项目要求制备过筛、装袋、储存备检。

### 2.3. 土样检测方法

土样委托湖北省地矿局恩施实验室检测，检测了耕地土样的交换性钙、交换性镁、pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效铜锌铁锰硼等微量元素、全硒、镉铬铅砷汞等重金属、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	交换性钙、镁	NY/T1121.13-2006	乙酸铵浸提, 原子吸收分光光度法
2	pH	NY/T1121.2-2006	酸度计法
3	有机质	NY/T1121.6-2006	重铬酸钾 - 硫酸处理, 容量法
4	全氮	NY/T1121.24-2012	自动定氮仪法
5	有效磷	NY/T1121.7-2014	氟化铵 - 盐酸溶液浸提, 分光光度计法
6	速效钾	NY/T889-2004	醋酸铵浸提, 火焰光度法
7	有效硼	NY/T1121.8-2014	沸水提取, 分光光度计甲亚胺-H 比色法
8	有效铜锌铁锰	NY/T890-2004	DTPA 浸提, 原子吸收分光光度法
9	全硒	NY/T1104-2006	硝酸 - 高氯酸消化, 原子荧光光谱法
10	铅、镉	GB/T17141-1997	盐酸 - 硝酸 - 氢氟酸 - 高氯酸消解, 石墨炉原子吸收法
11	总汞、总砷	GB/T22105-2008	盐酸 - 硝酸消解, 原子荧光法
12	铬	HJ491-2019	火焰原子吸收分光光度法
13	容重	NY/T1121.4-2006	环刀法

#### 2.4. 评价依据及数据统计分析

全国对土壤交换性钙镁的分级标准较多(表 2), 基本按含量高低分为极高、高、中、低、极低 5 级, 主要有: A 全国第二次土壤普查分级标准[9], 并把交换性钙镁临界值分别定为 250、50 mg/kg; B 《湖北省耕地质量监测指标分级标准》(鄂耕肥[2018]16 号); C 贵州省烟草科学研究院蔡凯等[6]分级标准; D 湖南省烟草公司湘西自治州公司毛辉等[7]分级标准。A 的交换性钙镁分级值最低; C、D 的交换性钙分级完全一致, 略高于 B; 交换性镁差异较大, C、D 居中、分级略有差异, 显著高于 A 且低于 B。

利川地形地貌及气候特征本与贵州、湖南湘西更相似, 但属湖北辖区, 故仍按 B 《湖北省耕地质量监测指标分级标准》进行评价, 1~5 级分别对应极丰富、丰富、潜在缺乏、缺乏、极缺, 以此评价耕地交换性钙镁丰缺状况。按雷志栋等[10]的<10%为弱变异、10%~100%为中等变异、>100%为强变异划分变异系数。用《县域耕地资源管理信息系统》绘制采样点图, Excel 作数据统计及相关性分析。分别按行政区域(乡镇平面分布)、海拔高度(垂直分布)、不同利用类型、土类、成土母岩母质等分类计算或统计耕地土壤交换性钙镁的算术平均值、极大极小值、极差、标准差及变异系数等指标, 以及在极缺至极丰富各级出现的频次及频率分布, 分析不同类别交换钙镁的丰缺状况。

**Table 2.** Classification standard for exchangeable calcium and magnesium in soil  
**表 2.** 土壤交换性钙镁分级标准

编号	项目	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
A	交换性钙 mg/kg	≥2000	1000~2000	250~1000	100~250	<100
	交换性镁 mg/kg	≥200	100~200	50~100	25~50	<25
B	交换性钙 mg/kg	>3500	(2500~3500]	(1500~2500]	[500~1500]	<500
	交换性镁 mg/kg	>550	(400~550]	(250~400]	[100~250]	<100

续表

C	交换性钙 cmol/kg	>18	(10~18]	(6~10]	[3~6]	<3
	交换性镁 cmol/kg	>3.2	(1.6~3.2]	(1.0~1.6]	[0.5~1.0]	<0.5
D	交换性钙 cmol/kg	>18	(10~18]	(6~10]	[3~6]	<3
	交换性镁 cmol/kg	>2.8	(1.5~2.8]	(1.0~1.5]	[0.5~1.0]	<0.5

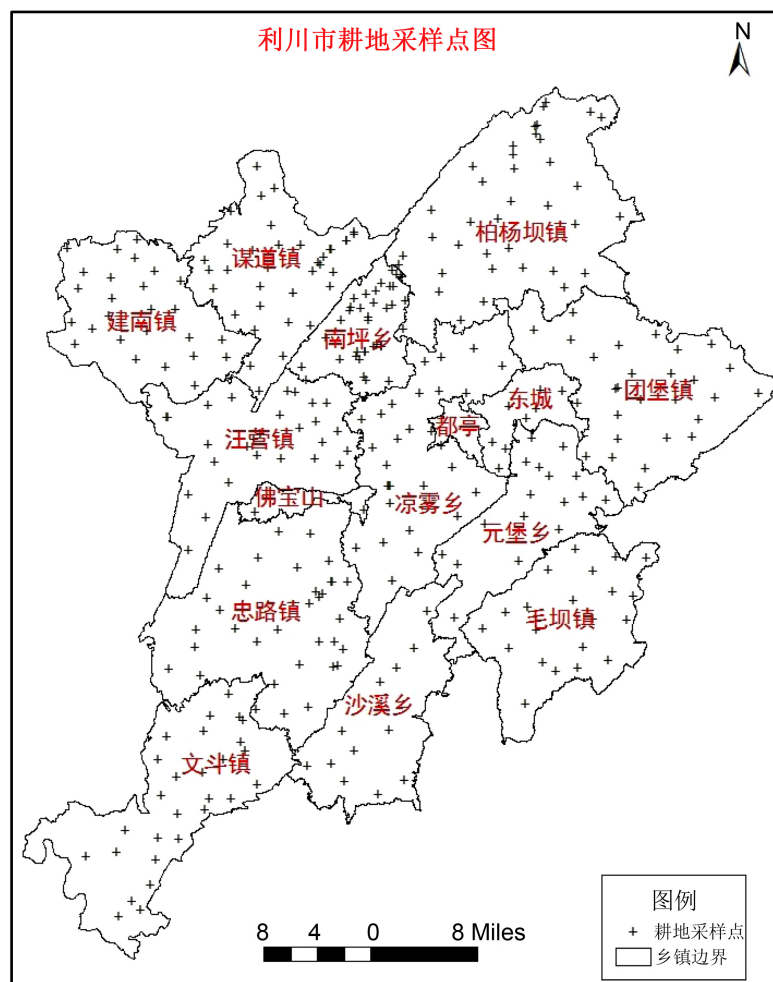


Figure 1. Distribution map of sampling points for exchangeable calcium and magnesium in farmland in Lichuan City

图 1. 利川市耕地交换性钙镁采样点分布图

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 利川耕地交换钙镁含量及行政区域分布特征

利川耕地交换性钙镁含量及分布见表 3~5。交换性钙点位均值  $2151 \pm 1646$  mg/kg, 变幅 96~9523 mg/kg, 变异系数 76.52%, 中等变异; 丰富以上水平占 1/4 以上, 潜在缺乏占近 1/3, 缺乏以下占 40% 以上。各乡镇由高到低排位为: 柏杨坝、元堡、谋道、南坪、沙溪、凉雾、东城、汪营、建南、团堡、文斗、忠路、毛坝, 呈由西北向东南逐渐降低的趋势。柏杨坝、元堡耕地交换性钙含量丰富, 毛坝极缺, 其它乡镇潜在缺乏。

交换性镁点位均值为  $134 \pm 75$  mg/kg, 变幅 11~454 mg/kg, 变异系数 55.97%, 中等变异; 丰富水平不足 1%, 潜在缺乏近 7%, 缺乏以下水平超过 92%。各乡镇由高到低排列为: 南坪、元堡、柏杨坝、谋道、建南、汪营、团堡、文斗、忠路、凉雾、东城、沙溪、毛坝, 除毛坝处于极缺水平, 其它乡镇皆处于缺乏水平。

**Table 3.** Statistical analysis of exchangeable calcium and magnesium in cultivated land of various townships in Lichuan City (mg/kg)

**表 3.** 利川市各乡镇耕地交换性钙镁统计分析表 mg/kg

乡镇	样品数	均值		极大值		极小值		极差		标准差		变异系数%	
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
利川市	338	2151	134	9523	454	96	11	9427	443	1646	75	76.52	55.97
柏杨坝镇	38	3136	162	8348	424	626	59	7722	365	2380	96	75.89	59.26
东城	8	2214	104	7159	226	553	53	6606	173	2322	58	104.88	55.77
建南镇	26	2027	149	4907	227	622	67	4285	160	973	46	48.00	30.87
凉雾乡	29	2247	120	8269	290	589	42	7680	248	1478	48	65.78	40.00
毛坝镇	21	310	44	1071	147	96	11	975	136	233	34	75.16	77.27
谋道镇	36	2476	151	8822	303	656	64	8166	239	2001	51	80.82	33.77
南坪乡	32	2468	171	6998	336	679	60	6319	276	1490	71	60.37	41.52
沙溪乡	12	2374	100	6837	140	745	64	6092	76	2049	25	86.31	25.00
团堡镇	28	1997	129	4846	302	735	47	4111	255	1038	72	51.98	55.81
汪营镇	29	2142	140	4905	338	594	49	4311	289	1020	75	47.62	53.57
文斗镇	29	1745	121	3796	356	585	30	3211	326	940	67	53.87	55.37
元堡镇	17	2535	165	9523	454	973	61	8550	393	2242	122	88.44	73.94
忠路镇	33	1740	121	4039	405	439	35	3600	370	988	70	56.78	57.85

**Table 4.** Statistical table of frequency of exchange calcium grading in cultivated land of various towns and townships in Lichuan City

**表 4.** 利川市各乡镇耕地交换性钙分级频率统计表

乡镇	样品数		极丰富		丰富		潜在缺乏		缺乏		极缺	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
利川市	338	100.00	45	13.31	48	14.20	105	31.07	121	35.80	19	5.62
柏杨坝	38	11.24	13	34.21	5	13.16	7	18.42	13	34.21	0	0.00
东城	8	2.37	2	25.00	0	0.00	1	12.50	5	62.50	0	0.00
建南镇	26	7.69	2	7.69	4	15.38	13	50.00	7	26.92	0	0.00
凉雾乡	29	8.58	3	10.34	6	20.69	8	27.59	12	41.38	0	0.00
毛坝镇	21	6.21	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	14.29	18	85.71
谋道镇	36	10.65	6	16.67	1	2.78	18	50.00	11	30.56	0	0.00
南坪乡	32	9.47	4	12.50	7	21.88	14	43.75	7	21.88	0	0.00
沙溪乡	12	3.55	3	25.00	1	8.33	2	16.67	6	50.00	0	0.00
团堡镇	28	8.28	3	10.71	5	17.86	7	25.00	13	46.43	0	0.00
汪营镇	29	8.58	4	13.79	5	17.24	11	37.93	9	31.03	0	0.00
文斗镇	29	8.58	1	3.45	6	20.69	9	31.03	13	44.83	0	0.00
元堡乡	17	5.03	3	17.65	1	5.88	7	41.18	6	35.29	0	0.00
忠路镇	33	9.76	1	3.03	7	21.21	8	24.24	16	48.48	1	3.03



**Table 5.** Statistical table of frequency of exchange magnesium classification in farmland of various towns and towns in Lichuan City**表 5.** 利川市各乡镇耕地交换性镁分级频率统计表

乡镇	样品数		极丰富		丰富		潜在缺乏		缺乏		极缺	
	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
利川市	338	100.00	0	0.00	3	0.89	22	6.51	190	56.21	123	36.39
柏杨坝	38	11.24	0	0.00	1	2.63	5	13.16	17	44.74	15	39.47
东城	8	2.37	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	37.50	5	62.50
建南镇	26	7.69	0	0.00	0	0.00	0	0.00	21	80.77	5	19.23
凉雾乡	29	8.58	0	0.00	0	0.00	1	3.45	21	72.41	7	24.14
毛坝镇	21	6.21	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	9.52	19	90.48
谋道镇	36	10.65	0	0.00	0	0.00	2	5.56	31	86.11	3	8.33
南坪乡	32	9.47	0	0.00	0	0.00	6	18.75	22	68.75	4	12.50
沙溪乡	12	3.55	0	0.00	0	0.00	0	0.00	5	41.67	7	58.33
团堡镇	28	8.28	0	0.00	0	0.00	2	7.14	12	42.86	14	50.00
汪营镇	29	8.58	0	0.00	0	0.00	2	6.90	17	58.62	10	34.48
文斗镇	29	8.58	0	0.00	0	0.00	1	3.45	17	58.62	11	37.93
元堡乡	17	5.03	0	0.00	1	5.88	3	17.65	6	35.29	7	41.18
忠路镇	33	9.76	0	0.00	1	3.03	0	0.00	16	48.48	16	48.48

### 3.2. 利川耕地交换性钙镁海拔垂直分布特征

利川习惯按海拔高度分区, 海拔低于 800 m 的为低山, 面积占 7%; 800~1200 m 的为二高山, 面积占 41%; 1200 m 以上的为高山, 面积占 52%。耕地主要分布在二高山和高山地区, 低山、二高山、高山耕地占比约为 10%、40%、50%。

不同海拔区域交换性钙镁点位均值差异不大(表 6、表 7)。交换性钙低山 > 高山 > 二高山, 在 2150 mg/kg 上下, 都处于丰富水平; 极值都出现在二高山, 高山的极小值大于 500 mg/kg; 都为中等变异, 但低山的标准差和变异系数更大。交换性镁二高山 > 低山 > 高山, 在 130 mg/kg 左右, 处于缺乏水平; 极值、极差都随海拔降低而降低, 皆为中等变异。表 7 显示, 不同海拔区域交换性钙都集中分布在潜在缺乏和缺乏水平, 低山、二高山都各占约 1/3, 高山潜在缺乏占近 30%、缺乏占近一半; 交换性镁都集中分布在缺乏以下水平, 低山区超过 96% (极缺占 1/4), 二高山超过 91% (极缺超过 1/3), 高山区占近 93% (极缺占 44%)。

**Table 6.** Statistical analysis of exchangeable calcium and magnesium in cultivated land at different altitudes in Lichuan City (mg/kg)**表 6.** 利川市不同海拔区域耕地交换性钙镁统计分析表 mg/kg

乡镇	样品数	均值		极大值		极小值		极差		标准差		变异系数%	
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
低山	58	2174	136	8348	335	106	11	8242	324	1966	62	90.42	45.85
二高山	196	2145	138	9523	405	96	15	9427	390	1569	79	73.18	57.14
高山	84	2150	124	8822	454	656	48	8166	406	1599	74	74.39	59.39

**Table 7.** Statistical table of frequency classification of exchangeable calcium and magnesium content in cultivated land at different altitudes**表 7.** 不同海拔区域耕地交换性钙镁含量分级频率统计表

元素	海拔	样品数		极丰富		丰富		潜在缺乏		缺乏		极缺	
		个	%	个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
Ca	低山	58	17.16	10	17.24	3	5.17	19	32.76	19	32.76	7	12.07
	二高山	196	57.99	25	12.76	33	16.84	62	31.63	64	32.65	12	6.12
	高山	84	24.85	10	11.90	12	14.29	24	28.57	38	45.24	0	0.00
Mg	低山	58	17.16	0	0.00	0	0.00	2	3.45	41	70.69	15	25.86
	二高山	196	57.99	0	0.00	1	0.51	16	8.16	108	55.10	71	36.22
	高山	84	24.85	0	0.00	2	2.38	4	4.76	41	48.81	37	44.05

### 3.3. 利川耕地交换性钙镁不同利用类型及土类空间分布特征

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%。

不同利用类型的交换性钙镁都是水田高于旱地(表 8、表 9)。交换性钙均值都处于潜在缺乏水平, 中等变异; 水田  $2351 \pm 1618$  mg/kg ( $n = 95$ ), 变幅 585~9523 mg/kg, 丰富以上约占 30%, 潜在缺乏占 40%, 缺乏以下占近 30% (无级缺); 旱地  $2073 \pm 1653$  mg/kg ( $n = 243$ ), 变幅 96~8822 mg/kg, 丰富以上、潜在缺乏都不足 30%, 缺乏以下超过 45%。交换性镁均值都处于缺乏水平, 中等变异; 水田  $154 \pm 67$  mg/kg, 变幅 49~361 mg/kg, 无丰富以上分布, 潜在气管约占 10%, 90% 处理缺乏以下水平; 旱地  $127 \pm 77$  mg/kg, 变幅 11~454 mg/kg, 丰富仅 1% 略多, 潜在缺乏 5% 略多, 超过 90% 处于缺乏以下水平。

**Table 8.** Statistical analysis of exchangeable calcium and magnesium content in different soil types and utilization types (mg/kg)**表 8.** 不同土类及利用类型交换性钙镁含量统计分析表 mg/kg

土类	计数	均值		极大值		极小值		极差		标准差		变异系数%	
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
水稻土	95	2351	154	9523	361	585	49	8938	312	1618	67	68.82	43.51
潮土	12	2020	113	4849	356	589	30	4260	326	1233	86	61.04	76.11
黄壤	16	897	80	3382	167	106	11	3276	156	957	46	106.69	57.50
黄棕壤	144	2038	123	8348	454	96	15	8252	439	1622	77	79.59	62.60
石灰土	19	2800	158	6642	424	626	59	6016	365	1944	97	69.43	61.39
紫色土	38	1844	161	4178	366	645	61	3533	305	801	66	43.44	40.99
棕壤	14	3456	96	8822	176	1176	52	7646	124	2799	35	80.99	36.46
旱地	243	2073	127	8822	454	96	11	8726	443	1653	77	79.74	60.73



**Table 9.** Frequency statistics of exchangeable calcium and magnesium content classification for different soil types and utilization types**表 9.** 不同土类及利用类型交换性钙镁含量分级频率统计表

利用类型/ 土类	样品数		元素	极丰富		丰富		潜在缺乏		缺乏		极缺	
	个	%		个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
水田/ 水稻土	95	28.11	Ca	13	13.68	16	16.84	38	40.00	28	29.47	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	9	9.47	67	70.53	19	20.00
潮土	12	3.55	Ca	1	8.33	2	16.67	4	33.33	5	41.67	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	1	8.33	4	33.33	7	58.33
黄壤	16	4.73	Ca	0	0.00	2	12.50	0	0.00	7	43.75	7	43.75
			Mg	0	0.00	0	0.00	0	0.00	7	43.75	9	56.25
黄棕壤	144	42.60	Ca	18	12.50	19	13.19	41	28.47	54	37.50	12	8.33
			Mg	0	0.00	2	1.39	7	4.86	67	46.53	68	47.22
石灰土	19	5.62	Ca	6	31.58	3	15.79	3	15.79	7	36.84	0	0.00
			Mg	0	0.00	1	5.26	2	10.53	9	47.37	7	36.84
紫色土	38	11.24	Ca	2	5.26	4	10.53	18	47.37	14	36.84	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	3	7.89	30	78.95	5	13.16
棕壤	14	4.14	Ca	5	35.71	2	14.29	1	7.14	6	42.86	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	0	0.00	6	42.86	8	57.14
旱地	243	71.89	Ca	32	13.17	32	13.17	67	27.57	93	38.27	19	7.82
			Mg	0	0.00	3	1.23	13	5.35	123	50.62	104	42.80

不同土类耕地交换性钙均值差异较大、交换性镁差异则较小(表 8、表 9)。交换性钙棕壤  $3456 \pm 2799$  mg/kg ( $n = 14$ ), 变幅 1176~8822 mg/kg, 一半处于丰富以上, 潜在缺乏占 7%略多, 缺乏占近 43% (无极缺); 石灰土  $2800 \pm 1944$  mg/kg ( $n = 19$ ), 变幅 626~6642 mg/kg, 丰富以上近一半, 潜在缺乏 15%略多, 缺乏近 37% (无极缺); 水稻土见水田, 已在利用类型中叙述; 黄棕壤  $2023 \pm 1622$  mg/kg ( $n = 144$ ), 变幅 96~8348 mg/kg, 丰富以上超过 1/4, 潜在缺乏近 30%, 缺乏以下超过 45%; 潮土  $2020 \pm 1233$  mg/kg ( $n = 12$ ), 变幅 589~4849 mg/kg, 丰富以上占 1/4, 潜在缺乏占 1/3, 缺乏超过 40% (无极缺); 紫色土  $1844 \pm 801$  mg/kg ( $n = 38$ ), 变幅 645~4178 mg/kg, 丰富以上超过 15%, 近一半潜在缺乏, 近 40%缺乏(无极缺); 黄壤  $897 \pm 975$  mg/kg ( $n = 16$ ), 变幅 106~3382 mg/kg, 12.5%丰富, 87.5%缺乏以下。

交换性镁紫色土  $161 \pm 66$  mg/kg, 变幅 61~366 mg/kg, 缺乏以下超过 92%, 其余潜在缺乏; 石灰土  $158 \pm 97$  mg/kg, 变幅 59~424 mg/kg, 约 5%丰富, 10%潜在缺乏, 缺乏以下超过 84%; 水稻土见水田; 黄棕壤  $123 \pm 77$  mg/kg, 变幅 15~454 mg/kg, 丰富 1%略多, 潜在缺乏近 5%, 缺乏以下近 94%; 潮土  $113 \pm 86$  mg/kg, 变幅 30~356 mg/kg, 缺乏以下近 92%, 其余潜在缺乏; 棕壤  $96 \pm 35$  mg/kg, 变幅 52~176 mg/kg; 黄壤  $80 \pm 46$  mg/kg, 变幅 11~167 mg/kg; 棕壤和黄壤全部处于缺乏以下。

### 3.4. 利川耕地交换性钙镁不同成土母质空间分布特征

利川土壤成土母质(母岩)主要有碳酸盐岩、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。

不同母质发育的耕地交换性钙均值差异较大、交换性镁则较小(表 10、表 11)。交换性钙河流冲积物  $2532 \pm 2039$  mg/kg ( $n = 21$ ), 变幅 589~9523 mg/kg, 丰富以上近 30%, 潜在缺乏近 40%, 1/3 缺乏(无级缺); 碳酸盐岩  $2465 \pm 1806$  mg/kg ( $n = 130$ ), 变幅 542~8822 mg/kg, 丰富以上近 35%, 潜在缺乏近 28%, 缺乏近 38% (无级缺); 第四纪黏土  $2461 \pm 1559$  mg/kg ( $n = 36$ ), 变幅 594~7958 mg/kg, 1/3 丰富以上, 1/4 缺乏(无级缺), 其余潜在缺乏; 紫色页岩  $2077 \pm 1050$  mg/kg ( $n = 71$ ), 变幅 645~6659 mg/kg, 丰富以上近 1/4, 近一半潜在缺乏, 缺乏超过 1/4(无级缺); 石英砂岩  $1658 \pm 1589$  mg/kg ( $n = 24$ ), 变幅 439~8269 mg/kg, 丰富以上 12.5%, 潜在缺乏近 17%, 缺乏以下超过 70%; 泥质砂页岩  $1385 \pm 1538$  mg/kg ( $n = 56$ ), 变幅 96~6998 mg/kg, 丰富以上近 20%, 潜在缺乏 12.5%, 缺乏以下近 70%。

交换性镁紫色页岩  $170 \pm 64$  mg/kg, 变幅 61~366 mg/kg, 近 92%在缺乏以下, 其余为潜在缺乏; 第四纪黏土  $141 \pm 69$  mg/kg, 变幅 49~330 mg/kg, 近 90%在缺乏以下, 其余为潜在缺乏; 碳酸盐岩  $133 \pm 75$  mg/kg, 变幅 37~454 mg/kg, 近 94%在缺乏以下, 潜在缺乏近 5%, 其余为丰富; 河流冲积物  $130 \pm 82$  mg/kg, 变幅 30~356 mg/kg, 缺乏以下超过 90%, 其余为潜在缺乏; 泥质砂页岩  $105 \pm 84$  mg/kg, 变幅 11~405 mg/kg, 缺乏以下超过 91%, 7%潜在缺乏, 其余为丰富; 石英砂岩  $101 \pm 41$  mg/kg, 变幅 35~177 mg/kg, 全部为缺乏以下。

**Table 10.** Statistical analysis of exchangeable calcium and magnesium content in different soil parent materials (mg/kg)  
**表 10.** 不同成土母质交换性钙镁含量统计分析表 mg/kg

成土母质	计数	均值		极大值		极小值		极差		标准差		变异系数%	
		Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
第四纪黏土	36	2461	141	7958	330	594	49	7364	281	1559	69	63.34	49.11
河流冲积物	21	2532	130	9523	356	589	30	8933	326	2039	82	80.52	62.80
泥质砂页岩	56	1385	105	6998	405	96	11	6902	393	1538	84	111.09	79.93
石英砂岩	24	1658	101	8269	177	439	35	7829	143	1589	41	95.88	40.83
碳酸盐岩	130	2465	133	8822	454	542	37	8281	417	1806	75	73.28	56.19
紫色页岩	71	2077	170	6659	366	645	61	6014	305	1050	64	50.54	37.97

**Table 11.** Statistical table for frequency classification of exchangeable calcium and magnesium content in different soil parent materials

**表 11.** 不同成土母质交换性钙镁含量分级频率统计表

成土母质	样品数		元素	极丰富		丰富		潜在缺乏		缺乏		极缺	
	个	%		个	%	个	%	个	%	个	%	个	%
第四纪黏土	36	10.65	Ca	5	13.89	7	19.44	15	41.67	9	25.00	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	4	11.11	22	61.11	10	27.78
河流冲积物	21	6.21	Ca	3	14.29	3	14.29	8	38.10	7	33.33	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	2	9.52	12	57.14	7	33.33
泥质砂页岩	56	16.57	Ca	5	8.93	5	8.93	7	12.50	21	37.50	18	32.14
			Mg	0	0.00	1	1.79	4	7.14	19	33.93	32	57.14

续表

石英砂岩	24	7.10	Ca	2	8.33	1	4.17	4	16.67	16	66.67	1	4.17
			Mg	0	0.00	0	0.00	0	0.00	11	45.83	13	54.17
碳酸盐岩	130	38.46	Ca	24	18.46	21	16.15	36	27.69	49	37.69	0	0.00
			Mg	0	0.00	2	1.54	6	4.62	69	53.08	53	40.77
紫色页岩	71	21.01	Ca	6	8.45	11	15.49	35	49.30	19	26.76	0	0.00
			Mg	0	0.00	0	0.00	6	8.45	57	80.28	8	11.27

### 3.5. 利川耕地交换性钙镁相关性及其与土壤有机质、pH 等的相关分析

运用 Excel 中 CORREL 函数求相关系数( $r$ ), 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 338 个耕地土样交换性钙镁及 pH、有机质、大量元素、微量元素、硒、重金属及土壤容重进行相关性分析, 结果见表 12。

**Table 12.** Correlation analysis table of exchangeable calcium and magnesium in cultivated land and its correlation with pH, organic matter, etc

**表 12.** 耕地交换性钙镁相关性及其与 pH、有机质等的相关分析表

交换性钙与	$r$	$z$	交换性镁与	$r$	$z$
交换性镁	0.36936	6.78057**	交换性钙	0.36936	6.78057**
pH	0.73845	13.55617**	pH	0.53023	9.73376**
全氮	0.15515	2.84822**	全氮	-0.08928	-1.63896
有效磷	-0.23833	-4.37512**	有效磷	-0.25733	-4.72402**
速效钾	0.14226	2.61156**	速效钾	0.07770	1.42638
有机质	0.18760	3.44384**	有机质	-0.03856	-0.70780
有效硼	0.11942	2.19225*	有效硼	0.14113	2.59077**
有效锰	-0.01850	-0.33961	有效锰	0.05984	1.09848
有效铁	-0.24897	-4.57049**	有效铁	-0.14934	-2.74154**
有效铜	0.23398	4.29522**	有效铜	0.16024	2.94162**
有效锌	0.01298	0.23820	有效锌	-0.02834	-0.52032
硒	0.08499	1.56028	硒	-0.15373	-2.82215**
铬	-0.04122	-0.75664	铬	-0.12212	-2.24182*
镉	0.23147	4.24931**	镉	0.01610	0.29550
铅	0.06389	1.17288	铅	-0.10050	-1.84484
砷	0.16791	3.08233**	砷	-0.03667	-0.67309
汞	-0.01885	-0.34605	汞	-0.22778	-4.18153**
容重	0.03409	0.62588	容重	0.04374	0.80303
海拔	0.0286	0.5243	海拔	-0.035	-0.634

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。

从统计学意义上看,利川耕地交换性钙与交换性镁、pH、全氮、速效钾、有机质、有效铜、镉、砷呈极显著正相关,与有效硼呈显著正相关,与有效磷、有效铁呈极显著负相关,与有效锰、有效锌、硒、铬、铅、汞、容重、海拔高度不相关;交换性镁与pH、有效硼、有效铜呈极显著正相关,与有效磷、有效铁、硒、汞呈极显著负相关,与铬呈显著负相关,与全氮、速效钾、有机质、有效锰、有效锌、镉、铅、砷、容重、海拔高度不相关。蔡凯等[6]对贵州烟田土壤交换钙镁及pH相关性的研究得出相同结论;彭赞文等[3]对茶园土壤交换性钙镁及pH的相关性、交换性钙与全氮的相关性研究也有较一致的结论;姜勇等[2]对沈阳耕地交换性钙镁铜锌铁锰相关性研究结果略有不同,耕地交换性钙与铁锰铜锌呈极显著负相关,交换性镁与锰、铜呈极显著正相碰,与锌呈极显著负相关;从 $r$ 、 $z$ 值的大小看,土壤pH对交换钙镁的影响最大,这与刘杰等[11]对贵州铜仁植烟土壤的研究结论一致。

## 4. 讨论

### 4.1. 各地土壤交换性钙镁含量差异明显

邻近的湖南龙山[7]烟田交换性钙为1590 mg/kg、变幅50~5124 mg/kg,交换性镁204 mg/kg、变幅2~697 mg/kg;重庆[8]烟田交换性钙为2170 mg/kg,交换性镁217 mg/kg。南部的广西梧州[3]茶园交换性钙为223 mg/kg、变幅10~1005 mg/kg,交换性镁228 mg/kg、变幅9~1095 mg/kg;广东珠三角地区[4]菜地交换性钙为1200 mg/kg、变幅2~5094 mg/kg,交换性镁73 mg/kg、变幅1~1042 mg/kg;贵州[6]烟田交换性钙为2340 mg/kg、变幅266~9286 mg/kg,交换性镁156 mg/kg、变幅12~666 mg/kg。东北的沈阳[2]耕地交换性钙为3252 mg/kg,交换性镁429 mg/kg。东部的江苏淮安[5]交换性钙为3932 mg/kg,交换性镁701 mg/kg。我国土壤交换性钙镁总体呈东北向西南逐步降低的趋势。利川耕地交换性钙与重庆烟田相当,而交换性镁与贵州烟田更接近。

### 4.2. 影响土壤交换性钙镁含量的因素较多

交换性钙镁是土壤中的主要阳离子,其含量主要受成土母质的影响[12]。利川6种主要成土母质(母岩)中泥质砂页岩发育的耕地交换性钙镁含量相对较低,而河流冲积物、碳酸盐岩等碳酸钙含量相对较高的母质发育的交换性钙则较高。较多报道[3][5][6][7][8][11],土壤酸碱性对土壤交换性钙镁含量影响较大,土壤pH越低其交换钙镁含量也越低。利川耕地酸化问题突出,分布广、面积大、程度深,故耕地交换性钙镁总体缺乏。毛辉等[7]还报道土壤交换性钙镁含量与海拔高度呈负相关,利川耕地土壤则显示不相关。另外灌溉、施肥、松土等农田管理措施和植物类型也会对钙、镁的组成产生较大影响[4],近几十年来,利川的肥料品种发生了较大变化,复合肥、配方肥部分或完全取代了过磷酸钙、钙镁磷肥等,使施入土壤中的含钙镁肥料明显减少;蔬菜等喜钙镁高产作物的大量推广和复种指数的不断提高,从土壤中带走了更多的钙镁营养;这些都会导致耕地中交换性钙镁含量降低。

### 4.3. 作物缺乏钙镁时的主要症状表现

缺钙时,细胞壁中果胶酸钙的形成受阻,造成根系生长不良,影响作物对水分和养分的吸收。缺钙时,作物体内硝酸还原酶的活性受到抑制,使硝酸态氮还原成氨的过程受阻,影响作物的正常生长和发育。钙还能中和作物代谢过程中所形成的有机酸,有调节作物体内pH的功效,可以避免因草酸过多而使作物遭受受害。钙还能减低原生质胶体的分散度,有利于作物的正常代谢。钙与铵离子的拮抗作用,可以消除土壤溶液中铵离子过多的为害。钙与氢、铝、钠等离子也有拮抗作用,可以避免酸性土壤中铝、氢离子及碱土中钠离子过多的毒害。因此,在酸性土壤施用石灰及碱性土壤施用石膏均有良好的作用。钙在作物体内主要集中在营养器官或较老的组织中,作物体内移动性差,因此缺钙症状首先在根尖、顶

芽等部位发生。作物缺钙，生长停止，植株矮小，表现未老先衰，幼叶卷曲而脆弱，叶缘发黄逐渐坏死，根短小，茎及根尖分生组织细胞逐渐腐烂而死亡，生殖器官常出现不结实或结实不良[1]。

镁是叶绿素和植素的组成成分，对光合作用有重要作用，缺镁时，不能形成叶绿素，致使光合作用无法进行。镁离子是许多酶的活化剂，能加速酶促反应，有利于磷酸化、胺基化、甲基化、脱羧基等反应进行，能促进作物体内糖类的转化及其它代谢过程。因此，镁对碳水化合物的代谢、作物体内的呼吸作用均起着重要的作用。镁还能促进脂肪和蛋白质的合成。因此，油料作物施用镁肥可提高其含油量。镁能使磷酸转移酶活化，因此施用适量的镁肥有利于作物对磷的吸收。镁能促进作物体内维生素 A 和 C 的形成，提高果树产品和蔬菜的品质。镁还能与某些离子(钾、钙、铵、氢)产生拮抗作用，过多施用钾肥，会削弱作物对镁的吸收。同样，过量施用石灰及生理酸性铵态氮肥也会影响作物对镁的吸收。镁在作物体内较易移动，可向新生组织转移，缺镁时，首先表现在下部老的叶片上，先出现叶脉间缺绿，甚至呈淡绿色；严重时，整个叶片变黄或发亮，以致叶肉组织变为褐色而坏死；开花明显受到抑制，果实产量减低[1]。

## 5. 结论

### 5.1. 利川耕地交换性钙镁行政区域分布差异较明显

交换性钙点位均值 2151 mg/kg，处于潜在缺乏水平。丰富以上水平不到 30%，潜在缺乏超过 30%，缺乏以下超过 40%；乡镇均值极差 2826 mg/kg，柏杨坝、元堡平均处于丰富水平，毛坝为茶区处于极缺水平，其它乡镇处于潜在缺乏水平，呈西北向东南逐渐降低的趋势。交换性镁均值 134 mg/kg，处于缺乏水平。丰富水平不足 1%，缺乏以下超过 92%；乡镇均值极差 127 mg/kg，除毛坝处于极缺水平，其它乡镇皆处于缺乏水平。

### 5.2. 利川耕地交换钙镁垂直分布差异较小

低山、二高山、高山的交换性钙点位均值都在 2150 mg/kg 上下，处于潜在缺乏水平。低山 > 高山 > 二高山，但差异较小，均值极差仅 29 mg/kg；交换性镁在 130 mg/kg 左右，处于缺乏水平。二高山 > 低山 > 高山，差异也不大，均值极差仅 14 mg/kg，极值、极差都随海拔降低而降低。

### 5.3. 水旱不同利用类型交换性钙镁差异较小

交换性钙镁点位均值都是水田高于旱地，交换性钙水田 2351 mg/kg、旱地 2073 mg/kg，都处于潜在缺乏水平；交换性镁水田 154 mg/kg、旱地 127 mg/kg，都处于缺乏水平。

### 5.4. 不同土类耕地交换性钙差异较大、交换性镁则较小

交换性钙棕壤(3456 mg/kg) > 石灰土(2800 mg/kg) > 水稻土(2351 mg/kg) > 黄棕壤(2023 mg/kg) > 潮土(2020 mg/kg) > 紫色土(1844 mg/kg) > 黄壤(897 mg/kg)，均值极差 2559 mg/kg；交换性镁紫色土(161 mg/kg) > 石灰土(158 mg/kg) > 水稻土(154 mg/kg) > 黄棕壤(123 mg/kg) > 潮土(113 mg/kg) > 棕壤(96 mg/kg) > 黄壤(80 mg/kg)，均值极差 81 mg/kg。棕壤和石灰土的交换性钙含量丰富，黄壤的交换性钙镁含量都较低。

### 5.5. 不同成土母质发育的耕地交换性钙差异较大、交换性镁则较小

交换性钙河流冲积物(2532 mg/kg) > 碳酸盐岩(2465 mg/kg) > 第四纪黏土(2461 mg/kg) > 紫色页岩(2077 mg/kg) > 石英砂岩(1658 mg/kg) > 泥质砂页岩(1385 mg/kg)，均值极差 1147 mg/kg；交换性镁紫色



页岩(170 mg/kg) > 第四纪黏土(141 mg/kg) > 碳酸盐岩(133 mg/kg) > 河流冲积物(130 mg/kg) > 泥质砂页岩(105 mg/kg) > 石英砂岩(101 mg/kg), 均值极差 65 mg/kg。

### 5.6. 耕地交换性钙镁与其它土壤指标的相关性

从统计学意义上看, 交换性钙与交换性镁、pH、全氮、速效钾、有机质、有效铜、镉、砷呈极显著正相关, 与有效硼呈显著正相关, 与有效磷、有效铁呈极显著负相关; 交换性镁与 pH、有效硼、有效铜呈极显著正相关, 与有效磷、有效铁、硒、汞呈极显著负相关, 与铬呈显著负相关。

## 6. 小结

随着施肥结构的逐渐变化, 氮磷钾大量元素在土壤中不断积累, 能够充分满足作物的需要, 甚至过剩。而钙镁硼锌等微量元素成了限制作物产量提高和品质提升的新限制因子。根据利川耕地交换性钙镁含量及分布情况看, 耕地土壤整体缺镁, 南部的毛坝镇缺钙; 不同海拔高度垂直分布差异不大; 泥质页岩和石英砂岩发育的耕地土壤普遍缺钙。因此, 在利川乃需重视过磷酸钙、钙镁磷肥等老品种含钙镁磷肥的应用, 并加强推广硫酸镁、最镁、硫酸钾镁肥等新型镁肥的全面应用, 为耕地补充更多的钙镁营养, 便于作物吸收利用, 实现优质高产稳产。

## 参考文献

- [1] 彭克明, 裴保义. 农业化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1979: 179-181.
- [2] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中. 耕地土壤中交换态钙镁铁锰铜锌相关关系研究[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 160-163.
- [3] 彭赞文, 刘茜, 瞿小杰, 廖恒. 茶园土壤交换性钙镁离子含量及其与主要养分相关性[J]. 吉林农业大学学报, 2023, 45(1): 77-82.
- [4] 张白鸽, 陈琼贤, 曹健, 等. 珠三角主菜区土壤交换性钙、镁的丰缺指标及分布特征[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(2): 25-29.
- [5] 杨用钊, 张杰, 宋文萍, 刘嫫. 淮安市清浦区酸性土壤交换性钙镁含量及比值研究[J]. 宁夏农林科技, 2016, 57(4): 29-30+57.
- [6] 蔡凯, 高维常, 潘文杰, 等. 贵州烟田土壤 pH、交换性钙镁和  $\text{CaCO}_3$  含量分布特征及其相互关系[J]. 土壤通报, 2022, 53(3): 532-539.
- [7] 毛辉, 吴志科, 卿湘涛, 等. 湖南龙山县植烟土壤交换性钙镁的空间分布及影响因素[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2017, 43(1): 19-25.
- [8] 郝尚妍, 周嵘, 徐宸, 等. 重庆渝东北植烟区土壤交换性钙镁与土壤属性的关联特性研究[J]. 土壤, 2023, 55(2): 288-294.
- [9] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [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] 刘杰, 谭智勇, 周兴华, 等. 铜仁市植烟土壤交换性钙镁空间分布特征及其影响因素分析[J]. 核农学报, 2022, 36(4): 812-819.
- [12] 李军, 梁洪波, 宛祥, 等. 烟田土壤养分状况及其与成土母质的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(3): 21-25.