

# 土地开发对农田土壤养分和盐分变异特征的影响<sup>①</sup>

武红旗, 谷海斌, 陈冰, 盛建东\*

(新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 利用地统计学方法研究了新疆库尔勒市包头湖农场土地开发后土壤空间变异特征。结果表明: 土地开发后种植区的土壤有机质和盐分降低, 有效磷含量增加, 碱解氮含量变化不大; 尤其是土地开发后撂荒地土壤有机质含量下降明显。土壤盐分与有机质、碱解氮及速效钾的含量均呈显著正相关, 与有效磷呈显著负相关。因此, 土地开发后需增施有机肥, 补充钾肥, 并尽可能不撂荒。

**关键词:** 土地开发; 养分; 盐分; 变异特征

**中图分类号:** S158

中国人多地少, 开垦耕地是保持耕地动态平衡的重要途径。耕地资源数量及质量的控制不仅能够保护粮食生产安全, 还能促进生态环境的保护, 有利于地区的可持续发展<sup>[1-3]</sup>。近年来, 随着西部大开发战略的实施, 我国耕地开发的重点有向西部转移的趋势。新疆土地利用受到严重的水资源分布不均、风沙作用、土壤瘠薄以及土壤盐碱化等因素的制约<sup>[4-5]</sup>, 因此, 因地制宜的开发土地并对其合理利用, 对于保障粮食安全, 实现耕地可持续利用, 协调耕地开发与生态环境之间的关系, 更有着重要意义<sup>[6]</sup>。

土壤特性的空间变异规律研究与应用是针对性地进行土壤资源合理利用与改良、精准施肥和环境物质修复的基本依据。大量的研究表明, 地统计学是进行土壤异质性研究的有效方法<sup>[7]</sup>, 近年来在土壤学、生态学、环境、精准农业等领域得到广泛应用<sup>[8-10]</sup>, 尤其在土壤养分的空间变异规律和分布特征的研究, 结合施肥模型进行精准施肥的研究与应用方面, 取得了一定的研究成果<sup>[11-12]</sup>。

现有新疆耕地开发的研究主要侧重于耕地数量和空间格局的特征分析<sup>[13-15]</sup>, 很少涉及耕地开发对其养分及盐分变化的影响。此外, 利用地统计学方法进行土地开发前后耕地养分和盐分的变异的研究还少见报道。为此, 本研究选择库尔勒市包头湖农场新垦土地, 对土壤养分、盐分、pH与总碱度空间的变异特征进行研究, 旨在探索干旱区土地开发后农田尺度土壤养分、盐分的空间变化规律与制图方法, 为干旱区农田盐碱土改良、培肥以及农业利用管理提供可靠依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 自然概况

研究区位于新疆库尔勒市包头湖农场, 其位于天山南麓孔雀河中游, 塔里木盆地东北缘, 平均海拔 890 ~ 950 m, 年均气温 10.5℃ ~ 11.5℃, 年均降水量 51.5 mm, 无霜期 288 天, 属干旱性大陆气候, 土壤类型为灌耕盐化潮土 (弱盐底锈干润锥形土)。

### 1.2 样点布置与采样分析

2003 年 3 月, 在农场选择面积近 133.33 hm<sup>2</sup> 的连片农田为研究区, 该区为新开垦区, 灌溉耕种历史只有 5 年。在播种前以 200 m × 50 m 设置采样网格 (图 1), 采用 GPS 定位技术, 在以节点为中心, 5 m 为半径的采样区内随机取 6 钻, 混成一个土壤样品, 采样深度 0 ~ 20 cm, 共采集土样 119 个。

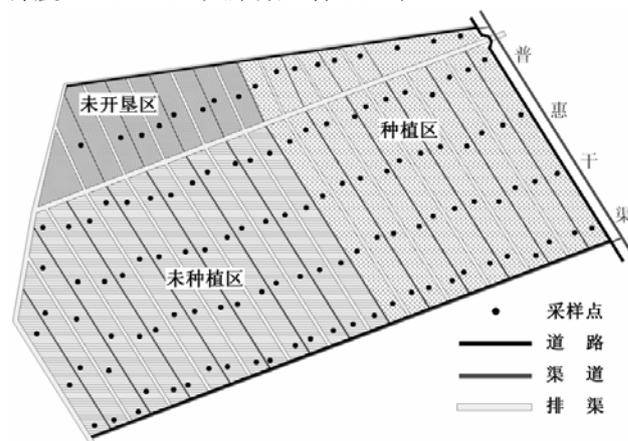


图 1 样点分布与土地现状图

Fig. 1 Soil sampling sites and land use types

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40161006) 和土壤学自治区重点学科基金项目资助。

\* 通讯作者 (sjd\_2004@126.com)

作者简介: 武红旗 (1974—), 男, 甘肃酒泉人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事土壤调查与制图方面的教学与研究。E-mail:hqwu7475@126.com

实验室分析测定土壤 8 类离子 ( $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $CO_3^{2-}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ )、盐分、pH、碱解氮、有效磷、速效钾、有机质等, 具体测定分析方法详见文献[16]。

### 1.3 数据分析

本研究利用地统计学软件 GS+ For Windows5.3 软件进行半方差模型拟和, 克里格插值与等值线图利用 Surfer 软件分析制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤特性传统统计分析

分析表 1 可知, 研究区盐分类型以硫酸盐为主, 占总盐分的 51.19%。参考最新《新疆土壤》标准确定土壤盐碱化分级, 划分盐渍化程度等级为: 非盐化 ( $< 3 \text{ g/kg}$ )、轻盐化 ( $3 \sim 6 \text{ g/kg}$ )、中盐化 ( $6 \sim 10 \text{ g/kg}$ )、重盐化 ( $10 \sim 20 \text{ g/kg}$ )、盐土 ( $> 20 \text{ g/kg}$ )。由此, 研

究区总盐平均含量达到重度盐化指标。各盐分离子的变异系数差异较大, 其中  $Cl^-$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+Na^+$  和总盐的变异系数均大于 100%, 属于强变异水平, 尤其  $Cl^-$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+Na^+$  的变异系数大于 200%, 这可能与元素的移动性强有关;  $SO_4^{2-}$  和  $Ca^{2+}$  的变异系数在 10% ~ 100% 之间, 属于中等变异水平; 只有 pH 的变异系数小于 10%, 属于弱变异水平。土壤总碱度平均值小于非碱化指标 ( $< 0.3 \text{ cmol/kg}$ ) [17], 最大值略大于碱化指标, 土壤 pH 值小于 8.5, 所以研究区土壤主要以重度盐化类型为主, 无碱化特征。由此表明研究区土壤由于受到地形、母质及灌排等因素的影响, 其盐分及盐分离子的分布表现出强烈空间异质性。土壤有机质含量普遍偏低, 表现出干旱区土壤弱的生物成土过程; 碱解氮和有效磷的含量也处于较低水平, 速效钾的含量相对较高, 土壤总体表现出新垦土壤养分匮乏的特征。

表 1 包头湖土壤特性统计特征值

Table 1 Statistical features of soil properties in Baotouhu area

土壤性质	最小值	最大值	标准差	均值	变异系数 (%)
总盐 (g/kg)	3.75	195.40	20.55	17.86	115.1
pH	7.01	8.73	0.27	8.14	3.4
总碱度 (cmol/kg)	0.092 5	0.361 8	0.039 5	0.166 1	23.8
$Cl^-$ (g/kg)	0.074 8	50.577 1	5.597 0	2.110 0	265.3
$SO_4^{2-}$ (g/kg)	2.120 3	62.225 0	6.296 0	9.142 6	68.9
$Ca^{2+}$ (g/kg)	0.076 0	3.657 5	0.639 7	2.628 4	23.3
$Mg^{2+}$ (g/kg)	0.004 8	9.238 5	0.883 7	0.372 0	237.6
$K^+Na^+$ (g/kg)	0.005 3	69.947 0	8.140 0	3.480 0	233.9
有机质 (g/kg)	2.48	18.03	2.66	6.63	40.1
碱解氮 (mg/kg)	2.00	69.00	9.33	18.40	50.7
有效磷 (mg/kg)	1.40	25.20	4.94	8.81	56.1
速效钾 (mg/kg)	61	550	96.57	163.32	59.1

### 2.2 土壤特性的空间变异特征分析

半方差模型是表征土壤特性空间变异特征的有效方法。土壤数据大都需要经过对数转换符合正态分布 (除了碱解氮) 后, 才能利用地统计学软件进行模型拟合, 本研究模型参数结果见表 2, pH 拟和模型为指数模型, 其余各土壤属性的拟和模型均为球状模型, 而且各模型的决定系数较高, 表明半方差模型拟和精度高。分析模型参数可知: 模型块金效应即块金值/基台值, 反映变量空间变异的来源, 比值越小表明人为因素 (灌溉、施肥、耕作等) 的影响越明显, 反之, 结构性因素 (母质、气候、生物、地形等) 的影响占主要地位。本研究中土壤

特性的块金效应表明研究区土壤盐分离子的空间变异特征主要受结构性因素影响, 人为因素影响相对较弱。

土壤总碱度、 $SO_4^{2-}$ 、 $Ca^{2+}$ 、总盐和 pH 的作用范围均为 4 110 m,  $Mg^{2+}$ 、 $K^+Na^+$  为 900 ~ 1 000 m,  $Cl^-$  为 3 167 m。土壤养分的作用范围均小于盐分的作用范围。同时这些土壤特性的作用范围均大于平均采样间距 (为 176 m)。

### 2.3 土壤特性空间变异分布图

利用土壤养分采样点的原始数据与相应的地统计学模型参数, 借助 Surfer3.2 软件进行 Kriging 插值分析, 得到土壤养分的等值线图 (图 2)。

表 2 包头湖土壤特性的空间变异理论模型及模型参数

Table 2 Theoretical model and parameters of spatial variation of soil properties in Baotouhu area

项目	理论模型	块金值	基台值	块金值/基台值(%)	变程 (m)	决定系数 $R^2$
总碱度	球状	0.029 9	0.112 3	20.4	4 110	0.957
Cl <sup>-</sup>	球状	1 227	3.765	32.6	3 167	0.955
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	球状	0.052	0.420	12.7	4 110	0.953
Ca <sup>2+</sup>	球状	0.073	0.811	9.0	4 110	0.847
Mg <sup>2+</sup>	球状	0.669	1.420	46.9	999.0	0.913
K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	球状	1.493	2.987	50.0	917	0.970
总盐	球状	0.147	0.763	19.3	4 110	0.970
pH	指数	0.000 848	0.002 836	29.9	4 110	0.874
有机质	球状	0.017 6	0.169 2	10.4	763	0.849
碱解氮	球状	22.8	68.5	33.3	628	0.685
有效磷	指数	0.219 2	0.481 4	45.5	1 117	0.958
速效钾	指数	0.030 8	0.226 6	13.6	181	0.668

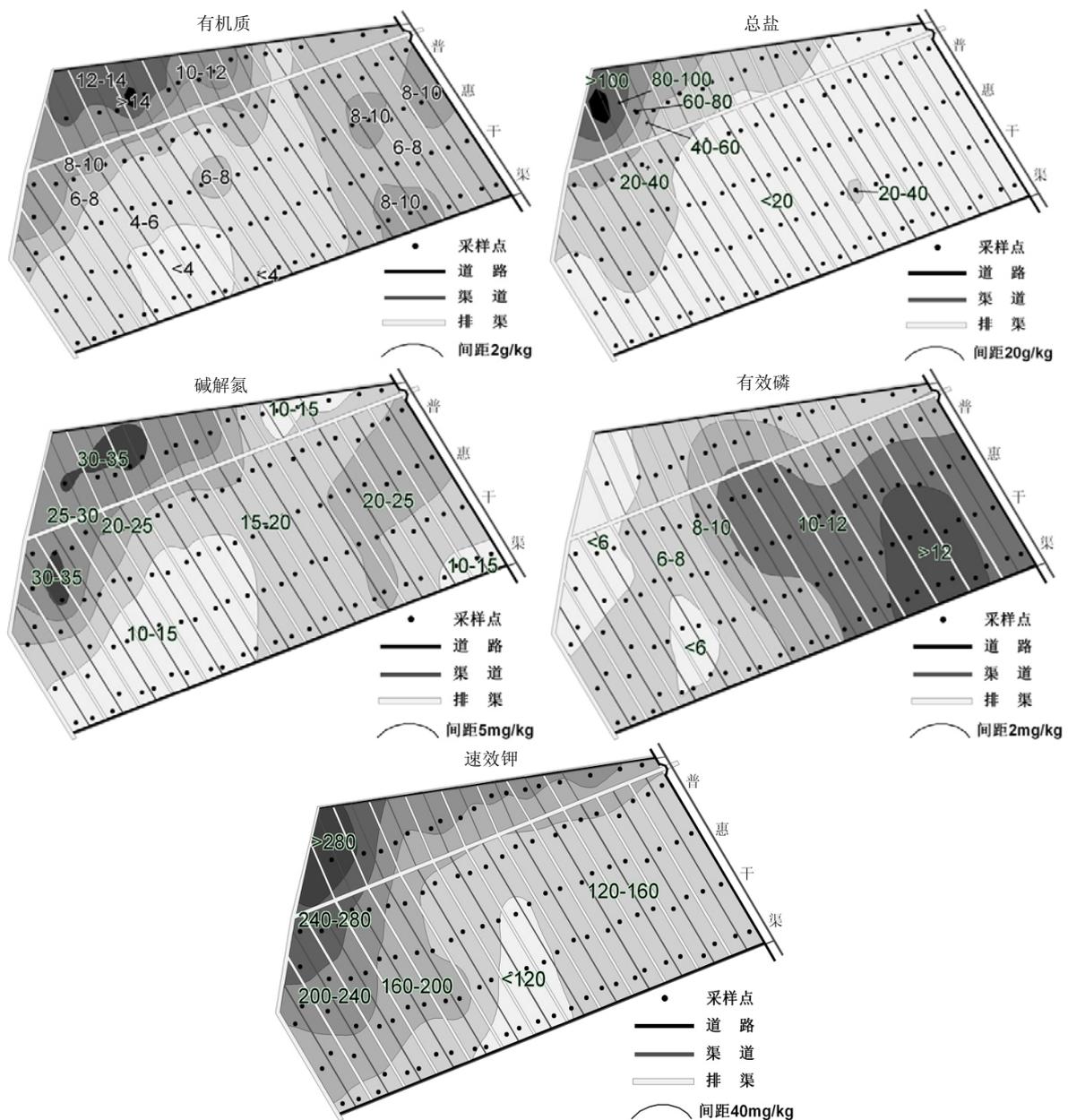


图 2 包头湖土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾以及总盐含量等值线图

Fig. 2 Contour maps of soil organic matter, available N, P, K and total salt in Baotouhu area

比较有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和盐分的高值区和低值区以及土地利用现状图可知, 土壤盐分、有机质及钾素的高值区均出现在未开垦区, 有效磷的高值区出现在种植区, 表明干旱区农业开发后, 土壤盐分、有机质及钾素均快速下降, 这与土地开发后土壤呼吸作用加强, 有机质快速分解有关, 同时土壤排盐有利于盐分的降低; 土壤磷素由于施用磷肥在种植区含量稳步提高, 而钾素由于研究区农民几乎不施用钾肥而处于耗竭状态。土壤氮素在种植区略高于未种植区。土壤盐分与有机质含量、碱解氮、有效磷及速效钾的含量均呈显著或极显著的相关关系(表 3), 进一步证明上述结果的正确性。

表 3 包头湖土壤性质之间的相关分析

Table 3 Correlation of soil properties in Baotouhu area

	总盐	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
总盐	1	0.314**	0.335**	-0.158*	0.566**
有机质		1	0.642**	0.165*	0.185*
碱解氮			1	0.065	0.148
有效磷				1	-0.283**
速效钾					1

注: \* 表示在  $P < 0.05$  水平显著相关; \*\* 表示在  $P < 0.01$  水平显著相关。

### 3 结论与讨论

(1) 包头湖农场土壤表现出典型的盐化特征, 盐分平均含量大于  $5 \text{ g/kg}$ 。研究区土壤由于受到地形、母质及灌排等因素的影响, 其盐分及盐分离子的分布表现出强烈空间异质性。

(2) 干旱区土地被农用开发后, 有机质快速分解, 导致土壤有机质含量下降, 但土壤排盐有利于盐分的降低; 土壤磷素由于施用磷肥在种植区含量稳步提高, 而钾素由于没有钾肥补充而处于耗竭状态; 土壤氮素在种植区略高于未种植区。因此, 在干旱区土地开发中应注重土壤肥力培育, 防止养分损失以及次生盐渍化。

#### 参考文献:

- [1] 田光进, 庄大方, 刘明亮. 近 10 年中国耕地资源时空变化特征. 地球科学进展, 2003, 18(1): 30-36
- [2] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 近 10 年来中国耕地资源的时空变化分析. 地理学报, 2003, 58(3): 323-332
- [3] 李景刚, 何春阳, 史培军, 陈晋, 辜智慧, 徐伟. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力. 地理学报, 2004, 59(2): 274-282
- [4] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12
- [5] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 2000, 23(2): 177-181
- [6] 吴世新, 周可法, 刘朝霞, 张琳, 乔木, 岳健, 张雪艳. 新疆地区近 10 年来土地利用变化时空特征与动因分析. 干旱区地理, 2005, 28(1): 52-58
- [7] 区美美, 王建武. 土壤空间变异研究进展. 土壤, 2003, 35(1): 30-33
- [8] 马黎春, 盛建东, 蒋平安, 汤庆峰. 克拉玛依干旱生态农业区土壤质地的空间异质性研究. 干旱区地理, 2006, 29(1): 109-114
- [9] 吴黎军, 贺军亮, 冯晓森. 地统计学及其在生态学研究中的应用与进展. 安徽农业科学, 2009, 37(25): 12 353-12 356
- [10] 谢正苗, 李静, 王碧玲, 陈建军. 基于地统计学和 GIS 的土壤和蔬菜重金属的环境质量评价. 环境科学, 2006, 27(10): 2 110-2 116
- [11] 盛建东, 杨玉玲, 陈冰, 武红旗. 土壤总盐、pH 及总碱度空间变异特征研究. 土壤, 2005, 37(1): 69-73
- [12] 杨劲松, 姚荣江, 刘广明, 孔祥勇, 张芳. 黄河三角洲地区土壤盐分的空间变异性及 CoKriging 估值. 干旱区研究, 2006, 23(3): 439-445
- [13] 李义玲, 乔木, 杨小林, 周生斌. 干旱区典型流域近 30a 土地利用/覆被变化和景观破碎化分析——以玛纳斯河流域为例. 中国沙漠, 2008, 28(6): 1 050-1 057
- [14] 樊华, 张凤华. 新疆石河子绿洲耕地变化及驱动力研究. 干旱区研究, 2007, 24(5): 574-578
- [15] 蔡文春, 杨德刚. 新疆耕地变化及驱动力分析. 干旱区资源与环境, 2006, 20(2): 144-149
- [16] 鲍士旦. 土壤农业化学分析. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [17] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993

## Effects of Land Development on Spatial Variation of Farmland Nutrients and Salinity

WU Hong-qi, GU Hai-bin, CHEN Bing, SHENG Jian-dong

(College of Grassland and Environment Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** The spatial variability of soil properties after land development was studied with geostatistics method. The results showed that the contents of soil organic matter and soil salinity of topsoil decreased, the available P content increased while the available N content changed little due to land development. Especially, once the land was abandoned, the organic matter content of topsoil reduced significantly. The relationships between soil salinity content and the contents of the organic matter, available N and available K were significantly positive correlation, but there was negative correlation between soil salinity content and the available P content in the topsoil of farmland. Therefore, it is necessary for farmland to increase organic manure and supply potassium fertilizer, and could not to be abandoned after land development.

**Key words:** Land development, Nutrients, Soil salinity, Spatial variation