

赣南脐橙园种植区和背景区不同土层养分丰缺状况

谢凯柳¹, 商庆银², 王小慧³, 汪 露¹, 杨秀霞^{1*}

(¹江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045; ²江西农业大学农学院, 南昌 330045;

³南昌市园林科学技术研究所, 南昌 330006)

摘 要:【目的】探究赣南脐橙产区土壤基本养分含量及其变化趋势, 探讨限制脐橙生产的关键限制因子, 为合理施肥提供科学依据。【方法】于2018年在该区域脐橙主产区选取105个代表性果园, 分别采集种植区和背景区0~20 cm和20~40 cm土层样品进行测定分析。【结果】与背景区相比, 种植区土壤pH值呈降低的趋势, 其中20~40 cm土层pH值显著低于背景区。赣南脐橙园土壤有机质含量(w, 后同)范围介于3.1~45.0 g·kg⁻¹, 种植区和背景区超出适宜水平的比例分别占51%和69%, 其中种植区0~20 cm土层有机质含量显著高于背景区。土壤有效氮、有效磷、有效钾含量(w, 后同)分别为7.3~343.3、0~175.5、0~739.9 mg·kg⁻¹, 其中种植区显著高于背景区, 种植区处于高量和过量范围的比例高达64%、91%和92%。土壤有效钙和有效镁含量分别为0.5~7 540.7 mg·kg⁻¹和0.4~387.0 mg·kg⁻¹, 其中背景区土壤有效钙和有效镁含量处于缺乏和低量的果园比例合计高达84%和99%; 种植区土壤有效钙和有效镁含量显著高于背景区, 但有59%果园土壤有效钙含量不足。赣南脐橙园土壤有效铁、有效锰、有效锌和有效铜含量分别为0.2~305.7、0.4~135.3、0.01~20.07、0.01~82.41 mg·kg⁻¹, 其中种植区含量超出适宜范围的果园分别占78.0%、62.0%、69.0%和76.0%, 显著高于背景区。【结论】与赣南脐橙园背景区相比, 种植区土壤pH呈下降的趋势, 而种植区土壤有机质以及氮磷钾等有效态养分元素含量均呈增加的趋势, 且主要表现在0~20 cm土层显著增加。赣南脐橙园背景区和种植区土壤普遍存在酸化严重、有效钙和有效镁含量不足的问题, 而种植区土壤有效态氮、磷、钾、铁、锰、锌和铜等养分普遍过量也值得关注。

关键词: 脐橙园; 土壤养分分级; 背景区; 种植区; 赣南

中图分类号: S666.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)09-1503-12

Analysis and evaluation of nutrient contents of different layers of virgin and cultivated soils in navel orange orchards of Southern Jiangxi province

XIE Kailiu¹, SHANG Qingyin², WANG Xiaohui³, WANG Lu¹, YANG Xiuxia^{1*}

(¹College of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi, China; ²College of Agricultural Science, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, Jiangxi, China; ³Nanchang Institute of Landscape Science and Technology, Nanchang 330006, Jiangxi, China)

Abstract: 【Objectives】This study aimed to understand the available nutrient content of soils in navel orange orchards and provide basis for rational fertilization in Southern Jiangxi province. 【Methods】Virgin and cultivated soil samples collected from 105 representative orchards in main producing area were analyzed in 2018. 【Results】The results showed that, soil pH showed a downward trend in cultivated soil samples, compared with virgin soil samples, and the pH in the soil layer of 20–40 cm was significantly lower than that in the virgin soil samples. The content of soil organic matter (SOM) in navel orange orchards ranged from 3.1 to 45.0 g·kg⁻¹. The proportion of SOM over the suitable value in the virgin and the cultivated soil samples accounted for 51% and 69%, respectively. The content of SOM in the cultivated soils was significantly higher than that in the virgin soils. The contents of soil avail-

收稿日期: 2020-10-23 接受日期: 2021-06-11

基金项目: 国家自然科学基金(31960626); 国际镁营养研究所项目(IMI2018)

作者简介: 谢凯柳, 女, 讲师, 博士, 主要从事植物营养生理研究。Tel: 15105195661, E-mail: kailiuxie@jxau.edu.cn

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13330061230, E-mail: yangxiuxia11@163.com

able nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) were 7.3–343.3, 0–175.5 and 0–739.9 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of soil available N, P and K in the cultivated soils were significantly higher than those in the virginal soils, and the proportion of high and excess amounts in the cultivated soils was as high as 64%, 91% and 92%, respectively. The contents of soil available Calcium (Ca) and Magnesium (Mg) were 0.5–7 540.7 and 0.4–387.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The orchards with deficient and low contents of soil available Ca and Mg in the virginal soils accounted for 84% and 99%, respectively. The contents of soil available Ca and Mg in the cultivated soils were significantly higher than that in the virginal soils, but 59% of the soils still had insufficient content of available Ca. The contents of available Iron (Fe), Manganese (Mn), Zinc (Zn) and Copper (Cu) in the soil samples were 0.2–305.7, 0.4–135.3, 0.01–20.07 and 0.01–82.41 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The contents of available Fe, Mn, Zn and Cu in the cultivated soils were significantly higher than those in the virginal soils. The proportion of available Fe, Mn, Zn and Cu exceeding the suitable range in the cultivated soils, which are significantly higher than those in virgin soils accounted for 78.0%, 62.0%, 69.0% and 76.0% in the cultivated soils, respectively.

【Conclusion】 Compared with the virginal soils, the soil pH decreased obviously, while the contents of SOM and available nutrients such as N, P and K increased in the cultivated soils, and the significant increase was mainly found in the 0–20 cm soil layer. Both the virginal and the cultivated soils in navel orange orchards of Southern Jiangxi province were found to be highly acidic and severely deficient in the soil available Ca and Mg. Meanwhile, excess of the available soil N, P, K, Fe, Mn, Zn and Cu in Southern Jiangxi province should also be paid attention in practice.

Key words: Navel orange orchard; Classification for nutrient; Virginal soil; Cultivated soil; Southern Jiangxi province

脐橙(*Citrus sinensis*)是芸香科柑橘属甜橙类中的主要品种群,因具有果大美观、色泽鲜艳、肉质脆嫩化渣、风味浓郁芳香、无核、早熟、耐贮运等特点而驰名中外,目前在中美洲、南美洲、欧洲及亚洲均有大规模的种植,为水果市场中的柑橘之王。赣南地区位于江西省南部,属中亚热带南缘,气候温和,雨量充沛,无霜期长,适宜脐橙生长,脐橙品质较好,是农业部确定的九大“优势农产品区划布局规划”中的“柑橘优势区域”^[1]。近年来,赣南产区的脐橙在果实迅速膨大期出现不同程度叶片黄化,有机肥施用少的红壤和沙质土果园尤其严重^[2],严重制约着赣南脐橙生产的进一步发展。土壤养分是作物营养的主要来源,调查分析赣南产区脐橙园土壤养分的丰缺状况,对合理施肥和脐橙园的科学管理具有重要的指导作用。

背景土壤的理化性状对果园土壤肥力具有显著影响,因此分析评价赣南脐橙园背景土壤的养分状况,对指导建园过程土壤改良和果园建成后土壤施肥管理具有十分重要的意义。据报道,赣南脐橙园绝大部分建在丘陵山坡,背景土壤有效养分普遍不足^[3–5]。如王男麒等^[5]对赣南柑橘园背景土壤样品分

析发现,赣南地区95%的果园土壤有机质含量偏低,有效氮、有效磷、有效钾、有效钙、有效镁、有效铁、有效锰、有效锌、有效铜和有效硼缺乏的果园比例分别为40%、92%、30%、45%、89%、6%、14%、45%、26%和67%。在生产上,赣南脐橙种植园普遍重视氮肥、磷肥和钾肥的施用,因此脐橙树体少有氮、磷和钾缺乏现象,部分果园的树体还存在氮和钾过量问题。然而,赣南脐橙几乎不施用中微量元素,因此脐橙树体低钙、缺镁和缺锌问题较为突出。因此,对比分析脐橙园背景区和种植区土壤养分的变化状况,对于指导脐橙园土壤改良和科学施肥具有重要的指导意义。但长期以来,有关脐橙园背景区和种植区土壤性质的比较研究并不多见,以致目前对赣南脐橙园种植区土壤肥力状况的变化趋势缺乏直接的证据。

脐橙为多年生浅根系作物,根系深度一般为10–40 cm,而目前大多数农户以表层撒施的方式施肥,这种方式可能会对土壤剖面养分分布状况产生影响,但目前缺少脐橙园不同剖面土壤养分测定与比较研究。因此,比较和分析脐橙园不同剖面土壤养分分布状况,可为赣南脐橙园土壤培肥和合理施肥提供理论依据。此外,关于柑橘园土壤养分丰缺

状况,目前的研究主要以ASI法评价指标为主体^[6],并结合庄伊美^[7]、何天富^[8]、淳长品等^[9]、鲁剑巍等^[10]、刘桂东等^[11]的分级标准进行养分分级。为进一步了解赣南脐橙园土壤基本养分含量及其变化趋势,笔者在本研究中延续上述方法深入分析赣南脐橙园种植区和背景区不同层次土壤有机质以及有效态氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌和铜等含量以及pH值状况,从而为脐橙合理施肥提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

2018年,在赣州市脐橙主产区选择具有代表性的105个脐橙园。所选脐橙园树龄为10~15 a,品种为枳[*Poncirus trifoliata* (L.)]砧纽荷尔脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck ‘Newhall’)。分别采集脐橙园种植区和背景区0~20 cm和20~40 cm土层土样,具体采样点分布如图1所示。种植区土壤采集是在每个果园按“S”形选取采样树15株,在采样树的树冠滴水线附近(避开施肥穴)确定采样位置,用不锈钢取土器在每株树下分别取0~20 cm和20~40 cm土层土壤约200 g,去除根系、砾石等杂物。将15个采样点所采土壤混匀,用四分法取约500 g,带回实验室自然风干,保存备用。背景区土壤样品采集是在果园周边尚未开垦和从未受到施肥影响的区域(一般离果园周边10 m左右)采集,采集方法与种植区相同。

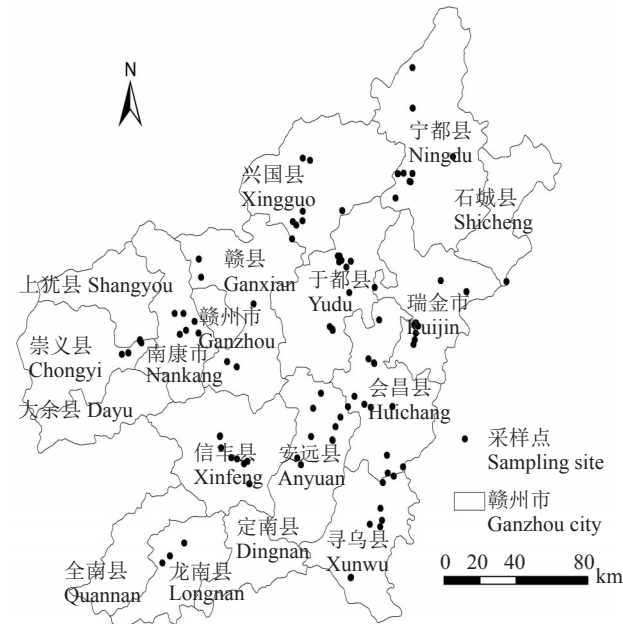


图1 赣南脐橙园采样点分布状况
Fig. 1 Distribution of sampling sites from navel orange orchards in southern Jiangxi province

1.2 样品分析方法

土壤有效养分分析采用国际农化服务中心的土壤养分状况系统研究法(ASI)^[12]。有效态磷、钾、铁、铜、锌、锰采用ASI浸提剂(0.25 mol·L⁻¹ NaHCO₃-0.01 mol·L⁻¹ EDTA-0.01 mol·L⁻¹ NH₄F)浸提,有效钙和有效镁采用1 mol·L⁻¹ KCl浸提。土壤pH值采用pH测定仪测定,土壤有机质含量采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法^[13]测定,碱解氮(有效氮)含量采用扩散法测定,有效磷含量用紫外可见分光光度法测定^[14],有效钾含量用火焰光度计法测定,有效钙、有效镁、有效铜、有效铁、有效锰和有效锌含量用原子吸收分光光度计测定。

1.3 养分分级标准

结合前人的研究结果,柑橘园土壤pH值分级标准:<4.5为强酸性,4.5~5.5为酸性,5.6~6.5为弱酸性,6.6~7.0为微酸至中性,7.1~7.5为微碱性,7.6~8.5为碱性,>8.5为强碱性。对于枳为砧木的脐橙而言,弱酸性土壤最适宜,微酸至中性为适宜,酸性和微碱性为较适宜,强酸性、碱性和强碱性为不适宜。有机质含量(w,后同)分级标准:<5 g·kg⁻¹为极低,5~15 g·kg⁻¹为偏低,16~30 g·kg⁻¹为适宜,>30 g·kg⁻¹为丰富。其他营养元素养分分级指标见表1。

表1 柑橘园土壤有效养分分级标准					
Table 1 Standards for classification of the soil nutrient status of citrus orchard (mg·kg ⁻¹)					
有效养分 Avail. nutrient	分级标准 Classifying standard				
	缺乏 Deficiency	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
有效氮 Avail. N	<20	20~50	51~100	101~300	>300
有效磷 Avail. P	<6	6~12	13~24	25~60	>60
有效钾 Avail. K	<40	40~80	81~120	121~160	>160
有效钙 Avail. Ca	<200	200~400	401~1200	1201~4800	>4800
有效镁 Avail. Mg	<80	80~120	121~300	301~1460	>1460
有效铁 Avail. Fe	<5	5~10	11~30	31~300	>300
有效锰 Avail. Mn	<2	2~5	6~15	16~150	>150
有效锌 Avail. Zn	<1.0	1.0~2.0	2.1~3.0	3.1~6.0	>6.0
有效铜 Avail. Cu	<0.3	0.3~1.0	1.1~2.0	2.1~3.0	>3.0

2 结果与分析

2.1 土壤pH值

赣南脐橙园种植区0~20 cm和20~40 cm土层pH值变化范围分别为3.48~7.03和3.50~7.68,均值分别为4.25和4.09,2个土层之间没有显著差异。种

植区酸性($\text{pH} \leq 6.5$)土壤占 96.2%, 其中强酸性($\text{pH} < 4.5$)土壤占 69.5%, 微酸至中性($\text{pH} 6.5 \sim 7.0$)土壤只占 3.8%, 未发现碱性土壤(表 2 和图 2)。背景区 0~20 cm 和 20~40 cm 土层 pH 值变化范围分别为 3.69~8.61 和 3.80~7.07, 均值分别为 4.35 和 4.38, 2 个土层之间没有显著差异。背景区酸性土壤占 96.0%, 强酸性土壤占 59.5%, 微酸至中性土壤仅占 2.0%, 碱性($\text{pH} > 7.1$)土壤占 2.0%。种植区 0~20 cm

和 20~40 cm 土壤 pH 值比背景区分别降低 5.81% 和 2.71%, 其中 20~40 cm 土层 pH 值显著低于背景区土壤 pH 值(表 2)。根据柑橘对土壤 pH 值的要求, 有 38.6% 的果园背景区土壤 pH 适宜或较适宜柑橘生长(pH 值 4.5~7.0), 但种植区土壤 pH 值处于适宜或较适宜范围的果园仅占 28.7%。从地域性分布来看, 赣州南部地区土壤酸化程度较赣州北部各县区严重(图 2)。

表 2 赣南脐橙园背景区和种植区土壤化学性质

Table 2 Soil properties of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

土壤性质 Soil properties	样本量 Sample No.	种植区 Cultivated soil samples				背景区 Virgin soil samples			
		0~20 cm		20~40 cm		0~20 cm		20~40 cm	
		含量 Average	范围 Range	含量 Average	范围 Range	含量 Average	范围 Range	含量 Average	范围 Range
pH	105	4.25 ab	3.48~7.03	4.09 b	3.50~7.68	4.35 a	3.69~8.61	4.38 a	3.80~7.07
w(有机质)SOM/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	21.7 a	8.8~45.0	17.4 ab	5.0~36.2	16.9 b	3.1~34.2	13.7 b	3.4~27.4
w(有效氮)Avail. N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	125.2 a	43.9~343.3	86.2 b	29.3~261.9	73.9 bc	7.3~164.1	62.3 c	12.3~169.6
w(有效磷)Avail. P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	75.2 a	0.4~175.5	54.5 b	0.6~130.5	6.2 c	0~88.2	3.5 c	0~37.1
w(有效钾)Avail. K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	285.2 a	1.4~739.9	206.5 b	20.9~536.3	89.2c	3.0~324.3	48.3 c	0~152.4
w(有效钙)Avail. Ca/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	592.4 a	1.6~3 612.0	434.7 b	8.3~4 739.8	299.8 bc	6.0~6 049.3	262.5 c	0.5~7 540.7
w(有效镁)Avail. Mg/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	86.9 a	0.4~305.9	67.4 a	1.1~198.3	37.1 b	1.6~377.1	30.1 b	2.6~387.0
w(有效铁)Avail. Fe/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	70.2 a	0~190.3	54.4 a	0.2~305.7	33.0 b	0.1~148.1	32.1 b	1.0~156.3
w(有效锰)Avail. Mn/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	25.9 a	3.7~135.3	22.3 a	2.1~133.6	20.3 a	0.4~129.3	17.3 a	1.5~124.5
w(有效锌)Avail. Zn/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	4.31 a	0.14~20.07	3.07 b	0.19~19.17	1.50 c	0.08~6.90	1.45 c	0.01~19.10
w(有效铜)Avail. Cu/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	105	4.54 a	0.27~68.71	2.65 b	0.29~82.41	1.58 bc	0.01~17.30	0.96 c	0.14~3.87

注: 同行数据后不同字母表示 Tukey-HSD 检验差异达 5% 显著水平。

Note: Values followed by different letters in the same line are significant at the 5% level, according to Tukey-HSD test.

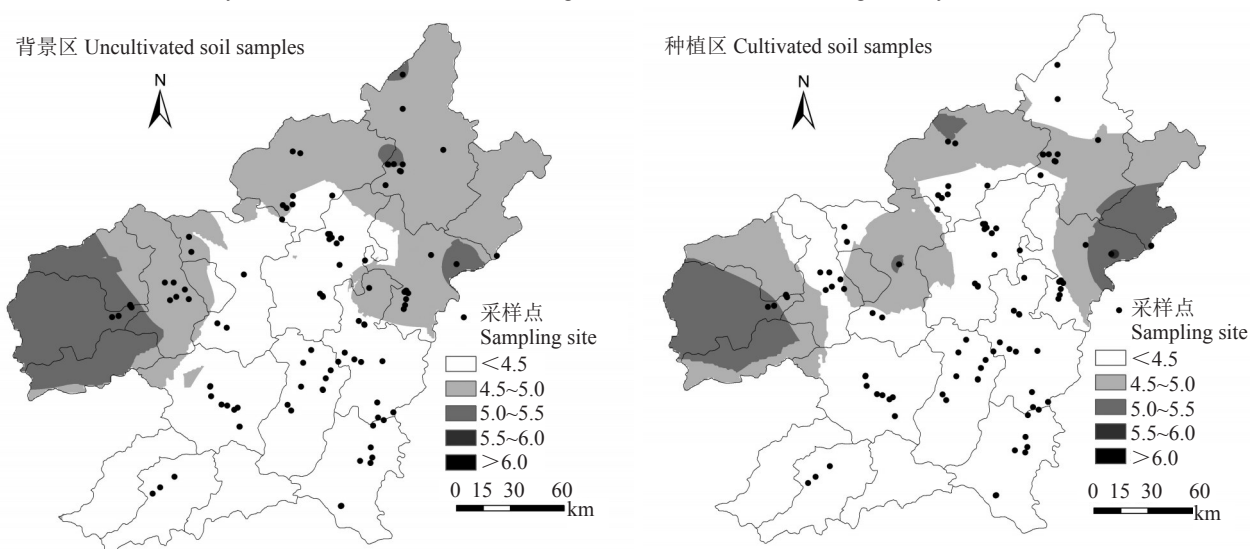


图 2 背景区和种植区土壤 pH 值分布状况

Fig. 2 The contents of soil pH of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

2.2 土壤有机质含量

赣南脐橙园种植区 0~20 cm 和 20~40 cm 土层有机质含量变化范围分别为 8.8~45.0 和 5.0~36.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,

均值分别为 21.7 和 17.4 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2 个土层之间没有显著差异。种植区 0~20 cm 土壤有机质 68.9% 的土壤有机质含量 $\geq 15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中 $> 30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 占 13.3%;

介于 $5\sim 15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的占28.9%,其中2.2%果园土壤有机质含量低于 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表2和图3)。背景区0~20 cm和20~40 cm土层有机质含量变化范围分别为 $3.1\sim 34.2$ 和 $3.4\sim 27.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,均值分别为16.9和 $13.7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,2个土层之间没有显著差异。背景区0~20 cm土壤只有51.1%的有机质含量 $\geq 15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中 $> 30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 仅占4.4%;而偏低范围($5\sim 15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)的占

33.3%,其中15.6%果园土壤有机质含量低于 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表2和图3)。与脐橙园背景区相比,种植区0~20 cm和20~40 cm土层有机质含量分别增加了29.6%和18.3%,其中种植区0~20 cm土层显著高于背景区(表2)。各县区脐橙园土壤有机质含量处于中等偏下水平,且随着纬度的增加,土壤有机质含量呈下降的趋势(图3)。

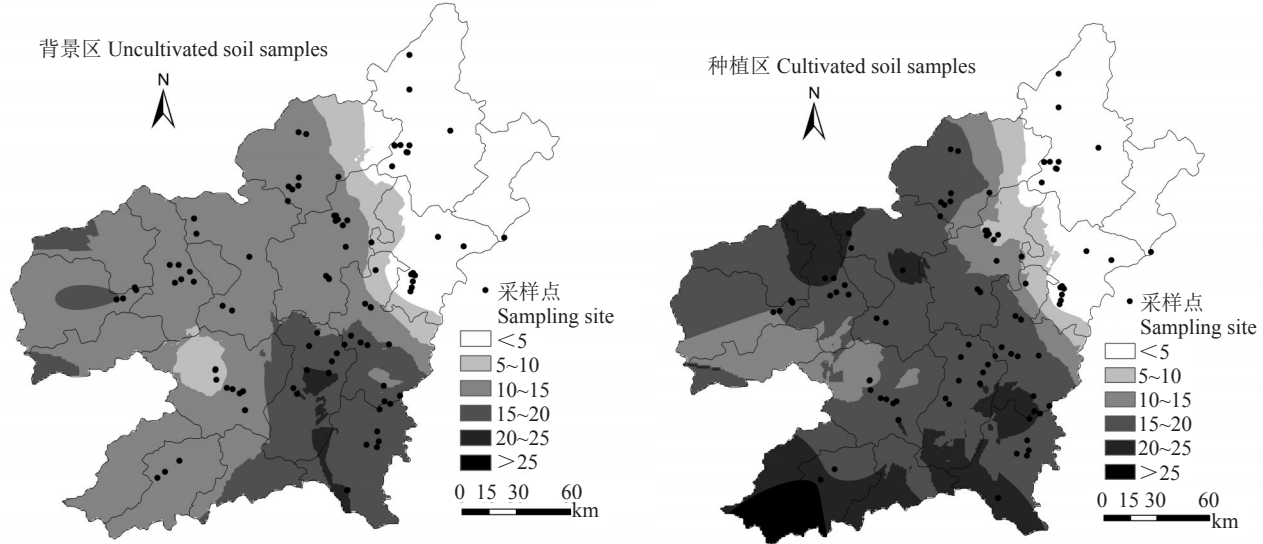


图3 背景区和种植区土壤有机质含量分布状况

Fig. 3 The contents of soil organic matter of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

2.3 土壤有效氮、磷、钾含量

赣南脐橙园背景区0~20 cm和20~40 cm土层有效氮含量(w ,后同)变化范围分别为 $7.3\sim 164.1$ 和 $12.3\sim 169.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均值分别为73.9和 $62.3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,2个土层之间没有显著差异。背景区0~20 cm土层有效氮含量处于适量范围的果园有60%,而低于和

高于适量范围的果园比例分别为21%和19%(表3)。与脐橙园背景区相比,种植区土壤有效氮含量显著增加(表2和图4)。种植区0~20 cm和20~40 cm土层有效氮含量变化范围分别为 $43.9\sim 343.3$ 和 $29.3\sim 261.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,均值分别为125.2和 $86.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,其中0~20 cm土层显著高于20~40 cm土层。种植区

表3 背景区和种植区土壤有效养分含量分布频率

Table 3 Frequency distribution of available nutrients in virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province												%
有效养分 Avail. nutrient	样本量 Sample No.	种植区 Cultivated soil samples					背景区 Virgin soil samples					
		缺乏 Deficiency	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range	缺乏 Deficiency	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range	
有效氮 N	105	0.0	1.0	35.3	62.7	1.0	3.0	18.0	60.0	19.0	0.0	
有效磷 P	105	3.8	2.9	1.9	24.0	67.3	81.2	4.0	7.9	5.9	1.0	
有效钾 K	105	1.0	3.8	4.8	7.6	82.9	21.2	34.3	24.2	9.1	11.1	
有效钙 Ca	105	34.3	24.5	26.5	14.7	0.0	57.6	26.3	14.1	2.0	0.0	
有效镁 Mg	105	68.6	16.7	13.7	1.0	0.0	92.9	6.1	0.0	1.0	0.0	
有效铁 Fe	105	7.0	4.0	11.0	78.0	0.0	11.1	15.2	38.4	35.4	0.0	
有效锰 Mn	105	0.0	3.0	35.0	62.0	0.0	3.0	16.2	36.4	44.4	0.0	
有效锌 Zn	105	6.0	11.0	14.0	41.0	28.0	47.5	28.3	13.1	8.1	3.0	
有效铜 Cu	105	1.0	11.0	12.0	17.0	59.0	17.2	37.4	24.2	10.1	11.1	

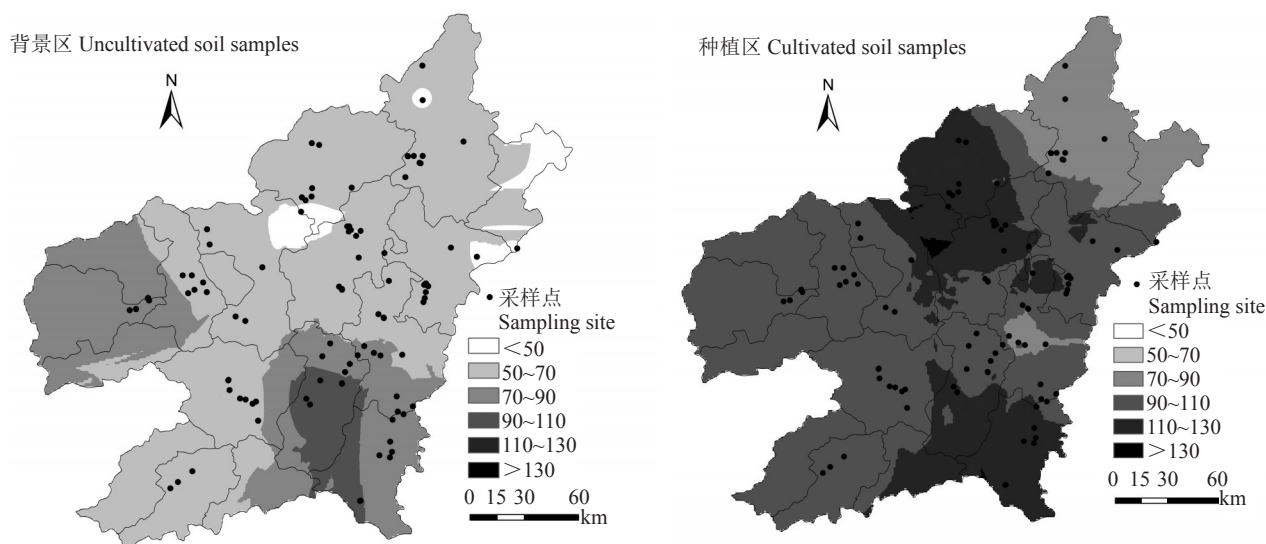


图4 背景区和种植区土壤有效氮含量分布状况

Fig. 4 The contents of soil available N of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

0~20 cm 土层有效氮含量处于适量范围的果园仅有 35%, 而处于高量和过量范围的脐橙园比例高达 64%(表3)。

背景区 0~20 cm 和 20~40 cm 土层有效磷含量变化范围分别为 0~88.2 和 0~37.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值分别为 6.2 和 3.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2 个土层之间没有显著差异。背景区土层有效磷含量较低, 处于适量范围的比例仅占 8%, 处于高量和过量范围的脐橙园比例为 7%, 而缺乏和低量的果园比例合计高达 85%(表3)。与脐橙园背景区相比, 种植区土壤有效磷含量显著增加(表2 和图5)。

40 cm 土层有效磷含量变化范围分别为 0.4~175.5 和 0.6~130.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值分别为 75.2 和 54.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其中 0~20 cm 土层显著高于 20~40 cm 土层。种植区土壤有效磷含量显著高于背景区(图5), 其中处于高量和过量范围的脐橙园比例高达 91%, 而处于适量范围的比例不足 2%(表2)。

赣南脐橙园背景区 0~20 cm 和 20~40 cm 土层有效钾含量变化范围分别为 3.0~324.3 和 0~152.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 均值分别为 89.2 和 48.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 2 个土层之间没有显著差异。背景区土壤有效钾含量处于适量范围的比例为 24%, 处于高量和过量范围的脐橙园比例为

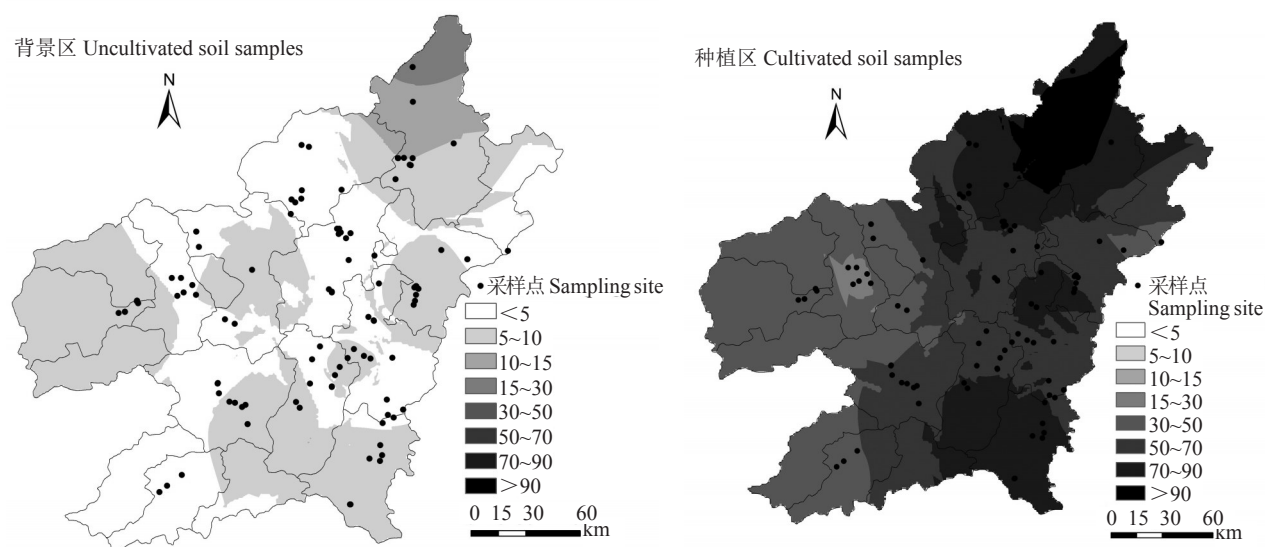


图5 背景区和种植区土壤有效磷含量分布状况

Fig. 5 The contents of soil available P of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

20%,而缺乏和低量的果园比例合计为56%(表3)。与脐橙园背景区相比,种植区土壤有效钾含量显著增加(表2和图6)。赣南脐橙园种植区0~20 cm和20~40 cm土层有效钾含量变化范围分别为1.4~739.9和20.9~536.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值分别为285.2和206.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中0~20 cm土层显著高于20~40 cm土层。种植区土壤有效钾含量显著高于背景区(图6),

其中0~20 cm处于适量范围的比例仅为5%,处于高量和过量范围的脐橙园比例分别为9%和83%,而缺乏和低量的果园比例仅为5%(表3)。

从地域性分布来看,赣州西部的南康、上犹、崇义和大余等县区土壤有效氮磷钾含量相对较低,而赣州东部各县区土壤有效氮磷钾含量普遍严重过量,在生产上应加以控制(图4,图5)。

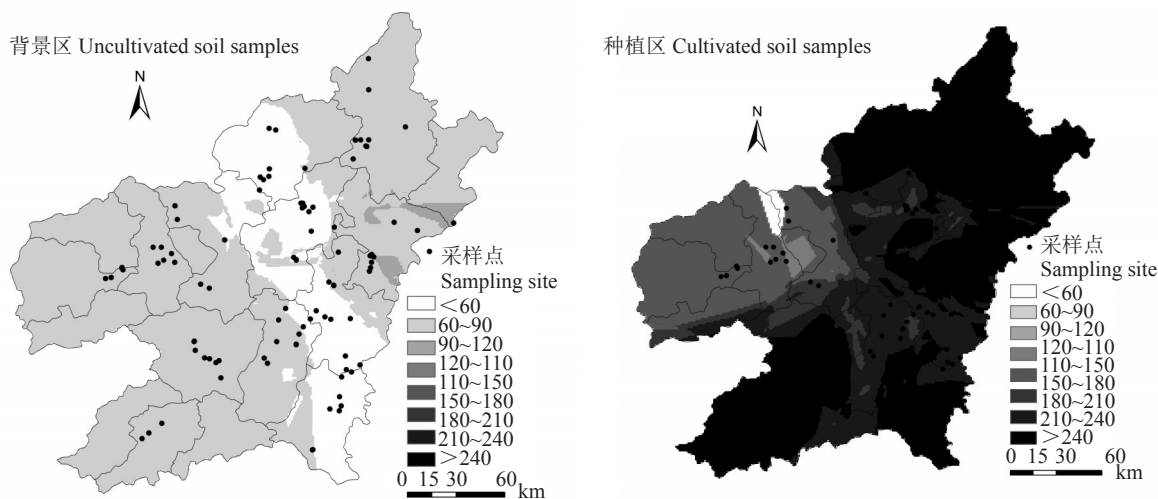


图6 背景区和种植区土壤有效钾含量分布状况

Fig. 6 The contents of soil available K of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

2.4 土壤有效钙、镁含量

赣南脐橙园背景区0~20 cm和20~40 cm土层有效钙含量变化范围分别为6.0~6 049.3和0.5~7 540.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值分别为299.8和262.5 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,2个土层之间没有显著差异。背景区土壤有效钙含量处于缺乏和低量的果园比例合计高达84%,处于适量范围的仅占14%(表3)。与脐橙园背景区相比,种植区土壤有效钙含量显著增加(表2和图7)。种植区0~20 cm和20~40 cm土层有效钙含量变化范围分别为1.6~3 612.0和8.3~4 739.8 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值分别为592.4和434.7 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中0~20 cm土层显著高于20~40 cm土层。种植区0~20 cm土层处于适量范围的比例增加至27%,接近15%的果园处于高量范围,但仍有59%的果园土壤有效钙含量不足。从地域性分布来看,赣州地区从南往北和从西往东土壤有效钙含量分布呈逐渐降低的趋势(图7)。

赣南脐橙园背景区0~20 cm和20~40 cm土层有效钙含量变化范围分别为1.6~377.1和2.6~387.0 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值分别为37.1和30.1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,2个土层之间没有显著差异。背景区土壤有效镁含量处于

缺乏和低量的果园比例达93%和6%(表3)。与脐橙园背景区相比,种植区土壤有效钙含量显著增加(表2和图7)。种植区0~20 cm和20~40 cm土层有效钙含量变化范围分别为0.4~305.9和1.1~198.3 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均值分别为86.9和67.4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,2个土层之间没有显著差异。种植区土壤有效镁含量显著高于背景区(图8),其中处于适量范围的比例接近14%,但仍有85%的果园土壤有效镁含量不足。从地域性分布来看,中部地区种植区土壤有效镁含量较高,西部和东部地区土壤有效镁含量较低,尤其是赣州东北部的宁都和瑞金等地种植区含量极低(图8)。

2.5 土壤有效铁、锰、锌和铜含量

赣南脐橙园土壤有效铁、锰、锌和铜含量分别为0~305.7、0.4~135.3、0.01~20.07和0.01~82.41 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表2)。从不同土层可以看出,背景区0~20 cm和20~40 cm土层有效铁、锰、锌和铜含量均没有显著差异,但种植区0~20 cm土层有效锌和铜含量显著高于20~40 cm土层(表2)。与脐橙园背景区相比,种植区土壤有效锰含量没有显著变化,但种植

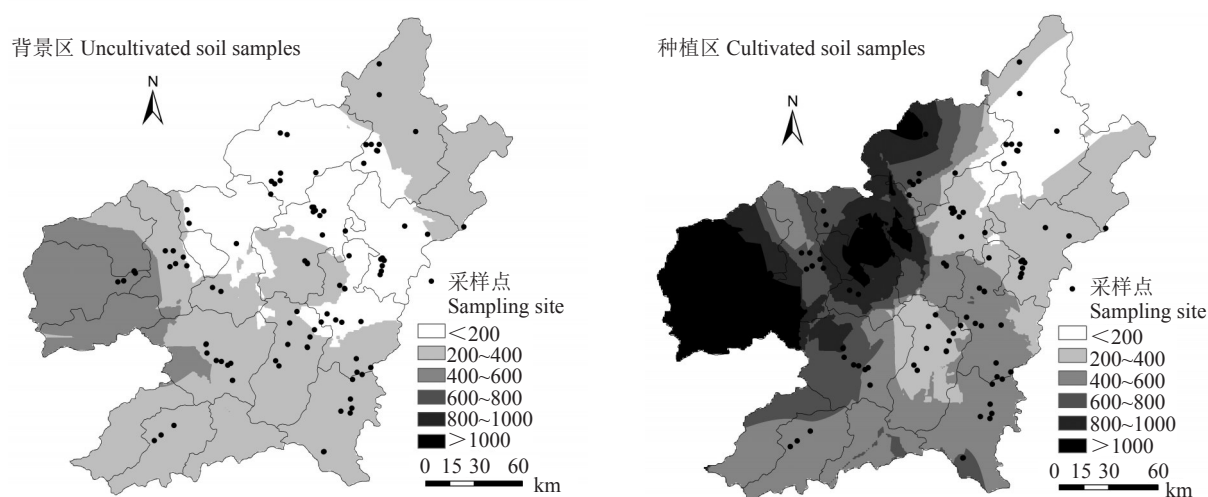


图7 背景区和种植区土壤有效钙含量分布状况

Fig. 7 The contents of soil available Ca of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

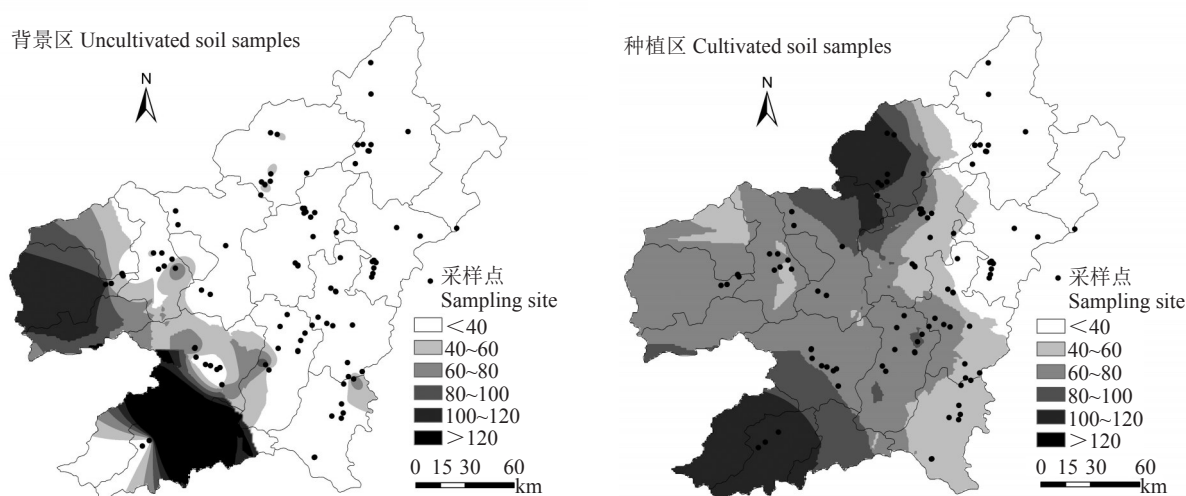


图8 背景区和种植区土壤有效镁含量分布状况

Fig. 8 The contents of soil available Mg of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

区土壤有效铁、锌和铜含量显著高于背景区(表2、图9~图12)。

从有效养分含量分级可以看出,果园背景区土壤的有效铁和有效锰含量丰富,有效锌和有效铜含量普遍不足,种植区土壤各微量元素的有效含量均显著增加(表3)。背景区土壤有效铁含量处于适宜范围及以上的果园占74%,果园有效铁为低量或缺乏范围的果园占26%;种植区土壤有效铁含量处于适宜范围及以上的果园增加至89%,仅有11%果园有效铁含量处于低量或缺乏范围。背景区土壤有效锌含量处于低量或缺乏范围的果园占76%,其中缺

乏的占48%;种植区土壤有效锌含量处于低量或缺乏范围的果园降至17%,而处于高量和过量范围的果园增加至69%。背景区土壤有效铜含量处于低量或缺乏范围的果园占55%,其中缺乏的占48%;种植区土壤有效铜含量处于低量或缺乏范围的果园降至12%,而处于高量和过量范围的果园高达76%。种植区土壤有效锰含量处于适宜范围及以上的果园高达97%,仅有3%果园有效铁含量为低量范围。

从地域性分布可以看出,赣南脐橙园土壤各微量元素的有效含量分布状况不尽相同。就土壤有效铁含量而言,赣州中部地区高于南部和北部地区(图

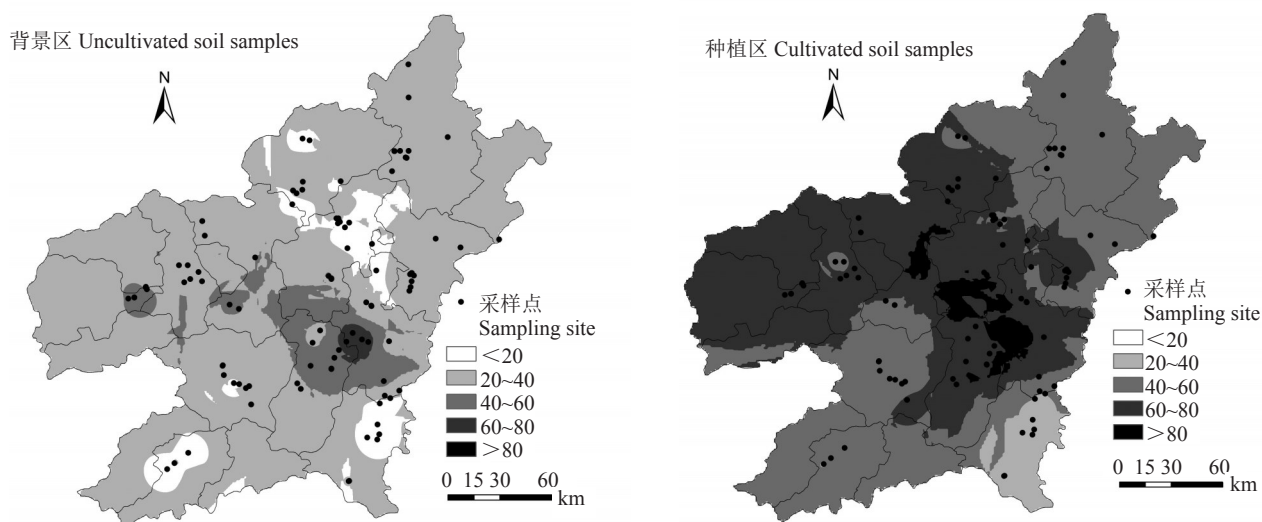


图9 背景区和种植区土壤有效铁含量分布状况

Fig. 9 The contents of soil available Fe of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

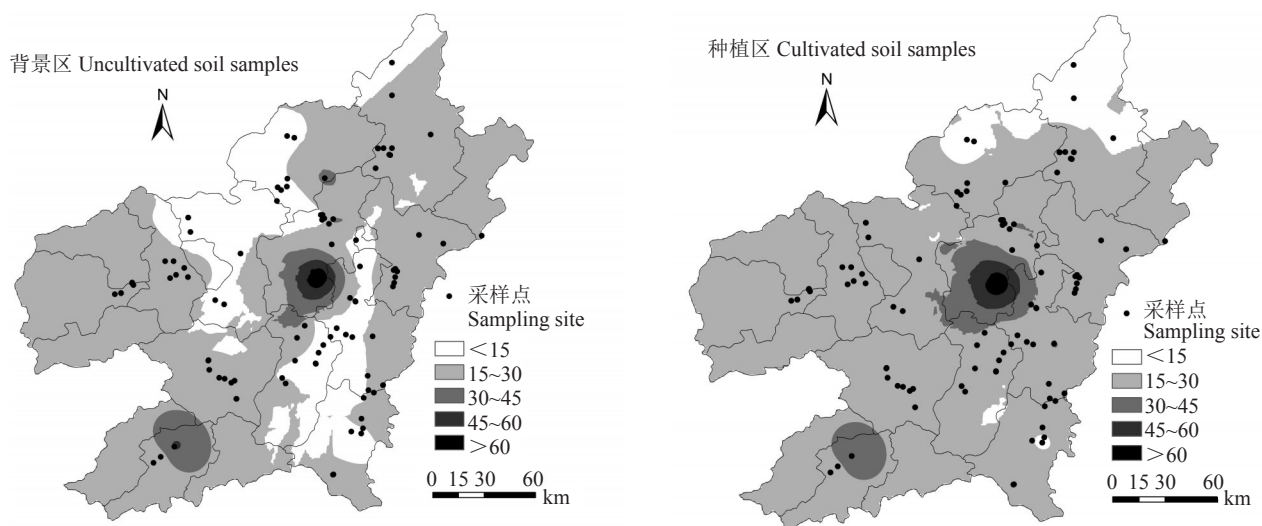


图10 背景区和种植区土壤有效锰含量分布状况

Fig. 10 The contents of soil available Mn of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

9);就土壤有效锰含量而言,除了于都县较高外,赣州各县区分布较为均匀,处于中等偏上的水平(图10);就土壤有效锌含量而言,除了赣县种植区较高外,赣州各县区整体分布较均匀(图11);赣州大部分地区土壤有效铜含量偏高,而龙南、全南、定南以及信丰各地区相对较低(图12)。

3 讨论

整个脐橙园种植区和背景区土壤pH值变化范围为3.5~8.6,其中酸性土壤占96.0%,这与王男麒等^[5]和刘桂东等^[11]的调查研究结果基本一致。然而,

赣南脐橙园种植区0~20 cm和20~40 cm土壤pH值比背景区分别降低5.81%和2.71%,表现出酸化趋势。其中,38.6%的果园背景区0~20 cm土壤pH适宜脐橙生长,但种植区0~20 cm土壤pH值处于适宜范围的果园仅占28.7%。影响土壤pH值的因素较多,比如与成土母质、气候环境、元素之间的相互作用和施肥情况等密切相关^[15]。红壤具有较强的脱硅富铝化作用,能够促进土壤中 Al^{3+} 大量富集,在水分作用下释放大量的 H^+ ,使土壤呈酸性,在赣南地区高温多雨环境导致淋溶作用强烈^[4, 16],盐基淋溶较为彻底,以致土壤多呈酸性至强酸性^[17]。脐橙种植后,很

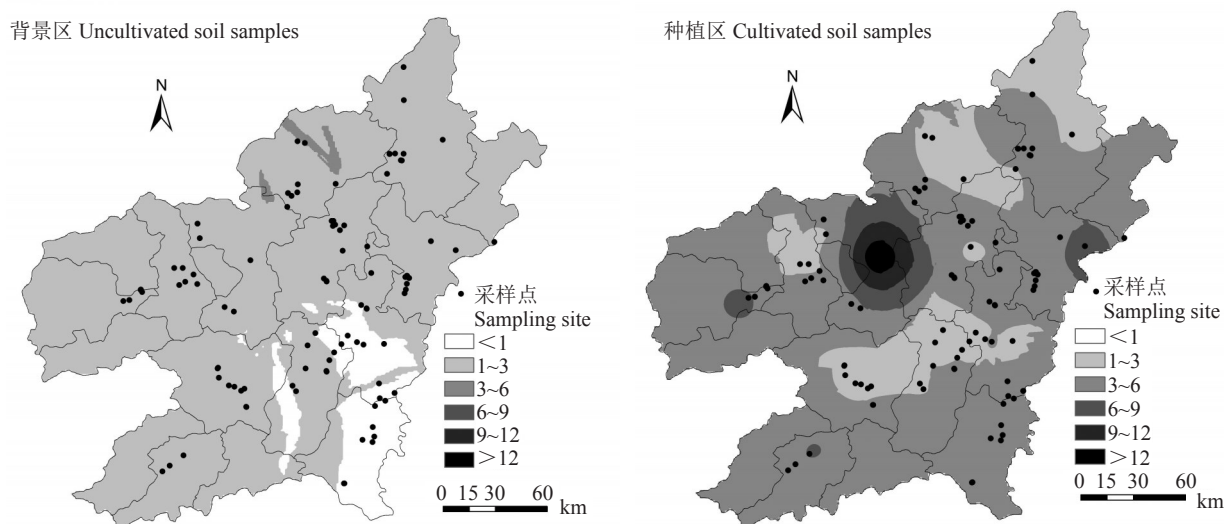


图 11 背景区和种植区土壤有效锌含量分布状况

Fig. 11 The contents of soil available Zn of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

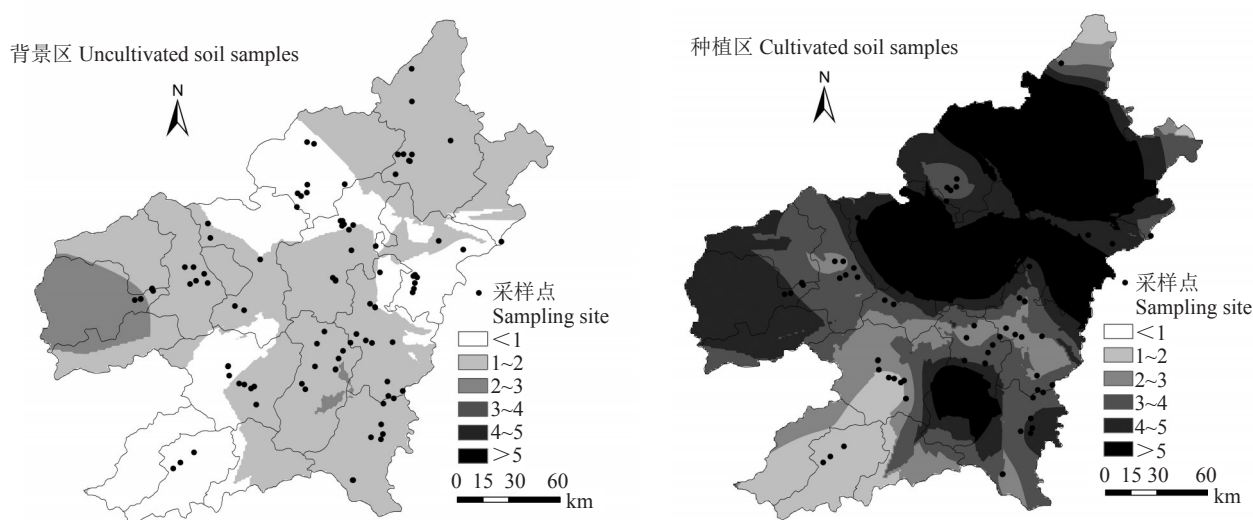


图 12 背景区和种植区土壤有效铜含量分布状况

Fig. 12 The contents of soil available Cu of virgin and cultivated soil samples from navel orange orchards in southern Jiangxi province

少施用石灰而大量施用酸性或生理酸性化肥,使本来已偏酸的土壤进一步酸化^[4,7,18]。土壤pH值是土壤重要的化学性质之一,土壤酸化会影响多种养分的有效利用。因此,在赣南脐橙种植过程中,应注意调节土壤酸碱度,pH值较低的土壤应加大石灰或牡蛎壳粉等碱性土壤调理剂的施用量,从而延缓土壤酸化。

赣南脐橙园绝大多数建在丘陵坡地上,因此背景区土壤有机质以及有效磷、钾、钙、镁、锌和铜含量普遍不足,这与前人的研究结果相似^[4,5,11]。然而,种植户普遍重视有机肥以及氮肥、磷肥和钾肥的投入,

故脐橙园种植区土壤有机质、有效态氮、磷和钾养分含量呈显著增加的趋势,甚至部分果园还存在氮、磷和钾养分过量的问题。土壤有机质不但可以改善土壤物理性状,还是作物所需各种营养元素的重要来源^[11,19]。与背景区相比,种植区0~20 cm和20~40 cm有机质含量分别增加29.6%和18.3%。此外,赣南脐橙生产上很少施用微量元素肥料,且背景区有效锌和有效铜含量普遍不足,然而种植区土壤有效态铁、锰、锌和铜含量显著增加,这也可能与土壤有机肥的补充有关。

从赣南脐橙园土壤有效钙、镁含量的变化情况

看,不论是土壤背景区还是种植区,有效钙、镁含量都较低,尤其是土壤背景区的缺镁程度极其严重。其中土壤背景区平均镁含量与刁莉华等^[4]的研究结果相似,但土壤种植区镁含量高于后者的研究结果,说明土壤有效镁含量随着种植年限的增加呈现增长的趋势。钙元素在维持果皮结构等方面具有十分重要的意义,钙营养不足容易出现内裂果的问题,严重影响脐橙产量、品质以及贮运效果^[20]。赣南脐橙果实内裂比较严重,也与该地区土壤有效钙含量不足有密切关系。凌丽俐等^[2]报道近年来赣南脐橙普遍存在叶片黄化问题主要与该地区土壤普遍缺镁有关。本研究中背景土壤有效镁含量较低的原因,一是红壤的含镁原生矿物的化学稳定性低,容易风化分解^[21];二是红壤酸性程度较高、淋溶作用强烈,从而加速土壤有效镁的大量淋失^[4]。种植区土壤有效镁含量有所提高,但是仍有85%的脐橙园有效镁含量不足。究其原因,首先主要是背景土壤有效镁含量低;二是脐橙果实中的镁含量高于温州蜜柑等宽皮柑橘^[22],脐橙收获所带走的镁元素累积量较高;三是赣南脐橙生产上缺乏施用镁肥的观念,使种植区土壤有效镁含量难以提高。此外,含硫复合肥的长期大量施用也会导致土壤硫富集,加速土壤酸化,促进钙和镁的淋失^[23]。因此,赣南脐橙生产上需要重视钙肥和镁肥的施用。值得注意的是,由于柑橘对钾、钙和镁的吸收存在较强的拮抗作用^[9],生产上应平衡施用钾、钙、镁肥,可施用含镁石灰或石灰与钾、镁肥配合施用。

4 结 论

赣南脐橙种植区土壤有效氮、磷、钾、铁、锰、锌和铜含量偏高,但大部分果园土壤有效钙、镁含量不足,且种植区土壤pH呈下降的趋势。因此,土壤酸化以及钙、镁养分普遍不足是赣南脐橙园施肥中值得关注的问题。

参考文献 References:

- [1] 王瑞东,姜存仓,刘桂东,王运华,彭抒昂,钟八莲,曾庆鑫. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查与分析[J]. 中国南方果树, 2011,40(1):1-3.
WANG Ruidong, JIANG Cuncang, LIU Guidong, WANG Yunhua, PENG Shu'ang, ZHONG Balian, ZENG Qingluan. Survey and analysis of environment and varietal structure of the navel orange orchards in Southern Jiangxi[J]. South China Fruits, 2011,40(1):1-3.
- [2] 凌丽俐,彭良志,淳长品,曹立,江才伦,雷霆. 赣南纽荷尔脐橙叶片黄化与营养元素丰缺的相关性[J]. 中国农业科学, 2010,43(17):3602-3607.
LING Lili, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, CAO Li, JIANG Cailun, LEI Ting. Relationship between leaf yellowing degree and nutrimental elements levels in navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck) leaves in southern Jiangxi province of China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010,43(17):3602-3607.
- [3] 姜灿烂,何园球,李辉信,李成亮,刘晓利,陈平帮,王艳玲. 长期施用无机肥对红壤旱地养分和结构及花生生产量的影响[J]. 土壤学报, 2009,46(6):1102-1109.
JIANG Canlan, HE Yuanqiu, LI Huixin, LI Chengliang, LIU Xiaoli, CHEN Pingbang, WANG Yanling. Effect of long-term inorganic fertilization on soil nutrient and structure and peanut yield in upland red soil [J]. Acta Pedologica Sinica, 2009, 46(6):1102-1109.
- [4] 刁莉华,彭良志,淳长品,凌丽俐,李勋,薛珺,范玉兰,钟八莲. 赣南脐橙园土壤有效镁含量状况研究[J]. 果树学报, 2013,30(2):241-247.
DIAO Lihua, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, LING Lili, LI Xun, XUE Jun, FAN Yulan, ZHONG Balian. Survey of soil available magnesium content at navel orange orchards in southern Jiangxi province[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(2): 241-247.
- [5] 王男麒,彭良志,淳长品,李勋,薛珺,范玉兰,梁梅青. 赣南柑橘园背景土壤营养状况分析[J]. 中国南方果树, 2012,41(5): 17-20.
WANG Nanqi, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, LI Xun, XUE Jun, FAN Yulan, LIANG Meiqing. Study on virgin soil nutrient status for citrus orchards in Southern Jiangxi province of China [J]. South China Fruits, 2012,41(5):17-20.
- [6] 金继运,白由路,杨俐苹. 高效土壤养分测试技术与设备[M]. 北京:中国农业出版社,2006.
JIN Jiyun, BAI Youlu, YANG Liping. Efficient soil testing technology and equipment[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2006.
- [7] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京:中国农业出版社,1994.
ZHUANG Yimei. Citrus nutrition and fertilization[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1994.
- [8] 何天富. 柑橘学[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
HE Tianfu. Citrus science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [9] 淳长品,彭良志,江才伦,曹立,雷霆. 三峡库区部分柑橘园土壤营养状况的初步研究[J]. 中国南方果树, 2009,38(2):1-6.
CHUN Changpin, PENG Liangzhi, JIANG Cailun, CAO Li, LEI Ting. Preliminary study on soil nutrient status of some citrus orchards in three gorges reservoir district[J]. South China Fruits, 2009,38(2):1-6.
- [10] 鲁剑巍,陈防,王富华,刘冬碧,万运帆,余常兵,胡芳林,王明

- 锐,王运华.湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J].植物营养与肥料学报,2002,8(4):390-394.
- LU Jianwei, CHEN Fang, WANG Fuhua, LIU Dongbi, WAN Yunfan, YU Changbing, HU Fanglin, WANG Mingrui, WANG Yunhua. Study of classification of the soil nutrient status of citrus orchard in Hubei province[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2002, 8(4): 390-394.
- [11] 刘桂东,姜存仓,王运华,彭抒昂,陈国标,钟八连,曾庆奎.赣南脐橙园土壤基本养分含量分析与评价[J].中国南方果树,2010,39(1):1-3.
- LIU Guidong, JIANG Cuncang, WANG Yunhua, PENG Shuang, CHEN Guobiao, ZHONG Balian, ZENG Qingluan. Analysis and evaluation on basic nutrient contents in the soil of navel orange orchards in southern Jiangxi[J]. South China Fruits, 2010, 39(1): 1-3.
- [12] 杨俐苹,金继运,梁鸣早,程明芳,黄绍文. ASI 法测定土壤有效 P、K、Zn、Cu、Mn 与我国常规化学方法的相关性研究[J].土壤通报,2000,31(6):38-40.
- YANG Liping, JIN Jiyun, LIANG Mingzao, CHENG Mingfang, HUANG Shaowen. Study on the correlation between the determination of soil available P, K, Zn, Cu, Mn by ASI and conventional chemical methods in China[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(6): 38-40.
- [13] 田有国,辛景树,任意,曲华,贺立源,朱莉,徐爱国.土壤检测(第6部分:土壤有机质的测定):NY/T1121.6—2006[S].北京:中国农业出版社,2006.
- TIAN Youguo, XIN Jingshu, REN Yi, QU Hua, HE Liyuan, ZHU Li, XU Aiguo. Soil Testing (Part 6: Method for determination of soil organic matter): NY/T1121.6—2006 [S]. Beijing: China Agricultural Press, 2006.
- [14] 加拿大钾磷研究所北京办事处.土壤养分状况系统研究法[M].北京:中国农业科学技术出版社,1992.
- Beijing Office of Potassium and Phosphate Institute of Canada. Systematical and comprehensive evaluation approaches of soil nutrients[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1992.
- [15] 阮科,朱礼乾,沈鑫健,周上铃,彭良志,凌丽俐,黄涛江,刘文华,淳长品.奉节脐橙园土壤养分状况普查及其与叶片养分和产量相关性研究[J].果树学报,2019,36(4):458-467.
- RUAN Ke, ZHU Liqian, SHEN Xinjian, ZHOU Shangling, PENG Liangzhi, LING Lili, HUANG Taojiang, LIU Wenhua, CHUN Changpin. Investigation of soil nutrient status and the correlation between leaf nutrient and yield of navel orange in Fengjie county[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(4): 458-467.
- [16] 江泽普,韦广波,蒙炎成,黄玉溢.广西红壤果园土壤酸化与调控研究[J].西南农业学报,2003,16(4):90-94.
- JIANG Zepu, WEI Guangpo, MENG Yancheng, HUANG Yuyi. Studies on acidification and control of orchard soil in red earth region of Guangxi[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2003, 16(4): 90-94.
- [17] 黄功标.龙岩市新罗区耕地土壤主要理化性状变化分析[J].福建农业科技,2006(1):44-45.
- HUANG Gongbiao. Analysis on change of physical and chemical properties of cultivated soil in district Xinluo of Longyan[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2006(1): 44-45.
- [18] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, SHEN J L, HAN W X, ZHANG W F, HRISTIE P, GOULDING K W T, VITOUSEK P M, ZHANG F S. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [19] 付学琴,陈登云,杨星鹏,甘燕云,黄文新.‘南丰蜜橘’园生草对土壤团聚体养分和微生物特性及果实品质的影响[J].果树学报,2020,37(11):1655-1666.
- FU Xueqin, CHEN Dengyun, YANG Xingpeng, GAN Yanyun, HUANG Wenxin. Effects of grass cover in ‘Nanfeng’ tangerine orchard on nutrients and microbial characteristics in soil aggregates and fruit quality[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(11): 1655-1666.
- [20] 马小焕,彭良志,淳长品,凌丽俐,曹立,江才伦,解发,张雯雯,古祖亮,唐焕庆.脐橙果皮内裂发生的解剖结构和矿质营养元素变化[J].园艺学报,2011,38(10):1857-1864.
- MA Xiaohuan, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, LING Lili, CAO Li, JIANG Cailun, XIE Fa, ZHANG Wenwen, GU Zuliang, TANG Huanqing. Changes in albedo microstructures and macroelement content in peels of peel pitting Navel oranges[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(10): 1857-1864.
- [21] 黄鸿翔,陈福兴,徐明岗,秦道株,高菊生,朱永兴.红壤地区土壤镁素状况及镁肥施用技术的研究[J].中国土壤与肥料,2000(5):19-23.
- HUANG Hongxiang, CHEN Fuxing, XU Minggang, QIN Daozhu, GAO Jusheng, ZHU Yongxing. Status and fertilizer application techniques of soil magnesium in red soil area[J]. Soils and Fertilizers Sciences in China, 2000(5): 19-23.
- [22] 解发,彭良志,淳长品,江才伦,曹立.纽荷尔和清家脐橙果实大量矿质营养元素含量与累积变化[J].中国南方果树,2012,41(1):7-10.
- XIE Fa, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, JIANG Cailun, CAO Li. Study on the changes of macro-element contents and accumulation in fruits of Newhall and Seike navel orange[J]. South China Fruits, 2012, 41(1): 7-10.
- [23] 林伟杰,李歆博,于建霞,林锋,庄木来,朱东煌,郭九信,陈立松,李延.琯溪蜜柚园土壤和树体的硫素营养研究[J].果树学报,2020,37(6):848-856.
- LIN Weijie, LI Xinbo, YU Jianxia, LIN Feng, ZHUANG Mulai, ZHU Donghuang, GUO Jiuxin, CHEN Lisong, LI Yan. Sulfur nutrition status in trees and soils of Guanximiyu pomelo orchards[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(6): 848-856.