

盐渍土改造区土壤养分的时空变异性研究^{*}

牛灵安 郝晋珉[†] 覃 莉 孟 鹏 李栓怀 隋鹏飞

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094)

摘 要 在第二次全国土壤普查的基础上, 于 2002 年 10 月对研究区域——河北省曲周县的耕地进行了全面的调查和分析, 并将 GPS、GIS 技术应用到耕地质量调查工作中。研究表明: 随着盐碱地综合治理的深入、外源物投入数量的增加和质量的改进、作物布局的调整, 盐渍土改造区土壤养分在时间和空间上发生了很大的变化。在时间上, 耕层土壤有机质平均含量从 8.4 g kg^{-1} 增加到 13.89 g kg^{-1} , 全氮平均含量达到 0.937 g kg^{-1} , 速效磷平均含量从 5.45 mg kg^{-1} 增加到 23 mg kg^{-1} , 速效钾含量从 $34 \sim 285 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间逐步变化为 $67 \sim 191 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间的高肥力农业土壤; 在空间上, 土壤养分的分布与养分的地球化学过程、农业产业结构布局及采用的相应措施有密切关系。主要表现在: 土壤有机质、全氮及速效磷含量随着农业集约化程度的提高、外源物质投入的增加而相应增加; 土壤速效钾含量则由原来的随地球化学过程而变化, 转变为随着农业集约化程度的提高而相应变化。

关键词 盐渍土改造区; 土壤养分; 时空变异性; 有机质; 全氮; 速效磷; 速效钾

中图分类号 S151.95 文献标识码 A

盐碱地经过工程的、生物的和化学的方法改良以后, 农业生产面貌发生了很大变化, 土壤的盐渍化得到了治理, 生态环境得到了改善, 基本具备了种植农作物的条件^[1]。在此基础上, 随着肥料投入量的增加、复种指数的提高, 生物产量相应增加, 土壤主要养分(有机质、全氮、速效磷和速效钾)含量在时间和空间上的变化有其特有的规律性^[2~6]。本文在 1980 年全国第二次土壤普查的基础上, 于 2002 年对河北省曲周县耕地地力进行了全面的调查和分析, 系统地研究了盐渍土改造区土壤养分的特征及其时空变化规律, 为盐渍化土壤的持续利用奠定了理论和实践基础。

1 研究区概况

曲周县是黄淮海平原黑龙港流域的一个典型农业县, 位于黑龙港流域上游, 地理位置处在东经 $114^{\circ}50'30''$ 至 $115^{\circ}13'30''$, 北纬 $36^{\circ}34'45''$ 至 $36^{\circ}57'57''$ (图 1)。全县土地面积共 660.038 km^2 , 其中已利用土地面积 66273.4 hm^2 , 占 98.0%; 治理初期, 盐碱地占土地总面积的 22.2%, 土地利用主要是以粮食

生产为主。

气候属暖温带半湿润太平洋季风气候区, 年平均气温 13.1°C 。冬、春季节寒冷干燥, 夏季温暖多雨, 明显地表现出干湿季节的更替。境内光、热资源比较丰富, 年平均无霜期 201 d, 0°C 以上积温 4472°C 。七月份最热, 平均气温为 26.8°C ; 1 月份最冷, 平均气温为 -2.9°C 。年平均降雨量为 556.2 mm , 降水主要集中在 7 至 9 月份, 占全年降雨量的 2/3, 雨热同期, 对农业生产十分有利, 土地生产潜力大。

地势平坦, 地面海拔高程 $45.4 \sim 32.7 \text{ m}$, 相对高差 12.7 m , 地面坡降 $1/2500 \sim 1/8000$, 排水不畅造成盐渍化土壤广泛分布, 历史上涝灾影响很大。经过多年的工程建设, 排涝骨干工程系统排涝标准已达连续三日降雨 250 mm 不淹地。

据第二次土壤普查资料, 曲周县常年地下水位在 $3 \sim 10 \text{ m}$, 矿化度为 $2 \sim 4 \text{ g L}^{-1}$, 最高 7 g L^{-1} , 水质为钠质氯化物-重碳酸盐水($\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}$)、钙镁质硫酸盐-氯化物水($\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{CaMg}$)、钠钙质氯化物-重碳酸盐水($\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{NaCa}$)、钠质氯化物-硫酸盐水($\text{SO}_4-\text{Cl}-\text{Na}$)。地下水在多数地区参与成土过程, 是该地区盐渍化土壤形成的又一主要原因。

^{*} 国家自然科学基金项目(批准号: 39300070)和河北省自然科学基金项目(批准号: 302438)资助

[†] 通讯作者

作者简介: 牛灵安(1960~), 在读博士生, 现在邯郸市农业学校工作, 主要研究方向为土壤培肥

收稿日期: 2003-12-19; 收到修改稿日期: 2004-06-24

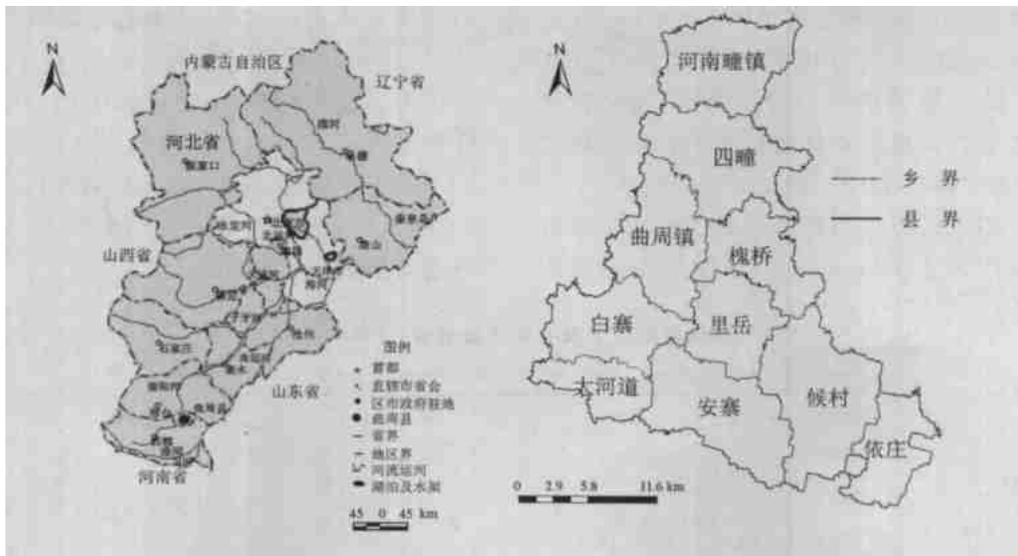


图1 河北省曲周县地理位置(左)及行政区划图(右)

Fig. 1 Geographical location(left) and district (right) of Quzhou County, Hebei Province

2 研究方法

2.1 土壤样品采集及定位

本研究是全国耕地地力调查与质量评价试点工作的一部分。按照试点工作《规程》的要求,平原地区平均每个采样点代表面积 133~150 hm^2 左右,在曲周县的基本农田保护区范围内,将土地利用现状图和土壤图在 MAPGIS 中利用矢量图的叠加分析功能进行叠加形成土斑图,将土斑图上的零碎土斑进行整理和合并作为工作底图,确定采样点总数量为 263 个。在田间采样时,用 GPS 定位系统将每个采样点位置确定下来并标注在图上,形成采样点位图^[6~8]。

2.2 分析测试

土壤有机质的测定采用重铬酸钾-硫酸溶液-油浴法;土壤速效磷的测定采用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法;土壤速效钾的测定采用乙酸铵提取-火焰光度法;土壤全氮的测定采用半微量开氏法。

2.3 数据处理与制图

利用 MAPGIS 的属性数据库管理子系统将采样点位图与采样点的调查数据与测试数据进行连接。将采样点文件转成 ARC/INFO 的标准格式 SHAP 文件,在 ARCMAP 中利用地理统计分析子模块中,采用 Kriging 插值法进行采样点数据的插值^[7~11],生成土壤专题图,包括土壤有机质含量图、土壤有机质变化图、土壤全氮含量图、土壤速效磷含量图、土壤速

效钾含量图等。

3 结果与分析

盐渍化土壤中肥盐之间存在着相互制约的关系。土壤中高的含盐量将抑制作物的生长发育,生物产量不高,遗留在土壤中的有机物不多。反之,当土壤有机质含量多时,能调和以至消除盐害,二者相互制约,形成所谓“肥大吃碱,碱大吃肥”的现象^[1]。盐渍化土壤经过改良和利用以后,土壤盐分含量明显降低,盐分不再是限制作物生长的制约因素了。在这种情况下,外源物质的投入、作物布局的调整及农业管理措施将影响到土壤养分的变化。

3.1 土壤有机质的时空变异性

有机质是构成土壤有机无机复合胶体的核心物质,也是土壤养分的储藏库。因此,土壤有机质数量的消长反映出土壤肥力的水平。盐渍土经过改良和治理后,土壤有机质发生了根本的变化。

3.1.1 土壤有机质的时间变异性 经过 20 余年的综合治理和培肥,曲周县耕地土壤有机质含量由 20 世纪 80 年代初的 8.4 g kg^{-1} 增加到 2002 年的 13.89 g kg^{-1} ,增加了 60.7% (表 1)。80 年代初曲周县农民生活处在脱贫的边缘,燃料的主要来源是作物秸秆,耕地土壤有机质的积累只能靠作物根茬及少部分秸秆的还田,因此其有机质含量以 $\leq 10.0 \text{ g kg}^{-1}$ 为主,占全县的 63.56%,而含量在 $10.0 \sim 12.0 \text{ g kg}^{-1}$ 的仅占 35.73%。随着农民生活水平和环保

意识的逐步提高, 秸秆不再是燃料的主体, 小麦和玉米秸秆都能全部或绝大部分还田, 从而增加了其有机质的含量。结合郝晋珉等^[2]的研究, 曲周县耕地土壤有机质含量的提高主要是秸秆还田和农家肥的施用, 但是只能维持在 12.0~ 15.0 g kg⁻¹的水平上; 施用人畜粪尿和厩肥等优质有机肥料的耕地土壤有机质的含量普遍大于 15.0 g kg⁻¹, 说明人畜粪尿依

然是优质的有机肥源, 是今后土壤培肥的主要肥源。由表 2 可以看出, 现今已经不存在有机质含量 ≤ 10.0 g kg⁻¹的耕地, 全县的耕地土壤有机质平均含量达到了 13.89 g kg⁻¹, 变化幅度在 10.26~ 16.04 g kg⁻¹之间, 标准差 1.062, 方差 0.011 3, 变异系数为 0.076 5。其有机质含量变化在 12.0~ 15.0 g kg⁻¹的占绝大多数, 达 80% 以上。

表 1 曲周县耕地土壤有机质含量变化(1980~ 2002年)

Table 1 Variation of soil organic matter (OM) content in Quzhou in 1980 and 2002

年份 Years	样本数 Sample	区间 Range (g kg ⁻¹)	平均值 Average (g kg ⁻¹)	标准差 SD	变异系数 C. V.
2002	263	10.3~ 16.0	13.89	0.11	0.076 5
1980	958	0.8~ 13.6	8.40	0.23	0.272 2

表 2 曲周县耕地土壤有机质平均含量分级¹⁾

Table 2 Content grading of the soil organic matter (OM) in Quzhou

分级标准 Grade standard	区间 Range (g kg ⁻¹)	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 C. V.	面积 Area (hm ²)
15.0~ 20.0	15.0~ 16.0	15.34	0.260 3	0.017 0	5 146. 4
12.0~ 15.0	12.0~ 14.9	13.81	0.644 7	0.046 7	41 197. 7
10.0~ 12.0	10.3~ 11.9	11.24	0.479 3	0.042 6	4 747. 6

1) 2002年9月所测数据 The data mensurated in September, 2002

3.1.2 土壤有机质的空间变异性 按照辛德惠的农业发展三阶段理论^[1], 曲周县正处在综合农业发展阶段, 农业结构有了大幅度的调整, 其中种植业总产值占农林牧副渔总产值的 47.85%, 畜牧业占 42.15% (2001年统计资料)。畜牧业的大力发展, 一方面为种植业提供了大量的优质有机肥源, 另一方面也消耗了大量的种植业副产品, 进而促进了种植

业的发展。农业生产的布局也发生了根本的变化。农村的“三料”问题得到了很好解决, 大量肥料投入, 促使作物生物产量的大幅度提高, 秸秆及饲料用于畜牧业发展, 畜牧的排泄物又反过来用于肥田, 从而促进了农业生产的良性循环。耕地土壤有机质含量以曲周镇为最高, 并以曲周镇为中心向外逐步降低, 以依庄乡为最低, 只有 3 级 (图 2A)。

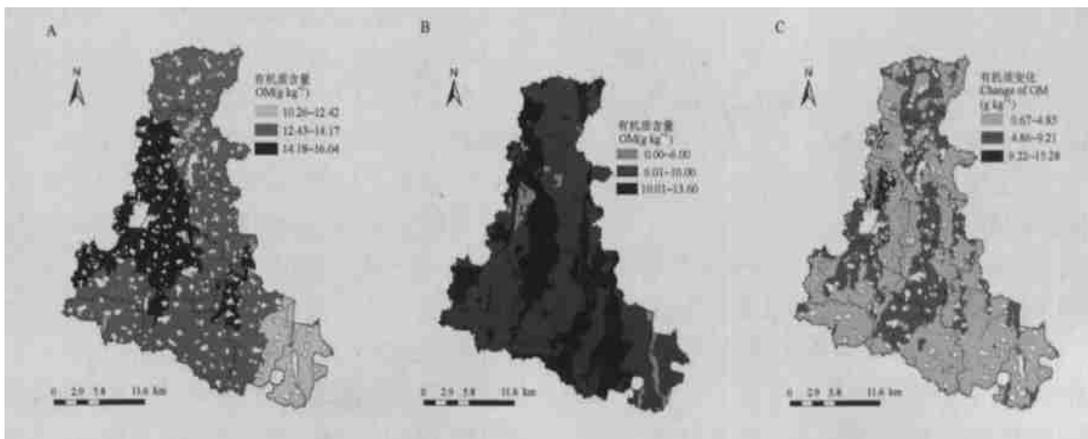


图 2 2002年(A)和1980年(B)曲周县土壤有机质分布及其变化(C)

Fig. 2 Distribution of soil organic matter (OM) in Quzhou in 2002 (A), 1980 (B) and its change (C)

1980年土壤普查时,曲周县农业集约化程度较低,有机质含量的变化基本上与土壤质地呈正相关,即土壤质地越粘重,有机质含量越高(图2B)。从1980年到2002年耕地土壤有机质含量变化值的变化规律基本上与2002年耕地土壤有机质的变化规律相一致:有机质含量增幅较大和较集中的乡镇仍然是曲周镇,变化规律也是以曲周镇为中心向外逐步降低(图2C)。这一变化规律说明,耕地土壤有机质的变化在某种程度上与农业的集约化程度有直接的关系,尤其是种植结构的调整、外源物质的投入等有利于提高耕地土壤有机质的含量。

3.2 土壤氮素的时空变异性

土壤全氮量的多少主要取决于土壤有机质的含

量。曲周县耕地土壤氮素含量变化在 $0.703\sim 1.058\text{ g kg}^{-1}$ 之间,平均值为 0.937 g kg^{-1} ,标准差 0.0656 ,方差 0.0043 ,变异系数为 0.070 。

全氮含量大于 1.0 g kg^{-1} 的耕地主要分布在菜地集中、农家肥施用量大、集约化程度较高的中部地区,如曲周镇(占 63.1%)和白寨乡(占 17.2%)。全氮含量小于 0.75 g kg^{-1} 的耕地主要分布在沙壤质土集中分布、土壤漏水漏肥的东南部地区,如依庄乡。全县大多数耕地土壤全氮含量在 $0.88\sim 1.0\text{ g kg}^{-1}$ 之间,占全县总耕地面积的近 70% ,其分布趋势与其有机质分布相吻合。各耕地土壤全氮含量分级见表3,分布情况见图3。

表3 曲周县各耕地土壤全氮含量分级¹⁾

Table 3 Content grading of soil total nitrogen(TN) in Quzhou

全氮分级 Total nitrogen grade	区间 Range (g kg^{-1})	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 C. V.	面积 Area (hm^2)
1.00~ 1.50	1.00~ 1.06	1.017	0.0145	0.0142	7179.5
0.875~ 1.00	0.88~ 0.99	0.934	0.0345	0.0370	35239.1
0.75~ 0.875	0.75~ 0.87	0.829	0.0362	0.0437	6604.4
0.50~ 0.75	0.70~ 0.74	0.729	0.0112	0.0153	2068.6

1) 2002年9月所测数据 The data mensurated in September, 2002

曲周县耕层全氮含量与有机质含量之间普遍存在显著的正相关关系,相关系数 $r=0.856^{**}$,其回归方程为 $y=0.052x+0.212$,达到了极显著相关。因此全县耕地土壤全氮含量分布趋势与有机质含量分布趋势一致。有机质含量高的耕地土壤,全氮含

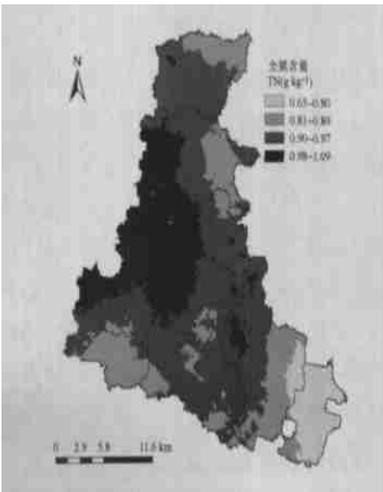


图3 曲周县土壤全氮含量图

Fig. 3 Distribution of soil total nitrogen (TN) in Quzhou

量较高。

3.3 土壤速效磷的时空变异性

土壤中速效性磷包括水溶性磷〔如 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 等〕和弱酸溶性磷(如 CaHPO_4 等),是可以被作物直接吸收利用的形态。

3.3.1 土壤速效磷的时间变异性 土壤速效磷含量由20世纪80年代初的 5.45 mg kg^{-1} 增加到2002年的 23 mg kg^{-1} 。80年代初曲周县正处于盐碱地综合治理阶段,其典型的盐渍土肥力特征使其速效磷含量以 $\leq 5.0\text{ mg kg}^{-1}$ 为主,占全县土地面积的 71.79% ; $5.0\sim 10.0\text{ mg kg}^{-1}$ 占 27.37% ,全县的土壤速效磷含量偏低。随着农业集约化程度的提高,尤其是磷肥投入的增加,现今已经不存在 $\leq 10.0\text{ mg kg}^{-1}$ 的耕地,全县的耕地土壤速效磷含量变化在 $11.37\sim 50.41\text{ mg kg}^{-1}$,平均可达 23.0 mg kg^{-1} ,标准差 8.478 ,方差 71.87 ,变异系数为 0.3686 。进一步研究表明,曲周县耕地土壤速效磷含量主要在 $10.0\sim 20.0\text{ mg kg}^{-1}$ 、 $20.0\sim 30.0\text{ mg kg}^{-1}$ 两个等级上,共占 94.31% (表4)。

表4 曲周县耕地土壤速效磷平均含量分级¹⁾

Table 4 Content grading of rapidly available P (AP) in Quzhou

速效磷分级 Rapidly available P grade	区间 Range (mg kg ⁻¹)	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 C. V.	面积 Area (hm ²)
> 40	40.41~ 50.41	43.59	2.312	0.0530	1113.8
30.0~ 40.0	30.73~ 39.71	34.52	2.842	0.0823	1794.9
20.0~ 30.0	20.01~ 29.50	23.51	2.564	0.1091	20600.0
10.0~ 20.0	11.37~ 19.70	16.96	2.126	0.1253	27583.0

1) 2002年9月所测数据 The data mensurated in September, 2002

3.3.2 土壤速效磷的空间变异性 1980年曲周县土壤速效磷的含量基本上随着土壤质地而变化的,在全县范围内成条带状分布,无区域性特征(图4B)。随着农业产业化的发展、集约化程度的提高,尤其是磷肥投入的增加,曲周县耕地土壤磷素的分布表现出了区域性特征:速效磷含量> 40.0 mg kg⁻¹的富磷区耕地主要分布在菜地集中的中部地区,如

曲周镇(占70.9%)和白寨乡(占29.1%),面积仅1100多hm²;全县绝大多数耕地土壤速效磷在10.0~ 30.0 mg kg⁻¹,占全县总耕地面积的94.3%(图4A)。20多年来,由于速效磷含量的迅速提高,掩盖了速效磷随质地变化的规律,因此曲周县耕地土壤速效磷的变化趋势基本上与2002年的分布趋势相同(图4C)。

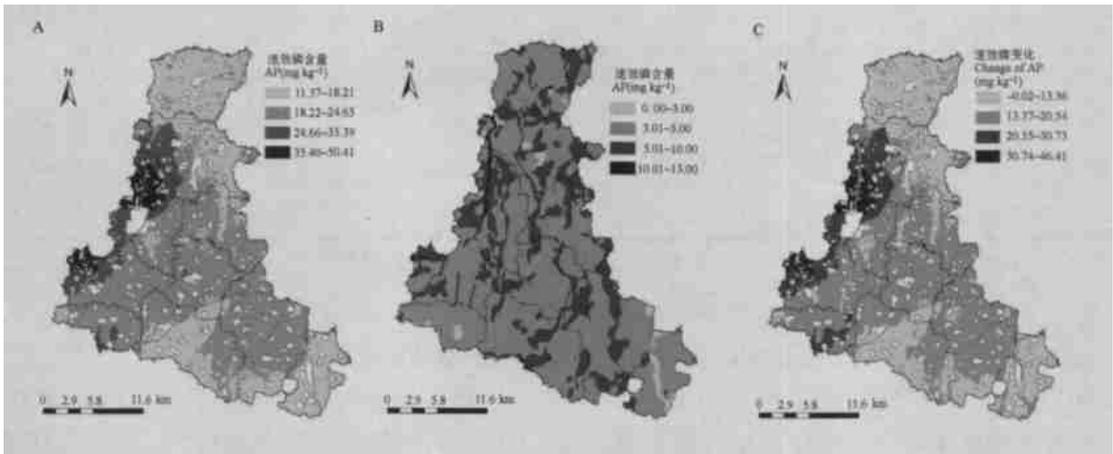


图4 2002年(A)和1980年(B)曲周县土壤速效磷含量及其变化(C)

Fig. 4 Distribution of soil rapidly available P (AP) in Quzhou in 2002 (A), 1980 (B) and its change (C)

耕层速效磷含量与有机质含量之间存在正相关关系,相关系数 $r = 0.486^{**}$, 回归方程为 $y = 2.342x - 13.228$ 。

3.4 土壤速效钾的时空变异性

土壤速效钾的含量水平不仅反映土壤的供钾能力和程度,而且在一定程度上是土壤质量的主要指标之一。

3.4.1 土壤速效钾的时间变异性 20世纪80年代初,土壤母质中速效钾含量较高,曲周县土壤速效钾含量变幅为 34.00~ 285.00 mg kg⁻¹之间, ≥ 200 mg kg⁻¹的占全县 41.79%; 100~ 200 mg kg⁻¹之间的占全县 52%; ≤ 100 mg kg⁻¹的仅占 6.21%,全县土壤速效钾含量总体上是很高的,况且作物产量较低,

作物从土壤中带走的钾素较少,土壤中的速效钾完全可以达到动态平衡。2002年曲周县耕地土壤速效钾含量变化在 67.08~ 190.85 mg kg⁻¹之间,平均值 132.30 mg kg⁻¹,标准差 19.15,方差 366.9,变异系数为 0.1448。 ≤ 100 mg kg⁻¹的耕地面积占总耕地面积的 6.35%, 100~ 150 mg kg⁻¹之间的占 71.85%, 150~ 200 mg kg⁻¹的占 21.80%。随着复种指数的提高、作物根茬残留在土壤中的增多、以及农家肥和化学钾肥的施用,低钾土壤中的含钾量呈现出增加的趋势,如全县最低含钾量由 20世纪80年代初的 34.00 mg kg⁻¹增加到 2002年的 67.08 mg kg⁻¹。同时随着化学氮肥和磷肥的增多、作物产量的增加,作物吸收钾素的能力和数量相应增加,土

壤钾素处于掠夺式减少状态, 从而造成速效钾含量降低, 由 20 世纪 80 年代初的 $285.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 降低到了 $190.85 \text{ mg kg}^{-1}$, 降低了 33.04% (表 5)。

3.4.2 土壤速效钾的空间变异性 土壤钾素含量水平主要取决于成土母质及其地球化学过程。由图 5A 可以看出, 20 世纪 80 年代初, 曲周县土壤钾

素集中分布在两个呈南北走向并行排列的河间洼地。经过 20 年的集约利用以后, 曲周县耕地土壤速效钾含量的分布趋势基本上没有变化(图 5B)。从 1980 年到 2002 年的 20 多年来土壤速效钾变化幅度则较大, 总的趋势是大面积减少, 减少幅度在 $1 \sim 80 \text{ mg kg}^{-1}$ (图 5C)。

表 5 曲周县耕地土壤速效钾平均含量分级¹⁾
Table 5 Content grading of soil rapidly available K (AK) in Quzhou

速效钾分级 Rapidly available K grade	区间 Range (mg kg^{-1})	平均值 Average	标准差 SD	变异系数 C. V.	面积 Area (hm^2)
150~ 200	150.00~ 190.85	157.6	7.594	0.048 2	11 137.7
100~ 150	102.07~ 149.97	129.4	13.30	0.102 8	36 707.9
50~ 100	67.08~ 98.80	86.5	9.189	0.106 3	3 246.1

1) 2002 年 9 月所测数据 The data mensurated in September, 2002

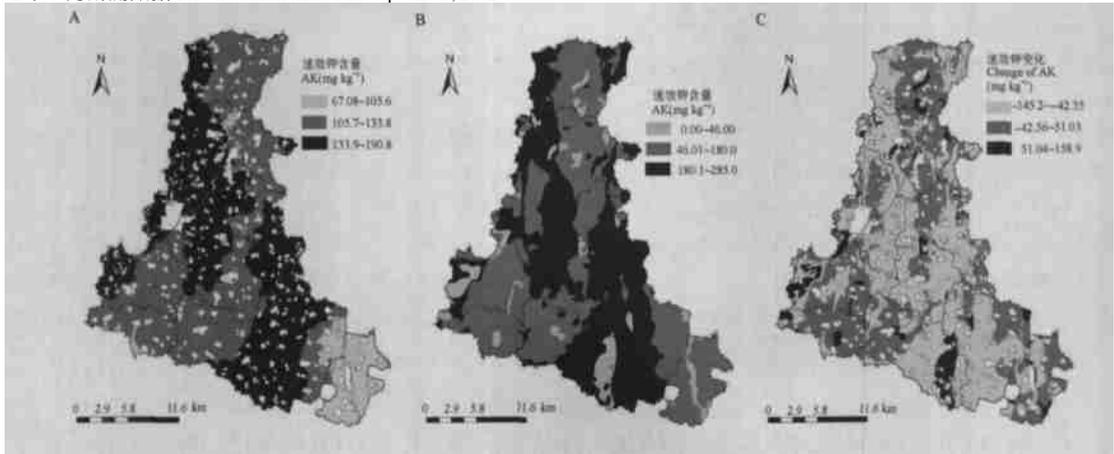


图 5 2002 年(A) 和 1980 年(B) 曲周县土壤速效钾含量及其变化(C)

Fig. 5 Distribution of soil rapidly available K (AK) in Quzhou in 2002 (A), 1980 (B) and its change (C)

4 结 论

1) 经过 20 余年的综合治理和培肥, 曲周县耕地土壤有机质含量由 8.4 g kg^{-1} 增加到 $12.0 \sim 15.0 \text{ g kg}^{-1}$, 增加了 60.7%。有机质含量的变化在某种程度上与农业的集约化程度和作物布局有直接的关系, 尤其是种植结构的调整、外源物质的投入等有利于提高耕地土壤有机质的含量。

2) 土壤全氮含量与有机质含量之间存在着显著的正相关关系, 相关系数 $r = 0.856^{**}$ 。因此土壤全氮含量分布趋势与有机质含量分布趋势一致。有机质含量高的土壤类型, 全氮含量较高。

3) 土壤速效磷含量由 5.45 mg kg^{-1} 增加到 $11.37 \sim 50.41 \text{ mg kg}^{-1}$ 。随着农业产业化的发展和

集约化程度的提高, 尤其是磷肥投入的增加, 曲周县耕地土壤磷素的分布表现出了区域性特征: 速效磷含量 $> 40.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 的富磷区耕地主要分布在菜地集中的地区。全县绝大多数耕地的有效磷含量在 $10.0 \sim 30.0 \text{ mg kg}^{-1}$, 占全县总耕地面积的 94.3%。

4) 20 世纪 80 年代初, 曲周县土壤速效钾含量的变幅在 $34.00 \sim 285.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 之间, $\geq 200 \text{ mg kg}^{-1}$ 的占全县的 41.79%。随着复种指数的提高、作物根茬残留在土壤中的增多、及农家肥和化学钾肥的施用, 低钾土壤中的含钾量表现出增加的趋势, 曲周县最低含钾量由 34.00 mg kg^{-1} 增加到 67.08 mg kg^{-1} 。而随着化学氮、磷肥施用量的增加, 作物吸收钾素的能力和数量相应增加, 土壤钾素处于掠夺式减少状态, 从而造成土壤速效钾含量的降低, 土壤最高含钾量降低了 33.04%。

参考文献

- [1] 辛德惠, 李维炯. 浅层咸水型盐渍化低产地区综合治理与发展. 北京: 北京农业大学出版社, 1990. Xin D H, Li W J. All-round Reconstruction and Development of Shallow Saline-water Low Yield Region (In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1990
- [2] 郝晋珉, 牛灵安. 盐渍土持续利用过程中土壤有机质演化的阶段特征. 中国农业大学学报, 1996, 1(1): 55~ 60. Hao J M, Niu L A. Characteristics of soil organic matter in the process for sustainable use of salt-affected soil in Quzhou experimental area (In Chinese). Journal of China Agricultural University, 1996, 1(1): 55~ 60
- [3] 张旭辉, 李恋卿, 潘根兴. 不同轮作制度对淮北白浆土团聚体及其有机碳的积累与分布的影响. 生态学杂志, 2001, 20(2): 16~ 19. Zhang X H, Li L Q, Pan G X. Effect of difference crop rotation systems on the aggregates and their SOC accumulation in Paludals in North Huai Region, China (In Chinese). Chinese Journal of Ecology, 2001, 20(2): 16~ 19
- [4] 金继运, 白由路. 精准农业与土壤养分管理. 北京: 中国大地出版社, 2001. Jin J Y, Bai Y L. Precision Agriculture and Management of Soil Nutrients (In Chinese). Beijing: China Land Publishing House, 2001
- [5] 牛灵安, 郝晋珉. 盐渍化土壤肥力演变规律研究. 土壤通报, 2001, 32(增): 41~ 45. Niu L A, Hao J M. Study on the changes in soil fertility of saline soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32 (Suppl.): 41~ 45
- [6] Cahn M D, Hummel J W, Brouer B H. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. Soil Sci. Soc. Am. J., 1994, 58: 1 240~ 1 248
- [7] 白由路, 李保国, 胡克林. 黄淮海平原土壤盐分及其组成的空间变异特征研究. 土壤肥料, 1999, 21(3): 22~ 26. Bai Y L, Li B G, Hu K L. Study on spatial variability of soil salt and its constituents in Huang-Huai-Hai Plain (In Chinese). Soil and Fertilizer, 1999, 21(3): 22~ 26
- [8] Assadian N W, Esparra L C, Fenn L B, *et al.* Spatial variability of heavy metals in irrigation alfalfa field in the upper Rio Grand River basin. Agricultural Water Management, 1998, 36(2): 141~ 156
- [9] 周慧珍, 龚子同. 土壤空间变异性研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 232~ 241. Zhou H Z, Gong Z T. Study on soil spatial variability (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1996, 33(3): 232~ 241
- [10] 孙洪泉. 地质统计学及其应用. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990. Sun H Q. Geo statistics and Its Application (In Chinese). Beijing: China Mining University Press, 1990
- [11] Yost R S, Uehara G, Fox R L. Geostatistical of soil chemical properties of large land areas. I. Semivariograms. Soil Sci. Soc. Am. J., 1982, 46: 1 028~ 1 037
- [12] 石元春, 李韵珠, 陆锦文. 盐渍土的水盐运动. 北京: 北京农业大学出版社, 1986. Shi Y C, Li Y Z, Lu J W. Movement of Water and Salt in Salt-affected Soil (In Chinese). Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1986
- [13] 石元春, 李保国, 李韵珠, 等. 区域水盐运动监测预报. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1991. Shi Y C, Li B G, Li Y Z, *et al.* Monitor and Forecast of Region Water and Salt Movement (In Chinese). Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 1991

SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF SOIL NUTRIENTS IN SALT-AFFECTED SOIL UNDER AMELIORATION

Niu Lingan Hao Jinmin Tan Li Meng Peng Li Shuanhuai Sui Pengfei

(College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract On the basis of the second national soil survey in 1980, all the cultivated lands in Quzhou County, Hebei Province were surveyed and analyzed, and with the aid of GPS and GIS technology in October 2002. The results indicate that with development of the program of comprehensive management of salt-affected soils, improvement in quantity and quality of extraneous input, and readjustment of cropping arrangement, great spatio-temporal variation of soils nutrients in the salt-affected soils of the land amelioration zone. Temporally, soil organic matter and rapidly available P have increased from 8.4 g kg⁻¹, and 5.45 mg kg⁻¹ to 13.89 g kg⁻¹ and 23 mg kg⁻¹ respectively; total nitrogen up to 0.937 g kg⁻¹; and rapidly available K from 34~ 285 mg kg⁻¹ to 67~ 191 mg kg⁻¹. Spatially, the distribution of soil nutrients shows a close relationship with geochemistry process of the nutrients, crops distribution, and cultivation practices. It is represented mainly in that soil organic matter, total nitrogen, and rapidly available P increased in content with the degree of intensification of the farming, and the application rate of extraneous input, and that the content of rapidly available K varies with the intensification of farming instead of originally with the geochemical process.

Key words Salt-affected soil, land amelioration zone; Soil nutrient; Spatio-temporal variability; Organic matter; Total N; Rapidly available P; Rapidly available K