



# 新疆绿洲盐渍化区域土壤质量评价

王巍琦, 杨海昌, 王卫超, 张凤华

(石河子大学/新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

**摘要:**玛纳斯河流域作为新疆最大的绿洲农耕区,近年来随着农业用地开发强度加大,水资源不合理利用等因素使土壤盐渍化和土壤退化问题逐渐显现,从而带来一系列生态环境问题并制约着农业生产和社会经济发展。以石河子垦区为研究区域,针对区域内存在的土壤盐渍化问题等土壤质量问题,选取土壤养分、土壤质地及盐碱化程度为评价指标,利用层次分析法对垦区土壤质量做出综合评价。结果表明:根据综合评价结果可以将区域土壤质量划分为4个等级,其中一级地质量最好且占总面积的14.92%,二至四级分别占比23.14%、36.54%、25.40%。垦区内土壤质量总体偏低,土壤养分亏缺严重,且异质性较大。土壤普遍呈微碱化,小部分区域遭受到盐碱危害,大部分区域受到潜在盐碱化威胁,土壤质量有待进一步提高。应通过多种措施相结合,因地制宜地制定科学合理的措施以减轻盐碱化,提高土壤肥力,增强农业生态系统稳定性,保障绿洲农业可持续发展和土壤生态安全。

**关键词:**石河子垦区;土壤质量;土壤养分;盐碱化

土壤质量在维护可持续土地生产力和土壤与植物、动物、人类之间食物链安全健康中具有重要作用<sup>[1]</sup>,而土壤退化和耕地质量下降已经成为我国农业生产面临的重要问题之一。玛纳斯河流域作为我国第四大灌溉农业区,是新疆开垦面积最大的人工绿洲<sup>[2]</sup>。多年来不合理的农业土地开发和重用轻养的耕作方式,导致绿洲农田生产力水平不断降低,并且出现了大量的中低产田和弃耕地,加上土壤次生盐渍化、荒漠化的侵袭,使得原本脆弱的农业生态系统进一步退化,制约了农业发展的后劲<sup>[3]</sup>。土壤质量评价是绿洲化过程中干旱区土地资源可持续利用与管理的重要内容<sup>[4]</sup>。绿洲土壤作为绿洲农业可持续发展的重要基础条件,也是稳定农业生态系统的重要因素,只有对土壤质量进行准确的评价,才能客观地了解不同管理措施对土壤的影响,并及时的调整,为土地的可持续发展提供理论依据<sup>[5]</sup>。

石河子垦区是我国干旱区绿洲农业规模化开发历史较短,但开发规模较大的绿洲之一,是新疆北疆重要的产棉区。该区域为典型的绿洲山盆结构,依次形成冲积洪积扇—泉水溢出带(扇缘)—冲积平原—三角洲等地貌<sup>[6]</sup>。石河子垦区大多数区域处在洪积平原,地形平坦。土壤类型的丰

富度较高,异质性较大,在自然条件下,土壤淋溶和脱盐过程十分微弱,土壤中的可溶性盐强烈积聚,形成大面积不同程度盐渍化土壤<sup>[7]</sup>。绿洲农田经过开垦后,随着开垦年限增加,土壤盐分呈现先降低后升高趋势而土壤养分则与之相反<sup>[8]</sup>,可见土壤的盐渍化和养分的亏缺问题会制约干旱区农业发展,从而影响绿洲生态环境的稳定<sup>[9]</sup>,所以防治土壤盐碱化并提高土壤质量应该是该区域关注的重要问题<sup>[10]</sup>。目前大多数学者都基于养分指标等对土壤质量进行评价,而很少有将盐碱化因素纳入到评价体系中,本文以石河子垦区耕地作为研究区域,利用层次分析法对该区域土壤质量做出综合评价,更有利于合理、高效地利用绿洲土壤资源,为玛纳斯河流域石河子垦区今后农业土地利用与开发提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

石河子垦区位于天山北麓中段玛纳斯河流域,地处古尔班通古特沙漠南缘,在塔城地区东南和昌吉州西北角之间,地理坐标 N43°26′~45°20′,E84°58′~86°24′。垦区东西宽115.15 km,东部以玛纳斯河为界,与玛纳斯县隔河相邻,西面延伸至沙湾县西部,与奎屯市接壤。垦区南北长达202.3 km<sup>[11]</sup>,属于典型的温带大陆性气候,年平均气温7.5~8.2℃,日照2318~2732 h,无霜期147~191 d,年平均降雨量180~270 mm,年平均蒸发量在1000~1500 mm。区域内土壤多系灰漠土、潮土、草甸土,土质多以壤土为主,部分地区有粘质土,洪积平原边缘以砂壤为主<sup>[12]</sup>。

收稿日期:2018-02-05

基金项目:国家重点研发资助项目(2016YFC0501406);兵团科技攻关与研究成果转化资助项目(2016AD022)。

第一作者介绍:王巍琦(1993-),男,在读硕士,从事土壤环境与生态安全研究。E-mail:812105845@qq.com。

通讯作者:张凤华(1970-),女,博士,教授,博导,从事干旱区土壤环境与生态安全研究。E-mail:zfh2000@126.com。

作物以棉花、小麦、玉米、番茄、蔬菜、瓜果等为主。

1.2 方法

1.2.1 样品采集 采样区域位于石河子垦区内,选择随机布点的方式选点,选点时远离田边、沟边、路边或肥堆边,选取时综合考虑地形和植被类型等因素来确定。采样点的布设:各采样点坐标利用手持式 GPS 进行定位并记录,采集 0~20 cm 土壤样品,共采集了 63 个土壤样品进行土壤理化性质分析,采样于 2016 年 10 月中下旬作物收获完成后进行。

1.2.2 测定项目及方法 测试指标为土壤质地、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、电导率(EC)、水

溶性阳离子总量( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ )和 pH。土壤质地采用速测法;土壤 pH 采用电位法;土壤有机质测定采用重铬酸钾氧化外加热法;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用中性醋酸铵浸提—火焰光度法<sup>[13]</sup>;水溶性阳离子采用离子色谱(Thermo ICS1100)测定。

1.2.3 评价指标体系的确定 本次评价指标为了遵循主导性、敏感性、差异性等原则<sup>[14]</sup>,利用定量的分析方法,根据该区域土地特性,从影响农业生产的角度确定该区域评价指标。其中一级指标 3 个,二级指标 12 个,三级指标 4 个,指标体系如图 1。

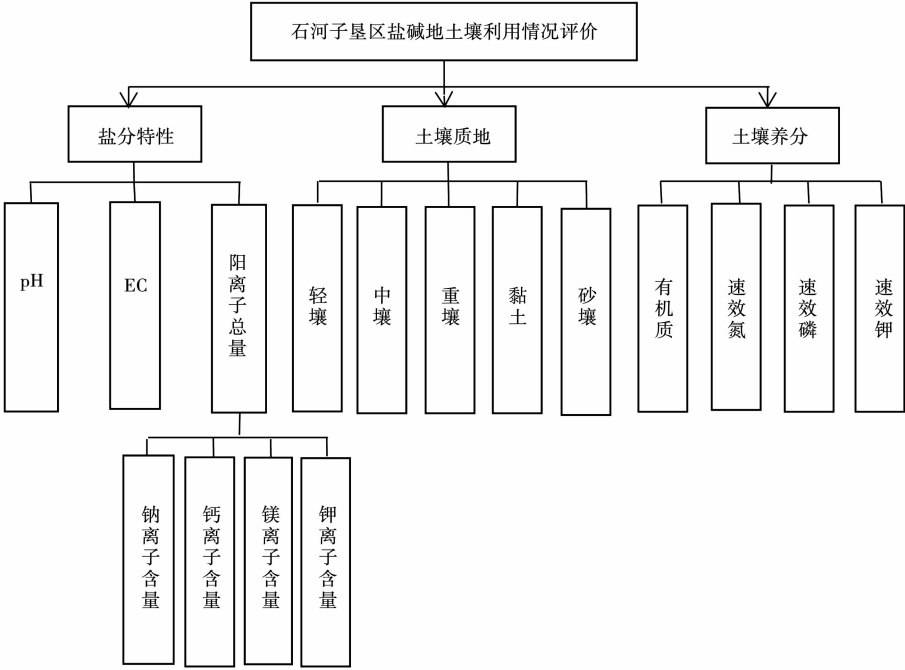


图 1 评价体系指标图

Fig. 1 Evaluation system index

1.2.4 数据分析 采用 Excel 2016 和 ArcMap 进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 各项指标统计特征值

从土壤的酸碱状况来看(表 1),pH 平均值在 8.147,变异强度较低,土壤普遍呈现微碱化。电导率和阳离子总量表征土壤盐分含量,水溶性阳离子总量和电导率变异较大,表明土壤盐碱化在区域内的分布广泛且程度差异大。参照第二次全国土壤普查的养分分级标准对土壤养分进行评估,土壤速效钾和碱解氮含量平均处于很缺乏状态,有机质平均处于缺乏状态。土壤速效磷从平均值来看处于中等状态。速效磷、有机质都有较

强的变异程度,这与农田施肥管理有关。

2.2 权重的确定

指标权重的确定根据专家经验,对各指标层次的每个指标按照 0~1.0 标度方法,判断准则层和指标层中各指标两两比较的相对重要程度,通过一致性检验。最后计算指标层对目标层的组合权重,每个指标的综合权重值见表 2。结合专家经验法进行的权重计算值表明,在该垦区表征盐分的阳离子总量和电导率的权重值均较高,专家们一致认为土壤盐分含量对该地区土壤质量有较大影响,同时有机质作为土壤养分的重要参考指标,专家们也赋予较高的权重值。相较于盐分与养分指标,土壤质地权重相对较低。

表 1 土壤质量评价指标的统计特征值

Table 1 The statistical characteristic value of soilquality evaluation index

土壤指标 Soil indexes	极差 Range	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 C. V. /%
pH	2. 33	9. 87	7. 56	8. 15	0. 39	4. 75
电导率/(ms·cm <sup>-1</sup> ) EC	9. 51	9. 61	0. 09	2. 00	2. 11	105. 62
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) AK	53. 80	61. 17	7. 37	30. 29	13. 05	43. 09
速效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) AP	75. 66	79. 03	3. 37	18. 91	17. 88	94. 54
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) AN	156. 63	166. 43	9. 80	50. 73	26. 72	52. 67
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> ) SOM	67. 68	68. 93	1. 25	13. 60	11. 18	82. 22
阳离子总量/(g·kg <sup>-1</sup> ) CT	10. 98	11. 13	0. 15	3. 51	2. 76	78. 46

表 2 各指标权重与综合权重

Table 2 Weight of each index and comprehensive weight

评价指标 Evaluated index		指标权重 Index weight	综合权重 Final index weights
一级指标 Grade I index	盐分指标	0. 4367	
	养分指标	0. 3100	
	土壤质地	0. 2533	
二级指标 Grade II index	pH	0. 1622	0. 0708
	EC	0. 2292	0. 1001
	阳离子总量	0. 6086	0. 2658
	有机质	0. 3607	0. 1118
	速效氮	0. 2403	0. 0745
	速效磷	0. 2555	0. 0792
	速效钾	0. 1435	0. 0445
	粘土	0. 1905	0. 0483
	重壤	0. 1853	0. 0469
	中壤	0. 1679	0. 0425
	轻壤	0. 2096	0. 0531
	砂土	0. 2467	0. 0625

$$f(x) \begin{cases} 1.0 & x > x_2 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

(1)

中间梯形隶属函数

$$f(x) \begin{cases} (x-3.5)/3 & 3.5 < x < 6.5 \\ (9.5-x)/2 & 7.5 < x < 9.5 \\ 1 & 6.5 \leq x \leq 7.5 \\ 0 & x \leq 3.5 \text{ 或 } x \geq 9.5 \end{cases}$$

(2)

反 S 型隶属函数

$$f(x) \begin{cases} 0.1 & x > x_2 \\ 0.9(2-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

(3)

一般梯形隶属函数

$$f(x) \begin{cases} 1.0 & x < x_1 \\ (x_2-x)/(x_2-x_1) & x_1 \leq x \leq x_2 \\ 0 & x > x_2 \end{cases}$$

(4)

其中,土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾的隶属函数为 S 型,即在一定范围内,评价指标的增长与作物生长呈正相关关系,若低于或超过此范围,指标变化对土壤生产力影响则很小<sup>[15]</sup>。pH 属于中间梯形其指标离一定的范围越近则越好,而偏离该指标则越差。EC 为反 S 型,即数值越小则土壤盐渍化程度越低。阳离子总量作为反映盐分程度的指标其在一定程度内对作物生长无害超过一定值后对作物生长产生影响。隶属度函数转折点通过结合前人研究与本地区土壤的实际情况计算得出,该转折点是作为衡量指标的边界点。

表 3 隶属度函数曲线中评价指标的转折点取值

Table 3 Value of turning point in membership function of evaluating indicators

转折点 Turning point	速效氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) Available nitrogen	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) Available phosphorus	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Organic matter	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) Available potassium	电导率/ (ms·cm <sup>-1</sup> ) EC	阳离子总量/ (g·kg <sup>-1</sup> ) Water-soluble cations
$x_1$	30	5	5	50	0. 3	2. 17
$x_2$	150	25	25	200	2. 0	14. 67

2.4 土壤质量综合值与等级确定

采用层次分析与专家经验打分法相结合确定指标权重,选取相应的隶属度函数采用加权法计算每个评价单元的综合指数,即将各评价因子的组合权重与相应的因素等级分值相乘后累加,土壤质量综合值计算公式如下:

$$I = \sum B_i \times W_i (i = 1, 2, 3 \cdots, 10) \quad (5)$$

式中, $I$ 为盐碱地地力评价综合指数; $B_i$ 为第*i*个评价因子的等级分值; $W_i$ 为第*i*个评价因子的组合权重。利用 ArcMap10 的自然断点法对综合指数的计算将该地区土壤质量划分为不同等级,确定该区域土壤综合指数的等级分布。

如表 4 所示经过自然断点法的计算将土壤质量等级分为 4 级,小于 0.477 为四级地,0.477~0.537 为三级地,0.537~0.549 为二级地,大于 0.594 的为一级地,根据标度方法得分越高土壤质量越高。如表所示计算结果表明一级、二级、三级、四级地分别占比 14.92%、23.14%、36.54%、25.40%。

表 4 石河子垦区土壤质量综合评价结果  
Table 4 Comprehensive evaluation results of soil quality in Shihezi

等级 Grades	综合指数 $I$ Index	比例/% Proportion
一级	$I > 0.594$	14.92
二级	$0.537 < I \leq 0.594$	23.14
三级	$0.477 < I \leq 0.537$	36.54
四级	$I \leq 0.477$	25.40

3 讨论与结论

3.1 讨论

石河子垦区是玛纳斯流域的重要的作物种植区,其经过长期垦植后土壤质量发生巨大变化。本文以主要的土壤肥力指标与盐碱化指标相结合利用层次分析对垦区进行了土壤质量综合评价。从评价等级上来看,二级地和三级地占到样点总数的 59.68% 超过样点总数的一半,一级地和四级地只占到总样点的 14.92% 和 25.40%。总体来看该区域土壤质量整体偏低,差异较大,土壤养分含量低,盐渍化程度不断上升,呈现由南向北逐渐增加的趋势。经过长时间的种植消耗了土壤中大量的养分。垦区农药和化肥使用量都在增加,使用强度也呈增加趋势<sup>[16]</sup>,长期施用大量化肥恶化了土壤理化性质,破坏土壤团粒结构,降低了土壤肥力,造成土壤板结等问题。加上农户的“重用轻养”的种植方式,有机肥的投入比例较低或者不

施用,使土壤有机质等重要的养分流失严重,加速了土壤质量下降,人为因素是促进盐渍化与次生盐渍化的主要驱动因素之一。该区域特有的地质地貌结构与气候条件也使得该地区有较高的盐碱化风险,加之缺乏科学合理的耕作制度和农业水利设施等多种因素造成近年来这一地区土壤盐碱化呈现高发态势,次生盐碱威胁也越来越大,研究表明石河子垦区土壤含盐量从深至浅依次增加,且呈现向积盐阶段发展<sup>[17]</sup>。人为因素与自然因素共同作用使绿洲地区的农业可持续发展和土壤生态安全面临严峻挑战。盐渍土形成是自然因素和人为因素综合作用的结果,虽然形成盐渍土的自然因素是很难改变的,但盐渍土形成的人为因素是可以控制和避免的<sup>[18]</sup>,通过科学化、系统化的灌溉、种植、施肥等措施可以避免或减轻次生盐碱化发生的概率。结合本次评价,提出如下建议:要提高该地区耕地质量,一方面提高土壤养分含量保障农业生产的可持续性,另一方面减轻盐碱化带来的危害,提高土壤质量的稳定性。建立合理的耕作制度,改变传统的单一种植模式,加强多年耕作农田、密植农耕区的保护,进行适当的休耕、轮耕管理,优化种植结构,以保证该区农用地的生态循环利用和农业可持续发展<sup>[19]</sup>。坚持“用养结合”,推广秸秆还田,增加有机肥的施用比例,以提高土壤有机质含量,增强土壤保水保肥能力。通过测土配方施肥等方法配合科学的田间管理措施合理施用化学肥料,提高肥料利用效率。修建完善的排灌设施,灌溉渠系防渗防漏,实施区域性水源地开发,加大井灌井排力度,并实施较完整的技术体系,提高水资源利用效率。修缮排碱渠,定期进行洗盐排盐,地下水位较高且有条件的地区可以铺设暗管进行排盐。利用生物技术控制盐分,选育耐盐品种作物,建立科学种植技术,并加快特色耐盐植物的相关开发<sup>[20]</sup>。设立灌区次生盐渍化的预测预报机制合理调控水盐平衡,详细掌握灌区内盐碱变化情况。由单一措施向综合治理转变,多措并举,因地制宜,才能更好地解决当前所面临的土壤退化和盐碱化问题。

本文只对常规土壤盐分和理化指标进行评价,随着近十几年的经济发展,大量工业企业带来的土壤重金属污染,有机物污染也不容忽视,“三农”污染也逐年增加,这类相关指标在今后也应该纳入到土壤质量评价指标体系中,以更全面地反映土壤质量变化。

3.2 结论

本文以土壤盐渍化背景为切入点结合土壤养

分指标,使用层次分析与模糊数学相结合对玛纳斯河流域石河子垦区土壤质量做出综合评价。根据评价结果将石河子垦区土壤质量划分为 4 个等级,其中一级地质量最好且占总面积的 14.92%,二级地占 23.14%,三级地占 36.54%,四级地占 25.40%。该区域内土壤质量整体较低,土壤 pH 较高,普遍呈现微碱化,土壤养分含量普遍处于缺乏状态,且空间异质性较大,垦区内土壤均有不同程度的盐碱化,少部分地区遭受盐渍化危害较重,大部分区域潜在盐渍化风险较高。

#### 参考文献:

[1] 张嘉宁. 黄土高原典型土地利用类型的土壤质量评价研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.

[2] 李夏,乔木,周生斌. 1985-2014 年新疆玛纳斯灌区土壤盐渍化时空变化及成因[J]. 水土保持通报,2016(3):152-158.

[3] 杨发相. 新疆玛纳斯河流域的土地利用与退化问题[J]. 新疆环境保护,2002(1):8-12.

[4] 桂东伟,雷加强,曾凡江,等. 绿洲化进程中不同利用强度农田对土壤质量的影响[J]. 生态学报,2010(7):1780-1788.

[5] 张心昱,陈利顶. 土壤质量评价指标体系与评价方法研究进展与展望[J]. 水土保持研究,2006(3):30-34.

[6] 杨海昌,张风华,王东方,等. 近 60 年玛河流域绿洲蒸散量变化趋势及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境,2014(7):18-23.

[7] 赖先齐,刘建国,张风华,等. 玛纳斯河流域绿洲农业弃耕地生态重建的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),2004(1):27-31.

[8] 张风华,潘旭东,李玉义. 新疆玛河流域绿洲农田开垦后土壤环境演变分析[J]. 中国农业科学,2006(2):331-336.

[9] 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[J]. 干旱区地理,2000(2):177-181.

[10] 李玉芳,郑旭荣,柏俊华,等. 玛纳斯河流域生态环境质量评价[J]. 干旱区资源与环境,2008(10):115-120.

[11] 程钢. 石河子垦区农业开发与绿洲生态演变研究[D]. 石河子:石河子大学,2013.

[12] 王海江. 玛纳斯河流域土壤盐渍化过程和格局特征及盐渍土改良模式探讨[D]. 北京:中国农业大学,2014.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2013.

[14] 朱楚馨,张建杰,王晋民,等. 大同盆地盐碱荒地开发利用适宜性评价[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2015(3):311-317.

[15] 吕真真,刘广明,杨劲松,等. 黄河三角洲滨海盐渍土区土壤质量综合评价[J]. 干旱地区农业研究,2015(6):93-97.

[16] 陈浩,杨达源,金晓斌. 石河子垦区耕地土壤污染问题分析[J]. 干旱区资源与环境,2013(2):186-192.

[17] 谷海斌,盛建东,武红旗,等. 灌区尺度土壤盐渍化调查与评价——以石河子灌区和玛纳斯灌区为例[J]. 新疆农业大学学报,2010(2):95-100.

[18] 樊自立,马英杰,马映军. 中国西部地区耕地土壤盐渍化评估及发展趋势预测[J]. 干旱区地理,2002(2):97-102.

[19] 潘旭东,杨乐,张风华,等. 玛纳斯河流域次生盐渍化弃耕地全面生态重建的新理念[J]. 新疆农业科学,2004(6):431-434.

[20] 田长彦,买文选,赵振勇. 新疆干旱区盐碱地生态治理关键技术研究[J]. 生态学报,2016(22):7064-7068.

## Soil Quality Evaluation of Salinization in Xinjiang Oasis

WANG Wei-qi, YANG Hai-chang, WANG Wei-chao, ZHANG Feng-hua

(Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

**Abstract:** Manasi River Basin is the largest cropping region in Xinjiang. Recently, the irrational use of land and water resources has caused secondary salinization of farmland, which has brought about a series of ecological and environmental problems and restricted agricultural production and socio-economic development. To address this question, according to existing soil quality problems such as soil salinization in Shihezi region, we selected the soil nutrients, soil texture, and salinization degree as evaluation indicators comprehensively evaluate soil quality by using analytic hierarchy process (AHP). The results indicated that soil quality in the study area could be divided into four grades as follows, the first grade is the best quality and accounts for 14.92% of the total area, the second to fourth grades account for 23.14%, 36.54% and 25.40% respectively. Together, soil quality in reclamation area is generally low, soil nutrient deficiency is serious, and the heterogeneity is much larger. The soil is generally slightly alkalized, a small part of the area is endangered by salt and alkali, most of the area is threatened by potential salinization, and soil quality needs to be further improved. Therefore, we should combine a variety of measures, take scientific and rational measures to reduce salinity based on local conditions, improve soil fertility and enhance the stability of agricultural ecosystems as well as ensure sustainable development of agriculture and soil ecological security in this area.

**Keywords:** Shihezi reclamation area; soil quality; soil nutrients; soil salinization