

土壤阳离子交换量分布规律的研究^①

——以江苏省溧水县为例

李海鹰¹, 姜小三¹, 潘剑君¹, 廖启林², 邹松梅², 吴新民²

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

摘要: 对溧水县 33 个土壤样点的阳离子交换量 (CEC) 进行了测定, 应用地理信息系统软件将 CEC 点图在同一土壤类型中进行逆距离加权插值, 叠加得到 CEC 空间分布图。溧水县土壤 CEC 平均值是 $12.50 \text{ cmol/kg} \pm 3.56 \text{ cmol/kg}$; 空间分布图中有 71.69% 面积其土壤处于中等保肥供肥水平 (CEC $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$)。在不同的地形中, CEC 为 $5 \sim 10 \text{ cmol/kg}$ 的土壤在低山的面积百分比大, 占 56.21%; CEC 为 $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$ 的土壤在平原的面积百分比大, 占 82.23%; CEC $> 20 \text{ cmol/kg}$ 的土壤只在平原中出现, 占 0.30%。秦淮河圩区、石白湖圩区、低山丘陵区的北区和西南区土壤 CEC 均在 $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$, 低山丘陵东区东庐山-马占山-关山-方山一线, 土壤 CEC 为 $5 \sim 10 \text{ cmol/kg}$ 。

关键词: 溧水县; 土壤阳离子交换量; 分布; 规律

中图分类号: S151.9; S159.2

土壤阳离子交换量 (CEC) 是指土壤所能吸附和交换的阳离子的容量, 用每千克土壤的一价离子的厘摩尔数即 cmol/kg 表示。土壤 CEC 是土壤的一个很重要的化学性质, 它可以直接反映土壤的保肥、供肥性能和缓冲能力。一般认为, 土壤 CEC $> 20 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力强的土壤, CEC 在 $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力中等的土壤, CEC $< 10 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力弱的土壤^[1]。本文即采用这种分级方法分析溧水县土壤 CEC 分布规律。

影响 CEC 的因素很多, CEC 与 2:1 型黏土矿物显著相关^[2]; 与有机质存在显著正相关关系^[3]; 有机质是 CEC 的主要贡献因子^[4]; CEC 高的土壤具有较好的保 K 功能^[5]。一般认为, 黏粒是 CEC 的主要来源物, 除黏粒外, 粉粒对 CEC 也有影响^[6]。本文应用 ArcGIS 进行空间分析, 属性数据用统计软件 SPSS 和 Excel 进行处理, 从空间分布、地形和不同的农业区上分析 CEC 的分布规律。

1 研究区概述

溧水县位于江苏省西南部, 秦淮河上游, 东经 $118^{\circ}53' \sim 119^{\circ}13'$, 北纬 $31^{\circ}24' \sim 31^{\circ}48'$ 。该县属于宁镇丘陵区, 境内丘陵起伏, 地形地貌复杂, 总的地形是东南高, 西北低 (图 1)。属于北亚热带向中亚热带过

渡地区, 主要气候特点是: 四季分明, 温差较大, 雨水充沛, 日照充足, 无霜期长, 适宜于稻、麦、棉、油和林、桑、茶、果等多种作物生长^[7]。成土母质有低山丘陵残积坡积物和堆积侵蚀地地上的堆积物。主要土壤类型有水稻土、黄棕壤、石灰岩土和紫色土 (图 2)。

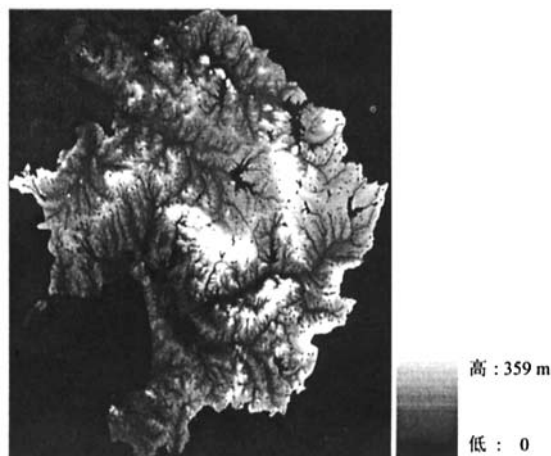


图 1 溧水县 DEM

Fig. 1 DEM of the study area, Lishui County

①基金项目: “江苏省国土生态地球化学调查”项目资助。

* 通讯作者 (jjpan@njau.edu.cn)

作者简介: 李海鹰 (1980—), 女, 山西临汾人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源与信息技术的研究。E-mail:tongton1559@sina.com



图 2 溧水县土壤类型图

Fig. 2 Soil type map of Lishui County

2 材料和方法

2.1 土样采集

采用网格布点法采集土壤样品 33 个, 以 $6 \text{ km} \times 6 \text{ km}$ 为一个网格, 采样时采用取样点附近小范围内多点取样混合的方法 (图 3) [8]。每个样点采集土壤的深度为 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 。

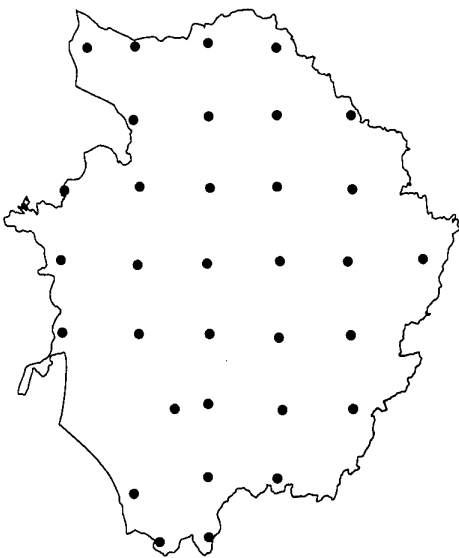


图 3 土壤采样点分布图

Fig. 3 Sampling site distribution map

2.2 分析方法

溧水县土壤为酸性土壤, CEC 的测定采用 1 mol/L

乙酸铵交换法 [9]。

2.3 图形数据及数据处理

利用 ArcGIS 把常规图转化为数字化地图。先用扫描仪将地图扫描成栅格图。然后以栅格图为背景, 进行屏幕数字化, 得到地形图 (等高线图)、土壤类型图、土地利用图和土壤 CEC 点位分布图。

CEC 是土壤的重要属性之一。相同的土壤类型有相似的土壤属性。由于本研究的 CEC 样点偏少, 故在将 CEC 点图转化成 CEC 空间分布图时, 采取了基于土壤类型图差值的办法。由于溧水县的主要土壤类型是水稻土和黄棕壤, 石灰岩土和紫色土分别占 0.3% 、 0.2% 的面积, 且没有样点落入这两种土壤的图斑, 所以把这两种土壤合并到具有相同地形地貌和相似形成发育条件的黄棕壤之中。至此就可以由土壤类型图生成黄棕壤和水稻土两图。分别以黄棕壤和水稻土图为插值范围对 CEC 点图进行逆距离插值, 就可以得到 CEC 空间分布图 [11-12], 最后进行不同等级 CEC 的统计。

将等高线图转换成数字高程模型 (DEM) [13], 将其分级后, 进行与 CEC 空间分布图的叠加, 最后进行不同等级 CEC 的统计。

3 结果与讨论

3.1 溧水县土壤 CEC 的统计特征

分析表明, 溧水县土壤 CEC 平均值为 12.50 cmol/kg , 中位数为 12.70 cmol/kg , 极差为 14.40 cmol/kg , 变异系数为 28.47% , 说明研究区土壤 CEC 存在一定的空间异质性 [14]。但 CEC 标准差仅为 3.56 cmol/kg , 说明各土壤 CEC 之间的差异不是很大。该区土壤 CEC 的偏度为 0.185 , 表明其呈弱不对称分布; CEC 的峰度值为 -0.268 , < 0 , 表明其呈平峰分布 [15-17]。

按土壤 CEC 分级标准: $< 10 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力弱的土壤, $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力中等的土壤, $> 20 \text{ cmol/kg}$ 为保肥供肥能力强的土壤 [1]。溧水县土壤 CEC 在 $10 \sim 20 \text{ cmol/kg}$ 的样品数占总数的 69.7% , 即有 69.7% 土壤样点保肥供肥能力中等; CEC $< 10 \text{ cmol/kg}$ 样品数占总数 27.27% , 即有超过 $1/4$ 的土壤点保肥供肥能力差; CEC $> 20 \text{ cmol/kg}$ 样品数占总数 3.03% , 即保肥供肥能力高的土壤点最少。总体上看, 该县中等保肥供肥能力的样点超过 50% , 但有 $> 25\%$ 的土壤点保肥供肥能力弱, 这部分是以后土壤改良的重点。

3.2 溧水县土壤 CEC 的空间分布

由 2.3 中所述步骤得到溧水县 CEC 的空间分布图 (图 4)。溧水县土壤面积是 1068.26 km^2 , 水域占

0.12%，将不同等级土壤 CEC 面积进行统计，CEC 5~10 cmol/kg 的土壤面积占总面积的 17.94%，CEC 10~20 cmol/kg 的面积占总面积的 71.69%，CEC >20 cmol/kg 的面积占总面积的 0.25%。溧水县有 71.69% 的面积其土壤处于中等保肥供肥能力水平。

表 1 不同 CEC 土壤在不同地形中相对面积百分比

Table 1 Relative area percentage of soil different in CEC in different topographic zones

	5~10 cmol/kg	10~20 cmol/kg	>20 cmol/kg
平原	17.46%	82.23%	0.30%
丘陵	44.87%	55.13%	0
低山	56.21%	43.79%	0

由于平原、丘陵和低山在全县的面积百分比不同，采用相对面积百分比表示不同级别 CEC 土壤在各地形中的分布，如不同分级 CEC 土壤在平原的面积占平原总面积的百分比，依此类推。表 2 数据表明，CEC 5~10 cmol/kg 的土壤在低山的面积百分比大，CEC 10~20 cmol/kg 的土壤在平原的面积百分比大，CEC >20 cmol/kg 的土壤只在平原中出现。这是因为低山水土流失严重，养分含量少，CEC 较低；而平原地形平坦，水利条件好，抗灾能力强，CEC 较高。

3.4 溧水县 3 个农业区土壤的 CEC 分布规律

溧水县有 3 个农业区：秦淮河圩区，石臼湖圩区，低山丘陵区。3 个区的地形、地貌、母质和黏土矿物如表 2 所示。

3.4.1 3 区土壤 CEC 的分布状况 秦淮河圩区：土壤 CEC 10~20 cmol/kg，只有下旺村的土壤 CEC >20 cmol/kg。石臼湖圩区：土壤 CEC 10~20 cmol/kg，而明觉乡罗村土壤 CEC 为 5~10 cmol/kg。低山丘陵区由于地貌类型较复杂，又分为东区（低山丘陵分布较多）、北区（低山丘陵分布较少）、西南区（低山丘陵分布最少）。东区：东庐山-马占山-关山-方山一线土壤 CEC 为 5~10 cmol/kg，这一线东侧土壤 CEC 为 10~20 cmol/kg。北区：土壤 CEC 为 10~20 cmol/kg。西南区：土壤 CEC 为 10~20 cmol/kg，其中和凤乡和云鹤乡的张千户村土壤 CEC 为 5~10 cmol/kg。

总体上，秦淮河圩区、石臼湖圩区、低山丘陵区北区和西南区的土壤 CEC 均在 10~20 cmol/kg 之间，低山丘陵东区东庐山-马占山-关山-方山一线，土壤 CEC 低，为 5~10 cmol/kg。

3.4.2 3 区土壤 CEC 变化原因分析 一般认为，土壤中有蒙脱石类矿物，其 CEC 较高^[19]。溧水县 3 个农业区的黏土矿物主要以 2:1 型黏土矿物为主，除低山丘陵东区的土壤 CEC 偏低，其余区土壤 CEC 都是在 10~20 cmol/kg 范围内。

在秦淮河圩区，土壤 CEC 出现了 >20 cmol/kg，石臼湖圩区出现了土壤 CEC 5~10 cmol/kg，两者相比较，母质、地貌和地形相同，其差异可能源于秦淮

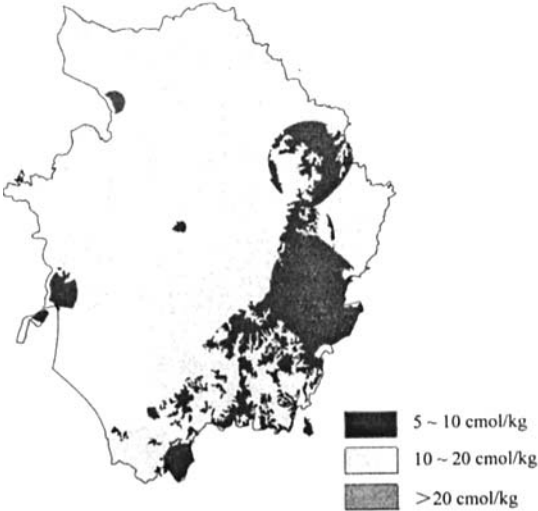


图 4 CEC 空间分布图 (图中空白处为溧水县石臼湖)

Fig. 4 CEC spatial distribution map

3.3 溧水县不同级别 CEC 土壤在不同地形中的分布

根据刘会平的相对高程分级^[18]，结合溧水县的具体情况，将溧水县全县地形分为 3 级：<50 m 平原，50~200 m 丘陵，200~500 m 低山。其中平原占全县面积的 80.15%，丘陵占 8.14%，低山占 0.18%。将溧水县 DEM 分级图 (图 5) 和土壤 CEC 空间分布图叠加，统计不同级别 CEC 土壤在平原、丘陵和低山各自面积中的比例，结果见表 1。

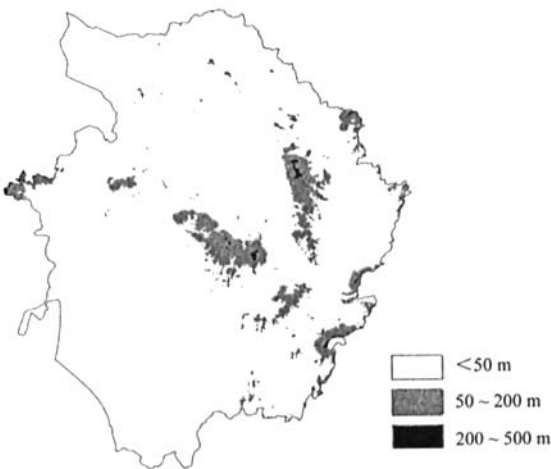


图 5 DEM 分级图

Fig. 5 DEM class

表 2 3 个农业区的基本性质
Table 2 Basic characteristics of the three agricultural zones

	秦淮河圩区	石臼湖圩区	低山丘陵区
分布	溧水县西北部	溧水县西南部	其余部分
地形	平原	平原	低山、丘陵
地貌	冲积平原	冲积平原	构造剥蚀低山丘陵、堆积侵蚀阶地
母质	河流冲积物	河湖相沉积物	下蜀黄土
黏土矿物	伊利石、蒙脱石、少量高岭石、 氧化铁	伊利石、蒙脱石、少量高岭石、氧化 铁	水化云母、蛭石、高岭石、伊利石或伊 利石-蒙脱石

河圩区兴修水利, 抗御旱涝灾害的能力较石臼湖圩区和低山丘陵区要强, 光能资源高于石臼湖圩区; 而石臼湖区在 6~7 月份暴雨较多, 作物受灾严重, 易使土壤养分流失。

在低山丘陵东区的东庐山-马占山-关山-方山一线, 土壤 CEC 最低, 这与这里分布了较多的低山丘陵, 地形位置高, 地貌多为构造剥蚀低山丘陵、堆积侵蚀阶地, 水土流失严重, 养分含量低有关。

4 结论

(1) 溧水县 33 个采样点中约有 70% 的样点土壤处于中等保肥供肥能力水平, CEC < 10 cmol/kg 样品数只占总数的 27% 左右。

(2) 溧水县有 71.69% 的面积其土壤处于中等保肥供肥能力水平。

(3) 溧水县土壤 CEC 5~10 cmol/kg 的土壤在低山的面积百分比大, 占 56.21%; CEC 10~20 cmol/kg 在平原的面积百分比大, 占 82.23%; CEC > 20 cmol/kg 的土壤只在平原中出现, 占 0.30%。

(4) 秦淮河圩区、石臼湖圩区、低山丘陵区北区和西南区土壤 CEC 均在 10~20 cmol/kg 之间; 低山丘陵东区东庐山-马占山-关山-方山一线土壤 CEC 低, 在 5~10 cmol/kg 之间。

参考文献:

[1] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 164-165

[2] Costa Antonio Carlo S, Bigham Jeny M, Tormena Cassio A. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis. *Thermochimica Acta*, 2004, 413: 73-79

[3] 祖艳群, 曾先能, 郭春辉, 李元. 呈贡县蔬菜土壤有机质、阳离子交换量及分布特征研究. *云南环境科学*, 2004, 23 (增刊): 15-18

[4] 安战士, 徐明岗. 陕西三种土壤的有机质和粘粒对土壤阳离子

交换量的贡献. *土壤*, 1988, 20 (6): 310-313

[5] 刘世全, 蒲玉琳, 张世熔, 王昌全, 邓良基. 西藏土壤阳离子交换量得空间变化和影响因素. *水土保持学报*, 2004, 18 (5): 1-5

[6] 章明奎, 朱祖祥. 粉粒对土壤阳离子交换量的影响. *土壤肥料*, 1993 (4): 41-43

[7] 溧水县土壤普查办公室. 溧水县土壤志. 南京: 溧水县土壤普查办公室, 1984

[8] 张庆利, 史学正, 潘贤正, 于东升, 刘付程. 江苏省金坛市土壤肥力的时空变化特征. *土壤学报*, 2004, 41(2): 315-319

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 154-157

[10] 赵永存, 史学正, 于东升, 赵彦锋, 孙维侠, 王洪杰. 不同方法预测河北省土壤有机碳密度空间分布特征的研究. *土壤学报*, 2005, 42 (3): 379-385

[11] 高俊峰, 曹慧. GIS 在土壤空间分析中的应用. *土壤*, 2002, 34 (4): 206-224

[12] Shen RP, Sun B, Zhao QG. Spatial and temporal variability of N, P and K balances for agroecosystems in China. *Pedosphere*, 2005, 15 (3): 347-355

[13] 党安荣, 贾海峰, 易善植, 刘钊. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南. 北京: 清华大学出版社, 2003: 289-291

[14] 刘丹, 姜勇, 梁文举, 文大中, 张玉革, 乔德波. 沈阳市郊耕地土壤交换性 Ca 含量的空间异质性特征. *生态学杂志*, 2003, 22 (4): 6-9

[15] 薛薇. SPSS 统计分析方法及应用. 北京: 电子工业出版社, 2004, 247-274

[16] 东方人华. 统计基础和 SPSS11.0 入门与提高. 北京: 清华大学出版社, 2004, 309-318

[17] 苏金明. 统计软件 SPSS12.0 for Windows 应用及开发指南. 北京: 电子工业出版社, 2004, 260-287

[18] 刘会平. 长江流域地貌类型研究. *华中师范大学学报 (自然科学版)*, 1994, 28 (1): 129-132

[19] 易淑启, 王立德等. 土壤学. 南京: 江苏科学技术出版社, 1985: 202

Distribution of Soil Cation Exchange Capacity

— A Case Study of Lishui County, Jiangsu Province

LI Hai-ying¹, JIANG Xiao-san¹, PAN Jian-jun¹, LIAO Qi-lin², ZOU Song-mei², WU Xin-min²

(¹ College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

² Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

Abstract: A total of 33 soil samples were taken from Lishui County and analyzed, based on which a sample-point CEC map of the county was plotted out and turned into a CEC spatial distribution map through Inverse Distance Weighted interpolation and superposition with the aid of the GIS technology. Results showed that the soil CEC averaged at 12.50 ± 3.56 cmol/kg over the county, and was at 10 ~ 20 cmol/kg in 71.69% of the spatial distribution map, and varied with topography, e.g. in low hill region, about 56.21% of the soil, mainly in the east part, was only 5 ~ 10 cmol/kg in CEC and in plain region, about 82.23% of the soil was 10 ~ 20 cmol/kg in CEC and only 0.30% >20 cmol/kg.

Key words: Lishui County, CEC, Distribution, Regularity